महाराष्ट्र राज्य तंत्रशिक्षण मंडळ, मुंबई.

(स्वायत्त) (ISO 9001:2015) (ISO/IEC 27001:2013)

अभियांत्रिकी आणि तंत्रज्ञान पदविका

शिक्षण पुस्तिका

(Learning Material)

विद्‌युत उर्जा निर्मिती,ट्रान्समिशन आणि वितरण

Electrical Power Generation, Transmission and Distribution

(GTD)

(313333)

विद्‌युत अभियांत्रिकी गट

मराठी – इंग्रजी (द्विभाषिक) माध्यम

(अभियांत्रिकी व तंत्रज्ञानातील तिसरे सत्र पदविका)

शिक्षण पुस्तिका

(Learning Material)

विद्‌युत उर्जा निर्मिती ,ट्रान्समिशन आणि वितरण

Electrical Power Generation, Transmission and Distribution

(GTD)

(313333)

विद्‌युत अभियांत्रिकी गट

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

महाराष्ट्र राज्य तंत्रशिक्षण मंडळ, मुंबई
(स्वायत्त) (ISO 9001:2015) (ISO/IEC 27001:2013)

मार्गदर्शक

डॉ. संजय वसंत भंगाळे
विभागप्रमुख, विद्युत अभियांत्रिकी

प्रमुख समन्वयक

डॉ.डी.के.नायक
प्राचार्य

समन्वयक व समीक्षक

सौ.राजश्री उमेश पाटील
विभागप्रमुख, विद्युत विभाग अभियांत्रिकी

लेखक

सौ सुरभी श्रॉफ
व्याख्याता, विद्युत विभाग अभियांत्रिकी

सौ रुजुता कांबळी
व्याख्याता, विद्युत विभाग अभियांत्रिकी

सौ भारती बोरकर
प्रभारी विभागप्रमुख,विद्युत विभाग अभियांत्रिकी

सौ योगिता कदम
व्याख्याता, विद्युत विभाग अभियांत्रिकी

श्री.संतोष सूर्यवंशी
व्याख्याता, विद्युत विभाग अभियांत्रिकी

महाराष्ट्र राज्य तंत्र शिक्षण मंडळ

(स्वायत्त) (ISO: ९००१:२०१५) (ISO/IES: २७००१-२०१३)

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

दूरध्वनी क्र.: ०२२-६२५४२१७० / १६१

Email : director@msbte.com Web : www.msbte.org.in

प्रास्ताविक

महाराष्ट्र राज्यातील पदविका स्तरावरील तंत्रशिक्षणाशी संबंधित बाबींचे नियमन करण्यासाठी महाराष्ट्र राज्य तंत्रशिक्षण मंडळ वचनबद्ध असून विद्यार्थ्यांच्या सर्वांगिण विकासाकरिता वेळोवेळी प्रयत्नशील आहे. तंत्रज्ञान, उद्योग, समाज आणि जागतिकीकरण यामध्ये सतत घडून येणा-या बदलांच्या अनुषंगाने तांत्रिक शिक्षणाची भविष्यातील निकड वेधून पदविका स्तरावरील अभ्यासक्रम, परीक्षा पद्धती व शैक्षणिक सामुग्री ह्यांमधे अद्ययावत बदल करण्यात महाराष्ट्र राज्य तंत्रशिक्षण मंडळ अग्रगण्य आहे. विद्यार्थी हा शिक्षण क्षेत्राच्या केंद्रस्थानी असून त्यांची निकड व समस्या संवेदनशीलपणे हाताळल्यास भारत देशाचे 'ज्ञान महासत्ता' बनण्याचे स्वप्न पूर्णत्वास जाईल ह्याचा मला विश्वास आहे.

शहर आणि ग्रामीण भागातील शैक्षणिक सोयीसुविधांमधील दरी अनेक वेळा दिसून येत असून ग्रामीण भागातील विद्यार्थ्यांचे इंग्रजी भाषेतील ज्ञान व संवाद कौशल्याबाबतही ही वस्तुस्थिती प्रकर्षाने जाणवते. केवळ इंग्रजी भाषेतील संवाद कौशल्याअभावी ग्रामीण भागातील विद्यार्थी तंत्रशिक्षणापासून वंचित राहू नये, ह्या दृष्टिकोनातून महाराष्ट्र राज्य तंत्रशिक्षण मंडळाने शैक्षणिक वर्ष २०२१-२२ पासून प्रथम वर्ष पदविका अभ्यासक्रमाकरिता तांत्रिक शिक्षण मराठी-इंग्रजी द्विभाषिक माध्यमात इच्छुक विद्यार्थ्यांना उपलब्ध करून दिले आहे. मात्र असे करताना कोणत्याही परिस्थितीत गुणवत्तेशी तडजोड केली जाऊ नये ह्या दृष्टीने प्रमुख विषयांसाठीच्या शैक्षणिक सामुग्रीची निर्मिती करण्यात आली आहे.

राष्ट्रीय शिक्षण धोरण २०२० मध्ये प्रादेशिक भाषांमध्ये सर्वांना शिक्षणाची कल्पना मांडण्यात आली आहे. त्यास अनुसरून मराठी-इंग्रजी द्विभाषिक माध्यमाचा पर्याय द्वितीय व तृतीय वर्षाकरिताही उपलब्ध करून देण्यात आला आहे. तसेच त्याकरिता शैक्षणिक सामुग्रीही विद्यार्थी व अध्यापकांना उपलब्ध करून देण्यात येत आहे.

महाराष्ट्र राज्यातील अनुभवी अध्यापकांकरवी ही शैक्षणिक सामुग्री तयार करण्यात आली असून व्यावहारिक मराठी भाषा, इंग्रजी भाषेतील तांत्रिक शब्दावलीचा उपयोग आणि संदर्भ पुस्तके लक्षात घेऊन या सामुग्रीची निर्मिती करण्यात आलेली आहे. सदर सामुग्रीची पुनर्तपासणी सुकाणू समितीमार्फत करण्यात आलेली असल्याने ही शैक्षणिक सामुग्री अधिक समृद्ध झालेली आहे. त्यामुळे विद्यार्थ्यांना तांत्रिक शिक्षण समजून घेणे अधिक सुकर होईल. तसेच व्यावहारिक मराठी भाषेच्या उपयोगाने विद्यार्थ्यांना विषयाचे सखोल आकलन होईल व इंग्रजी भाषेतील तांत्रिक शब्दावलीच्या वापरामुळे विद्यार्थ्यांचा उद्योग जगतातील वावर सुलभ होईल. त्यामुळे महाराष्ट्र राज्य तांत्रिक क्षेत्रातील वैश्विक मनुष्यबळाच्या निर्मितीत अग्रेसर राहील व त्यायोगे राष्ट्रनिर्मितीकरीता निश्चितच हातभार लागेल असा मला विश्वास आहे.

अभियांत्रिकी पदविका अभ्यासक्रमातील प्रमुख विषयांची मराठी-इंग्रजी द्विभाषिक शैक्षणिक सामुग्री बनविण्यासाठी अध्यापक व सुकाणू समितीचे सदस्य हे कौतुकास पात्र असून मी त्यांचे अभिनंदन करतो.

(प्रमोद नाईक)
संचालक
म. रा. तंत्र शिक्षण मंडळ, मुंबई.

अनुक्रमणिका
(INDEX)

अ.क्र.	युनिटचे नाव	पान क्र.
1	थर्मल पॉवर प्लांट आणि हायड्रो पॉवर प्लांट (Thermal Power Plant and Hydro Power Plant)	01
2	पॉवर जनरेशन आणि इंटरकनेक्टेड पॉवर सिस्टमचे अर्थशास्त्र (Economics of Power Generation and Interconnected Power System)	22
3	ट्रान्समिशन लाइन कॉम्पोनन्टस, पॅरामीटर्स आणि परफॉर्मन्स (Transmission Line Components, Parameters and Performance)	37
4	एक्स्ट्रा हाय व्होल्टेज ट्रान्समिशन (HVAC आणि HVDC) (Extra High Voltage Transmission (HVAC and HVDC)	72
5	डिस्ट्रिब्युशन लाइन कॉम्पोनन्ट्स , पॅरामीटर आणि परफॉर्मन्स (Distribution Line Components, Parameters and Performance)	85

युनिट 1
थर्मल पॉवर प्लांट आणि हायड्रो पॉवर प्लांट
(Thermal Power Plant and Hydro Power Plant)

विषय निष्पत्ती (Course Outcomes(COs):

थर्मल पॉवर प्लांट आणि हायड्रो पॉवर प्लांटचे ऑप्टिमाइझ केलेले कामकाज सांभाळा
(Maintain the optimised working of the thermal power plant and hydro power plant)

विषय निष्पत्ती बरोबर जुळणारी थिअरी लर्निंग निष्पत्ती (Theory Learning Outcomes (TLOs) aligned to Course Outcomes(COs):

1.1 निर्दिष्ट पॉवर प्लांटच्या लेबल केलेल्या ब्लॉक आकृतीसह विद्युत उर्जा निर्मिती प्रक्रियेच्या लेआउटचे वर्णन करा.
(Describe the layout of the electric power generating process with a labelled block diagram of the specified power plant.)

1.2 निर्दिष्ट पॉवर प्लांटच्या दिलेल्या प्रकारच्या प्रमुख सहाय्यकांची कार्ये सांगा
(State the functions of a given type of major auxiliaries of specified power plant.)

1.3 थर्मल पॉवर प्लांट आणि हायड्रो पॉवर प्लांटमध्ये फरक करा.
(Distinguish between Thermal Power Plant and Hydro Power Plant)

1.4 निर्दिष्ट पॉवर प्लांटसाठी पाळल्या जाणाऱ्या निर्दिष्ट सुरक्षित पद्धतींचे वर्णन करा
(Describe the specified safe practices to be followed for a specified power plant)

परिचय (Introduction):

पॉवर स्टेशन, ज्याला पॉवर प्लांट आणि काहीवेळा जनरेटिंग स्टेशन किंवा जनरेटिंग प्लांट असेही संबोधले जाते, ही इलेक्ट्रिक पॉवर निर्मितीसाठी औद्योगिक सुविधा आहे. पॉवर स्टेशन सामान्यतः इलेक्ट्रिकल ग्रिडला जोडलेले असतात.

1.1 विविध ऊर्जा स्त्रोतांचे वर्गीकरण (नूतनीकरणीय आणि पारंपरिक) (Classification of various energy sources (Renewable and Non-Renewable)

ऊर्जा स्रोत (Energy sources)

उर्जेच्या स्त्रोतांचे वर्गीकरण केले जाऊ शकते:

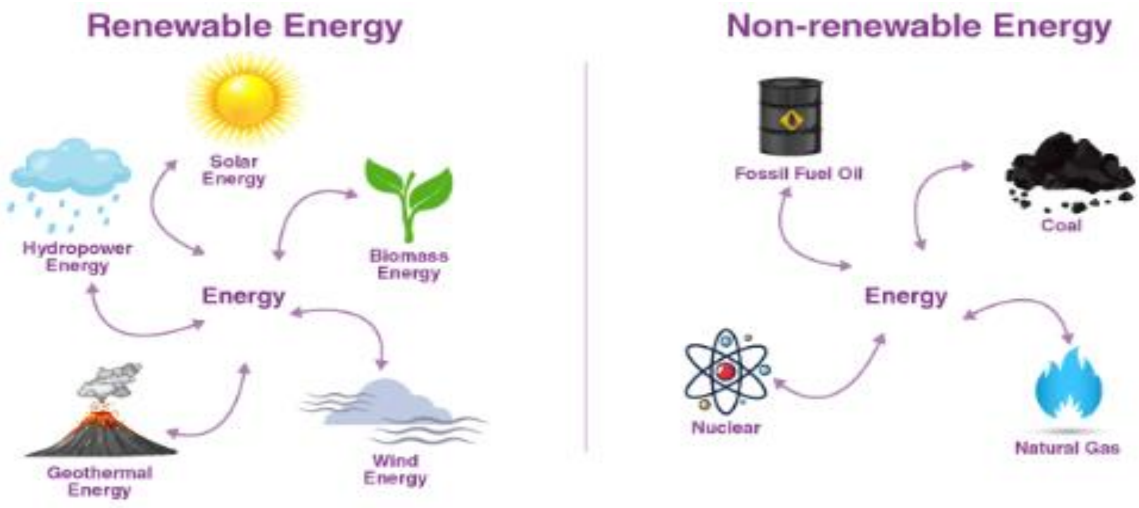
1. नूतनीकरणीय स्रोत (Renewable Sources)
2. पारंपरिक स्रोत (Non-Renewable Sources)

उर्जेचे नूतनीकरणीय स्त्रोत निसर्गात मुबलक प्रमाणात उपलब्ध आहेत आणि ते टिकाऊ आहेत. ही ऊर्जा संसाधने नैसर्गिकरित्या पुन्हा भरली जाऊ शकतात आणि पर्यावरणासाठी सुरक्षित आहेत.

नूतनीकरणीय ऊर्जा स्त्रोतांची उदाहरणे आहेत: सौर (Solar) ऊर्जा, भू-औष्णिक (Geothermal) ऊर्जा, पवन(Wind) ऊर्जा, बायोमास, जलविद्युत आणि टायडल (Tidal) ऊर्जा.

पारंपरिक ऊर्जा ही एक नैसर्गिक ऊर्जा आहे जी पृथ्वीच्या खाली आढळते. या प्रकारची ऊर्जा संसाधने ज्या वेगाने वापरली जातात त्याच वेगाने पुन्हा भरत नाहीत. ते भरून काढण्यासाठी लाखो वर्षे लागतात. पारंपरिक संसाधनांची मुख्य उदाहरणे म्हणजे कोळसा, तेल आणि नैसर्गिक वायू.

पारंपरिक ऊर्जा स्रोतांची उदाहरणे-नैसर्गिक वायू, कोळसा, पेट्रोलियम, अणुऊर्जा आणि हायड्रोकार्बन वायू द्रव.



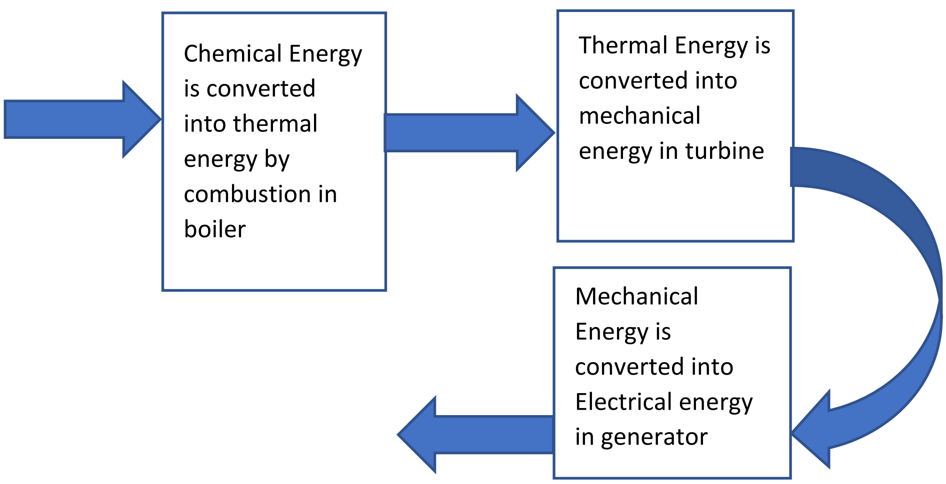
आकृती 1.1 नूतनीकरणीय ऊर्जा, पारंपरिक ऊर्जा

1.2 साइट निवड, लेआउट आणि टिपिकल थर्मल पॉवर प्लांट चे कार्य. (Site selection, Layout and working of a typical Thermal Power Plant)

थर्मल पॉवर प्लांट- (स्टीम पॉवर प्लांट) (Thermal power plant or Steam power plant)

कोळशाच्या (Coal) ज्वलनाच्या उष्ण ऊर्जेचे (heat energy) विद्युत उर्जेमध्ये (Electrical Energy) रूपांतर (converts) करणारे जनरेटिंग स्टेशन स्टीम पॉवर स्टेशन म्हणून ओळखले जाते.

ऊर्जा रूपांतरण प्रक्रिया (Energy Conversion Process)



आकृती 1.2. ऊर्जा रूपांतरण प्रक्रिया

1.2.1 स्टीम पॉवर प्लांटसाठी साइट निवड निकष
(Site Selection criteria for Steam Power Plant)

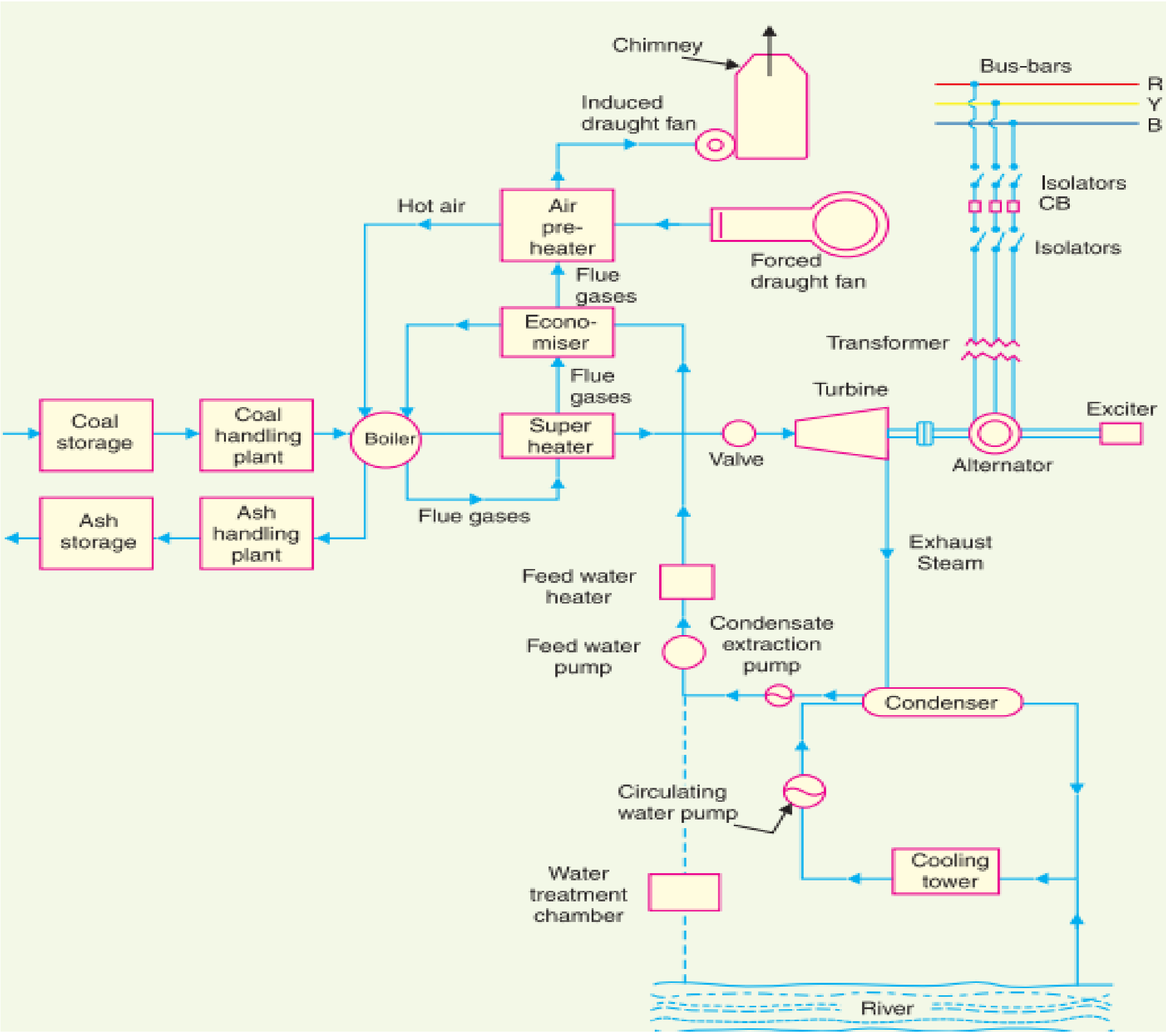
एकंदर अर्थव्यवस्था साध्य करण्यासाठी, स्टीम पॉवर स्टेशनसाठी जागा निवडताना खालील मुद्द्यांचा विचार केला पाहिजे:

1. **इंधनाचा पुरवठा (Supply of fuel):** स्टीम पॉवर स्टेशन कोळशाच्या खाणीजवळ (Coal mines) असले पाहिजे जेणेकरून इंधनाचा वाहतूक खर्च (transpotation cost) कमीत कमी होईल. मात्र, कोळसा उपलब्ध नसलेल्या ठिकाणी असा प्लांट बसवायचा असेल, तर कोळशाच्या वाहतुकीसाठी पुरेशा सुविधा उपलब्ध असतील याची काळजी घेतली पाहिजे.
2. **पाण्याची उपलब्धता (Availability of water):** कंडेन्सरसाठी मोठ्या (huge) प्रमाणात पाण्याची आवश्यकता असल्याने, पाण्याचा सतत पुरवठा सुनिश्चित (ensure) करण्यासाठी प्लांट (plant) नदीच्या काठावर किंवा कालव्याजवळ(near the canal) असावी.
3. **वाहतूक सुविधा (Transportation facilities):** आधुनिक स्टीम पॉवर स्टेशनला अनेकदा साहित्य आणि यंत्रसामग्रीची (machinery) वाहतूक आवश्यक असते. म्हणून, पुरेशी वाहतूक सुविधा अस्तित्वात असणे आवश्यक आहे, म्हणजे, प्लांट देशाच्या इतर भागांशी रेल्वे, रस्त्याने जोडलेले असावे.
4. **किंमत आणि जमिनीचा प्रकार (Cost and type of land):** स्टीम पॉवर स्टेशन अशा ठिकाणी असले पाहिजे जेथे जमीन स्वस्त आहे आणि आवश्यक असल्यास, पुढील विस्तार शक्य आहे. शिवाय, जड उपकरणे बसवता यावीत म्हणून जमिनीची वहन क्षमता(bearing capacity) पुरेशी असावी
5. **लोड केंद्रांच्या जवळ (Nearness to load centres):** ट्रान्समिशन खर्च कमी करण्यासाठी, प्लांट लोडच्या मध्यभागी स्थित(located) असावा. हे विशेषतः महत्वाचे आहे जर D.C. पुरवठा प्रणाली(transmission) स्वीकारली आहे. तथापि, जर ए.सी. पुरवठा प्रणाली स्वीकारली तर हा घटक तुलनेने कमी महत्त्वाचा बनतो. कारण ए.सी. परिणामी कमी झालेल्या प्रसारण खर्चासह उच्च व्होल्टेजवर वीज प्रसारित केली जाऊ शकते. म्हणून, इतर परिस्थिती अनुकूल असल्यास, लोड केंद्रांपासून दूर प्लांट स्थापित करणे शक्य आहे.
6. **लोकसंख्या असलेल्या क्षेत्रापासून अंतर (Distance from populated area):** स्टीम पॉवर स्टेशनमध्ये प्रचंड प्रमाणात कोळसा जाळला जात असल्याने, वाफ आणि धूर(steam and fumes) आसपासच्या परिसराला प्रदूषित (polluted) करतात. हे आवश्यक आहे की प्लांट लोकसंख्येच्या क्षेत्रापासून लक्षणीय अंतरावर स्थित असावी.

1.2.2 ठराविक थर्मल पॉवर प्लांटचे लेआउट आणि कार्य.
(Layout and working of a typical Steam Power Plant.)

स्टीम पॉवर स्टेशन मुळात रँकाइन (Rankine) सायकलवर काम करते. कोळशाच्या ज्वलनाच्या उष्णतेचा वापर करून बॉयलरमध्ये वाफ (Steam) तयार केली जाते. नंतर वाफेचा प्राइम मूव्हर (steam turbine) मध्ये विस्तार (Expansion) केला जातो आणि पुन्हा बॉयलरमध्ये भरण्यासाठी कंडेन्सरमध्ये कंडेन्स केला जातो. स्टीम टर्बाइन अल्टरनेटर चालवते जे टर्बाइनच्या यांत्रिक उर्जेचे विद्युत उर्जेमध्ये रूपांतरित करते. जिथे कोळसा आणि पाणी मुबलक प्रमाणात उपलब्ध आहे आणि मोठ्या प्रमाणात विद्युत उर्जा निर्माण करायची आहे तेथे अशा प्रकारचे पॉवर स्टेशन योग्य आहे.

आधुनिक स्टीम पॉवर स्टेशनची योजनाबद्ध मांडणी   आकृती 1.3 मध्ये दर्शविली आहे.
The schematic arrangement of a modern steam power station is shown in Fig.1.3



आकृती 1.3 आधुनिक स्टीम पॉवर स्टेशनची योजनाबद्ध मांडणी

1.3 थर्मल पॉवर प्लांटमध्ये वापरल्या जाणाऱ्या खालील प्रमुख सहाय्यकांची कार्ये: कोळशावर चालणारे बॉयलर: फायर ट्यूब आणि वॉटर ट्यूब आणि हीट रिकव्हरी सिस्टम (सुपर हीटर, इकॉनॉमायझर आणि एअर प्री-हीटर) (Functions of the following major auxiliaries used in Thermal Power Plant: Coal fired boilers: fire tube and water tube and Heat recovery system (Super heater, Economiser and Air pre-heater)

जरी स्टीम पॉवर स्टेशनमध्ये कोळशाच्या ज्वलनाच्या उष्णतेचे विदुयुत उर्जेमध्ये रूपांतर करणे समाविष्ट आहे, तरीही ते योग्य कार्य आणि कार्यक्षमतेसाठी अनेक व्यवस्था स्वीकारते. योजनाबद्ध आधुनिक स्टीम पॉवर स्टेशनची व्यवस्था आकृती 1.3 मध्ये दर्शविली आहे. संपूर्ण व्यवस्था खालील टप्प्यात विभागले आहे.

1. कोळसा आणि राख हाताळणी व्यवस्था (Coal and ash handling arrangement)

2. वाफ निर्माण करणारी प्लांट (Steam generating plant)

3. स्टीम टर्बाइन (Steam turbine)

4. अल्टरनेटर (Alternator)

5. फीड पाणी (Feed water)

6. कूलिंग व्यवस्था (Cooling arrangement)

1. कोळसा आणि राख हाताळणी व्यवस्था (Coal and ash handling arrangement):

कोळसा रस्त्याने किंवा रेल्वेने वीज केंद्रात नेला जातो आणि कोळसा साठवण केंद्रात साठवला जातो. कोळसा कोल स्टोरेज प्लांटमधून, कोल हँडलिंग प्लांटमध्ये वितरित(transport) केला जातो. त्याचे पृष्ठभाग (surface) एक्सपोजर वाढवण्याकरता ते पल्व्हराइज (pulverizing) केले जाते (म्हणजे लहान तुकडे केले जाते), त्यामुळे मोठ्या प्रमाणात अतिरिक्त हवा न वापरता जलद ज्वलनास चालना मिळते. पल्व्हराइज्ड कोळसा बेल्ट कन्व्हेयरद्वारे बॉयलरला दिला जातो. बॉयलरमध्ये कोळसा जाळला जातो आणि कोळशाच्या पूर्ण ज्वलनानंतर तयार होणारी राख ॲश हँडलिंग प्लांटमध्ये काढून टाकली जाते आणि नंतर राख साठवण(ash storage) प्रकल्पात विल्हेवाट लावण्यासाठी दिली जाते. कोळसा योग्य प्रकारे जाळण्यासाठी बॉयलरच्या भट्टीतून राख काढून टाकणे आवश्यक आहे.

2. वाफ निर्माण करणारी प्लांट (Steam generating plant):

(स्टीम जनरेटिंग प्लांटमध्ये वाफेच्या उत्पादनासाठी बॉयलर आणि फ्ल्यू वायूंच्या वापरासाठी इतर सहायक उपकरणे असतात.

(i) बॉयलर: बॉयलर हे बंद भांडे असते ज्यामध्ये कोळशाच्या ज्वलनाच्या उष्णतेचा वापर करून पाण्याचे वाफेमध्ये रूपांतर केले जाते. स्टीम बॉयलरचे विस्तृतपणे खालील दोन प्रकारांमध्ये वर्गीकरण केले जाते:

(a) वॉटर ट्यूब बॉयलर (Water tube boiler)

(b) फायर ट्यूब बॉयलर (Fire tube boiler)

वॉटर ट्यूब बॉयलरमध्ये, नळ्यांमधून पाणी वाहते आणि ज्वलनाचे गरम वायू या नळ्यांवरून वाहतात. दुसरीकडे, फायर ट्यूब बॉयलरमध्ये, ज्वलनाची गरम उत्पादने पाण्याने वेढलेल्या नळ्यांमधून जातात. फायर ट्यूब बॉयलरच्या तुलनेत वॉटर ट्यूब बॉयलरचे अनेक फायदे आहेत उदा., कमी जागा आवश्यक आहे, ट्यूब आणि ड्रमचा लहान आकार, लहान ड्रममुळे कामाचा जास्त दबाव, स्फोट होण्यास कमी जबाबदार इत्यादी. त्यामुळे वॉटर ट्यूब बॉयलरचा वापर मोठ्या क्षमतेच्या स्टीम पॉवर स्टेशनमध्ये वाढला आहे.

बॉयलर भट्टी: बॉयलर फर्नेस एक चेंबर आहे ज्यामध्ये उष्णता उर्जा मुक्त करण्यासाठी इंधन जाळले जाते. याशिवाय, ते ज्वलन उपकरणे म्हणजे बर्नरसाठी समर्थन आणि संलग्नक प्रदान करते. बॉयलर भट्टीच्या भिंती आग चिकणमाती, सिलिका, काओलिन इत्यादी रीफ्रॅक्टरी सामग्रीपासून बनविल्या जातात. या सामग्रीमध्ये उच्च तापमानात आकार, वजन किंवा भौतिक गुणधर्म बदलण्यास प्रतिकार करण्याची क्षमता असते.

भट्टीच्या भिंती बांधण्याचे तीन प्रकार आहेत:

(**a**) साध्या रेफ्रेक्ट्री भिंती

(b) हवा थंड करण्याची व्यवस्था असलेल्या पोकळ रीफ्रॅक्टरी भिंती

(c) पाण्याच्या भिंती

साध्या रीफ्रॅक्टरी भिंती लहान प्लांटमध्ये योग्य आहेत जेथे भट्टीचे तापमान जास्त असू शकत नाही. तथापि, मोठ्या प्लांटमध्ये , भट्टीचे तापमान बरेच जास्त असते आणि परिणामी, रीफ्रॅक्टरी सामग्री खराब होऊ शकते. अशा परिस्थितीत, रेफ्रेक्ट्री भिंती पोकळ बनवल्या जातात आणि भट्टीच्या भिंतींचे तापमान कमी ठेवण्यासाठी पोकळ जागेतून हवा प्रसारित केली जाते. अलीकडील विकास म्हणजे पाण्याच्या भिंती वापरणे. यामध्ये रीफ्रॅक्टरी भिंतींच्या आतील बाजूस शेजारी लावलेल्या साध्या नळ्या असतात. ट्यूब बॉयलरच्या वरच्या आणि खालच्या शीर्षलेखांशी जोडलेले आहेत. या नळ्यांमधून बॉयलरचे पाणी फिरवले जाते. पाण्याच्या भिंती भट्टीतील तेजस्वी उष्णता शोषून घेतात ज्यामुळे भट्टीच्या भिंती गरम होतात.

हीट रिकव्हरी सिस्टम (सुपर हीटर, इकॉनॉमायझर आणि एअर प्री-हीटर)

a) सुपरहीटर (Superheater); बॉयलरमध्ये तयार होणारी वाफ ओली असते आणि ती एका सुपरहीटरमधून जाते जिथे ते वाळवले जाते आणि गरम केले जाते (म्हणजे, वाफेचे तापमान पाण्याच्या उकळत्या बिंदूपेक्षा जास्त वाढते) फ्ल्यू गॅसेसद्वारे चिमणीत जाते. सुपरहिटिंग दोन मुख्य फायदे प्रदान करते. प्रथम, एकूण एफिशिएन्सी वाढली आहे. दुसरे म्हणजे, टर्बाइनच्या शेवटच्या टप्प्यात खूप जास्त संक्षेपण (ज्यामुळे ब्लेड गंजतात) टाळले जाते. सुपरहीटरमधून गरम झालेली वाफ मुख्य व्हॉल्व्हद्वारे स्टीम टर्बाइनला दिली जाते.

b) इकॉनॉमायझर (Economizer): इकॉनॉमायझर हे मूलत: फीड वॉटर हीटर असते आणि या उद्देशासाठी फ्ल्यू वायूंपासून उष्णता मिळते. बॉयलरला पुरवठा करण्यापूर्वी फीड वॉटर इकॉनॉमिझरला दिले जाते. इकॉनॉमायझर फीड वॉटरचे तापमान वाढवण्यासाठी फ्ल्यू वायूंच्या उष्णतेचा एक भाग काढतो.

c) एअर प्रीहीटर (Air preheater): एअर प्रीहीटर फ्ल्यू वायूंपासून उष्णता मिळवून कोळसा जाळण्यासाठी पुरवलेल्या हवेचे तापमान वाढवते. वातावरणातून हवा फोर्सड ड्राफ्ट फॅनद्वारे काढली जाते आणि बॉयलर भट्टीला पुरवण्यापूर्वी एअर प्रीहीटरमधून जाते. एअर प्रीहीटर फ्ल्यू गॅसेसमधून उष्णता काढते आणि कोळशाच्या ज्वलनासाठी वापरल्या जाणाऱ्या हवेचे तापमान वाढवते. हवा प्रीहिटिंग करण्याचे मुख्य फायदे-- वाढलेली थर्मल एफिशिएन्सी आणि बॉयलरच्या पृष्ठभागाच्या प्रति चौरस मीटर वाफेची क्षमता.

3. **स्टीम टर्बाइन (Steam Turbine):** सुपरहीटरमधून कोरडी आणि अतिउष्ण वाफ मुख्य व्हॉल्व्हद्वारे स्टीम टर्बाइनला दिली जाते. टर्बाइनच्या ब्लेडवरून जाताना वाफेची उष्णता यांत्रिक उर्जेमध्ये रूपांतरित होते. टर्बाइनला उष्णता ऊर्जा दिल्यानंतर, वाफ कंडेन्सरमध्ये जाते जी थंड पाण्याच्या अभिसरणाद्वारे(By circulation) वाफेचे घनरूप (condensed) करते.

4. **अल्टरनेटर (Alternator):** स्टीम टर्बाइन एका अल्टरनेटरला जोडलेले आहे. अल्टरनेटर टर्बाइनच्या यांत्रिक ऊर्जेचे विद्युत उर्जेमध्ये रूपांतर करतो. अल्टरनेटरमधून इलेक्ट्रिकल आउटपुट ट्रान्सफॉर्मर, सर्किट ब्रेकर्स आणि आयसोलेटरद्वारे बस बारमध्ये वितरित केले जाते.

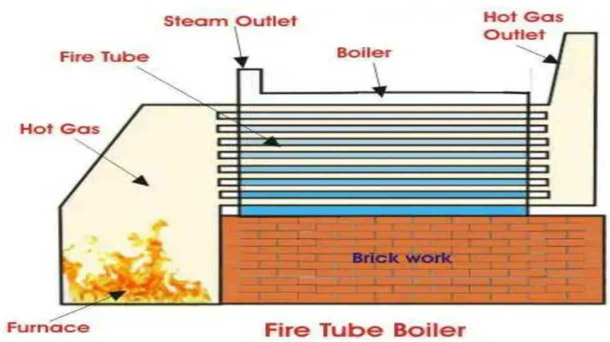
5. फीड पाणी (Feed Water): कंडेन्सरचे कंडेन्सेट बॉयलरला फीड वॉटर म्हणून वापरले जाते. बाह्य स्त्रोतापासून योग्यरित्या तयार केलेल्या चक्रात काही पाणी गमावले जाऊ शकते. बॉयलरकडे जाणारे फीड वॉटर वॉटर हीटर्स आणि इकॉनॉमायझरद्वारे गरम केले जाते. यामुळे प्लांटची एकूण एफिशिएन्सी वाढण्यास मदत होते.

6. **कूलिंग व्यवस्था (Cooling Arrangnment):** प्लांटची एफिशिएन्सी सुधारण्यासाठी, टर्बाइनमधून बाहेर पडलेल्या वाफेचे कंडेन्सरच्या सहाय्याने घनरूप (condensed) केले जाते. नदी, कालवा किंवा तलाव यासारख्या नैसर्गिक पुरवठा स्त्रोतातून पाणी काढले जाते आणि कंडेन्सरद्वारे प्रसारित केले जाते. फिरणारे पाणी एक्सहौस्टेड वाफेची उष्णता घेते आणि स्वतः गरम होते. कंडेन्सरमधून बाहेर पडणारे हे गरम पाणी नदीच्या खाली योग्य ठिकाणी सोडले जाते. पुरवठा स्त्रोतापासून पाण्याची उपलब्धता वर्षभर खात्री नसल्यास, कुलिंग टॉवरचा वापर केला जातो. नदीतील पाण्याच्या कमतरतेच्या काळात कंडेन्सरमधून गरम पाणी कूलिंग टॉवर्समध्ये जाते जेथे ते थंड केले जाते. कूलिंग टॉवरचे थंड पाणी कंडेन्सरमध्ये पुन्हा वापरले जाते.

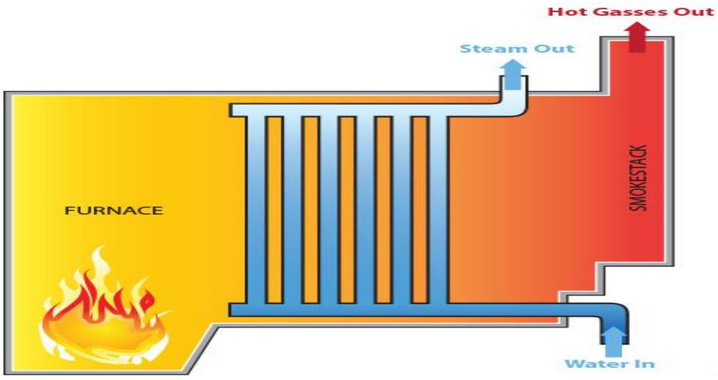
- **फायर ट्यूब आणि वॉटर ट्यूब बॉयलरमधील फरक**

(Difference between Fire tube and Water tube boiler)

Sr No.	फायर ट्यूब बॉयलर (Fire Tube Boiler)	वॉटर ट्यूब बॉयलरमधील (Water tube boiler)
1.	फायर ट्यूब बॉयलरमध्ये गरम वायू ट्यूबमधून जातात आणि पाणी या नळीभोवती फिरते	वॉटर ट्यूब बॉयलरमध्ये पाणी ट्यूबच्या आत असते आणि गरम वायू ट्यूबच्या बाहेर असतात
2.	कमी दाब आणि कमी तापमानात वाफ तयार होते	उच्च दाब आणि उच्च तापमानात वाफ तयार होते
3.	प्रति तास वाफेच्या निर्मितीचा दर कमी आहे	प्रति तास वाफेच्या निर्मितीचा दर अधिक आहे
4.	बॉयलरचे आउटपुट जास्त नाही	बॉयलरचे आउटपुट जास्त आहे
5.	कमी एफिशिएन्सी (Efficiency)	उच्च एफिशिएन्सी (Efficiency)
6.	मोठ्या क्षमतेच्या थर्मल पॉवर प्लांटसाठी योग्य नाही	मोठ्या क्षमतेच्या थर्मल पॉवर प्लांटसाठी योग्य
7.	त्याचे वजन जास्त आहे	त्याचे वजन कमी असते



आकृती 1.4 फायर ट्यूब बॉयलर



आकृती 1.5 वॉटर ट्यूब बॉयलर

- **महाराष्ट्रातील थर्मल पॉवर प्लांटची यादी(List of Thermal Power Plant in Maharashtra)**

Sr. No	Name Of the Thermal Power Plant	Plant Capacity
1	Koradi	1100MW
2	Nashik	910MW
3	Chandrapur	2340MW
4	Parali	1130 MW
5	Bhusawal	920 MW
6	Paras	500 MW
7	Khaparkheda	1340 MW
8	TATA(Trombay)	1400 MW
9	Dahanu (Thane)	500 MW
10	Wardha	135 MW
11	Amravati	2700 MW
12	Jindal (Ratnagiri)	1200 MW

थर्मल पॉवर प्लांटचे फायदे आणि तोटे (Advantages and Disadvantages of thermal power plant)

- **फायदे (Advantages)**

1) थर्मल पॉवर प्लांटचे बांधकाम आणि चालू होण्यास कमी कालावधी लागतो.
2) लोड सेंटर जवळ असल्याने, ट्रान्समिशनची किंमत आणि ट्रान्समिशनमुळे होणारे नुकसान लक्षणीयरीत्या कमी झाले आहे.
3) वापरलेले इंधन (म्हणजे कोळसा) खूपच स्वस्त आहे.
4) इतर जनरेटिंग स्टेशनच्या तुलनेत कमी प्रारंभिक खर्च.
5) कोळशाच्या अस्तित्वाची पर्वा न करता ते कोणत्याही ठिकाणी स्थापित केले जाऊ शकते. कोळसा रेल्वे किंवा रस्त्याने प्लांटच्या ठिकाणी नेला जाऊ शकतो.
6) जलविद्युत केंद्राच्या तुलनेत यासाठी कमी जागा लागते.
7) निर्मितीचा खर्च डिझेल पॉवर स्टेशनच्या तुलनेत कमी आहे.

- **तोटे (Disadvantages)**

1) मोठ्या प्रमाणात धूर आणि धुके निर्माण होऊन वातावरण प्रदूषित होते.
2) जलविद्युत प्रकल्पाच्या तुलनेत ते चालू खर्चात महाग आहे.

1.4 ठराविक हायड्रो पॉवर प्लांटची साइट निवड, लेआउट आणि काम (Site selection, Layout and working of a typical Hydro power plant)

1.4.1 हायड्रो-इलेक्ट्रिक पॉवर स्टेशनसाठी साइट निवड निकष (Site selection Criteria for Hydro-electric power station)

हायड्रो-इलेक्ट्रिक पॉवर स्टेशनसाठी साइट निवडताना खालील मुद्दे विचारात घेतले पाहिजेत.

(i) **पाण्याची उपलब्धता (Availability of water):** हायड्रो-इलेक्ट्रिक पॉवर स्टेशनची प्राथमिक गरज मोठ्या प्रमाणात पाण्याची उपलब्धता ही असल्याने, अशी संयंत्रे अशा ठिकाणी बांधली पाहिजेत (उदा. नदी, कालवे) जेथे पुरेसे पाणी उपलब्ध आहे.

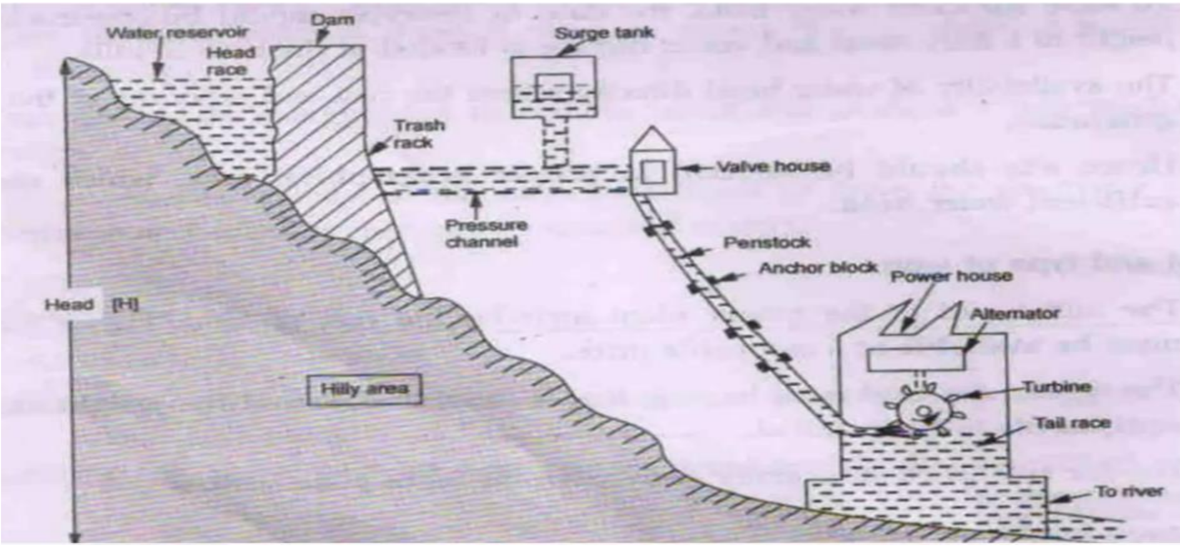
(ii) **पाण्याचा साठा (Storage of water):** वर्षभरात नदी किंवा कालव्यातून होणाऱ्या पाणीपुरवठ्यात मोठ्या प्रमाणात तफावत असते. त्यामुळे वर्षभर वीजनिर्मिती व्हावी यासाठी धरण बांधून पाणी साठवणे आवश्यक होते. साठवणुकीमुळे पाण्याचा प्रवाह समान होण्यास मदत होते जेणेकरुन वर्षाच्या ठराविक कालावधीत कोणतेही जास्तीचे पाणी नदीत अतिशय कमी प्रवाहाच्या काळात उपलब्ध करून देता येईल. यावरून असा निष्कर्ष निघतो की जलविद्युत प्रकल्पासाठी निवडलेल्या जागेवर धरण उभारण्यासाठी आणि पाणी साठवण्यासाठी पुरेशा सुविधा उपलब्ध करून दिल्या पाहिजेत.

(iii) **किंमत आणि जमिनीचा प्रकार (Cost and type of land**): प्लांटच्या बांधकामासाठी जमीन वाजवी दरात उपलब्ध असावी. पुढे, स्थापित करायच्या जड उपकरणांचे वजन सहन करण्यासाठी जमिनीची वहन क्षमता पुरेशी असावी.

(iv) **वाहतूक सुविधा (Transportation facilities):** हायड्रो-इलेक्ट्रिक प्लांटसाठी निवडलेली जागा रेल्वे आणि रस्त्याने प्रवेशयोग्य असावी जेणेकरुन आवश्यक उपकरणे आणि यंत्रसामग्रीची सहज वाहतूक करता येईल. वर

नमूद केलेल्या घटकांवरून हे स्पष्ट होते की अशा प्लांटसाठी आदर्श जागेची निवड डोंगराळ भागात नदीजवळ आहे जिथे धरण सोयीस्करपणे बांधले जाऊ शकते आणि मोठे जलाशय मिळू शकतात.

1.4.2 टिपिकल हायड्रो पॉवर प्लांटचे लेआउट आणि कार्य:
(Layout and working of a typical Hydro power plant)



आकृती 1.6 हायड्रो-इलेक्ट्रिक पॉवर स्टेशनची योजनाबद्ध व्यवस्था

विद्युत उर्जेच्या निर्मितीसाठी पाण्याच्या संभाव्य ऊर्जेचा उच्च पातळीवर वापर करणारे जनरेटिंग स्टेशन हायड्रो-इलेक्ट्रिक पॉवर स्टेशन म्हणून ओळखले जाते.

हायड्रो-इलेक्ट्रिक पॉवर स्टेशन्स साधारणपणे डोंगराळ भागात असतात जिथे धरणे सोयीस्करपणे बांधता येतात आणि पाण्याचे मोठे साठे मिळवता येतात. हायड्रो-इलेक्ट्रिक पॉवर स्टेशनमध्ये, नदी किंवा तलाव ओलांडून धरण बांधून वॉटर हेड तयार केले जाते. धरणातून पाण्याच्या टर्बाइनने पाणी नेले जाते. वॉटर टर्बाइन पडणाऱ्या पाण्यातील उर्जा कॅप्चर करते आणि टर्बाइन शाफ्टमध्ये हायड्रॉलिक उर्जा (म्हणजे हेड आणि पाण्याच्या प्रवाहाचे उत्पादन) यांत्रिक उर्जेमध्ये बदलते. टर्बाइन अल्टरनेटर चालवते जे यांत्रिक उर्जेचे विद्युत उर्जेमध्ये रूपांतर करते. हायड्रो-इलेक्ट्रिक पॉवर स्टेशन खूप पॉप्युलर होत आहेत कारण इंधनाचे साठे (म्हणजे कोळसा आणि तेल) दिवसेंदिवस कमी होत आहेत. पूरनियंत्रण, सिंचनासाठी पाण्याचा साठा आणि पिण्यासाठी पाणी या गोष्टींना त्यांचे अतिरिक्त महत्त्व आहे.

हायड्रो-इलेक्ट्रिक प्लांटचे पार्ट्स

1. हायड्रॉलिक स्ट्रक्चर्स
2. वॉटर टर्बाइन
3. इलेक्ट्रिकल उपकरणे

1. हायड्रोलिक स्ट्रक्चर्स (Hydralic Structures): हायड्रो-इलेक्ट्रिक पॉवर स्टेशनमधील हायड्रोलिक स्ट्रक्चर्समध्ये धरण**,** स्पिलवे**,** हेडवर्क**,** सर्ज टँक**,** पेनस्टॉक आणि ऍक्सेसरी **(accessory)** चा समावेश होतो**.**

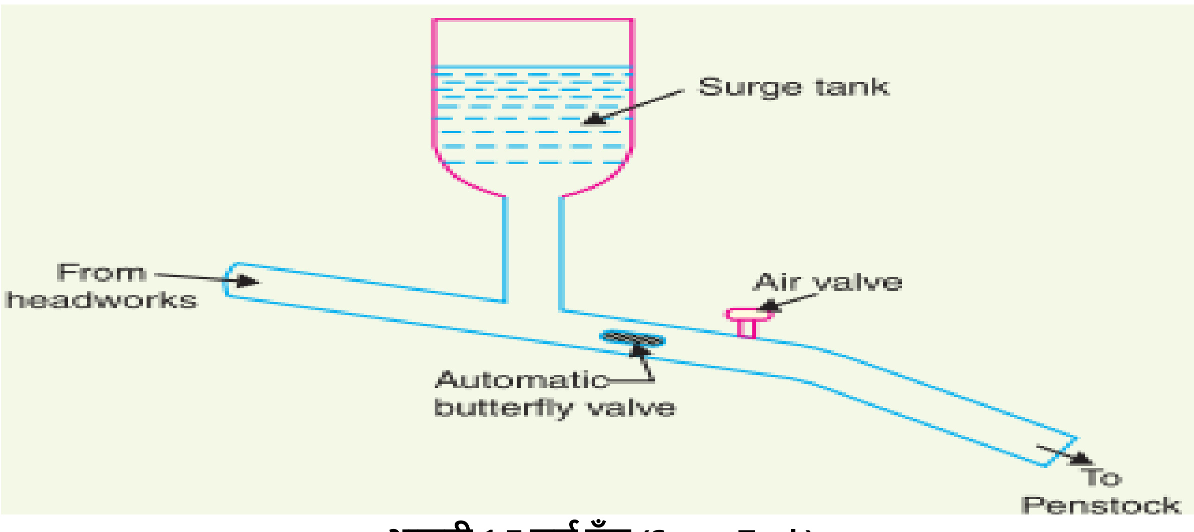
(i) **धरण (Dam):** धरण हा एक अडथळा (barrier) आहे जो पाणी साठवतो आणि पाण्याचे हेड तयार करतो. धरणे काँक्रीट किंवा दगडी बांधकाम, माती किंवा खडक भरून बांधलेली असतात.अरुंद खोऱ्यात दगडी बांध बांधला जाऊ शकतो. विस्तीर्ण खोऱ्यासाठी पृथ्वी धरण सर्वात योग्य असू शकते. धरणाचा प्रकार पायाची परिस्थिती, स्थानिक साहित्य

आणि उपलब्ध वाहतूक, भूकंप आणि इतर धोके यावर देखील अवलंबून असतो. बहुतेक ठिकाणी, एकापेक्षा जास्त प्रकारचे धरण योग्य असू शकतात आणि सर्वात किफायतशीर धरण निवडले जाते.

(ii) **स्पिलवे (Spillway):** काही वेळा नदीचा प्रवाह जलाशयाच्या साठवण क्षमतेपेक्षा जास्त असतो. पाणलोट क्षेत्रात(catchment area) अतिवृष्टीच्या वेळी अशी परिस्थिती निर्माण होते. साठवण जलाशयातील अतिरिक्त पाणी धरणाच्या खालच्या बाजूने नदीत सोडण्यासाठी, स्पिलवेचा वापर केला जातो. धरणाच्या वरच्या बाजूला काँक्रीटचे(piers) बांधून स्पिलवे बांधले जाते. या घाटांमध्ये दरवाजे दिले जाते आणि हे दरवाजे उघडून अतिरिक्त पाणी धरणाच्या शिखरावर सोडले जाते.

(iii) **हेडवर्क्स (Headworks):** हेडवर्क्समध्ये शीर्षस्थानी(at the head of intake) डायव्हर्जन संरचना असतात. त्यामध्ये सामान्यत: फ्लोटिंग डेब्रिज वळवण्यासाठी बूम आणि रॅक, बायपासिंग डेब्रिजसाठी स्लूइस आणि टर्बाइनमध्ये पाण्याचा प्रवाह नियंत्रित करण्यासाठी गाळ आणि वाल्व यांचा समावेश होतो. हेडवर्कमध्ये आणि त्यातून होणारा पाण्याचा प्रवाह शक्य तितक्या सुरळीत असावा जेणेकरून हेड खराब होऊ नये आणि पोकळी निर्माण होऊ नये. या उद्देशासाठी, तीक्ष्ण कोपरे आणि अचानक आकुंचन किंवा विस्तार टाळणे आवश्यक आहे.

(iv) **सर्ज टँक (Surge Tank):** टर्बाइनकडे पाणी घेऊन जाणाऱ्या उघड्या नळांना संरक्षणाची आवश्यकता नाही. तथापि, जेव्हा पेनस्टॉक (penstock) वापर केला जातो, तेव्हा असामान्य दाब मर्यादित करण्यासाठी संरक्षण आवश्यक आहे. या कारणास्तव, पेनस्टॉक (penstock) नेहमी सर्ज टँकसह प्रदान केले जातात. सर्ज टँक हा एक लहान जलाशय किंवा टाकी आहे ज्यामध्ये पाण्याची पातळी वाढते किंवा घसरते ज्यामुळे पेनस्टॉकमध्ये दाब कमी होतो. जेव्हा टर्बाइन स्थिर भाराने चालू असते, तेव्हा पेनस्टॉकमध्ये पाण्याच्या प्रवाहात कोणतीही वाढ होत नाही, म्हणजे, टर्बाइनच्या गरजा पूर्ण करण्यासाठी पेनस्टॉकमध्ये वाहणारे पाणी पुरेसे असते. तथापि, जेव्हा टर्बाइनवरील भार कमी होतो, तेव्हा गव्हर्नर टर्बाइनचे दरवाजे बंद करतात, ज्यामुळे टर्बाइनला पाणीपुरवठा कमी होतो. नळाच्या खालच्या टोकाला असलेले जास्तीचे पाणी सर्ज टाकीकडे परत जाते आणि पाण्याची पातळी वाढवते. त्यामुळे पेनस्टॉक फुटण्यापासून बचाव होतो. दुसरीकडे, जेव्हा टर्बाइनवरील भार वाढतो, तेव्हा वाढीव भाराची आवश्यकता पूर्ण करण्यासाठी सर्ज टँकमधून अतिरिक्त पाणी काढले जाते. म्हणून, टर्बाइनवरील भार कमी झाल्यावर सर्ज टँक पेनस्टॉकमध्ये असामान्य दाबावर मात करते आणि टर्बाइनवरील भार वाढताना जलाशय म्हणून काम करते.



आकृती 1.7 सर्ज टँक (Surge Tank)

(v) **फोरबे (Forebay):** अधिक प्रमाणात पाणी साठवण्यासाठी फोरबे हे पाण्याचे एक मोठे पार्ट आहे. तात्पुरते पाणी साठवून ठेवणाऱ्या जलाशयाचे रेगुलेशन करणे हे फोरबेचे कार्य आहे.

(vi) **पेनस्टॉक (Penstock):** पेनस्टॉक हे उघडे किंवा बंद नळ असतात जे टर्बाइनमध्ये पाणी वाहून नेतात. ते सामान्यतः कंक्रीट (concrete) किंवा स्टीलचे बनलेले असतात.

2 वॉटर टर्बाइन प्रकार (Types of Water Turbine):

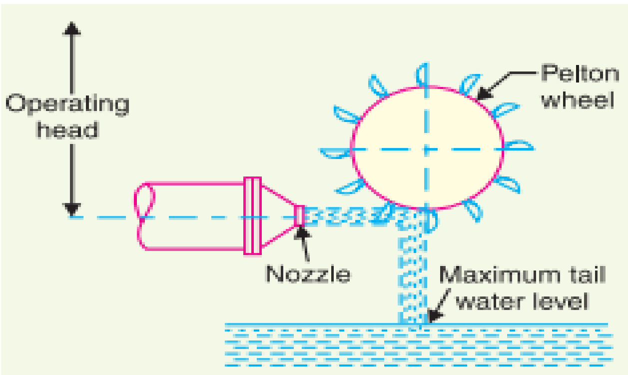
वॉटर टर्बाइनचा वापर पडणाऱ्या पाण्याच्या ऊर्जेचे यांत्रिक उर्जेमध्ये रूपांतर करण्यासाठी केला जातो. वॉटर टर्बाइनचे प्रमुख प्रकार आहेत:

I. इम्पल्स टर्बाइन (Impulse turbine)

II. प्रतिक्रिया टर्बाइन (Reaction turbine)

(i) इंपल्स टर्बाइन. (Impulse turbine)

अशा टर्बाइनचा वापर उंच हेड साठी केला जातो. या टर्बाइनमध्ये, पाण्याचा संपूर्ण दाब नोजलमध्ये गती उर्जेमध्ये रूपांतरित होतो आणि जेटचा वेग(velocity of jet) चाक चालवतो.या प्रकारच्या टर्बाइनचे उदाहरण म्हणजे पेल्टनव्हील (आकृती 1.8) त्यात त्याच्या परिघावर लंबवर्तुळाकार(elliptical) बादल्या (buckets) बसवलेले चाक असते. चाकावरील बादल्यांवर मारणाऱ्या पाण्याच्या जेटची शक्ती टर्बाइन चालवते. टर्बाइनवर पडणाऱ्या पाण्याच्या जेटचे प्रमाण नोजलच्या टोकावर ठेवलेल्या सुई(needle) किंवा भाल्याद्वारे(by spear) नियंत्रित केले जाते. सुईच्या हालचालीवर गव्हर्नरचे नियंत्रण असते. जर टर्बाइनवरील भार कमी झाला, तर गव्हर्नर सुईला नोजलमध्ये ढकलतो, ज्यामुळे बादल्यांवर पडणाऱ्या पाण्याचे प्रमाण कमी होते. टर्बाइनवरील भार वाढल्यास उलट क्रिया होते.



आकृती 1.8 पेल्टन व्हील (Pelton Wheel)

(ii) प्रतिक्रिया टर्बाइन (Reaction turbine):

रिॲक्शन टर्बाइनचा वापर कमी आणि मिडीयम हेड साठी केला जातो. रिॲक्शन टर्बाइनमध्ये, पाणी धावपटूमध्ये अंशतः दाब उर्जेसह आणि अंशतः वेगाच्या हेड सह प्रवेश करते.
प्रतिक्रिया टर्बाइनचे महत्त्वाचे प्रकार आहेत:

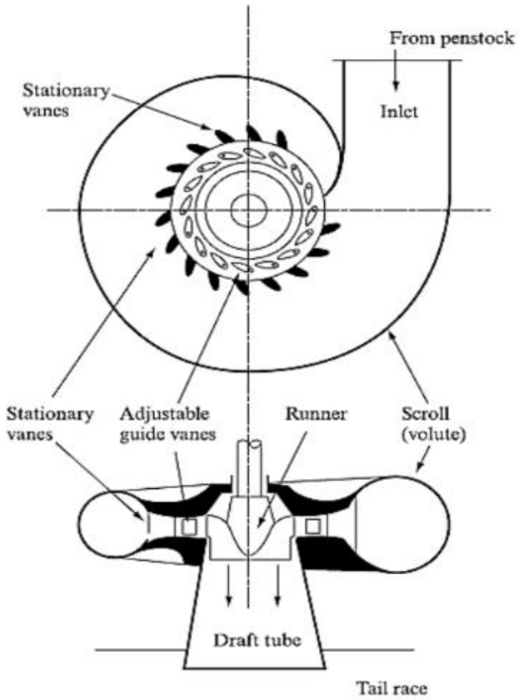
(अ) फ्रान्सिस टर्बाइन (Francis turbine) (आकृती 1.9)

(ब) कॅप्लान टर्बाइन (Kaplan Turbine) (आकृती1.10)

(अ) फ्रान्सिस टर्बाइन (Francis Turbine):

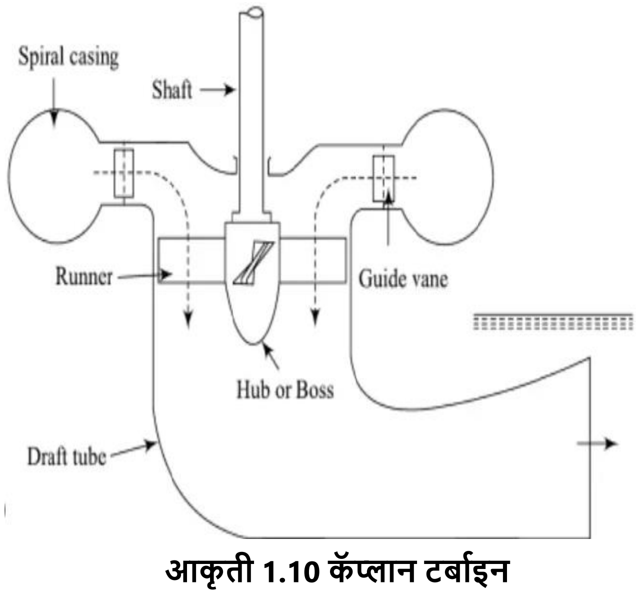
फ्रान्सिस टर्बाइनचा वापर कमी ते मिडीयम हेड साठी केला जातो. यात टर्बाइनच्या आवरणाला स्थिर मार्गदर्शक (stationary guide blades) ब्लेडची बाह्य रिंग आणि धावपटू तयार करणाऱ्या फिरत्या ब्लेडची आतील रिंग असते. मार्गदर्शक ब्लेड टर्बाइनमध्ये पाण्याचा प्रवाह नियंत्रित करतात .रनरमधून जाताना पाणी त्रिज्यपणे (radially) आतून वाहते आणि खालच्या दिशेने बदलते.

धावपट्टूच्या "फिरत्या ब्लेड" वरून पाणी जात असताना, पाण्याचा दाब आणि वेग दोन्ही कमी होतात. यामुळे टर्बाइन चालविणारी प्रतिक्रिया शक्ती निर्माण होते.



आकृती 1.9 फ्रान्सिस टर्बाइन (Francis Turbine)

ब) कॅप्लान टर्बाइन (Kaplan Turbine):
कॅप्लान टर्बाइनचा वापर कमी हेड आणि मोठ्या प्रमाणात पाण्यासाठी केला जातो. कॅप्लान टर्बाइनचा धावणारा अक्षीयपणे(axially) पाणी घेतो याशिवाय ते फ्रान्सिस टर्बाइनसारखेच आहे. चारही बाजूंच्या रेग्युलेटिंग गेट्समधून पाणी त्रिज्यपणे(radially) आतमध्ये वाहते, धावपटूची दिशा अक्षीय प्रवाहाकडे बदलते. यामुळे टर्बाइन चालविणारी प्रतिक्रिया शक्ती निर्माण होते.



आकृती 1.10 कॅप्लान टर्बाइन (Kaplan Turbine)

3 विद्युत उपकरणे (Electrical Equipment):

हायड्रो-इलेक्ट्रिक पॉवर स्टेशनच्या इलेक्ट्रिकल उपकरणांमध्ये अल्टरनेटर, ट्रान्सफॉर्मर्स, सर्किट ब्रेकर आणि इतर स्विचिंग आणि संरक्षणात्मक उपकरणे समाविष्ट असतात.

1.5 हायड्रो पॉवर प्लांटचे वर्गीकरण: तलावाशिवाय रिव्हर पॉवर प्लांट, रन ऑफ रिव्हर पॉवर प्लांट पॉंडेजसह, रिझर्वोअर पॉवर प्लांट आणि पंप स्टोरेज पॉवर प्लांट.

(Classification of hydro power plant: Run off river Power Plant without Pondage, Run off river Power Plant with Pondage, Reservoir Power Plant and Pumped Storage Power Plant)

जलविद्युत केंद्राचे खालीलप्रमाणे वर्गीकरण केले जाऊ शकते:

A. हेड उपलब्धतेनुसार (According to availability of head)

1. उच्च हेड **(**High Head)
2. मिडीयम हेड (Medium Head)
3. कमी हेड (Low Head)

B. भाराच्या स्वरूपानुसार (According to nature of load)

1. बेस लोड प्लांट (Base Load Plant)
2. पीक लोड प्लांट (Peak Load Plant)

C. उपलब्ध पाण्याच्या प्रमाणानुसार (According to Quantity of water available)

1. तलावासह नदीतील प्लांट (Run off river plant with pondage)
2. तलावाशिवाय नदीतील प्लांट (Run off river plant without pondage)
3. रिझर्वोअर प्रकार प्लांट (Reservoir type plants)
4. पंप स्टोरेज प्लांट (Pumped Storage Plants)

A. Head उपलब्धतेनुसार (According to availability of head):

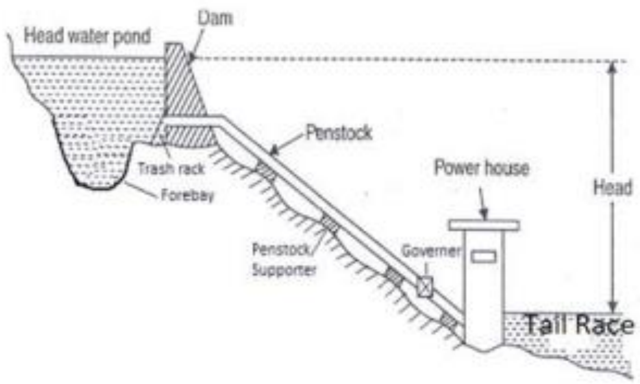
हेड म्हणजे काय?
हेड म्हणजे हायड्रो सिस्टीममध्ये पाणी कोठे प्रवेश करते आणि ते कोठे सोडते यामधील उंचीचा फरक, हेड मीटरमध्ये मोजले जाते.

1. **उच्च हेड (High Head):**

या प्रकारात हेड 500m ते 2000m पर्यंत विचारात घेतले जाते. बांधण्यात आलेले धरण सामान्यत: जास्तीत जास्त राखीव पाण्याच्या पातळीसाठी असते. सर्ज टँकमध्ये जास्तीचे पाणी साठवले जाते जे टर्बाइनला पुरवठ्यासह पीक लोडच्या काळात आवश्यक असते.
उदाहरण: पेल्टन व्हील टर्बाइन (Pelton wheel turbine)

2. **मिडीयम हेड (Medium Head):**

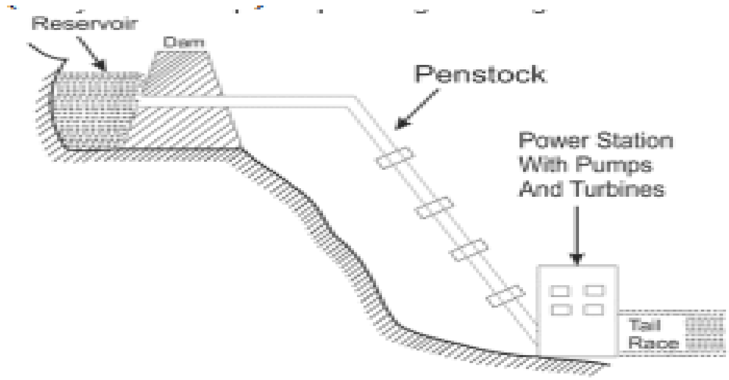
मिडीयम हेड 30m ते 500m पर्यंत विचारात घेतले जाते आणि या टर्बाइनला मिडीयम प्रमाणात पाण्याची आवश्यकता असते. या पॉवर प्लांटमध्ये मुख्यतः पाणी साठवण्यासाठी एक फोरबे तयार केला जातो. ते स्टोरेज टँक आहे जे पेनस्टॉकद्वारे टर्बाइनमध्ये जाणारे नदीचे पाणी टॅप करतात.
उदाहरण: फ्रान्सिस टर्बाइन (Francis turbine)



आकृती 1.11 मिडीयम head (Medium Head)

3. **कमी हेड (Low Head):**

कमी हेड 30m पर्यंत वापरले जाते आणि या टर्बाइनला मोठ्या प्रमाणात पाणी लागते.
उदाहरण: कॅप्लान आणि प्रोपेलर.



आकृती 1.12 कमी head (Low Head)

B. भाराच्या स्वरूपानुसार (According to nature of load)

1. **बेस लोड प्लांट (Base Load Plant):**

सिस्टीमच्या बेस लोडची पूर्तता करणाऱ्या प्लांटला बेस लोड प्लांट असे म्हणतात. ग्रिड ला जोडलेले असताना या पॅल्ट्सना सतत वीज पुरवठा करणे आवश्यक असते.

2. **पीक लोड प्लांट (Peak Load Plant):**

पीक लोड दरम्यान वीज पुरवठा करू शकणारे प्लांट पीक लोड पॉवर प्लांट म्हणून ओळखले जाते.

C. उपलब्ध पाण्याच्या प्रमाणानुसार (According to Quantity of water available)

1. **तलावासह नदीतील प्लांट (Run of river plant with pondage):**

पीक लोड सेवेसाठी रन ऑफ रिव्हर प्लांट काही तलावासह बनविला जाऊ शकतो परंतु स्टोरेज हंगामी असते. पाँडेज म्हणजे सामान्यत: प्लांटजवळील धरणाच्या मागे पाण्याचा साठा करणे.

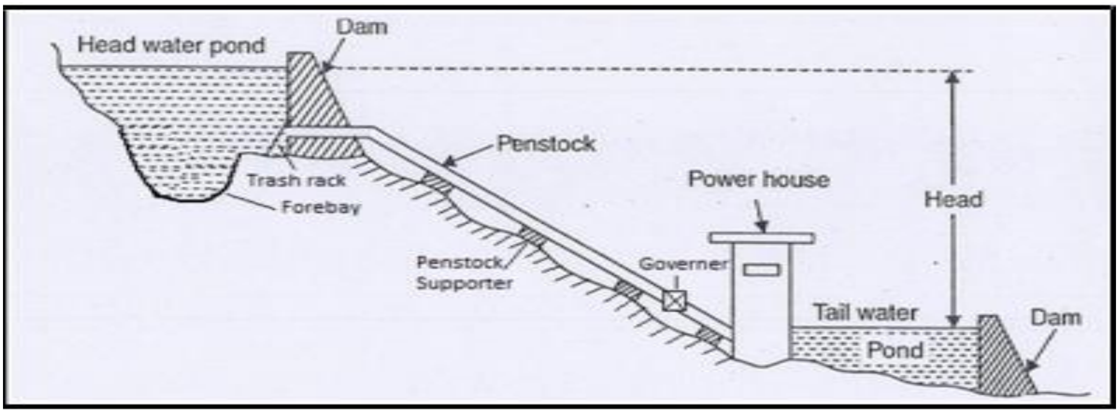
2. **तलावाशिवाय नदीतील प्लांट (Run of river plant without pondage):**

तलावाशिवाय नदीतील प्लांट पाण्याचा साठा करत नाही आणि जसे येते तसे पाणी वापरते. पाण्याच्या प्रवाहावर कोणतेही नियंत्रण नसते त्यामुळे जास्त पूर किंवा कमी भाराच्या वेळी पाण्याचा अपव्यय होतो आणि कमी क्षमतेच्या प्रवाहाच्या वेळी या प्लांट ची उपयुक्तता इतर प्रकारच्या प्लांट पेक्षा खूपच कमी असते.

3. **जलाशय प्रकार प्लांट (Reservoir type plants):**

किमान नैसर्गिक प्रवाहापेक्षा अधिक दृढ प्रवाहाचा पुरवठा करण्यासाठी पुरेशा मोठ्या आकाराचे राखीव असलेले हे प्लांट आहे. हे प्लांट बेस लोड तसेच पीक लोड म्हणून वापर केला जाऊ शकतो.

4. **पंप स्टोरेज प्लांट (Pumped Storage Plants):**



आकृती 1.13 पंप स्टोरेज प्लांट (Pumped Storage Plants)

पंप स्टोरेज हायड्रोपॉवर प्लांट हा एक प्रकारचा जलविद्युत ऊर्जा साठवण आहे. हे वेगवेगळ्या उंचीवर असलेल्या दोन जलसाठ्यांचे(reservior) कॉन्फिगरेशन आहे, जे टर्बाइनमधून जाताना पाणी एका वरून दुसऱ्याकडे (डिस्चार्ज) जाताना उर्जा निर्माण करू शकते. प्रणालीला उर्जेची देखील आवश्यकता असते कारण ती वरच्या जलाशयात पाणी परत पंप करते.

पंप स्टोरेज पॉवर प्लांट चे फायदे:

1. तेच पाणी पुन्हा वापरून पाण्याची बचत होते
2. पाणी उपसताना कमी खर्च येतो कारण पाणी जास्त असताना पंप केले जाते(अतिरिक्त) वीज उपलब्ध
3. ते ताबडतोब सेवेत ठेवले जाऊ शकते; त्यामुळे पीक लोड दरम्यान वीज पुरवठा करणे उपयुक्त आहे कालावधी
4. हे पॉवर प्लांटचे लोड फॅक्टर वाढवते
5. हे प्लांटचे राखीव क्षमता कमी करण्यास मदत करते कारण ते पीक लोड दरम्यान अतिरिक्त शक्ती प्रदान करते.

1.6 थर्मल पॉवर प्लांट आणि हायड्रो पॉवर प्लांटमधील तुलना

(Comparison between Thermal Power Plant and Hydro Power Plant)

Sr. No	Parameters	पॅरामीटर्स	थर्मल पॉवर प्लांट	हायड्रो पॉवर प्लांट
1	Site	जागा	कोळसा आणि पाणी मुबलक प्रमाणात (प्रचंड) उपलब्ध असलेल्या ठिकाणी अशी प्लांट आहेत	**प्लांट** अशा ठिकाणी असतात जिथे धरण बांधून मोठे जलाशय मिळू शकतात. उदा. डोंगराळ भागात

Sr. No	Parameters	पॅरामीटर्स	थर्मल पॉवर प्लांट	हायड्रो पॉवर प्लांट
2	Initial Cost	प्रारंभिक खर्च	कमी	धरणामुळे उंच
3	Running Cost	रनिंग कॉस्ट	अधिक	खूप कमी
4	Cleanliness and Simplicity	स्वच्छता आणि साधेपणा	कमीत कमी स्वच्छ	सर्वात स्वच्छ आणि साधे
5	Overall Efficiency	एकूणच एफिशिएन्सी	सर्वात कमी कार्यक्षम (25%)	अधिक कार्यक्षम (८५%)
6	Starting	सुरू होत आहे	सुरू करण्यासाठी बराच वेळ लागतो	झटपट सुरू करता येईल
7	Space required	जागा आवश्यक	पुरेशी जागा	जलाशयामुळे मोठे क्षेत्र आवश्यक आहे
8	Maintenance Cost	देखभाल खर्च	कुशल ऑपरेटिंग कर्मचारी आवश्यक आहे म्हणून खूप उच्च	अगदी कमी
9	Transmission and Distribution cost	ट्रान्समिशन आणि वितरण खर्च	अगदी कमी	अगदी उच्च
10	Standby loss	स्टँडबाय नुकसान	कमाल	स्टँडबाय नुकसान नाही

1.7 महाराष्ट्रातील विविध प्रकारच्या मोठ्या आणि मायक्रो-हायड्रो पॉवर प्लांटची स्थाने.

(Locations of different types of Large and Micro-Hydro Power Plants in Maharashtra)

List of Large Hydro Power Plant:

Sr. No	Location	स्थान	Capacity
1	Koyanna	कोयना	1960MW
2	Ghatghar Dam	घाटघर धरण	250MW
3	Bhira TATA	भिरा टाटा	150MW
4	Mulsi Dam	मुळशी धरण	150MW
5	Bhira Tail Race	भिरा टेल रेस	80MW
6	Bhivapuri TATA	भिवापुरी टाटा	72MW
7	Khopoli (TATA)	खोपोली (टाटा)	72MW
8	Tillari	तिलारी	60MW
9	Pench project	पेंच प्रकल्प	50MW
10	Bandara	बंधारा	34MW
11	Dudhgaon	दुधगाव	24MW

Sr. No	Location	स्थान	Capacity
12	Chadholi	चढोली	16MW
13	Jayakwadi	जायकवाडी	12MW
14	Ujjaini	उज्जयिनी	12MW
15	Veer	वीर	9MW
16	Bhatghar	भाटघर	16MW

लिस्ट ऑफ मायक्रो-हायड्रो पॉवर प्लांट (List of Micro-Hydro Power Plant)

Sr No	Location Name In Maharashtra	महाराष्ट्रात स्थानाचे नाव
1	Terwanmedhe	तेरवणमेधे
2	Ganagamshet Project (Kolhapur)	गंगामशेत प्रकल्प (कोल्हापूर)
3	Karwa Project Nasik	कारवा प्रकल्प नाशिक
4	Shenur Project Amravati	शेनूर प्रकल्प अमरावती
5	Dham Project (Wardha)	धाम प्रकल्प (वर्धा)
6	Mukne Project Nasik	मुकणे प्रकल्प नाशिक
7	Khaner Project Satara	खानेर प्रकल्प सातारा
8	Hetwane Project Raigad	हेटवणे प्रकल्प रायगड
9	Kadwi Project Kolhapur	कडवी प्रकल्प कोल्हापूर
10	Wan Projct Akola	वान प्रकल्प अकोला
11	Sasari Project Kolhapur	सासरी प्रकल्प कोल्हापूर
12	Kumbhoi Project Kolhapur	कुंभोई प्रकल्प कोल्हापूर
13	Patgaon Project	पाटगाव प्रकल्प
14	Dom	डोम
15	Vaitarana D.T	वैतरणा डी.टी
16	Radhanagari	राधानगरी
17	Manikodh	माणिकोध
18	Dimbhe	डिंभे
19	Surya	सूर्य

- **हायड्रो पॉवर प्लांटचे फायदे (Advantages of Hydroelectric Power Plant)**

1. विद्युत उर्जेच्या निर्मितीसाठी पाण्याचा वापर केला जात असल्याने त्याला इंधनाची गरज नाही.

2. धूर किंवा राख तयार होत नसल्यामुळे ते अगदी व्यवस्थित आणि स्वच्छ आहे.
3. यासाठी खूप कमी रनिंग चार्जेस लागतात कारण पाणी हा ऊर्जेचा स्रोत आहे जो मोफत उपलब्ध आहे.
4. हे बांधकाम तुलनेने सोपे आहे आणि कमी देखभाल आवश्यक आहे.
5. स्टीम पॉवर स्टेशनप्रमाणे यास बराच वेळ सुरू करण्याची आवश्यकता नाही. खरं तर, अशा प्लांट्स त्वरित सेवेत ठेवल्या जाऊ शकतात.
6. ते मजबूत आहे आणि त्याचे आयुष्य जास्त आहे.
7. अशा प्लांट्स अनेक उद्देश पूर्ण करतात. विद्युत उर्जेच्या निर्मितीव्यतिरिक्त, ते सिंचन आणि पूर नियंत्रणात देखील मदत करतात.
8. जरी अशा प्लांट्स बांधकामाच्या वेळी अत्यंत कुशल व्यक्तींचे लक्ष आवश्यक असले, तरीही ऑपरेशनसाठी, काही अनुभवी व्यक्ती हे काम चांगल्या प्रकारे करू शकतात.

- **हायड्रो पॉवर प्लांटचे तोटे (Disadvantages of Hydroelectric power plant)**

1. धरणाच्या बांधकामामुळे मोठा भांडवली खर्च येतो.
2. हवामानाच्या परिस्थितीवर अवलंबून राहिल्यामुळे मोठ्या प्रमाणात पाण्याच्या उपलब्धतेबाबत अनिश्चितता आहे.
3. प्लांट्स तयार करण्यासाठी कुशल आणि अनुभवी हातांची आवश्यकता आहे.
4. यासाठी ट्रान्समिशन लाईन्सची जास्त किंमत आवश्यक आहे कारण हा प्लांट डोंगराळ भागात आहे जे ग्राहकांपासून खूप दूर आहे.

1.7 थर्मल पॉवर प्लांट्स आणि हायड्रो पॉवरच्या प्लांट्स सुरक्षित पद्धती (मोठे आणि सूक्ष्म) (Safe Practices of Thermal Power Plants and Hydro Power Plants (Large and Micro)

1.7.1 थर्मल पॉवर प्लांट्सच्या सुरक्षित पद्धती: (Safe Practices of Thermal Power Plants)

1. राखेची विल्हेवाट
2. धूळ गोळा करणे किंवा राख प्रिसिपिटेटर

1) राखेची विल्हेवाट: राखेची पुढील प्रकारे विल्हेवाट लावली जाऊ शकते:

1. टाकाऊ जमीन राखेच्या विल्हेवाटीसाठी राखीव ठेवली जाऊ शकते.
2. बांधकाममध्ये सखल भाग भरण्यासाठी त्याचा वापर करू शकतात.
3. खोल तलाव बनवले जाऊ शकतात आणि ते पूर्णपणे भरण्यासाठी या तलावांमध्ये राख टाकली जाऊ शकते. जेव्हा असे तलाव पूर्णपणे भरले जातात तेव्हा ते मातीने झाकले जाऊ शकतात आणि गवताने बीजारोपण केले जाऊ शकते.

2) धूळ गोळा करणे किंवा राख प्रिसिपिटेटर:

फ्लू वायू वातावरणात मिश्र करण्यापूर्वी इलेक्ट्रोस्टॅटिक प्रीसिपिटेटर किंवा डस्ट कलेक्टरच्या मदतीने साफ केले जातात. प्रीसिपिटेटरमध्ये इलेक्ट्रोडचे दोन संच एकमेकांपासून पूर्णपणे इन्सुलेटेड असतात आणि त्यावर उच्च

व्होल्टेज पुरवठा 25 kV-100 kV लागू केला जातो. यामुळे इलेक्ट्रोस्टॅटिक फील्ड तयार होते. या दोन इलेक्ट्रोड्समधून फ्लू वायू जातात आणि त्या वेळी फ्लू वायूंचे आयनीकरण होते. त्यामुळे सकारात्मक धूळ कण नकारात्मक प्लेटकडे आकर्षित होतात आणि उलट. अशा प्रकारे, इलेक्ट्रोडच्या पृष्ठभागावर धूळ कण गोळा केले जातात आणि फक्त फ्लाय ॲशशिवाय फ्ल्यू वायू चिमणीच्या दिशेने जातात. अशाप्रकारे फ्लू वायू स्वच्छ होतात आणि वायू प्रदूषण कमी करतात. चांगल्या कामगिरीसाठी प्रीसिपिटेटर वेळोवेळी स्वच्छ केले जातात.

1.7.2 हायड्रो पॉवर प्लांट्सच्या सुरक्षित पद्धती (Safe Practices of Hydro Power Plants)

1. कामाच्या ठिकाणी किंवा प्रक्रियेच्या धोक्यांमुळे प्रभावित होण्याची शक्यता असलेल्या कामगारांच्या वैयक्तिक किंवा सामूहिक वापरासाठी उपलब्ध वैयक्तिक संरक्षणात्मक उपकरणे (PPE) / संरक्षणात्मक उपकरणे.
2. कोणत्याही कामगाराला असुरक्षित स्थितीत किंवा असुरक्षित उपकरणांसह काम करू देऊ नका
3. प्रत्येक वेळी आणि सर्व कामाच्या ठिकाणी पुरेशा आणि सतत पर्यवेक्षणासाठी पुरेशा संख्येने पर्यवेक्षक नियुक्त केले जातील.
4. सर्व कामगारांना त्यांच्या कामामुळे किंवा आसपासच्या इतरांनी केलेल्या कामामुळे उद्भवणाऱ्या धोक्यांपासून संरक्षण दिले जाते.
5. सर्व नोकरांना सुरक्षा प्रशिक्षण दिले जाईल पात्रता आणि अनुभवासह सुरक्षा अधिकारी नियुक्त करा.
6. सुरक्षा पोस्टर्स, घोषवाक्य स्पर्धा, विशेष सभा आणि भाषणे आयोजित केली जातील.
7. आग आणि स्फोटाचा सामना करण्यासाठी आपत्कालीन कृती आराखडा तयार असावा
8. विजेच्या झटक्यापासून पॉवर प्लांटचे संरक्षण केले पाहिजे म्हणजे योग्य प्रकारचे लाइटनिंग अरेस्टर वापरावे.
9. धोके आणि महत्त्वाच्या ठिकाणी बॅरिकेड्स, चेतावणी चिन्ह, सुरक्षा पोस्टर लावावेत
10. स्टेशनमधून बाहेर पडण्यासाठी किमान दोन स्वतंत्र मार्ग असावेत. एक मार्ग दुर्गम झाल्यास, पर्यायी आपत्कालीन सुटका मार्ग नेहमी उपलब्ध असावा. आपत्कालीन सुटकेसाठी पुरेसा प्रकाश आवश्यक आहे.
11. पुराच्या काळात जलविद्युत प्रकल्प आपोआप बंद होण्याची तरतूद असावी.

स्व:अध्ययन (Exsercise) :

1. थर्मल पॉवर प्लांटचे स्कीमॅटिक आकृती काढा आणि स्पष्ट करा.
2. हायड्रो इलेक्ट्रिक पॉवर प्लांटची योजनाबद्ध आकृती काढा आणि स्पष्ट करा.
3. पंप स्टोरेज पॉवर प्लांटचा योजनाबद्ध आकृती काढा आणि एक्सपॅलिन करा.
4. थर्मल पॉवर प्लांटचे फायदे आणि तोटे यांची यादी करा.
5. हेडच्या आधारावर हायड्रोइलेक्ट्रिक पॉवर प्लांटचे प्रकार स्पष्ट करा.
6. फायर ट्यूब बॉयलर आणि वॉटर ट्यूब बॉयलरची तुलना करा.
7. जलविद्युत प्रकल्पामध्ये पाळलेल्या सुरक्षित पद्धती लिहा.

रेफरन्स पाठयपुस्तक (Reference Books)

1. Principles of Power System V.K. Mehta and Rohit Mehta S Chand Publication & Co. New Delhi 2005, ISBN:9788121924962
2. A Course in Electrical Power J.B. Gupta. S. K Kataria and sons, New Delhi. 2014, ISBN: 9789350143742
3. Generation of Electrical Energy, 7th Edition Gupta B.R. S. Chand Publishing, 2017 ISBN: 9789352533817

माहिती संकेतस्थळ (Information Websites):

1. Fire tube and Water tube boiler-Electrical4u
2. https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_power_station
3. https://en.wikipedia.org/wiki/Hydroelectricity

युनिट 2

पॉवर जनरेशन आणि इंटरकनेक्टेड पॉवर सिस्टमचे अर्थशास्त्र (Economics of Power Generation and Interconnected Power System)

विषय निष्पत्ती (Course Outcomes COs):

इकॉनॉमिक्स ऑपरेशनवर आधारित संबंधित पॉवर जेनरेशन टेक्नालजी निवडा
Select the relevant power generation technology based on economic operation

विषय निष्पत्ती बरोबर जुळणारी थिअरी लर्निंग निष्पत्ती (Theory Learning Outcomes (TLOs) aligned to Course Outcomes(COs) :

2.1 दिलेल्या लोड कर्व, लोड ड्यूरेशन कर्व, इंटिग्रेटेड लोड ड्यूरेशन कर्व यांचा अर्थ लावा.
(Interpret the given Load curve, Load duration curve, Integration duration curve.)
2.2 डिमांड फॅक्टर, प्लांट कपॅसिटी फॅक्टर, प्लांट यूज़ फॅक्टर या दिलेल्या मूल्यांचा अर्थ लावा.
(Interpret the given values of the demand factor, plant capacity factor, plant use factor.)
2.3 डाइवर्सिटी फॅक्टर, लोड फॅक्टर आणि प्लांट लोड फॅक्टरच्या दिलेल्या मूल्यांचा अर्थ लावा.
(Interpret the given values of the diversity factor, load factor and plant load factor.)
2.4 दिलेल्या ग्रिड सिस्टम फॉल्टची कारणे आणि परिणाम सांगा
(State the causes and impact of the given grid system fault)

परिचय (Introduction):

एलेक्ट्रिक पॉवर सिस्टमचे कार्य कस्टमर लोड्स पॉवर स्टेशनला जोडणे आहे. ट्रान्समिशन आणि डिस्ट्रिब्यूशन नेटवर्कद्वारे डिमांड केलेली पॉवर ग्राहकांना सप्लाइ केली जाते. जशी ग्राहकांची लोड डिमांड बदलते, त्यानुसार पॉवर स्टेशनद्वारे सप्लाइ बदलतो.

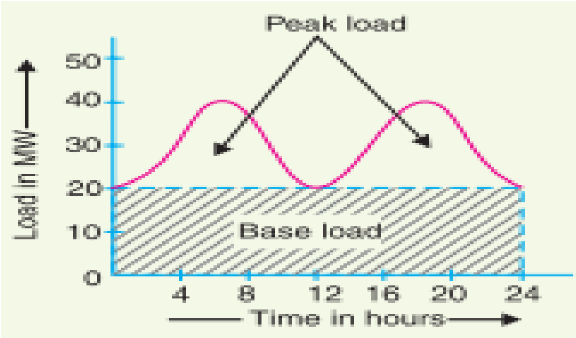
2.1 बेस लोड आणि पीक लोड प्लांट्स: लोड कर्व, लोड ड्यूरेशन कर्व, इंटिग्रेटेड लोड ड्यूरेशन कर्व. संबंधित अटी: कनेक्टेड लोड, फर्म पॉवर, कोल्ड रिझर्व्ह, हॉट रिझर्व्ह, स्पिनिंग रिझर्व्ह.

(Base load and Peak load Plants: Load curve, Load duration curve, Integrated Load duration curve. Related terms: connected load, firm power, cold reserve, hot reserve, spinning reserve)

2.1.1 बेस लोड आणि पीक लोड प्लांट्स Base load and Peak Load Plants)

❖ **बेस लोड प्लांट्स (Base Load Plant) :**

- बेस लोड पॉवर प्लांट हे एक पॉवर स्टेशन आहे जे साधारणपणे काही मिनिमम पॉवर जनरेशन आवश्यकतेसह वर्षभर सतत पॉवर सप्लाइ करते.
- अनवेरियबल लोड जो जवळजवळ संपूर्ण दिवस उद्भवतो तो बेस लोड् म्हणून ओळखला जातो.



आकृती 2.1 अ. डेली लोड कर्व

❖ पीक लोड प्लांट (Peak load Plant) :

- पीक लोड प्लांट सामान्यत: जेव्हा एलेक्ट्रिसिटीची हाइयर डिमांड असते तेव्हाच चालते.
- स्टेशनच्या बेस लोडच्यावर आणि त्यावरील लोडच्या विविध पीक डिमांडना पीक लोड म्हणून ओळखले जाते.

❖ बेस लोड प्लांट आणि पीक लोड प्लांट यांच्यातील तुलनाः

क्र.	गुण	बेस लोड प्लांट	पीक लोड प्लांट
1	व्याख्या	लोड कर्वचा बेस लोड पुरवणाऱ्या पॉवर प्लांट ला बेस लोड प्लांट म्हणतात.	लोड कर्वचा पीक लोड सप्लाइ करणारा पॉवर प्लांट, पीक लोड प्लांट म्हणून ओळखला जातो.
2	जनरेशन कपॅसिटी	उच्च	कमी
3	फर्म कपॅसिटी	उच्च	कमी
4	कार्यरत तास (working hours)	24 तास	पीक लोड दरम्यान
5	खर्च/ युनिट (Rs./unit)	साधारणपणे बेस लोड प्लांटचा प्रति युनिट खर्च कमी असतो	सामान्यतः पीक लोड प्लांटचा प्रति युनिट खर्च जास्त असतो
6	स्टार्टिंग टाइम	बेस लोड प्लांटचा स्टार्टिंग टाइम जास्त असतो	पीक लोड प्लांटचा स्टार्टिंग टाइम कमी असतो
7	लोड फॅक्टर	उच्च	कमी
8	कपॅसिटी फॅक्टर	उच्च	कमी
9	प्लांट यूज़ फॅक्टर	उच्च	कमी
10	उदाहरणे	लार्ज कपॅसिटीचे हायड्रो, थर्मल, न्यूक्लियर पॉवर स्टेशन	स्माल कपॅसिटी स्टोरेज हायड्रो, पंप स्टोरेज हायड्रो, गॅस, डिझेल पॉवर स्टेशन

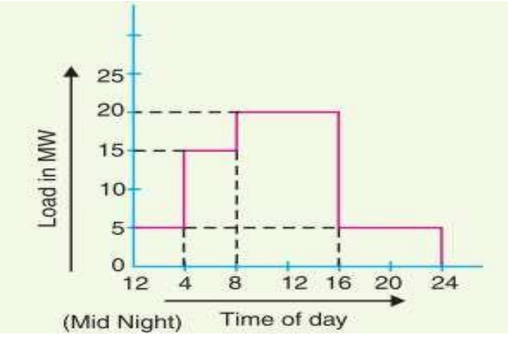
2.1.2 लोड कर्व किंवा क्रोनोलॉजिकल लोड कर्व (Load Curve or Chronogical Load Curve) :

लोड कर्व - पॉवर स्टेशनवर वेळेच्या संदर्भात लोडचे फरक दर्शविणारा कर्व.

- डेली लोड कर्व (Daily load curve)
- मंथली लोड कर्व (Monthly load curve)
- यिअरली लोड कर्व (Yearly load curve)

➢ **डेली लोड कर्व (Daily load curve)**

पॉवर स्टेशनवरील लोड कधीही स्थिर नसतो आणि तो वेळोवेळी बदलत असतो. संपूर्ण दिवसातील लोडमधील फरक अर्ध्या तासाने किंवा प्रति तासाने नोंदवले जातात आणि आलेखावर वेळेच्या विरूद्ध प्लॉट केले जातात. अशा प्रकारे प्राप्त कर्व डेली लोड कर्व म्हणून ओळखले जाते.



आकृती 2.1 ब. डेली लोड कर्व

➢ **डेली लोड कर्वचे महत्त्व (Importance of daily load curve)**

- डेली लोड कर्व दिवसाच्या वेगवेगळ्या तासांदरम्यान पॉवर स्टेशनवरील लोडचे फरक दर्शविते.
- डेली लोड कर्वखालील एरिया एका दिवसात निर्माण होणाऱ्या युनिट्सची नंबर्स देते.
- जनरेटेड युनिट /दिवस = डेली लोड कर्वखालील एरिया (के. डब्ल्यू. एच.मध्ये).
  डेली लोड कर्व वरील सर्वोच्च बिंदू त्या दिवशी स्टेशनवरील मॅग्झिमम डिमांड दर्शवतो.
- डेली लोड कर्वखालील क्षेत्राला एकूण तासांनी विभागला तर दिवसातील स्टेनवरील ॲवरेज लोड मिळतो.
- **ॲवरेज लोड (Average load)** = $\frac{\text{डेली लोड कर्वखालील क्षेत्र (KWH केडब्ल्यूएच मध्ये)}}{\text{24 तास}}$
- लोड कर्वखालील क्षेत्र आणि त्यात समाविष्ट असलेल्या आयताच्या एकूण क्षेत्राचे गुणोत्तर लोड फॅक्टर (load factor) देते.
- **लोड फॅक्टर** = $\frac{\text{ॲवरेज लोड}}{\text{मॅक्स डिमांड}} = \frac{\text{ॲवरेज लोड} * 24}{\text{मॅक्स.डिमांड} * 24} = \frac{\text{डेली लोड कर्वखालील क्षेत्र (kWh मध्ये)}}{\text{लोड कर्व समाविष्ट असलेल्या आयताचे एकूण एरिया}}$
- लोड कर्व हा जनरेटिंग युनिट्सचा साइज़ आणि नंबर्स निवडण्यात मदत करतो.
- लोड कर्व स्टेशनचे ऑपरेशन शेड्यूल तयार करण्यात मदत करते.

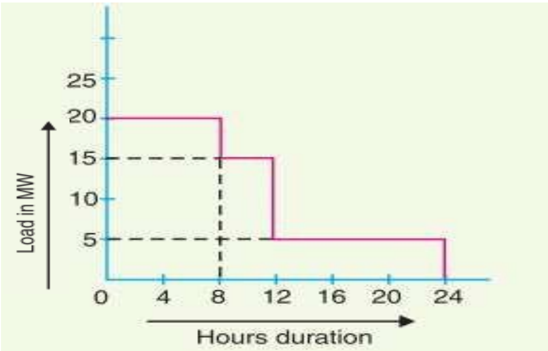
➢ **मंथली आणि यिअरली लोडचे कर्व महत्त्व (Importance of Monthly & Yearly load curve)**

- मंथली लोड कर्व त्या महिन्याच्या डेली लोड कर्वमधून मधून मिळू शकतो.
- यामध्ये ॲवरेज एनर्जी एका महिन्यातील दिवसाच्या वेगवेगळ्या वेळी मोजली जातात आणि नंतर आलेखावर प्लॉट केली जातात.
- मंथली लोड कर्व सामान्यतः एनर्जीचे रेट्स निश्चित करण्यासाठी वापरले जाते.
- त्या विशिष्ट वर्षातील मंथली लोड कर्व विचारात घेऊन यिअरली लोड कर्व प्राप्त केला जातो.

- यिअरली लोड कर्व साधारणपणे ॲन्यूयल लोड फॅक्टर (Annual load factor) निर्धारित करण्यासाठी वापरले जाते.

2.1.3 लोड ड्यूरेशन कर्व (Load Duration Curve)

- जेव्हा लोड कर्व मधील लोड उतरत्या क्रमाने मांडले जातात, अशा प्रकारे प्राप्त केलेल्या कर्वला लोड ड्यूरेशन कर्व (Load Duration Curve) म्हणतात.
- लोड ड्यूरेशन कर्व लोड कर्व सारख्याच डेटावरून प्राप्त केला जातो परंतु ऑर्डिनेट्स उतरत्या क्रमाने मांडले जातात.
- त्यामुळे लोड ड्यूरेशन आणि लोड कर्वचा अंतर्गत क्षेत्र (internal area) समान आहेत.
- लोड ड्यूरेशन कर्व कोणत्याही ड्यूरेशनचा समावेश करण्यासाठी वाढविला जाऊ शकतो.

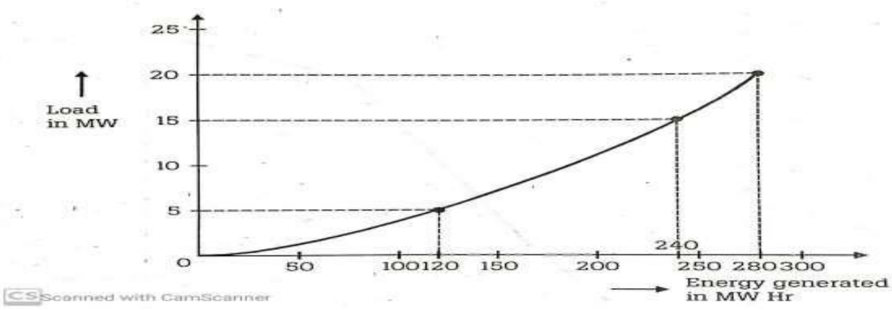


आकृती 2.2 लोड ड्यूरेशन कर्व

2.1.4 इंटिग्रेटेड लोड ड्यूरेशन कर्व (Integrated Load Duration Curve)

- इंटिग्रेटेड लोड ड्यूरेशन कर्व लोड ड्यूरेशन कर्ववरून प्राप्त होते.
- इंटिग्रेटेड लोड ड्यूरेशन कर्वसाठी खालील तक्त्याचा संदर्भ घ्या
- मेगावॅट (MW) डिमांडमध्ये निर्माण होणारी एनर्जी = मेगावॅट (MW) मध्ये लोड x तासांमध्ये टाइम ड्यूरेशन.

मेगावॅट **MW** मधील लोड	5	15	20
एनर्जी जनरेशन **MWh**	5×24 तास = 120	120+10 x12 तास =240	240+5x8 तास =280



आकृती 2.3 इंटिग्रेटेड लोड ड्यूरेशन कर्व

2.1.5 रिलेटेड टर्म्ज़ (Related terms)

- **स्पिनिंग रिझर्व (Spinning reserve**) : ही जनरेशन कपॅसिटी आहे जी बसशी जोडलेली असते आणि लोड उचलण्यास तयार असते.
- **कोल्ड रिझर्व (Cold reserve**) : ही रिज़र्व जेनरेटिंग कपॅसिटी आहे जी सेवेसाठी उपलब्ध आहे परंतु कार्यरत नाही.
- **हॉट रिझर्व (Hot reserve) :** ही रिज़र्व जेनरेटिंग कपॅसिटी आहे रिज़र्व प्रोडक्षन कपॅसिटी जी कार्यरत आहे परंतु सेवेत नाही.
- **फर्म पॉवर (Firm power):** ही पॉवर नेहमी उपलब्ध असते.
- **रिज़र्व मार्जिन (Reserve margin) :** हे जनरेटरवरील रेटेड कपॅसिटी वजा रिअल लोडिंगमधील फरक आहे.

2.2 कॉस्ट ऑफ जनरेशन: ॲवरेज डिमांड, मॅग्ज़िमम डिमांड, डिमांड फॅक्टर, प्लांट कपॅसिटी फॅक्टर, प्लांट यूज़ फॅक्टर, डाइवर्सिटी फॅक्टर, लोड फॅक्टर आणि प्लांट लोड फॅक्टर

(**Cost of generation: average demand, maximum demand, demand factor, plant capacity factor, plant use factor, diversity factor, load factor and plant load factor.)**

महत्त्वाच्या टर्म्ज़ अँड फॅक्टर्स

1. **कनेक्टेड लोड (Connected load):**

   सप्लाइ सिस्टमला कनेक्ट केलेल्या सर्व एक्विपमेंट्सच्या (equipments) रेटिंग्सची (rating) बेरीज आहे

2. **मॅग्ज़िमम डिमांड (Maximum demand):**

   दिलेल्या ड्यूरेशन मधील पॉवर स्टेशन्सवरील लोड मधील ही सर्वात मोठी डिमांड आहे.

3. **डिमांड फॅक्टर (Demand factor):**

   पॉवर स्टेशनवरील मॅग्ज़िमम डिमांड आणि त्याच्या कनेक्टेड लोड यांचे गुणोत्तर आहे.

$$\textbf{डिमांड फॅक्टर} = \frac{\text{मॅग्ज़िमम डिमांड}}{\text{कनेक्टेड लोड}}$$

4. **ॲवरेज लोड (Average load):**

   दिलेल्या ड्यूरेशनमध्ये (दिवस किंवा महिना किंवा वर्ष) पॉवर् स्टेशनवरील होणाऱ्या लोडचे ॲवरेज हे ॲवरेज लोड किंवा ॲवरेज डिमांड म्हणून ओळखली जाते.

$$\textbf{डेली ॲवरेज लोड} = \frac{\text{एका दिवसात निर्माण झालेल्या युनिट्सची संख्या (kWh)}}{\text{24 तास}}$$

$$\textbf{मंथली ॲवरेज लोड} = \frac{\text{एका महिन्यात निर्माण झालेल्या युनिट्सची संख्या (kWh)}}{\text{एका महिन्यात तासांची संख्या}}$$

$$\textbf{यिअरली ॲवरेज लोड} = \frac{\text{एका वर्षात निर्माण झालेल्या युनिट्सची संख्या (kWh)}}{\text{8760 तास}}$$

5. **लोड फॅक्टर (Load factor):**

दिलेल्या ड्यूरेशनमध्ये ॲवरेजलोड आणि मॅग्ज़िमम डिमांडचे गुणोत्तर हे लोड फॅक्टर म्हणून ओळखले जाते.

$$\textbf{लोड फॅक्टर} = \frac{\text{ॲवरेज लोड}}{\text{मॅग्ज़िमम डिमांड}} = \frac{\text{तासांमध्ये तयार केलेली युनिट्स}}{\text{मॅग्ज़िमम डिमांड} \times \text{तास}}$$

- प्रति युनिट निर्माण होणारी एकूण किंमत निश्चित करण्यात लोड फॅक्टर महत्त्वाची भूमिका बजावतो.
- पॉवर् स्टेशनचा लोड फॅक्टर जितका जास्त असेल तितका प्रति युनिट खर्च कमी होईल.
- उच्च लोड फॅक्टर म्हणजे कमी मॅग्ज़िमम डिमांड.
- कमी मॅग्ज़िमम डिमांड म्हणजे प्लांटची कमी कपॅसिटी, ज्यामुळे प्लांट चा खर्च कमी होतो.
- लोड फॅक्टर नेहमी 1 पेक्षा कमी असतो कारण ॲवरेज लोड मॅग्ज़िमम डिमांडपेक्षा कमी असतो.

6. डाइवर्सिटी फॅक्टर (Diversity Factor):

इंडिविजुयल मॅग्ज़िमम डिमँड्सच्या बेरजेचे (sum of indivisual maximum demand) आणि पॉवर् स्टेशन्सवरील मॅग्ज़िमम डिमांडचे गुणोत्तर (रेशियो) डाइवर्सिटी फॅक्टर म्हणून ओळखले जाते.

$$\textbf{डाइवर्सिटी फॅक्टर} = \frac{\textbf{इंडिविजुयल मॅग्ज़िमम डिमँड्सची बेरीज}}{\textbf{पॉवर् स्टेशन्सवरील मॅग्ज़िमम डिमांड}} = \frac{1}{\textbf{कोयिन्सिडेन्स फॅक्टर}}$$

- एक पॉवर् स्टेशन विविध प्रकारच्या ग्राहकांना लोड पुरवते ज्यांच्या मॅग्ज़िमम डिमांड सामान्यतः एकाच वेळी होत नाहीत. त्यामुळे पॉवर् स्टेशनवरील मॅग्ज़िमम डिमांड ग्राहकांच्या इंडिविजुयल मॅग्ज़िमम डिमँड्सच्या बेरीजपेक्षा (sum of indivisual maximum demand) नेहमीच कमी असते. अर्थात, डायव्हर्सिटी फॅक्टर नेहमीच 1 पेक्षा मोठा असेल.
- डायव्हर्सिटी फॅक्टर जितका मोठा असेल तितका पॉवर जनरेशन कॉस्ट (खर्च) कमी असेल.
- अधिक डाइवर्सिटी फॅक्टर म्हणजे कमी मॅग्ज़िमम डिमांड, याचा अर्थ कमी प्लांट कपॅसिटी आवश्यक आहे. त्यामुळे प्लांट वरील भांडवली गुंतवणूक (capital investment) कमी होते.

7. प्लांट कपॅसिटी फॅक्टर (Plant Capacity Factor):

एका विशिष्ट ड्यूरेशन मध्ये निर्माण होऊ शकणारी ॲक्चुयल एनर्जी आणि मॅग्ज़िमम पासिबल एनर्जी यांचे हे गुणोत्तर आहे.

$$\textbf{प्लांट कपॅसिटी फॅक्टर} = \frac{\textbf{ॲक्चुयल एनर्जी}}{\textbf{मॅग्ज़िमम पासिबल एनर्जी}}$$

- जर ड्यूरेशन एक वर्ष असेल, तर यिअरली प्लांट कपॅसिटी फॅक्टर = यिअरली kWh आउटपुट प्लांट कपॅसिटी × 8760
- पॉवर स्टेशन असे डिझाइन केलेले आहे की भविष्यात वाढलेल्या लोडची डिमांड पूर्ण करण्यासाठी त्यात काही रिज़र्व कपॅसिटी आहे.त्यामुळे, प्लांटची स्थापित कपॅसिटी (installed capacity) नेहमी प्लांटवरील मॅग्ज़िमम डिमांडपेक्षा थोडी जास्त असते.

रिज़र्व कपॅसिटी = प्लांटची कपॅसिटी – मॅग्ज़िमम डिमांड.

- लोड फॅक्टर आणि प्लांट कपॅसिटी फॅक्टरमधील फरक हा रिज़र्व कपॅसिटीचा संकेत (indication) आहे.

8. प्लांट यूज़ फॅक्टर (Plant use factor):

- हे जनरेशन kWh आणि प्लांट कपॅसिटी व ज्या तासांसाठी प्लांट कार्यरत होता त्याची नंबर्स यांचा गुणाकारचे गुणोत्तर आहे.

$$\textbf{प्लांट यूज़ फॅक्टर} = \frac{\text{जनरेशन kWh}}{\text{प्लँट कपॅसिटी} \times \text{वापराचे तास}}$$

9. यूटिलाइज़ेशन फॅक्टर (Utilization Factor):

- हे प्लांटच्या मॅग्ज़िमम डिमांड आणि रेटेड कपॅसिटीचे गुणोत्तर आहे.

$$\textbf{यूटिलाइज़ेशन फॅक्टर} = \frac{\text{मॅग्ज़िमम डिमांड}}{\text{रेटेड कपॅसिटी}}$$

- प्लांटच्या ओवर लोडिंगमुळे यूटिलाइज़ेशन फॅक्टरचे मूल्य एकापेक्षा जास्त असू शकते.

प्लांट कपॅसिटी फॅक्टर = लोड फॅक्टर × यूटिलाइज़ेशन फॅक्टर

2.3 साइज़ आणि जनरेटर युनिट्स नंबर्स निवड, कंबाइंड पॉवर स्टेशनचे ऑपरेशन
(Choice of size and number of Generator units, combined operation of power station)

2.3.1 जनरेटर युनिट्सच्या साइज़ आणि नंबर्सची निवड
(Choice of size and number of Generator units)

1. जनरेटिंग युनिट्सचा साइज़/रेटिंग आणि नंबर्स अशा प्रकारे आहे की ते लोड कर्व किंवा लोड ड्यूरेशन कर्वशी शक्य तितक्या जवळून जुळतात.
2. युनिट्सच्या साइज़ची गणना करण्यासाठी, स्टेशनचा लोड विचारात घेतला पाहिजे.
3. ट्रॅन्समिशन लाइन लॉस्सेसचाही विचार केला पाहिजे. हे अंदाजे ग्राहकांच्या लोडपैकी 20% म्हणून घेतले जाऊ शकते.
4. भविष्यातील डिमांड आणि विस्ताराचा (expansion) देखील विचार केला पाहिजे कारण स्टेशनवरील लोड नेहमीच वाढतो.
5. प्लांटमध्ये मॅग्ज़िमम डिमांडपेक्षा कमीत कमी 15-20% जास्त रिवर्स कपॅसिटी असणे आवश्यक आहे.
6. जनरेटिंग युनिट्चे साइज़/रेटिंग अशा प्रकारे निवडा की सप्लाइ राखण्यासाठी विश्वसनीयता (reliability) अधिक असेल.
7. जनरेटिंग युनिट्चे साइज़/रेटिंग अशा प्रकारे निवडा की प्लांट कपॅसिटी फॅक्टर,लोड फॅक्टर, डाइवर्सिटी फॅक्टर, प्लांट यूज़ फॅक्टर अधिक असेल.
8. जनरेटिंग युनिट्सचा साइज़/रेटिंग अशा प्रकारे निवडा की युनिट जवळजवळ पूर्ण लोडने किंवा लोडने चालते जे मॅग्ज़िमम एफीशियेन्सी देते.
9. पॉवर् जनरेशन एकनॉमिकल होईल अशा प्रकारे जेनरेटिंग यूनिट्सचा साइज़/रेटिंग निवडा.
10. इनिशियल आणि ऑपरेटिंग खर्चही विचारात घेतला पाहिजे.
11. आवश्यक जागेचाही विचार केला पाहिजे.
12. मिनिमम यूनिट्सची संख्या दोन असावी.
13. शक्य असेल तेवढे समान कपॅसिटीसचे (same capacity) यूनिट्स निवडले जातात, ज्यांचे खालील फायदे असतील

- पार्ट्सची अदलाबदल करता येते.
- मेंटेनेन्स करणे सोपे होईल.
- प्रत्येक प्लांटच्या कामाची वेळ (working time) नियंत्रित (regulate) केला जातो.
- स्पेर पार्ट्स साठा कमी लागेल.

14. साइज़/रेटिंग आणि जेनरेटिंग युनिट्सचे नंबर्स निवडताना दोन पर्याय आहेत.

- लार्ज कपॅसिटीचे एक युनिट निवडणे.
- सेम रेटिंग(same rating) किंवा डिफरेंट रेटिंगसह स्माल कपॅसिटीचे (different ratings with small capacity) अधिक संख्या असणारे जेनरेटिंग युनिट् निवडणे.

दोन्ही पर्यायांचा त्यांच्या स्वतः च्या फायदे आणि तोटे आहेत

15. थोडक्यात, जेथे सप्लाइची रिलाइयबिलिटी (reliability) महत्त्वाची आहे, तेथे पॉवर् सिस्टमवरील लोड बदलू शकतो, त्यामुळे लार्ज कपॅसिटीचे एकच यूनिट्स वापरणे व्यवहार्य नाही. परंतु, जर पॉवर् प्लांट ग्रिड सिस्टमशी जोडला गेला असेल तर हाइयर कपॅसिटीचे जनरेटिंग युनिट बसवले जाऊ शकते.

2.3.2 कंबाइंड पॉवर स्टेशनचे ऑपरेशन (Combined operation of power station)

पॉवर् स्टेशन्सवरील लोड क्वचितच स्थिर असतो; तो वेळोवेळी बदलतो. अर्थात, एक सिंगल जनरेटिंग युनिट (i.e., अल्टरनेटर) या वेरीयिंग (varying) लोड पूर्ण करण्यासाठी एक एकनॉमिकल प्रस्ताव नसेल. याचे कारण असे की पॉवर स्टेशन्सवरील लाइट लोड्सच्या ड्यूरेशनमध्ये एकाच युनिटची एफीशियेन्सी खूपच कमी असेल. म्हणून, प्रत्यक्ष व्यवहारात, पॉवर स्टेशन्समध्ये वेगवेगळ्या आकारांचे अनेक जेनरेटिंग युनिट बसवले जातात.

- युनिटची नंबर्स आणि आकारांची निवड पॉवर स्टेशन्सच्या यिअरली लोड कर्ववरून केली जाते.
- लोड कर्वच्या मदतीने जनरेटिंग युनिट्सची नंबर्स आणि साइज़ निवडण्याचे तत्त्व 2.4. आकृतीमध्ये स्पष्ट केले आहे. आकृती 2.4, पॉवर स्टेशन्सचा यिअरली लोड कर्व दर्शविला आहे.
- कर्ववरून हे स्पष्ट आहे की पॉवर स्टेशन्सवरील लोडमध्ये विस्तृत फरक आहेत; मिनिमम लोड काही प्रमाणात 5 मेगावॅटच्या जवळ आहे आणि मॅग्ज़िमम लोड 20 मेगावॅटच्या मूल्यापर्यंत पोहोचतो. हा वेगवेगळा लोड पेलण्यासाठी एकाच युनिटचा वापर करणे अत्यंत अनेकोनॉमिकल (uneconomical) असेल.
- लोड कर्व फिट करण्यासाठी टोटल प्लांट कपॅसिटी वेगवेगळ्या आकाराच्या अनेक जनरेटिंग युनिट्समध्ये विभागली गेली आहे. हे आकृती 2.4 मध्ये स्पष्ट केले आहे. जेथे प्लांटची कपॅसिटी 1, 2 आणि 3 अशा तीन युनिट्समध्ये विभागली आहे.

प्लांटची कपॅसिटी तीन यूनिट्समध्ये विभागली आहे

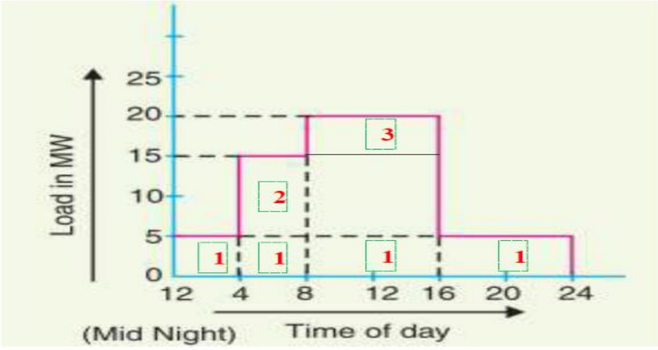
युनिट-1 = 5MW, युनिट-2 = 10MW आणि युनिट-3 = 5MW

मध्यरात्री 12 ते पहाटे 4 वाजेपर्यंत फक्त युनिट-1 कार्यरत आहे

पहाटे 4 ते सकाळी 8 पर्यंतः दोन युनिट-1 आणि 2 कार्यरत आहेत

सकाळी 8 ते संध्याकाळी 4 वाजेपर्यंतः सर्व युनिट-1,2 आणि 3 कार्यरत आहेत
दुपारी 4 ते मध्यरात्री 12 वाजेपर्यंत फक्त युनिट-1 कार्यरत आहे

अशा प्रकारे युनिट्सची योग्य नंबर्स आणि साइज़ निवडून, जनरेटिंग युनिट्स मॅग्ज़िमम एफीशियेन्सीच्या (maximum efficiency) जवळ चालवता येऊ शकतात. यामुळे एलेक्ट्रिकल एनर्जीच्या उत्पादन खर्चमध्ये (cost of production) एकूण घट होते.



आकृती 2.4 लोड कर्व

उदाहरण 1

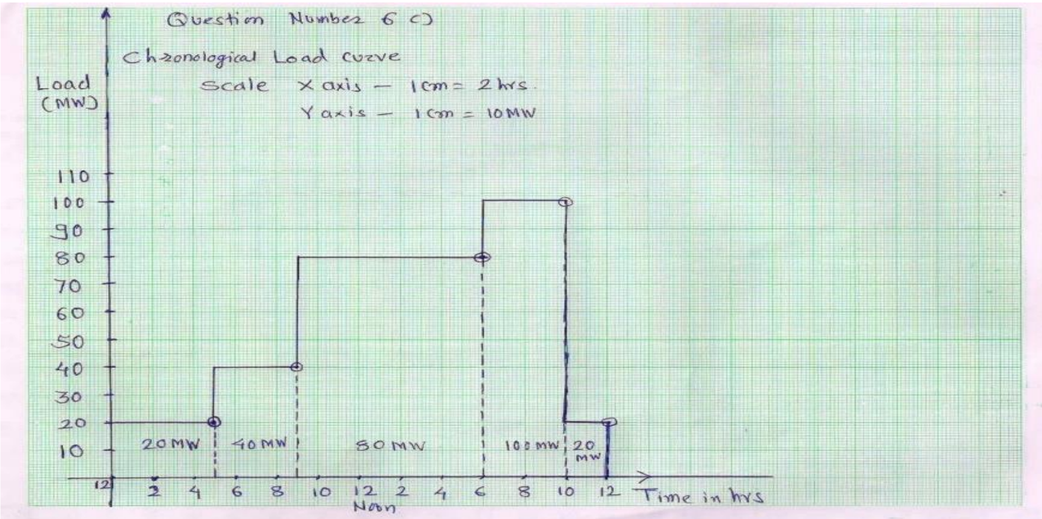
एका ठराविक दिवशी पॉवर् प्लांट वरील लोड खालीलप्रमाणे आहे: -

वेळ	12-5 AM	5-9 AM	9-6 PM	6-10 PM	10 -12 AM
लोड मेगावॅट मध्ये	20	40	80	100	20

क्रॉनलॉजिकल लोड कर्व आणि लोड ड्यूरेशन कर्व प्लॉट करा. प्लांटचा लोड फॅक्टर आणि 24 तासांत प्लांटची सप्लाइड एनर्जी शोधा.

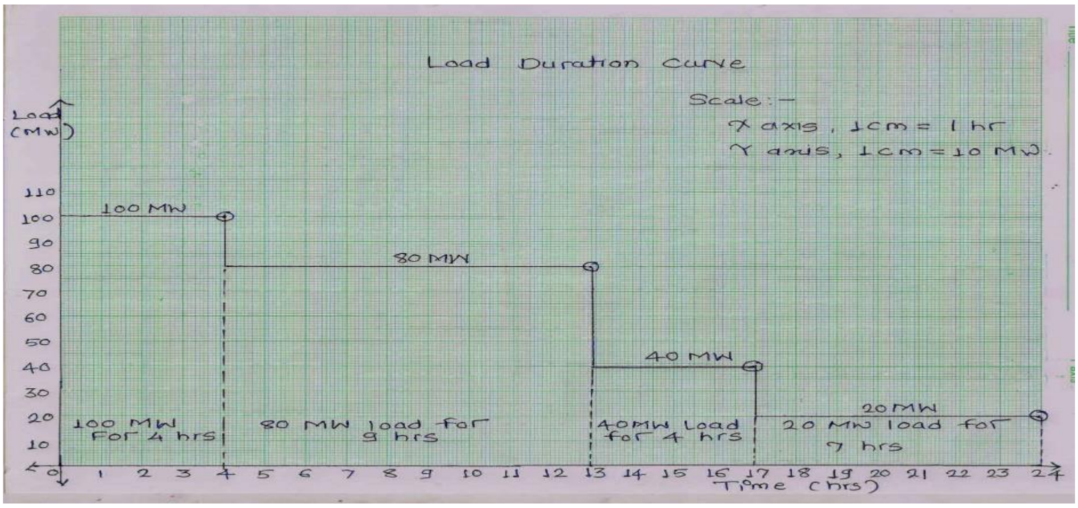
उत्तर:

i) क्रॉनलॉजिकल लोड कर्व:



आकृती. 2.5 क्रॉनलॉजिकल लोड कर्व

(ii) लोड ड्यूरेशन कर्व (Load Duration Curve):



आकृती. 2.6 लोड ड्यूरेशन कर्व (Load Duration Curve):

i) लोड कर्ववरून हे स्पष्ट आहे की पॉवर स्टेशनवर मॅग्ज़िमम डिमांड **100 मेगावॅट** आहे आणि संध्याकाळी 6-10 दरम्यान येते.

मॅग्ज़िमम डिमांड = 100 मेगावॅट

ii) **प्लांट द्वारे 24 तासामधील सप्लाइ एनर्जी (युनिट/दिवस) =**

=लोड कर्व खालील एरिया (KWh मध्ये)

$= 10^3\ (20 \times 5 + 40 \times 4 + 80 \times 9 + 100 \times 4 + 20 \times 2)$

$= 10^3\ (100 + 160 + 720 + 400 + 40)\ KWh$

= 1420 × 103 KWh OR = **1420 MWh**

iii) **ॲवरेज लोड =** $\frac{\text{यूनिट्स जनरेशन (KWH) /दिवस}}{\text{24 तास}}$

= (Area under the daily load Curve (KWH)/24)

= 1420*1000/24

= **59.1666 *103 KW**

iv) **लोड फॅक्टर = ॲवरेज लोड / मॅग्ज़िमम डिमांड =**

$= \frac{59.1666 * 1000 * 1000}{100 * 1000 * 1000}$ = **0.591666**

OR

= 59.16 %

उदाहरण 2

पॉवर् स्टेशनवरील पीक लोड 30 मेगावॅट आहे. मॅग्ज़िमम डिमांड 25 मेगावॅट, 10 मेगावॅट, 5 मेगावॅट आणि 7 मेगावॅट असलेले लोड पॉवर् स्टेशनला कनेक्टेड आहेत. पॉवर स्टेशनची कपॅसिटी 40 MW आहे आणि यिअरली लोड फॅक्टर 50% आहे. शोधाः (i)एलेक्ट्रिक स्टेशनवरील ॲवरेज लोड (ii) दरवर्षी (पर एअर) सप्लाइ होणारी एनर्जी (iii) डिमांड फॅक्टर (iv) डाइवर्सिटी फॅक्टर

उत्तर:

i) एलेक्ट्रिक स्टेशनवरील मॅग्ज़िमम डिमांड 30 मेगावॅट आहे.

मॅग्ज़िमम डिमांड= 30 x 103 KW

ii) प्लांट द्वारे सप्लाइड एनर्जी (पर एअर) =

= मॅग्ज़िमम डिमांड × लोड फॅक्टर × 8760

$= 30 \times 10^3 \times 0.50 \times 8760$

= 131400000

$= \mathbf{131400 \times 10^3}$ ***KWh***

ॲवरेज लोड Average Load =

iii) **ॲवरेज लोड (Average load) =** $\frac{\text{लोड कर्व रेषेखालील क्षेत्र (KWH केडब्ल्यूएच मध्ये)}}{8760}$

$$= \frac{\text{Units generated in plant}}{8760} = \frac{131400 \times 103}{8760}$$

$= \mathbf{15 \times 10^3}$ ***KW***

iv) **डाइवर्सिटी फॅक्टर Diversity Factor =**

$$\text{डाइवर्सिटी फॅक्टर} = \frac{\text{इंडिविजुयल मॅग्ज़िमम डिमँड्सची बेरीज}}{\text{पॉवर् स्टेशन्सवरील मॅग्ज़िमम डिमांड}}$$

$$= \frac{Sum\ of\ individual\ consumer\ M.D}{Maximum\ demand\ on\ generating\ station}$$

$$= \frac{1000 \times (25 + 10 + 5 + 7)}{30 \times 1000}$$

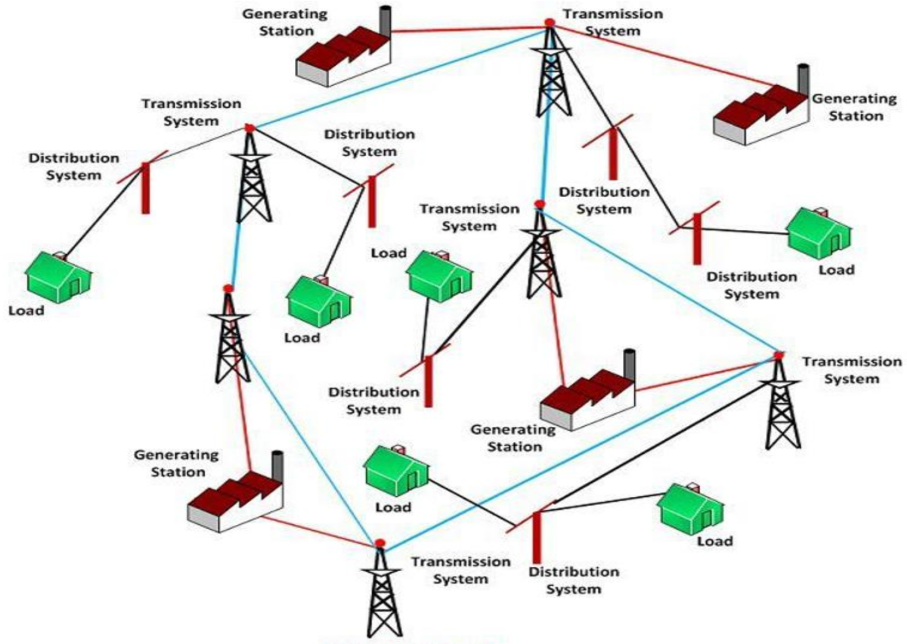
= 1.5666

2.4 कारणे, परिणाम आणि ग्रिड सिस्टम फॉल्टची कारणे : स्टेट ग्रिड, नॅशनल ग्रिड, ब्राउनआउट आणि ब्लॅक आउट; नॅशनल आणि इंटरनॅशनल स्तरावरील सँपल ब्लॅक आउट्स

(Causes, Impact and reasons of Grid system fault: State Grid, National Grid, brownout and black out; sample blackouts at National and International level

2.4.1 एलेक्ट्रिकल ग्रिड ऑर पॉवर् ग्रिड (Electrical grid or power grid):

जनरेशन, ट्रान्समिशन आणि डिस्ट्रीब्यूशन युनिटला एकमेकांशी जोडणारे नेटवर्क म्हणून त्याची व्याख्या केली जाते. हे जनरेटिंग युनिटपासून डिस्ट्रिब्यूशन युनिटपर्यंत एलेक्ट्रिक पॉवर् पुरवते.



आकृती. 2.7 एलेक्ट्रिक ग्रिड

1. **स्टेट ग्रिड सिस्टम (State Grid System):**

   राज्यातील सर्व प्रमुख जेनरेटिंग स्टेशन्स ट्रॅन्समिशन लाइनद्वारे एकमेकांशी जोडली जातात याला स्टेट ग्रिड म्हणतात.

2. **रीजनल ग्रिड (Regional Grid):**

   ट्रॅन्समिशन लाइनद्वारे विशिष्ट क्षेत्राच्या विविध ट्रॅन्समिशन सिस्टमला एकमेकांशी जोडून रीजनल ग्रिड तयार केला जातो.
   आपल्या देशाचे ग्रिड उत्तर, पूर्व, पश्चिम, ईशान्य आणि दक्षिण अशा पाच एलेक्ट्रिक क्षेत्रांमध्ये विभागलेले आहे. प्रत्येक रीजनल लोड डिसपॅच सेंटरद्वारे (load dispatch center) ग्रिड फ्रिक्वेन्सी (Grid frequency) स्पेसिफाइड लिमिटमध्ये (49.7 Hz ते 50.05 Hz) राखली जाईल.

3. **नॅशनल ग्रिड सिस्टम (National Grid System):**

   सर्व स्टेट ग्रिड ट्रॅन्समिशन मार्गाच्या माध्यमातून एकमेकांशी कनेक्टेड आहेत; ती एक नॅशनल ग्रिड सिस्टम तयार करते.

आकृती. 2.8 भारताचे रीजनल पॉवर् ग्रिड

➢ **ब्राऊनआउट (Brownout):**

ब्राऊनआउट म्हणजे पार्षियल व्होल्टेज आउटेज (partial voltage outage)जे युटिलिटी (utility) कंपनीद्वारे जाणूनबुजून अंमलात आणले जाते. पॉवर पूर्णपणे बंद करण्याऐवजी, ब्राऊनआउट व्होल्टेज कमीत कमी 10-25% कमी करते. ब्राऊनआउट्स देखील सहसा केवळ शॉर्ट ड्यूरेशनसाठी टिकतात आणि ते केव्हा सुरू होते आणि केव्हा थांबते यावर यूटिलिटी कंपनीचे संपूर्ण नियंत्रण (complete control) असते. भविष्यात ब्लॅकआउट होऊ नये यासाठी सामान्यतः युटिलिटी कंपनीद्वारे ब्राऊनआउट्सचे अड्वान्स प्लॅनिंग केले जाते. जेव्हा एखादी यूटिलिटी कंपनी अंदाज लावू शकते की पॉवर् ग्रिडवर ओव्हरलोड करणार्या डिमांडमध्ये वाढ होईल, तेव्हा यूटिलिटी कंपनी जाणूनबुजून एलेक्ट्रिसिटीचा सप्लाय कमी करते.

➢ **ब्लॅकआउट Blackout:**

ब्लॅकआउट म्हणजे संपूर्ण पॉवर गमावणे (total power loss). जेथे ब्राऊनआऊट जाणूनबुजून केला जातो, तेथे ब्लॅकआऊट पूर्णपणे अनपेक्षित असतो. विविध परिस्थितींमुळे ब्लॅकआउट होऊ शकतो, जसे कीः

- खराब झालेल्या एलेक्ट्रिक लाइन्स
- एलेक्ट्रिसिटीच्या खांबांवर वीज पडणे
- एलेक्ट्रिसिटीच्या लाइन्सवर बर्फ पडणे
- एलेक्ट्रिसिटीच्या लाइन्सवर झाडांच्या फांद्या पडणे
- एलेक्ट्रिसिटीच्या डिमांड मध्ये वाढ जी ग्रिड ला त्याच्या मर्यादेपलीकडे ढकलते
- भूकंप ज्यामुळे पॉवर् लाइन्सचे नुकसान होते
- यूटिलिटी पोलला धडकणारे वाहन

- तीव्र हवामान

ब्लॅकआऊट आणि ब्राऊनआऊट मधील आणखी एक मोठा फरक म्हणजे ब्लॅकआऊट अनिश्चित काळासाठी टिकू शकतो. पॉवर ब्राऊनआऊटमुळे, जबाबदार युटिलिटी कंपनी नक्की केव्हा पॉवर् परत येईल हे ठरवते, परंतु जेव्हा अनियोजित ब्लॅकआऊट होतो, तेव्हा पुन्हा पॉवर् येण्यासाठी तास किंवा दिवसही लागू शकतात. कारण ब्लॅकआउट म्हणजे कंप्लीट पॉवर् लॉस.

2.4.2 ग्रिड सिस्टमचे फॉल्ट, कारणे आणि परिणाम (Causes, Impact and reasons of Grid system fault)

2.4.2.a ग्रिड सिस्टम फॉल्ट, कारणे खालीलप्रमाणे आहेत (The causes/reasons grid system fault are as follows):

- जनरेशन आणि कन्संप्षन (consumption) दरम्यान प्रमुख असंतुलन i.e. डिमांड ही जनरेशनपेक्षा जास्त आहे.
- लो फ्रीक्वेन्सी, काही फॉल्ट्समुळे फ्रीक्वेन्सी मिसमॅचस (mismatch of frequency) होते i.e (49.5 to 50.5 Hz). लो फ्रीक्वेन्सी किंवा फ्रीक्वेन्सी पररमिझिबल लिमिट जास्त असल्यास, पॉवर ग्रिड मध्ये फेल्यूर होण्याची शक्यता असते.
- कंडक्टर ब्रेकिंगमुळे किंवा दोन कंडक्टरमधील शॉर्ट सर्किटमुळे ग्रिड फेल्यूर होतो. आणि जर हा फॉल्ट1000 मिलिसेकंदांपेक्षा कमी वेळेत क्लियर केला नाही तर ग्रिड फेल्यूर होतो.
- पॉवर सर्जमुळे रॅपिड ओव्हरहाटिंगमुळे (over heating) ग्रिड फेल्यूर होतो.
- हाय व्होल्टेज एक्विपमेंट्समधील माइनर फॉल्ट जर काही ड्यूरेशनमध्ये हाताळला गेला नाही तर त्याचा परिणाम म्हणून एक्विपमेंट्स चा पूर्णतः ब्रेकडाउन होतो ज्यामुळे अचानक ग्रिड फेल्यूर होते.
- एलेक्ट्रिसिटीचा बेकायदेशीर वापर (power theft) हे देखील पॉवर् ग्रिड फेल्यूर होण्याचे एक प्रमुख कारण आहे.
- एलेक्ट्रिसिटीच्या एक्विपमेंट्सच्या वृद्धत्वामुळे (equipment's aging) फेल्यूर रेट्स जास्त असल्याने वारंवार फेल्यूर होण्याचा रिस्क वाढतो.
- ग्रिड मध्ये बिघाड झाल्यामुळे एका जनरेटर युनिटला अचानक जोडले गेले. नंतर लोड इतर जनरेटरवर हलविला गेल्याने ओव्हर लोडिंगमुळे कॅस्केड ट्रिपिंग (cascade tripping) होते.

2.4.2.b ग्रिड सिस्टीम फॉल्टचा परिणाम (Impact of grid system fault):

- ग्रिड सिस्टमतील फॉल्टचा परिणाम म्हणून सप्लाइ न झाल्याने सर्व उद्योगांवर वाईट परिणाम होतो आणि त्यामुळे मोठे नुकसान होते.
- सप्लाइ न झाल्याने सर्व आरोग्य सेवा केंद्रांवर वाईट परिणाम होतो आणि आपत्कालीन रूग्णांवर उपचारांमध्ये अडथळा निर्माण होतो.
- सप्लाइ अयशस्वी झाल्यामुळे ड्रिंकिंग वॉटर सप्लाइ सिस्टमवर वाईट परिणाम होतो आणि त्यामुळे वॉटरसप्लाइ अपुरा होतो/मिळत नाही.

- सर्व एलेक्ट्रिकल लाँग रूट ट्रेन्स, लोकल ट्रेन्स, ट्रॅमवॅस, मेट्रो अँड रेलवे सिग्नल सिस्टमवर सप्लाइ फेल्यूरमुळे मोठा परिणाम होतो आणि त्यामुळे गैरसोय होते.
- सप्लाइ न झाल्याने सर्व कम्यूनिकेशन सिस्टमवर वाईट परिणाम होतो आणि त्यामुळे लोकांची गैरसोय होते.
- सर्व सामान्य लोकांच्या रुटीन वर्कमध्ये अडथळा येतो.

स्व:अध्ययन (Exercise) :

1. बेस लोड आणि पीक लोड परिभाषित (define) करा
2. खालील संज्ञा परिभाषित करा: कनेक्टेड लोड, फर्म पॉवर, कोल्ड रिझर्व्ह, हॉट रिझर्व्ह, स्पिनिंग रिझर्व्ह.
3. लोड कर्व आणि लोड ड्यूरेशन कर्व काढा आणि स्पष्ट करा
4. ग्रिड सिस्टम फेल्यूरचे परिणाम आणि कारणे स्पष्ट करा
5. ॲवरेज लोड, लोड फॅक्टर, डायव्हर्सिटी फॅक्टर, कनेक्टेड लोड परिभाषित (define) करा.

संदर्भ पाठयपुस्तक (Reference Books)

1. Principles of Power System V.K. Mehta and Rohit Mehta S Chand Publication & Co. New Delhi 2005, ISBN:9788121924962
2. A course in Electrical Power. J B Gupta S. K Kataria and sons, New Delhi. 2014, ISBN: 9789350143742
3. Generation of Electrical Energy, 7th Edition Gupta B.R. S. Chand Publishing, 2017 ISBN: 9789352533817

माहिती संकेतस्थळ (Information Websites):

1. https://en.wikipedia.org/wiki/Electricity_generation
2. https://www.powergrid.in/ Power Grid Corporation of India Limited (POWERGRID), a Schedule 'A', 'Maharatna' Public Sector Enterprise of the Government of India.

युनिट 3
ट्रान्समिशन लाइन कॉम्पोनन्टस, पॅरामीटर्स आणि परफॉर्मन्स
(Transmission Line Components, Parameters and Performance)

विषय निष्पत्ती (Course Outcomes(COs):

इलेक्ट्रिक ट्रान्समिशन सिस्टमच्या सामान्य ऑपरेशन आणि पॅरामीटर्सचा अर्थ लावा.
(Interpret the normal Operation and Parameters of the Electric Transmission System)

विषय निष्पत्ती बरोबर जुळणारी थिअरी लर्निंग निष्पत्ती (Theory Learning Outcomes (TLOs) aligned to Course Outcomes(COs) :

3.1 ट्रान्समिशन लाइन्सचे वर्गीकरण करा.
(Classify the given Transmission Line.)

3.2 दिलेल्या ट्रान्समिशन लाईन कॉम्पोनन्टचे कॅन्स्ट्रक्शन आणि कार्याचे वर्णन करा.
(Describe the construction and functioning of the given Transmission Line Components.)

3.3 दिलेल्या ट्रान्समिशन लाईन पॅरामीटर्सची संकल्पना स्पष्ट करा.
(Explain the concept of the given Transmission Line parameters.)

3.4 शॉर्ट ट्रान्समिशन लाइनचे परफॉर्मन्स दिलेल्या निकषांच्या आधारांवर मूल्यांकन करा.
(Evaluate the performance of short transmission Line based on the given criteria.)

3.5 दिलेल्या पद्धतीनुसार मिडीयम लाइन्सचे रिप्रेझेंटेशन स्पष्ट करा.
(Explain the given method(s) for representation of Medium Transmission Line.

3.6 कंडक्टरचे ट्रान्सपोझिशनची आवश्यकता स्पष्ट करा.
(Describe the need for Transposition of Conductors.)

परिचय (Introduction):

- मानवाच्या दैनंदिन जीवनात विद्युत ऊर्जा महत्त्वाची भूमिका बजावते. देशाचा विकास हा विद्युत ऊर्जेच्या पुरेशा पुरवठ्यावर, तसेच त्याची विश्‍वासार्हता व वाजवीपेक्षा कमी आणि प्रति युनिट ऊर्जेवर परवडणारी किंमत यांवर अवलंबून असतो.

- घरगुती उद्दिष्टांसाठी, व्यावसायिक आणि औद्योगिक उद्दिष्टांसाठी आणि शेतीसाठी देखील विद्युत उर्जेची आवश्यकता आहे.

- अर्थशास्त्र निर्मिती (Economics Production) आणि प्राथमिक ऊर्जा स्त्रोतांच्या (Energy sources) उपलब्धतेसाठी सर्वेक्षणानंतर विशिष्ट ठिकाणी स्थापित केलेल्या जनरेटिंग स्टेशनवर निर्माण होणारी विद्युत ऊर्जा जसे थर्मल पॉवर प्लांटसाठी कोळसा आणि पाणी मोठा जलसाठा जलविद्युत प्रकल्प, लोड केंद्रावर अणुऊर्जा प्रकल्प, उपलब्ध इंधन स्रोतांवर डिझेल आणि गॅस प्लांट आणि अलीकडच्या काळात वारा, सूर्य-सौर ऊर्जा, समुद्रातील भरती इ. सारख्या नैसर्गिक सोर्सेस पासून वीज निर्माण.

- जनरेटिंग स्टेशनवर वीज निर्माण केली जाते आणि हाय व्होल्टेज (HV) किंवा एक्सट्रा हाय व्होल्टेज (EHV) ट्रान्समिशनने रिसीव्हिंग स्टेशनवर रिसिव्ह होते. डिस्ट्रिब्युशनसाठी रिसिव्ह झालेली वीज कमी व्होल्टेजवर आणि शेवटी 415 व्होल्ट / 230 व्होल्टेजवर स्टेप डाउन केली जाते.

3.1 इलेक्ट्रिक पॉवर ट्रान्समिशन सिस्टमचा सिंगल लाइन डायग्राम (Electric Power Transmission Systems: Single Line Diagrams)

जनरेटिंग स्टेशनद्वारे उत्पादित विद्युत उर्जा, ट्रान्समिशन लाईन्सद्वारे लांब अंतरावर ट्रान्समिट केली जाते. मग ते डिस्ट्रिब्युशन नेटवर्कद्वारे विविध ग्राहकांना डिस्ट्रिब्युट केली जाते. विद्युत उर्जा सिस्टमचे मुख्य उद्दिष्ट म्हणजे विद्युत उर्जा रिसिव्ह करणे आणि ती वापरल्या जात असलेल्या ग्राहक पर्यंत सुरक्षितपणे पोहोचणे. हे पाच टप्प्यात केले जाते.

1. जनरेटिंग स्टेशन (Generating Sation)
2. प्रायमरी ट्रान्समिशन (Primary Transmission)
3. सेकंडरी ट्रान्समिशन (Secondary Transmission)
4. प्रायमरी डिस्ट्रिब्युशन (Primary Distribution)
5. सेकंडरी डिस्ट्रिब्युशन (Secondary Distribution)

1. जनरेटिंग स्टेशन: जनरेटिंग स्टेशनवर वीज 11kV व्होल्टेज लेवलवर निर्माण होते. (काही प्रकरणांमध्ये ते 3.3kV, 6.6kV, 11kV किंवा 33kV असू शकते).

ट्रान्समिशन सिस्टम: Transmission system :

ट्रान्समिशन सिस्टमचे मुख्य वर्गीकरण प्रायमरी ट्रान्समिशन आणि सेकंडरी ट्रान्समिशन आहे.

2. प्रायमरी ट्रान्समिशन: लांब अंतरावर वीज ट्रान्स्मिट करण्यासाठी, हाय व्होल्टेज लाईन्सच्या ट्रान्समिशन नेटवर्कमधून वाहून नेले पाहिजे जे सहसा शेकडो किलोमीटरपर्यंत चालते. त्यामुळे प्रायमरी ट्रान्समिशन हेतूंसाठी आवश्यकतेनुसार ट्रान्समिशन व्होल्टेज 110kV, 132kV, 220kV किंवा 400kV पर्यंत वाढवले जाते. ही एक ओव्हरहेड 3-फेज 3-वायर सिस्टम आहे.

3. सेकंडरी ट्रान्समिशन: रिसीव्हिंग स्टेशनवर स्टेप डाउन ट्रान्सफॉर्मरद्वारे व्होल्टेज 132kV वरून 33kV किंवा 66kV वर खाली आणले जाते. रिसीव्हिंग स्टेशनवरून, शहरातील विशिष्ट पॉइंट्सवर असलेल्या सबस्टेशनवर इलेक्ट्रिक एनर्जी ट्रान्स्मिट केली जाते. या ट्रान्समिशनसाठी ओव्हरहेड 3-फेज 3-वायर सिस्टम वापरली जाते.

डिस्ट्रिब्युशन सिस्टम: Distribution System :

हे प्रायमरी डिस्ट्रिब्युशन आणि सेकंडरी डिस्ट्रिब्युशनमध्ये वर्गीकृत आहे.

4. प्रायमरी डिस्ट्रिब्युशन: सेकंडरी ट्रान्समिशन लाइन रिसीव्हिंग स्टेशनवर संपते जिथे व्होल्टेज 11kV ला (3-फेज 3-वायर, हाय टेंशन फीडर) स्टेप डाउन केले जाते आणि 11kV च्या डिस्ट्रिब्युशन नेटवर्कद्वारे लोड पॉइंट्सला पॉवर डिस्ट्रिब्युट (distribute) केली जाते. प्रायमरी डिस्ट्रिब्युशनसाठी वापरली जाणारी व्होल्टेज लेवल, ट्रान्समिशन पॉवरच्या प्रमाणात आणि सबस्टेशनच्या अंतरावर अवलंबून असते.

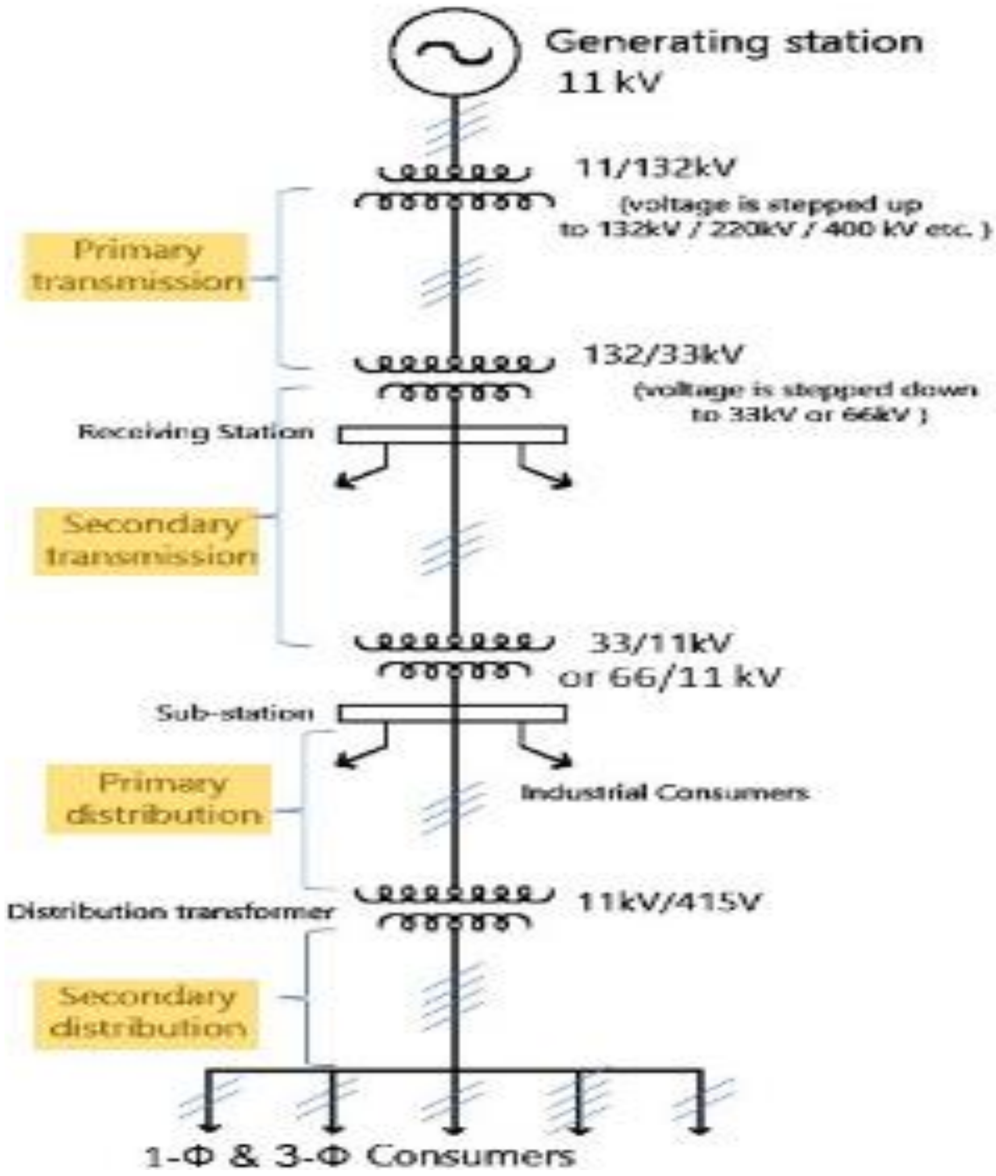
5. **सेकंडरी डिस्ट्रिब्युशन**: डिस्ट्रिब्युशन सबस्टेशन्स ग्राहकांच्या आवारात आहेत जिथे सेकंडरी डिस्ट्रिब्युशनसाठी 11kV चे व्होल्टेज 400 व्होल्ट (3-फेज 4-वायर, लो टेंशन फीडर) पर्यंत स्टेप डाउन केले जाते. 3-फेज 4-वायर सिस्टीम वापरण्याचा फायदा असा आहे की लोडच्या आवश्यकतेनुसार 3-फेज आणि 1-फेज दोन्ही प्रकारे सप्लाय वापरला जाऊ शकतो. या लाइनवरून सर्व्हिस लाइन घेतल्या जातात.

3.1.1 इलेक्ट्रिक पॉवर सिस्टमचा सिंगल लाइन डायग्राम (Single line diagram of Electrical Power System)

पॉवर सिस्टमचे सिंगल लाइन डायग्राम हे असे नेटवर्क आहे जे सिस्टम कॉम्पोनन्टसचे मुख्य कनेक्शन, त्यांची अरेंजमेंट त्यांच्या डेटासह दर्शविते (जसे की आउटपुट रेटिंग, व्होल्टेज, रेझिस्टन्स (Resistance) आणि रिऍक्टन्स (Reactance) इ.).

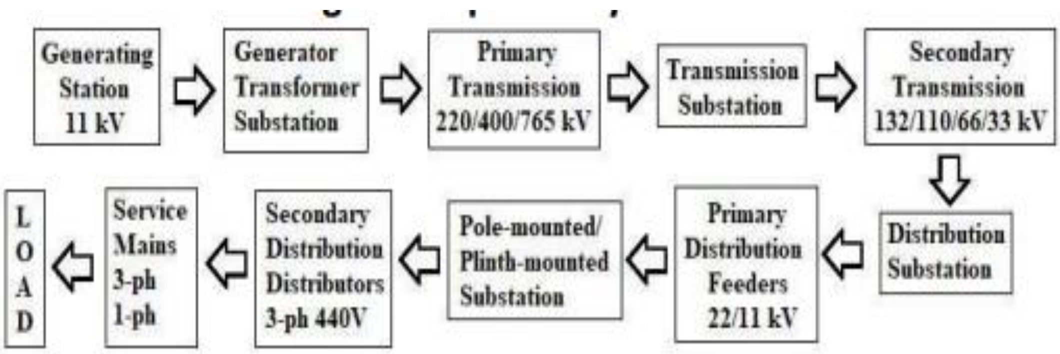
पॉवर इंजिनीअरिंगमध्ये, सिंगल-लाइन डायग्राम (SLD) हे तीन-टप्प्यावरील पॉवर सिस्टमचे रिप्रेझेंटेशन करण्यासाठी एक सिम्पलीफाईड नोटेशन आहे. सर्किट ब्रेकर्स, ट्रान्सफॉर्मर्स, कॅपेसिटर, बस बार आणि कंडक्टर यांसारखे इलेक्ट्रिक कॉम्पोनन्ट प्रमाणित योजनाबद्ध चिन्हांद्वारे दाखवले जातात.

इलेक्ट्रिक पॉवर सिस्टमचा सिंगल लाइन डायग्राम आकृती 3.1 दाखवत आहे.



आकृती 3.1 इलेक्ट्रिक पॉवर सिस्टमचा सिंगल लाइन डायग्राम

आकृती 3.2 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे हे सिंगल लाइन डायग्राम एका साध्या ब्लॉक डायग्रामद्वारे दर्शवले जाऊ शकते जे विद्युत ऊर्जेच्या जनरेशनपासून डिस्ट्रिब्युशनपर्यंत आहे.



आकृती 3.2 इलेक्ट्रिक पॉवर सिस्टमची ब्लॉक डायग्राम

3.2 ट्रान्समिशन लाइन्सचे वर्गीकरण: प्रायमरी आणि सेकंडरी ट्रान्समिशन; भारतात वापरलेली स्टँडर्ड व्होल्टेज लेवल. (Classification of Transmission Lines: Primary and Secondary Transmission; Standard Voltage levels used in India)

3.2.1a जनरेटिंग स्टेशनपासून ग्राहकांच्या वापरापर्यंत वेगवेगळ्या टप्प्यांवर भारतात वापरलेले स्टँडर्ड व्होल्टेज लेवल

जनरेटिंग स्टेशनपासून ग्राहकांच्या वापरापर्यंत वेगवेगळ्या टप्प्यांवर भारतात वापरल्या जाणाऱ्या स्टँडर्ड व्होल्टेज लेव्हल्स खाली दिल्या आहेत:

1. जनरेशन व्होल्टेज : 3.3kV, 6.6kV, 11kV आणि 17.5 kV, 21kV

   (आता जनरेशन व्होल्टेज 11kV - 33kV च्या रेंजमध्ये आहे)
2. प्रायमरी ट्रान्समिशन व्होल्टेज :-220kV, 400kV, 765 kV (750 kV)
3. सेकंडरी ट्रान्समिशन व्होल्टेज :- 220 kV,132 kV, 110 kV, 66 kV
4. प्रायमरी डिस्ट्रिब्युशन व्होल्टेज :- 33 kV, 22kV, 11 kV आणि लांब पल्ल्याच्या लाइनसाठी 66kV
5. सेकंडरी डिस्ट्रिब्युशन व्होल्टेज: - 3-फेज 400 व्होल्ट, सिंगल फेज 230 व्होल्ट.

➢ **ट्रान्समिशन लाइनची आवश्यकता (Need of Transmission Line):**

- वीज एका योग्य ठिकाणी (जनरेटिंग स्टेशनवर) तयार केली जाते. सामान्यत: हे ठिकाण परिसर आणि लोड केंद्रांपासून दूर असते.
- त्यामुळे इलेक्ट्रिक एनर्जी जनरेटिंग स्टेशनपासून शहरांजवळ असलेल्या रिसीव्हिंग स्टेशनवर ट्रान्समिशन लाइन्स द्वारे न्यावी लागते.
- या लाइन्स प्रायमरी ट्रान्समिशन लाइन्स आणि हाय व्होल्टेजच्या सेकंडरी ट्रान्समिशन लाइन्स आहेत ज्या वीज जनरेटिंग स्टेशनपासून रिसीव्हिंग सबस्टेशन्सपर्यंत ट्रान्स्मिट करतात.
- हाय व्होल्टेज ट्रान्समिशन लाईन्समध्ये पॉवर लॉस कमी होतो आणि कमी व्होल्टेजच्या तुलनेत लहान आकाराच्या कंडक्टरची आवश्यकता असते.

3.2.1b ट्रान्समिशन लाइनचे वर्गीकरण (Classification of Transmission Line) :

1. व्होल्टेज लेवलनुसार: (According to Voltage Level)

- हाय व्होल्टेज ट्रान्समिशन लाइन (HV) 33 kV पर्यंत
- एक्स्ट्रा हाय व्होल्टेज ट्रान्समिशन लाइन (EHV) 33 kV वरील आणि 400 kV पर्यंत
- अल्ट्रा हाय व्होल्टेज ट्रान्समिशन लाइन (UHV) 400 kV वरील.

2. ट्रान्समिशन लाइनच्या लांबीनुसार: (According to the Length of a Transmission Line)

- शॉर्ट ट्रान्समिशन लाइन (Short Transmission Line) - (50 किमी पर्यंत)
- मिडीयम ट्रान्समिशन लाइन (Medium Transmission Line) - (50 ते 150 किमी पर्यंत)
- लॉन्ग ट्रान्समिशन लाइन (Long Transmission Line)- (150 किमी वरील)

3. व्होल्टेजच्या प्रकारानुसार (According to Type of Voltage)

- AC ट्रान्समिशन
- DC ट्रान्समिशन

4. कन्स्ट्रक्शन पद्धतीनुसार (According to method of Construction)

- ओव्हरहेड ट्रान्समिशन (Overhead Transmission)
- अंडरग्राउंड ट्रान्समिशन (Underground Transmission)

3.2.2 प्रायमरी ट्रान्समिशनची सेकंडरी ट्रान्समिशन सह तुलना करा.

क्र.	प्रायमरी ट्रान्समिशन	सेकंडरी ट्रान्समिशन
1	प्रायमरी ट्रान्समिशन व्होल्टेज लेवल 220kV / 400kV / 765kV आहे.	सेकंडरी ट्रान्समिशन व्होल्टेज लेवल 132kV / 110kV / 66kV / 33kV आहे.
2	व्होल्टेज लेवल वाढवली जाते.	व्होल्टेज लेवल कमी केली जाते.
3	हे जनरेटिंग स्टेशन आणि प्रायमरी सबस्टेशन यांच्यातील दुवा आहे.	हे प्रायमरी सबस्टेशन आणि रिसीव्हिंग सबस्टेशन यांच्यातील दुवा आहे.
4.	याचा लोडिंग पॉइंट जनरेटिंग स्टेशनवर आहे.	याचा लोडिंग पॉइंट प्रायमरी सबस्टेशनवर आहे.
5	टॉवरची उंची सेकंडरी ट्रान्समिशन पेक्षा जास्त आहे.	टॉवरची उंची प्रायमरी ट्रान्समिशनपेक्षा कमी आहे.
6	मोठ्या प्रमाणात इलेक्ट्रिक पॉवर ट्रान्सफर केली	सेकंडरी ट्रान्समिशन पेक्षा तुलनेने कमी प्रमाणात

क्र.	प्रायमरी ट्रान्समिशन	सेकंडरी ट्रान्समिशन
	जाते.	इलेक्ट्रिक पॉवर ट्रान्सफर केली जाते.
7	हे लोड केंद्रांपासून दूर आहे.	हे प्रायमरी ट्रान्समिशनच्या तुलनेत लोड केंद्रांच्या जवळ आहे.
8	पॉवर हाताळण्याची क्षमता (capacity) सेकंडरी ट्रान्समिशन पेक्षा जास्त आहे.	पॉवर हाताळण्याची क्षमता प्रायमरी ट्रान्समिशनपेक्षा कमी आहे.
9	ग्रिड तयार होतो.	ग्रिड तयार होत नाही.

3.2.3 ओव्हरहेड आणि अंडरग्राउंड ट्रान्समिशन सिस्टमची तुलना करा

क्र.	पॅरामीटर्स	ओव्हरहेड	अंडरग्राउंड
1	कॅपिटल कॉस्ट (Capital Cost)	कमी	अधिक
2	इरेक्शन कॉस्ट (Erecting Cost)	कमी	अधिक
3	काम पूर्ण करण्यासाठी लागणारा वेळ	कमी	अधिक
4	फ्लेक्सिबिलिटी (Flexibility)	अधिक	नाही
5	भविष्यातील विस्तार (Future expansion)	सिस्टम व्होल्टेज सहज वाढवता येते	सिस्टम व्होल्टेज सहजपणे वाढवता येत नाही.
6	ओव्हरलोड क्षमता (Overload Capacity)	अधिक	कमी
7	दोष शोधणे (Fault Finding)	सोपे	अवघड
8	दोष होण्याची शक्यता (Chances of Fault)	अधिक	कमी
9	अपघाताची शक्यता (Chances of Accident)	अधिक	शक्यच नाही
10	सुरक्षितता (Safety)	कमी	अधिक

क्र.	पॅरामीटर्स	ओव्हरहेड	अंडरग्राउंड
11	देखभाल (Maintenance)	वारंवार (अधिक)	वारंवार नाही (कमी)
12	देखभाल खर्च (Cost of Maintenance)	कमी	अधिक
13	रेडिओ हस्तक्षेप (Radio interference)	अधिक	नाही
14	जीवन (Life)	कमी	अधिक
15	अपिअरइन्स (Appearance)	वाईट	चांगले
16	वातावरणाचा प्रभाव (Atomospheric effect)	अधिक	नाही
17	विश्‍वसनीयता (Reliability)	कमी	अधिक

3.2.4 ट्रान्समिशनच्या इतर सिस्टम

- **DC सिस्टम**

1. डीसी टू वायर (DC Two wire)
2. डीसी टू वायर मिड पॉईंट अर्थ असलेली (DC Two wire mid point earthed)
3. डीसी थ्री वायर (DC Three wire)

- **AC सिस्टम**

1. सिंगल फेज एसी टू वायर सिस्टम (Single Phase AC 2 wire System)
2. सिंगल फेज एसी टू वायर सिस्टम मिड-पॉइंट अर्थ असलेली (Single Phase AC 2 wire System with mid-point earthed)
3. टू फेज एसी फोर वायर सिस्टम (Two Phase AC 4 wire system)
4. टू फेज एसी थ्री वायर सिस्टम (Two Phase AC 3 wire system)
5. थ्री फेज एसी थ्री वायर सिस्टम (Three Phase AC 3 wire system)
6. थ्री फेज एसी फोर वायर सिस्टम Three Phase AC 4 Wire system)

एसी ट्रान्समिशनचे फायदे आणि तोटे (Advantages and Disadvantages of AC Transmission):

- **फायदे (Advantages)**

1. डीसी व्होल्टेजच्या तुलनेत एसी मध्ये हाय व्होल्टेज तयार केले जाऊ शकते.
2. आवश्यकतेनुसार व्होल्टेज लेवल सहजपणे कमी / जास्त करता येते.
3. डीसीच्या तुलनेत एसीची देखभाल करणे सोपे आणि स्वस्त आहे.
4. एसी सबस्टेशन डीसी पेक्षा अधिक एफिशियंट (efficient) आहेत. **तोटे (Disadvantages)**

1. ट्रान्समिशन लाइनच्या एफिशिएन्सीवर (efficiency) इंडक्टन्स, कॅपेसिटन्स इफेक्ट्स परिणाम करतात.
2. डीसीच्या तुलनेत एसी साठी अधिक कंडकटिंग मटेरिअल आवश्यक आहे.
3. एसी सिस्टममध्ये स्किन इफेक्ट आणि प्रॉक्झीमिटी इफेक्ट प्रेझेंट असतो.
4. कोरोना इफेक्ट (Corona effect) डीसी पेक्षा एसी मध्ये जास्त असतो.
5. एसी ट्रान्समिशन सिस्टीमचे कन्स्ट्रक्शन (construction) क्लिष्ट आहे.

3.2.5 डीसी ट्रान्समिशनचे फायदे आणि तोटे (Advantages And Disadvantages of DC transmission)

- **फायदे (Advantages) :**

1. डीसी सिस्टमला फक्त दोन कंडक्टर आवश्यक आहेत तर एसी सिस्टमला तीन कंडक्टर आवश्यक आहेत.
2. डीसी सिस्टममध्ये इंडक्टन्स, कॅपेसिटन्स, सर्ज (Surge) समस्या नाहीत.
3. डीसी सिस्टममध्ये व्होल्टेज ड्रॉप कमी होतो, त्यामुळे व्होल्टेजचे रेगुलेशन (regulation) चांगले होते.
4. डीसी सिस्टममध्ये स्किन इफेक्ट नाही, म्हणून कंडक्टरचा संपूर्ण एरिया (area) वापरला जातो.
5. डीसी सिस्टममध्ये कमी इन्सुलेशन असते.
6. डीसी सिस्टममध्ये अंडरग्राउंड केबलचा आर्थिक (economical) वापर शक्य आहे.

- **तोटे (Disadvantages) :**

1. कम्युटेशनच्या समस्यांमुळे हाय व्होल्टेज D.C. निर्माण करता येत नाही.
2. डीसी व्होल्टेज कमी-जास्त करणे ही एक गुंतागुंतीची (complicated) प्रक्रिया आहे आणि शक्य नाही.
3. डीसी सिस्टममध्ये खर्च जास्त आहे.
4. डीसी सिस्टममध्ये स्विचेस आणि सर्किट ब्रेकर्सना मर्यादा आहेत.

3.2.6 हाय व्होल्टेज एसी (HVAC) ट्रान्समिशनची वैशिष्ट्ये किंवा फायदे (Features or Advantages of HVAC Transmission)

फायदे (Advantages):

आपल्याला माहित आहे की,

$$P = \sqrt{3}\, V_L I_L COS\phi$$

या समीकरणावरून, हे स्पष्ट होते की पॉवर फॅक्टर आणि ट्रान्समिशन लाइनचे अंतर तेच ठेवून सेम पॉवर ट्रान्सफर करण्यासाठी जर ट्रान्समिशन व्होल्टेज वाढवले तर..

हाय व्होल्टेज (HV) ट्रान्समिशनमुळे खालील फायदे होतात.

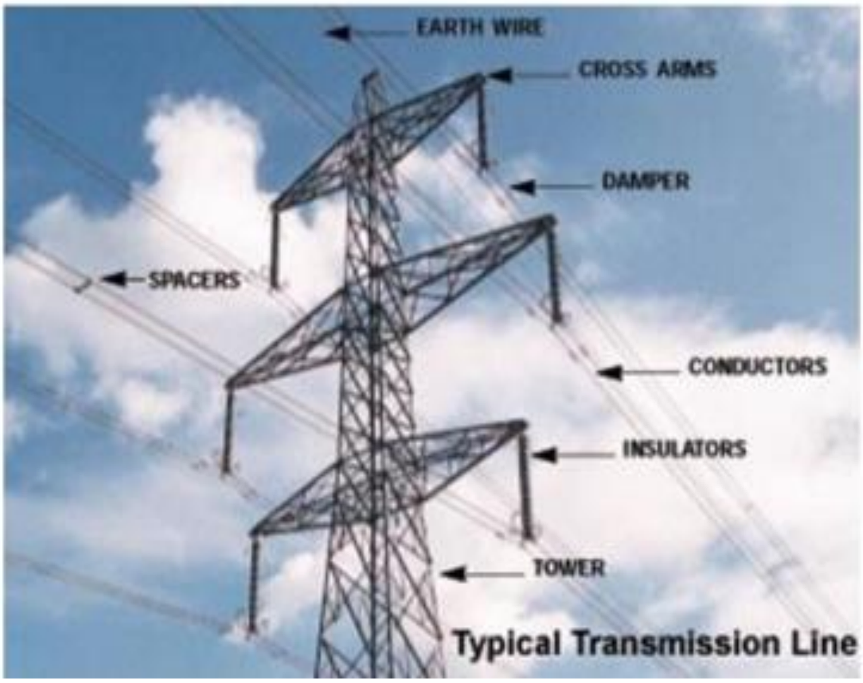
1. ट्रान्समिशन व्होल्टेज जसजसे वाढते, करंट (current) कमी होतो.
2. करंट कमी झाल्यामुळे, कंडक्टरचा क्रॉस सेक्शन कमी होतो. कंडक्टरचा क्रॉस सेक्शन कमी झाल्यामुळे त्याचे वजन कमी होते.
3. कंडक्टरचे वजन कमी झाल्यामुळे टॉवर वजनाने हलके होते.
4. करंट (current) कमी झाल्यामुळे, बस बारचा क्रॉस सेक्शन आणि स्विचगियर कॉन्टॅक्ट इत्यादींची साईज कमी होते.
5. वरील फायद्यांमुळे, प्रति किमी ट्रान्समिशनचा खर्च कमी होतो.
6. जसजसे ट्रान्समिशन व्होल्टेज वाढते, करंट (current) कमी होतो, त्यामुळे ट्रान्समिशन लाइनमधील कॉपर लॉस (Cu loss) कमी होतो कारण कॉपर लॉस ' I2 ' वर अवलंबून असतो. (I= करंट)
7. जसजसे कॉपर लॉस (Cu loss) कमी होतो तसतसे ट्रान्समिशन एफिशिएन्सी (efficiency) वाढते.
8. करंट (current) कमी झाल्यामुळे, ट्रान्समिशन लाइनमधील व्होल्टेज ड्रॉप कमी होतो. (व्होल्टेज ड्रॉप = IR, IX)
9. जसे ट्रान्समिशनमधील व्होल्टेज ड्रॉप कमी होतो, व्होल्टेजचे रेगुलेशन (Voltage Regulation) सुधारते.
10. ट्रान्समिशन लाईन्सची एफिशिएन्सी (Efficiency) आणि रेगुलेशन (Regulation) जसजसे सुधारते, तसतसे ट्रान्समिशन लाईन्सची परफॉर्मन्स (Performance) वाढतो.
11. ट्रान्समिशन व्होल्टेज वाढल्याने ट्रान्समिशन लाइनची पॉवर हाताळणी क्षमता (handling capacity) V2 च्या प्रमाणात वाढते.
12. लो व्होल्टेजपेक्षा हाय व्होल्टेज ट्रान्समिशन लाइन्समुळे, ट्रान्समिशन लाईन्सचे यशस्वी इंटरकनेक्शन शक्य आहे.
13. जनरेटिंग स्टेशन्स साधारणपणे लोड सेंटरपासून दूर असतात. म्हणून, मोठ्या प्रमाणात वीज लांब अंतरावर ट्रान्स्मिट करण्यासाठी हाय वोल्टेज एसी (HVAC) ट्रान्समिशन लाइन्स आवश्यक असतात. म्हणून HVAC ट्रान्समिशनचा अवलंब केला जातो.

3.3 ट्रान्समिशन लाइनचे कॉम्पोनन्ट्स Transmission Line Components:

Types of Line supports, Line Insulators and Overhead/ Underground Conductors with their function

3.3.1 ट्रान्समिशन लाईन्स आणि त्यांच्या कार्यासाठी आवश्यक असलेले मुख्य कॉम्पोनन्ट्स (Transmission line Components)

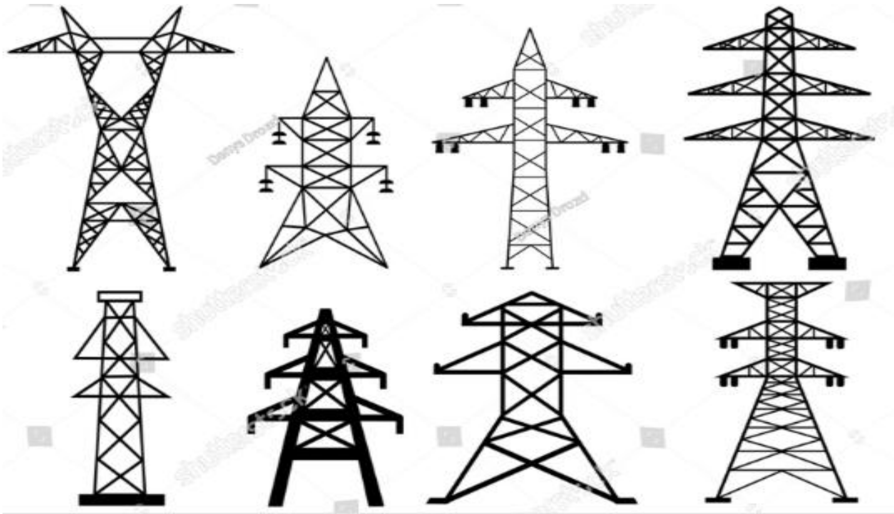
1. **लाइन कंडक्टर (Line Conductor)**: कंडक्टरचा उपयोग इलेक्ट्रिक एनर्जी (Electrical Energy) स्टेशन्समधून लाइन्सच्या सेंडिंग एन्डपासून ते रिसीव्हिंग एन्डपर्यंत वाहून नेण्यासाटी केला जातो. त्यासाठी ॲल्युमिनियम कंडक्टर स्टील रिइन्फोर्सड (A.C.S.R.) हे पुरेसे मजबूत कंडक्टर वापरले जातात आणि त्यांना खांबावर (pole) आधार दिला जातो.



आकृती 3.3 ट्रान्समिशन लाईन्सचे मुख्य कॉम्पोनन्ट्स

आकृती 3.4 लाइन कंडक्टर (Line Conductor)

2. लाइन सपोर्ट (Pole): हे ओव्हरहेड कंडक्टरच्या सपोर्टसाठी आवश्यक आहेत. हे असामान्य परिस्थितीत (वारा, पाऊस, बर्फ) लाइन्सचे वजन जमिनीपासून सुरक्षित अंतरावर वाहून नेण्यासाटी पुरेसे मजबूत असले पाहिजेत. हे लाकडी पोल, स्टील पोल, स्टील टॉवर्स असतात.



आकृती 3.5 लाइन सपोर्ट (Line Support)

3. इन्सुलेटर (Insulator): हे क्रॉस-आर्म्सवर फिक्स्ड केले जातात. ज्यांचे कार्य (function) कंडक्टरला बांधणे आहे म्हणजे आधार देणे, इन्सुलेटरचे प्रकार पिन, शॅकल, सस्पेंशन, स्ट्रेन, स्टे इ.

आकृती 3.6 लाइन इन्सुलेटर

4. क्रॉस आर्म्स (Cross Arms) : हे खांबांवर (Pole) फिक्स्ड केले जातात आणि इन्सुलेटर क्रॉस-आर्म्सवर फिक्स्ड असतात. क्रॉस आर्म्स लोखंडी/स्टीलचे असतात.

आकृती 3.7 क्रॉस आर्म्स

5. इतर कॉम्पोनन्ट्स (Other Components) : डेंजर प्लेट, गार्ड वायर, लाइटनिंग अरेस्टर्स(Lightening Arrester), अँटी क्लाइंबिंग वायर (Anti-Climbing Wire), स्टे वायर(Stay Wire), फ्यूज युनिट्स, जंपर (Jumper) इ.

3.3.2 लाइन सपोर्टचे (Pole) प्रकार (Types of Line Supports):

1. लाकडी खांब (Wooden Pole)
2. स्टीलचे खांब (Steel Pole)
3. आरसीसी खांब (RCC Pole)
4. स्टील टॉवर्स (Steel Towers)

3.3.3 लाइन इन्सुलेटरचे प्रकार (Types of Line Insulators):

1. पिन इन्सुलेटर (Pin Insulator)
2. सस्पेंशन इन्सुलेटर (suspension Insulator)
3. स्ट्रेन इन्सुलेटर(Strain Insulator)
4. शॅकल इन्सुलेटर (Shackle Insulator)
5. स्टे इन्सुलेटर (Stay Insulator)

3.3.4 लाइन कंडक्टरचे प्रकार (Types of Line Conductors) :

1. AAC : ऑल ॲल्युमिनियम कंडक्टर (All Aluminium Conductor)
2. AAAC : ऑल ॲल्युमिनियम अलॉय कंडक्टर (All Aluminium Alloy Conductor)
3. ACSR :ॲल्युमिनियम कंडक्टर स्टील रिइन्फोर्सड (Aluminum Conductor Steel Reinforeced)
4. ACAR :ॲल्युमिनियम कंडक्टर अलॉय रिइन्फोर्सड (Alunminium Conductor Alloy Reinforced)
5. कॉपर कंडक्टर (Copper Conductor)
6. ॲल्युमिनियम कंडक्टर (Aluminium Conductor)
7. CCC: कॅडमियम कॉपर कंडक्टर (Cadmium Copper Conductor)
8. GSC: गॅल्वनाइज्ड स्टील कंडक्टर (Galvanised Steel Conductor)

3.4 इलेक्ट्रिक सप्लाय ट्रान्समिशन सिस्टमच्या कन्स्ट्रक्शनची पद्धत – 110 kV, 220 kV, 400 kV Method of Construction of Electric Supply Transmission System – 110 kV, 220 kV, 400 kV

- बल्क पॉवर ट्रान्समिशन आणि डिस्ट्रिब्युशनसाठी ओव्हरहेड एचव्ही (HV), ईएचव्ही (EHV) आणि डिस्ट्रिब्युशन लाईन्स आवश्यक आहेत. त्यामुळे विश्वासार्हता (Reliability) आणि खर्चाच्या (Cost) दृष्टीने अशा लाईन्सचे कन्स्ट्रक्शन (Construction) करणे अत्यंत महत्त्वाचे आहे.

- ओव्हरहेड लाइनचे मुख्य कॉम्पोनन्ट्स (Component) पोल, इन्सुलेटर, क्रॉस-आर्म्स, टॉवर आणि संबंधित कॉम्पोनन्ट्स (related components) जसे इन्सुलेटर बाइंडिंग, पोल इरेक्शन इ. आहेत.
- सर्व्हेच्या कामांचा अभ्यास (The study of survey works) जसे नद्या ओलांडणे, रेल्वे मार्ग, रस्ते, इतर मार्ग आणि कन्स्ट्रक्शनच्या कामाचे नियोजन; वाहतूक, कर्मचारी, साधने (Tools) आणि झाडे इ. करणे अत्यंत महत्त्वाचे आहे

➢ **सर्व्हेची कामे (Survey Works):**

लाईन्स कन्स्ट्रक्ट करण्यापूर्वी (construction of the lines) अत्यंत महत्त्वाचे काम:

1. ज्या मार्गावर लाईन्स धावणार आहेत (Route of the lines) ते मार्ग निश्चित केले जातात आणि ड्रॉईंग शीटवर नियोजित (planned) केले जातात.
2. सर्व्हेचे काम (Survey) अचूकपणे आणि स्वतंत्रपणे पार पाडले जावे. कोणत्याही त्रुटी आणि चुका सहन केल्या जाणार नाहीत. ऑफिस वर्क उत्तरोत्तर (progressively) केले पाहिजे. भविष्यातील गैरसोय आणि खर्च टाळण्यासाठी हे आवश्यक आहे.
3. वेळ, श्रम आणि खर्च वाचवण्यासाठी प्रस्तावित मार्ग (the proposed route) शक्यतो छोटा असावा.
4. निवडीनंतर, नकाशावर स्केलने मार्ग प्लॉट करा.
5. पुढील पायरी "वॉक ओव्हर सर्व्हे" साठी आहे. या सर्व्हेचा (Survey) उद्देश परिसराची टोपोग्राफी (Topography) जाणून घेणे हा आहे. प्रस्तावित मार्गात (the proposed route) अडथळे येण्याची शक्यता आहे.
6. त्यापुढील पायरी म्हणजे तपशीलवार सर्व्हेचे (detailed survey) काम जे आवश्यक मटेरियलचे प्रमाण ठरवेल.

➢ **खालील गोष्टींचे पालन केल्याने खर्च वाढतो त्यामुळे शक्य असल्यास टाळा. (Following things increases the cost so if possible avoid)**

- स्ट्रेट लाइनपासून जास्त डेव्हिएशन (Excessive deviations)
- रॉक ब्लास्टिंग
- विशेष फाऊंडेशनची आवश्यकता - जसे पाणचट क्षेत्रात (in watery area, i.e swamp, peat etc) म्हणजे दलदल, कुजून रुपांतर झालेले वनस्पतिजन्य पदार्थ (सरपणासाठी याचा वापर होतो) इ.
- प्रस्तावित लाइनच्या मार्गात अवघड ऍक्सेस (difficult access)
- शक्य असल्यास विहिरी, उतार, पूल, पाणी साचलेली जागा, सखल भाग, वृक्षाच्छादित क्षेत्र, स्फोटक ठिकाणे, टेलिफोन लाइन, रेल्वे मार्ग क्रॉसिंग, नदी क्रॉसिंग इत्यादी टाळा. लाइनच्या कन्स्ट्रक्शनसाठी (construction) मटेरियलची सोय करताना रस्त्याच्या कडेला असलेल्या लाइनचे मार्ग निवडणे फायदेशीर आहे. HT लाईन्स 110 kV, 220 kV, 400 kV यासाठी

  I. प्रायमरी वॉक ओव्हर सर्व्हे (Primary Walk over survey) आणि नंतर
  II. तपशीलवार सर्व्हे (Detailed survey) केले जाते.

➢ **विचारात घेतलेले मुद्दे (Points considered):**

- कन्स्ट्रक्शनच्या कामासाठी , मटेरियलची वाहतूक (Transportation) रस्त्याच्या कडेला असावी.
- अँगल पोलची (Angle Pole) संख्या कमी असावी.
- IE नियमांनुसार क्रॉसिंगवर गार्डस आणि पुरेसा क्लीअरन्स (guards and adequate clearance) प्रदान करा.
- रूळ ओलांडताना रस्ते, रेल्वे रुळ, नदी, टेलिफोन लाइन इत्यादी काटकोनात (right angle) छेदण्यासाठीच्या (intersection) स्थितीत ठेवा.
- हाय वे (highways) आणि रेल्वे क्रॉसिंग टाळा.
- नदी ओलांडण्यासाठी- उच्च पूर पातळीची (high flood levels) आकडेवारी गोळा (data collection) करा.
- रेल्वे क्रॉसिंगच्या परिस्थितीसाठी रेल्वे अधिकाऱ्यांचा सल्ला घ्या, अनुपलब्ध परिस्थितीत क्रॉसिंग 900 ठेवा. 30% पर्यंत डेव्हिएशनची (deviation) परवानगी दिली जाऊ शकते.
- गार्ड वायर(guard wire) 6 SWG पेक्षा कमी नसाव्यात.
- गाय वायर (guy wire) 7/11 SWG पेक्षा कमी नसाव्यात.

3.5 ट्रान्समिशन लाइन पॅरामीटर्स : आर, एल आणि सी आणि लाईन्सचे प्रकार

Transmission Line Parameters: R, L and C and types of lines.

ट्रान्समिशन लाइनचा परफॉर्मन्स (Performance) त्याच्या इलेक्ट्रिक पॅरामीटर्सवर (Electric Parameters) आधारित आहे जसे की रेझिस्टन्स, इंडक्टन्स आणि कॅपेसिटन्स. आपल्याला माहित आहे की ट्रान्समिशन लाइनचा उपयोग एका टोकापासून दुसऱ्या टोकापर्यंत किंवा एका नोडपासून दुसऱ्या नोडपर्यंत इलेक्ट्रिक एनर्जी (Electric Energy) पोहोचवण्यासाठी केला जातो, पॉवर फ्लोचा मार्ग म्हणजे ट्रान्समिशन लाइन एका विशिष्ट पॅटर्नमध्ये त्याच्या पॅरामीटर्सशी जोडलेली इलेक्ट्रिकल सर्किट म्हणून दर्शविली जाऊ शकते. ट्रान्समिशन लाइनमध्ये पॉवर वाहून नेणाऱ्या कंडक्टरचा समावेश असल्याने, या कंडक्टरचा रेझिस्टन्स, इंडक्टन्स आणि कॅपॅसिटन्स यांची गणना (calculation) करणे आवश्यक आहे.

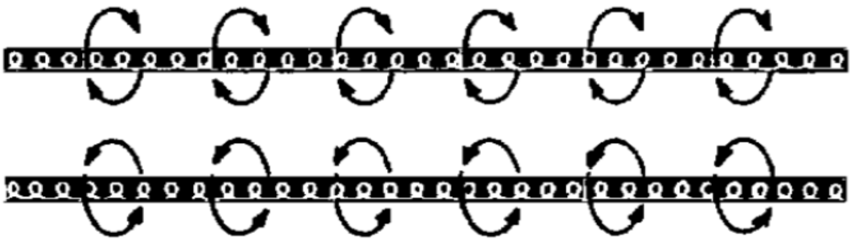
3.5.1 ट्रान्समिशन लाइनचे लाइन पॅरामीटर्स (Parameters of Transmission Lines):

ट्रान्समिशन लाइनचे रेझिस्टन्स (Resistance), इंडक्टन्स (Inductance), कॅपॅसिटन्स (Capacitance) आणि कंडक्टन्स (conductane) हे लाइन पॅरामीटर्स आहेत.

1. **रेझिस्टन्स (Resistance, R)** हे ट्रान्समिशन लाइनच्या प्रति युनिट लांबीचे (per unit length) लूप रेझिस्टन्स (loop resistance) म्हणून परिभाषित केले आहे. त्याचे एकक ओहम्स/किमी आहे.
2. **इंडक्टन्स (Inductance, L)** हे ट्रान्समिशन लाइनच्या प्रति युनिट लांबीच्या (per unit length) लूप इंडक्टन्स (loop inductance) म्हणून परिभाषित केले आहे. त्याचे एकक हेन्रीज/किमी (Henrys/km) आहे.
3. **कॅपेसिटन्स (Capacitance, C)** हे दोन ट्रान्समिशन लाईन्समधील प्रति युनिट लांबी (per unit length) शंट कॅपेसिटन्स (shunt capacitance) म्हणून परिभाषित केले आहे. त्याचे एकक फॅराड/किमी (Farad/km)आहे.
4. **कंडक्टन्स (Conductane, G)** हे दोन ट्रान्समिशन लाईन्समधील प्रति युनिट लांबीचे (per unit length) शंट कंडक्टन्स (shunt conductance) म्हणून परिभाषित केले आहे. त्याचे एकक म्हो/किमी आहे. .

3.5.2 ट्रान्समिशन लाइनचे इंडक्टन्स, L (Inductance of Transmission Line):

ते करंटमध्ये होणाऱ्या बदलाला विरोध करते. ते DC मध्ये अनुपस्थित (absent) आहे परंतु AC मध्ये प्रमुख (prominant) आहे. जेव्हा वायरमधून करंट (current) वाहतो तेव्हा तिच्याभोवती बलाच्या मॅग्नेटिक रेषा (magnetic lines of force) तयार होतात. जसजसे करंटचे अँप्लिटयूड वाढते आणि कमी होते, तसतसे वायरच्या सभोवतालचे मॅग्नेटिक क्षेत्र (magnetic field) विस्तृत होते आणि त्यानुसार कोसळते (collapses). मॅग्नेटिक रेषेमुळे (magnetic lines) निर्माण होणारी उर्जा (encergy) वायरमध्ये परत कोसळून करंट (current) त्याच दिशेने चालू ठेवते. हे विशिष्ट प्रमाणात इंडक्टन्स रिप्रेझेन्ट करते, जे प्रति युनिट लांबी (per unit length) मायक्रोहेनरीमध्ये (micro-Henry) व्यक्त केले जाते. आकृती 3.8 ट्रान्समिशन लाइनचे इंडक्टन्स आणि मॅग्नेटिक क्षेत्र (Magnetic Field) दर्शवते.



आकृती 3.8 ट्रान्समिशन लाइनचे इंडक्टन्स आणि मॅग्नेटिक क्षेत्र (magnetic field)

3.5.3 ट्रान्समिशन लाइन कॅपेसिटन्स, C (Capacitance of the Transmission Line):

आकृती 3.9 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे ट्रान्समिशन लाइन वायर्समध्ये कॅपेसिटन्स देखील अस्तित्वात आहे. लक्षात घ्या की दोन समांतर वायर्स (two parallel wires) कॅपेसिटरच्या प्लेट्स म्हणून काम करतात आणि त्यांच्यामधील हवा डायलेक्ट्रिक म्हणून कार्य करते. वायर्समधील कॅपेसिटन्स सामान्यतः पिकोफॅरॅड्स प्रति युनिट लांबीमध्ये (Picco-Farad per unit length) व्यक्त केला जातो. वायर्समधील हे इलेक्ट्रिक फील्ड कॅपेसिटरच्या दोन प्लेट्समध्ये असलेल्या फील्डसारखेच आहे.

आकृती 3.9 ट्रान्समिशन लाइन कॅपेसिटन्स (capacitance)

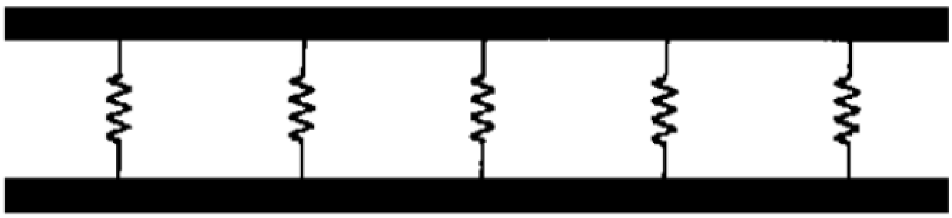
3.5.4 ट्रान्समिशन लाइनचा रेझिस्टन्स ,R (Resistance of Transmission Line):

आकृती 3.10 मध्ये दर्शविलेल्या ट्रान्समिशन लाइनमध्ये तिच्या लांबीसह (Length) इलेक्ट्रिक रेझिस्टन्स (Electric Resistance) आहे. हा कंडक्टरचा गुणधर्म आहे जो करंटला विरोध करतो. हा रेझिस्टन्स सामान्यत: प्रति युनिट लांबी ओहममध्ये (Ohms per unit length) व्यक्त केला जातो आणि लाइनच्या एका टोकापासून दुसऱ्या टोकापर्यंत सतत दर्शविला जातो.

आकृती 3.10 इलेक्ट्रिक रेझिस्टन्स (Electric Resistance)

3.5.5 ट्रान्समिशन लाइनमधील कंडक्टन्स (G) (Conductance of Transmission Line):

कोणताही डायलेक्ट्रिक, अगदी हवा देखील परिपूर्ण इन्सुलेटर (Perfect Insulator) नसल्यामुळे, दोन वायर्समध्ये (wires) वाहणारा एक छोटा करंट (Small Current) हा लिकेज करंट (leakage current) म्हणून ओळखला जातो. ज्यामुळे करंट (Currrent) दोन वायर्समधून जाऊ शकतो. आकृती 3.11 हा लिकेज पाथ (leakage path) म्हणजे दोन लाइन्समध्ये समांतर जोडलेले रेझिस्टर म्हणून दाखवतो. या गुणधर्माला कंडक्टन्स (G) म्हणतात आणि ते रेझिस्टन्सच्या (Resistance) विरुद्ध आहे. ट्रान्समिशन लाईन्समधील कंडक्टन्स हे रेसिप्रोकल ऑफ रेझिस्टन्स (Reciprocal of Resistance) म्हणून व्यक्त केले जाते आणि सामान्यत: प्रति युनिट लांबी मायक्रोम्हो (micrmho per unit length) मध्ये दिले जाते. आकृती 3.11—ट्रान्समिशन लाइनमधील कंडक्टन्स.



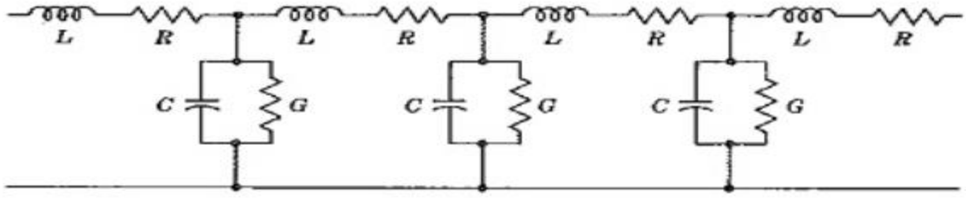
आकृती 3.11—ट्रान्समिशन लाइनमधील कंडक्टन्स

ट्रान्समिशन लाइनची डिझाईन चार इलेक्ट्रिकल पॅरामीटर्सवर अवलंबून असते (Design of a transmission line depends on four electrical parameters):

1. सिरीज रेझिस्टन्स (Series Resistance)
2. सिरीज इंडक्टन्स(Series Inuctance)
3. शंट कॅपेसिटन्स (Shunt Capacitance)
4. शंट कंडक्टन्स (Shunt Conductance)

सिरीज रेझिस्टन्स मूलतः दिलेल्या तापमानात कंडक्टरच्या फिझिकल कंपोझिशनवर (physical composition) अवलंबून असते. सिरीज इंडक्टन्स आणि शंट कॅपेसिटन्स कंडक्टरच्या आजूबाजूच्या मॅग्नेटिक (Magnetic) आणि इलेक्ट्रिक फील्डच्या (Electric Field) उपस्थितीमुळे तयार होतात आणि त्यांच्या जॉमेट्रिकल अरेंजमेंटवर (geometrical arrangement) अवलंबून असतात. शंट कंडक्टन्स हे इन्सुलेटर आणि हवेतून वाहणाऱ्या लिकेज करंटमुळे (leakage current) होते. नॉमिनल करंटच्या (nominal current) तुलनेत लिकेज करंट खूपच लहान असल्याने, सामान्यतः त्याकडे दुर्लक्ष केले जाते आणि म्हणूनच, ट्रान्समिशन लाइन मॉडेलिंगसाठी शंट कंडक्टन्सचा विचार केला जात नाही.

3.5.6 ट्रान्समिशन लाइनचे इक्विव्हॅलेंट आकृती (Equivalent Diagram of a Transmission Line)



आकृती 3.12 ट्रान्समिशन लाइनची सामान्य इक्विव्हॅलेंट आकृती
(General Equivalent Diagram of a Transmission Line)

आर, एल, सी आणि जी हे लाइन पॅरामीटर्स (line parameters R, L, C and G) ट्रान्समिशन लाइनच्या संपूर्ण लांबीवर डिस्ट्रीबुट (distribute) केले जातात. म्हणून त्यांना डिस्ट्रिब्युशन पॅरामीटर्स (Distribution Parameters) म्हणतात. लाइन रेझिस्टन्समुळे लाइनमध्ये व्होल्टेज ड्रॉप (IR व्होल्ट्स) आणि पॉवर लॉस (I^2R loss), लाइन इंडक्टन्समुळे व्होल्टेज ड्रॉप (IX_L ड्रॉप) होतो, लाइन कॅपेसिटन्स "चार्जिंग करंट" नावाचा करंट (current) निर्माण करतो.

3.5.7 ट्रान्समिशन लाइनच्या परफॉर्मन्सवर (Performance) ट्रान्समिशन लाइन पॅरामीटर्सचा प्रभाव (Effect of Transmission Line Components on Perfomance of Transmission Line):

1. रेझिस्टन्समुळे (R), ट्रान्समिशन लाइनमध्ये व्होल्टेज ड्रॉप निर्माण होतो.
2. रेझिस्टन्स (R) मुळे, ट्रान्समिशन लाईन्समध्ये कॉपर लॉस निर्माण होतो.
3. इंडक्टन्स (L) मुळे ट्रान्समिशन लाइनमध्ये व्होल्टेज ड्रॉप होतो.
4. कॅपेसिटर (C) ट्रान्समिशन लाइनद्वारे चार्जिंग करंट निर्माण करतो. या चार्जिंग करंटमुळे ट्रान्समिशन लाइनमध्ये अतिरिक्त कॉपर लॉस आणि व्होल्टेज ड्रॉप होतो.
5. वरील कारणांमुळे, ट्रान्समिशन लाइनच्या एफिशिएन्सीवर (Effieciency) परिणाम होतो.
6. ट्रान्समिशन लाईन्सचे व्होल्टेज रेगुलेशन (Regulation) प्रभावित होते.
7. तसेच ट्रान्समिशन लाइनचा पॉवर फॅक्टर प्रभावित होतो.

3.6 परफॉर्मन्स ऑफ शॉर्ट लाइन : एफिशिएन्सी, रेगुलेशन आणि त्याचे डेरीवेशन, पॉवर फॅक्टरचा इफेक्ट, वेगवेगळ्या पॉवर फॅक्टरसाठी वेक्टर आकृती
(Performance of Short Line: Efficiency, Regulation and its derivation, Effect of Power Factor, Vector Diagram for different Power Factor)

3.6.1 ट्रान्समिशन लाइनचा परफॉर्मन्स: एफिशिएन्सी आणि व्होल्टेज रेगुलेशन (Performance of Transmission line: Efficiency and Voltage Regulation):

ट्रान्समिशन लाइनचा परफॉर्मन्स (performance) त्याची एफिशिएन्सी (efficiency) आणि व्होल्टेज रेगुलेशन (voltage regulation) द्वारे निर्धारित केला जातो. परफॉर्मन्स टर्ममध्ये सेंडिंग एंड व्होल्टेज, सेंडिंग एंड करंट, सेंडिंग एंड पॉवर फॅक्टर, लाईन्समधील पॉवर लॉस, ट्रान्समिशनची एफिशिएन्सी(Efficiency), स्टेडी कंडिशन (steady condition) आणि ट्रान्झिएंट कंडिशन (transient condition) दरम्यान पॉवर फ्लोचे रेगुलेशन(regulationn) आणि मर्यादा (limitation) यांचा समावेश होतो. परफॉर्मन्स गणना (Performance calculations) सिस्टम नियोजनात (planning) उपयुक्त आहे. ट्रान्समिशन लाइन पॅरामीटर्स (आर, एल आणि सी) ट्रान्समिशन लाइनच्या परफॉर्मन्सवर परिणाम करतात.

1. **व्होल्टेज रेगुलेशन (Voltage Regulation)-** व्होल्टेज रेगुलेशन म्हणजे रिसीव्हिंग एंड व्होल्टेजच्या पर्सेंटेज मध्ये व्यक्त केलेल्या ट्रान्समिशन लाइनमधील व्होल्टेज ड्रॉप.

- जेव्हा ट्रान्समिशन लाइनमधून करंट (current) वाहत असते, तेव्हा लाइनचा रेझिस्टन्स आणि इंडक्टन्स यांमुळे लाइनमध्ये व्होल्टेज ड्रॉप होतो.
- याचा परिणाम असा आहे की लाइनचे रिसीव्हिंग एंड व्होल्टेज (VR) हे सेंडिंग एंड व्होल्टेज (Vs) पेक्षा सामान्यतः कमी असते.
- लाइनमधील व्होल्टेज ड्रॉप (V_S -V_R) हा परसेन्टेज ऑफ रिसीव्हिंग एंड व्होल्टेज(V_R) म्हणून व्यक्त केला जातो आणि त्याला व्होल्टेज रेगुलेशन (voltage regulation) म्हणतात.
- ट्रान्समिशन लाइनच्या सेंडिंग एंडच्या आणि रिसीव्हिंग एंडच्या मधील व्होल्टेजच्या परिमाणातील बदल म्हणजे व्होल्टेज रेगुलेशन (voltage regulation). IE नियमांनुसार +/- 6% ही व्होल्टेज रेगुलेशनची (regulation) मर्यादा आहे

% Regulation = $\frac{\text{Sending End Voltage}-\text{Receiving End Voltage}}{\text{Receiving End Voltage}}$ *100

%Regulation= $\frac{\text{No lod Sending End Voltage}-\text{Full lod Receiving End Voltage}}{\text{Full lod Receiving End Voltage}}$ *100

% व्होल्टेज रेगुलेशन (Voltage Regulation) =$\frac{VS - VR}{VR}$ * 100 इथे,

V_S = सेंडिंग एंड व्होल्टेज किंवा रिसीव्हिंग एंड व्होल्टेज at नो लोड (V_{RNL})

V_R =रिसीव्हिंग एंड व्होल्टेज किंवा रिसीव्हिंग एंड व्होल्टेज with लोड (V_{RFL})

- आयडिअल ट्रान्समिशन लाइनमध्ये रेगुलेशन (voltage regulation) शून्य टक्के आहे.
- रेगुलेशन व्हॅल्यू (regulation value) कमी असेल तर ट्रान्समिशन लाइनचा परफॉर्मन्स चांगला.

➢ **ट्रान्समिशन लाईन्सची एफिशिएन्सी (Efficiency of Transmission Line) :**

ट्रान्समिशन लाइन्सची एफिशिएन्सी , आउटपुट पॉवर आणि इनपुट पॉवरचे गुणोत्तर म्हणून परिभाषित केली जाते.

$$\eta_T = \frac{\text{Receiving end power}}{\text{Sending end power}} \times 100$$
$$= \frac{V_R I_R \cos \phi_R}{V_S I_S \cos \phi_S} \times 100$$

$$\%\text{age Transmission efficiency} = \frac{\text{Power delivered}}{\text{Power sent out}} \times 100$$
$$= \frac{V_R I_R \cos\phi_R}{V_R I_R \cos\phi_R + I^2 R} \times 100$$

% ट्रान्समिशन एफिशिएन्सी (efficiency) = (P_R /P_S) * 100 किंवा
= [(P_S - Loss) / P_S] * 100
= [P_R / (P_R + Loss)] * 100

इथे, **P_R =रिसिव्हिंग एंड पॉवर**
P_S = सेंडिंग एंड पॉवर

- ट्रान्समिशन लाइनची एफिशिएन्सी (efficiency) जितकी जास्त तितका ट्रान्समिशन लाइनचा परफॉर्मन्स चांगला.
- आयडिअल ट्रान्समिशन लाइनमध्ये 100% एफिशिएन्सी (efficiency) असते म्हणजे शून्य तोटा (loss) जे व्यावहारिकदृष्ट्या (practically) शक्य नसते.

3.6.2 ट्रान्समिशन लाईन्सचे प्रकार (ट्रान्समिशन लाइनच्या लांबीनुसार) Types of transmission line according to length:

1. शॉर्ट ट्रान्समिशन लाइन – Short Transmission Line (50 किमी पर्यंत)
2. मिडीयम ट्रान्समिशन लाइन – Medium Transmission Line (50 ते 150 किमी पर्यंत)
3. लॉन्ग ट्रान्समिशन लाइन – Long Transmission Line (150 किमी वरील)

1. शॉर्ट ट्रान्समिशन लाइन (Short Transmission Line) - 50 किमी पर्यंत:

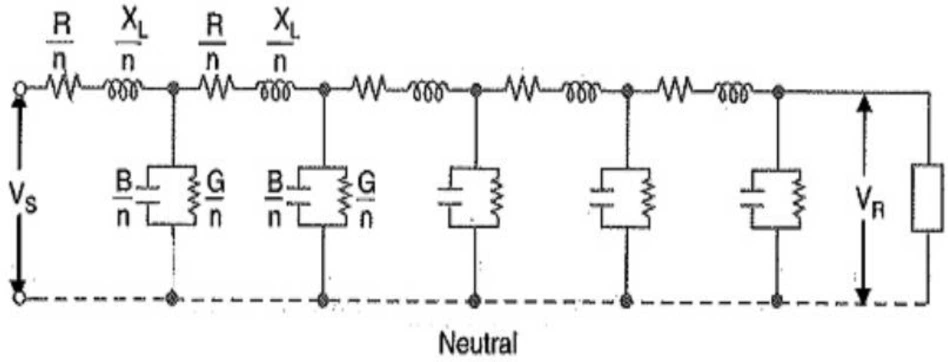
शॉर्ट ट्रान्समिशन लाइन म्हणजे जिची लांबी **5**0 किलोमीटरपेक्षा कमी असते, 20 kV पेक्षा कमी ऑपरेटिंग व्होल्टेज लेवल असते आणि शून्य कॅपॅसिटन्स प्रभाव (capcitance effect) असतो. शॉर्ट ट्रान्समिशन लाईन्समध्ये लाइन चार्जिंग करंट नगण्य असतो आणि म्हणून शंट कॅपेसिटन्सकडे दुर्लक्ष केले जाऊ शकते. या शॉर्ट ट्रान्समिशन लाइन्सची एफिशिएन्सी (Efficiency) रेझिस्टन्स आणि इंडक्शन इफेक्टवर अवलंबून असते.

2. मिडीयम ट्रान्समिशन लाइन (Medium Transmission Line) -50 ते 150 किमी पर्यंत

50 किमी पेक्षा जास्त परंतु 1**5**0 किमी पेक्षा कमी लांबीची आणि 20kV पेक्षाजास्त परंतु 100kV पेक्षा कमी व्होल्टेजवर चालणारी ट्रान्समिशन लाइन, मिडीयम (Medium) ट्रान्समिशन लाइन मानली जाते. पॅरामीटर्स (रेझिस्टन्स,इंडक्टन्स आणि कॅपेसिटन्स) लाइनवर युनिफॉर्मली डिस्ट्रीबुट (uniformly distributed) केले जातात. लाइनची लांबी आणि व्होल्टेज जसजसे वाढते तसतसे कॅपेसिटन्सचे महत्त्व हळूहळू जास्त होत जाते. मिडीयम (Medium) ट्रान्समिशन लाइनसाठी, चार्जिंग करंट महत्त्वाचा आहे. कॅपेसिटन्स लाइनच्या संपूर्ण लांबीवर युनिफॉर्मली डिस्ट्रीबुट (uniformly distributed) केले जातात. तथापि, कॅलकूलेशन (calculation) सोपे करण्यासाठी, लाइनचा कॅपेसिटन्स एका किंवा अधिक बिंदूंवर (point) कॅपेसिटरच्या रूपात केंद्रित (lumped or concentrated) केला आहे असे गृहीत धरले जाते. लाइन कॅपेसिटन्सचे स्थानिकीकरण (localised) करण्याच्या अशा पद्धतीमुळे योग्य परिणाम (result) मिळतात.

3. लॉन्ग ट्रान्समिशन लाइन (Long Transmission Line) - 150 किमी वरील (लॉन्ग ट्रान्समिशन लाइन)

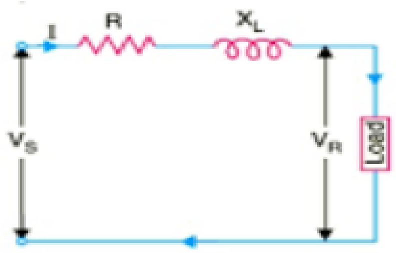
150Km पेक्षा जास्त लांबीच्या (length) आणि 100 kV पेक्षा जास्त व्होल्टेज असलेल्या लाईन्सला लाँग ट्रान्समिशन लाईन्स (Long Transmission Line) म्हणतात. लॉन्ग ट्रान्समिशन लाइनच्या एफिशिएन्सीच्या गणनेमध्ये (efficiency calculation) चांगली अचूकता (accuracy) मिळवण्यासाठी, लाइन कॉन्स्टन्ट लाइनच्या संपूर्ण लांबीमध्ये युनिफॉर्मली डिस्ट्रीबुट करतात असे मानले जाते. अशा लाईन्सच्या सोल्युशनसाठी कठोर गणिती (complex mathematics) उपचार आवश्यक आहेत.

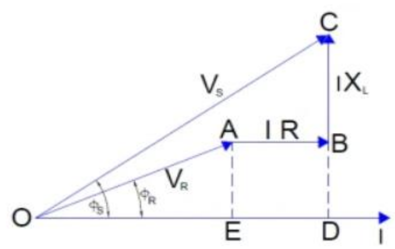


आकृती 3.13 लॉन्ग ट्रान्समिशन लाइनची इक्विव्हॅलेंट आकृती (Equivalent Diagram)

3.6.3. शॉर्ट ट्रान्समिशन लाइन - 50 किमी पर्यंत (शॉर्ट ट्रान्समिशन लाइन): इक्विव्हॅलेंट आकृती. फेजर आकृती एफिशिएन्सी, रेगुलेशन आणि त्याचे डेरीवेशन (Equivalent Diagram,Vector Diagram, Efficiency, Regulation and its derivation)

शॉर्ट ट्रान्समिशन लाइन मॉडेलमध्ये, फक्त एक फेज **(Single Phase)** दर्शविला जातो - सर्व पॅरामीटर्स प्रति फेज **(per Phase)** आहेत**.**





आकृती 3.14 (a) Equivalent Diagram **आकृती 3.14 (b) Phasor Diagram**

1. I_r = रिसिव्हिंग एंड करंट
2. R = प्रति फेज रेझिस्टन्स
3. L = प्रति फेज इंडक्टन्स
4. V_R = रिसीव्हिंग एंड व्होल्टेज

5. $COS\varnothing_R$ = रिसिव्हिंग एंड पॉवर फॅक्टर
6. V_S = सेंडिंग एंड व्होल्टेज
7. $COS\varnothing_s$ = सेंडिंग एंड पॉवर फॅक्टर

$$V_S = V_R + I_R (R + jX_L) \text{ and } I_S = I_R = I$$

त्यामुळे, $V_S = V_R + IR + IX_L$

रिसिव्हिंग एंड करंट I_R रेफरन्स फेजर (reference phasor) म्हणून घेऊन, शॉर्ट ट्रान्समिशन लाइनसाठी फेजर आकृती .---

- जर पॉवर फॅक्टरचे स्वरूप नमूद केले नसेल तर ते लॅगिंग आहे असे गृहीत धरावे लागेल लॅगिंग पॉवर फॅक्टर हा रेफरन्स फेजर (reference phasor) पासून घड्याळाच्या उलट दिशेने (anti-clockwise) असतो.
- फेजर V (OA) च्या टोकावर IR ड्रॉप काढा आणि ते I ला इन फेज असले पाहिजे, म्हणून 'I' phasor ला AB समांतर काढा.
- आता IX_L काढा, AB पासून BC. हा एक इंडक्टिव्ह ड्रॉप असल्याने, तो एक लिडिंग व्होल्टेज फेजर आहे.
- AC म्हणजे लाइनचा एकूण ड्रॉप (IZ).
- V_R मध्ये एक रीऍक्टिव्ह ड्रॉप जोडून V_S प्राप्त केले जाते.
- V_S आणि I मधला अँगल '$\varnothing s$ 'आहे.

फेजर आकृतीवरून,

काटकोन त्रिकोण ODC मध्ये, (in right angle triangle ODC)

$(OC^2) = (OD^2) + (DC^2)$

$(OC^2) = (OE + ED)^2 + (DB + BC)^2$

$(V)^2 = (V_R Cos\varnothing_R + IR)^2 + (V_R Sin\varnothing_R + IX_L)^2$

$(V_S)^2 = (V_R)^2 + (I_R)^2 (R^2 + X_L^2) + 2 I_R V_R R Cos\varnothing_R + 2 I_R V_R X_L Sin\varnothing_R$

$(V_S)^2 = (V_R)^2 [1 + (I_R/V_R)^2 (R^2 + X_L^2) + 2 (I_R/V_R) RCos\varnothing_R + 2 (I_R/V_R) X_L Sin\varnothing_R]$

$(V_S) = (V_R) [1 + (I_R/V_R)^2 (R^2 + X_L^2) + 2 (I_R/V_R) RCos\varnothing_R + 2 (I_R/V_R) X_L Sin\varnothing_R]^{1/2}$

या टर्मकडे दुर्लक्ष करा (IR/VR)2 (R2 + X2)

(VS) = (VR) [1 + 2(IR/VR) RCosØR + 2 (IR/VR) XL Sin Ø]½

Now apply Bionomial theorm ≫ $(1 + x)^{1/n} \sim (1 + x/n)$

$(V_S) = (V_R) [1 + (I_R/V_R) R Cos\varnothing_R + (I_R/V_R) X_L Sin\varnothing_R]$

$V_S = V_R + I_R R Cos\varnothing_R + I_R X_L Sin\varnothing_R$ **(This is for lagging loads only)**

$V_S = V_R + I_R R Cos\varnothing_R - I_R X_L Sin\varnothing R$ (**For Leading type Loads)**

$$\mathbf{V_S - V_R = I_R R Cos\varnothing_R \pm I_R X_L Sin\varnothing_R}$$

Voltage Regulation = [V_R (at No Load) – V_R (at Full Load)] / V_R (at Full Load)

% Voltage regulation = [(VS – VR) / VR] *100

= [IR R Cos $Ø_R$ ± IR X Sin $Ø_R$] / V_R

= Rp.u. Cos $Ø_R$ ± Xp.u. Sin $Ø_R$

- **शॉर्ट ट्रान्समिशन लाइनची एफिशिएन्सी (Efficiency):**

% Efficiency = (पॉवर आउटपुट) / (पॉवर इनपुट) * 100

% Efficiency = (V_R I_R Cos$Ø_R$) / (V_S I_S Cos$Ø_S$) * 100

% Efficiency = (V_R I_R Cos$Ø_R$) / (V_R I_R Cos$Ø_R$ + I^2R) * 100

3.6.4 पॉवर फॅक्टरचा प्रभाव आणि वेगवेगळ्या पॉवर फॅक्टरसाठी वेक्टर डायग्राम (Effect of Power Factor, Vector Diagram for different Power Factor).

पॉवर सिस्टमशी जोडलेल्या लोडचा पॉवर फॅक्टर ट्रान्समिशन लाइनच्या व्होल्टेज रेगुलेशन (Voltage Regulation) आणि एफिशिएन्सीवर (Efficiency) लक्षणीय परिणाम करतो.

व्होल्टेज रेगुलेशनवर लोड पॉवर फॅक्टरचा प्रभाव (Effect of load power factor on Voltage Regulation)

जेव्हा लॅगिंग पॉवर फॅक्टरचा लोड सिस्टमशी जोडलेला असतो तेव्हा ट्रान्समिशन लाइन**चे** पर्सेंटेज व्होल्टेज रेगुलेशन खालील समीकरणाद्वारे दिले जाते,

%Voltage Regulation= [(IRCosϕ_R + IX_LCosϕ_R) / V_R] ×100%...(1)

तसेच, लीडिंग पॉवर फॅक्टरसाठी पर्सेंटेज व्होल्टेज रेगुलेशन खालील समीकरणाद्वारे दिले जाते,

%Voltage Regulation= [(IRCosϕ_R – IX_LCosϕ_R) / V_R] × 100%...(2)

म्हणून, समीकरण (1) आणि (2) वरून, खालील मुद्द्यांचा निष्कर्ष काढता येतो –

- जेव्हा लोडचा पॉवर फॅक्टर (CosΦ_R) लॅगिंग किंवा युनिटी असा असतो की IRCosΦ_R > IX_LCosΦ_R, तेव्हा ट्रान्समिशन लाइनचे व्होल्टेज रेगुलेशन (Regulation) सकारात्मक (Positive) असते म्हणजे रिसिव्हिंग एंड व्होल्टेज (V_R) सेंडिंग एंड व्होल्टेजपेक्षा कमी असते (V_S).
- जेव्हा लोडचा पॉवर फॅक्टर असा लीडिंग असतो की IRCosΦ_R < IX_LCosΦ_R, तेव्हा ट्रान्समिशन लाइनचे व्होल्टेज रेगुलेशन ऋण (negative) असते म्हणजे रिसिव्हिंग एंड व्होल्टेज (V_R) सेंडिंग एंड व्होल्टेजपेक्षा (V_S) जास्त असते.
- दिलेल्या रिसीव्हिंग एंड व्होल्टेज (V_R) आणि लाइन करंट (I) साठी, जर लॅगिंग लोडचा लोड पॉवर फॅक्टर कमी झाला तर ट्रान्समिशन लाइनचे व्होल्टेज रेगुलेशन वाढते.
- दिलेल्या रिसीव्हिंग एंड व्होल्टेजसाठी (V_R) आणि लाइन करंट (I), जर लीडिंग लोडचा लोड पॉवर फॅक्टर कमी झाला तर ट्रान्समिशन लाइनचे व्होल्टेज रेगुलेशन कमी होते.

1. ट्रान्समिशन एफिशिएन्सीवर लोड पॉवर फॅक्टरचा प्रभाव (Effect of Load Power Factor on Transmission Efficiency)

लोडला किती पॉवर दिली जाते हे त्याच्या पॉवर फॅक्टरवर अवलंबून असते. जसे सिंगल-फेज ट्रान्समिशन लाइनसाठी इलेक्ट्रिक पॉवर (Electric Power) या समीकरणाने दिले जाते....

$P = V_R I Cos\phi_R$

$I = P / (V_R Cos\phi_R)$ ......(3)

समीकरण (3) वरून, हे स्पष्ट होते की, दिलेल्या इलेक्ट्रिक पॉवरसाठी (Electric Power, P), रिसीव्हिंग एंड व्होल्टेज (VR) आणि लोड करंट (I) लोडच्या पॉवर फॅक्टरच्या व्यस्त प्रमाणात (inversely proportional) आहे ($COS\Phi_R$). त्यामुळे लोड पॉवर फॅक्टर कमी झाल्यामुळे लोड करंट (I) वाढतो आणि त्यामुळे ट्रान्समिशन लाइनमधील पॉवर लॉस वाढतात. परिणामी, लोड पॉवर फॅक्टर कमी झाल्यामुळे लाइनची ट्रान्समिशन एफिशिएन्सी कमी होते आणि vice versa.

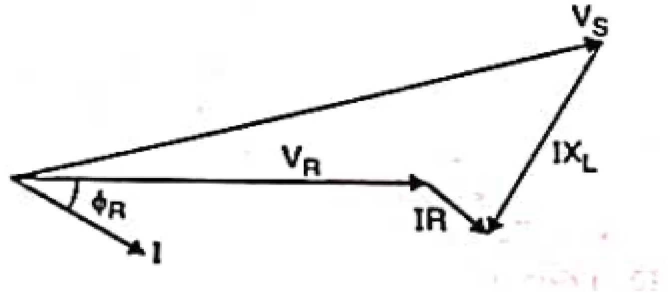
वेगवेगळ्या पॉवर फॅक्टरसाठी वेक्टर डायग्राम, Vector Diagram for different Power Factor.

1. **लॅगिंग पॉवर फॅक्टर:** लॅगिंग पॉवर फॅक्टरमध्ये, करंट I lags V_R by an angle ϕ_R. रेझिस्टिव्ह ड्रॉप (Resistive drop) IR हा I ला इन फेज (in phase) आहे. इंडक्टिव्ह ड्रॉप (Inductive drop) IX_L, हा I ला 90^0 phase shifted (perpendicular) आहे.

   $V_S = V_R + IR + IX_L$ येथे, V_R हे V_S पेक्षा कमी आहे.

   % व्होल्टेज रेगुलेशन (Voltage Regulation) =

   $=[(\mathbf{V_S} - \mathbf{V_R}) / \mathbf{V_R}] * 100$ **हे** Positive आहे.



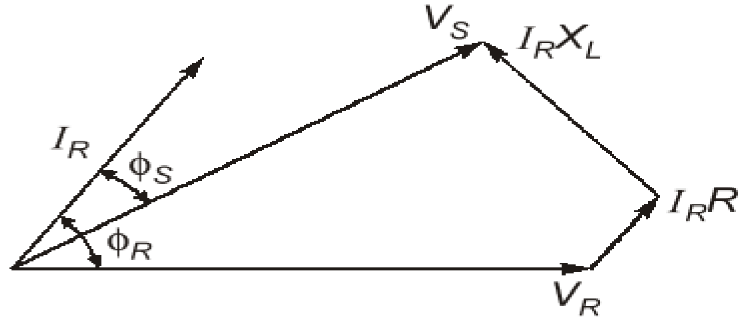
आकृती 3.15 (a) लॅगिंग पॉवर फॅक्टर (इंडक्टिव्ह लोड) साठी वेक्टर आकृती

2. **लीडिंग पॉवर फॅक्टर**

   येथे, V_S हे V_R पेक्षा कमी आहे

   % व्होल्टेज रेगुलेशन (Voltage Regulation) =

   =[(V_S - V_R) / V_R] * 100 हे negative आहे**.**

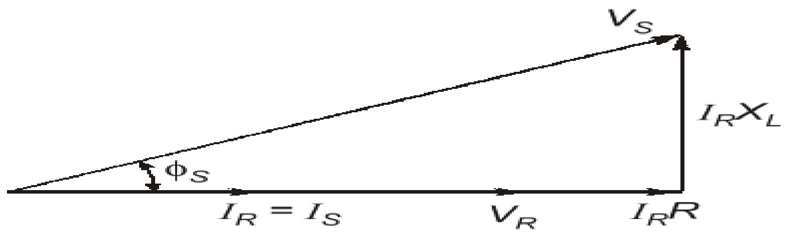


आकृती 3.15 (b) लीडिंग पॉवर फॅक्टर (कॅपेसिटिव्ह लोड) साठी वेक्टर आकृती

3. युनिटी पॉवर फॅक्टर

IR हे I ला इन फेज आहे आणि IX**L** हे I ला लंब (perpendicular, 900) आहे.

Vs > V_R म्हणून, % व्होल्टेज रेगुलेशन = [(Vs - V_R) / V_R] * 100 positive आहे.



आकृती 3.15 (c) युनिटी पॉवर फॅक्टर (रेझिस्टिव्ह लोड) साठी वेक्टर आकृती

3.7 रिप्रेझेंटेशन ऑफ मिडीयम लाइन: नॉमिनल टी, नॉमिनल पाय आणि एंड कंडेनसर पद्धती. (Representation of Medium line: Nominal 'T', Nominal 'Pi' and End Condenser methods)

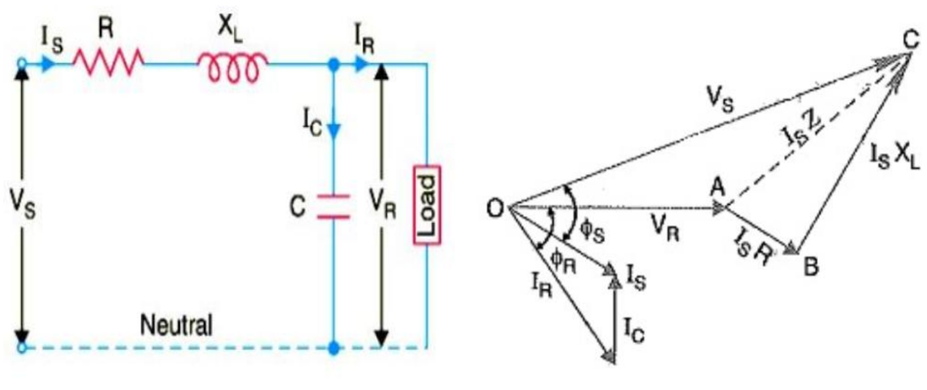
मिडीयम (Medium) ट्रान्समिशन लाइन्सच्या सोल्युशनसाठी सर्वात सामान्यपणे वापरल्या जाणाऱ्या पद्धती (स्थानिकीकृत कॅपेसिटन्स पद्धती localised capacitance methods) खालीलप्रमाणे आहेत:

1. एंड कंडेनसर पद्धत (End condenser methods)
2. नॉमिनल टी पद्धत (Nominal 'T')
3. नॉमिनल पाय पद्धत**.** (Nominal 'Pi')

वरील पद्धती मिडीयम लाइन्सच्या परफॉर्मन्सची गणना करण्यासाठी वापरल्या जातात.

3.7.1 एंड कंडेनसर पद्धत (End condenser methods):

या पद्धतीमध्ये, लाइनचा कॅपॅसिटन्स हा रीसिव्हिंग किंवा लोड एन्डवर केंद्रित केला जातो. आकृतीमध्ये दर्शविल्याप्रमाणे, लोड एंडवर लाइन कॅपॅसिटन्सचे स्थानिकीकरण (localising the line capacitance) करण्याची ही पद्धत कॅपेसिटन्सच्या प्रभावांना अवास्तव महत्त्व (overestimated) देते. आकृती मध्ये, 3-फेज ट्रान्समिशन लाइनचा एक फेज (single phase) दर्शविला आहे कारण लाइन-टू-लाइन च्याऐवजी फेज मध्ये काम करणे अधिक सोयीचे आहे.



आकृती 3.16 एंड कंडेनसर पद्धत आणि फेजर डायग्राम
(Equivalent diagram and Phasor diagram of End Condenser Method)

Let,

I_R = प्रति फेज लोड करंट (per phase Load Current)

R = प्रति फेज रेझिस्टन्स (per phase Resistance)

X_L = प्रति फेज इंडक्टिव्ह रिऍक्टन्स (per phase Inductive Reactance)

C = प्रति फेज कॅपॅसिटन्स (per phase Capacitance)

$COS\Phi_R$ = रिसिव्हिंग एंड पॉवर फॅक्टर (लॅगिंग)

V_S = प्रति फेज सेंडिंग एंड व्होल्टेज (per phase sending end voltage)

सर्किटसाठी फेजर आकृती 3.16 मध्ये दर्शविली आहे. रिसीव्हिंग एंड व्होल्टेज V_R रेफरन्स फेजर (reference phasor) म्हणून घेणे.

we have, $\vec{V_R} = V_R + j\,0$

Load current, $\vec{I_R} = I_R(\cos\phi_R - j\sin\phi_R)$

Capacitive current, $\vec{I_C} = j\,\vec{V_R}\,\omega C = j\,2\pi f C\,\vec{V_R}$

The sending end current $\vec{I_S}$ is the phasor sum of load current $\vec{I_R}$ and capacitive current $\vec{I_C}$ *i.e.*,

$$\begin{aligned}\vec{I_S} &= \vec{I_R} + \vec{I_C}\\ &= I_R(\cos\phi_R - j\sin\phi_R) + j\,2\pi f C\,V_R\\ &= I_R\cos\phi_R + j(-I_R\sin\phi_R + 2\pi f C V_R)\end{aligned}$$

Voltage drop/phase $= \vec{I_S}\,\vec{Z} = \vec{I_S}\,(R + jX_L)$

Sending end voltage, $\vec{V_S} = \vec{V_R} + \vec{I_S}\,\vec{Z} = \vec{V_R} + \vec{I_S}\,(R + jX_L)$

अशा प्रकारे, सेंडिंग एंड व्होल्टेज V_S मोजले जाऊ शकते.

$$\%\text{ Voltage regulation} = \frac{V_S - V_R}{V_R} \times 100$$

$$\%\text{ Voltage transmission efficiency} = \frac{\text{Power delivered / phase}}{\text{Power delivered / phase + losses / phase}} \times 100$$

$$= \frac{V_R I_R \cos\phi_R}{V_R I_R \cos\phi_R + I_S^2 R} \times 100$$

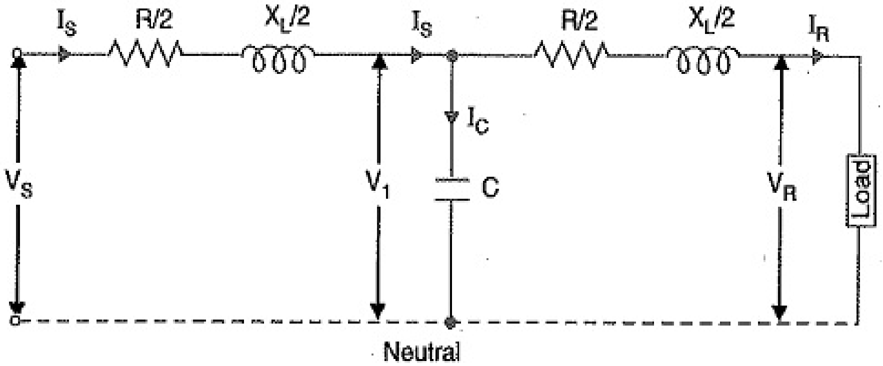
मर्यादा (Limitations):

मिडीयम (Medium) ट्रान्समिशन लाइन व्होल्टेजच्या सोल्युशनसाठी एंड कंडेन्सर पद्धतीने गणना (calculation) करणे सोपे आहे, तरीही त्यात खालील तोटे (Drawback) आहेत:

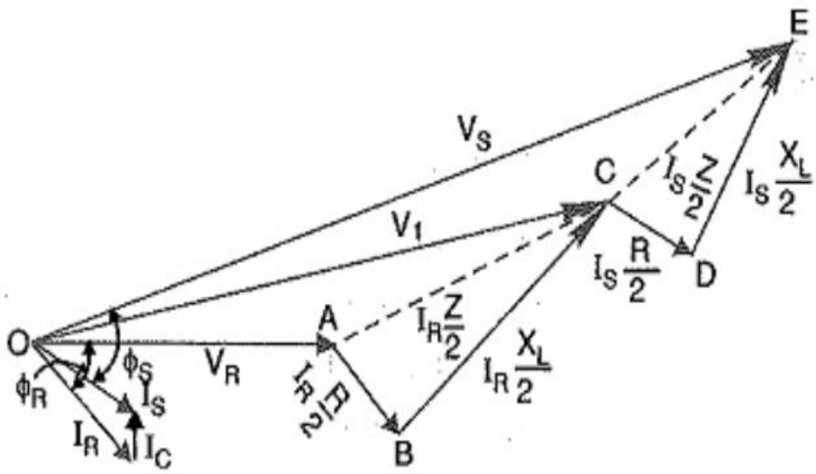
- गणनेमध्ये लक्षणीय त्रुटी (considerable error in calculation) सुमारे 10% असतात कारण डिस्ट्रीब्युटेड कॅपेसिटन्स लम्पड किंवा कॉन्सन्ट्रेटेड (lumped or concentrated) असल्याचे गृहित धरले गेले आहे.
- ही पद्धत लाइन कॅपॅसिटन्सच्या प्रभावांना जास्त महत्त्व देते.

3.7.2 नॉमिनल टी पद्धत (Nominal 'T' method):

या पद्धतीमध्ये, संपूर्ण लाइनचा कॅपॅसिटन्स लाइनच्या मध्य बिंदू (middle point) वर कॉन्सन्ट्रेटेड आहे असे गृहीत धरले जाते आणि आकृती 3.17 (a) मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे लाइनचा अर्धा रेझिस्टन्स (half resistance) आणि अर्धा रिऍक्टन्स (half reactance) लाइनच्या दोन्ही बाजूंला (either side of the line) लम्पड (lumped) केला जातो. म्हणून, या व्यवस्थेमध्ये पूर्ण चार्जिंग करंट अर्ध्या लाइनवर वाहते. आकृती 3.17(a), 3-फेज ट्रान्समिशन लाइनचा एक फेज (single phase) दर्शविला आहे कारण लाइन-टू-लाइन च्याऐवजी फेजमध्ये काम करणे फायदेशीर आहे.



आकृती 3.17 (a) नॉमिनल टी पद्धत (Equivalent diagram of Nominal 'T' method)



आकृती 3.17 (b) फेजर आकृती (Phasor diagram of Nominal 'T' method)

Let,

I_R = प्रति फेज लोड करंट (per phase Load Current)

R = प्रति फेज रेझिस्टन्स (per phase Resistance)

X_L = प्रति फेज इंडक्टिव्ह रिऍक्टन्स (per phase Inductive Reactance)

C = प्रति फेज कॅपॅसिटन्स (per phase Capacitance)

$Cos\Phi_R$ = रिसिव्हिंग एंड पॉवर फॅक्टर (लॅगिंग)

V_S = प्रति फेज सेंडिंग एंड व्होल्टेज (per phase Sending End Voltage)

V_1 = कॅपेसिटर 'C' चे व्होल्टेज

सर्किटसाठी फेजर आकृती 3.17(b) मध्ये दर्शविली आहे. रिसीव्हिंग एंड व्होल्टेज V_R रेफरन्स फेजर (reference phasor) म्हणून घेणे.

We have,

Voltage across C, $\vec{V_1} = \vec{V_R} + \vec{I_R}\,\vec{Z}/2$

$= V_R + I_R(\cos\phi_R - j\sin\phi_R)\left(\frac{R}{2} + j\frac{X_L}{2}\right)$

Capacitive current, $\vec{I_C} = j\omega C\vec{V_1} = j2\pi f C\,\vec{V_1}$

Sending end current, $\vec{I_S} = \vec{I_R} + \vec{I_C}$

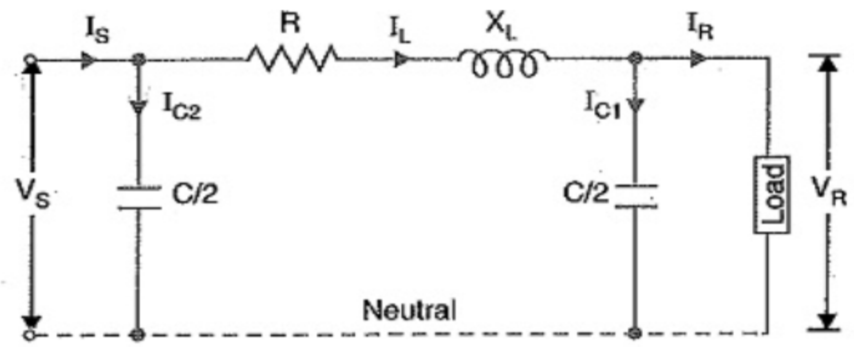
Sending end voltage, $\vec{V_S} = \vec{V_1} + \vec{I_S}\,\frac{\vec{Z}}{2} = \vec{V_1} + \vec{I_S}\left(\frac{R}{2} + j\frac{X_L}{2}\right)$

Receiving end voltage, $\vec{V_R} = V_R + j0$

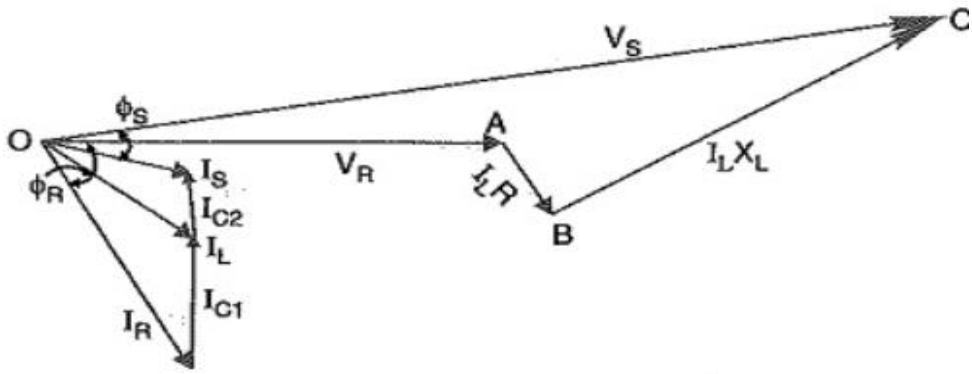
Load current, $\vec{I_R} = I_R(\cos\phi_R - j\sin\phi_R)$

3.7.3 नॉमिनल π पद्धत (Nominal 'Pi') :

या पद्धतीत, प्रत्येक कंडक्टरचा कॅपॅसिटन्स (म्हणजे, लाइन ते न्यूट्रल) दोन भागांमध्ये विभागला जातो; आकृती 3.18(a) मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे एक अर्धा सेंडिंग एंडच्या (one half at sending end) आणि दुसरा अर्धा रिसीव्हिंग एंडला (other half at receiving end) लम्पड केला जातो. हे स्पष्ट आहे कि सेंडिंग एंड कॅपॅसिटन्सचा लाइन ड्रॉपवर कोणताही परिणाम होत नाही. तथापि, एकूण सेंडिंग एंड करंट प्राप्त करण्यासाठी कॅपॅसिटरचा चार्जिंग करंट, लाइन करंटमध्ये जोडला (add) जाणे आवश्यक आहे.



आकृती 3.18 (a) नाममात्र 'π' पद्धत (Equivalent diagram of Nominal 'Pi' method)



आकृती 3.18 (b) फेजर आकृती (Phasor Diagram of Nominal 'Pi' method)

Let,

I_R = प्रति फेज लोड करंट (per phase Load Current)

R = प्रति फेज रेझिस्टन्स (per phase Resistance)

X_L = प्रति फेज इंडक्टिव्ह रिऍक्टन्स (per phase Inductive Reactance)

C = प्रति फेज कॅपॅसिटन्स (per phase Capacitance)

$\cos\Phi_R$ = रिसिव्हिंग एंड पॉवर फॅक्टर (लॅगिंग)

V_S = प्रति फेज सेंडिंग एंड व्होल्टेज (per phase Sending End Voltage)

सर्किटसाठी फेजर आकृती 3.18(b) मध्ये दर्शविली आहे. रिसीव्हिंग एंड व्होल्टेज V_R रेफरन्स फेजर (reference phasor) म्हणून घेणे.

We have,

$$\vec{V_R} = V_R + j\,0$$

Load current, $\vec{I_R} = I_R(\cos\phi_R - j\sin\phi_R)$

Charging current at load end is

$$\vec{I_{C1}} = j\,\omega\,(C/2)\,\vec{V_R} = j\,\pi\,f\,C\,\vec{V_R}$$

Line current, $\vec{I_L} = \vec{I_R} + \vec{I_{C1}}$

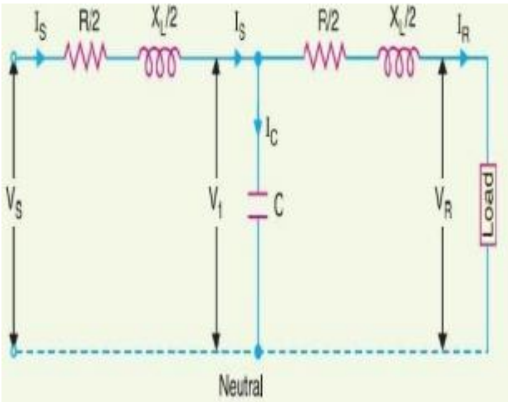
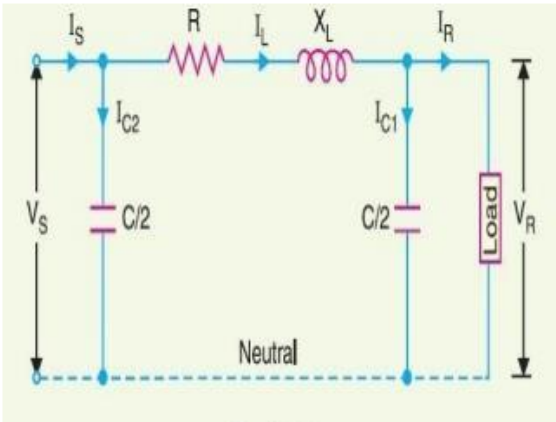
Sending end voltage, $\vec{V_S} = \vec{V_R} + \vec{I_L}\,\vec{Z} = \vec{V_R} + \vec{I_L}\,(R + jX_L)$

Charging current at the sending end is

$$\vec{I_{C2}} = j\,\omega\,(C/2)\,\vec{V_S} = j\,\pi\,f\,C\,\vec{V_S}$$

∴ Sending end current, $\vec{I_S} = \vec{I_L} + \vec{I_{C2}}$

ट्रान्समिशन लाइनच्या नाममात्र - टी आणि नाममात्र - π पद्धतीची तुलना करा .(Compare Nominal 'T' and Nominal 'Pi')

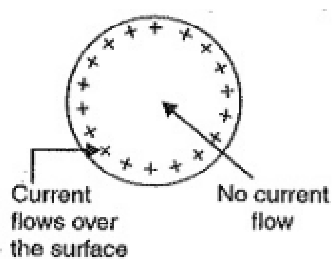
क्र.	नॉमिनल-टी पद्धत Nominal ' T'	नॉमिनल-π पद्धत Nominal 'Pi'
1.	असे गृहीत धरले जाते की लाइन कॅपेसिटन्स (line capacitance) ट्रान्समिशन लाइनच्या मध्यभागी लम्पड (lumped) आहे.	असे गृहीत धरले जाते की ट्रान्समिशन लाइनच्या कॅपॅसिटन्सचा (line capacitance) एक अर्धा भाग सेंडिंग एंड आणि दुसरा अर्धा भाग रिसीव्हिंग एंडवर लम्पड (lumped) आहे.
2	असे गृहीत धरले जाते की प्रति फेजचा (per phase) अर्धा लाइन रेझिस्टन्स (half line resistance) आणि अर्धा इंडक्टिव्ह रिऍक्टन्स (half inductive reactance) कॅपेसिटन्सच्या दोन्ही बाजूंनी विभागला जातो.	असे गृहीत धरले जाते की प्रति फेजचा (per phase) ट्रान्समिशन लाइन रेझिस्टन्स (line resistance) आणि प्रति फेज (per phase) इंडक्टिव्ह रिॲक्टन्स (inductive reactance) हे दोन अर्ध्या ट्रान्समिशन लाइनच्या कॅपेसिटन्समध्ये (half of transmission line capacitance) लम्पड (lumped) आहेत.
3	इक्विव्हॅलेंट सर्किटचा आकार (shape of equivalent circuit) 'T' अक्षरासारखा आहे म्हणून त्याचे नाव नॉमिनल-टी पद्धत आहे	इक्विव्हॅलेंट सर्किटचा आकार (shape of equivalent circuit) 'π' अक्षरासारखा आहे म्हणून त्याचे नाव नॉमिनल-π पद्धत आहे.
4		
5	ABCD स्थिरांक (constants) मूल्ये खालीलप्रमाणे आहेत: A = D =1+ YZ/2 B = Z (1+ YZ) /4 Ohm C = Y mho	ABCD स्थिरांक (constants) मूल्ये खालीलप्रमाणे आहेत: A = D =1+ YZ/2 B = Z Ohm C = Y (1+ YZ)/ 4 mho
6	या पद्धतींचे परिणाम अगदी अचूक आहेत.	या पद्धतींचे परिणाम अगदी अचूक आहेत.

क्र.	नॉमिनल-टी पद्धत Nominal ‘ T’	नॉमिनल-π पद्धत Nominal ‘Pi’
7	इक्विव्हॅलेंट (equivalent) आकृतीवरून $I_S = I_R + I_C$	इक्विव्हॅलेंट (equivalent) आकृतीवरून $I_S = I_L + I_{C2}$
8	हे मिडीयम (medium) ट्रान्समिशन लाइनसाठी वापरले जाते.	हे मिडीयम (medium) ट्रान्समिशन लाइनसाठी वापरले जाते.

3.8 स्किन इफेक्ट आणि प्रॉक्झीमिटी इफेक्ट, कंडक्टरचे ट्रान्सपोझिशन आणि त्याची आवश्यकता (Skin effect and Proximity Effect, Transposition of conductors and its necessity)

3.8.1 स्किन इफेक्ट Skin effect :

जेव्हा कंडक्टर अल्टरनेटिंग करंट (alternating current) वाहून नेतो, तेव्हा तो अल्टरनेटिंग मॅग्नेटिक फ्लक्स (alternating magnetic flux) तयार करतो, जो कंडक्टरशीच लिंक होतो. जर आपण कंडक्टरला समांतर लहान कंडक्टरच्या संख्येचे कॉम्बिनेशन मानले तर प्रत्येकामध्ये काही अंशात्मक करंट असतो, त्यामुळे प्रत्येक लहान कंडक्टर स्वतःचे मॅग्नेटिक फील्ड (magnetic field) तयार करतो, जे तो स्वतःशी आणि शेजारच्या कंडक्टरशी देखील जोडतो (link). मध्यवर्ती कंडक्टरस (central conductors) अधिक कंडक्टर्सने वेढलेले (surrounded) असल्याने ते नैसर्गिकरित्या अधिक मॅग्नेटिक फ्लक्सने (magnetic flux) जोडले (link) जातील. म्हणून, कंडक्टरच्या मध्यभागी अधिक इन्डक्टन्स (inductance) असतो आणि त्यामुळे खूप जास्त इंडक्टिव्ह रिऍक्टन्स असतो. जसजसे आपण पृष्ठभागाकडे (surface) जातो तसतसे फ्लक्स लिंकिंग (flux linking), इंडक्टन्स आणि इंडक्टिव्ह रिऍक्टन्स कमी होत जाते. इंडक्टिव्ह रिऍक्टन्स केंद्रस्थानी (center) सर्वात जास्त असते आणि पृष्ठभागाच्या (surface) जवळ किमान असते. या कारणास्तव, अल्टरनेटिंग करंट (alternating current) कंडक्टरच्या क्रॉस-सेक्शनवर समान प्रमाणात डिस्ट्रीबुट (distribute) केला जात नाही. तो मध्यभागी शून्य किंवा किमान आणि पृष्ठभागावर जास्त असतो. अल्टरनेटिंग करंटच्या (alternating current) पृष्ठभागावर कॉन्सन्ट्रेट (concentrate) करण्याच्या या प्रवृत्तीला "स्किन इफेक्ट" (Skin Effect) म्हणतात.



आकृती 3.19 स्किन इफेक्ट

स्किन इफेक्ट खालील फॅक्टर्सवर (factors) अवलंबून असतो

1. फ्रिक्वेंसी (Frequency) : 50 Hz किंवा त्यापेक्षा कमी फ्रिक्वेंसीसाठी स्किन इफेक्टचा प्रभाव खूपच कमी असतो. फ्रिक्वेंसी वाढली कि स्किन इफेक्ट वाढतो.
2. वायरचा डायमीटर (Diameter of wire): डायमीटर अधिक असल्यास स्किन इफेक्ट वाढतो..
3. मटेरियलचे स्वरूप (Type of Material): मटेरियलच्या पेरमिएबिलिटीच्या वाढीसह स्किन इफेक्ट वाढतो.
4. कंडक्टरचा आकार (Shape of the Conductor): सॉलिड कंडक्टरमध्ये स्किन इफेक्ट जास्त आणि स्ट्रँडेड कंडक्टरमध्ये कमी होतो कारण सॉलिड कंडक्टरच्या पृष्ठभागाचे क्षेत्रफळ (surface area) जास्त असते.

स्किन इफेक्टमुळे कंडक्टरवर प्रभाव (Effect on conductor due to Skin effect) :

1. कंडक्टरच्या मध्यभागी क्रॉस सेक्शनल एरियामध्ये इलेक्ट्रिक करंटचे (Electric Current) प्रभावी क्षेत्र खूपच कमी असल्यामुळे करंट कंडक्टशनचा इफ्फेक्टिव्ह एरिया कमी होतो.
2. यामुळे, कंडक्टरचा रेझिस्टन्स (Resistance) किंचित वाढतो.
3. रेझिस्टन्स वाढल्यामुळे, कॉपर लॉस (copper loss, I2R) वाढतो.
4. रेझिस्टन्स वाढला की, व्होल्टेज ड्रॉप(IR) वाढतो.
5. जसजसे IR ड्रॉप वाढतो, रेगुलेशन (voltage regulation) वाढते(Poor).
6. जसजसा कॉपर लॉस (copper loss) वाढतो तसतशी लाइनची एफिशिएन्सी कमी होते.

स्किन इफेक्ट कमी करण्याच्या पद्धती Methods to reduce skin effect:

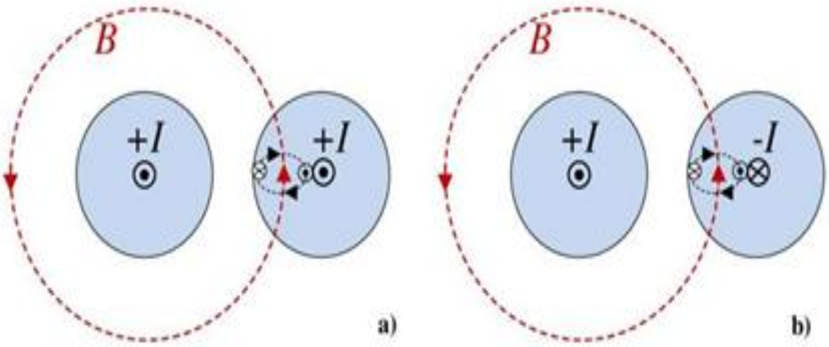
1. सॉलिड कंडक्टरऐवजी, लाइनसाठी स्ट्रँडेड कंडक्टर वापरावेत.
2. ACSR कंडक्टर सामान्यतः लाइनसाठी वापरले जातात.
3. सॉलिड कंडक्टरऐवजी हॉलो कंडक्टर (hollow conductor) वापरा.
4. जेव्हा शक्य असेल तेव्हा A.C पुरवठ्याऐवजी D.C पुरवठा (supply) वापरा कारण D.C मध्ये स्किन इफेक्ट अनुपस्थित (absent) आहे (झिरो फ्रिक्वेंसी मुळे).

3.8.2 प्रॉक्झीमिटी इफेक्ट (Proximity Effect):

• जेव्हा एकमेकांच्या जवळ जवळ असणारे दोन कंडक्टर (समांतर आणि जवळ) हाय अल्टरनेटिंग करंट (high Alternating Current) वाहून नेतात, तेव्हा हा करंट (current) कंडक्टरच्या क्रॉस-सेक्शनल क्षेत्रावर (area) युनिफॉर्मली डिस्ट्रीबुट केला जात नाही (non-uniformly distributed). या प्रभावाला प्रॉक्झीमिटी इफेक्ट (Proximity Effect) म्हणतात.

• जेव्हा कंडक्टर अल्टरनेटिंग करंट (alternating current) वाहून नेतात तेव्हा ते स्वतःच्या भोवती अल्टरनेटिंग मॅग्नेटिक फील्ड (Alternating Magnetic Field) तयार करतात. आकृतीत दाखवल्याप्रमाणे जेव्हा कोणत्याही एका कंडक्टरने निर्माण केलेले चेंगिंग मॅग्नेटिक फील्ड (varying magnetic field) इतर जवळच्या कंडक्टरशी (adjacent conductor) जोडते (link) तेव्हा त्यात एडी करंट्स इनड्यूस होते (induced eddy current).

• जेव्हा जवळचे कंडक्टर (nearby conductor) एकाच दिशेने करंट (current) वाहून नेतात, तेव्हा या एडी करंटमुळे (eddy current), कंडक्टरचा करंट (conductor currents) कंडक्टरच्या सर्वात दूरच्या (farthest) बाजूंवर केंद्रित (concentrate) होतो. (आकृती 3.20(a) पहा.)



आकृती 3.20(a) **आकृती 3.20(b)**

• जेव्हा जवळचे कंडक्टर विरुद्ध दिशेने करंट (current) वाहून नेतात, तेव्हा या एडी करंटमुळे, कंडक्टरचा करंट हा कंडक्टरच्या जवळच्या बाजूंवर केंद्रित (concentrate) होतो. (आकृती (b) पहा.) प्रॉक्झीमिटी इफेक्टमुळे कंडक्टरच्या आसपासच्या भागात करंट (current) वाहून नेणाऱ्या इतर कंडक्टरच्या उपस्थितीमुळे कंडक्टरचा अप्परेंट रेझिस्टन्स वाढतो.

प्रॉक्झीमिटी इफेक्ट याद्वारे कमी केला जाऊ शकतो:

1. दोन कंडक्टरमधील अंतर वाढवून म्हणजे लांब क्रॉस आर्म्स (long cross arm) वापरून.
2. अंडरग्राऊंड ऐवजी ओव्हरहेड ट्रान्समिशन सिस्टम वापरून.
3. लहान आकाराचा (small size), कमी करंट (small current) वाहून नेणारा कंडक्टर वापरून.
4. प्रॉक्सिमिटी इफेक्ट टाळण्यासाठी AC ट्रान्समिशन सिस्टीम ऐवजी DC ट्रांसमिशन सिस्टीम वापरा, कारण DC पुरवठ्याची फ्रिक्केंसी (frequency) शून्य आहे.

प्रॉक्झीमिटी इफेक्टवर परिणाम करणारे फॅक्टर्स (Factors affecting Proximity effect):

1. फ्रिक्केंसी (frequency): फ्रिक्केंसी (frequency) जितकी जास्त तितका इफेक्ट (effect) जास्त.
2. आकार (size of conducor): कंडक्टरचा आकार जितका जास्त तितका इफेक्ट जास्त.
3. कंडक्टरची रेझिस्टिव्हिटी (Resistivity): जितकी रेझिस्टिव्हिटी जास्त तितका इफेक्ट कमी.
4. मटेरियलची पेरमिएबिलिटी : कंडक्टरची पेरमिएबिलिटी जितकी जास्त तितका इफेक्ट जास्त.

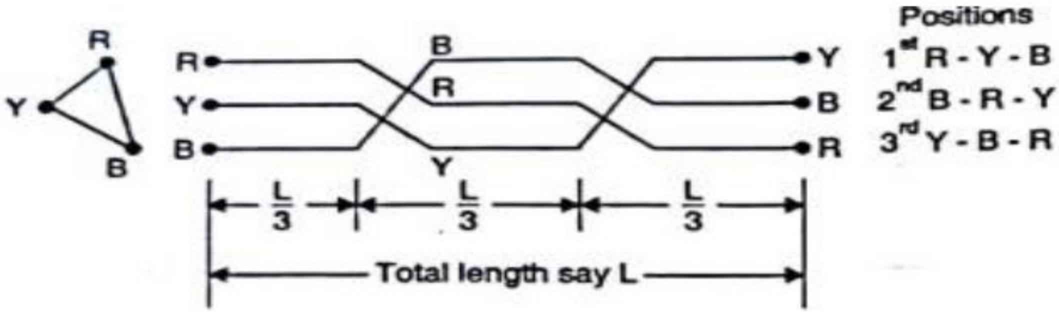
प्रॉक्झीमिटी इफेक्टचे तोटे (Disadvantages of Proximity effect):

1. कंडक्टरचे क्रॉस-सेक्शनल क्षेत्र (area) कमी होते त्यामुळे कंडक्टरचा रेझिस्टन्स (R) वाढतो.
2. जसा 'R' वाढतो, व्होल्टेज ड्रॉप (IR) वाढतो.
3. रेगुलेशन (Voltage Regulation) वाढते.

4. कॉपर लॉस (Copper Loss = I^2R) वाढते.

5. लॉस (loss) वाढतो, म्हणून एफिशिएन्सी (Efficiency) कमी होते.

3.8.3 कंडक्टरचे ट्रान्सपोझिशन आणि त्याची आवश्यकता (Transposition of conductor and its necessity) :



आकृती 3.21 कंडक्टरचे ट्रान्सपोझिशन (Conductor Transposition)

3-फेज लाइनच्या तीनही कंडक्टरमध्ये व्होल्टेज ड्रॉप समान असण्यासाठी, नियमित अंतराने (regular interval) तिन्ही फेजच्या कंडक्टरच्या स्थानांची अदलाबदल (exchange the position) करतात जेणेकरून प्रत्येक कंडक्टर समान अंतरावर प्रत्येक कंडक्टरची मूळ स्थिती व्यापेल. 3-फेज लाइनच्या कंडक्टरच्या स्थानाच्या या अदलाबदलाला " **कंडक्टरचे ट्रान्सपोझिशन** " म्हणतात.

➢ **लाइन कंडक्टर ट्रान्सपोझिशनची आवश्यकता (Necessity of Conductor Transposition)**

जेव्हा 3-फेज लाइनमधील अंतर समान नसते, तेव्हा या परिस्थितीत, फ्लक्स लिंकेज समान नसते आणि म्हणून प्रत्येक फेजच्या इंडक्टन्सची भिन्न व्हॅल्यू असते. याचा परिणाम असा होतो की फेजमधील ड्रॉप भिन्न असतात आणि म्हणून रिसिव्हिंग एंड व्होल्टेज तिन्ही फेजमध्ये समान नसून एकमेकांपासून भिन्न असते. तिन्ही फेजमधील व्होल्टेज ड्रॉप समान व्हॅल्यूवर आणण्यासाठी आणि तिन्ही फेजचे संतुलित रिसिव्हिंग एंड व्होल्टेज प्राप्त करण्यासाठी वर दर्शविल्याप्रमाणे कंडक्टरचे ट्रान्सपोझिशन (Conductor Transposition) केले जाते.

➢ **उदाहरण (Numericals)**

A single-phase overhead transmission line delivers 5000KW at 11KV, 0.8 p.f. lagging. If resistance and reactance per phase is 0.45 ohm and 0.08 ohm respectively. Calculate

(i) Sending end Voltage
(ii) Transmission efficiency

Solution:

Load Current, $I = \frac{P*1000}{V_R Cos\phi_R} = \frac{5000*1000}{V_R Cos\phi_R}$ = 568.18 A

R= 0.45 * 2 = 0.9 Ohm

X = 0.08 * 2 = 0.16 Ohm

Sending End Voltage V_s

$V_{S=}\sqrt{(V_R \, \text{Cos}\phi_R + (IR)^2) + (V_R \, \text{Sin}\phi_R + (IX)^2)}$

$V_{S=}\sqrt{(11000 * 0.8 + (568.18 * 0.9)^2 + (11000 * 0.6 + (568.18 * 0.16)^2}$

$V_{S=}$ 11,466 $VOLTS$

Line Loss = I^2R = $(568.18)^2$ * 0.9 = 290 kW

Transmission Efficiency = $\frac{Power\ Delivered}{Power\ Delivered + Losses}$ *** 100**

= $\frac{\mathbf{5000\ kW}}{\mathbf{5000\ kW + 290\ kW}}$ *** 100**

= 94.5 %

स्व:अध्ययन (Exercise) :

1. इलेक्ट्रिक पॉवर सिस्टीमची सिंगल लाइन आकृती काढा.
2. ट्रान्समिशन लाइनचे वर्गीकरण सांगा.
3. ट्रान्समिशन लाइनचे मुख्य कॉम्पोनन्टस (components) त्यांच्या कार्यासह (function) सांगा.
4. ओव्हरहेड आणि अंडरग्राउंड ट्रान्समिशनची तुलना करा.
5. ट्रान्समिशन लाइनची व्होल्टेज लेवल आणि लांबीनुसार वर्गीकरण करा.
6. भारतात वापरलेली स्टँडर्ड व्होल्टेज लेवल सांगा.
7. ट्रान्समिशन लाइन पॅरामीटर्स सांगा आणि स्पष्ट करा.
8. शॉर्ट ट्रान्समिशन लाइनची एफिशिएन्सी आणि व्होल्टेज रेगुलेशन यांचे समीकरण काढा.
9. ट्रान्समिशन लाइनची एफिशिएन्सी आणि व्होल्टेज रेगुलेशन यावर पॉवर फॅक्टरचा प्रभाव स्पष्ट करा.
10. एंड कंडेनसर पद्धतीचे इक्विव्हॅलेंट आकृती आणि फेजर आकृती काढा.
11. नॉमिनल-टी आणि नॉमिनल-π पद्धतीची तुलना करा.
12. नॉमिनल-टी आणि नॉमिनल-π पद्धतीची इक्विव्हॅलेंट आकृती आणि फेजर आकृती काढा.
13. स्किन इफेक्टचे वर्णन करा. ते कोणत्या फॅक्टर्सवर अवलंबून आहे?
14. प्रॉक्झीमिटी इफेक्ट आणि तो कसा कमी करता येईल ते सांगा.
15. आकृतीसह कंडक्टरचे ट्रान्सपोझिशनची आवश्यकता सांगा.

रेफरन्स पुस्तके – Reference books

1. A course in Electrical Power, by Gupta J.B., S. K Kataria and sons, New Delhi. 2014, ISBN: 9789350143742
2. Principles of Power System, by Mehta V.K., Rohit Mehta, S. Chand & Co. New Delhi, 2005, ISBN: 9788121924962

3. Electrical Power Transmission and Distribution, by Sivanagaraju S.; Satyanarayana S., Pearson ISBN: 8131707911, 9788131707913
4. Generation of Electrical Energy, 7th Edition Gupta B.R. S. Chand Publishing, 2017 ISBN: 9789352533817

माहिती संकेतस्थळ (Information Websites):

1. https://www.electrical4u.com/performance-of-transmission-lin
2. https://energy.gov/sites/prod/files/2013/07/f2/Transmission_Woodall_0.pdf
3. https://www.youtube.com/watch?v=jttrdb4iDjc

युनिट ४
एक्स्ट्रा हाय व्होल्टेज ट्रान्समिशन (HVAC आणि HVDC)
(Extra High Voltage Transmission (HVAC and HVDC)

विषय निष्पत्ती (Course Outcomes(COs) :

अतिरिक्त उच्च व्होल्टेज ट्रान्समिशन सिस्टमच्या पॅरामीटर्सचा अर्थ लावणे
(Interpret the parameters of the extra high voltage transmission system)

विषय निष्पत्ती बरोबर जुळणारी थिअरी लर्निंग निष्पत्ती (Theory Learning Outcomes (TLOs) aligned to Course Outcomes(COs) :

4.1 दिलेल्या ट्रान्समिशन लाइनच्या प्रकाराचे रेटिंग आणि कार्ये सांगा
(State the Rating and functions of the given type of transmission line)
4.2 दिलेल्या उच्च व्होल्टेज सबस्टेशन घटकाचे रेटिंग आणि कार्ये सांगा
(State the Rating and functions of the given High voltage Substation component(s).)
4.3 दिलेल्या उच्च व्होल्टेज ट्रान्समिशन लाइन प्रकारात होणारे निर्दिष्ट प्रभाव स्पष्ट करा
(Explain the specified effects occurring in the given type of high voltage transmission line.)
4.4 हाय व्होल्टेज ट्रान्समिशन लाइनमध्ये लाइन कॉम्पेन्सेशनचे महत्त्व स्पष्ट करा.
(Explain the importance of line compensation in High voltage transmission line)
4.5 दिलेल्या HVDC ट्रान्समिशन लाइनच्या लेआउटचे स्केचेस सह वर्णन करा
(Describe the layout of the given HVDC transmission lines with sketches.)
4.6 विद्युत शक्तीच्या वायरलेस ट्रान्समिशनची संकल्पना स्पष्ट करा
(Explain the concept of wireless transmission of electrical power.)

परिचय(Introduction):

ईएचव्ही ट्रान्समिशनचे महत्त्व (Importance of EHV Transmission):

EHV लाइनाचे वापर मोठ्या प्रमाणात वीज दूर अंतरापर्यंत नेण्यासाठी वापर केला जातो. जसजसे ट्रान्समिशन व्होल्टेज वाढते, करंट कमी होतो, त्यामुळे ट्रान्समिशन लाइनमधील कॉपर लॉस(Copper Loss) कमी होते. (कॉपर लॉस $\alpha\ I^2$). याव्यतिरिक्त, एका लाइन वर अधिक पॉवर ट्रान्सफर करण्यात सक्षम होउन, ट्रान्समिशन साठी एकूण कमी लाइन लागतात , त्यामुळे प्रकल्पाचा खर्च कमी होतो. असे आढळून आले की पर्यावरणावरील अशा व्होल्टेज पातळीच्या प्रभावाकडे काळजीपूर्वक लक्ष देणे आवश्यक आहे,कारण अशाप्रकारे EHV लाईनच्या परिसरातील इलेक्ट्रोस्टॅटिक फील्ड, कोरोना इफेक्ट (Corona Effect), लॉस (loss) , आवाज (Noise) , कंडक्टर हस्तक्षेप (Conductor interference) , रेडिओ हस्तक्षेप (Radio Interference), या समस्या, लाइन कंडक्टर डिझाइन (Conductor Design) , लाइनची उंची (Height of line) मर्यादित (limit) ठेवण्यासाठी फेज स्पेसिंग नियंत्रित करतात.

4.1 भारतात 765 kV लाइन्स (765 kV lines in India)

1. तिरोडा-कोराडी लाइन
2. अकोला-औरंगाबाद मार्ग
3. अनपरा-उन्नाव लाइन

4. किशनपुर-मोगा एल-1 (डब्ल्यू) आणि एल-2 (ई)
5. टिहरी-मेरठ लाइन -1 आणि 2
6. सिपत-सिवनी लाइन -1 आणि लाइन -2

4.1.1 EHV ची आवश्यकता (Necessity of EHV):

1. लाइन व्होल्टेज वाढल्यास, त्याच पॉवर फॅक्टरवर (Same power factor) त्याच प्रमाणात पॉवर (Same power) ट्रान्सफर करण्यास करंट कमी लागतो ज्यामुळे कंडक्टरचे क्रॉस सेक्शनल क्षेत्र कमी होते.
2. करंट कमी झाल्यामुळे एकूण कॉपर लॉस कमी होतो आणि ट्रान्समिशन कार्यक्षमता (Transmission Efficiency) वाढते.
3. मोठ्या प्रमाणात वीज प्रणालींच्या परस्परजोडणीसाठी (For the Interconnection of large amount of Power System) EHV ट्रान्समिशन खूप उपयुक्त आहे, म्हणून त्याचा अवलंब केला जातो.
4. ट्रान्समिशन व्होल्टेज वाढल्याने ट्रान्समिशन लाइनची पॉवर हाताळणी क्षमता (handling capacity) V2 च्या प्रमाणात वाढते.
5. खूप लांब अंतरावर मोठ्या प्रमाणात वीज पुरवठा करणे EHVच्या बाबतीत आर्थिकदृष्ट्या फायदेशीर आहे..
6. व्होल्टेज रेग्युलेशन (Voltage Regulation) सुधारते.

4.2 हाय व्होल्टेज सबस्टेशन उपकरणे, सर्किट कंपोनंन्ट**ची यादी आणि त्यांचे कार्य (List of the equipments, Circuit Elements in Substation & their function):**

1. बस बार (Busbar)

बस बार हा कॉमन कंडक्टर आहे ज्याला येणा-या आणि जाणा-या लाइन जोडलेल्या असतात.

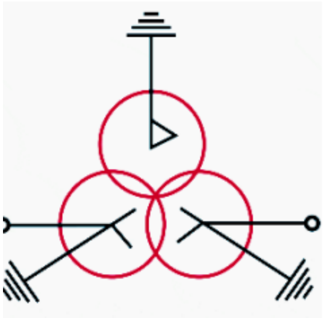
2. इन्सुलेटर (Insulator)

इन्सुलेटर दोन उद्देश पूर्ण करतात. ते कंडक्टरला आधार देतात आणि विद्युत् प्रभाव कंडक्टरला मर्यादित करतात. इन्सुलेटरच्या निर्मितीसाठी सर्वात सामान्यतः वापरले जाणारे मटेरियल म्हणजे पोर्सिलिन.

आकृती 4.1 इन्सुलेटर

3. पॉवर ट्रान्सफॉर्मर - मुख्य ट्रान्सफॉर्मर (Main Transformer)

पॉवर ट्रान्सफॉर्मरचा वापर सबस्टेशन मध्ये व्होल्टेज स्टेप-अप किंवा स्टेप-डाउन करण्यासाठी केला जातो. पॉवर स्टेशन वगळता, स्टेप-अप पॉवर ट्रान्सफॉर्मरचा वापर विद्युत उर्जेच्या ट्रान्समिशन मध्ये व्होल्टेज स्टेप-अप (132 kV किंवा 220 kV किंवा अधिक) करण्यासाठी केला जातो.



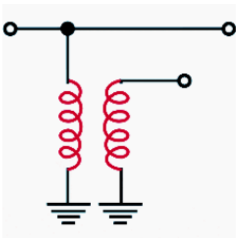
आकृती 4.2 पॉवर ट्रान्सफॉर्मर

4. सहाय्यक ट्रान्सफॉर्मर (Auxiliary Transformer)

नियंत्रण कक्ष (Control Room), एरिया लाइटिंग, स्टाफ क्वार्टर इत्यादींना वीज पुरवठा करण्यासाठी इनपुट व्होल्टेज 11kV ला 3-phase, 4-wire, 400V पर्यंत स्टेप-डाउन करणे हे त्याचे कार्य आहे.

5. इन्सट्रुमेंट ट्रान्सफॉर्मर (Instrument Transformer):

सबस्टेशन वरील लाइन्स उच्च व्होल्टेज वर चालतात आणि हजारों अँपिअरचा विद्युत प्रवाह वाहून नेतात. ते स्टेप-डाउन करण्यासाठी इन्सट्रुमेंट ट्रान्सफॉर्मर, CT (**करंट ट्रान्सफॉर्मर**) आणि PT (पोटेन्शिअल **ट्रान्सफॉर्मर)** वापरतात. त्यांची स्पेसिफिक आउटपुट रेंज CT साठी 1A, 5 A आणि PT साठी 110 V आहे.

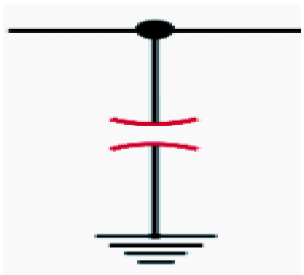


आकृती 4.3

पोटेन्शिअल ट्रान्सफॉर्मर (PT) **करंट ट्रान्सफॉर्मर(CT)**

6. लाइटनिंग अरेस्टर(Lightening Arrester)

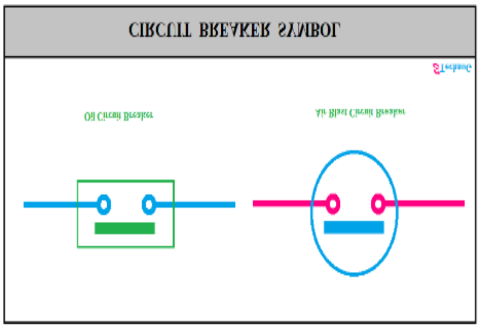
लाइटनिंग **अरेस्टर** हे इलेक्ट्रिक पॉवर ट्रान्समिशन आणि टेलिकम्युनिकेशन सिस्टमवर वापरलेले उपकरण आहे, जे वीजेच्या हानिकारक प्रभावां पासून सिस्टमच्या इन्सुलेशन आणि कंडक्टरचे संरक्षण करते. हे सबस्टेशनच्या सुरुवातीच्या बिंदूवर लाइन आणि जमिनीच्या दरम्यान जोडलेले आहे.



आकृती 4.4 लाइटनिंग अरेस्टर

7. सर्किट ब्रेकर (Circuit Breaker)

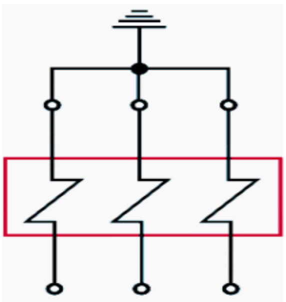
हे संरक्षणात्मक साधन आहे. जेव्हा जेव्हा फॉल्ट असतो तेव्हा ते सर्किट खंडित करते आणि उपकरणांचे संरक्षण करते. जेव्हा आवश्यक असेल तेव्हा ते स्वहस्ते (manually) किंवा रिमोट कंट्रोलद्वारे ऑपरेट केले जाऊ शकते.



आकृती 4.5 सर्किट ब्रेकर

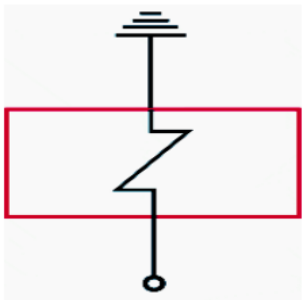
8. रिले (Relay)

हे फॉल्ट डिटेक्ट करते आणि **सर्किट ब्रेकर**च्या ट्रिप सर्किटला सिग्नल देते. रिलेचे विविध प्रकार आहेत उदा. ओव्हरकरंट रिले, अर्थ फॉल्ट रिले, फेज टू फेज फॉल्ट रिले, थर्मल रिले इ.



आकृती 4.6

ओव्हरकरंट रिले (overcurrent Relay)



आकृती 4.7

अर्थ फॉल्ट रिले (Earth Fault Relay)

9. अर्थ स्विच (Earth Switch)

मेन्टेनन्ससाठी लाइन ओपन सर्किट करताना आयसोलेटरचा वापर केला जातो. तेव्हा ग्राउंड कपसिटन्स डिसचार्ज (Ground Capacitance Discharge) अर्थ स्विचने करतात.

10. आयसोलेटर (नो लोड स्विच) (Isolator)

लोड नसतानाच सर्किटला जोडणे किंवा डिस्कनेक्ट करणे हे त्याचे कार्य आहे.

4.2.1 FACT डिव्हाइसेस: (फ्लेक्सिबल एसी ट्रान्समिशन लाइन डिव्हाइसेस) (Flexible AC Transmission Line Devices)

पारंपारिक एसी ट्रान्समिशन सिस्टममध्ये, विविध कारणांमुळे एसी पॉवर ट्रान्सफर करण्याची क्षमता मर्यादित असते. आदर्श ट्रान्समिशनसाठी, ऍक्टिव्ह पॉवर (Active Power) आणि अँपरेंट पॉवर (Apperent Power) समान असावी. FACT डिव्हाइसेसचा मुख्य उद्देश म्हणजे आवश्यकतेनुसार लॅगिंग रिऍक्टिव्ह पॉवर किंवा लीडिंग रिऍक्टिव्ह पॉवर पुरवून जवळजवळ ऍक्टिव्ह पॉवर (Active Power) आणि अँपरेंट पॉवर (Apperent Power) समान करणे आहे. FACT व्हाइसेससाठी स्टॅटिक पॉवर इलेक्ट्रॉनिक्स उपकरणे वापरतात.

FACTS कंट्रोलरचे प्रकार:

- **FACTS सीरिज कॉम्पेन्सेशनचे प्रकार**:
  - थायरिस्टर-नियंत्रित सीरिज रिअक्टर (Thyristor Controlled Series Reactor-**TCSR)**
  - थायरिस्टर-नियंत्रित सीरिज कॅपेसिटर (Thyristor Controlled Series Capacitor-**TCSC)**
- **FACTS शंट कॉम्पेन्सेशनचे प्रकार:**
  - स्टॅटिक सिंक्रोनस कम्पेन्सेटर (**STATCOM)**
  - स्टॅटिक **VAR** कम्पेन्सेटर (**SVC)**

4.2.2 उच्च तापमान कमी सॅग कंडक्टर (High Temperature Low Sag Conductor)

- उच्च तापमान कमी सॅग कंडक्टर (HTLS) 210°C पर्यंतचे ऑपरेटिंग तापमान सहन करू शकतात, अशा प्रकारे पारंपारिक कंडक्टरच्या तुलनेत जास्त पॉवर वाहून नेतात.
- जेव्हा Overhead Line वापरण्याची आवश्यकता असते ज्यात क्लिअरन्स समस्या, नवीन आणि उच्च टॉवर्सच्या वापरावर निर्बंध असतात तेव्हा हे कंडक्टर वापरतात.
- ACSR मध्ये त्याच्या कोरसाठी स्टँडेड स्टील वायर मटेरियल आहे परंतु HLTS हलक्या आणि उच्च स्ट्रेंग्थचे कार्बन फायबर कंपोझिट वापरतात. त्यांच्याकडे विद्युत प्रवाह वाहून नेण्याची क्षमता जास्त आहे. HLTS ची कंडक्टरची किंमत आणि ऑपरेटिंग कॉस्ट जास्त आहे.

4.3 उच्च व्होल्टेज ट्रान्समिशन लाइनमध्ये होणारे प्रभाव (Effects in High voltage Transmission) :

4.3.1 फेरांटी इफेक्ट (Ferranti Effect)

फेरांटी इफेक्ट खालील परिस्थितींमध्ये आढळतो:

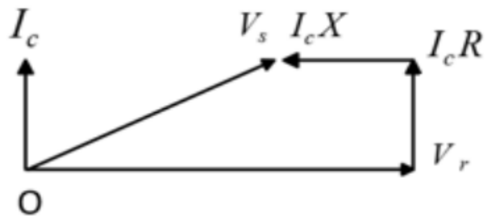
- जेव्हा ट्रान्समिशन लाइनवर लोड नसतो किंवा हलका लोड असतो ($I_L = 0$)
- जेव्हा अचानक लोड काढून टाकला जातो.
- जेव्हा अचानक लोड शेडिंग होते.
- जेव्हा लोड फेल्युअरमुळे ट्रान्समिशन लाइन ओपन सर्किट होते.

वरीलपैकी कोणत्याही एका स्थितीत, असे आढळून आले आहे की ट्रान्समिशन लाइनचे रिसीव्हिंग एंड व्होल्टेज (V_R) त्याच्या सेंडिंग एंड व्होल्टेज (V_S) पेक्षा जास्त आहे, म्हणजेच ($V_R > V_S$). या घटनेला फेरांटी इफेक्ट असे म्हणतात.

कॅपॅसिटन्स आणि इंडक्टन्स हे 240 किमी किंवा त्याहून अधिक लांबीच्या लाइनांचे मुख्य पॅरामीटर्स आहेत. अशा ट्रान्समिशन लाइन्सवर, कॅपॅसिटन्स काही निश्चित बिंदूंवर केंद्रित नसते. हे लाइनच्या संपूर्ण लांबीसह समान रीतीने वितरीत (equally distribute) केले जाते.

जेव्हा कोणतेही लोड नसताना किंवा हलके लोड असताना, लाइनच्या कॅपेसिटन्सने काढलेला करंट (I_c) लोडशी संबंधित करंट (I_L)पेक्षा जास्त असतो तेव्हा रिसीव्हिंग एंड व्होल्टेज (V_R) त्याच्या सेंडिंग एंड व्होल्टेज (V_S) पेक्षा जास्त असते.

फेजर आकृतीचा संदर्भ देताना, जेव्हा लाइन नो लोड वर असते, तेव्हा लाइनद्वारे काढलेला करंट हा कॅपेसिटिव्ह करंट असतो, ज्यामुळे शेवटचे व्होल्टेज Vr 90⁰ ने प्राप्त होते. लाइन व्होल्टेज ड्रॉप्स I_C सोबत टप्प्यात IcR आहेत. आणि I_C वर 90⁰ ने आघाडीवर I_C.X आहेत. अशा प्रकारे, सेंडिंग एंड व्होल्टेज Vs हे Receiving एंड व्होल्टेज Vr पेक्षा कमी असल्याचे दिसते. या प्रभावाला " फेरांटी इफेक्ट" म्हणतात.



आकृती 4.8 फेरांटी इफेक्ट फेजर आकृती

4.3.2 कोरोना इफेक्ट (Corona Effect) :

जेव्हा दोन कंडक्टरमध्ये काही अंतराने विभक्त केलेले AC व्होल्टेज हवेच्या ब्रेकडाउन व्होल्टेजपेक्षा जास्त वाढवले जाते, म्हणजे 30kV/cm, तेव्हा कंडक्टरच्या सभोवतालची हवा आयनीकृत होते आणि आयनीकृत हवा या स्थितीत वाहते तेव्हा कोरोना होतो.

कोरोना दरम्यान खालील निरीक्षणे लक्षात घेतली जातात:

- कंडक्टरच्या आजूबाजूला चमकदार व्हायलेट चमक दिसून येते.
- हिसिंग आवाज निर्माण होईल.
- ओझोन वायू तयार होईल.

या घटनेला "कोरोना" इफेक्ट म्हणून ओळखले जाते.

कोरोनाचे फायदे (ADVANTAGES OF CORONA) :-

1. कंडक्टरभोवती कोरोना तयार झाल्यामुळे हवा आयनीकृत होते. त्यामुळे प्रभावी कंडक्टरचा व्यास वाढतो. त्यामुळे त्याची प्रतिकारशक्ती कमी होते.
2. कंडक्टरचा क्रॉस सेक्शन वाढल्याने इलेक्ट्रोस्टॅटिक ताण कमी होतो.
3. हे लाइटिंग स्ट्रोकमुळे येणाऱ्या ओव्हरव्होल्टेजच्या विरूद्ध सुरक्षा झडप प्रदान करते.
4. हे सर्जमुळे निर्माण झालेला ट्रांसीएंट इफेक्ट कमी करते.

कोरोनाचे तोटे (DISADVANTAGES OF CORONA) :-

1. कोरोनामुळे ऊर्जा लॉस होते ज्यामुळे प्रसारण कार्यक्षमता (Transmission Efficiency) कमी होते.
2. ओझोन वायू तयार होतो, रासायनिक क्रियेमुळे हार्डवेअर आणि कंडक्टरला गंज होण्याची शक्यता असते.
3. कोरोनामुळे रेडिओ हस्तक्षेप (interference) होतो ज्यामुळे हार्मोनिक्स तयार केले होतात.
4. कोरोनामुळे इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक आणि इलेक्ट्रोस्टॅटिक हस्तक्षेप (interference) होतो.

4.4 हाय व्होल्टेज ट्रान्समिशन लाइनमध्ये लाइन कॉम्पेन्सेशनचे महत्त्व (Line Compensation: Need and Benefits)

4.4.1 लाँग डिस्टन्स EHVAC ट्रान्समिशन सिस्टीमला सिरीज कॅपेसिटर (Series capacitor) आणि शंट रिॲक्टर्सचा (Shunt Reactor) वापर कृत्रिमरीत्या लाइनांची सीरिज रिॲक्टन्स आणि शंट रिॲक्टन्स कमी करण्यासाठी आणि लाइन लॉस कॉम्पेन्सेशन म्हणून काम करण्यासाठी आवश्यक आहे. त्यांच्या वापरामुळे सिस्टीमची स्थिरता (Stability) आणि व्होल्टेज नियंत्रण (Voltage Control) सुधारते, पॉवर ट्रान्समिशनची कार्यक्षमता (Efficiency) वाढते आणि तात्पुरते आणि क्षणिक ओव्हरव्होल्टेज कमी होतात.

4.4.2 लाइन लॉस कॉम्पेन्सेशन चे फायदे:

1. हे रिअक्टिव्ह VAR फ्लो नियंत्रित करण्यासाठी केले जाते.
2. पॉवर ट्रान्समिशन (Transmission) क्षमता वाढते.
3. सिस्टमच्या पॉवर फॅक्टरमध्ये सुधारणा होते.
4. व्होल्टेज रेग्युलेशन सुधारते.

4.4.3 लाइन कॉम्पेन्सेशन चे प्रकार: (Types of Line compensation):

1. सिरीज कॉम्पेन्सेशन (Series Compensation)

2. शंट कॉम्पेन्सेशन (Shunt Compensation)

1. सिरीज कॉम्पेन्सेशन:

- ट्रान्समिशन क्षमता वाढवण्यासाठी सिरीज कॅपेसिटर वापरतात आणि ते 300 किमी पेक्षा कमी अंतरासाठी किफायतशीर असतात.
- $P = \frac{v^2}{(x_L - x_C)}$ जेथे P म्हणजे पॉवर ट्रान्समिटेड, x_L ही इन्डक्टिव्ह रिअक्टन्स आहे आणि x_c ही कॅपेसिटिव्ह रिअक्टन्स आहे.
- म्हणून Xc वाढल्याने P वाढतो.
- सर्ज इम्पिडेन्स लोडिंग साध्य करण्यासाठी, कॅपेसिटन्सचे स्विचिंग केले जाते.

2. शंट कॉम्पेन्सेशन:

शंट कॉम्पेन्सेशन करण्यासाठी, शंट कॅपेसिटर जोडला जातो, जो लीडिंग करंट ड्रा करतो.

शंट कॉम्पेन्सेशन **चे प्रकार:**

a. **शंट** कॅपेसिटिव्ह कॉम्पेन्सेशन
b. **शंट** इन्डक्टिव्ह कॉम्पेन्सेशन

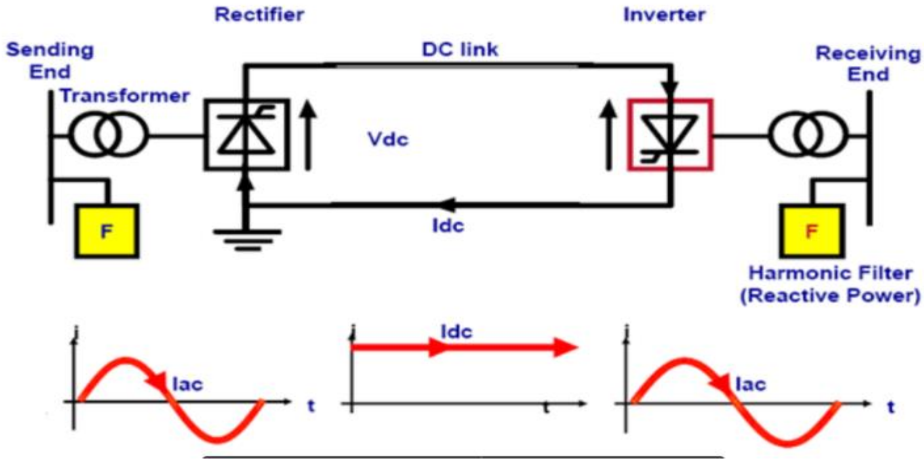
a. शंट कॅपेसिटिव्ह कॉम्पेन्सेशन : हा प्रकार पॉवर फॅक्टर सुधारण्यात वापरली जाते**.** जेव्हां इन्डक्टिव्ह लोड ट्रान्समिशन लाइनशी जोडलेले असतो, लॅगिंग करंटमुळे पॉवर फॅक्टर लॅग होतो**.** याचे कॉम्पेन्सेशन करण्यासाठी शंट कॅपेसिटर जोडला जातो.

b. शंट इन्डक्टिव्ह कॉम्पेन्सेशन : हा प्रकार एकतर ट्रान्समिशन लाइन चार्ज होत असताना किंवा रिसिव्हिंगच्या एंडला खूप हलका लोड असताना वापरला जातो. खूप कमी, किंवा लोड नसल्यामुळे - खूप कमी करंट ट्रान्समिशन लाइनमधून वाहते. ट्रान्समिशन लाइनमध्ये शंट कॅपेसिटन्स व्होल्टेज वाढवण्यासाठी (फेरॅन्टी इफेक्ट) कारणीभूत ठरते. रिसीव्हिंग एंड व्होल्टेज सेंडिंग एंड व्होल्टेजच्या दुप्पट होऊ शकते (सामान्यत: खूप लांब ट्रान्समिशन लाइन्सच्या बाबतीत). कॉम्पेन्सेट करण्यासाठी, शंट इंडक्टर ट्रान्समिशन लाइनवर जोडले जातो.

4.5 भारतातील एचव्हीडीसी ट्रान्समिशन लाइन नेटवर्कचे मार्ग:

अक्	पासून	ते	अंतर	पॉवर	व्होल्टेज
1	रिहांद (यू.पी.) (1990 पासून)	दादरी	814 किमी	1500 मेगावॅट	±500 kV (द्विध्रुवीय)(Bipolar)
2	तालचेर- ओरिसातून जाणारे सर्वात मोठे एचव्हीडीसी ट्रान्समिशन आहे (A.P) तामिळनाडू आणि कर्नाटक	कोलार	1376 किमी.	2000 मेगावॅट	±500 kV (द्विध्रुवीय)
3	चंद्रपूर- पडघे (महाराष्ट्र) पश्चिम विभागात	पडघे (महाराष्ट्र)	752 किमी	1500 मेगावॅट	±500 kV (द्विध्रुवीय)
4	बेरसूर (M.P.)	लोअर सिलेरू (अरुणाचल प्रदेश)	मोनो ध्रुवीय (mono polar)	100 MW	100kV
5	उत्तर प्रदेशाला जोडणारा (सासाराम-पुसावली)	पूर्वेकडील प्रदेश (Eastern Region)	0 किमी (बॅक टू बॅक लिंक)	500MW	140kV
6	जोडत आहे उत्तर प्रदेश (विंध्याचल)	पश्चिम प्रदेश (Western Region)	0 किमी (बॅक टू बॅक लिंक)	2×250 MW	70kV
7	दक्षिणेला जोडणारा प्रदेश (चंद्रपुर)	पश्चिम प्रदेश (Western Region)	0 किमी (बॅक टू बॅक लिंक)	2×500 MW	140kV
8	दक्षिणेला जोडणारा प्रदेश (विझाग-गजुवाका)	पूर्वेकडील प्रदेश (Eastern Region)	0 किमी (बॅक टू बॅक लिंक)	500MW	140kV

4.5.1 एचव्हीडीसी ट्रान्समिशनचे ब्लॉक डायग्राम: (Layout of HVDC transmission)



आकृती 4.9 एचव्हीडीसी ट्रान्समिशनचे ब्लॉक डायग्राम

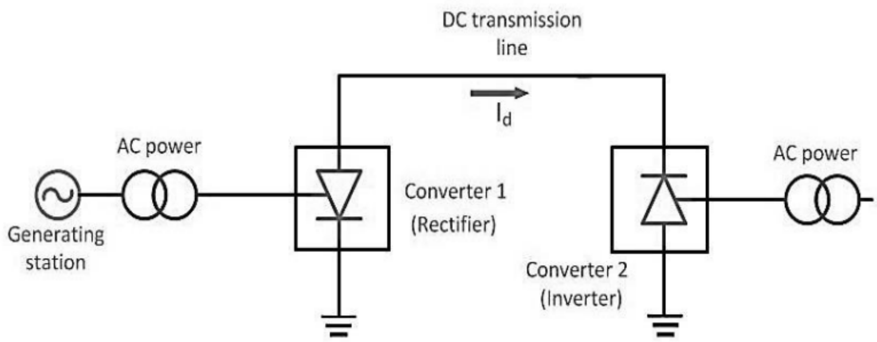
कार्य (Function):

1) रेक्टिफायरच्या मदतीने सेंडिंग व्होल्टेज रेक्टिफाय (Rectify) करून डीसी (DC) मध्ये रूपांतरित केले जाते.
2) डीसी व्होल्टेजचे ट्रान्समिशन झाल्यावर इन्व्हर्टरच्या मदतीने डीसी व्होल्टेजचे पुन्हा A.C मध्ये रूपांतर होते.

4.5.2 एचव्हीडीसी ट्रान्समिशन सिस्टमचे वर्गीकरण (Classification of HVDC transmission system):

1. मोनोपोलर एचव्हीडीसी ट्रान्समिशन सिस्टम (Monopolar HVDC transmission system)
2. बायपोलर एचव्हीडीसी ट्रान्समिशन सिस्टम (Bipolar HVDC Transmission system)
3. होमोपोलर एचव्हीडीसी ट्रान्समिशन सिस्टम (Homo polar HVDC Transmission system)

4.5.2.1 मोनोपोलर एचव्हीडीसी ट्रान्समिशन सिस्टमची मांडणी (Layout of Monopolar HVDC transmission system):



Monopolar HVDC transmission system

आकृती 4.10 मोनोपोलर एचव्हीडीसी ट्रान्समिशन सिस्टमची मांडणी

फक्त एकच कंडक्टर वापरणारी HVDC लिंक मोनो-पोलर लिंक म्हणून ओळखली जाते. सामान्यतः, या प्रकारच्या लिंक मध्ये, कोरोना आणि इन्टरफिअरेन्स कमी करण्यासाठी नेगटिव पोलॅरिटी सह फक्त एकच कंडक्टर अर्थ रिटर्न मार्ग म्हणून वापरला जातो. पॉवर आणि करंट फक्त एकाच दिशेने वाहतो. मोनोपोलर ट्रान्समिशन सिस्टमसाठी करंट 200A ते 1000A पर्यंत आहे.

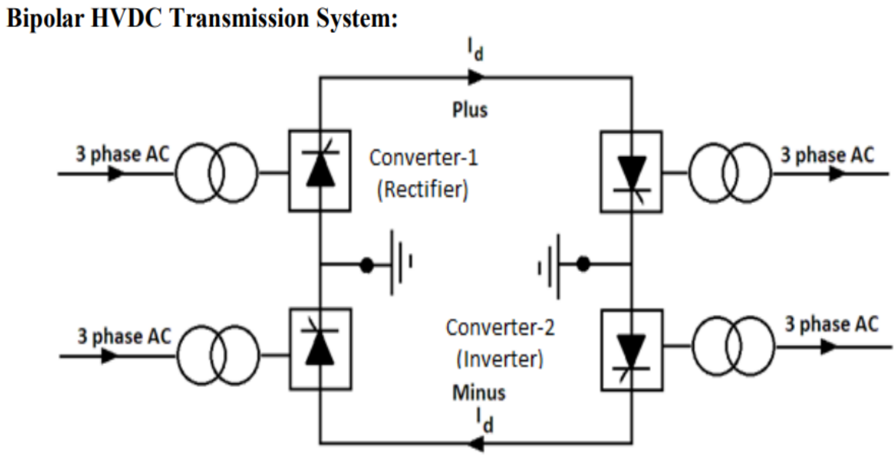
मोनो-पोलर लिंकचे फायदे (Advantages of mono polar link):

- हे फक्त एकच कंडक्टर वापरते. म्हणून, डिझाइन अगदी सोपे आहे.
- यासाठी कमी देखभाल आवश्यक आहे.
- उच्च चार्जिंग करंट्समुळे, हे लिंक्स HVAC सिस्टमपेक्षा तांत्रिकदृष्ट्या व्यवहार्य आहेत.
- हे किफायतशीर आहे.

मोनो-पोलर लिंकचे तोटे (Disadvantages of mono polar link):

- जेव्हा कंडक्टरमध्ये बिघाड होतो तेव्हा संपूर्ण ट्रान्समिशन सिस्टम बंद होते.
- हे फक्त केबल ट्रान्समिशन सारख्या कमी-पॉवर रेटिंग लिंकसाठी वापरले जातात.

4.5.3 बायपोलार एचव्हीडीसी ट्रान्समिशन लाइन सिस्टम (Bipolar HVDC Transmission Line System):



आकृती 4.11 बायपोलार एचव्हीडीसी ट्रान्समिशन लाइन सिस्टम

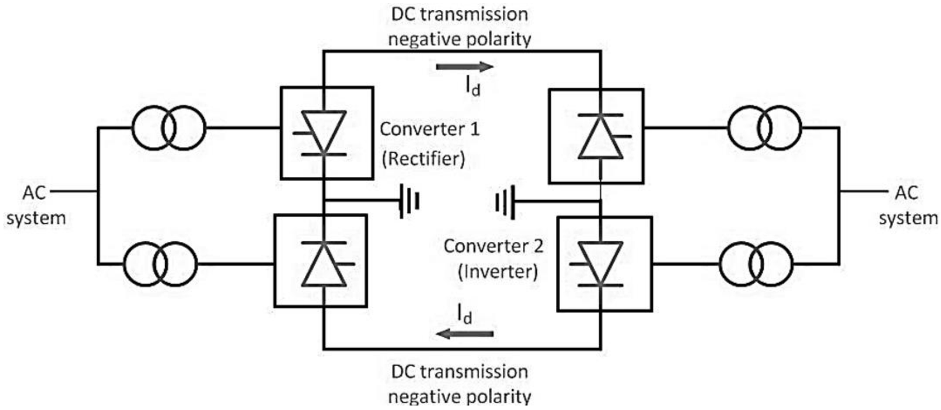
एक एचव्हीडीसी लिंक जो पॉवर आणि करंट ट्रान्समिट करण्यासाठी दोन कंडक्टर वापरतो त्याला **बायपोलार** लिंक (bipolar link) म्हणून ओळखले जाते. सामान्यत: या प्रकारच्या सिस्टम मध्ये दोन कंडक्टर वापरले जातात. एक पॉजिटिव पोलॅरिटी आणि दुसरा नेगटिव पोलॅरिटी. वरील आकृती एचव्हीडीसी **बायपोलार** लिंकाचे प्रतिनिधित्व करते.

4.5.3.1 बायपोलर एचव्हीडीसी ट्रान्समिशन सिस्टमचे मेरिट्स (Merits of Bipolar HVDC Transmission)

1. दोन स्थानकांमध्ये किंवा मेन-लाइनवर पॉवर ट्रान्समिशन सतत चालू असते.
2. एका लिंकवरील फॉल्ट दुसऱ्या लिंकच्या ऑपरेशनवर परिणाम करत नाही.
3. बिघाड परिस्थितीत, ही लिंक मोनोपोलर लिंक म्हणून देखील वापरली जाऊ शकते.
4. दोन पोलची पोलॅरिटी बदलून करंट ची दिशा बदलली जाऊ शकते.

5. बायपोलार लिंकवरील व्होल्टेज एका मोनोपोलर लिंकाच्या पोल आणि अर्थ मधील व्होल्टेजच्या तुलनेत दुप्पट आहे.

4.5.4 होमोपोलर एचव्हीडीसी ट्रान्समिशन लाइनची लेअउट (Layout of Homopolar HVDC transmission line):



आकृती 4.12 होमोपोलर एचव्हीडीसी ट्रान्समिशन लाइनची लेअउट

ही लिंक दोन परंतु समान पोलॅरिटीचे कंडक्टर वापरतात. जेव्हा कंडक्टरवर फॉल्ट होतो तेव्हा हेल्दी (healthy) लिंकचे कन्व्हर्टर उर्वरित कंडक्टरना फीड करण्यासाठी पुरेसे असतात.

या प्रकारच्या लिंक मध्ये अर्थचा वापर रिटर्न कंडक्टर म्हणून केला जातो. फॉल्ट परिस्थितीत हे मोनोपोलर लिंक म्हणून देखील कार्य करते.

4.5.5 EHVAC आणि HVDC ट्रान्समिशन लाइन: वैशिष्ट्ये आणि तुलना (EHVAC and HVDC transmission line: Features and Comparison)

अक्र	पॉइंट	EHVAC	HVDC
1	व्होल्टेज पातळी	220 kV, 400 kV, 765 kV	±500 kV
2	आवश्यक उपकरणे	स्टेप-अप ट्रान्सफॉर्मर आणि स्टेप-डाउन ट्रान्सफॉर्मर	स्टेप-अप ट्रान्सफॉर्मर, रेक्टिफायर आणि इन्व्हर्टर, स्टेप-डाउन ट्रान्सफॉर्मर
3	आर्थिक व्यवहार्यता	मोठ्या प्रमाणात पॉवर ट्रान्समिशन करण्यासाठी उदा. 500 MW आणि त्याहून अधिक उर्जा, लांब अंतरावर, 500 KM आणि त्याहून अधिक, EHVAC किफायतशीर आहे.	HVDC मोठ्या प्रमाणात वीज (1000 MW आणि वरील), लांब अंतरावर (800 KM आणि त्याहून अधिक) ट्रान्समिशन करण्यासाठी किफायतशीर आहे.
4	सिंगल सर्किटसाठी आवश्यक कंडक्टरची संख्या	तीन कंडक्टर (R,Y,B)	एक कंडक्टर आणि अर्थचा वापर परतीचा मार्ग म्हणून केला जातो.
5	डबल	सहा कंडक्टर (R,Y,B आणि	दोन कंडक्टर & ग्राउंड

अक्र	पॉइंट	EHVAC	HVDC
	(Double) सर्किटसाठी	R, Y, B)	परतीचा मार्ग म्हणून वापरला जातो.
6	टॉवरची रचना	भारी (heavy)	हलके
7	मध्यवर्ती सबस्टेशन	प्रत्येक 250 किमी वर आवश्यक	आवश्यक नाही
8	Substattion चा भांडवली खर्च	कमी	अधिक
9	ट्रान्समिशन लाइन किंमत/कि.मी	अधिक	कमी
10	ग्राउंड रिटर्न	अशक्य	शक्य
11	फ्रिक्वेन्सि	उपस्थित	अनुपस्थित
12	स्किन इफेक्ट (Skin effect)	उपस्थित	अनुपस्थित
13	प्रॉक्झीमिटी इफेक्ट (Proximity effect)	उपस्थित	अनुपस्थित
14	फेरांटी इफेक्ट	उपस्थित	अनुपस्थित
15	कोरोनाचे लॉस	उपस्थित	अनुपस्थित
16	रेडिओ हस्तक्षेप	उपस्थित	अनुपस्थित
17	L & C चा इफेक्ट	उपस्थित	अनुपस्थित
18	कॉपर लॉस(Copper Loss)	अधिक	कमी
19	कार्यक्षमता	कमी	अधिक
20	ट्रान्समिशन लाइन मध्ये व्होल्टेज ड्रॉप	अधिक	कमी
21	% रेग्युलेशन	चांगले	अधिक चांगले
22	केबलच्या लांबीवर मर्यादा	चार्जिंग करंटमुळे केबलच्या लांबीवर मर्यादा येतात	चार्जिंग करंट अनुपस्थित आहे, केबलच्या लांबीवर मर्यादा नाही

4.6 विद्युत शक्तीच्या वायरलेस ट्रान्समिशनची संकल्पना (Concept of Wireless Transmission of Electrical Power)

वायरलेस पॉवर ट्रान्सफर ट्रान्सफॉर्मर प्रमाणेच इंडक्टिव्ह पॉवर ट्रान्सफर तत्त्वावर काम करते. फरक एवढाच आहे की ट्रान्सफॉर्मर मध्ये दोन कॉईल्स अगदी जवळ असतात आणि कपलिंग वाढवण्यासाठी फेराइट मटेरियल असते पण वायरलेस पॉवर ट्रान्सफरमध्ये दोन कॉइलमध्ये हवा (air) असते.

4.6.1 वायरलेस ट्रान्समिशनची वैशिष्ट्ये: (Features of Wireless Transmission of Electrical Power):

- व्होल्टेजचे रूपांतर एसी मधे केले जाते, शक्यतो हाय-फ्रिक्वेन्सी एसी.
- हा हाय फ्रिक्वेन्सी एसी प्रवाह ट्रान्समीटर सर्किटद्वारे कॉइलमध्ये ट्रान्समीट केला जातो. हा एसी ट्रान्समीटर कॉइलमध्ये चुंबकीय क्षेत्र निर्माण करतो.
- प्रेरित चुंबकीय क्षेत्र शेजारच्या रिसीव्हर कॉइलमध्ये करंट निर्माण करते.
- चुंबकीय क्षेत्राची स्ट्रेंग्थ ट्रान्समीटर अंतराच्या चौरसापर्यंत कमी होते ,ज्यामुळे पॉवरचे रेग्युलेशन करणे कठीण होते आणि ऊर्जा कार्यक्षमता कमी होते.
- रेझोनन्समुळे याचे निराकरण होते. ट्रान्समीटर आणि रिसीव्हर कॉइलमध्ये समान फ्रिक्वेन्सि असलेल्या दोन प्रणाली (system) चुंबकीयरित्या (magnetically) जोडल्या जातात, ज्यामुळे उच्च ऊर्जा हस्तांतरण कार्यक्षमतेची (Transmission Efficiency) मिळते.
- याचा अर्थ असा की पॉवर ट्रान्सफर मेटल किंवा इतर मटेरियलच्या जोडणीशिवाय होऊ शकते. हे होण्यासाठी, ट्रान्समीटर आणि रिसीव्हिंग कॉइल दोन्ही समान फ्रिक्वेन्सि वर प्रतिध्वनित (Resonant) होणे आवश्यक आहे.

स्व:अध्ययन (Exercise) :

1. EHV ट्रान्समिशनची आवश्यकता आणि महत्त्व स्पष्ट करा.
2. उच्च व्होल्टेज सबस्टेशन कंपोनंन्टची नोंद करा. प्रत्येक कंपोनंन्टचे कार्य स्पष्ट करा.
3. फेरांटी इफेक्ट आणि कोरोना इफेक्ट स्पष्ट करा.
4. कोणत्याही 4 मुद्द्यांवर HVDC आणि EHVAC ट्रान्समिशनची तुलना करा.
5. ब्लॉक आकृतीसह HVDC ट्रांसमिशनचे लेआउट स्पष्ट करा.
6. एचव्हीडीसी ट्रान्समिशनचे वर्गीकरण करा. कोणताही एक प्रकार स्पष्ट करा.
7. लाइन कॉम्पेन्सेशनचे प्रकार स्पष्ट करा.

संदर्भ पाठयपुस्तक (Reference Books)

1. Electrical Power Transmission and Distribution Authors: Sivanagaraju S.; Satyanarayana S. Pearson Publications ISBN: 8131707911, 9788131707913
2. EHV -AC, HVDC Transmission & Distribution Engineering, S Rao, Khanna Publications, ISBN 10: 8174090436, 978-8174090430

माहिती संकेतस्थळ (Information Websites):

1. https://electengmaterials.com/ehvac-transmission/#google_vignette
2. https://www.tutorialspoint.com/difference-between-hvac-and-hvdc-transmission-systems
3. https://cleanenergygrid.org/wp-content/uploads/2014/08/High-Temperature-Low-Sag.pdf

युनिट – ५
डिस्ट्रिब्युशन लाइन कॉम्पोनन्ट्स , पॅरामीटर आणि परफॉर्मन्स
(Distribution Line Components, Parameters and Performance)

विषय निष्पत्ती (Course Outcomes (COs):

विद्युत उर्जा डिस्ट्रिब्युशन सिस्टिम चे कार्य आणि ऑपरेशन राखणे.
(Maintain the functioning and operation of electric power distribution system.)

विषय निष्पत्ती बरोबर जुळणारी थिअरी लर्निंग निष्पत्ती (Theory Learning Outcomes (TLOs) aligned to Course Outcomes COs) :

5.1 दिलेल्या वितरण रेषेचे वर्गीकरण करा.
(Classify the given Distribution line.)
5.2 डिस्ट्रिब्युशन लाइनची उभारणी आणि दिलेल्या घटकांच्या कार्याचे वर्णन करा.
(Describe the Distribution line erection and functioning of the given components.)
5.3 दिलेल्या वितरण लाइन घटकांची संकल्पना स्पष्ट करा.
(Explain the concept of the given Distribution line Components.)
5.4 विशिष्ट वितरण योजना विस्तृत करा.
(Elaborate the specified Distribution schemes.)
5.5 दिलेल्या निकषांवर आधारित वितरण रेषेच्या कामगिरीचे मूल्यमापन करा.
(Evaluate the performance of the Distribution line based on the given criteria.)
5.6 दिलेल्या वितरण सबस्टेशन लेआउट आणि घटकांचे वर्णन करा.
(Describe the given distribution substation layout and components.

परिचय (Introduction):

डिस्ट्रिब्युशन लाइन हे इलेक्ट्रिकल ग्रिडचे महत्त्वाचे कॉम्पोनन्ट्स आहेत, जे सबस्टेशनपासून ग्राहकांपर्यंत वीज वाहून नेण्यासाठी जबाबदार असतात. कार्यक्षम आणि विश्वासार्ह ऑपरेशनसाठी त्यांचे कॉम्पोनन्ट्स, पॅरामीटर्स आणि परफॉर्मन्स समजून घेणे आवश्यक आहे.

डिस्ट्रिब्युशन लाइन कॉम्पोनन्ट्स (Components of Distribution Lines)

1. कंडक्टर (Conductors):
- साहित्य (Materials): ॲल्युमिनियम (AAC, AAAC), तांबे (CU).
- प्रकार (Types): ओव्हरहेड (बेअर, झाकलेले), अंडरग्राऊंड (इन्सुलेटेड).

2. खांब आणि टॉवर (Poles and Towers):
- साहित्य (Materials): लाकूड, स्टील, काँक्रीट, संमिश्र.
- प्रकार (Types): सिंगल-पोल, एच-फ्रेम, ल्याटीस टॉवर.

3. इन्सुलेटर (Insulators):
- साहित्य (Materials):पोर्सिलेन, काच, पॉलिमर.
- प्रकार (Types):पिन, सस्पेन्शन, स्ट्रैन.

4. ट्रान्सफॉर्मर (Transformers):
- प्रकार (Types): स्टेप-अप, स्टेप-डाउन ट्रान्सफॉर्मर, डिस्ट्रिब्युशन ट्रान्सफॉर्मर.
- कार्य (Function): ग्राहकांच्या वापरासाठी व्होल्टेज लेवल कमी किंवा जास्त करतो.

5. स्विचगियर (Switchgear):
- कॉम्पोनन्ट्स (Components): सर्किट ब्रेकर्स, आयसोलेटर, लाईटनिंग अरेस्टर, स्विचेस.
- कार्य(Function): डिस्ट्रिब्युशन सर्किट्सचे संरक्षण आणि नियंत्रण.

6. संरक्षण उपकरणे (Protection Devices):
- फ्यूज(Fuse): ओव्हर करंट्सपासून संरक्षण करणे.
- सर्ज अरेस्टर्स (Surge Arresters): विजा आणि स्विचिंग सर्जेसपासून संरक्षण करणे.

5.1 इलेक्ट्रिक पॉवर वितरण प्रणाली: सिंगल लाइन डायग्राम (Electric power Distribution systems: Single line diagram)

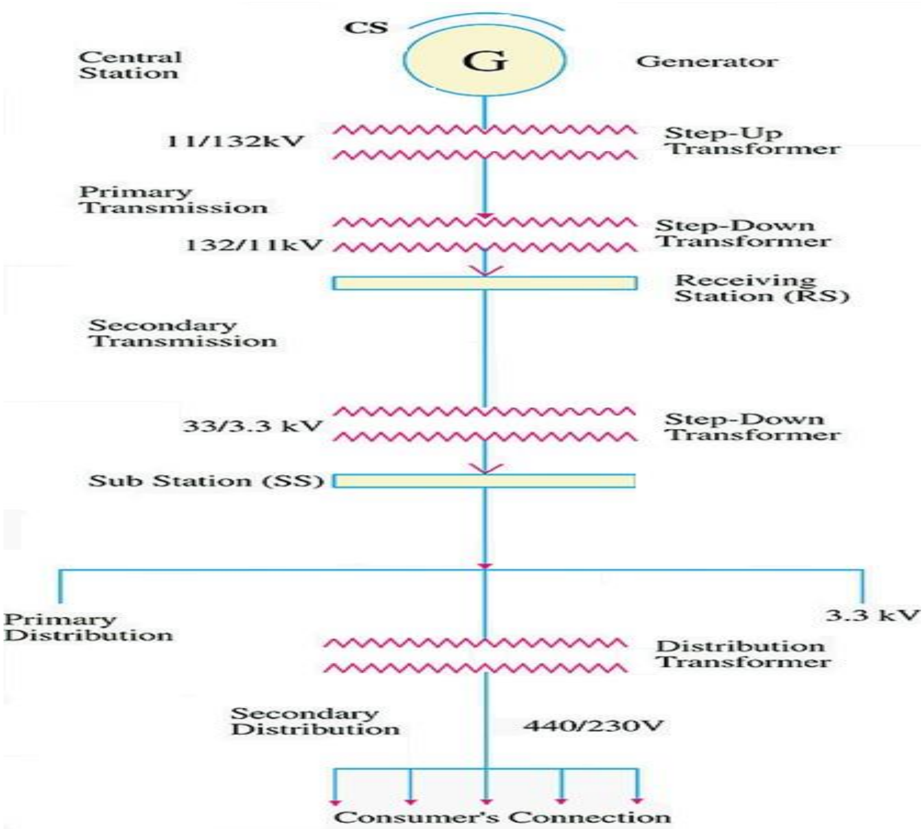
सिंगल लाइन डायग्राम (Single Line Diagram):

वीज केंद्र आणि ग्राहक यांच्यातील कंडक्टरचे मोठे जाळे दोन भागांमध्ये विभागले जाऊ शकते. उदा, ट्रान्समिशन सिस्टम आणि डिस्ट्रिब्युशन सिस्टिम.

ट्रान्समिशन सिस्टम आणि डिस्ट्रिब्युशन सिस्टिम चे दोन भागांमध्ये उप-विभाजित केले जाऊ शकते-

1) प्रायमरी ट्रांसमिशन आणि सेकंडरी ट्रांसमिशन
2) प्रायमरी डिस्ट्रिब्युशन आणि सेकंडरी डिस्ट्रिब्युशन .

आकृती 5.1 ठराविक A.C. चे लेआउट दाखवते.



आकृती 5.1 इलेक्ट्रिक पॉवर सिस्टमची रचना

(i) जनरेटिंग स्टेशन (Generating station):

आकृतीमध्ये G.S हे जनरेटिंग स्टेशनचे प्रतिनिधित्व करते जेथे समांतरपणे कार्यरत 3-फेज अल्टरनेटरद्वारे विद्युत उर्जा तयार केली जाते. नेहमीचे जनरेशन व्होल्टेज 11 kV आहे. विद्युत उर्जेच्या ट्रांसमिशनमध्ये अर्थव्यवस्थेसाठी, जनरेशन व्होल्टेज (11 kV) 3-फेज ट्रान्सफॉर्मरच्या मदतीने जनरेटिंग स्टेशनवर 132 kV (किंवा अधिक) पर्यंत वाढविले जाते. उच्च व्होल्टेजवर विद्युत उर्जेच्या ट्रांसमिशनमध्ये कंडक्टर सामग्रीची बचत आणि उच्च ट्रांसमिशन कार्यक्षमता (Efficiency) यासह अनेक फायदे आहेत. कंडक्टर मटेरिअल वाचवण्यासाठी आणि इतर फायदे मिळण्यासाठी इलेक्ट्रिक पॉवर ट्रान्समिशनसाठी जास्तीत जास्त संभाव्य व्होल्टेज वापरणे उचित आहे. परंतु ही व्होल्टेज वाढवण्याची मर्यादा आहे. कारण ट्रान्समिशन व्होल्टेज वाढल्याने इन्सुलेशन समस्या उद्भवतात तसेच स्विचगियर आणि ट्रान्सफॉर्मर उपकरणांची किंमत वाढते. म्हणून, योग्य ट्रांसमिशन व्होल्टेजची निवड हा मूलत: अर्थशास्त्राचा प्रश्न आहे. साधारणपणे प्रायमरी ट्रान्समिशन 66 kV, 132 kV, 220 kV किंवा 400 kV वर चालते.

(ii) प्रायमरी ट्रान्समिशन (Primary Transmission):

132 kV ची विद्युत उर्जा शहराच्या बाहेरील भागात 3-फेज, 3-वायर ओव्हरहेड सिस्टिम द्वारे ट्रान्स्मिट केली जाते, हे प्रायमरी ट्रान्समिशन म्हणून ओळखले जाते.

(iii) सेकंडरी ट्रान्समिशन (Secondary Transmission):

प्रायमरी ट्रान्समिशन लाइन रिसीव्हिंग स्टेशनवर (RS) संपते जी सहसा शहराच्या बाहेरील भागात असते. रिसीव्हिंग स्टेशनवर, स्टेप-डाउन ट्रान्सफॉर्मरद्वारे व्होल्टेज 33kV पर्यंत कमी केले जाते. या स्टेशनवरून, शहरातील मोक्याच्या ठिकाणी असलेल्या विविध उपकेंद्रांना (SS) 3-फेज, 3-वायर ओव्हरहेड सिस्टमद्वारे 33kV वर विद्युत उर्जा ट्रान्स्मिट केली जाते. हे सेकंडरी ट्रान्समिशन म्हणून ओळखले जाते.

(iv) प्रायमरी डिस्ट्रिब्युशन (Primary distribution):

सेकंडरी ट्रान्समिशन लाइन सब-स्टेशन (SS) येथे संपते जिथे व्होल्टेज 33 kV वरून 11kV, 3-फेज, 3-वायर पर्यंत कमी केले जाते. शहरातील महत्त्वाच्या रस्त्यांच्या दुतर्फा 11 kV लाईन धावतात. हे लक्षात घेतले पाहिजे की मोठ्या ग्राहकांना (50 kW पेक्षा जास्त मागणी असलेल्या) त्यांच्या स्वतःच्या सब-स्टेशनसह पुढील हाताळणीसाठी सामान्यतः 11 kV वर वीज पुरवठा केला जातो.

(v) सेकंडरी डिस्ट्रिब्युशन (Secondary distribution):

प्रायमरी डिस्ट्रिब्युशन लाइन (11 kV) पासून विद्युत उर्जा डिस्ट्रिब्युशन सब-स्टेशनना (DS) दिली जाते. ही सबस्टेशन ग्राहकांच्या परिसराजवळ स्थित आहेत आणि सेकंडरी डिस्ट्रिब्युशणासाठी 400 V, 3-फेज, 4-वायर पर्यंत व्होल्टेज खाली करतात. कोणत्याही दोन लाईनधील व्होल्टेज 400 V आहे आणि कोणत्याही फेज आणि न्यूट्रल Neutral दरम्यान 230 V आहे. सिंगल-फेज लोड रेसिडेंट लोड कोणत्याही एका फेज आणि न्यूट्रल दरम्यान जोडलेले आहे, तर 3-फेज, 400 V मोटर लोड 3-फेजमध्ये जोडलेले आहे.

5.2 डिस्ट्रिब्युशन लाइन वर्गीकरण: प्रायमरी डिस्ट्रिब्युशन आणि सेकंडरी डिस्ट्रिब्युशन, भारतात वापरलेली मानक व्होल्टेज पातळी.

(Classification of Distribution lines: Primary and Secondary Distribution; Standard Voltage level used in India.)

5.2.1 पॉवर ट्रान्समिशनच्या विविध सिस्टिम (Various Systems of Power Transmission):

हे आधीच निदर्शनास आणून दिले आहे की विद्युत उर्जेच्या ट्रान्समिशनसाठी, 3-फेज, 3-वायर A.C. सिस्टिम सर्वत्र स्वीकारली जाते. तथापि, इतर सिस्टिम देखील विशेष परिस्थितीत ट्रान्स्मिट करण्यासाठी वापरल्या जाऊ शकतात. ट्रान्समिशनच्या विविध संभाव्य सिस्टिम आहेत

1. **D.C. सिस्टिम (D.C. system)**
   (i) D.C. दोन-वायर.
   (ii) D.C. मिड-पॉइंट अर्थ असलेली दोन-तार.
   (iii) D.C. तीन-वायर.
2. **सिंगल-फेज A.C. सिस्टिम (Single-phase A.C. system)**
   (i) सिंगल-फेज टू-वायर.
   (ii) सिंगल-फेज टू-वायर ज्यामध्ये मिड-पॉइंट अर्थ आहे.
   (iii) सिंगल-फेज थ्री-वायर.
3. **दोन-फेज A.C. सिस्टिम (Two-phase A.C. system)**
   (i) दोन-फेज चार-वायर.
   (ii) टू-फेज थ्री वायर.
4. **तीन-फेज A.C. सिस्टिम (Three-phase A.C. system)**
   (i) थ्री-फेज थ्री-वायर.
   (ii) तीन-फेज चार-वायर.

5.2.2 डिस्ट्रिब्युशन सिस्टिमचे वर्गीकरण (Classification of Distribution System):
डिस्ट्रिब्युशन सिस्टिमनुसार वर्गीकरण केले जाऊ शकते;

i. प्रवाहाचे स्वरूप (Nature of Current):

वर्तमानाच्या स्वरूपानुसार, डिस्ट्रिब्युशन सिस्टिमचे वर्गीकरण केले जाऊ शकते.

(a) D.C. डिस्ट्रिब्युशन सिस्टिम

(b) A.C. डिस्ट्रिब्युशन सिस्टिम

आजकाल, A.C.विद्युत उर्जेच्या डिस्ट्रिब्युशनसाठी ही सिस्टिम सार्वत्रिकपणे स्वीकारली जाते कारण ती थेट चालू पद्धतीपेक्षा सोपी आणि अधिक किफायतशीर आहे.

ii. कन्स्ट्रक्टशन प्रकार (Type of construction):
कन्स्ट्रक्टशनच्या प्रकारानुसार डिस्ट्रिब्युशन सिस्टिमचे वर्गीकरण केले जाऊ शकते.

(a) ओव्हरहेड सिस्टिम

(b) अंडरग्राऊंड सिस्टिम .

ओव्हरहेड सिस्टिम सामान्यतः डिस्ट्रिब्युशनसाठी वापरली जाते कारण ती समतुल्य अंडरग्राऊंड सिस्टिम पेक्षा 5 ते 10 पट स्वस्त आहे. सर्वसाधारणपणे, ज्या ठिकाणी ओव्हरहेड बांधकाम अव्यवहार्य आहे किंवा स्थानिक कायद्यांद्वारे प्रतिबंधित आहे अशा ठिकाणी अंडरग्राऊंड सिस्टिम वापरली जाते.

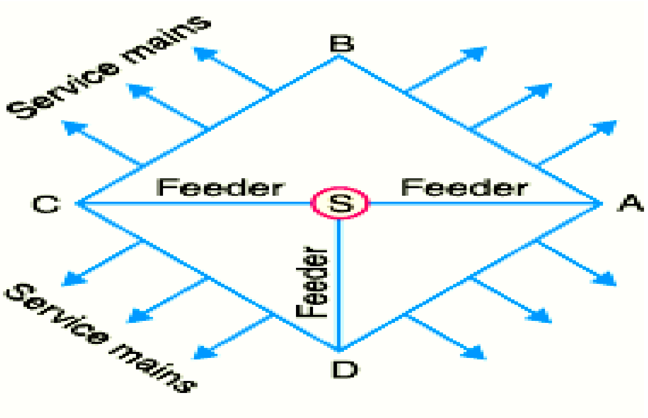
iii. जोडणीची योजना (Scheme of connection):

कनेक्शन योजनेनुसार, डिस्ट्रिब्युशन सिस्टिम चे वर्गीकरण केले जाऊ शकते

(a) रेडियल सिस्टिम (Radial system)

(b) रिंग मेन सिस्टिम (Ring Main system)

(c) इंटर-कनेक्टेड सिस्टिम (Inter connected system)



आकृती 5.2 डिस्ट्रिब्युशन सिस्टिम

5.2.3 AC डिस्ट्रिब्युशन (AC Distribution):

आजकाल विद्युत उर्जा AC स्वरूपात जनरेट, ट्रान्स्मिट आणि डिस्ट्रीबुट केली जाते. याचे महत्त्वाचे कारण म्हणजे ट्रान्सफॉर्मरच्या सहाय्याने AC व्होल्टेज सहजतेने परिमाणात बदलता येते. ट्रान्सफॉर्मरने A.C. डिस्ट्रीबुट करणे शक्य केले आहे. उच्च व्होल्टेजवर पॉवर आणि सुरक्षित क्षमतेवर त्याचा वापर करा. उच्च प्रक्षेपण आणि डिस्ट्रिब्युशन व्होल्टेजमुळे कंडक्टरमधील विद्युत् प्रवाह मोठ्या प्रमाणात कमी झाला आहे आणि परिणामी लाइन तोटा कमी झाला आहे.

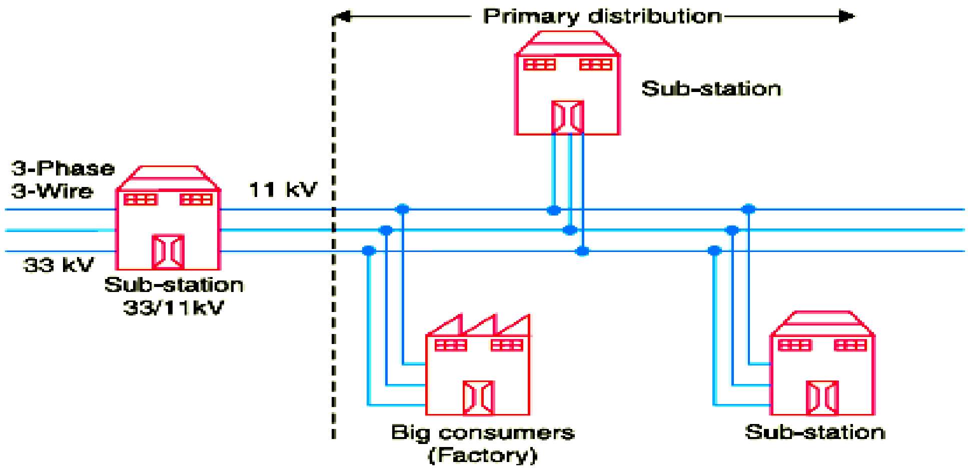
व्होल्टेज किंवा बल्क क्षमतेनुसार ट्रान्समिशन आणि डिस्ट्रिब्युशन यांच्यामध्ये कोणतीही निश्चित रेषा नाही. तथापि, सर्वसाधारणपणे, A.C.डिस्ट्रिब्युशन सिस्टिम ही दरम्यानची विद्युत सिस्टिम आहे

A.C. डिस्ट्रिब्युशन सिस्टिम प्रायमरी डिस्ट्रिब्युशन सिस्टिम आणि सेकंडरी डिस्ट्रिब्युशन सिस्टिम मध्ये वर्गीकृत आहे.

i. प्रायमरी डिस्ट्रिब्युशन सिस्टिम. (Primary Distribution System):

प्रायमरी डिस्ट्रिब्युशन सिस्टिम जी सामान्य वापरापेक्षा काहीशी जास्त व्होल्टेजवर चालते आणि सरासरी कमी-व्होल्टेज ग्राहक वापरत असलेल्या विद्युत उर्जेचे मोठे ब्लॉक्स हाताळते. प्रायमरी वितरणासाठी वापरला जाणारा व्होल्टेज हा पोचवल्या जाणाऱ्या पॉवरच्या प्रमाणात आणि पुरवावयाच्या सबस्टेशनच्या अंतरावर अवलंबून असतो. सर्वात सामान्यपणे वापरले जाणारे प्रायमरी डिस्ट्रिब्युशन व्होल्टेज 11 kV, 6·6 kV आणि 3·3 kV आहेत.

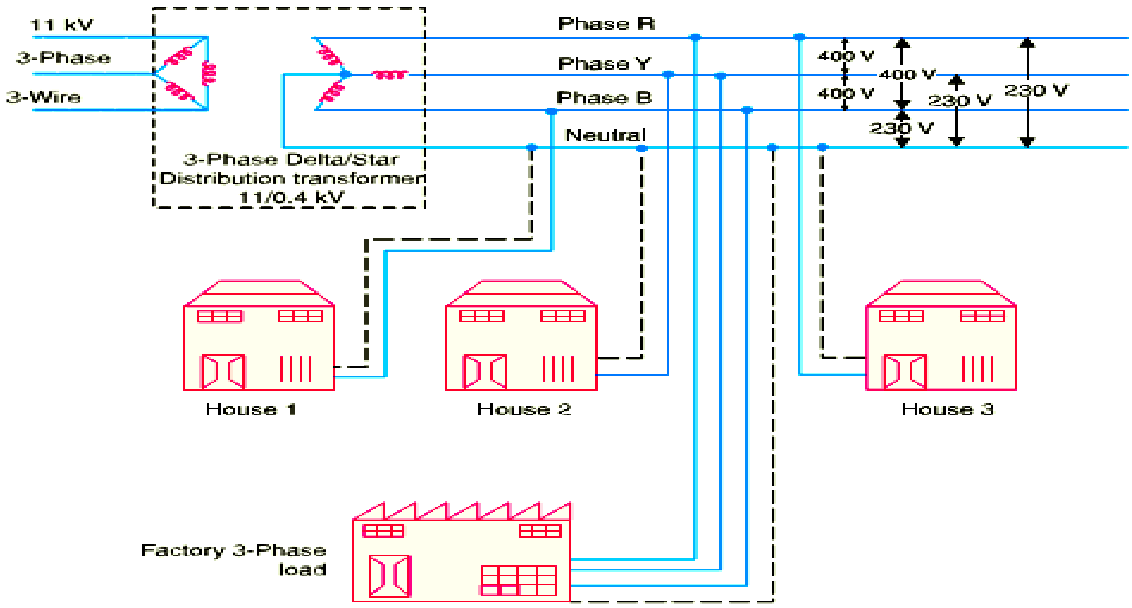
आर्थिक विचारांमुळे, प्रायमरी डिस्ट्रिब्युशन 3-फेज, 3-वायर सिस्टिम द्वारे केले जाते. चित्र. एक सामान्य प्रायमरी डिस्ट्रिब्युशन सिस्टिम दर्शवते जे जनरेटिंग स्टेशनमधून विद्युत उर्जा उच्च व्होल्टेजवर शहरामध्ये किंवा जवळ असलेल्या सबस्टेशनवर डिस्ट्रीब्युट केली जाते.



आकृती 5.3 प्रायमरीडिस्ट्रिब्युशन सिस्टिम

ii. सेकंडरी डिस्ट्रिब्युशन सिस्टिम (Secondary Distribution System):

सेकंडरी डिस्ट्रिब्युशन 400/230V, 3-फेज, 4 वायर सिस्टिम वापरते. खालील आकृती एक सामान्य सेकंडरी डिस्ट्रिब्युशन सिस्टिम दर्शवते. प्रायमरी डिस्ट्रिब्युशन सर्किट विविध उपकेंद्रांना वीज पुरवते, ज्याला डिस्ट्रिब्युशन सबस्टेशन म्हणतात. सबस्टेशन ग्राहकांच्या परिसराजवळ स्थित आहेत आणि त्यात स्टेप-डाउन ट्रान्सफॉर्मर आहेत. प्रत्येक डिस्ट्रिब्युशन सबस्टेशनवर, व्होल्टेज 400V पर्यंत खाली आणले जाते आणि 3-फेज, 4-वायर A.C. द्वारे वीज वितरित केली जाते. सिस्टिम कोणत्याही दोन टप्प्यांमधील व्होल्टेज 400V आहे आणि कोणत्याही टप्प्यातील आणि 230V तटस्थ करणे. सिंगल फेज डोमेस्टिक लोड्स कोणत्याही एका फेज आणि न्यूट्रल दरम्यान जोडलेले असतात, जिथे 3-फेज 400V मोटर लोड्स थेट 3-फेज लाईन्समध्ये जोडलेले असतात.



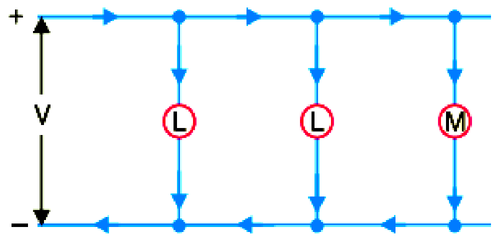
आकृती 5.4 सेकंडरी डिस्ट्रिब्युशन सिस्टिम

5.2.4 D.C. डिस्ट्रिब्युशन (D.C. Distribution):

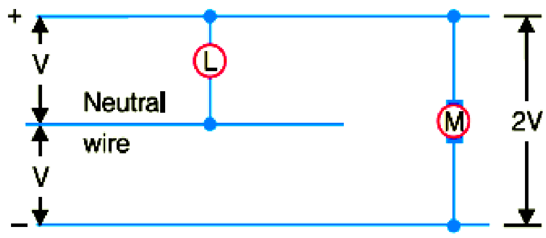
हे एक सामान्य ज्ञान आहे की विद्युत उर्जा जवळजवळ केवळ उत्पन्न, प्रसारित आणि A.C म्हणून वितरित केली जाते. तथापि, काही विशिष्ट अनुप्रयोगांसाठी, DC पुरवठा पूर्णपणे आवश्यक आहे. उदाहरणार्थ, D.C. व्हेरिएबल स्पीड मशिनरी (D.C. मोटर्स), इलेक्ट्रो-केमिकल कामासाठी आणि बॅटरी रिझर्व्ह स्टोरेज आवश्यक असलेल्या गर्दीच्या भागांसाठी पुरवठा आवश्यक आहे. या हेतूने, AC पावरचे D.C. मध्ये रूपांतर होते. कन्व्हर्टिंग मशिनरी उदा., मेर्क्युरी आर्क रेक्टिफायर्स, रोटरी कन्व्हर्टर्स आणि मोटर-जनरेटर संच वापरून सबस्टेशनवर पॉवर डी.सी. सबस्टेशनमधून 2-वायरच्या स्वरूपात मिळू शकतो

i. 2-वायर D.C. सिस्टिम (2-wire D.C. system):

नावाप्रमाणेच, या डिस्ट्रिब्युशन सिस्टिम मध्ये दोन तारांचा समावेश आहे. एक म्हणजे आउटगोइंग किंवा पॉझिटिव्ह वायर आणि दुसरी रिटर्न किंवा निगेटिव्ह वायर. आकृतीत दर्शविल्याप्रमाणे दिवे, मोटर्स इत्यादी भार दोन तारांमध्ये समांतर जोडलेले आहेत. ही सिस्टिम कमी कार्यक्षमतेमुळे कधीच प्रसारणासाठी वापरली जात नाही परंतु D.C.च्या वितरणासाठी वापरली जाऊ शकते.



a) DC 2 वायर सिस्टीम



b) DC थ्री वायर सिस्टीम

आकृती 5.5

ii. 3-वायर D.C. सिस्टिम (3-wire D.C. System):

यात दोन बाह्य (external) आणि एक न्यूट्रल वायर असते. आकृतीमध्ये दर्शविल्याप्रमाणे बाह्य (external) आणि न्यूट्रल वायरमधील व्होल्टेजच्या दुप्पट आहे. या सिस्टिम चा फायदा असा आहे की ते ग्राहक टर्मिनल्सवर दोन व्होल्टेज उपलब्ध करते उदा., कोणत्याही बाह्य आणि न्यूट्रल दरम्यान V आणि बाह्य दरम्यान 2V. उच्च व्होल्टेजची आवश्यकता असलेले भार (उदा. मोटर्स) बाहेरील बाजूस जोडलेले असतात, तर कमी व्होल्टेजची आवश्यकता असलेले दिवे आणि हीटिंग सर्किट एकतर बाह्य आणि न्यूट्रल दरम्यान जोडलेले असतात. 3-वायर सिस्टम मिळविण्याच्या पद्धती पुढील लेखात चर्चा केल्या आहेत.

5.3 डिस्ट्रिब्युशन लाइन कॉम्पोनन्ट्स: लाइन सपोर्टचे प्रकार, लाइन इंसुलेटर और ओवरहेड/अंडरग्राउंड कंडक्टर (एसीएसआर/इंसुलेटेड पावर केबल) त्यांच्या कामांसह. (Distribution line Components: Types of Line supports, Line Insulators and Overhead/ Underground Conductors (ACSR/ Insulated Power Cables) with their function.)

5.3 ट्रांसमिशन लाइन कॉम्पोनन्ट्स (Transmission Line Components):

5.3.1 कंडक्टर

5.3.2 लाईन सपोर्ट

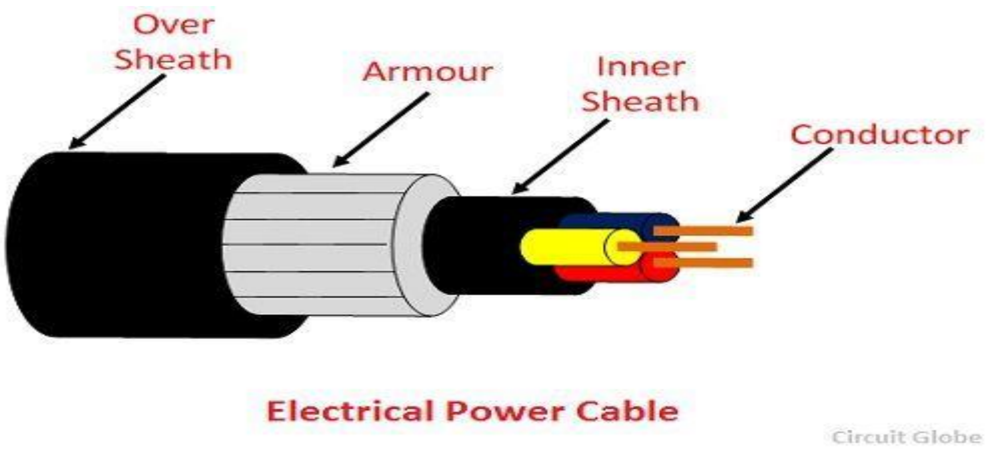
5.3.3 लाइन इन्सुलेटर

5.3.1 a इलेक्ट्रिकल पॉवर केबल (Electrical Power Cable):

व्याख्या: विद्युत उर्जेचे ट्रांसमिशन आणि डिस्ट्रिब्युशन करण्यासाठी वापरल्या जाणाऱ्या केबलला इलेक्ट्रिकल पॉवर केबल म्हणतात. पॉवर केबलमध्ये दोन किंवा अधिक विद्युत वाहक ओव्हर शीथसह जोडलेले असतात. ज्या ठिकाणी ओव्हरहेड लाईन वापरणे अव्यवहार्य आहे, जसे की समुद्र, एअरफील्ड क्रॉसिंग इत्यादी ठिकाणी अतिरिक्त उच्च व्होल्टेजच्या ट्रांसमिशनसाठी याचा वापर केला जातो. परंतु त्याच व्होल्टेजसाठी एरियल केबलच्या तुलनेत अंडरग्राऊंड केबल अधिक महाग आहे.

केबलचे कन्स्ट्रक्टशन (Construction of Cable):

केबलचे मुख्य घटक तीन मुख्य भागांमध्ये आढळतात -- कंडक्टर, डायलेक्ट्रिक आणि शीथ. कंडक्टर आत करंट प्रवासासाठी मार्ग म्हणून कार्य करतो. इन्सुलेशन किंवा डायलेक्ट्रिक सेवा वोल्टेजला (working voltage) सहन करते आणि कंडक्टरला इतर वस्तूंपासून अलग करते. शीथ ओलावा प्रवेश (humidity enter) करण्यास नकार देते आणि विद्युत तारांच्या विरोधात त्यांची सुरक्षा करते, जसे की रासायनिक किंवा विद्युत-रसायनिक हल्ल्यांचा, आग, इ. खाली, इलेक्ट्रिकल पॉवर केबल्सच्या आवश्यक घटकांचे तपशीलवार वर्णन केले आहे.



आकृती 5.6

1. **कंडक्टर (Conductor):**

कॉपर आणि ॲल्युमिनियमचा वापर केबल्समध्ये कंडक्टर सामग्री (material) म्हणून केला जातो कारण त्यांची विद्युत चालकता जास्त असते. पॉवर केबल बनवण्यासाठी कॉपर किंवा ॲल्युमिनियम पासून बनवलेल्या असंख्य तारांचा वापर केला जातो.

तीनपेक्षा जास्त तारा असलेल्या कंडक्टरसाठी, वायर मध्यवर्ती ताराभोवती अशी व्यवस्था केली जाते की पहिल्या थरात सहा, दुसऱ्यामध्ये बारा, तिसऱ्यामध्ये अठरा, इत्यादी. कंडक्टरमधील तारांची संख्या 7, 19, 37, 61, 91, इत्यादी आहेत, कंडक्टरचा आकार 7/A, 19/B, 37/C, इत्यादींनी दर्शविला जातो, ज्यामध्ये प्रथम आकडे दर्शवितात स्ट्रँडची संख्या आणि दुसरी आकृती A, B, C, इ. कंडक्टरच्या वैयक्तिक वायरचा सेमी किंवा मिमी मध्ये व्यास दर्शवते.

2. इन्सुलेशन (Insulation):

पॉवर केबल्समध्ये सर्वात जास्त वापरले जाणारे डायलेक्ट्रिक म्हणजे इम्प्रेग्रेटेड कागद, ब्यूटाइल रबर, पॉलिव्हिनाईल क्लोराईड केबल, पॉलिईथिलीन, क्रॉस-लिंक्ड पॉलीईथिलीन. पेपर इन्सुलेटेड केबल्सना बहुतेक प्राधान्य दिले जाते कारण त्यांची सध्याची वहन क्षमता जास्त आहे, सामान्यतः विश्वासाई आणि दीर्घ आयुष्य आहे.

केबलसाठी वापरलेल्या डायलेक्ट्रिक कंपाऊंडमध्ये खालील गुणधर्म असावेत.

1. इन्सुलेटरमध्ये उच्च इन्सुलेशन प्रतिरोध (High Resistance) असणे आवश्यक आहे.
2. त्यात उच्च डायलेक्ट्रिक सामर्थ्य असणे आवश्यक आहे जेणेकरुन ते त्यातून करंट leakage जाऊ देत नाही.
3. चांगली यांत्रिक शक्ती (Mechanical strength) असणे आवश्यक आहे.
4. डायलेक्ट्रिक सामग्री (material) उच्च तापमानात कार्य करण्यास सक्षम असावी.
5. त्यात कमी थर्मल रेझिस्टन्स असणे आवश्यक आहे.
6. त्यात कमी पॉवर फॅक्टर असावा.

पाणबुडी आणि ओलसर मातीसाठी वापरल्या जाणाऱ्या केबल्समध्ये सिंथेटिक डायलेक्ट्रिक्स जसे की पॉलिव्हिनाईल क्लोराईड, पॉलिईथिलीन इत्यादींचा वापर केला पाहिजे. हे साहित्य तुलनेने हलके डायलेक्ट्रिक असतात. तसेच, अशा प्रकारच्या डायलेक्ट्रिक मटेरियलमध्ये चांगली डायलेक्ट्रिक ताकद, कमी पॉवर लॉस आणि कमी थर्मल रेझिस्टन्स असते.

3. इंनर कव्हर (Inner cover):

हे केबलला आर्द्रतेपासून संरक्षित करण्यासाठी वापरले जाते ज्यामुळे इन्सुलेशनवर परिणाम होतो. केबल शीथ शिशाच्या मिश्रधातूपासून बनलेले असते आणि ही ताकद दाबलेल्या केबल्सच्या अंतर्गत दाबांना तोंड देते. आतील आवरणासाठी वापरलेली सामग्री नॉन-चुंबकीय असावी.

पॉवर केबलमध्ये ॲल्युमिनियम शीथ देखील वापरला जातो कारण ती स्वस्त, वजनाने लहान आणि लीड शीथपेक्षा जास्त यांत्रिक शक्ती असते..

4. प्रोटेक्टिव्ह कव्हर (Protective Covering):

लीड शीथ केबल्स थेट जमिनीवर ठेवल्यावर गंज आणि इलेक्ट्रोलाइटमुळे खराब होतात. कागद, हेसियन इत्यादी तंतुमय पदार्थांच्या गंज थरांपासून केबल्सचे संरक्षण करण्यासाठी पॉलिव्हिनाईल क्लोराईडचा वापर केला जातो. विदृयुत केबलच्या बाहेरील भागात जलरोधक कंपाऊंडसह पसरलेल्या तंतुमय पदार्थाच्या थरांना सर्व्हिंग म्हणतात.

5. आर्मरिंग (Armoring):

आर्मरिंग ही प्रक्रिया आहे ज्यामध्ये गॅल्वनाइज्ड स्टील वायरचे थर किंवा धातूच्या टेपचे दोन थर यांत्रिक नुकसानापासून संरक्षण करण्यासाठी वर लावले जातात. स्टीलच्या तारा सामान्यतः आर्मरिंगसाठी वापरल्या जातात कारण त्यांची ताकद जास्त असते. केबलच्या अर्थिंगसाठी आर्मरिंगचा देखील वापर केला जातो. जेव्हा केबलमध्ये फॉल्ट आढळतो (इन्सुलेशन बिघाडामुळे) फॉल्ट करंट आर्मरिंगतून वाहतो.

6. ओव्हरशीथ (Over Sheath):

हे केबल्सना यांत्रिक शक्ती देते. हे ओलावा, गंज, घाण, धूळ इ. यासारख्या नुकसानीपासून केबलचे संरक्षण करते. थर्मोसेटिंग किंवा थर्मोप्लास्टिक सामग्री ओव्हरशीथ बनवण्यासाठी वापरली जाते.

5.3.1 b ACSR (ॲल्युमिनियम कंडक्टर स्टील रीइंफोर्स्ड) (Aluminum Conductor Steel Reinforced)

वैशिष्ट्ये (Characteristics):

1. **साहित्य (Material):**
स्टीलच्या तारांच्या मध्यवर्ती भागाभोवती गुंडाळलेल्या ॲल्युमिनियमच्या पट्ट्यांपासून बनवलेले. ॲल्युमिनियम चांगली चालकता(Conductivity) प्रदान करते, तर स्टील कोर ताकद आणि समर्थन जोडते.
2. **कॅन्स्ट्रक्शन (Construction):**
सामान्यतः, बाह्य स्तरांमध्ये चालकतेसाठी(Conductivity)उच्च-शुद्धता ॲल्युमिनियम असते आणि आतील गाभा (core) यांत्रिक शक्ती (Mechanical strength) प्रदान करण्यासाठी स्टीलचा बनलेला असतो.
3. **सामर्थ्य (Strength):**
स्टीलच्या कोरमुळे उच्च तन्य शक्ती (Tensile strength), अतिरिक्त समर्थनाशिवाय लांब स्पॅनसाठी योग्य बनवते.
4. **हलके (Lightweight):**
तांब्यापेक्षा हलके, जे हाताळणे आणि स्थापित करणे सोपे करते, विशेषत: ओव्हरहेड अनुप्रयोगांसाठी.
5. **गंज प्रतिकार (Corrosion Resistance):**
ॲल्युमिनियम गंजांना चांगला प्रतिकार देते, परंतु स्टीलच्या गाभ्याला गंजापासून संरक्षण आवश्यक असते, विशेषत: गॅल्वनायझेशन किंवा इतर कोटिंग पद्धतींद्वारे.

अप्लिकेशन (Applications):

ओव्हरहेड ट्रान्समिशन लाइन्स: सामान्यतः उच्च-व्होल्टेज ओव्हरहेड ट्रान्समिशन लाईन्समध्ये वापरल्या जातात कारण त्याच्या ताकद आणि हलक्या वजनामुळे, सपोर्ट दरम्यान लांब अंतर ठेवण्याची परवानगी देते.
डिस्ट्रिब्युशन नेटवर्क: ट्रान्समिशन आणि डिस्ट्रिब्युशन दोन्ही नेटवर्कसाठी योग्य, विशेषत: ज्या भागात लांब स्पॅन आवश्यक आहेत.

5.3.1 c इन्सुलेटेड पॉवर केबल्स (Insulated Power Cables)

वैशिष्ट्ये: Characteristics:

1. **साहित्य Material:**

तांबे किंवा ॲल्युमिनियमचे बनलेले कंडक्टर, पीव्हीसी (पॉलिव्हिनाईल क्लोराईड), एक्सएलपीई (क्रॉस-लिंक केलेले पॉलीथिलीन), किंवा ईपीआर (इथिलीन प्रोपीलीन रबर) सारख्या इन्सुलेट सामग्रीने झाकलेले.
2. **इन्सुलेशन Insulation:**
इलेक्ट्रिकल शॉक, शॉर्ट सर्किट आणि ओलावा आणि रसायने यांसारख्या बाह्य पर्यावरणीय कॉम्पोनन्ट्पासून संरक्षण प्रदान करते.
3. **कन्स्ट्रक्टशन Construction:**
सामान्यत: एकापेक्षा जास्त स्तरांचा समावेश होतो - कंडक्टर, एक इन्सुलेटिंग स्तर, कधीकधी एक संरक्षक स्तर आणि बाह्य संरक्षणात्मक जाकीट.
4. **लवचिकता Flexibility:**
इन्सुलेशन बहुतेक वेळा ACSR पेक्षा अधिक लवचिक असते, त्यामुळे विविध वातावरणांमध्ये त्याचे मार्गनिर्देशन करणे सोपे होते.
5. **सुरक्षितता Safety:**
कंडक्टरशी थेट संपर्क टाळण्यासाठी इन्सुलेटेड, हाताळणी आणि स्थापनेसाठी सुरक्षितता वाढवते.

अप्लिकेशन Applications:

- अंडरग्राउंड पॉवर लाईन्स: सामान्यतः अंडरग्राऊंड स्थापनेसाठी वापरल्या जातात जेथे ओव्हरहेड लाईन्स अव्यवहार्य असतात.
- औद्योगिक आणि व्यावसायिक इमारती: त्यांच्या सुरक्षितता आणि इन्सुलेशनमुळे वीज वितरणासाठी इमारतींमध्ये मोठ्या प्रमाणावर वापरले जातात.
- सबस्टेशन्स आणि उपकरणे: सबस्टेशन्स आणि इतर इलेक्ट्रिकल इंस्टॉलेशन्समध्ये उपकरणे जोडण्यासाठी योग्य जेथे ओव्हरहेड लाईन्सला परवानगी नाही.

5.3.2 लाइन सपोर्टचे प्रकार (Types of Line Supports)

लाईन सपोर्ट्स कमी किंमतचे, कमी देखभाल खर्चचे आणि दीर्घ आयुष्यचे असते. लाइन सपोर्ट लाकूड, काँक्रीट, स्टील किंवा ॲल्युमिनियमपासून बनलेले असतात. याचे प्रामुख्याने खालील प्रकार आहे.

a. लाकडी खांब (Wood Poles)

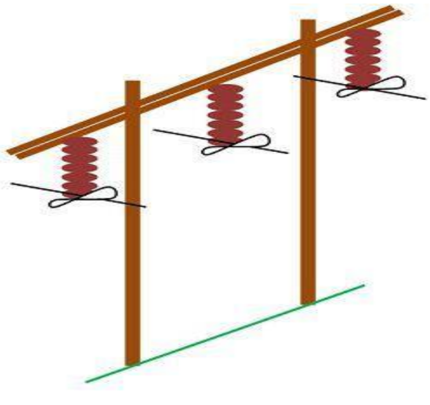
b. काँक्रीटचे खांब (Concrete Poles)

c. स्टीलचे खांब (Steel Poles)

d. इलेक्ट्रिकल टॉवर (Electrical Towers)

a. लाकडी खांब (Wood Poles)

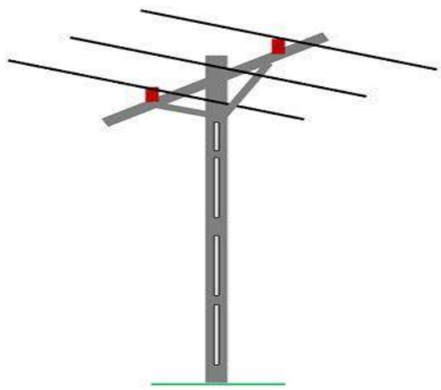
हा सर्वात स्वस्त प्रकारच्या लाईन सपोर्टपैकी एक आहे आणि जिथे स्पॅन लहान आहेत आणि ताण कमी आहे अशा लाईनसाठी वापरला जातो. लाकडी खांबांना उंची आणि व्यासाच्या मर्यादा असतात. लाकडाच्या खांबामध्ये नैसर्गिक इन्सुलेट गुणधर्म असतात आणि विजेमुळे कमी फ्लॅशओव्हर होण्याची शक्यता असते. लाकडी खांबाचा एक दोष म्हणजे त्यांची ताकद (strength) आणि टिकाऊपणा (durability) निश्चितपणे सांगता येत नाही.



आकृती 5.7 लाकडी खांब (Wood Poles)

b. काँक्रीटचे खांब (Concrete Poles)

लाकडाच्या खांबाऐवजी काँक्रीटच्या खांब जास्त वापरला जातो.लाकडाच्या खांबापेक्षा त्याचे आयुष्य जास्त असते. त्यांचा देखभाल खर्च कमी आहे. काँक्रीटचे खांब खूप जड असतात आणि त्यांच्या ठिसूळ स्वरूपामुळे लोडिंग, अनलोडिंग, वाहतूक आणि उभारणी दरम्यान नुकसान होऊ शकतात.



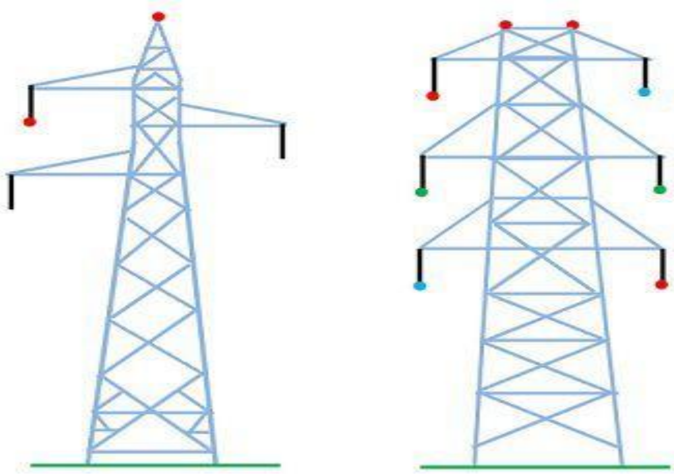
आकृती 5.8 काँक्रीटचे खांब (Concrete Poles)

c. स्टीलचे खांब (Steel Poles)

कमी आणि मध्यम व्होल्टेजसाठी ट्यूबलर स्टीलचे खांब आधार वापरला जातो. स्टीलच्या खांबासह लांब स्पॅन शक्य आहेत. खांबांना गंजण्यापासून रोखण्यासाठी वेळोवेळी गॅल्वनाइज्ड किंवा पेंट करणे आवश्यक आहे. त्यांच्या देखभालीचा खर्च जास्त आहे.

d. इलेक्ट्रिकल टॉवर (Electrical Towers)

इलेक्ट्रिकल टॉवर उच्च व्होल्टेज (230 kV वरील) ट्रान्समिशन लाइन्स वाहून नेण्यासाठी वापरला जातो. अशा प्रकारचे टॉवर ॲल्युमिनियम किंवा स्टीलचे बनलेले असतात ज्यामुळे जड कंडक्टरला आधार देण्यासाठी ताकद मिळते.



आकृती 5.9 इलेक्ट्रिकल टॉवर (Electrical Towers)

5.3.3 इलेक्ट्रिकल इन्सुलेटरचे प्रकार (Types of Electrical Insulator)

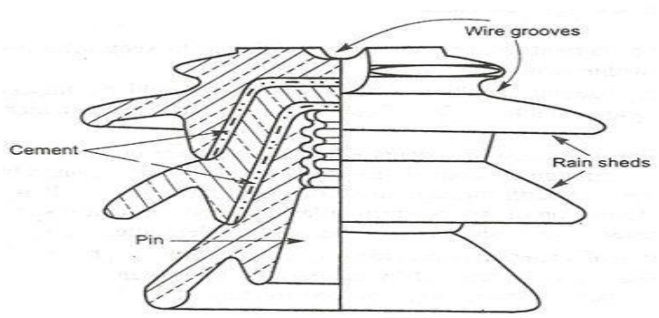
ओव्हरहेड लाइन इन्सुलेटरचा वापर लाईन कंडक्टरला एकमेकांपासून आणि सपोर्टिंग स्ट्रक्चर्सना इलेक्ट्रिकली वेगळे करण्यासाठी केला जातो. इन्सुलेट सामग्रीची (material) डायलेक्ट्रिक सामर्थ्य (dielectric strength) खूप जास्त आहे जेणेकरून ते उच्च विद्युत ताण (HV stress) सहन करू शकेल. लाइटनिंग मध्ये वीज पडणे, स्विच करणे किंवा इतर

कारणांमुळे उद्भवणाऱ्या ओव्हरव्होल्टेजपासून इन्सुलेटर ट्रान्समिशन लाइनचे संरक्षण करतात. ओव्हरहेड लाइनसाठी चार प्रकारचे इन्सुलेशन वापरले जाते.

1. **पिन इन्सुलेटर (Pin insulator)**
2. **सस्पेन्शन इन्सुलेटर (Suspension insulator)**
3. **स्ट्रैन इन्सुलेटर (Strain insulator)**
4. **शॅकल इन्सुलेटर (shackle insulator)**

1. पिन इन्सुलेटर (Pin insulator):

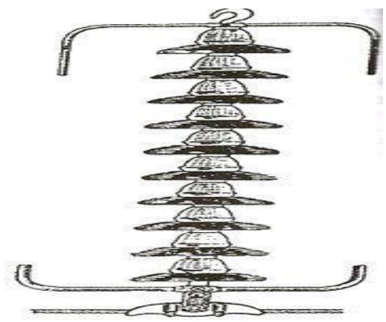
हे 33kv पर्यंत कमी व्होल्टेजच्या ट्रान्समिशनसाठी वापरले जाते. पिन इन्सुलेटरला बोल्टवर आधार दिला जातो जो सपोर्टिंग स्ट्रक्चर्सच्या क्रॉस आर्मवर सुरक्षित असतो. कंडक्टरवरच्या खोबणीवर इन्सुलेटरशी बांधला जातो. सिंगल पीस टाईप इन्सुलेटरचा वापर लोअर व्होल्टेजसाठी केला जातो, परंतु जास्त व्होल्टेजसाठी, पोर्सिलेनची पुरेशी जाडी देण्यासाठी दोन किंवा अधिक तुकडे जोडलेले असतात. खालील आकृतीमध्ये पिन प्रकारचे इन्सुलेटर दर्शविले आहे.



आकृती 5.10 पिन इन्सुलेटर (Pin insulator)

2. सस्पेन्शन इन्सुलेटर (Suspension types insulator):

सस्पेंशन इन्सुलेटरमध्ये लवचिक साखळी किंवा स्ट्रिंग तयार करण्यासाठी मेटल लिंकद्वारे एकमेकांशी जोडलेले काही वेगळे इन्सुलेटर युनिट्स असतात. इन्सुलेटर स्ट्रिंग सपोर्टच्या क्रॉस हातातून टांगलेली आहे. कंडक्टर इन्सुलेटरच्या खालच्या युनिटशी संलग्न आहे.

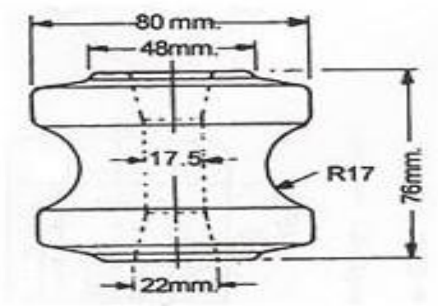


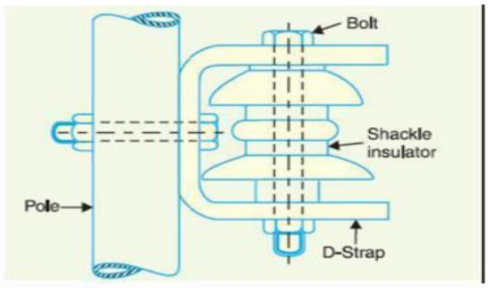
आकृती 5.10 सस्पेन्शन इन्सुलेटर (Suspension types insulator)

3. **स्ट्रैन इन्सुलेटर (Strain insulator)**

लाइनच्या दिशेने किंवा लाइनच्या समाप्तीच्या वेळी बदल होत असलेल्या कोनाच्या स्थानांवर यांत्रिक ताण हाताळण्यासाठी स्ट्रैन इन्सुलेटरची रचना केली जाते. उच्च व्होल्टेज लाइनसाठी लांब स्पॅन्स आणि जास्त यांत्रिक लोडिंग, सस्पेंशन इन्सुलेटर स्ट्रिंग्स क्षैतिज स्थितीत (in a horizontal position) रचना केली जाते.

4. **शॅकल इन्सुलेटर (shackle insulator)**





आकृती 5.11 शॅकल इन्सुलेटर (shackle insulator)

हे इन्सुलेटर बोल्ट, नट आणि वॉशरच्या साहाय्याने एका धातूच्या 'U' क्लॅम्पने क्रॉस आर्म्सला चिकटवले जातात. शॅकल इन्सुलेटरचे कार्य लाइनवरील जास्त ताण कमी करणे आहे.

अप्लिकेशन (Applications):

जेव्हा लाइनवर जास्त ताण येतो तेव्हा खालील परिस्थितींमध्ये शॅकल इन्सुलेटर वापरले जातात. उदा. शॅकल इन्सुलेटर 11 kV लाइनच्या खाली वापरले जातात आणि 11 KV वर स्ट्रेन इन्सुलेटर वापरले जातात.

5.4. विद्युत पुरवठ्याची डिस्ट्रिब्युशन लाईन उभारण्याची पद्धत – 220 V, 400V, 11 kV, 33 kV (Method of Distribution line erection of electric supply – 220 V, 400V, 11 kV, 33 kV)

विद्युत पुरवठ्यासाठी डिस्ट्रिब्युशन लाइन उभारण्याची पद्धत व्होल्टेज पातळीच्या आधारावर बदलते, कारण वेगवेगळ्या व्होल्टेजना विविध बांधकाम तंत्रे, साहित्य आणि सुरक्षितता विचारांची आवश्यकता असते. विविध व्होल्टेज स्तरांवर डिस्ट्रिब्युशन लाइन उभारण्यासाठी येथे क्रमाक्रमाने बाह्यरेखा आहे: 220V, 400V, 11kV आणि 33kV.

5.4.1 डिस्ट्रिब्युशन लाइन उभारणीसाठी सामान्य पायऱ्या (General Steps for Distribution Line Erection)

1. **नियोजन आणि सर्वेक्षण (Planning and Survey):**
   - **मार्ग निवड:Route Selection**: भूप्रदेश, प्रवेशयोग्यता, पर्यावरणीय प्रभाव आणि नियामक आवश्यकता यासारख्या घटकांचा विचार करून डिस्ट्रिब्युशन लाइनसाठी इष्टतम मार्ग निश्चित करा.
   - **लोड मूल्यांकन:Load Assessment:** अपेक्षित विद्युत मागणी लाइन हाताळू शकते याची खात्री करण्यासाठी लोड निश्चित करा.
   - **राइट ऑफ वे (Right of Way) :**जमीन मालक आणि नियामक संस्थांकडून आवश्यक परवानग्या आणि मंजुरी सुरक्षित करा.

2. **डिझाइन आणि अभियांत्रिकी (Design and Engineering):**
   - **स्ट्रक्चरल डिझाईन(Structural Design):** व्होल्टेज पातळी, यांत्रिक भार (Mechanical Strength) आणि पर्यावरणीय परिस्थिती (Environmental condition) लक्षात घेऊन पोल/टॉवर डिझाइन करा.
   - **इलेक्ट्रिकल डिझाईन(Electrical Design):** कंडक्टर प्रकार, आकार, इन्सुलेटर आणि इतर कॉम्पोनन्ट्स विद्युत आवश्यकतांवर आधारित निर्दिष्ट करा.
3. **साहित्य खरेदी (Material Procurement):**
   - **खांब/टॉवर:** खांब (लाकडी, कॉंक्रीट किंवा स्टील) किंवा टॉवर
   - **कंडक्टर:** कंडक्टर (ॲल्युमिनियम, ACSR, इ.)
   - **इन्सुलेटर**: योग्य इन्सुलेटर निवडा (पिन, डिस्क किंवा पोस्ट प्रकार).
   - **हार्डवेअर:** आवश्यक हार्डवेअर जसे की क्लॅम्प, बोल्ट इ. खरेदी करा.
4. **साइटची तयारी (Site Preparation):**
   - **क्लिअरिंग:** झाडे, प्लांट आणि अडथळ्यांचा मार्ग साफ करा.
   - **प्रवेश:** उपकरणे आणि साहित्य वाहतुकीसाठी आवश्यक असल्यास प्रवेश रस्ते तयार करा.

5.4.2 व्होल्टेज स्तरांवर आधारित उभारणी पद्धती 220V आणि 400V डिस्ट्रिब्युशन लाइन: (Erection Methods Based on Voltage Levels 220V and 400V Distribution Lines)

1. **पोल इन्स्टॉलेशन (Pole Installation):**
   - **खांब (Poles):** लाकडी किंवा कॉंक्रीटचे खांब सर्रास वापरले जातात.
   - **पाया (Foundations):** योग्य खोलीपर्यंत (सामान्यत: 1.5 ते 2 मीटर) खड्डे खणून घ्या आणि कॉंक्रीट किंवा कॉम्पॅक्ट केलेली माती वापरून खांब सुरक्षितपणे ठेवा.
2. **स्ट्रिंगिंग कंडक्टर (Stringing Conductors):**
   - **इन्सुलेटर(Insulators):** खांबांना इन्सुलेटर जोडा.
   - **कंडक्टर इन्स्टॉलेशन(Conductor Installation):** टेंशनिंग उपकरणे वापरून खांबांमधील स्ट्रिंग कंडक्टर, योग्य सॅग आणि क्लिअरन्स सुनिश्चित करा.
   - **तणाव (Tensioning):**खांबावर जास्त ताण टाळण्यासाठी योग्य तणाव ठेवा.
   - **कनेक्टिंग लाइन(Connecting Lines):** वैयक्तिक ग्राहकांशी सर्व्हिस ड्रॉप कनेक्ट करा.
   - **स्प्लिसिंग आणि जॉइंटिंग (Splicing and Jointing):** सातत्य (Continuity) आणि सुरक्षितता सुनिश्चित करण्यासाठी योग्यरित्या स्प्लिस आणि संयुक्त कंडक्टरचा वापर करा.
3. **सुरक्षा आणि चाचणी(Safety and Testing):**
   - **ग्राउंडिंग(Grounding): खांब आणि उपकरणांचे योग्य ग्राउंडिंग सुनिश्चित करा.**
   - **चाचणी(Testing) :**लाइन कार्यक्षम आणि सुरक्षित आहे याची खात्री करण्यासाठी विद्युत चाचण्या करा.

5.4.3 11kV आणि 33kV डिस्ट्रिब्युशन लाइन (11kV and 33kV Distribution Lines)

या मिडीयम-व्होल्टेज लाइन लांब अंतरावर आणि विविध लोड केंद्रांवर डिस्ट्रिब्युशनसाठी वापरल्या जातात.

1. **पोल/टॉवरची स्थापना (Pole/Tower Installation):**
   - **पोल (Poles):** काँक्रीट किंवा स्टीलचे खांब, किंवा उच्च टॉवर.
   - **पाया (Foundations):** जड आणि उंच स्ट्रक्चरना आधार देण्यासाठी कमी-व्होल्टेज लाइनच्या तुलनेत अधिक खोल आणि मजबूत पाया.
2. **स्ट्रिंगिंग कंडक्टर (Stringing Conductors):**
   - **इन्सुलेटर (Insulators):** जास्त व्होल्टेज हाताळण्यासाठी पिन किंवा सस्पेंशन यांसारख्या उच्च दर्जाचे इन्सुलेटर वापरा.
   - **कंडक्टर इन्स्टॉलेशन(Conductor Installation):** उच्च ताण आणि दीर्घ कालावधी व्यवस्थापित करण्यासाठी विशेष उपकरणे वापरून स्ट्रिंग कंडक्टर नियंत्रित करा.
   - **सॅग आणि टेन्शन कंट्रोल(Sag and Tension Control):** स्थिरता आणि सुरक्षितता सुनिश्चित करण्यासाठी सॅग आणि टेंशनची काळजीपूर्वक गणना (Calculate) करा आणि नियंत्रित करा.
3. **अतिरिक्त उपकरणांची स्थापना (Installation of Additional Equipment) :**
   - **ट्रान्सफॉर्मर्स (Transformers):** आवश्यकतेनुसार स्टेप डाउन व्होल्टेज करण्यासाठी डिस्ट्रिब्युशन ट्रान्सफॉर्मर स्थापित करा.
   - **स्विचगियर (Switchgear):** दोष शोधण्यासाठी आणि अलग (isolate) ठेवण्यासाठी आवश्यक स्विचगियर आणि संरक्षणात्मक (protection) उपकरणे स्थापित करा.
4. **ग्राउंडिंग आणि बाँडिंग (Grounding and Bonding):**
   - **ग्राउंडिंग (Grounding):** उच्च फॉल्ट करंट हाताळण्यासाठी मजबूत ग्राउंडिंग सिस्टमची खात्री करा.
   - **बाँडिंग (Bonding):** संभाव्य फरक टाळण्यासाठी आणि सुरक्षितता सुनिश्चित करण्यासाठी सर्व धातूचे भाग बांधा.
5. **कमिशनिंग (Commissioning):**
   - **तपासणी (Inspections):** यांत्रिक आणि विद्युत अखंडता सत्यापित करण्यासाठी कसून तपासणी करा.
   - **चाचणी (Testing):** उच्च-व्होल्टेज चाचणी (HV Test), इन्सुलेशन प्रतिरोध (Insulation Resistance) चाचणी आणि कमिशनिंग चाचण्या करा.

5.5 डिस्ट्रिब्युशन लाइन फीडर आणि वितरक योजना: रेडियल, रिंग आणि ग्रिड.
(Distribution line Feeder and Distributor Schemes: Radial, Ring, and Grid.)

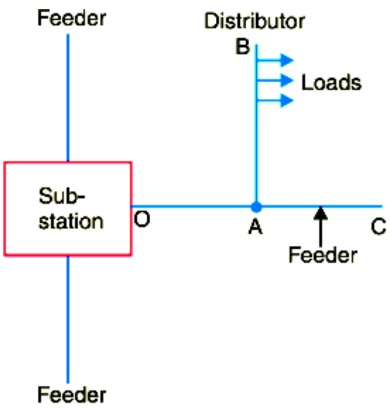
5.5.1 डिस्ट्रिब्युशन सिस्टिमच्या कनेक्शन योजना (Connection Schemes Of Distribution System)

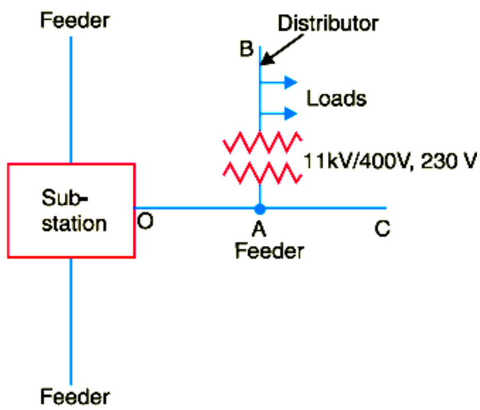
विद्युत उर्जेचे सर्व डिस्ट्रिब्युशन स्थिर व्होल्टेज सिस्टिम द्वारे केले जाते. सराव मध्ये, खालील डिस्ट्रिब्युशन सर्किट सामान्यतः वापरली जातात:

1. रेडियल सिस्टिम (Radial System.)

या सिस्टिममध्ये, वेगळे फीडर सबस्टेशनमधून उद्भवतात आणि डिस्ट्रिब्युटरला फक्त एका टोकाला फीड देतात. आकृती 5.12 D.C. डिस्ट्रिब्युशनसाठी रेडियल सिस्टीम सिंगल लाइन डायग्राम दर्शवते जिथे फीडर OC बिंदू A वर डिस्ट्रिब्युटरला A B पुरवतो. स्पष्टपणे, डिस्ट्रिब्युटर फक्त एका टोकाला दिलेला आहे.

आकृती 5.13 A.C. डिस्ट्रिब्युशनसाठी रेडियल सिस्टीम सिंगल लाइन डायग्राम दाखवते. रेडियल सिस्टीम तेव्हाच चालते जेव्हा कमी व्होल्टेजवर वीज निर्माण होते आणि सबस्टेशन लोडच्या मध्यभागी असते.





आकृती 5.12 DC रेडियल डिस्ट्रिब्युशन सिस्टिम **आकृती 5.13 AC रेडियल डिस्ट्रिब्युशन सिस्टिम**

हे सर्वात सोपा डिस्ट्रिब्युशन सर्किट आहे आणि सर्वात कमी प्रारंभिक खर्च आहे. तथापि, खालील तोटे आहेत:

(a) फीडिंग पॉईंटच्या जवळ असलेल्या डिस्ट्रिब्युटरच्या एन्डला खूप जास्त लोड केला जाईल.

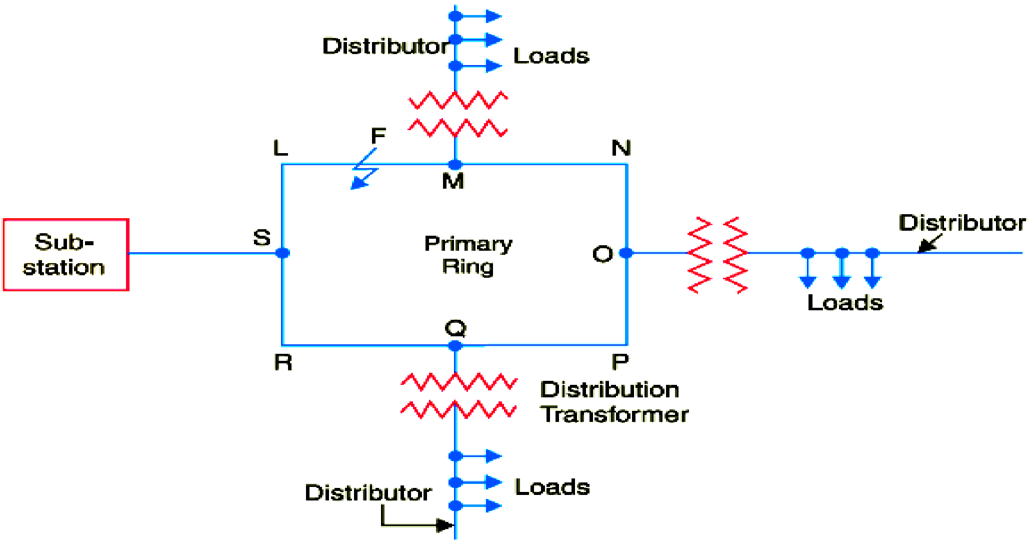
(b) ग्राहक एकाच फीडरवर आणि एकाच डिस्ट्रिब्युटरवर अवलंबून असतात. त्यामुळे फीडर किंवा डिस्ट्रिब्युटरवरील कोणताही दोष सबस्टेशनपासून दूर असलेल्या फॉल्टच्या बाजूला असलेल्या ग्राहकांचा पुरवठा खंडित करतो.

(c) डिस्ट्रिब्युटरवरील भार बदलल्यास डिस्ट्रिब्युटरच्या दूरच्या टोकावरील ग्राहकांना गंभीर व्होल्टेज चढउतारांना (High Voltage fluctuation) सामोरे जावे लागेल.

या मर्यादांमुळे, ही सिस्टिम फक्त कमी अंतरासाठी वापरली जाते.

2. रिंग मेन सिस्टिम (Ring Main System)

या सिस्टिम मध्ये, प्रायमरीलूप डिस्ट्रिब्युशन ट्रान्सफॉर्मर तयार करतात. लूप सर्किट सबस्टेशन बस-बारपासून सुरू होते. आकृती 5.14, A.C. डिस्ट्रिब्युशनसाठी रिंग मेन सिस्टीमचा सिंगल लाइन डायग्राम दर्शिवितो जेथे सबस्टेशन LMNOPQRS फीडरला पॉवर पुरवतो. डिस्ट्रीब्युशन ट्रान्सफॉर्मरद्वारे फीडरच्या M, O आणि Q मधून डिस्ट्रिब्युटरना टॅप केले जाते.



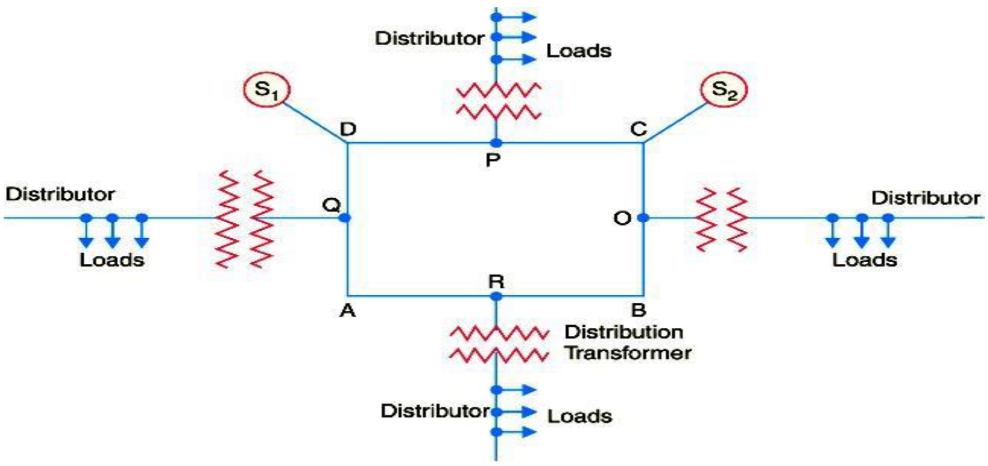
आकृती 5.14 रिंग मेन डिस्ट्रिब्युशन सिस्टिम

रिंग मेन सिस्टिमचे फायदे:

- ग्राहकांच्या टर्मिनल्सवर व्होल्टेज चढ-उतार (Low Voltage fluctuation) कमी आहेत.
- सिस्टिम अतिशय विश्वासार्ह (Reliable) आहे कारण प्रत्येक डिस्ट्रिब्युटरला दोन फीडर दिले जातात. फीडरच्या कोणत्याही विभागात बिघाड झाल्यास, पुरवठ्याचे सातत्य (supply continuity) राखले जाते. उदाहरणार्थ, समजा फीडरच्या SLM विभागाच्या कोणत्याही F बिंदूवर दोष आढळला तर फीडरचा SLM विभाग दुरूस्तीसाठी वेगळा केला जाऊ शकतो आणि त्याच वेळी फीडर SRQPONM द्वारे सर्व ग्राहकांना पुरवठ्याचे सातत्य (supply continuity) राखले जाते.

3. इंटरकनेक्टेड सिस्टिम. (Interconnected System)

जेव्हा रिंग फीडरला दोन किंवा अधिक जनरेटिंग स्टेशन किंवा सबस्टेशनद्वारे सप्लाय होतो, तेव्हा त्याला इंटर-कनेक्ट सिस्टम म्हणतात. आकृती 5.15 इंटर-कनेक्ट सिस्टम सिंगल लाइन डायग्राम दर्शविते जिथे बंद रिंग फीडर ABCD दोन सबस्टेशन S_1 आणि S_2 द्वारे अनुक्रमे D आणि C बिंदूंवर पुरवले जाते. डिस्ट्रिब्युशन ट्रान्सफॉर्मरद्वारे रिंग फीडरच्या O, P, Q आणि R बिंदूंशी डिस्ट्रिब्युटर जोडलेले आहेत.



आकृती 5.15 इंटरकनेक्टेड सिस्टम

इंटरकनेक्टेड सिस्टमचे फायदे:

- यामुळे सेवेची विश्वासार्हता (reliability) वाढते.
- पीक (Peak) लोडच्या वेळेत एका जनरेटिंग स्टेशनमधून फीड केलेले कोणतेही क्षेत्र इतर जनरेटिंग स्टेशनवरून दिले जाऊ शकते. यामुळे रिझर्व्ह पॉवर क्षमता कमी होते आणि सिस्टमची कार्यक्षमता (Efficiency) वाढते.

5.6 डिस्ट्रिब्युटरचा डिस्ट्रिब्युशन परफॉर्मन्स: व्होल्टेज ड्रॉप, सेंडिंग एन्ड व्होल्टेज, रिसिविंग एन्ड व्होल्टेज (Distribution Performance of Distributor: voltage drop, sending end and receiving end voltage.)

ग्राहकांना विजेचा कार्यक्षम आणि विश्वासार्ह पुरवठा सुनिश्चित करण्यासाठी डिस्ट्रिब्युशन सिस्टिमचा परफॉर्मन्स , विशेषत: व्होल्टेज ड्रॉप आणि सेंडिंग / रिसिविंग एंड व्होल्टेजच्या बाबतीत महत्त्वपूर्ण आहे.

5.6.1 व्होल्टेज ड्रॉप:(Voltage Drop)

डिस्ट्रिब्युशन सिस्टिममधील कंडक्टर, ट्रान्सफॉर्मर आणि इतर कॉम्पोनन्ट्च्या प्रतिकार (Reistance) आणि प्रतिबाधामुळे (Reactance) व्होल्टेज ड्रॉप होते. या कॉम्पोनन्ट्मधून विद्युतप्रवाह वाहताना, व्होल्टेजचा एक भाग उष्णता (Heat) म्हणून कमी होतो, परिणामी डिस्ट्रिब्युशन लाइनच्या लांबीसह व्होल्टेजमध्ये घट होते.

व्होल्टेज कमी होण्याची कारणे: **(Causes of Voltage drop**)

1. **कंडक्टरचा प्रतिकार (Reistance of Conductor):** डिस्ट्रिब्युशन सिस्टिम मध्ये वापरल्या जाणाऱ्या तारा किंवा केबल्सच्या प्रतिकारामुळे त्यांच्यामधून वाहणाऱ्या विद्युत् प्रवाहाच्या प्रमाणात व्होल्टेज कमी होते (ओहमच्या नियमानुसार, $V = IR$).
2. **ट्रान्सफॉर्मरचा रिॲक्टन्स (Reactance of Transformer):** ट्रान्सफॉर्मरमध्ये रिॲक्टन्स आहे ज्यामुळे व्होल्टेज कमी होते. ट्रान्सफॉर्मर रिॲक्टन्सच्या प्रतिकारामुळे हा रिॲक्टन्स अस्तित्वात आहे.
3. **लोड वैशिष्ट्ये:** जास्त लोडसह व्होल्टेज ड्रॉप वाढते. वेगवेगळ्या प्रकारच्या लोडचे (प्रतिरोधक, प्रेरक, कॅपेसिटिव्ह Resistive, Inductive, Capacitive) व्होल्टेज ड्रॉपवर वेगवेगळे प्रभाव पडतात.
4. **कंडक्टरची लांबी आणि आकार**: लांब डिस्ट्रिब्युशन लाइन आणि लहान कंडक्टरच्या आकारामुळे उच्च प्रतिकार होतो आणि परिणामी, उच्च व्होल्टेज कमी होते.

प्रभाव (Effect): अत्यधिक व्होल्टेज ड्रॉपमुळे विविध समस्या उद्भवू शकतात.

1. **कमी कार्यक्षमता(Efficiency):** व्होल्टेज ड्रॉपमुळे ऊर्जा कमी होते, ज्यामुळे डिस्ट्रिब्युशन सिस्टिम ची एकूण कार्यक्षमता कमी होते.
2. **कमी व्होल्टेज(Reduced Voltage):** लोडच्या शेवटी कमी व्होल्टेजमुळे उपकरणांमध्ये बिघाड, दिवे चमकणे आणि विद्युत उपकरणांची कार्यक्षमता कमी होऊ शकते.
3. **जास्त गरम होणे आणि नुकसान (Overheat and Loss):** उच्च व्होल्टेज ड्रॉपमुळे उपकरणे जास्त गरम होऊ शकतात आणि त्यामुळे अकाली बिघाड होऊ शकतो किंवा विद्युत उपकरणांचे नुकसान होऊ शकते.
4. **शमन (Mitigation):** व्होल्टेज ड्रॉप अनेक उपायांनी कमी केले जाऊ शकते, जसे प्रतिकार कमी करण्यासाठी कंडक्टरचा मोठा आकार वापरणे, व्होल्टेज स्वीकार्य मर्यादेत (Permissible Limit) राखण्यासाठी व्होल्टेज रेग्युलेटर आणि टॅप चेंजर्स स्थापित करणे, व्होल्टेज नियंत्रण आणि पॉवर फॅक्टर सुधारणा यासारख्या व्होल्टेज ऑप्टिमायझेशन तंत्रांची अंमलबजावणी करणे.

5.6.2 सेंडिंग एन्ड व्होल्टेज Sending End Voltage:

सेंडिंग एंड व्होल्टेज म्हणजे डिस्ट्रिब्युशन लाइनच्या सुरूवातीला, विशेषत: सबस्टेशन किंवा पॉवर जनरेशन व्होल्टेज.

आवश्यकता(Requirements):

- **नियमन (Regulation):** रिसीव्हिंग एंड व्होल्टेज स्वीकार्य मर्यादेत (within acceptable limits) असावे याची खात्री करण्यासाठी सेंडिंग एंड व्होल्टेजचे नियमन केले जाते. सेंडिंग एंड व्होल्टेज आवश्यकतेनुसार समायोजित (adjusted) करण्यासाठी व्होल्टेज रेग्युलेशन उपकरणे जसे की ट्रान्सफॉर्मरवरील टॅप चेंजर्स आणि व्होल्टेज रेग्युलेटर वापरले जातात.
- **स्थिरता(Stability):** डिस्ट्रिब्युशन सिस्टिमच्या योग्य ऑपरेशनसाठी सेंडिंग एंड व्होल्टेज स्थिर राखणे आवश्यक आहे. सेंडिंग एंड व्होल्टेजचे चढ-उतार (fluctuation) डिस्ट्रिब्युशन लाइनवरील व्होल्टेज प्रोफाइलवर परिणाम करू शकतात आणि विद्युत उपकरणांच्या कार्यक्षमतेवर परिणाम करू शकतात.
- **ट्रान्समिशन आणि डिस्ट्रिब्युशन:** ट्रान्समिशन सिस्टिम आणि डिस्ट्रिब्युशन सिस्टिममध्ये व्होल्टेज ट्रान्सफॉर्मर द्वारे निर्धारित केले जाते.
- **लोड डिमांड:** डिस्ट्रिब्युशन लाइनवरील व्होल्टेज ड्रॉप आणि सिस्टम लॉस यांसारखे कॉम्पोनन्ट्स सेंडिंग एंड व्होल्टेजच्या आवश्यकतांवर प्रभाव टाकतात.

5.6.3 रिसिविंग एन्ड व्होल्टेज (Receiving End Voltage) :

रिसीव्हिंग एंड व्होल्टेज म्हणजे लोड किंवा डिस्ट्रिब्युशन लाइनच्या ग्राहकाच्या शेवटी असलेले व्होल्टेज.

आवश्यकता(Requirements):

- **व्होल्टेज रेग्युलेशन:** विद्युत उपकरणे आणि उपकरणांचे योग्य ऑपरेशन सुनिश्चित करण्यासाठी रिसीव्हिंग एंड व्होल्टेज निर्दिष्ट (specific) मर्यादेत राखले जाणे आवश्यक आहे. रिसीव्हिंग एंड व्होल्टेजचे नियमन व्होल्टेज रेग्युलेटर आणि इतर व्होल्टेज कंट्रोल डिव्हायसेस डिस्ट्रिब्युशन नेटवर्कच्या बाजूने स्थापित केले जाऊ शकतात ज्यामुळे व्होल्टेज ड्रॉपची भरपाई केली जाऊ शकते**.**
- **व्होल्टेज प्रोफाइल:** डिस्ट्रिब्युशन लाइनवरील व्होल्टेज ड्रॉप रिसीव्हिंग एंड व्होल्टेजवर परिणाम करते. व्होल्टेज ड्रॉप कमी करण्यासाठी आणि पुरेसे रिसीव्हिंग एंड व्होल्टेज राखण्यासाठी डिस्ट्रिब्युशन सिस्टिमची योग्य रचना आणि ऑपरेशन आवश्यक आहे.
- **लोड वैशिष्ट्ये:** लोडचा रिॲक्टन्स आणि पॉवर फॅक्टर, रिसीव्हिंग एंड व्होल्टेजवर प्रभाव टाकतात. व्होल्टेज पातळीतील बदल विविध प्रकारच्या लोडवर (Types of load) अवलंबून असतात**.**
- **सेवेची गुणवत्ता:** ग्राहकांना दर्जेदार सेवा देण्यासाठी स्थिर आणि विश्वासार्ह (constant and reliable) रिसीव्हिंग एंड व्होल्टेज सुनिश्चित (ensure) करणे महत्वाचे आहे.

5.7 डिस्ट्रिब्युशन सबस्टेशन: वर्गीकरण, साइट निवड, फायदे, तोटे आणि अनुप्रयोग :
(Distribution Substation: Classification, Site selection, Advantages, Disadvantages and Applications).

5.7.1 इलेक्ट्रिकल सबस्टेशन (Electrical Substation)

व्याख्या: इलेक्ट्रिकल सबस्टेशन हा पॉवर सिस्टमचा भाग आहे ज्यामध्ये ट्रांसमिशन, डिस्ट्रिब्युशन , ट्रान्सफॉर्मेशन आणि स्विचिंगसाठी व्होल्टेज उच्च ते निम्न(high to low) किंवा निम्न ते उच्च मध्ये बदलले जाते. पॉवर ट्रान्सफॉर्मर, सर्किट ब्रेकर, बस-बार, इन्सुलेटर, लाइटनिंग अरेस्टर हे इलेक्ट्रिकल सबस्टेशनचे मेन कॉम्पोनन्ट्स आहेत.

5.7.2 सबस्टेशनचे वर्गीकरण (Classification of Substation):

उपकेंद्रांचे वर्गीकरण करण्याचे अनेक मार्ग आहेत. तथापि, त्यांचे वर्गीकरण करण्याचे दोन सर्वात महत्त्वाचे मार्ग आहेत

1. सेवेनुसार (According to Service)
2. कन्स्ट्रक्टशननुसार (According to Construction)

1. सेवेनुसार (According to Service)

सब-स्टेशनचा वापर व्होल्टेज पातळी बदलण्यासाठी किंवा पॉवर फॅक्टर सुधारण्यासाठी किंवा AC DC मध्ये रुपांतर करण्यासाठी करतात.

a) ट्रान्सफॉर्मर सबस्टेशन (Transformer Substation).

ट्रान्सफॉर्मर सबस्टेशन याला विद्युत पुरवठ्याची व्होल्टेज पातळी बदलणारी सबस्टेशन म्हणतात . ही सबस्टेशन काही व्होल्टेजवर वीज घेतात आणि ती डिस्ट्रिब्युट करतात. साहजिकच अशा सबस्टेशनमध्ये ट्रान्सफॉर्मर हा मेन कॉम्पोनन्ट्स असेल. वीज यंत्रणेतील बहुतांश सबस्टेशन या प्रकारची आहेत.

b) सबस्टेशन स्विच करणे (Substation switching).

ही सबस्टेशन व्होल्टेज पातळी बदलत नाहीत म्हणजेच इनकमिंग आणि आउटगोइंग लाईन्समध्ये समान व्होल्टेज असते. तथापि, ते फक्त पॉवर लाईन्सचे स्विचिंग ऑपरेशन करतात.

c) पॉवर फॅक्टर सुधारणा सबस्टेशन (Power factor improvement substations).

जी सबस्टेशन सिस्टिमचे पॉवर फॅक्टर सुधारतात त्यांना पॉवर फॅक्टर सुधारणा सबस्टेशन म्हणतात. अशी सबस्टेशन सामान्यत: ट्रान्समिशन लाईन्सच्या रिसीव्हिंग एंडवर असतात. ही सबस्टेशन सामान्यतः पॉवर फॅक्टर सुधारणा उपकरणे म्हणून वापरतात यासाठी सिंक्रोनस कंडेन्सरचा वापर केला जातो.

d) फ्रिक्वेन्सी चेंजर सबस्टेशन (Frequency changer substation)

फ्रिक्वेन्सी चेंजर सबस्टेशन फ्रिक्वेन्सी बदलणारी सबस्टेशन म्हणून ओळखली जातात. औद्योगिक वापरासाठी असा फ्रिक्वेन्सी बदल आवश्यक असू शकतो.

e) औद्योगिक सबस्टेशन (Industrial substations)

औद्योगिक सबस्टेशन ही एक सुविधा आहे जी उत्पादन प्रक्रिया आणि सुविधांमध्ये (In manufacturing processes and facilities) उच्च-व्होल्टेजला (11kV) स्टेप डाउन करते.

2. कन्स्ट्रक्टशननुसार (According to construction)

सबस्टेशन मध्ये अनेक कॉम्पोनन्ट्स असतात (उदा. सर्किट ब्रेकर, स्विचेस, फ्यूज, उपकरणे इ.) जे सतत आणि विश्वासार्ह सेवा सुनिश्चित करण्यासाठी योग्यरित्या ठेवलेले असणे आवश्यक आहे. कन्स्ट्रक्टशननुसार, सबस्टेशनचे वर्गीकरण खालीलप्रमाणे आहे:

a) इनडोअर सबस्टेशन (Indoor Substation)

11 kV पर्यंतच्या व्होल्टेजसाठी, सबस्टेशनची उपकरणे आर्थिक बाबी लक्षात घेऊन इनडोअर बसवली जातात. तथापि, जेव्हा वातावरण दूषित (Pollution) होते, तेव्हा ही सबस्टेशन 66 kV पर्यंतच्या व्होल्टेजसाठी उभारली जाऊ शकतात.

b) आउटडोअर सबस्टेशन (Outdoor Substation)

66 kV पेक्षा जास्त व्होल्टेजसाठी, उपकरणे नेहमीच आउटडोअर स्थापित केली जातात. कारण अशा व्होल्टेजसाठी, कंडक्टर आणि स्विचेस, सर्किट ब्रेकर्स आणि इतर उपकरणांसाठी लागणारी जागा यांच्यातील क्लिअरन्स इतके मोठे होते की उपकरणे इनडोअर बसवणे किफायतशीर(Economical) नसते.

c) अंडरग्राऊंड सबस्टेशन (Underground Substation)

दाट लोकवस्तीच्या भागात, उपकरणे आणि इमारतीसाठी उपलब्ध जागा मर्यादित आहे आणि जमिनीची किंमत जास्त आहे. अशा परिस्थितीत, सबस्टेशन अंडरग्राऊंड तयार केले जाते.

d) पोल-माऊंट सबस्टेशन (Pole-mounted substation)

हे एक आउटडोअर सबस्टेशन आहे ज्यामध्ये एच-पोल किंवा 4-पोल स्ट्रक्चरवर उपकरणे बसवली आहेत. 11kV (किंवा काही प्रकरणांमध्ये 33 kV) पेक्षा जास्त नसलेल्या व्होल्टेजसाठी हे सबस्टेशनचे सर्वात स्वस्त प्रकार आहे. अशा सबस्टेशनद्वारे स्थानिकांमध्ये (Residential) विदृयुत उर्जा डिस्ट्रिब्युट केली जाते.

5.7.3 इलेक्ट्रिकल सबस्टेशनसाठी साइटची निवड आणि स्थान(Selection and location of a site for an Electrical Substation)

सबस्टेशनसाठी साइट निवड करताना खालील फॅक्टरचा विचार केला जातो.
(The following factor is considered while making site selection for a substation):

a) **सबस्टेशनचा प्रकार(Type of Substation) -** सबस्टेशनचे स्वरूप (उदा. ट्रान्समिशन, डिस्ट्रिब्युशन, स्विचिंग) आकार, क्षमता आणि लोड सेंटर्स किंवा ट्रान्समिशन लाइन्सच्या जवळ असणे.

b) **योग्य आणि पुरेशा जमिनीची उपलब्धता (Availability of suitable and sufficient land) -** सबस्टेशन उपकरणे, संरचना आणि संभाव्य भविष्यातील विस्तार सामावून घेण्यासाठी पुरेसे जमीन क्षेत्र.

c) **दळणवळण सुविधा (Communication facility) -** ऑपरेशनल कंट्रोल, मॉनिटरिंग आणि आपत्कालीन प्रतिसाद समन्वयासाठी (emergency response coordination) विश्वसनीय संप्रेषण (reliable communication) सुविधा (उदा. टेलिफोन लाईन्स, इंटरनेट ऍक्सेस).

d) **अटमॉस्फेरिक प्रदूषण (Atmospheric Pollution) -** संवेदनशील (sensitive) सबस्टेशन उपकरणांमध्ये हस्तक्षेप (interference) टाळण्यासाठी आणि कर्मचाऱ्यांसाठी सुरक्षित कार्य वातावरण सुनिश्चित करण्यासाठी वातावरणातील प्रदूषणाच्या स्त्रोतांपासून (उदा. औद्योगिक उत्सर्जन, उच्च रहदारीचे क्षेत्र) साइट दूर स्थित असावी.

e) **कर्मचाऱ्यांना आवश्यक सुविधांची उपलब्धता (Availability of Essential Facilities to the Staff) -** कर्मचारी आणि त्यांच्या कुटुंबियांसाठी पुरेशा सुविधा जसे की गृहनिर्माण, आरोग्यसेवा, शैक्षणिक संस्था आणि मनोरंजन क्षेत्रे.

f) **ड्रेनेज सुविधा(Drainage Facility)** - अतिवृष्टी किंवा पुराच्या काळात पाणी साचून राहण्यासाठी आणि सबस्टेशनच्या पाया आणि उपकरणांची स्थिरता सुनिश्चित करण्यासाठी योग्य ड्रेनेज सिस्टम.

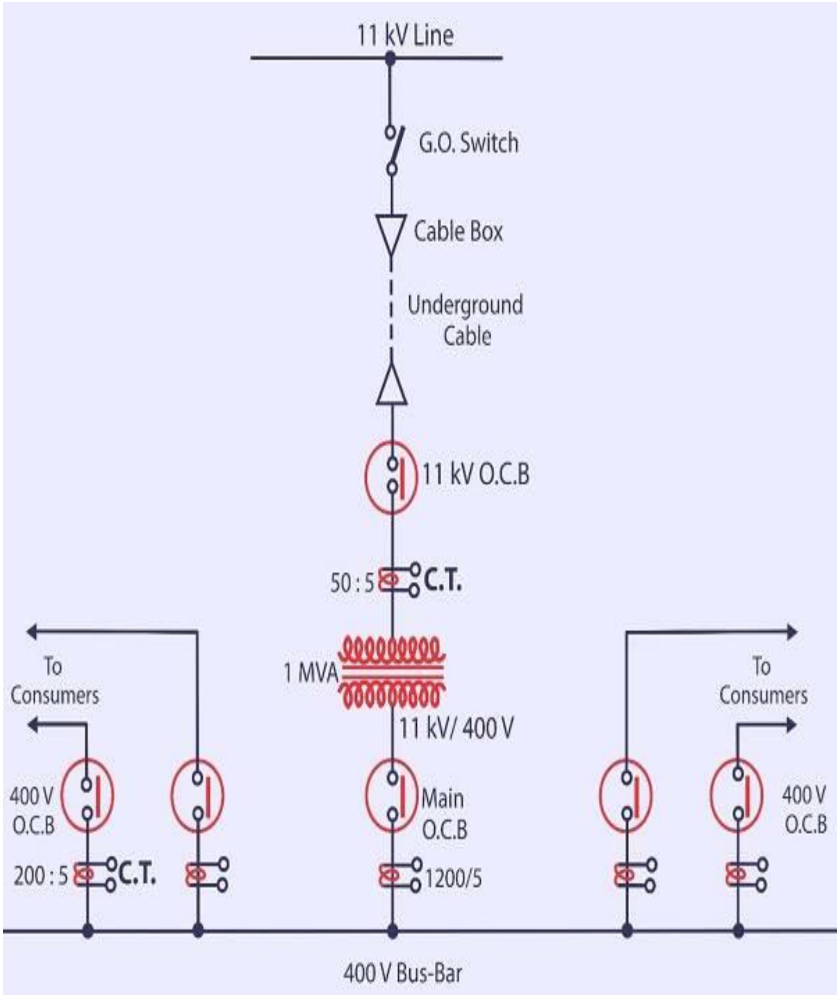
5.8 33/11kV सब-स्टेशन, 11kV/ 400V सबस्टेशनचा सिंगल लाइन डायग्राम (लेआउट), त्यांच्या कॉम्पोनन्ट्ची सिम्बॉल्स आणि कार्ये.
(Single Line Diagram (layout) of 33/11kV Sub-Station, 11kV/ 400V Substation, Symbols and functions of their components.)

5.8.1 11kV सबस्टेशनचा सिंगल लाइन डायग्राम (Single Line Diagram of 11kV Substation)

सबस्टेशन स्थानिक क्षेत्रासाठी (local area) ऊर्जा पुरवठा प्रदान करते ज्यामध्ये लाइन स्थित आहे. सबस्टेशनचे मेन कार्य म्हणजे जनरेटिंग स्टेशनमधून उच्च व्होल्टेजवर ट्रान्स्मिट होणारी ऊर्जा गोळा करणे आणि नंतर स्थानिक डिस्ट्रिब्युशनसाठी व्होल्टेज कमी करणे आणि स्विचिंगसाठी सुविधा देणे. सबस्टेशन दोन प्रकारचे असते एक म्हणजे सामान्य स्विचिंग प्रकार जेथे ट्रान्समिशन लाईन दरम्यान भिन्न कनेक्शन केले जाते आणि दुसरे म्हणजे कन्व्हर्टिंग स्टेशन जे एसी चे डीसी मध्ये रूपांतरित करतात किंवा त्याउलट किंवा फ्रिक्वेन्सी उच्च ते खालच्या किंवा खालच्या ते उच्च मध्ये रूपांतरित करतात.

सबस्टेशनमध्ये अतिरिक्त कार्य आहे जसे की ते पॉइंट प्रदान करतात जेथे बिघाड झाल्यास सर्किट डिस्कनेक्ट करण्यासाठी सुरक्षा उपकरणे स्थापित केली जाऊ शकतात. पॉवर फॅक्टर सुधारण्यासाठी आणि पॉवर सिस्टमच्या विविध भागावरील ऑपरेशनचे मोजमाप करण्यासाठी ट्रान्समिशन लाइनच्या शेवटी सिंक्रोनस कंडेन्सर ठेवला जातो. स्ट्रीट लाइटिंग, तसेच स्ट्रीट लाइटिंगसाठी स्विचिंग कंट्रोल, सबस्टेशनमध्ये स्थापित केले जाऊ शकते.

11 KV सबस्टेशनचा सिंगल लाइन डायग्राम खालील आकृतीमध्ये दर्शविला आहे. सिंगल लाइन डायग्राम सिस्टिमला सोपे करते आणि ते विद्युत पुरवठा आणि कनेक्शनचे वाचन सुलभ करते.



आकृती 5.15 11 KV सबस्टेशनचा सिंगल लाइन डायग्राम

5.8.2 11kV सबस्टेशनचे मेन कॉम्पोनन्ट्स (Main Components of 11kV Substation):

सबस्टेशनमध्ये वापरल्या जाणाऱ्या विद्युत उपकरणांचे कार्य खाली तपशीलवार वर्णन केले आहे.

1. **आयसोलेटर (Isolator) -** जेव्हा पुरवठा आधीच व्यत्यय आला असेल तेव्हा आयसोलेटर इनकमिंग सर्किटला जोडतो किंवा डिस्कनेक्ट करतो. हे ट्रान्समिशन लाईनचे चार्जिंग करंट तोडण्यासाठी देखील वापरले जाते. सर्किट ब्रेकरच्या पुरवठ्याच्या बाजूला आयसोलेटर ठेवला जातो ज्यामुळे सर्किट ब्रेकर देखभालीच्या थेट भागांपासून वेगळे केले जाते.

2. **लाइटनिंग अरेस्टर (Lightning Arrester) -** लाइटनिंग अरेस्टर हे एक संरक्षणात्मक उपकरण आहे जे विजेच्या प्रभावापासून सिस्टमचे संरक्षण करते. यात दोन टर्मिनल्स आहेत एक उच्च व्होल्टेजसाठी आणि दुसरे ग्राउंड व्होल्टेजसाठी. उच्च व्होल्टेज टर्मिनल ट्रान्समिशन लाइनशी जोडलेले आहे. ग्राउंड टर्मिनल पृथ्वीच्या दिशेने उच्च व्होल्टेज वाहून नेतो.
3. **सीटी मीटरिंग (CT Metering)-** मीटरिंग उपकरण पॅनेलशी त्यांचे सेकंडरी टर्मिनल जोडलेले असताना मीटरिंग सीटी करंट मोजते आणि रेकॉर्ड करते.
4. **स्टेप-डाउन ट्रान्सफॉर्मर 11kV / 400V (Step-down Transformer) -** स्टेप-डाउन ट्रान्सफॉर्मर उच्च व्होल्टेज ला कमी व्होल्टेज मध्ये रूपांतरित करतो.
5. **कॅपेसिटर बँक (Capacitor Bank)-** कॅपेसिटर बँकेमध्ये कॅपेसिटरची कनेक्शन सिरीज किंवा पॅरलल असते. कॅपेसिटर बँकेचे मेन कार्य म्हणजे सर्किटचे रिऍक्टिव्ह कॉम्पोनन्ट्स कमी करून लाइनच्या पॉवर फॅक्टरमध्ये सुधारणा करणे.
6. **सर्किट ब्रेकर(Circuit Breaker) -** हा एक प्रकारचा इलेक्ट्रिकल स्विच आहे जो सिस्टममध्ये बिघाड झाल्यास कॉन्टॅक्ट ओपन किंवा क्लोज करतो.

स्व:अध्ययन (Exercise) :

1. रेडियल सिस्टिम (Radial system) स्पष्ट करा.
2. रिंग मेन सिस्टिम (Ring Main system) स्पष्ट करा.
3. इंटरकनेक्टेड सिस्टिमची आकृती काढा.
4. प्रायमरी डिस्ट्रिब्युशन आणि सेकंडरी डिस्ट्रिब्युशन दरम्यान तुलना करा.
5. पॉवर डिस्ट्रिब्युशनसाठी वापरल्या जाणाऱ्या विविध कॉम्पोनन्ट्ची यादी करा.
6. डिस्ट्रिब्युशन सबस्टेशनचा प्रकार सांगा.
7. सबस्टेशनसाठी वापरल्या जाणाऱ्या विविध कॉम्पोनन्ट्ची कार्य सांगा.
8. डिस्ट्रिब्युशनमध्ये वापरल्या जाणाऱ्या लाईन सपोर्टच्या कोणत्याही आठ आवश्यकता सांगा.
9. पॉवर सिस्टमचा ब्लॉक आकृती काढा. प्रत्येक ब्लॉकचे कार्य सांगा.
10. सबस्टेशनसाठी साइट निवड करताना वापरल्या जाणाऱ्या फॅक्टरची यादी करा.
11. 11 KV सबस्टेशनचा सिंगल लाइन डायग्राम काढा.

संदर्भ पाठयपुस्तक (Reference Books)

1. A course in Electrical Power, by Gupta J.B., S. K Kataria and sons, New Delhi. 2014, ISBN: 9789350143742
2. Principles of Power System, by Mehta V.K., Rohit Mehta, S. Chand & Co. New Delhi, 2005, ISBN: 9788121924962
3. Electrical Power Transmission and Distribution, by Sivanagaraju S.; Satyanarayana S., Pearson ISBN: 8131707911, 9788131707913

4. Generation of Electrical Energy, 7th Edition Gupta B.R. S. Chand Publishing, 2017 ISBN: 9789352533817

माहिती संकेतस्थळ (Information Websites):

1. https://engineering.electrical-equipment.org/others/electrical-cable-jointing-procedures.html
2. https://www.electrical4u.com/electrical-transmission-tower-types-and-design/
3. https://www.youtube.com/watch?v=h71VV6tQK4o