



महाराष्ट्र राज्य तंत्रशिक्षण मंडळ, मुंबई
(स्वायत्त) (ISO21001:2018) (ISO/IEC27001:2022)

अभियांत्रिकी आणि तंत्रज्ञान पदविका

शिक्षण पुस्तिका
(Learning Material)

एनर्जी कंझर्वेशन अँड ऑडिट
Energy Conservation and Audit (316327)

विद्युत अभियांत्रिकी गट
(के-स्कीम)

मराठी – इंग्रजी (द्विभाषिक) माध्यम
(अभियांत्रिकी व तंत्रज्ञानातील सहावे सत्र पदविका)

शिक्षण पुस्तिका
(Learning Material)

एनर्जी कंझर्वेशन अँड ऑडिट Energy Conservation and Audit (316327) (ECA)

विद्युत अभियांत्रिकी गट
के-स्कीम
K-Scheme

मराठी – इंग्रजी (द्विभाषिक) माध्यम
(अभियांत्रिकी व तंत्रज्ञानातील सहावे सत्र पदविका)



महाराष्ट्र राज्य तंत्र शिक्षण मंडळ, मुंबई
(स्वायत्त) (ISO 21001:2018) (ISO/IEC 27001:2022)

एनर्जी कंझर्वेशन अँड ऑडिट
Energy Conservation and Audit (316327) (ECA)

मार्गदर्शक

डॉ. संजय वसंत भंगाळे
विभागप्रमुख, विद्युत अभियांत्रिकी

प्रकल्प समन्वयक

संजय भाऊराव पवार
विभागप्रमुख, विद्युत अभियांत्रिकी

संकलक

धनंजय कृष्णराव लाखे
अधिव्याख्याता, विद्युत अभियांत्रिकी

किशोर एकनाथ डोके
अधिव्याख्याता, विद्युत अभियांत्रिकी

नितीन शशिकांत गोन्हे
अधिव्याख्याता, विद्युत अभियांत्रिकी

मनिष अंकुश मजगे
विभागप्रमुख, विद्युत अभियांत्रिकी



महाराष्ट्र राज्य तंत्र शिक्षण मंडळ.

(स्वायत्त) (ISO: २१००१:२०१८) (ISO/IEC: २७००१-२०१३)

शासकीय तंत्रनिकेतन इमारत, चौथा मजला, ४९, खेरवाडी, बांद्रा (पूर्व), मुंबई - ४०० ०५१.

दूरध्वनी क्र.: ०२२-६२५४२१००/१५३/१७०

email : director@msbte.com

web site : www.msbte.ac.in



प्रास्ताविक

महाराष्ट्र राज्यातील पदविका स्तरावरील तंत्रशिक्षणामध्ये विद्यार्थ्यांचे रोजगार कौशल्य विकसित करून विद्यार्थ्यांचा सर्वांगीण विकास घडवून आणण्याकरिता महाराष्ट्र राज्य तंत्रशिक्षण मंडळ कटिबद्ध आहे. उद्योगधंद्यातील बदलत्या तंत्रज्ञानाशी संबंधित गरजा लक्षात घेऊन महाराष्ट्र राज्य तंत्र शिक्षण मंडळाकडून पदविका अभ्यासक्रम वेळोवेळी अद्यावत करण्यात येतो. अभियांत्रिकी पदविका अभ्यासक्रम शिकत असताना संकल्पनात्मक ज्ञान, सुसंगत संदर्भ, प्रश्न विचारणे, विश्वसनीय पुरावे, कारणमीमांसा आणि सुस्पष्ट निकष यांचा वापर करून अर्थाची उकल करण्याची, विश्लेषण व मूल्यमापन करण्याची तसेच तर्काने अनुमान काढण्याची क्षमता म्हणजेच चिकित्सक विचार विद्यार्थ्यांमध्ये अधिक दृढ होतील असा मला विश्वास आहे. जेव्हा विद्यार्थी ज्ञान मिळवण्याच्या माध्यमाशी पूर्णपणे परिचित आणि सोयीस्कर असतात, तेव्हा त्यांच्यासाठी वर्गातील चर्चेत भाग घेणे सोपे होते, संकल्पनात्मक व सैद्धांतिक बाबींचे आकलन परिपूर्ण होते, संज्ञानात्मक क्षमता सुधारते आणि त्यांचा आत्मविश्वास देखील वाढतो. या सर्व गोष्टींचा विचार करून मंडळाकडून शैक्षणिक सामुग्रीची निर्मिती करण्यात आलेली आहे. भारत देश हा खेड्यापाडयातून विकसित झालेला देश असून ग्रामीण भागातील विद्यार्थ्यांना तांत्रिक शिक्षण घेताना भाषेचा अडसर न येता तांत्रिक बाबींचा आशय समजून घेणे शक्य होईल या दृष्टिकोनातून महाराष्ट्र राज्य तंत्र शिक्षण मंडळाने पदविका स्तरावरील तांत्रिक शिक्षणाकरिता विद्यार्थ्यांना मराठी-इंग्रजी द्विभाषिक माध्यमाचा पर्याय उपलब्ध करून दिलेला आहे.

राष्ट्रीय शैक्षणिक धोरण-२०२० प्रादेशिक भाषेतील शिक्षणास प्रोत्साहन देते, ज्यामुळे विद्यार्थ्यांना तांत्रिक अभ्यासक्रमांसाठी प्रादेशिक भाषेतून शिक्षणाचे माध्यम निवडता येते. त्या अनुषंगाने प्रादेशिक भाषांमध्ये तांत्रिक सामग्री आणि अभ्यास सामग्रीचा विकास आणि भाषांतर करण्याची आवश्यकता आहे. या धोरणास अनुसरून मंडळाने भागधारकांसाठी शैक्षणिक वर्ष २०२१-२२ पासून I-Scheme तसेच शैक्षणिक वर्ष २०२३-२४ पासून K-Scheme मध्ये द्विभाषिक माध्यमाचा पर्याय प्रथम ते तृतीय वर्षाकरिता उपलब्ध करून दिलेला आहे. या पर्यायास अनुसरून मंडळाने मराठी-इंग्रजी द्विभाषिक शैक्षणिक सामग्रीही संबंधीत विद्यार्थी व अधिव्याख्यातांकरिता उपलब्ध करून दिली आहे.

पदविका स्तरावरील तंत्रशिक्षण अधिक दर्जेदार करण्यासाठी महाराष्ट्रातील अनुभवी व तज्ञ अध्यापकांनी व्यवहारिक मराठी भाषा व इंग्रजी भाषेतील तांत्रिक शब्दावली यांचा वापर करून मराठी इंग्रजी भाषेचा सुवर्णमध्य साधण्याचा प्रयत्न केलेला आहे. मंडळाच्या स्तरावर गठीत सुकाणू समितीमार्फत सदर शैक्षणिक सामुग्रीचा दर्जा, तसेच इतर बाबींची तपासणी करण्यात आलेली आहे. त्यामुळे सदर शैक्षणिक सामुग्री अधिक संपन्न झालेली असून, विद्यार्थी त्यांच्या व्यक्तिमत्त्वाचा सुसंवादी आणि सर्वांगीण विकास साधतील. परिणामतः विश्वस्तरीय मनुष्यबळाच्या गरजा पूर्ण करण्यात महाराष्ट्र राज्य अग्रेसर राहील व पर्यायाने राष्ट्रनिर्मिती करिता निश्चितच हातभार लागेल, असा मला विश्वास आहे.

अभियांत्रिकी पदविका अभ्यासक्रमातील विषयांची मराठी-इंग्रजी (द्विभाषिक) शैक्षणिक सामुग्री बनविण्यासाठी अध्यापक व सुकाणू समितीचे सदस्य यांनी दर्शविलेले समर्पण व वचनबद्धता कौतुकास पात्र आहे, या सर्वांचे मी मनःपूर्वक अभिनंदन करतो!

(डॉ. प्रमोद नाईक)

संचालक

म. रा. तंत्र शिक्षण मंडळ, मुंबई

अनुक्रमणिका

अ.क्र.	युनिटचे नाव	पान क्र.
1	फंडामेंटल्स ऑफ एनर्जी कंझर्वेशन अँड मॅनेजमेन्ट (Fundamentals of Energy Conservation and Management)	1-20
2	एनर्जी कंझर्वेशन इन इलेक्ट्रिकल मशीन्स (Energy Conservation in Electrical Machines)	21-50
3	एनर्जी कंझर्वेशन इन इलेक्ट्रिकल इन्स्टॉलेशन सिस्टीम (Energy conservation in Electrical Installation system)	51-91
4	एनर्जी कंझर्वेशन व्हाया को जनरेशन अँड टॅरिफ (Energy Conservation via Cogeneration and Tariff)	92-131
5	एनर्जी ऑडिट (Energy Audit)	132-183

युनिट 1: फंडामेंटल्स ऑफ एनर्जी कंझर्वेशन अँड मॅनेजमेंट

(Unit 1: Fundamentals of Energy Conservation and Management)

कोर्स आउटकम्स (Course Outcomes):

CO 1- भारतातील एनर्जी कंझर्वेशन पॉलिसीजचे (Energy Conservation Policies) विश्लेषण करणे (Interpret).

थिअरी लर्निंग आउटकम्स (TLO):

TLO 1.1 भारतातील कन्व्हेन्शनल आणि नॉन-कन्व्हेन्शनल एनर्जी सोर्सेस (Conventional and Non-Conventional energy sources) करंट सिनेरिओ सादर करा.

TLO 1.2 एनर्जी मॅनेजमेंट (Energy Management), एनर्जी एफिशन्सी (Energy Efficiency), एनर्जी कंझर्वेशन (Energy Conservation) आणि एनर्जी ऑडिट (Energy Audit) यामध्ये फरक करा.

TLO 1.3 एनर्जी कंझर्वेशन ऍक्ट 2001 (Energy Conservation Act 2001) ची प्रमुख वैशिष्ट्ये स्पष्ट करा.

TLO 1.4 BEE, MEDA आणि MNRE च्या भूमिकेचे वर्णन करा.

TLO 1.5 दिलेल्या इलेक्ट्रिकल इक्विपमेंट (Electrical Equipment) च्या स्टार लेबलिंगचा अर्थ लावा.

TLO 1.6 एनर्जी कंझर्वेशनची संकल्पना आणि त्याचे फायदे स्पष्ट करा.

TLO 1.7 ECBC आणि ग्रीन बिल्डिंग्स (Green Buildings) च्या प्रमुख वैशिष्ट्यांचे वर्णन करा.

1.1 एनर्जी सिनारिओ (Energy Scenario)

- कोणत्याही देशाच्या आर्थिक विकासासाठी एनर्जी हे प्रमुख निविष्टांपैकी एक आहे. विकसनशील देशांच्या बाबतीत, एनर्जी क्षेत्राला सतत वाढत्या एनर्जीच्या गरजा लक्षात घेता, त्या पूर्ण करण्यासाठी मोठ्या गुंतवणुकीची आवश्यकता असते.
- शहरी विरुद्ध ग्रामीण, दक्षिण, पश्चिम आणि उत्तर प्रदेश विरुद्ध पूर्व आणि उत्तर-पूर्व प्रदेश आणि उच्च उत्पन्न विरुद्ध कमी उत्पन्न असलेली कुटुंबे यांच्यातील असमानता खूप जास्त आहे.
- दुर्दैवाने, ज्या प्रदेशांमध्ये मोठ्या प्रमाणात फॉसिल फ्यूलस (fossil fuels) आणि रिन्युएबल एनर्जी सोर्सेस (Renewable energy sources) उपलब्ध आहेत, त्याच प्रदेशांमध्ये प्रति व्यक्ती एनर्जी कंझम्पशन (Per capita energy consumption) कमी आहे.
- सस्टेनेबल (Sustainable) आणि न्याय्य सामाजिक-आर्थिक विकासासाठी अशी परिस्थिती बदलणे आवश्यक आहे. देशातील कोळश्यावर (Coal) अत्यधिक अवलंबित्व, ऑइल आणि वायूची मोठ्या प्रमाणावर आयात, त्या आयातीवरील आर्थिक बोजा, तसेच मोठ्या प्रमाणातील एनर्जीनिर्मिती, रूपांतरण, वहन आणि वापरामुळे होणारे पर्यावरणीय दुष्परिणाम यांचा विचार करता विकसित देशांप्रमाणे एनर्जीवापराच्या पातळीवर पोहोचण्याचा प्रयत्न करणे शहाणपणाचे नाही.
- भारतीय नागरिकांच्या जीवनमानात सुधारणा करण्यासाठी प्रति व्यक्ती एनर्जी कंझम्पशन (Per capita energy consumption) वाढणे आवश्यक आहे.
- योग्य नियोजन आणि विवेकी दृष्टिकोन ठेवून, थोडासा एनर्जीवापर वाढवूनही उच्च दर्जाचे जीवनमान साध्य करता येते. देशाने आता नॉन-रिन्युएबल एनर्जी (Non-renewable energy) केंद्रित विकासापासून दूर जाऊन योग्य वेळी दिशा बदलण्याची गरज आहे. अशा बदलासाठी आपल्या विकास पद्धतीत मूलभूत परिवर्तन आवश्यक आहे म्हणजेच अनसस्टेनेबल ग्रोथ (Unsustainable growth) आधारित आर्थिक विकासाऐवजी पर्यावरणपूरक (Environment-friendly) आणि समतोल विकासावर भर देणे.

- तीन प्रमुख जागतिक पर्यावरणीय समस्या ग्लोबल वॉर्मिंग (Global warming), ॲसिड रेन (acid rain) आणि ओझोन लेयर डेप्लिशन (Ozone layer depletion) यांची मुळे एनर्जीक्षेत्रातच आहेत. त्यामुळे चांगल्या जीवनमानासाठी आवश्यक एनर्जी (Energy need) कमी न करता, अनावश्यक एनर्जीइच्छा (Energy want) कमी करणे हे राष्ट्रीय आणि जागतिक हितासाठी आवश्यक आहे.
- विद्यमान नॉन-रिन्युएबल एनर्जी (Non-renewable), फॉसिल फ्यूल-सेंट्रिक (fossil fuel-centric), सेंट्रलाइज्ड (Centralised) एनर्जीसिस्टिम पासून दूर जाऊन नवीनीकरणीय एनर्जीप्राधान्य असलेल्या विकेंद्रित सिस्टिम कडे (Renewable energy dominant decentralised system) वळण्यासाठी वेळबद्ध योजना आवश्यक आहे. जीवनातील प्रत्येक क्रियेसाठी एनर्जीअत्यावश्यक आहे. एनर्जीवापर (Energy use) आणि जीवनमान (Quality of life) यामध्ये सकारात्मक संबंध आहे.
- एनर्जीचे क्लासिफिकेशन (Classification of Energy):
एनर्जीला खालील आधारांवर विविध प्रकारांमध्ये क्लासिफिकेशन (Classified) केले जाऊ शकते:
 - प्राथमरी आणि सेकंडरी एनर्जी (Primary and Secondary Energy)
 - कमर्शियल आणि नॉन-कमर्शियल एनर्जी (Commercial and Non-Commercial Energy)
 - रिन्युएबल आणि नॉन-रिन्युएबल एनर्जी (Renewable and Non-Renewable Energy)

1.1.1 प्राथमरी आणि सेकंडरी एनर्जी (Primary and Secondary Energy)

- प्राथमरी एनर्जी सोर्सेस (Primary energy sources) हे असे सोर्सेस आहेत जे नैसर्गिकरित्या उपलब्ध (found in nature) असतात किंवा निसर्गात साठवलेले (Stored in nature) असतात.
- प्राथमरी एनर्जी सोर्सेस (Primary energy sources) म्हणजे कोळसा (Coal), खनिज ऑइल (Oil), नॅचरल गॅस (natural gas) आणि बायोमास (Biomass) जसे की लाकूड (wood).
- इतर उपलब्ध प्राथमरी एनर्जी सोर्सेस (Primary energy sources) मध्ये न्यूक्लियर एनर्जी (Nuclear energy) जी रेडियोएक्टिव सबस्टेन्सेस (Radioactive substances) मधून मिळते, थर्मल एनर्जी (Thermal energy) जी पृथ्वीच्या अंतरंगात साठवलेली असते, तसेच पृथ्वीच्या गुरुत्वाकर्षणामुळे निर्माण होणारी पोटेशियल एनर्जी (Potential energy) यांचा समावेश होतो.
- प्रमुख प्राथमरी आणि सेकंडरी एनर्जी सोर्सेस (Figure 1.1) मध्ये दर्शविलेले आहेत.

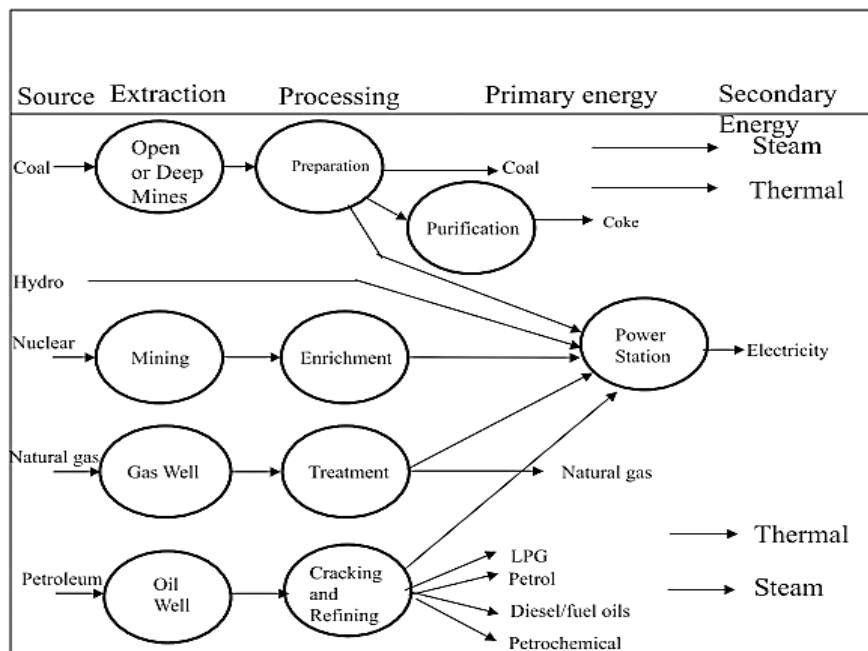


Figure 1.1 प्रमुख प्राथमरी आणि सेकंडरी एनर्जी सोर्सेस

- प्राथमरी एनर्जी सोर्सेस (Primary energy sources) हे प्रामुख्याने इंडस्ट्रियल युटिलिटीज (Industrial utilities) मध्ये रूपांतरित करून सेकंडरी एनर्जी सोर्सेस (Secondary energy sources) तयार केले जातात; उदाहरणार्थ कोळसा (Coal), खनिज ऑइल (oil) किंवा नॅचरल गॅस (Gas) यांचे स्टीम (Steam) आणि इलेक्ट्रिसिटी (Electricity) मध्ये रूपांतर केले जाते.
- प्राथमरी एनर्जी (Primary energy) थेट वापरली (Directly used) जाऊ शकते.
- काही एनर्जी सोर्सेसचे एनर्जीव्यतिरिक्त इतर उपयोग (Non-energy uses) देखील असतात; उदाहरणार्थ कोळसा (coal) किंवा नॅचरल गॅस (Natural gas) हे खत उत्पादन प्रकल्पांमध्ये (Fertilizer plants) फीडस्टॉक (Feedstock) म्हणून वापरले जाऊ शकतात.

1.1.2 कमर्शियल एनर्जी (Commercial Energy) आणि नॉन-कमर्शियल एनर्जी (Non-Commercial Energy)

a) कमर्शियल एनर्जी (Commercial Energy)

- जे एनर्जी सोर्सेस बाजारात निश्चित किंमतीला (Definite price in the market) उपलब्ध असतात त्यांना कमर्शियल एनर्जी (Commercial energy) म्हणतात.
- सर्वात महत्वाच्या कमर्शियल एनर्जी (Commercial energy) स्वरूपांमध्ये इलेक्ट्रिसिटी (Electricity), कोळसा (Coal) आणि शुद्ध केलेली पेट्रोलियम उत्पादने (Refined petroleum products) यांचा समावेश होतो.
- आधुनिक जगात इंडस्ट्रियल (Industrial), अग्रीकल्चरल (Agricultural), ट्रान्सपोर्ट (Transport) आणि कमर्शियल (Commercial) विकासाचा पाया व्यावसायिक एनर्जीवर आधारित आहे.
- इंडस्ट्रियलाइज्ड झालेल्या देशांमध्ये (Industrialized countries) कमर्शियल फ्युल्स (Commercialized fuels) केवळ आर्थिक उत्पादनासाठीच नव्हे तर सामान्य लोकांच्या अनेक घरगुती कामांसाठीही प्रमुख स्रोत आहेत.
- उदाहरणे: इलेक्ट्रिसिटी (Electricity), लिग्नाइट (Lignite), कोळसा (Coal), ऑइल (Oil), नॅचरल गॅस (Natural Gas) इत्यादी.

b) नॉन-कमर्शियल एनर्जी (Non-Commercial Energy)

- जे एनर्जी सोर्सेस बाजारात किंमतीसाठी उपलब्ध नसतात (Not available in commercial market for a price) त्यांना नॉन-कमर्शियल एनर्जी (Non-commercial energy) म्हणतात.
- नॉन-कमर्शियल एनर्जी सोर्सेस मध्ये इंधनाची पारंपरिक रूपे (traditional fuels) समाविष्ट असतात जसे की फायरवुड (Firewood), कॅटल डंग (Cattle dung) आणि अग्रीकल्चरल वेस्ट्स (Agricultural wastes) जे परंपरेने गोळा केले जातात आणि खरेदी केले जात नाहीत; विशेषतः ग्रामीण भागात वापरले जातात.
- यांना पारंपरिक इंधने (Traditional fuels) असेही म्हटले जाते. एनर्जी हिशेबामध्ये (Energy accounting) बहुधा अव्यावसायिक एनर्जीकडे दुर्लक्ष केले जाते.
- उदाहरणे:
 - ग्रामीण भागातील फायरवुड (Firewood), अग्रीकल्चरल वेस्ट्स (Agro waste)
 - सोलर एनर्जी (Solar energy) पाणी तापविणे (Water heating), इलेक्ट्रिसिटी जनरेशन (Electricity generation), धान्य/मासे/फळे वाळविणे (Drying)
 - प्राणिशक्ती (Animal power) वाहतूक (Transport), तांदुळ कांडणे (Threshing), सिंचनासाठी पाणी उचलणे (Lifting water), ऊस क्रश करणे (Crushing sugarcane)

- विंड एनर्जी (Wind energy), पाणी उचलणे (Lifting water), इलेक्ट्रिसिटी जनरेशन (Electricity generation)

1.1.3 नॅशनल लेवलवरील एनर्जी डिमांड आणि सप्लाय (Energy Demand and Supply at National Level)

- एनर्जी डिमांड (Energy demand) हा शब्द मानवाच्या विविध क्रियांद्वारे होणाऱ्या एनर्जी कंझम्पशनचे (Consumption of energy by human activity) वर्णन करण्यासाठी वापरला जातो.
- एनर्जी डिमांड संपूर्ण एनर्जीसिस्टिम ला (Energy system) चालवते. ती एकूण एनर्जीवापर किती असेल, कोणत्या ठिकाणी कोणत्या प्रकारचे फ्यूल (Types of fuel) वापरले जाईल, तसेच एनर्जीवापरणाऱ्या अंतिम तंत्रज्ञानाच्या (End-use technologies) वैशिष्ट्यांवर प्रभाव टाकते.

(i) एनर्जी डिमांड (Energy Demand)

- एनर्जी डिमांड तीन प्रमुख क्षेत्रांत विभागली जाते:
 - (1) इलेक्ट्रिसिटी (Electricity),
 - (2) ट्रान्सपोर्टेशन (Transportation),
 - (3) हीट (Heat) ज्यामध्ये इलेक्ट्रिसिटी जनरेशन किंवा वाहतूक इंधन व्यतिरिक्त सर्व स्थिर वापरांचा समावेश आहे.
- जलद सामाजिक-आर्थिक विकासामुळे भविष्यात एनर्जी डिमांड सतत वाढत राहील. मनुष्याच्या उत्पादन आणि जीवनमान राखण्यासाठी आवश्यक एनर्जीही मागणीचा मुख्य चालक आहे. आर्थिक विकास आणि जीवनमान सुधारत असल्याने एनर्जी डिमांड (Energy demand) दीर्घकाळ वाढतच राहील. विशेषतः अल्पविकसित देशांमध्ये, जिथे एनर्जीदारिद्र्य (Energy poverty) असलेली लोकसंख्या हळूहळू विद्युत सेवांनी समृद्ध आधुनिक जीवन जगण्यास सुरुवात करेल.
- अंदाजानुसार, 21 व्या शतकाच्या मध्यापर्यंत (Mid-twenty-first century) जागतिक अर्थव्यवस्थेची एकूण क्षमता वाढत राहील, जरी वाढीचा वेग दुसरे महायुद्ध संपल्यानंतरच्या कालावधीच्या तुलनेत कमी असेल.
- 2030 पूर्वी जागतिक अर्थव्यवस्था अधिक जलद वाढेल, परंतु एनर्जी-गहन उद्योग (Energy-intensive industries) जसे की स्टील व लोखंड, अशुद्ध धातू (Non-ferrous metals), इमारत साहित्य (Building materials), आणि रासायनिक अभियांत्रिकी उद्योग (Chemical engineering industries) यांची वाढ मंदावेल.
- अनेक महत्त्वाच्या उत्पादनांचे उत्पादन 2030 च्या आसपास सॅच्युरेशन पॉईंट (Saturation point) गाठेल, आणि एनर्जी डिमांडचा सरासरी वाढ दर 1.6% राहील. 2030 नंतर एनर्जी -गहन उद्योग "Sunset industries" मध्ये परिवर्तित होतील, कारण बहुतांश प्रदेशांमध्ये इंडस्ट्रियलायझेशन (Industrialization) आणि शहरीकरण (Urbanization) प्रक्रियेचा वेग कमी होईल. याउलट, इतर औद्योगिक, वाहतूक आणि व्यावसायिक क्षेत्रांचा अर्थव्यवस्थेतील वाटा वाढेल, आणि परिणामी एनर्जीमागणीत एकूण मंदी दिसून येईल.
- भारतातील एनर्जीटंचाई (Energy shortages) 2013–14 मधील 4.2% वरून 2024–25 मध्ये केवळ 0.1% पर्यंत घसरली आहे. यामुळे एनर्जीउत्पादन, पायाभूत सुविधा (Infrastructure), आणि वितरण व्यवस्थेत मोठी सुधारणा झाल्याचे दिसून येते.
- भारतातील प्रति व्यक्ती इलेक्ट्रिसिटी कंझम्पशन (Per capita electricity consumption) 2013–14 मधील 957 kWh वरून 2023–24 मध्ये 1,395 kWh झाला, म्हणजे 45.8% वाढ, जी इलेक्ट्रिसिटी उपलब्धता आणि वापरातील मोठ्या प्रगतीचे द्योतक आहे.

(ii) एनर्जी सप्लाय (Energy Supply)

- एनर्जी सप्लाय (Energy supply) म्हणजे फ्युल्स (Fuels) किंवा ट्रान्सफॉर्मर्ड फ्युल्सचे (Transformed fuels) कंझम्पशनच्या ठिकाणी (Point of consumption) पोहोचविणे.
यामध्ये फ्युल्सचे उत्खनन (Extraction), ट्रान्समिशन (Transmission), जनरेशन (Generation), डिस्ट्रीब्युशन (Distribution) आणि स्टोरेज (Storage) यांचा समावेश होतो.
एनर्जीपुरवठ्याला कधी कधी एनर्जीप्रवाह (Energy flow) असेही म्हटले जाते.
- ग्लोबल प्रायमरी एनर्जी कंझम्पशन (Global Primary Energy Consumption)
- 2003 च्या अखेरीस, ग्लोबल प्रायमरी एनर्जी कंझम्पशन (Global primary energy consumption) 9741 million tonnes of oil equivalent (Mtoe) इतका होता.
- काही विकसित (Developed) आणि विकसनशील (Developing) देशांमधील प्रायमरी एनर्जी कंझम्पशन (Primary energy consumption) तक्त्या 1.1 (Table 1.1) मध्ये दर्शविला आहे.
त्यावरून असे दिसून येते की भारताचा एकूण प्रायमरी एनर्जी कंझम्पशन (Absolute primary energy consumption) हा जगाच्या (World) वापराच्या 1/29 व्या भागाइतका, USA च्या वापराच्या 1/7 व्या भागाइतका, जपान (Japan) च्या वापराच्या 1/1.6 व्या भागाइतका आहे. परंतु कॅनडा (Canada), फ्रान्स (France) आणि U.K. (United Kingdom) यांच्या तुलनेत भारताचा प्रायमरी एनर्जीवापर अनुक्रमे 1.1 पट, 1.3 पट, आणि 1.5 पट आहे.

Table 1.1 Primary Energy Consumption by Fuel, (In Million tonnes oil equivalent)

Country	Oil	Natural Gas	Coal	Nuclear Energy	Hydro electric	Total
USA	914.3	566.8	573.9	181.9	60.9	2297.8
Canada	96.4	78.7	31.0	16.8	68.6	291.4
France	94.2	39.4	12.4	99.8	14.8	260.6
Russian Federation	124.7	365.2	111.3	34.0	35.6	670.8
United Kingdom	76.8	85.7	39.1	20.1	1.3	223.2
China	275.2	29.5	799.7	9.8	64.0	1178.3
India	113.3	27.1	185.3	4.1	15.6	345.3
Japan	248.7	68.9	112.2	52.2	22.8	504.8
Malaysia	23.9	25.6	3.2	-	1.7	54.4
Pakistan	17.0	19.0	2.7	0.4	5.6	44.8
Singapore	34.1	4.8	-	-	-	38.9
Total World	3636.6	2331.9	2578.4	598.8	595.4	9741.1

- विकसित आणि विकसनशील देशांतील एनर्जीवितरण जरी जगातील सुमारे 80 टक्के लोकसंख्या विकसनशील देशांत राहते (गेल्या 25 वर्षांत लोकसंख्या चौपट वाढली आहे), तरीही त्यांचे एनर्जी कंझम्पशन (Energy consumption) जगाच्या एकूण एनर्जी कंझम्पशन पैकी फक्त 40 टक्के आहे.
- विकसित देशांतील उच्च जीवनमान (Standard of living) हे त्यांच्या जास्त energy consumption पातळीमुळे शक्य झाले आहे. तसेच, विकसनशील देशांतील वेगवान लोकसंख्या वाढीमुळे प्रति व्यक्ती एनर्जी कंझम्पशन हे अत्यंत कमी राहिले आहे, जे अत्यंत औद्योगिक विकसित देशांपेक्षा खूपच कमी आहे.
- जगातील प्रति व्यक्ती सरासरी एनर्जी कंझम्पशन हे 2.2 tonnes of coal (कोळशाच्या 2.2 टनां) इतके आहे. औद्योगिक देशांमध्ये लोक हे जगातील सरासरीपेक्षा चार ते पाचपट जास्त एनर्जीवापरतात, आणि

विकसनशील देशांच्या सरासरीपेक्षा नऊ पट जास्त. एका अमेरिकन व्यक्तीचा कमर्शियल एनर्जीवापर हा एका भारतीयाच्या 32 पट आहे.

1.1.4 इंडियन एनर्जी सिनेरिओ (Indian Energy Scenario)

- भारतातील एनर्जीमिश्रणामध्ये कोळसा प्रमुख आहे आणि एकूण प्राथमरी एनर्जी प्रॉडक्शन पैकी सुमारे 55% हिस्सा कोळशाचा आहे. वर्षानुवर्षे नॅचरल गॅस चा वाटा 1994 मधील 10% वरून 1999 मध्ये 13% पर्यंत वाढला आहे. त्याच कालावधीत तेलाचा वाटा 20% वरून 17% पर्यंत घटला आहे.

• एनर्जी सप्लाय (Energy Supply)

1. कोळसा सप्लाय (Coal Supply)

- भारताकडे प्रचंड प्रमाणात कोळसा साठे उपलब्ध आहेत. 2003 च्या अखेरीस भारताकडे सुमारे 84,396 million tonnes इतके प्रूव्हन रिकवरेबल रिजर्व्ज (Proven recoverable reserves) होते. हे जगातील एकूण कोळसा साठ्यांच्या सुमारे 8.6% आहे. सध्याच्या रिजर्व्ज/प्रॉडक्शन रेशो (Reserves/Production (R/P) ratio) नुसार हे साठे सुमारे 230 वर्षे टिकू शकतात. तुलनेत, सध्याच्या R/P रेशोनुसार जगातील कोळसा साठे सुमारे 192 वर्षे टिकतील.
- रिजर्व्ज/प्रॉडक्शन रेशो (Reserves/Production (R/P) ratio) – एखाद्या वर्षाच्या शेवटी उपलब्ध असलेले साठे त्या वर्षातील उत्पादनाने भागले की, उरलेले साठे सध्याच्या उत्पादन पातळीवर किती वर्षे टिकतील याचा अंदाज येतो.
- भारत हा जगातील कोळसा (Coal) आणि लिग्नाईट (Lignite) यांचा चौथा सर्वात मोठा उत्पादक देश आहे. भारतातील कोळसा उत्पादन प्रामुख्याने खालील राज्यांमध्ये केंद्रित आहे: आंध्र प्रदेश, उत्तर प्रदेश, बिहार, मध्य प्रदेश, महाराष्ट्र, ओडिशा, झारखंड आणि पश्चिम बंगाल.

2. ऑइल सप्लाय (Oil Supply)

- भारताच्या एकूण एनर्जीवापरामध्ये ऑइल सुमारे 36% इतका वाटा आहे. भारत हा जगातील ऑइल कन्झम्प्शन (Oil consumption) मध्ये तिसऱ्या क्रमांकावर आहे. जगातील सर्वात जास्त ऑइल वापरणारे शीर्ष 5 देश म्हणजे USA, China, India, Japan आणि Russia. देशातील वार्षिक कूड ऑइल (Crude oil) उत्पादन सुमारे 28.7 million metric tons (MMT) आहे, तर सध्याची उच्च मागणी सुमारे 233.3 MMT आहे.
- सध्याच्या परिस्थितीत, भारताची ऑइल डिमांड (Oil demand) 5.4 million barrels per day (bpd) वरून 2050 पर्यंत 9.1 million bpd पर्यंत वाढण्याचा अंदाज आहे, ज्यापैकी देशांतर्गत उत्पादन फक्त 34 MT असेल.
- भारत आपल्या कूड ऑइल (Crude oil) गरजांपैकी सुमारे 87% आयात करतो, विशेषतः गल्फ नेशन्स (Gulf nations) कडून. भारतातील सुमारे 5.4 billion barrels इतका तेलसाठा मुख्यतः Bombay High, Upper Assam, Cambay, Krishna–Godavari या प्रदेशांमध्ये आहे. सेक्टर-वाइज पेट्रोलियम प्रॉडक्ट कन्झम्प्शन (Sector-wise petroleum product consumption) मध्ये ट्रान्सपोर्ट सेक्टर (Transport sector) 42% वाटा घेतो, तर डोमेस्टिक (Domestic) आणि इंडस्ट्री (Industry) प्रत्येकी 24% आहेत. 2024 च्या अखेरीस भारताने ऑइल आयातीवर ₹14,802.32 billion इतका खर्च केला.

3. नॅचरल गॅस सप्लाय (Natural Gas Supply)

- भारतातील एनर्जीवापरात नॅचरल गॅस (Natural gas) चा वाटा सुमारे 6 ते 7% आहे. सध्या नॅचरल गॅस डिमांड (Natural gas demand) सुमारे 187–190 million standard cubic meters per day (MMSCMD) आहे, तर उपलब्धता 180–190 MMSCMD आहे. 2024 पर्यंत मागणी सुमारे 200 MMSCMD पर्यंत पोहोचेल असा अंदाज आहे. नॅचरल गॅसचे साठे सुमारे 660 billion cubic meters इतके आहेत.

4. इलेक्ट्रिकल एनर्जी सप्लाय (Electrical Energy Supply)

- भारतातील इन्स्टॉल्ड कॅपॅसिटी (Installed capacity) 31 जुलै 2025 पर्यंत 4,90,061 MW इतकी आहे. यात समाविष्ट आहे:
- हायड्रो (Hydro) – 49,628 MW
- थर्मल (Thermal) – 2,16,448 MW
- न्यूक्लियर (Nuclear) – 8,780 MW
- सोलर (Solar) – 1,19,017 MW
- विंड (Wind) – 52,140 MW
- वर्ष 2024–25 मध्ये एकूण पॉवर जनरेशन (Power generation) 1829.698 billion units (kWh) इतकी होती.

5. न्यूक्लियर पॉवर सप्लाय (Nuclear Power Supply)

- भारतातील एकूण विद्युत उत्पादनात न्यूक्लियर पॉवर (Nuclear power) चा वाटा सुमारे 1.8% आहे. भारतात पाच न्यूक्लियर पॉवर स्टेशन (Nuclear power stations) मधील दहा न्यूक्लियर रिऐक्टर्स (Nuclear reactors) कार्यान्वित आहेत. आणखी काही रिऐक्टर्सच्या बांधकामास मंजूरी देण्यात आली आहे.

6. हायड्रो पॉवर सप्लाय (Hydro Power Supply)

- भारताकडे हायड्रो पॉवर जनरेशन (Hydro power generation) साठी विशाल आणि व्यवहार्य क्षमता आहे, परंतु त्यापैकी केवळ 15% क्षमतेचा वापर आजवर झाला आहे. 31 जुलै 2025 पर्यंत देशाच्या एकूण विद्युत उत्पादनामध्ये हायड्रोपॉवर (Hydropower) चा वाटा 10% आहे.

Table 1.2 Installed Generation Capacity (Fuel wise) as on 31.07.2025

Category		Installed Generation Capacity (MW)	% Share in Total
Fossil Fuel	Coal	2,16,448	44.2%
	Lignite	6,620	1.4%
	Gas	20,132	4.1%
	Diesel	589	0.1%
	Total Fossil Fuel	2,43,790	49.7%

Non-Fossil Fuel	RES (Incl. Hydro)	2,37,491	48.5%
	Hydro	49,628	10.1%
	Wind, Solar & Other RE	1,87,863	38.3%
	Wind	52,140	10.6%
	Solar	1,19,017	24.3%
	BM Power/Cogen	10,743	2.2%
	Waste to Energy	854	0.2%
	Small Hydro Power	5,109	1.0%
	Nuclear	8,780	1.8%

	Total Non-Fossil Fuel	2,46,271	50.3%
	Total Installed Capacity	4,90,061	100%

Table 1.3 Total Generation and growth over previous year in the country during 2009-10 to 2025-26

Year	Total Generation (Including Renewable Sources) (BU)	% Growth
2009-10	808.498	7.56
2010-11	850.387	5.59
2011-12	928.113	9.14
2012-13	969.506	4.46
2013-14	1,020.200	5.23
2013-14	1,110.392	8.84
2015-16	1,173.603	5.69
2016-17	1,241.689	5.80
2017-18	1,308.146	5.35
2018-19	1,376.095	5.19
2019-20	1,389.102	0.95
2020-21	1,381.855	-0.52
2021-22	1,491.859	7.96
2022-23	1,624.465	8.89
2023-24	1,739.091	7.06
2024-25	1,829.698	5.21
2025-26*	639.965	-0.95

1.2 एनर्जी मॅनेजमेंट (Energy Management)

- एनर्जी मॅनेजमेंट चा मूलभूत उद्देश म्हणजे किमान खर्च आणि किमान पर्यावरणीय परिणाम ठेवून वस्तू निर्माण करणे आणि सेवा प्रदान करणे. एनर्जी मॅनेजमेंट (Energy Management) या संज्ञेचे अनेकांना अनेक अर्थ होतात.

एनर्जी मॅनेजमेंटची (Energy Management) एक व्याख्या अशी आहे:

"नफा वाढवण्यासाठी (किंवा खर्च कमी करण्यासाठी) आणि स्पर्धात्मकता सुधारण्यासाठी एनर्जीचा विवेकी आणि प्रभावी वापर."

(Cape Hart, Turner and Kennedy, Guide to Energy Management, Fairmont Press Inc., 1997)

- आणखी एक सर्वसमावेशक व्याख्या अशी आहे:
"उत्पादनाच्या प्रत्येक युनिटसाठी लागणारी एनर्जीकमी करण्यासाठी, आणि एकूण उत्पादन खर्च स्थिर ठेवण्यासाठी किंवा कमी करण्यासाठी, एनर्जी सिस्टिम्स (Energy Systems) आणि प्रक्रिया (Procedures) यांचे समायोजन आणि ऑप्टिमायझेशन करण्याची धोरणे."
- एनर्जी मॅनेजमेंटचे (Energy Management) उद्दिष्ट म्हणजे संस्थेमध्ये एनर्जीखरेदी आणि वापर यांचे सर्वोत्तम नियोजन साध्य करणे आणि त्याचे पालन करणे. त्यामध्ये:
 - उत्पादन व गुणवत्ता न बिघडता एनर्जीखर्च / एनर्जीवाया जाणे कमी करणे
 - पर्यावरणीय परिणाम कमी करणे
 - एनर्जी एफिशन्सी (Energy Efficiency):
समान कार्य करण्यासाठी कमी एनर्जीवापरणे. म्हणजेच आउटपुट समान ठेवून इनपुट एनर्जीकमी करणे.

उदाहरणार्थ, लाइट एमिटिंग डायोड्स (LED) हे पारंपरिक इन्कॅन्डेसेंट बल्ब्स (Incandescent Bulbs) पेक्षा ७५% कमी एनर्जीवापरतात, परंतु प्रकाश (Light Output) मात्र समान मिळतो.

1.2.1 एनर्जी कन्झर्वेशन (Energy Conservation) आणि एनर्जी ऑडिट (Energy Audit)

- **एनर्जी कन्झर्वेशन (Energy Conservation)**- एनर्जी कन्झर्वेशन म्हणजे एनर्जीचा वापर कमी करण्याची पद्धत. यात समान सेवा मिळण्यासाठी कमी एनर्जीवापरणे, कमी एनर्जीलागणारी उपकरणे वापरणे, किंवा एनर्जीसेवांची गरज कमी करणे यांचा समावेश होतो. हे विविध मार्गांनी साध्य करता येते, जसे की एनर्जी-एफिशन्सी डिवायसेस (Energy-Efficient Devices) वापरणे आणि रिन्युएबल एनर्जी सोर्सेस (Renewable Energy Sources) उपयोग करणे.
- **एनर्जी ऑडिट (Energy Audit)**- एनर्जी ऑडिट म्हणजे इमारत, उद्योग, प्रक्रिया किंवा कोणत्याही सिस्टिम मधील एनर्जी फ्लोस् (Energy Flows) आणि एनर्जी कन्झमप्शनचे (Energy Consumption) पद्धतशीर निरीक्षण, सर्वेक्षण आणि विश्लेषण.
एनर्जीलेखापरीक्षांचा मुख्य उद्देश म्हणजे एनर्जी कन्झर्वेशनच्या संधी ओळखणे, एनर्जी एफिशन्सी (Energy Efficiency) वाढवणे आणि आउटपुट, आराम किंवा सुरक्षा न बिघडवता एनर्जीवापर कमी करण्यासाठी किफायतशीर उपाय सुचवणे.
- **एनर्जी कन्झर्वेशन आणि एनर्जी ऑडिटची गरज (Need for Energy Conservation & Audit)**
 1. उत्सर्जन व कार्बन फूटप्रिंट (Carbon Footprint) कमी करणे
एनर्जी कन्झर्वेशनमुळे, विशेषतः जीवाश्म इंधनांवरील अवलंबित्व कमी होते. त्यामुळे हरितगृह वायूंचे उत्सर्जन कमी होते आणि एकूण कार्बन फूटप्रिंट कमी होते.
 2. एनर्जीखर्चात बचत (Reduced Energy Costs)
कमी एनर्जीवापरल्यामुळे व्यक्ती आणि संस्थांचे इलेक्ट्रिसिटी बिल कमी होते.
एनर्जी ऑडिटमुळे इन-इफिशन्सीज (Inefficiencies) शोधून त्यावर किफायतशीर उपाय (Cost-Effective Measures) सुचवले जातात.
 3. साधनसंपत्तीचे संरक्षण (Preservation of Resources)
रिन्युएबल नसलेले एनर्जीस्त्रोत मर्यादित आहेत. एनर्जी कन्झर्वेशनमुळे त्यांचा वापर आयुष्य वाढते आणि पुढील पिढ्यांसाठी उपलब्ध राहतो.
एनर्जी ऑडिटमुळे अनावश्यक एनर्जीवापराच्या क्षेत्रांची ओळख होते व त्यावर उपाययोजना करता येतात.
 4. एनर्जीवाया जाणे ओळखणे (Identifying Energy Waste)
एनर्जी ऑडिटमध्ये एनर्जीकोणत्या भागात अकार्यक्षमतेने किंवा अनावश्यकपणे वापरली जात आहे हे पद्धतशीररीत्या ओळखले जाते.
 5. एनर्जीबचतीच्या संधी (Energy Saving Opportunities – ESOs) शोधणे
एनर्जी ऑडिटमध्ये कार्यान्वयनीय पायऱ्या (Actionable Steps) आणि ESOs स्पष्टपणे सुचवले जातात.
 6. ऑपरेशनल खर्च कमी करणे (Reducing Operational Costs)
एनर्जी ऑडिटतून मिळालेल्या संवर्धन उपाययोजना लागू केल्याने उद्योग आणि व्यवसायांचे एनर्जी-संबंधित खर्च थेट कमी होतात, ज्यामुळे नफा आणि स्पर्धात्मकता वाढते.

1.2.2 एनर्जी कन्झर्वेशन (Energy Conservation) आणि एनर्जी ऑडिट (Energy Audit) यांतील फरक

वैशिष्ट्य	एनर्जी कंझर्वेशन	एनर्जी ऑडिट
डेफिनिशन	एनर्जीवापर कमी करण्यासाठी इफिशन्सी पद्धतीने एनर्जीवापरण्याची पद्धत.	सिस्टिम तील एनर्जीप्रवाह (Energy Flows) विश्लेषित करून कंझर्वेशनच्या संधी शोधण्याची पद्धतशीर प्रक्रिया.
ऑब्जेक्टिव्ह	चांगल्या सवयी अंगीकारून किंवा एफिशन्सी इक्विपमेंट (Efficient Equipment) वापरून एनर्जीवापर कमी करणे.	एनर्जीवापराचे मूल्यमापन (Evaluation), लॉसेस (Losses) ओळखणे आणि सुधारणा सुचवणे.
नेचर	सतत चालणारी आणि सक्रिय (Proactive) प्रक्रिया.	कालांतराने (Periodic) केली जाणारी आणि विश्लेषणात्मक (Analytical) प्रक्रिया.
अप्रोच	वर्तनात्मक बदल (Behavioural Changes), उपकरणे अपग्रेड करणे आणि इफिशन्सी तंत्रज्ञान (Efficient Technologies) अवलंबणे.	डेटा संकलन (Data Collection), मोजमाप (Measurements) आणि विद्यमान एनर्जीवापराचे विश्लेषण (Analysis).
आउटकम	एनर्जीखर्च कमी होणे आणि पर्यावरणीय परिणाम घटणे.	एनर्जीइफिशन्सी (Efficiency) वाढवण्यासाठी तपशीलवार शिफारसी (Recommendations) असलेला अहवाल.
रिक्वायरमेंट	तांत्रिक कौशल्य आवश्यक नसू शकते.	विशिष्ट तांत्रिक ज्ञान आणि प्रशिक्षित कर्मचारी (Trained Personnel) आवश्यक.
एक्झॅम्पल्स	न वापरलेली उपकरणे बंद करणे, LED बल्ब वापरणे.	उपकरणाच्या एनर्जीवापराचे मोजमाप करणे, सिस्टिम तील इन-इफिशन्सीज (Inefficiencies) शोधणे.

1.3 एनर्जी कंझर्वेशन ऍक्ट 2001 (Energy Conservation Act 2001)

- धोरण आराखडा (Policy Framework) – एनर्जी कंझर्वेशन ऍक्ट (Energy Conservation Act) – 2001
- एनर्जी कंझर्वेशनची मोठी क्षमता, त्या माध्यमातून होणारे लाभ, मागणी आणि पुरवठा (Demand-Supply) यांतील अंतर कमी करणे, एनर्जीबचतीमुळे पर्यावरणीय उत्सर्जन (Environmental Emissions) कमी करणे, आणि या सर्वांतील अडथळे प्रभावीपणे दूर करण्यासाठी भारतीय सरकारने एनर्जी कंझर्वेशन ऍक्ट - 2001 (Energy Conservation Act – 2001) लागू केला आहे.
या अधिनियमाद्वारे एनर्जी इफिशन्सीसाठी आवश्यक असलेला कायदेशीर चौकट (Legal Framework) आणि संस्थात्मक यंत्रणा (Institutional Arrangement) उपलब्ध करून दिली आहे.
- या अधिनियमाच्या तरतुदीनुसार, ब्युरो ऑफ एनर्जी इफिशन्सी (Bureau of Energy Efficiency – BEE) ची स्थापना 1 मार्च 2002 पासून करण्यात आली असून, पूर्वीचे एनर्जीव्यवस्थापन केंद्र (Energy Management Centre) – एनर्जीमंत्रालयाखालील – यामध्ये विलीन करण्यात आले.
ब्युरो ऑफ एनर्जी इफिशन्सी (BEE) हे धोरणात्मक कार्यक्रमांची अंमलबजावणी (Policy Programme

Implementation) करणे आणि एनर्जी कंझर्वेशनशी संबंधित सर्व उपक्रमांचे समन्वय (Coordination) करणे यासाठी जबाबदार आहे.

• एनर्जी कंझर्वेशन ऍक्ट ची (Energy Conservation Act) महत्त्वपूर्ण वैशिष्ट्ये

1. स्टँडर्ड्स आणि लेबलिंग (Standards and Labeling)

- स्टँडर्ड्स आणि लेबलिंग (Standards and Labeling) (S & L) ही एनर्जी इफिशिन्सी (Energy Efficiency) सुधारण्यासाठी एक महत्त्वपूर्ण उपक्रम म्हणून ओळखली जाते. हा कार्यक्रम प्रभावीपणे लागू झाल्यानंतर, ग्राहकांना केवळ एनर्जी-इफिशियंट (energy-efficient) उपकरणे आणि साधने उपलब्ध होतील.
- स्टँडर्ड्स आणि लेबलिंग (Standards and Labeling) संबंधी EC Act मधील प्रमुख तरतुदी:
- नोटिफाइड इक्विपमेंट आणि अप्लायन्सेससाठी मिनिमम एनर्जी कंझम्पशन (Minimum energy consumption) आणि परफॉर्मन्स स्टँडर्ड्स (Performance standards) तयार करणे.
- या मानकांशी सुसंगत नसलेल्या उपकरणांचे मॅन्युफॅक्चर (Manufacture), सेल (Sale) किंवा इम्पोर्ट (Import) बंदी करणे.
- अधिसूचित उपकरणे/साधनांसाठी बंधनकारक लेबलिंग स्कीम (Labeling scheme) लागू करणे, जेणेकरून ग्राहकांना वस्तू खरेदी करताना योग्य माहिती मिळेल.

2. डिझिग्रेटेड कंझ्युमर्स (Designated Consumers)

- EC Act मधील डिझिग्रेटेड कंझ्युमर्ससंबंधी तरतुदी:
- एनर्जी-इंटेंसिव इंडस्ट्रीज (Energy-intensive industries) आणि इतर प्रतिष्ठाने यांना डिझिग्रेटेड कंझ्युमर्स (Designated Consumers) म्हणून अधिसूचित करेल.
- अधिनियमाच्या अनुसूचीमध्ये रेल्वेज (Railways), पोर्ट ट्रस्ट (Port Trust), ट्रान्सपोर्ट सेक्टर (Transport Sector), पॉवर स्टेशनस् (Power Stations), ट्रान्समिशन अँड डिस्ट्रिब्युशन कंपनियज (Transmission & Distribution Companies), कमर्शियल बिल्डिंग्ज (Commercial Buildings), इत्यादी एनर्जी-इंटेंसिव इंडस्ट्रीज (Energy-intensive industries) चा समावेश आहे.
- डिझिग्रेटेड कंझ्युमर्स (Designated Consumers) ने अक्रेडिटेड एनर्जी ऑडिटर (Accredited energy auditor) कडून एनर्जी ऑडिट (Energy Audit) करून घ्यावे.
- नियोजित पात्रताधारक एनर्जी मॅनेजर (Energy Manager) यांची नियुक्ती करणे आवश्यक आहे.
- एनर्जीवापराचे निर्धारित नॉर्म्स आणि स्टँडर्ड्स (Norms and standards) पालन करणे बंधनकारक आहे.

3. एनर्जी मॅनेजर्सचे सर्टिफिकेशन आणि एनर्जी ऑडिट कंपन्यांचे अक्रेडिटेशन (Certification of Energy Managers & Accreditation of Energy Auditing Firms)

- या उपक्रमांतर्गत, पॉलिसी अँडालिसिस (Policy Analysis), प्रोजेक्ट मॅनेजमेंट (Project Management), फायनान्सिंग (Financing), आणि एनर्जी एफिशिन्सी प्रोजेक्ट इम्प्लिमेंटेशन (Energy Efficiency Project Implementation) मध्ये तज्ज्ञ असलेल्या एनर्जी मॅनेजर (Energy Manager) आणि एनर्जी ऑडिटर (energy auditor) चा एक प्रशिक्षित गट तयार केला जाईल.
- BEE प्रशिक्षण मॉड्यूल तयार करेल आणि नॅशनल लेव्हल एक्झामिनेशन (National Level Examination) घेऊन प्रमाणपत्र देईल.

4. एनर्जी कंझर्वेशन बिल्डिंग कोड्स (Energy Conservation Building Codes) (ECBC)

- EC Act मधील ECBC संबंधी तरतुदी:

- BEE एनर्जी कंझर्वेशन बिल्डिंग कोड्स साठी मार्गदर्शक तत्वे तयार करेल.
- संबंधित राज्ये हवामान परिस्थितीनुसार या संहिता अधिसूचित करतील.
- या संहितेअंतर्गत येणाऱ्या व्यावसायिक इमारतींची कनेक्टेड लोड (Connected load) किमान 500 kW किंवा कॉन्ट्रॅक्ट डिमांड (Contract demand) 600 kVA पेक्षा जास्त असावी.
- विशिष्ट व्यावसायिक इमारतींचे एनर्जी ऑडिट (Energy Audit) अनिवार्य केले जाईल.

5. सेंट्रल एनर्जी कंझर्वेशन फंड (Central Energy Conservation Fund)

- या फंडाचा उद्देश मोठ्या प्रमाणावर एनर्जी इफिशन्सी सर्व्हिसेस (energy efficiency services) प्रदान करणे, ज्यात परफॉर्मन्स कॉन्ट्रॅक्टिंग (Performance Contracting), आणि एनर्जी सर्व्हिस कंपनियज (Energy Service Companies) (ESCOs) ला प्रोत्साहन देणे समाविष्ट आहे.
- फंड R&D, डेमॉन्स्ट्रेशन प्रोजेक्ट्स (Demonstration Projects), आणि इफिशंट इक्विपमेंट (Efficient Equipment) च्या प्रसाराला गती देईल.

6. सेंट्रल आणि स्टेट गव्हर्नमेंट्स ची भूमिका

- स्टेट गव्हर्नमेंट्स:
- अधिनियमाच्या विविध तरतुदीनुसार नियम आणि विनियम अधिसूचित करणे.
BEE आणि EC Fund साठी आर्थिक साहाय्य देणे.
राज्य सरकारांशी कार्यवाही, अंमलबजावणी आणि दंड प्रक्रियेबाबत समन्वय करणे.
- स्टेट गव्हर्नमेंट्स:
- स्थानिक परिस्थितीनुसार एनर्जी कंझर्वेशन बिल्डिंग कोड्स (Energy Conservation Building Codes) मध्ये सुधारणा करणे.
राज्यस्तरीय एजन्सीची नियुक्ती करून अधिनियमाची अंमलबजावणी करणे.
State Energy Conservation Fund स्थापन करणे.
- चाचणीसाठी आवश्यक सुविधा निर्माण करणे आणि जनजागृती करणे.

7. सेल्फ-रेग्युलेशनद्वारे अंमलबजावणी (Enforcement through Self-Regulation)

- E.C. Act अंतर्गत फक्त दोन बाबींमध्ये प्रत्यक्ष तपासणी आवश्यक आहे.
Accredited Energy Auditors द्वारे उत्पादन प्रक्रियेसाठी एनर्जीवापराचे प्रमाणपत्र देणे हे नियमपालन सुनिश्चित करण्याचे साधन आहे.
उत्पादकांनी जाहीर केलेली एनर्जी परफॉर्मन्स व्हॅल्यूज (Energy Performance Values)
- प्रयोगशाळांमध्ये तपासली जातील.
कोणताही उत्पादक किंवा ग्राहक BEE कडे मूल्यांच्या चाचणीसाठी तक्रार करू शकतो.

8. दंड आणि न्यायनिर्णय प्रक्रिया (Penalties and Adjudication)

- प्रत्येक गुन्ह्यासाठी ₹10,000 इतका दंड आणि त्यानंतरची प्रत्येक दिवसाची ₹1,000 दंड रक्कम लागू असेल.
- प्रारंभिक 5 वर्षे अंमलबजावणीसाठी पायाभूत सुविधा निर्माण करण्याचा कालावधी असेल; या काळात दंडात्मक कारवाई केली जाणार नाही.
- दंड प्रकरणांची चौकशी करण्यासाठी अधिकार State Electricity Regulatory Commission कडे असून, ते आपल्या एखाद्या सदस्याला Adjudicating Officer म्हणून नियुक्त करतील.

1.4 ब्यूरो ऑफ एनर्जी एफिशिएंसीची (Bureau of Energy Efficiency – BEE)

- ब्यूरो ऑफ एनर्जी एफिशिएंसी (BEE) हे भारत सरकारने एनर्जी कंझर्वेशन ऍक्ट (Energy Conservation Act – 2001) अंतर्गत स्थापन केलेले एक वैधानिक संस्था (Statutory Body) आहे. हा अधिनियम 1 मार्च

2002 रोजी लागू झाला. BEE हे मिनिस्ट्री ऑफ पॉवर (Ministry of Power) अंतर्गत कार्य करते आणि देशातील सर्व आर्थिक क्षेत्रांमध्ये एनर्जी इफिशन्सी (Energy Efficiency) व एनर्जी कन्झर्वेशन (Energy Conservation) वाढवणे ही त्याची मुख्य जबाबदारी आहे, ज्यामुळे एनर्जी इंटेंसिटी (Energy Intensity) आणि पर्यावरणीय परिणाम कमी होतात.

- BEE चे ध्येय म्हणजे देशात एनर्जी इफिशन्सी सर्व्हिसेस (Energy Efficiency Services) संस्थात्मक करणे, प्रभावी डिलिव्हरी मेकॅनिझम्स (Delivery Mechanisms) विकसित करणे आणि सर्व क्षेत्रांमध्ये एनर्जी इफिशन्सी (Energy Efficiency) वाढवण्यासाठी नेतृत्व प्रदान करणे. त्याचे प्रमुख उद्दिष्ट म्हणजे भारतीय अर्थव्यवस्थेतील एनर्जी इंटेंसिटी (Energy Intensity) कमी करणे.
- BEE च्या कार्याची सामान्य देखरेख (General Superintendence), दिशानिर्देश (Directions) आणि व्यवस्थापन (Management) हे गव्हर्निंग कौन्सिल (Governing Council) कडे असते. या कौन्सिलमध्ये एकूण 26 सदस्य असतात. युनियन मिनिस्टर ऑफ पॉवर (Union Minister of Power) हे कौन्सिलचे अध्यक्ष असतात. कौन्सिलमध्ये विविध मंत्रालयांच्या सचिवांचा समावेश असतो, मंत्रालयांखालील तांत्रिक संस्थांचे CEO, उपकरणे व उपकरण उत्पादक, उद्योग, आर्किटेक्ट्स, ग्राहक प्रतिनिधी तसेच पाच विभागीय पॉवर रीजन (Power Regions) मधील राज्यांचे प्रतिनिधी सामील असतात. डायरेक्टर जनरल (Director General) हे कौन्सिलचे एक्स-ऑफिसिओ मॅम्बर-सेक्रेटरी (Ex-officio Member-Secretary) असतात.
- प्रारंभी BEE ला केंद्र सरकारकडून बजेटरी ग्रॅन्ट्स (Budgetary Grants) द्वारे आर्थिक सहाय्य दिले जाईल. परंतु, 5-7 वर्षांमध्ये ही संस्था स्वयंपूर्ण होईल. आपली कर्तव्ये पार पाडण्यासाठी BEE ला योग्य फी (Fee) आकारण्याचा अधिकार असेल. तसेच BEE सेंट्रल एनर्जी कन्झर्वेशन फंड (Central Energy Conservation Fund) आणि इतर स्त्रोतांकडून मिळालेल्या निधीचा वापर एनर्जी इफिशन्सी प्रोजेक्ट्स (Energy Efficiency Projects) साठी नवीन प्रकारच्या वित्तपुरवठ्यात करेल, ज्यामुळे एनर्जी इफिशन्सी गुंतवणूक वाढेल.

1.4.1 ब्यूरो ऑफ एनर्जी एफिशिएंसीची (BEE) उद्दिष्टे

BEE ची प्रमुख उद्दिष्टे खालीलप्रमाणे आहेत:

- भारतीय अर्थव्यवस्थेतील एनर्जी इंटेंसिटी (Energy Intensity) कमी करणे.
- एनर्जी इफिशन्सी (Energy Efficiency) आणि एनर्जी कन्झर्वेशन (Energy Conservation) यासाठी धोरणे व रणनीती तयार करणे.
- विविध क्षेत्रांमध्ये एनर्जी एफिशियंट टेक्नॉलॉजीज (Energy-efficient Technologies) व पद्धती प्रोत्साहित करणे.
- स्टँडर्ड्स अँड लेबलिंग प्रोग्राम्स (Standards and Labeling Programs) अंमलात आणणे.
- एनर्जी कन्झर्वेशन (Energy Conservation) बदल जनजागृती वाढवणे.
- एनर्जीव्यावसायिकांसाठी कॅपॅसिटी बिल्डिंग (Capacity Building) आणि प्रशिक्षण सुलभ करणे.
- एनर्जी ऑडिटिंग (Energy Auditing) व सर्टीफिकेशन (Certification) प्रोत्साहित करणे.
- एनर्जी इफिशन्सीचा प्रभावी वापर व कन्झर्वेशनसाठी धोरणे आणि कार्यक्रम तयार करणे.
- डिझिग्रेटेड कन्झ्युमर्स (Designated Consumers), डिझिग्रेटेड एजन्सीज (Designated Agencies) आणि इतर संस्थांसोबत समन्वय साधून एनर्जी इफिशन्सी (Energy Efficiency) उपक्रम राबवणे.

1.4.2 ब्यूरो ऑफ एनर्जी एफिशिएंसीची (BEE) भूमिका

- धोरणे आणि नियमावली तयार करणे (Formulating Policies and Regulations)

- BEE राष्ट्रीय स्तरावर एनर्जी इफिशन्सी (Energy Efficiency) वाढवण्यासाठी धोरणे आणि कार्यक्रम तयार करते. उद्योग, परिवहन, शेती आणि व्यावसायिक इमारती यांसारख्या विविध क्षेत्रांसाठी एनर्जीबचतीसाठी आवश्यक उपाय आणि स्टँडर्ड्स (Standards) सुचवण्यामध्ये त्याची महत्त्वाची भूमिका असते.
- स्टँडर्ड अँड लेबलिंग प्रोग्राम (Standard & Labeling Program)
- BEE च्या मार्गदर्शनाखालील स्टँडर्ड्स अँड लेबलिंग प्रोग्राम (Standards and Labeling Program) याद्वारे एअर कंडिशनर्स, रेफ्रिजरेटर्स, फॅन्स इत्यादी उपकरणांचे त्यांची एनर्जी इफिशन्सी (Energy Efficiency) पाहून रेटिंग (Rating) केले जाते. BEE स्टार लेबल (Star Label) ग्राहकांना एनर्जी एफिशंट इक्विपमेंट (Energy Efficient Equipment) निवडण्यास मदत करते, ज्यामुळे एकूण एनर्जीवापर कमी होतो.
- एनर्जी कंझर्वेशन बिल्डिंग कोड्स (Energy Conservation Building Code – ECBC)
- BEE ने ECBC (Energy Conservation Building Code) विकसित केली आहे, जी नवीन व्यावसायिक इमारतींसाठी किमान एनर्जी इफिशन्सीचे मानक निश्चित करते. याचा उद्देश इमारतींच्या एनर्जीवापरात कपात करणे व ऑप्टिमाइज्ड डिझाईन्स (Optimized Designs) आणि टेक्नॉलॉजीज (Technologies) वापरणे आहे.
- डिमांड साइड मॅनेजमेंट (Demand Side Management – DSM)
- BEE DSM (Demand Side Management) कार्यक्रमांना प्रोत्साहन देते, ज्याद्वारे एनर्जी एफिशंट इक्विपमेंट, औद्योगिक पद्धती आणि कृषी पंपांचा वापर वाढवून पीक लोड आणि एकूण एनर्जीवापर कमी केला जातो.
- एनर्जी इफिशन्सी फायनान्सिंग (Energy Efficiency Financing)
- BEE वित्तीय संस्थांसोबत मिळून एनर्जी इफिशन्सी प्रोजेक्ट्स (Energy Efficiency Projects) साठी फायनान्सिंग चे मॉडेल्स तयार करते. तसेच ESCOS (Energy Service Companies) च्या विकासाला समर्थन करते आणि एनर्जी परफॉर्मन्स कॉन्ट्रॅक्टिंग (Energy Performance Contracting) यंत्रणांना प्रोत्साहन देते.
- क्षमता विकास आणि जनजागृती (Capacity Building and Awareness)
- BEE विविध ट्रेनिंग प्रोग्राम्स (Training Programs), कार्यशाळा आणि मोहिमा आयोजित करते ज्याद्वारे उद्योग, संस्था आणि व्यावसायिकांची क्षमता वाढवली जाते. तसेच ग्राहकांमध्ये एनर्जीबचतीची सवय निर्माण करण्यासाठी पब्लिक अवेअरनेस कॅम्पेन्स (Public Awareness Campaigns) चालवते.
- राज्य स्तरावरील नियुक्त संस्थांना मदत (Support to State Designated Agencies – SDAs)
- BEE प्रत्येक राज्यातील SDAs (State Designated Agencies) यांना प्रादेशिक स्तरावर एनर्जी कंझर्वेशन कार्यक्रम राबवण्यासाठी तांत्रिक आणि आर्थिक सहाय्य प्रदान करते.
- सूक्ष्म, लघु आणि मध्यम उद्योग कार्यक्रम (SME Program)
- BEE SMEs (Small and Medium Enterprises) सोबतही कार्य करते. अनेक SMEs कडे एनर्जीबचतीसाठी आवश्यक ज्ञान किंवा साधने नसतात. BEE त्यांना तांत्रिक सहाय्य, डेमोन्स्ट्रेशन प्रोजेक्ट्स (Demonstration Projects) आणि जनजागृती कार्यक्रमांद्वारे मदत करते.
- वाहतूक क्षेत्रातील एनर्जी इफिशन्सी (Energy Efficiency in Transport)
- BEE परिवहन क्षेत्रात एनर्जी इफिशन्सी पद्धतींचा प्रसार करते. वाहन निर्मिती आणि अन्य संबंधित संस्थांसोबत मिळून वाहनांची फ्युएल इफिशन्सी (Fuel Efficiency) सुधारण्यासाठी आणि सार्वजनिक वाहतूक वापरास प्रोत्साहन देते.

1.4.3 महाराष्ट्र एनर्जी डेव्हलपमेंट एजन्सी (MEDA)

- महाराष्ट्र एनर्जी डेव्हलपमेंट एजन्सी ही सोसायटीज रजिस्ट्रेशन अॅक्ट (Societies Registration Act, 1860) अंतर्गत 1985 मध्ये आणि बॉम्बे पब्लिक ट्रस्ट अॅक्ट (Bombay Public Trust Act, 1950) अंतर्गत 1987 मध्ये नोंदणीकृत झाली आहे.
- ही संस्था एम.एन.आर.ई. (MNRE – Ministry of New and Renewable Energy), भारत सरकार (GOI – Government of India) यांच्या अधिपत्याखाली कार्य करते.
- राज्य व केंद्र सरकारला नवीन आणि पुनर्प्राप्य एनर्जीस्त्रोत (New and Renewable Sources of Energy) व त्यासंबंधित तंत्रज्ञान (Technologies) विकसित व प्रोत्साहित करण्यासाठी, तसेच एनर्जी कंझर्वेशन (Energy Conservation) कार्यक्रम राबवण्यासाठी सहाय्य करते.
- MEDA ही पुनर्प्राप्य एनर्जीक्षेत्रातील स्टेट नोडल एजन्सी (State Nodal Agency) म्हणून आणि एनर्जी कंझर्वेशन क्षेत्रातील स्टेट डिझिगनेटेड एजन्सी (State Designated Agency) म्हणून कार्यरत आहे.
- विंड एनर्जी(Wind), बॅगस कोजनरेशन (Bagasse Cogeneration), स्मॉल हायड्रोइलेक्ट्रिक (Hydro), बायोमास (Biomass), जिओथर्मल एनर्जी (Geothermal), आणि वेव्ह एनर्जी(Wave Energy) यांसारख्या स्वच्छ आणि पर्यावरणपूरक एनर्जीस्त्रोतांचा शोध घेणे आणि त्यांचा विकास करण्यासाठी MEDA कटिबद्ध आहे.

1.4.4 MEDA ची भूमिका (Role of MEDA)

- MEDA विविध स्टेकहोल्डर्स (Stakeholders) साठी जनजागृती (Awareness), प्रशिक्षण (Training) आणि क्षमता बांधणी (Capacity Building) करण्याची अत्यंत महत्त्वाची जबाबदारी पार पाडते. असे प्रशिक्षण कार्यक्रम राबवण्यामागील प्रमुख उद्दिष्ट म्हणजे महाराष्ट्रात ईसीबीसी कंप्लायंट (ECBC Compliant) इमारतींची अंमलबजावणी सुलभ करणे.
- राज्यात कोड्समध्ये बदल करणे आणि त्यांची अंमलबजावणी (Enforcement) करण्याच्या प्रक्रियेपलीकडे, क्षमता बांधणी प्रशिक्षण उपक्रम संपूर्ण राज्यात एनर्जी कंझर्वेशन बिल्डिंग कोड (Energy Conservation Building Code – ECBC) विषयी जागृती निर्माण करण्यात महत्त्वाची भूमिका बजावतो.

1.4.5 MEDA च्या जबाबदाऱ्या (Responsibilities of MEDA)

- ईसीबीसी (ECBC) क्षमता बांधणी प्रशिक्षण कार्यशाळांसाठी कोणत्या प्रकारचे स्टेकहोल्डर्स (Stakeholders) आवश्यक आहेत हे ओळखणे.
- प्रशिक्षण कार्यशाळांसाठी संभाव्य ठिकाणे ओळखणे.
- प्रशिक्षण कार्यक्रम आयोजित करू शकणाऱ्या संस्थांची निवड करणे.
- अशा कार्यक्रमांसाठी लागणारी सर्व आर्थिक मदत MEDA कडून पुरविली जाईल.
- अशा कार्यक्रमांसाठी MEDA तर्फे स्पीकर्स (Speakers) देखील उपलब्ध करून दिले जाऊ शकतात.

1.4.6 मिनिस्ट्री ऑफ न्यू अँड रिन्युएबल एनर्जी

(MNRE – Ministry of New and Renewable Energy)

- एमएनआरई (MNRE) हे भारत सरकारचे नवीन आणि रिन्युएबल एनर्जीशी संबंधित सर्व विषयांसाठी नोडल मंत्रालय आहे.
- या मंत्रालयाचे व्यापक उद्दिष्ट म्हणजे देशाच्या एनर्जीगरजा पूर्ण करण्यासाठी न्यू अँड रिन्युएबल एनर्जी सोर्सेसचा विकास व प्रसार करणे.
- देशाच्या एनर्जीसुरक्षेबद्दल वाढत्या चिंतेमुळे नवीन आणि रिन्युएबल एनर्जीचे महत्त्व अलीकडच्या काळात अधिक वाढले आहे. 1970 च्या दशकात झालेल्या दोन मोठ्या तेलधक्क्यांनंतर एनर्जीस्वयंपूर्णता हा भारतातील नवीन आणि पुनर्प्राप्य एनर्जीविकासाचा मुख्य प्रेरक घटक ठरला.

- तेलाच्या किमतींतील अचानक वाढ, त्याच्या पुरवठ्याशी संबंधित अनिश्चितता आणि भरणा तुटीवर (Balance of Payments) झालेल्या प्रतिकूल परिणामामुळे कमिशन फॉर अॅडिशनल सोर्सेस ऑफ एनर्जी (CASE – Commission for Additional Sources of Energy) ची स्थापना मार्च 1981 मध्ये डिपार्टमेंट ऑफ सायन्स अँड टेक्नॉलॉजी (Department of Science & Technology) अंतर्गत करण्यात आली.
- या कमिशनवर धोरणे तयार करणे, त्यांची अंमलबजावणी आणि नवीन व पुनर्प्राप्य एनर्जीस्रोतांच्या विकासासाठी आवश्यक कार्यक्रम राबवण्याची तसेच संशोधन व विकास (R&D) वाढवण्याची जबाबदारी सोपवली गेली.
- सप्टेंबर 1982 मध्ये डीएनईएस (DNES – Department of Non-Conventional Energy Sources) नावाचे नवीन विभाग स्थापन करण्यात आले, ज्यामध्ये CASE चा समावेश करण्यात आला. 1992 मध्ये DNES चे रूपांतर मिनिस्ट्री ऑफ नॉन-कन्वेन्शनल एनर्जी सोर्सेस (Ministry of Non-conventional Energy Sources) मध्ये झाले.
- ऑक्टोबर 2006 मध्ये या मंत्रालयाचे नाव बदलून मिनिस्ट्री ऑफ न्यू अँड रिन्युएबल एनर्जी (MNRE – Ministry of New and Renewable Energy) असे ठेवण्यात आले.

1.4.7 मिनिस्ट्री ऑफ न्यू अँड रिन्युएबल एनर्जीची भूमिका (Role of MNRE)

- ग्रामीण, शहरी, औद्योगिक आणि व्यावसायिक क्षेत्रांतील ट्रान्सपोर्टेशन (Transportation), पोर्टेबल आणि स्टेशनरी अनुप्रयोगांसाठी नवीन आणि पुनर्प्राप्य एनर्जीसिस्टिम /उपकरणांचे संशोधन, डिझाइन, विकास, उत्पादन आणि तैनाती सुलभ करणे.
- टेक्नॉलॉजी मॅपिंग (Technology Mapping) आणि बेंचमार्किंग (Benchmarking) करणे.
- संशोधन, डिझाइन, विकास आणि उत्पादनासाठी आवश्यक थ्रस्ट एरियाज (Thrust Areas) ओळखणे आणि त्यांना प्रोत्साहन देणे.
- आंतरराष्ट्रीय पातळीशी सुसंगत स्टँडर्ड्स (Standards), स्पेसिफिकेशन्स (Specifications) आणि परफॉर्मन्स पॅरामीटर्स (Performance Parameters) तयार करणे व उद्योगांना त्यांचे पालन करण्यात मदत करणे.
- नवीन व पुनर्प्राप्य एनर्जीउत्पादने आणि सेवांच्या किमतींना आंतरराष्ट्रीय स्तरावर अनुरूप करणे आणि उद्योगांना ते साध्य करण्यात मदत करणे.
- योग्य आंतरराष्ट्रीय स्तरावरील क्वालिटी अशुरन्स अॅक्रेडिटेशन (Quality Assurance Accreditation) उपलब्ध करून देणे आणि उद्योगांना ते मिळविण्यास मदत करणे.
- उत्पादकांना नवीन आणि पुनर्प्राप्य एनर्जीउत्पादने आणि सेवांच्या कार्यप्रदर्शन पॅरामीटर्सबाबत सतत अभिप्राय देणे, जेणेकरून अल्पावधीत आंतरराष्ट्रीय स्तर गाठण्यासाठी सातत्यपूर्ण सुधारणा होऊ शकतील.
- उद्योगांना आंतरराष्ट्रीय स्तरावर स्पर्धात्मक बनविणे आणि फॉरेन एक्स्चेंज अर्नर (Foreign Exchange Earner) होण्यासाठी प्रोत्साहन देणे.
- नवीन आणि पुनर्प्राप्य एनर्जीउत्पादने व सेवांची देशाच्या एनर्जीसुरक्षितता आणि एनर्जीस्वयंपूर्णता ध्येयाशी सुसंगत तैनाती करण्यास आवश्यक क्षेत्रे ओळखणे.
- रिसोर्स सर्व्हे (Resource Survey), अॅसेसमेंट (Assessment), मॅपिंग (Mapping) आणि डिसेमिनेशन (Dissemination) करणे.
- स्वदेशी विकसित आणि उत्पादित नवीन व पुनर्प्राप्य एनर्जीउत्पादने आणि सेवांच्या तैनातीसाठी धोरण तयार करणे.
- खर्च-प्रतिस्पर्धी नवीन आणि पुनर्प्राप्य एनर्जीपुरवठा पर्याय उपलब्ध करून देणे.

1.5 स्टार लेबलिंग: आवश्यकता, महत्त्व आणि फायदे

(Star Labelling: Need, Significance and Benefits)

- स्टार लेबलिंग (Star Labelling) हा कार्यक्रम ब्युरो ऑफ एनर्जी इफिशन्सी (BEE – Bureau of Energy Efficiency) यांनी, एनर्जीमंत्रालयाच्या अंतर्गत, ग्राहकांना एनर्जी एफिशंट इक्विपमेंट (Energy Efficient Equipment) निवडता यावीत यासाठी सुरू केला आहे.
- या योजनेत उपकरणांना त्यांच्या एनर्जीखपताच्या आधारे 1 स्टार ते 5 स्टार अशी रेटिंग दिली जाते.
 - 5 स्टार = सर्वाधिक एनर्जी एफिशंट (Energy Efficient)
 - 1 स्टार = सर्वात कमी एनर्जी एफिशंट (Energy Efficient)
- यामुळे ग्राहकांना एनर्जीबचत करणारी उपकरणे ओळखणे सोपे होते.
- स्टार लेबलिंगमुळे देशातील एकूण एनर्जीवापर कमी होतो आणि इलेक्ट्रिसिटीबिलांमध्ये बचत होते.

1.5.1 स्टार लेबलिंगची गरज (Need for Star Labeling)

- एकूण एनर्जीवापर कमी करणे – घरे, कार्यालये आणि उद्योगांमध्ये विद्युत उपकरणांचा वापर वाढल्यामुळे इलेक्ट्रिसिटी (Electricity) ची मागणी मोठ्या प्रमाणात वाढली आहे. एनर्जी एफिशंट इक्विपमेंट (Energy Efficient Equipment) वापरण्यास प्रोत्साहन देण्यासाठी स्टार लेबलिंग महत्त्वाची भूमिका बजावते.
- ग्राहक जागरूकता – अनेक ग्राहकांना त्यांच्या उपकरणांचा एनर्जी कन्झंप्शन (Energy Consumption) किती आहे याची माहिती नसते. स्टार लेबलिंग स्पष्ट आणि समजण्यास सोपी माहिती देते, ज्यामुळे ग्राहक सुजाण निर्णय घेऊ शकतात.
- इलेक्ट्रिसिटीबिलात बचत – जास्त स्टार असलेली उपकरणे कमी एनर्जीवापरतात, त्यामुळे वापरकर्त्यांना कमी इलेक्ट्रिसिटीबिल भरावे लागते.
- पर्यावरण संरक्षण – एनर्जी एफिशंट इक्विपमेंट (Energy Efficient Equipment) मुळे फॉसिल फ्युएल्स (Fossil Fuels) ची जळण कमी होते, ज्यामुळे ग्रीनहाऊस गॅस (Greenhouse Gas) उत्सर्जन कमी होते आणि क्लायमेट चेंज (Climate Change) वर नियंत्रण मिळते.
- राष्ट्रीय एनर्जीसुरक्षितता – प्रभावी उपकरणांमुळे एनर्जीमागणी कमी होते, ज्यामुळे पॉवर प्लांट्स (Power Plants) व एनर्जीआयातीवरील दडपण कमी होते.
- उत्पादकांना प्रोत्साहन – स्पर्धात्मक राहण्यासाठी उत्पादक अधिक एनर्जी एफिशंट इक्विपमेंट (Energy Efficient Equipment) विकसित करण्यास प्रवृत्त होतात.

1.5.2 स्टार लेबलिंगचे फायदे (Benefits of Star Labeling)

1. एनर्जीबचत – स्टार-रेटेड उपकरणे कमी एनर्जीवापरतात, ज्यामुळे घरगुती आणि व्यावसायिक क्षेत्रात दीर्घकालीन बचत होते.
2. खर्च-प्रभावी – जरी जास्त स्टार असलेल्या उपकरणांची किंमत जास्त असली, तरी कमी इलेक्ट्रिसिटीबिलामुळे ती दीर्घकाळात फायदेशीर ठरतात.
3. सुलभ तुलना – स्टार लेबलमुळे विविध ब्रँडच्या सारख्या उपकरणांची एनर्जी इफिशन्सी (Energy Efficiency) सहजपणे तुलना करता येते.
4. पर्यावरणपूरक निवड – एनर्जी एफिशंट इक्विपमेंट (Energy Efficient Equipment) मुळे कार्बन फुटप्रिंट (Carbon Footprint) कमी होते.
5. सरकारी विश्वसनीयता – स्टार लेबलिंग हा सरकारी मान्यताप्राप्त कार्यक्रम असल्यामुळे ग्राहकांमध्ये उत्पादनाबद्दल विश्वास वाढतो.

6. बाजारातील सकारात्मक बदल – ग्राहक एनर्जी इफिशन्सी कडे वळल्यामुळे उपकरणांच्या डिझाइनमध्ये सुधारणा आणि नवीन तंत्रज्ञान विकसित होते.

1.6 एनर्जी कंझर्वेशनचे फायदे (Benefits of Energy Conservation)

1. **देशासाठी आर्थिक बचत**- भारत सुमारे 75% कच्चे ऑइल आयात करतो, ज्यावर अंदाजे ₹1,50,000 कोटी खर्च होतो. एनर्जीबचतीमुळे आयातीवरील अवलंबित्व कमी होते आणि देशाचा पैसा वाचतो.
2. **वैयक्तिक आर्थिक बचत**- एनर्जी इफिशन्सी वापरामुळे इलेक्ट्रिसिटीबिल कमी येते आणि LPG सिलिंडर (LPG Cylinder) जास्त काळ टिकतात.
3. **बहुतांश एनर्जीस्त्रोत नॉन-रिन्युएबल (Non-Renewable)** आहेत- आपल्या इंधन वापरामधील सुमारे 80% वाटा नॉन-रिन्युएबल स्त्रोतांचा आहे, जे केवळ पुढील काही दशकांपर्यंतच टिकू शकतात.
4. **एनर्जी कंझम्पशन (Energy Consumption) > एनर्जी प्रोडक्शन (Energy Production)**- आपण एनर्जी तिच्या पुनर्भरणाच्या वेगापेक्षा जास्त वेगाने वापरतो. कोळसा (Coal), खनीज ऑइल (Oil) आणि नैसर्गिक वायू (Natural Gas) तयार होण्यासाठी हजारो वर्षे लागतात.
5. **इफिशन्सी वापरामुळे मेहनत कमी होते**- उदा., इंधन लाकूड इफिशन्सीने वापरल्यास त्याचे संकलन करण्याचा वेळ आणि श्रम दोन्ही कमी होतात.
6. **सेव्हिंग एनर्जी (Saving Energy) = प्रोड्यूसिंग एनर्जी (Producing Energy)**- घरेलू पातळीवर 1 युनिट एनर्जीबचत करणे म्हणजे उत्पादन व वहनातील नुकसानीमुळे प्रत्यक्षात 2 युनिट एनर्जीनिर्माण करण्याइतकेच महत्त्वाचे असते.
7. **स्वच्छ हवा व निरोगी पर्यावरण**- एनर्जीवापरामुळे 83% पेक्षा जास्त ग्रीनहाऊस गॅस (Greenhouse Gas) उत्सर्जन होते. एनर्जीबचतीमुळे प्रदूषण कमी होते.
8. **एनर्जी सोर्सस मर्यादित आहेत**- जागतिक एनर्जी सोर्सस पैकी भारताकडे फक्त 1% हिस्सा आहे, पण लोकसंख्या 16% आहे. त्यामुळे एनर्जी कंझर्वेशन अत्यावश्यक आहे.

1.7 एनर्जी कंझर्वेशन बिल्डिंग कोड (Energy Conservation Building Codes) (ECBC)

- नवीन व्यावसायिक इमारतींमध्ये एनर्जी इफिशन्सीत सुधारणा करण्यासाठी एनर्जी कंझर्वेशन बिल्डिंग कोड (ECBC) तयार करण्यात आला.
- Ministry of Power (MoP), Government of India ने मे 2007 मध्ये हा कोड लागू केला, जो व्यावसायिक इमारतींमध्ये एनर्जीबचतीच्या दिशेने पहिला पाऊल आहे.
- ECBC हा 100 kW connected load किंवा 120 kVA contract demand असलेल्या नवीन इमारतींवर लागू होतो.
- या कोडची अंमलबजावणी केल्याने पॅसिव्ह डिझाइन स्ट्रॅटेजीज (Passive design strategies) आणि डे लाईट इंटीग्रेशन (Daylight integration) वापरून इमारतीतील रहिवाशांना अधिक आराम मिळतो.
- हा कोड टेक्नॉलॉजिकल न्यूट्रल (Technologically neutral) आहे आणि रिन्युएबल एनर्जीप्रोत्साहित करतो तसेच लाईफ सायकल कॉस्ट (Life cycle cost) कमी करण्यावर भर देतो.
- ECBC 2017 या अद्ययावत कोडमध्ये रिन्युएबल एनर्जीसमावेश, सोपी नियमपालन प्रक्रिया, Passive design चा अधिक वापर आणि डिझायनर्ससाठी लवचिकता वाढविण्यात आली आहे.
- ECBC विविध क्लायमॅटिक रीजन्स (Climatic regions) लक्षात घेऊन इमारतींच्या घटकांसाठी एनर्जी इफिशन्सीचे निकष ठरवतो, ज्यामुळे एनर्जीवापर कमी होतो आणि रहिवाशांच्या आराम, आरोग्य किंवा उत्पादकतेवर परिणाम होत नाही.

- ECBC 2017 सार्वजनिक आणि खाजगी क्षेत्रांना किमान निकषांपेक्षा जास्त एनर्जी इफिशन्सीकडे वळण्यासाठी प्रोत्साहित करतो.
- भारतातील व्यावसायिक इमारतींचा क्षेत्र दरवर्षी सुमारे 9% दराने वाढत आहे आणि 2030 पर्यंत 50% इमारती नव्याने बांधल्या जाणार आहेत, त्यामुळे ECBC अत्यंत महत्वाचा आहे.
- ECBC 2007 मध्ये स्वेच्छा (Voluntary) उपाय म्हणून लागू करण्यात आला होता, ज्यामुळे वाढत्या व्यावसायिक इमारतींच्या एनर्जीवापरावर नियंत्रण ठेवण्यास मदत होते.

1.8 ग्रीन बिल्डिंग्स (Green Buildings)

- ग्रीन बिल्डिंग म्हणजे अशी इमारत जी पर्यावरणपूरक (Environment-friendly) आणि संसाधन-कार्यक्षम (Resource-efficient) पद्धतीने संपूर्ण जीवनचक्रात डिझाइन, बांधकाम आणि संचालन करते.
- ग्रीन बिल्डिंगमधील प्रमुख घटक:
 1. एनर्जी इफिशन्सी (Energy Efficiency)
 2. प्रकाशव्यवस्था, उपकरणे, डिझाइन आणि रिन्यूएबल एनर्जीवापरून एनर्जीकमी वापरली जाते.
 3. वॉटरकंजर्वेशन (Water Conservation)
 4. पाणी-बचत उपकरणे, वेस्टवॉटर रीसायकलिंग (Wastewater recycling) आणि रेनवॉटर हार्वेस्टिंग (Rainwater harvesting).
 5. साहित्य आणि संसाधने (Materials and Resources)
 6. पर्यावरणपूरक आणि पुनर्वापरयोग्य साहित्याचा वापर, बांधकामातील कचरा कमी करणे.
 7. आतील पर्यावरणाचा दर्जा (Indoor Environmental Quality)
 8. स्वच्छ हवा, नैसर्गिक प्रकाश आणि आरामदायी वातावरण सुनिश्चित करणे.
 9. जागेची टिकावूपणा (Site Sustainability)
 10. परिसरावर कमी परिणाम होईल अशा पद्धतीने इमारतीचे नियोजन—हिरवळ जपणे, पावसाच्या पाण्याचे व्यवस्थापन व योग्य स्थान निवड.

Sample Questions

Q.1 Define the terms: -

- (i) Energy conservation.
- (ii) Energy audit

Q.2 List any two functions of BEE.

Q.3 List any two functions of MEDA.

Q.4 List any two designated consumers as per Energy Conservation Act.

Q.5 Explain the National Scenario related to Energy demand and supply.

Q.6 Differentiate between primary and secondary energy sources.

Q.7 State any four advantages of energy audit.

Q.8 List any four salient features of energy conservation Act, 2001.

Q.9 State the need and benefit of star labelling.

Q.10 Why star labelling of equipment is required? Also state its benefits.

Q.11 State the role of MEDA in present energy scenario.

Q.12 Differentiate the star labelled electrical equipments from non-labelled electrical equipments on any four factors.

Q.13 State the difference between energy conservation and energy audit.

युनिट 2: एनर्जी कन्झर्वेशन इन इलेक्ट्रिकल मशीन्स (Unit II: Energy Conservation in Electrical Machines)

कोर्स आउटकम्स (Course Outcomes):

CO 2 - इलेक्ट्रिकल मशीन (Electrical machines) मध्ये एनर्जी कन्झर्वेशन टेक्निक्स (Energy conservation techniques) लागू करणे.

थिअरी लर्निंग आउटकम्स (TLO):

- TLO 2.1** इंडक्शन मोटर (Induction Motor) आणि ट्रान्सफॉर्मर (Transformer) मध्ये एनर्जी कन्झर्वेशनची गरज आणि महत्त्व सिद्ध करा.
- TLO 2.2** दिलेल्या थ्री-फेज इंडक्शन मोटर (Three-phase induction motor) साठी एनर्जी कन्झर्वेशन टेक्निक्स (Energy conservation techniques) सूचीबद्ध करणे.
- TLO 2.3** दिलेल्या ट्रान्सफॉर्मर (Transformer) साठी एनर्जी कन्झर्वेशन टेक्निक्स (Energy conservation techniques) वर्णन करणे.
- TLO 2.4** दिलेल्या एनर्जी कन्झर्वेशन इक्विपमेंट (Energy conservation equipment) ची प्रमुख फीचर्स (Features) आणि वर्किंग (Working) वर्णन करणे.
- TLO 2.5** एनर्जी-इफिशंट मोटर (Energy-efficient motor) आणि स्टँडर्ड मोटर (Standard motor) यांची तुलना करणे.
- TLO 2.6** एनर्जी-इफिशंट ट्रान्सफॉर्मर (Energy-efficient transformer) आणि स्टँडर्ड ट्रान्सफॉर्मर (Standard transformer) यांची तुलना करणे.
- TLO 2.7** कंप्रेसर (Compressors), पंप (Pumps), फॅन (Fans) आणि ब्लोअर्स (Blowers) मधील एनर्जी कन्झर्वेशन स्ट्रॅटेजीज (Energy conservation strategies) सांगणे.

इंट्रोडक्शन (Introduction):

- इंडस्ट्रियल आणि कमर्शियल सेक्टर्स मध्ये इलेक्ट्रिकल एनर्जी (Electrical energy) चा मोठा हिस्सा इलेक्ट्रिक मोटर्स (Electric motors) द्वारे वापरला जातो.
- त्यापैकी, थ्री-फेज स्किरल केज इंडक्शन मोटर्स (Three-phase squirrel cage induction motors) या त्यांच्या मजबूत कन्स्ट्रक्शन (Rugged construction) आणि सोप्या डिझाइनमुळे व्यापकपणे वापरल्या जातात, आणि आधुनिक उद्योगाचे आधारस्तंभ मानल्या जातात.
- या मोटर्सचा मोठ्या प्रमाणात वापर होत असल्याने, इंडक्शन मोटर्स (Induction motors) मधील एनर्जी इफिशन्सी (Energy efficiency) सुधारण्याचे महत्त्व अधिक वाढले आहे.
- या युनिटमध्ये मोटर्सचे परफॉर्मन्स (Motor performance) सुधारण्याच्या विविध एनर्जी कन्झर्वेशन टेक्निक्स (Energy conservation techniques) विषयी माहिती दिली आहे.
- तसेच, पारंपारिक मोटर्सच्या तुलनेत एनर्जी-इफिशंट मोटर्स (Energy-efficient motors) वापरण्याचे फायदे अधोरेखित केले आहेत, ज्यामुळे एफिशन्सी (Efficiency) प्रत्यक्षात वाढते.
- ट्रान्सफॉर्मर्स (Transformers) यांना अनेकदा इलेक्ट्रिकल पॉवर सिस्टिम (Electrical power system) चे "हृदय" म्हटले जाते, कारण ते प्रायमरी (Primary) आणि सेकंडरी (Secondary) वाइंडिंग्समधील मॅग्नेटिक कपलिंग (Magnetic coupling) द्वारे एनर्जीहस्तांतरित करतात.
- डिस्ट्रिब्युशन ट्रान्सफॉर्मर्स (Distribution transformers) सारखी उपकरणे दिवसभर सतत चालू राहून लोडला इलेक्ट्रिसिटी पुरवतात.

- जरी ते थेट पॉवर वापरत नसले, तरीही कोर लॉस (Core losses) सारखे इंटर्नल लॉसेस एनर्जीरूपांतरण प्रक्रियेदरम्यान सतत निर्माण होतात.
- पारंपारिकरित्या, ट्रान्सफॉर्मरचे लॉसेस कमी करण्यासाठी फारशी उपाययोजना केली जात नव्हती, कारण ते मोटर्स (Motors) सारख्या उपकरणांच्या तुलनेत अधिक इफिशन्सी मानले जात होते.
- मात्र वाढत्या एनर्जी कन्झर्वेशन (Energy conservation) च्या गरजेमुळे ट्रान्सफॉर्मर इफिशन्सी (Transformer efficiency) सुधारण्याकडे लक्ष दिले जाऊ लागले आहे.
- लो-लॉस डिझाईन्स (Low-loss designs) व अमॉर्फस मेटल (Amorphous metal) सारख्या प्रगत कोर मटेरियल्सच्या वापरामुळे ट्रान्सफॉर्मर्समध्ये लक्षणीय एनर्जीबचत शक्य झाली आहे.
- या युनिटमध्ये ट्रान्सफॉर्मर्ससाठी उपयुक्त असलेल्या विविध एनर्जी कन्झर्वेशन स्ट्रॅटेजीज (Energy conservation strategies) चे एकूण विवेचन केले आहे.

2.1 इंडक्शन मोटर (Induction Motor) मधील एनर्जी कन्झर्वेशनची गरज आणि महत्त्व

- जगभरात एनर्जीखर्च सतत वाढत आहे कारण मागणी सातत्याने वाढत आहे.
- 1990 च्या दशकातील बाजार खुलेपणानंतर, उद्योगांनी स्पर्धेत टिकून राहण्यासाठी उत्पादनखर्च कमी करण्याकडे अधिक लक्ष दिले आहे.
- विविध उपाययोजनांपैकी, एनर्जी कन्झर्वेशन हा ऑपरेशनल खर्च कमी करण्याचा सर्वात प्रभावी मार्ग ठरला आहे.
- इंडस्ट्रियल व कमर्शियल सेक्टर्सनी हे ओळखले आहे की इलेक्ट्रिक मोटर्स (Electric Motors) हे इलेक्ट्रिकल एनर्जीचे सर्वात मोठे ग्राहक आहेत, त्यामुळे इफिशन्सीत सुधारणा ही अत्यंत आवश्यक बाब ठरते.
- जागतिक पातळीवर, इलेक्ट्रिक मोटर्स (Electric Motors) आणि त्यांचे ड्राइव्ह सिस्टीम्स (Drive Systems) एकूण एनर्जीवापराच्या सुमारे 43-46% इतका वाटा घेतात, तसेच इंडस्ट्रियल क्षेत्रातील इलेक्ट्रिकल एनर्जीच्या सुमारे 70% वापर मोटर्सद्वारेच होतो.
- इनेफिशंट मोटर्स (Inefficient Motors) इलेक्ट्रिकल एनर्जीवाया घालवतात आणि ऑपरेटिंग खर्चही वाढवतात.
- याव्यतिरिक्त, या मोटर्सना इलेक्ट्रिकल एनर्जी सप्लाय करण्यासाठी वापरली जाणारी जास्तीत जास्त इलेक्ट्रिसिटी ही नॉन-रिन्यूएबल सोर्सेस (Non-renewable Sources) मधून तयार होणारी असल्याने ग्रीनहाउस गॅस (Greenhouse Gas) उत्सर्जन वाढते.
- म्हणूनच आर्थिक तसेच पर्यावरणीय दृष्टीकोनातून एनर्जी कन्झर्वेशन हे इलेक्ट्रिक मोटर सिस्टीम (Electric Motor System) साठी अत्यावश्यक आहे.
- मोटर एनर्जीवापराचे विविध क्षेत्रांमधील साधारण वाटप खालीलप्रमाणे आहे:

Table 2.1.2 shares of electrical energy use by motors in various sectors

क्षेत्र (Sector)	वाटा (%) Share (in %)	उपयोग (Applications)
इंडस्ट्रियल (Industrial)	70	प्रक्रिया व मटेरियल हँडलिंग उपकरणे (Processes and Material Handling Equipments)
कमर्शियल (Commercial)	38	मुख्यतः HVAC सिस्टिम (Mainly HVAC)

अग्रिकल्चरल (Agricultural)	25	शेती पंप आणि फॅन्स (Agriculture Pumps and Fans)
रेसिडेन्शियल (Residential)	22	रेफ्रिजरेटर्स / HVAC (Refrigerators / HVAC)
ट्रान्सपोर्ट (Transport)	60	रेल्वे (Railways)

- विविध एनर्जीवापर करणाऱ्या क्षेत्रांमध्ये मोटर्सचा मोठ्या प्रमाणावर (Widespread) वापर होत असल्यामुळे, वर दिलेल्या तक्त्यानुसार मोटर प्रणालींमध्ये (Motor systems) एनर्जी कंझर्वेशनचे (Energy conservation) अत्यंत मोठे संभाव्य क्षेत्र उपलब्ध आहे.

2.1.1 ट्रान्सफॉर्मर (Transformer) मध्ये एनर्जी कंझर्वेशनची गरज आणि महत्त्व (Need and Significance)

- ट्रान्सफॉर्मर्सची (Transformers) एनर्जी एफिशन्सी (Energy efficiency) सुधारल्यास संपूर्ण इलेक्ट्रिकल सिस्टम मधील (Electrical system) पॉवर लॉसेस (Power losses) कमी करण्यात मोठी मदत होते.
- फक्त डिस्ट्रीब्युशन नेटवर्क्स मध्ये (Distribution networks) ट्रान्सफॉर्मर्स सुमारे 40% एनर्जी लॉसेस साठी (Energy losses) जबाबदार असतात.
- ग्राहकाला दिली जाणारी प्रत्येक युनिट इलेक्ट्रिसिटी (Electricity) एक किंवा अधिक ट्रान्सफॉर्मर्समधून जाते. अनेक वेळा, जनरेशनपासून ट्रान्समिशन आणि वितरणापर्यंत (Generation → Transmission → Distribution) इलेक्ट्रिसिटी अनेक व्होल्टेज कन्व्हर्जन स्टेजेसमधून (Voltage conversion stages) पास होते. यातील किमान दोन स्टेजेस डिस्ट्रीब्युशन ट्रान्सफॉर्मर्सचे (Distribution transformers) असतात.
- प्रत्येक ट्रान्सफॉर्मर स्टेजमध्ये काही प्रमाणात पॉवर लॉस (Power loss) होतो. जर हे लॉसेस कमी केले, तर ग्रीनहाऊस गॅस एमिशनमध्ये (Greenhouse gas emissions) मोठी घट संभवते.
- आधुनिक डिस्ट्रीब्युशन ट्रान्सफॉर्मर्सची एफिशन्सी (Efficiency) 98-99% दरम्यान असते, परंतु रेसिडेन्शियल, कमर्शियल, इंडस्ट्रियल आणि ग्रामीण ग्राहकांना इलेक्ट्रिसिटी पुरवठा करणाऱ्या मोठ्या प्रमाणातील ट्रान्सफॉर्मर नेटवर्कमुळे अगदी छोटासा लॉसही (Loss) राष्ट्रीय तसेच जागतिक पातळीवर मोठ्या एनर्जीवायफळ वापरामध्ये परिवर्तित होतो.
- म्हणूनच, ट्रान्सफॉर्मर इफिशन्सीतील अगदी छोटासा सुधार (Improvement) देखील संपूर्ण इलेक्ट्रिसिटी ग्रीडमध्ये (Grid) लागू झाल्यास उत्पादन क्षमतेची (Generation capacity) मोठी बचत आणि पॉवर प्रोडक्शनशी संबंधित उत्सर्जनात (Emissions) लक्षणीय घट घडवू शकतो.
- ट्रान्सफॉर्मर्समधील कॉपर लॉस (Copper loss) आणि आयर्न लॉस (Iron loss) यांसारख्या विविध लॉसेसमध्ये (Losses) एनर्जीबचतीची मोठी संधी उपलब्ध आहे.

2.2 इंडक्शन मोटर (Induction Motor) मधील एनर्जी कंझर्वेशन टेक्निक्स (Energy Conservation Techniques)

- इंडक्शन मोटरमध्ये एनर्जी कंझर्वेशनसाठी खालील टेक्निक्स वापरली जातात:
- एनर्जीगुणवत्तेचा (Power quality) सुधार
- मोटर सर्व्हे (Motor survey)
- मोटर आणि लोडचे योग्य जुळवण (Matching motor with loading)
- मोटरचे रिकामे (Idle) किंवा अनावश्यक (Redundant) रनिंग कमी करणे

6. स्टार मोडमध्ये (Star mode) ऑपरेट करणे
7. मोटरचे रिवाइंडिंग (Rewinding), किंवा एनर्जी इफिशंट मोटरने (Energy efficient motor) बदलणे
8. पिरिऑडिक मेंटेनन्स (Periodic maintenance)
9. सेन्सर-बेस्ड मोटर्सचा (Sensor-based motors) वापर

2.2.1 पॉवर क्वालिटी (Power Quality) सुधारून एनर्जी कंझर्वेशन

- इंडक्शन मोटरचे (Induction motor) कार्यप्रदर्शन हे तीला मिळणाऱ्या पॉवर क्वालिटीवर (Power quality) मोठ्या प्रमाणात अवलंबून असते.
- पॉवर क्वालिटीवर परिणाम करणारे महत्वाचे घटक म्हणजे व्होल्टेज इम्बॅलन्स (Voltage imbalance), फ्रिक्वेन्सी व्हेरिएशन्स (Frequency variations) आणि हार्मोनिक डिस्टॉर्शन (Harmonic distortion).
- भारतामध्ये मोटर्सना BIS (Bureau of Indian Standards) नियमानुसार काम करणे बंधनकारक आहे. BIS मध्ये पॉवर क्वालिटीशी संबंधित विविध पॅरामीटर्सच्या (Parameters) अनुमत मर्यादा (Acceptable limits) ठरविल्या आहेत.

पॅरामीटर्स (parameters)	अनुमत बदल Permissible Variation (in %)
व्होल्टेज (Voltage)	± 5 to ± 10
फ्रिक्वेन्सी (Frequency)	± 3
एकत्रित (Combined)	± 6

- मोटरची एफिशन्सी (Motor efficiency) सुधारण्यासाठी इनपुट सप्लाय व्होल्टेज (Input supply voltage) आणि फ्रिक्वेन्सी (Frequency) BIS मध्ये नमूद केलेल्या मर्यादांमध्ये म्हणजे व्होल्टेज $\pm 6\%$ आणि फ्रिक्वेन्सी $\pm 3\%$ मध्ये ठेवणे आवश्यक आहे.
- हे व्होल्टेज इम्बॅलन्स (Voltage imbalance) कमी करून, स्थिर व्होल्टेज आणि फ्रिक्वेन्सी राखून, तसेच हार्मोनिक डिस्टॉर्शन (Harmonic distortion) कमी करून साध्य करता येते.

2.2.1 (a) व्होल्टेज अनबॅलन्स (voltage unbalance):

- तीन-फेज मोटर्स बॅलन्स सप्लायवर चालण्यासाठी डिझाइन केलेल्या असतात. फेज व्होल्टेजमध्ये कोणताही फरक झाल्यास एक्सेसिव्ह हीटिंग (Excessive Heating), इन्क्रिज्ड व्हायब्रेशन (Increased Vibration) आणि कॉपर लॉसेस कॉपर लॉसेस (I^2R losses) वाढतात. हा अनबॅलन्स दूर करण्यासाठी सिंगल-फेज लोड तीनही फेजमध्ये समान प्रमाणात विभागणे हे प्रभावी उपाय आहे.
- व्होल्टेज अनबॅलन्स (Voltage unbalance) कमी करण्याचे उपाय:
 - सिंगल-फेज लोड तीनही फेजवर समानपणे विभागणे, जेणेकरून एकाच फेजवर जास्त भार येणार नाही.
 - अनबॅलन्स किंवा चढ-उतार निर्माण करणारे लोड ओळखून त्यांना विभक्त करणे. अशा लोडसाठी स्वतंत्र फिडर किंवा ट्रान्सफॉर्मर वापरल्यास मुख्य सिस्टिम तील बॅलन्स राखणे सोपे जाते.

2.2.1 (b) हार्मोनिक डिस्टॉर्शन (Harmonic distortion):

- पॉवर इलेक्ट्रॉनिक उपकरणांच्या वाढत्या वापरामुळे इलेक्ट्रिकल सिस्टीममध्ये व्होल्टेज डिस्टॉर्शन वाढले आहे. यामुळे मूलभूत 50 Hz पुरवठ्यासोबत अतिरिक्त हार्मोनिक फ्रिक्वेन्सीज (Harmonic frequencies) तयार होतात.

- या उच्च फ्रिक्वेन्सी घटकांमुळे अतिरिक्त आयर्न आणि कॉपर लॉसेस होतात, ज्यामुळे मोटरचे तापमान अधिक वाढते.
- 5th आणि 7th ऑर्डर हार्मोनिक्स (5th & 7th harmonic orders) हे व्होल्टेज अनबॅलन्ससोबत मिळून रोटरचे अत्याधिक तापमान वाढवतात आणि मोटरची लाईफ व एफिशन्सी कमी करतात.
- हार्मोनिक डिस्टॉर्शन (Harmonic distortion) मोटरची एफिशन्सी आणि स्मूथ ऑपरेशन कमी करते. हार्मोनिक फिल्टर्स (Harmonic filters) बसविल्यास हे डिस्टॉर्शन कमी होते, फ्रिक्वेन्सी स्थिर राहते आणि मोटरचे कार्य विश्वसनीय होते.

2.2.2 मोटर सर्व्हे (Motor survey) द्वारे एनर्जी कन्झर्वेशन

- मोटर सर्व्हे (Motor survey) करणे हे एनर्जी कन्झर्वेशनसाठी अत्यंत महत्वाचे आहे. योग्य आकाराचा आणि योग्य स्पेसिफिकेशन्स (Specifications) असलेला बदलण्यायोग्य मोटर निवडण्यासाठी ही सर्वात प्रभावी पद्धत आहे.
- सर्व्हे प्रक्रियेत विद्यमान मोटर्सची नेमप्लेट डाटा (Nameplate data) गोळा करून त्याचे परीक्षण केले जाते. यात Rated power, Speed, Efficiency, Voltage, Current, आणि Full-load capacity यांसारख्या महत्वाच्या पॅरामीटर्सचा समावेश असतो.
- मोटरची नेमप्लेट (Nameplate) हे प्रायमरी आणि अत्यावश्यक संदर्भ बिंदू आहे. यात Rated speed आणि full-load current सारखी माहिती मिळते, ज्यामुळे आवश्यकतेनुसार योग्य आकाराचा मोटर निवडणे सोपे होते.
- मोटर त्याच्या Full-load capacity जवळ चालत असताना सर्वाधिक इफिशंट असतो, त्यामुळे वास्तविक लोडची अचूक मोजणी करणे आवश्यक आहे.
- सामान्यतः मोटर 80% पेक्षा जास्त Full-load torque वर कार्य करत असताना सर्वोच्च इफिशन्सी मिळते; लोड कमी झाल्यास इफिशन्सी (Efficiency) झपाट्याने घटते.

2.2.3 मोटरला लोडशी जुळवून (Matching motor with loading)

- मोटर कॅरेक्टरिस्टिक्स (Motor Characteristics) लोड (Load) च्या टाईप (Type) आणि त्यांनी परफॉर्म (Perform) करायच्या ड्युटी कंडीशन्स (Duty Conditions) वर अवलंबून मोठ्या प्रमाणात बदलतात. कॉन्स्टंट स्पीड (Constant Speed), कॉन्स्टंट टॉर्क (Constant Torque), व्हेरेबल स्पीड (Variable Speed) अचानक किंवा उच्च Starting torque, सतत किंवा आंतरायिक कार्यप्रकार (Continuous/intermittent duty), आणि वारंवार Start-stop operations यांसारख्या अनुप्रयोगांचे विश्लेषण करून योग्य मोटरची निवड करावी.
- लोडशी जुळणारी मोटर निवडल्यास इलेक्ट्रिसिटी वापर कमी होतो आणि सिस्टिम ची एकूण इफिशन्सी (Efficiency) वाढते.
- रेटेड लोडच्या 40% पेक्षा कमी लोडवर चालणाऱ्या मोटर्सची इफिशन्सी कमी असते, ज्यामुळे एनर्जीवाया जाते. अशा मोटर्सना योग्य क्षमतेच्या मोटर्सने बदलणे किंवा योग्य लोडवर काम करणाऱ्या मोटर्सशी विनिमय करणे फायदेशीर ठरते.
- मोटर किती पॉवर घेईल हे मुख्यतः लोडवर अवलंबून असते, मोटरच्या रेटेड साइज वर नाही.
- उदाहरणार्थ, 10 kW यंत्र 10 kW मोटरने चालवणे आदर्श आहे. परंतु तीच यंत्रणा 20 kW मोटरने चालवता येते, परंतु त्यात एफिशन्सी कमी होते आणि एनर्जीवाया जाते.

- मोटर ओव्हरसाइज केल्यास (Oversizing) तोटे (Disadvantages):

- कमी एफिशन्सी
- खराब पॉवर फॅक्टर (Power Factor)
- मोटर व त्याच्या नियंत्रण उपकरणांचा जास्त प्रारंभिक खर्च
- मोटर लोडशी जुळत नसण्याची कारणे:
 - उपकरण निर्माता जास्त सेफ्टी मार्जिन्स ठेवतात
 - जास्त स्टार्टिंग टॉर्क (Starting Torque) साठी योग्य प्रकारचा मोटर न निवडता जास्त क्षमतेचा मोटर वापरणे
 - उपकरणाचा अपुरा वापर (Under-utilization)
 - कमी व्होल्टेजवरही काम करावे म्हणून मोठी क्षमता निवडणे
 - उपलब्ध पुढील आकाराच्या मोटरची निवड (Rounding up)

2.2.4 मोटरची आयडल (Idle) आणि रेडंडंट (Redundant) रनिंग कमी करून एनर्जी कंझर्वेशन

- मोटर कोणतेही उपयुक्त काम न करता चालू राहते तेव्हा तिला आयडल ऑपरेशन (Idle operation) म्हणतात.
- आयडल ऑपरेशनची उदाहरणे:
 - लोड नसलेले कन्वेयर बेल्ट्स (Conveyor belts) सतत चालू ठेवणे.
 - शॉप फ्लोअर (Shop Floor) वापरात नसताना एग्झॉस्ट फॅन्स (Exhaust fans) चालू ठेवणे.
- अनेक औद्योगिक विभागांमध्ये अशा प्रकारची आयडल रनिंग आढळते. आयडल कालावधीत मोटर बंद केल्यास त्या वेळेचा 100% एनर्जीबचत होते.
- मात्र कूलिंग टॉवर फॅन्स (Cooling tower fans), एअर कंप्रेसर्स (Air compressors) सारखी ऑक्सिलरी (Auxiliaries) उपकरणे उत्पादन बंद नसल्यास अचानक बंद करता येत नाहीत.
- रेडंडंट ऑपरेशन (Redundant operation) म्हणजे असे उपकरण चालू ठेवणे जे उत्पादनाच्या क्वालिटी (Quality) किंवा क्वांटिटी (Quantity) मध्ये कोणताही वाटा उचलत नाही.
- रेडंडंट ऑपरेशनचे उदाहरणे:
 - ऍम्बियंट कंडिशनस (Ambient conditions) अनुकूल असताना देखील कूलिंग टॉवर फॅन्स (Cooling Tower Fans) चालू ठेवणे.
 - डिझायर्ड टेम्परेचर (Desired Temperature) मिळूनही एअर कंडिशनिंग युनिट्स (Air-conditioning units) चालू ठेवणे.
 - AC चालू ठेवून विंडोज उघडी ठेवणे.
- अशा आयडल किंवा रेडंडंट ऑपरेशन (Redundant operation) मॅन्युअल कंट्रोलस (manual controls) किंवा ऑटोमॅटिक कंट्रोलस (Automatic controls – timers, PLC, sensors) यांच्या मदतीने टाळल्यास एनर्जी आणि खर्च दोन्हीची बचत होते.
- उदाहरणार्थ, रोलिंग मिल्स (Rolling mills) मध्ये मुख्य ड्राइव्ह आयडल असतानाही कूलिंग फॅन मोटर्स (Cooling fan motors) दररोज 2-3 तास चालू राहतात. त्यांना डाऊनटाईम (Downtime) मध्ये बंद केल्यास मोठी एनर्जीबचत होते.

2.2.5 मोटर स्टार मोड (Star Mode) मध्ये चालवून एनर्जी कंझर्वेशन

- जर मोटर Light-load (<30% full load) वर चालत असेल, तर डेल्टा कनेक्टेड मोटर (Delta-connected motor) स्टार कन्फिगरेशन (Star configuration) मध्ये चालवल्यास एनर्जी कंझर्वेशन होते.

- ओव्हरसाइज्ड मोटर्स (Oversized motors) ज्या सतत 30% पेक्षा कमी लोडवर चालतात त्यांना permanently star मध्ये जोडता येते.
- डेल्टा कनेक्शन (Delta connection) मध्ये प्रत्येक विंडिंग ला फुल लाईन व्होल्टेज मिळते, तर स्टार कनेक्शन (Star connection) मध्ये प्रत्येक विंडिंग ला लाईन व्होल्टेज $\div \sqrt{3}$ मिळते. त्यामुळे पॉवर कंझमप्शन (Power consumption) कमी होते.
- स्टार मोडमध्ये मोटर इलेक्ट्रिकली डाऊनसाइज्ड (Electrically downsized) होते आणि हलका लोड हाताळू शकते.
- पार्टिअली लोडेड डेल्टा (Partially Loaded Delta) पेक्षा फुल लोड स्टार मोड (Full Load Star Mode) मध्ये इफिशियन्सी (Efficiency) व पॉवर फॅक्टर (power factor) चांगला मिळतो.
- डेल्टा ते स्टार बदल मोटर टर्मिनल बॉक्स (Motor terminal box) मधील कनेक्शन (Connections) बदलून केला जातो.
- हाय स्टार्टिंग टॉर्क (High starting torque) लागणाऱ्या मोटर्समध्ये स्टार – डेल्टा / डेल्टा – स्टार ऑटोमॅटिक स्विचिंग (Automatic switching) वापरतात:
- स्टार्टिंग टॉर्क मध्ये इनर्शिया ओव्हरकम (Inertia Overcome) झाल्यावर स्टार मध्ये ऑटोमॅटिक शिफ्ट (Automatic Shift) करंट-बेस्ड (Current-Based) कंट्रोल, टाइम-बेस्ड (Time-Based) कंट्रोल द्वारे.
- कधी कधी load 50% पर्यंत वाढत असेल, तर Automatic star–delta changeover वापरता येते.
- परंतु, फ्रिक्वेंट स्विचिंग (Frequent Switching) मुळे कॉन्टॅक्टर्स (Contactors) मध्ये वेअर अँड टेअर (Wear and Tear) होते, ज्यामुळे मेंटेनेन्स (Maintenance) आणि रिप्लेसमेंट कॉस्ट (Replacement Costs) वाढतात.
- म्हणून, स्टार-डेल्टा चेंजओव्हर (Star–Delta Changeover) त्या मोटर्ससाठी इकॉनॉमिकल (Economical) नाही, ज्या साधारणपणे 30% लोड (Load) पेक्षा जास्त लोडवर चालतात आणि क्वचितच त्या स्टाराखाली लोड कमी होतो..

2.2.6 मोटरचे रिवाइंडिंग (Rewinding) करून एनर्जी कंझर्वेशन

- मोटर रिवाइंडिंग (Motor rewinding) हे नवीन मोटर विकत घेण्यापेक्षा कमी खर्चिक उपाय असतो. योग्य पद्धतीने केल्यास इफिशियन्सी जवळपास पूर्ववत होते.
- पण चुकीच्या पद्धतीने रिवाइंडिंग केल्यास साधारण 2–5% इफिशियन्सी लॉस (Efficiency loss) होतो. आधुनिक रिवाइंडिंग टेक्निक (Rewinding techniques) वापरल्यास हा लॉस कमी करता येतो.
- जुन्या वाइंडिंग (Windings) काढताना जास्त तापमान (Excessive heating) वापरल्यास लॅमिनेशन इन्सुलेशन (Lamination insulation) खराब होते आणि एडी करंट लॉसेस (Eddy current losses) वाढतात.
- रोटार-स्टेटर एअर गॅप (Rotor–stator air gap) मध्ये बदल झाल्यास टॉर्क (Torque), पॉवर फॅक्टर (Power Factor) आणि इफिशियन्सी वर नकारात्मक परिणाम होतो.
- काही वेळा वाइंडिंग डिझाइन (Winding design) बदलून इफिशियन्सी वाढवता येते, मात्र पॉवर फॅक्टर मध्ये थोडा फरक पडू शकतो.
- अधिक क्रॉस सेक्शन एरिया (Cross-sectional area) असलेल्या कंडक्टर्स (Conductors) वापरल्यास स्टेटर कॉपर लॉसेस (Stator copper losses) कमी होतात आणि इफिशियन्सी वाढते.

2.2.7 एनर्जी इफिशियंट मोटर (Energy Efficient Motor) द्वारे बदल करून एनर्जी कंझर्वेशन

- एनर्जी इफिशियंट मोटर (EEM) ही मोटर स्टँडर्ड मोटर (Standard motor) प्रमाणेच शाफ्ट आउटपुट पॉवर (Shaft output power) देते, परंतु त्यासाठी कमी इलेक्ट्रिकल इनपुट पॉवर (Electrical input power)

लागते.

त्यामुळे या मोटर्स कमी इलेक्ट्रिसिटी खर्च करतात, कमी हीट (Heat) निर्माण करतात आणि त्यांचा सर्व्हिस लाईफ (Service life) देखील जास्त असतो.

- एनर्जी इफिशियंट मोटर (Energy Efficient Motor) या विशेष रचनेने बनवलेल्या असतात, ज्यामुळे इंटरनल लॉसेस (Internal losses) कमी होतात आणि ओव्हरऑल परफॉर्मन्स (Overall performance) सुधारतो.
- या मोटर्समधील मुख्य डिझाईन इंप्रुव्हमेंट्स (Design improvements):
 - कोर (Core) मध्ये लो-लॉस सिलिकॉन स्टील (Low-loss silicon steel) वापरणे
 - जास्त ॲक्टिव्ह मटेरियल (Active Material) साठी लॉन्ग कोर लेंग्थ (Longer core length)
 - वाइंडिंग रेसिस्टन्स (Winding resistance) कमी करण्यासाठी थिकर कंडक्टर्स (Thicker conductors)
 - एडी करंट लॉसेस (Eddy current losses) कमी करण्यासाठी थिनर लॅमिनेशन्स (Thinner laminations)
 - स्टॅटर-रोटर एअर गॅप (Stator-Rotor Air Gap) कमी करणे
 - ॲल्युमिनियम (Aluminium) ऐवजी कॉपर रोटर बार्स (Copper rotor bars)
 - हाय-क्वालिटी बेअरिंग्स (High-quality bearings) आणि कमी आकाराचा कूलिंग फॅन (Cooling fan) वापरून फ्रिक्शन (Friction) व विंडेज लॉसेस (Windage Losses) कमी करणे.
 - भारतात उपलब्ध एनर्जी-इफिशियंट मोटर्स (Energy-Efficient Motors) साधारणतः 3-4% जास्त इफिशियन्सी देतात, त्यामुळे या मोटर्स औद्योगिक वापरासाठी अधिक फायदेशीर आणि टिकाऊ ठरतात.

2.2.8 पीरियॉडिक मेंटेनन्स (Periodic Maintenance) करून एनर्जी कंझर्वेशन

- मोटरची इफिशियन्सी (Efficiency), रिलायबिलिटी (Reliability) आणि सर्व्हिस लाईफ (Service life) वाढवण्यासाठी योग्य मेंटेनन्स (Maintenance) अत्यंत महत्वाचे आहे. खालील उपायांनी एनर्जी लॉसेस (Energy losses) कमी होतात आणि मोटरची इफिशियन्सी टिकून राहते:

1. मशीन क्लिनिंग (Machine Cleaning)

- मोटरमध्ये प्रॉपर व्हेंटिलेशन (Proper ventilation) आणि कूलिंग (Cooling) कायम राहण्यासाठी नियमित साफसफाई आवश्यक आहे.
- धूळ आणि कचरा साचल्यास एअर फ्लो (Air flow) अडतो आणि ओव्हरहीटिंग (Overheating) होते.

2. मशीन सेटअप आणि अलाइनमेंट (Machine Setup and Alignment)

- बेल्ट ड्राइव्ह्स (Belt drives) आणि कपलिंग्स (Couplings) योग्यरित्या अलाइन्ड (Aligned) आणि टेंशनड (Tensioned) असणे आवश्यक आहे.
- चुकीची अलाइनमेंट (Alignment) मेकॅनिकल लॉसेस (Mechanical losses) आणि बेअरिंग स्ट्रेस (Bearing stress) वाढवते.

3. बेअरिंग ल्युब्रिकेशन (Bearing Lubrication)

- बेअरिंग्स (Bearings) योग्यरित्या ल्युब्रिकेटेड (Lubricated) आणि प्रॉपरली सील्ड (Properly sealed) असावेत.
- यामुळे फ्रिक्शन लॉसेस (Friction Losses) कमी होतात आणि बेअरिंग फेल्युअर (Bearing Failure) टळते.

4. कंडिशन असेसमेंट (Condition Assessment)

- मोटर व्हायब्रेशन (Motor vibration), नॉईज (Noise), आणि टेम्परेचर रायझ (Temperature rise) तपासत राहावे.
- यातील कोणतीही अॅबनॉर्मॅलिटी मेकॅनिकल (Abnormality Mechanical) किंवा इलेक्ट्रिकल फॉल्ट (Electrical Fault) दर्शवते.
- 5. परफॉर्मन्स अॅसेसमेंट (Performance Assessment)
 - सप्लाय व्होल्टेज (Supply voltage) तपासत राहावे.
 - व्होल्टेज फ्लक्चुएशन (Voltage fluctuation) आणि इम्बॅलन्स (Imbalance) मुळे मोटर लॉसेस (Motor Losses) वाढतात आणि इफिशियन्सी कमी होते.
- 6. इलेक्ट्रिकल कनेक्शन मेंटेनन्स (Electrical Connection Maintenance)
 - स्टार्टर (Starter) आणि मोटर टर्मिनल बॉक्स (Motor terminal box) मधील सर्व कनेक्शन्स टाइट (Connections Tight) आणि सिक्युर (Secure) असावेत.
 - लूज कनेक्शन्स (Loose connections) मुळे ओव्हरहीटिंग (Overheating), एनर्जी लॉस (Energy Loss), आणि सेफ्टी हॅझार्ड्स (Safety Hazards) निर्माण होतात.

2.2.9 सेन्सर बेस्ड मोटर्स (Sensor Based Motors) वापरून एनर्जी कंझर्वेशन

- सेन्सर्स (Sensors) इंडक्शन मोटर्सची (Induction motors) एनर्जी इफिशियन्सी (Energy efficiency) वाढवण्यासाठी महत्वाची भूमिका बजावतात.
सेन्सर्स मुळे मोटर कंट्रोलर (Motor controller) ला रिल-टाईम परफॉर्मन्स ऑप्टिमायझेशन (Real-time performance optimization) करता येते आणि अॅक्चुअल लोड (Actual load) नुसार ऑपरेटिंग कंडिशनस (Operating conditions) बदलता येतात.
त्यामुळे अनावश्यक एनर्जी कंझम्पशन (Energy consumption) कमी होते.
- इंडक्शन मोटर्स (Induction motors) सर्वाधिक इफिशियंट त्यांच्या रेटेड लोड (Rated load) जवळ काम करताना असतात.
- सेन्सर-बेस्ड सिस्टिम्स इंडस्ट्रीज (Sensor-based Systems Industries) मध्ये सामान्य असलेल्या पार्शियल लोडिंग (Partial loading) परिस्थितीतही उच्च इफिशियन्सी मिळवण्यात मदत करतात.
- Sensor-based energy conservation साठी सर्वाधिक वापरली जाणारी पद्धत म्हणजे व्हेरीएबल फ्रिक्वेन्सी ड्राईव्ह (Variable Frequency Drive) (VFD)
- व्हीएफडी सिस्टिम्स मोटर स्पीड (Motor speed) लोड डिमांड (Load demand) नुसार अजस्ट (Adjust) करतात (जसे पम्प्स (Pumps) आणि फॅन्स (Fans) मध्ये).
त्यामुळे कॉन्स्टंट-स्पीड ऑपरेशन (Constant-speed operation) पेक्षा 50% किंवा त्याहून अधिक पॉवर सेव्हिंग (Power saving) मिळू शकते.
- लाईट लोड (Light load) वर इंडक्शन मोटर्स (Induction motors) मध्ये मॅग्नेटिक लॉसेस (magnetic losses) जास्त असल्याने इफिशियन्सी कमी होते. सेन्सर्स मुळे कंट्रोलर (Controller) ला लोड-डिमांड (Load-demand) नुसार मॅग्नेटिक फ्लक्स (Magnetic flux) कमी-जास्त करता येतो, ज्यामुळे इंटरनल लॉसेस (Internal Losses) कमी होतात.
- ऑप्टिमल फ्लक्स कंट्रोल (Optimal Flux Control) मुळे मोटर विविध लोड कंडिशनस (Load Conditions) वर तिच्या सर्वाधिक इफिशियंट पॉइंट (Efficient Point) वर चालते.

2.3 ट्रान्सफॉर्मरमधील एनर्जी कन्झर्वेशन टेक्निक्स (Energy Conservation Techniques in Transformer)

- ट्रान्सफॉर्मर (Transformer) मधील एनर्जी कन्झर्वेशन करण्यासाठी खालील टेक्निक्स वापरता येतात:

1. लोड शेअरिंग (Load Sharing)
2. पॅरलल ऑपरेशन (Parallel Operation)
3. आयसोलेटिंग टेक्निक्स (Isolating Techniques)
4. एनर्जी इफिशियंट ट्रान्सफॉर्मर्सने बदल (Replacement by Energy Efficient Transformers)
5. पीरियॉडिक मेंटेनन्स (Periodic Maintenance)

2.3.1 लोड शेअरिंग (Load Sharing)

- ट्रान्सफॉर्मर्स (Transformers) मध्ये ओव्हरलोडिंग (Overloading), व्होल्टेज फ्लक्चुएशन्स (Voltage Fluctuations) आणि ओव्हरहीटिंग (Overheating) सारख्या समस्या सामान्यपणे आढळतात. या समस्या ट्रान्सफॉर्मरची इफिशियन्सी कमी करतात आणि उपकरणाचे नुकसानही करू शकतात. ट्रान्सफॉर्मरची दुरुस्ती किंवा मेंटेनन्स वेळखाऊ आणि खर्चिक असते.
- ओव्हरलोड स्थितीत ट्रान्सफॉर्मरचे संरक्षण करण्यासाठी लोड शेअरिंग (Load Sharing) हा एक प्रभावी उपाय आहे. जास्त लोडमुळे सेकंडरी वाइंडिंग (Secondary Winding) गरम होते आणि इन्स्युलेशन (Insulation) खराब होण्याचा किंवा वाइंडिंग बर्नआऊट (Burnout) होण्याचा धोका असतो. अनेक ट्रान्सफॉर्मर्स पॅरलल (Parallel) मध्ये चालवून लोड वाटून घेतल्यास एका ट्रान्सफॉर्मरवर येणारा ताण कमी होतो आणि त्यामुळे त्याचे संरक्षण होते.
- जेव्हा ट्रान्सफॉर्मर्स एकसारख्या एकूण लोडवर कार्य करतात, तेव्हा ॲक्टिव्ह पॉवर (Active Power) आणि रिॲक्टिव्ह पॉवर (Reactive Power) चे वितरण एकूण पॉवर लॉस (Power Loss) आणि रिॲक्टिव्ह पॉवर वापरावर परिणाम करते. इकॉनॉमिक डिस्पॅच (Economic Dispatch) तत्वांनुसार लोडचे योग्य वितरण केल्याने एकूण नुकसान कमी करता येते आणि ट्रान्सफॉर्मरची इफिशियन्सी (Efficiency) सुधारता येते, ज्यामुळे एनर्जी कन्झर्वेशन साध्य होते.
- ट्रान्सफॉर्मर्सची इक्वल लोड शेअरिंग (Equal Load Sharing) सुनिश्चित करण्यासाठी खालील अटी पूर्ण करणे आवश्यक आहे:
 - ट्रान्सफॉर्मर्सचा टर्न्स रेशो (Turns Ratio) सारखा असावा, जेणेकरून सेकंडरी व्होल्टेज (Secondary Voltage) समान राहील.
 - त्यांचा परसेंटेज इम्पीडन्स (Percentage Impedance) (%Z) समान असावा, ज्यामुळे लोड प्रपोर्शनल वाटला जाईल.
 - ट्रान्सफॉर्मर्सचा आर/एक्स रेशो (R/X Ratio) जवळजवळ समान असावा, ज्यामुळे लोड डिक्विजन समान राहते.
- पॅरलल ऑपरेशन (Parallel Operation) काही फायदे:
 - एकूण लोड अनेक ट्रान्सफॉर्मर्सवर वाटल्या जात असल्यामुळे एका ट्रान्सफॉर्मरवरील मागणी कमी होते.
 - कमी लोडच्या वेळेस अनलोडेड ट्रान्सफॉर्मर्स (Unloaded Transformers) बंद करता येतात, ज्यामुळे नो-लोड लॉसेस (No-load Losses) कमी होतात आणि सिस्टमची इफिशियन्सी (Efficiency) वाढते.

2.3.2 पॅरलल ऑपरेशन (Parallel Operation)

जेव्हा दोन किंवा अधिक ट्रान्सफॉर्मरचे प्रायमरी वाइंडिंग्स (Primary Windings) एकाच व्होल्टेज सप्लायला (Voltage Supply) जोडलेले असतात आणि त्यांची सेकंडरी वाइंडिंग्स (Secondary Windings) एकाच लोडला (Load) जोडलेली असतात, तेव्हा त्या ट्रान्सफॉर्मर्सना पॅरलल ऑपरेशन (Parallel Operation) मध्ये कार्यरत म्हटले जाते.

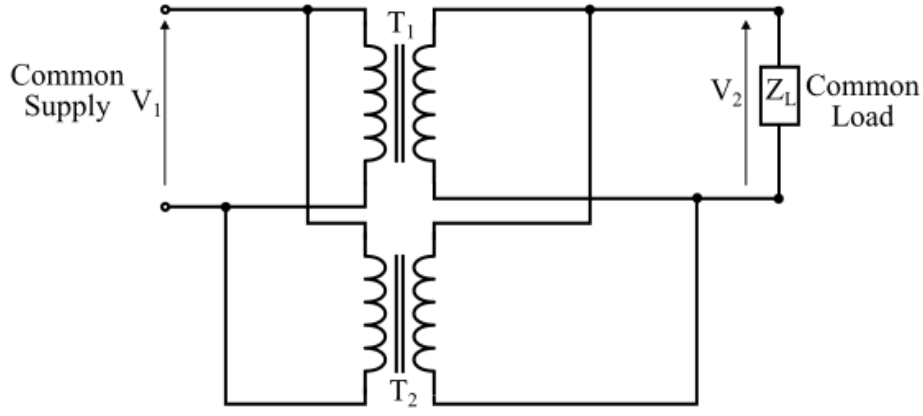


Figure 2.1 Parallel Operation of Transformer

- पॅरलल ऑपरेशनची सर्वसाधारण कनेक्शन डायग्राम (Connection Diagram) (Figure 2.1) मध्ये दर्शविली आहे.
- पॅरलल ऑपरेशनसाठी ट्रान्सफॉर्मर निवडताना त्याचे केव्हीए रेटिंग (kVA Rating) हे महत्वाचे निकष आहे.
- ट्रान्सफॉर्मरचे कॅपॅसिटी रेटिंग (Capacity Rating) गरजेपेक्षा जास्त असल्यास प्रारंभिक खर्च वाढतो आणि अनावश्यक नो-लोड लॉसेस (No-Load / Core Losses) निर्माण होतात.
- पॉवर ट्रान्सफॉर्मर (Power Transformer) सामान्यतः त्याच्या फुल-लोड (Full Load) जवळ सर्वोत्तम इफिशन्सी (Efficiency) देतात.
- दोन किंवा अधिक ट्रान्सफॉर्मर पॅरललमध्ये चालवल्यास सिस्टमचा लोड योग्य प्रकारे शेअर (Load Sharing) करता येतो.
- लाईट-लोड (Light Load) परिस्थितीत फक्त आवश्यक ट्रान्सफॉर्मर्स चालू ठेवता येतात. तेही त्यांच्या रेटेड लोड (Rated Load) जवळ कार्यरत असतील याची खात्री करून.
- सिस्टम लोड वाढल्यास अतिरिक्त ट्रान्सफॉर्मर क्रमाने इन-सर्व्हिस (In-Service) आणता येतात.
- या पद्धतीने प्रत्येक ट्रान्सफॉर्मर त्याच्या सर्वोत्तम इफिशन्सी जवळ चालतो, ज्यामुळे एनर्जी लॉसेस (Energy Losses) कमी होतात आणि संपूर्ण सिस्टमची इफिशन्सी (Efficiency) सुधारते.
- एक मोठ्या क्षमतेचा ट्रान्सफॉर्मर वापरण्यापेक्षा अनेक स्मॉलर-रेटेड (Smaller Rated) ट्रान्सफॉर्मर्स पॅरललमध्ये वापरणे अधिक फायदेशीर ठरते, कारण:
 - इम्प्रूव्हड रिलायबिलिटी (Improved Reliability) – एका ट्रान्सफॉर्मरमध्ये बिघाड झाला तरी इतर युनिट्स लोड पुरवतात, त्यामुळे इलेक्ट्रिसिटीपुरवठा खंडित होत नाही.
 - हायर अव्हेलेबिलिटी (High Availability) – एका ट्रान्सफॉर्मरचे देखभालकार्य किंवा दुरुस्ती पूर्ण सिस्टम बंद न करता करता येते.
 - बेटर एनर्जी इफिशन्सी (Better Energy Efficiency) – कमी लोडच्या काळात फक्त आवश्यक ट्रान्सफॉर्मर्स चालवले जातात आणि ते फुल-लोड जवळ कार्यरत असल्यामुळे नो-लोड लॉसेस कमी होतात.
 - ऑपरेशनल फ्लेक्सिबिलिटी (Operational Flexibility) – लोडच्या बदलानुसार ट्रान्सफॉर्मर्स ऑन/ऑफ करता येतात, ज्यामुळे लोड मॅनेजमेंट आणि भविष्यातील विस्तार सोपा होतो.

2.3.2 (A) पॅरलल ऑपरेशन ऑफ ट्रान्सफॉर्मर्सचे कंडीशन्स (Conditions for Parallel Operation of Transformers)

पॅरललऑपरेशन (Parallel Operation) यशस्वी आणि कार्यक्षम होण्यासाठी खालील अटी पूर्ण झाल्या पाहिजेत:

1. **सेम kVA रेटिंग (Same kVA Rating)** – ट्रान्सफॉर्मर्सचे kVA रेटिंग समान किंवा जवळपास समान असावे, ज्यामुळे प्रपोर्शनल लोड शेअरिंग (Proportional Load Sharing) सुनिश्चित होते.
2. **इकल परसेंटेज इम्पीडन्स आणि X/R रेशो (Equal % Impedance and X/R Ratio)** – समान इम्पीडन्स (Impedance) आणि रिऍक्टन्स-टू-रेझिस्टन्स रेशो (Reactance-to-Resistance Ratio) असल्यास सर्क्युलेटिंग करंट्स (Circulating Currents) निर्माण होत नाहीत आणि लोड योग्य प्रमाणात विभागला जातो.
3. **सेम व्होल्टेज रेशो आणि टर्न्स रेशो (Same Voltage Ratio & Turns Ratio)** – प्रायमरी व सेकंडरीचे व्होल्टेज रेशो (Voltage Ratio) आणि टर्न्स रेशो (Turns Ratio) समान असावेत; अन्यथा नो-लोड कंडिशन (No-Load Condition) मध्येही सर्क्युलेटिंग करंट्स निर्माण होऊ शकतात.
4. **सेम पॉलॅरिटी (Same Polarity)** – चुकीची पॉलॅरिटी (Polarity) असल्यास शॉर्ट सर्किट होऊ शकते, त्यामुळे योग्य पॉलॅरिटी अत्यावश्यक आहे.
5. **सेम फेज सिक्वेन्स (Same Phase Sequence – for 3-Phase Transformers)** – तीन-फेज ट्रान्सफॉर्मर्समध्ये फेजेसची ऑर्डर (Phase Sequence) समान असणे आवश्यक; अन्यथा गंभीर शॉर्ट-सर्किट होऊ शकते.
6. **सेम फेज अँगल शिफ्ट (Same Phase Angle Shift)** – प्रायमरी व सेकंडरी व्होल्टेजेसमधील फेज डिस्प्लेसमेंट (Phase Displacement) एकसारखा असावा, तरच योग्य सिंक्रोनायझेशन होते.
7. **सेम फ्रिक्वेन्सी (Same Frequency)** – दोन्ही ट्रान्सफॉर्मर्सनी एकाच फ्रिक्वेन्सी (Frequency) वर कार्य करणे गरजेचे आहे, ज्यामुळे व्होल्टेज आणि फेज अलाइनमेंट योग्य राहते.

2.3.3 आयसोलेटिंग टेक्निक्स (Isolating Techniques)

- आयसोलेशन (Isolation) म्हणजे एखाद्या सिस्टमचा इलेक्ट्रिकल सप्लाय (Electrical Supply) डिस्कनेक्ट करून उपकरणावर काम करणाऱ्या व्यक्तींची सुरक्षा सुनिश्चित करणे—जेणेकरून सामान्यतः लाईव्ह असलेले भाग डी-एनर्जाइझ (De-energize) केले जातात.
- इलेक्ट्रिकल ट्रान्सफॉर्मर्स सामान्यतः व्होल्टेज स्टेप-अप किंवा स्टेप-डाउन (Step-Up/Step-Down) करण्यासाठी वापरले जातात, परंतु ते दोन सर्किट्समध्ये इलेक्ट्रिकल आयसोलेशन (Electrical Isolation) सुद्धा पुरवतात.
जरी इलेक्ट्रिकल नॉइज (Electrical Noise) किंवा ट्रान्झियंट्स (Transients) पूर्णपणे थांबत नसले तरी त्यांची तीव्रता मोठ्या प्रमाणात कमी होते.
- सर्किटची इम्पीडन्स (Impedance) बदलून ट्रान्सफॉर्मर्स शॉर्ट-सर्किट करंट्स (Short-Circuit Currents) मर्यादित करतात आणि संबंधित लॉसेस कमी करतात.
- बहुतेक ट्रान्सफॉर्मर्समध्ये (ऑटो-ट्रान्सफॉर्मर वगळता) प्रायमरी आणि सेकंडरी वाइंडिंग्समध्ये कोणताही थेट इलेक्ट्रिकल कनेक्शन (Electrical Connection) नसतो. उर्जा केवळ मॅग्नेटिक कपलिंग (Magnetic Coupling) द्वारे ट्रान्सफर होते.
त्यामुळे उत्कृष्ट इन्सुलेशन आणि सुरक्षा मिळते.
- प्रायमरी आणि सेकंडरी वाइंडिंग्समधील इन्सुलेशन (Insulation) दुहेरी संरक्षण देते. यामुळे लाईव्ह आणि एक्स्पोज्ड कंडक्टिव्ह भागांना एकाच वेळी स्पर्श झाल्यास इलेक्ट्रिक शॉक (Electric Shock) होण्याचा धोका कमी होतो.

- आयसोलेशन ट्रान्सफॉर्मर्स (Isolation Transformers) संवेदनशील उपकरणांना मुख्य सप्लायपासून वेगळे करतात.
त्यामुळे सिस्टम रिलायबिलिटी (System Reliability) वाढते आणि कोणत्याही एका इन्सुलेशन फॉल्टमुळे संपूर्ण सिस्टम बंद पडत नाही.

2.3.4 एनर्जी-इफिशियंट ट्रान्सफॉर्मर्सने रिप्लेसमेंट (Replacement by Energy Efficient Transformers)

- एनर्जी-इफिशियंट ट्रान्सफॉर्मर्स (Energy-Efficient Transformers) इलेक्ट्रिसिटी प्रसारण व वितरणातील T&D लॉसेस (Transmission & Distribution Losses) कमी करण्यात महत्वाची भूमिका बजावतात.
- कोर मटेरियल आणि मॅन्युफॅक्चरिंग टेक्नॉलॉजीमधील सुधारणा झाल्यामुळे ट्रान्सफॉर्मर्सचे लॉसेस मोठ्या प्रमाणात कमी करता येतात.
- सुधारित सिलिकॉन स्टील (Silicon Steel) आणि नवीन मॅग्नेटिक मटेरियल्स (Magnetic Materials) वापरून उच्च इफिशियन्सीचे ट्रान्सफॉर्मर्स तयार करता येतात.
- एक महत्वाचा उदाहरण म्हणजे अॅमोर्फस मेटल ट्रान्सफॉर्मर (Amorphous Metal Transformer)—जे उत्कृष्ट एनर्जी इफिशियन्सी (Energy Efficiency) देतात आणि साधारण 25 वर्षांपेक्षा जास्त सेवा आयुष्य असते.
- असे ट्रान्सफॉर्मर्स इलेक्ट्रिसिटीबिल कमी करतात, पिक लोड कमी करतात आणि इलेक्ट्रिसिटीपुरवठ्याची रिलायबिलिटी (Reliability) सुधारतात.
- एनर्जी-इफिशियंट ट्रान्सफॉर्मर्सचा पे-बॅक पीरियड (Payback Period) साधारण 1 ते 6 वर्षांच्या दरम्यान असतो. जो रेटिंग, वापराच्या तासांवर आणि इलेक्ट्रिसिटी दरांवर अवलंबून असतो.
- ट्रान्सफॉर्मर्सची इफिशियन्सी (Efficiency) सुधारण्यासाठी पुढील उपाय उपयुक्त आहेत:
→ उच्च-गुणवत्तेचे सिलिकॉन स्टील (Silicon Steel) किंवा कॉपर वाइंडिंग्स (Copper Windings) वापरणे
→ कोर आणि वाइंडिंग जिओमेट्री (Core & Winding Geometry) ऑप्टिमाइझ करून मॅग्नेटिक आणि रेसिस्टिव्ह लॉसेस कमी करणे
- डिझाईन सुधारणा करताना मटेरियल खर्च वाढणे आणि एनर्जी कन्झर्वेशन टेक्निक्स (Energy Conservation) चा आर्थिक लाभ यामध्ये योग्य संतुलन आवश्यक असते.
- ठराविक इफिशियन्सी (Efficiency) मिळवण्यासाठी नो-लोड लॉसेस (No-Load Losses) आणि लोड लॉसेस (Load Losses) यांचे परस्पर संबंध उलट असतात—एक कमी केल्यास दुसरे वाढू शकते.
- एनर्जी-इफिशियंट ट्रान्सफॉर्मर्स वापरल्यास इफिशियन्सी (Efficiency) 95% ते 97% पर्यंत वाढते; तर अॅमोर्फस कोर ट्रान्सफॉर्मर्स (Amorphous Core Transformers) 98.5% Efficiency पर्यंत पोहोचतात.
- त्याचप्रमाणे एपॉक्सी रेजिन कास्ट (Epoxy Resin Cast) किंवा एन्कॅप्स्युलेटेड ड्राय-टाइप ट्रान्सफॉर्मर्स (Encapsulated Dry-Type Transformers) 93% ते 97% इफिशियन्सी (Efficiency) देतात.

2.3.4 (A) एनर्जी-इफिशियंट ट्रान्सफॉर्मर्सचे फायदे (Advantages of Energy-Efficient Transformers)

1. रिड्युड ऑपरेटिंग लॉसेस (Reduced Operating Losses) – सुधारित कोर (Core) आणि वाइंडिंग मटेरियल्स (Winding Materials) मुळे इलेक्ट्रिकल लॉसेस कमी होतात.
2. लोअर हीट जनरेशन (Lower Heat Generation) – लॉसेस कमी असल्याने उष्णता निर्माण (Heat Generation) कमी होते, ज्यामुळे रिलायबिलिटी (Reliability) व परफॉर्मन्स सुधारतो.
3. लॉन्गर सर्व्हिस लाइफ (Longer Service Life) – थर्मल स्ट्रेस कमी झाल्याने इन्सुलेशन लाइफ (Insulation Life) वाढते आणि ट्रान्सफॉर्मर्सचे आयुष्य वाढते.

4. हायर कॉस्ट-इफेक्टिव्हनेस (Higher Cost-Effectiveness) – प्रारंभीचा खर्च जास्त असला तरी कमी ऑपरेटिंग लॉसेसमुळे दीर्घकालीन आर्थिक फायदा मिळतो.
5. इम्प्रूव्ड कोर डिझाइन (Improved Core Design) – अमोर्फस मेटल स्ट्रिप्स (Amorphous Metal Strips) वापरल्यामुळे पातळ कोर लेमिनेशनसशी संबंधित समस्या कमी होतात.
6. रिड्युड हिस्टेरिसिस लॉस (Reduced Hysteresis Loss) – अमोर्फस मटेरियल्समध्ये लो-फील्ड मॅग्नेटायझेशन (Low Field Magnetization) असल्यामुळे हिस्टेरिसिस इफेक्ट्स (Hysteresis Effects) कमी होतात.
7. लोअर एडी करंट लॉस (Lower Eddy Current Loss) – कोरची हाय इलेक्ट्रिकल रेसिस्टिव्हिटी (High Electrical Resistivity) असल्यामुळे एडी करंट्स (Eddy Currents) कमी प्रमाणात तयार होतात.
8. लोअर नो-लोड करंट (Lower No-Load Current) – कमी मॅग्नेटायझिंग करंट (Magnetizing Current) आणि कमी आयर्न लॉसेस यामुळे नो-लोड कंडिशन (No-Load Condition) मध्ये जास्त इफिशियन्सी (Efficiency) मिळते.

2.3.5 पिरिऑडिक मेंटेनन्स (Periodic Maintenance)

- पिरिऑडिक मेंटेनन्स (Periodic Maintenance) ट्रान्सफॉर्मर्सचे लॉसेस कमी करण्यासाठी आणि रिलायबिलिटी (Reliability) वाढवण्यासाठी अत्यंत महत्वाचे आहे.
- नियमित मेंटेनन्समुळे डेटेरिओरेशन (Deterioration) मॉनिटर करता येते, इन्सुलेशन फेल्युअर्स (Insulation Failures) ओळखता येतात आणि उपकरण व सिस्टममधील संभाव्य फॉल्ट्सचा अंदाज येतो.
- शेड्युल्ड मेंटेनन्समुळे लॉसेस कमी होतात आणि ब्रेकडाउन (Breakdown) होण्याचा धोका मोठ्या प्रमाणात घटतो.
- ट्रान्सफॉर्मर्स या स्टॅटिक इलेक्ट्रिकल मशीन (Static Electrical Machines) असल्यामुळे त्यांच्यात मूव्हिंग पार्ट्स नसतात, म्हणून ते नैसर्गिकरित्या विश्वासार्ह असतात आणि योग्य मेंटेनन्स झाल्यास 40 वर्षांपेक्षा जास्त काळ कार्यक्षमतेने चालू शकतात.
- तरीदेखील वारंवार ओव्हरलोडिंग (Overloading), लोड फ्लक्च्युएशन्स (Load Fluctuations), सर्किट अल्टरेशन्स (Circuit Alterations), चुकीचे प्रोटेक्टिव्ह डिवाइस सिलेक्शन (Protective Device Selection) आणि व्होल्टेज व्हेरिएशन्स (Voltage Variations) यामुळे त्यांची इफिशियन्सी (Efficiency) आणि आयुष्य कमी होऊ शकते.
- एक व्यवस्थित पिरिऑडिक मेंटेनन्स प्रोग्राम (Periodic Maintenance Program) लागू केल्यास उपकरण खराब होण्याची शक्यता कमी होते, फॉल्ट लवकर ओळखता येतो आणि ट्रान्सफॉर्मर्सची एनर्जी इफिशियन्सी (Energy Efficiency) सुधारते.

2.3.5 (A) ISS 1186-1967 प्रमाणे डिस्ट्रीब्युशन ट्रान्सफॉर्मरचे मेंटेनन्स शेड्यूल (Maintenance Schedule of Distribution Transformer as per ISS 1186-1967)

- ट्रान्सफॉर्मरवर कोणतेही मेंटेनन्स (Maintenance) करण्यापूर्वी खालील सेफ्टी स्टेप्स (Safety Steps) काटेकोरपणे पाळणे आवश्यक आहे:
 1. आयसोलेट द ट्रान्सफॉर्मर (Isolate the Transformer)
 - ट्रान्सफॉर्मर आयसोलेट (Isolate) करण्यासाठी सेकंडरी साइडवरील लोड काढून टाका,
 - ड्रॉप-आउट फ्यूजेस (Drop-Out Fuses) ओपन करा,
 - आणि एअर-ब्रेक स्विच (Air-Break Switch) ऑफ करा.
 2. प्रॉपर अर्थिंग (Proper Earthing) आयसोलेशननंतर इनकमिंग सप्लाय लाईन्स सुरक्षितपणे अर्थ (Earth) करा जेणेकरून मेंटेनन्स दरम्यान कामगारांची सुरक्षा सुनिश्चित होईल.

3. ऑथराईज्ड पर्सनल ओन्ली (Authorized Personnel Only)
 - मेटेनन्स फक्त योग्य पात्रता असलेल्या आणि अधिकृत (Authorized) व्यक्तींनी करावा.
 - यासाठी काम सुरू करण्यापूर्वी लाइन-क्लियर सर्टिफिकेट (Line-Clear Certificate) घेणे आवश्यक आहे.
4. सेफ्टी प्रिकॉशन्स (Safety Precautions)
 - मेटेनन्स दरम्यान ट्रान्सफॉर्मरच्या जवळ स्मोकिंग (Smoking) किंवा ओपन फ्लेम्स (Open Flames) वापरणे कडक मनाई आहे.
5. ऑइल हँडलिंग प्रिकॉशन्स (Oil Handling Precaution)
 - जर ट्रान्सफॉर्मरमध्ये कन्सर्व्हेटर टँक (Conservator Tank) असेल, तर मुख्य टँक ओपन करण्यापूर्वी कन्सर्व्हेटरमधील ऑइल ड्रेन (Oil Drain) करणे आवश्यक आहे, जेणेकरून निरीक्षण किंवा सर्व्हिसिंग सुरक्षितपणे करता येईल.

Table 2.1.2 shares of electrical energy use by motors in various sectors

Sr. No.	निरीक्षणाची वारंवारिता (Frequency of inspection)	निरीक्षण केलेले (Inspected)	निरीक्षण नोंदी (Inspection notes)	आवश्यक कृती (Action required)
1.	तासानुसार (Hourly)	अॅम्पिअर्स (Amperes), व्होल्ट्स (Volts) आणि टेम्परेचर (Temperature)	रेटेड फिगर्स (Rated figures) शी तपासा	आवश्यक असल्यास फॅन्स (Fans) सुरू करा
2.	दैनिक (Daily)	डीहायड्रेटिंग ब्रीदर (Dehydrating breather)	एअर पॅसेज (Air passage) स्वच्छ आहे का ते पहा. अॅक्टिव्ह एजंट (Active agent) चा रंग तपासा.	सिलिका जेल (Silica gel) गुलाबी असल्यास, जुने साहित्य ट्रीटमेंट (Treatment) करून पुन्हा वापरू शकता.
3.	मासिक (Monthly)	ट्रान्सफॉर्मरमधील ऑइल लेव्हल (Oil level in transformer)	ट्रान्सफॉर्मर ऑइल लेव्हल तपासा.	लेव्हल कमी असल्यास ड्राय ऑइल (Dry oil) भरा व लीक (Leak) आहे का तपासा.
4.	तिमाही (Quarterly)	बुशिंग्स (Bushings)	क्रॅक्स (Cracks) आणि डर्ट डिपॉझिट्स (Dirt deposits) तपासा.	स्वच्छ करा व आवश्यक असल्यास बदला.
5.	सहामाही (Half yearly)	नो कन्सर्व्हेटर (No conservator) प्रकार	कव्हरखाली मॉइश्चर (Moisture) आहे का ते पहा.	वेंटिलेशन (Ventilation) सुधार करा व ऑइल तपासा.

Sr. No.	निरीक्षणाची वारंवारिता (Frequency of inspection)	निरीक्षण केलेले (Inspected)	निरीक्षण नोंदी (Inspection notes)	आवश्यक कृती (Action required)
6.	वार्षिक (Yearly)	ट्रान्सफॉर्मर ऑइल (Oil in transformer)	डायइलेक्ट्रिक स्ट्रेंथ (Dielectric strength), वॉटर कॉन्टेन्ट (Water content), अॅसिडिटी (Acidity) आणि स्लज (Sludge) तपासा.	ऑइलची क्वालिटी (Quality) सुधारण्यासाठी आवश्यक ती पावले उचला.
		अर्थ रेसिस्टन्स (Earth resistance)	-	अर्थ रेसिस्टन्स जास्त असल्यास योग्य पावले उचला.
		रिले (Relays), अलार्म्स (Alarms), त्यांच्या सर्किट्स (Circuits)	रिले आणि अलार्म कॉन्टॅक्ट्स (Contacts), ऑपरेशन, फ्यूजेस (Fuses), रिले अॅक्युरसी (Accuracy) तपासा.	भाग स्वच्छ करा, कॉन्टॅक्ट्स व फ्यूजेस आवश्यक असल्यास बदला. सेटींग (Setting) आवश्यक असल्यास बदला.
7.	2 वर्षांनी (2 Yearly)	नॉन-कन्सर्व्हेटर (Non-conservator) ट्रान्सफॉर्मर्स	कोअर (Core) वरच्या भागाचे इंटरनल इन्स्पेक्शन (Internal inspection)	ऑइल फिल्टर करा, कंडिशन कशीही असली तरी.
8.	5 वर्षांनी (5 Yearly)	-	संपूर्ण ट्रान्सफॉर्मरचे ओव्हरऑल इन्स्पेक्शन (Overall inspection), कोअर आणि कॉइल्स (Coils) उचलून तपासणी	क्लीन ड्राय ऑइल (Clean dry oil) ने वॉशिंग-डाउन (Washing-down) करा.

2.4 एनर्जी कन्सर्वेशन इक्विपमेंट (Energy Conservation Equipment)

- इलेक्ट्रिक मोटर्सची इफिशन्सी (Efficiency) आणि परफॉर्मन्स (Performance) वाढवण्यासाठी व एनर्जी लॉसेस (Energy losses) कमी करण्यासाठी अनेक आधुनिक उपकरणे आणि कंट्रोल सिस्टिम्स (Control systems) वापरली जातात.
- इलेक्ट्रिक मोटर्सशी संबंधित प्रमुख एनर्जी कन्सर्वेशन इक्विपमेंट (Energy Conservation Equipment) खालीलप्रमाणे आहेत:
 - सॉफ्ट स्टार्टर (Soft Starters)
 - पॉवर फॅक्टर कंट्रोलर (Power Factor Controller)
 - ऑटोमॅटिक स्टार-डेल्टा कन्व्हर्टर (Automatic Star-Delta Converter)
 - व्हेरिबल फ्रिक्वेंसी ड्राईव्ह (Variable Frequency Drives – VFD)

2.4.1 सॉफ्ट स्टार्टर (Soft Starters)

- एसी इंडक्शन मोटर (AC Induction Motor) सुरू होताना, त्याचा स्टार्टिंग टॉर्क (Starting torque) खूप जास्त असतो, जो फुल स्पीडला लागणाऱ्या टॉर्कपेक्षा अधिक असतो. हा अचानक निर्माण झालेला टॉर्क बेल्ट, चेन, गिअर्स आणि कपलिंग्स यांसारख्या मेकॅनिकल भागांवर जास्त ताण आणि झीज निर्माण करतो. याव्यतिरिक्त, मोटर सुरू होताना खूप मोठा इनरश करंट (Inrush Current) घेते, ज्यामुळे व्होल्टेज डिप्स (Voltage dips) होऊ शकतात व इतर उपकरणांवर परिणाम होऊ शकतो.
- सॉफ्ट स्टार्टर (Soft Starters) हे एक इलेक्ट्रॉनिक उपकरण आहे, जे मोटरला स्मूथ, नियंत्रित पद्धतीने सुरू करण्यासाठी वापरले जाते. मोटरला सुरुवातीपासूनच पूर्ण व्होल्टेज देण्याऐवजी, सॉफ्ट स्टार्टर व्होल्टेज हळूहळू वाढवतो. त्यामुळे इनरश करंट कमी होतो आणि मोटर व ड्रिवन इक्विपमेंटवरील मेकॅनिकल स्ट्रेस कमी होतो.
- सॉफ्ट स्टार्टर मोटर स्टार्टिंगसाठी विश्वासाह आणि किफायतशीर उपाय उपलब्ध करून देते. हे मोटरला स्मूथ, स्टेपलेस ॲक्सेलरेशन (Acceleration) आणि डी-ॲक्सेलरेशन (Deceleration) देते, ज्यामुळे विंडिंग्स आणि बियरिंग्सवरील ताण कमी होतो आणि मोटरचे आयुष्य वाढते.
- आधुनिक थ्री-फेज सॉफ्ट स्टार्टर (Three-Phase Soft Starters) मध्ये सॉफ्ट स्टार्ट आणि सॉफ्ट स्टॉप फंक्शन्स, ॲडजस्टेबल रॅम्प-अप/रॅम्प-डाऊन टाइम (Ramp-Up / Ramp-Down Time) आणि करंट लिमिट (Current Limit) सारखी वैशिष्ट्ये असतात. तांत्रिकदृष्ट्या, सॉफ्ट स्टार्टर थाय्रिस्टर (Thyristors) सारख्या सॉलिड-स्टेट डिव्हायसेस (Solid-State Devices) चा वापर करून मोटरला मिळणारे व्होल्टेज नियंत्रित करतो, ज्यामुळे स्टार्टिंग टॉर्क आणि करंट प्रभावी पद्धतीने मर्यादित केले जाते.

बेसिक सॉफ्ट स्टार्टरचे मेन कॉम्पोनंट्स (Main Components of a Basic Soft Starter)

a) पॉवर स्विचेस (Power Switches)

- पॉवर स्विचेस हे मोटरला पुरवले जाणारे व्होल्टेज नियंत्रित करणारे मुख्य घटक आहेत. सॉफ्ट स्टार्टरमध्ये या स्विचेसच्या कंडक्शन ॲंगल (Conduction Angle) मध्ये बदल करून आउटपुट व्होल्टेजचे सरासरी मूल्य नियंत्रित केले जाते.
- कंडक्शन ॲंगल वाढवल्यास मोटरला मिळणारे सरासरी व्होल्टेज वाढते आणि मोटरची स्पीड स्मूथरीत्या वाढते.
- थ्री-फेज मोटर (Three-Phase Motor) मध्ये प्रत्येक फेजमध्ये दोन सिलिकॉन कंट्रोल्ड रेक्टिफायर्स (Silicon Controlled Rectifiers – SCRs) बॅक-टू-बॅक जोडले जातात, जे AC वेव्हफॉर्मच्या दोन्ही हाफ सायकलचे नियंत्रण करतात.
- स्विचिंग डिव्हायसेस (Switching Devices) – SCRs यांचे रेटिंग लाइन व्होल्टेजपेक्षा किमान तीन पटीने जास्त असणे आवश्यक आहे, जेणेकरून उच्च स्टार्टिंग करंट आणि व्होल्टेज स्ट्रेस सुरक्षितपणे हाताळता येतील.

b) कंट्रोल लॉजिक (Control Logic)

- कंट्रोल लॉजिक हा भाग SCRs केव्हा आणि कसे ट्रिगर केले जातील हे ठरवतो. AC सायकलमध्ये नेमक्या कोणत्या क्षणी SCR कंडक्ट करायला सुरुवात करेल हे तो फायरिंग ॲंगल (Firing Angle) नियंत्रित करून ठरवतो.

- हा नियंत्रण पीआयडी कंट्रोलर्स (PID Controllers), मायक्रोकंट्रोलर्स (Microcontrollers) किंवा इतर नियंत्रण सर्किट्स वापरून केले जाते, जे SCRs च्या गेट व्होल्टेज (Gate Voltage) ला नियंत्रित करतात.
- फायरिंग अँगल अचूकपणे नियंत्रित केल्याने मोटरला मिळणारे व्होल्टेज हळूहळू वाढते, ज्यामुळे मोटर स्मूथरीत्या सुरू होते आणि इलेक्ट्रिकल व मेकॅनिकल स्ट्रेस टाळला जातो.

2.4.1(A) मोटर सॉफ्ट स्टार्टरचे फायदे (Advantages of Using Motor Soft Starters)

1. रिड्युस्ड एनर्जी कंझम्पशन (Reduced Energy Consumption)
सॉफ्ट स्टार्टर (Soft Starter) मोटर सुरू करताना सप्लाय व्होल्टेज (Supply Voltage) हळूहळू वाढवतो, अचानक पूर्ण व्होल्टेज लागू करत नाही. या नियंत्रित व्होल्टेज रॅम्प-अप (Voltage Ramp-up) मुळे मोटर सुरू होताना लागणारी एनर्जीकमी होते आणि संपूर्ण सिस्टिम अधिक एनर्जी-एफिशियंट (Energy Efficient) बनते.
2. लोअर रिस्क ऑफ पॉवर सर्ज (Lower Risk of Power Surge)
परंपरागत मोटर सुरू करताना मोठा इनरश करंट (Inrush Current) घेतला जातो, ज्यामुळे सर्किट्स ओव्हरलोड होऊ शकतात आणि व्होल्टेज डिप्स (Voltage Dips) निर्माण होतात. सॉफ्ट स्टार्टर व्होल्टेज हळूहळू लागू करून पॉवर सर्जची शक्यता कमी करतो आणि संपूर्ण सिस्टिमवरील इलेक्ट्रिकल स्ट्रेस कमी करतो.
3. अँडजस्टेबल अँसेलरेशन टाइम (Adjustable Acceleration Time)
अनेक सॉफ्ट स्टार्टरमध्ये मोटरचा अँसेलरेशन टाइम (Acceleration Time) सेट करता येतो. यामुळे मशीनच्या स्थितीनुसार स्टार्टअप वर्तन नियंत्रित करता येते, जुन्या किंवा संवेदनशील उपकरणांसाठी जास्त टाइम आणि मजबूत मशीनसाठी कमी टाइम. त्यामुळे अधिक सुसंगत व स्मूथ ऑपरेशन मिळते.
4. इन्क्रिज्ड स्टार्ट्स पर अवर (Increased Number of Starts per Hour)
सॉफ्ट स्टार्टरमुळे मोटरवरील मेकॅनिकल आणि थर्मल स्ट्रेस (Mechanical & Thermal Stress) कमी होतो, त्यामुळे एकाच तासात मोटर अधिक वेळा सुरू करता येते. जिथे मोटर वारंवार चालू-बंद करावी लागते अशा उद्योगांसाठी हे विशेषतः उपयुक्त आहे.
5. रिड्युस्ड रिस्क ऑफ ओव्हरहीटिंग (Reduced Risk of Overheating)
व्होल्टेज हळूहळू लागू केल्यामुळे मोटरमध्ये अचानक जास्त करंट जात नाही. त्यामुळे वाइंडिंग टेम्परेचर (Winding Temperature) नियंत्रित राहते आणि ओव्हरहीटिंग होण्याचा धोका कमी होतो. यामुळे मोटरचे संरक्षण होते आणि बिघाड टळतात.
6. इम्प्रुव्ह्ड ऑपरेटिंग इफिशन्सी (Improved Operating Efficiency)
व्होल्टेज डिप्स, ओव्हरहीटिंग आणि मेकॅनिकल शॉक यांसारखे मुद्दे कमी केल्यामुळे सॉफ्ट स्टार्टर मोटर आणि मशीनची एकूण रिलायबिलिटी (Reliability) आणि इफिशन्सी (Efficiency) वाढवतो. त्यामुळे ऑपरेशन स्मूथ राहते आणि डाउनटाइम कमी होते.
7. एक्स्टेंडेड इक्विपमेंट लाईफस्पॅन (Extended Equipment Lifespan)
सॉफ्ट स्टार्टर इलेक्ट्रिकल आणि मेकॅनिकल स्ट्रेस कमी करतो. त्यामुळे मोटर, बियरिंग, बेल्ट्स आणि कपलिंग्ज यांचे आयुष्य वाढते. दीर्घकाळात मेंटेनन्स खर्च कमी होतो आणि सिस्टिम अधिक विश्वसनीय बनते.

2.4.1(B) सॉफ्ट स्टार्टरचे ॲप्लिकेशन्स (Applications of Soft Starter)

- स्टील इंडस्ट्रीज (Steel Industries – Rolling Mills & Processing Lines)
- सिमेंट इंडस्ट्रीज (Cement Industries)
- शुगर प्लांट्स (Sugar Plants)

- टेक्स्टाईल इंडस्ट्रीज (Textile Industries)
- मशीन टूल ऑप्लिकेशन्स (Machine Tool Applications)
- पॉवर सेक्टर (Power Sector)
- पंप ऑप्लिकेशन्स (Pump Applications)
- विविध प्रोसेस कंट्रोल ऑप्लिकेशन्स (Process Control Applications)

2.4.2 पॉवर फॅक्टर कंट्रोलर (Power Factor Controller)

- इलेक्ट्रिकल पॉवर सिस्टीममध्ये, योग्य पॉवर फॅक्टर (Power Factor) राखणे हे एनर्जी मॅनेजमेंट (Energy Management) आणि खर्च कमी करण्यासाठी अत्यंत महत्वाचे मानले गेले आहे.
पॉवर फॅक्टर सुधारणा साधारणपणे कॅपॅसिटर बँक (Capacitor Bank) वापरून केली जाते, ज्यांना सिस्टीमच्या रिअॅक्टिव्ह पॉवर (VAR) आवश्यकता नुसार आपोआप जोडले किंवा काढले जाते.
- योग्य प्रकारे – विशेषतः ऑटोमॅटिक कंट्रोल मेकॅनिझम (Automatic Control Mechanism) द्वारे – लागू आणि नियंत्रित केल्यास, कॅपॅसिटर स्थानिक पातळीवर रिअॅक्टिव्ह करंट पुरवतात.
यामुळे लाईन लॉसेस कमी होतात, व्होल्टेज स्थिरता सुधारते आणि युटिलिटी दंड कमी होतात, ज्यामुळे एकूण इलेक्ट्रिसिटी खर्च घटतो.
- ऑटोमॅटिक पॉवर फॅक्टर कंट्रोल (APFC – Automatic Power Factor Control) हे रिलेज, मायक्रोप्रोसेसर किंवा मायक्रोकंट्रोलर्स वापरून अमलात आणले जाऊ शकते.
ऑटोमॅटिक सिस्टीमसाठी सामान्यतः वापरल्या जाणाऱ्या नियंत्रण पद्धती म्हणजे:
– व्होल्टेज-बेस्ड कंट्रोल (Voltage-Based Control)
– KVAR-बेस्ड कंट्रोल (KVAR-Based Control)
यापैकी KVAR-सेंसिटिव्ह पद्धत अधिक प्रभावी असते, जेव्हा व्होल्टेज लेव्हल कठोरपणे नियंत्रीत असल्यामुळे ते कंट्रोल पॅरामीटर म्हणून वापरता येत नाही.
- APFC युनिट (APFC Unit) सतत सिस्टीमचा पॉवर फॅक्टर मॉनिटर करते आणि कॅपॅसिटर बँकचे ऑपरेशन नियंत्रित करून तो इच्छित मूल्याजवळ (साधारणपणे 0.95 पेक्षा जास्त) ठेवते.
यामुळे सिस्टीम करंट कमी होतो, व्होल्टेज ड्रॉप कमी होतो आणि ट्रान्समिशन लॉसेस आपोआप कमी होतात.
- पॉवर फॅक्टर करेक्शनमुळे प्रत्यक्ष एनर्जी (kWh) कमी होत नाही, कारण रिअल पॉवर (Real Power) कायम समान राहते.
परंतु डिमांड चार्जस कमी करून आणि दंड टाळून इलेक्ट्रिसिटी बिल लक्षणीय कमी होते.
म्हणून हे तांत्रिक दृष्ट्या एनर्जी कंझर्व्हेशनचे उपकरण नसले तरीही मोठे खर्च बचत तंत्र आहे आणि इतर एनर्जीकार्यक्षम तंत्रांसोबत वापरले जाते.
- व्यवहारात, कॅपॅसिटर किंवा APFC पॅनेल (APFC Panel) पॉवर नेटवर्कमध्ये धोरणात्मकरीत्या बसवले जातात, जेणेकरून इंडक्टिव्ह लोड असलेल्या सिस्टीमचे क्षतिपूर्तीकरण करता येईल.
लहान इन्स्टॉलेशन्समध्ये बल्क करेक्शन (Bulk Correction) डिस्ट्रीब्युशन पॅनेलवरच केले जाते, तर मोठ्या औद्योगिक ठिकाणी अनेक मोटर्स असतात म्हणून सेंट्रलाइज्ड कॉम्पेन्सेशन (Centralized Compensation) प्राधान्य दिले जाते.
- अशा सिस्टीममध्ये, कॅपॅसिटर बँक्स (Capacitor Banks) पायरी-पायरीने (Steps) मुख्य इनकमिंग डिस्ट्रीब्युशन बोर्डवर बसवले जातात.
APFC कंट्रोलर (APFC Controller) सतत करंट आणि पॉवर फॅक्टर मॉनिटर करून, आवश्यकतेनुसार

कॅपेसिटर स्टेप्स ऑन/ऑफ करतो, ज्यामुळे सिस्टीम इच्छित पॉवर फॅक्टर स्तरावर कार्यक्षमतेने चालत राहते.

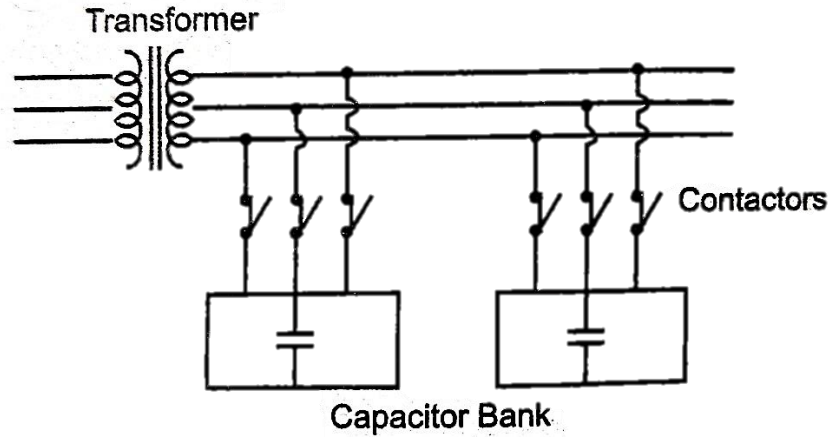


Figure 2.2 Power Factor Controller

2.4.3 ऑटोमॅटिक स्टार-डेल्टा कन्वर्टर (Automatic Star-Delta Converter)

- स्टार-डेल्टा स्टार्टर (Star-Delta Starter) हे एक इलेक्ट्रोमेकॅनिकल डिवाइस (Electromechanical Device) आहे जे थ्री-फेज इंडक्शन मोटरची सुरुवात आणि गती नियंत्रण करण्यासाठी वापरले जाते. हे स्टार-डेल्टा (Y- Δ) स्टार्टिंग मेथड (Star-Delta Starting Method) वर कार्य करते, ज्यामध्ये सुरुवातीला मोटरची वाइंडिंग स्टार (Star) कनेक्शनमध्ये जोडली जाते आणि मोटर एका विशिष्ट वेगावर पोहोचल्यावर डेल्टा (Delta) कनेक्शनवर स्विच केली जाते.
- थ्री-फेज इंडक्शन मोटर सुरू होताना, ती फुल-लोड करंट (Full Load Current) च्या 6 पट जास्त करंट घेतो.

हा हाय इनरश करंट (High Inrush Current) मर्यादित करण्यासाठी सुरुवातीला वाइंडिंग स्टार मध्ये जोडली जाते, ज्यामुळे प्रत्येक वाइंडिंगवरच्या व्होल्टेजचे मूल्य ($1/\sqrt{3}$) पटीने कमी होते.

यामुळे प्रारंभीचा करंट खूपच कमी होतो आणि मोटरवरील मेकॅनिकल आणि इलेक्ट्रिकल स्ट्रेस (Mechanical & Electrical Stress) कमी होतो.

मोटर साधारणपणे 80% रेटेड स्पीड (Rated Speed) वर पोहोचल्यावर टायमर (Timer) किंवा मायक्रोकंट्रोलर-बेस्ड सर्किट (Microcontroller-Based Circuit) वाइंडिंगला डेल्टा कॉन्फिगरेशनमध्ये स्विच करते, ज्यामुळे मोटर पूर्ण क्षमतेवर कार्य करू शकते.

- सामान्य स्टार-डेल्टा स्टार्टरचा कंट्रोल सर्किट (Control Circuit) मध्ये कॉन्टॅक्टर्स (Contactors), टायमर्स (Timers) आणि ओव्हरलोड रिलेज (Overload Relays) असतात, जे स्टार आणि डेल्टा कनेक्शनमधील ट्रान्झिशन आपोआप नियंत्रित करतात.
- ऑटोमॅटिक स्टार-डेल्टा स्टार्टर (Automatic Star-Delta Starter) मायक्रोकंट्रोलर-बेस्ड कंट्रोल तंत्र वापरून व्हेरीएबल लोड कंडीशन्समध्ये एनर्जी इफिशन्सी (Efficiency) वाढवतो. ही सिस्टीम मोटर लोड मॉनिटर करते आणि एनर्जीबचतीसाठी स्टार किंवा डेल्टा मोडमध्ये आपोआप स्विच करते.
- मोटर लाइट लोड (30% पेक्षा कमी) वर कार्य करत असेल तर ती स्टार मोड (Star Mode) मध्ये चालते, ज्यामुळे व्होल्टेज कमी होते आणि एनर्जीबचत होते.
- लोड निश्चित मर्यादपेक्षा (साधारणतः 50%) जास्त झाल्यावर सिस्टीम आपोआप डेल्टा मोड (Delta Mode) मध्ये स्विच करते.

- ही पद्धत विशेषतः अशा ॲप्लिकेशन्समध्ये 25–30% एनर्जी कन्झर्वेशन देते, जिथे मोटर जास्त वेळ पार्टियल लोड (Partial Load) वर कार्य करते.

2.4.3 (A) ऑटोमॅटिक स्टार-डेल्टा स्टार्टरचे फायदे (Advantages of Automatic Star-Delta Starter)

- रिड्यूस्ड स्टार्टिंग करंट (Reduced Starting Current):
डायरेक्ट-ऑन-लाइन (DOL Starting Current) च्या तुलनेत स्टार मोडमध्ये इनरश करंट $1/3$ पर्यंत कमी होतो.
- एनर्जी सेव्हिंग (Energy Saving):
लाइट-लोड ऑपरेशनमध्ये 25–30% पर्यंत एनर्जीबचत.
- इम्प्रूव्ड पॉवर फॅक्टर (Improved Power Factor):
लाइट लोडवर स्टार कनेक्शनमुळे पॉवर फॅक्टर सुधारतो.
- लोअर मेकॅनिकल स्ट्रेस (Lower Mechanical Stress):
स्मूद ॲक्सेलरेशनमुळे शाफ्ट, बेल्ट आणि कपलिंग्सवरचा झीज कमी होतो.
- रिड्यूस्ड कंडक्टर साईज (Reduced Conductor Size):
करंट कमी असल्याने लहान केबल्स वापरता येतात.
- एन्हांस्ड इक्विपमेंट लाईफ (Enhanced Equipment Life):
थर्मल आणि मेकॅनिकल स्ट्रेस कमी होत असल्याने मोटर व इक्विपमेंटचे आयुष्य वाढते.

2.4.3 (B) ॲप्लिकेशन्स (Applications)

- स्टार-डेल्टा स्टार्टर्स (Star-Delta Starters) खालील औद्योगिक ठिकाणी मोठ्या इंडक्शन मोटर्ससाठी मोठ्या प्रमाणावर वापरले जातात:
 - ॱऑइल आणि गॅस प्लांट्स (Oil & Gas Plants)
 - माइनिंग ऑपरेशन्स (Mining Operations)
 - वॉटर पंपिंग सिस्टिम्स (Water Pumping Systems)
 - कन्वेयर आणि कम्प्रेसर ड्राईव्ह्स (Conveyor & Compressor Drives)
 - मॅन्युफॅक्चरिंग आणि प्रोसेस इंडस्ट्रीज (Manufacturing & Process Industries)

2.4.4 व्हेरीएबल फ्रिक्वेन्सी ड्राइव्ह (Variable Frequency Drive – VFD)

- व्हेरीएबल फ्रिक्वेन्सी ड्राइव्ह (Variable Frequency Drive – VFD) हे एक इलेक्ट्रॉनिक उपकरण आहे, जे AC मोटरला पुरविल्या जाणाऱ्या वीजेची फ्रिक्वेन्सी आणि व्होल्टेज बदलून मोटरची गती आणि टॉर्क नियंत्रित करण्यासाठी वापरले जाते.
- VFD च्या वापरामुळे मोटरचे स्मूद स्टार्ट-अप आणि शट-डाउन, ओव्हरलोड संरक्षण, कमी एनर्जीवापर आणि कार्यक्षम नियंत्रण मिळते.
- VFD चे मुख्य तीन भाग (Main Sections of VFD)
 - रेक्टिफायर (Rectifier) – इनपुटमधील AC पुरवठा DC मध्ये रूपांतरित करतो.
 - DC लिंक / फिल्टर (DC Link / Filter) – कॅपेसिटर किंवा इंडक्टरच्या सहाय्याने DC सिग्नल स्मूद करते.
 - इन्व्हर्टर (Inverter) – DC सिग्नल पुन्हा व्हेरीएबल फ्रिक्वेन्सी AC मध्ये रूपांतरित करतो, ज्यामुळे मोटरचा वेग नियंत्रित करता येतो.

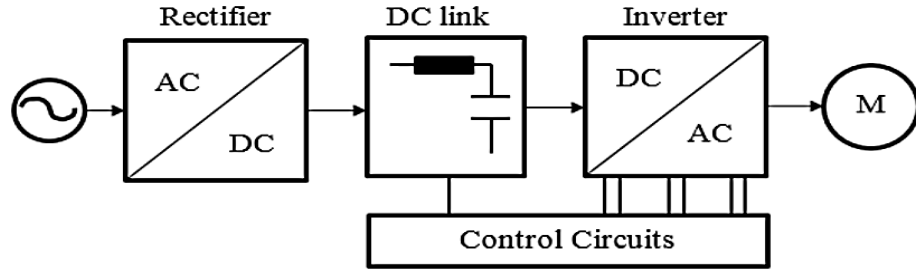


Figure 2.3 Variable Frequency Drives (VFD)

- VFD चे कार्य (Operation of VFD) हे मोटरला पुरविल्या जाणाऱ्या फ्रिक्वेन्सी (Frequency – f) आणि व्होल्टेज (Voltage – V) नियंत्रित करण्यावर आधारित असते. पुरवठा फ्रिक्वेन्सी आणि मोटरच्या समसामयिक वेगामधील संबंध खालीलप्रमाणे दिलेला आहे:

$$N_s = \frac{120f}{P}$$

Where:

N_s = सिन्क्रोनस स्पीड (Synchronous speed) (rpm)

f = सप्लाय फ्रीक्वेन्सी (Supply frequency) (Hz)

P = मोटरचे पोल्स (Number of poles of the motor)

- सप्लाय फ्रीक्वेन्सी (Supply frequency) मध्ये बदल केल्यास मोटरचा सिन्क्रोनस स्पीड (Synchronous speed) थेट प्रमाणात बदलतो, त्यामुळे मोटरचा वेग अचूकरीत्या नियंत्रित करता येतो.
- एसी मोटरचा टॉर्क (Torque) हा मॅग्नेटिक फ्लक्स (Magnetic Flux – ϕ) आणि करंट (Current – I) यांवर अवलंबून असतो.

$$T \propto \phi I$$

- कॉन्स्टंट V/f रेशो (Constant V/f Ratio) कायम ठेवणे यामुळे मॅग्नेटिक फ्लक्स (Magnetic Flux) स्थिर राहतो, आणि मोटर वेग बदलला तरी कन्सिस्टंट टॉर्क (Consistent Torque) निर्माण करू शकते.

$$K = \frac{F}{F_{rated}}$$

- जेव्हा व्होल्टेज (Voltage) आणि फ्रिक्वेन्सी (Frequency) दोन्हींचा प्रपोर्शनल (Proportional) बदल केला जातो, तेव्हा मोटरमधील मॅग्नेटिक फील्ड स्ट्रेंथ (Magnetic Field Strength) कायम राहते. त्यामुळे मोटर ओव्हरहीटिंग किंवा सॅच्युरेशन न होता एफिशियंट टॉर्क कंट्रोल (Efficient Torque Control) मिळते.

वीएफडीचे प्रकार (Types of VFDs)

VFDs त्याच्या कन्व्हर्टर टोपोलॉजी नुसार खालीलप्रमाणे वर्गीकृत केले जातात:

- व्होल्टेज सोर्स इन्व्हर्टर (Voltage Source Inverter – VSI)
- करंट सोर्स इन्व्हर्टर (Current Source Inverter – CSI)
- लोड कम्युटेटेड इन्व्हर्टर (Load Commutated Inverter – LCI)

2.4.4(A) व्हीएफडीची फंक्शन्स आणि ॲप्लिकेशन्स (Functions and Applications of VFD)

- VFD त्याच्या बहुपयोगी क्षमता आणि कार्यक्षमतेमुळे इंडस्ट्रियल आणि कमर्शियल सेक्टर्स (Industrial and Commercial Sectors) मोठ्या प्रमाणावर वापरला जातो. त्याची प्रमुख कार्ये:
 - लोडच्या मागणीनुसार मोटरचा वेग नियंत्रित करून एनर्जी कंझर्वेशन.
 - सिस्टमची एकूण इफिशियन्सी (Efficiency) वाढवणे व पॉवर लॉसेस कमी करणे.
 - हायब्रिड किंवा रिजनरेटिव्ह सिस्टममध्ये पॉवर कन्व्हर्जन.

4. उत्पादन प्रक्रियेनुसार मोटरचा वेग बदलून प्रोसेस ऑप्टिमायझेशन.
5. यांत्रिक ताण कमी करणे, ज्यामुळे उपकरणांचे आयुष्य वाढते.
6. ऑपरेटिंग वातावरणात आवाज व कंपने कमी करणे.
7. पीक डिमांड कमी करून लहान रेटिंगची मोटर व उपकरणे वापरण्याची सुविधा.
8. सामान्य VFD अप्लिकेशन्स:
फॅन्स, पंप्स, कम्प्रेसर, कन्व्हेयर, क्रशर, मिल्स, एलिक्ट्रॉन्स, एस्कलेटर – म्हणजे जिथेही व्हेरियेबल स्पीड ऑपरेशनमुळे सिस्टिम ची इफिशन्सी (Efficiency) सुधारते.

2.4.4(B) VFD चे फायदे (Benefits of VFDs)

- एनर्जी कंझर्वेशन
- प्रक्रियेवर अधिक चांगले नियंत्रण
- खर्च बचत
- उत्पादनक्षमता वाढ
- उत्पादनाची गुणवत्तावाढ
- स्वतंत्र कंट्रोलरशिवाय तापमान, दाब किंवा वहन (Flow) नियंत्रित करता येते
- मॅटेनन्स खर्च कमी
- बेअरिंग्स व मोटरचे आयुष्य जास्त
- मोटरसाठी स्वतंत्र Soft Starter ची गरज नसते
- वापरकर्त्याने निवडलेल्या मर्यादित टॉर्क मर्यादित केला जाऊ शकतो

2.5 एनर्जी इफिशंट मोटर (Energy Efficient Motor)

- एनर्जी इफिशंट मोटर या उच्च कार्यक्षमतेसाठी विशेष डिझाइन केलेल्या असतात. त्यांचे उद्दिष्ट विद्युत व यांत्रिक नुकसान कमी करून उर्जेची बचत करणे व मोटरचे इफिशन्सी (Efficiency) वाढवणे आहे.
- मोटर इफिशन्सी (Efficiency) वाढवण्यासाठी कमी कराव्या लागणाऱ्या नुकसानांचे प्रकार:

1. स्टॅटर कॉपर लॉसेस (Stator Copper Losses)

- योग्य कंडक्टर आकाराची निवड करून स्टॅटर वाइंडिंगचा प्रतिकार कमी केला जातो.
- तांब्याच्या जाड वायरचा वापर केल्यास I^2R लॉसेस कमी होतात.

2. रोटार कॉपर लॉसेस (Rotor Copper Losses)

- मोठ्या रोटार बार्स आणि ऍंड-रिंग्स वापरल्यास रोटारचा प्रतिकार कमी होतो.
- अल्युमिनियमऐवजी तांब्याचा वापर केल्यास इफिशन्सी (Efficiency) वाढते.
- मोटर सिंक्रोनस स्पीडच्या (Synchronous Speed) जवळ चालवल्यास I^2R लॉसेस कमी होतात.

3. कोर लॉसेस (Core or Iron Losses)

- लो-लॉस सिलिकॉन स्टीलचा वापर करून हिस्टेरिसिस लॉस कमी केला जातो.
- पातळ लेमिनेशन्स वापरल्यास Eddy Current लॉसेस कमी होतात.

4. फ्रिक्शन व विंडेज लॉसेस (Friction and Windage Losses)

- योग्य डिझाइनचा फॅन वापरल्यास हवेच फ्रिक्शन कमी होतो.
- उच्च-गुणवत्तेची बेअरिंग्स वापरल्यास यांत्रिक फ्रिक्शन कमी होते.
- एरोडायनामिक रोटार डिझाइनमुळे विंडेज लॉसेस कमी होतात.

5. स्ट्रे-लोड लॉसेस (Stray Load Losses)

- योग्य एअर-गॅप, स्लॉट संख्या व दातांची (Teeth) रचना ऑप्टिमाईज केल्यास हे लॉसेस कमी होतात.

→ जरी एनर्जीकार्यक्षम मोटर्सची किंमत जास्त असते, तरी दीर्घकालीन एनर्जीबचत आणि मेंटेनन्स बचतीमुळे त्या आर्थिकदृष्ट्या फायदेशीर ठरतात.

2.5.1 एनर्जी एफिशंट मोटरची प्रमुख वैशिष्ट्ये (Key Features of Energy Efficient Motor)

1. हाय एफिशन्सी डिझाईन (High Efficiency Design)
इलेक्ट्रिकल आणि मेकॅनिकल लॉसेस कमी करून त्याच इनपुट पॉवरवर जास्त आउटपुट देण्यासाठी मोटरची रचना करण्यात येते.
2. इम्प्रूव्ड कॉपर वाइंडिंग्स (Improved Copper Windings)
मोठ्या क्रॉस-सेक्शन असलेल्या कॉपर कंडक्टर्समुळे रेझिस्टन्स कमी होतो आणि स्टेटर व रोटरचे I²R लॉसेस घटतात.
3. लो-लॉस मॅग्नेटिक कोर (Low-Loss Magnetic Core)
हाय-ग्रेड सिलिकॉन स्टील व पातळ लेमिनेशन्स वापरल्यामुळे हिस्टेरिसिस व एडी करंट लॉसेस कमी होतात.
4. एनहॅन्स्ड कूलिंग सिस्टम (Enhanced Cooling System)
ऑप्टिमाइज्ड फॅन आणि एअरफ्लो डिझाईनमुळे फ्रिक्शन, विंडेज लॉसेस कमी होतात आणि मोटरचे तापमान स्थिर राहते.
5. सुपीरियर बेअरिंग्स आणि मेकॅनिकल कॉम्पोनंट्स (Superior Bearings and Mechanical Components)
उच्च दर्जाचे बेअरिंग्स आणि प्रिजीजन-बॅलन्स रोटर्समुळे मेकॅनिकल फ्रिक्शन व व्हायब्रेशन कमी होतात.
6. ऑप्टिमाइज्ड इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक डिझाईन (Optimized Electromagnetic Design)
सुधारित एअर-गॅप लांबी, स्लॉट डिझाईन आणि वाइंडिंग कॉन्फिगरेशनमुळे स्ट्रे लोड लॉसेस कमी होतात.
7. रिड्यूस्ड नॉइज अँड व्हायब्रेशन (Reduced Noise and Vibration)
उत्तम बॅलन्स आणि अँडव्हान्स्ड इन्सुलेशनमुळे मोटर अधिक स्मूथ आणि शांतपणे चालते.
8. लॉन्गर सर्व्हिस लाईफ (Longer Service Life)
कमी तापमान आणि कमी स्ट्रेसमुळे मोटरचे आयुष्य वाढते.
9. लोअर ऑपरेटिंग कॉस्ट (Lower Operating Cost)
प्रारंभिक किंमत जास्त असली तरी कमी एनर्जीवापरामुळे खर्च लवकर परत मिळतो.
10. एन्व्हायर्नमेंटल बेनिफिट्स (Environmental Benefits)
कमी पॉवर डिमांडमुळे CO₂ उत्सर्जन घटते आणि एनर्जी कंझर्वेशनला मदत होते.

2.5.2 एनर्जी एफिशंट मोटरचे फायदे (Merits of Energy Efficient Motor)

1. रिड्यूस्ड एनर्जी कंझंप्शन (Reduced Energy Consumption)
जास्त कार्यक्षमतेमुळे दीर्घकाळात लक्षणीय एनर्जीबचत होते.
2. लोअर ऑपरेटिंग कॉस्ट (Lower Operating Cost)
कमी पॉवर लॉसेसमुळे इलेक्ट्रिसिटी बिल कमी येते आणि गुंतवणूक लवकर परत मिळते.
3. लॉन्गर सर्व्हिस लाईफ (Longer Service Life)
उच्च दर्जाचे साहित्य आणि कमी हीट जनरेशनमुळे मोटरचे आयुष्य वाढते.
4. इम्प्रूव्ड रिलायबिलिटी (Improved Reliability)
उच्च दर्जाचे घटक व कमी तापमानामुळे मोटर अधिक स्थिर व विश्वसनीय होते.
5. लेस हीट जनरेशन (Less Heat Generation)
कार्यक्षम डिझाईनमुळे तापमान वाढ कमी होते आणि सुरक्षितता वाढते.

6. एन्वायरनमेंटल बेनिफिट्स (Environmental Benefits)

एनर्जीमागणी कमी झाल्यामुळे हरितगृह वायूचे उत्सर्जन कमी होते.

2.5.3 एनर्जी एफिशंट मोटरचे तोटे (Demerits of Energy Efficient Motor)

1. हायर इनिशियल कॉस्ट (Higher Initial Cost)

उच्च दर्जाचे मटेरियल आणि प्रिमीजम मॅन्युफॅक्चरिंग वापरल्यामुळे यांची किंमत सामान्य मोटर्सपेक्षा जास्त असते.

2. लार्जर फिजिकल साईज आणि वेट (Larger Physical Size and Weight)

जाड कॉपर वाइंडिंग्स आणि लांब कोर यामुळे मोटरचे आकारमान आणि वजन वाढू शकते.

3. रिड्यूसड स्टार्टिंग टॉर्क (Reduced Starting Torque)

काही एनर्जी एफिशंट मोटर डिझाईन्समध्ये पारंपरिक मोटर्सच्या तुलनेत स्टार्टिंग टॉर्क किंचित कमी असू शकतो.

4. पे-बॅक यूसेजवर अवलंबून (Payback Depends on Usage)

एनर्जीबचतीचा जास्त फायदा सतत चालणाऱ्या लोड्समध्ये मिळतो; कमी वेळ किंवा इंटरमिटंट वापरासाठी फायदा मर्यादित असतो.

5. हायर रिपेयर किंवा रिप्लेसमेंट कॉस्ट (Higher Repair or Replacement Cost)

घटक आणि वापरलेली सामग्री महाग असल्यामुळे दुरुस्ती, रिवाइंडिंग किंवा बदलणे खर्चिक ठरते.

2.5.4 स्टँडर्ड मोटर आणि एनर्जी एफिशन्सी मोटर यांची तुलना

(Comparison of Energy Efficient Motor with Standard Motor)

Sr. No.	Particulars	स्टँडर्ड मोटर (Standard motor)	एनर्जी एफिशन्सी मोटर (Energy efficient motor)
1.	Material used	They are manufactured with lower quality materials and techniques.	They are manufactured with higher quality material and techniques.
		Small length of core.	More length of core.
		Lower quality and thick silicon steel laminations in stator.	Higher quality and thinner steel laminations in the stator.
		Air gap is not optimized between the rotor and stator.	Optimized and even air gap between rotor and stator.
2.	Losses	High	They usually have higher service factors and bearing lives, less waste heat output, all of which increase reliability.
3.	Starting torque	Sufficient	Very high.
4.	Speed	Speed may not be so smooth, jerks, vibrations may be involved.	Smooth speed over a required range and less vibrations.
5.	Maintenance	More, less warranty. High failure rates.	Negligible maintenance. Longer warranties. Low failure rates.

6.	Operating temperature	At high temperature some problems may arise in the operation.	Can withstand high temperature without any problem.
----	-----------------------	---	---

2.6 एनर्जी एफिशन्सी ट्रान्सफॉर्मर्स (Energy Efficient Transformers)

- एनर्जी एफिशन्सी ट्रान्सफॉर्मर्स (Energy Efficient Transformers) हे कोर लॉसेस (Core Losses) आणि कॉपर लॉसेस (Copper Losses) कमी करण्यासाठी डिझाइन केले जातात, ज्यामुळे ते पारंपरिक ट्रान्सफॉर्मर्सपेक्षा (Conventional Transformers) अधिक कार्यक्षम असतात. हे ट्रान्सफॉर्मर्स एनर्जीबचत, कमी ऑपरेटिंग खर्च आणि चांगल्या परफॉर्मन्समध्ये मोठी भूमिका निभावतात.
- एनर्जी एफिशन्सी ट्रान्सफॉर्मर्स चे प्रकार
 1. अमॉर्फस ट्रान्सफॉर्मर (Amorphous Transformer)
 2. ड्राय टाईप ट्रान्सफॉर्मर (Dry Type Transformer)

2.6.1 अमॉर्फस ट्रान्सफॉर्मर्स (Amorphous Transformers)

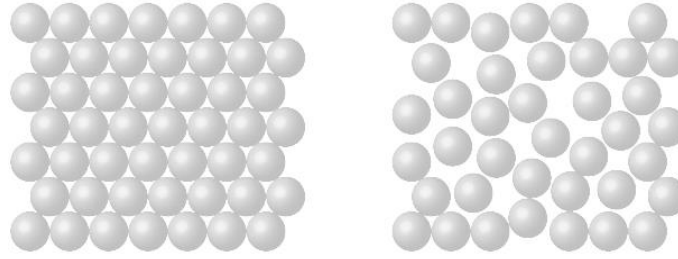
- अमॉर्फस कोर ट्रान्सफॉर्मर (Amorphous Core Transformer) किंवा अमॉर्फस मेटल ट्रान्सफॉर्मर (Amorphous Metal Transformer – AMT) हा असा ट्रान्सफॉर्मर आहे जो ट्रान्समिशन (Transmission) आणि डिस्ट्रिब्युशन लॉसेस (Distribution Losses) लक्षणीयरीत्या कमी करण्यासाठी डिझाइन केला जातो.
- मॅग्नेटिक मटेरियल्स (Magnetic Materials) मधील प्रगतीमुळे इम्प्रुव्हड सिलिकॉन स्टील (Improved Silicon Steel) वापरून तयार केलेल्या ट्रान्सफॉर्मर्सचे लॉसेस साधारण 50% ने कमी झाले आहेत. मात्र अमॉर्फस मेटल अलॉय कोर (Amorphous Metal Alloy Core) वापरल्यास यापेक्षाही जास्त इफिशन्सी (Efficiency) मिळते.
- अमॉर्फस मेटल कोर (Amorphous Metal Core) metallic glass alloy पासून तयार केला जातो. याची नॉन-क्रिस्टलाईन स्ट्रक्चर (Non-Crystalline Structure) असल्यामुळे कोर सहज मॅग्नेटाईझ (Magnetize) आणि डीमॅग्नेटाईझ (Demagnetize) होऊ शकतो. त्यामुळे सीआरजीओ स्टील कोर ट्रान्सफॉर्मर (CRGO Steel Core Transformer) च्या तुलनेत कोर लॉसेस 70%–80% कमी होतात. यामुळे एनर्जी वेस्टेज (Energy Wastage), हीट जनरेशन (Heat Generation) आणि व्हायब्रेशन लॉसेस (vibration losses) कमी होतात आणि CO₂ एमिशन (CO₂ Emissions) देखील घटतात.
- अमॉर्फस कोर ट्रान्सफॉर्मर्स पार्टियल लोड (Partial Load) वरसुद्धा उच्च इफिशन्सी (Efficiency) टिकवून ठेवतात. साधारण 35% लोडिंग वर 98.5% efficiency मिळते. जरी यांची इनिशियल कॉस्ट (Initial Cost) जास्त असली तरी दीर्घकालीन एनर्जी सेव्हिंग (Energy Saving) आणि कमी लॉसेस मुळे गुंतवणूक लवकर परत मिळते.

(A) अमॉर्फस अलॉय (Amorphous Alloy)

- बहुतेक मेटल्सला क्रिस्टलाईन स्ट्रक्चर (Crystalline Structure) असते, म्हणजे अॅटम्स (Atoms) नियमित व व्यवस्थित पॅटर्न मध्ये रचलेले असतात. पण मोल्टन मेटल (Molten Metal) ला उच्च तापमानावरून जलद थंड केले तर अॅटम्स ला क्रिस्टलाईन संरचना तयार करायला वेळ मिळत नाही. त्यामुळे नॉन-क्रिस्टलाईन (अमॉर्फस) अलॉय (non-crystalline (amorphous) alloy) तयार होतो, ज्यात अॅटम्स रँडम स्वरूपात रचलेले असतात.
- हे अमॉर्फस अलॉयज (Amorphous Alloys) मध्ये सुपीरियर मेकॅनिकल स्ट्रेंथ (Superior Mechanical Strength), एक्सलंट मॅग्नेटिक प्रॉपर्टीज (Excellent Magnetic Properties) आणि कन्व्हेन्शनल क्रिस्टलाईन मेटल्स (Conventional Crystalline Metals) पेक्षा चांगल्या इलेक्ट्रिकल कॅरेक्टरिस्टिक्स (Electrical

Characteristics) असतात. परंतु त्यांचे मॅन्युफॅक्चरिंग (Manufacturing) रॅपिड क्वेंचिंग प्रोसेस (Rapid Quenching Process) असल्यामुळे अँडव्हान्स्ड फॅब्रिकेशन आणि प्रोसेसिंग टेक्निक्स (Advanced Fabrication and Processing Techniques) आवश्यक असतात.

- अमॉर्फस कोर ट्रान्सफॉर्मर्स (Amorphous Core Transformers) मध्ये मॅग्नेटिक कोर (Magnetic Core) फेरोमॅग्नेटिक अमॉर्फस मेटल (Ferromagnetic Amorphous Metal) पासून बनवला जातो. सर्वाधिक वापरले जाणारे मटेरियल म्हणजे मेटग्लास (Metglas), जे आयर्न (Iron - Fe), बोरॉन (Boron - B), सिलिकॉन (Silicon - Si) आणि फॉस्फोरस (Phosphorus - P) यांचे अलॉय (Alloy) असते. हे अलॉय साधारण 25 μm जाडीच्या थिन शीट्स (Thin Sheets) च्या स्वरूपात तयार केले जाते.



Crystalline

Amorphous

Figure 2.3 Arrangement of Atoms

अमॉर्फस अलॉयचे फायदे (Advantages of Amorphous Alloys)

- हाय मॅग्नेटिक पर्मियाबिलिटी (High Magnetic Permeability) – ज्यामुळे मॅग्नेटिक फ्लक्सचे कार्यक्षम ट्रान्सफर होते.
- लो कोअर्सिव्हिटी (Low Coercivity) – बाहेरील मॅग्नेटिक फील्डचा कमी प्रभाव होतो.
- हाय इलेक्ट्रिकल रेसिस्टिव्हिटी (High Electrical Resistivity) – Eddy Current Losses कमी करण्यात मदत करते.
- या विशेष गुणधर्मांमुळे अमॉर्फस अलॉय एनर्जी एफिशन्सी ट्रान्सफॉर्मर्स (Energy Efficient Transformers) कोअरमध्ये मोठ्या प्रमाणावर वापरले जातात, ज्यामुळे Core Losses मोठ्या प्रमाणात कमी होतात आणि ट्रान्सफॉर्मरची एकूण इफिशन्सी (Efficiency) वाढते.

2.6.2 एपॉक्सी रेजिन कास्ट ट्रान्सफॉर्मर (Epoxy Resin Cast Transformer – Dry Type Transformer)

- कास्ट रेजिन ट्रान्सफॉर्मर (Cast Resin Transformer) हा एक ड्राय टाईप ट्रान्सफॉर्मर-Dry-Type Transformer) आहे ज्यामध्ये विंडिंग्स आणि कोअर पूर्णपणे एपॉक्सी रेजिन (Epoxy Resin) मध्ये एन्कॅप्सुलेट केलेले असतात त्यामुळे धूळ, आर्द्रता, प्रदूषक यांपासून उच्च दर्जाचे इन्सुलेशन मिळते तसेच. ऑईलची गरज नसल्यामुळे हा ट्रान्सफॉर्मर फायरसेफ आणि पर्यावरणपूरक- आहे.
- एपॉक्सी कास्ट रेजिन ड्राय टाईप ट्रान्सफॉर्मर- (Epoxy Cast Resin Dry-Type Transformer) व्यावसायिक, औद्योगिक आणि इनडोअर इंस्टॉलेशनसाठी मोठ्या प्रमाणावर वापरला जातो. उत्पादन प्रक्रियेत विंडिंग्सना मोल्डमध्ये ठेवून व्हॅक्यूममध्ये रेजिनने कास्ट केले जाते, ज्यामुळे व्हॉइड-फ्री (Void-free) इन्सुलेशन आणि मजबूत मेकॅनिकल स्ट्रेंथ मिळते.
- हाय थर्मल कॅपॅसिटी (High Thermal Capacity) असल्यामुळे हा ट्रान्सफॉर्मर शॉर्ट टर्म ओव्हरलोड्स-तसेच हा सहज हाताळू शकतो मॅटेन्सन्स-फ्री- असल्यामुळे याचे आयुष्य जास्त असते आणि विश्वसनीयता वाढते.

- कास्ट रेजिन ट्रान्सफॉर्मर इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक इंडक्शन (Electromagnetic Induction) या तत्वावर काम करतो.
- एसी व्होल्टेज (AC Voltage) प्रायमरी विंडिंगला देण्यात आल्यावर कोअरमध्ये अल्टरनेटिंग मॅग्नेटिक फील्ड तयार होतेहे फील्ड सेकंडरी विंडिंगला लिंक होऊन . फॅराडेचा इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक इंडक्शनचा नियम (Faraday's Law of Electromagnetic Induction) नुसार EMF निर्माण करते.
- सेकंडरी व्होल्टेज हा पूर्णपणे टर्न्स रेशो (Turns Ratio) वर अवलंबून असतो.

फायदे (Advantages)

- सुरक्षित, अग्निरोधक आणि विशेष कॉन्टेनमेंट (Containment) शिवाय इनडोअर इन्स्टॉलेशनसाठी योग्य.
- उच्च एनर्जी एफिशन्सी आणि शॉर्ट सर्किटला मजबूत प्रतिकारशक्ती-
- मॅटेनन्स.फ्री व दीर्घ आयुष्य-
- ऑईल नसल्यामुळे पर्यावरणपूरक आणि एनर्जी इफिशंट.

तोटे (Disadvantages)

- पारंपरिक ऑईल.फिल्ड ट्रान्सफॉर्मरपेक्षा प्रारंभीचा खर्च जास्त-
- व्होल्टेज आणि क्षमता श्रेणी मर्यादित साधारणपणे(35 kV आणि 25,000 kVA पर्यंत)
- रेजिन UV सेंसिटिव्ह असल्यामुळे आउटडोअर इन्स्टॉलेशनसाठी अतिरिक्त हवामान संरक्षण आवश्यक.

2.7 कॉम्प्रेसर, पंप्स, फॅन्स आणि ब्लोअर्समधील एनर्जी कंझर्वेशन टेक्नीक (Methods and Techniques of Energy Conservation in Compressors, Pumps, Fans and Blowers)

1. एअर कॉम्प्रेसरमधील एनर्जी कंझर्वेशन (Energy Conservation in Air Compressors)

- मल्टी-स्टेज कॉम्प्रेसर (Multi-Stage Compressor) वापरल्यास एफिशन्सी वाढते आणि इलेक्ट्रिसिटी वापर कमी होतो.
- इंटरकूलर (Intercooler) आणि आफ्टरकूलर (Aftercooler) वापरून कम्प्रेसनमध्ये निर्माण होणारे उष्णता नुकसान कमी करा.
- डिलिव्हरी एअर प्रेशर (Delivery Air Pressure) ऑप्टिमम ठेवा — जास्त प्रेशरमुळे इलेक्ट्रिसिटी वापर अनावश्यक वाढतो.
- वेरिअेबल स्पीड ड्राईव्ह (Variable Speed Drive – VSD) लावल्यास अनलोडेड रनिंग टाळता येते आणि हवेच्या मागणीनुसार आउटपुट नियंत्रित करता येते.
- इन्टेक एअर फिल्टर (Intake Air Filter) आणि ऑईल फिल्टर (Oil Filter) नियमित स्वच्छ करा.
- मॅनोमीटर (Manometer) ने फिल्टरवरील प्रेशर ड्रॉप तपासा — वाढलेला ड्रॉप म्हणजे फिल्टर ब्लॉक झाला आहे.
- इनलेट एअर थंड (Cool Air) ठेवा — इनलेट तापमान 5°C ने वाढले तर इलेक्ट्रिसिटी वापर 1–1.5% वाढतो.
- इनलेट एअर ओलावा-विरहित ठेवा (Moisture-Free Air).
- कॉम्प्रेसरचे FAD टेस्ट (Free Air Delivery Test) नियमित करा.
- एअर ड्रायर (Air Dryer) वापरून हवेतील ओलावा काढा.
- इंटरकूलरचे नियमित क्लिनिंग करा.
- फिल्टर, ऑईल, सील, बेअरिंग, गॅस्केट्स ची वेळेत बदलणी करा.
- फिटिंग्स, होसेस आणि ड्रेन व्हॉल्व्ह (Drain Valve) मध्ये एअर लीक टाळा.

2. पंप्समधील एनर्जी कंझर्वेशन (Energy Conservation in Pumps)

- योग्य प्रकारचा पंप सिलेक्शन (Pump Selection) करा —
- रिसिप्रोकेटिंग पंप (Reciprocating Pump) = जास्त कार्यक्षम पण महाग आणि जास्त मॅटेनन्स

- रोटरी पंप (Rotary Pump) = जास्त फ्लो आणि कमी हेडसाठी योग्य
 - पंप आणि ड्राईव्हची क्षमता (Drive Capacity) सिस्टमच्या गरजेनुसार निवडा.
 - पाईप्स, व्हॉल्व्ह आणि फिटिंग्स योग्य साईजचे (Proper Sizing) ठेवा ज्यामुळे घर्षण कमी होते.
 - बेंड्स, व्हॉल्व्ह आणि फिटिंग्सवरील प्रेशर ड्रॉप (Pressure Drop) तपासा — जास्त ड्रॉप म्हणजे एनर्जी लॉस.
 - थ्रॉटल व्हॉल्व्ह (Throttle Valve) चा वापर कमी करा.
 - एकापेक्षा जास्त पंप एकाच वेळी चालवणे टाळा (Avoid Parallel Operation).
 - V-बेल्ट ऐवजी फ्लॅट बेल्ट (Flat Belt) वापरा — ट्रान्समिशन लॉस कमी.
 - वॉटर बॅलन्स टेस्ट (Water Balance Test) नियमित करा.
 - पंप BEP (Best Efficiency Point) जवळ चालवा.
 - सील, ग्लॅन्ड आणि पॅकिंगमधील लीक तपासा.
 - व्हेरीयेबल स्पीड ड्राईव्ह (VSD) वापरा जर लोड नेहमी बदलत असेल तर वेळेवर सर्व मॅटेनन्स करा.
- 3. फॅन्स आणि ब्लोअर्समधील एनर्जी कंझर्वेशन (Energy Conservation in Fans and Blowers)**
- आवश्यक एअर फ्लो, प्रेशर आणि स्पेसनुसार फॅन टाईप (Fan Type) योग्य निवडा.
 - फॅन आणि ड्राईव्ह क्षमता (Drive Capacity) प्रोसेस लोडनुसार ठेवा.
 - डॅम्पर (Damper) ऐवजी इनलेट गाईड वेन्स (Inlet Guide Vanes – IGV) वापरा — जास्त कार्यक्षम.
 - पाईप आणि डक्ट साईज योग्य ठेवा (Proper Duct Sizing).
 - बेंड्स, फिटिंग्स आणि व्हॉल्व्हवरील प्रेशर ड्रॉप (Pressure Drop) तपासा.
 - जास्त थ्रॉटलिंग टाळा.
 - फॅन इनलेट-आउटलेटवरील अडथळे (Obstructions) काढून टाका.
 - स्मूथ आणि गोलाकार एंट्री (Smooth Rounded Entry) वापरा.
 - मोठे डिस्ट्रीब्युशन डक्ट्स वापरा.
 - V-बेल्ट ऐवजी फ्लॅट बेल्ट (Flat Belt) वापरा.
 - फॅनला त्याच्या मेक्सिमम एफिशियन्सी पॉइंट (Maximum Efficiency Point) जवळ चालवा.
 - कम्बशन चेंबरमध्ये (Combustion Chamber) जास्त एअर सप्लाय टाळा.
 - एक्झॉस्ट फॅन (Exhaust Fan) उंच ठिकाणी बसवा.
 - व्हेरीयेबल स्पीड ड्राईव्ह (VSD) वापरा — जेव्हा एअर फ्लो बदलत असतो.
 - नियमित मॅटेनन्स करा.

Sample Questions

- Q.1 Interpret the losses in Induction motor.
- Q.2 Specify any two types of energy efficient transformer.
- Q.3 List the energy conservation techniques in induction motor.
- Q.4 Write any four energy conservation techniques in transformer.
- Q.5 List out various energy conservation equipments.
- Q.6 State need of energy conservation in electrical motors.
- Q.7 State the need of energy conservation in transformer.
- Q.8 Explain the following energy conservation technique suitable for induction motor:
- (i) Operating in star mode
 - (ii) Rewinding of motor.

- Q.9 List any four advantages of the use of energy efficient motors related to energy conservation.
- Q.10 State the various energy conservation techniques in transformer. Explain isolating techniques of transformer.
- Q.11 Describe the following energy conservation techniques used to improve performance of transformer: (i) Parallel operation
(ii) Isolating technique.
- Q.12 State the benefits of Variable Frequency Drive (VFD).
- Q.13 Illustrate any four techniques to improve energy conservation in fan.
- Q.14 Why periodical maintenance is necessary in transformer? How does it result in energy conservation?
- Q.15 List any six advantages of energy efficient transformer.
- Q.16 Compare conventional induction motor with energy efficient motor on following points:
- (i) Power Factor (PF)
 - (ii) Energy Conservation
 - (iii) Losses
 - (iv) Heat Dissipation
 - (v) Cost
 - (vi) Vibration.

युनिट - 3 एनर्जी कन्झर्वेशन इन इलेक्ट्रिकल इन्स्टॉलेशन सिस्टीम

(Unit - 3 Energy conservation in Electrical Installation system)

कोर्स आउटकम्स (Course Outcomes):

CO 3 - इलेक्ट्रिकल इन्स्टॉलेशन्स (Electrical Installations) मध्ये एनर्जी कन्झर्वेशन टेक्निक्स (Energy Conservation Techniques) लागू करा.

थिअरी लर्निंग आउटकम्स (TLO):

- TLO 3.1 दिलेल्या पॉवर सिस्टिम (Power System) मधील लॉसेस (Losses) चे इंटरप्रीटेशन (Interpretation) करा.
- TLO 3.2 दिलेल्या इलेक्ट्रिकल इन्स्टॉलेशन (Electrical Installation) मधील स्पेसिफाइड टेक्निकल लॉस (Specified Technical Loss) कमी करण्याची पद्धत समजावून सांगा.
- TLO 3.3 दिलेल्या इलेक्ट्रिकल इन्स्टॉलेशन (Electrical Installation) मधील स्पेसिफाइड कमर्शियल लॉस (Specified Commercial Loss) कमी करण्याची पद्धत समजावून सांगा.
- TLO 3.4 दिलेल्या सिस्टिम (System) साठी संबंधित एनर्जी कन्झर्वेशन इक्विपमेंट (Energy Conservation Equipment) निवडा आणि त्याचे जस्टिफिकेशन (Justification) द्या.
- TLO 3.5 स्पेसिफाइड लायटिंग इन्स्टॉलेशन (Lighting Installation) साठी एनर्जी कन्झर्वेशन मेजर्स (Energy Conservation Measures) समजावून सांगा.
- TLO 3.6 फॅन (Fan) आणि रेग्युलेटर (Regulator) मधील एनर्जी कन्झर्वेशन स्ट्रॅटेजीज (Energy Conservation Strategies) सांगा.
- TLO 3.7 ईव्ही (EVs) आणि बॅटरीज (Batteries) मधील एनर्जी कन्झर्वेशन टेक्निक्स (Energy Conservation Techniques) चे वर्णन करा.

इंट्रोडक्शन (Introduction):

- 19 व्या शतकाच्या सुरुवातीच्या काळात, इलेक्ट्रिकल एनर्जी (Electrical Energy) चा वापर खूपच कमी प्रमाणात होता. मागणी (Demand) कमी असल्यामुळे, लोड सेंटर्स (Load Centers) जवळच लहान पॉवर स्टेशनस् (Power Stations) उभारली जात आणि ती मुख्यतः लायटिंग (Lighting) आणि हीटिंग (Heating) लोडसाठी सप्लाय देत. त्यामुळे पॉवर ट्रान्समिशन (Power Transmission) फक्त कमी अंतरापुरते मर्यादित होते.
- 20 व्या शतकात, इलेक्ट्रिकल एनर्जी (Electrical Energy) चा मोठ्या प्रमाणावर वापर सुरू झाल्यामुळे वाढत्या पॉवर डिमांड (Power Demand) पूर्ण करण्यासाठी मोठ्या जनरेटिंग स्टेशनस् (Generating Stations) स्थापन करण्यात आली.
- हायड्रोइलेक्ट्रिक प्लांटस् (Hydroelectric Plants) भरपूर वॉटर स्टोरेज (Water Storage) असलेल्या ठिकाणी बांधण्यात आले, तर थर्मल पॉवर प्लांटस् (Thermal Power Plants) कोळशाचा साठा (Coal Reserves) आणि चांगल्या ट्रान्सपोर्ट फॅसिलिटीज (Transport Facilities) उपलब्ध असलेल्या भागात उभारले गेले.
- मोठ्या पॉवर प्लांटस् (Power Plants) हे अनेकदा लोड सेंटर्स (Load Centers) पासून दूर असल्यामुळे लॉन्ग-डिस्टन्स ट्रान्समिशन लाईन्स (Long-Distance Transmission Lines) ची गरज निर्माण झाली. पॉवर स्टेशनमध्ये जनरेट झालेली इलेक्ट्रिसिटी (Electricity) कंडक्टर्स (Conductors) मार्फत कन्झ्यूमर्स (Consumers) पर्यंत पोहोचवली जाते, ज्यातून ट्रान्समिशन आणि डिस्ट्रीब्युशन सिस्टिम (Transmission & Distribution System) तयार होते.

ए.सी. पॉवर सप्लाय सिस्टिम (A.C. Power Supply System) ची सिंगल लाईन डायग्राम (Single Line Diagram)

- जेनरेटिंग स्टेशन (Generating Stations) मध्ये तयार होणारी इलेक्ट्रिकल पॉवर (Electrical Power) ट्रान्समिशन लाईन्स (Transmission Lines) द्वारे लांब अंतरावर ट्रान्समिट (Transmit) केली जाते आणि नंतर डिस्ट्रिब्युशन नेटवर्क (Distribution Network) मार्फत कन्झ्युमर (Consumers) पर्यंत डिस्ट्रिब्यूट (Distribute) केली जाते.
- या प्रोसेसमध्ये (Process) व्होल्टेज ट्रान्सफॉर्मेशन (Voltage Transformation) आणि कंट्रोल (Control) ची अनेक स्टेजेस (Stages) येतात, ज्यामुळे पॉवर डिलिव्हरी (Power Delivery) इफिशंट (Efficient) आणि रिलायबल (Reliable) होते.
- स्टँडर्ड ट्रान्समिशन व्होल्टेजेस (Standard Transmission Voltages): 132 kV, 220 kV, 400 kV
- ए.सी. पॉवर सिस्टिमचा (A.C. Power System) सिंगल लाईन डायग्राम (Single Line Diagram) figure 3.1 मध्ये दाखवलेला आहे.

स्टेजेस (Stages) आणि स्टँडर्ड व्होल्टेज लेव्हल्स (Standard Voltage Levels)

1. जनरेटिंग स्टेशन (Generating Station)

- इलेक्ट्रिकल पॉवर (Electrical Power) 11 kV येथे जनरेट केली जाते (कधी कधी 3.3 kV, 6.6 kV, किंवा 33 kV वर). नंतर 3-फेज स्टेप-अप ट्रान्सफॉर्मर्स (3-Phase Step-Up Transformers) वापरून व्होल्टेज 110 kV, 132 kV, 220 kV किंवा 400 kV पर्यंत वाढवले जाते ट्रान्समिशनसाठी (Transmission).
- हाय-व्होल्टेज ट्रान्समिशन (High-Voltage Transmission) केल्याने करंट (Current), कंडक्टर साईज (Conductor Size) आणि ट्रान्समिशन लॉसेस (Transmission Losses) कमी होतात. भारतातील सर्वात जास्त ट्रान्समिशन व्होल्टेज 400 kV आहे.

2. प्राथमरी ट्रान्समिशन (Primary Transmission)

- इलेक्ट्रिकल पॉवर (Electrical Power) 132 kV, 220 kV किंवा 400 kV वर 3-फेज, 3-वायर ओव्हरहेड लाईन्स (3-Phase, 3-Wire Overhead Lines) द्वारे ट्रान्समिट केली जाते.
- ही स्टेज जनरेटिंग स्टेशनमधील (Generating Station) बल्क पॉवर (Bulk Power) मोठ्या सबस्टेशन्स (Substations) पर्यंत पोहोचवते.

3. सेकंडरी ट्रान्समिशन (Secondary Transmission)

- रिसिव्हिंग सबस्टेशन्समध्ये (Receiving Substations) व्होल्टेज 132 kV वरून 66 kV किंवा 33 kV पर्यंत स्टेप-डाउन केले जाते.
- नंतर ही पॉवर शहरातील किंवा इंडस्ट्रियल एरियामधील विविध सबस्टेशन्समध्ये 3-फेज, 3-वायर सिस्टिम (3-Phase, 3-Wire System) द्वारे पाठवली जाते.

4. प्राथमरी डिस्ट्रिब्युशन (Primary Distribution)

- व्होल्टेज पुढे 11 kV, 6.6 kV किंवा 3.3 kV पर्यंत स्टेप-डाउन ट्रान्सफॉर्मर्स (Step-Down Transformers) वापरून कमी केले जाते.
- हे 11 kV लाईन्स रस्त्यांवर आणि इंडस्ट्रियल एरियामध्ये स्टील किंवा काँक्रीट पोल्स (Steel/Concrete Poles) वर वितरित केले जातात.

5. सेकंडरी डिस्ट्रिब्युशन (Secondary Distribution)

- लोकल डिस्ट्रिब्युशन सबस्टेशन्समध्ये (Local Distribution Substations) व्होल्टेज 11 kV वरून 415 V पर्यंत कमी केले जाते स्टेप-डाउन ट्रान्सफॉर्मरने (Step-Down Transformer).
- 3-फेज, 4-वायर सिस्टिम (R, Y, B, N) वापरली जाते ज्यामुळे 3-फेज आणि सिंगल-फेज दोन्ही सप्लाय मिळतो.
- 3-फेज लोड्स (जसे मोटर्स, मशिनरी) सर्व तीन फेजेस वापरतात.
सिंगल-फेज लोड्स (जसे घरगुती लाइटिंग) एक फेज आणि न्यूट्रलमध्ये जोडले जातात.

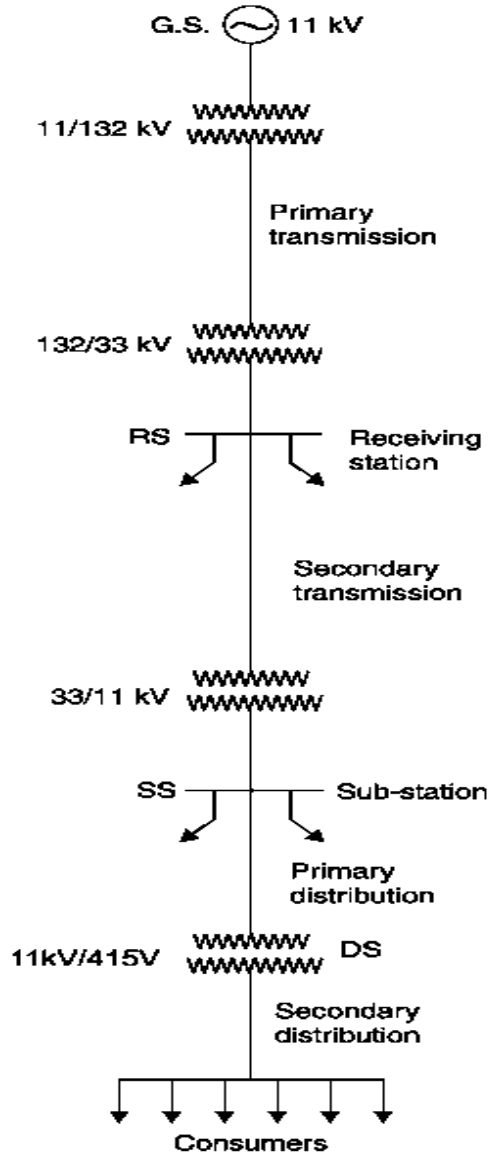


Figure 3.1 Single-Line Diagram of A.C. Power System

ट्रान्समिशन आणि डिस्ट्रिब्युशन लॉस (Transmission & Distribution Loss)

- पॉवर प्लांट (Power Plant) मध्ये जनरेट होणारा थ्री-फेज व्होल्टेज (Three-Phase Voltage) स्टेप-अप ट्रान्सफॉर्मर (Step-Up Transformer) वापरून हायर लेव्हलवर वाढवला जातो, ज्यामुळे ओव्हरहेड कंडक्टर (Overhead Conductor) मार्फत ट्रान्समिशन इफिशंट (Efficient)रीत्या होऊ शकते.

- हा पुढचा स्टेज हाय व्होल्टेज (HV - High Voltage) किंवा एक्स्ट्रा हाय व्होल्टेज (EHV - Extra High Voltage) ट्रान्समिशन म्हणून ओळखला जातो, ज्यामध्ये लॉग डिस्टन्सवर मोठ्या प्रमाणात A.C. इलेक्ट्रिकल पॉवर (AC Electrical Power) ट्रान्सफर केली जाते, साधारणपणे 220 kV आणि 400 kV सारख्या व्होल्टेज लेव्हलवर.
- फार लांब अंतराच्या ट्रान्समिशनसाठी, साधारण 100 km पेक्षा जास्त, हाई व्होल्टेज डायरेक्ट करंट (HVDC - High Voltage Direct Current) सिस्टिम वापरणे प्रेफर केले जाते, कारण ते ट्रान्समिशन लॉसेस खूप कमी करतात आणि सिस्टिम स्टॅबिलिटी (System Stability) वाढवतात.
- ट्रान्समिशन आणि डिस्ट्रिब्युशन नेटवर्क (Transmission & Distribution Network) मध्ये ट्रान्समिशन लाईन्स (Transmission Lines), सबस्टेशन्स (Substations) आणि डिस्ट्रिब्युशन ट्रान्सफॉर्मर्स (Distribution Transformers) असतात. हाय व्होल्टेज ट्रान्समिशन वापरल्याने स्मॉलर कंडक्टर (Smaller Conductor) वापरता येतात, जे इकॉनॉमिकल आहेत आणि करंट कमी झाल्याने लॉसेसही कमी होतात.
- सबस्टेशन्स (Substations) खूप महत्वाची भूमिका बजावतात, कारण ते इंडस्ट्रियल, कमर्शियल आणि रेसिडेन्शियल यूजर्ससाठी व्होल्टेज योग्य लेव्हलवर स्टेप-डाउन करतात. ट्रान्समिशन लाईन्स (Transmission Lines) मोठ्या प्रमाणातील इलेक्ट्रिसिटी लॉग डिस्टन्सवर हाय व्होल्टेजवर कॅरी करतात, तर डिस्ट्रिब्युशन लाईन्स (Distribution Lines) कमी अंतरावर कमी व्होल्टेजवर पॉवर सप्लाय करतात.
- एखाद्या लाईनने ड्रॉ केलेला करंट (Current) दिलेल्या पॉवर ट्रान्सफरसाठी व्होल्टेज लेव्हलच्या इन्व्हर्सली प्रोपोर्शनल (Inversely Proportional) असतो. त्यामुळे हायर व्होल्टेजवर ऑपरेट केल्यास करंट कमी होतो आणि पॉवर लॉसेस कमी होतात. उलट, लोअर व्होल्टेज ट्रान्समिशन आणि डिस्ट्रिब्युशन सिस्टिममध्ये करंट जास्त असल्यामुळे मोठ्या साईजचे कंडक्टर (Larger Conductor) लागतात.
- प्रत्यक्षात, पॉवर स्टेशनवर जनरेट झालेली एकूण एनर्जी (Energy) आणि कन्झ्युमर्सना बिल केलेली एनर्जी यात फरक असतो. हा फरक ट्रान्समिशन आणि डिस्ट्रिब्युशन लॉस (T&D Loss - Transmission & Distribution Loss) म्हणून ओळखला जातो आणि तो बिलिंगमध्ये न मोजल्या जाणाऱ्या एनर्जीचा भाग असतो.

$$T\&D \text{ Loss} = \text{Energy Generated} - \text{Energy Billed}$$

Also,

$$T\&D \text{ Losses} = \frac{\text{Energy Input (kWh)} - \text{Billed Energy to Consumer (kWh)}}{\text{Energy Input (kWh)}} \times 100$$

- त्यामुळे T&D लॉसेस (T&D Losses) म्हणजे पॉवर सिस्टिम (Power System) मधील अनबिल्ड (Unbilled) किंवा अनअकाउंटेड (Unaccounted) एनर्जी (Energy) ला म्हणतात. हे लॉसेस (Losses) भारतीय पॉवर सेक्टर (Power Sector) साठी मोठे चॅलेंज (Challenge) आहेत आणि त्यांना व्यापकपणे टेक्निकल (Technical) आणि नॉन-टेक्निकल (Non-Technical) लॉसेस (Losses) मध्ये वर्गीकृत केले जाते.

अग्रीगेट टेक्निकल अँड कमर्शियल लॉसेस (Aggregate Technical and Commercial Losses – ATC)

- पॉवर सेक्टरमध्ये (Power Sector) इलेक्ट्रिसिटीचा (Electricity) प्लो जनरेशन (Generation) पासून ट्रान्समिशन (Transmission) आणि पुढे डिस्ट्रिब्युशन (Distribution) पर्यंत जाताना प्रत्येक स्टेजवर काही प्रमाणात एनर्जी लॉस (Energy Loss) होतो.
- परंतु डिस्ट्रिब्युशन लॉसेस (Distribution Losses) सर्वात जास्त असतात, याचे मुख्य कारण म्हणजे,
 - इनअडेक्युएट इन्फ्रास्ट्रक्चर प्लॅनिंग (Inadequate Infrastructure Planning)
 - एजिंग इक्विपमेंट (Aging Equipment)
 - पॉवर थेफ्ट (Power Theft)
 - इनइफिशंट मीटरिंग आणि बिलिंग सिस्टिम्स (Inefficient Metering and Billing Systems)
- या सर्व मिळून तयार झालेल्या इनइफिशन्सीज (Inefficiencies) ला अग्रीगेट टेक्निकल अँड कमर्शियल लॉसेस (Aggregate Technical & Commercial – AT&C Losses) असे म्हटले जाते.

$$\text{AT\&C Losses} = \{1 - (\text{Billing Efficiency} \times \text{Collection Efficiency})\} \times 100$$

Where,

$$\text{Billing Efficiency} = \frac{\text{Total Energy Billed to Consumers (kWh)}}{\text{Total Energy Input (kWh)}}$$

$$\text{Collection Efficiency} = \frac{\text{Revenue Collected (In Rupees)}}{\text{Billed Amount (In Rupees)}}$$

- हाय AT&C लॉसेस (AT&C Losses) युटिलिटीज (Utilities) ची फायनान्शियल व्हायबिलिटी (Financial Viability) कमी करतात आणि कंझ्युमर्स (Consumers) ला दिल्या जाणाऱ्या पॉवर सप्लाय (Power Supply) ची रिलायबिलिटी (Reliability) आणि क्वालिटी (Quality) वर परिणाम करतात.
- AT&C लॉसेस (AT&C Losses) पॉवर सिस्टिम (Power System) मधील टेक्निकल आणि कमर्शियल लॉसेस (Technical and Commercial Losses) यांचे अग्रीगेट (Aggregate) दर्शवतात.
- हे लॉसेस इलेक्ट्रिसिटी डिस्ट्रिब्युशन नेटवर्क (Electricity Distribution Network) ची ओव्हरऑल इफिशन्सी (Overall Efficiency) मोजण्यासाठी एक कॉम्प्रेहेन्सिव्ह मेजर (Comprehensive Measure) प्रदान करतात.

1. टेक्निकल लॉसेस (Technical Losses):

- हे लॉसेस कंडक्टर्स (Conductors), ट्रान्सफॉर्मर्स (Transformers), आणि स्विचगियर (Switchgear) सारख्या इलेक्ट्रिकल कॉम्पोनंट्स (Electrical Components) मध्ये होणाऱ्या इनहेरंट एनर्जी डिसिपेशन (Inherent Energy Dissipation) मुळे होतात. यामध्ये ओव्हरलोडिंग (Overloading), पूअर नेटवर्क डिझाईन (Poor Network Design), आणि रिएक्टिव्ह पॉवर कॉम्पेन्सेशन (Reactive Power Compensation) चा अभाव यांचा समावेश होतो.

2. कमर्शियल लॉसेस (Commercial Losses):

- हे लॉसेस नॉन-टेक्निकल फॅक्टर्स (Non-Technical Factors) मुळे होतात, जसे इलेक्ट्रिसिटी थेफ्ट (Electricity Theft), फॉल्टी किंवा टॅम्पर्ड मीटर्स (Faulty or Tampered Meters), इनअक्युरेट मीटर रीडिंग्स (Inaccurate Meter Readings), आणि इनइफिशियंट बिलिंग आणि कलेक्शन प्रॅक्टिसेस (Inefficient Billing and Collection Practices).
- AT&C लॉसेस (AT&C Losses) कमी करणे पॉवर युटिलिटीज (Power Utilities) च्या फायनान्शियल सस्टेनबिलिटी (Financial Sustainability) साठी आणि एंड युजर्स (End Users) साठी रिलायबल आणि अफॉर्डेबल इलेक्ट्रिसिटी (Reliable and Affordable Electricity) सुनिश्चित करण्यासाठी अत्यंत आवश्यक आहे. इफेक्टिव्ह स्ट्रॅटेजीज (Effective Strategies) मध्ये नेटवर्क मॉडर्नायझेशन (Network Modernization), स्मार्ट मीटरिंग (Smart Metering), फीडर सेग्रिगेशन (Feeder Segregation), एनर्जी ऑडिट्स (Energy Audits), आणि थेफ्ट व बिलिंग इरेग्युलॅरिटीज (Theft and Billing Irregularities) विरुद्ध स्ट्रिक्ट एन्फोर्समेंट (Strict Enforcement) यांचा समावेश होतो.

3.2 टेक्निकल लॉसेस (Technical Losses): कॉझेस आणि रेमेडीज (Causes and Remedies)

- टेक्निकल लॉसेस (Technical Losses) हे जनरेशन (Generation), ट्रान्समिशन (Transmission), सब-ट्रान्समिशन (Sub-Transmission) आणि डिस्ट्रिब्युशन (Distribution) या पॉवर सिस्टिम (Power System) च्या सर्व टप्प्यांमध्ये वापरल्या जाणाऱ्या कंडक्टर्स (Conductors), केबल्स (Cables) आणि इलेक्ट्रिकल इक्विपमेंट (Electrical Equipment) मध्ये होणाऱ्या एनर्जी डिसिपेशन (Energy Dissipation) मुळे होतात, जसे फिगर 3.1 (Figure 3.1) मध्ये दाखविले आहे.
- हे लॉसेस (Losses) हे इनहेरंट (Inherent) आणि अनअवॉइडेबल (Unavoidable) असतात, कारण ते सिस्टिम कॉम्पोनंट्स (System Components) च्या फिजिकल आणि इलेक्ट्रिकल कॅरेक्टरिस्टिक्स (Physical and Electrical Characteristics) मुळे निर्माण होतात, जसे कंडक्टर रेसिस्टन्स (Conductor Resistance), ट्रान्सफॉर्मर कोर लॉसेस (Transformer Core Losses), आणि एडी करंट्स (Eddy Currents).
- टेक्निकल लॉसेस (Technical Losses) हे पॉवर ट्रान्समिशन आणि डिस्ट्रिब्युशन प्रोसेस (Power Transmission and Distribution Process) चा नैसर्गिक भाग असले तरी, योग्य सिस्टिम डिझाईन (System Design) आणि इफिशियंट इक्विपमेंट सिलेक्शन (Efficient Equipment Selection) करून हे लॉसेस मिनिमाईज (Minimize) करता येतात.
- हाय ट्रान्समिशन व्होल्टेजेस (Higher Transmission Voltages) वापरणे, मोठ्या साईझचे कंडक्टर्स (Larger Conductor Sizes) वापरणे, आणि एनर्जी-इफिशियंट ट्रान्सफॉर्मर्स व मशीन (Energy-Efficient Transformers and Machines) इंस्टॉल करणे यांसारख्या मेजर्स (Measures) मुळे हे लॉसेस ऑप्टिमम लेव्हल (Optimum Level) पर्यंत कमी करता येतात आणि संपूर्ण इलेक्ट्रिकल नेटवर्कची इफिशियन्सी (Efficiency) सुधारते.

3.2(A) टेक्निकल लॉसेसचे कॉजेस (Causes of Technical Losses)

पॉवर सिस्टिम (Power System) मध्ये जास्त टेक्निकल लॉसेस (Technical Losses) होण्यासाठी खालील मुख्य कारणे जबाबदार आहेत:

(a) ट्रान्समिशन आणि डिस्ट्रिब्युशन नेटवर्क (Transmission and Distribution Network) मध्ये अपुरी इन्व्हेस्टमेंट (Investment):

मर्यादित फायनान्शियल इन्व्हेस्टमेंट (Financial Investment) मुळे अंडरसाइज्ड कंडक्टर्स (Undersized Conductors) आणि सब-स्टॅण्डर्ड इक्विपमेंट (Substandard Equipment) वापरले जातात. यामुळे रेसिस्टन्स

(Resistance) वाढतो, व्होल्टेज रेग्युलेशन (Voltage Regulation) खराब होते आणि सिस्टिममध्ये I^2R लॉसेस (Copper Losses) वाढतात.

(b) नेटवर्कचे अनप्लान्ड किंवा रँडम एक्स्पान्शन (Unplanned or Random Expansion):

सब-ट्रान्समिशन आणि डिस्ट्रीब्युशन सिस्टिमचे अनसिस्टेमॅटिक ग्रोथ (Unsystematic Growth) झाल्यास लाईन्स आणि ट्रान्सफॉर्मर्सचे ओव्हरलोडिंग (Overloading) होते. यामुळे करंट फ्लो (Current Flow) वाढतो, लाईन लॉसेस (Line Losses) वाढतात आणि इक्विपमेंट इफिशन्सी (Equipment Efficiency) कमी होते.

(c) योग्य सिस्टिम अपग्रेड्स (System Upgrades) न करता मोठ्या प्रमाणात रूरल आणि अर्बन इलेक्ट्रिफिकेशन (Rural and Urban Electrification):

नेटवर्क स्ट्रेंथनिंग (Network Strengthening) न करता इलेक्ट्रिफिकेशन प्रोग्राम्स (Electrification Programs) राबवल्यास एक्सेसिव करंट लोडिंग (Excessive Current Loading) होते आणि टेक्निकल लॉसेस (Technical Losses) वाढतात.

(d) जास्त प्रमाणात ट्रान्सफॉर्मेशन स्टेजेस (Transformation Stages):

प्रत्येक व्होल्टेज ट्रान्सफॉर्मेशन स्टेजमध्ये सबस्टेशन्स (Substations), ट्रान्सफॉर्मर्स (Transformers) आणि असोसिएटेड इक्विपमेंट (Associated Equipment) असतात. हे सर्व आयर्न आणि कॉपर लॉसेस (Iron and Copper Losses) निर्माण करतात. त्यामुळे जास्त ट्रान्सफॉर्मेशन स्टेजेस = जास्त टेक्निकल लॉसेस.

(e) खराब लोड मॅनेजमेंट (Load Management):

अनइव्हन लोड डिस्ट्रीब्युशन (Uneven Load Distribution), फीडर्सचे ओव्हरलोडिंग (Overloading of Feeders) आणि लो पावर फॅक्टर लोड्स (Low Power Factor Loads) यामुळे करंट फ्लो वाढतो आणि सिस्टिम अनबॅलन्स्ड (Unbalanced) होते, ज्यामुळे टेक्निकल लॉसेस वाढतात.

(f) अपुरी रिअॅक्टिव पावर कॉम्पेन्सेशन (Reactive Power Compensation):

कॅपॅसिटर बँक्स (Capacitor Banks), सिंक्रोनस कंडेन्सर्स (Synchronous Condensers) किंवा सिंक्रोनस मोटर्स (Synchronous Motors) सारखी रिअॅक्टिव पावर डिवायसेस नसल्यास लाईन्समधील रिअॅक्टिव करंट (Reactive Current) वाढतो. यामुळे I^2R लॉसेस वाढतात आणि व्होल्टेज स्टॅबिलिटी (Voltage Stability) कमी होते.

(g) खराब क्वालिटीचे इक्विपमेंट (Poor-Quality Equipment) वापरणे:

लो-इफिशन्सी ट्रान्सफॉर्मर्स (Low-Efficiency Transformers), कंडक्टर्स (Conductors) आणि इतर इलेक्ट्रिकल कॉम्पोनंट्स (Electrical Components) टेक्निकल लॉसेस मोठ्या प्रमाणात वाढवतात.

(h) कोरोना लॉसेस (Corona Losses):

एक्स्ट्रा-हाय व्होल्टेजेस (Extra High Voltages) वर कंडक्टर्सच्या आजूबाजूच्या एअरचे आयोनायझेशन (Ionization of Air) होते आणि कोरोना डिस्चार्ज (Corona Discharge) निर्माण होतो. यामुळे अतिरिक्त पावर लॉस (Power Loss) आणि रेडिओ इंटरफेरन्स (Radio Interference) होते.

3.2(B) टेक्निकल लॉसेस कमी करण्याच्या मेथड्स (Methods to Reduce Technical Losses)

- डिस्ट्रिब्युशन नेटवर्क (Distribution Network) मधील सर्वात कमजोर सेक्शन्स (Weak Sections) ओळखून त्यांना स्ट्रेंथन (Strengthen) करणे, जेणेकरून परफॉर्मन्स (Performance) सुधारेल आणि लॉसेस (Losses) कमी होतील.
- डिस्ट्रिब्युशन ट्रान्सफॉर्मर्स (Distribution Transformers) लोड सेंटर्स (Load Centers) जवळ शिफ्ट (Shift) करणे. यामुळे लो-टेन्शन (LT – Low Tension) लाइन्सची लांबी कमी होते आणि I^2R लॉसेस (I^2R Losses) घटतात.
- डिस्ट्रिब्युशन ट्रान्सफॉर्मर्सचे ओव्हरलोडिंग (Overloading) टाळणे. त्यासाठी अतिरिक्त ट्रान्सफॉर्मर्स इन्स्टॉल (Install) करणे किंवा अस्तित्वातील ट्रान्सफॉर्मर्सची क्षमता अपग्रेड (Upgrade) करणे.
- कन्सन्ट्रेटेड लोड्स (Concentrated Loads) असलेल्या भागात, ग्राहकांच्या प्रिमायसेस (Consumer Premises) वर डिमांडप्रमाणे लहान क्षमतेचे ट्रान्सफॉर्मर्स पुरवणे. यामुळे डिस्ट्रिब्युशन लाइन्सची लांबी कमी होते आणि एफिशन्सी (Efficiency) वाढते.
- एनर्जी-एफिशंट ट्रान्सफॉर्मर्स (Energy-Efficient Transformers) जसे की अमॉर्फस कोर ट्रान्सफॉर्मर्स (Amorphous Core Transformers) वापरणे, ज्यामुळे कोर आणि कॉपर लॉसेस (Core and Copper Losses) कमी होतात.
- सबस्टेशन्स (Substations) आणि कंझुमर एंड्स (Consumer Ends) वर शंट कॅपॅसिटर्स (Shunt Capacitors) इन्स्टॉल करणे, ज्यामुळे रिअॅक्टिव पॉवर फ्लो (Reactive Power Flow) कमी होतो, पॉवर फॅक्टर (Power Factor) सुधारतो आणि सिस्टिममधील एकूण करंट घटतो.
- पॉवर ट्रान्समिशन आणि डिस्ट्रिब्युशनची एफिशन्सी सुधारण्यासाठी टेक्निकल लॉसेस (Technical Losses) कमी करणे अत्यावश्यक आहे. खालील पद्धती वापरल्या जातात:
 - कॉपर लॉसेस कंट्रोल करणे (Controlling Copper Losses)
 - डिस्ट्रिब्युशन व्होल्टेज ऑप्टिमाइझ करणे (Optimizing Distribution Voltage)
 - फेज करंट्स बॅलन्स करणे (Balancing Phase Currents)
 - रिअॅक्टिव पॉवर फ्लो कॉम्पेन्सेट करणे (Compensating Reactive Power Flow)

3.2.1 कंट्रोलिंग कॉपर लॉसेस (Controlling Copper Losses)

- I^2R किंवा कॉपर लॉसेस (I^2R किंवा Copper Losses) ट्रान्समिशन आणि डिस्ट्रिब्युशन नेटवर्कमध्ये खालील प्रभावी पद्धतींनी कमी करता येतात.
- हायअर व्होल्टेजेस (Higher Voltages) वर इलेक्ट्रिकल पॉवर (Electrical Power) ट्रान्समिट केल्यास, त्याच पॉवर ट्रान्सफरसाठी लागणारा करंट (Current) कमी होतो आणि त्यामुळे I^2R लॉसेस (I^2R Losses) लक्षणीयरीत्या कमी होतात. कंडक्टर साईज (Conductor Size) वाढविल्यानेही मदत होते, कारण रेसिस्टन्स (Resistance) क्रॉस-सेक्शनल एरिया (Cross-Sectional Area) वाढल्याने कमी होते ($R \propto 1/A$), ज्यामुळे पॉवर लॉस (Power Loss) घटतो.
- A.C. ट्रान्समिशन सिस्टिममध्ये (AC Transmission System) लाईन इंडक्टन्स (Line Inductance) आणि कॅपॅसिटन्स (Capacitance) मुळे रिअॅक्टिव्ह पॉवर फ्लो (Reactive Power Flow) वाढतो, ज्यामुळे अतिरिक्त करंट (Current) निर्माण होतो आणि पॉवर फॅक्टर (Power Factor) कमी होतो, परिणामी लॉसेस वाढतात. हे टाळण्यासाठी कॅपॅसिटर बँक्स (Capacitor Banks), फेज-शिफ्टिंग ट्रान्सफॉर्मर्स (Phase-Shifting Transformers), स्टॅटिक VAR कम्पेन्सेटर्स (SVCs – Static VAR Compensators) आणि FACTS (Flexible AC Transmission Systems) सारखी उपकरणे रिअॅक्टिव्ह पॉवर कंट्रोल करण्यासाठी आणि व्होल्टेज स्टेबलाइज (Voltage Stabilize) करण्यासाठी वापरली जातात.

- लॉसेस कमी करण्यासाठी लो-रेसिस्टन्स ऑल-अॅल्युमिनियम अलॉय कंडक्टर्स (AAAC – All Aluminium Alloy Conductors) चा वापर पारंपरिक ACSR (Aluminium Conductor Steel Reinforced) कंडक्टर्सच्या जागी केला जातो. रिप्लेसिंग पॉवर कम्पेन्सेशनमुळे पॉवर फॅक्टर (Power Factor) सुधारतो, करंट फ्लो कमी होतो आणि त्यामुळे I^2R लॉसेस (I^2R Losses) आणखी कमी होतात.
- व्होल्टेज कंट्रोलर्स (Voltage Controllers) किंवा टॅप-चेंजिंग ट्रान्सफॉर्मर्स (Tap-Changing Transformers) च्या मदतीने सतत व्होल्टेज राखल्यास, व्होल्टेज ड्रॉपमुळे वाढणारा करंट टाळता येतो आणि त्यामुळे रेसिस्टिव्ह लॉसेस (Resistive Losses) मर्यादित ठेवता येतात. तसेच डिस्ट्रिब्युशन ट्रान्सफॉर्मर्स (Distribution Transformers) ग्राहकांच्या प्रिमायसेसजवळ बसवल्याने LT लाईनची लांबी कमी होते आणि त्यामुळे एकूण कॉपर लॉसेस (Copper Losses) महत्त्वपूर्ण प्रमाणात कमी होतात.

3.2.2 ऑप्टिमायझिंग डिस्ट्रिब्युशन व्होल्टेज (Optimizing Distribution Voltage)

- डिस्ट्रिब्युशन सिस्टिम (Distribution System) च्या डिझाईन (Design) मध्ये व्होल्टेज ड्रॉप (Voltage Drop) हा एक महत्वाचा घटक आहे. फीडर (Feeder) चा साईझ (Size) त्याच्या कंडक्टर (Conductor) च्या करंट-कॅरिंग कॅपॅसिटी (Current-Carrying Capacity) वर ठरतो, आणि व्होल्टेज ड्रॉप कमी केल्याने सिस्टिमची इफिशन्सी (Efficiency) वाढते.
- ट्रान्समिशन सिस्टिम (Transmission System) मध्ये काही वेळा 40% पर्यंत व्होल्टेज रेग्युलेशन (Voltage Regulation) स्वीकार्य मानले जाते. परंतु उद्देश नेहमीच सिस्टिमचे इकॉनॉमिकल ऑपरेशन (Economical Operation) साध्य करणे हा असतो.
- ट्रान्समिशन व्होल्टेज वाढवल्यामुळे सिस्टिम डिझाईनवर मोठा परिणाम होतो. जेव्हा व्होल्टेज n पट वाढवले जाते, तेव्हा कंडक्टरचा साईझ (Conductor Size) जो त्याच पॉवरला ट्रान्समिट करतो, तो $1/n^2$ इतका कमी होतो (जर ट्रान्समिशन इफिशन्सी स्थिर धरली तर). त्यामुळे कंडक्टर मटेरियल (Conductor Material) मध्ये बचत होते आणि लाईन लॉसेस (Line Losses) कमी होतात.
- तथापि, उच्च ट्रान्समिशन व्होल्टेजमुळे इन्स्युलेशन (Insulation), स्विचगिअर (Switchgear) आणि टर्मिनल इक्विपमेंट (Terminal Equipment) चे रेटिंग वाढवावे लागतात, ज्यामुळे सिस्टिमचा खर्च वाढतो. त्यामुळे प्रत्येक पॉवर सिस्टिमसाठी एक ऑप्टिमम ट्रान्समिशन व्होल्टेज (Optimum Transmission Voltage) असतो, जिथे एकूण खर्च मिनिमम असतो आणि पॉवर डिलिव्हरी इफिशियंट राहते.
- हे ऑप्टिमम व्होल्टेज ठरवण्यासाठी खालील पॅरामीटर्स विचारात घेतले जातात (दिलेली पॉवर, जनरेशन व्होल्टेज आणि लाईन लेंथ माहीत असल्यास):
 1. जनरेटिंग आणि रिसिव्हिंग एंडवरील ट्रान्सफॉर्मर्स (Transformers) चा खर्च
 2. स्विचगिअर (Switchgear) आणि लाइटनिंग अरेस्टर्स (Lightning Arresters) चा खर्च
 3. इन्स्युलेटर्स (Insulators) चा खर्च
 4. लाईन सपोर्ट्स (Line Supports) चा खर्च
 5. कंडक्टर्स (Conductors) चा खर्च
- हे खर्च संतुलित करून त्या सिस्टिमसाठी सर्वात इकॉनॉमिकल आणि टेक्निकली इफिशियंट (Economical & Technically Efficient) डिस्ट्रिब्युशन व्होल्टेज ठरवले जाते.
- एखाद्या ठराविक व्होल्टेज लेव्हलवर ट्रान्सफॉर्मर्स, स्विचगिअर, इन्स्युलेटर्स, सपोर्ट्स आणि कंडक्टर्स या सर्व घटकांचा खर्च काढून त्यांची बेरीज करून त्या व्होल्टेजसाठी टोटल ट्रान्समिशन कॉस्ट (Total Transmission Cost) मिळवली जाते.
- हीच प्रक्रिया इतर वेगवेगळ्या व्होल्टेज लेव्हलसाठीही केली जाते. त्यानंतर टोटल कॉस्ट वि. ट्रान्समिशन व्होल्टेज (Total Cost vs Transmission Voltage) असा ग्राफ प्लॉट केला जातो.

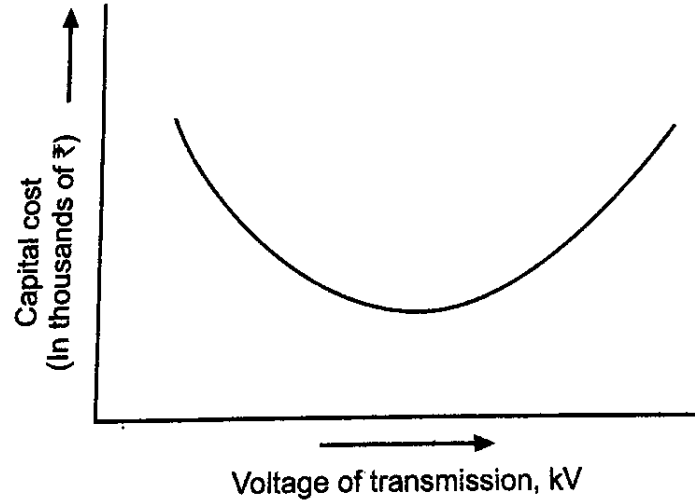


Figure 3.2 Typical Curve

- या प्रकारचा कर्व (Curve) Figure. 3.2 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे एक पॉइंट दर्शवितो जिथे टोटल कॉस्ट (Total Cost) मिनिमम असते.
- हा पॉइंट ऑप्टिमम ट्रान्समिशन व्होल्टेज (Optimum Transmission Voltage) दर्शवितो, जो दिलेल्या पॉवर आणि डिस्टन्ससाठी सर्वात इकॉनॉमिकल चॉईस असतो.
- जर दोन व्होल्टेज लेव्हल्सची कॉस्ट जवळजवळ सारखी असेल, तर सामान्यतः हायर व्होल्टेज (Higher Voltage) निवडणे योग्य ठरते, कारण:
 - हायर व्होल्टेजेस हाय करंटपेक्षा रेग्युलेट करायला सोपी असतात.
 - भविष्यातील सिस्टिम डिमांड वाढल्यास मोठे री-डिझाईन न करता ती सहजपणे हाताळता येते.
- जनरल गाईडलाईन म्हणून, वर्किंग ट्रान्समिशन व्होल्टेज (Working Transmission Voltage) अंदाजे 0.6 kV प्रति किमी लाईन लांबी धरता येते, जरी प्रत्यक्षात सिस्टिम कंडिशननुसार हे मूल्य 0.4 kV ते 0.9 kV प्रति किमी दरम्यान बदलू शकते.

एम्पिरिकल फॉर्म्युलाज फॉर इकॉनॉमिकल ट्रान्समिशन व्होल्टेज (Empirical Formulas for Economical Transmission Voltage)

- मॉडर्न अमेरिकन प्रॅक्टिस (Modern American Practice) नुसार, इकॉनॉमिकल लाईन-टू-लाईन व्होल्टेज (Economical Line-to-Line Voltage) kV मध्ये खालील एम्पिरिकल रिलेशन्स (Empirical Relations) वापरून अंदाज केला जाऊ शकतो:

$$V = 5.5 \sqrt{0.62L + \frac{3P}{100}}$$

where:

L = लेंथ (L = Length) ऑफ ट्रान्समिशन लाईन (Transmission Line) (km)

P = मॅक्सिमम पॉवर (Maximum Power) पर फेज (Per Phase) टू बी ट्रान्समिटेड (To Be Transmitted) इन किलोवॉट

- पर्यायी पद्धतीने, आणखी एक एम्पिरिकल फॉर्म्युला (Empirical Formula) असा आहे:

$$V = 5.5 \sqrt{0.62L + \frac{kVA}{150}}$$

where:

KVA = टोटल अपेरेट पॉवर (total apparent power) to be transmitted (in kVA)

L = ट्रान्समिशन डिस्टन्स (Transmission Distance) (in km)

- हे फॉर्म्युलाज (Formulas) वापरून, डिटेल्ड डिझाईन आणि इकॉनॉमिक अँनालिसिस करण्यापूर्वी, इफिशंट (Efficient) आणि कॉस्ट-इफेक्टिव्ह (Cost-Effective) ट्रान्समिशन व्होल्टेज निवडण्यासाठी एक प्रॅक्टिकल अप्रोच मिळतो.

3.2.3 फेज करंट्स (Phase Currents) चे बॅलन्सिंग (Balancing)

- इंडिया (India) मध्ये थ्री-फेज, फोर-वायर डिस्ट्रिब्युशन सिस्टिम (Three-Phase, Four-Wire Distribution System) सामान्यतः थ्री-फेज आणि सिंगल-फेज लोड्स (Three-Phase and Single-Phase Loads) पुरवण्यासाठी वापरली जाते.
- इंडस्ट्रियल आणि कमर्शियल कंझ्यूमर्स (Industrial and Commercial Consumers) साधारणपणे बॅलन्सड थ्री-फेज लोड (Balanced Three-Phase Load) वापरतात, पण डोमेस्टिक कंझ्यूमर्स (Domestic Consumers) बहुतांशी सिंगल-फेज पॉवर (Single-Phase Power) घेतात, ज्यामुळे डिस्ट्रिब्युशन सिस्टिम (Distribution System) वर अनबॅलन्सड लोडिंग (Unbalanced Loading) होण्याची शक्यता वाढते.

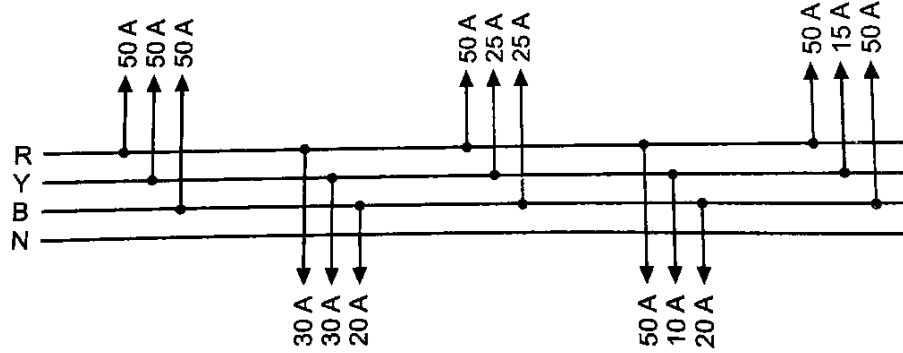


Figure 3.3 Unbalanced Three-Phase Feeder

- Figure 3.3 मध्ये अनबॅलन्सड थ्री-फेज फीडर (Unbalanced Three-Phase Feeder) दाखवलेला आहे, ज्यामध्ये सिंगल-फेज लोड्स (Single-Phase Loads) लाईनच्या वेगवेगळ्या पॉईंट्सवर जोडलेले आहेत.
- थ्री-फेज फीडर (Three-Phase Feeder) च्या सुरुवातीच्या पॉईंटवर लोड बॅलन्सड (Balanced) असू शकतो—उदा., प्रत्येक फेजवर 50 A. पण फीडरच्या लांबीमध्ये सिंगल-फेज कंझ्यूमर्स (Single-Phase Consumers) जोडले जात असल्यामुळे तीनही फेजवरील लोड असमतोल (Unequal) होतो.
- उदाहरणार्थ, फीडरच्या एका पॉईंटवर:
 - आर-फेज (R-Phase) वर 230 A
 - वाय-फेज (Y-Phase) वर 130 A
 - बी-फेज (B-Phase) वर 165 A
- प्रत्येक फेजमधील हा असमान करंट अनबॅलन्सड कंडिशन (Unbalanced Condition) तयार करतो, ज्यामुळे:
 - न्यूट्रल कंडक्टरमध्ये सर्क्युलेटिंग करंट्स (Circulating Currents)
 - कॉपर लॉसेस (Copper Losses – I^2R Losses) वाढणे
 - कंझ्यूमर एंडवर व्होल्टेज फ्लक्चुएशन्स (Voltage Fluctuations)
 - सिस्टिमची एफिशन्सी (Efficiency) आणि रिलायबिलिटी (Reliability) कमी होणे

- हे परिणाम कमी करण्यासाठी सिंगल-फेज कन्झ्युमर्सचे कनेक्शन तीनही फेजमध्ये समप्रमाणात (Evenly) वाटप करणे आवश्यक आहे, ज्यामुळे प्रत्येक फेजवर जवळपास सारखा करंट (उदा., 175 A) वाहतो.
- मोठ्या डिस्ट्रीब्युशन सिस्टिममध्ये लोडचे मॅन्युअल बॅलन्सिंग (Manual Balancing) कठीण असते; म्हणून ऑप्टिमायझेशन टेक्निक्स (Optimization Techniques) किंवा ऑटोमेटेड फेज-बॅलन्सिंग अल्गोरिदम्स (Automated Phase-Balancing Algorithms) वापरले जातात.
- उद्दिष्ट हे की फीडरच्या सप्लाय पॉईंटवरच नव्हे तर संपूर्ण फीडर लांबीभर हा बॅलन्स राखला जावा, ज्यामुळे सिस्टिमचा परफॉर्मन्स सुधारतो आणि टेक्निकल लॉसेस कमी होतात.

फेज बॅलन्सिंगचे फायदे (Advantages of Phase Balancing)

1. फीडर कॅपॅसिटी (Feeder Capacity) ची बेटर युटिलायझेशन (Better Utilization):

अनबॅलन्स्ड (Unbalanced) कंडिशनमध्ये फीडरची फुल कॅपॅसिटी (Full Capacity) इफेक्टिव्हली युज होत नाही. फेज बॅलन्सिंग (Phase Balancing) केल्यावर सिस्टिम जास्त एफिशंट (Efficient) चालते आणि एक्झिस्टिंग इन्फ्रास्ट्रक्चर (Existing Infrastructure) जास्त प्रॉडक्टिव्ह बनते.

2. अॅव्हलेबिलिटी (Availability) फॉर फ्युचर लोड ग्रोथ (Future Load Growth):

बॅलन्सिंग प्रोसेस (Balancing Process) मध्ये ओव्हरलोडेड फेजेस (Overloaded Phases) मधील एक्सेस करंट (Excess Current) अंडरलोडेड फेजेस (Underloaded Phases) कडे ट्रान्सफर केला जातो. यामुळे करंट फ्लो (Current Flow) ऑप्टिमाईझ होतो आणि कंडक्टर (Conductor) अपग्रेड न करता फ्युचर लोड एक्स्पान्शन (Future Load Expansion) साठी जागा उपलब्ध होते.

3. इन्क्रीज्ड बॅकअप कॅपॅसिटी (Increased Backup Capacity):

बॅलन्स्ड फीडर्स (Balanced Feeders) अचानक किंवा इमर्जन्सी लोड कंडिशन्स (Emergency Load Conditions) चांगल्या प्रकारे हँडल करू शकतात कारण ओव्हरऑल सिस्टिम कॅपॅसिटी (Overall System Capacity) इफेक्टिव्हली डिस्ट्रीब्यूट होते.

4. इम्प्रुव्ड व्होल्टेज रेग्युलेशन (Improved Voltage Regulation):

लोड बॅलन्स केल्याने तीनही फेजेसमध्ये जवळपास सारखं व्होल्टेज ड्रॉप (Voltage Drop) राहतो. त्यामुळे कन्झ्युमर्सना स्थिर आणि युनिफॉर्म व्होल्टेज (Stable and Uniform Voltage) मिळतो.

5. इन्हायन्स्ड सिस्टिम परफॉर्मन्स (Enhanced System Performance):

फेज बॅलन्सिंगमुळे फीडर कॅपॅसिटी (Feeder Capacity) आणि व्होल्टेज क्वालिटी (Voltage Quality) सुधारते, तसेच एनर्जी लॉसेस (Energy Losses) कमी होतात आणि पॉवर डिस्ट्रीब्युशन (Power Distribution) जास्त रिलायबल (Reliable) आणि इकॉनॉमिकल (Economical) बनते.

3.2.4 कम्पेन्सेटिंग रिअॅक्टिव पॉवर फ्लो (Compensating Reactive Power Flow)

- AC सर्किटमध्ये रिअॅक्टिव्ह पॉवर (Reactive Power) ही अशा पॉवरला म्हणतात जी कोणतेही रिअल वर्क करत नाही, पण सोर्स आणि रिअॅक्टिव्ह एलिमेंट्स इंडक्टर्स (Inductors) आणि कॅपॅसिटर्स (Capacitors) यांच्या दरम्यान पुढे-मागे ऑसिलेट (Oscillate) होते.
- ही पॉवर कधी कधी इमॅजिनरी पॉवर (Imaginary Power) म्हणून ओळखली जाते, कारण ती युजफुल एनर्जी ट्रान्सफरमध्ये प्रत्यक्ष योगदान देत नाही.
- शुद्ध रिअॅक्टिव्ह सर्किटमध्ये, प्रत्येक हाफ सायकलमध्ये पॉवर एकदा सोर्सकडून लोडकडे आणि नंतर लोडकडून परत सोर्सकडे प्रवाहित होते. त्यामुळे अशा सर्किटचा सरासरी पॉवर कंझम्पशन शून्य (Zero) असतो.

- रिअॅक्टिव्ह पॉवर ही टोटल अपॅरेंट पॉवरचा (Apparent Power) एक आवश्यक घटक आहे आणि ती वोल्ट-अॅंपिअर रिअॅक्टिव्ह (Volt-Ampere Reactive – VAR) मध्ये मोजली जाते. तिचे सिंबॉल Q आहे. ही पॉवर म्हणजे व्होल्टेज आणि करंट हे एकमेकांशी आउट ऑफ फेज (Out of Phase) असताना निर्माण होणारे गुणोत्तर.
- जेव्हा ओव्हरहेड ट्रान्समिशन लाइन (Overhead Transmission Line) फुल लोड (Full Load) वर चालते, तेव्हा तिच्या इंडक्टिव्ह (Inductive) नेचरमुळे ती रिअॅक्टिव्ह पॉवर (Reactive Power) अॅब्जॉर्ब (Absorb) करते. ही अॅब्जॉर्ब होणारी रिअॅक्टिव्ह पॉवर (Reactive Power) खालीलप्रमाणे व्यक्त केली जाते:

$$Q = I^2 X$$

where,

I = लाईन करंट (Line Current) (A)

X = लाईन रिअॅक्टन्स पर फेज (Line Reactance per Phase) (Ω)

- लाईन हलक्या लोड (Light Load) किंवा नो-लोड (No-Load) कंडिशनमध्ये असताना, लाईनची शंट कॅपॅसिटन्स (Shunt Capacitance) प्राबल्यात येते. अशा परिस्थितीत लाईन सिस्टीमला रिअॅक्टिव्ह पॉवर (Reactive Power) सप्लाय करते, ज्याला चार्जिंग व्हीएआर्स (Charging VARs) म्हटले जाते.
- लाईन कॅपॅसिटन्समुळे जनरेट होणारी ही रिअॅक्टिव्ह पॉवर खालीलप्रमाणे मिळते:

$$Q = V^2 \omega C$$

where,

V = लाईन व्होल्टेज (Line Voltage) (V)

ω = सिस्टिम अँग्युलर फ्रिक्वेन्सी (System Angular Frequency) (rad/s)

C = लाईन-टू-अर्थ कॅपॅसिटन्स पर फेज (Line-to-Earth Capacitance per Phase) (F)

- केबल्स (Cables) मध्ये कंडक्टर्समध्ये आणि कंडक्टर व शीथ (sheath) यांच्यातील इनहेरंट कॅपॅसिटन्स (inherent capacitance) मुळे रिअॅक्टिव्ह पावर (reactive power) जनरेट होते.
- ट्रान्समिशन सिस्टिमच्या रिसिव्हिंग एंड (receiving end) वर किंवा डिस्ट्रीब्युशन सिस्टिमच्या लोड एंड (load end) वर रिअॅक्टिव्ह पावर (reactive power) सप्लाय करणाऱ्या डिव्हाइसेसना रिअॅक्टिव्ह पावर कम्पेन्सेटर्स (reactive power compensators) म्हणतात.

3.2.4(A) रिअॅक्टिव्ह पॉवर कॉम्पेन्सेशनची गरज (Need for Reactive Power Compensation)

- एसी (AC) सिस्टीममध्ये, रिअॅक्टिव्ह पॉवर (Reactive Power) सतत सोर्स आणि लोड यांच्यामध्ये पुढे-मागे फिरत राहते. उदाहरणार्थ:
 - एसी सायकलच्या एका भागात कॅपॅसिटर (Capacitor) एनर्जी स्टोअर करतो.
 - पुढील भागात, ती एनर्जी पुन्हा सप्लायला रिलीझ करतो.
- ही सततची एनर्जी एक्स्चेंज कंट्रोल करणे आवश्यक असते, ज्यामुळे सिस्टीम स्टॅबिलिटी (System Stability) आणि व्होल्टेज लेव्हल्स (Voltage Levels) कायम राखता येतात.
- इंडक्शन मोटर्स (Induction Motors), इंडक्शन फर्नेसेस (Induction Furnaces), आर्क फर्नेसेस (Arc Furnaces), ट्रान्सफॉर्मर्स (Transformers), फ्लुओरोसेंट लॅम्प्स (Fluorescent Lamps), आणि फॅन्स (Fans) यांसारखी अनेक इलेक्ट्रिकल लोड्स कमी पॉवर फॅक्टर (Low Power Factor) वर काम करतात. ही डिव्हाइसेस मोठ्या प्रमाणात रिअॅक्टिव्ह पॉवरची मागणी करतात, ज्यामुळे लोड टर्मिनल्सवर व्होल्टेज ड्रॉप (Voltage Drop) होतो.
- जर रिअॅक्टिव्ह पॉवरची मागणी योग्यरीत्या कॉम्पेन्सेट केली नाही तर:
 - सिस्टीमचा पॉवर फॅक्टर (Power Factor) खराब होतो.
 - समान अॅक्टिव्ह पॉवरसाठी ट्रान्समिशन लाईन्स (Transmission Lines), ट्रान्सफॉर्मर्स (Transformers), आणि अल्टरनेटर (Alternators) यांचा करंट रिकायरमेंट वाढतो.

→ यामुळे कॉपर लॉसेस (Copper Losses) वाढतात आणि सिस्टीम एफिशन्सी (System Efficiency) कमी होते.

3.2.4(B) रिॆक्टिव्ह पावर कॉम्पेन्सेशनच्या पद्धती (Methods of Reactive Power Compensation)

- AC सिस्टिम (AC System) मध्ये लो पॉवर फॅक्टर (Low Power Factor) असल्यास रिॆक्टिव्ह पावर (Reactive Power) ची आवश्यकता वाढते, ज्यामुळे व्होल्टेज ड्रॉप्स (Voltage Drops) होतात आणि सिस्टिमची एफिशन्सी (Efficiency) कमी होते.
- याला विरोध करण्यासाठी पॉवर फॅक्टर (Power Factor) सुधारण्यासाठी रिॆक्टिव्ह पावरचे कॉम्पेन्सेशन (Compensation) करणे आवश्यक आहे. रिॆक्टिव्ह पावर भरपाईसाठी मुख्य पद्धती (Methods) आहेत:
 - कॅपॅसिटर बँक वापरणे (Using Capacitor Banks)
 - सिंक्रोनस कंडेन्सर्स वापरणे (Using Synchronous Condensers)
 - स्टॅटिक VAR कंप्रेन्सेटर्स वापरणे (Using Static VAR Compensators - SVCs)

1. कॅपॅसिटर बँक्स (Capacitor Banks)

- या पद्धतीत, लोडवर कॅपॅसिटर्सच्या बँक्सची (Capacitor Bank) स्थापना केली जाते. कॅपॅसिटर्स लीडिंग रिॆक्टिव्ह पावर (Leading Reactive Power) घेऊन इंडक्टिव्ह लोड्स (Inductive Loads) जसे की मोटर्स (Motors) आणि ट्रान्सफॉर्मर्स (Transformers) कडून घेतलेली लेगिंग रिॆक्टिव्ह पावर (Lagging Reactive Power) न्यूट्रलाइज (Neutralize) करतात. यामुळे स्त्रोताकडून घेतलेली एकूण रिॆक्टिव्ह पावर कमी होते आणि सिस्टिमचा पॉवर फॅक्टर (Power Factor) सुधारतो.
- कॅपॅसिटर कॉम्पेन्सेशन (Capacitor Compensation) दोन प्रकारची असते:
 - शंट कॅपॅसिटर्स (Shunt Capacitors): सिस्टिमसोबत पॅरेलल (Parallel) मध्ये जोडलेले. हे सर्व व्होल्टेज लेव्हल्स (Voltage Levels) मध्ये पॉवर सिस्टिममध्ये मोठ्या प्रमाणावर वापरले जातात.
 - सीरीज कॅपॅसिटर्स (Series Capacitors): ट्रान्समिशन लाईन (Transmission Line) मध्ये सीरीज (Series) मध्ये जोडलेले, जे लाईन रिॆक्टन्स (Line Reactance) कमी करतात आणि व्होल्टेज स्टॅबिलिटी (Voltage Stability) सुधारतात.

शंट कॅपॅसिटर्सचे फायदे (Advantages of Shunt Capacitors):

- ट्रान्समिशन लाईन्समध्ये करंट फ्लो कमी करतो (Reduces Current Flow in the Transmission Lines).
- लोड एंडवर व्होल्टेज सुधारतो (Improves Voltage at the Load End).
- सिस्टिममधील पॉवर लॉसेस कमी करतो (Decreases System Power Losses).
- स्रोत करंटचा पॉवर फॅक्टर वाढवतो (Enhances the Source Current Power Factor).
- अल्टरनेटर लोडिंग कमी करतो (Reduces Alternator Loading).
- प्रत्येक मेगावॉट (MW) लोडसाठी भांडवली गुंतवणूक कमी करतो (Lowers the Capital Investment per Megawatt of Load Supplied).

2. सिंक्रोनस कंडेन्सर्स (Synchronous Condensers)

- सिंक्रोनस कंडेन्सर (Synchronous Condenser) मूलतः एक सिंक्रोनस मोटर (Synchronous Motor) आहे, जी मेकॅनिकल लोड (Mechanical Load) न घेता चालते आणि अँडजस्टेबल एक्सायटेशन (Adjustable Excitation) सह कार्य करते.
- अंडर-एक्सायटेड (Under-Excited) असताना, ही लेगिंग पॉवर फॅक्टर (Lagging Power Factor) वर चालते आणि रिॆक्टिव्ह पावर (Reactive Power) शोषित करते (Absorbs).
- ओव्हर-एक्सायटेड (Over-Excited) असताना, ही लीडिंग पॉवर फॅक्टर (Leading Power Factor) वर चालते आणि रिॆक्टिव्ह पावर पुरवते (Supplies), जसे की कॅपॅसिटर (Capacitor).

- कॅपॅसिटर बँक्स (Capacitor Banks) ज्या स्टेपवाइज कंट्रोल (Stepwise Control) पुरवतात, त्याउलट सिंक्रोनस कंडेन्सर्स (Synchronous Condensers) रिॲक्टिव्ह पॉवर (Reactive Power) आणि पॉवर फॅक्टर (Power Factor) चे सतत (Continuous) आणि डायनॅमिक (Dynamic) कंट्रोल पुरवतात.

फायदे (Advantages):

- सतत आणि अँडजस्टेबल (Adjustable) रिॲक्टिव्ह पॉवर भरपाई (Reactive Power Compensation) प्रदान करते.
- सिस्टमची व्होल्टेज स्टॅबिलिटी (Voltage Stability) सुधारते आणि मोठ्या ट्रान्झिएंट लोड्स (Large Transient Loads) ला समर्थन देते.

तोटे (Disadvantages):

- कॅपॅसिटर्सच्या तुलनेत जास्त लॉसेस (Higher Losses) होतात.
- महागाडे (Expensive) असून अधिक मॅटेनन्स (Maintenance) आवश्यक असते.
- सिंगल लोकेशन (Single Location) वर स्थापित केलेले, कॅपॅसिटर बँक्ससारखे सहज वितरित (Distributed) करता येत नाही.
- स्टॅटिक डिवाइसेस (Static Devices) पेक्षा प्रतिसाद वेळ (Response Time) हळू असते.

3. स्टॅटिक VAR कंप्रेन्सेटर (Static VAR Compensator - SVC)

- हाय-व्होल्टेज पॉवर सिस्टिम्स (High-Voltage Power Systems) मध्ये, स्टॅटिक VAR कंप्रेन्सेटर्स (Static VAR Compensators - SVCs) डायनॅमिक व्होल्टेज रेग्युलेशन (Dynamic Voltage Regulation) आणि रिॲक्टिव्ह पॉवर कंट्रोल (Reactive Power Control) साठी मोठ्या प्रमाणावर वापरले जातात.
- SVC मध्ये शंट रिॲक्टर्स (Shunt Reactors) आणि शंट कॅपॅसिटर्स (Shunt Capacitors) असतात, जे थायरिस्टर (Thyristors) द्वारे नियंत्रित केले जातात, ज्यामुळे व्होल्टेज स्वीकारार्ह मर्यादित (Within Acceptable Limits) राहतो.
- थायरिस्टर-कंट्रोल्ड रिॲक्टर्स (Thyristor-Controlled Reactors - TCRs): लाइट लोड किंवा नो-लोड (Light Load or No-Load) परिस्थितीत अतिरिक्त रिॲक्टिव्ह पॉवर शोषतात (Absorb Excess Reactive Power) जेणेकरून ओव्हर-व्होल्टेज (Over-Voltage) टाळता येतो.
- थायरिस्टर-स्विचड कॅपॅसिटर्स (Thyristor-Switched Capacitors - TSCs): हे हेवी लोड (Heavy Load) काळात रिॲक्टिव्ह पॉवर पुरवतात (Supply Reactive Power) आणि व्होल्टेज सॅग (Voltage Sag) टाळतात.

• टिपिकल SVC कॉन्फिगरेशन्स (Typical SVC Configurations):

- फिक्स्ड कॅपॅसिटर-थायरिस्टर-कंट्रोल्ड रिॲक्टर (Fixed Capacitor-Thyristor-Controlled Reactor – FC-TCR) – यात फिक्स्ड कॅपॅसिटर (Fixed Capacitor) एक कंट्रोल्येबल रिॲक्टर (Controllable Reactor) सोबत पॅरललमध्ये जोडलेला असतो.
- थायरिस्टर-स्विचड कॅपॅसिटर-थायरिस्टर-कंट्रोल्ड रिॲक्टर (Thyristor-Switched Capacitor-Thyristor-Controlled Reactor – TSC-TCR) – यात कॅपॅसिटर बँक (Capacitor Bank) आणि रिॲक्टर बँक (Reactor Bank) दोन्ही थायरिस्टरद्वारे नियंत्रित केल्या जातात, ज्यामुळे जलद आणि फ्लेक्सिबल ऑपरेशन (Fast and Flexible Operation) मिळते.

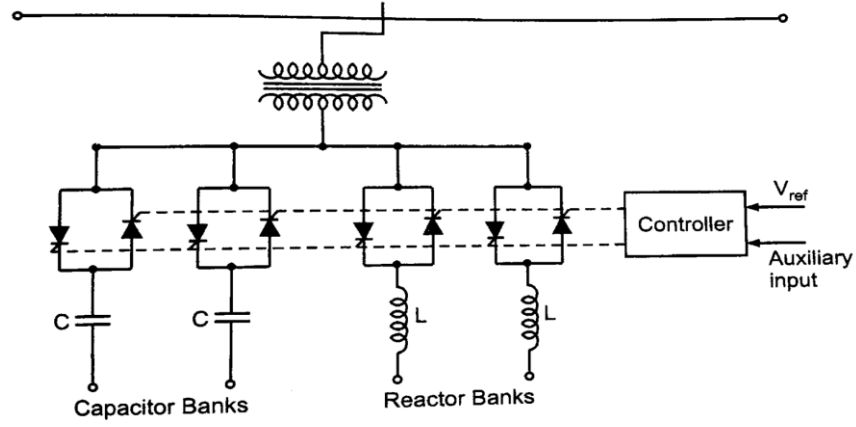


Figure 3.4 Static VAR Compensator

3.2.4(C) रिअॅक्टिव्ह पॉवर कॉम्पेन्सेशनचे फायदे (Advantages of Reactive Power Compensation):

- रिअॅक्टिव्ह पॉवरचा (Reactive Power) भार सप्लाय साइडवरून कमी होतो.
- रिअॅक्टिव्ह करंट (Reactive Current) कमी झाल्यामुळे सिस्टिममधील कॉपर लॉसेस (Copper Losses) कमी होतात.
- अल्टरनेटर्स आणि ट्रान्सफॉर्मर्सवरील kVA लोडिंग कमी होते.
- प्रत्येक kW लोड सप्लाय करण्यासाठी लागणारा गुंतवणूक खर्च कमी होतो.
- व्होल्टेज रेग्युलेशन (Voltage Regulation) आणि सिस्टिम स्टेबिलिटी (System Stability) सुधारते.

3.3 कमर्शियल लॉसेस: कॉजेस आणि रेमेडीज (Commercial Losses: Causes and Remedies):

- कमर्शियल (Commercial) किंवा नॉन-टेक्निकल लॉसेस (Non-Technical Losses) म्हणजे अशा इलेक्ट्रिकल एनर्जी (Electrical Energy) चा लॉस (Loss) होय की जी ट्रान्समिशन (Transmission), सब-ट्रान्समिशन (Sub-Transmission) किंवा डिस्ट्रीब्युशन (Distribution) लाईन्स व उपकरणांमध्ये होत नाही, परंतु मानवी चुका, चोरी किंवा चुकीची Metering (Metering) व Billing Practices (Billing Practices) यांमुळे होते.
- हे लॉसेस थेट युटिलिटी (Utility) च्या रेव्ह्यू (Revenue) व फायनान्शियल परफॉर्मन्स (Financial Performance) वर परिणाम करतात; म्हणून यांना कमर्शियल लॉसेस (Commercial Losses) असे म्हणतात.

3.3.1 मेजर कॉजेस ऑफ कमर्शियल लॉसेस (Major Causes of Commercial Losses):

1. वीज चोरी (Theft of Electricity): लाईव्ह लाईन्स (Live Lines) वर अनधिकृत टॅपिंग (Tapping) करणे, हुक्स (Hooks) वापरणे, मीटर बायपास (Meter Bypass) करणे किंवा मीटरिंग इक्विपमेंट (Metering Equipment) मध्ये छेडछाड करून शुल्क न भरता इलेक्ट्रिकल एनर्जी (electrical energy) वापरणे.
2. खराब किंवा छेडछाड केलेले मीटर्स (Faulty or Tampered Meters): डिफेक्टिव्ह मीटर्स वापरणे, मीटरला जाणूनबुजून नुकसान करणे, मॅग्नेट्स किंवा रिमोट डिव्हाइसेस वापरून मीटर ऑपरेशन थांबवणे, ज्यामुळे योग्य एनर्जी रेकॉर्डिंग होत नाही.
3. चुकीची मीटर रीडिंग्स (Wrong Meter Readings): मीटर रीडर्सकडून जाणूनबुजून किंवा निष्काळजीपणामुळे चुकीची रीडिंग नोंदवणे, ज्यामुळे अंडर-बिलिंग होते.
4. सँक्शनड लिमिटपेक्षा जास्त लोड वापरणे (Overloading Beyond Sanctioned Limit): हॉर्सपॉवर (H.P.) बेसिसवर सँक्शनड लोड असताना त्यापेक्षा जास्त रेटिंगची मशिनरी चालवणे, ज्यामुळे अनअकाउंटेड इलेक्ट्रिकल एनर्जी (electrical energy) वापरली जाते.

5. अनधिकृत लोड एक्स्टेंशन (Unauthorized Load Extensions): युटिलिटी (Utility) कडून पूर्वपरवानगी न घेता नवीन उपकरणे जोडणे किंवा सप्लाय कनेक्शन वाढवणे.
6. मीटर बायपास करणे (Bypassing of Meters): लोड थेट सप्लाय लाईनला जोडणे आणि एनर्जी मीटरला बायपास करून कन्झमप्शनची नोंद टाळणे.
7. वायरिंग सिक्वेन्स बदलणे (Interchanging Wiring Sequence): करंट फ्लो (Current Flow) बदलण्यासाठी किंवा मीटर रीडिंग (Meter Reading) गोंधळवण्यासाठी वायरिंग किंवा फेज सिक्वेन्स (Sequence) मध्ये बदल करणे.
8. मीटर्स जाळणे किंवा नुकसान करणे (Intentional Burning or Damage of Meters): कन्झमप्शनचा पुरावा नष्ट करण्यासाठी किंवा बिल भरणे टाळण्यासाठी मीटर जाळणे किंवा नष्ट करणे.

3.3.2 कमर्शियल लॉसेस कमी करण्यासाठी स्टेप्स (Steps to Minimize Commercial Losses):

- एनर्जी चोरी (Theft of Energy) तपासण्यासाठी आणि प्रतिबंध करण्यासाठी स्पेशल व्हिजिलन्स स्क्वॉड (Special Vigilance Squad) स्थापन करावी.
- ज्या व्यक्ती मीटर (Meter) टॅपर करतात किंवा त्याच्या सील्स (Seals) तोडतात, त्यांना शिक्षा (Punished) आणि दंड (Penalized) करण्यात यावा.
- प्रत्येक क्षेत्र आणि शहरासाठी एनर्जी ऑडिट्स (Energy Audits) सुरू करावेत, ज्यामुळे चोरीची क्षेत्रे शोधता येतील आणि प्रतिबंधासाठी योग्य पावले उचलता येतील.
- एरिया ऑफिसर्स (Area Officers), विशेषतः एक्झिक्यूटिव्ह इंजिनिअर (Executive Engineer) यांनी संबंधित क्षेत्रातील एनर्जी रिसिव्ह्ड (Energy Received) आणि एनर्जी सेल्स (Energy Sales) याची जबाबदारी घ्यावी.
- एनर्जी मीटर्स (Energy Meters) टॅपर-प्रूफ मीटर बॉक्सेस (Tamper-Proof Meter Boxes) मध्ये बसवावेत आणि त्यांना योग्य प्रकारे सील (Seal) करावे.
- इलेक्ट्रॉनिक मीटर्स (Electronic Meters) वापरावेत, कारण त्यांना सहजपणे टॅपर (Tamper) करता येत नाही.
- मीटर्स (Meters) वेळोवेळी तपासावेत आणि तपासणी करणाऱ्या अधिकाऱ्यांना क्वालिटी मीटर टेस्टिंग फॅसिलिटीज (Quality Meter Testing Facilities) उपलब्ध करून द्याव्यात.
- फॉल्टी मीटर्स (Faulty Meters) लगेच प्रॉपर मीटर्स (Proper Meters) आणि सील्स (Seals) लावून बदलण्यात यावेत.

3.4 एनर्जी कन्झर्वेशन इक्विपमेंट (Energy Conservation Equipment)

- ट्रान्समिशन अँड डिस्ट्रीब्युशन (Transmission & Distribution – T&D) सिस्टिम्स चे एफिशियन्ट (Efficient) ऑपरेशन टेक्निकल लॉसेस कमी करण्यासाठी आणि बेटर व्होल्टेज रेग्युलेशन (Voltage Regulation) साठी अत्यावश्यक आहे.
- मॉडर्न डिवाइसेस सिस्टिमचे मॉनिटरिंग (Monitoring), कंट्रोल (Control) आणि एफिशियन्सी (Efficiency) सुधारण्यासाठी वापरले जातात.

हेच डिवाइसेस एनर्जी कन्झर्वेशन इक्विपमेंट (Energy Conservation Equipment) म्हणतात:

3.4.1 मॅक्सिमम डिमॅण्ड कंट्रोलर (Maximum Demand Controller)

- हाय-टेंशन (High-Tension – HT) कंझुमर्सना फक्त एकूण एनर्जी कंझमप्शन (Energy Consumed – units) वरच नाही तर मॅक्सिमम डिमॅण्ड (Maximum Demand) वरदेखील बिल केले जाते. बिलिंग महिन्यातील साधारण 30 मिनिटांच्या इंटरव्हलमध्ये घेतलेला सर्वाधिक पॉवर ड्रॉ (Power drawn) म्हणजे मॅक्सिमम डिमॅण्ड होय (Maximum Demand).

- हा मॅक्सिमम डिमांड (Maximum Demand) चार्ज (Charge) अनेक वेळा एकूण इलेक्ट्रिसिटी बिल (Electricity Bill) चा मोठा भाग बनतो आणि कधी कधी थोड्याच वेळाच्या जास्त पॉवर युसेज (Power Usage) मुळे देखील लागू शकतो.
- अनावश्यक डिमांड चार्जेस (Demand Charges) टाळण्यासाठी आणि एनर्जी कॉस्ट (Energy Cost) कमी करण्यासाठी, इंडस्ट्रीज (Industries) त्यांचे लोड पॅटर्न (Load Pattern) मॅक्सिमम डिमांड कंट्रोलर (Maximum Demand Controller – MDC) च्या मदतीने नियंत्रित करू शकतात.
- मॅक्सिमम डिमांड कंट्रोलर (MDC) संपूर्ण प्लांटचा टोटल पॉवर कंजम्पशन (Total Power Consumption) सतत मॉनिटर (Monitor) करतो. लोड प्री-सेट लिमिट (Preset Limit) जवळ पोहोचला की, कंट्रोलर ऑडिओ (Audio) किंवा व्हिज्युअल (Visual) अलार्म देऊन ऑपरेटरला सतर्क करतो.
- जर या वेळी मॅन्युअल करेक्टिव्ह अॅक्शन घेतली नाही तर कंट्रोलर नॉन-एसेन्शियल (Non-Essential) किंवा लेस-क्रिटिकल (Less Critical) लोड्स पूर्व-नियोजित सिक्वेन्सने ऑटोमॅटिकली डिस्कनेक्ट करतो, जेणेकरून कॉन्ट्रॅक्टेड डिमांड (Contracted Demand) ओलांडली जाणार नाही.
- हा लोड-शेडिंग सिक्वेन्स (Load Shedding Sequence) प्लांटच्या ऑपरेशनल प्रायोरिटीज नुसार प्रोग्राम केला जातो, जो युजर आणि इक्विपमेंट (Equipment) सप्लायर यांच्या सहकार्याने सेट केला जातो.
- डिमांड (Demand) नॉर्मल झाल्यावर, डिस्कनेक्ट केलेले लोड्स ऑटोमॅटिक (Automatic) किंवा मॅन्युअली (Manually) पुन्हा कनेक्ट केले जाऊ शकतात.
- डिमांड कंट्रोल सिस्टम (Demand Control System) हे कंट्रोल कॉन्ट्रॅक्टर्स (Control Contractors) किंवा रिलेज (Relays) वापरून लोड स्विचिंग (Load Switching) करून कार्य करते.
- ऑडिओ आणि व्हिज्युअल इंडिकेशन्स (Audio and Visual Indications) ऑपरेटर्सना रिल-टाइम डिमांड स्टेटस मॉनिटर (Real-time Demand status Monitor) करण्यात मदत करतात.
- कंट्रोलर (Controller) याची काळजी घेतो की एसेन्शियल ऑपरेशन्स (Essential Operations) अडथळ्यांशिवाय सुरू राहतील आणि एकूण पॉवर युसेज (Power Usage) परवानगीच्या डिमांड (Demand) लिमिटमध्ये राहील.

फायदे (Advantages):

- 1) कॉन्ट्रॅक्ट केलेला मॅक्सिमम डिमांड (Maximum Demand) ओलांडण्यापासून प्रतिबंध करतो, त्यामुळे पेनल्टी चार्जेस (Penalty Charges) टाळले जातात.
- 2) उत्तम लोड मॅनेजमेंट (Load Management) मुळे एकूण इलेक्ट्रिसिटी कॉस्ट (Electricity Cost) कमी होते.
- 3) समतोल लोड डिस्ट्रिब्युशन (Load Distribution) राखल्यामुळे इलेक्ट्रिकल इन्फ्रास्ट्रक्चर (Electrical Infrastructure) चे युटिलायझेशन (Utilization) सुधारते.
- 4) उत्तम ऑपरेशनल कंट्रोल (Operational Control) मिळतो आणि एनर्जी एफिशन्सी (Energy Efficiency) वाढते.

3.4.2 kVAR कंट्रोलर (kVAR Controller)

- kVAr (kilo Volt-Ampere Reactive) कंट्रोलर युनिट (kVAr Controller Unit) हे इलेक्ट्रिकल पॉवर सिस्टिममध्ये ऑप्टिमम पॉवर फॅक्टर (Power Factor) राखण्यासाठी आणि नेटवर्कमधील रिएक्टिव्ह पॉवर (Reactive Power) चे प्रमाण नियंत्रित करण्यासाठी वापरले जाते. हे इफिशिएंट पॉवर युसेज (Efficient Power Usage) सुनिश्चित करते, सिस्टिम लॉसेस (System Losses) कमी करते आणि खराब पॉवर फॅक्टर (Power Factor) मुळे लागणाऱ्या पेनल्टी टाळण्यास मदत करते.

- सिस्टिम लोड (System Load) बदलला की रिएक्टिव्ह पॉवर डिमांड (Reactive Power Demand) देखील बदलते. kVAR कंट्रोलर (kVAR Controller) आपोआप कॅपेसिटर बँक्स (Capacitor Banks) कनेक्ट (Connect) किंवा डिस्कनेक्ट (Disconnect) करून डिझायरड पॉवर फॅक्टर (Desired Power Factor) कायम ठेवतो.

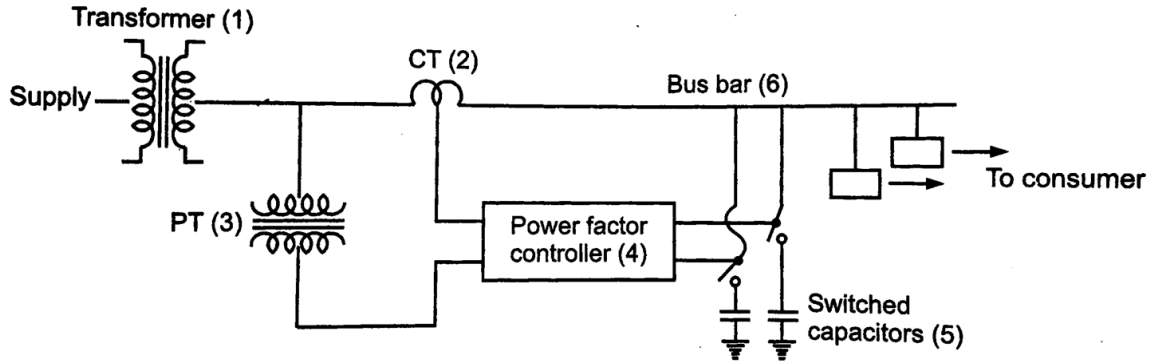


Figure 3.5 kVAR Controller

- kVAR-सेंसिटिव्ह कंट्रोलस (kVAR-sensitive controls) सिस्टिम (system) मधील त्या पॉइंट्स (points) वर वापरले जातात जिथे व्होल्टेज (voltage) तुलनात्मकरीत्या स्थिर (relatively constant) राहतो आणि तो कंट्रोल व्हेरिएबल (control variable) म्हणून काम करू शकत नाही.
- अशा परिस्थितीत कंट्रोलर (controller) रिएक्टिव्ह पॉवर (reactive power (kVAR)) किंवा पॉवर फॅक्टर (power factor) मॉनिटर (monitors) करतो आणि कॅपेसिटर्स (capacitors) त्यानुसार स्विच (switches) करतो.
- जेव्हा लोड (load) वाढतो आणि पॉवर फॅक्टर (power factor) लेग (lags) करतो, तेव्हा कंट्रोलर (controller) कॅपेसिटर स्टेप्स (capacitor steps) ON करून लीडिंग रिएक्टिव्ह पॉवर (leading reactive power) पुरवतो.
- जेव्हा लोड (load) कमी होतो, तेव्हा कंट्रोलर (controller) कॅपेसिटर्स (capacitors) OFF करून ओव्हरकॉम्पेन्सेशन (overcompensation) टाळतो.
- यामुळे सिस्टिम (system) लक्ष्य पॉवर फॅक्टर (target power factor) राखू शकते आणि लो पॉवर फॅक्टर (low power factor) परिस्थितीसाठी युटिलिटी प्रोवायडर्स (utility providers) कडून अतिरिक्त चार्जेस (extra charges) टाळू शकते.

3.4.3 ऑटोमॅटिक पॉवर फॅक्टर कंट्रोलर (Automatic Power Factor Controller) (APFC)

- ऑटोमॅटिक पॉवर फॅक्टर कंट्रोलर (Automatic Power Factor Controller - APFC) ही एक डिवाइस (Device) आहे जी इलेक्ट्रिकल सिस्टिम (Electrical System) चा इच्छित पॉवर फॅक्टर (Desired Power Factor) आपोआप (Automatically) राखण्यासाठी वापरली जाते. हे पॉवर फॅक्टर (Power Factor) मॉनिटर (Monitoring) करून आणि आवश्यक रिएक्टिव्ह पॉवर कॉम्पेन्सेशन (Reactive Power Compensation) पुरवणाऱ्या कॅपेसिटर बँक (Capacitor Bank) ला कंट्रोल (Controlling) करून केले जाते.
- सिस्टिम (System) मायक्रोकंट्रोलर (Microcontroller) आणि कॉन्टॅक्टर (Contactor) अरेजमेंटचा वापर करून लोडच्या kVAR डिमांड (kVAR Demand) नुसार कॅपेसिटर्स (Capacitors) ON किंवा OFF स्विच (Switch) करतो.

- पॉवर फॅक्टर (Power Factor) जवळजवळ युनिटी (Near Unity) पर्यंत सुधारल्याने, सप्लायकडून (Supply) ओढले जाणारे करंट (Current) कमी होते, ज्यामुळे लॉसेस (Losses) आणि कंझ्युमरच्या विज बिलवरील (Consumer's Electricity Bill) मॅक्सिमम डिमांड चार्जेस (Maximum Demand Charges) कमी होतात.
- APFC ऑपरेशन खालील रिलेशन (Relation) वर आधारित असते:

$$\text{Real Power (kW)} = \text{Apparent Power (kVA)} \times \text{Power Factor (p.f.)}$$
- जेव्हा पॉवर फॅक्टर (Power Factor) इच्छित पातळीपेक्षा खाली जाते (Lagging), तेव्हा कंट्रोलर (Controller) हे करंट (Current) आणि व्होल्टेज सेन्सर्स (Voltage Sensors) द्वारे सेंस (Senses) करतो आणि कॅपॅसिटर बँक (Capacitor Bank) मधील आवश्यक कॅपॅसिटर्स (Capacitors) सक्रिय (Activate) करून रिॲक्टिव्ह पॉवर (Reactive Power) पुरवतो.
- यामुळे पॉवर फॅक्टर (Power Factor) सुधारतो आणि युनिटी (Unity) कडे जवळ जातो.
- जेव्हा लोड (Load) कमी होतो, तेव्हा सिस्टम (System) अतिरिक्त कॅपॅसिटर्स (Excess Capacitors) डिस्कनेक्ट (Disconnect) करतो जेणेकरून ओव्हरकंपेन्सेशन (Overcompensation - Leading Power Factor) टाळता येईल.

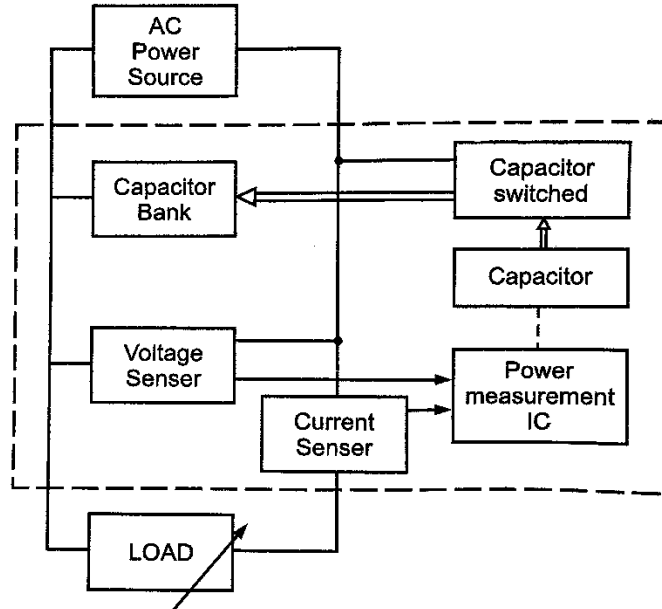


Figure 3.6 Automatic Power Factor Controller (APFC)

- Figure 3.6 मध्ये APFC सर्किट (APFC Circuit) चे मुख्य घटक (Main Components) दाखवले आहेत, ज्यामध्ये AC पॉवर सोर्स (AC Power Source), लोड (Load), व्होल्टेज सेन्सर (Voltage Sensor) & करंट सेन्सर (Current Sensor), पॉवर मेजरमेंट IC (Power Measurement IC), कॅपॅसिटर बँक (Capacitor Bank) आणि कॅपॅसिटर स्विचिंग सर्किट (Capacitor Switching Circuit) कॉन्टॅक्टरसह (With Contactors) समाविष्ट आहेत.
- AC सप्लाय (AC Supply) APFC पॅनेल (APFC Panel) शी कनेक्ट केलेली असते.
- करंट ट्रान्सफॉर्मर (Current Transformer - CT) आणि पोटेंशियल ट्रान्सफॉर्मर (Potential Transformer - PT) लोड करंट (Load Current) आणि व्होल्टेज (Voltage) सेन्स करतात, आणि सिस्टिमच्या पॉवर फॅक्टरशी (System's Power Factor) प्रमाणित सिग्नल (Proportional Signals) पुरवतात.
- मायक्रोकंट्रोलर-बेस्ड रिले (Microcontroller-Based Relay) APFC पॅनेलमध्ये वास्तविक पॉवर फॅक्टर (Actual Power Factor) आणि सेट व्हॅल्यू (Set Value) ची तुलना करते. आवश्यक kVAR नुसार, हे कॅपॅसिटर स्टेप्स (Capacitor Steps) ON किंवा OFF स्विच करते कॉन्टॅक्टरस (Contactors) मार्फत.

- CT आणि PT सतत (Continuously) सिस्टिम कडून फीडबॅक (Feedback) मॉनिटर करतात, ज्यामुळे इच्छित पॉवर फॅक्टर (Desired Power Factor) आपोआप (Automatically) राखला जातो.

फायदे (Advantages):

- 1) जवळजवळ युनिटी पॉवर फॅक्टर (Near-Unity Power Factor) आपोआप (Automatically) राखते.
- 2) kVA डिमांड (kVA Demand) आणि एनर्जी चार्जेस (Energy Charges) कमी करते.
- 3) लाइन करंट (Line Current) आणि कॉपर लॉसेस (Copper Losses) कमी करते.
- 4) व्होल्टेज स्टॅबिलिटी (Voltage Stability) आणि सिस्टिम एफिशन्सी (System Efficiency) वाढवते.
- 5) मॅन्युअल कॅपॅसिटर स्विचिंग (Manual Capacitor Switching) दूर करते आणि विश्वसनीयता (Reliability) सुधारते.

3.4.4 इंटेलिजंट पॉवर फॅक्टर कंट्रोलर (Intelligent Power Factor Controller) (IPFC)

- इंटेलिजंट पॉवर फॅक्टर कंट्रोलर (Intelligent Power Factor Controller – IPFC) हा एक अॅडव्हान्स्ड इलेक्ट्रॉनिक डिवाइस (advanced electronic device) आहे जो पॉवर फॅक्टर (power factor) आपोआप सुधारण्यासाठी वापरला जातो. पॉवर फॅक्टर (power factor) म्हणजे इलेक्ट्रिकल एनर्जी (electrical energy) किती कार्यक्षमतेने वापरली जाते याचे निदर्शक आहे म्हणजेच लोडला दिलेल्या रिल पॉवर (real power – kW) आणि सोर्सकडून पुरविल्या जाणाऱ्या अपेरंट पॉवर (apparent power – kVA) यांचा गुणोत्तर.
- पॉवर फॅक्टर (power factor) वाढवल्याने पॉवर युटिलायझेशन (power utilization) अधिक कार्यक्षम होते, एनर्जी लॉसेस (energy losses) कमी होतात, इलेक्ट्रिकल इन्फ्रास्ट्रक्चर (electrical infrastructure) वरील डिमांड कमी होते आणि इलेक्ट्रिसिटी कॉस्ट (electricity cost) कमी होते.
- IPFC हे रिल-टाइम (real time) मध्ये पॉवर फॅक्टर (power factor) सतत मॉनिटर करते आणि आवश्यकतेनुसार तात्काळ सुधारात्मक कृती करते. हे मायक्रोकंट्रोलर-बेस्ड सिस्टिम (microcontroller-based system) असल्याने त्यात इनबिल्ट डिजिटल-मेकिंग कॅपेबिलिटी (built-in decision-making capability) असते जी रिएक्टिव पॉवर कॉम्पेन्सेशन (reactive power compensation) ऑप्टिमाईज करते. हे सिस्टिम एक्सेस रिएक्टिव पॉवर (excess reactive power) कमी करते, फेजेसमध्ये लोड बॅलन्स (load balance across phases) करते आणि इतर इलेक्ट्रिकल कॉम्पोनन्ट्स (electrical components) वरील ताण कमी करते, ज्यामुळे संपूर्ण सिस्टिमची परफॉर्मन्स (performance) आणि रिलायबिलिटी (reliability) सुधारते.

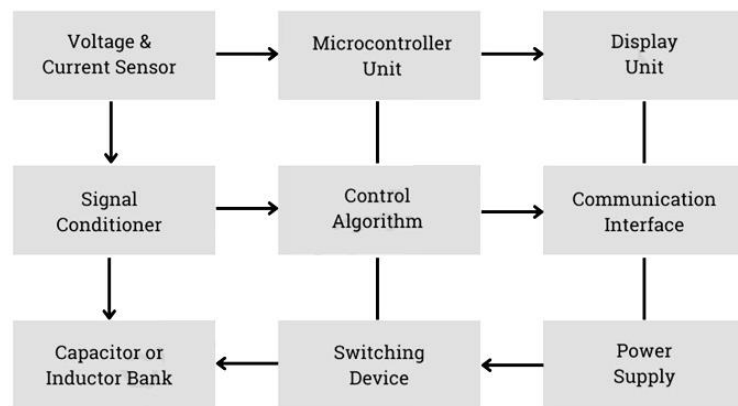


Figure 3.7 Block Diagram of Intelligent Power Factor Controller (IPFC)

- सेन्सर्स (Sensors) रिल-टाइम व्होल्टेज (Voltage), करंट (Current) आणि त्यांच्यामधील फेज अँगल (Phase Angle) मोजतात, ज्यामुळे सिस्टिमचा इन्स्टेनियस पॉवर फॅक्टर (Power Factor) ठरवता येतो.

- मायक्रोकंट्रोलर (Microcontroller) हा सेंट्रल प्रोसेसिंग युनिट (Central Processing Unit) म्हणून कार्य करतो आणि सेन्सर डेटा अँनालाइज करून आवश्यक रिॆॆक्टिव पॉवर (Reactive Power) एलिमेंट्स वाढवायचे की कमी करायचे हे ठरवतो, ज्यामुळे हवा असलेला पॉवर फॅक्टर (Power Factor) कायम ठेवता येतो.
- थायरिस्टर (Thyristor), ट्रायाक (Triac) किंवा रिले (Relay) सारखे सेमिकंडक्टर स्विचेस (Semiconductor Switches) मायक्रोकंट्रोलरच्या कमांडनुसार कॅपॅसिटर्स (Capacitors) किंवा इंडक्टर्स (Inductors) सर्किटमध्ये जोडण्यासाठी किंवा डिसकनेक्ट करण्यासाठी वापरले जातात.
- हे कॉम्पोनंट्स गरजेनुसार रिॆॆक्टिव पॉवर (Reactive Power) पुरवतात किंवा शोषून घेतात. कॅपॅसिटर्स (Capacitors) लागिंग पॉवर फॅक्टर (Power Factor) सुधारतात, तर इंडक्टर्स (Inductors) लिडिंग पॉवर फॅक्टर (Power Factor) सुधारतात..

3.4.5 ॲक्टिव हार्मोनिक फिल्टर्स (Active Harmonic Filters) (AHF)

- ॲक्टिव हार्मोनिक फिल्टर (Active Harmonic Filter – AHF) हे एक अँडव्हान्स्ड पॉवर क्वालिटी डिव्हाईस (Power Quality Device) आहे जे इलेक्ट्रिकल नेटवर्क्समधील हार्मोनिक डिस्टॉर्शन (Harmonic Distortion) काढून टाकण्यासाठी वापरले जाते.
- हार्मोनिक्स (Harmonics) म्हणजे अनडिझायर्ड व्होल्टेज किंवा करंट कंपोनेंट्स (Voltage / Current Components) जे फंडामेंटल फ्रिक्वेन्सीच्या (Fundamental Frequency – 50 Hz / 60 Hz) मल्टिपल्समध्ये निर्माण होतात.
- हे हार्मोनिक्स मुख्यतः नॉन-लिनिअर लोड्स (Non-Linear Loads) मुळे तयार होतात जसे व्हेरेबल स्पीड ड्राइव्स (Variable Speed Drives – VSDs), रेक्टिफायर्स (Rectifiers), इन्व्हर्टर्स (Inverters), कॉम्प्युटर्स (Computers), आणि स्विच-मोड पॉवर सप्लायज (Switched-Mode Power Supplies – SMPS).
- हार्मोनिक डिस्टॉर्शन (Harmonic Distortion) मुळे अनेक समस्या निर्माण होतात जसे:
 - इक्विपमेंट ओव्हरहीटिंग (Overheating of Equipment)
 - प्रोटेक्टिव डिव्हाईसचे (Protective Devices) चुकीचे ऑपरेशन
 - सिस्टीम एफिशन्सी (System Efficiency) कमी होणे
 - व्होल्टेज वेव्हफॉर्म डिस्टॉर्शन (Voltage Waveform Distortion)
 - अॅडिशनल पॉवर लॉसेस (Additional Power Losses)
- ॲक्टिव हार्मोनिक फिल्टर (Active Harmonic Filter – AHF) लोड करंट (Load Current) सतत मॉनिटर करून सिस्टीममधील हार्मोनिक कंपोनेंट्स (Harmonic Components) ओळखतो.
- त्यानंतर तो रिअल टाइममध्ये इकल पण ऑपोजिट हार्मोनिक करंट्स (Equal but Opposite Harmonic Currents) तयार करून त्यांना न्यूट्रलाइझ करतो, ज्यामुळे सप्लाय करंट (Supply Current) जवळजवळ साइनसॉयडल राहतो.
- या प्रक्रियेमुळे पॉवर क्वालिटी (Power Quality) आणि एकूण सिस्टीम परफॉर्मन्स (System Performance) लक्षणीयरीत्या सुधारतो.

ॲक्टिव हार्मोनिक फिल्टरचे वर्किंग प्रिन्सिपल (Working Principle of Active Harmonic Filter)

- करंट आणि व्होल्टेज सेन्सर्स (Current and Voltage Sensors) सिस्टमचे पॅरामीटर्स मोजतात आणि लोड करंटमधील हार्मोनिक कॉम्पोनेंट्स (Harmonic Components) शोधतात.

- डिजिटल कंट्रोलर (Digital Controller) सामान्यतः मायक्रोप्रोसेसर (Microprocessor) हार्मोनिक कंटेंट अल्गोरिदम्स (Algorithms) जसे फास्ट फुरिअर ट्रान्सफॉर्म (Fast Fourier Transform) (FFT) वापरून विश्लेषण करतो आणि आवश्यक कंपेन्सेटिंग करंट (Compensating Current) निश्चित करतो.
- कन्वर्टर (Converter) म्हणजे IGBT बेस्ड व्होल्टेज सोर्स इन्वर्टर (IGBT-based Voltage Source Inverter) हार्मोनिक्स (Harmonics) च्या मॅग्निट्यूड (Magnitude) इतकाच पण फेजला उलट (Opposite in Phase) असा कंपेन्सेटिंग करंट (Compensating Current) तयार करतो.
- हे कंपेन्सेटिंग करंट्स कपलिंग ट्रान्सफॉर्मर्स (Coupling Transformers) किंवा रिएक्टर्स (Reactors) मार्फत पॉवर लाईनमध्ये इंजेक्ट केले जातात, ज्यामुळे हार्मोनिक्स प्रभावीपणे कॅन्सल होतात.
- सतत मॉनिटरिंग (Continuous Monitoring) मुळे लोड कंडीशन्समध्ये होणाऱ्या बदलांनुसार डायनॅमिक रिस्पॉन्स (Dynamic Response) आणि ऑटोमॅटिक अँडजस्टमेंट (Automatic Adjustment) सुनिश्चित होते.

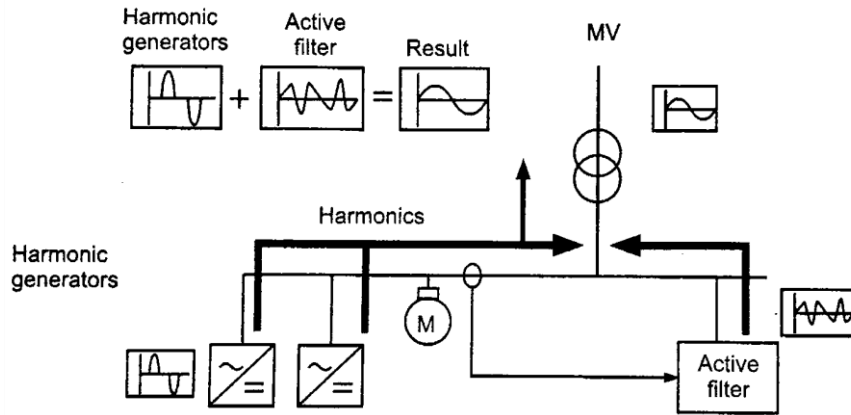


Figure 3.8 Active Harmonic Filter

ऑक्टिव हार्मोनिक फिल्टरचे (AHF)चे फायदे (Advantages of AHF):

- 1) टोटल हार्मोनिक डिस्टॉर्शन (THD – Total Harmonic Distortion) कमी करतो.
- 2) पॉवर फॅक्टर आणि सिस्टीम एफिशन्सी (Power Factor आणि System Efficiency) सुधारतो.
- 3) व्होल्टेज डिस्टॉर्शनमुळे संवेदनशील उपकरणांचे (Sensitive Equipment) संरक्षण करतो.
- 4) व्हेरिएबल लोड्ससाठी डायनॅमिक कॉम्पेन्सेशन (Dynamic Compensation for Variable Loads) प्रदान करतो.
- 5) इलेक्ट्रिकल इक्विपमेंटची रिलायबिलिटी (Reliability) आणि लाइफस्पॅन (Lifespan) वाढवतो.

3.5 लायटिंग सिस्टिम्स मध्ये एनर्जी कन्झर्वेशन (Energy Conservation in Lighting Systems)

लाइटिंगमध्ये एनर्जी कन्झर्वेशन (Energy Conservation in Lighting) म्हणजे कमी पॉवर वापरून योग्य, आवश्यक आणि प्रभावी प्रकाश (Illumination) मिळवणे. हे साधण्यासाठी इफिशंट इक्विपमेंट (Efficient Equipment) निवडणे, योग्य कंट्रोल सिस्टिम्स (Control Systems) वापरणे आणि नियमित मेंटेनन्स (Maintenance) करणे आवश्यक असते.

लायटिंग सिस्टिम्स (Lighting Systems) मध्ये एनर्जी कन्झर्वेशन टेक्निक्स (Energy Conservation Techniques) खालीलप्रमाणे आहेत:

1. रिप्लेसिंग लॅम्प सोर्सेस (Replacing Lamp Sources)
2. एनर्जी इफिशंट ल्यूमिनरीजचा वापर (Using Energy Efficient Luminaries)

3. लाइट कंट्रोल्ड गेअर्सचा वापर (Using Light Controlled Gears)
4. लाइटिंगसाठी सेपरेट ट्रान्सफॉर्मर / सर्वो स्टॅबिलायझरचे इन्स्टॉलेशन (Installation of Separate Transformer / Servo Stabilizer for Lighting)
5. सेन्सर्सचा वापर (Use of Sensors)
6. पिरियॉडिक सर्वे (Periodic Survey)
7. अडिक्वेट मेन्टेनन्स प्रोग्राम्स (Adequate Maintenance Programs)

3.5.1 रिप्लेसिंग लॅम्प सोर्सेस (Replacing Lamp Sources)

- सामान्य लाईटिंग अप्लिकेशन्समध्ये, फिलामेंट लॅम्प्स (Filament Lamps) आणि फ्लुओरोसेंट लॅम्प्स (Fluorescent Lamps/Tube Lights) हे सर्वात कॉमन आहेत. मात्र, फिलामेंट लॅम्प्स (Filament Lamps) हे व्होल्टेज व्हेरिएशन्स (Voltage Variation) साठी खूप सेन्सिटिव्ह (Sensitive) असतात. अगदी कमी व्होल्टेज (Voltage) कमी केल्यास ब्राइटनेस (Brightness) खूप कमी होतो, आणि थोडासा व्होल्टेज (Voltage) वाढवल्यास ब्राइटनेस वाढतो पण लॅम्पची लाईफ स्पॅन (Lamp Life Span) कमी होते.
- फ्लुओरोसेंट लॅम्प्स (Fluorescent Lamps) साठी व्होल्टेज व्हेरिएशन (Voltage Variation) चा इफेक्ट तुलनेने कमी असतो. फिलामेंट लॅम्प्स (Filament Lamps) चा ब्राइटनेस (Luminous Output) वेळेनुसार कमी होत जातो कारण फिलामेंटचे व्हेपोरायझेशन (Vaporization) होते आणि लॅम्पच्या आत ब्लॅक डेपॉझिट्स तयार होतात. फ्लुओरोसेंट लॅम्प्स (Fluorescent Lamps) मध्ये, सप्लाय व्होल्टेज (Supply Voltage) मध्ये $\pm 1\%$ बदल झाला तर लाईट आउटपुटमध्ये फक्त $\pm 1\%$ बदल होतो.
- जास्त व्होल्टेजमुळे इलेक्ट्रोड्स (Electrodes) वर जास्त हीटिंग (Heating) होते, ज्यामुळे इलेक्ट्रॉन-इमिसिव्ह मटेरियल (Electron-Emissive Material) कमी होते, तर कमी व्होल्टेजमुळे करंट (Current) कमी होतो आणि इलेक्ट्रोड वियर वाढतो, दोन्ही परिस्थितींमध्ये लॅम्पची लाईफ (Lamp Life) कमी होते.
- 40-वॉटचा इन्कॅन्डेसन्ट लॅम्प (Incandescent Lamp) साधारण 10 ल्युमेन्स पर वॉट (Lumens per Watt) आउटपुट देतो, तर 40-वॉटचा फ्लुओरोसेंट लॅम्प (Fluorescent Lamps) सुमारे 40–50 Lumens per Watt देतो. त्यामुळे इन्कॅन्डेसन्ट लॅम्प (Incandescent Lamp) बदलून त्याऐवजी योग्य वॉटचे Fluorescent Lamps वापरावे.
- कम्पॅक्ट फ्लुओरोसेंट लॅम्प्स (CFL – Compact Fluorescent Lamps) हे कमी पॉवर वापरून समान इल्युमिनेशन देतात आणि त्यांची लाईफ Incandescent Lamps पेक्षा 10–15 पट जास्त असते. एनर्जी युसेज आणखी कमी करण्यासाठी इलेक्ट्रॉनिक बॅलेस्ट्स (Electronic Ballasts) वापरावेत, कारण पारंपरिक इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक बॅलेस्ट्स (Electromagnetic Ballasts) पेक्षा ते जास्त एफिशिएंट (Efficient) असतात.
- लाईटिंग सिस्टिममध्ये चांगली एनर्जी एफिशियन्सी (Energy Efficiency) मिळवण्यासाठी, पारंपरिक लॅम्प्सच्या जागी मॉडर्न अल्टरनेटिव्ह्स वापरणे आवश्यक आहे. इन्कॅन्डेसन्ट लॅम्प (Incandescent Lamp) ऐवजी कम्पॅक्ट फ्लुओरोसेंट लॅम्प्स (CFL Lamps) लावल्यास समान इल्युमिनेशन (Illumination) कमी पॉवर (Power) मध्ये मिळते.
- पारंपरिक फ्लुओरोसेंट लॅम्प्स (Fluorescent Lamps) ऐवजी एनर्जी-इफिशिएंट फ्लुओरोसेंट लॅम्प्स (Energy-Efficient Fluorescent Lamps) किंवा LED लॅम्प्स वापरल्यास जास्त ल्युमिनस आउटपुट (Luminous Output) मिळतो. आउटडोअर आणि इंडस्ट्रियल लाईटिंग (Industrial Lighting) मध्ये वापरले जाणारे मरकरी वेपर लॅम्प्स (Mercury Vapour Lamps) आणि सोडियम वेपर लॅम्प्स (Sodium Vapour Lamps) यांच्या जागी मेटल हॅलाइड लॅम्प्स (Metal Halide Lamps) वापरल्यास ब्राइटनेस आणि एफिशियन्सी वाढते. हाय प्रेशर मरकरी वेपर (HPMV) लॅम्प्स (High Pressure Mercury Vapour Lamps) च्या जागी हाय

प्रेषार सोडियम वेपर (HPSV) लॅम्प्स (High Pressure Sodium Vapour Lamps) वापरल्यास जास्त लाईफ आणि चांगला लाईट आउटपुट मिळतो.

- त्याचप्रकारे, कंट्रोल पॅनेल्स (Control Panels) किंवा इंडिकेटर सर्किट्स (Indicator circuit) मध्ये वापरले जाणारे फिलामेंट लॅम्प्स (Filament Lamps) हे LED लॅम्प्स ने रिप्लेस केल्यास एनर्जी सेव्ह (Energy Save) होते आणि मेंटेनन्स कॉस्ट (Maintenance Cost) ही कमी होते. अशा रिप्लेसमेंटसमुळे केवळ एनर्जी सेव्ह होत नाही तर इल्युमिनेशन क्वालिटी (Illumination Quality) सुधरते आणि लाईटिंग इक्विपमेंटची ऑपरेशनल लाईफ (Operational Life) ही वाढते.

A) कॉम्पॅक्ट फ्लुओरोसेंट लॅम्प्स (CFL)

- कॉम्पॅक्ट फ्लुओरोसेंट लॅम्प (Compact Fluorescent Lamp – CFL) हा फ्लुओरोसेंट लॅम्प (Fluorescent Lamp) चाच एक प्रकार आहे, परंतु त्याचे डिझाईन कॉम्पॅक्ट स्वरूपात केलेले असते जेणेकरून तो इन्कॅन्डेसंट लॅम्प होल्डर (Incandescent Lamp Holder) मध्ये सहज बसू शकेल.
- हा गॅस डिस्चार्ज (Gas Discharge) या तत्त्वावर कार्य करतो, ज्यामध्ये इलेक्ट्रिक करंट (Electric Current) ट्यूबच्या आत असलेल्या गॅसला आयोनाईझ (Ionize) करतो आणि त्यामुळे प्रकाश निर्माण होतो.

CFL चे कन्स्ट्रक्शन आणि वर्किंग (Construction and Working of CFL)

- कॉम्पॅक्ट फ्लुओरोसेंट लॅम्प (Compact Fluorescent Lamp – CFL) हा एक गॅस-फिल्ड (Gas-Filled) काचेचा ट्यूब असतो ज्याच्या दोन्ही टोकांना दोन इलेक्ट्रोड्स (Electrodes) सील केलेले असतात. ट्यूबमध्ये आर्गॉन गॅस (Argon Gas) आणि मरकरी वेपर (mercury vapor) यांचे लो-प्रेषार मिक्चर (Low-Pressure Mixture) भरलेले असते, आणि त्याच्या आतील पृष्ठभागावर ट्रायफॉस्फर मटेरियल (Triphosphor Material) ची कोटिंग (Coating) केलेली असते. जेव्हा व्होल्टेज अप्लाईड (Voltage Applied) केला जातो, तेव्हा इलेक्ट्रोड्स (Electrodes) दरम्यान एक इलेक्ट्रिक आर्क (Electric Arc) तयार होतो. या आर्क (arc) मुळे इलेक्ट्रॉन्स (Electrons) हे मरकरी ऍटम्स (Mercury Atoms) ला कोलाइड (Collide) करतात. या कोलिजनस (Collisions) मुळे अल्ट्राव्हायलेट (UV) रेडिएशन (Ultraviolet (UV) Radiation) तयार होते, आणि हे (UV) रेडिएशन (UV radiation) ट्यूबवरील फॉस्फर कोटिंग (Phosphor Coating) वर पडल्यावर व्हिजिबल लाईट (Visible Light) तयार होते.
- या ट्यूबसोबत सीरिज (Series) मध्ये एक बॅलेस्ट सर्किट (Ballast Circuit) जोडलेला असतो जो लॅम्प (lamp) ला सुरुवातीला लागणारा हाय स्टार्टिंग व्होल्टेज (High Starting Voltage) पुरवतो आणि लॅम्प्स (lamp) चालू झाल्यावर करंट (Current) ला लिमिट (Limit) करतो..

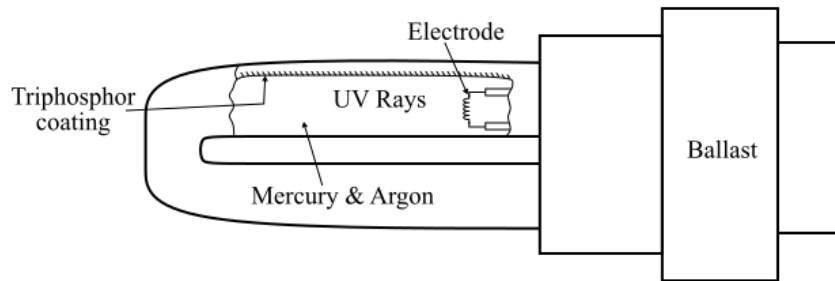


Figure 3.9 Compact Fluorescent Lamp

CFL चे अँडव्हान्टेजेस (Advantages of CFL)

- एक CFL मध्ये गॅस-फिल्ड (gas-filled) ग्लास ट्यूब असते, ज्याच्या दोन्ही टोकांना इलेक्ट्रोड्स (electrodes) सील केलेले असतात.

- ट्यूबमध्ये आर्गॉन गॅस (argon gas) आणि मरकरी व्हेपर (mercury vapor) यांचे लो-प्रेसर मिक्चर (low-pressure mixture) भरलेले असते आणि आतील पृष्ठभागावर ट्राय-फॉस्फर मटेरियल (triphosphor material) चे कोटिंग (coating) केलेले असते.
- जेव्हा व्होल्टेज अप्लाइड (voltage applied) केले जाते, तेव्हा इलेक्ट्रिक आर्क (electric arc) इलेक्ट्रोड्स (electrodes) दरम्यान तयार होतो.
- या आर्कमुळे इलेक्ट्रॉन्स (electrons) मरकरी अॅटम्स (mercury atoms) ला कॉलाइड (collide) होतात. या कॉलिजन्स (collisions) मुळे अल्ट्राव्हायलेट UV रेडिएशन (ultraviolet (UV) radiation) तयार होते.
- हे UV रेडिएशन फॉस्फर कोटिंग (phosphor coating) वर पडल्यावर व्हिजिबल लाइट (visible light) निर्माण होते.
- ट्यूबच्या सीरिज (series) मध्ये बॅलास्ट सर्किट (ballast circuit) जोडलेले असते, जे हाय स्टार्टिंग व्होल्टेज (high starting voltage) पुरवते आणि नंतर करंट (current) ला लिमिट (limit) करते.

B) मेटल हॅलाइड लॅम्प्स (Metal Halide Lamps)

- मेटल हॅलाइड लॅम्प (Metal Halide Lamp) ज्याला मरकरी हॅलाइड लॅम्प (Mercury Halide Lamp) असेही म्हणतात, हा एक हाय-इंटेंसिटी डिस्चार्ज (HID – High-Intensity Discharge) प्रकारातील लॅम्प आहे.
- या लॅम्पमध्ये इलेक्ट्रिक आर्क (Electric Arc) एका गॅसियस मिक्चर (Gaseous Mixture) मध्ये तयार होतो, ज्यामध्ये वॅपराइज्ड मरकरी (Vaporized Mercury) आणि मेटल हॅलाइड्स (Metal Halides) यांचे मिश्रण असते.
- हा लॅम्प प्रामुख्याने इंडस्ट्रियल (Industrial), कॉमर्शियल (Commercial) आणि आउटडोअर लायटिंग (Outdoor Lighting) अनुप्रयोगांसाठी मोठ्या प्रमाणावर वापरला जातो.

मेटल हॅलाइड लॅम्प चे कन्स्ट्रक्शन (Construction of Metal Halide Lamp)

- मेटल हॅलाइड लॅम्पचे (Metal Halide Lamp) कन्स्ट्रक्शन खाली दिलेल्या Figure 3.10 मध्ये दाखवले आहे.

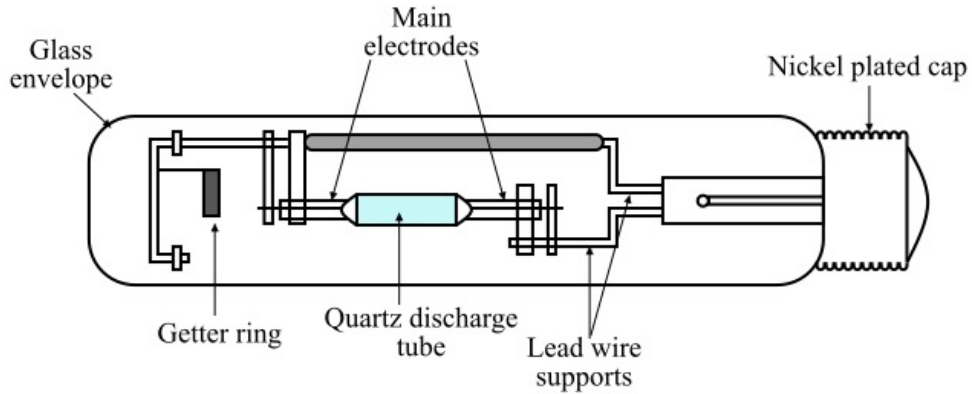


Figure 3.10 Metal Halide Lamp

- मेटल हॅलाइड लॅम्प (Metal Halide Lamp) मध्ये एका टोकाला निकेल-प्लेटेड कॅप (Nickel-Plated Cap) असते आणि संपूर्ण अंतर्गत भाग झाकणारा ग्लास एन्वेलोप (Glass Envelope) असतो.
- या ग्लास एन्वेलोप (Glass Envelope) च्या आत क्वार्ट्झ डिस्चार्ज ट्यूब (Quartz Discharge Tube) असते, ज्यामध्ये आर्गॉन गॅस (Argon Gas), मर्क्युरी वेपर (Mercury Vapor) आणि मेटल हॅलाइड्स (Metal Halides) हे हाय-प्रेसर (High Pressure) खाली भरलेले असतात.
- डिस्चार्ज ट्यूबच्या दोन्ही टोकांना मेन्स इलेक्ट्रोड्स (Main Electrodes) बसवलेले असतात आणि त्यांना लीड वायर्स (Lead Wires) चा आधार दिलेला असतो.

- ट्यूबमधील उरलेल्या गॅसेस शोषून घेण्यासाठी एक गेटर रिंग (Getter Ring) बसवलेली असते, ज्यामुळे लॅम्पमधील व्हॅक्यूम (Vacuum) कायम राखले जाते.

मेटल हॅलाइड लॅम्पचे वर्किंग (Working of Metal Halide Lamp)

- जेव्हा व्होल्टेज (voltage) इलेक्ट्रोड्स (electrodes) वर अप्लाय केलं जातं, तेव्हा लॅम्पच्या आतला आर्गॉन गॅस (argon gas) आयोनाईज (ionize) होतो आणि इलेक्ट्रिक आर्क (electric arc) सुरू होतो. या आर्कमुळे हीट (heat) निर्माण होते, ज्यामुळे मर्क्युरी (mercury) आणि मेटल हॅलाइड्स (metal halides) व्हेपराईज (vaporize) होतात. टेम्परेचर (temperature) आणि प्रेशर (pressure) वाढल्यावर हे व्हेपराईज्ड एलिमेंट्स ब्राइट लाइट (bright light) एमिट (emit) करतात. एमिटेड लाइटचा कलर (color) आणि क्वालिटी (quality) हे मेटल हॅलाइडच्या कंपोजिशनवर (composition) अवलंबून असते.
- काही लॅम्पमध्ये ग्लास एन्वेलॉपच्या (glass envelope) आतील बाजूस फॉस्फर कोटिंग (phosphor coating) असतं, ज्यामुळे कलर रेंडरिंग (color rendering) सुधारतं आणि लाईट डिफ्युज (diffuse) होतो. साधारणपणे मेटल हॅलाइड लॅम्पसना फुल ब्राइटनेस (full brightness) मिळण्यासाठी 3 ते 5 मिनिटे लागतात. करंट (current) रेग्युलेट (regulate) करण्यासाठी आणि ऑपरेशन स्टेबल (stable operation) ठेवण्यासाठी बॅलास्ट (ballast) आवश्यक असतो.

मेटल हॅलाइड लॅम्पचे अँडव्हान्टेजेस (Advantages of Metal Halide Lamps)

- उच्च ल्युमिनस एफिशन्सी (High Luminous Efficiency) साधारण 60 ते 115 ल्युमेन्स पर वॅट (Lumens per Watt) इतकी मिळते.
- साधारण 10,000 ते 20,000 अवर्स (Hours) इतका लॉंग ऑपरेशनल लाईफ (Long Operational Life) असतो.
- मोठ्या ओपन स्पेसेससाठी ब्राइट व्हाईट लाईट (Bright White Light) प्रदान करतात.
- मर्क्युरी वेपर लॅम्प (Mercury Vapour Lamps) च्या तुलनेत गुड कलर रेंडरिंग (Good Color Rendering) देतात.

C) हाय प्रेशर सोडियम वेपर लॅम्पचे (High Pressure Sodium Vapour Lamp) (HPSV Lamp)

- हाय प्रेशर सोडियम वेपर (High Pressure Sodium Vapour – HPSV) लॅम्प हा एक प्रकारचा गॅस-डिस्चार्ज (gas-discharge) लॅम्प आहे जो हाय प्रेशर (high pressure) खाली असलेल्या सोडियम व्हेपोर (sodium vapor) ला एक्साईट (excite) करून प्रकाश निर्माण करतो.
- या लॅम्पची हाय ल्युमिनस एफिशन्सी (high luminous efficiency), लॉंग ऑपरेटिंग लाईफ (long operating life) आणि रिलायबिलिटी (reliability) खूप चांगली असल्यामुळे तो इंडस्ट्रियल लाईटिंग (industrial lighting), स्ट्रीट लाईटिंग (street lighting) आणि आउटडोअर सेक्युरिटी एरियाज (outdoor security areas) जसे की पार्किंग लॉट्स (parking lots) आणि हायवेज (highways) यासाठी मोठ्या प्रमाणावर वापरला जातो.

हाय प्रेशर सोडियम वेपर लॅम्पचे कन्स्ट्रक्शन (Construction of HPSV Lamp)

- हाय प्रेशर सोडियम वेपर लॅम्प (High Pressure Sodium Vapour Lamp) चे कन्स्ट्रक्शन वरील फिगरमध्ये दाखवले आहे. लॅम्पमध्ये सिरॅमिक आर्क ट्यूब (ceramic arc tube) असते जी पॉलिक्रिस्टलाइन अल्युमिना (polycrystalline alumina - PCA) पासून बनलेली असते. हे मटेरियल खूप जास्त टेम्परेचर (temperature) आणि प्रेशर (pressure) सहन करू शकते. या आर्क ट्यूबच्या आत झेनॉन गॅस (xenon gas), सोडियम-मर्क्युरी अमॅलगम (sodium-mercury amalgam) आणि दोन्ही टोकांवर टंगस्टन इलेक्ट्रोड्स (tungsten electrodes) असतात.

- ही आर्क ट्यूब एका आऊटर ग्लास बल्ब (outer glass bulb) मध्ये एनक्लोज असते, जो हीट-रेसिस्टंट (heat-resistant) आणि व्हॅक्यूम-सील्ड (vacuum-sealed) असतो, जेणेकरून योग्य ऑपरेटिंग कंडिशनस मिळतील. यामध्ये गेटर रिंग (getter ring), फ्रेम (frame), स्टेम (stem) आणि बेस (base) सारख्या कॉम्पोनंट्सचा समावेश असतो, जे लॅम्पला मेकॅनिकल सपोर्ट (mechanical support) आणि इलेक्ट्रिकल कनेक्टिव्हिटी (electrical connectivity) देतात.

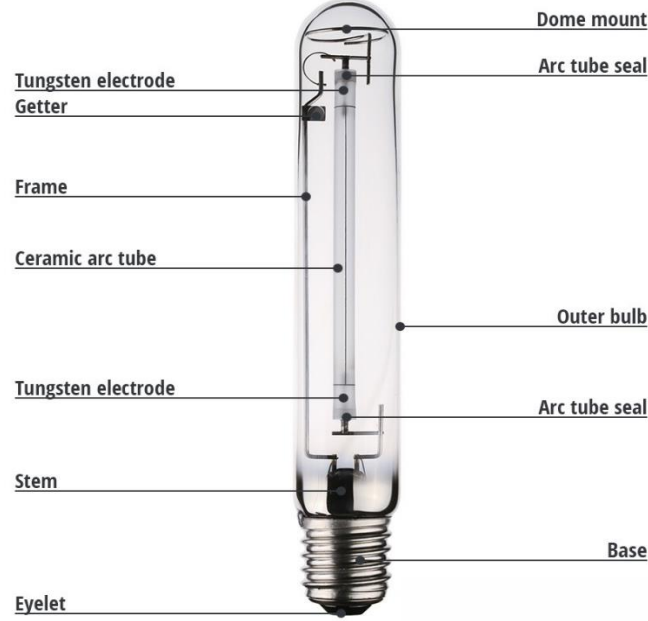


Figure 3.11 High Pressure Sodium Vapour Lamp

हाय प्रेशर सोडियम वेपर लॅम्पचे वर्किंग (Working of HPSV Lamp)

- जेव्हा लॅम्प स्विच ऑन केला जातो, तेव्हा बॅलास्ट (ballast) आणि इग्नायटर सर्किट (igniter circuit) कडून हाय-वोल्टेज पल्स (high-voltage pulse) इलेक्ट्रोड्समध्ये लागू केला जातो. हा पल्स झेनॉन गॅस (xenon gas) ला आयोनाईज (Ionize) करतो आणि इनीशियल इलेक्ट्रिक आर्क (initial electric arc) तयार करतो.
- तापमान वाढल्यावर, मरकरी (mercury) आणि सोडियम अमलगम (sodium amalgam) वाष्परूप (vaporize) होतात आणि प्रकाश निर्माण करतात.
- मरकरी वेपर (mercury vapor) ब्ल्यूइश-व्हाईट लाईट (bluish-white light) उत्सर्जित करतो, तर सोडियम वेपर (sodium vapor) यलोइश लाईट (yellowish light) उत्सर्जित करतो.
- या दोन्ही रेडिएशन्सच्या मिश्रणामुळे गोल्डन-व्हाईट इल्युमिनेशन (golden-white illumination) तयार होते, ज्याचा कलर टेम्परेचर (color temperature) अंदाजे 2000 K असतो आणि कलर रेंडरिंग इंडेक्स – CRI (Color Rendering Index – CRI) साधारण 25 असतो.

HPSV लॅम्पचे अँडव्हान्टेजेस (Advantages of HPSV Lamps)

- हाय ल्युमिनस एफिशन्सी (High Luminous Efficiency) 140 ल्युमेन्स पर वॉट (Lumens per Watt) पर्यंत.
- लॉंग ऑपरेशनल लाईफ (Long Operational Life) 12,000 ते 24,000 तास.
- बाहेरील आणि इंडस्ट्रियल (Industrial) लायटिंगसाठी अत्यंत योग्य.
- चांगली ल्युमेन मेटेनन्स (Lumen Maintenance) दीर्घकाळ टिकते.
- फ्लक्च्युएटिंग व्होल्टेज (Fluctuating Voltage) असतानाही स्थिरतेने कार्य करते.

D) लाईट एमिटिंग डायोड लॅम्प (LED Lamp)

- लाईट एमिटिंग डायोड (Light Emitting Diode – LED) हा एक ऑप्टोइलेक्ट्रॉनिक डिवाइस (optoelectronic device) आहे जो त्यातून इलेक्ट्रिक करंट (electric current) पास झाल्यावर प्रकाश उत्सर्जित करतो. LED चे कार्य इलेक्ट्रोल्याुमिनेसन्स (electroluminescence) या सिद्धांतावर आधारित असते, ज्यामध्ये इलेक्ट्रिक फील्ड (electric field) आणि योग्य सेमिकंडक्टर मटेरियल (semiconductor material) यांच्या परस्पर क्रियेमुळे प्रकाश तयार होतो.
- फॉरवर्ड-बायस्ड पी-एन जंक्शनमध्ये (forward-biased p-n junction), इलेक्ट्रॉन्स (electrons) आणि होल्स (holes) यांच्या रेकॉम्बिनेशन (recombination) दरम्यान उत्सर्जित झालेल्या एनर्जी (Energy)चा काही भाग हीट (heat) न बनता व्हिजिबल लाइट (visible light) मध्ये रूपांतरित होतो. म्हणूनच LEDsना अनेकदा सेमिकंडक्टर लॅम्प्स (semiconductor lamps) असेही म्हणतात.

LED लॅम्प चे कन्स्ट्रक्शन (Construction of LED Lamp)

- A Light Emitting Diode (LED) हे एक ऑप्टोइलेक्ट्रॉनिक (Optoelectronic) डिवाइस (Device) आहे जेव्हा इलेक्ट्रिक करंट (Electric Current) त्यामधून जातो तेव्हा प्रकाश (Light) उत्सर्जित (Emits) करते. LED चे वर्किंग प्रिन्सिपल (Working Principle) इलेक्ट्रोल्याुमिनेसन्स (Electroluminescence) वर आधारित आहे, जे प्रकाश उत्सर्जन (Emission of Light) दर्शवते जे इलेक्ट्रिक फील्ड (Electric Field) आणि योग्य सेमिकंडक्टर मटेरियल (Semiconductor Material) यांच्यातील इंटरॅक्शन (Interaction) मुळे होते.
- फॉरवर्ड-बायस्ड (Forward-Biased) p-n जंक्शन (Junction) मध्ये, चार्ज कॅरियर्स (Charge Carriers – इलेक्ट्रॉन्स (Electrons) आणि होल्स (Holes)) च्या रेकॉम्बिनेशन (Recombination) दरम्यान उत्सर्जित एनर्जी (Energy) चा काही भाग उष्णतेऐवजी (Instead of Heat) दृश्यमान प्रकाशात (Visible Light) रूपांतरित (Converted) होतो. म्हणून, LEDs ला सहसा सेमिकंडक्टर लॅम्प्स (Semiconductor Lamps) असेही म्हणतात.
- LED ची बेसिक स्ट्रक्चर (Basic Structure) वरच्या आकृतीत (Figure) दाखवलेली आहे. यात मुख्यतः p-type आणि n-type सेमिकंडक्टर लेयर (Semiconductor Layer) असतात.
- p-type लेयर अॅनोड (Anode) शी कनेक्ट (Connected) असतो, तर n-type लेयर कॅथोड (Cathode) शी मेटालिक कॉन्टॅक्ट (Metallic Contact) द्वारे कनेक्ट असतो.
- p-type रीजन (Region) वर मेटालिक फिल्म (Metallic Film) डिपॉझिट (Deposited) करून अॅनोड कनेक्शन तयार केले जाते, तर n-type लेयर वर गोल्ड फिल्म (Gold Film) तयार केली जाते जे कॅथोड कनेक्शनसाठी (Cathode Connection) आणि उत्सर्जित प्रकाश (Emitted Light) वरच्या दिशेने रिफ्लेक्ट (Reflect) करण्यासाठी कार्य करते, ज्यामुळे एफिशियन्सी (Efficiency) सुधारते.
- LED चिप (Chip) रिफ्लेक्टिव्ह कॅव्हिटी (Reflective Cavity) मध्ये माउंट (Mounted) केलेली असते आणि ट्रान्सपेरंट एपॉक्सी लेन्स (Transparent Epoxy Lens) ने एनकॅप्सुलेट (Encapsulated) केली जाते जे संरक्षण (Protection) आणि प्रकाश केंद्रित (Light Focusing) करण्यास मदत करते.
- LEDs मध्ये सामान्यपणे वापरल्या जाणाऱ्या सेमिकंडक्टर मटेरियल्स (Semiconductor Materials) मध्ये समाविष्ट आहेत:
 - गॅलियम फॉस्फाइड (Gallium Phosphide) (GaP): हिरवा (Green) किंवा लाल (Red) प्रकाश उत्सर्जित करते.
 - गॅलियम आर्सेनाइड फॉस्फाइड (Gallium Arsenide Phosphide) (GaAsP): पिवळा (Yellow) किंवा लाल (Red) प्रकाश उत्सर्जित करते.

- गॅलियम नायट्राइड (Gallium Nitride) (GaN): पांढरा (White) किंवा निळा (Blue) प्रकाश उत्सर्जित करते.

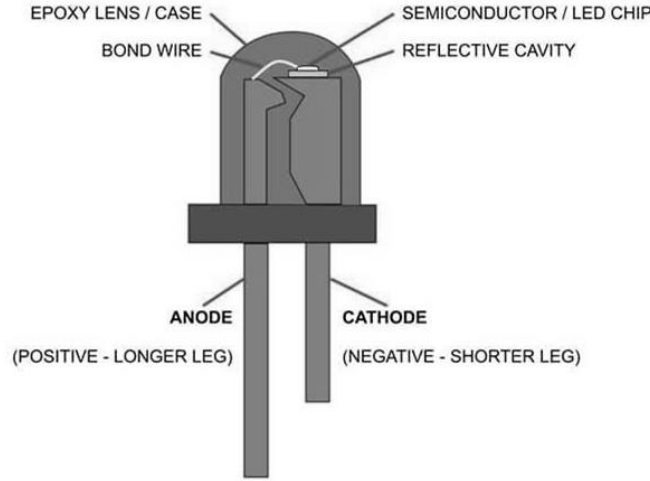


Figure 3.12 LED Lamp

LED लॅम्पचे वर्किंग प्रिन्सिपल (Working Principle of LED Lamp)

- जेव्हा LED वर DC व्होल्टेज (DC Voltage) फॉरवर्ड बायस (Forward Bias) स्थितीत लागू केले जाते, तेव्हा इलेक्ट्रॉन्स (Electrons) n-टाईप लेयर (n-type Region) कडून p-टाईप लेयर (p-type Region) कडे सरकतात, तर होल्स (Holes) उलट दिशेने हलतात. p-n जंक्शन (p-n Junction) वर, इलेक्ट्रॉन्स (Electrons) आणि होल्स (Holes) पुनःएकत्र होतात.
- या पुनःएकत्रीकरण प्रक्रियेदरम्यान, एनर्जी (Energy) फोटॉन्स (Photons/Light) च्या स्वरूपात उत्सर्जित होते. उत्सर्जित प्रकाशाचा वेव्हलेंथ (Wavelength) आणि रंग (Color) वापरलेल्या सेमीकंडक्टर मटेरियलच्या (Semiconductor Material) एनर्जी बँड गॅप (Energy Band Gap) वर अवलंबून असतो.
- जर सेमीकंडक्टर (Semiconductor) ट्रान्सपॅरेंट (Transparent) असेल, तर उत्सर्जित प्रकाश मटेरियलमधून पार करून LED बाहेर पडतो, ज्यामुळे व्हिजिबल इल्युमिनेशन (Visible Illumination) तयार होतो.

LED लॅम्पचे फायदे (Advantages of LED Lamps)

- हाय एनर्जी एफिशन्सी (High Energy Efficiency) सोबत कमी पॉवर कंझमप्शन (Low Power Consumption).
- अत्यंत लाँग लाइफस्पॅन (Extremely Long Lifespan), 100,000 अवर्स (Up to 100,000 Hours) पर्यंत टिकणारी.
- कॉम्पॅक्ट आणि लाईटवेट डिझाईन (Compact and Lightweight Design).
- इंस्टंट स्टार्ट-अप (Instant Start-Up) आणि ब्राइटनेसचे सोपे कंट्रोल (Easy Control of Brightness).
- रिमोट ऑपरेशन (Remote Operation) आणि डिमिंग पॉसिबल (Dimming Possible).
- उत्कृष्ट कलर रेंडरिंग (Excellent Color Rendering) आणि विविध रंगांमध्ये उपलब्धता (Availability in Various Colors).
- पर्यावरण-मैत्रीपूर्ण (Environment-Friendly), कारण त्यात मर्क्युरी (Mercury) किंवा टॉक्सिक मटेरियल्स (Toxic Materials) नाहीत.
- मेकॅनिकल्ली रोबस्ट (Mechanically Robust) आणि शॉक्स (Shocks) व वायब्रेशन्स (Vibrations) सह टिकणारी.
- लो ऑपरेटिंग टेम्परेचर (Low Operating Temperature) आणि मिनिमल हीट जेनरेशन (Minimal Heat Generation).

3.5.2 एनर्जी इफिशंट ल्यूमिनरीजचा वापर (Using Energy Efficient Luminaries)

- ल्यूमिनरीज (Luminaries) हा एक संपूर्ण लाईटिंग युनिट (Complete Lighting Unit) आहे ज्यात लॅम्प (Lamp), हाऊसिंग (Housing), रिफ्लेक्टर (Reflector), रिफ्रॅक्टर (Refractor), आणि लाईट डिस्ट्रिब्युशन (Light Distribution) व ऑपरेशन (Operation) साठी आवश्यक कंट्रोल गियर (Control Gear) समाविष्ट आहे. एनर्जी-इफिशंट ल्यूमिनरीज (Energy-Efficient Luminaries) निवडल्याने, संपूर्ण लाईटिंग सिस्टीम (Lighting System) कमीतकमी एनर्जी कंझम्पशन (Energy Consumption) मध्ये जास्तीत जास्त इल्यूमिनेशन (Maximum Possible Illumination) पुरवण्यासाठी डिझाइन केली जाते. हे ल्यूमिनरीज (Luminaries) सुनिश्चित करतात की लाईट सोर्स (Light Source) आणि ऑप्टिकल सिस्टीम (Optical System) परफॉर्मन्स (Performance), एफिशन्सी (Efficiency), आणि व्हिज्युअल कम्फर्ट (Visual Comfort) साठी ऑप्टिमाइज्ड (Optimized) असतील.
- हाय-एफिशन्सी ल्यूमिनरीज (High-Efficiency Luminaries) एनर्जी कंझम्पशन (Energy Consumption) कमी करताना आवश्यक इल्यूमिनेशन लेव्हल (Required Level of Illumination) राखण्यात महत्वाची भूमिका बजावतात. हे ल्यूमिनरीज (Luminaries) प्रत्येक युनिट (Unit) इलेक्ट्रिकल पॉवर (Electrical Power) वापरल्यावर अधिक उपयोगी लाईट आउटपुट (Useful Light Output – Lumens) मिळवण्यासाठी डिझाइन केलेले आहेत.
- एनर्जी-इफिशंट लॅम्प्स (Energy-Efficient Lamps) जसे की एलईडी (LEDs) किंवा सीएफएल (CFLs) वापरून, अडव्हान्स्ड ऑप्टिकल डिझाईन्स (Advanced Optical Designs) आणि इलेक्ट्रॉनिक कंट्रोल गियर (Electronic Control Gear) सोबत, हाय-एफिशन्सी ल्यूमिनरीज (High-Efficiency Luminaries) हीट (Heat) आणि अनवांटेड लाईट डिस्पर्शन (Unwanted Light Dispersion) स्वरूपातील एनर्जी लॉसेस (Energy Losses) कमी करतात. परिणामी, त्याच ब्राइटनेस लेव्हल (Brightness Level) साधण्यासाठी कमी इलेक्ट्रिकल पॉवर (Electrical Power) लागते, ज्यामुळे महत्वाचे एनर्जी सेव्हिंग्स (Energy Savings) मिळतात.
- शिवाय, कमी हीट जेनरेशन (Reduced Heat Generation) एअर-कंडिशनिंग सिस्टीम्स (Air-Conditioning Systems) वर कूलिंग लोड (Cooling Load) कमी करते, ज्यामुळे आणखी एनर्जी कंझर्वेशन (Energy Conservation) होते. ऑफिस (Offices), फॅक्टरीज (Factories), आणि स्ट्रीट लाईटिंग सिस्टीम्स (Street Lighting Systems) सारख्या मोठ्या इंस्टॉलेशन्स (Large Installations) मध्ये हाय-एफिशन्सी ल्यूमिनरीज (High-Efficiency Luminaries) वापरल्याचा संपूर्ण परिणाम (Cumulative Effect) संपूर्ण पॉवर कंझम्पशन (Overall Power Consumption) आणि ऑपरेशनल कॉस्ट्स (Operational Costs) मध्ये लक्षणीय कपात (Substantial Reductions) करतो.

एनर्जी इफिशंट ल्यूमिनरीजचे फायदे (Advantages of Energy-Efficient Luminaries)

- एफिशंट लुमिनेरिस (Efficient Luminaries) असे डिझाइन केलेले असतात की लाईट (Light) नेमकी जिथे आवश्यक आहे तिथे पोहोचेल, ज्यामुळे ग्लेअर (Glare) कमी होतो आणि अनवांटेड एरियाज (Unwanted Areas) वर लाईट वेस्टेज (Wastage of Light) कमी होते.
- हाय-क्वालिटी रिफ्लेक्टिव्ह (High-Quality Reflective) आणि रिफ्रॅक्टिव्ह मटेरियल्स (Refractive Materials) वापरले जातात ज्यामुळे लाईट आउटपुट (Light Output) आणि युनिफॉर्मिटी (Uniformity) वाढते, आणि संपूर्ण इल्यूमिनेशन क्वालिटी (Overall Illumination Quality) सुधारते.
- मॉडर्न लुमिनेरिस (Modern Luminaries) मध्ये हाय-एफिशन्सी इलेक्ट्रॉनिक बॅलस्ट्स (High-Efficiency Electronic Ballasts), एलईडी ड्रायव्हर्स (LED Drivers), आणि स्मार्ट कंट्रोल्स (Smart Controls)

असतात, जे पॉवर युसेज (Power Usage) लक्षणीयरीत्या कमी करतात आणि सिस्टीम रिलायबिलिटी (System Reliability) सुधारतात.

- एनर्जी-एफिशंट डिझाईन्स (Energy-Efficient Designs) अनेकदा कमी हीट (Less Heat) निर्माण करतात, ज्यामुळे कॉम्पोनेंट्स (Components) वर वियर (Wear) कमी होते आणि मेंटेनन्स फ्रिक्वेन्सी (Maintenance Frequency) व कॉस्ट्स (Costs) कमी होतात.
- हे लुमिनेरिस (Luminaries) संतुलित ब्राइटनेस (Balanced Brightness) आणि युनिफॉर्म इल्युमिनेशन (Uniform Illumination) पुरवतात, ज्यामुळे इंडस्ट्रियल (Industrial), कॉमर्शियल (Commercial), आणि रेसिडेन्शियल (Residential) ॲप्लिकेशन्ससाठी आरामदायक लाईटिंग एन्व्हायरनमेंट्स (Comfortable Lighting Environments) तयार होतात.

3.5.3 लाईट कंट्रोल्ड गेअर्सचा वापर (Using Light Controlled Gears)

- लाईट-कंट्रोल्ड गियर्स (Light-Controlled Gears) हे इंटेलिजंट डिवाइसेस (Intelligent Devices) आहेत जे सभोवतालच्या इल्युमिनेशन लेव्हल्स (Illumination Levels) किंवा ऑक्युपन्सी (Occupancy) नुसार ऑटोमॅटिकली (Automatically) लाईटिंग (Lighting) नियंत्रित करतात. अनेक आऊटडोअर लाईटिंग सिस्टीम्स (Outdoor Lighting Systems) मध्ये, लाईट्स (Lights) फिक्स्ड टाइम्स (Fixed Times) वर स्विच ऑन आणि ऑफ होतात, खऱ्या गरजेपेक्षा जास्त एनर्जी कंजम्प्शन (Energy Consumption) होते. ही समस्या लाईट सेन्सर्स (Light Sensors) किंवा फोटोइलेक्ट्रिक कंट्रोल्स (Photoelectric Controls) वापरून ओलांडली जाऊ शकते, जे ऑटोमॅटिकली लाईट्स ऑन करतात जेव्हा इल्युमिनेशन (Illumination) सेट लेव्हल (Set Level) पेक्षा कमी होते आणि ऑफ करतात जेव्हा नैसर्गिक लाईट (Natural Light) पुरेशी असते.
- शिवाय, मायक्रोप्रोसेसर-आधारित (Microprocessor-Based) किंवा इन्फ्रारेड-कंट्रोल्ड (Infrared-Controlled) डिमिंग सिस्टीम्स (Dimming Systems) लाईट इंटेंसिटी (Light Intensity) गरजेनुसार अँडजस्ट (Adjust) करू शकतात. मोशन डिटेक्टर (Motion Detectors) आणि ऑक्युपन्सी सेन्सर्स (Occupancy Sensors) एफिशन्सी (Efficiency) वाढवतात कारण लाईट्स फक्त तेव्हा ॲक्टिव्ह (Active) होतात जेव्हा मूव्हमेंट (Movement) डिटेक्ट (Detect) होते. डे-लाईट (Daylight) आणि इलेक्ट्रिक लाईटिंग (Electric Lighting) इंटिग्रेशन (Integration) केल्यास ऑप्टिमम एनर्जी युटिलायझेशन (Optimum Energy Utilization) सुनिश्चित होते.
- कॉन्व्हेन्शनल (Conventional) बॅलस्ट्स (Ballasts) च्या ऐवजी हाय-फ्रीक्वेन्सी इलेक्ट्रॉनिक बॅलस्ट्स (High-Frequency Electronic Ballasts) इन्स्टॉल (Install) केल्यास एनर्जी (Energy) मध्ये 35% पर्यंत बचत (Save) करता येते आणि पॉवर फॅक्टर (Power Factor) सुधारतो. समर्पित लाईटिंग ट्रान्सफॉर्मर (Dedicated Lighting Transformer) वापरल्यास व्होल्टेज फ्लक्चुएशन्स (Voltage Fluctuations) कमी होतात, ज्यामुळे लॅम्प परफॉर्मन्स (Lamp Performance) आणि लॉन्गेव्हिटी (Longevity) सुधारते.

3.5.4 लाईटिंगसाठी सेपरेट ट्रान्सफॉर्मर / सर्वो स्टॅबिलायझरचे इन्स्टॉलेशन (Installation of Separate Transformer / Servo Stabilizer for Lighting)

- लाईटिंग सिस्टीम्स (Lighting Systems) ची परफॉर्मन्स (Performance) आणि एफिशियन्सी (Efficiency) सप्लाय व्होल्टेज (Supply Voltage) वर खूप अवलंबून असते. प्रत्येक लॅम्प (Lamp) ठरलेल्या रेटेड व्होल्टेज (Rated Voltage) वर ऑपरेट (Operate) करण्यासाठी डिझाईन (Design) केलेला असतो, ज्यावर तो जास्तीत जास्त ल्यूमिनस आउटपुट (Luminous Output) देतो आणि ऑप्टिमल एफिशियन्सी (Optimal

Efficiency) सह काम करतो. या रेटेड व्होल्टेज (Rated Voltage) पासून लहान फरक देखील त्याच्या परफॉर्मन्सवर (Performance) मोठा परिणाम करू शकतो.

- जर लॅम्प (Lamp) ला लागू केलेला व्होल्टेज (Voltage) रेटेड व्हॅल्यू (Rated Value) पेक्षा कमी झाला, तर ल्यूमिनस आउटपुट (Luminous Output) लक्षणीयरीत्या कमी होतो, ज्यामुळे खराब इल्यूमिनेशन (Illumination) आणि कमी व्हिजिबिलिटी (Visibility) होते. उलट, जेव्हा व्होल्टेज (Voltage) रेटेड लेव्हल (Rated Level) पेक्षा जास्त होते, लॅम्प (Lamp) जास्त लाइट (Light) उत्सर्जित करतो, पण जास्त करंट (Current) वापरतो, अतिरिक्त हीट (Heat) निर्माण होतो आणि लाइफस्पॅन (Lifespan) कमी होते. म्हणून, सतत स्थिर व्होल्टेज (Constant Voltage) सप्लाय (Supply) ठेवणे महत्वाचे आहे, ज्यामुळे स्टेडी (Steady) आणि एफिशियंट (Efficient) लाइटिंग परफॉर्मन्स (Lighting Performance) मिळते.
- जास्तीत जास्त इलेक्ट्रिकल सिस्टीम्स (Electrical Systems) मध्ये, लाइटिंग लोड्स (Lighting Loads) त्याच ट्रान्सफॉर्मर (Transformer) द्वारे सप्लाय (Supply) केले जातात, जो इतर पॉवर इक्विपमेंट्स (Power Equipment) जसे की मोटर्स (Motors), कंप्रेसर्स (Compressors), आणि एअर-कंडिशनिंग युनिट्स (Air-Conditioning Units) ला देखील फीड (Feed) करतो. हे हेवी लोड्स (Heavy Loads) सतत व्होल्टेज फ्लक्चुएशन्स (Voltage Fluctuations) निर्माण करतात. मोठ्या मोटर्स (Motors) सुरू झाल्यावर अचानक ड्रॉप्स (Drops) आणि ऑफ केल्यावर व्होल्टेज सर्जेस (Voltage Surges). अशा व्हेरिएशन्स (Variations) थेट लॅम्प्स (Lamps) च्या ब्राइटनेस (Brightness) आणि लाइफ (Life) वर परिणाम करतात.
- या समस्येवर मात करण्यासाठी, लोड सेंटर (Load Center) जवळ लाइटिंग सर्किट्स (Lighting Circuits) साठी स्वतंत्र ट्रान्सफॉर्मर (Separate Transformer) बसवता येतो. हे अरेंजमेंट (Arrangement) लॉंग डिस्ट्रिब्युशन लाईन्स (Long Distribution Lines) मधील व्होल्टेज ड्रॉप (Voltage Drop) चे परिणाम कमी करते आणि इतर लोड्स (Other Loads) मुळे होणाऱ्या डिस्टर्बन्स (Disturbances) पासून लाइटिंग सर्किट्स (Lighting Circuits) ला वेगळे करतो. परिणामी, लाइटिंग टर्मिनल्स (Lighting Terminals) वरील व्होल्टेज (Voltage) स्थिर राहतो, ज्यामुळे ल्यूमिनस एफिशियन्सी (Luminous Efficiency) आणि लाइटिंग सिस्टीम्स (Lighting Systems) ची रिलायबिलिटी (Reliability) वाढते.
- याव्यतिरिक्त, सतत स्थिर व्होल्टेज रेग्युलेशन (Constant Voltage Regulation) सुनिश्चित करण्यासाठी, लाइटिंग इंस्टॉलेशन्स (Lighting Installations) मध्ये सर्व्हो स्टॅबिलायझर्स (Servo Stabilizers) जोडले जातात. सर्व्हो स्टॅबिलायझर (Servo Stabilizer) आउटपुट व्होल्टेज (Output Voltage) सतत मॉनिटर (Monitor) करतो आणि इलेक्ट्रॉनिक कंट्रोल मेकॅनिझम (Electronic Control Mechanism) आणि व्हेरियेबल ऑटो-ट्रान्सफॉर्मर (Variable Auto-Transformer) द्वारे आपोआप अँडजस्ट (Adjust) करतो. हे व्होल्टेज फ्लक्चुएशन्स (Voltage Fluctuations) समतोल करते आणि नैमित्तिकरित्या जवळपास स्थिर व्होल्टेज (Nearly Constant Voltage) राखतो.
- म्हणून, लाइटिंग सिस्टीम्स (Lighting Systems) साठी स्वतंत्र ट्रान्सफॉर्मर (Separate Transformer) किंवा सर्व्हो स्टॅबिलायझर (Servo Stabilizer) बसवणे एनर्जी कंझर्वेशन (Energy Conservation) मध्ये महत्त्वपूर्ण भूमिका बजावते आणि लॅम्प्स (Lamps) ची ऑप्टिमम ल्यूमिनस परफॉर्मन्स (Optimal Luminous Performance) सुनिश्चित करते, तसेच त्यांच्या ऑपरेशनल लाइफ (Operational Life) ला वाढवते.

फायदे (Advantages):

- स्टीडी (Steady) आणि युनिफॉर्म (Uniform) इल्यूमिनेशन (Illumination) संपूर्ण फॅसिलिटी (Facility) मध्ये.
- लॅम्प्स (Lamps) आणि इतर लाइटिंग कॉम्पोनंट्स (Lighting Components) चा वाढलेला लाइफ (Increased Life).

- एनर्जी एफिशियन्सी (Energy Efficiency) सुधारली, कारण लॅम्प्स (Lamps) त्यांच्या ऑप्टिमल व्होल्टेज (Optimal Voltage) वर ऑपरेट (Operate) करतात.
- लाइटिंग इक्विपमेंट (Lighting Equipment) चे प्रोटेक्शन (Protection) ओव्हरव्होल्टेज (Overvoltage) आणि अंडरव्होल्टेज (Undervoltage) परिस्थितींपासून.
- स्टेबल ऑपरेशन (Stable Operation) मुळे मेंटेनेन्स (Maintenance) आणि रिप्लेसमेंट (Replacement) खर्च कमी.

3.5.5 सेन्सर्सचा वापर (Use of Sensors)

- लाइटिंग सिस्टीम्स (Lighting Systems) मध्ये सेन्सर्स (Sensors) चा वापर (Use) इलेक्ट्रिकल एनर्जी (Electrical Energy) वाचवण्यासाठी महत्त्वपूर्ण भूमिका बजावतो, कारण ते लॅम्प्स (Lamps) च्या ऑपरेशन (Operation) ला पर्यावरणीय (Environmental) आणि उपस्थिती (Occupancy) परिस्थितीनुसार आपोआप (Automatically) कंट्रोल (Control) करतात. सेन्सर्स (Sensors) अनावश्यक लाइटिंग वापर (Unnecessary Usage of Lighting) टाळतात, ज्यामुळे एनर्जी एफिशियन्सी (Energy Efficiency) सुधारते आणि ऑपरेशनल कॉस्ट्स (Operational Costs) कमी होतात. विविध प्रकारचे सेन्सर्स (Various Types of Sensors) वापरले जातात, हे ॲप्लिकेशन (Application) आणि आवश्यक ऑटोमेशन लेव्हल (Desired Level of Automation) वर अवलंबून असते.
- विविध प्रकारच्या सेन्सर्स (Different Types of Sensors) एकत्र करून, लाइटिंग सिस्टीम्स (Lighting Systems) अधिक इंटेलिजेंट (Intelligent) आणि एफिशियंट (Efficient) रीतीने ऑपरेट (Operate) होऊ शकतात. उपस्थिती (Occupancy), मोशन (Motion), किंवा एम्बियंट लाइट (Ambient Light) वर आधारित ऑटोमेटेड कंट्रोल (Automated Control) इलेक्ट्रिसिटी (Electricity) कंझमप्शन (Consumption) लक्षणीयरीत्या कमी करते, लॅम्प्स (Lamps) ची आयुष्य (Lamp Life) वाढवते आणि युझर कॉम्फर्ट (User Comfort) सुधारते, जे लाइटिंग सिस्टीम्स (Lighting Systems) मध्ये प्रभावी एनर्जी कंझर्वेशन (Effective Energy Conservation) मध्ये योगदान देतात.

A. मोशन सेन्सर्स (Motion Sensors)

- मोशन सेन्सर्स (Motion Sensors) हे डिव्हाइसेस (Devices) आहेत जे उपस्थिती (Occupancy) किंवा हालचाल (Movement) ओळखून लॅम्प्स (Lamps) आपोआप (Automatically) ऑन/ऑफ करतात.
- हे सेन्सर्स (Sensors) अनावश्यक लाइटिंग (Unnecessary Lighting) वापर टाळतात आणि एनर्जी एफिशियन्सी (Energy Efficiency) वाढवतात.
- मोशन सेन्सर्स (Motion Sensors) विशेषतः हॉलवे, कॉरिडॉर, स्टोरेज रूम्स, आणि सार्वजनिक जागांमध्ये (Public Areas) वापरले जातात जिथे लाइटिंग फक्त उपस्थिती असताना आवश्यक असते.
- सेन्सर्स (Sensors) चे रेंज (Range) आणि टाइम डिले (Time Delay) सेट करून आवश्यकतेनुसार प्रकाश नियंत्रित (Lighting Control) केला जातो.
- या सेन्सर्स (Sensors) वापरामुळे इलेक्ट्रिकल एनर्जी (Electrical Energy) बचत होते आणि लॅम्प्स (Lamps) ची आयुष्य (Lamp Life) वाढते.

B. ऑक्युपन्सी सेन्सर्स (Occupancy Sensors)

- ऑक्युपन्सी सेन्सर्स (Occupancy Sensors) एखाद्या खोलीत किंवा विशिष्ट जागेत (Specific Area) लोक उपस्थित आहेत की नाही हे ओळखतात आणि उपस्थिती दिसल्यास लाइट्स (Lights) आपोआप ON करतात आणि उपस्थिती नसल्यास ठराविक वेळेनंतर OFF करतात.

- हे सेंसर्स (Sensors) मुख्यतः कॉन्फरन्स रूम्स (Conference Rooms), क्लासरूम्स (Classrooms), ऑफिस एरियाज (Office Areas), आणि हॉलवे (Hallways) मध्ये वापरले जातात, जिथे प्रकाश (Lighting) फक्त जेव्हा गरज असते तेव्हाच आवश्यक असतो.
- लाइट्स (Lights) अनावश्यकपणे चालू राहण्यापासून रोखल्यामुळे, एनर्जी कंझर्वेशन (Energy Conservation) होते आणि ऑपरेशन खर्च (Operational Costs) कमी होतो.

C. प्रॉक्सिमिटी सेंसर्स (Proximity Sensors)

- प्रॉक्सिमिटी सेंसर्स (Proximity Sensors) एका विशिष्ट अंतरावर (Specific Distance) येणाऱ्या व्यक्ती किंवा वस्तूची उपस्थिती ओळखतात आणि त्यानुसार लाइट्स (Lights) आपोआप ON किंवा OFF करतात.
- हे सेंसर्स (Sensors) मुख्यतः गॅरेजेस (Garages), प्रवेशद्वारे (Entrances), लिफ्ट एरिया (Lift Areas) आणि इंडस्ट्रियल (Industrial) कार्यस्थळांमध्ये वापरले जातात, जिथे प्रकाश (Lighting) फक्त जेव्हा वस्तू किंवा व्यक्ती उपस्थित असतात तेव्हाच आवश्यक असतो.
- लाइट्स (Lights) अनावश्यकपणे चालू राहण्यापासून रोखल्यामुळे, एनर्जी कंझर्वेशन (Energy Conservation) होते आणि इलेक्ट्रिसिटी कॉस्ट्स (Electricity Costs) कमी होतो.

D. कलर सेंसर्स (Color Sensors)

- कलर सेंसर्स (Color Sensors) कलर ऑफ लाइट (Color of Light) किंवा प्रकाशाच्या रंगाच्या बदलांची (Change in Light Color) माहिती मिळवतात आणि लाइटिंग सिस्टम (Lighting System) मध्ये योग्य सुधारणा (Appropriate Adjustment) करतात.
- हे सेंसर्स (Sensors) कलर इंटेंसिटी (Color Intensity) आणि टोन ऑफ लाइट (Tone of Light) नियंत्रित करून योग्य अँबियंट एन्वायरनमेंट (Ambient Environment) तयार करतात.
- कलर सेंसर्स (Color Sensors) वापरल्यामुळे एनर्जी कंझर्वेशन (Energy Conservation) होते, लाइटिंग एफिशन्सी (Lighting Efficiency) वाढते, आणि व्हिज्युअल कम्फर्ट (Visual Comfort) राहतो.

E. फोटो-सेन्सिटिव्ह सेन्सर्स (Photo-Sensitive Sensors)/लाईट-डिपेन्डन्ट सेन्सर्स (Light-Dependent Sensors)

- फोटो-सेन्सिटिव्ह सेन्सर्स (Photo-Sensitive Sensors) ज्यांना लाईट-डिपेन्डन्ट सेन्सर्स (Light-Dependent Sensors – LDRs) असेही म्हणतात, हे आजूबाजूच्या लाईट लेव्हल (Ambient Light Level) वर आधारित काम करतात.
- हे सेन्सर्स लो लाईट कंडिशनस (Low Light Conditions) मध्ये जसे की संध्याकाळी (Dusk) लाईट आपोआप ON करतात आणि पुरेसा डे लाईट (Daylight) मिळाल्यावर लाईट OFF करतात.
- हे सेन्सर्स विशेषतः आउटडोअर लाइटिंग (Outdoor Lighting), स्ट्रीट लाईट्स (Street Lights) आणि गार्डन इल्युमिनेशन (Garden Illumination) साठी उपयुक्त आहेत. यामुळे डे लाईटचा योग्य वापर (Optimal Use of Daylight) होतो आणि एनर्जी वेस्टेज (Energy Wastage) कमी होते.

3.5.6 पिरियॉडिक सर्व्हे (Periodic Survey)

- लायटिंग सिस्टिम्स (Lighting Systems) चे रेग्युलर इन्स्पेक्शन (Regular Inspection) आणि मेंटेनन्स (Maintenance) हा ऑप्टिमम इल्युमिनेशन लेव्हल्स (Optimum Illumination Levels) कायम ठेवण्यासाठी, एनर्जी एफिशन्सी (Energy Efficiency) वाढवण्यासाठी आणि लॅम्प्स तसेच ल्यूमिनरीज (Luminaires) च्या लाईफस्पॅन वाढवण्यासाठी अत्यंत आवश्यक आहे.
- काळानुसार डर्ट अक्युमुलेशन (Dirt Accumulation), लॅम्प एजिंग (Lamp Aging) आणि कॉम्पोनन्ट डिटेरिओरेशन (Component Deterioration) मुळे लायटिंग परफॉर्मन्स (Lighting Performance) कमी

होत जातो. त्यामुळे पिरिऑडिक सर्व्हेज (Periodic Surveys) केल्यास अशा प्रॉब्लेम्स लवकर ओळखता येतात आणि सिस्टिमची एफिशंट ऑपरेशन (Efficient Operation) कायम राहते.

- एक वेल-प्लॅन्ड पिरिऑडिक सर्व्हे (Well-Planned Periodic Survey) आणि मेंटेनन्स प्रोग्राम (Maintenance Program) यामुळे लायटिंग सिस्टिम्स (Lighting Systems) मॅक्सिमम एफिशन्सी (Maximum Efficiency) ने काम करतात.
- क्लीनिंग (Cleaning), टाइमली रिप्लेसमेंट (Timely Replacement) आणि इन्स्पेक्शन (Inspection) यामुळे केवळ लायटिंग क्वालिटी (Lighting Quality) सुधारत नाही तर एनर्जी कन्झर्वेशन (Energy Conservation) आणि ओव्हरऑल सिस्टिम रिलायबिलिटी (Overall System Reliability) मध्येही महत्वाची भर पडते.

पीरिऑडिक सर्व्हेची गरज (Need for Periodic Survey)

- लॅम्प्सचा लाईट आउटपुट (Light Output) वापर वाढल्यावर हळूहळू कमी होतो कारण बल्ब किंवा ट्यूबची ब्लॅकनिंग (Blackening) होते, फिलामेंट मटेरियलची इवॅपोरेशन (Evaporation) होते किंवा फ्लुरोसेंट लॅम्पमधील फॉस्फर कोटिंगची लॉस (Loss of Phosphor Coating) होते.
- लॅम्पच्या सरफेसवर, रिफ्लेक्टर्स (Reflectors) किंवा डिफ्यूजर्स (Diffusers) वर साचलेल्या डस्ट आणि डर्ट (Dust and Dirt) मुळे लाईट आउटपुट 30-50% ने कमी होतो.
- बॅलास्ट्स (Ballasts), स्टार्टर्स (Starters) आणि इलेक्ट्रॉनिक ड्रायवर्स (Electronic Drivers) यांची एफिशन्सी (Efficiency) कालांतराने कमी होते किंवा फ्लिकरिंग (Flickering) तयार होते, ज्यामुळे अजून एनर्जी वाया जाते. पिरिऑडिक सर्व्हे (Periodic Survey) केल्यामुळे अशा डिग्रेडेशनचा वेळीच शोध लागतो आणि योग्य तो करेक्शन करून प्रॉपर इल्युमिनेशन (Proper Illumination) आणि एनर्जी सेव्हिंग (Energy Saving) राखता येते.

3.5.7 अॅडिकेट मेंटेनन्स प्रोग्राम्स (Adequate Maintenance Programs)

एक चांगला मेंटेनन्स प्रोग्राम (Maintenance Program) खालील स्टेप्स (Steps) समाविष्ट करतो:

- क्लीनिंग (Cleaning):
रेग्युलर क्लीनिंग (Regular Cleaning) करून लॅम्प शेड्स (Lamp Shades), रिफ्लेक्टर्स (Reflectors), डिफ्यूजर्स (Diffusers) आणि ल्यूमिनरीज (Luminaries) च्या सरफेसेस (Surfaces) वरची डस्ट (Dust) आणि डर्ट (Dirt) काढून टाकली जाते.
- इन्स्पेक्शन (Inspection):
लॅम्प्स (Lamps), स्टार्टर्स (Starters), आणि बॅलास्ट्स (Ballasts) मध्ये कुठलेही व्हिजिबल डॅमेज (Visible Damage), ब्लॅकनिंग (Blackening), किंवा रेड्यूस्ड ब्राइटनेस (Reduced Brightness) आहे का ते चेक (Check) केले जाते.
- रिप्लेसमेंट (Replacement):
ज्या लॅम्प्सची ल्यूमिनस एफिशन्सी (Luminous Efficiency) कमी झाली आहे ते पूर्णपणे फेल (Fail) झाले नसले तरीही रिप्लेस (Replace) केल्यास कन्सिस्टंट लाईट आउटपुट (Consistent Light Output) मिळतो.
- इलेक्ट्रिकल चेक (Electrical Check):
वायरिंग कनेक्शन्स (Wiring Connections), व्होल्टेज लेव्हल्स (Voltage Levels), आणि कंट्रोल सर्किट्स (Control Circuits) योग्य प्रकारे काम करत आहेत का याचे इन्स्पेक्शन केले जाते.
 - टेस्टिंग सेन्सर्स आणि बॅलास्ट्स (Testing Sensors and Ballasts): ऑटोमॅटिक लाइटिंग कंट्रोल्स (Automatic Lighting Controls), सेन्सर्स (Sensors), आणि बॅलास्ट्स (Ballasts) प्रॉपरली फंक्शन

(Properly Function) करत आहेत का ते तपासले जाते जेणेकरून एनर्जीचा ऑप्टिमम युटिलायझेशन (Optimum Utilization) होईल.

- सर्व्हेची फ्रिक्वेन्सी (Frequency of Survey):

→ फ्रिक्वेन्सी (Frequency) वातावरणावर अवलंबून असते:

→ क्लीन एनव्हायर्नमेंट्स (Clean Environments) – ऑफिसेस (Offices), क्लासरूम्स (Classrooms): दर 6 ते 12 महिन्यांनी

→ डस्टी किंवा इंडस्ट्रियल एनव्हायर्नमेंट्स (Dusty or Industrial Environments): दर 3 ते 6 महिन्यांनी

→ आउटडोर किंवा पब्लिक लाइटिंग सिस्टिम्स (Outdoor or Public Lighting Systems): दर 2 ते 4 महिन्यांनी पिरिओडिक इन्स्पेक्शन (Periodic Inspection) करण्याची शिफारस.

पीरियॉडिक मंटेनेन्सचे फायदे (Advantages of Periodic Maintenance)

- कन्सिस्टन्ट इल्युमिनेशन लेव्हल्स (Consistent Illumination Levels) मंटेन ठेवते.
- पावर वेस्टेज (Power Wastage) आणि ऑपरेटिंग कॉस्ट्स (Operating Costs) कमी करते.
- लायटिंग इक्विपमेंटचा (Lighting Equipment) लाइफस्पॅन (Lifespan) वाढवते.
- इल्युमिनेटेड एरियाजमध्ये (Illuminated Areas) सेफ्टी (Safety) आणि कम्फर्ट (Comfort) वाढवते.
- अनप्लॅन्ड ब्रेकडाउन्स (Unplanned Breakdowns) किंवा फेल्युअर्स (Failures) होणे टाळते.

3.6 फॅन्स (Fans) आणि सॉलिड स्टेट डिवायसेसचा (Solid State Devices) वापर करून इलेक्ट्रॉनिक रेग्युलेटर्स (Electronic Regulators) मधील एनर्जी कन्झर्वेशन टेक्निक्स (Energy Conservation Techniques)

- फॅन्स (Fans) हे घरांमध्ये, ऑफिसेस (Offices) आणि इंडस्ट्रीज (Industries) मध्ये सर्वाधिक वापरले जाणारे इलेक्ट्रिकल अप्लायन्सेस (Electrical appliances) आहेत. हे लांब वेळ चालत असल्यामुळे एकूण एनर्जी कंझम्पशन (Energy consumption) मध्ये यांचा मोठा वाटा असतो. एनर्जी-इफिशंट फॅन्स (Energy-efficient fans) आणि इलेक्ट्रॉनिक रेग्युलेटर्स (Electronic regulators) वापरल्याने मोठ्या प्रमाणात एनर्जी सेव्हिंग (Energy saving) करता येते.
- फॅन्स (Fans) मध्ये एनर्जी कन्झर्वेशन (Energy conservation) हे एनर्जी-इफिशंट डिझाईन (Energy-efficient design) निवडून, योग्य मंटेनेन्स (Maintenance) करून आणि रेजिस्टिव्ह टाईप (Resistive type) रेग्युलेटर्स ऐवजी सॉलिड-स्टेट इलेक्ट्रॉनिक रेग्युलेटर्स (Solid-state electronic regulators) वापरून प्रभावीपणे साध्य करता येते. या स्टेप्स (Steps) मुळे इलेक्ट्रिसिटी कंझम्पशन (Electricity consumption) कमी होते, इक्विपमेंट लाईफ (Equipment life) वाढते आणि रेसिडेन्शियल व कमर्शियल ॲप्लिकेशन्स (Residential & commercial applications) मध्ये सस्टेनेबल एनर्जी यूज (Sustainable energy use) होण्यास मदत होते.

A. एनर्जी इफिशंट फॅन्सचे सेलेक्शन (Selection of Energy Efficient Fans)

- नेहमी एनर्जी-इफिशंट फॅन्स (Energy-efficient fans) निवडा जे बीईई (ब्युरो ऑफ एनर्जी इफिशन्सी) BEE (Bureau of Energy Efficiency) स्टार रेटिंगनुसार असतात.
- रूमच्या डायमेंशन्स (Room dimensions) प्रमाणे करेक्ट फॅन साईझ (Correct fan size) निवडा. उदाहरणार्थ, 48 cm फॅन हा 10 ft × 10 ft रूमसाठी योग्य असतो. त्यापेक्षा मोठा फॅन घेतल्यास एनर्जी वाया जाते आणि कम्फर्ट वाढत नाही.
- एरोडायनॅमिकली-शेप्ड ब्लेड्स (Aerodynamically shaped blades) असलेले फॅन्स वापरा, कारण ते कमी पॉवर (Power) वापरून चांगली एअर-डिलिव्हरी (Air delivery) देतात. एनर्जी-इफिशंट मोटर्स (Energy-

efficient motors) लावलेले फॅन्स कन्वेन्शनल मॉडेल्स (conventional models) पेक्षा 30–40% कमी पॉवर कंझ्यूम करतात.

B. प्रॉपर इन्स्टॉलेशन आणि मेंटेनेन्स (Proper Installation and Maintenance)

- फॅन ब्लेड्सचं प्रॉपर बॅलन्सिंग (Proper balancing of fan blades) करा, ज्यामुळे व्हायब्रेशन (vibration) आणि नॉईज (noise) कमी होतो. इम्बॅलन्स्ड ब्लेड्स (Imbalanced blades) मुळे मेकॅनिकल लॉसेस (mechanical losses) वाढतात आणि मोटर एफिशन्सी (motor efficiency) कमी होते.
- बेअरिंग्जची (bearings) रेग्युलर तपासणी करा आणि त्यांना ल्युब्रिकेट (lubricate) करा, ज्यामुळे फ्रिक्शन लॉसेस (friction losses) आणि ओव्हरहीटिंग (overheating) टाळता येतात.
- फॅनची इन्स्टॉलेशन हाइट (installation height) प्रॉपर ठेवा. फार उंचीवर बसवल्यास एअर सर्कुलेशन (air circulation) कमी होते आणि युजरला जास्त स्पीड (Speed) वर फॅन चालवावा लागतो, ज्यामुळे पॉवर कंझम्पशन (power consumption) वाढते.
- पिरिऑडिक क्लिनिंग (periodic cleaning) करा, कारण ब्लेड्सवर जमा झालेली डस्ट परफॉर्मन्स (performance) आणि एअर डिलिव्हरी (air delivery) कमी करते.

C. इलेक्ट्रॉनिक रेग्युलेटर्सचा वापर (Use of Electronic Regulators) (Solid-State Regulators)

- कन्वेन्शनल रेसिस्टिव रेग्युलेटर्स (conventional resistive regulators) जे रेसिस्टन्स कॉइल्स (resistance coils) किंवा चोक्स (chokes) वापरतात, त्या ऐवजी इलेक्ट्रॉनिक सॉलिड-स्टेट रेग्युलेटर्स (electronic solid-state regulators) वापरावेत.
- कन्वेन्शनल रेग्युलेटर्स (conventional regulators) हीटच्या (heat) स्वरूपात इलेक्ट्रिकल एनर्जी (electrical energy) वाया घालवतात, तर इलेक्ट्रॉनिक रेग्युलेटर्स (electronic regulators) सेमिकंडक्टर डिवायसेस (semiconductor devices) जसे की ट्रायक (Triac) किंवा MOSFETs वापरतात, जे व्होल्टेज (voltage) अतिशय इफिशन्सीने (efficiently) रेग्युलेट करतात आणि पॉवर लॉस (power loss) जवळपास नगण्य असतो.
- हे रेग्युलेटर्स स्मूथ स्पीड कंट्रोल (smooth speed control) देतात, युजर कन्विनियन्स (user convenience) वाढवतात आणि रिमोट किंवा स्मार्ट कंट्रोल्स (remote or smart controls) सोबत सहज इंटीग्रेट (integrate) होऊ शकतात.
- इलेक्ट्रॉनिक रेग्युलेटर्स (electronic regulators) वापरल्याने ट्रेडिशनल टाइप्सच्या (traditional types) तुलनेत 20–30% पर्यंत पॉवर सेविंग (power saving) मिळू शकते.

D. एनर्जी सेव्हिंगसाठी ऑपरेटिंग प्रॅक्टिसेस (Operating Practices for Energy Saving)

- फॅन्स (Fans) शक्य असेल तेव्हा लो किंवा मॉडरेट स्पीड (Low or Moderate Speed) वर ऑपरेट करा; हाय स्पीड (High Speed) ऑपरेशनमुळे अनावश्यकपणे एनर्जी कन्झम्पशन (Energy Consumption) वाढते.
- रूम अनॉक्युपाईड (Unoccupied) असेल तेव्हा फॅन्स OFF करा, ज्यामुळे आयडल एनर्जी वेस्ट (Idle Energy Waste) टाळता येते.
- फॅनची डायरेक्शन (Direction) अँडजस्ट करा जेणेकरून एअरफ्लो (Airflow) डाउनवर्ड (Downward) जाईल, त्यामुळे कम्फर्ट वाढतो आणि एअर सर्कुलेशन (Air Circulation) इफेक्टिव्ह होते.
- माइल्ड वेदर कंडिशनस (Mild Weather Conditions) मध्ये विंडोज ओपन करून नॅचरल व्हेंटिलेशन (Natural Ventilation) वापरा, ज्यामुळे फॅनचा युसेज (Fan Usage) कमी होतो.

- फॅन्सची रेग्युलर इन्स्पेक्शन (Regular Inspection), क्लीनिंग (Cleaning) आणि मॅटेनन्स (Maintenance) करा, ज्यामुळे एफिशंट ऑपरेशन (Efficient Operation) आणि लॉन्गर सर्व्हिस लाईफ (Longer Service Life) मिळते.

3.7 इलेक्ट्रिक व्हेईकल्स (Electric Vehicles – EVs) आणि बॅटरीज (Batteries) मधील एनर्जी कन्झर्वेशन टेक्निक्स (Energy conservation techniques)

- इलेक्ट्रिक व्हेईकल्स (Electric Vehicles – EVs) आजच्या मॉडर्न ट्रान्सपोर्टेशन (Modern Transportation) सिस्टीमचा एक महत्वाचा भाग बनत आहेत कारण त्यांची हाय-एफिशन्सी (High Efficiency) आणि लो एन्व्हायर्नमेंटल इम्पॅक्ट (Low Environmental Impact) आहे. परंतु EV मध्ये एनर्जी कन्झर्वेशन (Energy Conservation) जास्तीत जास्त करण्यासाठी इलेक्ट्रिकल एनर्जीचा (Electrical Energy) इफिशंट (Efficient) वापर, इफेक्टिव्ह बॅटरी मॅनेजमेंट (Effective Battery Management) आणि इंटेलिजंट ड्रायव्हिंग टेक्निक्स (Intelligent Driving Techniques) आवश्यक आहेत.
- इलेक्ट्रिक व्हेईकल्स (Electric Vehicles) आणि बॅटरीजमध्ये (Batteries) एनर्जी कन्झर्वेशन (Energy Conservation) इफिशंट मोटर डिझाईन (Efficient Motor Design), अॅडव्हान्स्ड कंट्रोल टेक्निक्स (Advanced Control Techniques), बॅटरी मॅनेजमेंट सिस्टीम्स (Battery Management Systems – BMS) आणि इंटेलिजंट ड्रायव्हिंग बिहेव्हायोर (Intelligent Driving Behaviour) यांच्या संयोजनाने साध्य करता येते.
- या स्ट्रॅटेजीज (Strategies) वाहनाची परफॉर्मन्स (Performance) आणि ड्रायव्हिंग रेंज (Driving Range) वाढवतात तसेच एकूण एनर्जी डिमांड (Energy Demand) कमी करतात, ज्यामुळे ट्रान्सपोर्टेशन अधिक सस्टेनेबल (Sustainable) आणि इको-फ्रेंडली (Eco-friendly) बनते.

A. हाय-इफिशन्सी इलेक्ट्रिक मोटर्सचा वापर (Use of High-Efficiency Electric Motors)

- ब्रशलेस डीसी मोटर्स (Brushless DC – BLDC Motors) किंवा परमनंट मॅग्नेट सिनक्रमस मोटर्स (Permanent Magnet Synchronous Motors – PMSM) वापराव्यात. या मोटर्सची इफिशन्सी साधारण 85% ते 95% असते, जी पारंपारिक डीसी मोटर्सपेक्षा जास्त आहे.
- रिजेनेरेटिव्ह ब्रेकिंग सिस्टिम (Regenerative Braking System) चा वापर करावा. ब्रेक लावताना निर्माण होणारी कायनेटिक एनर्जी (Kinetic Energy) पुन्हा इलेक्ट्रिकल एनर्जी (Electrical Energy) मध्ये बदलून बॅटरीमध्ये साठवली जाते, ज्यामुळे रेंज वाढते.
- मोटरचे ऑप्टिमम स्पीड आणि टॉर्क (Optimal Speed & Torque) राखण्यासाठी फिल्ड-ओरिएंटेड कंट्रोल (Field-Oriented Control – FOC) किंवा व्हेक्टर कंट्रोल (Vector Control) सारख्या अॅडव्हान्स्ड मोटर कंट्रोल तंत्रांचा वापर करावा. यामुळे एनर्जी वेस्ट होण्याचे प्रमाण कमी होते.

B. रिजेनेरेटिव्ह ब्रेकिंग सिस्टिम (Regenerative Braking System)

- पारंपारिक वाहनांमध्ये ब्रेक लावल्यावर कायनेटिक एनर्जी (kinetic energy) उष्णता म्हणून वाया जाते.
- इलेक्ट्रिक व्हेईकल्स (EVs) मध्ये रिजेनेरेटिव्ह ब्रेकिंग (regenerative braking) ब्रेकिंगदरम्यान निर्माण होणारी कायनेटिक एनर्जी इलेक्ट्रिकल एनर्जी (electrical energy) मध्ये रूपांतरित करते.
- ही रिकवर्ड (recovered) एनर्जी पुन्हा बॅटरीत साठवली (stored in the battery) जाते, ज्यामुळे ड्रायव्हिंग रेंज (driving range) 10–20% नी वाढते आणि एकूण एनर्जी एफिशन्सी (energy efficiency) सुधारते.

C. बॅटरी मॅनेजमेंट सिस्टिम ऑप्टिमायझेशन (Battery Management System Optimization)

- बॅटरी मॅनेजमेंट सिस्टिम (BMS) सतत स्टेट ऑफ चार्ज (SOC), तापमान, आणि प्रत्येक सेल (Cell) चा व्होल्टेज (Voltage) मॉनिटर करते.

- हे सिस्टम सर्व सेल्सचे युनिफॉर्म (Uniform) चार्जिंग (Charging)/डिसचार्जिंग (Discharging) सुनिश्चित करते, ज्यामुळे ओव्हरचार्जिंग (Overcharging), ओव्हरहीटिंग (Overheating) किंवा डीप डिसचार्ज (Deep Discharge) टाळले जाते आणि बॅटरीचे लाईफ (Battery Life) वाढते.
- थर्मल मॅनेजमेंट (Thermal Management) बॅटरीला योग्य तापमान श्रेणीत (साधारणपणे 20°C ते 40°C) ठेवते, ज्यामुळे एनर्जी आउटपुट (Energy Output) जास्त मिळतो.
- लिक्विड-कूलिंग (Liquide Cooling) किंवा एअर-कूलिंग (Air Cooling) सिस्टीम्स तसेच स्मार्ट BMS अल्योरिडम्स वापरल्यामुळे एनर्जी लॉस (Energy Loss) कमी होतो आणि बॅटरीचे लाईफ (Battery Life) व परफॉर्मन्स (Performance) वाढतो.

D. लाइटवेट व्हेइकल डिझाईन (Lightweight Vehicle Design)

- व्हेइकलचं वजन कमी करणं खूप महत्वाचं आहे. यासाठी अल्युमिनियम अलॉयज (Aluminum Alloys), कार्बन फायबर (Carbon Fiber), आणि कंपोजिट मटेरियल्स (Composite Materials) सारख्या हलक्या मटेरियल्सचा वापर केला जातो.
- हलका व्हेइकल चालवताना ऍक्सीलरेशन (Acceleration) साठी कमी पॉवर (Power) लागते, त्यामुळे ईव्ही (EV) चा ड्रायव्हिंग रेंज (Driving Range) वाढतो.
- एअरोडायनॅमिक डिझाईन (Aerodynamic Design) ऑप्टिमाईज करून जसे की स्मूथ बॉडी कॉन्टूर (Smooth Body Contours) आणि कमी ड्रॅग कोएफिशंट (Drag Coefficient) व्हेइकलला पुढे जाण्यासाठी लागणारी एनर्जी कमी होते आणि एकूण एनर्जी कन्झम्प्शन (Energy Consumption) घटते.

E. इफिशंट चार्जिंग टेक्निक्स (Efficient Charging Techniques)

- फास्ट आणि इंटेलिजंट चार्जिंग सिस्टिम्स (Fast and Intelligent Charging Systems) वापरा, ज्या बॅटरी कंडिशन (Battery Conditions) नुसार व्होल्टेज (Voltage) आणि करंट (Current) अँडजस्ट करतात, ज्यामुळे एनर्जी लॉसेस (Energy Losses) टाळले जातात.
- प्रोग्रॅमेबल चार्जिंग सायकल्स (Programmable Charging Cycles) असलेले स्मार्ट चार्जर्स (Smart Chargers) बॅटरी हेल्थ (Battery Health) मॅटेन करण्यात मदत करतात आणि ओव्हरचार्जिंग लॉसेस (Overcharging Losses) कमी करतात.
- सोलर चार्जिंग स्टेशन (Solar Charging Stations) किंवा रिन्यूएबल-पॉवरड चार्जिंग सेटअप्स (Renewable-powered Charging Setups) वापरल्यास एनर्जी कन्झर्वेशन (Energy Conservation) आणि सस्टेनेबिलिटी (Sustainability) आणखी वाढते.

F. एनर्जी-इफिशंट ड्रायव्हिंग प्रॅक्टिसेस (Energy-Efficient Driving Practices)

- स्मूथ ऍक्सीलरेशन आणि डी-ऍक्सीलरेशन (Smooth Acceleration and Deceleration) केल्याने मोठ्या प्रमाणात एनर्जी सेव्ह (Energy Save) होते.
- वारंवार वेग वाढवणे किंवा ब्रेक लावणे टाळून मॉडरेट आणि कॉन्स्टंट स्पीड (Moderate and Constant Speed) मॅटेन (Maintain) करावा.
- ईव्हीजमध्ये (EVs) दिलेले इकॉनॉमी (Economy) किंवा ईको-ड्रायव्हिंग मोड्स (Eco-Driving Modes) वापरल्याने पॉवर युसेज (Power Usage) ऑप्टिमाईझ होतो आणि बॅटरी रेंज (Battery Range) वाढते.
- टायर प्रेशर (Tire Pressure) रेकमेंडेड लेव्हलवर ठेवावे, ज्यामुळे रोलिंग रेसिस्टन्स (Rolling Resistance) आणि पॉवर लॉस (Power Loss) कमी होतो.
- एनर्जी रिकव्हरी आणि स्टोरेज इन्हान्समेंट्स (Energy Recovery and Storage Enhancements)

- सुपरकॅपेसिटर्स (supercapacitors) बॅटरीसोबत इंटीग्रेट केल्यास (integration) रिजनरेटिव्ह ब्रेकिंगदरम्यान (regenerative braking) जनरेट झालेली एनर्जी तात्पुरती साठवता येते आणि पटकन पुन्हा वापरता येते.
- हायब्रिड एनर्जी स्टोरेज सिस्टिम्स (Hybrid Energy Storage Systems – HESS) उच्च पॉवर डेन्सिटी (power density) आणि एनर्जी डेन्सिटी (energy density) दोन्ही सुधारतात, ज्यामुळे एकूण एनर्जी वापर ऑप्टिमाईज होतो.

G. स्मार्ट एनर्जी मॅनेजमेंट सिस्टिम्स (Smart Energy Management Systems)

- अॅडव्हान्स्ड एनर्जी मॅनेजमेंट अल्गोरिदम्स (Advanced Energy Management Algorithms) ड्रायव्हिंग कंडिशनस (Driving Conditions), लोड रिकायरमेंट्स (Load Requirements), आणि टेरेन (Terrain) यांचे मॉनिटरिंग करून मोटर (Motor), ऑक्सिलरी सिस्टिम्स (Auxiliary System) आणि रिजनरेटिव्ह युनिट्स (Regenerative Units) मध्ये पॉवर इफिशंटली (Efficiently) डिस्ट्रीब्यूट (Distribute) करतात.
 - IoT आणि AI-बेस्ड एनर्जी अॅनालिटिक्स (IoT and AI-based Energy Analytics) रीअल-टाइम (Real Time) मध्ये एनर्जी डिमांड (Energy Demand) प्रेडिक्ट करून कंझमप्शन पॅटर्न्स (Consumption Patterns) ऑप्टिमाईज करतात.

Sample Questions

- Q.1 State any four causes of commercial losses in transmission and distribution system.
- Q.2 List out the different technical losses that take place in transmission & distribution system.
- Q.3 List out various energy conservation equipments.
- Q.4 Explain the following energy conservation techniques:
- (i) Controlling I²R losses
 - (ii) Balancing phase current
- Q.5 Describe the technical losses that takes place in Transmission and Distribution system.
- Q.6 Compare on the basis of any four points the commercial and technical losses in the distribution system.
- Q.7 Illustrate with neat sketch the working of Automatic power factor controller.
- Q.8 Explain energy conservation technique adopted for lighting system using energy efficient luminaries.
- Q.9 Explain energy conservation method in lighting system by using installation of servo stabilizer.
- Q.10 Illustrate any four techniques to improve energy conservation in fan.
- Q.11 Explain energy conservation techniques in electric vehicles.
- Q.12 List different commercial losses in transmission and distribution system. State its causes and remedies.
- Q.13 State the working principle & operation of APFC used in transmission & distribution system.
- Q.14 Outline the step wise activities to be carried out to assess the performance of existing lighting system of electrical installation.

युनिट -4 एनर्जी कन्झर्वेशन व्हाया को जनरेशन आणि टॅरिफ (Unit -4 Energy Conservation via Cogeneration and Tariff)

कोर्स आऊटकम्स

- CO4 – को जनरेशन-(Co-generation) आणि रिलिव्हंट टॅरिफ (relevant tariff) चा वापर करून फॅसिलिटीज(facilities) मधील लॉसेस (losses) कमी करणे.

थिओरी लर्निंग आऊटकम्स (Theory Learning Outcomes - TLOs):

- TLO 4.1 कोजनरेशन (Co-generation) सिस्टीमच्या निवडीसाठी (governing) अधिकार करणारे घटकांची यादी करा.
- TLO 4.2 दिलेल्या फॅसिलिटीसाठी योग्य प्रकारच्या को जनरेशन(Co-generation) सिस्टीमचे वर्णन करा.
- TLO 4.3 दिलेल्या फॅसिलिटीमध्ये combined heat and power (CHP) सिस्टीमचे कार्य वर्णन करा.
- TLO 4.4 दिलेल्या टॅरिफ (Tariff) संरचनेचे स्पष्टीकरण करा.
- TLO 4.5 दिलेल्या फॅसिलिटीच्या इलेक्ट्रिसिटी बिल कमी करण्यासाठी योग्य टॅरिफ (Tariff) सिस्टीमचे वर्णन करा.
- TLO 4.6 दोन वेगळ्या टॅरिफ (Tariff) संरचनांची तुलना करा आणि दिलेल्या फॅसिलिटीमध्ये जतन केलेली इलेक्ट्रिकल एनर्जी (electrical energy) दर्शवा.

इंट्रोडक्शन (Introduction):

4.1 को-जनरेशन (Co-generation):

को-जनरेशन (Cogeneration) फॅसिलिटी म्हणजे अशी फॅसिलिटी जिच्यात एकाच वेळी दोन किंवा अधिक उपयोगी एनर्जी (useful energy) चे प्रकार तयार केले जातात, जसे की इलेक्ट्रिक पॉवर (electric power) आणि स्टीम (steam), इलेक्ट्रिक पॉवर (electric power) आणि शाफ्ट (मेकॅनिकल) पॉवर (shaft (mechanical) power) इत्यादी.

को-जनरेशन (Cogeneration) फॅसिलिटी त्यांच्या उपलब्ध एनर्जी (available energy) चा एकाहून अधिक प्रकारात वापर करण्याच्या क्षमतेमुळे, स्वतंत्रपणे तयार करण्यापेक्षा खूपच कमी इंधन (fuel) वापरून इलेक्ट्रिसिटी (electricity), स्टीम (steam), शाफ्ट पॉवर (shaft power) किंवा इतर प्रकारच्या एनर्जी (energy) तयार करतात.

म्हणूनच, हायएफिशियन्सी (higher efficiency) साधून, को-जनरेशन (Cogeneration) फॅसिलिटी एनर्जी कन्झर्वेशन (energy conservation) मध्ये लक्षणीय योगदान (significant contribution) देऊ शकतात.

4.1.1 को-जनरेशन (Co-generation): कन्सेप्ट (Concept)

को-जनरेशन (Cogeneration), किंवा combined heat and power (CHP), ही प्रक्रिया आहे ज्यामध्ये एकाच मुख्य एनर्जी (primary energy) स्रोतापासून एकाच वेळी इलेक्ट्रिसिटी (electricity) आणि उपयोगी हीट (useful heat) निर्माण केली जाते.

ही पद्धत एनर्जी एफिशियन्सी (energy efficiency) लक्षणीयरीत्या वाढवते, कारण पारंपारिक पॉवर जनरेशनमध्ये साधारणपणे गमावलेली "वेस्ट" हीट (waste heat) वापरली जाते. संयुक्त सिस्टीम (combined system) स्वतंत्र पॉवर (power) आणि हीट (heat) उत्पादनाच्या तुलनेत 40% पर्यंत अधिक एफिशियंट (efficient) असू शकते.

4.1.2 को-जनरेशन (Co-generation) सिस्टीमच्या निवडीसाठी घटक (Factors governing the selection of co-generation system)

को-जनरेशन (Cogeneration) सिस्टीममध्ये इलेक्ट्रिकल (electrical) आणि थर्मल (thermal) लोड्सची मॅचिंग (matching), उपलब्ध इंधन स्रोत (available fuel source), सिस्टीम इकॉनॉमिक्स (system economics – प्रारंभिक आणि ऑपरेटिंग खर्च / initial and operating costs), तसेच नियामक (regulatory) आणि पर्यावरणीय (environmental) बाबींचा समावेश असतो.

साइट-विशिष्ट (site-specific) लोड पॅटर्न्स (load patterns), हीट-टू-पॉवर (heat-to-power) रेशो आवश्यकता, आणि उपलब्ध जागा (available space) हेही योग्य सिस्टीम प्रकार (optimal system type) आणि आकार (size) ठरवण्यासाठी महत्वाचे आहेत.

लोड मॅचिंग आणि पॅटर्न्स (Load Matching and Patterns)

इलेक्ट्रिकल आणि थर्मल लोड मॅचिंग (Electrical and thermal load matching):

सिस्टीमचा इलेक्ट्रिकल (electrical) आणि थर्मल (thermal) आउटपुट (output) फॅसिलिटीच्या डिमांड्स (demands) शी जुळणे आवश्यक आहे. यामध्ये बेस लोड्स (base loads – किमान मागणी / minimum demand) आणि पीक लोड्स (peak loads) यांचा विचार केला जातो.

i) लोड आउटलाइन (Load outlines):

सिस्टीमच्या प्रकार (system type) आणि आकार (size) निवडण्यात दैनंदिन (daily), साप्ताहिक (weekly), आणि हंगामी (seasonal) हीट (heat) आणि पॉवर (power) डिमांडच्या पॅटर्न्स (patterns) चा मोठा प्रभाव असतो.

ii) हीट-टू-पॉवर रेशो (Heat-to-power ratio):

हा रेशो (ratio) एक महत्वाचा तांत्रिक (technical) पॅरामीटर (parameter) आहे. सिस्टीमचा inherent हीट-टू-पॉवर रेशो (heat-to-power ratio) फॅसिलिटीच्या एफिशियंट ऑपरेशन (efficient operation) साठी आवश्यकतेशी जुळणे आवश्यक आहे.

iii) इकॉनॉमिक आणि कॉस्ट फॅक्टर्स (Economic and cost factors):

सिस्टीम निवडताना प्रारंभिक खर्च (initial cost), ऑपरेटिंग खर्च (operating cost), आणि एकूण आर्थिक व्यवहार्यता (overall economic feasibility) यांचा विचार केला जातो.

• इनिशियल आणि ऑपरेटिंग कॉस्ट (Initial and operating costs):

प्रारंभिक भांडवल गुंतवणूक (initial capital investment), चालू ऑपरेशनल खर्च (ongoing operational expenses), आणि मंटेनन्स खर्च (maintenance costs) हे महत्वाचे विचार आहेत.

• फ्युएल कॉस्ट (Fuel costs):

इंधन स्रोताची उपलब्धता (availability) आणि खर्च (cost) (जसे की नैसर्गिक वायू (natural gas) किंवा कोळसा (coal)) हे एकूण आर्थिक व्यवहार्यता (overall economic viability) ठरवण्यात महत्वाचे घटक आहेत.

iv) फ्युएल आणि एन्व्हायरमेंटल फॅक्टर (Fuel and environmental factors)

• फ्युएल ची उपलब्धता (Availability of fuel):

स्थानिक पातळीवर उपलब्ध इंधनाचा प्रकार (type of fuel available locally) (उदा. नैसर्गिक वायू

(natural gas), कोळसा (coal), बायोमास (biomass), सौर (solar), किंवा वारा (wind)) सिस्टीम निवडीवर मोठा प्रभाव टाकतो.

• **एन्व्हायरमेंटल रेग्युलेशन्स (Environmental Regulations):**

प्रदूषण (pollution) संबंधित चिंता आणि स्थानिक नियम (local regulations) विशेषतः घनवस्ती असलेल्या भागात महत्त्वपूर्ण आहेत. पॉलीटेक्निक हब (Polytechnic Hub) नोंदवते की, को-जनरेशन (Cogeneration) पारंपारिक पद्धतींच्या तुलनेत उत्सर्जन (emissions) कमी करू शकते, परंतु सिस्टीमची विशिष्ट रचना (specific system design) नियमांचे पालन (compliant) करणे आवश्यक आहे.

v) **टेक्निकल आणि ऑपरेशनल फॅक्टर (Technical and operational factors)**

• **हीट-टू-पॉवर रेशो (Heat-to-power ratio):**

फॅसिलिटीला आवश्यक असलेली थर्मल एनर्जी (thermal energy) आणि इलेक्ट्रिकल एनर्जी (electrical energy) यांचा रेशो (ratio) निवडलेल्या सिस्टीमच्या वैशिष्ट्यांशी (characteristics) जुळणे आवश्यक आहे.

• **सिस्टीम कॅपॅसिटी (System capacity):**

संपूर्ण पॉवर (power) आणि हीट (heat) आवश्यकतांसह मॅटेनन्ससाठी राखीव (reserves) समाविष्ट करून, आवश्यक क्षमता (necessary capacity) ठरते.

• **स्पेस रिक्वायरमेंट (Space requirements):**

सिस्टीमचा भौतिक जागा (physical footprint) निवड प्रक्रियेदरम्यान विचारात घेणे आवश्यक आहे.

• **ग्रिड-कनेक्टेड किंवा स्टँडअलोन (Grid-connected or standalone):**

सिस्टीमची तांत्रिक रचना (technical design) यावर अवलंबून असते की ती युटिलिटी ग्रिड (utility grid) शी कनेक्टेड आहे की स्वतंत्र युनिट (standalone unit) म्हणून कार्यरत आहे.

4.1.3 को-जनरेशन (Co-generation) सिस्टीमचे फायदे (advantages)

को-जनरेशन (Cogeneration) स्वच्छ (clean) आणि किफायतशीर (cost effective) आहे. ही इंधन (fuel) किंवा हीट चा (heat) एफिशियंट वापर करून एनर्जी सस्टेनेबिलिटी (energy sustainability) वाढवते, जे अन्यथा वाया जाईल. को-जनरेशन (Cogeneration) कार्बन उत्सर्जन (carbon emissions) आणि एनर्जी खर्च (energy costs) लक्षणीयरीत्या कमी करू शकते. साध्या सायकल (simple cycle) ऑप्लिकेशन्सची एफिशियंटता (efficiency) 40-50% असू शकते, तर combined heat and power (CHP) सिस्टीम्स 90% पर्यंत एफिशियंट (efficient) असतात, ज्यामुळे इलेक्ट्रिक पॉवर ग्रिड (electric power grid), डिस्ट्रिक्ट हीटिंग सिस्टीम्स (district heating systems), फॅक्टरीज (factories) इत्यादींचे डिकार्बोनायझेशन (decarbonize) करण्यात मदत होते.

फ्लेक्सिबिलिटी अँड रिलायबिलिटी (Flexibility and reliability)

को-जनरेशन (Cogeneration) पॉवर प्लांट्स (power plants) एरोडेरिव्हेटिव्ह (aeroderivative) च्या लवचिकता (flexibility) आणि विश्वसनीयता (reliability) सह चालतात, आणि आवश्यकतेनुसार इलेक्ट्रिसिटी (electricity) आणि हीट (heat) चे विशिष्ट आउटपुट्स (specific outputs) तयार करतात.

हाय अंबियंट टेम्परेचर (ambient temperatures) मध्ये कमी पॉवर डिरेटिंग (low power derating) मुळे ऑपरेशन रेंजमध्ये पॉवर (power) आणि हीट (heat) पुरवठा हेवी ड्युटी (heavy duty) गॅस टर्बाईन्सपेक्षा चांगल्या प्रकारे सुरक्षित राहतो.

इनलेट कंडीशनिंग (inlet conditioning) वापरल्यास, हे संपूर्ण अंबियंट टेम्परेचर रेंज (ambient temperature range) तसेच गॅस टर्बाईन (gas turbine) च्या आयुष्यासाठी (life) गॅरंटी (guaranteed) केले जाऊ शकते.

याचा अर्थ असा की, सिस्टीम (system) इंटरमिटंट रिन्यूएबल्स (intermittent renewables) किंवा इमरजेंसी पॉवर (emergency power) उत्पादनाला सहज अनुकूल (adapt) होऊ शकते.

रिलायबिलिटी अँड अवेलेबिलिटी (Reliability and availability)

हेवी ड्युटी (heavy duty) गॅस टर्बाइन्स (gas turbines) नियमित ऑन-साईट (on-site) मेंटेनन्स (maintenance) स्टॉप्सची आवश्यकता असते, ज्यामुळे प्लांट (plant) काही आठवडे थांबतो.

त्याच्या उलट, एरोडेरिव्हेटिव्ह (aeroderivative) गॅस टर्बाइन्ससाठी मुख्य मेंटेनन्स (major maintenance) कार्यासाठी गॅस जनरेटर (gas generator) बदलणे केल्यास, प्लांट फक्त <3 दिवस स्टँड-स्टिल (stand-still) राहतो, ज्यामुळे CHP प्लांटची उपलब्धता (CHP plant availability) +98.7% गॅरंटी (guaranteed) केली जाऊ शकते.

CHP सिस्टीम (CHP system) चे फायदे (benefits) मोजणे (quantify) सोपे आहे. तीन एरोडेरिव्हेटिव्ह (aeroderivative) युनिट्स असलेला प्लांट (plant) सतत ऑपरेटिंग (continuous operating) ऑप्लिकेशनमध्ये 95% संचित उपलब्धता (cumulative availability) प्रदान करू शकतो.

दहा मोठ्या रिसिप्रोकेटिंग इंजिन्स (reciprocating engines) असलेल्या प्लांटमध्ये (एकल उपलब्धता (single availability) 93%) उपलब्धता <50% मिळू शकते. एरो गॅस टर्बाइन्स (aero gas turbines) शी जुळवण्यासाठी, दोन अधिक रिसिप्रोकेटिंग युनिट्स आवश्यक असतील, ज्यामुळे प्लांटचा आकार (plant size) आणि प्रारंभिक भांडवल खर्च (CAPEX) 20% जास्त होईल.

कॉस्ट सेविंग (Cost savings)

CHP प्लांट्स (CHP plants) मधील एरोडेरिव्हेटिव्ह (aeroderivative) गॅस टर्बाइन्स (gas turbines) रिसिप्रोकेटिंग इंजिन्स (reciprocating engines) पेक्षा खर्च बचत (cost savings) देतात, ज्यामुळे इलेक्ट्रिसिटी (electricity) चा खर्च कमी होऊ शकतो.

केवळ ल्यूब ऑईल (lube oil) वाचविल्यानेच \$1M USD पेक्षा जास्त बचत (savings) होऊ शकते. प्लांटचे ऑपरेटिंग तास (plant operating hours) प्रत्यक्ष ऑन-टाईम तास (actual on-time hours) असतात, ज्यामुळे मेंटेनन्स (maintenance) आणि ऑपरेशनल खर्च (operational expenses) कमी होतात.

सहनिर्मिती मानके पूर्ण करण्यास आणि त्यापेक्षा जास्त करण्यास मदत करते

रेसिप्रोकेटिंग इंजिनमधील ज्वलनामुळे त्याच परिस्थितीत एरो टर्बाइनपेक्षा 10 पट जास्त हानिकारक उत्सर्जन होऊ शकते. उपाय करूनही, उत्सर्जन अनुपालनापर्यंत पोहोचण्यासाठी काही मिनिटे लागू शकतात. शिवाय, रेसिप्रोकेटिंग पिस्टनमधून कमी वारंवारता यांत्रिक 'नॉकिंग' करण्यासाठी मोठ्या किमतीत ध्वनीरोधक आवश्यक असेल. एरो-व्युत्यन्न टर्बाइन असलेल्या CHP सिस्टमचा एक फायदा: यापैकी कोणत्याही समस्या उपस्थित नाहीत.

कोजनरेशन (Cogeneration) मदतीने मानकांची (standards) पूर्तता आणि ओलांडणे (exceed) शक्य होते.

Reciprocating इंजिन्समध्ये (engines) दहन (combustion) aero turbines (एरो टर्बाइन्स) च्या तुलनेत समान परिस्थितींमध्ये 10 पट अधिक हानिकारक उत्सर्जन (harmful emissions) निर्माण करू शकतात. सुधारणा (remediation) केल्यानंतरही, उत्सर्जन अनुरूपता (emission compliance) साधण्यासाठी अनेक मिनिटे लागू होऊ शकतात. याशिवाय, reciprocating pistons (रिसिप्रोकेटिंग पिस्टन्स) कडून कमी वारंवारतेचा (low frequency) यांत्रिक 'knocking' आवाज, महागड्या खर्चावर (sound proofing) शोधन करणं आवश्यक ठरू शकतं. Aero-derived turbines (एरो-डेरिव्हेड टर्बाइन्स) असलेल्या CHP (Combined Heat and Power) प्रणालींचं एक लाभ म्हणजे: या सर्व समस्यांचा (issues) सामना करावा लागत नाही.

कमी झालेल्या उत्सर्जन (exhaust emissions) आणि आवाज उत्सर्जन (noise emissions)

Aeroderivative (एरो डेरिव्हेड-combustion systems (कंबस्टन सिस्टिम्स (NO_x, CO आणि UHC उत्सर्जन (emissions) मानक (standards) एग्झॉस्ट गॅस (exhaust gas treatments) ट्रीटमेंट्स शिवाय साध्य करतात, जे सध्याच्या पर्यावरणीय मानकांची (environmental standards) पूर्तता करण्यात मदत करतात. ते तसेच, residential areas (रेसिडेन्शियल एरियामध्ये जिथे आवाज (noise) एक चिंतेचा विषय आहे, cogeneration (कोजनरेशन) अनुप्रयोगांना (applications) लाभ देतात, बाह्य इन्स्टॉलेशनसाठी (अकौस्टिक एनक्लोजर्स (Acoustic Enclosures) 80 dBA पर्यंत सेट केले जातात.

डिझाइनद्वारे बचत (Savings by Design)

Aeroderivative (एरो) जनरेटर सेट्समध्ये सर्वोच्च पॉवर डेंसिटी (डेराइव्ड-power density) असते, ज्यामुळे भूभाग (land), देखभाल क्षेत्र (maintenance area) आणि संचय सुविधा (storage facility) यासाठीचे संयंत्र खर्च (plant cost) कमी होतो.

Cogeneration Advantages (कोजनरेशनचे फायदे)

Cogeneration (कोजनरेशन) एक सिस्टिम आहे जी इलेक्ट्रिसिटी उत्पादन करताना निर्माण होणारी हीट (heat) कॅचर करते, जी अन्यथा वाया जात असते.

पारंपरिक सिस्टिम्समध्ये, ही हीट सहसा कूलिंग टेक्नोलॉजीज (cooling technologies) द्वारे गमावली जाते किंवा साधारणपणे वातावरणात (environment) पसरते. परिणामी, इंधनाचा वापर अधिकतम प्रभावीपणे (maximum effect) होत नाही.

CHP (Combined Heat and Power) सिस्टीमकडे संक्रमण (transitioning to a CHP system) करण्याचे अनेक फायदे आहेत.

- **एनर्जी एफिशियंटता वाढवते** (Improved Energy Efficiency):

कोजनरेशन सिस्टिम हीट ला थोड्या इंधनावर पुनर्नवीनीकरण करते, ज्यामुळे एकाच इंधनावर जास्त एफिशियंट एनर्जी निर्माण होते.

- **इमिशन कमी करते** (Reduced Emissions):

थर्मल हीट परत वापरून, हवा आणि जलवायूवर कमी दबाव पडतो, ज्यामुळे ग्रीनहाऊस गॅस उत्सर्जन (greenhouse gas emissions) कमी होतात.

- **इंधनाचा अधिकतम वापर** (Maximized Fuel Use):

इलेक्ट्रिसिटी उत्पादनासाठी वापरलेली हीट पुनर्प्राप्त केली जात असल्यामुळे, इंधनाचा अधिकतम उपयोग (maximum utilization of fuel) केला जातो.

- **कमी इलेक्ट्रिसिटी आणि हीट चा खर्च** (Reduced Power and Heat Costs):

एनर्जी साठवण आणि पुनर्नवीनीकरणामुळे इलेक्ट्रिसिटी आणि हीट चा एकूण खर्च कमी होतो.

त्यामुळे, **CHP सिस्टीम** बदलण्यामुळे तुम्हाला हीट एफिशियंटता (energy efficiency), इंधनाचा वापर, आणि पर्यावरणीय फायदे मिळतात.

कोजनरेशनचे आर्थिक फायदे: (Cogeneration Financial Benefits)

1. **हीट खर्चात मोठी बचत** (Significant Reduction in Energy Costs):

साइटवरील हीट चा खर्च (site heating costs) मोठ्या प्रमाणात कमी होऊ शकतात, विशेषतः त्या सिस्टीममध्ये जे कॅचर केलेली हीट (captured heat) वापरून इमारती किंवा प्रक्रियात्मक उपकरणांची (process equipment) टेंपरेचर व्यवस्थापित करतात. एक CHP सिस्टिम वापरत असताना, साइटवरील एनर्जी खर्च (on-site energy costs) कायमचे कमी होऊ शकतात.

2. **PPA (Power Purchase Agreement):**

कोजनरेशन सिस्टिम वापरणारी एक सुविधा (facility) त्याच्या गरजांपेक्षा जास्त इलेक्ट्रिसिटी निर्माण करू शकते. अशा परिस्थितीत, त्याने त्याच्या अतिरिक्त इलेक्ट्रिसिटी (excess electricity) स्थानिक इलेक्ट्रिसिटी वितरण सेलला विकण्याची (sell to the local grid) शक्यता असते. Power Purchase Agreement (PPA) ना फक्त **CHP सिस्टिम इन्स्टॉलेशन** चे प्रारंभिक खर्च कमी करणे (reduce up-front costs) मदत करू शकतो, तर तो जवळजवळ सर्व खर्चाचा (cover almost all expenses) कव्हर करू शकतो.

3. **कर लाभ** (Tax Benefits):

ही सुविधा विशेषतः जुरिस्डिक्शन (jurisdiction) वर अवलंबून आहे, परंतु कोजनरेशन सिस्टिम्स स्वीकारणाऱ्या

सुविधांना वाढीव भांडवली भत्ता (enhanced capital allowances) मिळण्याची शक्यता असते. आणि जरी या भत्तांचा लाभ प्रामुख्याने व्यावसायिक (commercial) आणि निवासी (residential) इमारतींनाच मिळत असेल, तरी हे एक कर सवलतीचा (tax break) मार्ग आहे जो अन्वेषण केला जाऊ शकतो. त्याचबरोबर, नवीन एनर्जी प्रोत्साहन (renewable heat incentives) मिळवण्याची देखील संधी असू शकते, ज्याचा उद्देश नवीनीकरणीय तंत्रज्ञानाचा वापर (renewable technology use) प्रोत्साहन देणे आहे. आर्थिक दृष्टीने, कोजनरेशन सिस्टम्स एनर्जी खर्च कमी करणं, कर सवलती मिळवणं, आणि अतिरिक्त इलेक्ट्रिसिटी विकण्याचा एक पर्याय देणं यामुळे मोठ्या प्रमाणावर फायदेशीर ठरू शकतात.

पर्यावरणीय कोजनरेशन फायदे: (Environmental CHP Advantages)

1. ग्राहक (Consumers) आणि व्यवसाय (businesses) आजकाल पर्यावरणीय प्रभाव (environmental impact) आणि एनर्जी टिकाऊपणा (energy sustainability) यावर पूर्वीपेक्षा अधिक लक्ष देत आहेत. Cogeneration (कोजनरेशन) एनर्जी उत्पादनात एक प्रभावी (effective) मार्ग आहे ज्याद्वारे पर्यावरणीय प्रभाव कमी केला जाऊ शकतो.

2. CHP (Combined Heat and Power) सिस्टीम CO₂ (कार्बन डायऑक्साइड) आणि SO₂ (सल्फर डायऑक्साइड) उत्सर्जन (emissions) मोठ्या प्रमाणात कमी करू शकते. परंतु, जेव्हा याला biomass (बायोमास) आणि biogas (बायोगॅस) सारख्या इंधन प्रकारांसोबत (fuel types) एकत्र केले जाते, तेव्हा सस्टेनेबिलिटी (sustainability) अधिकतम होतो.

CHP (Combined Heat and Power) सिस्टिम्स त्या सुविधांमध्ये आणि ठिकाणी वापरल्या जाऊ शकतात जिथे बहुसंख्य इंधन प्रकारांचा वापर केला जातो. CHP सिस्टिम्स हे अनेक प्रकारच्या पॉवर जनरेशन सिस्टिम्स सोबत सहज एकत्र (integrable) होऊ शकतात, मग ते कोणत्याही इंधनावर आधारित असोकोळशावर (coal) चालणाऱ्या पॉवर प्लांट्ससह, CHP सिस्टिम्स इतर इंधनांचा वापर करणाऱ्या सुविधांसाठीही उपयुक्त आहेत. हे केवळ वापरकर्त्यांना त्यांच्या इंधनाचा विविधीकरण करण्याचा आणि पर्यावरणास अनुकूल इंधन प्रकारांकडे ट्रान्झिशन करण्याचा पर्याय देत नाही, तर याचा अर्थ एनर्जी सुरक्षेत वाढ होतो जेव्हा एक कोजनरेशन (cogeneration) सुविधा पॉवर ग्रीडच्या इनपुटशिवाय काम करू शकते, तेव्हा ते एक अधिक एफिशियंट सिस्टिम तयार करते जी बाह्य प्रभावांमुळे होणाऱ्या पॉवर डिस्टर्बन्सपासून कमी संवेदनशील असते त्याच्या नैतिक स्वभावानुसार, कोजनरेशन (cogeneration) टेक्निक अधिकतम प्लांट एफिशियंटता साठी ऑप्टिमाइज केल्या जातात अन्यथा वाया जाणारे. हीट चा वापर करून, सुविधांना विविध प्रकारच्या फायद्यांची मिळवणूक होऊ शकते. तंत्रज्ञानाची सर्वव्यापी उपलब्धता तंत्रज्ञान स्वीकारणे पूर्वीपेक्षा अधिक सोपे करते, आणि भविष्यातील सुधारित विकासासाठी अजूनही संधी आहेत सरळ सांगायचं तर, कोजनरेशन (cogeneration) फायदे आणि तोटे पाहताना, अनेक सकारात्मक बाबी आहेत.

4.2 कोजेनेरेशनचे प्रकार (Cogeneration types)

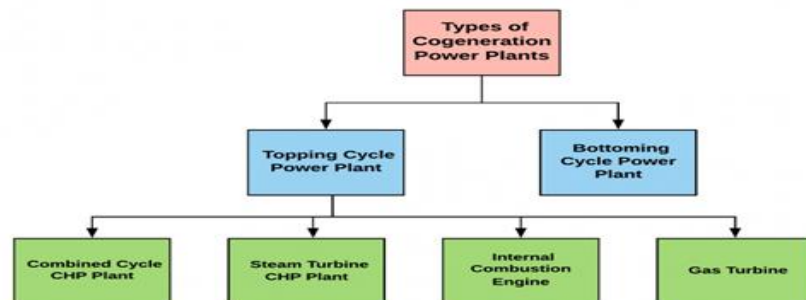


Figure 4.1: Cogeneration (को-जेनेरेशन) पॉवर प्लांट्सचे प्रकार

<https://www.elprocus.com/cogeneration-chp-definition-types-of-cogeneration-power-plants/>

4.2.1 Cogeneration (कोजेनेरेशनचे प्रकार) एनर्जी वापराच्या अनुक्रमावर आधारित

Cogeneration (को-जेनेरेशन) प्रणालींचे दोन मुख्य प्रकार आहेत:

1. **Topping cycles** (टॉपिंग सायकल्स), जे पहिले इलेक्ट्रिसिटी निर्माण करतात आणि उर्वरित हीट चा वापर औद्योगिक प्रक्रियांसाठी करतात.
2. **Bottoming cycles** (बॉटमिंग सायकल्स), जे पहिले हीट निर्माण करतात आणि नंतर वाया गेलेल्या हीट चा वापर इलेक्ट्रिसिटी निर्माण करण्यासाठी करतात.

दोन्ही प्रकारांची पुढील श्रेणीकरण "prime mover" (प्राइम मुवर) तंत्रज्ञानावर आधारित असते, जसे की गॅस टर्बाईन्स, स्टीम टर्बाईन्स, किंवा इन्टर्नल कंबशन इंजिन्स.

एनर्जी रूपांतरण अनुक्रमावर आधारित *Cogeneration* (को-जेनेरेशन) चे प्रकार:

टॉपिंग सायकल (Topping cycle):

हा सर्वात सामान्य प्रकार आहे. इंधनाचा वापर प्रथम इलेक्ट्रिसिटी निर्माण करण्यासाठी केला जातो, आणि हीट एक उपउत्पाद म्हणून निर्माण होते, जी नंतर हीट आवश्यकता (थर्मल नीड्स) साठी वापरली जाते.

को-जेनेरेशन (Cogeneration) सिस्टिम एनर्जी वापराच्या अनुक्रमावर आधारित टॉपिंग सायकल किंवा बॉटमिंग सायकल म्हणून वर्गीकृत केली जाऊ शकते.

Topping cycle (टॉपिंग सायकल) मध्ये, दिलेले इंधन प्रथम इलेक्ट्रिसिटी निर्माण करण्यासाठी वापरले जाते, आणि नंतर हीट तयार केली जाते, जी सायकलचा उपउत्पाद (by-product) असतो, आणि ती प्रक्रिया हीट किंवा इतर थर्मल आवश्यकता पूर्ण करण्यासाठी वापरली जाते. Topping cycle (टॉपिंग सायकल) cogeneration (को-जेनेरेशन) मध्ये सर्वाधिक वापरला जाणारा आणि लोकप्रिय पद्धत आहे.

Topping Cycle (टॉपिंग सायकल): टॉपिंग सायकल cogeneration (को-जेनेरेशन) प्रणालींच्या चार प्रकारांची संक्षिप्त माहिती Figure 4.2 मध्ये दिली आहे.

दुसरा प्रकाराची सिस्टिम इंधन (किंवा कोणत्याही प्रकाराचे) जाळून हाय दाबाची स्टीम तयार करते, जी नंतर स्टीम टर्बाईनमधून जातो आणि इलेक्ट्रिसिटी निर्माण करते, आणि त्याच्या उत्सर्जनाने कमी दाबाची प्रक्रिया स्टीम प्रदान केली जाते. ही एक **steam-turbine topping system** (स्टीम-टर्बाईन टॉपिंग सिस्टिम) आहे.

तिसरा प्रकार सिस्टिम इंजिनच्या उत्सर्जनातून आणि/किंवा जैकेट कूलिंग सिस्टिममधून हीट पुनर्प्राप्त करून एक heat recovery boiler (हीट रीकव्हरी बॉयलर) मध्ये पाठवतो, जिथे ती प्रक्रिया स्टीम / गरम पाणी मध्ये रूपांतरित केली जाते आणि पुढील वापरासाठी तयार केली जाते.

चौथा प्रकार **gas-turbine topping system** (गॅस-टर्बाईन टॉपिंग सिस्टिम) आहे. एक नैतिक गॅस टर्बाईन जनरेटर चालवतो. उत्सर्जन वायू heat recovery boiler (हीट रीकव्हरी बॉयलर) मध्ये जातो, जे प्रक्रिया स्टीम आणि प्रक्रिया हीट तयार करते.

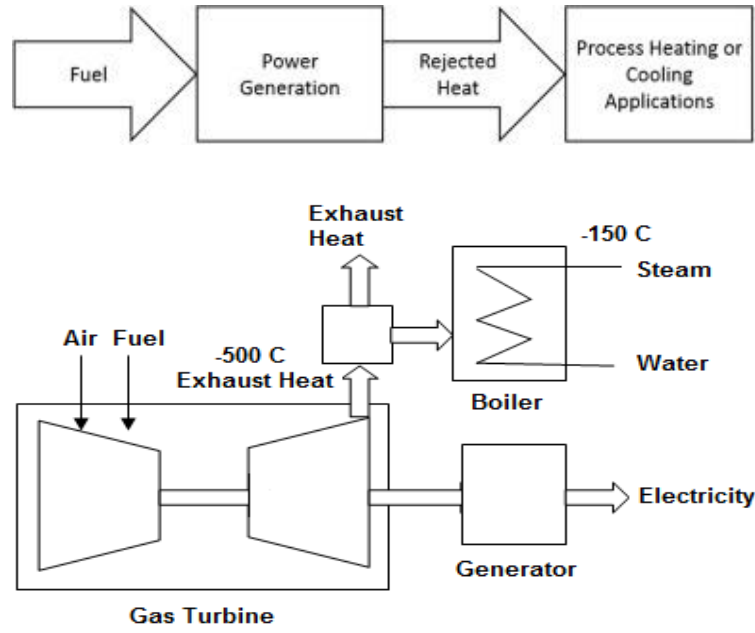


Figure 4.2 टॉपिंग सायकल (Topping Cycle)

बॉटमिंग सायकल सिस्टिम :(Bottoming Cycle System)

बॉटमिंग सायकल (Bottoming cycle)मध्ये, प्राथमिक इंधन हाय तापमानाची थर्मल एनर्जी निर्माण करते आणि प्रक्रिया निष्कासनातून निघालेली हीट recovery boiler (रीकव्हरी बॉयलर) आणि टर्बाइन जनरेटरद्वारे इलेक्ट्रिसिटी निर्माण करण्यासाठी वापरली जाते. Bottoming cycles (बॉटमिंग सायकल्स) अशा उत्पादन प्रक्रियांसाठी उपयुक्त आहेत ज्या भट्टी आणि किल्ल्यांमध्ये हाय तापमानावर हीट ची आवश्यकता असते आणि ज्या प्रक्रियेत हीट हाय तापमानावर निघते.

सामान्य अनुप्रयोग क्षेत्रांमध्ये सिमेंट, स्टील, सिरामिक, गॅस आणि पेट्रोकेमिकल उद्योगांचा समावेश होतो. Bottoming cycle (बॉटमिंग सायकल) प्लांट्स topping cycle (टॉपिंग सायकल) प्लांट्सच्या तुलनेत खूप कमी सामान्य आहेत.

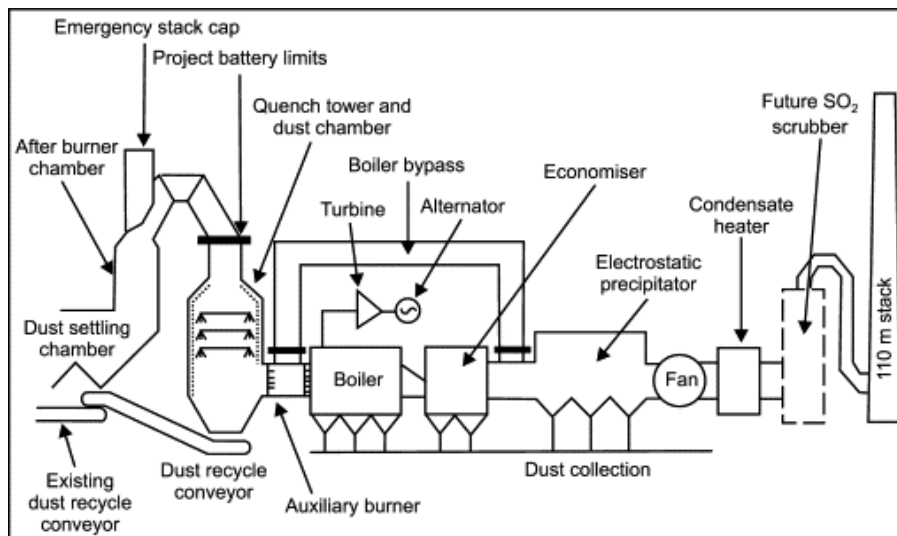


Figure 4.3: बॉटमिंग सायकल सिस्टिम (Bottoming Cycle System)

Figure 4.3 मध्ये बॉटमिंग सायकल दर्शवलेला आहे, जिथे इंधन भट्टीत जाळले जाते ज्यामुळे सिंथेटिक रुटाइल तयार होतो. भट्टीतून निघणारे कचरा वायू boiler (बॉयलर) मध्ये वापरले जातात जे स्टीम तयार करतात, जी टर्बाईनला चालवून इलेक्ट्रिसिटी निर्माण करते.

4.2.2 कोजेनेरेशन- (Cogeneration)- चे तंत्रज्ञानावर आधारित प्रकार

Cogeneration (को-जेनेरेशन) सिस्टिम च्या योग्य निवडीसाठी, खाली दिलेल्या काही मूलभूत सिस्टिम संरचनांमधून एक निवड केली जाते, ज्यामुळे पहिले किंवा तर इलेक्ट्रिसिटी एनर्जी किंवा हीट एनर्जी उत्पादन करणे शक्य होते.

1. **स्टीम टर्बाईन-आधारित को-जेनेरेशन सिस्टिम** (Steam turbine-based cogeneration system)
2. **गॅस टर्बाईन-आधारित को-जेनेरेशन सिस्टिम** (Gas turbine-based cogeneration system)
3. **(संयुक्त स्टीम/गॅस टर्बाईन-आधारित को-जेनेरेशन सिस्टिम)** (Combined steam/gas turbine-based cogeneration system)
4. **रेसिप्रोकेटिंग इंजिन-आधारित को-जेनेरेशन सिस्टिम** (Reciprocating engine-based cogeneration system)
5. रासायनिक प्रक्रिया औद्योगिक प्लांट्समध्ये सर्वाधिक वापरली जाणारी cogeneration (को-जेनेरेशन) सिस्टिम स्टीम टर्बाईन, गॅस टर्बाईन किंवा संयुक्त स्टीम/गॅस टर्बाईन संरचनांवर आधारित असतात, आणि रेसिप्रोकेटिंग इंजिन संरचनांवर आधारित स्थापनेची संख्या तुलनेत मध्यम असते. या संरचनांना उद्योगांनी त्यांच्या सिद्ध ट्रॅक रेकॉर्ड आणि आवश्यक उपकरणांची सुलभ व्यावसायिक उपलब्धता यामुळे मोठ्या प्रमाणावर स्वीकारले आहे.
6. Cogeneration (को-जेनेरेशन) सिस्टिम जी स्टर्लिंग इंजिन (Stirling engine) संकल्पनेवर आधारित आहे, ती अजून विकासाच्या टप्प्यात आहे आणि म्हणून ती पुढील तपशीलात वर्णन केलेली नाही. सर्व cogeneration (कोजेनेरेशन)सिस्टिम च्या संयोजनांचा आधार पहिल्या आणि दुसऱ्या थर्मोडायनॅमिक्सच्या कायद्यांवर आहे. (को जेनेरेशन-सिस्टिम च्या शक्य विविध संरचनांच्या मूलभूत संकल्पनांचे वर्णन केले गेले आहे, ज्यामध्ये एक प्राथमिक एनर्जी स्रोत, एक प्राइम मुवर चालवलेला इलेक्ट्रिक पॉवर जनरेटर आणि प्राइम मुवरमधून निघालेल्या वाया गेलेल्या हीट च्या एनर्जी वापरासाठीची व्यवस्था समाविष्ट आहे या .सिस्टिम चे संक्षिप्त वर्णन केले गेले आहे आणि त्यांच्यासोबत सिस्टिम च्या रेखाचित्रांचे)schematic diagrams) देखील समावेश करण्यात आले आहेत.

स्टीम टर्बाईन आधारित को जेनेरेशन सिस्टिम : (**Steam turbine-based cogeneration system**)

स्टीम टर्बाईन (Steam Turbine) हे एक भौतिक उपकरण आहे जे थर्मल एनर्जी (thermal energy) ला यांत्रिक एनर्जी (mechanical energy) मध्ये रूपांतरित करण्यासाठी वापरले जाते विशिष्ट आवश्यकता . नुसार, ते विविध प्रकारच्या एनर्जी मध्ये रूपांतर करण्यासाठी अनुकूलित केले जाऊ शकते, आणि हे इंधन स्रोतावर अवलंबून असते जे इच्छित एनर्जी उत्पादन तयार करण्यासाठी वापरले जाते आधुनिक डिझाइन . 1884 मध्ये **सर चार्ल्स पार्सन्स** (Sir Charles Parsons) यांनी शोधले.

जेव्हा बाह्य हीट बॉयलरवर त्या माध्यमाच्या उकळण्याच्या बिंदूपेक्षा हाय तापमानावर कार्य करते (उदा. पाणी), तेव्हा बॉयलर हीट शोषित करून पाणी उकळते आणि स्टीम तयार करते, ज्यामुळे हाय प्रेशर निर्माण होतो. या स्टीमचा प्रवाह स्टीम पाईप्सद्वारे टर्बाईनच्या ब्लेड्सवर थेट प्रभाव टाकतो. स्टीम पाईप्स स्थिर असतात, त्यामुळे स्टीमच्या बलामुळे प्रत्येक टर्बाईन ब्लेड्सच्या गतीला चालना मिळते, ज्यामुळे यांत्रिक एनर्जी निर्माण होते.

स्टीम निघून गेल्यावर, ती कमी टेंपरेचर असलेल्या माध्यमाद्वारे पाईप्समध्ये ढकलली जाते, ज्यामुळे पाणी संक्षिप्त होते (condense), आणि नंतर त्या स्टीमला पुन्हा बॉयलरमध्ये परत नेले जाते, जिथे ती पुन्हा स्टीममध्ये रूपांतरित होते. हे एक बंद सायकल तयार करते (closed cycle).

या प्रक्रियेत स्टीम टर्बाईनला हीट च्या वाया गेलेल्या भागाचा पुनर्वापर करून अधिक एफिशियंट एनर्जी निर्मितीची क्षमता मिळते, आणि त्यामुळे हाय एफिशियन्सी ची इलेक्ट्रिसिटी निर्मिती केली जाते.

1. एक थर्मल पावर प्लांटमधील वापरलेली पॉवर खूप फरक असू शकते, काही मेगावॅट्सपासून ते सुमारे 2000 मेगावॅट्सपर्यंत.

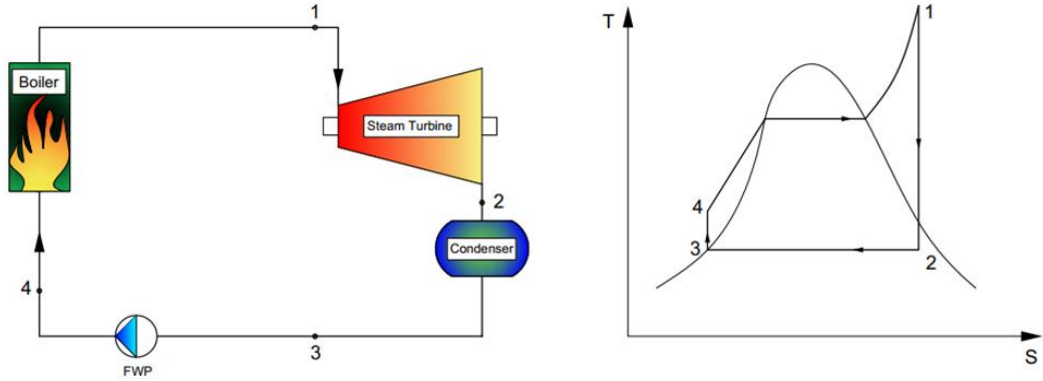


Figure 4.4 : Steam turbine-based cogeneration system cycle (स्टीम टर्बाईन आधारित-जेनरेशन-कोसिस्टिम सायकल)

<https://martech.com.vn/en/news/boiler-technical-advice/steam-turbine-cogeneration-system.html>

थर्मल पावर प्लांट स्टीम सायकल (Steam Cycle) वर कार्य करतो. प्राथमिक इंधन स्रोतांमध्ये कोळसा, नैसर्गिक गॅस, बायोमास इत्यादींचा समावेश आहे. Rankine cycle (रँकिन सायकल) चे प्रक्रिया पुढीलप्रमाणे आहेत :

1 - 2: Isentropic expansion process (आयसेन्ट्रॉपिक विस्तारण प्रक्रिया) टर्बाईनमध्ये $S_1 = S_2$ असतो, ज्यामुळे फिरणारा बल (work) तयार होतो, जो गिअरबॉक्सच्या माध्यमातून जनरेटरला चालवतो.

• **2 - 3: Isobaric process** (आयसोबारिक प्रक्रिया) कॉन्डेंसरमध्ये $P_2 = P_3$, जिथे संतृप्त वाफ संतृप्त द्रवात संकुचित होते. वाफ थंड करण्यासाठी सर्क्युलेटिंग वॉटर कूलिंग टॉवरद्वारे वापरला जातो.

• **3 - 4: Isentropic compression process** (आयसेन्ट्रॉपिक संकुचन प्रक्रिया) बॉयलर फीड पंपमध्ये $S_3 = S_4$. पंप थोड्या प्रमाणात यांत्रिक एनर्जी वापरून पाणी बॉयलरमध्ये पुरवण्यासाठी आवश्यक प्रेशर वाढवतो.

• **4 - 1: Isobaric heating process** (आयसोबारिक हीटिंग प्रक्रिया) बॉयलरमध्ये $P_4 = P_1$. इंधन पुरवले जाते आणि जाळले जाते, ज्या प्रक्रियेमध्ये हीट पाणी मध्ये हस्तांतरित केली जाते, ज्यामुळे ते सुपरहीटेड स्टीममध्ये रूपांतरित होते.

उद्योगांची वाढ आणि वीजेची मागणी वाढल्यामुळे, अनेक क्षेत्रे राष्ट्रीय पॉवर ग्रीडपासून स्वातंत्र्य मिळवण्यासाठी स्थानिक एनर्जी संसाधनांचा वापर करत आहेत. याच्या प्रतिसाद म्हणून, co-generation (को-जेनेरेशन) किंवा Combined Heat and Power (CHP) मॉडेल स्टीम टर्बाईन पॉवर प्लांट्सच्या विकासात उभे राहिले आहे.

एक cogeneration plant (को-जेनेरेशन प्लांट) स्वतंत्र सुविधा, औद्योगिक क्षेत्र, किंवा निवास स्थान क्षेत्रासाठी इलेक्ट्रिसिटी निर्माण करू शकतो, तसेच कडक हवामान क्षेत्रांमध्ये कारखान्यांना किंवा निवासी आणि व्यापारी घरांना हीट पुरवू शकतो.

या सिस्टिम च्या मदतीने, उद्योगे आणि घरगुती क्षेत्रे दोन्ही सेंट्रलायझ्ड इलेक्ट्रिसिटी निर्मिती सिस्टिम वरून स्थानिक एनर्जी उत्पादनावर स्विच करू शकतात, ज्यामुळे एनर्जी खर्च कमी होऊ शकतो आणि पर्यावरणावर कमी परिणाम होतो.

"**Cogeneration**" (को-जेनेरेशन) हा शब्द एका प्राथमिक इंधन स्रोतावरून दोन दुय्यम एनर्जी प्रकारांची, म्हणजेच हीट एनर्जी आणि इलेक्ट्रिसिटी एनर्जी, उत्पादन करण्यास संदर्भित करतो.

हीट एनर्जी हाय प्रेशर आणि हाय तापमानाच्या स्टीमच्या रूपात अस्तित्वात असते, जी उत्पादन प्रक्रियांमध्ये जसे की सुकवणे (drying) आणि हीट देणे (heating) यासाठी वापरली जाते, ज्याला Process Steam (प्रक्रिया स्टीम) म्हणून ओळखले जाते.

इलेक्ट्रिकल एनर्जी विविध कार्यांसाठी वापरली जाते, जसे की लाइटिंग (lighting), फिरणारे मोटर्स (rotating motors), पंखे (fans), कंप्रेसर्स (compressors), किंवा ती ग्रीडशी (grid) जोडली जाऊ शकते.

या पद्धतीद्वारे एकाच इंधनाच्या स्रोतावरून दोन प्रकारच्या एनर्जी निर्माण होतात, ज्यामुळे एनर्जी उत्पादन अधिक एफिशियंट आणि किफायतशीर होतो.

Cogeneration steam turbine power plant मध्ये खालील प्रकार समाविष्ट आहेत:

Steam Turbine Cogeneration Power Plant (स्टीम टर्बाईन को-जेनेरेशन पॉवर प्लांट-

Combined-Cycle Gas Turbine Power Plant (संयुक्त सायकल गॅस टर्बाईन पॉवर प्लांट:-

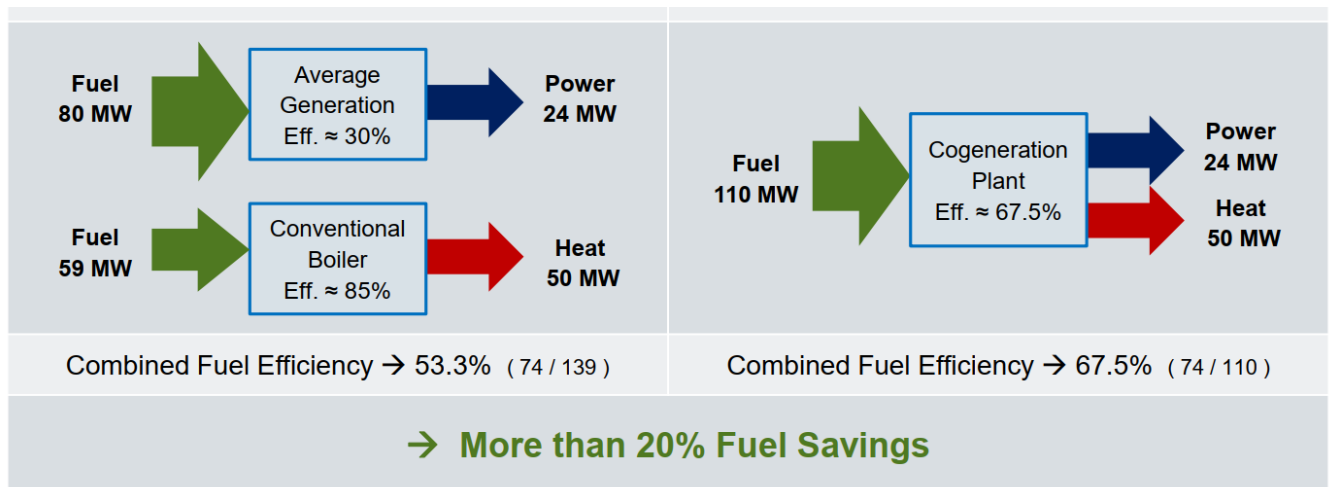


Figure 4.5 : को जेनेरेशन पॉवर प्लांट्सची-एफिशियन्सी
(Cogeneration Power Plants Efficiency)

<https://martech.com.vn/en/news/boiler-technical-advice/steam-turbine-cogeneration-system.html>

को-जेनेरेशन प्लांटमध्ये टर्बाईन प्रकाराची निवड अत्यंत महत्वाची आहे. टर्बाईनला को-जेनेरेशन पॉवर सायकलचे हृदय मानले जाते. हीट आणि इलेक्ट्रिसिटी च्या आवश्यकतांनुसार, **back-pressure turbine** (बॅक-प्रेसर टर्बाईन) किंवा **extraction-condensing turbine** (एक्स्ट्रॅक्शन-कॉन्डन्सिंग टर्बाईन) निवडले जाऊ शकतात.

टर्बाईन संरचना निवडताना विचारात घेण्यासाठी काही महत्वाचे घटक:

पॉवर कंजप्शन: (Power consumption)

ग्रिड कनेक्शन किंवा स्टँडअलोन पॉवर जनरेशन- (Grid connection or stand-alone power generation)

डिमांड स्टीम क्षमता (Demand steam capacity)

स्टीमचा प्रेशर आणि टेंपरेचर आवश्यकतांनुसार: (Pressure and temperature of steam as per requirements)

कूलिंग वॉटर स्रोत: (Cooling water source)

गॅस टर्बाईन जेनेरेशन-आधारित को-सिस्टिम : (Gas Turbine-based Cogeneration System)

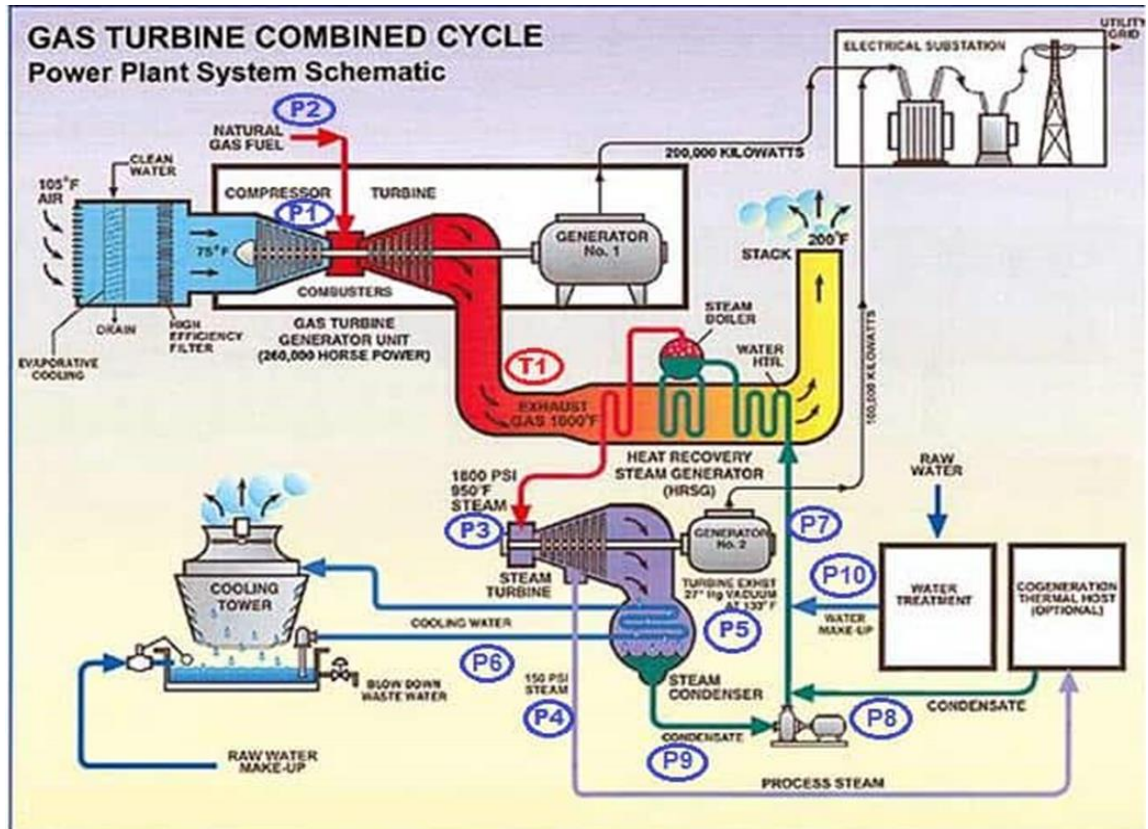


Figure 4.6 गॅस टर्बाईन आधारित कोजेनरेशन सिस्टी
(Cogeneration System based on Gas turbine)

<https://www.ccsdualsnap.com/pressure-switches-in-combined-cycle-power-plant-switches/>

कम्बाईनड सायकल (Combined Cycle) पॉवर प्लांट्सना जास्तीत जास्त एफिशियन्सी आणि सुरक्षित ऑपरेशन सुनिश्चित करण्यासाठी प्रेशर (Pressure) आणि टेंपरेचर (Temperature) स्विचेसचा वापर आवश्यक

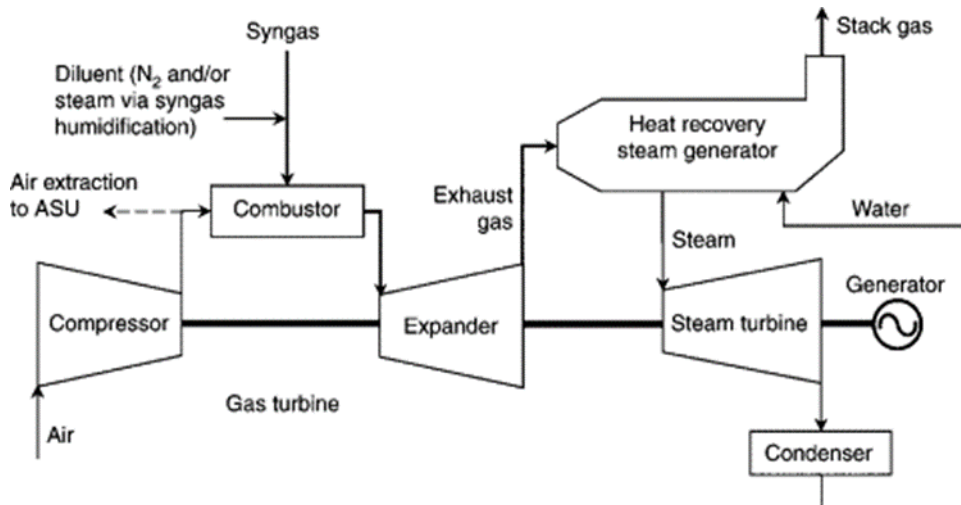
आहे हवा आणि इंधनाचा काय मिश्रण जाळला जातो ते ठरविण्यापासून ते स्टीम टर्बाइनमधील किती प्रेशर . वाढू द्यायचं हे ठरवण्यापर्यंत, प्रेशर आणि टेंपरेचर स्वित्चेस सिस्टममधील प्रत्येक टप्प्यावर ठिकठिकाणी ठेवले जातात हे डिझायसची विशिष्ट कार्ये आणि त्यांचा स . ंपूर्ण सायकल पॉवर प्लांट्समधील उपयोग जाणून घेण्यासाठी वाचा.

कम्बाईनड सायकल (Combined Cycle) पॉवर प्लांट्समध्ये, गॅस टर्बाइन (वर डावीकडे दाखवलेले) नैतिक गॅस इंधनाचा वापर करून इलेक्ट्रिसिटी निर्माण करते. त्यानंतर, स्टीम टर्बाइन (मधोमध दाखवलेले) गॅस टर्बाइनपासून मिळालेल्या वेस्ट हीटचा वापर करून इलेक्ट्रिसिटी निर्माण करते. हा प्रक्रिया इतर प्रकारच्या पॉवर प्लांट्सच्या तुलनेत 60% पर्यंत जास्त एफिशियंट आहे कारण गॅस टर्बाइनच्या उत्सर्जनातून निघालेलं हीट स्टीम टर्बाइनला गरम करण्यासाठी पुन्हा वापरलं जातं, जे अन्यथा स्मोकस्टॅक (Smokestack) मध्ये नष्ट होईल.

कम्बाईनड सायकल स्टीमआधारित कोजेनेरेशन सिस्टम-गॅस टर्बाइन

गॅस टर्बाइन कम्बाईनड सायकल

Figure 4.6 मध्ये गॅस आधारित गॅस टर्बाइन-कम्बाईनड सायकल साठी एकसरलीकृत रेखाआकृती दर्शवले आहे. गॅस टर्बाइनमध्ये एक कंप्रेसर ., एक हाय दाबाचे कंबस्टर (Combustor), आणि एक एक्सपेंडर (Expander) असतो हवेचे संकुचन करून सिंगॅससह कंबस्टरमध्ये .15 बार किंवा अधिक दाबावर जाळले जाते किंवा स्टीमचा घोल/नायट्रोजन आणि .Humidification) करून डिकार्बोनाइज्ड सिंगॅससह मिश्रण तयार केले जाते, जे NO_x उत्सर्जन नियंत्रण करण्यासाठी कंबस्टरच्या शिखर ज्वाला टेंपरेचरला कमी करण्यासाठी वापरले जाते .हाय प्रेशर आणि हाय टेंपरेचर असलेला कंबस्टरचा उत्सर्जन वायू टर्बाइनच्या माध्यमातून अँटमॉस्फेरिक प्रेशर च्या जवळ विस्तारित केला जातो गॅस विस्ताराने निर्माण होणारे कार्य . कंप्रेसर चालवण्यासाठी आणि इलेक्ट्रिसिटी निर्माण करण्यासाठी वापरले जाते .540 °C च्या आसपास असलेल्या हीट उत्सर्जन गॅसपासून हीट HRSG मध्ये पुनर्प्राप्त केली जाते, ज्याद्वारे स्टीम तयार केली जाते (Matta et al., 2000). HRSG मध्ये एक मालिका हिट एक्सचेंज कॉइलबद्ध असतात, ज्यात सुपरहीटर, रिहीटर, विविध स्टीम प्रेशर स्तरांसाठी एव्हापोरेटर, आणि फीडवॉटर हीटर्स यांचा समावेश असतो तयार . झालेली स्टीम, सामान्यतः दोन किंवा तीन प्रेशर स्तरांवर, मल्टीकेसिंग स्टीम टर्बाइनमध्ये विस्तारित केली जाते संपूर्ण .सायकल ातून मिळालेली एकूण एनर्जी उत्पादन म्हणजे गॅस टर्बाइन आणि स्टीम टर्बाइनकडून निर्माण झालेल्या इलेक्ट्रिसिटी चा एकत्रित योग.



**Figure 4.7 : कम्बाईनड सायकल स्टीम आधारित कोजेनेरेशन सिस्टम-गॅस टर्बाइन
(Combined Steam/Gas Turbine-based Cogeneration System)**

<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/gas-turbine-combined-cycle>

• रेसिप्रोकटिंग इंजिन को जनरेशन- (Reciprocating Engine Co-generation)

या सिस्टिम मध्ये, रेसिप्रोकटिंग इंजिन इंधनाने जाळले जाते जेणेकरून जनरेटर चालवता येईल आणि इलेक्ट्रिकल पॉवर निर्माण केली जाईलनंतर, इंजिनच्या उत्सर्जनातून मिळालेल्या वेस्ट हीटच्या पुनर्प्राप्तीने वाफ तयार केली जाते, ज्यासाठी WHRB (Waste Heat Recovery Boiler) वापरला जातो इंजिन जॅकेट . ऑइल कूलर हे इतर वेस्ट हीट पुनर्प्राप्तीचे स्रोत आहेत-कूलिंग वॉटर हीट एक्सचेंजर आणि ल्यूब, ज्यांचा वापर गरम पाणी किंवा गरम हवा तयार करण्यासाठी केला जातोरेसिप्रोकटिंग इंजिन कमी, मध्यम किंवा हाय गतीच्या प्रकारांमध्ये उपलब्ध आहेत, ज्यांची एफिशियन्सी 35% - 42% च्या श्रेणीत असते.

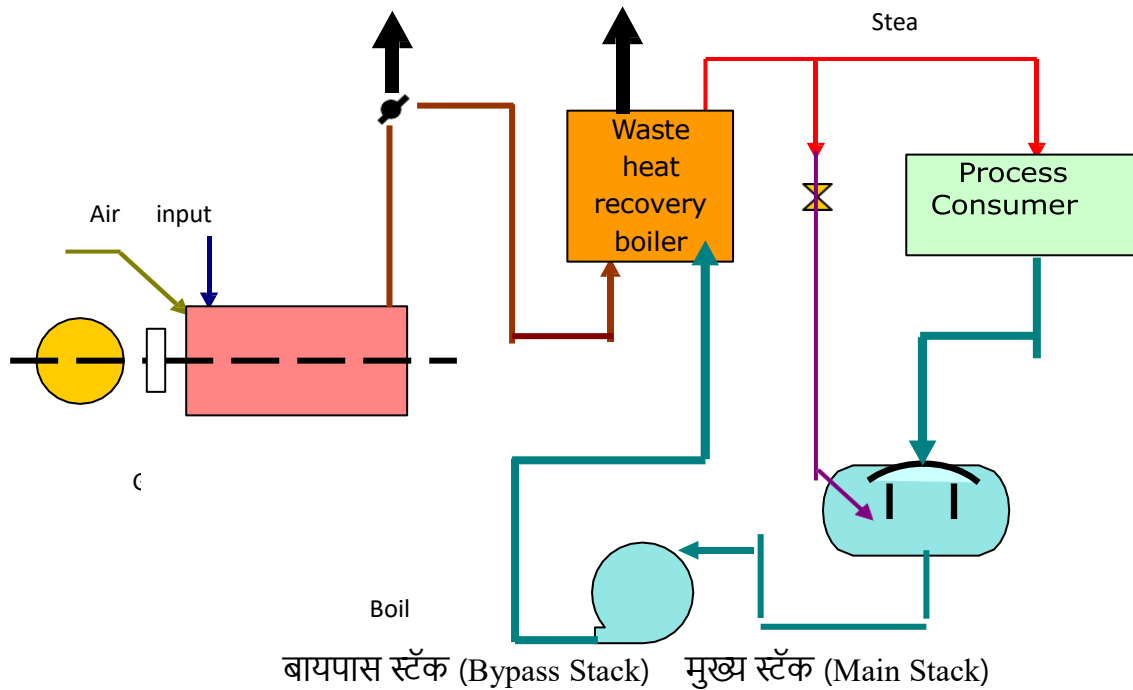


Figure 4.8: रेसिप्रोकटिंग इंजिन जनरेशन सिस्टिम विथ अनफायर्ड-आधारित को-WHRB (Unfired Waste Heat Recovery Boiler)

<https://martech.com.vn/en/news/boiler-technical-advice/steam-turbine-cogeneration-system.html>

सामान्यतः कमी गतीचे रेसिप्रोकटिंग इंजिन :हाय एफिशियन्सीसह उपलब्ध असतात मध्यम आणि .हाय गतीच्या इंजिनांचा वापर कोजनरेशन अनुप्रयोगांसाठी जास्त केला जातो-, कारण त्यांचे उत्सर्जन फ्ल्यू गॅस टेंपरेचर आणि प्रमाण जास्त असते जेव्हा डिझेल इंजिन एकटे पॉवर जनरेशनसाठी .चालवले जातात, तेव्हा इंधनाच्या एनर्जी प्रामुख्याने उत्सर्जन फ्ल्यू गॅसद्वारे नष्ट होते जनरेशन-को .सायकलामध्ये, इंजिन जॅकेट कूलिंग वॉटर आणि ल्यूब ऑइल कूलरमधील सर्व-हीट एनर्जी आणि उत्सर्जन गॅसमधील महत्वाचा भाग पुनर्प्राप्त केला जातो, ज्याचा वापर वाफ किंवा गरम पाणी तयार करण्यासाठी केला जातो यामुळे एकूण . सिस्टिम एफिशियंटता सुमारे 65-75% पर्यंत पोहोचते या .सिस्टिम चे कॉन्फिगरेशन Figure 4.8 मध्ये दाखवले आहे.

रेसिप्रोकटिंग इंजिन चक्रांची हीट रेट्स स्टीम टर्बाइन आणि गॅस टर्बाइन-आधारित को-जनरेशन सिस्टम्सच्या तुलनेत जास्त असतात. ही सिस्टिमविशेषतः त्या अनुप्रयोगांसाठी योग्य आहे जिथे इलेक्ट्रिसिटी उत्पादन आणि वाफ उत्पादनाचा अनुपात जास्त असावा लागतो.

याचा अर्थ, जेथे मोठ्या प्रमाणावर इलेक्ट्रिसिटी आवश्यक आहे आणि वाफाचा वापर कमी आहे, अशा उद्योगांसाठी रेसिप्रोकटिंग इंजिन-आधारित को-जनरेशन सिस्टम अधिक फायदेशीर ठरू शकते. यामध्ये इंजिनाचा इलेक्ट्रिसिटी उत्पादनावर लक्ष केंद्रित करून एनर्जी एफिशियंटता आणि खर्च कमी करता येतो.

रेसिप्रोकटिंग इंजिन फक्त हायड्रोकार्बन-आधारित इंधनांसह जाळले जाऊ शकतात, जसे की हाय-स्पीड डिझेल, लाइट डिझेल ऑइल, रेसिड्युअल प्यूल ऑइल्स, नैतिक गॅस इत्यादी. काही इंजिन्स अशा प्रकारे विकसित केले जातात की जिथे नैतिक गॅस थेट जाळला जाऊ शकतो.

वरील प्रमाणे, एकूण इंधन एफिशियन्सी कमी असल्यामुळे, या प्रणालीची आर्थिक दृष्टिकोनातून स्टीम टर्बाइन किंवा गॅस टर्बाइन-आधारित को-जनरेशन सिस्टम्सच्या तुलनेत स्थिती चांगली नाही, विशेषतः जिथे इलेक्ट्रिसिटी आणि वाफ सतत आवश्यक असतात.

याव्यतिरिक्त, डिझेल इंजिन्स जास्त देखभाल आणि निगराणी आवश्यक असतात, म्हणूनच त्यांचा सामान्यतः अंतराळात किंवा आपत्कालीन इलेक्ट्रिसिटी स्रोत म्हणून वापर केला जातो. हे डिझेल इंजिन-आधारित को-जनरेशन सिस्टम्सच्या व्यापक वापरात प्रमुख अडचणी निर्माण करणारे घटक आहेत.

कॅप्टिव्ह पॉवर प्लांटकंबाईंड हीट अँड पॉवर (CHP) सिस्टम (Captive Power Plant: Combined Heat and Power (CHP) System)

कंबाईंड हीट अँड पॉवर (CHP) प्रणाली: **Combined Heat and Power (CHP) System**: - जसे की आधीच स्पष्ट केले आहे, **CHP** सिस्टिमविश्लेषण करत असताना विचार करण्यासाठी दोन प्रकारच्या **CHP** संरचना आहेत, एक **Topping cycle** आणि दुसरा **Bottoming Cycle**. **Topping Cycle** हे त्याच्या नावापासून ओळखले जाते कारण हे इलेक्ट्रिसिटी उत्पादन करणारी सिस्टिम एनर्जी स्रोताची मुख्य, किंवा हाय, वापरकर्ता असते प्रणालीतील इतर . एनर्जी वापरकर्त्यांना या प्रकरणात—हीट वापरकर्त्यांना शिल्लक—हीट नेच काम चालवावे लागते एक सामान्य . या प्रकारच्या प्रणालीत, एक इलेक्ट्रिसिटी निर्माण करणारी सिस्टिम जसे की **Gas Turbine, Reciprocating Engine** वापरली जाते जी इलेक्ट्रिसिटी निर्माण करते आणि नंतर त्या प्रणालीद्वारे निर्माण झालेल्या हीट ला नासमझी म्हणून फेकले जाते ती . हीट कॅप्चर केली जाते आणि **Steam**, प्रक्रिया हीट, किंवा **Space Heating** आणि **Hot Water** साठी वापरली जाते या प्रकारच्या : सामान्यतः . प्रणालीत, पॉवर निर्माणानंतर उपलब्ध होणारी हीट तुलनेत कमी दर्जाची असते तथापि ., अशा प्रकारच्या प्रणालींना डिझाइन करणे शक्य आहे ज्याद्वारे हाय दर्जाची हीट किंवा **Steam** प्राप्त होऊ शकते, जेव्हा हीट आणि पॉवर यामधील संतुलन समायोजित केले जाते.

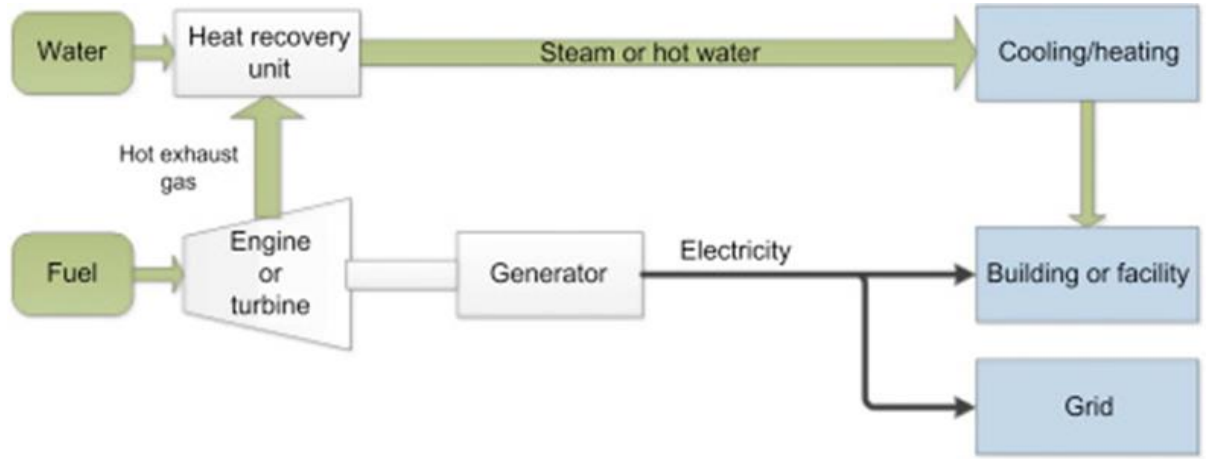


Figure 4.9: कम्बाईन हीट आणि इलेक्ट्रिसिटी (Combined Heat and Power - CHP) प्रणाली

<https://inoplex.com.au/information/what-is-the-difference-between-topping-and-bottoming-cycle-chp>

एक कॅप्टिव्ह Combined Heat and Power (CHP) प्रणाली, जी cogeneration म्हणून देखील ओळखली जाते, एकाच इंधन स्रोतापासून इलेक्ट्रिसिटी आणि उपयोगी हीट एनर्जी (heat) निर्माण करते, जी वापरकर्त्याच्या सुविधेजवळ किंवा त्याच्यापासून मिळवली जाते. पारंपरिक एनर्जी उत्पादनात, इंधनातून मिळालेल्या एनर्जीचा साधारणपणे दोन-तृतीयांश भाग कचऱ्याच्या हीटसारखा गहाण जातो. CHP प्रणाली, या हीटला कॅप्चर करून आणि वापरून, साधारणतः 65% ते 80% पर्यंत एकूण एनर्जी एफिशियंटता प्राप्त करू शकते, जे पारंपरिक प्रणालींच्या 50% किंवा त्यापेक्षा कमी एफिशियन्सीच्या तुलनेत खूप अधिक आहे. कॅप्टिव्ह पॉवर प्लांट्ससाठी, एक CHP सिस्टिमसमाकलित केल्याने मोठ्या व्यावसायिक, औद्योगिक आणि संस्थात्मक वापरकर्त्यांना त्यांच्या स्वतःच्या इलेक्ट्रिसिटी निर्मितीने एनर्जी खर्च कमी करण्यास आणि पॉवर विश्वसनीयता वाढविण्यास मदत होते.

CHP सिस्टिम कशी कार्य करते

CHP सिस्टिम एकाच इंधन स्रोताचा वापर करून एक प्रमुख गती मिळवणारी यंत्रणा (prime mover) चालवते, जी जनरेटरला चालवून इलेक्ट्रिसिटी तयार करते. त्याच्या हाय एफिशियन्सीचे मुख्य कारण त्यात समाविष्ट केलेली हीट पुनर्प्राप्ती सिस्टिम आहे.

इंधन आणि प्रमुख गती मिळवणारी यंत्रणा (Prime Mover): नैतिक गॅस, बायोमास किंवा बायोगॅस यासारखे इंधन, एक प्रमुख गती मिळवणारी यंत्रणा चालवण्यासाठी वापरले जाते, जसे की रिसिप्रोकटिंग इंजिन, ज्वाला टर्बाइन (combustion turbine), किंवा वाफ टर्बाइन (steam turbine).

1. **इलेक्ट्रिसिटी निर्मिती:** प्रमुख गती मिळवणारी यंत्रणा जनरेटरला फिरवते, ज्यामुळे सुविधेच्या आवश्यकतेसाठी इलेक्ट्रिसिटी तयार केली जाते
2. **हीट पुनर्प्राप्ती:** या प्रक्रियेतून तयार होणारी हीट, जसे की इंजिनचे उत्सर्जन (engine exhaust) किंवा जॅकेट पाणी (jacket water) यांसारख्या स्रोतांमधून, एक हीट पुनर्प्राप्ती यंत्रणा (heat recovery unit) द्वारा संकलित केली जाते.

3. **उपयुक्त हीट एनर्जी:** संकलित केलेली हीट उपयुक्त हीट एनर्जीत रूपांतरित केली जाते, सामान्यतः वाफ (steam), उबदार पाणी (hot water), किंवा अगदी थंड पाणी (chilled water) म्हणून (ट्रायजनरेशन प्रणालीमध्ये).
4. **अर्ज:** इलेक्ट्रिसिटी सुविधेला शक्ती पुरवण्यासाठी वापरली जाते, तर हीट एनर्जी जागेचे उबवण्यासाठी, औद्योगिक प्रक्रिया, घरगुती उबदार पाणी, किंवा एअर कंडिशनिंगसाठी वापरली जाऊ शकते.

4.4 टॅरिफ (Tariff):

4.4.1 एनर्जी संवर्धनाच्या दृष्टीकोनातून संकल्पना (Concept from the Point of View of Energy Conservation):

एनर्जी संवर्धनाच्या दृष्टिकोनातून, या संकल्पनेचे दोन वेगवेगळे पण संबंधित अर्थ आहेत:

एनर्जी नेहमीच संरक्षित राहते हे सिद्धांतिक कायदा आणि एनर्जी वापर कमी करण्यासाठी केलेली व्यावहारिक प्रयत्न.

एनर्जीचे संरक्षण कायदा (scientific principle).

हे भौतिकशास्त्राचा एक मूलभूत सिद्धांत आहे जो सांगतो की एनर्जी निर्माण केली जाऊ शकत नाही किंवा नष्ट केली जाऊ शकत नाही; ती फक्त एका रूपातून दुसऱ्या रूपात रूपांतरित केली जाऊ शकते.

4.4.2 टॅरिफ स्ट्रक्चरचे प्रकार (Types of tariff structure)

टॅरिफ (Tariff): इलेक्ट्रिसिटी एनर्जी (electricity) मध्ये, टॅरिफ म्हणजे ते पद्धत किंवा रेट (rate) ज्याचा वापर पुरवठादार (suppliers) ग्राहकांना इलेक्ट्रिसिटी एनर्जी वापरासाठी शुल्क (charge) लावण्यासाठी करतात. हे म्हणजे इलेक्ट्रिसिटीसाठी किंमत (price) आहे जी उत्पादन (producing), ट्रान्समिशन (transmitting), आणि वितरण (distributing) खर्च, आणि यूटिलिटी कंपनीसाठी योग्य नफा (profit) समाविष्ट करते. टॅरिफ विविध घटकांवर आधारित बदलू शकतात जसे की वापराचे प्रमाण (consumption levels), दिवसभरातील वेळ (time of day), ग्राहकांचा प्रकार (consumer type), आणि इतर तांत्रिक तपशील (technical details), ज्याचे उद्दिष्ट योग्य किमतीची (fair pricing) सुनिश्चिती करणे आणि एफिशियंट वापर (efficient usage) प्रोत्साहन देणे आहे.

टॅरिफ स्ट्रक्चरचे प्रकार (Types of tariff structures)

टॅरिफ संरचना (tariff structures) खूप विविध असू शकतात, परंतु सामान्य प्रकार (common types) मध्ये फ्लॅट रेट टॅरिफ (flat rate), टू पार्ट (two-part), ब्लॉक मीटर (block meter), आणि पीक लोड (peak load) टॅरिफ समाविष्ट आहेत, मुख्यतः इलेक्ट्रिसिटी रेट (electricity pricing) मध्ये वापरले जातात.

१. फ्लॅट रेट टॅरिफ (Flat Rate Tariff)

व्याख्या (Definition): फ्लॅट रेट टॅरिफ टॅरिफ ग्राहकांना वापरलेल्या विद्युत (electricity) युनिटप्रमाणे एक निश्चित किंमत (fixed price) आकारतो, वापराच्या प्रमाणाची पर्वाह न करता.

वापर (Usage): सामान्यतः निवासस्थानिक ग्राहकांसाठी (residential consumers) वापरला जातो, हा टॅरिफ सोपा आणि समजायला सोपा आहे, पण तो एनर्जी कंझर्वेशन (energy conservation) प्रोत्साहन देत नाही.

२. टू पार्ट टॅरिफ (Two-Part Tariff)

व्याख्या (Definition): या टॅरिफमध्ये दोन घटक (components) असतात: एक निश्चित शुल्क (fixed charge) आणि एक बदलणारे शुल्क (variable charge) जे वापरावर आधारित असते.

वापर (Usage): यामुळे यूटिलिटीज (utilities) निश्चित खर्च (fixed costs) पुन्हा मिळवू शकतात, आणि

ग्राहकांना त्यांच्यापर्यंत असलेल्या वास्तविक वापरावर आधारित शुल्क आकारले जातात, ज्यामुळे हे दोन्ही पक्षांसाठी अधिक न्याय्य (fair) ठरते.

३. ब्लॉक मीटर रेट टॅरिफ (Block Meter Rate Tariff)

व्याख्या (Definition): या संरचनेमध्ये, एनर्जी वापर (energy consumption) ब्लॉक्समध्ये (blocks) विभागला जातो, आणि प्रत्येक ब्लॉकला वेगवेगळ्या रेट (rate) असतो. पहिला ब्लॉक सामान्यतः सर्वात हाय रेट असतो, आणि नंतरच्या ब्लॉक्समध्ये रेट कमी होतो.

वापर (Usage): हा टॅरिफ ग्राहकांना त्यांच्या वापराला कमी-खर्ची ब्लॉक्समध्ये (lower-cost blocks) मर्यादित ठेवण्यासाठी प्रोत्साहित करतो, ज्यामुळे एनर्जी कंजर्वेशन (energy conservation) चालना मिळते.

४. पीक लोड टॅरिफ (Peak Load Tariff)

व्याख्या (Definition): या टॅरिफमध्ये पीक मागणीच्या (peak demand) काळात जास्त रेट (higher rates) आणि ऑफ-पीक (off-peak) वेळात कमी रेट (lower rates) आकारले जातात.

वापर (Usage): हे मागणीचे (demand) व्यवस्थापन करण्यासाठी आणि ग्राहकांना ऑफ-पीक तासांमध्ये (off-peak hours) इलेक्ट्रिसिटी (electricity) वापरण्यास प्रोत्साहित करण्यासाठी डिझाइन केले आहे, ज्यामुळे ग्रिडवर (grid) लोड संतुलित (balance) ठेवता येतो.

५. सिजनल रेट टॅरिफ (Seasonal Rate Tariff)

व्याख्या (Definition): या प्रकारच्या टॅरिफमध्ये रेट (rates) सिजनवर (season) आधारित बदलतात, आणि पीक (peak) आणि ऑफ-पीक (off-peak) हंगामांमध्ये वेगळे रेट लागू केले जातात.

वापर (Usage): हा टॅरिफ विशेषतः कृषी क्षेत्रात (agricultural sectors) वापरला जातो, जिथे इलेक्ट्रिसिटी (electricity) मागणी हंगामानुसार बदलते.

६. पॉवर फॅक्टर टॅरिफ (Power Factor Tariff)

व्याख्या (Definition): या टॅरिफमध्ये कमी पॉवर फॅक्टर (low power factor) असलेल्या ग्राहकांना दंड (penalizes) लावला जातो, आणि त्यांना त्यांच्या पॉवर फॅक्टर (power factor) मध्ये सुधारणा (improve) करण्यासाठी प्रोत्साहित केले जाते, ज्यामुळे खर्च (costs) कमी होऊ शकतात.

वापर (Usage): हे सामान्यतः औद्योगिक ग्राहकांसाठी (industrial consumers) वापरले जाते, जे इंडक्टिव लोड्स (inductive loads) वापरतात.

निष्कर्ष (Conclusion)

टॅरिफ संरचनांच्या (tariff structures) विविध प्रकारांचे समजून घेणे ग्राहकांसाठी (consumers) आणि व्यवसायांसाठी (businesses) त्यांच्या एनर्जी खर्चाचे (energy costs) प्रभावी व्यवस्थापन (manage) करण्यासाठी आवश्यक आहे प्रत्येक टॅरिफ प्रकाराचे. आपले फायदे आणि तोटे असतात, जे ग्राहकांच्या वर्तन (consumer behaviour) आणि एनर्जी वापराच्या (energy consumption patterns) पद्धतींवर प्रभाव टाकतात योग्य टॅरिफ निवडून, ग्राहक त्यांच्या इलेक्ट्रिसिटी (electricity) वापराचा (usage) सर्वोत्तम वापर (optimize) करू शकतात आणि त्यांचे बिल कमी (reduce bills) करण्यास मदत करू शकतात.

4.4.3 इलेक्ट्रिसिटी टॅरिफचे प्रकार (LT आणि HT)

टॅरिफचे प्रकार (Types of Tariffs):

(a) सिम्पल रेट टॅरिफ (Simple rate tariff)

(b) ब्लॉक रेट टॅरिफ (Block rate tariff)

(c) टू पार्ट टॅरिफ (Two part tariff)

(d) मॅक्सिमम डिमांड टॅरिफ (Maximum demand tariff)

- (e) पॉवर फॅक्टर टॅरिफ (Power factor tariff)
- (f) थ्री पार्ट टॅरिफ (Three-part tariff)
- (g) टाईम ऑफ दिवस टॅरिफ-Time-off day tariff)
- (h) पीक ऑफ दिवस टॅरिफ-Peak-off day tariff)
- (i) लोड फॅक्टर टॅरिफ (Load factor tariff)
- (j) उपलब्धता आधारित टॅरिफ (Availability Base Tariff - ABT)

या टॅरिफ्सचा अभ्यास (Study of these tariffs):

ग्राहकावर शुल्क आकारण्याचे (charging a consumer) अनेक प्रकार आहेत, परंतु खालील सर्वसाधारण पद्धती (general methods) सामान्यतः वापरल्या जातात:

- (a) सिम्पल फ्लॅट रेट टॅरिफ (Simple flat rate tariff)
- (b) ब्लॉक रेट टॅरिफ (Block rate tariff)
- (c) टू पार्ट टॅरिफ (Two-part tariff)
- (d) मॅक्सिमम डिमांड टॅरिफ (Maximum demand tariff)

- (e) पॉवर फॅक्टर टॅरिफ (Power factor tariff)
- (f) थ्री पार्ट टॅरिफ (Three-part tariff)

(a) फ्लॅट रेट टॅरिफ (Flat rate tariff):

- हे ग्राहकाला शुल्क आकारण्याचा (charging a consumer) एक साधा (simple) मार्ग आहे या पद्धतीत . ग्राहकावर एनर्जी बिल (energy bill) आकारले जाते, जे एनर्जी शुल्क (energy charges) प्रति युनिट (per unit) आणि ग्राहकाने वापरलेली एकूण युनिट्स (total number of units) यांचा गुणाकार (multiplying) असतो.
- या टॅरिफचा वापर घरगुती लाईट आणि पंखा (light and fan) ग्राहकांसाठी आणि शक्ती (power) यासाठी वेगवेगळ्या दरांवर (different rates) केला जाऊ शकतो.
- या टॅरिफच्या प्रकाराचा मुख्य तोटा (disadvantage) म्हणजे, जर ग्राहक एका विशिष्ट कालावधीत (certain period) कोणतीही एनर्जी वापरत नसेल, तर त्याच्यावर शुल्क आकारले जाणार नाही, जरी संयंत्राने त्यासाठी काही स्थापित क्षमता (installed capacity) राखून ठेवली असेल.

(b) ब्लॉक रेट टॅरिफ (Block rate tariff):

- या प्रकारच्या टॅरिफमध्ये ग्राहकाला ब्लॉक्स (blocks) मध्ये शुल्क आकारले जाते सामान्यतः ., पहिले काही युनिट्स (units) जास्त रेट (high rate) मध्ये आकारले जातात, नंतर दुसऱ्या ब्लॉकमधील काही युनिट्स कमी रेट (low rate) मध्ये आणि तिसऱ्या ब्लॉकमधील उर्वरित युनिट्स (remaining units) कमी रेट (reduced rate) मध्ये आकारले जातात.
- महाराष्ट्रात, इलेक्ट्रिसिटी बोर्ड (electricity board) या प्रकारच्या टॅरिफचा वापर करतो, पण उलट पद्धतीने (reverse manner), ज्यामुळे लाईट आणि पंख्यांच्या (light and fan) लोड्सचा वापर कमी होईल ते पहिले . ब्लॉक कमी दरात (low rate) आकारते आणि नंतरच्या ब्लॉक्समध्ये रेट वाढवते (rate increases).
- उदाहरणसमजा ., एक ग्राहक १०० युनिट्स वापरतो त्याला पहिले २० युनिट्स ₹३ प्रति युनिट -/per unit) दराने आकारले जाऊ शकतात, नंतरचे ३० युनिट्स ₹२ प्रति युनिट दराने आणि उर्वरित युनिट्स -/₹१ -/₹०. प्रति युनिट दराने आकारले जातात
- या प्रकारच्या टॅरिफचा फायदा (advantage) म्हणजे, जर ग्राहक अधिक एनर्जी वापरतो, तर त्याला कमी रेट

(low rate) आकारला जातो, ज्यामुळे सिस्टमचा लोड फॅक्टर (load factor) वाढतो आणि परिणामी उत्पादन खर्च (cost of generation) कमी होतो.

- या प्रकारच्या टॅरिफचा तोटा (disadvantage) म्हणजे, तो ग्राहकाच्या अधिकतम मागणी (Maximum Demand - M.D.) चा विचार (does not take into account) घेत नाही.

(c) टू पार्ट टॅरिफ (Two-part tariff):

- टू पार्ट टॅरिफमध्ये, ग्राहकाला त्याचा इलेक्ट्रिसिटी बिल (electricity bill) भरणे लागते, जे दोन भागांमध्ये विभागलेले असते एक भाग म्हणजे .एनर्जी शुल्क (energy charges) जो ग्राहकाच्या अधिकतम मागणी (maximum demand - M.D.) वर आधारित असतो, आणि दुसऱ्या भागात असतो त्या ग्राहकाने वास्तविक वापरलेल्या एनर्जी (actual energy consumed) वर आधारित एनर्जी शुल्क (energy charges).
- गणितीय (Mathematically) प्रमाणे, एकूण शुल्क (Total charges) = $A \times kW + B \times kWh$.
- kW M.D. आणि kWh वापरलेल्या एनर्जी (consumed energy) चे शुल्क फ्लॅट रेट टॅरिफ (flat rate) किंवा ब्लॉक रेट (block rate) प्रकाराचे असू शकते या .सिस्टीमला (system) ग्राहकाच्या ठिकाणी M.D. निर्देशक (M.D. indicator) स्थापित करणे आवश्यक आहे, म्हणून या प्रकारचा टॅरिफ मोठ्या आणि मध्यम आकाराच्या उद्योगांसाठी (large and medium scale industries) उपयुक्त ठरेल.
- जेव्हा M.D. स्थापित केलेला (installed) नाही, तेव्हा ग्राहकाच्या जोडलेल्या लोड (connected load) वरून काही आर्बिट्ररी (arbitrary) पद्धतीने ग्राहकाचा M.D. ठरवला जातो आणि बिलिंग त्याच प्रमाणे M.D. नुसार आकारले जाते.

(d) मॅक्सिमम डिमांड टॅरिफ (Maximum demand tariff):

- हे टू पार्ट टॅरिफसारखेच आहे, ज्यामध्ये एनर्जी शुल्क (energy charges) ग्राहकाच्या अधिकतम मागणी (M.D.) आणि ग्राहकाने वास्तविक वापरलेली एनर्जी (actual energy consumed) यावर आधारित गणले जाते.
- या प्रकारच्या टॅरिफमध्ये, ग्राहकाच्या ठिकाणी एक M.D. निर्देशक (M.D. indicator) स्थापित केला जातो आणि M.D. गणण्यासाठी कोणतीही आर्बिट्ररी (arbitrary) पद्धत वापरली जात नाही.
- हा टॅरिफ मोठ्या उद्योगांसाठी (big industries) वापरला जात तो लहान ग्राहकांसाठी (small consumers) आणि घरगुती लाईट आणि पंखा (domestic light and fan connections) कनेक्शन्ससाठी योग्य नाही, कारण अशा ग्राहकांसाठी M.D. निर्देशक (M.D. indicator) ची किंमत एनर्जी बिलाच्या (energy bill) तुलनेत खूप जास्त असेल, ज्यामुळे त्यांना ते परवडणारे नाही.

(e) पॉवर फॅक्टर टॅरिफ (Power factor tariff):

- ग्राहकाचा कमी पॉवर फॅक्टर (low p.f.) अधिक वर्तमान (high current) आवश्यक करतो, संयंत्राची क्षमता (capacity of plant) वाढवतो, यंत्रांची आणि उपकरणांची एफिशियंटता (efficiency of machines and equipment) कमी करतो, इत्यादी. म्हणून, हे आवश्यक आहे की ग्राहकाला हाय पॉवर फॅक्टर (high power factor) वापरण्यास प्रोत्साहित केले जावे, अन्यथा त्याला जास्त शुल्क (charged more) आकारले जाईल.
- हे पुरवठा संस्था (supply agency) ला पॉवर फॅक्टर (p.f.) आधारित टॅरिफ (p.f. based tariff) तयार करण्यास भाग पाडते.

पॉवर फॅक्टर टॅरिफचे प्रकार (Types of p.f. tariff):

- (i) KVA मॅक्सिमम डिमांड टॅरिफ (KVA maximum demand tariff)
- (ii) स्लाइडिंग स्केल टॅरिफ (Sliding scale tariff)
- (iii) kWh आणि KVAR टॅरिफ (kWh and KVAR tariff)

(i) KVA मॅक्झिमम डिमांड टॅरिफ (KVA maximum demand tariff):

हा टॅरिफ टू पार्ट टॅरिफचा (two-part tariff) एक सुधारित (modification) प्रकार आहे. यामध्ये एक भाग म्हणजे ग्राहकाच्या KVA मॅक्झिमम डिमांड (KVA maximum demand) नुसार आकारलेले एनर्जी शुल्क (energy charge). KVA मॅक्झिमम डिमांडकमी करण्यासाठी, ग्राहक हाय पॉवर फॅक्टर (high p.f.) वापरणाऱ्या यंत्रांचा (machines) आणि उपकरणांचा (equipment) वापर करेल किंवा पॉवर फॅक्टर सुधारणारी सिस्टिम (pf improving system) वापरेल. दुसरा भाग म्हणजे ग्राहकाने वास्तविक वापरलेली एनर्जी (actual energy consumed) नुसार आकारलेले एनर्जी शुल्क (energy charges). या टॅरिफमध्ये, ब्लॉकरेट (block rate) देखील लागू केला जाऊ शकतो.

(ii) स्लाइडिंग स्केल टॅरिफ (Sliding scale tariff):

या प्रकारच्या टॅरिफमध्ये, पुरवठा संस्था (supply agency) एक निश्चित पॉवर फॅक्टर (datum value of p.f.) निर्धारित करते आणि ग्राहकाला त्या पॉवर फॅक्टरवर (pf) एनर्जी वापरल्यावर एक निश्चितरेट (certain rate) आकारला जातो. पण, जर ग्राहकाचा पॉवर फॅक्टर (p.f.) त्या निश्चित मूल्यापेक्षा कमी (less) असेल, तर त्याला दंड (penalized) आकारला जातो. त्याच वेळी, जर ग्राहकाने त्या निश्चित पॉवर फॅक्टरपेक्षा हाय (higher) पॉवर फॅक्टर वापरला, तर त्याला एनर्जी बिलात (energy bill) काही सूट (discount) दिली जाते.

(iii) kWh आणि KVAR टॅरिफ (KWh and KVAR tariff):

हा KVA मॅक्झिमम डिमांड टॅरिफ (KVA maximum demand tariff) प्रमाणेच आहे. या प्रकारात, ग्राहकाला KVAR आणि वास्तविक एनर्जी वापर (actual energy consumption) यांच्या आधारावर शुल्क (charged) आकारले जाते. जर पॉवर फॅक्टर (p.f.) कमी (low) असेल, तर KVAR जास्त (high) होईल, त्यामुळे ग्राहकाला अधिक शुल्क (pay more) भरावे लागेल.

(iv) थ्री पार्ट टॅरिफ (Three-part tariff):

हा टॅरिफ टू पार्ट टॅरिफचा (two-part tariff) एक सुधारित (modification) प्रकार आहे. यामध्ये ग्राहकावर बिल आकारण्यासाठी तीन घटक (components) असतात: एक निश्चित शुल्क (fixed charge), अर्ध-निश्चित शुल्क (semi-fixed charge), आणि चालू शुल्क (running charge).

गणितीय (Mathematically):

एनर्जी बिल (Energy bill) = ₹ (A + B x kW + C x kWh)

जिथे,

A = निश्चित शुल्क (Fixed charge), ज्यामध्ये एनर्जी वितरण (distribution of energy) च्या खर्चावर (cost) व्याज (interest) आणि ह्रास (depreciation) आणि बिल गोळा करण्यासाठी अधिकारी कर्मचार्यांचे (official staff) कामकाजी खर्च (labour cost) समाविष्ट असतो.

B = M.D. च्या प्रत्येक kW साठी शुल्क (Charge per kW of M.D.)

C = वापरलेल्या एनर्जी (energy consumed) च्या प्रत्येक kWh साठी शुल्क (Charge per kWh)

हा प्रकारचा टॅरिफ मोठ्या ग्राहकांसाठी (very big consumers) लागू केला जातो.

4.4.4 (i) टाइम-ऑफ-डे टॅरिफ (Time-off-day tariff):

• टाइम ऑफ डे टॅरिफ- (Time-off-day tariff) टाइम ऑफ यूसेज (TOU) मिटरिंगचा वापर करतो, ज्यामध्ये दिवस, महिना आणि वर्षाचे विभाजन टॅरिफ स्लॉट्समध्ये केले जाते.

• त्यानंतर हायरेटलागू केले जातात जेव्हा एनर्जी पिक लोड (peak load) कालावधीत वापरली जाते आणि कमीरेटलागू केले जातात जेव्हा एनर्जी ऑफ पीक लोड (off-peak load) कालावधीत वापरली जाते.

• यामुळे उपभोक्ता पिक तासांमध्ये (peak hours) त्याची लोड डिमांड कमी करण्याचा प्रयत्न करतो, ज्यामुळे

त्याच्या एनर्जी बिलांची बचत होते, तसेच स्टेशनवरील लोड कमी होतो, जे पिक लोड (peak load) कमी करतो, ज्यामुळे ट्रान्समिशन (transmission), डिस्ट्रीब्युशन (distribution) आणि अन्य पावर सप्लाय सिस्टीमच्या इन्फ्रास्ट्रक्चर (infrastructure) च्या नियोजनात मदत होते.

- यासाठी डोमेस्टिक व्हेरिएबल रेट मिटर (domestic variable rate meters) वापरता येऊ शकतात, जे दोन टॅरिफ्स म्हणजे पिक टॅरिफ (peak tariff) आणि ऑफ पीक टॅरिफ (off-peak tariff) अनुमती देतात अशा . इंस्टॉलेशनमध्ये, साधे इलेक्ट्रो मॅकेनिकल टाइम स्विच (electro-mechanical time switch) वापरले जाऊ शकते.

4.4.5 (ii) पीक ऑफ डे टॅरिफ (Peak-off-day tariff):

या प्रकारच्या टॅरिफमध्ये, उपभोक्त्यांना दिवसाच्या पीक-ऑफ (peak-off) कालावधीत इलेक्ट्रिसिटी दिली जाते, जेणेकरून कमी लोडवर काम करणारी जनरेशन प्लांट्स (generating plants) हाय लोडवर काम करू शकतील, ज्यामुळे जनरेशनचा खर्च कमी होईल.

- ज्यावेळी उपभोक्ते ऑफ-पीक लोड्स (off-peak loads) दरम्यान एनर्जी वापरतात, त्यांना कमी दराने शुल्क आकारले जाऊ शकते.
- अशा परिस्थितीत, एक टाइमर स्विच (timer switch) आणि एनर्जी मीटर (energy meter) प्रदान केले जाऊ शकते, ज्यामुळे पीक तासांमध्ये (peak hours) उपभोक्त्याला इलेक्ट्रिसिटी पुरवठा बंद केला जाईल.

4.4.6 टाइम ऑफ डे (ToD) टॅरिफ (Time of Day Tariff):

टाइम ऑफ डे (ToD) टॅरिफ (Time of Day Tariff) वितरण लाइसेन्सी (distribution licensees) ने त्याच्या उपभोक्त्यांना संबंधित उपयुक्त कमिशन (Appropriate Commission) द्वारा मंजूर केलेल्या दरानुसार लागू केला जातो.

सर्वाधिक राज्यांमध्ये ToD टॅरिफ व्यावसायिक (Commercial) आणि औद्योगिक (Industrial) उपभोक्त्यांसाठी लागू आहे. काही राज्यांमध्ये ToD टॅरिफ इतर वर्गांसाठी, उदाहरणार्थ, घरगुती (domestic) आणि कृषी (agricultural) उपभोक्त्यांसाठी देखील लागू आहे.

संचार मंत्रालयाने 2023 मध्ये इलेक्ट्रिसिटी (कंज्युमर्सचे हक्क) Amendment) Rules, 2023 जारी केले आहेत, ज्यामध्ये टाइम ऑफ डे (ToD) टॅरिफ साठी संबंधित नियम देखील नमूद केले गेले आहेत या . नियमांची मुख्य वैशिष्ट्ये पुढीलप्रमाणे आहेत

ज्यांचे अधिकतम डिमांड (Maximum Demand) 10 kW पेक्षा जास्त आहे, अशा व्यावसायिक (Commercial) आणि औद्योगिक (Industrial) उपभोक्त्यांसाठी ToD टॅरिफ 1 एप्रिल 2024 पर्यंत लागू केला जाईल. आणि इतर सर्व उपभोक्त्यांसाठी, कृषी (Agricultural) उपभोक्त्यांना वगळून, ToD टॅरिफ 1 एप्रिल 2025 पर्यंत लागू केला जाईल.

ToD टॅरिफ उपभोक्त्यांसाठी स्मार्ट मीटर (smart meters) ची स्थापना झाल्यानंतर त्वरित लागू केला जाईल. दिवसाच्या पीक कालावधीत (peak period) व्यावसायिक (Commercial) आणि औद्योगिक (Industrial) उपभोक्त्यांसाठी ToD टॅरिफ सामान्य टॅरिफच्या (normal tariff) 1.20 पट (times) पेक्षा कमी असू शकत नाही, आणि इतर उपभोक्त्यांसाठी कृषी उपभोक्त्यांनाही वगळता ToD टॅरिफ सामान्य टॅरिफच्या 1.10 पट पेक्षा कमी असू शकत नाही.

दिवसाच्या सोलर तासांसाठी (solar hours) राज्य आयोग (State Commission) द्वारा निर्दिष्ट केलेला टॅरिफ संबंधित उपभोक्त्यांच्या सामान्य टॅरिफच्या (normal tariff) किमान वीस टक्के (20%) कमी असावा.

ToD टॅरिफ सामान्य टॅरिफच्या एनर्जी शुल्क घटकावर (energy charge component) लागू होईल.

ToD टॅरिफ सिस्टिमवापरण्याचे उपभोक्त्यांसाठी फायदे खालीलप्रमाणे आहेत:

ToD टॅरिफ, ज्यामध्ये पीक तासां (peak hours), सोलर तासां (solar hours) आणि सामान्य तासां (normal hours) साठी वेगवेगळे टॅरिफ्स दिले जातात, उपभोक्त्यांना त्यांच्या लोडचे व्यवस्थापन टॅरिफनुसार करण्यास प्रोत्साहित करतो सोलर तासांमध्ये सामान्य टॅरिफच्या तुलनेत किमान .20% कमीरेटलागू केला जातो, ज्यामुळे उपभोक्त्याला कमी इलेक्ट्रिसिटीरेटअसलेल्या सोलर तासांमध्ये इलेक्ट्रिसिटी वापरण्याचा पर्याय मिळतो आणि त्यांना त्याचा आर्थिक लाभ होऊ शकतो.

ToD टॅरिफ प्रणालीची जागरूकता आणि प्रभावी उपयोगामुळे, उपभोक्ते त्यांच्या इलेक्ट्रिसिटी वापरावर होणारा खर्च कमी करू शकतात.

ही सिस्टिमएनर्जी निर्मिती क्षमता (Generation Capacity) अधिक एफिशियन्सीने ऑप्टिमाइझ करते, यामुळे एनर्जी वितरण कंपन्यांना लोड आणि एनर्जी निर्मितीचे संतुलन (load-generation balance) राखण्यात मदत होतेतसेच, पीक लोड (Peak Load) पूर्ण करण्यासाठी महागड्या वीजाची (costly power) व्यवस्था करण्यावरचा आर्थिक दबाव कमी होतो, ज्यामुळे शेवटी अंतिम उपभोक्त्यांना फायदा होतो.

हे नवीकरणीय एनर्जी (Renewable Energy) उत्पादनातील उतार-चढावांचे व्यवस्थापन सुधारते आणि नवीकरणीय एनर्जी उत्पादनाच्या कालावधीत जास्त इलेक्ट्रिसिटी वापर करण्यासाठी उपभोक्त्यांना प्रेरित करते. यामुळे, उपभोक्त्यांना विश्वसनीय (reliable) आणि स्वच्छ इलेक्ट्रिसिटी (cleaner power) अधिक सोयीस्कर दरांवर उपलब्ध होते, जे त्यांना फायदेशीर ठरते.

यामुळे, नवीकरणीय एनर्जी वापर वाढवला जातो, आणि इलेक्ट्रिसिटी पुरवठा अधिक स्थिर व पर्यावरणपूरक होतो. उपभोक्त्यांना स्वच्छ इलेक्ट्रिसिटी मिळवून देण्याचा हा एक प्रभावी मार्ग आहे, ज्यामुळे पर्यावरणीय फायदाही मिळतो.

दिवसाच्या पीक कालावधीत, व्यावसायिक (Commercial) आणि औद्योगिक (Industrial) उपभोक्त्यांसाठी ToD टॅरिफ सामान्य टॅरिफच्या (normal tariff) 1.20 पट (times) पेक्षा कमी असू शकत नाही, आणि इतर उपभोक्त्यांसाठी (कृषी उपभोक्त्यांना वगळून) ToD टॅरिफ सामान्य टॅरिफच्या 1.10 पट (times) पेक्षा कमी असू शकत नाही.

4.4.7 पॉवर फैक्टर टॅरिफ (Power Factor Tariff) एक प्रकारचा इलेक्ट्रिसिटी टॅरिफ आहे जो लोडच्या पॉवर फैक्टरवर आधारित असतो, आणि उपभोक्त्यांना त्यांचा पॉवर फैक्टर (Power Factor) सुधारण्यास प्रोत्साहित करतो, ज्यामुळे त्यांचे इलेक्ट्रिसिटी खर्च कमी होऊ शकतात.

पॉवर फैक्टर समजून घेणे (Understanding Power Factor)

पॉवर फैक्टर (Power Factor): हे एक माप आहे जे दर्शवते की इलेक्ट्रिसिटीएनर्जी किती प्रभावीपणे उपयोगी कामात रूपांतरित केली जात आहे.

- **पॉवर फैक्टर 1 (100%)** म्हणजे सर्व पुरवठा केलेली एनर्जी प्रभावीपणे वापरली जात आहे. याचा अर्थ, संपूर्ण एनर्जी एफिशियन्सीने काम करत आहे आणि तिथे कोणतीहीएनर्जीगमावलेली नाही.
- **तयार पॉवर फैक्टर कमी असणे** म्हणजे प्रणालीत अएफिशियन्सीची (inefficiencies) असणे, ज्याचे मुख्य कारण सहसा **रिएक्टिव्ह पॉवर (reactive power)** असतो. रिएक्टिव्ह पॉवर म्हणजेएनर्जीजी जास्तीत जास्त काम करण्यासाठी वापरली जात नाही, परंतु ती इलेक्ट्रिसिटी प्रणालीमध्ये फिरते राहते, आणि ती वापरकर्त्याला कार्यप्रदर्शनाच्या दृष्टीने लाभदायक ठरत नाही.

पॉवर फैक्टर टॅरिफ कसा काम करतो (How Power Factor Tariff Works)

टॅरिफ संरचना (Tariff Structure):

पॉवर फैक्टर टॅरिफ सामान्यतः दोन्ही – **वास्तविक एनर्जी (real power)** (kWh) आणि **दृश्य एनर्जी (apparent power)** (kVA) वर आधारित असतात. याचा अर्थ, ज्यांचा पॉवर फैक्टर कमी आहे (लो पॉवर फैक्टर), त्यांना जास्त शुल्क भरावे लागतात कारण ते आवश्यकतेपेक्षा जास्त करंट (current) वापरतात, ज्यामुळे इलेक्ट्रिसिटी प्रणालीमध्ये वाढलेले नुकसान होऊ शकते.

पॉवर फैक्टर टॅरिफचे प्रकार (Types of Power Factor Tariffs):

1. **kVA मॅक्सिमम डिमांड टॅरिफ (kVA Maximum Demand Tariff):**

यामध्ये शुल्क *kVA* (किलोवोल्ट-एम्पियर) मध्ये असलेल्या अधिकतम डिमांडवर आधारित असते. कमी पॉवर फैक्टर (low power factor) असलेल्या ग्राहकांना जास्त शुल्क भरावे लागते, कारण त्यांना अधिक करंट वापरण्यास भाग पडते, ज्यामुळे अधिक दृश्य एनर्जी (apparent power) लागते. जसे पॉवर फैक्टर कमी होईल, तशा किमती जास्त होतील, कारण कमी पॉवर फैक्टर असलेल्या ग्राहकांना अधिक *kVA* वापरावे लागते.

2. **kWh आणि kVarh टॅरिफ (kWh and kVarh Tariff):**

या टॅरिफमध्ये, बिल *kWh* (किलोवॅट-तास) आणि *kVarh* (किलोवोल्ट-एम्पियर रिएक्टिव्ह तास) याच्या एकत्रित रकमेनुसार मोजले जाते.

kVarh घटक (component) पॉवर फैक्टरशी **उलट प्रमाणात (inversely proportional)** असतो. म्हणजेच, जेव्हा पॉवर फैक्टर सुधारतो, तेव्हा *kVarh* कमी होतो.

या घटकामुळे, पॉवर फैक्टर सुधारल्याने रिएक्टिव्ह पॉवर कमी होईल आणि परिणामस्वरूप *kVarh* घटक कमी होईल, ज्यामुळे बिल कमी होऊ शकते.

स्लायडिंग स्केल किंवा औसत पॉवर फैक्टर टॅरिफ (Sliding Scale or Average Power Factor Tariff):

स्लायडिंग स्केल पॉवर फैक्टर टॅरिफ मध्ये एक संदर्भ पॉवर फैक्टर (reference power factor) सेट केला जातो. उपभोक्त्याचा पॉवर फैक्टर त्या संदर्भाच्या खाली असेल, तर त्यांना अतिरिक्त शुल्क (additional charges) आकारले जातात. उलट, जर त्यांचा पॉवर फैक्टर संदर्भ पॉवर फैक्टरच्या वर असेल, तर त्यांना सूट (discounts) मिळू शकतात.

पॉवर फैक्टर टॅरिफचे महत्त्व (Importance of Power Factor Tariff)

1. **एफिशियंटता एनकरेज (Encourages Efficiency):**

पॉवर फैक्टर टॅरिफ लागू केल्यामुळे, इलेक्ट्रिसिटी वितरण कंपन्या उपभोक्त्यांना, विशेषतः औद्योगिक वापरकर्त्यांना (industrial users), त्यांचा पॉवर फैक्टर सुधारण्यास प्रोत्साहित करतात.

यामुळे एनर्जी नुकसान कमी होतात आणि इलेक्ट्रिसिटी प्रणालीची एफिशियंटता आणि विश्वसनीयता (reliability) सुधारते. हाय पॉवर फैक्टर असलेले ग्राहक अधिक एफिशियन्सीने इलेक्ट्रिसिटी वापरतात, ज्यामुळे सिस्टममध्ये इलेक्ट्रिसिटी गळती (losses) कमी होते.

2. **कॉस्ट इम्प्लिकेशन (Cost Implications):**

कमी पॉवर फैक्टर असलेल्या उपभोक्त्यांना (Low Power Factor Consumers) हाय इलेक्ट्रिसिटी बिलांना सामोरे जावे लागू शकते, कारण ते एनर्जीकमी एफिशियन्सीने वापरत आहेत आणि अधिक करंट खेचत आहेत, जे इलेक्ट्रिसिटी डीस्ट्रीब्युशन सिस्टीम मध्ये अतिरिक्त नुकसान करतो. यामुळे, त्यांना पॉवर फैक्टर सुधारण्यासाठी पॉवर फैक्टर करेक्शन उपकरणांमध्ये (power factor correction equipment) गुंतवणूक करण्यासाठी प्रेरणा मिळते. यामुळे त्यांचे इलेक्ट्रिसिटी बिल कमी होऊ शकते.

3. निष्कर्ष (Summary):

पॉवर फैक्टर टॅरिफ्स एनर्जीवापर एफिशियन्सीने करण्यास प्रोत्साहन देतात आणि इलेक्ट्रिसिटी प्रणालीतील गळती कमी करण्यास मदत करतात.

उपभोक्त्यांवर त्यांचा पॉवर फैक्टर आधारित शुल्क आकारून, ही प्रणाली एनर्जीबचत आणि कमी गळतीचे फायदे देऊ शकते, ज्यामुळे दीर्घकालीन, सस्टेनेबल (sustainable) एनर्जीवापराची पद्धत वाढवली जाते.

4.4.8 मॅक्सिमम डिमांड टॅरिफ (Maximum Demand Tariff)

मॅक्सिमम डिमांड टॅरिफ हा एक शुल्क आहे जो वितरण कंपन्यांनी उपभोक्त्यांना त्यांच्या इलेक्ट्रिसिटी मागणीच्या (electricity demand) हायतम स्तरावर आधारित आकारला जातो, जो विशिष्ट कालावधीत नोंदवले जातो. हे टॅरिफ सिस्टिम उपभोक्त्यांना त्यांच्या एनर्जीवापराचे एफिशियन्सीने व्यवस्थापन करण्यासाठी प्रोत्साहित करते.

4. Maximum Demand Tariff (M.D.T.) काय आहे?

Maximum Demand Tariff (M.D.T.) ही एक किंमत संरचना आहे जी उपयोगिता कंपन्या ग्राहकांना त्यांचा शिखर इलेक्ट्रिसिटी वापर (peak electricity usage) नोंदवलेला कालावधी (specified time frame) दरम्यान शुल्क आकारण्यासाठी वापरतात. सामान्यतः, ह्या वापराचे मोजमाप किलोव्होल्ट-अॅम्पीअर्स (kVA) मध्ये केले जाते. हे टॅरिफ विशेषतः व्यावसायिक (commercial) आणि औद्योगिक (industrial) क्षेत्रात सामान्य आहे, जिथे इलेक्ट्रिसिटी वापर दिवसभरात खूप बदलू शकतो.

हे कसे कार्य करते (How It Works)

मोजमाप (Measurement): Maximum demand सामान्यतः बिलिंग सायकल दरम्यान 30 मिनिटांच्या कालावधीत मोजले जाते. ह्या कालावधीत नोंदवलेला सर्वाधिक मागणी (highest demand) हे टॅरिफ गणनेसाठी वापरले जाते.

शुल्क (Charges): ग्राहकांना फक्त वापरलेली एनर्जी (in kWh) नाही, तर त्यांच्या maximum demand (in kVA) साठीही शुल्क आकारले जाते. उदाहरणार्थ, भारतातील कर्नाटका मध्ये, कर्नाटका पावर ट्रान्समिशन कॉर्पोरेशन लिमिटेड (KPTCL) प्रत्येक kVA च्या maximum demand साठी एक विशिष्ट रेट आकारते, जो एनर्जी बिलांशिवाय वेगळा आहे.

प्रोत्साहन (Incentives): ह्या टॅरिफ संरचनेमुळे ग्राहकांना त्यांच्या इलेक्ट्रिसिटी वापराचे व्यवस्थापन करण्यासाठी प्रेरणा मिळते, विशेषतः शिखर तासांमध्ये (peak hours). त्यांचा maximum demand कमी करून, ग्राहक आपली एकूण इलेक्ट्रिसिटी खर्च कमी करू शकतात.

Maximum Demand Tariff चा उद्देश (Purpose of Maximum Demand Tariff) लोड व्यवस्थापन

(Load Management): हे उपयोगिता कंपन्यांना त्यांच्या सिस्टमवर लोड व्यवस्थापित करण्यात मदत करते, ज्यामुळे ते त्यांचा पायाभूत संरचना (infrastructure) ओव्हरलोड होणारे न करता मागणी पूर्ण करू शकतात.

खर्च पुनर्प्राप्ती (Cost Recovery): ह्या टॅरिफमुळे उपयोगिता कंपन्यांना त्यांच्या पायाभूत संरचना राखण्यासाठी आणि शिखर मागणी (peak demand) पूर्ण करण्यासाठी सुधारणा करण्यासाठी लागणारे खर्च पुनर्प्राप्त करण्याची संधी मिळते.

ऑफ पीक वापराचे प्रोत्साहन- (Encouraging Off-Peak Usage): शिखर मागणी कालावधीत (peak demand periods) हाय शुल्क लादून, उपयोगिता कंपन्या ग्राहकांना त्यांच्या वापराला ऑफ पीक वेळांमध्ये- (off-peak times) यामुळे एनर्जी उत्पादन शिफ्ट करण्यास प्रेरित करतात. (energy generation) आणि वितरण (distribution) अधिक एफिशियंट होऊ शकते.

4.4.9 लोड फैक्टर टॅरिफ (Load Factor Tariff):

लोड फैक्टर (Load factor) = सरासरी लोड (Average load) / Maximum demand

कमाल वापराची शक्यता (Maximum consumption possible) = कॉन्ट्रॅक्ट डिमांड (Contract demand) kVA x वास्तविक p.f. (Actual power factor) x महिन्यातील एकूण तास (Total number of hours in a month)

- घरगुती ग्राहकांचा लोड फैक्टर (Load factor of domestic consumer) = 0.5
 - व्यावसायिक (commercial) आणि औद्योगिक (industrial) ग्राहकांचा लोड फैक्टर (Load factor of commercial and industrial consumers) = 0.5 + 0.8
- हे ग्राहकांना पावर फैक्टर (power factor) सुधारण्यासाठी प्रोत्साहित करेल.

4.4.10 अव्हालबिलिटी आधारित टॅरिफ (Availability Based Tariff):

हे तीन भागांच्या किंमत संरचनेचा एक प्रकार आहे, म्हणजेच:

1. फिक्स्ड चार्ज (Fixed charge)
2. व्हेरिएबल चार्ज (Variable charge)
3. अनस्चेड्युल्ड पॉवर इंटरचेंज (UI) इनसेंटिव / पेनल्टी (Unscheduled Power Interchange Incentive/Penalty)

या संरचनेत, ग्राहकांना निर्धारित चार्जेस (fixed charge) आणि वापरावर आधारित शुल्क (variable charge) देण्यात येते, तसेच अनस्चेड्युल्ड पॉवर इंटरचेंज मुळे होणाऱ्या अतिरिक्त शुल्क किंवा इनसेंटिव (incentive) दिले जातात.

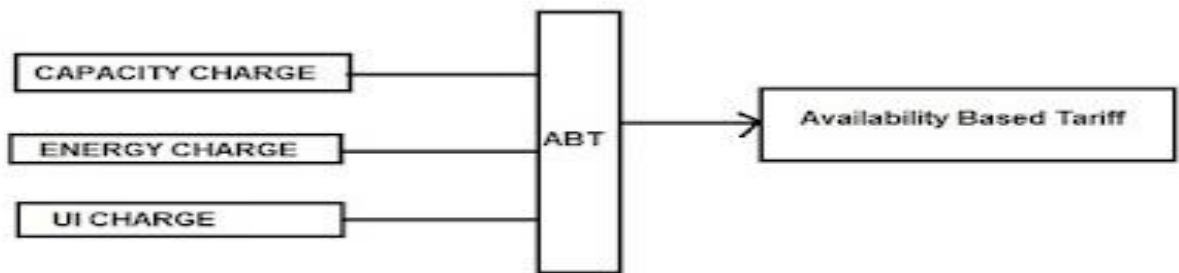


Figure 4.10 उपलब्धतेवर आधारित शुल्क (Availability Based Tariff)

१) **Fixed Cost** (फिक्स्ड कॉस्ट) हे मूलतः लाभार्थ्यांवर (beneficiaries) त्यांच्याद्वारे जनरेटिंग स्टेशन (Generating Station) कडून प्राप्त होणाऱ्या अधिकार असलेल्या पॉवर (entitled power) च्या प्रमाणात लावले जाते. याचा अर्थ फिक्स्ड कॉस्ट थेट त्या प्लांटच्या क्षमता (plant capacity) शी संबंधित असतो, जी लाभार्थ्यांमध्ये वाटली जाते. ह्या कारणामुळे Fixed Charge (फिक्स्ड चार्ज) ला अनेकदा Capacity Charge (कॅपॅसिटी चार्ज) असेही म्हटले जाते.

पण याचा अर्थ असा नाही की जनरेटिंग स्टेशन (Generating Station) त्याच्या उपलब्धतेपासून (availability) अवलंबून न राहता कोणतीही रक्कम फिक्स्ड कॉस्ट म्हणून मागू शकते. जनरेटिंग स्टेशनला परतफेडी स्वरूपात (reimbursed) दिला जाणारा फिक्स्ड चार्ज (Fixed Charges) प्लांटच्या उपलब्धतेवर (plant availability) अवलंबून असतो.

जर प्लांटची उपलब्धता एका वर्षासाठी ठराविक प्रमाणापेक्षा (set norm) जास्त असेल, तर जनरेटिंग स्टेशनला जास्त पैसे मिळतात. आणि जर प्लांटची उपलब्धता ठराविक प्रमाणापेक्षा कमी असेल, तर जनरेटिंग स्टेशनला कमी पैसे मिळतात. ह्या कारणामुळे हा टॅरिफ (tariff) Availability Based Tariff (अव्हेलेबिलिटी बेस्ड टॅरिफ) म्हणून ओळखला जातो.

पूर्वीच्या टॅरिफमध्ये फिक्स्ड चार्ज (Fixed Charge) प्लांट लोड फॅक्टर (Plant Load Factor) वर अवलंबून असायचा, पण Availability Based Tariff मध्ये तो Plant Availability (प्लांट अव्हेलेबिलिटी) शी जोडलेला असतो.

२) **Variable charge** (व्हेरिएबल चार्ज) म्हणजे जनरेटिंग स्टेशन (Generating Station) ला दररोज एमडब्ल्यू (MW) उत्पादन करण्यासाठी लागणारा खर्च. व्हेरिएबल चार्जला Energy Charge (एनर्जी चार्ज) असेही म्हटले जाते. यामध्ये Fuel charge (फ्यूल चार्ज) समाविष्ट असतो, जसे की थर्मल पॉवर प्लांटसाठी कोळसा (coal), न्यूक्लियर पॉवर प्लांटसाठी न्यूक्लियर फ्यूल बंडल (Nuclear Fuel Bundle), गॅस पॉवर प्लांटसाठी गॅस (Gas) इत्यादी, तसेच ऑपरेटिंग खर्च (Operating expenses) इत्यादी.

३) **Unscheduled Interchange Charge (UI Charge)** (अनसच्युल्ड इंटरचेंज चार्ज): Unscheduled Interchange (अनसच्युल्ड इंटरचेंज) म्हणजे प्लांटच्या निर्धारित उत्पादनात (scheduled generation) किंवा लाभार्थ्याच्या निर्धारित पावर ड्रॉवलमध्ये (scheduled drawl of power) झालेली भिन्नता (deviation). उदाहरणार्थ, समजा एक जनरेटिंग स्टेशन (Generating Station) 600 MW देण्यासाठी निर्धारित आहे, पण प्रत्यक्षात त्या दिवशी 700 MW पुरवठा करत आहे, तरीही त्या स्टेशनला Energy Charges (एनर्जी चार्जेस) निर्धारित उत्पादनासाठी म्हणजे 600 MW साठीच दिले जातील. अतिरिक्त 100 MW साठी, एनर्जी चार्जचीरेट(rate) त्या वेळी चालू असलेल्या Grid frequency (ग्रिड फ्रिक्वेंसी) वर अवलंबून असेल.

आता या अतिरिक्त पुरवठ्यावरील (surplus supply) एनर्जी चार्ज, म्हणजे 100 MW (आमच्या उदाहरणासाठी), त्याला **Unscheduled Interchange Charge (UI Charge)** (अनसच्युल्ड इंटरचेंज चार्ज) असे म्हटले जाते. UI चार्ज हा **Grid frequency** (ग्रिड फ्रिक्वेंसी) शी संबंधित असतो.

जर ग्रिड फ्रिक्वेंसी जास्त असेल, म्हणजे 50.2 Hz पेक्षा अधिक असेल, तर UI चार्जचारेटशून्य असेल. याचा अर्थ असा की, जर ग्रिड फ्रिक्वेंसी 50.2 Hz पेक्षा जास्त असेल, तर जनरेटिंग स्टेशनला 100 MW च्या अतिरिक्त उत्पादनासाठी काहीही पैसे दिले जाणार नाहीत. यामुळे, स्टेशनला ग्रिड फ्रिक्वेंसी राखण्यासाठी (maintain Grid frequency) त्याचे उत्पादन कमी करणे भाग पडते.

4.4.11 kVAh tariff (केव्हीएच टॅरिफ) हा एक बिलिंग पद्धत आहे जो ग्राहकांना apparent energy (अपॅरेंट एनर्जी) (kVAh) च्या आधारे शुल्क आकारतो, फक्त active energy (एक्टिव्ह एनर्जी) (kWh) च्या ऐवजी. या पद्धतीमध्ये active (एक्टिव्ह) आणि reactive (रिएक्टिव्ह) energy (एनर्जी) consumptions (कन्सम्प्शन) दोन्हीचा विचार केला जातो, जे एकूण इलेक्ट्रिसिटी बिलावर प्रभाव टाकू शकतात.

Implementation (अंमलबजावणी): kVAh billing (केव्हीएच बिलिंग) ही पद्धत १ एप्रिल २०२० पासून सर्व HT (एचटी) ग्राहकांसाठी आणि LT (एलटी) ग्राहकांसाठी ज्यांचे लोड २० kW (किलोवॅट) पेक्षा जास्त आहे, लागू करण्यात आली.

Tariff Structure (टॅरिफ संरचना): टॅरिफ दरांमध्ये प्रति kW/kVA (किलोवॅट / केव्हीए) मागणी शुल्क आणि प्रति kWh/kVAh (किलोवॅट-तास / केव्हीएच) एनर्जी शुल्क समाविष्ट आहेत, जे ग्राहकांच्या वापराच्या पॅटर्ननुसार बदलू शकतात.

Impact (प्रभाव): ही बिलिंग पद्धत एनर्जी वापरामध्ये एफिशियन्सीला प्रोत्साहन देण्यासाठी आणि reactive power (रिएक्टिव पावर) च्या वापराचा विचार करून वेस्टेज (वेस्टेज) कमी करण्याचा उद्देश ठेवते. अधिक तपशीलवार माहिती साठी, तुम्ही संबंधित स्रोतांचा (सोर्स) संदर्भ घेऊ शकता."

4.4.12 फ्लेक्सिबल एनर्जी टॅरिफ्स (Flexible Energy Tariffs) EV ईव्हीचार्जिंग चे भविष्य

"तुमचा electric vehicle (इलेक्ट्रिक व्हेईकल) चार्ज करण्यासाठी खर्च जास्त न करता काहीतरी उपाय शोधत आहात का? तुमच्या wallbox (वॉलबॉक्स) मध्ये समाविष्ट flexible electricity pricing (फ्लेक्सिबल इलेक्ट्रिसिटी प्रायसिंग) हे तंतोतंत योग्य समाधान असू शकते.

या लेखाचे वाचन केल्यानंतर, तुम्हाला कसे flexible electricity pricing (फ्लेक्सिबल इलेक्ट्रिसिटी प्रायसिंग) काम करते आणि ते तुमच्या EV (ईव्ही) चार्जिंगला कसे स्वस्त आणि पर्यावरणपूरक (eco-friendly) बनवतात, हे समजेल."

"EV tariff" म्हणजे काय?

EV (ईव्ही) energy tariff (एनर्जी टॅरिफ) म्हणजे इलेक्ट्रिक व्हेईकल चार्ज करण्यासाठी वापरल्या जाणाऱ्या विजेचा एक विशेष दर. हारेटसामान्यतः एका electricity provider (इलेक्ट्रिसिटी प्रोव्हायडर) द्वारा दिला जातो आणि EV (ईव्ही) मालकांना त्यांच्या वाहनांना चार्ज करण्यासाठी काही विशिष्ट अटींवर (उदाहरणार्थ, विशिष्ट वेळेत) कमीरेट देण्यासाठी डिझाइन केला जातो.

विविध एनर्जी टॅरिफ प्रकार काय आहेत?

आम्हाला तुमच्यासाठी इलेक्ट्रिसिटी दरांची पूर्ण आकृतीपट तयार करायची आहे. चला तर, इलेक्ट्रिसिटी प्रोव्हायडर्स (प्रोव्हायडर्स) द्वारा दिल्या जाणाऱ्या सर्वात सामान्य अटींना पाहूया.

स्थिर (रेट-फ्लॅट) एनर्जीरिट (Energy Tariff)

Fixed (flat-rate) energy tariff (फिक्स्ड एनर्जी (रेट-फ्लॅट) टॅरिफ मध्ये एक स्थिर मासिक शुल्क असतो () तास-आणि वापरलेल्या किलोवॅटkWh) प्रमाणे अतिरिक्त शुल्क आकारले जातेजसे वापर वाढतो-जसे ., तसतसे एकूण खर्च सुद्धा सतत वाढत जातातदुसऱ्या शब्दांत ., फ्लॅट रेट टॅरिफ मध्ये एक निश्चित मासिक-शुल्क असतो, आणि निर्धारित प्रमाणापेक्षा जास्त एनर्जी वापरल्यास अतिरिक्त शुल्क आकारले जाते.

नाईट टॅरिफ (Night Tariff)

व्याख्या :नाईट टॅरिफ म्हणजे रात्रीच्या (ऑफ-पीक) वेळेत वापरल्या जाणाऱ्या विजेसाठी लागू होणारा कमी दराचा वीज टॅरिफ होय. साधारणपणे रात्री 10.00 ते सकाळी 6.00 या कालावधीत हा टॅरिफ लागू केला जातो (वीज वितरण कंपनीनुसार वेळ बदलू शकते).

नाईट टॅरिफचे फायदे :

- 1) रात्री वीज वापरल्यास वीज बिलात बचत होते.
- 2) पीक अवर्समधील लोड कमी होऊन वीजप्रणालीवरील ताण कमी होतो.

- 3) उद्योगांना व कृषी पंपांना लाभ होतो, कारण उत्पादन/पाणीपुरवठा स्वस्त दरात करता येतो.
- 4) लोड फॅक्टर सुधारतो व वीजपुरवठा अधिक स्थिर होतो.
- 5) नूतनीकरणीय ऊर्जेचा (विशेषतः पवन ऊर्जा) प्रभावी वापर शक्य होतो.

नाईट टॅरिफचे तोटे (मर्यादा) :

- 1) वेगळा टाइम-ऑफ-डे (ToD) मीटर आवश्यक असतो.
- 2) रात्री काम करणे सर्व ग्राहकांसाठी शक्य नसते

फ्लेक्सिबल/डायनॅमिक एनर्जी टॅरिफ (Flexible/Dynamic Energy Tariff)

फ्लेक्सिबल इलेक्ट्रिसिटी टॅरिफ्स (Flexible Electricity Tariffs) इलेक्ट्रिसिटीरेटनिर्देशांकाशी संबंधित असतात आणि म्हणूनच, इलेक्ट्रिसिटी एक्सचेंजवरील दरातील चढ-उतार थेट ग्राहकांपर्यंत पोहोचवतात. त्यामुळे इलेक्ट्रिसिटीरेटसतत बदलत असतात. स्मार्ट वॉलबॉक्स (Smart Wallbox) या दरांचा मागोवा ठेवू शकतो आणि इलेक्ट्रिसिटी सर्वात स्वस्त असताना चार्जिंग सुरू करू शकतो.

तुमच्या इलेक्ट्रिसिटी वापराची वेळ पीक-ऑफ तासांमध्ये समायोजित करून, तुम्ही प्रत्येक किलोवॉट-तासासाठी प्रीमियमरेटन भरता, कमी, अधिक किफायती टॅरिफ्सचा लाभ घेऊ शकता. यामुळे तुम्ही इलेक्ट्रिसिटी खर्चावर नियंत्रण ठेवू शकता आणि स्मार्ट वॉलबॉक्ससारख्या उपकरणाचा वापर करून याचा अधिक फायदा मिळवू शकता.

स्मार्ट वॉलबॉक्स (जसे की go-e Charger) वापरल्याने तुम्हाला या प्रकारच्या दराचा फायदा मिळवता येतो. या इलेक्ट्रिसिटी टॅरिफ्समध्ये, सामान्यतः ऑफ-पीक तासांमध्ये खूप स्वस्त इलेक्ट्रिसिटी मिळते, जे तुमच्या खर्चाला मोठ्या प्रमाणात कमी करू शकते. तुम्हीरेटकिलोवॉट-तास (kWh) किती दरापर्यंत भुगतान करायचं ते देखील सेट करू शकता. जर त्या मर्यादेपर्यंत इलेक्ट्रिसिटीरेटपोहोचला, तर चार्जिंग प्रक्रिया थांबते.

प्रत्येक पर्यायाचे फायदे आणि तोटे आहेत) पण जितकी जास्त लवचिकता (flexibility) तुम्हाला मिळेल, तितकेच तुमच्यासाठी इलेक्ट्रिक कार (Electric car) चार्ज करताना पैसे वाचवणे सोपे होईल जर तुमचा ईव्ही . चार्जर (EV charger) तुमच्या एनर्जी पुरवठादार (energy provider) द्वारा सेट केलेले रेटट्रॅक (track) करू शकत असेल, तर ते तुमच्या इलेक्ट्रिसिटी बिलावर (electricity bill) अत्यंत सकारात्मक प्रभाव टाकू शकते . कसे? आम्ही तुम्हाला ते सांगणार आहोत.

फ्लेक्सिबल इलेक्ट्रिसिटी रेट (Flexible Electricity Pricing) कसे कार्य करतात?

इलेक्ट्रिक वाहन (electric vehicle) वापरणे स्पष्टपणे एक हरित (green) निर्णय आहे जसे-जसे .अधिक लोक इलेक्ट्रिक वाहनांकडे (electric vehicles) वळत आहेत, तसे वीजेची (electricity) मागणी देखील वाढते.

एक सामान्य परिदृश्य (scenario) असं आहे की कार मालक संध्याकाळी घरी येतात, त्यांचा वॉलबॉक्स (wallbox) प्लग (plug) करतात, आणि त्यांचा वाहन (vehicle) चार्ज (charge) करणे सुरू करतात.

आता कल्पना करा की तुमच्या देशभरातील हजारो लोक जवळजवळ एकाच वेळी हेच करत आहेत यामुळे . पावर ग्रिड (power grid) वर मोठा ताण (strain) येतो.

फ्लेक्सिबल एनर्जी टॅरिफ (Flexible Energy Tariff) या परिस्थितीला कसे बदलू शकतात?

पावर ग्रिड (power grid) ओव्हरलोड (overloading) होण्यापासून टाळण्यासाठी लवचिकरेट(flexible

tariffs)लवचिक एनर्जीरिट (flexible energy tariffs) तुमचं वाहन (vehicle) चार्ज करण्याची संधी देतात, जेव्हा एखाद्या प्रदेशात (region) किंवा संपूर्ण देशात (country) एकूण इलेक्ट्रिसिटी वापर (electricity consumption) खूप कमी असतो एक चार्जिंग स्टेशन(charging station) ज्यामध्ये एकत्रित एनर्जी पुरवठादार (electricity suppliers) त्यांच्या ॲपमध्ये (app) असतात, ते सतत रिअल) टाइम-real-time) इलेक्ट्रिसिटीरिट(prices for energy) ट्रॅक (tracking) करत असते आणि जेव्हा ते सर्वात कमी असतात तेव्हा चार्जिंग सुरू करते कारण .इलेक्ट्रिसिटीरिटसतत बदलत असतात, त्यामुळे हारेट "डायनॅमिक"(dynamic) म्हणून ओळखला जातो.

याचा परिणाम काय होतो? बरोबर, जेव्हा तुम्ही तुमचं इलेक्ट्रिक वाहन (electric vehicle) ऑफ-पीक तासांमध्ये (off-peak hours) चार्ज (charge) करता, तेव्हा तुम्ही:

- पावर ग्रीड (power grid) वरचा ताण (strain) कमी करतात
- एनर्जी वापर (energy consumption) तुमच्यासाठी आर्थिकदृष्ट्या (financially) फायदेशीर (beneficial) होतो

फ्लेक्सिबल इलेक्ट्रिसिटी टॅरिफ्सचे फायदे (Benefits of Flexible Electricity Tariffs)

- 1) वीज खर्चात बचत – ऑफ-पीक वेळेत कमी दर असल्यामुळे ग्राहकांना वीजबिलात बचत करता येते.
- 2) लोड मॅनेजमेंट सुधारते – पीक वेळेतील जादा वीजवापर कमी होऊन वीजप्रणालीवरील ताण कमी होतो.
- 3) ग्राहकांना निवडीचे स्वातंत्र्य – वापराच्या सवयीप्रमाणे टॅरिफ निवडण्याची मुभा मिळते.
- 4) ऊर्जा कार्यक्षमतेत वाढ – ग्राहक वीज वापर नियोजनबद्ध करतात, त्यामुळे ऊर्जा बचत होते.
- 5) नूतनीकरणीय ऊर्जेला प्रोत्साहन – सौर/पवन ऊर्जेचा वापर जास्त असलेल्या वेळेत स्वस्त दर लागू करता येतात.
- 6) वीजपुरवठ्याची विश्वासार्हता वाढते – मागणी-पुरवठ्यात समतोल राखला जातो.
- 7) उद्योगांसाठी फायदेशीर – उत्पादन प्रक्रिया ऑफ-पीक वेळेत शिफ्ट करून खर्च कमी करता येतो.
- 8) कार्बन उत्सर्जनात घट – पीक लोड कमी झाल्याने पारंपरिक ऊर्जा स्रोतांवरील अवलंबन कमी होते.

4.5 एप्लीकेशन ऑफ टेरिफ सिस्टीम टू रेड्यूस एनर्जी बिल (Application of Tariff System to Reduce Energy Bill)

आजकाल, इलेक्ट्रिसिटी टॅरिफ्स (electricity tariffs) एनर्जी रिटेल मार्केटमध्ये अत्यंत महत्त्वपूर्ण भूमिका बजावत आहेत, कारण हे एंड-यूझर्सच्या (end-users) निर्णय प्रक्रियेसाठी मुख्य घटक ठरतात. याशिवाय, टॅरिफ्स एनर्जी बाजारात स्पर्धा वाढवण्यासाठी आवश्यक असतात. त्यांचा लोड एनर्जी व्यवस्थापनावर (load energy management) मोठा परिणाम होतो.तसेच, टॅरिफ्स फक्त खर्चाच्या गणनेच्या (expense calculations) निश्चित पद्धती म्हणून घेतले जात नाहीत, तर ते इतर अनेक घटकांद्वारे प्रभावित (influenced) होतात, जसे की इलेक्ट्रिसिटी उत्पादन (generation), ट्रान्समिशन (transmission), वितरण (distribution) खर्च, आणि सरकारी कर (governmental taxation). त्यामुळे, इलेक्ट्रिसिटी प्रायसिंग (pricing) देशानुसार किंवा देशाच्या विविध भागांनुसार मोठ्या प्रमाणावर वेगवेगळं असू शकतं.काही ठिकाणी चुकीच्या टॅरिफ गणना पद्धती (improper tariff calculation methodologies) मुळे हाय पॉवर लॉस (high power losses), अनावश्यक गुंतवणूक (unnecessary investments), वाढलेले ऑपरेशनल खर्च (increased operational expenses), आणि उपलब्ध सस्टेनेबल (sustainable) एनर्जी संसाधनांचा न वापर केल्यामुळे पर्यावरणीय प्रदूषण (environmental pollution) होत आहे.

इलेक्ट्रिसिटी टॅरिफ्स (electricity tariffs) ही त्या प्रक्रियेची ओळख आहे ज्याद्वारे ग्राहकांना इलेक्ट्रिसिटी वापरण्यासाठी शुल्क आकारले जाते. आजकाल, इलेक्ट्रिसिटी टॅरिफ्स एनर्जी रिटेल मार्केटमध्ये अत्यंत महत्त्वपूर्ण भूमिका बजावत आहेत, कारण ते ग्राहकांच्या निर्णयावर प्रभाव टाकणारा मुख्य घटक मानले जातात. याशिवाय, ते एनर्जी बाजारात स्पर्धा वाढवण्यासाठी अत्यंत आवश्यक आहेत. इलेक्ट्रिसिटी प्रायसिंग (pricing) देशानुसार किंवा देशाच्या विविध भागांमध्ये वेगवेगळं असू शकतं.

वीज दर (electricity tariffs) तयार करण्यासाठी, वीज दरावर प्रभाव टाकणारे विविध घटक विचारात घ्यावे लागतात. यामध्ये वीज निर्मिती केंद्र (power plant) येथे इलेक्ट्रिकल एनर्जी (electrical energy) तयार करण्याचा खर्च, ट्रान्समिशन (transmission) आणि डिस्ट्रिब्युशन नेटवर्क्स (distribution networks) मध्ये होणाऱ्या कॅपिटल इन्व्हेस्टमेंट (capital investment) चा खर्च, ऑपरेशन अँड मेंटेनेन्स (operation and maintenance) करून इलेक्ट्रिकल एनर्जी वितरीत करण्याचा खर्च, आणि या कॅपिटल इन्व्हेस्टमेंटवर मिळणारा रिझनेबल प्रॉफिट (reasonable profit) यांचा समावेश होतो.

"Reasonable" हा शब्द इलेक्ट्रिसिटी मार्केट कॉम्पिटिशन प्रिन्सिपल (electricity market competition principle) लक्षात घेऊन स्पष्ट करता येतो; हा नफा इलेक्ट्रिकल पॉवर (electrical power) तयार व पुरवण्याच्या किंमतीत जोडला जातो आणि वीज पुरवठा करणाऱ्या कंपनीकडून सेवेमध्ये सातत्य आणि विश्वसनीयता राहिल याची खात्री करतो. हा नफा माफक असावा आणि दरवर्षी सुमारे 8% पर्यंत मर्यादित असावा. टक्केवारी (percentages). याशिवाय, सस्टेनेबल एनर्जी रिसोर्सेस (sustainable energy resources) जसे की *विंड* (wind), *सोलर* (solar), आणि *हायड्रोपॉवर* (Hydropower) यांचा वाढता वापर अलीकडे *रेसिडेन्शियल* (residential), *कमर्शियल* (commercial), आणि *इंडस्ट्रियल सेक्टर्स* (Industrial sectors) मधील वीज दरांवर परिणाम करू लागला आहे.

4.5 टॅरिफ सिस्टीमचा वापर एनर्जी बिल कमी करण्यासाठी (Numerical)

न्यूमेरिकल 1 (Numerical: - 1)

• एका कारखान्याचा इलेक्ट्रिसिटी वापर 1200 kWh आहे आणि त्याचा मॅक्सिमम डिमांड 40 kW आहे. टॅरिफ ₹150/kW + ₹5/kWh आहे.

कॅल्क्युलेशन:

1. डिमांड चार्ज (Demand charge):

$$40 \text{ kW} \times ₹150/\text{kW} = ₹600040$$

$$= ₹600040 \text{ kW} \times ₹150/\text{kW} = ₹6000$$

$$(40 \text{ kW} \times ₹150/\text{kW} = ₹6000)$$

2. एनर्जी चार्ज (Energy charge):

$$1200 \text{ kWh} \times ₹5/\text{kWh} = ₹60001200$$

$$= ₹60001200 \text{ kWh} \times ₹5/\text{kWh} = ₹6000$$

(1200 kWh × ₹5/kWh = ₹6000)

3. **एकूण बिल (Total Bill):**

₹6000 + ₹6000 = ₹12,000 ₹6000 + ₹6000 = ₹12,000 ₹6000 + ₹6000 = ₹12,000

(₹6000 + ₹6000 = ₹12,000)

उत्तर (ANSWER):

₹12,000

न्यूमेरिकल: - 2

एका 45-केडब्ल्यू (kW) मोटरने दिलेल्या वेळी 30 केडब्ल्यू (kW) पॉवर घेत आहे. मोटरचा पूर्ण लोडवर लोडिंग काढा, जर मोटरची एफिशियंटता 90% असेल.

सोल्यूशन (Solution):

रेटेड मोटर इनपुट पॉवर = $45/0.9 = 50$ केडब्ल्यू (kW)

वास्तविक घेतलेली पॉवर = 30 केडब्ल्यू (kW)

मोटरवरील % लोडिंग = $30/50 = 60\%$

उत्तर (Answer):

मोटरवरील लोडिंग = 60%

न्यूमेरिकल: - 3

एक 250 W सोडियम वेपर (sodium vapor) लॅम्प एक रस्त्यावर लावलेला आहे. रस्त्यावरील दिव्यासाठी पुरवठा व्होल्टेज (supply voltage) 230 V आहे आणि तो दररोज सुमारे 12 तास चालतो. 2 ऍम्प (amps) करंट (current) आणि पॉवर फॅक्टर (power factor) 0.85 विचारात घेतल्यास, दिवसाला एनर्जी वापर (energy consumption) काढा.

सोल्यूशन (Solution):

एनर्जी वापर = $V \times I \times \cos \phi \times \text{तासांची संख्या}$

= $230 \times 2 \times 0.85 \times 12$

= 4692-वॉट तास (Watt hours)

किंवा 4.692 kWh

उत्तर (Answer):

एनर्जी वापर = 4.692 kWh

न्यूमेरिकल: - 4

एका उद्योगाचा 1000 kVA चा करार मागणी (contract demand) आहे. किमान बिलिंग मागणी (minimum billing demand) करार मागणीच्या 75% आहे. प्लॉन्टची जोडलेली लोड (connected load) 2000 kVA आहे. मार्च 2003 महिन्याची नोंदलेली मागणी (recorded demand) आणि पॉवर फॅक्टर (power factor) अनुक्रमे 1200 kVA आणि 0.8 आहे. मासिक वापर (monthly consumption) 2.0 लाख युनिट्स आहे.

उद्योगाचा सरासरी लोड (average load) आणि कमाल लोड (maximum load) अनुक्रमे 700 kW आणि 900 kW आहे.

सोल्यूशन (Solution):

1. किमान बिलिंग मागणी (Minimum billing demand):

किमान बिलिंग मागणी = $1000 \times 0.75 = 750 \text{ kVA}$

2. लोड फॅक्टर (Load Factor):

लोड फॅक्टर = सरासरी लोड / कमाल लोड

= $700 / 900 = 0.78$

3. मागणी फॅक्टर (Demand Factor):

मागणी फॅक्टर = मॅक्सिमम डिमांड / जोडलेली लोड

= $1200 / 2000 = 0.60$

उत्तर (Answer):

1. किमान बिलिंग मागणी = 750 kVA

2. लोड फॅक्टर = 0.78

3. मागणी फॅक्टर = 0.60

न्यूमेरिकल:- 5

प्लॉटचा करार मागणी (contract demand) 1000 kVA आहे. किमान बिलिंग मागणी (minimum billing demand) करार मागणीच्या 75% आहे. मूलभूतरेटसंरचना (basic tariff structure) खालीलप्रमाणे आहे:

- मागणी शुल्क (Demand charges): Rs. 180 प्रति kVA / महिना
- युनिट शुल्क (Unit charges):

Rs. 3.75 पहिले एक लाख युनिट्स / महिना

Rs. 3.50 एक लाख युनिट्स पेक्षा जास्त / महिना

- इंधन सरचार्ज (Fuel surcharge): Rs. 0.20 प्रति युनिट / महिना
- सेवा कर (Service Tax): Rs. 0.25 प्रति युनिट / महिना
- मीटर भाडे (Meter rent): Rs. 500 / महिना

एनर्जी वापर (energy consumption) 3,15,000 युनिट्स आहे आणि नोंदवलेली मॅक्सिमम डिमांड(maximum demand recorded) 600 kVA आहे.
महिन्याचा इलेक्ट्रिसिटी वापर खर्च काढा.

सोल्यूशन (Solution):

1. मागणी शुल्क (Demand charges):

किमान बिलिंग मागणी = $1000 \times 0.75 = 750 \text{ kVA}$

मागणी शुल्क = $750 \times 180 = \text{Rs. } 1,35,000$

2. युनिट शुल्क (Unit charges):

पहिले 1 लाख युनिट्स: $100000 \times 3.75 = \text{Rs. } 3,75,000$

2,15,000 युनिट्स (एक लाख युनिट्स नंतर): $215000 \times 3.50 = \text{Rs. } 7,52,500$

3. इंधन सरचार्ज (Fuel surcharge):

इंधन सरचार्ज = $315000 \times 0.20 = \text{Rs. } 63,000$

4. सेवा कर (Service Tax):

सेवा कर = $315000 \times 0.25 = \text{Rs. } 78,750$

5. मीटर भाडे (Meter rent):

मीटर भाडे = Rs. 500

एकूण खर्च (Total Cost):

मागणी शुल्क + युनिट शुल्क + इंधन सरचार्ज + सेवा कर + मीटर भाडे

= $1,35,000 + 3,75,000 + 7,52,500 + 63,000 + 78,750 + 500$

= Rs. 14,04,750

उत्तर (Answer):

महिन्याचा इलेक्ट्रिसिटी वापर खर्च = Rs. 14,04,750

न्यूमेरिकल: - 6

तारिफ (tariff) = 125 रु. प्रति kVA मॅक्सिमम डिमांड(maximum demand) आणि 3.00 रु. प्रति युनिट (unit consumed) वापरासाठी दिली आहे; लोड फॅक्टर (load factor) 50% आहे. एकूण खर्च प्रति युनिट (overall cost per unit) काढा:

(i) युनिटी पॉवर फॅक्टर (unity power factor)

(ii) 0.8 पॉवर फॅक्टर (power factor)

दिलेले (Given):

• तारिफ = Rs. 125 प्रति kVA मॅक्सिमम डिमांड+ Rs. 3.00 प्रति युनिट वापर

• लोड फॅक्टर = 50%

• मॅक्सिमम डिमांड(M.D.) = 10 kVA

महिन्याचा एकूण शुल्क / बिल (Monthly total charges/bill):

1. M.D. शुल्क प्रति महिना (MD charges per month):

M.D. शुल्क = (M.D. kVA x M.D. शुल्क प्रति kVA)

= 10×125

= Rs. 1250.00

2. एनर्जी शुल्क प्रति युनिट (Energy charges per unit):

एनर्जी शुल्क = Rs. 3 प्रति kWh

3. एनर्जी वापर (Energy consumed) एका दिलेल्या कालावधीत:

= (सरासरी सक्रिय पॉवर (average active power)) x (तासांची संख्या (hours))

4. एनर्जी वापर शुल्क प्रति महिना (Energy consumption charges per month):

= सरासरी मागणी (average demand) (kW) x (महिन्याचे तास) x (प्रति kWh शुल्क)

= सरासरी मागणी (kW) = (लोड फॅक्टर) x (कमाल मागणी) x पॉवर फॅक्टर (pf)

महिन्याचे तास)Number of hours in a month):

$$24 \times 30 = 720 \text{ तास}$$

i) युनिटी पॉवर फॅक्टरवर (At Unity Power Factor):

1. सरासरी मागणी (Average demand):
 सरासरी मागणी = (लोड फॅक्टर) x (कमाल मागणी) x pf
 = $0.5 \times 10 \times 1$
 = 5 kW
2. एनर्जी वापर प्रति महिना (Energy consumption per month):
 = सरासरी मागणी (kW) x महिन्याचे तास
 = 5×720
 = 3600 kWh
3. एनर्जी वापर शुल्क (Energy consumption charges) प्रति महिना:
 = (महिन्यांत वापरलेली एनर्जी (kWh)) x (प्रति kWh शुल्क)
 = 3600×3
 = Rs. 10,800
4. एकूण बिलिंग (Total billing) प्रति महिना:
 = M.D. शुल्क + एनर्जी शुल्क
 = $1250 + 10,800$
 = Rs. 12,050
5. प्रत्येक युनिटचा खर्च (Overall cost per unit):
 = (एकूण बिल) / (महिन्यांत वापरलेली kWh)
 = $12050 / 3600$
 = Rs. 3.35 / kWh

ii) 0.8 पॉवर फॅक्टरवर)At 0.8 Power Factor):

1. सरासरी मागणी (Average demand) (kW):
 सरासरी मागणी = (लोड फॅक्टर) x (कमाल मागणी) x pf
 = $0.5 \times 10 \times 0.8$
 = 4 kW
2. एनर्जी वापर (Energy consumption) प्रति महिना:
 = सरासरी मागणी (kW) x महिन्याचे तास
 = 4×720
 = 2880 kWh
3. एनर्जी वापर शुल्क (Energy consumption charges) प्रति महिना:
 = (महिन्यांत वापरलेली एनर्जी (kWh)) x (प्रति kWh शुल्क)
 = 2880×3
 = Rs. 8,640
4. एकूण बिलिंग (Total billing) प्रति महिना:
 = M.D. शुल्क + एनर्जी शुल्क
 = $1250 + 8,640$
 = Rs. 9,890

5. प्रत्येक युनिटचा खर्च (Overall cost per unit):

= (एकूण बिल) / (महिन्यांत वापरलेली kWh)

= 9890 / 2880

= Rs. 3.43 / kWh

वर्षाचे शुल्क (Yearly Total Charges/Bill):

1. M.D. शुल्क प्रति वर्ष (MD charges per year):

= (M.D. kVA x M.D. शुल्क प्रति kVA x 12)

= 10 x 125 x 12

= Rs. 15,000

2. एनर्जी वापर (Energy consumption) प्रति वर्ष (per year):

i) युनिटी पॉवर फॅक्टरवर (At Unity Power Factor):

सरासरी मागणी (Average demand) = $0.5 \times 10 \times 1 = 5 \text{ kW}$

एनर्जी वापर (Energy consumption) प्रति वर्ष = $5 \times 8760 = 43,800 \text{ kWh}$

एनर्जी वापर शुल्क (Energy consumption charges) प्रति वर्ष = $43,800 \times 3 = \text{Rs. } 1,31,400$

एकूण बिलिंग (Total billing) प्रति वर्ष = $15,000 + 1,31,400 = \text{Rs. } 1,46,400$

प्रत्येक युनिटचा खर्च (Overall cost per unit) = $1,46,400 / 43,800 = \text{Rs. } 3.35 / \text{kWh}$

ii) 0.8 पॉवर फॅक्टरवर (At 0.8 Power Factor):

सरासरी मागणी (Average demand) = $0.5 \times 10 \times 0.8 = 4 \text{ kW}$

एनर्जी वापर (Energy consumption) प्रति वर्ष = $4 \times 8760 = 35,040 \text{ kWh}$

एनर्जी वापर शुल्क (Energy consumption charges) प्रति वर्ष = $35,040 \times 3 = \text{Rs. } 1,05,120$

एकूण बिलिंग (Total billing) प्रति वर्ष = $15,000 + 1,05,120 = \text{Rs. } 1,20,120$

प्रत्येक युनिटचा खर्च (Overall cost per unit) = $1,20,120 / 35,040 = \text{Rs. } 3.43 / \text{kWh}$

उत्तर (Answer):

• प्रत्येक युनिटचा खर्च (Overall cost per unit):

युनिटी पॉवर फॅक्टरवर (At Unity Power Factor) = Rs. 3.35 / kWh

0.8 पॉवर फॅक्टरवर (At 0.8 Power Factor) = Rs. 3.43 / kWh

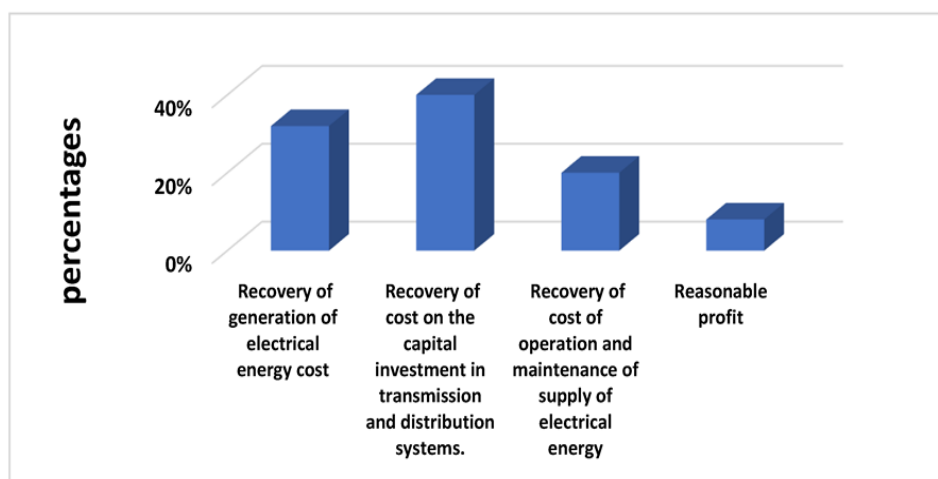


Figure 4.11 इलेक्ट्रिसिटीरिटगणनांवर प्रभाव टाकणारे घटक (Factors affecting electrical tariff calculations).

तसेच, इलेक्ट्रिसिटीरिटडिझाइन करताना इतर घटकांचा विचार केला पाहिजे,

टॅरिफ (Tariff) कॅल्क्युलेशन (Calculation) वर परिणाम करणारे घटक

1. लोड प्लांट टाईप (Load Plant Type) – बेस (Base), पीक (Peak), इंटरकनेक्टेड सिस्टीम (Interconnected System)
2. लोड टाईप (Load Type) – डोमेस्टिक (Domestic), कमर्शियल (Commercial), इंडस्ट्रियल (Industrial)
3. मॅक्सिमम डिमांड (Maximum Demand) – इन्स्टॉल्ड कॅपॅसिटी (Installed Capacity)
4. लोड पॉवर फॅक्टर (Load Power Factor)
5. ज्या वेळेस मॅक्सिमम लोड लागतो ती वेळ (Time at which the maximum load is required)
6. वापरण्यात आलेली एनर्जी (Energy Used) ची मात्रा

बेस) लोड प्लांट-base-load plant) हा असा प्रकारचा प्लांट आहे जो संपूर्ण वर्षभर सतत इलेक्ट्रिसिटी एनर्जी उत्पादन करतो %अशा प्रकारचे प्लांट १०० वेळा कार्यरत असतात, देखभाल कालावधीत वगळता, आणि हे न्यूक्लियर (nuclear) आणि कोळसा) आधारित-coal-fired) प्लांट्सप्रमाणे चालतातयाव्यतिरिक्त ., पीक लोड-प्लांट (peak-load plant) फक्त इलेक्ट्रिसिटी मागणीच्या पिक अवर्समध्ये लोड पुरवतो हे प्लांट्स गॅस .) टर्बाईन्सgas turbines), हायड्रो प्लांट्स (hydro plants), सौर (solar) आणि पवन (wind) एनर्जी प्लांट्ससारख्या अल्पकालिक मागणीच्या शिखरावर मदत करतातअखेरीस ., परस्पर जोडलेली ग्रिड प्रणाली (interconnected grid system) ही वेगवेगळ्या एनर्जी उत्पादन करणाऱ्या स्थानकांना जोडण्यासाठी एक नेटवर्क टोपोलॉजी आहे, ज्यामुळे पीक लोड एक्सचेंज (peak load exchange) साधता येतो आणि आर्थिकदृष्ट्या एफिशियंट ऑपरेशन (economical operation) सुनिश्चित होतो.

तसेच, इलेक्ट्रिसिटीरिटडिझाइन करताना काही प्राथमिक इच्छित पैलूंवर विचार केला पाहिजे, जे पुढीलप्रमाणे दिले आहेत:

फेअरनेस (Fairness): मोठ्या ग्राहकांवर कमी दरात निश्चित शुल्क आकारले पाहिजे, छोट्या ग्राहकांवर नाही, आणि यामुळे एकूण इलेक्ट्रिसिटी एनर्जी उत्पादन खर्चात घट होईल. याव्यतिरिक्त, बदलता लोड असलेल्या मोठ्या ग्राहकांवर...

.. त्यांना पूर्वनिर्धारित नॉन-वेरिएबल लोड स्थितींमध्ये कोणतेही बदल न करणाऱ्या ग्राहकांपेक्षा जास्त दरावर आकारले पाहिजे.

संप्लि सटी (Simplicity): इलेक्ट्रिसिटीरिट स्पष्ट आणि अंतिम वापरकर्त्यांसाठी सहज समजण्यासारखे असावे. ग्राहक जटिल दरांविरोधात आपत्ती करू शकतात, कारण त्यांना सप्लायर्स कंपन्यांबद्दल सामान्यतः नकारात्मक दृष्टिकोन असतो; त्यामुळे, रेटगणनांच्या साधेपणामुळे सप्लाय कंपन्यांविषयीचा विश्वासघात टाळला जाईल.

अॅट्रॅक्टिव्हनेस (Attractiveness): ग्राहकांना इलेक्ट्रिसिटी वापरण्यास प्रवृत्त करणे आवश्यक आहे, आणि त्यामुळे, ग्राहकांना भरणे सोपे करण्यासाठी रेटवापरण्याच्या प्रयत्नांची आवश्यकता आहे.

इलेक्ट्रिसिटीरिट आणि एनर्जी व्यवस्थापन (Electricity Tariffs and Energy Management)

एनर्जी मॅनेजमेंट (Energy management) ही अशी प्रक्रिया आहे ज्यामध्ये इमारतींमध्ये एनर्जी वापराचे निरीक्षण आणि ऑप्टिमायझेशन (optimization) केले जाते. एनर्जी व्यवस्थापनाचा उद्दिष्ट म्हणजे विविध युटिलिटीजमधील एनर्जी खरेदी आणि वापराचे ऑप्टिमल (optimal) पातळीवर राखणे, तसेच उत्पादनक्षमता (productivity) कमी न करता एनर्जी किंमती कमी करणे. याशिवाय, प्रभावीपणे वापर कमी करून खर्च कमी करणे आणि बाजारातील स्पर्धात्मकतेत (market competencies) वाढ करणे हे देखील त्याचे उद्दिष्ट आहे.

या विभागात इलेक्ट्रिसिटीरिट (electricity tariffs) आणि मागणी-साइड एनर्जी व्यवस्थापन (demand-side energy management) यामधील संबंधाची चर्चा केली आहे. इलेक्ट्रिसिटी किंमतांवर मोठा परिणाम होतो आणि ते मागणी-साइडवर एनर्जी पुनर्विभाजनावर (redistribution of energy) प्रभाव टाकतात.

गेल्या काही वर्षांमध्ये सध्याच्या लोडचे (loads) निरीक्षण करण्यासाठी आणि एनर्जी व्यवस्थापन धोरण (EMS strategies) सुधारण्यासाठी विविध पद्धतींचा वापर केला गेला आहे. उदाहरणार्थ, विद्यमान लोड आवश्यकता आणि उत्पादन योजनांची (production plan) मूल्यांकन करून सध्याच्या आवश्यकतांचे (current requirements) आणि त्यांच्या उत्पादन तंत्रज्ञानाचे (production techniques) समजून घेतले जाते, हे देखील चर्चा केली जात आहे.

4.6 विविध युटिलिटीजची अलीकडील रेट संरचना (Recent tariff structure of different utilities)

राज्य-निहाय इलेक्ट्रिसिटीरिट २०२५ (State-wise Power Tariffs 2025)

4.6 विविध युटिलिटीच्या अलीकडील टॅरिफ (Tariff) स्ट्रक्चर (Structure)

लेटेस्ट (Latest) इलेक्ट्रिसिटी (Electricity) टॅरिफ (Tariff) समरी (Summary) (Latest Electricity Tariff Summary) – महाराष्ट्र (Maharashtra), MERC – डिसेंबर 2025

1. डोमेस्टिक (Domestic) / रेसिडेन्शियल (Residential) टॅरिफ – LT कॅटेगरी (LT Category)

एनर्जी शुल्क (Energy Charges):

- 0–100 युनिट्स (Units): ₹5.74/युनिट (unit)
- 101–300 युनिट्स: ₹12.57/युनिट
- 301–500 युनिट्स: ₹16.85/युनिट
- 500 युनिट्सपेक्षा जास्त: ₹19.15/युनिट

2. कमर्शियल टॅरिफ (Commercial Tariff) – LT II

एनर्जी चार्जेस (Energy Charges):

- LT II(A): ₹10.75/युनिट (unit)
- LT II(B): ₹12.50/युनिट
- LT II(C): ₹14.40/युनिट

फिक्स्ड चार्जेस (Fixed Charges):

- LT II(A): ₹240/kW
- LT II(B): ₹300/kW
- LT II(C): ₹400/Kw

3. इंडस्ट्रियल टैरिफ (Industrial Tariff) – LT III / HT

LT इंडस्ट्रियल)LT Industrial):

- एनर्जी चार्ज (Energy Charge): ₹9.45/युनिट (unit)
- फिक्स्ड चार्ज (Fixed Charge): ₹230/kW

HT इंडस्ट्रियल)HT Industrial):

- एनर्जी चार्ज (Energy Charge): ₹7.90/युनिट
- डिमांड चार्ज (Demand Charge): ₹450/kVA

4. पब्लिक सर्विसेस (Public Services)

LT पब्लिक सर्विसेस (LT Public Services):

- एनर्जी चार्ज (Energy Charge): ₹8.25/युनिट (unit)
- फिक्स्ड चार्ज (Fixed Charge): ₹140/kW

HT पब्लिक सर्विसेस (HT Public Services):

- एनर्जी चार्ज (Energy Charge): ₹7.10/युनिट
- डिमांड चार्ज (Demand Charge): ₹380/kVA

5. इलेक्ट्रिक व्हेईकल (Electric Vehicle – EV) चार्जिंग

- पब्लिक EV चार्जिंग स्टेशन (Public EV Charging Stations): ₹6.25/युनिट (unit)
- विशेष फिक्स्ड/डिमांड चार्जेस (Fixed/Demand Charges) नाहीत

6. सोलर) रिन्यूएबल /Solar / Renewable – Net Metering)

- मंथली बँकिंग)Monthly Banking) परवानगी
- बँकिंग चार्ज)Banking Charge): ₹1.50/युनिट
- वर्षाच्या शेवटी सेटलमेंट)Year-end Settlement) – APPC दराने)at APPC)

Sample Question bank

1. List benefits of cogeneration.
2. Illustrate the benefits of time off day and peak off day tariff relevant to energy cost along with its impact on energy bill.
3. What are the basic components of a cogeneration unit?
4. Explain the difference between cogeneration and combined heat and power (CHP).
5. Explain the topping and bottoming cycles in cogeneration.
6. Explain the penalty clause of poor power factor while preparing energy bill.
7. Identify the benefits and applications of availability-based tariff and power factor tariff.?
8. State the objectives of tariff systems
9. List the different types of tariff.
10. Choose any four-tariff schedule to reduce electricity bill of commercial consumer
11. Add 5 numerical for practice (only statement) as a Question Bank
12. A consumer has a maximum demand of 200 kW at 40% load factor. If the tariff is Rs. 100 per kW of maximum demand plus 10 paise per kWh, find the overall cost per kWh.
13. The maximum demand of a consumer is 20 A at 220 V and his total energy consumption is 8760 kWh.
14. If the energy is charged at the rate of 20 paise per unit for 500 hours use of the maximum demand per annum plus 10 paise per unit for additional units, calculate: (i) annual bill (ii) equivalent flat rate.
15. The electricity tariff is Rs.3.00 per unit. Calculate the cost of running an 80W fan for 10h a da for the month of June.
16. A consumer is offered electricity at the tariff of ` 150.00 per kVA of his Maximum Demand (MD) plus 25 paise per unit consumed. The consumer has a total load of 400 kW at a power factor 0.8 lagging. Calculate the annual bill for the consumer at a load factor 1. (100%)

युनिट 5 : एनर्जी ऑडिट (Unit 5: Energy Audit)

कोर्स आउटकम्स (Course Outcomes):

इलेक्ट्रिकल (Electrical) सिस्टिम (System) साठी एनर्जी ऑडिट (Energy Audit) करा.

थिअरी लर्निंग आउटकम्स (TLO):

TLO 5.1 एनर्जी ऑडिट (Energy Audit) डिफाईन (Define) करा आणि बेनिफिट्स (Benefits) लिस्ट (List) करा.

TLO 5.2 स्पेसिफिक एनर्जी कन्सम्प्शन (Specific Energy Consumption) चे सिग्निफिकन्स (Significance) जस्टिफाय (Justify) करा.

TLO 5.3 एनर्जी ऑडिट (Energy Audit) चे टाईप्स (Types) एक्सप्लेन (Explain) करा.

TLO 5.4 स्पेसिफाईड एनर्जी ऑडिट (Specified Energy Audit) साठी रिलिव्हंट इन्स्ट्रुमेंट्स (Relevant Instruments) सजेस्ट (Suggest) करा आणि जस्टिफिकेशन (Justification) द्या.

TLO 5.5 दिलेल्या फॅसिलिटी (Facility) च्या एनर्जी ऑडिट (Energy Audit) साठी क्वेश्चनर (Questionnaire) डेव्हलप (Develop) करा.

TLO 5.6 दिलेल्या फॅसिलिटी/अपॅरॅटस (Facility/Apparatus) चा एनर्जी फ्लो डायग्राम (Energy Flow Diagram) डेव्हलप (Develop) करा.

TLO 5.7 क्रिएटेड फॅसिलिटी (Created Facility) साठी सिंपल पे-बॅक पिरियड (Simple Pay Back Period) आणि आय.आर.आर. (IRR) कॅलक्युलेट (Calculate) करा.

TLO 5.8 फॉलोड एनर्जी ऑडिट (Energy Audit) प्रोसीजर (Procedure) डिस्क्राईब (Describe) करा.

TLO 5.9 दिलेल्या फॅसिलिटी/अपॅरॅटस (Facility/Apparatus) साठी एनर्जी ऑडिट रिपोर्ट (Energy Audit Report) प्रिपेअर (Prepare) करा.

TLO 5.10 एनर्जी मॅनेजर (Energy Manager) आणि ऑडिटर (Auditor) यांच्या रोल्स (Roles) आणि रिस्पॉन्सिबिलिटीज (Responsibilities) डिस्क्राईब (Describe) करा.

5.1 एनर्जी ऑडिट (Energy Audit): डेफिनिशन (Definition) आणि बेनिफिट्स (Benefits)

- एनर्जी ऑडिट (Energy Audit) हे सिस्टेमॅटिक (Systematic), मेथडिकल (Methodical) आणि अॅनालिटिकल (Analytical) प्रोसेस (Process) आहे ज्यामध्ये ऑर्गनायझेशन (Organization), बिल्डिंग (Building) किंवा इंडस्ट्रियल फॅसिलिटी (Industrial Facility) मध्ये एनर्जी (Energy) कशी वापरली जाते हे एक्झॅमिन (Examining) केले जाते.
- या ऑडिट (Audit) चे एम (Aim) एनर्जी फ्लो (Energy Flows) क्वांटिफाय (Quantify) करणे, इनइफिशियन्सीज (Inefficiencies) किंवा वेस्टेजेस (Wastages) आयडेंटिफाय (Identify) करणे आणि कॉस्ट-इफेक्टिव्ह (Cost-Effective) व सस्टेनेबल (Sustainable) इम्प्रुव्हमेंट्स (Improvements) रेकमेंड (Recommend) करणे आहे.
- हे कोणत्याही एनर्जी मॅनेजमेंट प्रोग्राम (Energy Management Program) साठी कॉर्नरस्टोन (Cornerstone) म्हणून काम करते आणि एनर्जी इफिशियन्सी इन्वेस्टमेंट्स (Energy Efficiency Investments) वर डिसिजन-मेकिंग (Decision-Making) साठी फॅक्टुअल बेसिस (Factual Basis) प्रदान करते. एनर्जी ऑडिट (Energy Audit) केवळ एनर्जी कशी कन्स्यूम (Consume) होते याचे मेजरमेंट (Measurement) करत नाही तर लाईटिंग (Lighting), मोटर्स (Motors), बॉयलर्स (Boilers),

- एच.व्ही.ए.सी. सिस्टिम्स (HVAC Systems), कॉम्प्रेसर्स (Compressors) आणि प्रोसेस मशीनरी (Process Machinery) यांसारख्या सिस्टिम्स (Systems) व इक्विपमेंट (Equipment) चे परफॉर्मन्स (Performance) देखील असेस (Assess) करते.
- या इव्हल्युएशन (Evaluation) द्वारे ऑर्गनायझेशन (Organization) एनर्जी परफॉर्मन्स (Energy Performance) साठी बेसलाइन (Baseline) डेव्हलप (Develop) करू शकते, ऑपरेशन्स (Operations) बेस्ट प्रॅक्टिसेस (Best Practices) विरुद्ध बेंचमार्क (Benchmark) करू शकते आणि टाइम (Time) नुसार इम्प्रूव्हमेंट्स (Improvements) ट्रॅक (Track) करू शकते.

एनर्जी ऑडिट (Energy Audit) चे ऑब्जेक्टिव्ह्स (Objectives)

1. मेजर एनर्जी-कन्स्यूमिंग (Energy-Consuming) एरियाज (Areas) आयडेंटिफाय (Identify) करणे आणि त्यांची इफिशियन्सी लेव्हल्स (Efficiency Levels) डिटरमिन (Determine) करणे.
2. डेटा-ड्रिव्हन अॅनालिसिस (Data-Driven Analysis) द्वारे पोटेंशियल एनर्जी (Potential Energy) आणि कॉस्ट सेविंग्स (Cost Savings) क्वांटिफाय (Quantify) करणे.
3. एक्झिस्टिंग सिस्टिम्स (Existing Systems), प्रोसेसेस (Processes) आणि इक्विपमेंट (Equipment) चा परफॉर्मन्स (Performance) इव्हल्युएट (Evaluate) करणे.
4. एनर्जी इफिशियन्सी (Energy Efficiency) वाढवण्यासाठी मॉडिफिकेशन्स (Modifications) किंवा रेट्रोफिट्स (Retrofits) रेकमेंड (Recommend) करणे.
5. कन्झर्वेशन मेजर्स (Conservation Measures) आणि रिन्यूएबल इंटिग्रेशन (Renewable Integration) साठी इम्प्लिमेंटेशन प्लॅन (Implementation Plan) डेव्हलप (Develop) करणे.
6. कंटीन्यूअस मॉनिटरिंग (Continuous Monitoring) व अवेअरनेस (Awareness) द्वारे ओव्हरऑल एनर्जी मॅनेजमेंट (Overall Energy Management) इम्प्रूव्ह (Improve) करणे.

एनर्जी ऑडिट्स (Energy Audits) चे महत्व (Importance)

एनर्जी ऑडिट्स (Energy Audits) हे सस्टेनेबल डेव्हलपमेंट (Sustainable Development) साध्य करण्यासाठी आणि नॅशनल एनर्जी कन्झर्वेशन गोल्स (National Energy Conservation Goals) पूर्ण करण्यासाठी एसेंशियल टूल्स (Essential Tools) आहेत. रायझिंग फ्युएल कॉस्ट्स (Rising Fuel Costs) आणि टायटनिंग एन्व्हायर्नमेंटल रेग्युलेशन्स (Tightening Environmental Regulations) मुळे इंडस्ट्रीज (Industries) आणि कमर्शियल इस्टॅब्लिशमेंट्स (Commercial Establishments) यांच्यावर एनर्जी इंटेंसिटी (Energy Intensity) कमी करण्यासाठी आणि क्लिअर टेक्नॉलॉजीज (Cleaner Technologies) अडॉप्ट (Adopt) करण्यासाठी प्रेशर (Pressure) वाढत आहे.

एनर्जी ऑडिट्स (Energy Audits) अॅक्शनेबल इन्साइट्स (Actionable Insights) प्रदान करून हा गॅप (Gap) ब्रिज (Bridge) करण्यात मदत करतात.

- एनर्जी परफॉर्मन्स (Energy Performance) इंडस्ट्री स्टॅंडर्ड्स (Industry Standards) विरुद्ध बेंचमार्किंग (Benchmarking).
- ऑपरेशनल पॅरामीटर्स (Operational Parameters) चे ऑप्टिमायझेशन (Optimization) करून प्रोसेस रिलायबिलिटी (Process Reliability) इम्प्रूव्ह (Improve) करणे.
- सोलर (Solar) किंवा वेस्ट हीट रिकव्हरी (Waste Heat Recovery) सारख्या रिन्यूएबल सोर्सेस (Renewable Sources) चे इंटिग्रेशन (Integration).
- ग्रीनहाऊस गॅस (GHG) इमिशन्स (Emissions) आणि एन्व्हायर्नमेंटल इम्पॅक्ट (Environmental Impact) कमी करणे.

स्कोप (Scope) ऑफ एनर्जी ऑडिट (Energy Audit)

एनर्जी ऑडिट (Energy Audit) साधारणपणे खालील गोष्टींना कव्हर (Covers) करते:

- युटिलिटी बिल्स (Utility Bills) आणि टॅरिफ्स (Tariffs) चे असेसमेंट (Assessment) करून कॉस्ट पॅटर्न्स (Cost Patterns) समजून घेणे.
- वोल्टेज (Voltage), करंट (Current), पॉवर फॅक्टर (Power Factor), फ्युएल युसेज (Fuel Usage) आणि टेम्परेचर (Temperature) सारख्या की पॅरामीटर्स (Key Parameters) चे मेजरमेंट (Measurement).
- पंप्स (Pumps), फॅन्स (Fans), कॉम्प्रेसर्स (Compressors), आणि चिलर्स (Chillers) सारख्या मेकॅनिकल सिस्टिम्स (Mechanical Systems) चे इव्हॅल्युएशन (Evaluation).
- कॉम्फर्ट (Comfort) आणि एनर्जी इफिशियन्सी (Energy Efficiency) साठी लाईटिंग (Lighting) आणि एच.व्ही.ए.सी. सिस्टिम्स (HVAC Systems) चा स्टडी (Study).
- ऑपरेशनल प्रॅक्टिसेस (Operational Practices) आणि मेंटेनन्स शेड्यूल्स (Maintenance Schedules) चे रिव्ह्यू (Review).
- इमीडिएट (Immediate), शॉर्ट-टर्म (Short-Term), आणि लॉन्ग-टर्म (Long-Term) एनर्जी-सेव्हिंग (Energy-Saving) अपॉर्च्युनिटीज (Opportunities) ओळखणे.

एनर्जी ऑडिट (Energy Audit) कंडक्टिंग फायदे (Benefits)

1. लिकेजेस (Leakages), आयडल रनिंग (Idle Running), आणि हीट लॉसेस (Heat Losses) सारख्या हिडन एनर्जी वेस्टेज (Hidden Energy Wastage) ची ओळख.
2. ऑप्टिमाईज्ड ऑपरेशन (Optimized Operation) आणि इफिशियंट टेक्नॉलॉजीज (Efficient Technologies) द्वारे एनर्जी कॉस्ट्स (Energy Costs) कमी करणे.
3. प्रिव्हेंटिव्ह मेंटेनन्स (Preventive Maintenance) आणि लोड बॅलन्सिंग (Load Balancing) द्वारे इक्विपमेंट रिलायबिलिटी (Equipment Reliability) वाढवणे.
4. प्रोसेस इफिशियन्सी (Process Efficiency) सुधारल्यामुळे हायअर प्रॉडक्टिव्हिटी (Higher Productivity) आणि प्रॉडक्ट क्वालिटी (Product Quality) मिळणे.
5. लोअर कार्बन फुटप्रिंट (Lower Carbon Footprint) आणि ISO 50001 सारख्या एन्व्हायर्नमेंटल स्टँडर्ड्स (Environmental Standards) चे कंप्लायन्स (Compliance).
6. एनर्जी प्रोजेक्ट्स (Energy Projects) मध्ये कॅपिटल इन्वेस्टमेंट (Capital Investment) साठी बेटर डिसिजन-मेकिंग (Better Decision-Making).
7. एनर्जी कन्झर्वेशन (Energy Conservation) इनिशिएटिव्ह्स (Initiatives) मध्ये अवेअरनेस (Awareness) आणि एम्प्लॉयी एंगेजमेंट (Employee Engagement) वाढवणे.
8. एनर्जी-इफिशियंट ऑर्गनायझेशन्स (Energy-Efficient Organizations) सह कॉर्पोरेट इमेज (Corporate Image) आणि कंपिटिटिव्हनेस (Competitiveness) सुधारले जाते, कारण त्या पर्यावरण जबाबदार (Environmentally Responsible) म्हणून ओळखल्या जातात.
9. गव्हर्नमेंट इन्सेंटिव्ह्स (Government Incentives) किंवा एनर्जी इफिशियन्सी सर्टिफिकेशन प्रोग्राम्स (Energy Efficiency Certification Programs) साठी सपोर्ट (Support).
10. नॅशनल एनर्जी सिक्युरिटी (National Energy Security) मध्ये योगदान देणे, आयात केलेल्या फ्युएल्स (Imported Fuels) वर अवलंबित्व कमी करणे.

इलस्ट्रेटिव्ह उदाहरण (Illustrative Example)

अप्रॉक्सिमेटली 400,000 kWh पर मंथ (Approximately 400,000 kWh per Month) कंझूम (Consumes) करणाऱ्या मिडियम-साईड मॅन्युफॅक्चरिंग प्लॅंट (Medium-Sized Manufacturing Plant) चे कन्सिडर (Consider) करा.

डिटेल्ड एनर्जी ऑडिट (Detailed Energy Audit) द्वारे हे डिस्कव्हर (Discovered) झाले की:

- टोटल एनर्जी (Total Energy) चा 15 % लाईटिंग (Lighting) ने कंझूम (Consumed) केला, जुनाट फ्लोरोसेंट लॅम्प्स (Outdated Fluorescent Lamps) सह.
- मोटर्स (Motors) लो पॉवर फॅक्टर्स (Power Factors) (0.75–0.8) वर ऑपरेट (Operated) होत होत्या, ज्यामुळे लॉसेस (Losses) वाढत होत्या.
- कॉम्प्रेस्ड एअर सिस्टिम्स (Compressed Air Systems) मध्ये लिकेज रेट्स (Leakage Rates) 25 % पेक्षा जास्त होत्या.

लाईटिंग (Lighting) ला एलईडी सिस्टिम्स (LED Systems) ने रिप्लेस (Replacing) करून, ऑटोमॅटिक पॉवर-फॅक्टर कंट्रोलर्स (Automatic Power-Factor Controllers) इन्स्टॉल (Installing) करून आणि लिक्स (Leaks) रिपेअर (Repairing) करून, प्लॅंट (Plant) ने नेअरली 20 % एनर्जी सेव्हिंग्स (Energy Savings) साध्य (Achieved) केल्या, ज्यामुळे वार्षिक कॉस्ट (Annual Cost) ₹12 लाख (₹12 Lakhs) ने कमी झाली.

हा उदाहरण (Example) हायलाइट (Highlights) करतो की ऑडिट्स (Audits) ऑपरेशनल परफॉर्मन्स (Operational Performance) आणि प्रॉफिटेबिलिटी (Profitability) कशी ट्रान्सफॉर्म (Transform) करू शकतात.

5.2 स्पेसिफिक एनर्जी कन्सम्प्शन (Specific Energy Consumption) पॅटर्न चे सिग्निफिकन्स (Significance)

डेफिनिशन (Definition)

स्पेसिफिक एनर्जी कन्सम्प्शन (Specific Energy Consumption - SEC) म्हणजे एका युनिट (Unit) आउटपुट (Output) तयार करण्यासाठी कंझूम (Consumed) केलेल्या एनर्जी (Energy) ची रक्कम, ती प्रॉडक्ट (Product), मटेरियल (Material), किंवा सर्व्हिस (Service) असो. हे की परफॉर्मन्स इंडिकेटर (Key Performance Indicator-KPI) आहे जे सिस्टिम (System) किंवा प्रोसेस (Process) च्या एनर्जी इफिशियन्सी (Energy Efficiency) चे इव्हॅल्युएशन (Evaluate) करण्यासाठी वापरले जाते.

मॅथेमॅटिकली (Mathematically), हे अशा प्रकारे एक्सप्रेस (Expressed) केले जाते:

$$\text{"SEC"} = \frac{\text{"Total Energy Consumed (kWh or MJ)"} }{\text{"Total Output (Units of Production)"}}$$

स्पष्टीकरण (Explanation)

- टोटल एनर्जी कंझ्यूम्ड (Total Energy Consumed) मध्ये वापरलेल्या सर्व प्रकारच्या एनर्जी (Energy) समाविष्ट (Includes) असतात—इलेक्ट्रिकल (Electrical), थर्मल (Thermal - Fuel- Based), आणि रिन्यूएबल (Renewable)—जे कॉमन युनिट (Common Unit) मध्ये कन्वर्ट (Converted) केले जाते (किलोवॉट-आवर (kWh) किंवा मेगा जुल्स (MJ)).
- टोटल आउटपुट (Total Output) हे मॅन्युफॅक्चर्ड गुड्स (Manufactured Goods), रेंडर केलेल्या सर्व्हिसेस (Services Rendered), किंवा कोणत्याही मेझरेबल प्रॉडक्शन पॅरामीटर (Measurable Production Parameter) चे प्रतिनिधित्व (Represent) करू शकते (उदा., सिमेंट (Cement) चे टॉन्स (Tonnes), दूध (Milk) चे लिटर्स (Liters), किंवा प्रॉडक्ट (Product) चे युनिट्स (Units)).

- जेव्हा SEC (SEC) कमी असतो, तेव्हा प्रोसेस (Process) अधिक एनर्जी-इफिशियंट (Energy-Efficient) असतो. हाय SEC (High SEC) कमी इफिशियन्सी (Poor Efficiency) आणि जास्त ऑपरेटिंग कॉस्ट्स (Higher Operating Costs) दर्शवतो.

SEC चे महत्त्व (Importance) in एनर्जी मॅनेजमेंट (Energy Management)

स्पेसिफिक एनर्जी कंझम्प्शन (Specific Energy Consumption – SEC) हे इंडस्ट्रीज (industries) आणि कमर्शियल फॅसिलिटीज (commercial facilities) मध्ये एनर्जी बेंचमार्किंग (energy benchmarking) आणि परफॉर्मन्स इम्प्रूव्हमेंट (performance improvement) साठी एक फाऊंडेशन (foundation) म्हणून काम करते. त्याचे महत्त्व खालीलप्रमाणे समराइज्ड (summarized) केले जाऊ शकते:

1. परफॉर्मन्स बेंचमार्किंग (Performance Benchmarking): SEC मुळे एखाद्या फॅसिलिटीच्या (facility's) एनर्जी युज (energy use) ची तुलना स्टँडर्ड (standard) किंवा बेस्ट-इन-क्लास (best-in-class) परफॉर्मन्सशी (performance) त्याच सेक्टरमध्ये (sector) करता येते.
2. इनडेंटिफिकेशन ऑफ इनइफिशियन्सीज (Identification of Inefficiencies): हाय SEC व्हॅल्यूज (values) मुळे इक्विपमेंट इनइफिशियन्सीज (equipment inefficiencies), पूअर मेंटेनन्स (poor maintenance), एक्सेसिव आयडलिंग (excessive idling), किंवा आउटडेटेड टेक्नॉलॉजीज (outdated technologies) यांकडे इंगित होते/लक्ष वेधले जाते.
3. कॉस्ट ऑप्टिमायझेशन (Cost Optimization): कारण एनर्जी (energy) ही प्रोडक्शन कॉस्टचा (production cost) मोठा भाग असते (एनर्जी-इंटेंसिव सेक्टर्समध्ये (energy-intensive sectors) अंदाजे 25–30% पर्यंत), त्यामुळे SEC अॅनालिसिस (analysis) कॉस्ट-सेव्हिंग ऑपॉर्च्युनिटीज (cost-saving opportunities) ओळखण्यास मदत करते.
4. प्रोसेस कंट्रोल आणि मॉनिटरिंग (Process Control and Monitoring): रेग्युलर मॉनिटरिंग (regular monitoring) ऑफ SEC मुळे प्रोसेस स्टॅबिलिटी (process stability) टिकवून ठेवण्यास, अनॉमलीजची (anomalies) लवकर डिटेक्शन (early detection), आणि प्रिव्हेंटिव मेंटेनन्स शेड्यूलिंग (preventive maintenance scheduling) करण्यास मदत होते.
5. गाईडन्स फॉर एनर्जी ऑडिट्स (Guidance for Energy Audits): हे ऑडिटर्स (auditors) आणि इंजिनियर्सना (engineers) कोणते सेक्शन्स (sections) किंवा इक्विपमेंट (equipment) डीटेल्ड ऑडिटिंग (detailed auditing) साठी प्राधान्याने घ्यायला हवे, यासाठी मदत करते.
6. रेग्युलेटरी आणि सर्टिफिकेशन कॉम्प्लायन्स (Regulatory and Certification Compliance): अनेक स्टँडर्ड्स (standards) जसे की ISO 50001 (Energy Management System) आणि BEE's Perform, Achieve, and Trade (PAT) scheme मध्ये SEC ला एक बेंचमार्क इंडिकेटर (benchmark indicator) म्हणून वापरले जाते.
7. सपोर्ट्स डिसिजन-मेकिंग (Supports Decision-Making): SEC क्वांटिटेटिव डेटा (quantitative data) पुरवते ज्यामुळे कॉस्ट-बेनिफिट (cost-benefit) किंवा पेबॅक अॅनालिसिस (payback analyses) द्वारे एनर्जी इफिशियन्सी इन्वेस्टमेंट डिसिजनसचा (energy efficiency investment decisions) मूल्यांकन करता येते.

Table 5.1 Industry-Wise SEC and Benchmark Comparison

टाईप (Type)	डेफिनिशन (Definition)	उदाहरण (Example)
ग्रॉस SEC (Gross SEC)	टोटल एनर्जी कंझम्पशन (total energy consumption) ला टोटल प्रोडक्शन आउटपुटने (total production output) डिवाइड केले जाते.	टोटल प्लांट एनर्जी (electricity + fuel) पर टन ऑफ प्रॉडक्ट (per tonne of product).
नेट SEC (Net SEC)	मेन प्रोसेससाठी (main process) वापरलेली एनर्जी (energy) — ऑक्सिलरीज (auxiliaries) वगळून.	किल्न एनर्जी युज (kiln energy use) पर टन ऑफ क्लिंकर (per tonne of clinker) इन सिमेंट प्लांट (cement plant).
नॉर्मलाइज्ड SEC (Normalized SEC)	एक्सटर्नल व्हेरीएबल्स (external variables) जसे प्रोडक्शन लोड (production load), क्लायमॅटिक कंडिशनस (climatic conditions), किंवा प्रॉडक्ट क्वालिटी (product quality) यानुसार अँडजस्ट केलेले SEC.	SEC करेक्टेड (corrected) फॉर 80% लोड फॅक्टर (load factor) इन टेक्स्टाइल मिल (textile mill).

उदाहरण (Example Calculation)

एखादा डेअरी प्लांट (dairy plant) दररोज 100,000 लिटर मिल्क (liters of milk per day) प्रोड्यूस करतो आणि 25,000 kWh इलेक्ट्रिसिटी (electricity) तसेच 1,200 लिटर फर्नेस ऑईल (furnace oil) कंझ्युम करतो (प्रत्येक लिटर = 10.5 kWh).

टोटल एनर्जी कंझ्यूम्ड (Total Energy Consumed)

$$= 25,000 + (1,200 \times 10.5)$$

$$= 37,600 \text{ kWh/day}$$

$$\text{म्हणून SEC} = 37,600 / 100,000$$

$$= 0.376 \text{ kWh per liter of milk}$$

इंटरप्रीटेशन (Interpretation):

जर डेअरी इंडस्ट्रीजसाठी (dairy industries) बेंचमार्क SEC 0.30 kWh/liter असेल, तर प्लांटचा SEC 0.376 हा इनइफिशंट ऑपरेशन (inefficient operation) दर्शवतो. यामुळे रेफ्रिजरेशन (refrigeration) आणि मोटर ड्राइव्स (motor drives) यांसारख्या एनर्जी ऑप्टिमायझेशन (energy optimization) साठीच्या पोटेंशियल एरियाजकडे (potential areas) लक्ष वेधले जाते.

Table 5.2 Comparison of Typical and Benchmark SEC for Key Industrial Sectors

इंडस्ट्री टाईप (Industry Type)	टिपिकल SEC (Typical SEC)	युनिट ऑफ मेजरमेंट (Unit of Measurement)	बेंचमार्क / टारगेट SEC (Benchmark / Target SEC)
सिमेंट (Cement)	90–110	kWh/tonne	85–95 kWh/tonne
टेक्सटाइल (spinning)	1.2–1.8	kWh/kg yarn	1.0–1.3 kWh/kg
पेपर अँड पल्प (Paper and Pulp)	1,000–1,400	kWh/tonne paper	900–1,100 kWh/tonne
डेअरी प्रोसेसिंग (Dairy Processing)	0.30–0.45	kWh/liter	0.25–0.30 kWh/liter
स्टील (electric arc furnace)	450–550	kWh/tonne steel	400–450 kWh/tonne
बिल्डिंग HVAC सिस्टिम्स (Building HVAC Systems)	0.8–1.5	kWh/m ² /month	0.6–1.0 kWh/m ² /month

फॅक्टर्स अफेक्टिंग स्पेसिफिक एनर्जी कंझम्पशन (Factors Affecting Specific Energy Consumption)

- इक्विपमेंट इफिशियन्सी (Equipment Efficiency):** इक्विपमेंटची कंडिशन (condition), एज (age), आणि डिझाईन (design) हे एनर्जी युजवर (energy use) थेट प्रभाव टाकतात.
- ऑपरेशनल प्रॅक्टिसेस (Operational Practices):** आयडल रनिंग (idle running), स्टार्ट-अप लॉसेस (start-up losses), आणि सबऑप्टिमल लोड फॅक्टर्स (suboptimal load factors) यामुळे SEC वाढतो.
- मंटेनेन्स क्वालिटी (Maintenance Quality):** मोटर्स (motors), पंप्स (pumps), आणि कंप्रेसर्सचे (compressors) पूर मंटेनेन्स (poor maintenance) एनर्जी डिमांड (energy demand) वाढवते.
- प्रोसेस पॅरामिटर (Process Parameters):** ऑप्टिमल ऑपरेटिंग कंडिशनसपासून (optimal operating conditions) होणारे डेविएशन्स (deviations) — जसे टेम्परेचर (temperature), प्रेशर (pressure), फ्लो रेट (flow rate).
- फ्युएल क्वालिटी (Fuel Quality):** लो-ग्रेड फ्युएल्स (low-grade fuels) मुळे कंभरशन इफिशियन्सी (combustion efficiency) कमी होते.
- ह्यूमन फॅक्टर्स (Human Factors):** ऑपरेटर अवेअरनेस (operator awareness) आणि ट्रेनिंग (training) सिस्टिम परफॉर्मन्सवर (system performance) परिणाम करतात.
- अम्बिएंट कंडिशन (Ambient Conditions):** टेम्परेचर (temperature) आणि ह्यूमिडिटी (humidity) मुळे HVAC आणि कूलिंग लोड्स (cooling loads) बदलतात.

SEC मॉनिटरिंग फायदे (Advantages of Monitoring SEC)

- कॉन्टिन्युअस परफॉर्मन्स इम्प्रूव्हमेंट (continuous performance improvement) ट्रेंड अॅनालिसिसद्वारे (trend analysis) सुलभ होते.
- रिअल डेटा (real data) आधारित एनर्जी-सेव्हिंग प्रोजेक्ट्स (energy-saving projects) ला प्राधान्य देता येते.
- इफिशियंट टेक्नॉलॉजीमध्ये (efficient technologies) कॅपिटल इन्व्हेस्टमेंट (capital investments)

जस्टिफाय करण्यास मदत होते.

- एनर्जी मॅनेजर्सना (energy managers) डिपार्टमेंट्स किंवा प्लान्ट्ससाठी रिडक्शन टारगेट्स (reduction targets) सेट करता येतात.
- टॉप मॅनेजमेंट (top management) आणि सस्टेनेबिलिटी रिपोर्टिंगसाठी (sustainability reporting) हे एक कम्युनिकेशन टूल (communication tool) म्हणून काम करते.

5.3 एनर्जी ऑडिट चे प्रकार (Types of Energy Audit)

एनर्जी ऑडिट (Energy Audit) म्हणजे एखाद्या ऑर्गनायझेशन किंवा फॅसिलिटीमध्ये (organization or facility) एनर्जी कशी वापरली जाते याचे सिस्टेमॅटिक अप्रोचने (systematic approach) मूल्यांकन करणे आणि कन्झर्वेशन (conservation) साठीच्या ऑपच्युनिटीज ओळखणे.

स्कोप (scope), लेव्हल ऑफ डीटेल (level of detail), आणि ऑब्जेक्टिव्हज (objectives) यांनुसार एनर्जी ऑडिट्स सामान्यतः खालील तीन मुख्य कॅटेगरीजमध्ये (categories) क्लासिफाय केले जातात:

1. वॉक-थ्रू (Preliminary) ऑडिट – Walk-Through (Preliminary) Audit
2. डीटेल्ड (Comprehensive) ऑडिट – Detailed (Comprehensive) Audit
3. इन्वेस्टमेंट-ग्रेड ऑडिट (IGA) – Investment-Grade Audit (IGA)

प्रत्येक प्रकारचा ऑडिट हा ऑर्गनायझेशनच्या साईज (size), ऑपरेशन्सच्या कॉम्प्लेक्सिटी (complexity), आणि अपेक्षित आउटकम्स (intended outcomes) यांनुसार वेगवेगळ्या उद्देशांसाठी उपयोगी ठरतो.

1. वॉक-थ्रू एनर्जी ऑडिट (Walk-Through Energy Audit / Preliminary Audit)

वॉक-थ्रू ऑडिट (Walk-Through Audit) हा सगळ्यात सिंपल आणि क्विकेस्ट (simplest and quickest) प्रकारचा ऑडिट आहे, आणि साधारणपणे एनर्जी मॅनेजमेंटच्या (energy management) इनिशियल फेजमध्ये (initial phase) केला जातो.

यामध्ये फॅसिलिटीजची (facilities) व्हिज्युअल इन्स्पेक्शन (visual inspection), युटिलिटी बिल्सचे (utility bills) रिव्ह्यू आणि ऑपरेटिंग पर्सोनेलशी (operating personnel) इंटरव्ह्यूज घेतले जातात.

की फीचर्स (Key Features):

- शॉर्ट ड्युरेशन (short duration) — 1–3 days.
- लिमिटेड डेटा कलेक्शन (limited data collection) आणि मेजरमेंट्स (measurements).
- ओब्व्हियस एनर्जी लॉसेस (obvious energy losses) आणि नो-कॉस्ट/लो-कॉस्ट (no-cost / low-cost) सेव्हिंग ऑपच्युनिटीज (saving opportunities) ओळखण्यावर फोकस.
- एनर्जी परफॉर्मन्सचा (energy performance) ब्रॉड ओव्हरव्ह्यू (broad overview) स्थापन करते.

डेटा कलेक्टेड (Data Collected):

- मंथली इलेक्ट्रिसिटी आणि फ्युएल कंझमप्शन डेटा (monthly electricity and fuel consumption data).
- इक्विपमेंट लिस्ट (equipment list) — मोटर्स, लायटिंग, HVAC, बॉयलर्स इ. (motors, lighting, HVAC, boilers, etc.).
- ऑपरेटिंग शेड्युल्स आणि लोड प्रोफाइल्स (operating schedules and load profiles).
- मटेनेन्स आणि ऑपरेशनल प्रॅक्टिसेस (maintenance and operational practices).

आउटकम्स (Outcomes):

- मेजर एनर्जी-कंझुमिंग सेक्शन्सची (major energy-consuming sections) ओळख.
- पोटेशियल सेव्हिंग्सचा (potential savings) प्रिलिमिनरी इस्टिमेशन (preliminary estimation).
- सिंपल, लो-कॉस्ट इम्प्रूव्हमेंट्ससाठी (simple, low-cost improvements) रिकमेंडेशन्स — उदा. (e.g.) आयडल इक्विपमेंट ऑफ करणे (switching off idle equipment), लीक्स फिक्स करणे (fixing leaks), फिल्टर्स क्लिन करणे (cleaning filters).

उदाहरण (Example):

एका स्मॉल ऑफिस बिल्डिंगमध्ये (small office building), वॉक-थू ऑडिटमध्ये खालील गोष्टी आढळल्या:

- लायटिंग फिक्स्चर्स (lighting fixtures) डे-लाईट ऑवर्समध्येही (daylight hours) ऑपरेट होत होते.
- एअर-कंडिशनर्स (air-conditioners) थेर्मोस्टॅटिकली कंट्रोल्ड (thermostatically controlled) नव्हते.
- कंप्रेस्ड एअर लाइन्समध्ये (compressed air lines) लीक होते.

ही इश्यूज करेक्ट केल्यानंतर (correcting these issues) इलेक्ट्रिसिटी बिल्समध्ये 10–15% रिडक्शन (reduction) मिळाले, तेही नेग्लिजिबल कॉस्टमध्ये (negligible cost).

2. डीटेल्ड एनर्जी ऑडिट (Detailed Energy Audit / Comprehensive Audit)

डीटेल्ड एनर्जी ऑडिट (Detailed Energy Audit) म्हणजे एनर्जी युजचे (energy use) एक इन-डेथ असेसमेंट (in-depth assessment) असून, यात सिस्टेमॅटिक डेटा कलेक्शन (systematic data collection), डीटेल्ड मेजरमेंट (detailed measurement) आणि अॅनालिसिस (analysis) समाविष्ट असते.

हा प्रकारचा ऑडिट स्पेसिफिक एनर्जी कन्झर्वेशन मेजर्स (specific Energy Conservation Measures – ECMs) ओळखतो आणि त्यांची टेक्निकल व फायनान्शियल फिजिबिलिटी (technical and financial feasibility) मूल्यांकन करतो.

ऑब्जेक्टिव्हज (Objectives):

- फॅसिलिटीसाठी एनर्जी बॅलन्स (energy balance) स्थापन करणे.
- मेजर एनर्जी-कंझुमिंग सिस्टिम्सची (major energy-consuming systems) इफिशियन्सी निश्चित करणे.
- प्रत्येक प्रपोज्ड मेजरसाठी (proposed measure) पोटेशियल एनर्जी आणि कॉस्ट सेव्हिंग्सचे (potential energy and cost savings) क्वांटिफिकेशन करणे.

स्टेप्स इनव्हॉल्व्ड (Steps Involved):**1. डेटा कलेक्शन (Data Collection):**

हिस्टॉरिकल एनर्जी डेटा (historical energy data), इक्विपमेंट स्पेसिफिकेशन्स (equipment specifications), ऑपरेटिंग ऑवर्स (operating hours), प्रोडक्शन डेटा (production data).

2. फील्ड मेजरमेंट्स (Field Measurements):

पॉवर अँनालायझर्स (power analyzers), फ्लो मीटर्स (flow meters), थर्मोमीटर्स (thermometers), लक्स मीटर्स (lux meters), आणि कंबर्शन अँनालायझर्स (combustion analyzers) वापरून मोजमाप.

3. अँनालिसिस (Analysis):

एनर्जी फ्लो डायग्राम्स (energy flow diagrams) तयार करणे आणि SEC (specific energy consumption) कॅल्क्युलेट करणे.

4. ECMs आयडेंटिफिकेशन (Identification of ECMs):

फिजिबल एनर्जी-सेव्हिंग मेजर्सची (feasible energy-saving measures) लिस्ट तयार करणे.

5. इकॉनॉमिक इव्हल्यूएशन (Economic Evaluation):

सिंपल पेबॅक पिरियड (Simple Payback Period), नेट प्रेझेंट व्हॅल्यू (NPV), आणि इंटरनल रेट ऑफ रिटर्न (IRR) कॅल्क्युलेट करणे.

आउटपुट्स (Outputs):

- क्वांटिफाईड सेव्हिंग्ससह डीटेल्ड अँनालिसिस रिपोर्ट (detailed analysis report).
- प्रोसेस ऑप्टिमायझेशन (process optimization) आणि रेट्रोफिट्स (retrofits) साठी रिकमेंडेशन्स.
- फायनान्शियल जस्टिफिकेशनसह (financial justification) इम्प्लिमेंटेशन रोडमॅप (implementation roadmap).

ड्युरेशन (Duration):

3–6 weeks — प्लांटची साईज आणि कॉम्प्लेक्सिटीवर (plant size and complexity) अवलंबून.

उदाहरण (Example):

फूड प्रोसेसिंग प्लांटमध्ये (food processing plant) केलेल्या डीटेल्ड ऑडिटमध्ये खालील गोष्टी आढळल्या:

- बॉयलर ऑपरेटिंग इफिशियन्सी (boiler operating efficiency) 72% होती (बेंचमार्क 82%).
- कंप्रेस्ड एअर लीकमुळे (compressed air leaks) 18% एनर्जी लॉस.
- ओव्हरसाईज्ड मोटर्स (oversized motors) लो लोडवर ऑपरेट होत होत्या.

ही करेक्टिव्ह अक्शन्स (corrective actions) इम्प्लिमेंट केल्यानंतर प्लांटला ₹24 लाखांचे वार्षिक सेव्हिंग्स मिळाले, आणि पेबॅक पिरियड 1.8 वर्षे होता.

3. इन्वेस्टमेंट-ग्रेड ऑडिट (Investment-Grade Audit – IGA)

इन्वेस्टमेंट-ग्रेड एनर्जी ऑडिट (Investment-Grade Energy Audit – IGA) हा ऑडिटचा सर्वात अडव्हान्स्ड आणि कॉम्प्रीहेन्सिव्ह टाइप आहे.

यामध्ये टेक्निकल, फायनान्शियल आणि रिस्क अँनालिसिस (technical, financial, and risk analysis) समाविष्ट असते, जे लार्ज-स्केल एनर्जी इफिशियन्सी प्रोजेक्ट्स (large-scale energy efficiency projects) साठी इन्व्हेस्टमेंट डिसीजनला सपोर्ट करतात.

हे ऑडिट्स सहसा एनर्जी परफॉर्मन्स कॉन्ट्रॅक्टिंग (Energy Performance Contracting–EPC) मॉडेलखाली एनर्जी सर्व्हिस कंपन्यांकडून (Energy Service Companies – ESCOs) केले जातात, ज्यांना BEE (Bureau of Energy Efficiency) कडून अक्रेडिटेशन असते.

परपज (Purpose):

- बँकेबल एनर्जी इफिशियन्सी प्रोजेक्ट्स (bankable energy efficiency projects) विकसित करणे.
- हाय अक्युरसीने फायनान्शियल रिटर्न्स आणि पेबॅक पिरियड्स (financial returns and payback periods) व्हेरिफाय करणे.
- फायनान्सिंगसाठी योग्य डीटेल्ड प्रोजेक्ट रिपोर्ट्स (Detailed Project Reports – DPRs) तयार करणे.

स्कोप ऑफ वर्क (Scope of Work):

1. बेसलाइन एनर्जी असेसमेंट (Baseline Energy Assessment): मीटरिंग आणि सब-मीटरिंग डेटाद्वारे (metering and sub-metering data) करंट कंझमेशनचे डिटेर्मिनेशन.
2. डीटेल्ड टेक्निकल अँनालिसिस (Detailed Technical Analysis): सिम्युलेशन टूल्स वापरून सिस्टिम परफॉर्मन्सचे मॉडेलिंग (modeling), जसे RETScreen, eQuest, किंवा MATLAB.
3. फायनान्शियल मॉडेलिंग (Financial Modeling): कॅश फ्लो फोरकास्टिंग (cash flow forecasting), लाइफ-सायकल कॉस्ट अँनालिसिस (life-cycle cost analysis), IRR कॅल्क्युलेशन.
4. मेजरमेंट अँड व्हेरिफिकेशन–M&V (Measurement and Verification – M&V):

IPMVP (International Performance Measurement and Verification Protocol) नुसार पोस्ट-इम्प्लिमेंटेशन मॉनिटरिंग प्रोटोकॉलसची स्थापना.

डिलिव्हेरेबल्स (Deliverables):

- इन्व्हेस्टमेंट इस्टीमेट्ससह फिजिबिलिटी रिपोर्ट (feasibility report).
- सेन्सिटिव्हिटी आणि रिस्क अँनालिसिस (sensitivity and risk analysis).
- मॉनिटरिंग प्लानसह इम्प्लिमेंटेशन शेड्यूल (implementation schedule).

उदाहरण (Example):

सिमेंट मॅन्युफॅक्चरिंग प्लांटमध्ये (cement manufacturing plant) केलेल्या IGA मुळे वेस्ट हीट रिकव्हरी सिस्टिम (Waste Heat Recovery System – WHRS) इम्प्लिमेंट करण्यात आली, ज्यासाठी ₹6 कोटीचे इन्व्हेस्टमेंट झाले.

या सिस्टिमने किल्न एक्झॉस्ट गॅसेसमधून (kiln exhaust gases) 1.2 MW इलेक्ट्रिकल पॉवर रिकव्हर केली आणि ग्रिड डिपेन्डन्सी 18% ने कमी केली. या प्रोजेक्टचा IRR 23%, आणि पेबॅक पिरियड 3.5 वर्षे होता

Table 5.3 Comparisons of Energy Audit Types (Walk-Through, Detailed, and Investment-Grade)

पॅरामिटर (Parameter)	वॉक-थ्रू ऑडिट (Walk-Through Audit)	डीटेल्ड एनर्जी ऑडिट (Detailed Energy Audit)	इन्वेस्टमेंट-ग्रेड ऑडिट – IGA (Investment-Grade Audit – IGA)
ऑब्जेक्टिव्ह (Objective)	व्हिजिबल एनर्जी-सेविंग ऑपॉर्च्युनिटीज (visible energy-saving opportunities) ओळखणे.	एनर्जी लॉसेस (energy losses) क्वांटिफाय करून ECMs (Energy Conservation Measures) रेकमेंड करणे.	डीटेल्ड इन्वेस्टमेंट-ग्रेड प्रपोजल्स (investment-grade proposals) विकसित करणे.
ड्युरेशन (Duration)	1–3 दिवस	3–6 आठवडे	2–3 महिने
डेटा रिक्वायरमेंट (Data Requirement)	मिनिमल (minimal)	एक्स्टेन्सिव्ह – मेजरमेंट्स, लॉग्स (extensive: measurements, logs)	कॉम्प्रेहेन्सिव्ह – रीअल-टाइम मीटरिंग, सिमुलेशन्स (comprehensive: real-time metering, simulations)
इन्स्ट्रुमेंट्स युज्ड (Instruments Used)	क्लॅम्प मीटर, लक्स मीटर (clamp meter, lux meter)	पॉवर अॅनालायझर, फ्लो मीटर, थर्मल कॅमेरा (power analyzer, flow meter, thermal camera)	सर्व डीटेल्ड ऑडिट इन्स्ट्रुमेंट्स + अॅडव्हान्स्ड सॉफ्टवेअर (advanced software)
आउटपुट (Output)	क्विक रिपोर्ट (quick report), नो-कॉस्ट/लो-कॉस्ट सजेशन्स	कॉम्प्रेहेन्सिव्ह रिपोर्ट विथ पेबॅक अॅनालिसिस	DPR (Detailed Project Report) टेक्निकल आणि फायनान्शियल फिजिबिलिटीसह
अॅक्युरसी (Accuracy)	±20–25%	±10–15%	±5% किंवा त्यापेक्षा चांगली
कॉस्ट ऑफ ऑडिट (Cost of Audit)	लो (low)	मॉडरेट (moderate)	हाई (high)
युज केस (Use Case)	स्मॉल कमर्शियल बिल्डिंग्स, स्कूल्स, ऑफिसेस	मीडियम आणि लार्ज इंडस्ट्रीज	लार्ज इंडस्ट्रियल कॉम्प्लेक्सेस, ESCO प्रोजेक्ट्स

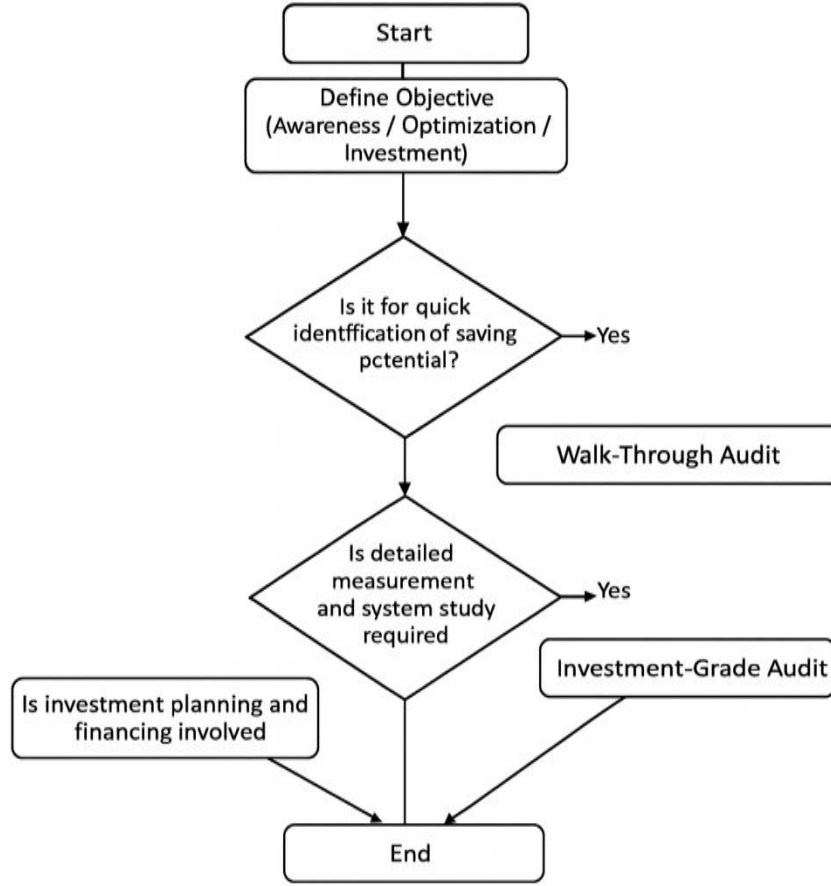


Figure 5.1 Investment-Grade Audit

5.4 एनर्जी ऑडिट इन्स्ट्रुमेंट्स अँड देअर युज (Energy Audit Instruments and Their Use)

एक एनर्जी ऑडिट (Energy Audit) हे साईट स्टडीजदरम्यान मिळणाऱ्या मेजरमेंट्सच्या अॅक्युरसीवर (accuracy of measurements) मोठ्या प्रमाणावर अवलंबून असते.

अॅक्युरेट डेटा कलेक्शन (accurate data collection) केल्याने सिस्टिम परफॉर्मन्स (system performance) इव्हॅल्यूएट करणे, इनइफिशन्सीज (inefficiencies) डिटेक्ट करणे आणि एनर्जी कंझर्वेशन ऑपॉर्च्युनिटीज (energy conservation opportunities) ओळखणे सोपे होते.

प्रॉपर इन्स्ट्रुमेंट्सचा (proper instruments) वापर केल्यामुळे ऑडिट फायंडिंग्स सायंटिफिकली व्हॅलिड (scientifically valid), रीप्रोड्युसेबल (reproducible) आणि अॅक्शनएबल (actionable) राहतात.

एनर्जी ऑडिट इन्स्ट्रुमेंट्सचा वापर फॅसिलिटीच्या नेचरनुसार इलेक्ट्रिकल (electrical), थर्मल (thermal), लायटिंग (lighting), फ्लो (flow) आणि कम्बशन पॅरामिटर्स (combustion parameters) मोजण्यासाठी केला जातो.

क्लासिफिकेशन ऑफ एनर्जी ऑडिट इन्स्ट्रुमेंट्स (Classification of Energy Audit Instruments)

एनर्जी ऑडिट इन्स्ट्रुमेंट्स (energy audit instruments) खालील कॅटेगरीजमध्ये (categories) मुख्यत्वे ब्रॉडली क्लासिफाय (broadly classified) केले जाऊ शकतात:

Table 5.4 Classifications of Energy Audit Instruments

Category	Purpose	Examples
Electrical Instruments	To measure electrical parameters like voltage, current, power factor, harmonics, etc.	Multimeter, Clamp Meter, Power Analyzer
Thermal Instruments	To measure temperature, pressure, and heat losses.	Thermometer, Infrared Thermal Imager, Pressure Gauge
Combustion Analysis Instruments	To assess boiler and furnace efficiency.	Combustion Gas Analyzer, Fuel Efficiency Monitor
Flow Measurement Devices	To measure flow rates of air, steam, and liquids.	Flow Meter, Anemometer
Lighting Measurement Devices	To measure light intensity and distribution.	Lux Meter, Smart Lighting Sensors
Rotational Speed Measurement	To check the operating speed of machines.	Tachometer
Integrated Monitoring Devices	For real-time and long-term monitoring.	Smart Energy Meters, Data Loggers

1. इलेक्ट्रिकल मेजूरिंग इन्स्ट्रुमेंट्स (Electrical Measuring Instruments)**(a) मल्टीमीटर (Multimeter)**

मल्टीमीटर (multimeter) हा एक बेसिक डायग्नोस्टिक टूल (basic diagnostic tool) आहे, जो इलेक्ट्रिकल सर्किट्समध्ये (electrical circuits) व्होल्टेज (voltage – V), करंट (current – A) आणि रेझिस्टन्स (resistance – Ω) मोजण्यासाठी वापरला जातो.

टाइप (Type):

- डिजिटल किंवा अॅनालॉग (Digital or Analog)
- रेंज (Range):
- AC/DC व्होल्टेज (voltage) — 600 V पर्यंत
- करंट (current) — 10 A पर्यंत
- युज इन एनर्जी ऑडिट (Use in Energy Audit):
- सप्लाय व्होल्टेज इम्बॅलन्स (supply voltage imbalance) तपासणे
- ओव्हर-लोडेड सर्किट्स (over-loaded circuits) ओळखणे
- फॉल्टी केबल्स, फ्यूजेस किंवा इक्विपमेंट (faulty cables, fuses, or equipment) डिटेक्ट करणे

(b) क्लॅम्प मीटर (Clamp Meter)

क्लॅम्प मीटर (clamp meter) हा एका कंडक्टरमधून जाणाऱ्या करंटचा (current flow in a conductor) **फिजिकल कॉन्टॅक्ट** (physical contact) न करता, **इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक इंडक्शन** (electromagnetic induction) चा वापर करून करंट मोजणारा इन्स्ट्रुमेंट आहे.

- फायदे (Advantages):

- नॉन-इंट्रूसिव्ह (non-intrusive)
- सेफ (safe)
- पोर्टेबल (portable)

फॉर्म्युला युज्ड (Formula Used):

$$P = V \times I \times \cos(\phi)$$

where P = Power (W), V = Voltage, I = Current, and $\cos\phi$ = Power factor.

युज इन एनर्जी ऑडिट (Use in Energy Audit):

केबल्स (cables), मोटर्स (motors), आणि डिस्ट्रीब्यूशन पॅनेल्समध्ये (distribution panels) करंट मोजण्यासाठी वापरला जातो.

2. पॉवर अॅनालायझर (Power Analyzer)

पॉवर अॅनालायझर (Power Analyzer) हा एक अडव्हान्स्ड इन्स्ट्रुमेंट (advanced instrument) आहे, जो व्होल्टेज (voltage), करंट (current), हार्मोनिक्स (harmonics), पॉवर फॅक्टर (power factor) आणि एनर्जी (energy) हे पॅरामिटर्स टाइम ओव्हर (over time) रेकॉर्ड करतो.

हा इन्स्ट्रुमेंट ग्राफिकल डेटा लॉगिंग (graphical data logging) आणि पॉवर क्वालिटी अॅनालिसिस (power quality analysis) पुरवतो.

Table 5.5 Power Analyzer

Parameter Measured	Description / Significance
Voltage, Current, Frequency	Identifies abnormal fluctuations
Power Factor (PF)	Indicates reactive power losses
Harmonics (THD)	Detects waveform distortions from non-linear loads
Load Profiling	Monitors demand variation during shifts

ॲप्लिकेशन्स (Applications)

- पुअर PF (poor Power Factor – PF) असलेले इक्विपमेंट ओळखणे आणि कॅपेसिटर बँक्स (capacitor banks) रेकमेंड करणे.
- व्हेरीएबल फ्रिक्वेन्सी ड्राइव्स (VFDs – Variable Frequency Drives) असलेल्या प्लांट्समध्ये हार्मोनिक डिस्टॉर्शन (harmonic distortion) मोजणे.
- पीक लोड मॅनेजमेंट स्ट्रॅटेजीज (peak load management strategies) इव्हॅल्यूएट करणे.

उदाहरण (Example):

एका प्लास्टिक एक्स्ट्रूजन प्लांटमध्ये (plastic extrusion plant), पॉवर अॅनालायझर (power analyzer) ने दाखवले की VFDs (Variable Frequency Drives) मुळे 18% THD (Total Harmonic Distortion) निर्माण होत होते. हार्मोनिक फिल्टर्स (harmonic filters) इंस्टॉल केल्यानंतर लॉसेस 6% ने कमी झाले आणि वार्षिक 40,000 kWh एनर्जी सेव्ह झाली.

3. लक्स मीटर (Lux Meter)

लक्स मीटर (Lux Meter) हे इन्स्ट्रुमेंट इल्यूमिनेशन लेव्हल्स (illumination levels) मोजण्यासाठी वापरले जाते, ज्याची युनिट लक्स (lux – lumens/m²) आहे.

युज (Use):

लायटिंग सिस्टिम्सची (lighting systems) अॅडिक्सी (adequacy) आणि इफिशियन्सी (efficiency) अॅसेस करण्यासाठी.

रिकमेंडेड स्टॅण्डर्ड्स (Recommended Standards – as per IS 3646):

- ऑफिस वर्कस्पेस (Office workspace): 300–500 lux
- वर्कशॉप्स (Workshops): 500–1000 lux
- वेअरहाऊसेस (Warehouses): 150–200 lux

Application उदाहरण (Example):

एका टेक्स्टाईल मिलमध्ये (textile mill), 400 W मेटल हॅलाइड लॅम्प्स (metal halide lamps) बदलून 150 W LED फिक्स्चर्स (LED fixtures) बसवल्या.

यामुळे 600 lux राखली गेली, आणि वार्षिक एनर्जी कंझम्रेशन 55% ने कमी झाले.

4. स्मार्ट एनर्जी मीटर (Smart Energy Meter)

स्मार्ट एनर्जी मीटर (Smart Energy Meter) हा एक डिजिटल डिव्हाइस (digital device) आहे, जो रीअल-टाइम मेजरमेंट (real-time measurement) आणि रिमोट डेटा लॉगिंग (remote data logging) द्वारे एनर्जी कंझम्रेशन (energy consumption) ट्रॅक करू शकतो.

मोजलेले पॅरामिटर (Parameters Measured):

व्होल्टेज (Voltage), करंट (Current), पॉवर फॅक्टर (Power Factor), एनर्जी (Energy – kWh), डिमांड (Demand – kVA), आणि लोड प्रोफाइल (Load Profile)

फंक्शन्स (Functions):

- टाइम-ऑफ-डे (ToD – Time-of-Day) युसेज पॅटर्न्स रेकॉर्ड करणे
- डेटा वायरलेस (wirelessly) ट्रान्समिट करून अॅनालिटिक्स (analytics) साठी उपलब्ध करणे
- इंडिव्हिज्युअल मशीनसाठी सब-मीटरिंग (sub-metering) सक्षम करणे

अॅप्लिकेशन (Application):

एनर्जी मॅनेजर्स (energy managers) ला डिपार्टमेंट्समध्ये (departments) एनर्जी कंझम्रेशन ट्रेंड्स (consumption trends) ट्रॅक आणि ऑप्टिमाईज करण्यास मदत करते.

एका कमर्शियल कॉम्प्लेक्समध्ये (commercial complex), स्मार्ट मीटरिंग (smart metering) ने हाय नाईटटाईम स्टँडबाय लोड्स (high nighttime standby loads) ओळखले, ज्यामुळे टोटल एनर्जी युज 12% ने कमी झाली.

5. फ्युएल इफिशियन्सी मॉनिटर (Fuel Efficiency Monitor)

फ्युएल इफिशियन्सी मॉनिटर (Fuel Efficiency Monitor) हा इन्स्ट्रुमेंट इंजिन्स (engines), बॉयलर्स (boilers) किंवा फर्नेसेस (furnaces) कडे जाणाऱ्या फ्युएलच्या फ्लो रेट (flow rate) मोजतो आणि आउटपुट (output) शी कोरिलेट करून इफिशियन्सी (efficiency) कॅल्क्युलेट करतो.

$$\text{बॉयलर्स इफिशियन्सी (Boiler Efficiency)} = \frac{\text{Heat Output}}{\text{Heat Input}} \times 100$$

मोजलेले पॅरामिटर्स (Measured Parameters):

फ्युएल कंझम्रेशन (Fuel consumption), फ्ल्यू गॅस टेम्परेचर (Flue gas temperature), आणि कंब्रेशन एअर टेम्परेचर (Combustion air temperature)

युज (Use):

इनकंप्लीट कंब्रेशन (incomplete combustion) डिटेक्ट करणे, बर्नर ट्यूनिंग (burner tuning) आणि हीट रिकव्हरी (heat recovery) साठीच्या ऑपच्युनिटीज ओळखणे.

उदाहरण (Example):

बॉयलर इफिशियन्सी (Boiler efficiency) 72% वरून 82% पर्यंत सुधारली, जेव्हा फ्युएल मॉनिटर (fuel monitor) आणि गॅस अॅनालायझर (gas analyzer) वापरून एअर-फ्युएल रेशियो (air-fuel ratio) ट्यून केले गेले.

6. कंब्रेशन गॅस अॅनालायझर (Combustion Gas Analyzer)

कंब्रेशन गॅस अॅनालायझर (Combustion Gas Analyzer) हा फ्ल्यू गॅसेस (flue gases) ची कंपोजिशन (composition) ठरवतो, जसे की O₂, CO₂, CO, SO₂, आणि NO_x.

हा इन्स्ट्रुमेंट कंब्रेशन इफिशियन्सी (combustion efficiency) इव्हॅल्यूएट करण्यास मदत करतो आणि एक्सेस एअर (excess air) किंवा इनकंप्लीट कंब्रेशन (incomplete combustion) ओळखतो.

Table 5.6 Combustion Gas Analyzer

Parameter	Typical Range	Significance
O ₂	2–6%	Indicates excess air level
CO ₂	8–14%	Reflects combustion efficiency
CO	<100 ppm	Indicates incomplete combustion

Flue Gas Temp	150–250 °C	High temperature implies heat loss
---------------	------------	------------------------------------

ऑप्लिकेशन (Application):

बॉयलर्स (boilers) आणि फर्नेसेस (furnaces) मध्ये बर्नर्स (burners) ट्यून करण्यासाठी वापरले जाते, जेणेकरून अनबर्न्ट फ्युएल लॉसेस (unburnt fuel losses) कमी करता येतील.

7. थर्मामीटर (Thermometer) आणि इन्फ्रारेड थर्मल इमेजर (Infrared Thermal Imager)

थर्मामीटर्स (Thermometers) आणि IR कॅमेरे (IR cameras) सरफेस (surface) आणि फ्लुइड (fluid) टेम्परेचर्स (temperatures) मोजतात, जेणेकरून हीट लॉसेस (heat losses) आणि इन्सुलेशन फेल्युअर्स (insulation failures) ओळखता येतात.

• टाइप्स (Types):

- कॉन्टॅक्ट (Contact) – मरकरी/डिजिटल (mercury/digital)
- नॉन-कॉन्टॅक्ट (Non-contact) – इ
- इन्फ्रारेड (infrared)

युज (Use):

- स्टीम लाइन्स (steam lines), फर्नेसेस (furnaces), आणि मोटर्स (motors) चा सरफेस टेम्परेचर तपासणे
- इलेक्ट्रिकल पॅनेल्समध्ये (electrical panels) हॉट स्पॉट्स (hot spots) डिटेक्ट करणे
- इन्सुलेशनची (insulation) एफेक्टिव्हनेस (effectiveness) असेस करणे

उदाहरण (Example):

एका फूड प्रोसेसिंग युनिटमध्ये (food processing unit) केलेल्या इन्फ्रारेड सर्व्हे (infrared survey) मध्ये अनइन्सुलेटेड स्टीम व्हॉल्व्स (uninsulated steam valves) कडून 45 °C हीट लिकेज (heat leakage) आढळले.

इन्सुलेशन जॅकेट्स (insulation jackets) वापरून हे करेक्ट केले, ज्यामुळे दररोज 120 kg स्टीम (steam/day) वाचले.

8. फ्लो मीटर (Flow Meter)

फ्लो मीटर्स (Flow Meters) प्रोसेस सिस्टिम्समध्ये (process systems) फ्लुइड्स (fluids) चे फ्लो रेट (flow rate) मोजण्यासाठी वापरले जातात, जसे की एअर (air), वॉटर (water), स्टीम (steam) किंवा गॅस (gas).

Table 5.6 comparisons of Flow Meter

Type of Flow Meter	Working Principle	Typical Application
Orifice Plate	Pressure drop measurement	Steam flow in pipelines

Turbine Flow Meter	Rotational velocity proportional to flow	Fuel or water flow
Ultrasonic Flow Meter	Time difference of sound waves	Non-contact flow measurement
Magnetic Flow Meter	Faraday's law of induction	Conductive liquid measurement

फॉर्म्युला युज्ड (Formula Used):

फ्लो मीटरसाठी वापरले जाणारे फॉर्म्युला (formula) फ्लो रेट (Flow Rate) = वॉल्यूम / टाईम (Volume / Time) किंवा $Q = A \times V$

$$Q = A \times V$$

where

Q = Flow rate (m^3/s), A = Cross-sectional area (m^2), V = Flow velocity (m/s).

9. टॅकोमीटर (Tachometer)

टॅकोमीटर (tachometer) हे मशीन जसे की मोटर्स (motors), पंप्स (pumps), आणि फॅन्स (fans) यांचे रोटेशनल स्पीड (rotational speed – rpm) मोजण्यासाठी वापरले जाते.

टाईप्स (Types):

- कॉन्टॅक्ट (contact)
- नॉन-कॉन्टॅक्ट (non-contact – laser/optical)

युज इन एनर्जी ऑडिट (Use in Energy Audit):

- o रेटेड वर्सेस अॅक्चुअल मोटर स्पीड (rated vs actual motor speed) व्हेरिफाय करण्यासाठी.
- o बेल्ट स्लिपेज (belt slippage) किंवा फॅन इम्बॅलन्स (fan imbalance) ओळखण्यासाठी.
- o मोटर लोडिंग ऑप्टिमाईज करून एफिशियन्सी (efficiency) सुधारण्यासाठी.

उदाहरण (Example):

A ब्लोअर मोटर (blower motor) ज्याचा रेटेड स्पीड (rated speed) 1,450 rpm होता, ती वॉर्न-आउट बेल्ट्स (worn-out belts) मुळे फक्त 1,220 rpm वर रन होत होती — करेक्शन केल्यानंतर सिस्टिम एफिशियन्सी (system efficiency) मध्ये 7% इम्प्रूव्हमेंट झाली.

Table: 07 Energy Audit Instruments:

Instrument	Measured Parameter	Purpose / Use
Multimeter / Clamp Meter	Voltage, Current, Power	Electrical load measurement
Power Analyzer	Power factor, Harmonics	Power quality assessment
Lux Meter	Light Intensity	Lighting system evaluation
Smart Energy Meter	Energy Consumption	Real-time load monitoring
Fuel Efficiency Monitor	Fuel Flow	Combustion efficiency check
Combustion Gas Analyzer	Flue Gas Composition	Boiler tuning and emission monitoring
Thermometer / IR Camera	Temperature	Heat loss detection
Flow Meter	Fluid Flow Rate	Steam/air/water balance
Tachometer	Rotational Speed	Mechanical system analysis

इन्स्ट्रुमेंट्स युज करताना प्रॅक्टिकल कन्सिडरेशन्स (Practical Considerations for Using Instruments)

1. कॅलिब्रेशन (Calibration):

इन्स्ट्रुमेंट्सना ISO/IEC 17025 स्टॅण्डर्ड्स (standards) नुसार पिरियॉडिकली कॅलिब्रेट केले पाहिजे.

2. सेफ्टी (Safety):

सर्व इलेक्ट्रिकल इन्स्ट्रुमेंट्सनी CAT-III किंवा CAT-IV सेफ्टी रेटिंग्स (safety ratings) कंप्लाय केले पाहिजेत.

3. डेटा लॉगिंग (Data Logging):

डेटा लॉगर्स (data loggers) वापरल्याने कंतिन्युअस मॉनिटरिंगमुळे अॅक्युरसी सुधारते.

4. एन्व्हायर्नमेंटल कंडिशनस (Environmental Conditions):

टेम्परेचर आणि ह्युमिडिटी रीडिंग्सवर परिणाम करू शकतात—म्हणून स्टेबल कंडिशनसमध्ये मोजमाप करावे.

5. पर्सोनेल ट्रेनिंग (Personnel Training):

सेन्सिटिव्ह डिव्हाइसेस फक्त ट्रेन केलेले ऑडिटर्स किंवा सर्टिफाईड प्रोफेशनल्सने हँडल करावेत.

उदाहरण (Example): कॉम्बाइन्ड ऑडिट ऑप्लिकेशन (Combined Audit Application)

एका मिडियम-स्केल ऑटोमोबाईल कंपोनेंट प्लांटमध्ये (medium-scale automobile component plant) खालील इन्स्ट्रुमेंट्स (instruments) वापरले गेले:

Table 5.8 Instrument-Wise Audit Observations and Improvement Measures

Instrument	Application	Finding	Improvement
Power Analyzer	Main distribution panel	Power factor = 0.78	Installed 60 kVAR capacitor bank
Lux Meter	Shop floor lighting	Average 220 lux	Upgraded to LED lighting at 500 lux
Combustion Analyzer	Heat treatment furnace	O ₂ = 8%, CO = 200 ppm	Adjusted air-fuel ratio
Flow Meter	Compressed air system	Leakage rate = 25%	Sealed leaks and installed pressure sensors

Result: Overall energy savings of 15%, annual reduction of ₹8.5 lakhs in energy costs.

5.5 एनर्जी ऑडिट प्रोजेक्टसाठी प्रश्नावली (Questionnaire for Energy Audit Projects)

एनर्जी ऑडिटच्या (energy audit) प्रिलिमिनरी स्टेजमध्ये (preliminary stage) क्वेश्चननॅयर (questionnaire) हे सर्वात इम्पोर्टंट टूल्सपैकी (important tools) एक आहे.

हे प्लांट पर्सोनेल (plant personnel), डिपार्टमेंट्स (departments) आणि इक्विपमेंट ऑपरेटर्स (equipment operators) कडून सिस्टेमॅटिक डेटा कलेक्शन (systematic data collection) करण्यास मदत करते.

एक वेल-डिझाईन्ड क्वेश्चननॅयर (well-designed questionnaire) डिटेल्ड मेजरमेंट्स (detailed measurements) करण्यापूर्वी सर्व रिलिव्हंट इन्फॉर्मेशन (relevant information) अचूक आणि इफिशियंटली (accurately and efficiently) गोळा केली जाते याची खात्री देते.

हे फॅसिलिटीच्या (facility) ऑपरेशनल कॅरॅक्टरिस्टिक्स (operational characteristics), एनर्जी फ्लो (energy flows) आणि मॅनेजमेंट प्रॅक्टिसेस (management practices) समजून घेण्यासाठी बेसिस तयार करते.

प्रश्नावली पर्पज (Purpose of the Questionnaire)

एनर्जी ऑडिट क्वेश्चननॅयर (energy audit questionnaire) डिझाईन करण्याचे ऑब्जेक्टिव्हज (objectives) पुढीलप्रमाणे आहेत:

1. **फॅसिलिटी लेआउट** (facility layout), **युटिलिटीज** (utilities) आणि **मेजर प्रोसेसेस** (major processes) यांची बॅकग्राउंड इन्फॉर्मेशन (background information) गोळा करणे.
2. **लायटिंग** (lighting), **मोटर्स** (motors), **बॉयलर्स** (boilers), HVAC, **कॉम्प्रेस्ड एअर** (compressed air) इत्यादी मेजर एनर्जी-कंझ्युमिंग सिस्टिम्स (major energy-consuming systems) ओळखणे.
3. **ऑपरेशनल अवर्स** (operational hours), **लोड पॅटर्न्स** (load patterns) आणि **मंटेनन्स शेड्युल्स** (maintenance schedules) रेकॉर्ड करणे.
4. स्टाफमधील **एनर्जी मॅनेजमेंट** (energy management) संदर्भातील **अवेअरनेस** (awareness) आणि **प्रॅक्टिसेस** (practices) असेस करणे.
5. मोजमाप करण्यापूर्वी **एनर्जी परफॉर्मन्स** (energy performance) चा **बेसलाइन** (baseline) स्थापन करणे.
6. **क्विक-विन एनर्जी-सेव्हिंग ऑपच्युनिटीज** (quick-win energy-saving opportunities) ओळखणे.

एनर्जी ऑडिट क्वेश्चननॅयरची स्ट्रक्चर (Structure of an Energy Audit Questionnaire)

क्वेश्चननॅयर (questionnaire) सामान्यतः अनेक सेक्शन्समध्ये (sections) डिव्हाईड केलेला असतो, ज्यामुळे सर्व **एनर्जी-रिलेटेड अस्पेक्ट्स** (energy-related aspects) चे कॉम्प्रीहेन्सिव्ह कवरेज (comprehensive coverage) सुनिश्चित होते.

Table 5.9 Instrument-Wise Audit Observations and Improvement Measures

Section	Purpose	Information Collected
General Information	Basic data about the facility	Type of industry, total area, production capacity, operating hours
Electrical Systems	Details of power supply and distribution	Contract demand, tariffs, power factor, metering, DG sets
Thermal Systems	Information about boilers, furnaces, steam systems	Fuel type, consumption rate, efficiency, waste heat utilization
Utilities	Data about HVAC, lighting, compressed air, water pumping	Equipment ratings, hours of operation, load factors
Process Equipment	Key process parameters	Material flow, machine capacities, process temperatures
Energy Management Practices	Existing energy conservation initiatives	Energy policy, team formation, training, monitoring practices
Financial Aspects	Cost and tariff structure	Electricity/fuel costs, payback expectations, capital budget
Maintenance Practices	Preventive and corrective schedules	Maintenance frequency, breakdown history, spare parts availability

सॅम्पल एनर्जी ऑडिट प्रश्नावली (Sample Energy Audit Questionnaire)

खाली मॉडेल प्रश्नावली (model questionnaire) दिलेला आहे, जो इंडस्ट्रीज (industries), कमर्शियल कॉम्प्लेक्सेस (commercial complexes), किंवा इन्स्टिट्यूशन्स (institutions) मध्ये प्रिलिमिनरी ऑडिट्स (preliminary audits) दरम्यान कॉमनली वापरला जातो.

Table 5. 10 Energy Audit Questionnaire.

Sl. No.	Question	Type of Data Required / Expected Answer
1	What is the total annual energy consumption (electricity and fuel)?	Electricity (kWh/month), fuel (liters or kg/month)
2	What are the main energy-consuming processes or departments?	E.g., production, lighting, HVAC, compressors
3	What are the working hours per day and shifts per week?	Operational schedule
4	Are separate energy meters installed for major equipment or sections?	Yes/No – specify details
5	What is the average electricity tariff and fuel cost?	₹/kWh, ₹/liter, ₹/kg
6	Are energy bills monitored and analyzed periodically?	Frequency of review
7	What are the major maintenance practices followed for energy systems?	Preventive / Breakdown / Predictive
8	What is the power factor at the main incomer?	Measured or recorded value
9	Are there voltage or load fluctuations during operation?	Frequency and cause
10	Are any energy-efficient technologies already implemented?	LED lights, VFDs, efficient motors, etc.
11	What are the sources of compressed air and their pressure ratings?	Compressor type, capacity, and operating hours
12	What are the fuel storage and handling practices?	Safety and monitoring measures
13	What are the temperature and humidity requirements of the process?	HVAC system parameters
14	Are waste heat recovery systems in place?	Yes/No – specify details
15	Are any government or BEE programs being followed?	PAT, ISO 50001, EC Act compliance

A sample questionnaire to be used for energy audit data collection:

- What is the total energy consumption (electricity, fuel) of the facility?
- What are the main processes consuming energy?
- Are there any energy management practices currently followed?
- What is the operating schedule of major equipment?
- Are energy meters installed and calibrated?
- What are the energy costs and tariffs?
- Are there any known inefficiencies or equipment running during idle times?

उदाहरण ऑप्लिकेशन (Example Application): इंडस्ट्रियल एनर्जी ऑडिट (Industrial Energy Audit)**केस स्टडी (Case Study):**

नाशिकमधील (Nashik) एका मिडियम-स्केल ऑटोमोबाईल कंपोनेंट प्लांटमध्ये (medium-scale automobile component plant) एनर्जी ऑडिटिंग (energy auditing) साठी सिलेक्ट करण्यात आले.

फिल्ड मेजरमेंट्स (field measurements) करण्यापूर्वी, एक कॉम्प्रेहेन्सिव्ह प्रश्नावली (comprehensive questionnaire) फॅसिलिटीच्या इंजिनियरिंग (engineering) आणि प्रोडक्शन डिपार्टमेंट्सना (production departments) पाठवण्यात आला.

प्रश्नावली रिस्पॉन्सेसमधील की फायंडिंग्स: (Key Findings from Questionnaire Responses)

- **कॉन्ट्रॅक्ट डिमांड (contract demand):** 500 kVA, अॅक्चुअल PF = 0.82
- **तीन 100 HP एअर कॉम्प्रेसर्स (air compressors),** 20 अवर्स/डे (hours/day) ऑपरेटिंग
- **बॉयलर (boiler) फर्नेस ऑईल (furnace oil) वापरून 72% एफिशियन्सीवर (efficiency) ऑपरेट**
- **लायटिंग (lighting) किंवा HVAC साठी कोणताही प्रिव्हेंटिव्ह मटेनन्स प्लॅन (preventive maintenance plan) नाही**
- **इंडिव्हिज्युअल डिपार्टमेंट्ससाठी सब-मीटरिंग सिस्टिम (sub-metering system) उपलब्ध नाही**

आउटकम (Outcome):

प्रश्नावली (questionnaire) मधून असे रिक्वील झाले की कंप्रेसड एअर सिस्टिम (compressed air system) आणि बॉयलर (boiler) हे मेजर कंझ्युमर्स (major consumers) आहेत.

ऑडिट टीमने (audit team) या एरियाजना डिटेल्ड मेजरमेंटसाठी (detailed measurement) प्रायोरिटाईज केले, ज्यासाठी फ्लो मीटर्स (flow meters), गॅस अॅनालायझर्स (gas analyzers) आणि पॉवर अॅनालायझर्स (power analyzers) वापरले.

सबसीक्वेंट अॅनालिसिसमध्ये (subsequent analysis) 18% एनर्जी सेव्हिंग्सची (energy savings) पॉसिबिलिटी दिसून आली, मुख्यतः कंप्रेसर ऑपरेशन (compressor operation) ऑप्टिमाइज करून आणि बॉयलर एफिशियन्सी (boiler efficiency) सुधारून.

डेटा व्हॅलिडेशनसाठी फॉर्म्युला (Formula for Data Validation)

During audits, questionnaire data is often verified using simple calculations.

For example:

$$\begin{aligned} \text{Annual Electrical Energy (kWh)} &= \text{Contract Demand (kVA)} \times \text{Load Factor} \times 8760 \times \text{Power Factor} \\ \text{Load Factor} &= \frac{\text{Average Load}}{\text{Maximum Demand}} \end{aligned}$$

ही डिराइव्हड व्हॅल्यूज (derived values) युटिलिटी बिल्स (utility bills) सोबत कम्पेअर (compare) करून, ऑडिटर्स (auditors) प्रश्नावली रिस्पॉन्सेसची (questionnaire responses) अॅक्युरसी (accuracy) व्हॅलिडेट (validate) करू शकतात.

स्ट्रक्चर्ड प्रश्नावली (structured questionnaire) युज करण्याचे फायदे (advantages):

1. फॅसिलिटी (facilities) मध्ये कम्प्लीट आणि कन्सिस्टंट इन्फॉर्मेशन कलेक्शन (complete and consistent information collection) सुनिश्चित करते.

2. फिल्ड व्हिजिट्स (field visits) दरम्यान क्रिटिकल एरियाज (critical areas) वर फोकस करून टाइम (time) सेव्ह करते.
3. हिडन इनेफिशियन्सीज (hidden inefficiencies) आणि ऑपरेशनल पॅटर्न्स (operational patterns) आयडेंटिफाय करण्यात मदत करते.
4. फ्युचर ऑडिट्स (future audits) आणि बेंचमार्किंगसाठी (benchmarking) बेसलाइन रेकॉर्ड (baseline record) म्हणून काम करते.
5. ऑडिटर्स (auditors) आणि प्लांट स्टाफ (plant staff) मधील कम्युनिकेशन (communication) सुधारते आणि अवेअरनेस (awareness) वाढवते.
6. डॉक्युमेंटेशन (documentation) आणि साइट ऑब्झर्वेशन्स (site observations) द्वारे डेटा क्रॉस-व्हेरिफिकेशन (cross-verification) एनेबल करते.

Best Practices in Questionnaire Design

Table 5.11 Best Practices in Questionnaire Design

Aspect	Recommendation
Clarity	Questions should be clear and concise.
Relevance	Focus only on energy-related and measurable parameters.
Standardization	Use uniform units (kWh, kCal, m ³ , etc.).
Simplicity	Avoid overly technical terms; use simple language for operators.
Completeness	Include both quantitative and qualitative aspects.
Follow-up	Discuss responses with operators to clarify inconsistencies.

5.6 एनर्जी फ्लो डायग्राम (Energy Flow Diagram) (Sankey Diagram)

एनर्जी फ्लो डायग्राम (Energy Flow Diagram), ज्याला कॉमनली सॅंकी डायग्राम (Sankey Diagram) असेही म्हटले जाते, हा सिस्टम (system), प्रोसेस (process) किंवा फॅसिलिटी (facility) मधील एनर्जी फ्लो (energy flows) चे ग्राफिकल रिप्रेझेंटेशन (graphical representation) आहे.

हा एनर्जी इनपुट्स (energy inputs), आउटपुट्स (outputs) आणि लॉसेस (losses) दाखवतो, ज्यामध्ये अॅरोज (arrows) वापरले जातात, आणि त्यांची विड्थ (widths) एनर्जी फ्लोच्या मॅग्निट्यूड (magnitude of energy flow) प्रमाणे असते.

हा डायग्राम कॅप्टन मॅथ्यू हेनरी फिनीयस रिअल सॅंकी (Captain Matthew Henry Phineas Riall Sankey) यांच्या नावाने नावाजलेला आहे, ज्यांनी 1898 मध्ये स्टीम इंजिन्स (steam engines) ची एफिशियन्सी (efficiency) दाखवण्यासाठी प्रथम वापरला.

आज हा डायग्राम एनर्जी ऑडिट्स (energy audits), प्रोसेस ऑप्टिमायझेशन (process optimization) आणि इंडस्ट्रियल एनर्जी मॅनेजमेंट (industrial energy management) मध्ये वाडली युज केला जातो.

परपज आणि इम्पोर्टन्स (Purpose and Importance)

सॅंकी डायग्राम (Sankey Diagram) चा प्राथमरी परपज (primary purpose) म्हणजे सिस्टम (system) मध्ये एनर्जी (energy) कशी सप्लाय (supplied), ट्रान्सफॉर्म (transformed), आणि कंझ्यूम (consumed) होते हे व्हिज्युअलायझ (visualize) करणे.

हे इंजिनियर्स (engineers) आणि ऑडिटर्स (auditors) यांना एनर्जी लॉसेस (energy losses) कुठे आणि कशा प्रकारे होतात हे ओळखण्यात मदत करते.

की ऑब्जेक्टिव्हज (Key Objectives):

1. सोर्स (source) पासून एंड यूज (end use) पर्यंत **एनर्जी फ्लो पाथ्स** (energy flow paths) मॅप (map) करणे.
2. प्रत्येक स्टेज (stage) वर लॉसेस (losses) आणि इनेफिशियन्सीज (inefficiencies) क्वांटिफाय (quantify) करणे.
3. अॅक्चुअल (actual) वर्सेस आयडियल (ideal) परफॉर्मन्स (performance) तुलना करण्यात मदत करणे.
4. मॅनेजमेंट (management) आणि ऑपरेटर्स (operators) साठी व्हिज्युअल कम्युनिकेशन टूल (visual communication tool) प्रदान करणे.
5. एनर्जी कन्झर्वेशन (energy conservation) साठी एरियाज प्रायोरिटाईज (prioritizing areas) करण्यात सहाय्य करणे.

सॅंकी डायग्राम कन्स्ट्रक्शनचे बेसिक प्रिंसिपल्स (Basic Principles of Sankey Diagram Construction)

यग्राममधील प्रत्येक **अॅरो** (arrow) एनर्जीची (energy) एक **क्वांटिटी** (quantity) रिप्रेझेंट (represent) करतो:

- Input Arrows (**इनपुट अॅरोज**) – सिस्टिममध्ये (system) येणाऱ्या सर्व एनर्जी सोर्सेस (energy sources) दाखवतात, जसे की **इलेक्ट्रिसिटी** (electricity), **फ्युएल्स** (fuels), **स्टीम** (steam) इत्यादी.
- Output Arrows (**आउटपुट अॅरोज**) – प्रोडक्शन (production) कडे डिलीव्हर होणारी युझफुल एनर्जी (useful energy) दाखवतात.
- Loss Arrows (**लॉस अॅरोज**) – वेस्टेड किंवा अनरिकवर्ड एनर्जी (wasted or unrecovered energy) दाखवतात, जसे की **हीट** (heat), **फ्रिक्शन** (friction), **ट्रान्समिशन लॉसेस** (transmission losses).
- **अॅरोजची** विड्थ (width) त्या **अॅरोने** रिप्रेझेंट केलेल्या एनर्जीच्या अमाउंट (amount of energy) प्रमाणे असते.

$$\text{Width of Arrow} \propto \text{Energy Quantity (kWh or MJ)}$$

एनर्जी बॅलन्स इक्वेशन (Energy Balance Equation):

$$\text{Total Input Energy} = \text{Useful Output Energy} + \text{Losses}$$

सॅंकी डायग्राम डेव्हलप करण्याचे स्टेप्स (Steps for Developing a Sankey Diagram)

Table: 5.12 Steps for Developing a Sankey Diagram

Step No.	Activity	Description / Methodology
1	Define System Boundaries	Decide the process, equipment, or facility to be analyzed (e.g., boiler, HVAC, or full plant).
2	Collect Input Data	Obtain total electrical and fuel consumption for the selected system.
3	Quantify Energy Outputs	Measure useful energy delivered (e.g., heat output, mechanical work).
4	Identify Losses	Quantify losses such as heat radiation, exhaust gas, mechanical friction, etc.

5	Prepare Energy Balance Table	Ensure total input = total output + losses.
6	Draw Proportional Arrows	Represent each flow with arrow width proportional to energy magnitude.
7	Label and Annotate	Mention quantities, units, and percentage values on each arrow.

उदाहरण (Example): मॅन्युफॅक्चरिंग फॅसिलिटीमधील एनर्जी फ्लो (Energy Flow in a Manufacturing Facility)

एका मिडियम-स्केल इंजिनियरिंग प्लांटमध्ये (medium-scale engineering plant) विचार करा, जे त्याच्या ऑपरेशन्ससाठी (operations) इलेक्ट्रिसिटी (electricity) आणि डीझेल फ्युएल (diesel fuel) दोन्ही वापरते.

Table 5.12 Example: Energy Flow in a Manufacturing Facility

Energy Source / Use	Energy Input (kWh Equivalent)	% of Total Input	Remarks
Electrical Supply	80,000	80%	For motors, lighting, HVAC
Diesel Fuel	20,000	20%	For boilers and DG sets
Total Input Energy	100,000	100%	

Distribution of Energy Flow:

Table: 5.13 Distribution of Energy Flow:

Energy Use Area	Useful Output (kWh)	Losses (kWh)	% Efficiency
Process Equipment (Motors, Machines)	45,000	15,000	75%
Boiler and Steam System	16,000	4,000	80%
Lighting and Utilities	6,000	2,000	75%
HVAC System	10,000	3,000	77%
Total	77,000	24,000	76.2% (Overall)

ऑब्झर्वेशन (Observation):

टोटल लॉसेस (total losses) टोटल एनर्जी इनपुटचा (total energy input) 24% इतकी आहेत, मुख्यतः हीट लॉसेस (heat losses) आणि इनेफिशियंट मोटर ऑपरेशन (inefficient motor operation) मुळे.

Manufacturing Facility Energy Flow Breckdwann

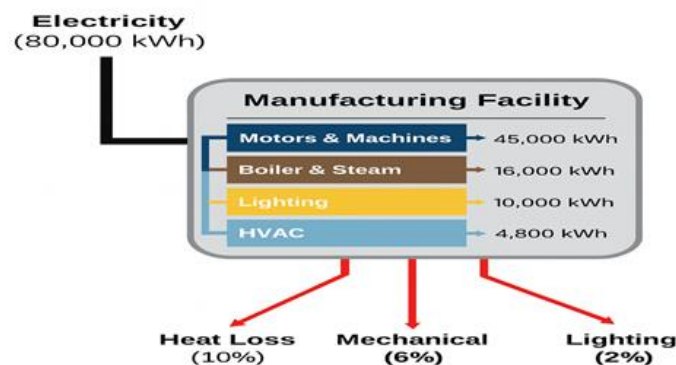


Figure.5.2- Manufacturing Facility Flow

फॉर्म्युला उदाहरण (Formula Example): एनर्जी बॅलन्स वॅलिडेशन (Energy Balance Validation)

$$\text{एनर्जी एफिशियन्सी (Energy Efficiency) (\%)} = \frac{\text{Useful Energy Output}}{\text{Total Input Energy}} \times 100$$

$$\text{एनर्जी एफिशियन्सी (Energy Efficiency)} = \frac{77,000}{100,000} \times 100 = 77\%$$

ही कॅल्क्युलेशन (calculation) वॅलिडेट (validates) करते की टोटल इनपुट एनर्जी (total input energy) चा 77% प्रभावीपणे (effectively) वापरला जातो, तर 23% इनेफिशियन्सीज (inefficiencies) मुळे लॉस्ट (lost) होते.

सॅकी डायग्रामचे इंटरप्रीटेशन (Interpretation of Sankey Diagram)**Table: 51.4 Interpretation of Sankey Diagram**

ऑब्झर्वेशन (Observation)	इंटरप्रीटेशन / ऑक्शन (Interpretation / Action)
Large width of “Loss Arrows”	मेजर वेस्टेज (major wastage) सूचित करते; डिटेल्ड अॅनालिसिस (detailed analysis) आवश्यक आहे.
Balanced arrows with smaller losses	एफिशियंट सिस्टिम (efficient system) दर्शवते.
Unbalanced diagram	डेटा इन्सिस्टन्सी (data inconsistency) – मेजरमेंट्स (measurements) पुन्हा तपासा (recheck).
Steady flow proportions over time	स्टेबल प्रोसेस (stable process); चांगली मेंटेनन्स (good maintenance).
High losses in boiler section	वेस्ट हीट रीकव्हरी (waste heat recovery) साठी स्कोप (scope) सुचवते.

एनर्जी ऑडिट्समध्ये सॅकी डायग्रामचे ॲप्लिकेशन्स (Applications of Sankey Diagrams in Energy Audits)

1. इंडस्ट्रियल एनर्जी मॅपिंग (Industrial Energy Mapping): एनर्जी (energy) डिपार्टमेंट्स (departments) मध्ये कशी डिस्ट्रीब्यूट (distributed) होते हे व्हिज्युअलायझ (visualize) करणे.
2. लॉस आयडेंटिफिकेशन (Loss Identification): एफिशियन्सी इम्प्रूव्हमेंट (efficiency improvement) साठी स्पेसिफिक एरियाज (specific areas) पिनपॉइंट (pinpoint) करणे, जसे की बॉयलर स्टॅक (boiler stack), कॉम्प्रेसर लिकेजेस (compressor leakages).
3. प्रोजेक्ट इव्हॅल्युएशन (Project Evaluation): इम्प्लीमेंटेशन (implementation) पूर्वी आणि नंतर एनर्जी कन्झर्वेशन मेजर्स (energy conservation measures) चे असेसमेंट (assess) करणे.
4. कॉम्पॅरिटिव्ह अॅनालिसिस (Comparative Analysis): करंट एनर्जी फ्लो (current energy flow) आणि बेसलाइन डेटा (baseline data) ची तुलना करून परफॉर्मन्स इम्प्रूव्हमेंट (performance improvement) ट्रॅक (track) करणे.
5. रिपोर्टिंग टूल (Reporting Tool): टेक्निकल फायंडिंग्स (technical findings) सोप्या प्रकारे टॉप मॅनेजमेंट (top management) च्या डिसिजन-मेकिंगसाठी (decision-making) सादर करणे.
6. ट्रेनिंग आणि अवेअरनेस (Training and Awareness): स्टाफ (staff) ला एनर्जी डिस्ट्रीब्यूशन (energy distribution) आणि सेव्हिंग्स (savings) विषयी एज्युकेट (educate) करण्यासाठी इफेक्टिव्ह व्हिज्युअल एड (effective visual aid) म्हणून वापरणे.

केस स्टडी (Case Study): टॅक्सटाईल मिलमधील एनर्जी फ्लो डायग्राम (Energy Flow Diagram in a Textile Mill)

एका टॅक्सटाईल डाईंग युनिटमध्ये (textile dyeing unit) दर महिन्याला 50,000 kWh/मंथ (kWh/month) इलेक्ट्रिसिटी (electricity) आणि 8,000 लिटर/मंथ (liters/month) डीझेल फ्युएल (diesel fuel) $\approx$ 84,000 kWh इक्विवॅलेंट

Table 5.15 Energy Distribution in a Textile Mill

System(सिस्टम) / Equipment(इक्विपमेंट)	एनर्जी इनपुट (Energy Input) (kWh)	युझफुलआउटपुट (Useful Output) (kWh)	लॉसेस(Losses)(kWh)	लॉस (Loss %)
Process Heating (प्रोसेस हीटिंग)	40,000	30,000	10,000	25%
Motors and Drives (मोटर्स आणि ड्राइव्स)	60,000	46,000	14,000	23%
Lighting & Utilities (लायटिंग & युटिलिटीज)	8,000	6,000	2,000	25%
Total (टोटल)	108,000	82,000	26,000	24%

आउटकम (Outcome):

- टोटल सिस्टिम एफिशियन्सी (Total system efficiency): $82,000 / 108,000 \times 100 = 75.9\%$
- मेन् लॉसेस (Main Losses): बॉयलर फ्ल्यू गॅस (boiler flue gas) आणि मोटर इनेफिशियन्सीज (motor inefficiencies) मध्ये सापडले.
- हिट-रीकव्हरी आणि VFD इंस्टॉलेशन नंतर (After heat-recovery and VFD installation): एफिशियन्सी (efficiency) 84% पर्यंत सुधारली, ज्यामुळे वार्षिक एनर्जी कॉस्ट (annual energy cost) ₹9.6 लाखांनी कमी झाली.

Table 5.16 Software Tools for Creating Sankey Diagrams

सॉफ्टवेअर नेम (Software Name)	फीचर्स (Features)	अव्हेलेबिलिटी(Availability)
ई!सॅकी (e!Sankey)	प्रोफेशनल energy flow diagram tool विथ auto-scaling arrows	लायसन्स (Licensed)
सॅकीमॅटिक (SankeyMATIC)	फ्री web-based tool फॉर सिंपल flow visualization	ऑनलाइन (फ्री)-(Online) (Free) –
मायक्रोसॉफ्ट व्हिसिओ (Microsoft Visio)	कस्टम flow diagram creation विथ proportional connectors	Licensed (लायसन्स)
मॅटलॅब (MATLAB) सिम्युलिक सिम्युलिक (Simulink)	Energy flow modeling आणि data visualization साठी वापरले जाते	अकॅडमिक (Academic)
Canva / Lucidchart (कॅनवा / ल्युसिडचार्ट)	बेसिक proportional flow diagrams फॉर reports	Free / Paid – फ्री / पेड

अॅक्युरेट एनर्जी फ्लो डायग्राम डेव्हलप करण्यासाठी बेस्ट प्रॅक्टिसेस (Best Practices for Developing Accurate Energy Flow Diagrams)

- कॉन्सिस्टंट एनर्जी युनिट्स (consistent energy units) वापरा (kWh, MJ, kcal).

- अॅरोस (arrows) ऑडिट इन्स्ट्रुमेंट्स (audit instruments) कडून मोजलेल्या डेटा (measured data) वर बेस (base) करा.
- एनर्जी फ्लोस (energy flows) चे डबल काउंटिंग (double counting) टाळा.
- अॅरो कलर्स (arrow colors) वेगळे करा:
- ब्लू (Blue) → इनपुट एनर्जी (Input energy)
- ग्रीन (Green) → युझफुल एनर्जी (Useful energy)
- रेड (Red) → लॉसेस (Losses)
- प्रत्येक अॅरो (arrow) ला क्वांटिटी (quantity) आणि पर्सेंटेज (percentage) सह लेबल करा.
- एनर्जी बॅलन्स (energy balance) व्हेरिफाय (verify) करा: **Input = Output + Losses ($\pm 2\%$ च्या आत).**
- डायग्राम्स (diagrams) क्लियर (clear) आणि अनक्लटरड (uncluttered) ठेवा, जेणेकरून एफेक्टिव्ह कम्युनिकेशन (effective communication) होईल.

5.7 सिंपल पेबॅक पिरीयड आणि इंटरनल रेट ऑफ रिटर्न (Simple Payback Period and Internal Rate of Return (IRR))

1. कुठल्याही एनर्जी कंझर्वेशन प्रोजेक्ट (energy conservation project) चं इकॉनॉमिक अॅनालिसिस (economic analysis) हा एनर्जी ऑडिट प्रोसेस (energy audit process) मधला एक खूप महत्वाचा भाग आहे. टेक्निकल परफॉर्मन्स महत्वाचा असला तरी, डिसिजन-मेकरस् (decision-makers) ऊर्जा बचतीच्या उपाययोजनांची अंमलबजावणी योग्य ठरवण्यासाठी फायनान्शियल इंडिकेटर्स (financial indicators) वर जास्त अवलंबून असतात.

यापैकी दोन सर्वात जास्त वापरले जाणारे इंडिकेटर्स असे आहेत:

1. सिंपल पेबॅक पिरीयड (Simple Payback Period) (SPP)
2. इंटरनल रेट ऑफ रिटर्न (Internal Rate of Return) (IRR)

हे दोन्ही फायनान्शियल टूल्स (financial tools) एनर्जी इफिशियन्सी प्रोजेक्ट (energy efficiency project) मध्ये केलेल्या इन्वेस्टमेंट (investment) चे व्हायबिलिटी (viability), प्रॉफिटॅबिलिटी (profitability) आणि टाईम-इफिशियन्सी (time-efficiency) तपासण्यासाठी उपयोगी पडतात.

1. सिंपल पेबॅक पिरीयड (Simple Payback Period) (SPP)

डेफिनिशन (Definition)

सिंपल पेबॅक पिरीयड (Simple Payback Period) (SPP) म्हणजे एनर्जी कंझर्वेशन प्रोजेक्ट (energy conservation project) मध्ये केलेल्या इनिशियल इन्वेस्टमेंट (initial investment) ला त्यातून मिळणाऱ्या क्यूमुलेटिव्ह एनर्जी सेव्हिंग्स (cumulative energy savings) च्या मॉनिटरी व्हॅल्यू (monetary value) ने परत मिळायला जितका वेळ लागतो तो कालावधी.

दुसऱ्या शब्दांत, हा इंडिकेटर दाखवतो की एखादी इन्वेस्टमेंट (investment) तिच्या सेव्हिंग्स (savings) मधून किती लवकर पेव्हज बॅक ("pays back") होते किंवा आपला खर्च परत मिळवते.

$$\text{पेबॅक पिरीयड (Payback Period) (Years)} = \frac{\text{Initial Investment (₹)}}{\text{Annual Savings (₹/Year)}}$$

इंटरप्रीटेशन (Interpretation)

- पेबॅक पिरीयड (Payback period) जितका कमी, तितका प्रोजेक्ट (project) जास्त अट्रॅक्टिव्ह (attractive) मानला जातो.
- श्री इअर्स (3 years) पेक्षा कमी पेबॅक पिरीयड (payback period) असलेले प्रोजेक्ट्स (projects) सामान्यतः फायनान्शियली साउंड (financially sound) समजले जातात.
- परंतु सिंपल पेबॅक मेथड (simple payback method) मध्ये टाईम व्हॅल्यू ऑफ मनी (time value of money) विचारात घेतली जात नाही; म्हणजेच फ्युचर कॅश फ्लोज (future cash flows) डिस्काउंटेड (discounted) केले जात नाहीत.

उदाहरण (Example) 1:

एका फॅक्टरी (factory) मध्ये फ्लुरोसेंट लॅम्प्स (fluorescent lamps) ची जागा एलईडी लॅम्प्स (LED lamps) ने बदलली जाते आणि यासाठी केलेला इन्वेस्टमेंट (investment) ₹50,000 आहे.

वार्षिक इलेक्ट्रिसिटी सेव्हिंग्स (electricity savings) ₹15,000 मिळतात.

$$\text{पेबॅक पिरीयड (Payback Period)} = \frac{50,000}{15,000} = 3.33 \text{ years}$$

इंटरप्रीटेशन (Interpretation):

इन्वेस्टमेंट (Investment) 3.33 वर्षांमध्ये परत मिळेल. या पिरीयड (period) नंतर ॲन्युअल सेव्हिंग्स (annual savings) थेट प्रॉफिट (profit) मध्ये योगदान देतील.

2. इंटरनल रेट ऑफ रिटर्न (Internal Rate of Return) (IRR)

डेफिनिशन (Definition)

इंटरनल रेट ऑफ रिटर्न (Internal Rate of Return) (IRR) हा असा डिस्काउंट रेट (discount rate) आहे जो प्रोजेक्ट (project) मधून मिळणाऱ्या सर्व future cash flows (फ्युचर कॅश फ्लोज) चा Net Present Value (NPV) शिरो (zero) करतो.

मॅथेमॅटिकली (Mathematically),

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1 + IRR)^t} - C_0 = 0$$

व्हेअर (Where),

C_t = कॅश फ्लोज (Cash flow) सॅव्हिंग्स (savings) in year t

C_0 = इनिशियल इन्वेस्टमेंट (Initial investment)

n = प्रोजेक्ट लाइफ (Project life) (years)

IRR हा इन्वेस्टमेंट (investment) च्या लाइफटाइम (lifetime) मध्ये मिळणारा ऍवरेज ॲन्युअल रेट ऑफ रिटर्न (average annual rate of return) दाखवतो.

इंटरप्रीटेशन (Interpretation) If $IRR >$ कॉस्ट ऑफ कॅपिटल (Cost of Capital), तर प्रोजेक्ट फायनान्शियली व्हायबल (financially viable) आहे.

- Higher IRR म्हणजे प्रोजेक्ट अधिक प्रॉफिटेबल (profitable) आहे.
- IRR टाइम व्हॅल्यू ऑफ मनी (time value of money) consider करतो, त्यामुळे सिंपल पेबॅक मेथड (simple payback method) पेक्षा सुपीरियर (superior) आहे.

3. नेट प्रेझेंट व्हॅल्यू (Net Present Value) (NPV)

IRR कॅल्क्युलेट करण्यापूर्वी नेट प्रेझेंट व्हॅल्यू (Net Present Value) (NPV) समजून घेणे महत्वाचे आहे, कारण NPV फ्युचर कॅश फ्लो (future cash flows) चा प्रेझेंट व्हॅल्यू present value मोजतो.

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} - C_0$$

Where,

- r = Discount rate (interest rate or cost of capital).
- If $NPV > 0$, the project adds value; if $NPV < 0$, the project should be rejected.
IRR is the value of r at which $NPV = 0$.

व्हेअर (Where),

- r = डिस्काउंट रेट (Discount rate) — म्हणजे व्याजदर किंवा कॉस्ट ऑफ कॅपिटल (cost of capital).

जर एनपीव्ही (NPV) > 0 असेल, तर प्रोजेक्ट (project) व्हॅल्यू (value) वाढवतो; आणि जर एनपीव्ही (NPV) < 0 असेल, तर प्रोजेक्ट (project) रिजेक्ट (reject) केला पाहिजे.

आयआरआर (IRR) हा तो रेट (rate) आहे ज्यावर एनपीव्ही (NPV) = 0 होते.

- **न्यूमेरिकल (Numerical) on सिंपल पेबॅक पिरीयड (simple payback period)**

उदाहरण (Example) 1:

एक 10 एच पी (hp) मोटर (motor) दर आठवड्याला 20 आवर्स (hrs) पाण्याचे पंपिंग (pumping) करण्यासाठी वापरली जाते. प्रत्येक तासाला 5 के डब्ल्यू एच (kWh) एनर्जी (energy) बचत करण्यासाठी नवीन मोटर (motor) रिप्लेस (replace) करावी लागेल. नवीन मोटर (motor) ची कॉस्ट (cost) 45,000 असल्यास, इलेक्ट्रीसिटी कॉस्ट (electricity cost) ₹ 4.20 (पर के डब्ल्यू एच (per kWh) प्रमाणे पे बॅक पिरीयड (payback period) कॅल्क्युलेट (calculate) करा.

दिलेली माहिती (Given):

- एग्जिस्टिंग मोटर (Existing motor): 10 एच पी (hp)
- ऑपरेटिंग आवर्स (Operating hours): 20 आवर्स प्रति वीक (hours/week)
- एनर्जी सेव्ड (Energy saved) with न्यू मोटर (new motor): 5 (के डब्ल्यू एच (kWh) पर आवर (per hour)
- कॉस्ट ऑफ न्यू मोटर (Cost of new motor): ₹ 45,000
- (इलेक्ट्रीसिटी टॅरिफ (Electricity tariff): ₹ 4.20 पर के डब्ल्यू एच (per kWh)

1. वीकली एनर्जी सेविंग्स (Weekly Energy Savings)

$$5 \text{ kWh/hr} \times 20 \text{ hr/week} = 100 \text{ kWh/week}$$

2. वीकली कॉस्ट सेविंग्स Weekly Cost Savings

$$100 \text{ kWh/week} \times ₹4.20 = ₹420/\text{week}$$

3. अँन्युअल कॉस्ट सेविंग्स (Annual Cost Savings)

$$₹420 \times 52 = ₹21,840/\text{year}$$

4. पेबॅक पिरीयड (Payback Period)

$$₹45,000 \div ₹21,840 = 2.06 \text{ years } (\approx 25 \text{ months})$$

उदाहरण (Example) 2:

एक इंडस्ट्रियल प्लांट (industrial plant) मध्ये इन्कॅन्डेसन्ट लोड (incandescent load) आहे, ज्यामध्ये 100 nos. $\times$ 60 वॉट (Watt) आणि 140 nos. $\times$ 100 वॉट (Watt) समाविष्ट आहेत. प्रत्येक इन्कॅन्डेसन्ट लोड (incandescent load) ला 1 $\times$ 40 वॉट (Watt) फ्लोरोसेंट लाइटिंग लोड (fluorescent lighting load) ने रिप्लेस (replace) केल्यास एनर्जी सेविंग (energy saving) आणि सिंपल पेबॅक पिरीयड (simple payback period) कॅलक्युलेट (calculate) करा. लाइटिंग (Lighting) 4000 (आवर्स/इयर (hrs/year) आवश्यक आहे आणि इलेक्ट्रीसिटी कॉस्ट (electricity cost) 6.00 पर के डब्ल्यू एच (/kWh). रिप्लेसमेंट कॉस्ट (Replacement cost) 150 प्रति युनिट (/unit) आहे. बॅलास्ट कंझम्पशन (Ballast consumption) 15 वॉट (W) धरले आहे.

दिलेली माहिती (Given data):

(i) 100 वॉट (Watt) इन्कॅन्डेसन्ट लॅम्प (incandescent lamp) = 2200 ल्यूमेन्स (lumens)

(ii) 60 वॉट (Watt) इन्कॅन्डेसन्ट लॅम्प (incandescent lamp) = 1320 ल्यूमेन्स (lumens)

(iii) 40 वॉट (Watt) फ्लोरोसेंट लॅम्प (fluorescent lamp) = 2400 ल्यूमेन्स (lumens).

सोल्युशन (Solution):

• (एक्झिस्टिंग टोटल कनेक्टेड लोड – इन्कॅन्डेसन्ट) (Existing total connected load (incandescent)):
 $100 \times 60 \text{ W (वॉट)} + 140 \times 100 \text{ W (वॉट)} = 6,000 \text{ W} + 14,000 \text{ W} = 20,000 \text{ W} = 20.0 \text{ के डब्ल्यू (kW)}$

• (न्यू टोटल कनेक्टेड लोड – फ्लोरोसेंट + बॅलास्ट) (New total connected load (fluorescent + ballast)):
 नंबर ऑफ रिप्लेसमेंट्स (Number of replacements) = $100 + 140 = 240 \text{ nos.}$
 पॉवर पर फ्लोरोसेंट – लॅम्प + बॅलास्ट (Power per fluorescent (lamp + ballast)) = $40 \text{ W} + 15 \text{ W} = 55 \text{ Watt}$
 न्यू टोटल (New total) = $240 \times 55 \text{ W} = 13,200 \text{ W} = 13.2 \text{ के डब्ल्यू (kW)}$

• सेव्हिंग इन पॉवर – इन्स्टेनियस (Saving in power (instantaneous)):

$$20,000 \text{ W} - 13,200 \text{ W} = 6,800 \text{ W} = 6.8 \text{ के डब्ल्यू (kW)}$$

(i.e. 6.8 के डब्ल्यू एच (kWh) प्रति तास ऑपरेशनला सेव्हिंग)) saved per hour of operation

- **अन्युअल एनर्जी सेव्हिंग (Annual energy saving):**
 $6.8 \text{ kW} \times 4000 \text{ आवर्स/इयर (hr/year)} = 27,200 \text{ के डब्ल्यू एच/इयर (kWh/year)}$
- **अन्युअल मॉनेटरी सेव्हिंग (Annual monetary saving):**
 $27,200 \text{ kWh} \times ₹ 6.00 / \text{kWh} = ₹ 163,200 \text{ पर इयर (/year)}$
- **Total replacement cost):**
 $240 \text{ units (युनिट्स)} \times ₹ 150/\text{unit} = ₹ 36,000$
- **सिंपल पेबॅक पिरियड – इयर्स (Simple payback period (years)):**
 $\text{पेबॅक (Payback)} = ₹ 36,000 / ₹ 163,200 = 0.2206 \text{ years}$
- **महिने/दिवसांमध्ये रूपांतर (Convert to months/days):**
 $0.2206 \times 12 = \approx 2.65 \text{ मंथ्स (months)} \approx \approx 81 \text{ डेज (days)}$

उदाहरण (Example) 3:

इन्वेस्टमेंट (Investment) 2,00,000 असून सेव्हिंग (saving) 50,000 पर मंथ (per month) असल्यास पेबॅक पिरियड (payback period) कॅलक्युलेट (calculate) करा.

सोल्युशन (Solution):

दिलेली माहिती (Given data) :

- इन्वेस्टमेंट (Investment) = ₹ 2,00,000
- सेव्हिंग (Saving) = ₹ 50,000 पर मंथ (per month)

पेबॅक पिरियड (Payback Period) कॅलक्युलेशन (Calculation):

या प्रोजेक्ट (project) साठी लागणारा एकूण इन्वेस्टमेंट (investment) ₹ 2,00,000 आहे, आणि इम्प्लिमेंटेड मेझर (implemented measure) मुळे मिळणारे मंथली सेव्हिंग (monthly saving) ₹ 50,000 आहे.

सिंपल पेबॅक पिरियड (Simple payback period) खालीलप्रमाणे कॅलक्युलेट (Calculate): केला जातो:

$$\begin{aligned} \text{पेबॅक पिरियड (Payback Period)} &= \text{इन्वेस्टमेंट (Investment)} / \text{मंथली सेव्हिंग (Monthly Saving)} \\ &= 2,00,000 / 50,000 = 4 \text{ मंथ्स (months)} \end{aligned}$$

म्हणून, सिंपल पेबॅक पिरियड (Simple payback period 4 मंथ्स (months) आहे.

उदाहरण (Example) 4:

सध्याच्या इल्युमिनेशन स्कीम (illumination scheme) मध्ये एका इलेक्ट्रिकल इन्स्टॉलेशन (electrical installation) मध्ये 40 लॅम्प्स (lamps) आहेत आणि प्रत्येक लॅम्प 40 वॅट (watt) चा आहे. जर **टॅरिफ (tariff) हा फ्लॅट रेट (flat rate)** पद्धतीने २ रुपये प्रति युनिट (Rs 2/unit) असेल आणि **फिक्स्ड चार्ज (fixed charge) १४० रुपये प्रति महिना (Rs 140 per month)** असेल, तर मंथली एनर्जी बिल (monthly energy bill) काढा. जर लॅम्प्सची जागा त्याच इल्युमिनेशन लेव्हल (illumination level) देणारे एनर्जी इफिशियंट लॅम्प्स (energy efficient lamps) 25 वॅट (watt) रेटिंगसह लावले, आणि प्रत्येक लॅम्पचा रिप्लेसमेंट कॉस्ट (replacement cost per lamp) २५० रुपये (Rs 250) असेल, तर पे-बॅक पिरियड (payback period) काढा.

सोल्युशन (Solution):**1) एक्झिस्टिंग मंथली एनर्जी बिल (Existing Monthly Energy Bill)**

- एक्झिस्टिंग कनेक्टेड लोड (Existing connected load)

$$= 40 \times 40 \text{ W}$$

$$= 1,600 \text{ W}$$

$$= 1.6 \text{ kW}$$

- मंथली एनर्जी कन्सम्प्शन (Monthly energy consumption)

$$= 1.6 \text{ kW} \times 240 \text{ hr}$$

$$= 384 \text{ kWh/महिना (384 kWh / month)}$$

- एनर्जी चार्ज (Energy charge)

$$= 384 \text{ kWh} \times ₹ 2.00/\text{kWh}$$

$$= ₹ 768$$

- फिक्स्ड चार्ज (Fixed charge) = ₹ 140 / month

टोटल एक्झिस्टिंग मंथली बिल (Total existing monthly bill)

$$= ₹ 768 + ₹ 140$$

$$= ₹ 908 / \text{month}$$

2) रिप्लेसमेंट नंतर (After Replacement) – 25 W Lamps

- न्यू कनेक्टेड लोड (New connected load)

$$= 40 \times 25 \text{ W}$$

$$= 1,000 \text{ W}$$

$$= 1.0 \text{ kW}$$

- Monthly energy consumption (मंथली एनर्जी कन्सम्प्शन)

$$= 1.0 \text{ kW} \times 240 \text{ hr}$$

$$= 240 \text{ kWh / month}$$

- एनर्जी चार्ज (Energy charge)

$$= 240 \text{ kWh} \times ₹ 2.00/\text{kWh}$$

$$= ₹ 480$$

- फिक्स्ड चार्ज (Fixed charge) = ₹ 140 / month

टोटल न्यू मंथली बिल (Total new monthly bill)

$$= ₹ 480 + ₹ 140$$

$$= ₹ 620 / \text{month}$$

3) सेविंग्स आणि पे-बॅक (Savings and Payback)

- मंथली एनर्जी सेविंग (Monthly energy saving)

$$= 384 - 240$$

$$= 144 \text{ kWh / month}$$

- मंथली मनीटरी सेविंग (Monthly monetary saving)

$$= ₹ 908 - ₹ 620$$

$$= ₹ 288 / \text{month}$$

- रिप्लेसमेंट कॉस्ट (Replacement cost)

$$= 40 \times ₹ 250$$

$$= ₹ 10,000$$

पे-बैक पिरियड कैलकुलेशन (Payback Period Calculation)

$$\text{Payback (months)} = 10,000 / 288$$

$$= 34.72 \text{ months}$$

$$\text{Payback} \approx 34.7 \text{ months}$$

$$\approx 2.89 \text{ years}$$

$$\approx 2 \text{ years, 10 months and 22 days}$$

अन्युअल सेविंग्स (Annual Savings)

- अन्युअल एनर्जी सेविंग (Annual energy saving)

$$= 144 \text{ kWh} \times 12$$

$$= 1,728 \text{ kWh/year}$$

- अन्युअल मनीटरी सेविंग (Annual monetary saving)

$$= ₹ 288 \times 12$$

$$= ₹ 3,456 / \text{year}$$

4. Comparative Example: Energy Conservation Measures

Table 5.17 Comparative Example: Energy Conservation Measures

Measure	Investment (₹)	Annual Savings (₹)	Payback Period (Years)	IRR (%)	Remarks
LED Lighting Upgrade	50,000	15,000	3.33	22	Recommended
Motor Efficiency Improvement	1,00,000	25,000	4.00	18	Acceptable
Boiler Efficiency Enhancement	2,00,000	60,000	3.33	24	Highly Viable
Air Compressor Optimization	3,50,000	1,00,000	3.50	20	Recommended

Interpretation (इंटरप्रिटेशन)

• **प्रोजेक्ट्स (Projects)** ज्यांचा **पे-बॅक (payback)** कमी आणि **आय.आर.आर. (IRR – Internal Rate of Return)** जास्त असतो, ते सर्वात फायदेशीर ठरतात.

• **लाईटिंग (Lighting)** आणि **बॉयलर इम्प्रूव्हमेंट्स (boiler improvements)** हे कमी खर्चाचे (low-cost) आणि जास्त परतावा देणारे (high-return) उपाय आहेत.

• **कंप्रेसर Compressor)** आणि **मोटर अपग्रेड्स (motor upgrades)** हे मध्यम **इन्वेस्टमेंट (investment)** मध्ये दीर्घकालीन (long-term) आणि स्थिर (stable) **सेव्हिंग्स (savings)** देणारे उपाय आहेत.

5. आई.आर.आर. साठी एक्झाम्पल कॅलक्युलेशन (Example Calculation for IRR)

समजा एखाद्या एनर्जी-सेव्हिंग प्रोजेक्ट (energy-saving project) साठी ₹1,00,000 इतका इन्वेस्टमेंट (investment) आवश्यक आहे आणि तो 5 वर्षांसाठी दरवर्षी ₹30,000 चे ॲन्युअल सेव्हिंग्स (annual savings) तयार करतो.

आई.आर.आर. (IRR) ही त्या **आर (r)** ची value आहे जी खालील समीकरण पूर्ण करते:

$$0 = -1,00,000 + \frac{30,000}{(1+r)^1} + \frac{30,000}{(1+r)^2} + \frac{30,000}{(1+r)^3} + \frac{30,000}{(1+r)^4} + \frac{30,000}{(1+r)^5}$$

बाय सॉल्विंग इटराटिवली (By solving iteratively) किंवा **एक्सेलच्या IRR फंक्शनचा (Excel's IRR function)** वापर करून,

$$IRR = 23.5\%$$

इंटरप्रीटेशन (Interpretation):

कारण **आई.आर.आर. (IRR)**

= 23.5% हा organization's cost of capital (**ऑर्गनायझेशनचा कॉस्ट ऑफ कॅपिटल**) = 12% पेक्षा जास्त आहे, त्यामुळे हा **investment (इन्वेस्टमेंट)** आर्थिकदृष्ट्या योग्य (economically justified) ठरतो.

6. Advantages and Limitations

Table 5.18 Advantages and Limitations

Method	Advantages	Limitations
Simple Payback Period	Easy to calculate and understand; ideal for quick screening of projects.	Ignores time value of money; ignores savings after payback period.
Internal Rate of Return (IRR)	Considers time value of money; measures profitability over entire project life.	Requires detailed data and complex calculation; assumes reinvestment at IRR.

7. ऑडिटर्ससाठी प्रॅक्टिकल गाईडलाइन्स (Practical Guidelines for Auditors)

1. दोन्ही **मेथड्स (methods)** एकत्र वापरा — **एस.पी.पी.(SPP.)** क्विक (quick) **इव्हॅल्यूएशन (evaluation)** साठी, आणि **आई.आर.आर. (IRR)** फायनान्शियल **व्हॅलिडेशन (validation)** साठी.

2. प्रोजेक्टचा लाइफस्पॅन (lifespan) लक्षात घ्या — काही मेझर्स (measures) चे पे-बॅक (payback) कमी असू शकतात, पण त्यांचा लाईफ (life) मर्यादित असतो.

3. एकूण अ‍ॅन्युअल सेव्हिंग्स (annual savings) मध्ये मेटेनन्स सेव्हिंग्स (maintenance savings) आणि इतर इंडायरेक्ट बेनेफिट्स (indirect benefits) समाविष्ट करा.

4. For multi-year savings, always discount future values to present worth.

multi-year savings मल्टी-इयर सेव्हिंग्स (multi-year savings) साठी नेहमी फ्युचर व्हॅल्यूज (future values) ला प्रेझेंट वर्थ (present worth) वर डिस्काउंट (discount) करा.

5. आई.आर.आर. (IRR) ची तुलना ऑर्गनायझेशनचा हर्डल रेट (organization's hurdle rate) शी करा, जो minimum मिनिमम अ‍ॅक्सेप्टेबल रेट ऑफ रिटर्न (acceptable rate of return) दर्शवतो.

8. केस स्टडी एक्झाम्पल (Case Study Example)

इंडस्ट्री (Industry): टेक्स्टाइल प्रोसेसिंग प्लांट, नाशिक (Textile Processing Plant, Nashik)

प्रोपोज्ड मेझर (Proposed Measure): वेस्ट हीट रिकव्हरी सिस्टम (Waste Heat Recovery System (WHRS)) ची इन्स्टॉलेशन (Installation)

पर्टिक्युलर्स(Particulars)	डीटेल्स(Details)
इन्वेस्टमेंट कॉस्ट(Investment Cost)	₹8,00,000
अ‍ॅन्युअल फ्युअल सेव्हिंग्स(Annual Fuel Savings)	₹2,50,000
प्रोजेक्ट लाईफ(Project Life)	6 Years
कॉस्ट ऑफ कॅपिटल(Cost of Capital)	10%

(a) सिंपल पेबॅक पिरियड (Simple Payback Period):

$$\text{एस.पी.पी. (SPP)} = \frac{8,00,000}{2,50,000} = 3.2 \text{ years}$$

(b) आई.आर.आर. कॅलक्युलेशन (IRR Calculation):

एन.पी. व्ही. इक्वेशनमध्ये (NPV equation) सब्स्टिट्यूट करून आणि इटरेटिवली (iteratively) सॉल्व केल्यावर,

$$\text{आई.आर.आर. (IRR)} = 25.6\%$$

इंटरप्रीटेशन (Interpretation):

हा (प्रोजेक्ट (project) चा आई.आर.आर. (IRR) = 25.6% हा 10% कॉस्ट ऑफ कॅपिटल (cost of capital) पेक्षा खूप जास्त आहे. म्हणून हा प्रोजेक्ट फायनान्शियली अ‍ॅट्रॅक्टिव्ह (financially attractive) असून त्याची इम्प्लिमेंटेशन (implementation) करणे योग्य आहे.

9. ग्राफिकल रिप्रेझेंटेशन (Graphical Representation)

पे-बॅक पीरियड (Payback Period) आणि आई.आर.आर. (IRR) यांच्यामधील ग्राफिकल कंपॅरिझन (graphical comparison) खालीलप्रमाणे दर्शवता येतो.

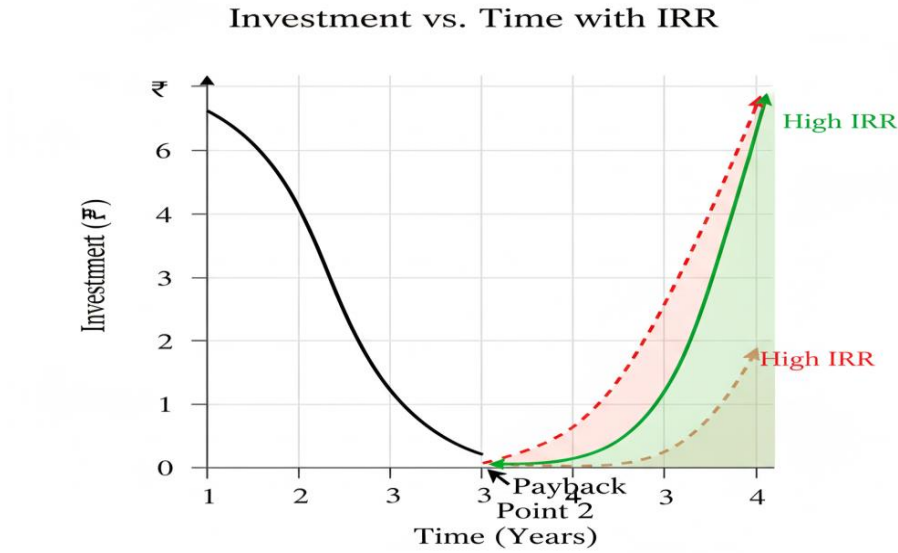


Figure 5.3 Graph-1 Investments. Time with IIR

1. फायनान्शियल इंडिकेटर्स वापरून डिसिजन-मेकींग (Decision-Making Using Financial Indicators)

Table 5.19 Decision-Making Using Financial Indicators

कंडिशन(Condition)	डिसिजन(Decision)
Payback Period ≤ 3 years	हायली अट्रॅक्टिव्ह (Highly Attractive)
3–5 years	मॉडरेटली अट्रॅक्टिव्ह (Moderately Attractive)
> 5 years	लेस अट्रॅक्टिव्ह (Less Attractive)
$IRR \geq 20\%$	एक्सलेंट इन्वेस्टमेंट (Excellent Investment)
$12\% \leq IRR < 20\%$	अॅक्सेप्टेबल (Acceptable)
$IRR < 12\%$	नॉट रेकमेंडेड (Not Recommended)

5.8 एनर्जी ऑडिट प्रोसीजर (Energy Audit Procedure)

• एनर्जी ऑडिट प्रोसीजर (Energy Audit Procedure) म्हणजे एखाद्या फॅसिलिटीमध्ये एनर्जीचा वापर किती आणि कशाप्रकारे होतो, याचे सिस्टेमॅटिक आणि सायंटिफिक (systematic and scientific) पद्धतीने मूल्यांकन, विश्लेषण आणि ऑप्टिमायझेशन करण्याची प्रक्रिया आहे.

• ही प्रोसीजर (procedure) तांत्रिक (technical), ऑपरेशनल (operational) आणि फायनान्शियल (financial) अशा सर्व संबंधित डेटाचा कलेक्शन (collection), व्हेरिफिकेशन (verification) आणि इंटरप्रीटेशन (interpretation) करून, एनर्जी-सेव्हिंग ऑपच्युनिटीज (energy-saving opportunities) ओळखण्यासाठी आणि सिस्टीम इफिशन्सी (system efficiency) सुधारण्यासाठी मदत करते.

• ही प्रोसीजर साधारणपणे प्लॅनिंग (planning) पासून सुरू होऊन, रेकमेंडेड मेजर्स (recommended measures) च्या इम्प्लिमेंटेशन (implementation) पर्यंतच्या चांगल्या प्रकारे डिफाईन केलेल्या स्टेप्स (well-defined steps) फॉलो करते.

- प्रॉपली एक्झिक्यूटेड एनर्जी ऑडिट (**properly executed energy audit**) मुळे मोजण्याजोगे एनर्जी सेव्हिंग्स (**quantified energy savings**), चांगली इक्विपमेंट परफॉर्मन्स (**equipment performance**), आणि सस्टेनेबल ऑपरेशनल इम्प्रूव्हमेंट्स (**sustainable operational improvements**) मिळतात.

एनर्जी ऑडिट प्रोसीजरचे ऑब्जेक्टिव्हज (Objectives of the Energy Audit Procedure)

1. एनर्जी कंझम्पशन पॅटर्न (Energy Consumption Pattern) समजून घेणे आणि फॅसिलिटीमध्ये एनर्जी कुठे, कशी आणि किती प्रमाणात वापरली जाते हे ओळखणे.
2. एनर्जी लॉसेस (Energy Losses) आणि कमी कार्यक्षम उपकरणे किंवा प्रोसेसेस ओळखून त्यांच्यात सुधारणा करण्यास योग्य अशा भागांची निवड करणे.
3. एनर्जी सेव्हिंग ऑपॉर्च्युनिटीज (Energy-Saving Opportunities) शोधणे आणि किफायतशीर उपाय सुचवणे ज्यामुळे एनर्जी वापर कमी होईल.
4. टेक्निकल, ऑपरेशनल आणि फायनान्शियल डेटा (Technical, Operational & Financial Data) गोळा करून त्याचे अचूक विश्लेषण करणे.
5. बेंचमार्किंग (Benchmarking) साठी आवश्यक डेटा तयार करणे, ज्यामुळे विद्यमान परफॉर्मन्सची तुलना इंडस्ट्री स्टॅण्डर्ड्सशी करता येईल.
6. एनर्जी एफिशन्सी (Energy Efficiency) सुधारण्यासाठी शिफारस केलेल्या उपायांची अंमलबजावणी करण्यासाठी मार्गदर्शन करणे.
7. फॅसिलिटीचा स्पेसिफिक एनर्जी कंझम्पशन (Specific Energy Consumption – SEC) कमी करणे आणि एकूण सिस्टम परफॉर्मन्स वाढवणे.
8. सस्टेनेबल ऑपरेशन (Sustainable Operation) सुनिश्चित करण्यासाठी दीर्घकालीन सुधारणा योजना तयार करणे.

ऑडिट प्रोसीजरचे प्रकार (Types of Audit Procedures)

Table 5.20 Types of Energy Audit and their scope.

Audit Level	Purpose	Scope of Work
वॉक-थ्रू ऑडिट (Walk-through Audit) – प्रिलिमिनरी ऑडिट (Preliminary Audit)	Identify obvious wastage and no-cost/low-cost opportunities.	Visual inspection, bill analysis, operator interviews.
डिटेल्ड एनर्जी ऑडिट (Detailed Energy Audit)	Conduct in-depth data measurement and analysis.	Comprehensive system evaluation, instrument-based testing.
इन्वेस्टमेंट ग्रेड ऑडिट (Investment Grade Audit – IGA)	Prepare investment-ready, financially analyzed projects.	Technical and financial modeling, project proposal development.

स्टेप-बाय-स्टेप एनर्जी ऑडिट प्रोसीजर (Step-by-Step Energy Audit Procedure)

एनर्जी ऑडिट प्रोसेस खालीलप्रमाणे सात मुख्य स्टेप्समध्ये केली जाते.

स्टेप 1: प्रिपरेशन अँड प्लॅनिंग (Preparation and Planning)

ऑब्जेक्टिव्हज (Objective):

ऑडिटची स्कोप (Scope), ऑब्जेक्टिव्हज (Objectives) आणि एक्स्पेक्टेड आऊटकम्स (Expected Outcomes) निश्चित करणे.

अॅक्टिव्हिटीज (Activities):

- फॅसिलिटी ओळखणे, सिस्टम बाउंडरीज (System Boundaries) निश्चित करणे आणि ऑडिट ऑब्जेक्टिव्हज ठरवणे.
- इंटरनल स्टाफ आणि एक्स्टर्नल एक्सपर्ट्स मिळून *एनर्जी ऑडिट टीम (Energy Audit Team)* तयार करणे.
- सिंगल लाईन डायग्राम्स (Single-Line Diagrams), प्रोसेस फ्लोचार्ट्स (Process Flowcharts) आणि इक्विपमेंट लिस्ट (Equipment List) सारखी पूर्वतयारी माहिती गोळा करणे.
- मागील एनर्जी बिल्स, युटिलिटी रिपोर्ट्स आणि मॅटेनन्स लॉग्स रिव्ह्यू करणे.
- टॅटेटिव्ह ऑडिट शेड्यूल आणि चेकलिस्ट निश्चित करणे.

डिलिव्हेरेबल्स (Deliverables):

- ऑडिट प्लॅन (Audit Plan)
- स्कोप डॉक्युमेंट (Scope Document)
- इक्विपमेंट इन्व्हेंटरी (Equipment Inventory)
- सेफ्टी आणि साइट अॅक्सेस प्लॅन (Safety & Site Access Plan)

स्टेप 2: डेटा कलेक्शन (Data Collection)**ऑब्जेक्टिव्हज (Objective):**

फॅसिलिटीमधील एनर्जी कन्सम्प्शन आणि इक्विपमेंट परफॉर्मन्स संदर्भातील सविस्तर डेटा गोळा करणे.

डेटा सोर्सेस (Data Sources):

- युटिलिटी बिल्स – इलेक्ट्रिसिटी, फ्युएल, वॉटर
- मशीन नेमप्लेट्स आणि डिझाईन स्पेसिफिकेशन्स
- ऑपरेटिंग हॉर्स, लोड फॅक्टर्स आणि शिफ्ट पॅटर्न्स
- प्रॉडक्शन आउटपुट आणि मॅटेनन्स लॉग्स

इन्स्ट्रुमेंट्स युज्ड (Instruments Used):

- क्लॅम्प मीटर्स (Clamp Meters)
- स्मार्ट एनर्जी मीटर्स (Smart Energy Meters)
- फ्युएल फ्लो मीटर्स (Fuel Flow Meters)
- थर्मोमीटर (Thermometers)
- लक्स मीटर (Lux Meter)

डिलिव्हेरेबल्स:

- डिपार्टमेंट-वाइज एनर्जी कन्सम्प्शन समरी
- एनर्जी परफॉर्मन्स इंडिकेटर्स (kWh/unit, kcal/kg, इ.)

स्टेप 3: साइट इन्स्पेक्शन (Site Inspection)**अॅक्टिव्हिटीज:**

फॅसिलिटीचे व्हिज्युअल असेसमेंट करून संभाव्य एनर्जी सेव्हिंग एरियाज ओळखणे.

अॅक्टिव्हिटीज:

- प्रॉडक्शन एरियाज, युटिलिटीज आणि सपोर्ट सिस्टम्सचे वॉक-थ्रू सर्व्हे करणे.
- ऑपरेटिंग कंडीशन्स, लिक्स, व्हायब्रेशन्स, ओव्हरहीटिंग किंवा आयडल मशीन निरीक्षण करणे.

- ऑपरेटर्सची मुलाखत घेऊन ऑपरेशनल प्रॅक्टिसेस समजून घेणे.
- ऑन-साइट ऑब्झर्वेशनद्वारे गोळा केलेल्या डेटाची अचूकता पडताळणे.

डिलिव्हरेबल्स:

- दृश्य स्वरूपातील अकार्यक्षमता (Visible Inefficiencies) यादी
- सविस्तर मोजमापासाठी प्राधान्य दिलेली क्षेत्रे

स्टेप 4: मेझरमेंट अँड मॉनिटरिंग (Measurement & Monitoring)

उद्दिष्ट:

कॉन्टिनेंटल अनालिसिससाठी अचूक ऑपरेशनल डेटा रेकॉर्ड करणे.

मोजमापामध्ये समाविष्ट (Measurements Include):

- इलेक्ट्रिकल पॅरामिटर्स – व्होल्टेज, करंट, पॉवर फॅक्टर, फ्रिक्वेंसी
- थर्मल पॅरामिटर्स – टेम्परेचर, प्रेशर, फ्ल्यू गॅस कम्पोजिशन
- फ्लो पॅरामिटर्स – एअर, स्टीम, वॉटर फ्लो रेट्स
- लाईटिंग लेव्हल्स आणि ऑक्युपन्सी रेट्स

इन्स्ट्रुमेंट्स युज्ड:

- पॉवर अॅनालाईझर (Power Analyzer)
- फ्लो मीटर (Flow Meter)
- कम्बश्शन गॅस अॅनालाईझर (Combustion Gas Analyzer)
- थर्मामीटर (Thermometer)
- टॅकोमीटर (Tachometer)
- स्मार्ट एनर्जी मीटर (Smart Energy Meter)

डिलिव्हरेबल्स:

- एनर्जी बॅलन्स कॅल्क्युलेशन्ससाठी अचूक डेटासेट
- बेसलाइन वॅल्यूज (Baseline Values) तुलना करण्यासाठी

स्टेप 5: अर्नॅलिसिस अँड इंटरप्रीटेशन (Step 5: Analysis and Interpretation)

ऑब्जेक्टिव्ह (Objective): जमा केलेल्या डेटाचं प्रोसेसिंग करून, इनेफिशन्सीज (Inefficiencies) आणि सेव्हिंग पोटेन्शियल (Saving Potential) ओळखणे.

टिपिकल अर्नॅलिसिस टास्क्स (Typical Analysis Tasks):

1. एनर्जी बॅलन्स प्रिपारेशन (Energy Balance Preparation):

“**इनपुट एनर्जी (Input Energy) = युजफुल एनर्जी आऊटपुट (Useful Energy Output) + लॉसेस (Losses)**”

2. इफिशन्सी कॅल्क्युलेशन्स (Efficiency Calculations):

Example – Boiler Efficiency:

$$\text{Efficiency (\%)} = \frac{\text{Heat Output}}{\text{Heat Input}} \times 100$$

3. बेंचमार्किंग (Benchmarking):

स्पेसिफिक एनर्जी कन्सम्प्शन (Specific Energy Consumption – SEC) इंडस्ट्री स्टैंडर्ड्सशी तुलना करणे.

4. फायनान्शियल इव्हल्युएशन (Financial Evaluation):

प्रत्येक मेजरसाठी **पे-बॅक पिरियड (Payback Period)** आणि **IRR (Internal Rate of Return)** ठरवणे.

डिलिव्हेरेबल्स (Deliverables):

- एनर्जी परफॉर्मन्स चार्ट्स (Energy Performance Charts) आणि **सॅन्के डायग्राम्स (Sankey Diagrams)**
- प्रायोरिटाईज्ड **एनर्जी कन्झर्वेशन मेजर्स (Energy Conservation Measures – ECMs)** ची यादी

स्टेप 6: रिपोर्टिंग (Step 6: Reporting)

ऑब्जेक्टिव्ह (Objective): ऑडिट फाइंडिंग्स, अनॅलिसिस रिझल्ट्स आणि रेकमेंडेशन्स स्ट्रक्चर्ड फॉर्मॅटमध्ये डॉक्युमेंट करणे.

एनर्जी ऑडिट रिपोर्टची कंटेंट्स (Contents of Energy Audit Report):

- एक्झिक्युटिव्ह समरी (Executive Summary) – **ऑडिटचा ओवरव्यू**
- इंट्रोडक्शन (Introduction) – **फॅसिलिटी प्रोफाइल आणि ऑडिट ऑब्जेक्टिव्हज**
- डेटा अनॅलिसिस (Data Analysis) – **एनर्जी बॅलन्स, कन्सम्प्शन ट्रेंड्स, परफॉर्मन्स इंडिकेटर्स**
- फाइंडिंग्स अँड ऑब्झर्वेशन्स (Findings and Observations) – **सिस्टम इनेफिशन्सीज, पोटेंशियल सेव्हिंग्स**
- रेकमेंडेशन्स (Recommendations) – **प्रपोज्ड ECMs विथ कॉस्ट-बेनिफिट अनॅलिसिस**
- फायनान्शियल इव्हल्युएशन (Financial Evaluation) – **पेबॅक, IRR, NPV अनॅलिसिस**
- कन्क्लूजन अँड इम्प्लिमेंटेशन प्लॅन (Conclusion & Implementation Plan)

डिलिव्हेरेबल्स (Deliverables):

- ड्राफ्ट रिपोर्ट (Draft Report) – क्लायंट रिव्ह्यूसाठी
- फायनल कॉम्प्रेहेन्सिव्ह ऑडिट रिपोर्ट (Final Comprehensive Audit Report)

स्टेप 7: इम्प्लिमेंटेशन अँड फॉलो-अप (Step 7: Implementation and Follow-up)

ऑब्जेक्टिव्ह (Objective): रेकमेंडेड एनर्जी-सेव्हिंग मेजर्सची इम्प्लिमेंटेशन करणे आणि त्यांचे रिझल्ट्स मॉनिटर करणे.

ऑक्टिविटीज (Activities):

- टाइमलाइन आणि बजेटसह **फेज्ड इम्प्लिमेंटेशन प्लॅन (Phased Implementation Plan)** तयार करणे
- टेक्निकल स्टाफ आणि मॅटेनन्स टीमला रिस्पॉन्सिबिलिटीज असाइन करणे
- इम्प्लिमेंटेशन नंतर **सेव्हिंग्सची व्हेरिफिकेशन (Measurement & Verification – M&V)** करणे
- कंटीन्युअस इम्प्रूव्हमेंटसाठी **एनर्जी मॅनेजमेंट सिस्टम (Energy Management System – EnMS)** स्थापन करणे

डिलिव्हेरेबल्स (Deliverables):

- इम्प्लिमेंटेशन रोडमॅप (Implementation Roadmap)
- **M&V रिपोर्ट्स (Measurement & Verification Reports)**
- सस्टेनेबिलिटी इम्प्रूव्हमेंट प्लॅन (Sustainability Improvement Plan)

Energy Audit Process Flow

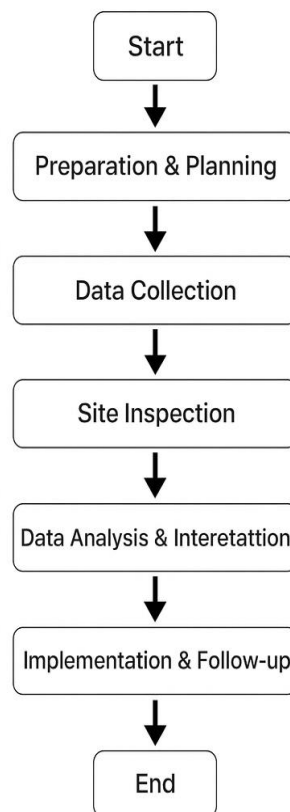


Figure 5.4 Energy Audit Process Flow

5.9 टिपिकल एनर्जी ऑडिट रिपोर्ट फॉर्मॅट (Typical Energy Audit Report Format)

- एनर्जी ऑडिट रिपोर्ट (Energy Audit Report) हा ऑडिट प्रोसेसचा शेवटचा आणि सगळ्यात महत्वाचा डिलिव्हेरेबल (Deliverable) असतो.

- हा रिपोर्ट ऑडिट दरम्यान गोळा केलेल्या डेटावर आधारित सर्व ऑब्झर्वेशन्स (Observations), अँनालिसिस (Analysis), कॅलक्युलेशन्स (Calculations) आणि रेकमेंडेशन्स (Recommendations) यांचा सारांश देतो.
- एक चांगल्या प्रकारे स्ट्रक्चर्ड रिपोर्ट केवळ फाइंडिंग्स डॉक्युमेंट करत नाही तर मॅनेजमेंटला प्रभावीपणे एनर्जी-सेव्हिंग मेजर्स प्लॅन आणि इम्प्लिमेंट करण्यासाठी एक स्ट्रॅटेजिक गाईड (Strategic Guide) म्हणून काम करतो.
- रिपोर्ट कॉम्प्रेहेन्सिव्ह (Comprehensive), अक्युरेट (Accurate) आणि टेक्निकल तसेच नॉन-टेक्निकल वाचकांसाठी ईझी टू इंटरप्रेट (Easy to Interpret) असा असावा.
- यामध्ये क्वांटिफाईड रिजल्ट्स (Quantified Results), कॉस्ट-बेनेफिट अँनालिसिस (Cost-Benefit Analysis) आणि इम्प्लिमेंटेशन स्ट्रॅटेजीज (Implementation Strategies) यांचा समावेश असावा, ज्यामुळे मेझरेबल एनर्जी सेव्हिंग्स (Measurable Energy Savings) साध्य करता येतात..

एनर्जी ऑडिट रिपोर्टची ऑब्जेक्टिव्हज (Objectives of the Energy Audit Report)

1. एनर्जी ऑडिट रिपोर्टचा मुख्य उद्देश म्हणजे ऑडिट दरम्यान गोळा केलेल्या डेटावर आधारित एनर्जी यूसेज (Energy Usage), इफिशन्सी लेव्हल्स (Efficiency Levels) आणि सेव्हिंग पोटेन्शियल (Saving Potential) यांचे स्पष्ट मूल्यांकन देणे.
2. रिपोर्ट मॅनेजमेंटला एनर्जी कंझम्पशन पॅटर्न्स (Energy Consumption Patterns) समजून घेण्यासाठी आणि सुधारणा करण्यासाठी योग्य निर्णय घेण्यास मदत करतो.
3. रिपोर्टमध्ये दिलेले एनर्जी कन्सर्वेशन मेजर्स (Energy Conservation Measures – ECMs) प्राधान्यक्रमानुसार मांडले जातात, ज्यामुळे सोप्या पद्धतीने अंमलबजावणी करता येते.
4. मोजमाप, विश्लेषण आणि कॉस्ट-बेनेफिट अँनालिसिस (Cost-Benefit Analysis) वर आधारित, रिपोर्ट संस्थेला आर्थिकदृष्ट्या फायदेशीर आणि तांत्रिकदृष्ट्या उपयुक्त उपाययोजना निवडण्यास मदत करतो.
5. एनर्जी ऑडिट रिपोर्ट भविष्यातील एनर्जी मॅनेजमेंट सिस्टम्स (Energy Management Systems – EnMS) तयार करण्यासाठी एक रेफरन्स डॉक्युमेंट म्हणून कार्य करतो, ज्यामुळे सतत सुधारणा (Continuous Improvement) शक्य होते..

टिपिकल एनर्जी ऑडिट रिपोर्ट फॉर्मॅट (Typical Energy Audit Report Format)

Table 5. 21 Typical Energy Audit Report Structure

Section	Content Description
1. एक्झिक्युटिव समरी (Executive Summary)	• ऑडिटच्या मुख्य फाइंडिंग्स, संभाव्य एनर्जी-सेव्हिंग्स, आणि रिक्मेंडेड अॅक्शन्स यांचा छोट्या स्वरूपातील सारांश. • फॅसिलिटीचा ओव्हरऑल एनर्जी परफॉर्मन्स (Energy Performance) आणि मुख्य की-इनसाईट्स (Key Insights) दाखवले जातात.
2. इंट्रोडक्शन (Introduction)	• फॅसिलिटी प्रोफाइल, लोकेशन, आणि मेजर प्रोसेसेसचे वर्णन. • एनर्जी ऑडिटचे स्कोप, ऑब्जेक्टिव्हस, आणि मेथडॉलॉजी. • ऑडिट टीमचे तपशील.
3. डेटा कलेक्शन आणि अँनालिसिस (Data Collection & Analysis)	• युटिलिटी बिल्स (Utility Bills), ऑपरेटिंग डेटा (Operating Data), आणि लोड प्रोफाइल्स (Load Profiles) ची माहिती. • एनर्जी कंझम्पशन पॅटर्न, SEC (Specific Energy Consumption), आणि प्रोसेस-वाइज कंझम्पशन. • एनर्जी बॅलन्स (Energy Balance) चार्ट आणि सिस्टम लॉसेसची माहिती.
4. फाइंडिंग्स आणि ऑब्झर्वेशन्स (Findings & Observations)	• प्रॉडक्शन सिस्टम, युटिलिटीज, आणि सपोर्ट सिस्टीममधील एनर्जी इफिशन्सी-संबंधित समस्यांची यादी.

	- ओव्हरहीटिंग, लीकजेस, आयडलींग मशीन, ओव्हरलोडिंग इत्यादी ऑब्झर्वेशन्स. - ऑपरेटर्सकडून घेतलेली इनपुट माहिती.
5. रिकमेंडेड एनर्जी कंझर्वेशन मेजर्स (ECMs)	प्रत्येक ECM मध्ये: - तपशीलवार वर्णन. - टेक्निकल फिजिबिलिटी. - एनर्जी सेव्हिंग पोटेंशियल (kWh, Fuel Units). - फायनान्शियल अँनालिसिस — Payback Period, IRR (Internal Rate of Return), NPV (Net Present Value). - इंफ्लिमेंटेशन स्टेप्स.
6. फायनान्शियल अँनालिसिस (Financial Analysis)	- प्रत्येक ECM साठी कॉस्ट-बेनिफिट अँनालिसिस. - प्रॉपोज्ड मेजर्सची एनर्जी सेव्हिंग्स विरुद्ध इन्व्हेस्टमेंट तुलना. - कॅपिटल आणि नॉन-कॅपिटल प्रोजेक्ट्सचे वर्गीकरण.
7. इंफ्लिमेंटेशन प्लॅन (Implementation Plan)	- प्रत्येक ECM साठी टाइमलाइन, बजेट, आणि रिस्पॉन्सिबल पर्सन्स. फेज्ड इंफ्लिमेंटेशन (Phased Implementation) स्ट्रॅटेजी. - रिस्क्स आणि मिटिगेशन प्लॅन.
8. मेजरमेंट आणि व्हेरिफिकेशन (M&V Report)	- इंफ्लिमेंटेशननंतर मिळालेल्या एनर्जी सेव्हिंग्सची पडताळणी. IPMVP प्रोटोकॉल (IPMVP Protocol) किंवा इतर M&V मेथड्सचा वापर. - बेसलाइन vs अॅक्ट्युअल परफॉर्मन्स तुलना.
9. कन्क्लूजन आणि वे फॉरवर्ड (Conclusion & Way Forward)	- मुख्य एनर्जी सेव्हिंग अपॉर्चुनिटीजचा सारांश. - दीर्घकालीन एनर्जी मॅनेजमेंट प्लॅन (EnMS). - सस्टेनेबल ऑपरेशनसाठी स्ट्रॅटेजिक रिकमेंडेशन्स.
10. अपेंडिक्स (Appendix)	- सिंगल लाईन डायग्राम्स (SLDs). - इन्स्ट्रुमेंट कॅलिब्रेशन सर्टिफिकेट्स. - डेटा शीट्स, चेकलिस्ट्स, आणि रॉ मेजरमेंट्स. - फोटोग्राफिक एव्हिडन्स.

इंडस्ट्रियल एनर्जी ऑडिट रिपोर्ट मधून सॅम्पल एक्स्ट्रॅक्ट (Sample Extract from an Industrial Energy Audit Report)

Parameter	Existing System	Proposed Modification	Annual Savings (₹)	Investment (₹)	Payback (Years)
Lighting System	400W Metal Halide Lamps	Replace with 150W LED Fixtures	1,80,000	3,60,000	2.0
Boiler Efficiency	72%	Optimize air-fuel ratio and flue gas recovery	3,25,000	4,00,000	1.23
Air Compressor	20% leakage	Leak arrest and VFD installation	2,10,000	3,50,000	1.67

एकूण संभाव्य बचत (Total Potential Savings): ₹7,15,000 प्रति वर्ष

एकूण इन्वेस्टमेंट (Total Investment): ₹11,10,000

सरासरी पेबॅक पिरियड (Average Payback Period): 1.55 वर्षे

Detailed Energy Audit Process Flow



Figure 5.5 Detailed Energy Audit Process Flow

5.10 एनर्जी मॅनेजर आणि एनर्जी ऑडिटर चे रोल्स आणि रिस्पॉन्सिबिलिटीज (Roles and Responsibilities of Energy Manager and Energy Auditor)

इफेक्टिव एनर्जी मॅनेजमेंटला (Effective Energy Management) एनर्जी मॅनेजर (Energy Manager) आणि एनर्जी ऑडिटर (Energy Auditor) यांच्यातील को-ऑर्डिनेटेड एफर्ट (coordinated effort) आवश्यक असतो.

- एनर्जी ऑडिटर (Energy Auditor) चे मुख्य काम म्हणजे वेगवेगळ्या सिस्टीम्समध्ये एनर्जी-सेव्हिंग ऑपच्युनिटीज (energy-saving opportunities) ओळखणे, त्यांचे डेटा अॅनालिसिस करणे आणि एनर्जी कंझर्वेशन मेजर्स (Energy Conservation Measures – ECMs) सुचवणे.
- एनर्जी मॅनेजर (Energy Manager) चे काम म्हणजे सुचवलेल्या उपायांचे इम्प्लेमेंटेशन (implementation) करणे, त्यांची मॉनिटरिंग करणे आणि संपूर्ण फॅसिलिटीमध्ये कॉन्टिन्युअस इम्प्रुव्हमेंट (continuous improvement) सुनिश्चित करणे.
- हे दोन्ही रोल्स एनर्जी कंझर्वेशन ॲक्ट, 2001 (Energy Conservation Act, 2001) अंतर्गत अधिकृत मान्यता प्राप्त आहेत आणि ब्युरो ऑफ एनर्जी एफिशन्सी (Bureau of Energy Efficiency – BEE), मिनिस्ट्री

ऑफ पावर (Ministry of Power), गव्हर्नमेंट ऑफ इंडिया (Government of India) यांच्या नियंत्रणाखाली रेग्युलेट केले जातात.

एनर्जी मॅनेजरचे रोल्स आणि रिस्पॉन्सिबिलिटीज (Role and Responsibilities of the Energy Manager)

Table 5.22 Energy Manager Functional Areas and Duties

फंक्शन एरिया (Function Area)	रिस्पॉन्सिबिलिटीज (Responsibilities)
पॉलिसी डेव्हलपमेंट (Policy Development)	ऑर्गनायझेशनल गोल्स (organizational goals) प्रमाणे एनर्जी पॉलिसी (energy policy) तयार करणे आणि परफॉर्मन्स टारगेट्स (performance targets) ठरवणे.
एनर्जी प्लॅनिंग (Energy Planning)	एनर्जी मॅनेजमेंट प्रोग्राम्स (energy management programs) आणि बजेट्स (budgets) तयार करणे व अंमलात आणणे.
मॉनिटरिंग आणि कंट्रोल (Monitoring and Control)	• एनर्जी परफॉर्मन्स इंडिकेटर्स (EnPIs) ट्रॅक करणे. • पिरिऑडिक रिव्यूज (periodic reviews) करणे.
प्रोजेक्ट इम्प्लिमेंटेशन (Project Implementation)	रेकमेंडेड एनर्जी कंझर्वेशन मेजर्स (ECMs) ची अंमलबजावणी सुपरवाइज करणे.
ट्रेनिंग आणि अवेअरनेस (Training and Awareness)	एम्प्लॉईसाठी एनर्जी एफिशन्सी (energy efficiency) आणि कंझर्वेशन (conservation) संदर्भात अवेअरनेस प्रोग्राम्स आयोजित करणे.
रेग्युलेटरी कम्प्लायन्स (Regulatory Compliance)	• BEE (Bureau of Energy Efficiency) कडे पिरिऑडिक एनर्जी रिपोर्ट्स (energy reports) सबमिट करणे. • सर्व लीगल स्टॅंडर्ड्स (legal standards) चे पालन सुनिश्चित करणे.
रिपोर्टिंग टू मॅनेजमेंट (Reporting to Management)	टॉप मॅनेजमेंटला एनर्जी परफॉर्मन्स रिपोर्ट्स (energy performance reports) आणि प्रोजेक्ट अपडेट्स (project updates) सादर करणे.

ऑब्जेक्टिव्ह (Objective):

एनर्जी रिसोर्सेस (Energy Resources) चा एफिशंट युटिलायझेशन (Efficient Utilization) सुनिश्चित करणे आणि एनर्जी परफॉर्मन्स (Energy Performance) मध्ये सतत इम्प्रूव्हमेंट (Continuous Improvement) ची संस्कृती विकसित करणे..

A. एनर्जी ऑडिटरचे रोल्स आणि रिस्पॉन्सिबिलिटीज (Role and Responsibilities of the Energy Auditor)

Table 5.23 Role and Responsibilities of the Energy Auditor

फंक्शन एरिया (Function Area)	रिस्पॉन्सिबिलिटीज (Responsibilities)
ऑडिट प्लॅनिंग (Audit Planning)	ऑडिटचा स्कोप (scope) , ऑब्जेक्टिव्ह्स (objectives) आणि मेथडॉलॉजी (methodology) निश्चित करणे.
डेटा कलेक्शन आणि मेजरमेंट (Data Collection and Measurement)	फिल्ड स्टडीज (field studies) करणे आणि कॅलिब्रेटेड इन्स्ट्रुमेंट्स (calibrated instruments) वापरून ऑपरेशनल डेटा रेकॉर्ड करणे.

सिस्टम इव्हल्युएशन (System Evaluation)	इलेक्ट्रिकल, थर्मल आणि युटिलिटी सिस्टम्स (systems) ची परफॉर्मन्स अँनालिसिस करणे.
ECMs ची आयडेंटिफिकेशन (Identification of ECMs)	टेक्निकल जस्टिफिकेशनसह फिजिबल एनर्जी-सेव्हिंग मेजर्स (energy-saving measures) सुचवणे.
फायनान्शियल अँनालिसिस (Financial Analysis)	प्रोजेक्ट्सचे मूल्यांकन SPP, IRR, आणि NPV मेथड्सने करणे.
रिपोर्टिंग (Reporting)	फाइंडिंग्स, अँनालिसिस आणि रिकमेन्डेशन्स हायलाइट करणारे डिटेल्ड ऑडिट रिपोर्ट्स (audit reports) तयार करणे.
पोस्ट-ऑडिट सपोर्ट (Post-Audit Support)	इम्प्लिमेंटेशन दरम्यान क्लायंटला सहाय्य करणे आणि मिळालेल्या सेव्हिंग्सचे मॉनिटरिंग (monitoring) करणे.

ऑब्जेक्टिव्ह (Objective):

एनर्जी-सेव्हिंग ऑपच्युनिटीज (Energy-saving opportunities) ओळखणे (identify), अँनालाईज करणे (analyze), आणि डॉक्युमेंट करणे (document) — टेक्निकल (technical) आणि फायनान्शियल (financial) जस्टिफिकेशन (justification) सह.

Table 5.24 Functional Differences Between Energy Manager and Energy Auditor

पॅरामीटर (Parameter)	एनर्जी मॅनेजर (Energy Manager)	एनर्जी ऑडिटर (Energy Auditor)
प्राथमरी रोल (Primary Role)	एनर्जी-इफिशन्सी प्रोग्राम्स (energy efficiency programs) इम्प्लिमेंट आणि मॅटेन करणं	एनर्जी-सेव्हिंग ऑपच्युनिटीज (energy-saving opportunities) आयडेंटिफाय आणि इव्हल्युएट करणं
वर्क डोमेन (Work Domain)	इंटरनल (internal) – ऑर्गनायझेशनच्या आत काम	एक्सटर्नल (external) – कन्सल्टन्सी/ऑडिट रोल
आउटपुट (Output)	एनर्जी मॅनेजमेंट रिपोर्ट्स (energy management reports), अक्शन प्लॅन्स (action plans)	एनर्जी ऑडिट रिपोर्ट्स (energy audit reports) आणि रिकमेन्डेशन्स (recommendations)
क्वालिफिकेशन – BEE रिक्वायरमेंट (Qualification – BEE Requirement)	सर्टिफाइड एनर्जी मॅनेजर (Certified Energy Manager)	सर्टिफाइड एनर्जी ऑडिटर (Certified Energy Auditor)
रिपोर्टिंग अथॉरिटी (Reporting Authority)	टॉप मॅनेजमेंट / बोर्ड (Top Management / Board)	क्लायंट ऑर्गनायझेशन किंवा BEE (Client Organization or BEE)

उदाहरण – इंडस्ट्रीमध्ये कोलॅबोरेटिव्ह इम्प्लिमेंटेशन (Collaborative Implementation in an Industry)

नाशिकमधल्या एका **फार्मास्युटिकल प्लांट (pharmaceutical plant)** मध्ये **एनर्जी ऑडिटर (Energy Auditor)** ने खालील समस्या ओळखल्या:

- ओव्हर-साईज्ड पम्प्स (over-sized pumps), लो पावर फॅक्टर (low power factor 0.80), आणि इनेफिशंट HVAC सिस्टम (inefficient HVAC system).

यानंतर **एनर्जी मॅनेजर (Energy Manager)** ने खालील कृती केल्या:

- VFDs पम्पवर इंस्टॉल केले, **कॅपेसिटर बँक्स (capacitor banks)** लावून **PF करेक्शन (PF correction)** केले, आणि **चिलर कंट्रोलस (chiller controls)** सुधारले.

रिझल्ट्स (Results):

- इलेक्ट्रिसिटी कॉस्टमध्ये **14% रिडक्शन (reduction)**.
- वार्षिक **₹12 लाख सेव्हिंग (annual savings)**, **2.3 वर्षांचा पेबॅक (payback)**.

हे उदाहरण दाखवते की **दोन्ही रोल्स — एनर्जी मॅनेजर आणि एनर्जी ऑडिटर — इंटरडिपेन्डंट (interdependent)** असून **यशस्वी एनर्जी मॅनेजमेंटसाठी (successful energy management)** दोन्हींची भूमिका अत्यंत महत्त्वाची आहे.

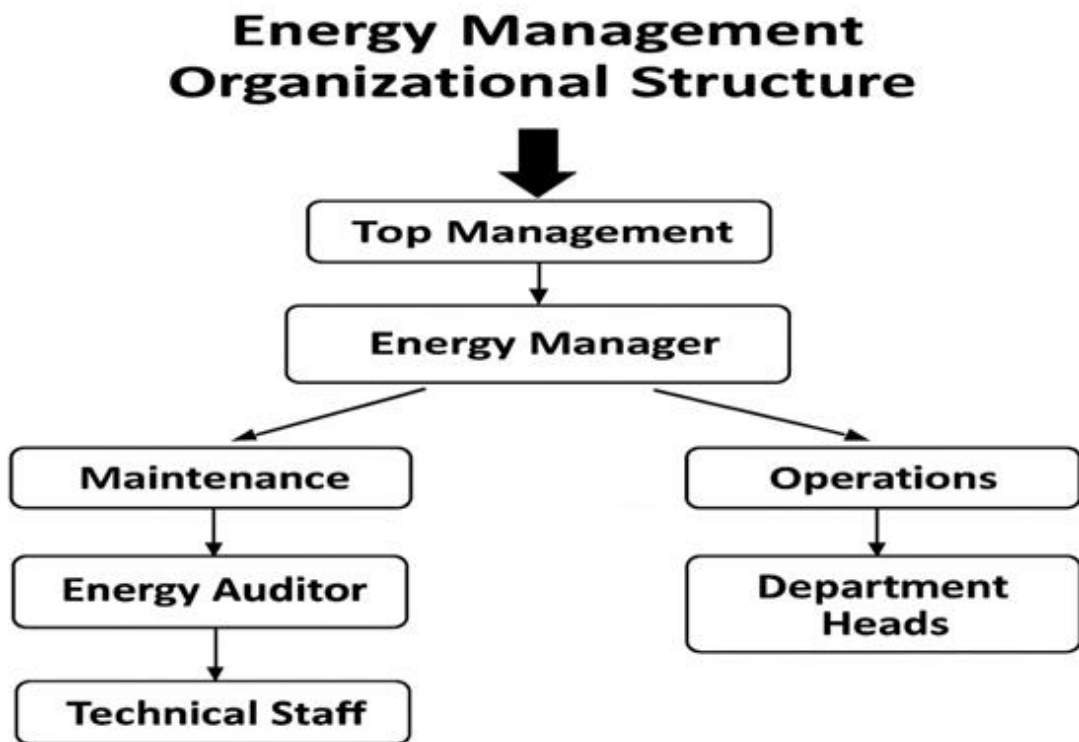


Figure 5.6 Energy Management Organizational Structure

Question

1. Define Energy Audit.
2. List any two benefits of conducting an energy audit.
3. What is Specific Energy Consumption (SEC)?
4. Mention two types of Energy Audit.
5. State the purpose of a Lux Meter in an energy audit.
6. Write any two objectives of the Energy Audit procedure.
7. What does Simple Payback Period indicate?
8. Name two instruments used for measuring electrical parameters.
9. State the function of a Power Analyzer.
10. What is the role of an Energy Manager?
11. Define Sankey Diagram.
12. Write the full form of IRR and its significance.
13. List any two sections of an Energy Audit report.
14. Mention two types of flow meters used in audits.
15. Write any two key responsibilities of an Energy Auditor.
16. Explain the significance of Specific Energy Consumption in energy management.
17. Describe the different types of Energy Audits.
18. Discuss the role and use of any four Energy Audit instruments.
19. Explain the steps involved in preparing an Energy Audit Questionnaire.
20. Describe the purpose and importance of an Energy Flow (Sankey) Diagram.
21. Explain the step-by-step Energy Audit Procedure.
22. Discuss the Simple Payback Period method with an example.
23. Differentiate between Energy Manager and Energy Auditor.
24. Explain the scope of an Energy Audit in industries.
25. Write short notes on: (a) Power Analyzer (b) Lux Meter.
26. Describe in detail the types of Energy Audits with their objectives, duration, and instruments used.
27. Explain the complete Energy Audit Procedure from preparation to implementation.
28. Illustrate and explain the construction and interpretation of a Sankey Diagram with an example.
29. Discuss the financial analysis of energy projects using Simple Payback Period and IRR with examples.
30. Prepare a model format of a Typical Energy Audit Report and explain each section.
31. Explain the roles and responsibilities of Energy Managers and Energy Auditors with a case study example.
32. Explain the classification, purpose, and working principle of various Energy Audit Instruments.
33. Describe the methodology and importance of developing a structured Energy Audit Questionnaire.

References

1. Bureau of Energy Efficiency (BEE). (2015). *Guidebooks No. 1 to 4 for National Certification Examination for Energy Managers and Energy Auditors* (4th ed.). Bureau of Energy Efficiency, Ministry of Power, Government of India.
2. Singh, S., & Rathore, U. (2015). *Energy Management*. S. K. Kataria & Sons. ISBN: 9789350141014
3. Mehta, V. K., & Mehta, R. (2022). *Principles of Power System*. S. Chand & Company. ISBN: 9789355010773
4. Kumar, A., Prakash, O., Chauhan, P. S., & Gautam, S. (2020). *Energy Management, Conservation and Audits*. CRC Press. ISBN: 9780429325458
5. Roosa, S. A., Doty, S., & Turner, W. C. (2020). *Energy Management Handbook*. Fairmont Press. ISBN: 9781003151364
6. Murphy, W. R. (n.d.). *Energy Management*. Butterworth-Heinemann Publications. ISBN: 9788131207383

Suggested Learning Materials / Books

Sr. No	Author	Title	Publisher with ISBN Number
1	Bureau of Energy Efficiency (BEE)	Guidebooks no. 1 to 4 for National Certification Examination for Energy Managers and Energy Auditors	Bureau of Energy Efficiency (A Statutory body under Ministry of Power, Government of India) (Fourth Edition 2015)
2	Dr. Sanjeev Singh, Dr. Umesh Rathore	Energy Management	S K Kataria & Sons, New Delhi. ISBN-13: 9789350141014
3	V.K.Mehta and Rohit Mehta	Principles of Power System	S. Chand & Co. New Delhi, 2022, ISBN: 9789355010773
4	Anil Kumar, Om Prakash, Prashant Singh Chauhan, Samsher Gautam	Energy Management Conservation and Audits	CRC Press, 2020, ISBN: 9780429325458
5	Stephan A. Roosa, Steve Doty, Wayne C. Turner	Energy Management Handbook	Fairmount Press, New York 2020 ISBN: 9781003151364

Sr. No	Author	Title	Publisher with ISBN Number
6	Murphy W.R.	Energy Management	Butterworth-Heinemann Publication, ISBN: 9788131207383.
7	K.V. Sharma, P. Venkatasesh aiah.	Energy Management and Conservation	I K International Publishing House Pvt. Ltd; 2011 ISBN 9789381141298
8	Yogendra V. Talware.	Art of reading Electricity bills.	Dnyatavya Prakashan

Learning Websites & Portals

Sr. No	Link / Portal	Description
1	https://mnre.gov.in/	Information about new and renewable energy.
2	https://powermin.gov.in/	Indian power scenario.
3	https://aipnpc.org/Guidebooks.aspx	BEE guidebooks 01 to 04.
4	https://akshayurja.gov.in/res/renw-all-india-cp	Akshay Urja Ministry of New and Renewable Energy (MNRE)
5	https://www.mahaurja.com/meda/en/energy_conservation/energy_conservation_program	Energy Conservation Schemes in Maharashtra state (MEDA)
6	https://www.eia.gov/totalenergy/	U S Energy information administration.
7	https://beeindia.gov.in/sites/default/files/ECBC%20User%20Guide%20V-0.2%20(Public).pdf	Energy Conservation Building Code User Guide.
8	https://iiec.org/	International Institute for Energy Conservation (IIEC)
9	https://cea.nic.in/	Central Electricity Authority