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

अभियांत्रिकी आणि तंत्रज्ञान पदविका

शिक्षण पुस्तिका
(Learning Material)

मेंटेनन्स ऑफ़ इलेक्ट्रिकल इक्विपमेंट्स

MAINTENANCE OF ELECTRICAL EQUIPMENTS
(316328)

विद्‌युत अभियांत्रिकी गट
(के-स्कीम)

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

शिक्षण पुस्तिका
(Learning Material)

मेंटेनन्स ऑफ़ इलेक्ट्रिकल इक्विपमेंट्स

MAINTENANCE OF ELECTRICAL EQUIPMENTS
(316328)

विद्‌युत अभियांत्रिकी गट
के-स्कीम
K-Scheme

मराठी – इंग्रजी (द्विभाषिक) माध्यम

(अभियांत्रिकी व तंत्रज्ञानातील सहावे सत्र पदविका)

महाराष्ट्र राज्य तंत्रशिक्षण मंडळ, मुंबई

(स्वायत्त) (ISO 21001:2018) (ISO/IEC 27001:2022)

मेंटेनन्स ऑफ़ इलेक्ट्रिकल इक्विपमेंट्स
MAINTENANCE OF ELECTRICAL EQUIPMENTS
(316328)

मार्गदर्शक

डॉ. संजय वसंत भंगाळे
विभागप्रमुख, विद्युत अभियांत्रिकी

प्रकल्प समन्वयक

संजय भाऊराव पवार
विभागप्रमुख, विद्युत अभियांत्रिकी

संकलक

विशाल बाळकृष्ण राव
अधिव्याख्याता, विद्युत अभियांत्रिकी

कविता विलास आहिरे
अधिव्याख्याता, विद्युत अभियांत्रिकी

सुहास उत्तम बोराडे
अधिव्याख्याता, विद्युत अभियांत्रिकी

महाराष्ट्र राज्य तंत्र शिक्षण मंडळ.

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

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

दूरध्वनी क्र.: ०२२-६२५४२१०० / १५३ / १७०

email : director@msbte.com web site : www.msbte.ac.in

प्रास्ताविक

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

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

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

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

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

अनुक्रमणिका

अ.क्र.	युनिटचे नाव	पान क्र.
1	**सेफ्टी अँड प्रिवेन्शन ऑफ ॲक्सिडन्ट्स (Safety and Prevention of Accidents)**	**1**
2	**टेस्टिंग अँड मेंटेनन्स (Testing and Maintenance)**	**26**
3	**प्रोसिजर फॉर डेव्हलपिंग प्रिव्हेंटिव मेंटेनन्स शेड्युल ऑफ रोटेटिंग मशीन्स (Procedure for Developing Preventive Maintenance Schedule of Rotating Machines)**	**45**
4	**टेस्टिंग अँड ट्रबल शूटिंग ऑफ ट्रान्सफॉर्मर्स (Testing and Trouble Shooting of Transformers)**	**65**
5	**टेस्टिंग अँड रिकंडिशनिंग ऑफ इलेक्ट्रिकल मशीन इन्सुलेशन (Testing and Reconditioning of Electrical Machine Insulation)**	**95**

युनिट-1
सेफ्टी आणि प्रिवेन्शन ऑफ ॲक्सिडन्ट्स
(Safety and Prevention of Accidents)

विषय निष्पत्ती (Course Level Learning Outcomes):

CO1- इलेक्ट्रिकल इक्विपमेंट वापरताना ॲक्सिडेंट्स प्रिव्हेंट करण्यासाठी सेफ्टी नॉर्म्स फॉलो करा.
(Follow safety norms to prevent accidents while using electrical equipment.)

घटक निष्पत्ती (Theory Learning Outcomes):

1. दिलेल्या सिच्युएशन मधील हॅझर्ड्स आणि सेफ्टी ॲक्शन्स एक्स्प्लेन करा.
   (Explain the hazards, safety actions for the given situation.)
2. ॲक्सिडेंट प्रिव्हेंशनचे इम्पॉर्टन्स एक्स्प्लेन करा.
   (Explain the importance of accident prevention.)
3. दिलेल्या हॅझर्डस किंवा ॲक्सिडेंट सिच्युएशनमध्ये सुपरवायझरच्या रिस्पॉन्सिबिलिटीज आणि मॉनिटरिंग ॲक्शन्स डिस्क्राईब करा.
   (Describe the responsibilities and the monitoring actions of the supervisor in the given hazardous or accident situation.)
4. दिलेल्या टाईप्स ऑफ फायर एक्स्टिंग्विशर्सच्या ऑपरेटिंग प्रोसिजरल स्टेप्स डिस्क्राईब करा.
   (Describe the operating procedural steps of the given types of fire extinguishers.)
5. स्पेसिफाइड क्लॉजप्रमाणे इक्विपमेंट अर्थिंगसाठी प्रिन्सिपल कॅरेक्टरिस्टिक्स आणि रिलेटेड प्रिकॉशन्स स्टेट करा.
   (State the principle characteristics and related precautions for safety of equipment earthed by the specified clause.)
6. दिलेल्या इलेक्ट्रिकल इक्विपमेंटच्या फेल्युअर मागील रिझन्स स्टेट करा.
   (State the reasons behind failure of the given electrical equipment.)
7. टेस्टिंगमध्ये Bureau of Indian Standards चा रोल आणि इलेक्ट्रिकल इक्विपमेंटच्या टेस्टिंग व मेंटेनन्समध्ये ISI मार्कचे इम्पॉर्टन्स स्टेट करा.
   (State the role of Bureau of Indian Standards in testing, importance of ISI mark in testing and maintenance of electrical equipment.)

परिचय (Introduction):

इलेक्ट्रिकल इंजिनियरिंगमध्ये सेफ्टी (Safety) अत्यंत महत्त्वाची आहे कारण ॲक्सिडेंट्स (Accidents) मुळे फक्त इक्विपमेंटचे (Equipment) नुकसानच होत नाही तर गंभीर इंज्युरीज (Injuries) किंवा जीवितहानीही होऊ शकते. या युनिटमध्ये हॅझर्ड्स (Hazards), त्यांची प्रिव्हेन्शन (Prevention) आणि इलेक्ट्रिकल सिस्टिम्स (Electrical Systems) सुरक्षितरीत्या हँडल करण्यासाठी आवश्यक मेजर्स (Measures) समजून घेण्यावर भर देण्यात आला आहे.

या युनिटची सुरुवात हॅझर्ड्स (Hazards), ॲक्सिडेंट्स (Accidents) आणि सेफ्टीच्या (Safety) बेसिक कॉन्सेप्ट्स (Concepts) यांच्या अभ्यासाने होते. त्यानंतर इलेक्ट्रिकल सुपरवायझर्ससाठी (Electrical Supervisors) आवश्यक असलेले बेसिक डूज आणि डोन्ट्स (Dos and Don’ts) दिले आहेत, कारण ते वर्कप्लेस सेफ्टी (Workplace Safety) राखण्यात महत्त्वाची भूमिका बजावतात.

इलेक्ट्रिक शॉक (Electric Shock) हा सर्वात कॉमन आणि डेंजरस रिस्क (Dangerous Risk) असल्यामुळे त्याची सिव्हेरिटी (Severity) कोणत्या फॅक्टर्सवर अवलंबून असते, शॉक लागलेल्या व्यक्तीला रेस्क्यू (Rescue) करण्याच्या पद्धती आणि योग्य सीपीआर टेक्निक्स (CPR Techniques) यांचे स्पष्टीकरण दिले आहे. यानंतर आर्टिफिशियल रेस्पिरेशन (Artificial Respiration) प्रोसिजर्स (Procedures), इलेक्ट्रिकल फायरविरुद्ध (Electrical Fire) घ्यावयाच्या प्रीकॉशन्स (Precautions) आणि वेगवेगळ्या टाइप्स ऑफ फायर एक्स्टिंग्विशर्सचा (Types of Fire Extinguishers) वापर तसेच फायर इमर्जन्सीजमध्ये “PASS” (Pull, Aim, Squeeze, Sweep) आणि “RACE” (Rescue, Alarm, Confine, Extinguish) या प्रिन्सिपल्स (Principles) चे वर्णन केले आहे.या युनिटमध्ये आणखी एक महत्त्वाचा भाग म्हणजे अर्थिंगचा (Earthing) ऑब्जेक्टिव्ह (Objective), तसेच IS 3043-1987 नुसार त्याची इम्प्लिमेंटेशन (Implementation) आणि शॉकपासून संरक्षणासाठी इक्विपमेंटच्या (Equipment) प्रोटेक्शन क्लासेसचा (Protection Classes – Class 0 ते Class III) अभ्यास.

शेवटी, या युनिटमध्ये इलेक्ट्रिकल इक्विपमेंट फेल्युअरची (Electrical Equipment Failure) कारणे आणि टेस्टिंगमध्ये व रिलायबिलिटी (Reliability) सुनिश्चित करण्यामध्ये Bureau of Indian Standards (BIS) ची महत्त्वपूर्ण भूमिका यांचे स्पष्टीकरण केले आहे.

1.1 हॅझर्ड्स, ॲक्सिडन्ट्स, सेफ्टी (Hazards, accidents, safety):

1.1.1 हॅझर्ड (Hazard): हॅझर्ड (Hazard) म्हणजे असे कोणतेही कंडिशन किंवा ऑब्जेक्ट ज्यामुळे लोकांना (Person), इक्विपमेंटला (Equipment) किंवा एन्व्हायर्नमेंटला (Environment) हानी पोहोचू शकते. हॅझर्ड लगेच डॅमेज (Damage) करेलच असे नाही, पण ते एक रिस्की सिच्युएशन (Risky Situation) तयार करते ज्यामुळे कंट्रोल न केल्यास ॲक्सिडेंट्स (Accidents) होऊ शकतात.

इलेक्ट्रिकल इंजिनियरिंगमध्ये हॅझर्ड्स खूप कॉमन असतात कारण इलेक्ट्रिसिटी (Electricity) इन्व्हिजिबल (Invisible), सायलेन्ट (Silent) आणि पावरफुल (Powerful) असते. इलेक्ट्रिकल हॅझर्ड्समध्ये लाईव्ह वायरमुळे (Live Wires) लागणारा शॉक (Shock), शॉर्ट सर्किटमुळे (Short Circuit) होणारे बर्न्स (Burns), ओव्हरलोडिंगमुळे (Overloading) होणारी फायर (Fire), आणि फ्लॅमेबल एरियामध्ये (Flammable Areas) स्पार्क्स (Sparks) मुळे होणारे एक्स्प्लोजन (Explosion) यांचा समावेश होतो.

हॅझर्ड्स (Hazards) फिजिकल (Physical), केमिकल (Chemical), मेकॅनिकल (Mechanical) किंवा एन्व्हायर्नमेंटल (Environmental) नेचरचे असू शकतात.

उदाहरण (Example): हाय-वोल्टेज पॅनेलमध्ये (High-Voltage Panel) असलेला लूज कनेक्शन (Loose Connection) हा एक हॅझर्ड आहे कारण त्यामुळे आर्किंग (Arcing), ओव्हरहीटिंग (Overheating) किंवा फायर (Fire) होऊ शकते.

1.1.2 ॲक्सिडेंट (Accident): ॲक्सिडेंट (Accident) म्हणजे एक अनप्लॅन्ड (Unplanned), अनएक्स्पेक्टेड (Unexpected) इव्हेंट (Event) ज्यामुळे इंज्युरी (Injury), डॅमेज (Damage) किंवा लॉस (Loss) होतो. ॲक्सिडेंट्स तेव्हा होतात जेव्हा हॅझर्ड्स (Hazards) इग्नोर केले जातात किंवा सेफ्टी प्रिकॉशन्स (Safety Precautions) फॉलो केले जात नाहीत.

इलेक्ट्रिकल सिस्टिम्समध्ये (Electrical Systems) ॲक्सिडेंट्समुळे गंभीर इंज्युरीज (Serious Injuries) जसे इलेक्ट्रिक शॉक (Electric Shock), बर्न्स (Burns) आणि कधी कधी डेथ (Death) सुद्धा होऊ शकते. याशिवाय इक्विपमेंट फेल्युअर (Equipment Failure) किंवा पॉवर सप्लाय इंटरप्शन

(Power Supply Interruption) मुळे मोठे फायनान्शियल लॉसेस (Financial Losses) होऊ शकतात. ॲक्सिडेंट्सचे कारण बहुतेकदा ह्युमन एरर (Human Error), पुअर मेंटेनन्स (Poor Maintenance), योग्य प्रोटेक्टिव्ह डिव्हायसेसचा (Protective Devices) अभाव किंवा अनसेफ वर्किंग कंडिशन्स (Unsafe Working Conditions) असतात.

इलेक्ट्रिकल ॲक्सिडन्ट्स होण्याची कारणे (Reasons for Electrical accidents may happen):

a) **अनसेफ वर्क प्रॅक्टिसेस (Unsafe Work Practices**): सेफ्टी प्रोसिजर्स (Safety Procedures) इग्नोर करणे, लाईव्ह सर्किट्स (Live Circuits) वर प्रॉपर ट्रेनिंग (Proper Training) किंवा प्रॉपर इक्विपमेंट (Proper Equipment) शिवाय काम करणे.

b) **फॉल्टी इक्विपमेंट, सेफ्टी टूल्स आणि ॲक्सेसरीज (Faulty Equipment, Safety Tools & Accessories):** डिफेक्टिव्ह (Defective) किंवा पुअरली मेंटेन (Poorly Maintained) केलेले इक्विपमेंट — जसे फ्रेड वायर्स (Frayed Wires), डॅमेज्ड आउटलेट्स (Damaged Outlets), मॅलफंक्शनिंग अप्लायन्सेस (Malfunctioning Appliances), तसेच फॉल्टी सेफ्टी टूल्स आणि ॲक्सेसरीज (Safety Tools & Accessories).

c) **सर्किट्स ओव्हरलोड करणे (Overloading Circuits):** एकाच आउटलेट किंवा सर्किटवर खूप डिव्हायसेस प्लग केल्यास ओव्हरहीटिंग (Overheating), स्पार्क्स (Sparks) किंवा फायर (Fire) होऊ शकते.

d) **डॅमेज्ड इन्सुलेशन (Damaged Insulation):** वायर्सचे इन्सुलेशन वेअर (Wear) किंवा डॅमेज (Damage) झाल्यास लाईव्ह पार्ट्स एक्स्पोज (Exposed) होऊन शॉक (Shock) किंवा शॉर्ट सर्किट (Short Circuit) होऊ शकते.

e) **वॉटर कॉन्टॅक्ट (Water Contact):** वॉटर (Water) हे कंडक्टर (Conductor) असल्यामुळे इलेक्ट्रिकल पार्ट्स आणि पाण्याचा संपर्क झाल्यास शॉर्ट सर्किट (Short Circuit), शॉक (Shock) किंवा इलेक्ट्रोक्यूशन (Electrocution) होऊ शकते.

f) **इम्प्रॉपर इंस्टॉलेशन (Improper Installation**): चुकीचे वायरिंग (Incorrect Wiring), इन्सफिशंट ग्राऊंडिंग (Insufficient Grounding) किंवा इंस्टॉलेशन एरर्स (Installation Errors) रिस्क वाढवतात.

g) **GFCI, प्रोटेक्टिव्ह डिव्हायसेस किंवा अर्थिंग सिस्टिमचा अभाव (Lack of GFCI, Protective Devices, or Earthing System):** GFCI (Ground Fault Circuit Interrupter) ग्राऊंड फॉल्ट (Ground Fault) झाल्यास करंट लगेच इंटरप्ट करतात. वेट एरियाज (Wet Areas) जसे बाथरूम किंवा किचनमध्ये GFCI किंवा अर्थिंग प्रोटेक्शन (Earthing Protection) नसल्यास रिस्क वाढते.

h) **इनॲडिकेट ट्रेनिंग (Inadequate Training):** वर्कर्सना इलेक्ट्रिकल सेफ्टीचे प्रॉपर नॉलेज (Proper Knowledge) किंवा ट्रेनिंग नसल्यास ॲक्सिडेंट्स होतात.

i) **नॅचरल कॉझेस (Natural Causes):** लाईटनिंग स्ट्राइक्स (Lightning Strikes), पॉवर सर्जेस (Power Surges) किंवा इतर नॅचरल फिनोमेना (Natural Phenomena) मुळे प्रीकॉशन्स नसल्यास ॲक्सिडेंट्स होऊ शकतात.

उदाहरण (Example): जर एखादा इलेक्ट्रिशियन (Electrician) इन्सुलेशन (Insulation) नसलेल्या लाईव्ह कंडक्टरला (Live Conductor) स्पर्श करतो आणि त्याला इलेक्ट्रिक शॉक (Electric Shock) बसतो, तर तो एक ॲक्सिडेंट (Accident) आहे.

1.1.3 सेफ्टी (Safety): सेफ्टी (Safety) म्हणजे हॅझर्ड्स (Hazards) आणि ॲक्सिडेंट्स (Accidents) पासून मुक्त राहण्यासाठी घेतलेली प्रिव्हेंटिव्ह मेजर्स (Preventive Measures) ची अवस्था. यात हॅझर्ड्स ओळखणे, रिस्कसचे अस्सेसमेंट (Risk Assessment) करणे आणि कंट्रोल मेजर्स (Control Measures) लागू करणे समाविष्ट आहे, ज्यामुळे ॲक्सिडेंट्स टाळता येतात.

इलेक्ट्रिकल फील्डमध्ये सेफ्टी (Safety) साध्य करण्यासाठी प्रोटेक्टिव्ह इक्विपमेंट (Protective Equipment) जसे की इन्स्युलेटेड ग्लोव्हज (Insulated Gloves), सेफ्टी शूज (Safety Shoes), हेल्मेट (Helmet) यांचा वापर केला जातो. तसेच सर्किट ब्रेकर्स (Circuit Breakers), प्रॉपर अर्थिंग (Proper Earthing), आणि सेफ प्रॅक्टिसेस (Safe Practices) चे ट्रेनिंग (Training) आवश्यक असते. सेफ्टी (Safety) मुळे व्यक्ती सुरक्षित राहतात, कॉस्टली इक्विपमेंट (Costly Equipment) चे नुकसान टळते आणि इंडस्ट्रियल ऑपरेशन्स (Industrial Operations) सुरळीत चालू राहतात.

उदाहरण (Example): इलेक्ट्रिकल इंस्टॉलेशन्समध्ये फायर एक्स्टिंग्विशर्स (Fire Extinguishers), अर्थिंग सिस्टिम्स (Earthing Systems) आणि इन्सुलेशन मटेरियल्स (Insulation Materials) चा वापर केल्यास हॅझर्ड्स (Hazards) आणि ॲक्सिडेंट्स (Accidents) पासून सेफ्टी (Safety) सुनिश्चित होते.

1.2 इलेक्ट्रिकल सुपरवायझर्स साठी डूज आणि डोन्ट्स (Dos and Don’ts for electrical supervisors):

इलेक्ट्रिकल सुपरवायझर्स (Electrical Supervisors) हे इलेक्ट्रिकल सिस्टिम्सच्या (Electrical Systems) सेफ इंस्टॉलेशन (Safe Installation), ऑपरेशन (Operation) आणि मेंटेनन्समध्ये (Maintenance) अतिशय महत्वाची भूमिका बजावतात. त्यांची जबाबदारी फक्त टेक्निकल ॲक्टिव्हिटीज (Technical Activities) मॉनिटर (Monitor) करणे नसून सेफ्टी प्रॅक्टिसेस (Safety Practices) फॉलो करून ॲक्सिडेंट्स (Accidents) टाळणे देखील आहे. आपली ड्युटीज (Duties) प्रभावीपणे पार पाडण्यासाठी त्यांना काही डूज (Dos) आणि डोन्ट्स (Don’ts) काटेकोरपणे पाळावे लागतात.

इलेक्ट्रिकल सुपरवायझर्स साठी डूज (Dos for Electrical Supervisors):

a) **रूल्स आणि स्टँडर्ड्स फॉलो करा:** इंडियन इलेक्ट्रिसिटी रूल्स (Indian Electricity Rules), IE Act आणि संबंधित IS/IEC स्टँडर्ड्स (Standards)चे इंस्टॉलेशन आणि मेंटेनन्सदरम्यान पालन करा.

b) **प्रॉपर वर्क प्लॅनिंग (Proper Work Planning):** काम आधी प्लॅन करा, हॅझर्ड्स (Hazards) ओळखा आणि प्रिव्हेंटिव्ह मेजर्स (Preventive Measures) लागू करा.

c) **PPE (Personal Protective Equipment) चा वापर:** वर्कर्सनी इन्सुलेटेड ग्लोव्हज (Insulated Gloves), सेफ्टी हेल्मेट्स (Safety Helmets), रबर मॅट्स (Rubber Mats), सेफ्टी शूज (Safety Shoes) आणि प्रोटेक्टिव्ह आयवेअर (Protective Eyewear) वापरल्याची खात्री करा.

d) **परमिट-टू-वर्क सिस्टिम (Permit to Work System):** लाईव्ह इक्विपमेंटवर (Live Equipment) रिपेअर किंवा मेंटेनन्स करण्यापूर्वी परमिट-टू-वर्क इश्यू (Issue) करा.

e) **आयसोलेशन आणि अर्थिंग (Isolation & Earthing):** मेंटेनन्सपूर्वी इक्विपमेंट योग्यरित्या स्विच ऑफ, आयसोलेट, लॉकआउट आणि अर्थ (Earth) करा.

f) **रूटीन इन्स्पेक्शन (Routine Inspection):** केबल्स, अर्थिंग, स्विचगियर (Switchgear) आणि प्रोटेक्टिव्ह डिव्हाइसेस (Protective Devices) चे रेग्युलर इन्स्पेक्शन करा.

g) **इमर्जन्सी प्रिपेयर्डनेस (Emergency Preparedness):** वर्कर्सना फर्स्ट एड (First Aid), CPR, फायर-फायटिंग (Fire-Fighting) आणि रेस्क्यू ऑपरेशन्स (Rescue Operations) चे ट्रेनिंग द्या.

h) **रेकॉर्ड कीपिंग (Record Keeping):** इन्स्पेक्शन, टेस्टिंग आणि मेंटेनन्सचे (Maintenance) सर्व रेकॉर्ड्स व्यवस्थित मेंटेन करा.

इलेक्ट्रिकल सुपरवायझर्स साठी डोन्ट्स (Don’ts for Electrical Supervisors):

a) **लाईव्ह इक्विपमेंटवर काम करू देऊ नका (No work on live equipment):** योग्य ऑथरायझेशन व प्रोटेक्शन नसले तर काम करू देऊ नका.

b) **ओव्हरलोडिंग करू नका (Avoid Overloading):** सर्किट्स/इक्विपमेंटची रेटेड कॅपॅसिटी ओलांडू नका.

c) **सबस्टँडर्ड मटेरिअल वापरू नका (No Substandard Materials):** लो-क्वालिटी केबल्स, स्विचेस किंवा फ्यूजेस वापरू नका.

d) **डिफेक्ट्स इग्नोर करू नका (Do not ignore defects):** लूज कनेक्शन्स, स्पार्किंग, ओव्हरहिटिंग किंवा अनयूज्युअल साऊंड्स दुर्लक्ष करू नका.

e) **अनऑथराइज्ड पर्सनलला परवानगी देऊ नका (No unauthorized personnel):** अनट्रेंड/अनऑथराइज्ड लोकांना काम करू देऊ नका.

f) **अर्थिंगमध्ये निग्लिजन्स करू नका (Avoid negligence in earthing):** अर्थिंग कनेक्शन्सवर तडजोड करू नका.

g) **ऍक्सेस ब्लॉक करू नका (No blocking of access):** स्विचबोर्ड्स, पॅनेल्स आणि फायर एक्स्टिंग्विशर्स समोरील मार्ग मुक्त ठेवा.

h) **सेफ्टी ड्रिल्स टाळू नका (Never ignore safety drills)**: ट्रेनिंग व इमर्जन्सी ड्रिल्स रद्द किंवा पुढे ढकलू नका.

1.3 इलेक्ट्रिक शॉक: सिव्हेरिटी वर परिणाम करणारे फॅक्टर्स, रेस्क्यू प्रोसीजर्स आणि CPR टेक्निक्स (Electric shock: factors influencing severity of shock, rescuing a person from electric shock, different CPR Technique to employed under accidental condition):

1.3.1 इलेक्ट्रिक शॉक: सिव्हेरिटी वर परिणाम करणारे फॅक्टर्स (Electric Shock, Factors Influencing Severity of Shock):

इलेक्ट्रिक शॉक (Electric Shock) म्हणजे अशी फिजिऑलॉजिकल रिऍक्शन (Physiological Reaction) आहे जी तेव्हा होते जेव्हा इलेक्ट्रिक करंट (Electric Current) ह्युमन बॉडीमधून (Human Body) पास होतो. करंटची इंटेन्सिटी (Intensity), ड्युरेशन (Duration) आणि पाथ (Path) यावरून शॉकचे परिणाम ठरतात. हे परिणाम माय्ल्ड टिंगलिंग सेन्सेशन (Mild Tingling Sensation) पासून सीव्हियर बर्न्स (Severe Burns), मस्क्युलर पॅरॅलिसिस (Muscular Paralysis), कार्डिअक अरेस्ट (Cardiac Arrest) किंवा डेथ (Death) पर्यंत असू शकतात. इलेक्ट्रिक शॉकची सिव्हेरिटी (Severity) कोणत्या फॅक्टर्सवर अवलंबून असते हे समजून घेणे आणि रेस्क्यू व फर्स्ट-एड (First-Aid) प्रोसिजर्स योग्य पद्धतीने करण्याचे महत्त्व सेफ्टीसाठी अत्यंत आवश्यक आहे.

शॉकची सिव्हेरिटी इन्फ्लुएन्स करणारे फॅक्टर्स (Factors Influencing Severity of Shock): इलेक्ट्रिक शॉकमुळे होणाऱ्या इन्ज्युरी (Injury) ची सिव्हेरिटी (Severity) अनेक इंटररिलेटेड फॅक्टर्सवर (Interrelated Factors) अवलंबून असते. खाली प्रमुख फॅक्टर्स दिले आहेत:

a) **मॅग्निट्यूड ऑफ करंट (Magnitude of Current / Amplitude):** करंटची इंटेन्सिटी (Intensity) इन्ज्युरीचा लेवल ठरवते. 10–30 mA इतक्या लो करंटनेही मसल कॉन्ट्रॅक्शन (Muscle Contraction) आणि रेस्पिरेटरी पॅरॅलिसिस (Respiratory Paralysis) होऊ शकतो, तर 75 mA पेक्षा जास्त करंट वेंट्रिक्युलर फिब्रिलेशन (Ventricular Fibrillation) आणि डेथ (Death) ला कारणीभूत ठरतो.

b) **पाथ ऑफ करंट थ्रू द बॉडी (Path of Current Through the Body):** करंट बॉडीमध्ये कोणत्या पाथने जातो यावर इफेक्ट अवलंबून असतो. हँड-टू-हँड (Hand-to-Hand) किंवा हँड-टू-फुट (Hand-to-Foot) पाथ खूप डेंजरस आहेत कारण ते हार्टमधून जातात. लेग-टू-लेग (Leg-to-Leg) किंवा फुट-टू-फुट (Foot-to-Foot) पाथमध्ये मुख्यत्वे बर्न्स होतात पण व्हायटल ऑर्गन्सवर इफेक्ट कमी असतो.

c) **ड्युरेशन ऑफ कॉन्टॅक्ट (Duration of Contact):** करंट जितका जास्त वेळ बॉडीमधून फ्लो होतो तितका डॅमेज जास्त होतो. त्यामुळे सोर्सपासून इमिजिएट डिसकनेक्शन (Immediate Disconnection) खूप महत्वाचे आहे.

d) **व्होल्टेज लेव्हल (Voltage Level):** हाय व्होल्टेज (High Voltage) शॉर्ट एक्स्पोजरमध्येही डीप टिश्यू बर्न्स (Deep Tissue Burns) आणि इंटरनल ऑर्गन डॅमेज (Internal Organ Damage) करू शकते.

e) **बॉडी रेसिस्टन्स (Body Resistance):** ह्युमन बॉडीमध्ये विशेषतः स्किनमुळे रेसिस्टन्स (Resistance) असते.

   i. **ड्राय स्किन (Dry Skin):** 50,000–100,000 ohms — जास्त प्रोटेक्शन देते.

   ii. **वेट किंवा ब्रोकन स्किन (Wet/Broken Skin):** अंदाजे 1,000 ohms — रेसिस्टन्स कमी असल्याने जास्त करंट फ्लो होतो.

f) **टाईप ऑफ करंट (Type of Current – AC किंवा DC):**

   AC (Alternating Current): जास्त डेंजरस कारण कंटिन्युअस मसल कॉन्ट्रॅक्शन (Continuous Muscle Contraction) करतो आणि व्हिक्टिमला कंडक्टर सोडता येत नाही.

   DC (Direct Current): एकच मसल कॉन्ट्रॅक्शन होतो आणि व्हिक्टिम सोर्सपासून थ्रो (Throw) होऊ शकतो.

g) **एन्व्हायर्नमेंटल कंडीशन्स (Environmental Conditions):** डॅम्प सराउंडिंग्स (Damp Surroundings), मेटॅलिक सर्फेसेस (Metallic Surfaces) आणि कंडक्टिव्ह फ्लोरिंग (Conductive Flooring) मुळे रेसिस्टन्स कमी होते आणि शॉकची सिव्हेरिटी वाढते.

1.3.2 इलेक्ट्रिक शॉक लागलेल्या व्यक्तीला वाचवणे (Rescuing a Person from Electric Shock): इलेक्ट्रिक शॉक (Electric Shock) ची घटना घडल्यावर रेस्क्यूअरची (Rescuer's) सेफ्टी (Safety) ही सर्वात पहिली प्रायोरिटी (Priority) असते. रेस्क्यू (Rescue) करताना अत्यंत काळजी घेणे आवश्यक आहे, अन्यथा आणखी कॅज्युअल्टीज (Casualties) होऊ शकतात.

सेफ रेस्क्यू साठीच्या स्टेप्स (Steps for Safe Rescue):

1. **पॉवर सप्लाय डिस्कनेक्ट करणे (Disconnect the Power Supply):**मेन स्विच (Main Switch), प्लग (Plug) किंवा सर्किट ब्रेकर (Circuit Breaker) त्वरित ऑफ करा.जर ते शक्य नसेल, तर ड्राय वुडन स्टिक (Dry Wooden Stick), प्लास्टिक पाइप (Plastic Pipe) किंवा कोणतेही नॉन-कंडक्टिव्ह ऑब्जेक्ट (Non-Conductive Object) वापरून व्यक्तीला लाइव्ह सोर्सपासून वेगळे करा.
2. **डायरेक्ट कॉन्टॅक्ट टाळा (Avoid Direct Contact):** करंट सोर्स (Current Source) ॲक्टिव्ह असताना कधीही व्यक्तीला नुसत्या हाताने स्पर्श करू नका.
3. **सेफ एन्व्हायर्नमेंट सुनिश्चित करा (Ensure Safe Environment):** व्यक्तीला इलेक्ट्रिकल हॅझर्ड्सपासून (Electrical Hazards) दूर, सेफ आणि चांगल्या व्हेंटिलेटेड एरियामध्ये (Well-Ventilated Area) हलवा.
4. **व्हायटल साईन्स तपासा (Check Vital Signs):**कन्स्शसनेस (Consciousness), ब्रीदिंग (Breathing) आणि पल्स (Pulse) तपासा.
5. **इमिडिएट फर्स्ट एड द्या (Provide Immediate First Aid):**जर व्यक्ती श्वास घेत नसेल किंवा पल्स नसेल, तर लगेच सीपीआर (CPR) सुरू करा.
6. **मेडिकल असिस्टन्स कॉल करा (Call for Medical Assistance):** व्यक्ती ठीक दिसत असली तरीही, इंटरनल इन्ज्युरी (Internal Injury) किंवा डिलेयेड कार्डियाक इफेक्ट्स (Delayed Cardiac Effects) चा धोका असल्यामुळे मेडिकल एग्झामिनेशन (Medical Examination) आवश्यक आहे.

1.3.3 ॲक्सिडेंटल कंडिशन मध्ये वापरायच्या वेगवेगळ्या CPR टेक्निक (Different CPR Techniques to Employ under Accidental Condition):

कार्डिओपल्मनरी रीससिटेशन (Cardiopulmonary Resuscitation – CPR) ही एक लाईफ-सेव्हिंग इमर्जन्सी प्रोसीजर (Life-Saving Emergency Procedure) आहे जी व्यक्तीचे हृदय किंवा श्वासोच्छ्वास थांबल्यास केली जाते. यात चेस्ट कम्प्रेशन्स (Chest Compressions) आणि आर्टिफिशियल रेस्पिरेशन (Artificial Respiration) या दोन्हींचा समावेश असतो. यामुळे मेंदू व इतर महत्वाच्या अवयवांपर्यंत रक्त आणि ऑक्सिजनचा पुरवठा चालू ठेवला जातो.

प्रोसीजर फॉर ॲडल्ट CPR (Procedure for Adult CPR):

स्टेप 1: ॲसेस द सिच्युएशन (Assess the Situation)

परिसर तुमच्यासाठी आणि पेशंट साठी सुरक्षित आहे याची खात्री करा. व्यक्तीला हलक्या हाताने हलवून वेक अप (Wake Up) करण्याचा प्रयत्न करा आणि त्याच वेळी सर्व काही ठीक आहे का ते तपासा.

स्टेप 2: कॉल फॉर हेल्प (Call for Help)

जर व्यक्ती प्रतिसाद देत नसेल तर जोरात मदतीसाठी ओरडा किंवा लोकल इमर्जन्सी लाईन (Local Emergency Line) ला कॉल करा. आसपास इतर लोक असतील तर कोणाला कॉल करण्यास सांगा आणि तुम्ही लगेच कार्डिओ पल्मनरी रिससिटेशन (Cardio Pulmonary Resuscitation - CPR) सुरू करा.

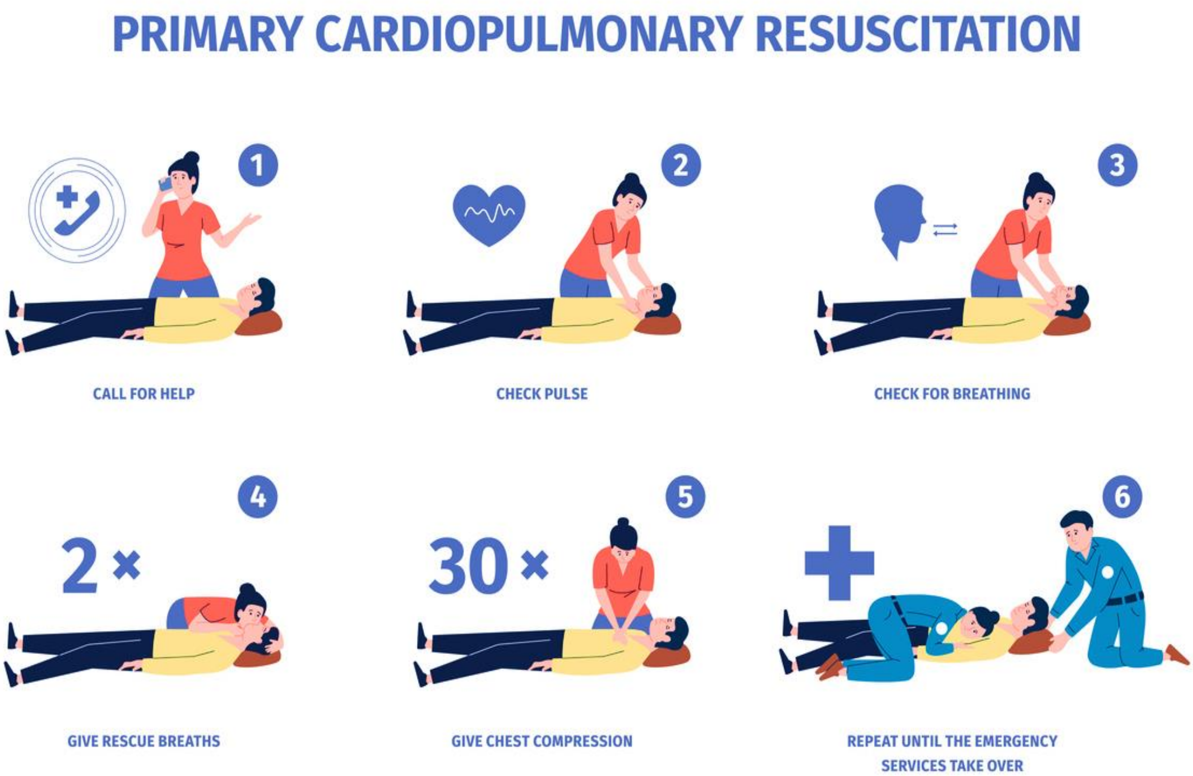


Fig 1.1: प्रोसीजर फॉर ॲडल्ट CPR (Procedure for Adult CPR)

Reference Link: https://anesthguide.com/topic/cardiopulmonary-resuscitation-cpr/

स्टेप 3: ओपन द एअरवे (Open the Airway)

एक हात कपाळावर ठेवून डोके मागे ढकला आणि दुसऱ्या हाताचा तळवा हनुवटीखाली ठेवून हनुवटी उचला. यामुळे एअरवे (Airway) उघडण्यास मदत होते.

स्टेप 4: चेक फॉर ब्रीदिंग (Check for Breathing)

चेस्ट (Chest) वर-खाली होते का ते बघा, ब्रीदिंग साउंड्स (Breathing Sounds) ऐका किंवा गालावर श्वासाची जाणीव होते का ते जाणून घ्या. जर व्यक्ती नॉर्मली श्वास घेत नसेल तर पुढील स्टेप करा.

स्टेप 5: बिगिन चेस्ट कम्प्रेशन (Begin Chest Compressions)

हात चेस्टच्या मध्यभागी ठेवा. एक हात दुसऱ्या हातावर ठेवून बोटे इंटरलॉक (Interlocked Fingers) करा आणि हात सरळ ठेवा. आता जोरात आणि जलद कम्प्रेशन द्या .

सीपीआर (CPR) करताना किती कम्प्रेशन्स द्यायचे?

सामान्य मार्गदर्शक तत्त्व: 30 चेस्ट कम्प्रेशन्स + 2 ब्रीद्स (Breaths).

स्टेप 6: रेस्क्यू ब्रीद्स (Rescue Breaths)

30 चेस्ट कम्प्रेशन्स द्या आणि मग 2 व्हेंटिलेशन्स (2 Ventilations) द्या. पेशंट चे नाक अंगठा आणि तर्जनीच्या मदतीने बंद करा; तुमच्या तोंडाने पीडिताचे ओठ पूर्ण सील करा आणि एक सेकंदभर हलके फुंकर मारा, त्यामुळे चेस्ट वर येताना दिसली पाहिजे. दुसरा ब्रीदसुद्धा त्याच पद्धतीने द्या.

स्टेप 7: कंटिन्यू सीपीआर (Continue CPR)

30 कम्प्रेशन्स + 2 ब्रीद्स ही सायकल मदत येईपर्यंत किंवा पल्स (Pulse) येईपर्यंत चालू ठेवा.

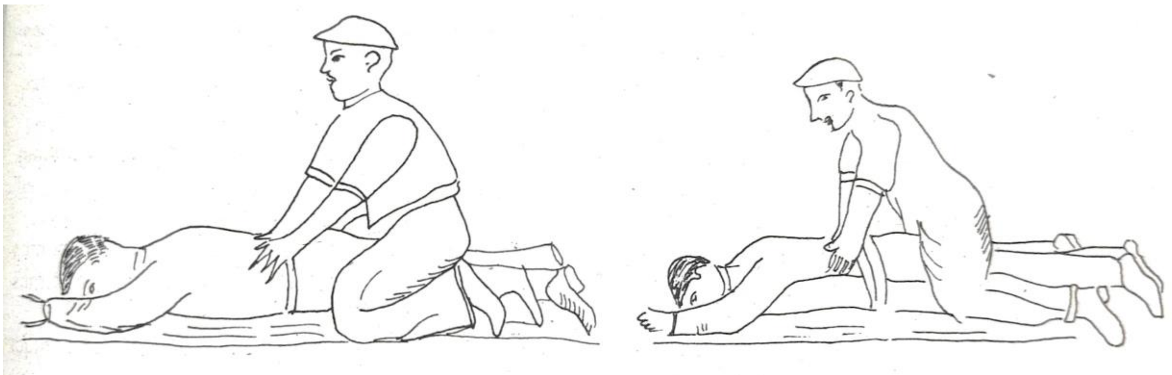
तसेच, रिकव्हरी पोझिशन (Recovery Position) आणि सीपीआर (CPR) चे ज्ञान असल्यास परिस्थिती नियंत्रित करण्यात मोठी मदत होते.

नोट (Note): जर रेस्क्यूअरला रेस्क्यू ब्रीद्स (Rescue Breaths) देणे अवघड वाटत असेल किंवा प्रशिक्षण नसेल तर हँड्स-ओन्ली सीपीआर (Hands-Only CPR) करा, म्हणजे अनइंटरप्टेड चेस्ट कम्प्रेशन्स (Uninterrupted Chest Compressions) त्याच वेगाने देत रहा.

1.4 आर्टिफिशियल रेस्पिरेशन: प्रकार आणि पद्धती (Artificial respiration: types & procedures): जेव्हा पेशंट व्यक्ती अनकॉनशस (Unconscious) होते, ब्रीदिंग (Breathing) थांबते पण हार्ट बीट (Heart Beat) सुरू असते, तेव्हा सर्वात तातडीची गरज म्हणजे आर्टिफिशियल रेस्पिरेशन (Artificial Respiration) देणे. हे रेस्पिरेशन पेशंट व्यक्तीचा नॉर्मल ब्रीदिंग (Normal Breathing) पुन्हा सुरू होईपर्यंत चालू ठेवले पाहिजे. तो पुन्हा अनकॉनशस होऊ नये याचीही काळजी घ्यावी. काही प्रसंगी आर्टिफिशियल रेस्पिरेशन (Artificial Respiration) एक तास किंवा त्यापेक्षा जास्त काळ द्यावे लागू शकते. हे लक्षात ठेवणे महत्त्वाचे आहे की पेशंट चा श्वास परत सुरू झाल्यावर लगेच रेस्पिरेशन थांबवले तर तो पुन्हा गंभीर स्थितीत जाऊ शकतो, कारण फुफ्फुसात जाणारी फ्रेश एअर (Fresh Air) ब्लड (Blood) अशुद्ध होण्यापासून वाचवते आणि त्यामुळे ब्रेन सेल्स (Brain Cells) जिवंत राहतात. आर्टिफिशियल रेस्पिरेशन (Artificial Respiration) देण्यासाठी अनेक मेथड्स (Methods) आहेत. त्यापैकी कोणतीही मेथड योग्य रीतीने केली तर प्रभावी ठरते.

खालील काही प्रमुख मेथड्स (Methods) आहेत:

मेथड – 1 (Method – 1):



(a) **(b)**

Fig 1.2: आर्टिफिशियल रेस्पिरेशन: मेथड – 1 (Artificial Respiration: Method -1.)

a) पेशंट व्यक्तीला पोटावर झोपवा आणि चेहरा एका बाजूला वळवून ठेवा. मानभोवतीचे कपडे सैल करा आणि थ्रोट पॅसेज (Passage of Throat) स्वच्छ आहे याची खात्री करा. तोंडात फॉल्स टीथ (False Teeth), टोबॅको (Tobacco) इत्यादी काही असेल तर काढून टाका.
b) पेशंट च्या शेजारी किंवा मागे गुडघे टेकून बसा (जिथे सोयीस्कर असेल). तुमचे हात पाठीच्या खालच्या भागावर सपाट ठेवा. दोन्ही थम्ब्स (Thumbs) जवळजवळ एकमेकांना लागतील अशा स्थितीत आणि बोटे दोन्ही बाजूंना पसरून लोवेस्ट रिब्स (Lowest Ribs) च्या खाली ठेवावीत.
c) हात स्ट्रेट (Straight) ठेवून, हळूहळू पुढे झुका आणि तुमच्या शरीराचे वेट (Weight) पेशंटवर आणा. हे प्रेशर (Pressure) साधारण वन सेकंद (1 Second) ठेवावे (Fig. 1.2(a)). यानंतर, तुमचे

शरीर मागे स्विंग (Swing) करून सुमारे थ्री सेकंद (3 Seconds) सगळे प्रेशर सोडा, पण हात पेशंट वरून लिफ्ट (Lift) करू नका (Fig. 1.2(b)).

d) वरीलप्रमाणे ॲप्लिकेशन ऑफ प्रेशर (Application of Pressure) आणि रिलॅक्सेशन ऑफ प्रेशर (Relaxation of Pressure) हे दोन्ही मूव्हमेंट्स (Movements) सतत करत राहा. दोन मूव्हमेंट्समध्ये कोणताही मोठा पॉज (Pause) ठेवू नका. हे सायकल दर मिनिटाला 12 ते 15 टाईम्स (12 to 15 Times per Minute) चालू ठेवा, जोपर्यंत पेशंट चा नॅचरल ब्रीदिंग (Natural Breathing) पुन्हा सुरू होत नाही.

e) पेशंट चा नॅचरल ब्रीदिंग (Natural Breathing) पुन्हा सुरू होण्यासाठी केलेले प्रयत्न गिव्ह अप (Give Up) करू नका, जोपर्यंत डॉक्टर (Doctor) त्याला सुरक्षित असल्याचे प्रोनाउन्स (Pronounce) करत नाही. पीडित व्यक्ती अनकॉनशसनेस (Unconsciousness) एक तासाहून अधिक वेळ झाल्यानंतरही जिवंत राहू शकते — अशी पूर्ण पॉसिबिलिटी (Possibility) असते.

f) पेशंटला ब्लँकेट्स (Blankets) किंवा कोट्स (Coats) वापरून वार्म (Warm) ठेवा. उपलब्ध असल्यास हॉट वॉटर बॉटल्स (Hot Water Bottles) पायांवर लावा जेणेकरून शरीराला हिट (Heat) मिळेल.

g) पेशंट (Patient) व्यक्ती कॉन्शस (Conscious) होईपर्यंत कोणतीही लिक्विड (Liquid) द्यायची नाही.

मेथड – 2 (Method – 2):

जेव्हा पेशंट (Patient) च्या चेस्ट (Chest) वर किंवा शरीराच्या पुढील भागावर बर्न्स (Burns) असतात, तेव्हा पेशंटला पोटावर म्हणजे फेस डाउन (Face Down) झोपवू नये. आर्टिफिशियल रेस्पिरेशन (Artificial Respiration) ची मुख्य प्रक्रिया म्हणजे चेस्ट एक्स्पान्शन (Expand the Chest) आणि चेस्ट कॉन्ट्रॅक्शन (Contract the Chest) करून हवा आत घेणे आणि बाहेर टाकणे. या मेथडमध्ये सर्वप्रथम पेशंट (Patient) च्या चेस्ट आणि स्टमक (Stomach) भोवतीचे कपडे लूज (Loosen) करा.त्यानंतर एक रोल्ड-अप कोट (Rolled Up Coat) किंवा इम्प्रोव्हाइज्ड पिलो (Improvised Pillow) पेशंट (Patient) च्या शोल्डर्स (Shoulders) खाली ठेवा, ज्यामुळे त्याचे हेड (Head) बॅकवर्ड्स फॉल (Falls Backwards) होते.

Fig 1.3: आर्टिफिशियल रेस्पिरेशन: मेथड – 2 (Artificial Respiration: Method -2)

फर्स्ट मोशन (First Motion): Fig 1.3 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे गुडघे टेकून बसा आणि पेशंट (Patient) ला एल्बोज (Elbows) च्या खाली धरून त्याचे दोन्ही हात वर ओढा, जेव्हा पर्यंत ते हॉरिझॉन्टल (Horizontal) स्थितीत येत नाहीत. ही पोझिशन अंदाजे टू सेकंद्स (2 Seconds) ठेवावी. आता Fig 1.3 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे पेशंट (Patient) चे हात खाली आणा, ज्यामुळे त्याच्या चेस्ट (Chest) वर कम्प्रेशन (Compression) होते. हे दोन्ही मोशन्स (Motions) एकाच रेट (Rate) ने पुन्हा पुन्हा करत राहा.

माउथ-टू-माउथ रेस्पिरेशन मेथड (Mouth-to-Mouth Respiration Method): ही पद्धत सहज लागू करता येते आणि विशेषतः त्या परिस्थितीत उपयुक्त असते जेव्हा पेशंट (Patient) ला चेस्ट इंज्युरीज (Chest Injuries) झालेल्या असतात.

माउथ-टू-माउथ मेथड फॉर अडल्ट्स (Mouth-to-Mouth Method for Adults):

तुमच्या डाव्या हाताच्या थम्ब (Thumb) ला विक्टिम (Victim) च्या टीथ (Teeth) मध्ये इन्सर्ट करा. जॉ (Jaw) वर उचलून डोके मागे टिल्ट (Tilt) होईल अशी स्थिती करा. उजव्या हाताने विक्टिम (Victim) चे नॉस्ट्रिल्स (Nostrils) बंद करा. एक डीप ब्रीद (Deep Breath) घ्या आणि तुमचे तोंड विक्टिम (Victim) च्या तोंडावर पूर्ण टाइटली (Tightly) लावा. फुंकर एवढी जोरात मारा की विक्टिम (Victim) ची चेस्ट (Chest) वर येताना दिसेल. प्रत्येक थ्री टू फोर सेकंद्स (3 to 4 Seconds) नंतर ही इन्फ्लेशन (Inflation) प्रक्रिया पुन्हा करा.

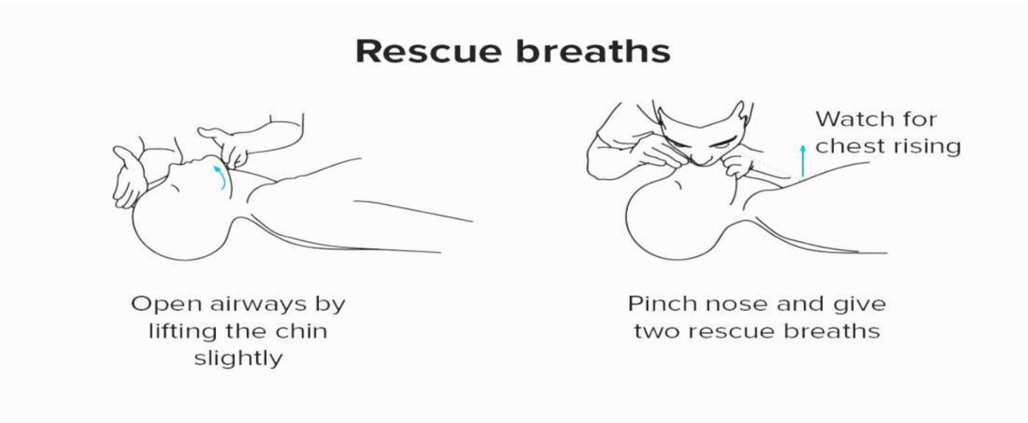


Fig. 1.4: माउथ-टू-माउथ मेथड फॉर अडल्ट्स (Mouth-to-mouth method for adults.)

महत्वाची प्रिकॉशन (Important Precaution): विक्टिमच्या तोंडावर थेट तुमचे तोंड लागू नये म्हणून एक हॅंकरचीफ (Handkerchief) किंवा इतर कोणतीही क्लॉथ (Cloth) ठेवावी, जेणेकरून तोंडांमधील जर्म्स (Germs) चा डायरेक्ट ट्रान्समिशन (Direct Transmission) टाळता येईल.

माउथ-टू-माउथ रेस्पिरेशन मेथड फॉर चिल्ड्रन (Mouth-to-Mouth Respiration Method for Children): दोन्ही हातांनी चाइल्ड (Child) च्या जॉ (Jaw) च्या अँगल्स (Angles) ला — म्हणजे इअर लोब्स (Ear Lobes) जवळ धरून — जोराने वर उचला, ज्यामुळे डोके बॅकवर्ड टिल्ट (Backward Tilt) होते. तुमच्या थम्ब्स (Thumbs) ने चाइल्डचा लोअर लिप (Lower Lip) चिन (Chin) कडे ढकला. चिन सॅग (Chin Sag) होऊ देऊ नका. एक डीप ब्रीद (Deep Breath) घ्या आणि तुमचे तोंड चाइल्डच्या तोंडावर टाइटली (Tightly) लावा. लहान मुलासाठी, तोंड आणि नोज (Nose) दोन्ही झाकून घ्या. हलके फुंकर मारा, जोपर्यंत चाइल्डची चेस्ट (Chest) वर येताना दिसत नाही. मग तुमचे तोंड दूर करा आणि त्याला एक्झेल (Exhale) होऊ द्या. ही इन्फ्लेशन (Inflation) प्रक्रिया दर टू - थ्री सेकंद्स (2–3 Seconds) मध्ये एकदा करा.

हार्ट बीट थांबल्यास काय करता येऊ शकते:

ड्राऊनिंग (Drowning), चोकिंग (Choking) किंवा इलेक्ट्रिक शॉक (Electric Shock) यांसारख्या घटनांमध्ये हार्ट स्टॉपेज (Heart Stoppage) होणे अत्यंत गंभीर स्थिती असते. अशावेळी योग्य प्रकारे दिलेली सीपीआर (CPR – Cardio Pulmonary Resuscitation) लाइफ-सेव्हिंग (Life-Saving) ठरू

शकते. मेंदूला ऑक्सिजनचा पुरवठा (Oxygen Supply) तातडीने सुरू करणे अत्यंत आवश्यक असते, कारण ब्रेन (Brain) हे शरीरातील सर्वात संवेदनशील टिश्यू (Tissue) आहे.

हार्ट स्टॉपेजमध्ये मदत करणारे मुख्य पॉइंट्स:

a) पल्स (Pulse) तपासा. पल्स जाणवत नसेल तर एक सेकंदही वेस्ट न करता लगेच कार्य सुरू करा. रक्तातील ऑक्सिजनची कमतरता मेंदूसाठी धोकादायक ठरते.
b) पेशंटला पाठीवर सपाट जमिनीवर किंवा हार्ड बेडवर झोपवा. हेड टिल्ट बॅक (Head Tilt Back) करा म्हणजे श्वासमार्ग खुला होतो.
c) पेशंटच्या चेस्टशेजारी नील (Kneel) व्हा, जेणेकरून दाब देताना शरीराचे वजन उपयोगात आणता येईल. उजव्या हाताचा हील (Heel) ब्रेस्ट बोन (Breastbone) वर ठेवा. डावा हात उजव्या हातावर ठेवा आणि सरळ खाली दाब द्या. प्रौढ व्यक्तीमध्ये ब्रेस्ट बोन 1 इंच ते 1¼ इंच खाली जाणे आवश्यक आहे. (चाईल्डमध्ये (Child) केवळ एका हाताने हलका दाब द्यावा.) बेशुद्धावस्थेत चेस्ट (Chest) अपेक्षेपेक्षा जास्त लवचिक असते.
d) दाब ताबडतोब सोडा आणि हात थोडेसे वर उचला. हा क्रम 60–80 थ्रस्ट्स (Thrusts) प्रति मिनिट या गतीने सुरू ठेवा, जे नॉर्मल हार्ट-ॲक्शन (Heart Action) सारखे असते.
e) नॉर्मल हार्ट बीट आणि रेस्पिरेशन (Respiration) पुन्हा सुरू झाल्यासही पेशंटला शक्य तितक्या लवकर हॉस्पिटलमध्ये हलवा.प्रोफेशनल मेडिकल एड (Medical Aid) मिळेपर्यंत मॅसेज (Massage) चालू ठेवा. शक्य असल्यास माऊथ-टू-माऊथ ब्रिदिंग (Mouth-to-Mouth Breathing) देखील सुरू ठेवा.

1.5 इलेक्ट्रिक फायर विरुद्ध वापरायच्या प्रिकॉशन्स (Precautions against electric fire): इलेक्ट्रिक फायर प्रामुख्याने इलेक्ट्रिकल सर्किट्स मधील फॉल्ट्स, डिफेक्टिव्ह अप्लायन्सेस किंवा इलेक्ट्रिकल इक्विपमेंट हाताळताना झालेल्या निष्काळजीपणामुळे होतात. अशा फायरमुळे मोठे प्रॉपर्टी डॅमेज (Property Damage) होऊ शकते आणि मानवी जीवाला धोका निर्माण होऊ शकतो. त्यामुळे इलेक्ट्रिक फायर टाळण्यासाठी आवश्यक प्रिकॉशन्स (Precautions) पाळणे गरजेचे आहे.

a) **प्रॉपर वायरिंग आणि इन्स्टॉलेशन (Proper Wiring and Installation):** सर्व इलेक्ट्रिकल वायरिंग क्वालिफाइड आणि लायसन्स्ड इलेक्ट्रिशियनद्वारे सेफ्टी कोड्स (Safety Codes) प्रमाणे केलेले असावे. चांगल्या क्वालिटीचे इन्स्युलेटेड वायर शॉर्ट सर्किट (Short Circuit) होवू देत नाहीत . लूज कनेक्शन्स, डॅमेज्ड इन्सुलेशन किंवा एक्स्पोज्ड वायरमध्ये फॉल्ट (Fault) निर्माण होण्याची शक्यता असल्याने ते तात्काळ दुरुस्त करणे आवश्यक आहे.
b) **अवॉईड ओव्हरलोडिंग ऑफ सर्किट्स (Avoid Overloading of Circuits):** प्रत्येक सर्किट ठराविक करंटसाठी डिझाईन केलेले असते. एका सॉकेटला जास्त अप्लायन्सेस जोडणे किंवा एक्स्टेंशन कॉर्ड्सचा (Extension Cords) वापर करणे ओव्हरलोड (Overload) निर्माण करू शकते, ज्यामुळे ओव्हरहिटिंग (Overheating) होऊन फायर होऊ शकतो. हेवी अप्लायन्सेससाठी स्वतंत्र सर्किट्स वापरणे योग्य आहे.
c) **यूज ऑफ स्टँडर्ड अप्लायन्सेस (Use of Standard Appliances):**इलेक्ट्रिकल अप्लायन्सेस सेफ्टी स्टँडर्ड्स (Safety Standards) प्रमाणे असणे आवश्यक आहे आणि BIS/ISI सारखे सर्टिफिकेशन मार्क असणे गरजेचे आहे. सबस्टँडर्ड किंवा फॉल्टी (Faulty) अप्लायन्सेस स्पार्क किंवा शॉर्ट सर्किट निर्माण करून फायर होण्याचे कारण बनू शकतात.

d) **स्विचिंग ऑफ व्हेन नॉट इन यूज (Switching Off When Not in Use):** अप्लायन्सेस न वापरताना त्यांना स्विच ऑफ आणि अनप्लग करणे आवश्यक आहे. यामुळे अनावश्यक हीटिंग (Heating) टळते आणि इलेक्ट्रिक फायरचा धोका कमी होतो.

e) **कीप फ्लॅमेबल मटेरियल्स अवे (Keeping Flammable Materials Away):** पेपर, कपडा, लाकूड, कर्टन्स यांसारखे फ्लॅमेबल मटेरियल्स (Flammable Materials) हे हीटर्स, आयरन, स्टोव्ह किंवा कोणत्याही इलेक्ट्रिकल अप्लायन्सपासून दूर ठेवावेत. छोटासा स्पार्क (Spark) देखील फायरला कारणीभूत ठरू शकतो.

f) **यूज ऑफ सेफ्टी डिव्हाइसेस (Use of Safety Devices):** इलेक्ट्रिकल इन्स्टॉलेशनमध्ये फ्यूजेस (Fuses), एमसीबीज (MCBs – Miniature Circuit Breakers) आणि आरसीडीज (RCDs – Residual Current Devices) असणे आवश्यक आहे. हे डिव्हाइसेस ओव्हरलोड किंवा शॉर्ट सर्किट झाल्यास पॉवर सप्लाय आपोआप कट करतात आणि फायरपासून संरक्षण करतात.

g) **अवॉईड मॉइश्चर आणि वेट कंडिशन्स (Avoid Moisture and Wet Conditions):** पाणी चांगला कंडक्टर असल्यामुळे ओलसर ठिकाणी ठेवलेले वायर, स्विचेस किंवा अप्लायन्सेसमध्ये फॉल्ट (Fault) निर्माण होऊ शकतो. ओले हात वापरून स्विचेस ऑपरेट करणे शॉर्ट सर्किट किंवा इलेक्ट्रिक शॉक होण्याची शक्यता वाढवते, ज्यामुळे फायर होऊ शकतो.

h) **रेग्युलर इन्स्पेक्शन आणि मेंटेनन्स (Regular Inspection and Maintenance):** रेग्युलर इन्स्पेक्शन आणि मेंटेनन्स केले असता फॉल्ट्स जसे की तुटलेली वायरिंग, लूज कनेक्शन्स, खराब स्विचेस हे वेळेत रिपेयर होत असल्याने मोठे हॅझर्ड्स टाळता येतात.

1.6 फायर एक्स्टिंग्विशर्स चे प्रकार "PASS" आणि "RACE" इन केस ऑफ फायर (Types of fire extinguishers, "PASS" & "RACE" in case of fire):

1.6.1 फायर एक्स्टिंग्विशर्सचे प्रकार (Types of Fire Extinguishers):

फायर एक्स्टिंग्विशर्स (Fire Extinguishers) ही एमर्जन्सी सिच्युएशनमध्ये लागलेल्या छोट्या फायरला कंट्रोल किंवा एक्स्टिंग्विश (Extinguish) करण्यासाठी वापरली जाणारी पोर्टेबल डिव्हायसेस (Portable Devices) आहेत. फायरचा प्रकार आणि त्यात जळणाऱ्या मटेरियलच्या स्वरूपानुसार वेगवेगळे एक्स्टिंग्विशिंग एजन्ट्स वापरले जातात.

बीआयएस नुसार फायर एक्स्टिंग्विशर्सचे वर्गीकरण केले आहे. हे एक्स्टिंग्विशर्स कलर-कोडेड असल्यामुळे त्यांची ओळख करणे सोपे होते

Table 1.1: फायर एक्स्टिंग्विशर्सचे प्रकार (Types of fire extinguishers)

फायर एक्स्टिंग्विशर्सचे प्रकार (Type of Fire Extinguisher)	**कलर कोड (Colour Code)**	**एक्स्टिंग्विशिंग एजन्ट (Extinguishing Agent)**	**सूटेबल फायर क्लासेस (Suitable Fire Classes)**	**कॉमन अप्लिकेशन्स (Common Applications)**
1. वॉटर एक्स्टिंग्विशर (Water – Stored Pressure / Gas Cartridge Type)	रेड (Red)	वॉटर (Water)	क्लास A (Solid materials—wood, paper, cloth)	होम्स, स्कूल्स, ऑफिसेस

फायर एक्स्टिंग्विशर्सचे प्रकार (Type of Fire Extinguisher)	**कलर कोड (Colour Code)**	**एक्स्टिंग्विशिंग एजन्ट (Extinguishing Agent)**	**सूटेबल फायर क्लासेस (Suitable Fire Classes)**	**कॉमन अप्लिकेशन्स (Common Applications)**
2. फोम एक्स्टिंग्विशर (Foam – AFFF: Aqueous Film Forming Foam)	क्रीम (Cream)	फोम सोल्युशन (Foam Solution)	क्लास A & B (Solids + Flammable liquids—petrol, paint)	फ्युएल स्टेशन, केमिकल प्लांट्स, वर्कशॉप्स
3. कार्बन डायऑक्साइड (CO_2) एक्स्टिंग्विशर (Carbon Dioxide)	ब्लॅक (Black)	CO_2 गॅस (Carbon Dioxide Gas)	क्लास B & E (Flammable liquids + Electrical fires)	सर्व्हर रूम्स, लॅबोरेटरीज, इलेक्ट्रिकल पॅनल्स
4. ड्राय पावडर एक्स्टिंग्विशर (Dry Powder – ABC/BC Type)	ब्लू (Blue)	मोनो-अमोनियम फॉस्फेट किंवा सोडियम बायकार्बोनेट पावडर (Mono Ammonium Phosphate / Sodium Bicarbonate Powder)	क्लास A, B, C & E (All-purpose: solids, liquids, gases, electrical)	इंडस्ट्रीज, फॅक्टरीज, व्हेईकल गॅरेजेस
5. वेट केमिकल एक्स्टिंग्विशर (Wet Chemical)	यलो (Yellow)	पोटॅशियम ॲसिटेट/पोटॅशियम सिट्रेट सोल्युशन	क्लास F (Cooking oils, fats)	किचन्स, हॉटेल्स, रेस्टॉरंट्स
6. क्लीन एजन्ट एक्स्टिंग्विशर (Clean Agent – Halon Substitute)	ग्रीन (Green)	हॅलोहायड्रोकार्बन गॅस (Halocarbon Gas)	क्लास B & E (Sensitive electrical & electronic equipment)	डेटा सेंटर्स, कंट्रोल रूम्स, म्युझियम्स
7. मेटल फायर एक्स्टिंग्विशर (Metal – Class D Powder Type)	ब्लू (स्पेशल लेबल)	सोडियम क्लोराईड/ग्राफाइट पावडर	क्लास D (Combustible metals—magnesium, aluminum, titanium)	मेटल वर्कशॉप्स, फाउंड्रीज

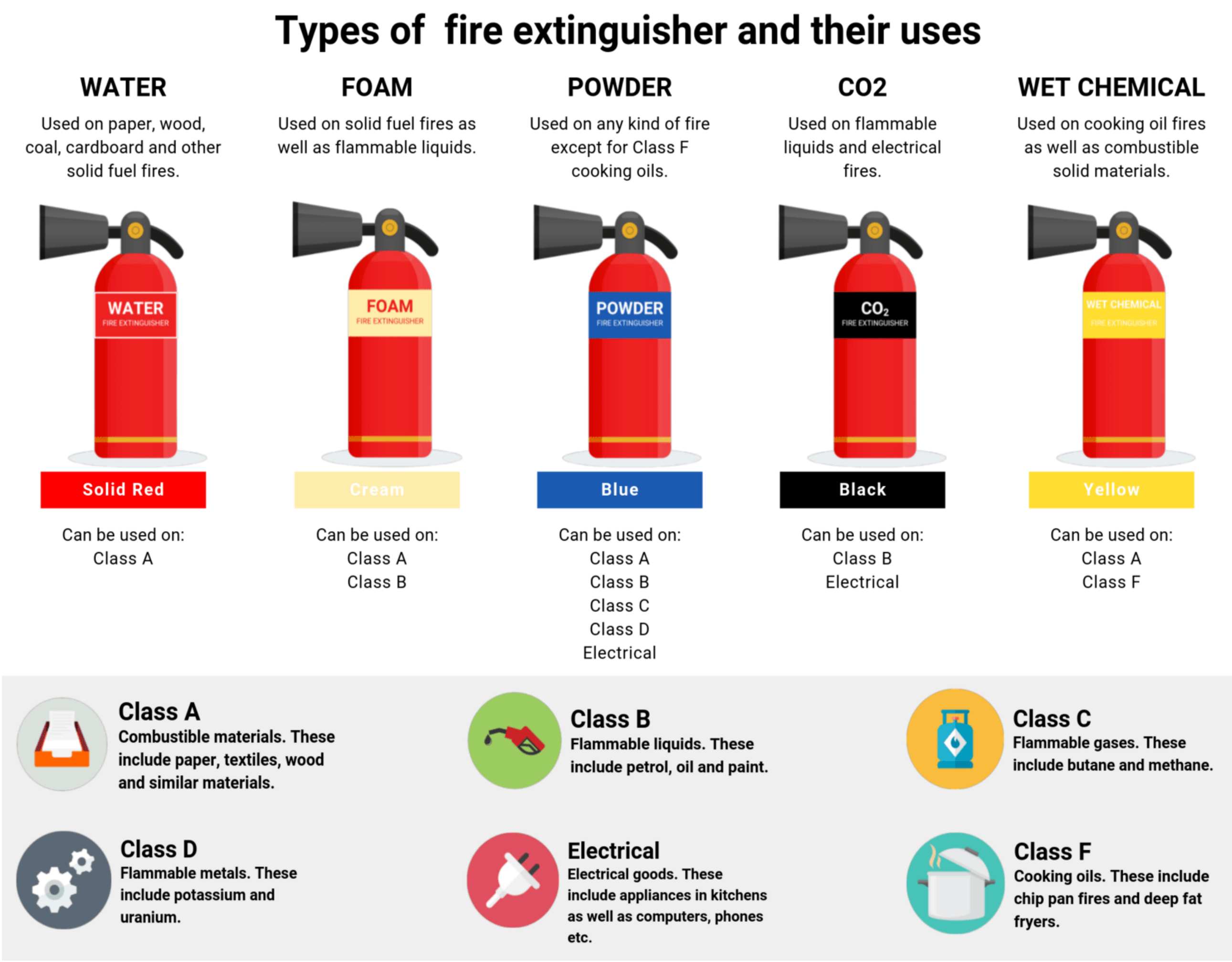


Fig 1.5: टाईप ऑफ फायर एक्स्टिंग्विशर (Types of fire extinguishers)

Reference Link: https://cpdonline.co.uk/knowledge-base/health-and-safety/types-fire-extinguishers/

1.6.2 "PASS" आणि "RACE" इन केस ऑफ फायर ("PASS" & "RACE" in Case of Fire):

फायरची घटना घडल्यास लवकर, शांतपणे आणि योग्य पद्धतीने कृती करणे अत्यंत आवश्यक असते. फायर एमर्जन्सीमध्ये योग्य स्टेप्स लक्षात ठेवण्यासाठी दोन महत्त्वाच्या मार्गदर्शक पद्धती वापरल्या जातात.

"PASS" आणि "RACE".

"PASS" → फायर एक्स्टिंग्विशर (Fire Extinguisher) कसे चालवावे हे लक्षात ठेवण्यासाठी

"RACE" → फायर एमर्जन्सीला कशी प्रतिक्रिया द्यावी हे लक्षात ठेवण्यासाठी

"PASS" – द फायर एक्स्टिंग्विशर टेक्निक ("PASS" – The Fire Extinguisher Technique):

PASS हा ॲक्रोनिम (Acronym) फायर एक्स्टिंग्विशर योग्य, सुरक्षित आणि प्रभावीरीत्या ऑपरेट करण्याच्या चार स्टेप्स दर्शवतो:

Fig 1.6: PASS फायर एक्स्टिंग्विशर टेक्निक (PASS- Fire Extinguisher Technique)

P – पुल (Pull): फायर एक्स्टिंग्विशरवरील सेफ्टी पिन (Safety Pin) बाहेर ओढा.

A – एम (Aim): नोजल (Nozzle) किंवा होज (Hose) फायरच्या बेसकडे लक्ष्य करा.

S – स्क्विझ (Squeeze): हँडल (Handle) मजबुतीने दाबा, ज्यामुळे एक्स्टिंग्विशिंग एजन्ट (Extinguishing Agent) बाहेर पडतो.

S – स्वीप (Sweep): नोजलला बाजूकडून बाजूला स्वीपिंग मोशनने हलवा आणि फायर संपेपर्यंत बेसवर फोकस ठेवा.

"RACE" – फायर इमर्जन्सी रिस्पॉन्स प्लॅन (Fire Emergency Response Plan):

"RACE" हा बिल्डिंग किंवा इन्स्टिट्युशनमध्ये फायर दिसल्यावर कोणत्या स्टेप्स फॉलो करायच्या हे सांगणारा महत्त्वाचा ॲक्रोनिम (Acronym) आहे.

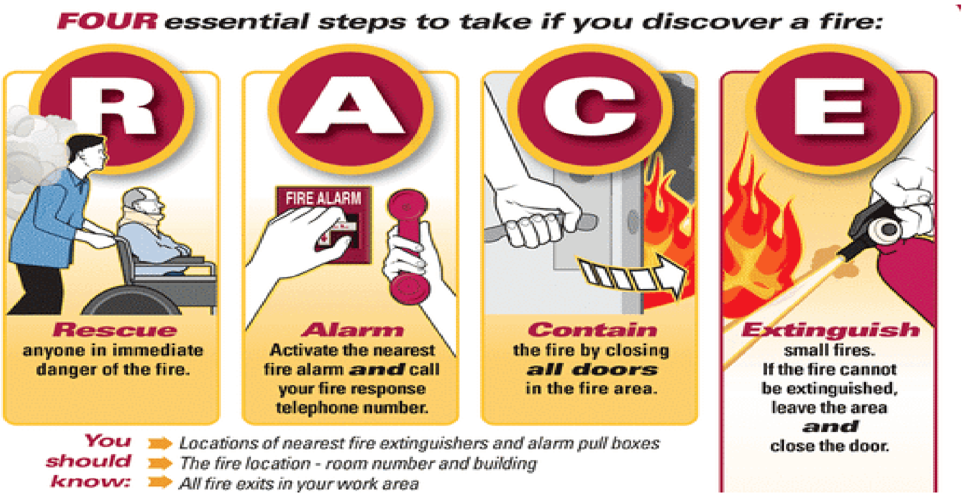


Fig 1.7: RACE टेक्निक (RACE Technique)

R – रेस्क्यू (Rescue): ज्या व्यक्ती इमिजिएट डेंजरमध्ये आहेत त्यांना सुरक्षित ठिकाणी हलवा. पण स्वतःचा जीव धोक्यात घालू नका. सेफ टू रेस्क्यू असेल तेव्हाच व्यक्तीला बाहेर काढा.

A – अलार्म (Alarm): जवळचा फायर अलार्म (Fire Alarm) सक्रिय करा किंवा इतरांना आग लागल्याची माहिती द्या. ताबडतोब फायर डिपार्टमेंट (Fire Department) किंवा इमर्जन्सी नंबरवर कॉल करा.

C – कंटेन (Contain): आगीचा आणि स्मोक (Smoke) चा प्रसार कमी करण्यासाठी दरवाजे आणि खिडक्या बंद करा. लॉक करू नका—फक्त क्लोज (Close) करा, त्यामुळे फायरचा स्प्रेड मंदावतो.

E – इव्हॅक्युएट (Evacuate) किंवा एक्स्टिंग्विश (Extinguish): फायर छोटी असेल आणि तुम्हाला फायर एक्स्टिंग्विशर (Fire Extinguisher) वापरण्याचे प्रशिक्षण असेल तर PASS मेथड वापरून आग विझवण्याचा प्रयत्न करा.

परिस्थिती असुरक्षित असेल किंवा फायर मोठा असेल तर तात्काळ इव्हॅक्युएट (Evacuate) करा आणि डिझाईनटेड एस्केप रूटने बाहेर पडा.

1.7 अर्थिंग चे ऑब्जेक्टिव्ह्ज. अर्थिंग ऑफ इलेक्ट्रिकल इक्विपमेंट ॲज पर IS 3043-1987 (Objectives of earthing. Earthing of electrical equipment as per IS 3043-1987):

1.7.1 अर्थिंग चे ऑब्जेक्टिव्हज (Objectives of Earthing):

1. **सेफ्टी ऑफ ह्यूमन लाइफ (Safety of Human Life):** इलेक्ट्रिकल इक्विपमेंटच्या एक्स्पोज्ड कंडक्टिव्ह पार्ट्स धोकादायक पोटेंशियलपर्यंत जाऊ नयेत म्हणून अर्थिंग सुरक्षित मार्ग प्रदान करते, ज्यामुळे इलेक्ट्रिक शॉकपासून व्यक्तीचे संरक्षण होते.
2. **प्रोटेक्शन ऑफ इक्विपमेंट (Protection of Equipment):** फॉल्ट करंट जमिनीत जाण्यासाठी लो-रेझिस्टन्स पाथ उपलब्ध होतो, त्यामुळे इलेक्ट्रिकल अप्लायन्सेस आणि मशीनचे नुकसान टाळले जाते.
3. **स्टॅबिलायझेशन ऑफ व्होल्टेज (Stabilization of Voltage):** लाईटनिंग (Lightning) किंवा स्विचिंग सर्जेस दरम्यान इलेक्ट्रिकल सिस्टममधील विविध भागांचे व्होल्टेज अर्थ पोटेंशियलवर स्थिर ठेवण्यास मदत करते.
4. **फॅसिलिटेशन ऑफ प्रोटेक्टिव्ह डिव्हाइसेस ऑपरेशन (Facilitation of Protective Devices Operation):** सर्किट ब्रेकर्स (Circuit Breakers), फ्यूजेस (Fuses), रिलेज (Relays) यांसारख्या सुरक्षात्मक उपकरणांना फॉल्ट कंडिशन्स (उदा. शॉर्ट सर्किट, लीकेज करंट) मध्ये योग्यरित्या आणि लवकर काम करण्यास अर्थिंग मदत करते.
5. **लाईटनिंग प्रोटेक्शन (Lightning Protection):** इमारती आणि उपकरणांचे संरक्षण करण्यासाठी लाईटनिंग स्ट्रोक्स किंवा स्टॅटिक चार्जेस जमिनीत सुरक्षित रीतीने डिस्चार्ज करण्यात अर्थिंग महत्त्वाची भूमिका बजावते.
6. **मिनिमायझिंग इलेक्ट्रिकल नॉईज (Minimizing Electrical Noise):** EMI (Electromagnetic Interference) आणि इलेक्ट्रिकल नॉईज कमी करण्यासाठी अर्थिंग स्थिर रिफरन्स पोटेंशियल उपलब्ध करून देते, जे कम्युनिकेशन किंवा कंट्रोल सिस्टिमसाठी आवश्यक असते.
7. **प्रिव्हेंटिंग फायर हॅझर्ड्स (Preventing Fire Hazards):** लीकेज करंट किंवा इन्सुलेशन फेल्युअरमुळे होणाऱ्या इलेक्ट्रिकल फायरची रिस्क अर्थिंग कमी करते.

अर्थिंग ऑफ इलेक्ट्रिकल इक्विपमेंट ॲज पर IS 3043-1987 (Earthing of electrical equipment as per IS 3043-1987): 'अर्थिंग (Earthing)' म्हणजे सप्लाय सिस्टमच्या न्युट्रल पॉइंट (Neutral Point) किंवा उपकरणाच्या नॉन-करंट-कॅरींग मेटॅलिक पार्ट्स (Non-Current-Carrying Metallic

Parts) यांना लो-रेझिस्टन्स कंडक्टर (Low-Resistance Conductor) द्वारे पृथ्वीशी (Earth) जोडण्याची प्रक्रिया होय. यामुळे कोणताही लीकेज करंट (Leakage Current) किंवा फॉल्ट करंट (Fault Current) लगेच आणि सुरक्षितपणे जमिनीत वाहून जातो व धोका टाळला जातो.

इंडियन इलेक्ट्रिसिटी रुल्स (Indian Electricity Rules) नुसार "अर्थिंग (Earthing)" किंवा "कनेक्टेड विथ अर्थ (Connected with Earth)" म्हणजे उपकरणाची किंवा सिस्टमची अशी पृथ्वीशी जोडणी, ज्याद्वारे विद्युत ऊर्जा नेहमीच त्वरित आणि सुरक्षितपणे जमिनीत डिस्चार्ज (Discharge) होईल. अर्थिंगमुळे उपकरणाच्या मेटॅलिक बॉडीचे पोटेन्शिअल (Potential) शून्य (Zero) केले जाते, ज्यामुळे ऑपरेटरला इलेक्ट्रिक शॉक (Electric Shock) होण्यापासून संरक्षण मिळते. थ्री-फेझ फोर-वायर सिस्टम (Three-Phase Four-Wire System) मध्ये न्युट्रल (Neutral) सुद्धा सॉलिडली अर्थ्ड (Solidly Earthed) असतो, जेणेकरून त्याचे पोटेन्शिअल शून्यावरच राहील. हे न्युट्रल कनेक्शन 11 kV/415 V डिस्ट्रीब्युशन ट्रान्सफॉर्मर (Distribution Transformer) च्या स्टार पॉइंटमधून घेतलेले असते.

डिफरंट मेथड्स ऑफ अर्थिंग (Different Methods of Earthing):

a) वायर/स्ट्रिप अर्थिंग (Wire or Strip Earthing)
b) रॉड अर्थिंग (Rod Earthing)
c) पाईप अर्थिंग (Pipe Earthing)
d) प्लेट अर्थिंग (Plate Earthing)

a) वायर/स्ट्रिप अर्थिंग (Wire or Strip Earthing): या पद्धतीत कॉपर वायर (Copper Wire) 5 एस.डब्ल्यू.जी. (5 S.W.G.) किंवा 25 मिमी रुंद व 1.6 मिमी जाडीची कॉपर स्ट्रिप (Copper Strip) अर्थ वायर म्हणून वापरली जाते. जर राउंड कंडक्टर (Round Conductor) वापरले, तर त्यांचा क्रॉस-सेक्शनल एरिया (Cross-Sectional Area) कॉपरसाठी किमान 3.0 मिमी² आणि जी.आय. (GI – Galvanised Iron) किंवा स्टील (Steel) साठी किमान 6 मिमी² असणे आवश्यक आहे. ही वायर किंवा स्ट्रिप (Wire/Strip) जमिनीत हॉरिझॉन्टल ट्रेंचेस (Horizontal Trenches) मध्ये पुरली जाते. अर्थिंग प्रक्रिया योग्यरित्या टिकून ठेवण्यासाठी ट्रेंचची खोली पुरेशी असावी; सर्वसाधारणपणे ती 8 ते 15 मीटर असते, आणि ही खोली मातीतील मॉइश्चर कंटेंट (Moisture Content) वर अवलंबून बदलते. एर्थ रेसिस्टन्स (Earth Resistance) मोठ्या प्रमाणात कमी करण्यासाठी पुरेशी लांबीची वायर किंवा स्ट्रिप जमिनीत पुरली जाते. इलेक्ट्रोड्स (Electrodes) शक्य तितके व्यापकपणे वितरित करावे—एक सरळ ट्रेंच (Straight Trench), सर्क्युलर ट्रेंच (Circular Trench) किंवा रेडियल ट्रेंचेस (Radial Trenches) मध्ये. जर परिस्थितीनुसार एकापेक्षा अधिक स्ट्रिप्सचा वापर आवश्यक असेल, तर त्या पॅरलल ट्रेंचेस (Parallel Trenches) किंवा रेडियल ट्रेंचेस (Radial Trenches) मध्ये पुरल्या जातात. ही पद्धत विशेषतः त्या ठिकाणी वापरली जाते जिथे खडकाळ माती (Rocky Soil) मुळे आवश्यक खोलीचा अर्थ पिट (Earth Pit) तयार करणे कठीण असते.

b) रॉड अर्थिंग (Rod Earthing): रॉड अर्थिंग मधे 12.5 mm डायामीटरचा सॉलिड कॉपर रॉड (Solid Copper Rod), 19 mm डायामीटरचा जी.आय. रॉड (GI Rod) किंवा 25 mm डायामीटरची होलो जी.आय. पाईप (Hollow GI Pipe) ला व्हर्टिकली (Vertically) जमिनीत 5 ते 6 मीटर खोलीपर्यंत ठोकून बसवले जाते. हि खोली जमिनीतील मॉइश्चर (Moisture) च्या पातळीवर अवलंबून असते. हि पद्धत खास करून सँडी सॉयल (Sandy Soil) साठी योग्य मानली जाते. अर्थ रेसिस्टन्स (Earth

Resistance) कमी करण्यासाठी जर इलेक्ट्रोडची लांबी वाढवण्याची गरज असेल, तर मल्टिपल रॉड सेक्शन्स (Multiple Rod Sections) योग्य जॉईंट करून एकमेकांच्या वर हॅमरिंग (Hammering) करून जमिनीत बसवतात. या पद्धतीत एक्स्कॅवेशन (Excavation) लागत नसल्यामुळे ही earthing पद्धत तुलनेने इकॉनॉमिकल (Economical) आहे. अर्थ वायर (Earth Wire–GI Wire) पाईपमधून जमिनीत नेली जाते. आणि जर सॉलिड रॉड वापरला असेल तर वायर रॉडला स्टर्डी क्लॅम्प्स (Sturdy Clamps) ने घट्ट बांधली जाते.

c) पाईप अर्थिंग (Pipe Earthing): पाईप अर्थिंग या पद्धतीत जी.आय. पाईप साधारण 38 mm ते 50 mm डायामीटर आणि 2 ते 3 मीटर लेंग्थ असलेला पाईप जमिनीत व्हर्टिकली बसवला जातो. पाईपच्या खालच्या भागात होल्स असतात ज्यामुळे जमिनीतील मॉइश्चर (Moisture) सहज मिळते आणि कंडक्टिव्हिटी (Conductivity) सुधारते.

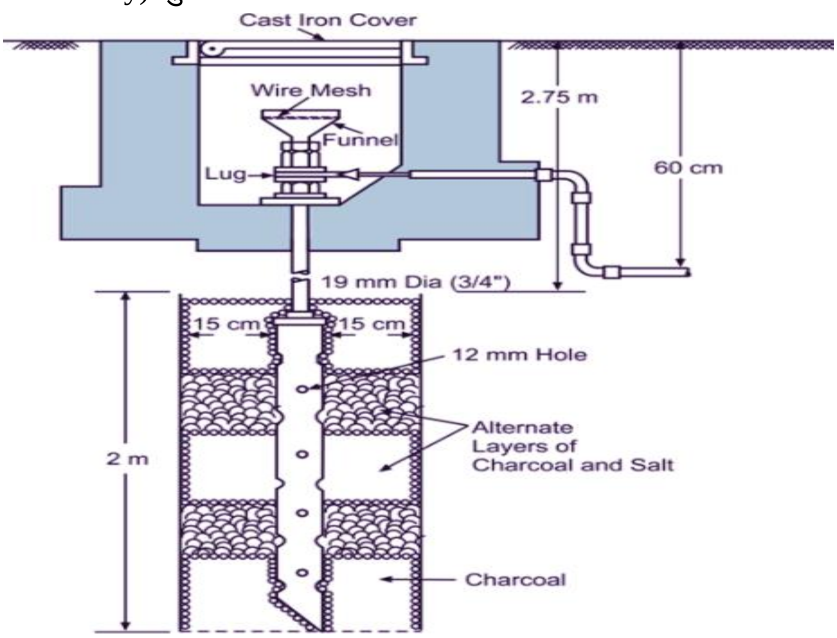


Fig 1.8: पाईप अर्थिंग (Pipe Earthing)

पाईप भोवती चारकोल (Charcoal) आणि सॉल्ट (Salt) चे लेअर्स भरले जातात ज्यामुळे अर्थ रेसिस्टन्स (Earth Resistance) कमी होते. पाईपच्या वरच्या बाजूस अर्थ टर्मिनल जोडले जाते आणि त्याला अर्थ वायर क्लॅम्पद्वारे सुरक्षित जोडली जाते. वर इन्स्पेक्शन चेंबर व RCC/CI कव्हर बसवून मेन्टेनन्स सोपे केले जाते.ही पद्धत डोमेस्टिक तसेच इंडस्ट्रियल इंस्टॉलेशन्स मध्ये मोठ्या प्रमाणावर वापरली जाते आणि ही अत्यंत इफिशंट आणि कास्ट-इफेक्टिव्ह अर्थिंग पद्धत आहे.

d) प्लेट अर्थिंग (Plate Earthing): या पद्धतीत प्लेट इलेक्ट्रोड जमिनीत व्हर्टिकली बसवतात. प्लेट कॉपर किंवा जी.आय. (GI) मटेरियलची असू शकते.

कॉपर प्लेट साइज: 600 mm × 600 mm × 3.15 mm

GI प्लेट साइज: 600 mm × 600 mm × 6.3 mm

प्लेट जमिनीत 3 ते 4 मीटर डेप्थ (Depth) वर बसवतात. प्लेटभोवती चारकोल (Charcoal) आणि सॉल्ट (Salt) चे लेअर्स भरतात ज्यामुळे अर्थ कंडक्टिव्हिटी (Earth Conductivity) वाढते आणि अर्थ रेसिस्टन्स (Earth Resistance) कमी मिळते.

प्लेटला अर्थ लीड (Earth Lead) म्हणजेच GI/Copper वायर (Wire) क्लॅम्पने जोडली जाते. वर इन्स्पेक्शन चेंबर (Inspection Chamber) आणि CI/RCC कॅप (Cap) बसवतात जेणेकरून टेस्टिंग आणि मेन्टेनन्स सोपे होते.

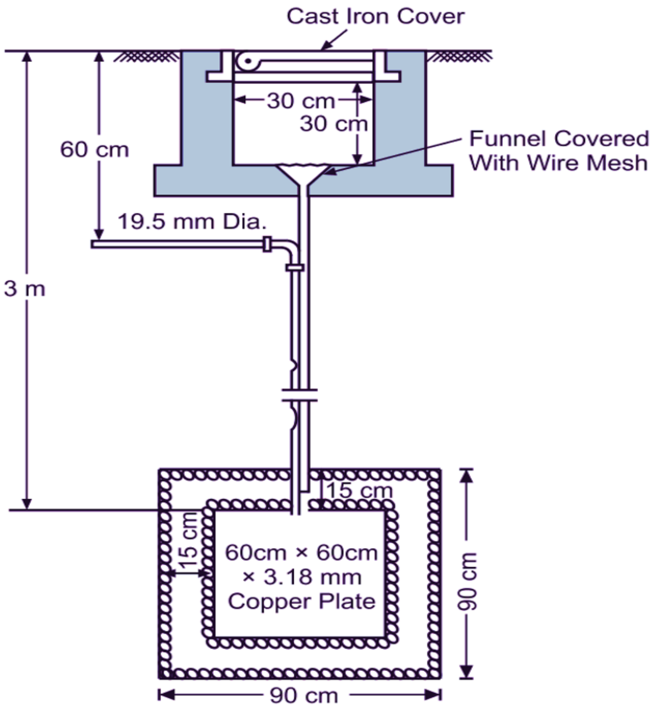


Fig 1.9: प्लेट अर्थिंग (Plate Earthing)

ही पद्धत स्टेबल (Stable), लो-रेसिस्टन्स (Low-Resistance) आणि दीर्घकाळ टिकणारी असल्याने इंडस्ट्रियल प्लांट्स (Industrial Plants), सबस्टेशन्स (Substations) आणि इतर हाय-Safety इंस्टॉलेशन्समध्ये मोठ्या प्रमाणावर वापरली जाते.

अर्थिंग रेसिस्टन्स (Earthing Resistance):अर्थिंग रेसिस्टन्स (Earthing Resistance) म्हणजे अर्थ इलेक्ट्रोड (Earth Electrode) द्वारे इलेक्ट्रिक करंट (Electric Current) जनरल मास ऑफ अर्थमध्ये (General Mass of Earth) वाहण्यासाठी दिला जाणारा रेसिस्टन्स (Resistance) होय. IS 3043–1987 नुसार, अर्थिंग सिस्टम (Earthing System) साठी अनुमत असलेली मॅक्सिमम परमीसिबल रेसिस्टन्स (Maximum Permissible Resistance) खालील टेबलमध्ये दर्शविली आहे:

Table 1.2: अर्थिंग रेसिस्टन्स (Earthing Resistance)

इक्विपमेंट / इन्स्टॉलेशन (Equipment / Installation)	**मॅक्सिमम अर्थ रेसिस्टन्स (Maximum Earth Resistance)**
पॉवर स्टेशन / सबस्टेशन अर्थ (Power Station / Substation Earth)	0.5 Ω
लार्ज इलेक्ट्रिकल इक्विपमेंट (Large Electrical Equipment)	1.0 Ω
स्मॉल इलेक्ट्रिकल इक्विपमेंट / डोमेस्टिक इन्स्टॉलेशन (Small Electrical Equipment / Domestic Installation)	2.0 Ω
लायटनिंग अरेस्टर अर्थ (Lightning Arrester Earth)	5.0 Ω

1.8 प्रोटेक्शन ऑफ इलेक्ट्रिकल इक्विपमेंट अगेन्स्ट इलेक्ट्रिक शॉक (क्लास 0 टू क्लास III) (Protection of electrical equipment against electric shock (class 0 to class III)):

इलेक्ट्रिकल इक्विपमेंटला इलेक्ट्रिक शॉक (Electric Shock) पासून सुरक्षित ठेवण्यासाठी विविध डिझाइन मेथड्स (Design Methods) आणि सेफ्टी स्टँडर्ड्स (Safety Standards) वापरले जातात.

इन्सुलेशनच्या प्रकारानुसार, अर्थिंग अरेंजमेंट (Earthing Arrangement) आणि प्रोटेक्शन मेथड्सनुसार इक्विपमेंट खालील चार क्लासमध्ये वर्गीकृत केले जाते:

a) क्लास 0 (Class 0): क्लास 0 इक्विपमेंटमध्ये बेसिक इन्सुलेशन असते, परंतु कोणताही प्रोटेक्टिव्ह कंडक्टर किंवा अर्थिंग नसते. सुरक्षा पूर्णपणे आजूबाजूच्या वातावरणावर अवलंबून असते. इन्सुलेशन फेल झाल्यास कोणताही सेफ पाथ नसल्यामुळे हे अत्यंत असुरक्षित ठरते. त्यामुळे अनेक देशांमध्ये (जर्मनी, इंडिया इ.) क्लास 0 च्या वापरावर बंदी आहे.

उदाहरणे: जुन्या प्रकारचे टेबल लॅम्प, आयर्न—हे आता जवळजवळ ॲब्सोलीट झाले आहेत.

b) क्लास I (Class I): क्लास I इक्विपमेंटमध्ये बेसिक इन्सुलेशन व्यतिरिक्त, सर्व कंडक्टिव्ह एनक्लोजर पार्ट्सना प्रोटेक्टिव्ह कंडक्टर जोडलेले असतात. मोबाईल इक्विपमेंटच्या प्लगमध्ये अर्थ पिन असते, जी प्लग लावताना सर्वात आधी जोडली जाते आणि प्लग काढताना शेवटी डिसकनेक्ट होते. जर लाइव्ह कंडक्टर एनक्लोजरला चुकून स्पर्श झाला तर फॉल्ट करंट अर्थ पाथमधून जातो आणि फ्यूज, सर्किट ब्रेकर (Circuit Breaker) किंवा आरसीडी (RCD – Residual Current Device) तत्काळ कार्यान्वित होतात. यामुळे इक्विपमेंटच्या बाहेरील पृष्ठभागावर धोकादायक पोटेंशियल राहत नाही.

नोंद: ज्या सिस्टीममध्ये PEN कंडक्टर (Combined Protective Earth and Neutral) असतो, त्यात कंडक्टर इंटरप्शन झाल्यास एनक्लोजरवर धोकादायक व्होल्टेज येऊ शकते, जे Class I संकल्पनेच्या विरुद्ध आहे.

उदाहरणे: फ्रिज, वॉशिंग मशीन, डेस्कटॉप कॉम्प्युटर.

c) क्लास II (Class II): क्लास II इक्विपमेंटमध्ये डबल इन्सुलेशन (Double Insulation) किंवा रिइनफोर्स्ड इन्सुलेशन (Reinforced Insulation) असते. एखादी एक लेयर फेल झाली तरी दुसरी लेयर लाइव्ह पार्ट्सपासून पूर्ण संरक्षण देते. या प्रकारच्या इक्विपमेंटला अर्थ कनेक्शनची गरज नसते, कारण टच करंट अत्यंत कमी (0.5 mA पेक्षा कमी) ठेवला जातो.यांचे प्लग अर्थ पिनशिवाय असतात.

क्लास II चे ओळख चिन्ह म्हणजे स्क्वेअर विथिन स्क्वेअर (Double Insulation Symbol).

उदाहरणे: इलेक्ट्रिक ड्रिल, हेअर-ड्रायर, मोबाइल चार्जर.

d) क्लास III (Class III): क्लास III इक्विपमेंट सेफ्टी एक्स्ट्रा लो व्होल्टेज (SELV) किंवा प्रोटेक्टेड एक्स्ट्रा लो व्होल्टेज (PELV) वर चालते. हे व्होल्टेज प्रामुख्याने 50 V AC किंवा 120 V DC पेक्षा कमी असते.SELV सिस्टीममध्ये नॉर्मल किंवा फॉल्ट कंडिशनमध्ये धोकादायक व्होल्टेज कधीही निर्माण होत नाही.PELV मध्ये काही कंडक्टिव्ह पार्ट्स अर्थला जोडले असू शकतात, पण हे फंक्शनल कारणांसाठी असते—सेफ्टीसाठी नाही. क्लास III मध्ये व्होल्टेजच सुरक्षित असल्यामुळे इलेक्ट्रिक शॉकपासून सर्वाधिक संरक्षण मिळते.

उदाहरणे: LED लाईट्स, लॅपटॉप ॲडॅप्टर, पोर्टेबल इलेक्ट्रॉनिक डिव्हायसेस.

1.9 इलेक्ट्रिकल इक्विपमेंट फेल्युअरची कारणे: इंटरनल आणि एक्स्टर्नल (Causes of failure of electrical Equipment: internal and external):

A. इंटरनल कॉझेस (Internal Causes): हे कॉझेस इक्विपमेंटच्या आतून निर्माण होतात. यांचे कारण डिझाइन डिफेक्ट्स, एजिंग किंवा मॅन्युफॅक्चरिंग इश्यूज असू शकते.

a) **इन्सुलेशन फेल्युअर (Insulation Failure):** हिट, मॉइश्चर किंवा इन्सुलेशनच्या एजिंगमुळे इन्सुलेशन फेल होते. यामुळे शॉर्ट सर्किट आणि लीकेज करंट निर्माण होतो.

b) **ओव्हरहीटिंग (Overheating):** ओव्हरलोडिंग (Overloading), कमी व्हेंटिलेशन (Ventilation), किंवा जास्त करंट फ्लोमुळे ओव्हरहीटिंग होते. यामुळे वाइंडिंग्स आणि इन्सुलेशन खराब होते.

c) **लूज कनेक्शन्स (Loose Connections):** लूज टर्मिनल कनेक्शन्स (Terminal Connections) मुळे स्पार्किंग (Sparking) आणि आर्किंग (Arcing) होते. यामुळे लोकलाईज्ड हिटिंग (Localized Heating) व डॅमेज (Damage) होतो.

d) **मेकॅनिकल वेअर आणि टिअर (Mechanical Wear and Tear):** बेअरिंग्ज (Bearings), ब्रशेस (Brushes) आणि स्विचेस (Switches) हे मूव्हिंग पार्ट्स (Moving Parts) वेळेनुसार झिजतात. यामुळे इफिशियन्सी (Efficiency) कमी होते आणि मेकॅनिकल फेल्युअर (Mechanical Failure) होऊ शकते.

e) **मॅन्युफॅक्चरिंग डिफेक्ट्स (Manufacturing Defects):** पुअर क्वालिटी मटेरियल (Quality Material) वापरणे किंवा इम्प्रॉपर असेंब्ली (Improper Assembly) मुळे उपकरणाची लाइफ कमी होते आणि फेल्युअर (Failure) होते.

f) **एजिंग ऑफ कॉम्पोनंट्स (Aging of Components):** वेळेनुसार इन्सुलेशन, सील्स, ल्युब्रिकंट्स व इतर मटेरियल खराब होते. यामुळे परफॉर्मन्स आणि रिलायबिलिटी कमी होते.

B. एक्स्टर्नल कॉझेस (External Causes): ही कारणे उपकरणाच्या बाहेरून निर्माण होतात, जसे एन्व्हायर्नमेंटल फॅक्टर्स (Environmental Factors), फॉल्टी ऑपरेशन (Faulty Operation) किंवा पुअर मेंटेनन्स (Poor Maintenance).

ओव्हरव्होल्टेज (Over-Voltage): लाईटनिंग (Lightning), स्विचिंग सर्जेस (Switching Surges) किंवा सप्लाय सिस्टममधील फॉल्ट्समुळे सप्लाय व्होल्टेज जास्त होते. यामुळे इन्सुलेशन फेल्युअर (Insulation Failure) आणि उपकरणाचे डॅमेज (Damage) होऊ शकते.

a) **अंडरव्होल्टेज (Under-Voltage):** कमी व्होल्टेज (Low Voltage) मिळाल्यामुळे करंट ड्रॉ (Current Draw) वाढतो आणि ओव्हरहिटिंग (Overheating) होते, ज्यामुळे वाइंडिंग्स (Windings) व इन्सुलेशनचे नुकसान होते.

b) **ओव्हरलोडिंग (Overloading):** उपकरणाची क्षमता (Capacity) पेक्षा जास्त लोड (Load) लावल्यामुळे टेम्परेचर वाढते आणि इफिशियन्सी (Efficiency) कमी होते. दीर्घकाळ ओव्हरलोडिंगमुळे वाइंडिंग्स आणि इन्सुलेशन खराब होतात.

c) **पुअर व्हेंटिलेशन (Poor Ventilation):** योग्य हवा न मिळाल्यामुळे हीट डिसिपेशन (Heat Dissipation) कमी होते आणि उपकरण ओव्हरहीट होते. यामुळे परफॉर्मन्स (Performance) आणि लाइफ (Life) कमी होते.

d) एन्व्हायर्नमेंटल फॅक्टर्स (Environmental Factors):यात खालील गोष्टींचा समावेश होतो:

1. डस्ट (Dust)
2. मॉइश्चर (Moisture)
3. केमिकल फ्यूम्स (Chemical Fumes)

4. टेम्परेचर एक्स्ट्रीम्स (Temperature Extremes)

हे सर्व उपकरणाच्या इन्सुलेशन, मेटल पार्ट्स आणि मेकॅनिकल कंपोनंट्सचे डॅमेज करतात.

e) **व्हायब्रेशन्स (Vibrations):** जास्त व्हायब्रेशन्समुळे लूज कनेक्शन्स, मेकॅनिकल वेअर आणि मिसअलाइन्मेंट होते.

f) **पुअर मेंटेनन्स (Poor Maintenance):** वेळेवर चेकिंग, क्लीनिंग किंवा ल्युब्रिकेशन न केल्यामुळे उपकरणाची रिलायबिलिटी आणि इफिशियन्सी कमी होते. दीर्घकाळ पुअर मेंटेनन्समुळे फेल्युअर (Premature Failure) होऊ शकतो.

g) **ऑपरेशनल मिस्टेक्स (Operational Mistakes):** अनट्रेंड पर्सन (Untrained Person) कडून चुकीचे ऑपरेशन केल्यामुळे:

1. चुकीचे स्विचिंग (Wrong Switching)
2. जास्त लोड जोडणे (Excessive Loading)
3. चुकीचे कनेक्शन (Faulty Connection)

यामुळे उपकरणात फॉल्ट्स निर्माण होतात.

h) **पुअर क्वालिटी सप्लाय (Poor Quality Supply):** फ्लक्चुएशन्स (Fluctuations), हार्मोनिक्स (Harmonics) किंवा व्होल्टेज इम्बॅलन्स (Voltage Imbalance) यामुळे उपकरणाचा परफॉर्मन्स आणि लाइफ कमी होते.

1.10 BIS चा इलेक्ट्रिकल इक्विपमेंट टेस्टिंगमधील रोल (Role of BIS in testing of Electrical Equipment):

बी.आय.एस (BIS – Bureau of Indian Standards) हे इलेक्ट्रिकल इक्विपमेंटच्या टेस्टिंगमध्ये अत्यंत महत्त्वाची भूमिका बजावते. बी.आय.एस भारतीय बाजारासाठी आवश्यक इंडियन स्टँडर्ड्स (Indian Standards) तयार करते आणि त्यांची अंमलबजावणी सुनिश्चित करते. इलेक्ट्रिकल उत्पादनांची सेफ्टी आणि परफॉर्मन्स तपासण्यासाठी टेस्टिंग प्रोसेस लागू केली जाते .मार्केटमध्ये कोणतेही इक्विपमेंट विक्रीस येण्यापूर्वी त्याला बी.आय.एस (ISI) सर्टिफिकेशन अनिवार्य केले जाते.

a) **स्टँडर्ड्सची फॉर्म्युलेशन (Formulation of Standards):** बीआयएस विविध इलेक्ट्रिकल डिव्हाइसेससाठी—जसे ट्रान्सफॉर्मर्स (Transformers), केबल्स (Cables), मोटर्स (Motors), आणि हाऊसहोल्ड ॲप्लायन्सेस (Household Appliances)—डिझाइन, परफॉर्मन्स आणि सेफ्टी रिक्वायरमेंट्स सांगणारे इंडियन स्टँडर्ड्स (IS) तयार करते.

b) **टेस्टिंग आणि सर्टिफिकेशन (Testing and Certification):** इलेक्ट्रिकल इक्विपमेंटचे BIS-लॅबोरेटरीजमध्ये (BIS- Laboratories) टेस्टिंग करून ते संबंधित IS प्रमाणे आहे का ते तपासले जाते.

c) **प्रॉडक्ट सर्टिफिकेशन – आयएसआय मार्क (ISI Mark):** सर्व टेस्टिंग निकष पूर्ण करणाऱ्या प्रॉडक्ट्सना आयएसआय मार्क (ISI Mark) देण्यात येतो, ज्यामुळे तो प्रॉडक्ट इंडियन स्टँडर्ड्सशी सुसंगत असल्याचे सिद्ध होते.

d) **कम्पल्सरी रजिस्ट्रेशन स्कीम (CRS – Compulsory Registration Scheme):** काही इलेक्ट्रिकल आणि इलेक्ट्रॉनिक आयटेम्स (उदा. LED Lamps, Chargers इ.) साठी बाजारात विक्रीपूर्वी अनिवार्य नोंदणी (Registration) आवश्यक असते.

e) **इन्स्पेक्शन आणि मार्केट सर्व्हेलन्स (Inspection and Market Surveillance):** बीआयएस नियमित इन्स्पेक्शन, मार्केट सॅम्पलिंग (Market Sampling) आणि व्हेरिफिकेशन करून प्रॉडक्ट्सने सतत स्टँडर्ड्सचे पालन केले आहे याची खात्री करते.

f) **मेंटेनन्ससाठी सपोर्ट (Support for Maintenance):** बीआयएसद्वारे प्रकाशित केलेले स्टँडर्ड्स मेंटेनन्स कर्मचाऱ्यांना सेफ प्रोसिजर्स (Safe Procedures), स्टँडर्डाईझ्ड कॉम्पोनंट्स (Standardized Components) आणि इलेक्ट्रिकल सिस्टम्सची दीर्घकालीन रिलायबिलिटी (Long-term Reliability) सुनिश्चित करण्यास मदत करतात.

***

स्वाध्याय (Exercise) :

1. 'हॅझर्ड' आणि 'ॲक्सिडन्ट' या टर्म्सची डेफिनिशन इलेक्ट्रिकल सेफ्टीच्या कॉन्टेक्स्टमध्ये द्या.
   (Define the term hazard and accident in the context of electrical safety.)
2. इलेक्ट्रिक फायर प्रिव्हेन्शनसाठी कोणती चार प्रिकॉशन्स घ्याव्यात ते लिस्ट करा.
   (List any four precautions to be taken against electric fire.)
3. अर्थिंग चे ऑब्जेक्टिव्ह्ज स्टेट करा.
   (State the objectives of earthing.)
4. फायर एक्स्टिंग्विशर्स चे टाईप्स आणि त्यांचे कलर कोड्स लिस्ट करा.
   (List the different types of fire extinguishers and their colour codes.)
5. 'हॅझर्ड' आणि 'ॲक्सिडन्ट' यामधील डिफरन्स सूटेबल इक्झॅम्पल्ससह एक्सप्लेन करा.
   (Explain the difference between hazard and accident with suitable examples.)
6. इलेक्ट्रिकल सुपरवायजर्ससाठी दिलेले डूज आणि डोन्ट्स फॉलो करणे इम्पॉर्टंट का आहे ते डिस्क्राईब करा.
   (Describe the importance of following Dos and Don'ts for electrical supervisors.)
7. 'इलेक्ट्रिक शॉक' ही टर्म एक्सप्लेन करा आणि त्याच्या सिव्हेरिटीवर इफेक्ट होणारे फैक्टर्स डिस्क्राईब करा.
   (Explain the term electric shock and describe factors affecting its severity.)
8. आर्टिफिशियल रिस्पिरेशन आणि सी.पी.आर. (CPR – Cardiopulmonary Resuscitation) यांमधील डिफरन्स सांगा.
   (Differentiate between artificial respiration and CPR (Cardiopulmonary Resuscitation).)
9. इलेक्ट्रिक शॉक प्रोटेक्शनच्या क्लासेस (Class 0 to Class III) कंपेअर करा.
   (Compare the different classes of protection against electric shock (Class 0 to Class III).)

Suggested Learning Materials / Books:

Sr. No	Author	Title	Publisher with ISBN Number
1	Bhattacharya S. K.	Electrical Machines	McGraw Hill Education. New Delhi, ISBN : 9789332902855
2	Theraja B.L.	Electrical Technology Vol-II (AC and DC machines)	S.Chand and Co.Ltd., New Delhi ISBN : 9788121924375
3	Bandyopadhyay M. N.	Electrical Machines Theory and Practice	PHI Learning Pvt. Ltd., New Delhi, ISBN :9788120329973 VI

Sr. No	Author	Title	Publisher with ISBN Number
4	Jean-Claude Trigeassous	Electrical Machine Diagnosis	John Wiley & Sons, IncISBN:978-1-84821-263-3.

Learning websites & portals:

Sr. No	Link / Portal	Description
1	https://www.youtube.com/watch?v=w4jHpHoYZhk	How to Use a Fire Extinguisher
2	https://www.youtube.com/watch?v=wrawEAaJrrY	Artificial respiration methods
3	https://www.youtube.com/watch?v=CvuDFgFFOa8	Fundamentals of Transformer Commissioning and Maintenance Testing
4	https://www.youtube.com/watch?v=ntOc4h792UE	Motor Maintenance & Troubleshooting
5	https://www.youtube.com/watch?v=uMxK6djp_rI	Electric Motor Repair & Rebuild Instructions
6	https://youtu.be/JvsPnGbUH5M	power transformer oil filtration and treatment
7	https://nptel.ac.in/	Relevant information from NPTEL
8	https://www.electricaltechnology.org/	Relevant information
9	https://www.electrical4u.com/	Relevant information

युनिट-2
टेस्टिंग आणि मेंटेनन्स
(Testing and Maintenance)

विषय निष्पत्ती (Course Level Learning Outcomes):

CO 2 – टेस्ट इलेक्ट्रिकल इक्विपमेन्ट
(Test Electrical Equipment.)

घटक निष्पत्ती (Theory Learning Outcomes):

1. टेस्टिंगचे ऑब्जेक्टिव एक्सप्लेन करा
(Explain the objectives of the testing).
2. दिलेल्या टेस्टिंग मेथडची प्रोसिजर डिस्क्राईब करा.
(Describe the procedure of the given testing methods).
3. दिलेल्या टेस्टच्या कॅटॅगरीजचे इम्पॉर्टन्स एक्स्प्लेन करा.
(Explain the importance of the given categories of tests).
4. टॉलरन्सचा इम्पॉर्टन्स एक्स्प्लेन करा.
(Explain the importance of tolerance.).
5. इन्ग्रेस प्रोटेक्शनचे अर्थ आणि इम्पॉर्टन्स एक्स्प्लेन करा.
(Explain meaning and importance of ingress protection.)
6. इलेक्ट्रिकल इक्विपमेंट्सच्या मेंटेनन्सचा इम्पॉर्टन्स एक्स्प्लेन करा.
(Explain significance of maintenance of electrical equipment.)
7. मेंटेनन्स टेक्निकचे टाईप स्टेट करा.
(State the given type(s) of maintenance technique.)
8. प्रिव्हेंटिव मेंटेनन्सवर परिणाम करणारे घटक एक्स्प्लेन करा.
(Explain the given factor(s) affecting preventive maintenance.)
9. प्रिव्हेंटिव मेंटेनन्स शेड्यूल तयार करण्याची प्रोसिजर डिस्क्राईब करा.
(Describe the procedures for developing preventive maintenance schedule.)
10. रोटेटिंग मशीनसाठी फाऊंडेशन तयार करण्याच्या स्टेप्स एक्स्प्लेन करा.
(Explain the steps in preparing foundation for the given type of rotating machine.)
11. रोटेटिंग मशीनच्या मेंटेनन्ससाठी टूल्स सजेस्ट करा.
(Suggest tools for maintenance of the given rotating machine.)

परिचय (Introduction):

इलेक्ट्रिकल मशिन्स आणि इक्विपमेंट्स यांचा परफॉर्मन्स (Performance), सेफ्टी (Safety) आणि रिलायबिलिटी (Reliability) या गोष्टी योग्य टेस्टिंग, मेंटेनन्स आणि इन्स्टॉलेशन प्रॅक्टिसेस यांवर मोठ्या प्रमाणात अवलंबून असतात.टेस्टिंगमुळे उपकरणे निर्धारित लिमिट्स मध्ये (Specified Limits) कार्य करत आहेत की नाही याची खात्री होते, तसेच त्यांची इफिशियन्सी (Efficiency), इन्सुलेशन स्ट्रेंथ (Insulation Strength) आणि मेकॅनिकल इंटेग्रिटी (Mechanical Integrity) तपासली जाते.मशिनच्या प्रकारानुसार आणि ॲप्लिकेशननुसार डायरेक्ट टेस्टिंग (Direct Testing), इंडायरेक्ट टेस्टिंग (Indirect Testing) आणि रिजनरेटिव टेस्टिंग (Regenerative Testing) अशा विविध मेथड्स वापरल्या जातात.

टेस्ट्स पुढे रुटीन टेस्ट्स (Routine Tests), टाईप टेस्ट्स (Type Tests), स्पेशल टेस्ट्स (Special Tests) आणि सप्लिमेंटरी टेस्ट्स (Supplementary Tests) अशा विभागल्या जातात. तसेच इंग्रेस प्रोटेक्शन मार्किंग (Ingress Protection – IP Marking) हे उपकरणाला धूळ आणि पाण्यापासून मिळणाऱ्या संरक्षणाच्या दर्जाची माहिती देते. योग्य मेंटेनन्स जसे की रुटीन मेंटेनन्स (Routine Maintenance), प्रिव्हेंटिव मेंटेनन्स (Preventive Maintenance) किंवा ब्रेकडाउन मेंटेनन्स (Breakdown Maintenance) हे उपकरणांचे डाऊनटाइम (Downtime) कमी करण्यासाठी, सर्विस लाईफ (Service Life) वाढवण्यासाठी आणि सेफ्टी (Safety) सुनिश्चित करण्यासाठी अत्यंत महत्त्वाचे आहे. एक व्यवस्थित नियोजित प्रिव्हेंटिव मेंटेनन्स शेड्यूल (Preventive Maintenance Schedule) हे लोड कंडीशन्स (Load Conditions) आणि मशीनच्या वापराप्रमाणे (Machine Usage) ठरवले जाते. याव्यतिरिक्त, रोटेटिंग मशिन्स (Rotating Machines) ला आधार देण्यासाठी फाउंडेशन्स (Foundations) महत्त्वाची भूमिका बजावतात. योग्य डिझाईन केल्यास व्हायब्रेशन (Vibration) आणि मिसअलायन्मेंट (Misalignment) कमी करता येते. अचूक इंस्टॉलेशन (Accurate Installation) आणि टेस्टिंग साठी विविध महत्त्वाची टूल्स आणि इन्स्ट्रुमेंट्स (Tools and Instruments) वापरली जातात, जसे की बेअरिंग पुलर (Bearing Puller), फिलर गेज (Filler Gauge), डायल इंडिकेटर (Dial Indicator), स्पिरिट लेव्हल (Spirit Level), मेगर (Megger) आणि मल्टीमीटर (Multimeter). ही सर्व प्रॅक्टिसेस (Practices) एकत्रितपणे इलेक्ट्रिकल इक्विपमेंट्सचे वर्क इफिशियंट (Efficient), रिलायबल आणि लाँग-लास्टिंग (Long-lasting) बनवतात, ज्यामुळे कोणत्याही इंडस्ट्रियल एन्व्हायर्नमेंटमध्ये (Industrial Environment) सुरक्षित आणि सतत ऑपरेशन सुनिश्चित होते.

2.1 टेस्टिंग चे ऑब्जेक्टिव्ह्ज (Objectives of Testing):

टेस्टिंग (Testing) चे मुख्य ऑब्जेक्टिव्ह्ज (Objectives) म्हणजे इलेक्ट्रिकल इक्विपमेंट ची सेफ्टी (Safety), परफॉर्मन्स (Performance), रिलायबिलिटी (Reliability) आणि एफिशियन्सी (Efficiency) सुनिश्चित करणे. खाली टेस्टिंगची प्रमुख ऑब्जेक्टिव्ह्ज दिली आहेत:

a) **व्हेरिफाय फंक्शनॅलिटी (Verify Functionality):** सिस्टम अपेक्षेप्रमाणे काम करते का, सर्व रिक्वायरमेंट्स (Requirements) पूर्ण करते का आणि तिला दिलेली फंक्शन्स (Functions) योग्यरित्या पार पाडते का हे तपासणे.

b) **व्हॅलिडेट रिक्वायरमेंट्स (Validate Requirements):** बिल्ड केलेली सिस्टम स्टेकहोल्डरच्या (Stakeholder) नीड्स, बिझनेस गोल्स (Business Goals) आणि यूजर एक्स्पेक्टेशन्स (User Expectations) यांच्याशी जुळते का हे निश्चित करणे.

c) **डिटेक्ट डिफेक्ट्स/बग्स अर्ली (Detect Defects/Bugs Early):** एरर्स (Errors), फॉल्ट्स (Faults) किंवा स्पेसिफिकेशन (Specification) पासून डेविएशन्स शोधणे—जसे की चुकीची लॉजिक, परफॉर्मन्स इश्यूज (Performance Issues), चुकीचे डेटा हँडलिंग (Data Handling) जेणेकरून नंतरचा खर्च आणि रिस्क कमी होईल.

d) **एन्शुअर रिलायबिलिटी, स्टॅबिलिटी आणि क्वालिटी (Ensure Reliability, Stability & Quality):** सिस्टमची रोबस्टनेस (Robustness), एज केसेस (Edge Cases) आणि एरर-हँडलिंग (Error Handling) परिस्थितींमध्ये कामगिरी तपासणे.

e) **इम्प्रूव्ह परफॉर्मन्स आणि इफिशियन्सी (Improve Performance & Efficiency):** नॉन-फंक्शनल रिक्वायरमेंट्स (Non-Functional Requirements) जसे परफॉर्मन्स, स्केलेबिलिटी (Scalability), रिस्पॉन्स टाइम (Response Time) पूर्ण होतात का याची खात्री करणे आणि बॉटलनेक्स (Bottlenecks) शोधणे.

f) **मेंटेन कम्पॅटिबिलिटी आणि इंटिग्रेशन (Maintain Compatibility & Integration):** वेगळे मॉड्यूल्स (Modules) योग्यरित्या एकत्र काम करतात का, इंटरफेसेस (Interfaces) योग्य प्रकारे कार्य करतात का, तसेच इतर सिस्टिम्स (Systems), प्लॅटफॉर्म्स (Platforms) आणि हार्डवेअर (Hardware) सोबत कम्पॅटिबल आहेत का हे पाहणे.

g) **कम्प्लायन्स आणि स्टँडर्ड्स व्हेरिफिकेशन (Compliance & Standards Verification):** सिस्टम संबंधित स्टँडर्ड्स (Standards), रेग्युलेशन्स (Regulations), सेक्युरिटी रिक्वायरमेंट्स (Security Requirements) आणि क्वालिटी गाईडलाइन्स (Quality Guidelines) यांचे पालन करते का हे तपासणे.

h) **मिनिमाईझ रिस्क (Minimize Risk):** प्रॉडक्शनमध्ये होणारे फेल्युअर्स, कस्टमर डिसॅटिस्फॅक्शन (Customer Dissatisfaction) आणि बिझनेस डिस्रप्शन (Business Disruption) टाळून स्टेकहोल्डर्सना आत्मविश्वास देणे.

i) **प्रोव्हाईड इन्फर्मेशन फॉर डिसिजन-मेकिंग (Provide Information for Decision-Making):**
सिस्टमची क्वालिटी (Quality), रिस्क (Risk) आणि रिलीज रेडीनेस (Release Readiness) याबाबत माहिती उपलब्ध करून देणे, ज्याद्वारे सिस्टम डिप्लॉयमेंट (Deployment) साठी तयार आहे का ते ठरवता येते.

j) **फॅसिलिटेट मेंटेनन्स आणि फ्यूचर एन्हान्समेंट्स (Facilitate Maintenance & Future Enhancements):** टेस्टिंग व डॉक्युमेंटेशन (Documentation) मुळे सिस्टमचे मेंटेनन्स, अपडेट्स आणि फ्यूचर एन्हान्समेंट्स (Enhancements) सुलभ होतात.

2.2 टेस्टिंगच्या मेथड्स (Methods of Testing): डायरेक्ट (Direct), इंडायरेक्ट (Indirect) आणि रिजनरेटिव्ह (Regenerative):

इलेक्ट्रिकल मशीनची परफॉर्मन्स, एफिशियन्सी आणि लॉसेस निश्चित करण्यासाठी त्यांच्या टेस्टिंगची आवश्यकता असते. मशीन टेस्टिंग करण्यासाठी वापरल्या जाणाऱ्या तीन मुख्य मेथड्स पुढीलप्रमाणे आहेत: डायरेक्ट टेस्टिंग, इंडायरेक्ट टेस्टिंग,आणि रिजनरेटिव्ह टेस्टिंग.

1. डायरेक्ट मेथड (Direct Method):

डायरेक्ट मेथडमध्ये मशीनला डायरेक्टली लोड केले जाते आणि सर्व इनपुट व आउटपुट क्वांटिटीज जसे व्होल्टेज (Voltage), करंट (Current), स्पीड (Speed), टॉर्क (Torque) मोजून मशीनची इफिशियन्सी (Efficiency) आणि परफॉर्मन्स ठरवला जातो.

उदाहरण (Example): डी.सी. शंट मोटर (DC Shunt Motor) वर ब्रेक टेस्ट (Brake Test).

प्रोसीजर (Procedure):डायरेक्ट मेथडमध्ये मशीनला मेकॅनिकल लोड (Mechanical Load) जसे की ब्रेक (Brake) किंवा डायनामोमीटर (Dynamometer) ला कपल केले जाते, जे आउटपुट पॉवर अब्झॉर्ब्स करतात. टेस्ट दरम्यान इनपुट पॉवर आणि आउटपुट पॉवर योग्य इलेक्ट्रिकल आणि मेकॅनिकल इन्स्ट्रुमेंट्सने मोजली जाते.

इफिशियन्सी खालील फॉर्म्युलाने कॅलक्युलेट जाते:

इफिशियन्सी (Efficiency) $=\frac{\text{आउटपुट पॉवर(Output Power)}}{\text{इनपुट पॉवर (Input Power)}} * 100$

फायदे (Advantages):

a) सिंपल आणि सोपी प्रोसीजर.
b) अचूक रिझल्ट्स मिळतात.

तोटे (Disadvantages):

a) मोठ्या मशीनसाठी योग्य नाही कारण जास्त पॉवर लॉस हीट स्वरूपात होतो.
b) मोठा पॉवर सोर्स आणि हेवी लोडिंग इक्विपमेंटची गरज भासते.

2. इंडायरेक्ट मेथड (Indirect Method):

इंडायरेक्ट मेथडमध्ये मशीनचे सर्व लॉसेस (Losses) वेगवेगळे मोजले जातात, आणि फुल लोड न करता मशीनची इफिशियन्सी काढली जाते.

उदाहरण (Example): स्विंबर्न्स टेस्ट (Swinburne's Test) ऑन डी.सी. शंट मोटर (DC Shunt Motor)

प्रोसीजर (Procedure): मशीनचे खालील लॉसेस (Losses) वेगवेगळे मोजले जातात: कॉपर लॉस (Copper Loss), आयरन लॉस (Iron Loss), मेकॅनिकल लॉस (Mechanical Loss), टोटल लॉसेस (Total Losses) इनपुट पॉवरमधून वजा करून इफिशियन्सी (Efficiency) काढली जाते.

फायदे (Advantages):

a) इकॉनॉमिकल आणि मोठ्या मशीनसाठी योग्य.
b) फुल लोड चालवण्याची गरज नाही.

तोटे (Disadvantages):

a) प्रत्येक लॉसचे अचूक मोजमाप आवश्यक.
b) लॉस मोजण्यात झालेली चूक रिझल्टवर परिणाम करते.

3. रिजनरेटिव्ह मेथड (Regenerative Method):

या मेथडमध्ये दोन आयडेंटिकल (Identical) मशीन एकमेकांना मेकेनिकल कपलिंग (Mechanical Coupling) देऊन आणि इलेक्ट्रिकली (Electrically) जोडून एक मशीन मोटर (Motor) म्हणून आणि दुसरी जनरेटर (Generator) म्हणून काम करते. पॉवर दोन मशीनमध्ये सर्क्युलेट (Circulate) होते.

उदाहरण (Example): हॉपकिन्सन टेस्ट (Hopkinson's Test) ऑन डी.सी. मशीन.

प्रोसीजर (Procedure): सप्लायमधून फक्त लॉसेस प्रोड्युस होतील एवढीच पॉवर घेतली जाते. एक मशीनचे आउटपुट दुसऱ्यात फीड केले जाते, असे रिजनरेटिव्ह लूप (Regenerative Loop) तयार होते. फुल लोड कंडीशन्समध्ये मशीनचे टेस्टिंग अत्यंत कमी पॉवर वापरून करता येते.

फायदे (Advantages):

a) मोठ्या मशीनसाठी खूप इकॉनॉमिकल .
b) कमी पॉवर वेस्ट होते.
c) दोन्ही मशीनचे फुल-लोड टेस्टिंग करता येते.

तोटे (Disadvantages):

a) दोन आयडेंटिकल मशीन (Identical Machines) आवश्यक.

b) सेटअप कॉम्प्लेक्स (Complex) असतो.

टेस्टिंग मेथड्सचे कंपॅरिझन (Comparison of Methods of Testing):

Table 2.1: टेस्टिंग मेथड्सचे कंपॅरिझन (Comparison of Methods of Testing)

पॅरामिटर (Parameter)	डायरेक्ट मेथड (Direct Method)	इंडायरेक्ट मेथड (Indirect Method)	रिजनरेटिव्ह मेथड (Regenerative Method)
डेफिनिशन (Definition)	मशीनला ॲक्चुअल लोड देऊन इनपुट–आउटपुट मोजले जातात व एफिशियन्सी डायरेक्ट काढली जाते.	मशीनचे वेगवेगळे लॉसेस (Losses) मोजून एफिशियन्सी कॅलक्युलेट केली जाते; मशीन फुल-लोडवर चालवावी लागत नाही.	दोन आयडेंटिकल मशीन कपल करून एक मोटर (Motor) व दुसरी जनरेटर (Generator) म्हणून चालवून पॉवर सर्क्युलेट केली जाते.
पॉवर रिक्वायरमेंट (Power Requirement)	फुल-लोड पॉवर सप्लायची गरज.	लो (low) पॉवर—फक्त लॉसेस मोजले जातात.	अतिशय लो (low) पॉवर—फक्त सिस्टिम लॉसेस पुरवण्यासाठी.
अक्युरसी (Accuracy)	खूप हाय(High), कारण ॲक्चुअल लोड वापरला जातो.	मीडियम (Medium)—मोजमापाच्या अचूकतेवर अवलंबून.	हाय (High) अक्युरसी—दोन्ही मशीन फुल-लोडवर पण कमी पॉवरमध्ये टेस्ट होतात.
कॉस्ट ऑफ टेस्ट (Cost of Test)	महाग—जास्त पॉवर, लोडिंग इक्विपमेंट आवश्यक.	स्वस्त—फुल-लोड लागणार नाही.	मीडियम (Medium) —दोन मशीन आवश्यक पण पॉवर कमी लागते.
हीट डिसिपेशन (Heat Dissipation)	फुल-लोडमुळे जास्त हीट; कुलिंग आवश्यक.	लो (low) हीट.	लो (low) हीट—फक्त लॉसेसमुळे.
एक्झॅम्पल टेस्ट्स (Example Tests)	ब्रेक टेस्ट (Brake Test) – DC मोटर, लोड टेस्ट – अल्टरनेटर.	स्विनबर्न टेस्ट (Swinburne's Test) – DC मशीन.	हॉपकिन्सन टेस्ट (Hopkinson's Test) – DC मशीन, बॅक-टू-बॅक टेस्ट (Back-to-Back Test) – ट्रान्सफॉर्मर.
ॲप्लिकेशन्स (Applications)	स्मॉल मशीन, वास्तविक लोडवर अचूक एफिशियन्सी हवी असेल तर.	मोठ्या मशीनसाठी, फुल-लोड टेस्टिंग शक्य नसल्यास.	मोठ्या मशीनचे इकॉनॉमिक टेस्टिंग.
पॉवर लॉस मेजरमेंट (Power Loss Measurement)	इनपुट–आउटपुट फरकातून डायरेक्ट मेजरमेंट.	वेगवेगळे लॉसेस (कॉपर, आयर्न, मेकॅनिकल) मेजरमेंट.	सिस्टिमने घेतलेली पॉवर—कारण बाकी पॉवर मशीनमध्ये सर्क्युलेट होते.

2.3 टेस्ट्स कॅटेगरीज (Categories of Tests): रूटीन, टाईप, स्पेशल आणि सप्लिमेंटरी टेस्ट्स:

1.रूटीन टेस्ट (Routine Test): रूटीन टेस्ट या त्या टेस्ट्स आहेत ज्या प्रत्येक युनिटवर (Each Unit) त्याच्या डिस्पॅच (Dispatch) करण्यापूर्वी किंवा सर्व्हिसमध्ये टाकण्यापूर्वी घेतल्या जातात.या टेस्ट्सचे उद्दिष्ट म्हणजे मशीनने मॅन्युफॅक्चरिंग स्पेसिफिकेशन्स (Manufacturing Specifications), इलेक्ट्रिकल (Electrical) आणि मेकॅनिकल (Mechanical) पॅरामिटर्स पूर्ण केले आहेत याची खात्री करणे. याला "कॉनफॉर्मिटी टेस्ट्स (Conformity Tests) असेही म्हणतात ज्यात प्रत्येक आयटमवर मॅन्युफॅक्चरिंग दरम्यान किंवा नंतर टेस्ट केली जाते."

पर्पज (Purpose):

a) मशीनने दिलेल्या डिझाईन डेटा (Design Data) प्रमाणे स्पेसिफिकेशन (Specification) पूर्ण केले आहे याची खात्री करणे.
b) मशीनमध्ये कोणतेही मॅन्युफॅक्चरिंग डिफेक्ट्स (Manufacturing Defects) नाहीत याची तपासणी.
c) मशीनची सेफ्टी (Safety), इन्स्युलेशन (Insulation), मेकॅनिकल इंटिग्रिटी (Mechanical Integrity) आणि बेसिक परफॉर्मन्स (Basic Performance) तपासणे.
d) परचेसर (Purchaser) आणि मॅन्युफॅक्चरर (Manufacturer) दोघांनाही युनिट स्वीकार आहे याची खात्री देणे.

उदाहरणे (Examples):

1. इन्स्युलेशन रेसिस्टन्स मेजरमेंट (Insulation Resistance Measurement)
2. हाय-व्होल्टेज डायइलेक्ट्रिक टेस्ट (High-Voltage Dielectric Test)
3. नो-लोड आणि लोड टेस्ट्स (No-load and Load Tests)
4. वाइंडिंग रेसिस्टन्स मेजरमेंट (Winding Resistance Measurement)

2. टाईप टेस्ट्स (Type Tests): टाईप टेस्ट्स या त्या टेस्ट्स आहेत ज्या एखाद्या मशीनच्या एक किंवा दोन सॅम्पल युनिट्सवर केल्या जातात, जेणेकरून डिझाईन, मटेरियल, मॅन्युफॅक्चरिंग प्रोसेस आणि परफॉर्मन्स योग्य आहे का ते तपासता येते. या टेस्ट्स प्रत्येक युनिटवर केल्या जात नाहीत, तर फक्त डिझाईनची खात्री करण्यासाठी घेतल्या जातात.

पर्पज (Purpose):

a) डिझाईनने आवश्यक परफॉर्मन्स (Performance), थर्मल (Thermal), इलेक्ट्रिकल (Electrical), मेकॅनिकल (Mechanical) स्पेसिफिकेशन्स पूर्ण केल्या आहेत का ते प्रूव्ह करणे.
b) टाईप टेस्ट्स यशस्वी झाल्यावर, त्याच डिझाईनच्या पुढील सर्व युनिट्ससाठी हे रिझल्ट रेप्रेझेन्टेटिव्ह (Representative) मानले जातात.
c) नवीन डिझाईन लॉन्च करताना किंवा मोठे मॉडिफिकेशन केल्यानंतर या टेस्ट्स केल्या जातात.

उदाहरणे (Examples):

1. टेंपरेचर रायझ टेस्ट (Temperature Rise Test)
2. इफिशियन्सी आणि परफॉर्मन्स टेस्ट (Efficiency & Performance Test)
3. व्हायब्रेशन आणि नॉईज टेस्ट (Vibration & Noise Test)
4. ओव्हर-स्पीड टेस्ट (Over-Speed Test)

3. स्पेशल टेस्ट्स (Special Tests): स्पेशल टेस्ट्स (Special Tests) या त्या टेस्ट्स आहेत ज्या रूटीन किंवा टाईप टेस्ट्सच्या व्यतिरिक्त घेतल्या जातात. साधारणपणे या टेस्ट्स परचेसर (Purchaser) च्या

मागणीनुसार किंवा स्पेशल / अबनॉर्मल कंडिशन्स (Special / Abnormal Conditions) मध्ये मशीनचा परफॉर्मन्स तपासण्यासाठी घेतल्या जातात. या टेस्ट सर्व मशीनसाठी मॅन्डेटरी (Mandatory) नसतात.

पर्पज (Purpose):

a) त्या कंडिशन्समध्ये मशीनचे बिहेवियर (Behavior) तपासणे जे स्टँडर्ड टेस्ट्स (Standard Tests) मध्ये कव्हर होत नाहीत. उदा. एक्स्ट्रीम एन्व्हायर्नमेंट (Extreme Environment), हार्मोनिक्स (Harmonics), नॉईज (Noise), व्हायब्रेशन (Vibration), स्पेशल ड्युटी (Special Duty).
b) युझरला स्पेशल अप्लिकेशन्स (Special Applications) किंवा सर्विस कंडिशन्ससाठी ॲडिशनल अशुरन्स (Additional Assurance) देणे.
c) कधीकधी रेग्युलेटरी (Regulatory) किंवा कॉन्ट्रॅक्ट (Contract) रीक्वायरमेंट्ससाठीही आवश्यक असतात. उदा. सेन्सिटिव्ह इन्स्टॉलेशन्स (Sensitive Installations).

उदाहरणे (Examples):

1. बेअरिंग टेम्परेचर टेस्ट (Bearing Temperature Test)
2. नॉईज लेव्हल टेस्ट (Noise Level Test)
3. हार्मोनिक ॲनालिसिस (Harmonic Analysis)
4. व्हायब्रेशन टेस्ट (Vibration Test)

4. सप्लिमेंटरी टेस्ट्स (Supplementary Tests): सप्लिमेंटरी टेस्ट्स (Supplementary Tests) म्हणजे ॲडिशनल टेस्ट्स (Additional Tests) ज्या इलेक्ट्रिकल मशीनस (Electrical Machines) किंवा इक्विपमेंटस (Equipment) वर केल्या जातात, जेणेकरून त्यांच्या स्पेशल करॅक्टरिस्टिक्स (Special Characteristics) किंवा स्पेसिफिक कंडिशन्स (Specific Conditions) परफॉर्मन्स (Performance) निश्चित करता येईल, ज्या रुटीन किंवा टाइप टेस्ट्स मध्ये कव्हर केलेल्या नाहीत. हे टेस्ट्स सहसा तेव्हाच केले जातात जेव्हा इक्विपमेंटस अनयूज्युअल एन्व्हायर्नमेंट्स किंवा स्पेशल कस्टमर रिक्वायरमेंट्स पूर्ण करणे आवश्यक असते.

पर्पज (Purpose):

a) इक्विपमेंटच्या स्पेशल ऑपरेटिंग कंडिशन्स (Special Operating Conditions) जसे हाय टेम्प्रेचर (High Temperature), ह्युमिडिटी (Humidity), वायब्रेशन (Vibration), अल्टिट्यूड (Altitude) मध्ये परफॉर्मन्स तपासण्यासाठी.
b) कस्टमरने रिक्वेस्ट केलेल्या स्पेशल डिझाईन फीचर्स (Special Design Features) यांची व्हेरिफिकेशन करण्यासाठी.
c) क्रिटिकल ॲप्लिकेशन्स (Critical Applications) मध्ये रिलायबिलिटी (Reliability) आणि ड्युरॅबिलिटी (Durability) सुनिश्चित करण्यासाठी.

उदाहरणे (Examples):

1. नॉईज आणि वायब्रेशन टेस्ट (Noise and Vibration Test)
2. टेम्प्रेचर राईज टेस्ट (Temperature Rise Test)
3. मॉईश्चर / ह्युमिडिटी टेस्ट (Moisture / Humidity Test)
4. हाय अल्टिट्यूड टेस्ट (High Altitude Test)
5. सॉल्ट स्प्रे / कोरोझन टेस्ट (Salt Spray / Corrosion Test)
6. एन्ड्युरन्स / ओव्हरलोड टेस्ट (Endurance / Overload Test)

2.4 टॉलरन्स (Tolerance): टॉलरन्स (Tolerance) म्हणजे मॅन्युफॅक्चर केलेल्या पार्टच्या फिजिकल डायमेंशन (Physical Dimension) किंवा मेजरमेंट (Measurement) मधील परमिसिबल लिमिट ऑफ व्हेरिएशन (Permissible Limit of Variation). हे म्हणजे एखाद्या कॉम्पोनेंटचा मॅक्सिमम (Maximum) आणि मिनिमम (Minimum) साईज यामधील फरक. टॉलरन्समुळे पार्ट एकमेकांमध्ये योग्य प्रकारे फिट (Fit) होतात आणि ॲसेंब्लीमध्ये परफॉर्मन्सवर परिणाम होत नाही.

टॉलरन्सचा पर्पज (Purpose):

a) मॅन्युफॅक्चरिंग व्हेरिएशन्स (Manufacturing Variations) स्वीकारण्यासाठी, ज्या मशीन ॲक्युरसी (Machine Accuracy) किंवा मटेरियल प्रॉपर्टीज (Material Properties) मुळे होतात.
b) इंटरचेंजेबिलिटी (Interchangeability) सुनिश्चित करण्यासाठी, विशेषतः मास प्रॉडक्शन (Mass Production) मध्ये.
c) मेटिंग कॉम्पोनेंट्स (Mating Components) मध्ये योग्य फिट (Fit) राखण्यासाठी (उदा. शाफ्ट (Shaft) आणि होल (Hole)).
d) अननेसिसरी टाईट ॲक्युरसी (Unnecessarily Tight Accuracy) टाळून मॅन्युफॅक्चरिंग कॉस्ट (Manufacturing Cost) कमी करण्यासाठी.
e) स्मूथ ऑपरेशन (Smooth Operation) आणि मेकेनिकल असेंब्लीची लाँग लाईफ (Longer Life of Mechanical Assemblies) सुनिश्चित करण्यासाठी.

टॉलरन्समध्ये वापरले जाणारे टर्म्स (Terms used to denote tolerance):

a) बेसिक साईज (Basic Size): लिमिट्स ऑफ साईज ठरवण्यासाठी वापरली जाणारी थिअॉरेटिकल / एक्सॅक्ट साईज (Theoretical/Exact Size).
b) ॲक्चुअल साईज (Actual Size): फिनिश्ड पार्टची मेजर्ड साईज (Measured Size).
c) लिमिट्स ऑफ साईज (Limits of Size): पार्टची मॅक्सिमम (Maximum) आणि मिनिमम (Minimum) परमिसिबल साईज.
d) अलाऊन्स (Allowance): मेटिंग पार्ट्स (Mating Parts) मध्ये हवा असलेला डिझायर्ड फिट (Desired Fit) मिळवण्यासाठी ठेवलेली इंटेन्शनल डिफरन्स (Intentional Difference).

उदाहरणे (Examples):

जर एखाद्या शाफ्ट (Shaft) ची साईज 50 mm ± 0.1 mm दिली असेल, तर

a) मॅक्सिमम साईज (Maximum Size) = 50.1 mm

b) मिनिमम साईज (Minimum Size) = 49.9 mm

याचा अर्थ या रेंजमध्ये म्हणजे 49.9 mm ते 50.1 mm दरम्यान शाफ्टची साईज असेल तर तो योग्यरित्या फंक्शन (Function Correctly) करू शकतो आणि ॲसेंब्लीमध्ये कोणताही प्रॉब्लेम येत नाही.

2.5 इन्ग्रेस प्रोटेक्शन (Ingress Protection), IP मार्किंग (IP marking):

इन्ग्रेस प्रोटेक्शन हे एक इंटरनॅशनल स्टँडर्ड (International Standard – IEC 60529) आहे, जे इलेक्ट्रिकल एनक्लोजर (Electrical Enclosure) द्वारे दिल्या जाणाऱ्या प्रोटेक्शनची लेवल क्लासिफाय करते आणि रेटिंग (Rating) देते. हे स्टँडर्ड उपकरणाला सॉलिड फॉरेन ऑब्जेक्ट्स (Solid Foreign Objects) [उदा. डस्ट (Dust), टूल्स (Tools), किंवा फिंगर (Finger)], वॉटर किंवा मॉइस्चर (Water or Moisture), उपकरणाच्या आत असलेल्या लाईव्ह पार्ट्स (Live Parts) किंवा मुव्हिंग पार्ट्स (Moving

Parts) सोबत ॲक्सिडेंटल कॉन्टॅक्ट (Accidental Contact) सारख्या गोष्टींपासून किती प्रोटेक्शन मिळते हे दर्शवते

IP रेटिंगचा पर्पज (Purpose of IP Rating):

a) युजर सेफ्टी (User Safety): लाइव्ह पार्ट्सशी होणारा ॲक्सिडेंटल कॉन्टॅक्ट (Accidental Contact) टाळण्यासाठी.

b) कॉम्पोनेंट प्रोटेक्शन (Protection of Components): डस्ट (Dust), वॉटर (Water) किंवा एन्व्हायर्नमेंटल डॅमेज (Environmental Damage) पासून उपकरणाचे संरक्षण करण्यासाठी.

c) इक्विपमेंट सिलेक्शन (Equipment Selection): विविध एन्व्हायर्नमेंट्ससाठी योग्य उपकरण निवडण्यासाठी, जसे:
   1. इंडोअर (Indoor)
   2. आउटडोअर (Outdoor)
   3. इंडस्ट्रियल (Industrial)
   4. मरीन (Marine)

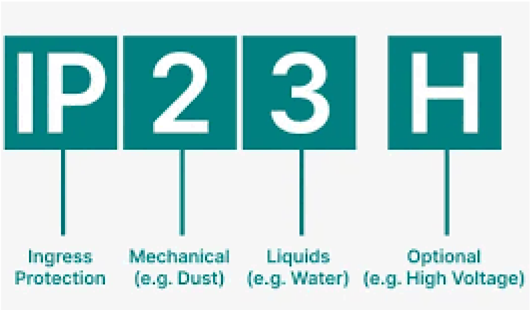


Fig 2.1: IP मार्किंग (IP Marking)

IP मार्किंग (IP Marking):

IP मार्किंग म्हणजे इलेक्ट्रिकल इक्विपमेंटला डस्ट (Solids) आणि वॉटर पासून (Liquids) मिळणाऱ्या प्रोटेक्शनचा डिग्री दाखवणारे मार्किंग. हे IEC 60529 (आय–ई–सी ६०५२९) या आंतरराष्ट्रीय स्टँडर्डनुसार असते. IP मार्किंगचा मुख्य उद्देश म्हणजे उपकरणाची सेफ्टी (Safety), रिलायबिलिटी (Reliability) आणि वेगवेगळ्या एन्व्हायर्नमेंटसाठी त्याची सूटेबिलिटी (Suitability) तपासणे.

IP मार्किंगची नोंद (IP Notation):

IP मार्किंग असे लिहिले जाते:

IP X Y

X → सॉलिड पार्टिकल्स (Solids) विरुद्ध प्रोटेक्शन (0–6)

Y → पाण्याविरुद्ध (Water) प्रोटेक्शन (0–9)

एग्झॅम्पल्स (Examples):

a) IP65: डस्ट–टाइट (Dust Tight),वॉटर–जेट्स (Water Jets) विरुद्ध प्रोटेक्टेड

b) IP67: डस्ट–टाइट (Dust Tight), टेम्पररी इमर्शन (Temporary Immersion) – म्हणजे ठराविक खोलीपर्यंत काही काळ पाण्यात बुडवले तरी प्रोटेक्शन मिळते.

2.6 इलेक्ट्रिकल इक्विपमेंट मेन्टनन्सचा सिग्निफिकन्स (Significance of Maintenance of Electrical Equipment):

इलेक्ट्रिकल इक्विपमेंटचे मेंटेनन्स (Maintenance) हे सिस्टमची सेफ्टी (Safety), रिलायबिलिटी (Reliability), एफिशियन्सी (Efficiency) आणि कॉस्ट-इफेक्टिव्ह ऑपरेशन (Cost-Effective Operation) टिकवून ठेवण्यासाठी अत्यंत आवश्यक असते. योग्य मेंटेनन्समुळे इक्विपमेंटची लाँग टर्म प्रोटेक्शन आणि रिलायबिलिटी कार्यरत राहतात.

इलेक्ट्रिकल इक्विपमेंटचा मेंटेनन्सने खालील दिलेले मुद्दे सुनिश्चित होतात:

a) रिलायबिल आणि सेफ ऑपरेशन सुनिश्चित करते.
b) इक्विपमेंटचे लाइफ आणि एफिशियन्सी वाढवते.
c) ॲक्सिडन्ट्स आणि इलेक्ट्रिकल हॅजार्ड्स (Electrical Hazards) टाळते.
d) ब्रेकडाऊन्स आणि डाउनटाईम (Downtime) कमी करते.
e) रिपेअर आणि रिप्लेसमेंट कॉस्ट (Repair & Replacement Cost) कमी करते.
f) सेफ्टी आणि परफॉर्मन्स स्टँडर्ड्स (Safety & Performance Standards) कायम ठेवते.
g) फॉल्ट्स लवकर शोधण्यास मदत होते, ज्यामुळे मेजर फेल्युअर्स (Major Failures) टाळता येतात.
h) प्रॉडक्टिव्हिटी आणि एनर्जी एफिशियन्सी (Energy Efficiency) सुधारते.

2.7 मेंटेनन्स चे प्रकार- रुटीन, प्रिव्हेंटिव्ह आणि ब्रेकडाउन मेंटेनन्स (Types of maintenance-routine, preventive, breakdown maintenance):

1. रूटीन मेंटेनन्स (Routine Maintenance): रूटीन मेंटेनन्स म्हणजे इक्विपमेंटची रेग्युलर आणि ठराविक कालावधीनुसार (डेली, विकली किंवा मंथली) केली जाणारी बेसिक देखभाल. याचा पर्पज म्हणजे इक्विपमेंट क्लिन, ल्युब्रिकेटेड आणि योग्य वर्किंग कंडिशनमध्ये ठेवणे. यामध्ये लहान पण अत्यंत महत्त्वाच्या ॲक्टिव्हिटीज रेग्युलरली केल्या जातात.

रूटीन मेंटेनन्स ची प्रोसेस (Process of Routine Maintenance):

a) इलेक्ट्रिकल पॅनल्स, मोटर्स आणि स्विचगिअर (Switchgear) स्वच्छ करून डस्ट आणि डर्ट (Dust & Dirt) काढणे.
b) इलेक्ट्रिकल कनेक्शन्स (Electrical Connections) तपासणे आणि टाईटनिंग (Tightening) करणे.
c) बेअरिंग्स व इतर मूव्हिंग पार्ट्स (Moving Parts) चे ल्युब्रिकेशन (Lubrication) करणे.
d) ॲबनॉर्मल नॉईज, व्हायब्रेशन किंवा ओव्हरहिटिंग (Noise, Vibration, Overheating) तपासणे.
e) अर्थिंग, इन्सुलेशन आणि लायटिंग सिस्टम (Earthing, Insulation, Lighting System) तपासणे.
f) मीटर आणि इंडिकेटर्स (Meters & Indicators) योग्यरित्या काम करतात का हे पाहणे.

2. प्रिव्हेंटिव्ह मेंटेनन्स (Preventive Maintenance): प्रिव्हेंटिव्ह मेंटेनन्स हे सिस्टेमॅटिक, प्लॅन्ड आणि शेड्युल्ड मेंटेनन्स आहे, जे फेल्युअर होण्यापूर्वीच केले जाते. याचा उद्देश संभाव्य फॉल्ट्स आधीच ओळखणे, ब्रेकडाऊन कमी करणे आणि इक्विपमेंटचे लाइफ वाढवणे हा आहे.

प्रिव्हेंटिव्ह मेंटेनन्स ची प्रोसेस (Process):

a) इन्स्पेक्शन (Inspection): इक्विपमेंटची कंडिशन आणि परफॉर्मन्स तपासणे.
b) टेस्टिंग (Testing): इन्सुलेशन रेसिस्टन्स (Insulation Resistance), लोड करंट (Load Current), व्हायब्रेशन (Vibration), टेम्परेचर (Temperature) मेजर करणे.

c) **सर्विसिंग (Servicing):** क्लीनिंग, ल्युब्रिकेशन, टाईटनिंग आणि इन्स्ट्रुमेंट्सची कॅलिब्रेशन (Calibration).
d) **रिप्लेसमेंट (Replacement):** वियर (Wear) किंवा एज़िंग झालेले पार्ट्स बदलणे.
e) **रेकॉर्ड कीपिंग (Record Keeping):** परफॉर्मन्स, टेस्ट रिडिंग्स आणि मागील मेंटेनन्सची नोंद ठेवणे.

3. ब्रेकडाऊन मेंटेनन्स (Breakdown Maintenance):

ब्रेकडाऊन मेंटेनन्स ही मेंटेनन्सची एक पद्धत आहे जी फेलिअर (Failure) झाल्यावरच केली जाते. म्हणजेच, एखादी इक्विपमेंट बंद पडल्यावर तिचे रिपेअर (Repair), रिप्लेसमेंट (Replacement), किंवा रिस्टोरेशन (Restoration) करून तिला पुन्हा ऑपरेशनमध्ये आणणे हा याचा उद्देश असतो. ब्रेकडाऊन मेंटेनन्सचा पर्पज म्हणजे फेल झालेल्या इक्विपमेंटला शक्य तितक्या लवकर पुन्हा वर्किंग कंडीशन मध्ये आणणे.

ब्रेकडाऊन मेंटेनन्स ची प्रोसेस (Process of Breakdown Maintenance):

a) **फॉल्ट डायग्नोसिस (Fault Diagnosis):** फेलिअरचे कारण शोधणे आणि तपासणे.
b) **रिपेअर / रिप्लेसमेंट (Repair / Replacement):** फॉल्ट्स क्लिअर करणे किंवा खराब झालेला पार्ट बदलणे.
c) **टेस्टिंग (Testing):** रिपेअर किंवा रिप्लेसमेंटनंतर इक्विपमेंट योग्यरीत्या चालते का याची टेस्ट करणे.

2.8 प्रिव्हेन्टिव्ह मेन्टेनन्स शेड्यूलवर परिणाम करणारे फॅक्टर्स (Factors affecting the preventive maintenance schedule):

प्रिव्हेन्टिव्ह मेन्टेनन्स शेड्यूल (Preventive Maintenance Schedule) वर खालील फॅक्टर्स (Factors) परिणाम करतात:

a) **टाईप आणि वर्किंग कंडिशन्स ऑफ मशीन (Type and Working Conditions of Machine):** मशीनची नेचर (Nature), त्याचा टाईप, आणि ऑपरेटिंग कंडिशन्स (Operating Conditions) यावर मेंटेनन्सची गरज ठरते.
b) **वर्किंग एन्व्हायर्नमेंट (Working Environment):** डस्ट, केमिकल फ्यूम्स (Chemical Fumes), अँबिएंट टेम्परेचर (Ambient Temperature) इत्यादींमुळे मेंटेनन्स शेड्यूलवर परिणाम होतो.
c) **लोड आणि ऑपरेटिंग सायकल (Load and Operating Cycle):** सीझनल लोड, व्हेरीएबल लोड किंवा कंटिन्युअस / इंटरमिटंट रनिंग (Continuous / Intermittent Operation) प्रिव्हेन्टिव्ह मेंटेनन्सचे टाइमिंग बदलतात.
d) **ओव्हरलोडिंग आणि स्ट्रेस (Overloading and Stress):** जास्त लोडवर सतत चालणाऱ्या मशीनला जास्त फ्रिक्वेन्सीत मेंटेनन्सची गरज लागते.
e) **इम्पॅक्ट ऑफ फेल्युअर (Impact of Failure):** मशीन फेल झाल्यास प्रॉडक्शन लॉस, टाइम लॉस, आणि मॉनेटरी लॉस होऊ शकतो; यामुळे प्रिव्हेन्टिव्ह मेंटेनन्स प्लॅनिंग बदलते.
f) **एज आणि कंडिशन ऑफ मशीन (Age and Condition of Machine):** जुनी मशीन जास्त रिपेअर, रिप्लेसमेंट किंवा सर्विसिंग करावी लागते ; यामुळे शेड्यूलिंग अफेक्ट होते.
g) **प्रॉडक्शन क्रिटिकॅलिटी (Production Criticality):** प्रॉडक्शनसाठी क्रिटिकल मशीनना प्राधान्याने प्रिव्हेन्टिव्ह मेंटेनन्स करणे आवश्यक होते.

h) **अॅव्हेलेबिलिटी ऑफ रिसोर्सेस (Availability of Resources):** स्पेअर्स, रॉ-मटेरियल, टूल्स, स्किल्ड टेक्निशियन्स उपलब्ध आहेत का यावर मेंटेनन्स शेड्यूल अवलंबून असते.

i) **कॉस्ट कन्सिडरेशन्स (Cost Considerations):** मेंटेनन्स कॉस्ट, स्टँडबाय मशीन कॉस्ट, डाऊनटाईम लॉस आणि बजेट यांच्या तुलनेनुसार शेड्यूल ठरते.

j) **ऑपरेशनल आणि ऑर्गनायझेशनल फॅक्टर्स (Operational and Organizational Factors):** लोड सायकल, प्रॉडक्शनसोबत कोऑर्डिनेशन (Coordination), अॅक्सिडेंट्स, स्ट्राइक्स, हाय-कॅपॅसिटी/प्रिसिजन मशीन यामुळे प्रिव्हेन्टिव्ह मेंटेनन्स शेड्यूल बदलू शकते.

2.9 प्रिव्हेन्टिव्ह मेन्टेनन्स शेड्यूलची प्रोसीजर (Procedure for developing preventive maintenance schedule):

प्रिव्हेन्टिव्ह मेन्टेनन्स शेड्यूल (Preventive Maintenance Schedule) म्हणजे अशी सिस्टीमॅटिक प्लॅन जी कधी आणि कशी मेन्टेनन्स अॅक्टिव्हिटीज करायच्या याची माहिती देते. यामुळे ब्रेकडाऊन कमी होते, इक्विपमेंट लाइफ वाढते आणि ऑपरेशन एफिशियन्सी कायम राहते.

खाली प्रिव्हेन्टिव्ह मेन्टेनन्स शेड्यूल तयार करण्याची स्टेप-बाय-स्टेप प्रोसिजर (दिली आहे:

a) **लिस्ट ऑल इक्विपमेंट (List All Equipment):** ज्या सर्व इलेक्ट्रिकल मशीन, टूल्स आणि सिस्टिम्सना मेन्टेनन्स लागते त्यांची पूर्ण लिस्ट तयार करणे.

b) **कलेक्ट इक्विपमेंट डेटा (Collect Equipment Data):** मेक, मॉडेल, कॅपॅसिटी (Capacity), ऑपरेटिंग ऑवर्स (Operating Hours), आणि मॅन्युफॅक्चरर रिकमेन्डेशन्स (Manufacturer Recommendations) नोंदवणे.

c) **स्टडी मेन्टेनन्स हिस्टरी (Study Maintenance History):** मागील मेन्टेनन्स रेकॉर्ड्स, ब्रेकडाऊन कॉजेस (Breakdown Causes) आणि परफॉर्मन्स इश्यूज (Performance Issues) तपासणे.

d) **आयडेन्टिफाय मेन्टेनन्स टास्क्स (Identify Maintenance Tasks):** क्लिनिंग, ल्युब्रिकेशन, इन्स्पेक्शन, टायटनिंग, टेस्टिंग यापैकी काय-काय करायचे हे ठरवणे.

e) **सेट मेन्टेनन्स फ्रीक्वेन्सी (Set Maintenance Frequency):** प्रत्येक टास्क किती वेळाने करायचा — डेली, वीकली, मंथली, क्वार्टरली किंवा इयरली — हे ठरवणे.

f) **प्रिपेअर मेन्टेनन्स शेड्यूल (Prepare Maintenance Schedule):** प्रत्येक मशीन कधी सर्व्हिस होणार आणि कोणत्या अॅक्टिव्हिटीज होणार याचे टाइम-बेस्ड प्लॅन तयार करणे.

g) **असाइन रिस्पॉन्सिबिलिटीज (Assign Responsibilities):** ट्रेनड मेन्टेनन्स पर्सोनेल (Maintenance Personnel) किंवा टेक्निशियन्सना जबाबदाऱ्या देणे.

h) **प्रिपेअर मेन्टेनन्स चेकलिस्ट (Prepare Maintenance Checklist):** प्रत्येक सर्व्हिसमध्ये कोणतेही टास्क चुकू नये म्हणून चेकलिस्ट तयार ठेवणे.

i) **टूल्स आणि स्पेअर्सची उपलब्धता (Provide Necessary Tools and Spares):** मेन्टेनन्स आधी लागणारी टूल्स (Tools), इन्स्ट्रुमेंट्स (Instruments) आणि स्पेअर पार्ट्स उपलब्ध ठेवणे.

j) **रेकॉर्ड आणि रिव्ह्यू (Record and Review):** प्रत्येक मेन्टेनन्सची नोंद करणे, ऑब्झर्वेशन्स लिहून ठेवणे आणि आवश्यक असल्यास शेड्यूल अपडेट करणे.

2.10 फाउंडेशन्स: रिक्वायरमेंट्स आणि रोटेटिंग मशीनच्या फाउंडेशनवर परिणाम करणारे घटक (Foundations: requirements and factors affecting rotating machine foundation):

फाऊंडेशन (Foundation): रोटेटिंग मशीन (Rotating Machine) चे फाऊंडेशन मशीनला सपोर्ट देते आणि त्याचे वेट व ऑपरेशन (Operation) दरम्यान निर्माण होणारे फोर्सेस (Forces) जमिनीत ट्रान्समिट (Transmit) करते. हे स्टॅबिलिटी (Stability), अलाइन्मेंट (Alignment) आणि वायब्रेशन कंट्रोल (Vibration Control) सुनिश्चित करते, ज्यामुळे मशीन डॅमेज (Damage) होण्यापासून प्रिव्हेंट होतो आणि त्याची इफिशन्सी (Efficiency) टिकून राहते. योग्य डिझाइन (Design) मध्ये मशीनचा साईज (Size), लोड (Load), सॉईल कंडिशन्स (Soil Conditions) आणि ऑपरेशनल एन्व्हायर्न्मेंट (Operational Environment) यांचा विचार केला जातो. फाऊंडेशनसाठी सामान्यतः रिइनफोर्स्ड कॉंक्रिट (Reinforced Concrete), अँकर बोल्ट्स (Anchor Bolts) आणि वायब्रेशन आयसोलेशन (Vibration Isolation) वापरले जाते, ज्यामुळे मशीन सेफ आणि रिलाएबल कार्य करते.

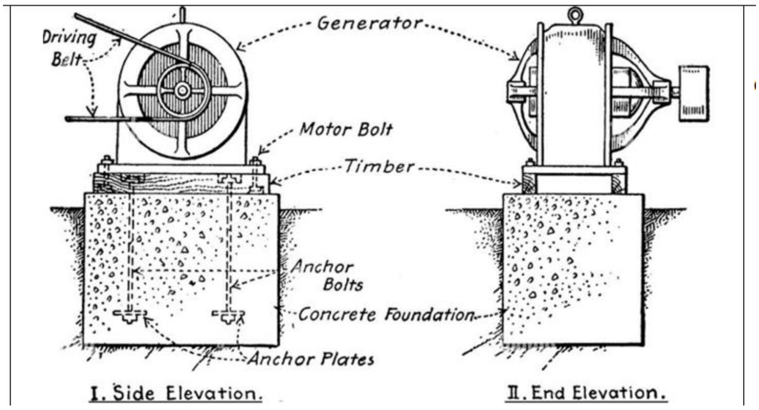


Fig 2.2: रोटेटिंग मशीन फाउंडेशन (Rotating Machine Foundation)

रोटेटिंग मशीन फाउंडेशनचे रिक्वायरमेंट्स (Requirements of Rotating Machine Foundation):

a) **रिजीडिटी (Rigidity):** फाउंडेशन पुरेसे मजबूत आणि रिजीड (Rigid) असावे, ज्यामुळे मशीनमध्ये जास्त व्हायब्रेशन (Vibration) किंवा डिफ्लेक्शन (Deflection) निर्माण होणार नाही.
b) **व्हायब्रेशन आयसोलेशन (Vibration Isolation):** मशीनमुळे निर्माण होणारे व्हायब्रेशन आसपासच्या स्ट्रक्चर्स (Structures) किंवा इक्विपमेंट (Equipment) पर्यंत पोहोचणे कमीत कमी करणे आवश्यक आहे.
c) **प्रॉपर अलाइनमेंट (Proper Alignment):** मोटर (Motor), शाफ्ट (Shaft), कपलिंग (Coupling) अशा मशीन कंपोनंट्सचे योग्य अलाइनमेंट (Alignment) कायम ठेवणे आवश्यक आहे.
d) **लोड बेअरिंग कॅपॅसिटी (Load Bearing Capacity):** फाउंडेशनने मशीनचे स्टॅटिक (Static) आणि डायनॅमिक (Dynamic) लोड्स सुरक्षितपणे सहन केले पाहिजेत.
e) **स्टॅबिलिटी (Stability):** अनबॅलन्स्ड लोड्स (Unbalanced Loads) आणि टॉर्क रिॲक्शन्स (Torque Reactions) सारख्या बाह्य शक्तींना फाउंडेशनने प्रभावीपणे प्रतिकार करणे आवश्यक आहे.
f) **लेव्हल सरफेस (Level Surface):** फाउंडेशनचा वरचा पृष्ठभाग पूर्णपणे लेव्हल (Level) असावा, जेणेकरून मशीनची अचूक इंस्टॉलेशन (Installation) होऊ शकेल.

g) **ड्युरॅबिलिटी (Durability):** फाउंडेशन टिकाऊ आणि मजबूत मटेरियल्स (Materials) — जसे कॉँक्रीट (Concrete) आणि स्टील (Steel) — पासून बनवलेले असावे, ज्यामुळे वेअर (Wear), करोजन (Corrosion) आणि वेदरिंग (Weathering) पासून संरक्षण मिळेल.

h) **ईज ऑफ मेंटेनन्स (Ease of Maintenance):** फाउंडेशनची रचना अशी असावी की इन्स्पेक्शन (Inspection) आणि मेंटेनन्स (Maintenance) करणे सोपे जावे.

रोटेटिंग मशीनच्या फाउंडेशनवर परिणाम करणारे घटक (Factors Affecting Rotating Machine Foundation):

a) **मशीन साईझ आणि वेट (Machine Size and Weight):** जड (Heavier) मशीनसाठी मोठे आणि जास्त मजबूत फाउंडेशन आवश्यक असते.

b) **टाईप ऑफ मशीन (Type of Machine):** हाय-स्पीड (High-speed) किंवा अनबॅलन्स्ड (Unbalanced) मशीनसाठी स्पेशल व्हायब्रेशन-अब्झॉर्बिंग (Vibration Absorbing) फाउंडेशनची गरज असते.

c) **ऑपरेटिंग स्पीड (Operating Speed):** जास्त स्पीडमुळे जास्त डायनॅमिक फोर्सेस (Dynamic Forces) तयार होतात, ज्याचा फाउंडेशन डिझाइनवर थेट प्रभाव पडतो.

d) **लोकेशन आणि एन्व्हायर्नमेंट (Location and Environment):** सॉइल कंडिशन (Soil Condition), ह्युमिडिटी (Humidity) आणि जवळच्या व्हायब्रेशन्स (Vibrations) फाउंडेशनच्या स्टॅबिलिटीवर परिणाम करतात.

e) **टाईप ऑफ माउंटिंग (Type of Mounting):** मशीन थेट बोल्टेड (Bolted) आहे का किंवा व्हायब्रेशन आयसोलेटर्स (Vibration Isolators) वर माउंट केले आहे, यावर फाउंडेशन डिझाइन अवलंबून असते.

f) **डायनॅमिक फोर्सेस (Dynamic Forces):** अनबॅलन्स्ड लोड्स (Unbalanced Loads), टॉर्क व्हरिएशन्स (Torque Variations) आणि स्टार्ट/स्टॉप शॉक्स (Starting/Stopping Shocks) फाउंडेशन डिझाइन करताना लक्षात घ्यावे लागतात.

g) **फाउंडेशन मटेरियल (Foundation Material):** कॉँक्रीट (Concrete) किंवा स्टील (Steel) च्या क्वालिटी आणि स्ट्रेंथचा फाउंडेशनच्या परफॉर्मन्सवर मोठा परिणाम होतो.

h) **एन्व्हायर्नमेंटल कंडिशन्स (Environmental Conditions):** टेम्परेचर (Temperature), मॉइश्चर (Moisture) आणि केमिकल एक्स्पोजर (Chemical Exposure) हे घटक फाउंडेशनच्या ड्युरॅबिलिटीवर प्रभाव टाकतात.

2.11 टूल्स/इन्स्ट्रुमेंट्स: बेअरिंग पुलर, फिलर गेज, डायल इंडिकेटर, स्पिरिट लेव्हल, मेग्गर, अर्थ टेस्टर, ग्रॉलर, टेस्ट लॅम्प्स, मल्टिमीटर, स्पॅनर सेट्स आणि स्क्रूड्रायव्हर्स (Tools/instruments: bearing puller, filler gauge, dial indicator, spirit level, megger, earth tester, growler, test lamps, multimeter, spanner sets, and screwdrivers):

Table 2.2: टूल्स / इन्स्टुमेंट्स आणि डिस्क्रिप्शन (Tools/ Instruments and their Description)

टूल / इन्स्टुमेंट (Tool / Instrument)	डायग्राम / इमेज (Diagram /Image)	डिस्क्रिप्शन आणि ॲप्लिकेशन (Description & Application)
बेरिंग पुलर (Bearing Puller)		मशीनमधून बेरिंग (Bearing) सुरक्षितपणे काढण्यासाठी वापरतात. शाफ्टला डॅमेज न होता बेरिंग रिमूवल करता येते.
फिलर गेज / फीलर गेज (Feeler Gauge)		दोन सरफेसमधील क्लिअरन्स (Clearance) किंवा गॅप (Gap) मोजण्यासाठी वापरतात. अलाइनमेंट आणि टॉलरन्स चेकिंगसाठी महत्वाचे.
डायल इंडिकेटर (Dial Indicator)		मशीन पार्ट्सचे रन-आऊट (Run-out), डिफ्लेक्शन (Deflection) आणि अलाइनमेंट (Alignment) अचूक मोजण्यासाठी वापरतात.
स्पिरिट लेव्हल (Spirit Level)		फाउंडेशन किंवा मशीनचा सरफेस पूर्णपणे लेव्हल (Level) आहे का हे तपासण्यासाठी वापरतात.

टूल / इन्स्ट्रुमेंट (Tool / Instrument)	डायग्राम / इमेज (Diagram /Image)	डिस्क्रिप्शन आणि ॲप्लिकेशन (Description & Application)
मेगर / इन्सुलेशन रेसिस्टन्स टेस्टर (Megger – Insulation Resistance Tester)		इलेक्ट्रिकल वायरींग किंवा मोटर वायडिंगचे इन्सुलेशन रेसिस्टन्स (Insulation Resistance) मोजण्यासाठी वापरतात.
अर्थ टेस्टर (Earth Tester)		अर्थ रेसिस्टन्स (Earth Resistance) मोजण्यासाठी वापरतात. अर्थिंग सिस्टम योग्य आहे का ते तपासण्यासाठी आवश्यक.
ग्रॉलर (Growler)		मशीन किंवा मोटरच्या आर्मेचर (Armature) मधील शॉर्ट सर्किट किंवा ओपन सर्किट तपासण्यासाठी वापरतात.
टेस्ट लॅम्प्स (Test Lamps)		इलेक्ट्रिकल सर्किटमध्ये लाईव्ह (Live) किंवा न्यूट्रल (Neutral) ओळखण्यासाठी वापरतात.

टूल / इन्स्ट्रुमेंट **(Tool / Instrument)**	डायग्राम / इमेज **(Diagram /Image)**	डिस्क्रिप्शन आणि ॲप्लिकेशन **(Description & Application)**
मल्टीमीटर – डिजिटल (Multimeter – Digital)		व्होल्टेज (Voltage), करंट (Current), रेसिस्टन्स (Resistance) आणि इतर इलेक्ट्रिकल पॅरामीटर्स मोजण्यासाठी वापरतात.
स्पॅनर सेट (Spanner Set)		नट (Nut) आणि बोल्ट (Bolt) टाईट किंवा लूज करण्यासाठी वापरतात.
स्क्रू ड्रायव्हर (Screwdriver)		स्क्रू (Screw) बसवण्यासाठी किंवा काढण्यासाठी वापरतात.

***

स्वाध्याय (Exercise) :

1. इलेक्ट्रिकल इंजिनिअरिंग मध्ये टेस्टिंग ची डेफिनिशन द्या.
   (Define testing in electrical engineering.)
2. रूटीन टेस्ट्स करण्यामागचा पर्पज स्टेट करा.
   (State the purpose of performing routine tests.)

3. टॉलरन्स ची डेफिनिशन द्या आणि मशीन परफॉर्मन्समधील पर्मिसिबल टॉलरन्सचे एक उदाहरण द्या.
   (Define tolerance. Give one example of permissible tolerance in machine performance.)
4. इन्ग्रेस प्रोटेक्शन मार्किंग चा अर्थ एक्सप्लेन करा.
   (Explain the meaning of Ingress Protection (IP) marking.)
5. इलेक्ट्रिकल इक्विपमेंटच्या मेंटेनेन्सचा सिग्निफिकन्स स्टेट करा.
   (State the significance of maintenance of electrical equipment.)
6. गुड मशीन फाऊंडेशनच्या कुठल्याही दोन रिक्वायरमेंट्स (Requirements) मेंशन करा.
   (Mention any two requirements of a good machine foundation.)
7. इलेक्ट्रिकल मशिन्स च्या प्रिव्हेन्टिव्ह मेंटेनन्स शेड्यूलवर अफेक्ट होणारे फॅक्टर्स लिस्ट करा.
   (List the factors that affect the preventive maintenance schedule of electrical machines.)
8. इंडक्शन मोटरसाठी प्रिव्हेन्टिव्ह मेंटेनन्स शेड्यूल डेव्हलप करण्याची प्रोसिजर एक्सप्लेन करा.
   (Explain the procedure for developing a preventive maintenance schedule for an induction motor.)
9. आय.एस. स्टँडर्ड्सनुसार इलेक्ट्रिकल मशिन्सवर होणाऱ्या टेस्ट्सच्या कॅटेगरीज लिस्ट करून एक्सप्लेन करा.
   (List and explain the categories of tests performed on electrical machines as per IS standards.)
10. मेंटेनन्स वर्क मध्ये वापरले जाणारे कुठलेही पाच टूल्स/इन्स्ट्रुमेंट्स नेम करून त्यांचे अप्लिकेशन्स स्टेट करा.
    (Name any five tools or instruments used in maintenance work and state their applications.)

Suggested Learning Materials / Books:

Sr. No	Author	Title	Publisher with ISBN Number
1	Bhattacharya S. K.	Electrical Machines	McGraw Hill Education. New Delhi, ISBN : 9789332902855
2	Theraja B.L.	Electrical Technology Vol-II (AC and DC machines)	S.Chand and Co.Ltd., New Delhi ISBN : 9788121924375
3	Bandyopadhyay M. N.	Electrical Machines Theory and Practice	PHI Learning Pvt. Ltd., New Delhi, ISBN :9788120329973 VI
4	Jean-Claude Trigeassous	Electrical Machine Diagnosis	John Wiley & Sons, IncISBN:978-1-84821-263-3.

Learning websites & portals:

Sr. No	Link / Portal	Description
1	https://www.youtube.com/watch?v=w4jHpHoYZhk	How to Use a Fire Extinguisher
2	https://www.youtube.com/watch?v=wrawEAaJrrY	Artificial respiration methods

Sr. No	Link / Portal	Description
3	https://www.youtube.com/watch?v=CvuDFgFFOa8	Fundamentals of Transformer Commissioning and Maintenance Testing
4	https://www.youtube.com/watch?v=ntOc4h792UE	Motor Maintenance & Troubleshooting
5	https://www.youtube.com/watch?v=uMxK6djp_rI	Electric Motor Repair & Rebuild Instructions
6	https://youtu.be/JvsPnGbUH5M	power transformer oil filtration and treatment
7	https://nptel.ac.in/	Relevant information from NPTEL
8	https://www.electricaltechnology.org/	Relevant information

युनिट-3

प्रोसीजर फॉर डेव्हलपिंग प्रिव्हेंटिव्ह मेंटेनन्स शेड्यूल ऑफ रोटेटिंग मशीन्स

(Procedure for Developing Preventive Maintenance Schedule of Rotating Machines)

विषय निष्पत्ती (Course Level Learning Outcomes):

CO 3- मेंटेन रोटेटिंग इलेक्ट्रिकल मशीन.

(Maintain rotating electrical machines).

घटक निष्पत्ती (Theory Learning Outcomes):

1. दिलेल्या मशिनच्या मेंटेनन्ससाठी IS कोड प्रॅक्टिसनुसार फॉलो करावयाच्या प्रोसिड्यूरल स्टेप्स डिस्क्राईब करा.

   (Describe the procedural steps to be followed as per IS code of practice for maintenance of the given machine).
2. दिलेल्या इंडक्शन मोटरच्या टेस्टिंगसाठी IS कोड प्रॅक्टिसनुसार फॉलो करावयाच्या प्रोसिड्यूरल स्टेप्स डिस्क्राईब करा.

   (Describe the procedural steps to be followed as per IS code of practice for testing of the given induction motor).
3. दिलेल्या थ्री-फेज अल्टरनेटर आणि सिंक्रोनस मोटरच्या टेस्टिंगसाठी IS कोड प्रॅक्टिसनुसार फॉलो करावयाच्या प्रोसिड्यूरल स्टेप्स डिस्क्राईब करा

   (Describe the procedural steps to be followed as per IS code of practice for testing of the given three - phase alternator and synchronous motor).
4. दिलेल्या प्रकारच्या इंडक्शन मोटरसाठी ट्रबलशूटिंग चार्ट प्रिपेअर करा.

   (Prepare the troubleshooting chart for the given type of induction motor).

परिचय (Introduction):

प्रिव्हेंटिव्ह मेंटेनन्स हा एक प्लॅन्ड आणि सिस्टिमॅटिक अप्रोच आहे, ज्याचा उद्देश इलेक्ट्रिकल मशिन्स आणि इक्विपमेंट यांचे कंटिन्युअस आणि इफिशंट ऑपरेशन सुनिश्चित करणे आहे. यात प्रीडिटरमाइन्ड इंटरव्हल्स वर रेग्युलर इन्स्पेक्शन्स, सर्व्हिसिंग आणि टेस्टिंग करण्याचा समावेश होतो, ज्यामुळे पोटेन्शियल फॉल्ट्स ब्रेकडाऊन होण्याआधीच डिटेक्ट आणि करेक्ट करता येतात. हा प्रोॲक्टिव्ह मेथड डाऊनटाईम कमी करतो, इक्विपमेंट लाईफ वाढवतो आणि ऑपरेशन्समध्ये सेफ्टी आणि रिलायबिलिटी मेंटेन करतो. प्रिव्हेंटिव्ह मेंटेनन्स शेड्यूल डेव्हलप करण्यासाठी मशीनच्या वर्किंग कंडिशन्स, मॅन्युफॅक्चरर रिकमेंडेशन्स आणि रिलिव्हंट IS कोड्स ऑफ प्रॅक्टिस यांचा स्टडी करून योग्य मेंटेनन्स टास्क्स आणि फ्रिक्वेन्सीज ठरवावी लागतात.

3.1 रेकमेंडेड मेंटेनन्स शेड्यूल्स: सिंगल फेज आणि थ्री फेज इंडक्शन मोटर्स (IS 900–1992), थ्री फेज अल्टरनेटरस आणि सिंक्रोनस मोटर्स (Recommended maintenance schedules: Single phase and three phase induction motors (IS 900–1992), three phase alternators and synchronous motors):

3.1.1 सिंगल फेज इंडक्शन मोटर चे प्रिव्हेंटिव्ह मेंटेनन्स शेड्यूल (Preventive Maintenance Schedule of Single Phase Induction Motor):

A. डेली / विकली मेंटेनन्स (Daily / Weekly Maintenance):

1. ॲबनॉर्मल साऊंड (Abnormal Sound) आणि व्हायब्रेशन (Vibration) चेक करा.
2. ऑपरेशन दरम्यान टेम्परेचर (Temperature) आणि करंट (Current) ऑब्झर्व्ह करा.
3. एक्सटेरियर (Exterior) आणि व्हेंटिलेशन ओपनिंग्स (Ventilation Openings) स्वच्छ करा.
4. करेक्ट व्होल्टेज (Correct Voltage) आणि लोड कंडिशन्स (Load Conditions) सुनिश्चित करा.

B. मंथली मेंटेनन्स (Monthly Maintenance):

1. टर्मिनल कनेक्शन्स (Terminal Connections) चेक करून टाईट करा.
2. कॅपॅसिटर (Capacitor) लीकेज (Leakage) किंवा ब्ल्जींग (Bulging) साठी इन्स्पेक्ट करा.
3. इन्स्युलेशन रेसिस्टन्स (Insulation Resistance) मेजर करा मेगर (Megger) वापरून.
4. कूलिंग फॅन (Cooling Fan) आणि एअर पैसेजेस (Air Passages) क्लीन करा.

C. क्वार्टरली मेंटेनन्स – प्रत्येक 3 महिने (Quarterly Maintenance: Every 3 Months):

1. इंटेरियर पार्ट्स (Interior Parts) ड्राय एअर (Dry Air) ने क्लीन करा.
2. बेअरिंग कंडिशन (Bearing Condition) चेक करा; गरज असेल तर री-ग्रीस (Regrease) करा.
3. अलायन्मेंट (Alignment) आणि माउंटिंग बोल्ट्स (Mounting Bolts) इन्स्पेक्ट करा.
4. अर्थिंग कनेक्शन्स (Earthing Connections) चेक करा.

D. हाफ-इयरली मेंटेनन्स – प्रत्येक 6 महिने (Half-Yearly Maintenance: Every 6 Months):

1. वाइंडिंग एंड्स (Winding Ends) वरचा डस्ट किंवा ऑईल इन्स्पेक्ट करा.
2. बेअरिंग प्ले (Bearing Play) चेक करा आणि ग्रीस (Grease) रिप्लेस करा.
3. व्होल्टेज (Voltage) आणि करंट (Current) लोड व्हेरिफाय करा.

E. इयरली मेंटेनन्स – वार्षिक (Yearly Maintenance: Annually):

1. मोटर पूर्णपणे डिस्मँटल (Dismantle) करून क्लीन करा.
2. स्टेटर (Stator) आणि रोटर (Rotor) वर डॅमेज (Damage) किंवा ओव्हरहिटिंग (Overheating) साठी इन्स्पेक्ट करा.
3. घासलेले बेअरिंग्स (Worn Bearings) आणि डिफेक्टिव्ह कॅपॅसिटर्स (Defective Capacitors) रिप्लेस करा.
4. इन्स्युलेशन (Insulation) आणि हाय-वोल्टेज विथस्टँड टेस्ट (High Voltage Withstand Test) करा.
5. री-असेंबल (Reassemble) करून मोटर टेस्ट रन (Test Run) करा.

F. ॲज रिक्वायर्ड – स्पेशल मेंटेनन्स (As Required – Special Maintenance):

1. मोइश्चर (Moisture) असल्यास वाइंडिंग्ज (Windings) ड्राय आउट (Dry Out) करा.
2. डॅमेज कॅपॅसिटर (Damaged Capacitor), फॅन (Fan), किंवा बेअरिंग्स (Bearings) रिप्लेस करा.
3. एक्सेसिव्ह व्हायब्रेशन (Excessive Vibration) असल्यास रोटर (Rotor) री-बॅलन्स (Rebalance) करा.

3.1.2 थ्री फेज इंडक्शन मोटर चे प्रिव्हेंटिव्ह मेंटेनन्स शेड्यूल (Preventive Maintenance Schedule of Three Phase Induction Motor):

A. डेली / विकली मेंटेनन्स (Daily / Weekly Maintenance):

1. अन्यूजुअल नॉईज (Unusual Noise) आणि व्हायब्रेशन (Vibration) चेक करा.

2. टेम्परेचर (Temperature), करंट (Current), आणि व्होल्टेज बॅलन्स (Voltage Balance) ऑब्झर्व्ह करा.
3. एक्सटेरियर सरफेस (Exterior Surface) आणि व्हेंटिलेशन ओपनिंग्स (Ventilation Openings) क्लीन करा.
4. लोड रेटेड कॅपॅसिटी (Rated Capacity) मध्ये आहे याची खात्री करा.

B. मंथली मेंटेनन्स (Monthly Maintenance):

1. सर्व इलेक्ट्रिकल कनेक्शन्स (Electrical Connections) चेक करून टाईट करा.
2. इन्स्युलेशन रेसिस्टन्स (Insulation Resistance – IR) मेगर (Megger) ने मेजर करा.
3. टर्मिनल बॉक्स (Terminal Box) डस्ट (Dust) किंवा मोइश्चर (Moisture) साठी इन्स्पेक्ट करा.
4. कूलिंग फॅन (Cooling Fan) आणि एअरफ्लो (Airflow) चेक करा.

C. क्वार्टरली मेंटेनन्स – प्रत्येक 3 महिने (Quarterly Maintenance: Every 3 Months):

1. मोटर इंटरनली (Internally) ड्राय कॉम्प्रेस्ड एअर (Dry Compressed Air) ने क्लीन करा.
2. बेअरिंग्स (Bearings) इन्स्पेक्ट आणि ल्युब्रिकेट (Lubricate) करा, रिकमेंडेशनप्रमाणे.
3. मोटर आणि ड्रिव्हन मशीन (Driven Machine) मधील अलायन्मेंट (Alignment) चेक करा.
4. अर्थिंग (Earthing) आणि केबल कंडिशन (Cable Condition) व्हेरिफाय करा.

D. हाफ-इयरली मेंटेनन्स – प्रत्येक 6 महिने (Half-Yearly Maintenance: Every 6 Months):

1. वाइंडिंग्ज (Windings) वर डर्ट (Dirt), ऑईल (Oil), किंवा ओव्हरहिटिंग मार्क्स (Overheating Marks) साठी इन्स्पेक्ट करा.
2. नो-लोड (No-Load) आणि फुल-लोड करंट (Full-Load Current) मेजर करा.
3. बेअरिंग ग्रीस (Bearing Grease) इन्स्पेक्ट आणि रिप्लेस करा जर गरज असेल तर.
4. व्हायब्रेशन (Vibration) आणि नॉईज लेव्हल (Noise Level) चेक करा.

E. इयरली मेंटेनन्स – वार्षिक (Yearly Maintenance: Annually):

1. मोटर डिस्मँटल (Dismantle) करून स्टेटर (Stator) आणि रोटर (Rotor) पूर्णपणे क्लीन करा.
2. बेअरिंग्स (Bearings) इन्स्पेक्ट करा आणि वॉर्न (Worn) असतील तर रिप्लेस करा.
3. इन्स्युलेशन टेस्ट (Insulation Test) आणि हाय-वोल्टेज टेस्ट (High Voltage Test) कंडक्ट करा.
4. रोटर शाफ्ट अलायन्मेंट (Rotor Shaft Alignment) आणि एंड शिल्ड्स (End Shields) चेक करा.
5. री-असेंबल (Reassemble) करून मोटर टेस्ट रन (Test Run) करा आणि रीडिंग्स (Readings) रेकॉर्ड करा.

F. ॲज रिक्वायर्ड – स्पेशल मेंटेनन्स (As Required – Special Maintenance):

1. लाँग स्टोरेज (Long Storage) आणि मोइश्चर एक्स्पोजर (Moisture Exposure) नंतर वाइंडिंग्ज (Windings) ड्राय आउट (Dry Out) करा.
2. एक्सेसिव्ह व्हायब्रेशन (Excessive Vibration) असल्यास रोटर (Rotor) री-बॅलन्स (Rebalance) करा.
3. डिफेक्टिव्ह बेअरिंग्स (Defective Bearings) आणि फॅन ब्लेड्स (Fan Blades) रिप्लेस करा.

3.1.3 थ्री फेज अल्टरनेटरचे प्रिव्हेंटिव्ह मेंटेनन्स शेड्यूल (Preventive Maintenance Schedule of Three Phase Alternators):

A.डेली मेंटेनन्स / बिफोर इच ऑपरेशन (Daily Maintenance / Before Each Operation):

1. ॲबनॉर्मल नॉईज (Abnormal Noise), व्हायब्रेशन (Vibration) आणि ओव्हरहिटिंग (Overheating) चेक करा.
2. अल्टरनेटर (Alternator) क्लीन किंवा डस्ट (Dust), ऑईल (Oil) किंवा मोइश्चर (Moisture) फ्री आहे याची खात्री करा.
3. एअर पैसेजेस (Air Passages), फॅन्स (Fans) किंवा व्हेंटिलेशन (Ventilation) मध्ये ऑब्स्ट्रक्शन्स (Obstructions) चेक करा.
4. व्होल्टमीटर (Voltmeter), ॲम्मीटर (Ammeter), फ्रिक्वेन्सी मीटर (Frequency Meter) आणि टेम्परेचर गेजेस (Temperature Gauges) चे रीडिंग्ज व्हेरिफाय करा.
5. बेअरिंग टेम्परेचर (Bearing Temperature) मध्ये ॲबनॉर्मल रायझ (Abnormal Rise) आणि नॉईज आहे का ते ऑब्झर्व्ह करा.

B. विकली मेंटेनन्स (Weekly Maintenance):

1. इन्स्युलेशन रेसिस्टन्स (Insulation Resistance – IR) मेजर करा मेगर (Megger) ने आणि प्रीव्हियस रीडिंग्जशी तुलना करा.
2. सर्व टर्मिनल कनेक्शन्स (Terminal Connections) आणि माउंटिंग बोल्ट्स (Mounting Bolts) चेक करून टाईट करा.
3. ब्रशेस (Brushes) आणि स्लिप रिंग्स (Slip Rings) वेअर (Wear), स्प्रिंग टेन्शन (Spring Tension) आणि क्लीनलीनेस (Cleanliness) साठी इन्स्पेक्ट करा; गरज असेल तर स्लिप रिंग्स क्लीन करा.

C. मंथली मेंटेनन्स (Monthly Maintenance):

1. बेअरिंग ल्युब्रिकंट्स (Bearing Lubricants) आणि ग्रीस (Grease) ॲज रिकमेंडेड टॉप अप करा.
2. फिल्टर्स (Filters), डक्ट्स (Ducts) क्लीन करा आणि कूलिंग फॅन्स (Cooling Fans) प्रॉपरली फंक्शन होत आहेत का ते चेक करा.
3. सर्व अर्थिंग कनेक्शन्स (Earthing Connections) टाईट आणि इंटॅक्ट (Intact) आहेत का ते व्हेरिफाय करा.
4. अल्टरनेटर लोडवर रन करा आणि व्होल्टेज रेग्युलेशन (Voltage Regulation), करंट बॅलन्स (Current Balance) आणि फ्रिक्वेन्सी स्टॅबिलिटी (Frequency Stability) ऑब्झर्व्ह करा.

D. क्वार्टरली मेंटेनन्स – प्रत्येक 3 महिने (Quarterly Maintenance: Every 3 Months):

1. अल्टरनेटर आणि प्राइम मूव्हर (Prime Mover) मधील कपलिंग (Coupling) अलायन्मेंट (Alignment) चेक करा.
2. बेअरिंग्स (Bearings) नॉईज, प्ले (Play) किंवा कंटॅमिनेशन (Contamination) साठी इन्स्पेक्ट करा.
3. इलेक्ट्रिकल कनेक्शन्स (Electrical Connections), बस बार्स (Bus Bars) आणि टर्मिनल्स (Terminals) ओव्हरहिटिंग (Overheating) किंवा डिस्कलरशन (Discoloration) साठी चेक करा.

E. हाफ-इयरली मेंटेनन्स – प्रत्येक 6 महिने (Half-Yearly Maintenance: Every 6 Months):

1. अल्टरनेटर ड्राय एअर (Dry Air) ने थरोली क्लीन करा; वाइंडिंग्ज (Windings) आणि पार्ट्सवरील डस्ट रिमूव्ह करा.
2. इन्स्युलेशन रेसिस्टन्स (IR) आणि पोलरायझेशन इंडेक्स (Polarization Index – PI) मेजर करा.
3. एक्सिटेशन सिस्टिम (Excitation System), AVR (Automatic Voltage Regulator) आणि एक्सायटर ब्रशेस / स्लिप रिंग्स (Exciter Brushes/Slip Rings) इन्स्पेक्ट आणि टेस्ट करा.

4. व्हायब्रेशन लेव्हल्स (Vibration Levels) मेजर आणि रेकॉर्ड करा आणि ॲक्सेप्टेबल लिमिट्स (Acceptable Limits) शी तुलना करा.

E. इयरली मेंटेनन्स (Yearly Maintenance):

1. अल्टरनेटर ओव्हरहॉल (Overhaul) करा – रोटर (Rotor), स्टेटर (Stator), बेअरिंग्स (Bearings) आणि टर्मिनल्स (Terminals) डिस्मँटल करून इन्स्पेक्ट करा.
2. इन्स्युलेशन डिटेरिओरेशन (Insulation Deterioration) दिसल्यास वाइंडिंग्ज रि-वार्निश (Re-Varnish) करा.
3. लोड आणि नो-लोड टेस्ट्स (Load and No-Load Tests) परफॉर्म करा – इफिशन्सी (Efficiency), व्होल्टेज रेग्युलेशन (Voltage Regulation) आणि स्टॅबिलिटी (Stability) तपासा.
4. सर्व टेस्ट रिजल्ट्स आणि सर्विसिंग रेकॉर्ड्स (Servicing Records) साठी डिटेल्ड मेंटेनन्स लॉगबुक (Maintenance Logbook) मेंटेन करा.

3.1.4 प्रिव्हेंटिव्ह मेंटेनन्स शेड्यूल – सिंक्रोनस मोटर्स (Preventive Maintenance Schedule – Synchronous Motors)

A. डेली मेंटेनन्स / बिफोर इच ऑपरेशन (Daily Maintenance / Before Each Operation):

1. ऑपरेशन दरम्यान ॲबनॉर्मल नॉईज (Abnormal Noise), व्हायब्रेशन (Vibration) आणि ओव्हरहिटिंग (Overheating) चेक करा.
2. मशिन (Machine) आणि आसपासच्या भागात ऑईल (Oil) किंवा डस्ट (Dust) ॲक्युम्युलेशन (Accumulation) आहे का ते इन्स्पेक्ट करा.
3. कूलिंग एअर पैसेजेस (Cooling Air Passages), फॅन्स (Fans) आणि व्हेंटिलेशन ओपनिंग्स (Ventilation Openings) क्लीन आणि अनऑब्स्ट्रक्टेड (Unobstructed) ठेवा.
4. फिल्ड एक्सिटेशन सिस्टिम (Field Excitation System) करेक्ट ऑपरेशन साठी चेक करा.
5. व्होल्टमीटर (Voltmeter), ॲम्मीटर (Ammeter), पावर फॅक्टर मीटर (Power Factor Meter) आणि टेम्परेचर इंडिकेटर्स (Temperature Indicators) रीडिंग्ज व्हेरिफाय करा.
6. बेअरिंग टेम्परेचर (Bearing Temperature) आणि ल्युब्रिकेशन लेव्हल (Lubrication Level) ऑब्झर्व्ह करा.

B. विकली मेंटेनन्स (Weekly Maintenance):

1. सर्व इलेक्ट्रिकल कनेक्शन्स (Electrical Connections) लूजनेस (Looseness) किंवा ओव्हरहिटिंग (Overheating) साठी इन्स्पेक्ट करा.
2. स्टेटर आणि रोटर वाइंडिंग्सची इन्स्युलेशन रेसिस्टन्स (IR – Insulation Resistance) मेगर (Megger) ने मेजर करा आणि रीडिंग्ज रेकॉर्ड करा.
3. ब्रशेस (Brushes) आणि स्लिप रिंग्स (Slip Rings – if used) स्मूथ कॉन्टॅक्ट (Smooth Contact), स्प्रिंग टेन्शन (Spring Tension) आणि वेअर (Wear) साठी चेक करा.
4. स्लिप रिंग्स डर्टी किंवा ऑक्सिडाइज्ड (Oxidized) असतील तर फाईन एमरी क्लॉथ (Fine Emery Cloth) ने क्लीन करा.

C. मंथली मेंटेनन्स (Monthly Maintenance):

1. बेअरिंग ल्युब्रिकंट्स (Bearing Lubricants) किंवा ग्रीस (Grease) ॲज मॅन्युफॅक्चरर रिकमेंडेशन (Manufacturer's Recommendation) टॉप अप करा.

2. फिल्ड एक्सिटेशन कंट्रोल (Field Excitation Control), AVR (Automatic Voltage Regulator) आणि प्रोटेक्शन रिलेज (Protection Relays) इन्स्पेक्ट करा.
3. इंटरलॉक्स (Interlocks) आणि प्रोटेक्टिव्ह डिव्हायसेस (Protective Devices) प्रॉपर फंक्शनिंग साठी चेक करा.
4. फिल्टर्स (Filters), डक्ट्स (Ducts) आणि फॅन ब्लेड्स (Fan Blades) क्लीन करा.
5. लोड कंडिशन्समध्ये करंट बॅलन्स (Current Balance) आणि पावर फॅक्टर (Power Factor) ऑब्झर्व्ह करा.

D. क्वार्टरली मेंटेनन्स – प्रत्येक 3 महिने (Quarterly Maintenance: Every 3 Months):

1. मोटर आणि ड्रिव्हन इक्विपमेंट (Driven Equipment) मधील कपलिंग अलायन्मेंट (Coupling Alignment) चेक करा.
2. बेअरिंग्स (Bearings) वेअर (Wear), नॉईज (Noise) आणि व्हायब्रेशन (Vibration) साठी इन्स्पेक्ट करा.
3. टर्मिनल्स (Terminals), केबल्स (Cables) आणि बस बार्स (Bus Bars) डिस्कलरशन (Discoloration) किंवा ओव्हरहिटिंग (Overheating) साठी चेक करा.
4. फिल्ड वाइंडिंग रेसिस्टन्स (Field Winding Resistance) मेजर करा आणि प्रीव्हियस रीडिंग्जशी तुलना करा.

E. हाफ-इयरली मेंटेनन्स – प्रत्येक 6 महिने (Half-Yearly Maintenance: Every 6 Months):

1. मोटर ड्राय कॉम्प्रेस्ड एअर (Dry Compressed Air) ने थरोली क्लीन करा.
2. स्टेटर आणि रोटर वाइंडिंग्ससाठी IR (Insulation Resistance) आणि PI (Polarization Index) मेजर करा.
3. एक्सिटेशन सिस्टिम कंपोनंट्स रेक्टिफायर्स (Rectifiers), फ्युजेस (Fuses), डायोड्स (Diodes) आणि कनेक्शन्स (Connections) इन्स्पेक्ट करा.
4. व्हायब्रेशन आणि नॉईज लेव्हल्स (Vibration and Noise Levels) चेक करा; रीडिंग्ज रेकॉर्ड करून तुलना करा.

F. इयरली मेंटेनन्स (Yearly Maintenance):

1. कम्प्लीट डिस्मँटलिंग (Complete Dismantling) करून रोटर (Rotor), स्टेटर (Stator), बेअरिंग्स आणि टर्मिनल्स इंटरनल इन्स्पेक्शन करा.
2. इन्स्युलेशन डिटेरिओरेशन दिसल्यास वाइंडिंग्ज री-वार्निश करा.
3. प्रोटेक्टिव्ह रिलेज, AVR (Automatic Voltage Regulator) आणि इतर कंट्रोल डिव्हायसेस (Control Devices) चेक आणि कॅलिब्रेट (Calibrate) करा.
4. नो-लोड आणि फुल-लोड टेस्ट्स (No-Load and Full-Load Tests) परफॉर्म करा — परफॉर्मन्स (Performance), स्पीड (Speed) आणि स्टॅबिलिटी (Stability) व्हेरिफाय करा.
5. मेंटेनन्स रेकॉर्ड्स (Maintenance Records) अपडेट करा आणि प्रीव्हियस डेटा शी तुलना करून ट्रेंड ॲनालिसिस (Trend Analysis) करा.

3.2 इंडक्शन मोटर टेस्टिंग: सिंगल फेज इंडक्शन मोटर आणि थ्री फेज इंडक्शन मोटर च्या रुटीन, टाईप आणि स्पेशल टेस्ट अॅज पर IS 7572–1974 आणि IS 4029–2010 (Induction motor testing: Routine, type and special test of single phase induction motor as per IS 7572–1974 and three phase induction motor as per IS 4029–2010):

3.2.1 IS 7572–1974 नुसार सिंगल फेज इंडक्शन मोटरच्या रुटीन, टाईप आणि स्पेशल टेस्ट (Routine, type and special test of single phase induction motor as per IS 7572–1974):

A. रुटीन टेस्ट्स (Routine Tests):

1. इन्स्युलेशन रेसिस्टन्स मेजरमेंट.
2. हाय-वोल्टेज / डायइलेक्ट्रिक टेस्ट
3. नो-लोड टेस्ट (No-Load Test)
4. डिरेक्शन ऑफ रोटेशन टेस्ट (Direction of Rotation Test)
5. लॉक्ड-रोटर / शॉर्ट-सर्किट टेस्ट (Locked-Rotor (Short-Circuit) Test)
6. वाइंडिंग रेसिस्टन्स मेजरमेंट (Measurement of Winding Resistance)
7. रेटेड व्होल्टेज, फ्रिक्वेन्सी आणि करंट चेकिंग (Checking of Rated Voltage, Frequency, and Current)

B. टाईप टेस्ट्स (Type Tests):

1. टेम्परेचर रायझ टेस्ट (Temperature Rise Test)
2. इफिशन्सी आणि परफॉर्मन्स टेस्ट (Efficiency and Performance Test)
3. टॉर्क–स्पीड कॅरॅक्टरिस्टिक टेस्ट (Torque–Speed Characteristic Test)
4. स्टार्टिंग करंट आणि स्टार्टिंग टॉर्क टेस्ट (Starting Current and Starting Torque Test)
5. ब्रेकडाउन / मॅक्सिमम टॉर्क टेस्ट (Breakdown (Maximum) Torque Test)
6. नॉईज आणि व्हायब्रेशन टेस्ट (Noise and Vibration Test)
7. मोमेंट ऑफ इनर्शिया आणि स्टार्टिंग टाइम टेस्ट (Moment of Inertia and Starting Time Test)

C. स्पेशल टेस्ट्स (Special Tests):

1. ह्युमिडिटी / डॅम्प हीट टेस्ट (Humidity or Damp Heat Test)
2. एन्डुरन्स / कंटिन्युअस ऑपरेशन टेस्ट (Endurance (Continuous Operation) Test)
3. स्पेशल कंडिशन्समध्ये नॉईज आणि व्हायब्रेशन टेस्ट (Noise and Vibration Test Under Special Conditions)
4. हाय-फ्रिक्वेन्सी किंवा सर्ज विथस्टँड टेस्ट (High-Frequency or Surge Withstand Test)
5. ओव्हरलोड टेस्ट (Overload Test)
6. एन्व्हायर्नमेंटल / क्लायमॅटिक टेस्ट (Environmental or Climatic Test)

3.2.2 IS 4029–2010 नुसार थ्री फेज इंडक्शन मोटरच्या रुटीन, टाईप आणि स्पेशल टेस्ट (Routine, type and special test of three phase induction motor as per IS 4029–2010):

A. रुटीन टेस्ट्स (Routine Tests):

1. वाइंडिंग रेसिस्टन्स / D.C. रेसिस्टन्स मेजरमेंट (Measurement of Winding Resistance / D.C. Resistance)
2. इन्स्युलेशन रेसिस्टन्स मेजरमेंट (Measurement of Insulation Resistance)
3. हाय व्होल्टेज टेस्ट (High Voltage Test)

4. रिड्यूस्ड व्होल्टेज रनिंग-अप टेस्ट (Reduced Voltage Running-Up Test)
5. नो-लोड टेस्ट (No-Load Test)
6. ओपन सर्किट व्होल्टेज रेशिओ टेस्ट (Open Circuit Voltage Ratio Test – Slip Ring Induction Motor)
7. लॉक्ड / ब्लॉक्ड रोटर टेस्ट (Locked / Blocked Rotor Test)
8. स्लिप मेजरमेंट (Measurement of Slip)

B. टाईप टेस्ट्स (Type Tests):

1. वाइंडिंग रेसिस्टन्स / D.C. रेसिस्टन्स मेजरमेंट
2. इन्स्युलेशन रेसिस्टन्स मेजरमेंट (Measurement of Insulation Resistance)
3. हाय व्होल्टेज टेस्ट (High Voltage Test)
4. रिड्यूस्ड व्होल्टेज रनिंग-अप टेस्ट (Reduced Voltage Running-Up Test)
5. ओपन सर्किट व्होल्टेज रेशिओ टेस्ट (Slip Ring Motor) (Open Circuit Voltage Ratio Test – Slip Ring Induction Motor)
6. लॉक्ड रोटर टेस्ट (Locked Rotor Test)
7. स्लिप मेजरमेंट (Measurement of Slip)
8. टेम्परेचर राइझ टेस्ट (Temperature Rise Test)
9. मोमेंटरी ओव्हरलोड टेस्ट (Momentary Overload Test)

C. स्पेशल टेस्ट्स (Special Tests):

1. ओपन सर्किट टेस्ट(Open Circuit Test)
2. शॉर्ट सर्किट टेस्ट (Short Circuit Test)
3. फुल-लोड टेस्ट (Full Load Test)
4. नॉईज लेव्हल डिटरमिनेशन (Determination of Noise Level)
5. प्रेझेन्स ऑफ हार्मोनिक्स (Presence of Harmonics)
6. झिरो-फेज सीक्वेन्स इम्पीडन्स डिटरमिनेशन (Determination of Zero Phase Sequence Impedance)
7. व्हायब्रेशन टेस्ट (Vibration Test)
8. ऑस्सिलोग्राफिक टेस्ट (Oscillographic Test)

A. थ्री-फेज इंडक्शन मोटर ची नो-लोड टेस्ट (No-Load Test on Three-Phase Induction Motor):

ऑबजेक्टिव्ह (Objective):

नो-लोड टेस्ट परफॉर्म करून खालील पॅरामिटर ठरवणे:

a) नो-लोड करंट आणि पॉवर फॅक्टर (No-Load Current & Power Factor)
b) कोर लॉस रेसिस्टन्स Rc आणि मॅग्नेटायझिंग रिऍक्टन्स Xm (Core-Loss Resistance Rc & Magnetizing Reactance Xm) — इक्विव्हलेंट सर्किटच्या शंट ब्रांच चे पॅरामिटर
c) टोटल रोटेशनल लॉसेस (Total Rotational Losses): फ्रिक्शन लॉसेस (Friction Losses), विंडेज लॉसेस (Windage Losses)

थिअरी (Theory) :

1. नो-लोड कंडीशनमध्ये मोटरचा मेकॅनिकल आऊटपुट झिरो असतो. (Mechanical Output = Zero at No-Load) मोटर सप्लायमधून कमी करंट ड्रॉ करते कारण तो करंट खालील गोष्टींसाठी लागतो:
   a) स्टेटर आयर्न (कोर) लॉसेस सप्लाय करण्यासाठी (Core/Iron Losses)
   b) रोटर व बेअरिंग्जमधील फ्रिक्शन आणि विंडेज लॉसेससाठी (Friction & Windage Losses)
   c) एअर-गॅपमध्ये मॅग्नेटायझिंग फ्लक्स प्रोड्यूस करण्यासाठी (Magnetizing Flux Production)
2. नो-लोडवर स्लिप खूपच कमी असते (Slip ≈ 0), त्यामुळे रोटर कॉपर लॉसेस नेग्लिजिबल असतात (Rotor Copper Losses ≈ 0).
3. म्हणून इनपुट पॉवरमध्ये प्रामुख्याने खालील लॉसेस असतात:
   a) स्टेटर कॉपर लॉसेस (Stator Copper Losses)
   b) आयर्न/कोर लॉसेस (Iron/Core Losses)
   c) मेकॅनिकल लॉसेस (Mechanical Losses)
4. नो-लोड टेस्टद्वारे इक्विव्हलेंट सर्किटच्या मॅग्नेटायझिंग (शंट) ब्रांच चे पॅरामिटर्स म्हणजे:
   a) Rc (Core-Loss Resistance)
   b) Xm (Magnetizing Reactance)

   हे अचूकपणे ठरवता येतात.

सर्किट डायग्राम (Circuit Diagram):

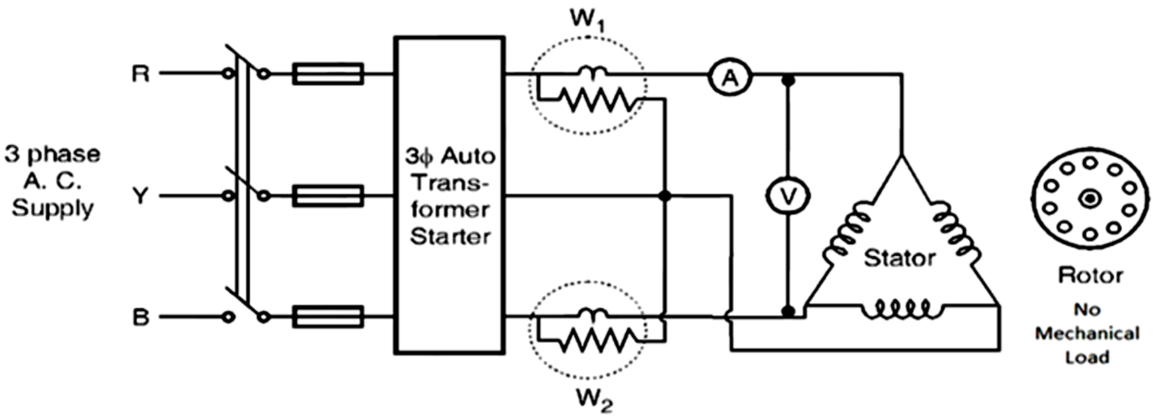


Fig 3.1: नो-लोड टेस्ट (No Load Test)

प्रोसीजर (Procedure)

1. थ्री-फेज इंडक्शन मोटरच्या नेमप्लेट रेटिंग्स (Nameplate Ratings) तपासून योग्य रेटिंगचे मीटर्स सिलेक्ट करा. (उदा.: वोल्टमीटर, ॲमीटर, वॅटमीटर यांची रेंज)
2. सर्किट डायग्रामप्रमाणे (As per Circuit Diagram) सर्व कनेक्शन्स करा.
3. थ्री-फेज ऑटोट्रान्सफॉर्मर (Three-Phase Autotransformer) चे आउटपुट 'Zero' पोझिशनवर सेट / चेक करा.
4. ३-फेज सप्लाय ऑन करा आणि TPST स्विच (Triple Pole Single Throw Switch) बंद करा.
5. या टेस्टमध्ये स्टेटर वायडिंग सप्लायला ऑटोट्रान्सफॉर्मरमार्फत (Through Autotransformer) कनेक्ट केलेली असते.
6. ऑटोट्रान्सफॉर्मरचे आउटपुट हळूहळू वाढवत मोटरला रेटेड व्होल्टेज (Rated Voltage) द्या.

7. मोटर स्पीड सिंक्रोनस स्पीडजवळ (Near Synchronous Speed) चालेल.
8. खालील इनपुट रीडिंग्स घ्या:
   a) वोल्टमीटर रीडिंग Vo (Input Voltage Vo)
   b) ॲमीटर रीडिंग Io (Input Current Io)
   c) वॅटमीटर रीडिंग Wo (Input Power Wo)
   d) स्पीड (Speed Measurement)

B. थ्री-फेज इंडक्शन मोटरची ब्लॉक्ड-रोटर टेस्ट (Blocked-Rotor Test on Three-Phase Induction Motor):

ऑबजेक्टिव्ह (Objective):

ब्लॉक्ड-रोटर टेस्ट करून खालील पॅरामिटर्स ठरवणे:

a) इक्विव्हलेंट सर्किट पॅरामिटर्स (Equivalent Circuit Parameters):
b) स्टेटर रेसिस्टन्स R1 (Stator Resistance R1)
c) रोटर रेसिस्टन्स रिफर्ड टू स्टेटर R2′ (Rotor Resistance Referred to Stator R2′)
d) स्टेटर लीकेज रिॲक्टन्स X1 (Stator Leakage Reactance X1)
e) रोटर लीकेज रिॲक्टन्स रिफर्ड टू स्टेटर X2′ (Rotor Leakage Reactance Referred to Stator X2′)
f) टोटल इम्पीडन्स आणि पॉवर फॅक्टर (Total Impedance & Power Factor)
g) रेटेड व्होल्टेजवर शॉर्ट-सर्किट करंट (Short-Circuit Current at Rated Voltage) ठरवणे.

थिअरी (Theory) :

1. ब्लॉक्ड-रोटर टेस्ट (short-circuit test) मध्ये रोटरला मेकॅनिकली लॉक करून फिरू दिले जात नाही. रिड्यूस्ड व्होल्टेज (10–20% of Rated Voltage) दिल्यास, वायडिंग मध्ये रेटेड करंट फ्लो होतो.
2. स्टँडस्टिल कंडिशनवर (Rotor at Standstill) स्लिप s = 1 असते. मोटर शॉर्ट-सर्किटेड ट्रान्सफॉर्मरसारखी वागते (Behaves like a short-circuited transformer). इनपुट पॉवर पूर्णपणे खालील लॉसेस कव्हर करते:
   a) स्टेटर कॉपर लॉसेस (Stator Copper Losses)
   b) रोटर कॉपर लॉसेस रिफर्ड टू स्टेटर (Rotor Copper Losses Referred to Stator)
3. कोर लॉसेस आणि मेकॅनिकल लॉसेस नेग्लिजिबल असतात, कारण व्होल्टेज कमी असते आणि स्पीड = 0.
4. या टेस्टमधून टोटल रेझिस्टन्स आणि रिॲक्टन्स (Per Phase) मिळतात, जे इक्विव्हलेंट सर्किटच्या सीरीज ब्रांच (Series Branch) चे पॅरामिटर्स दर्शवतात.

सर्किट डायग्राम (Circuit Diagram):

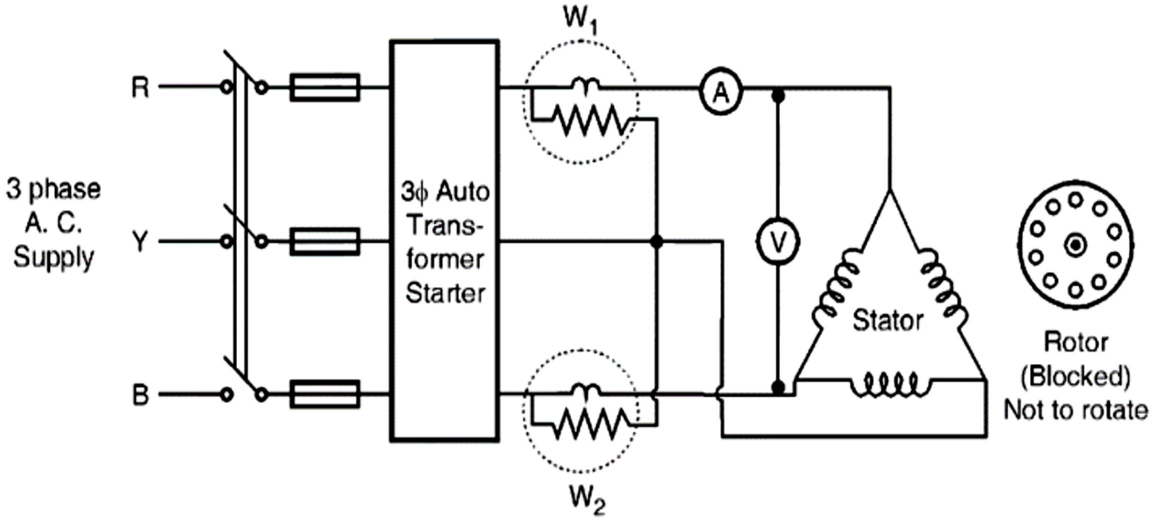


Fig 3.2: ब्लॉक्ड-रोटर टेस्ट (Blocked Rotor Test)

प्रोसीजर (Procedure):

1. थ्री-फेज इंडक्शन मोटरच्या नेमप्लेट रेटिंग्स पाहून योग्य रेटिंगची मीटर्स सिलेक्ट करा. (उदा.: वोल्टमीटर, ॲमीटर, वॅटमीटर इ.)
2. सर्किट डायग्रामप्रमाणे सर्व कनेक्शन्स करा.
3. थ्री-फेज ऑटोट्रान्सफॉर्मरचे आउटपुट 'Zero' पोझिशनवर सेट / चेक करा.
4. रोटरला मेकॅनिकली ब्लॉक करा अशा प्रकारे लॉक करा की रोटर फिरू शकणार नाही (Rotor Speed = 0).
5. ३-फेज सप्लाय ON करा आणि TPST स्विच (Triple Pole Single Throw) बंद करा. ऑटोट्रान्सफॉर्मरचे आउटपुट हळूहळू वाढवा, जोपर्यंत फुल-लोड करंट (Full-Load Current) स्टेटर वायडिंगमधून फ्लो होत नाही.
6. खालील इनपुट रीडिंग्स घ्या:
   a) वोल्टमीटर रीडिंग Vsc (Input Voltage Vsc)
   b) ॲमीटर रीडिंग Isc (Input Current Isc)
   c) वॅटमीटर रीडिंग Wsc (Input Power Wsc)

C. थ्री-फेज इंडक्शन मोटर ची डायरेक्ट लोडिंग टेस्ट (Direct Loading Test on Three-Phase Induction Motor):

ऑबजेक्टिव्ह (Objective):

डायरेक्ट लोडिंग टेस्ट करून खालील गोष्टी ठरवणे:

a) वेगवेगळ्या लोड कंडिशन्सवर आउटपुट पॉवर, इनपुट पॉवर, इफिशन्सी आणि स्लिप (Output Power, Input Power, Efficiency & Slip) .
b) टॉर्क, करंट, इफिशन्सी आणि स्लिप यांच्यातील रिलेशन (Relationship between Torque, Current, Efficiency & Slip).
c) थ्री-फेज इंडक्शन मोटरची परफॉर्मन्स कॅरेक्टरिस्टिक्स (Performance Characteristics).

थिअरी (Theory) :

डायरेक्ट लोडिंग टेस्टमध्ये इंडक्शन मोटरला मेकॅनिकली लोड मशीनशी (Load Machine) कपल केले जाते, सहसा DC Generator किंवा दुसरी इंडक्शन मोटर (Loading Motor) वापरतात. लोड व्हॅरी करून मोटरला नो-लोड पासून फुल-लोडपर्यंत विविध लोड पॉईंट्सवर चालवले जाते. इनपुट पॉवर, करंट, स्पीड आणि आउटपुट पॉवर डायरेक्ट मोजली जाते. त्यानंतर प्रत्येक लोड कंडिशनसाठी इफिशन्सी आणि स्लिप (Efficiency & Slip) कॅलक्युलेट केली जाते. फुल-लोडवर मोटरचा स्पीड थोडा कमी होतो, कारण टॉर्क प्रोड्यूस करण्यासाठी स्लिप (Slip) वाढणे आवश्यक असते. (Synchronous Speed पेक्षा Actual Speed कमी होतो.)

सर्किट डायग्राम (Circuit Diagram):

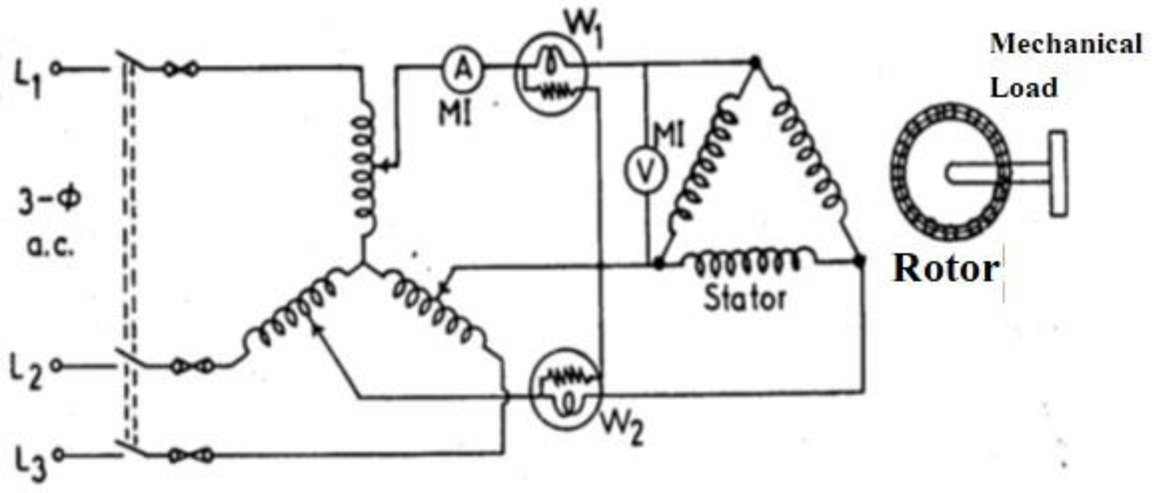


Fig. 3.3: डायरेक्ट लोडिंग टेस्ट (Direct Loading Test)

प्रोसीजर (Procedure):

1. सर्किट डायग्रामप्रमाणे सर्व कनेक्शन्स करा.
2. मोटर अनलोडेड असल्याची खात्री करा आणि Variac / Autotransformer चे आउटपुट Zero वर सेट करा.
3. थ्री-फेज AC सप्लाय ON करा आणि मोटरला रिड्यूस्ड व्होल्टेज (Reduced Applied Voltage) वर स्टार्ट करा. अप्लाइड व्होल्टेज हळूहळू वाढवत Rated Voltage पर्यंत आणा.
4. मोटरची डिरेक्शन ऑफ रोटेशन तपासा.जर डिरेक्शन रिव्हर्स असेल, तर फेज सिक्वेन्स (Phase Sequence) बदलून योग्य डिरेक्शन मिळवा.
5. नो-लोड रनिंगमध्ये सर्व मीटर्सची रीडिंग्स घ्या: इनपुट व्होल्टेज, लाईन करंट, इनपुट पॉवर (Wattmeter), स्पीड (Tachometer Reading)
6. हँड-व्हील (Handwheel) फिरवून लोड हळूहळू वाढवा,
7. ज्यामुळे बेल्ट टाइट होतो आणि लोड मोटरवर लागू होतो.
8. प्रत्येक लोड सेटिंगवर सर्व मीटर्सच्या रीडिंग्स आणि स्पीड रेकॉर्ड करा.
9. ऑब्झर्व्हेशन फुल-लोड करंट रेटिंगपर्यंत (Up to Full Load Current) चालू ठेवा.
10. लोड हळूहळू कमी करा, आणि शेवटी मोटरला पुन्हा अनलोडेड कंडिशन मध्ये आणा. मोटर स्टॉप करण्यासाठी सप्लाय OFF करा.

11. ब्रेक ड्रमचा इफेक्टिव्ह डायमीटर (Effective Diameter of Brake Drum) नोट करा.
12. परफॉर्मन्स पॅरामिटर्स (Performance Parameters) काढण्यासाठी आवश्यक कॅल्क्युलेशन्स करा, जसे: इनपुट पॉवर, आउटपुट पॉवर, इफिशन्सी, स्लिप, टॉर्क

ग्राफ्स (Graphs):

खालील कॅरेक्टरिस्टिक कर्व्हज प्लॉट करा:

a) स्पीड vs लोड (Speed vs Load)
b) लाईन करंट vs लोड (Line Current vs Load)
c) इफिशन्सी vs लोड (Efficiency vs Load)
d) स्लिप vs लोड (Slip vs Load)

D. व्होल्टेज रनिंग-अप टेस्ट (Voltage Running-Up Test on Three-Phase Induction Motor)

ऑबजेक्टिव्ह (Objective):

a) व्होल्टेज रनिंग-अप टेस्ट करून: आयर्न (कोर) लॉसेस आणि मेकॅनिकल (फ्रिक्शन + विंडेज) लॉसेस वेगळे कॅल्क्युलेट करता येतात.
b) नो-लोड लॉसेसचे इंडिव्हिज्युअल कॉम्पोनंट्स ठरवणे. P_0 vs V^2 ग्राफ प्लॉट करणे.

थिअरी (Theory) :

1. व्होल्टेज रनिंग-अप टेस्ट (Voltage Running Up Test), ज्याला सेपरेशन ऑफ नो-लोड लॉसेस टेस्ट असेही म्हणतात, ही थ्री-फेज इंडक्शन मोटरवरील मॉडिफाईड नो-लोड टेस्ट (Modified No-Load Test) आहे. नो-लोड कंडिशनमध्ये मोटर चालू असताना, मोटरला मिळणारी एकूण इनपुट पॉवर खालीलप्रमाणे असते:

   $$P_0 = P_{core} + P_{mechanical} + P_{statorcu}$$

   म्हणजे:

   P_{core}: कोर लॉसेस (Core Losses)

   $P_{mechanical}$: मेकॅनिकल लॉसेस (Mechanical Losses)

   $P_{statorcu}$: स्टेटर कॉपर लॉसेस (Stator Copper Losses)

2. कोर लॉसेस (Pcore) हे हिस्टेरिसिस (Hysteresis) आणि एडी करंट लॉसेस (Eddy Current Losses) मुळे होतात. हे लॉसेस अप्लाइड व्होल्टेजच्या स्क्वेअरशी (V^2) प्रपोर्शनल असतात.

   $$P_{core} \propto V^2$$

3. मेकॅनिकल लॉसेस ($P_{mechanical}$) हे फ्रिक्शन (Friction) आणि विंडेज (Windage) मुळे निर्माण होतात. हे लॉसेस व्होल्टेजवर अवलंबून नसतात (Independent of Voltage).
4. स्टेटर कॉपर लॉसेस (Pstatorcu) मोटरच्या स्टेटर वाइंडिंगमधील करंट (Current) आणि रेसिस्टन्स (Resistance) वर अवलंबून असतात.
5. नो-लोडवर हे लॉसेस खूपच कमी (Small) असतात आणि वेगळे कॅलक्युलेट करता येतात.
6. वेगवेगळ्या व्होल्टेज-लेव्हल्सवर नो-लोड टेस्ट करून, इनपुट पॉवर P_0 (No-Load Input Power) vs V^2 (Voltage Squared) चा ग्राफ प्लॉट केला जातो.
   a) स्लोप (Slope) → कोर लॉसेस दर्शवतो
   b) Y-इंटरसेप्ट (Intercept) → मेकॅनिकल लॉसेस दर्शवतो

   अशा प्रकारे नो-लोड लॉसेसचे सेपरेशन (Separation of No-Load Losses) करता येते.

सर्किट डायग्राम (Circuit Diagram):

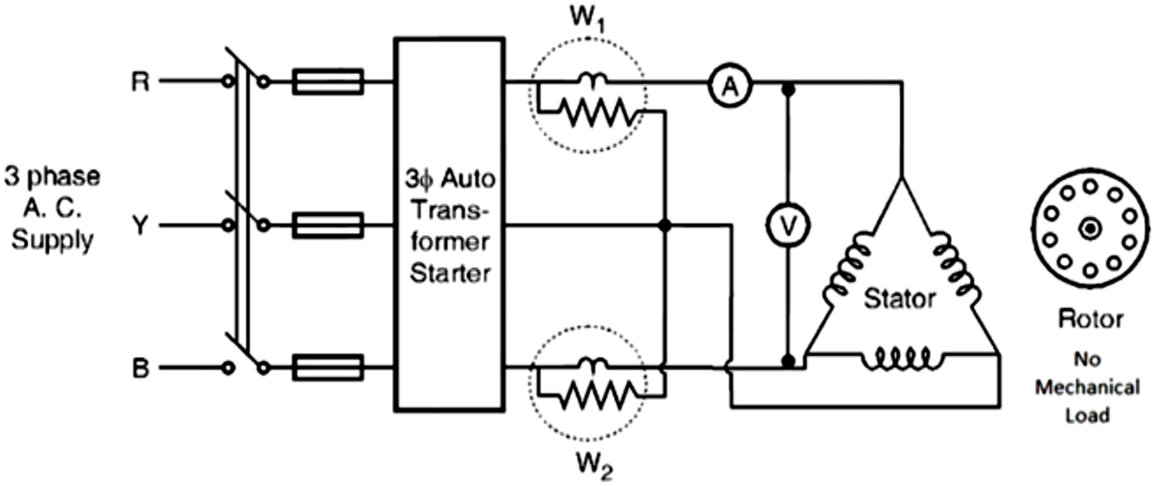


Fig 3.4: व्होल्टेज रनिंग-अप टेस्ट (Voltage Running up Test)

प्रोसीजर (Procedure):

1. सर्किट डायग्रामप्रमाणे सर्व कनेक्शन्स करा. मोटर पूर्णपणे अनलोडेड (Mechanically Unloaded) ठेवा.
2. ऑटोट्रान्सफॉर्मर चे आउटपुट Zero Voltage वर ठेवून सप्लाय ON करा.
   ऑटोट्रान्सफॉर्मरचे आउटपुट हळूहळू स्टेप्समध्ये वाढवा, (उदा.: 50 V, 100 V, 150 V... ते 415 V (Rated Voltage) पर्यंत.)
3. प्रत्येक स्टेपवर खालील रीडिंग (Readings) घ्या:
   a) लाइन व्होल्टेज V_{LL} (Line Voltage V_{LL})
   b) लाइन करंट I_L (Line Current I_L)
   c) टोटल इनपुट पॉवर P_o (Total Input Power P_o)
4. रेटेड व्होल्टेजपर्यंत मेजरमेंट पूर्ण झाल्यावर व्होल्टेज हळूहळू Zero पर्यंत कमी करा आणि सप्लाय OFF करा.
5. स्टेटर रेसिस्टन्स पर फेज Rs (Stator Resistance per Phase Rs) DC Ohmmeter किंवा Wheatstone Bridge / Resistance Bridge वापरून मोजा.

3.3 अल्टरनेटर आणि सिंक्रोनस मोटर टेस्टिंग: थ्री फेज अल्टरनेटर आणि सिंक्रोनस मोटरच्या रुटीन, टाईप आणि स्पेशल टेस्ट अॅज पर IS 7132–1973 (Alternator and synchronous motor testing: Routine, type and special test of three phase alternator and synchronous motor as per IS 7132–1973):

3.3.1 रुटीन, टाईप आणि स्पेशल टेस्ट ऑफ थ्री फेज अल्टरनेटर अॅज पर IS 7132–1973 (Routine, type and special test of three phase alternator as per IS 7132–1973):

A. रुटीन टेस्ट्स (Routine Tests)

1. स्टेटर आणि रोटर वाइंडिंग रेसिस्टन्स मेजरमेंट (Measurement of Stator and Rotor Winding Resistance)
2. इन्स्युलेशन रेसिस्टन्स टेस्ट (Megger Test) (Insulation Resistance Test – Megger Test)

3. हाय व्होल्टेज / डायइलेक्ट्रिक टेस्ट (High Voltage (HV) / Dielectric Test)
4. नो-लोड टेस्ट / ओपन-सर्किट कॅरॅक्टरिस्टिक (OCC) (No-Load Test / Open-Circuit Characteristic – OCC)
5. शॉर्ट-सर्किट टेस्ट (SCC) (Short-Circuit Test – SCC)
6. लोड टेस्ट / टेम्परेचर रायझ टेस्ट (Load Test / Temperature Rise Test)
7. फेज सिक्वेन्स टेस्ट (Phase Sequence Test)
8. डिरेक्शन ऑफ रोटेशन टेस्ट (Direction of Rotation Test)
9. रेटेड व्होल्टेज, फ्रिक्वेन्सी आणि करंट व्हेरिफिकेशन (Verification of Rated Voltage, Frequency and Current)

B. टाईप टेस्ट्स (Type Tests):

1. रेटेड लोडवर टेम्परेचर राइझ टेस्ट (Temperature Rise Test at Rated Load)
2. ओव्हर-स्पीड टेस्ट (Over-Speed Test)
3. वेव्हफॉर्म टेस्ट (Voltage Waveform Distortion / Harmonics) (Waveform Test – Voltage Distortion / Harmonics)
4. इफिशन्सी टेस्ट (Efficiency Test)
5. व्होल्टेज रेग्युलेशन टेस्ट (Voltage Regulation Test)
6. मेकॅनिकल व्हायब्रेशन टेस्ट (Mechanical Vibration Test)
7. नॉईज लेव्हल मेजरमेंट (Noise Level Measurement)

C. स्पेशल टेस्ट्स (Special Tests):

1. सडन शॉर्ट-सर्किट टेस्ट (Sudden Short-Circuit Test)
2. इन्स्युलेशन पॉवर-फॅक्टर टेस्ट (Tan δ Test) (Insulation Power-Factor Test – Tan δ Test)
3. बेअरिंग टेम्परेचर टेस्ट (Bearing Temperature Test)
4. हंटिंग आणि स्टॅबिलिटी टेस्ट (Hunting and Stability Test)
5. सिस्मिक व्हायब्रेशन एन्डुरन्स टेस्ट (Seismic Vibration Endurance Test)
6. डिग्री ऑफ प्रोटेक्शन / IP टेस्ट(Degree of Protection Test – IP / Environmental Test)

3.3.2 रुटीन, टाईप आणि स्पेशल टेस्ट ऑफ थ्री फेज सिंक्रोनस मोटर ॲज पर IS 7132–1973 (Routine, type and special test of Three Phase Synchronous Motor as per IS 7132–1973):

A. रुटीन टेस्ट्स (Routine Tests):

1. स्टेटर आणि फिल्ड वाइंडिंग रेसिस्टन्स मेजरमेंट (Measurement of Stator and Field Winding Resistance)
2. इन्स्युलेशन रेसिस्टन्स टेस्ट (Insulation Resistance Test)
3. हाय-वोल्टेज (HV) टेस्ट (High Voltage (HV) Test)
4. नो-लोड टेस्ट / ओपन-सर्किट कॅरॅक्टरिस्टिक (No-Load Test / Open-Circuit Characteristic)
5. लॉक्ड-रोटर टेस्ट (Locked-Rotor Test)
6. लोड टेस्ट / टेम्परेचर राइझ टेस्ट (Load Test / Temperature Rise Test)

7. फेज सिक्वेन्स आणि डिरेक्शन ऑफ रोटेशन टेस्ट (Phase Sequence and Direction of Rotation Test)
8. रेटेड व्होल्टेज, करंट आणि फ्रिक्वेन्सी व्हेरिफिकेशन (Verification of Rated Voltage, Current and Frequency)

B. टाईप टेस्ट्स (Type Tests):

1. टेम्परेचर रायझ टेस्ट (Temperature Rise Test)
2. ओव्हर-स्पीड टेस्ट (Over-Speed Test)
3. इफिशन्सी आणि पावर फॅक्टर टेस्ट (Efficiency and Power Factor Test)
4. V-curve आणि Inverted V-curve टेस्ट (V-Curve and Inverted V-Curve Test)
5. व्हायब्रेशन टेस्ट (Vibration Test)
6. नॉईज लेव्हल टेस्ट (Noise Level Test)
7. मेकॅनिकल रनिंग टेस्ट (Mechanical Running Test)

C. स्पेशल टेस्ट्स (Special Tests)

1. स्लिप टेस्ट (Xd आणि Xq डिटरमिनेशन) (Slip Test – to Determine Xd and Xq)
2. सडन शॉर्ट-सर्किट टेस्ट (Sudden Short-Circuit Test)
3. पावर फॅक्टर कॅरॅक्टरिस्टिक टेस्ट (Power-Factor Characteristic Test)
4. इन्स्युलेशन पॉवर-फॅक्टर (Tan δ) टेस्ट (Insulation Power-Factor (Tan δ) Test)
5. स्पेशल लोकेशन्सचे टेम्परेचर मॅपिंग (Temperature Mapping of Special Locations)
6. IP प्रोटेक्शन / एन्व्हायर्नमेंटल टेस्ट्स (IP Protection / Environmental Tests)

3.4 ट्रबल शूटिंग चार्ट फॉर सिंगल फेज आणि थ्री फेज इंडक्शन मोटर (IS 900–1992) (Trouble shooting chart for Single Phase and Three Phase Induction Motor (IS 900–1992)):

A.सिंगल फेज इंडक्शन मोटरचा ट्रबल शूटिंग चार्ट (Trouble shooting chart for Single Phase Induction Motor):

Table 3.1: ट्रबल शूटिंग चार्ट फॉर सिंगल फेज इंडक्शन मोटर
(Trouble shooting chart for Single Phase Induction Motor)

Sr. No.	ट्रबल/फॉल्ट (Trouble / Fault)	प्रॉबेबल कॉज (Probable Cause)	रेमेडी / करेक्टिव्ह ॲक्शन (Remedy / Corrective Action)
1	**मोटर स्टार्ट होत नाही (Motor Does Not Start)**	(a) नो सप्लाय (No Supply) किंवा ब्लोन फ्यूज (Blown Fuse) (b) फॉल्टी स्विच (Faulty Switch) किंवा लूज कनेक्शन्स (Loose Connections) (c) वाइंडिंगमध्ये ओपन सर्किट (Open Circuit in Winding) (d) फॉल्टी सेंट्रीफ्यूगल स्विच (Faulty Centrifugal Switch) किंवा स्टार्टिंग कॅपॅसिटर (Starting Capacitor) (e) रोटर जॅम (Rotor Jammed)	(a) सप्लाय आणि फ्यूजेस चेक करा (b) कनेक्शन्स टाईट करा आणि स्विच रिप्लेस करा (c) वाइंडिंग कंटिन्युइटी चेक करा, रिवाइंड करा (d) सेंट्रीफ्यूगल स्विच / कॅपॅसिटर रिप्लेस करा (e) मेकॅनिकल ऑब्स्ट्रक्शन रिमूव्ह करा

Sr. No.	ट्रबल/फॉल्ट (Trouble / Fault)	प्रॉबेबल कॉज (Probable Cause)	रेमेडी / करेक्टिव्ह ॲक्शन (Remedy / Corrective Action)
2	**मोटर हमिंग करते पण स्टार्ट होत नाही (Motor Hums but Does Not Start)**	(a) लो सप्लाय व्होल्टेज (Low Supply Voltage) (b) स्टार्टिंग वाइंडिंगमध्ये ओपन (Open in Starting Winding) (c) डिफेक्टिव्ह कॅपॅसिटर (Defective Capacitor) (d) ओव्हरलोड (Overload)	(a) व्होल्टेज चेक करा. करेक्ट करा (b) वाइंडिंग रिपेअर / रिवाइंड करा (c) कॅपॅसिटर रिप्लेस करा (d) लोड कमी करा
3	**मोटर स्लो रन होते (Motor Runs Slow)**	(a) लो सप्लाय व्होल्टेज (Low Supply Voltage) (b) ओव्हरलोड (Overload) (c) वाइंडिंग शॉर्टेड टर्न्स (Shorted Turns) (d) बेअरिंग फ्रिक्शन किंवा मिसअलायन्मेंट (Bearing Friction / Misalignment)	(a) व्होल्टेज करेक्ट करा (b) लोड कमी करा (c) मोटर रिवाइंड करा (d) बेअरिंग्स ल्युब्रिकेट करा किंवा अलाइन करा
4	**मोटर ओव्हरहिट होते (Motor Overheats)**	(a) ओव्हरलोड (Overload) (b) पूअर व्हेंटिलेशन (Poor Ventilation) (c) लो व्होल्टेज (Low Voltage) (d) शॉर्टेड वाइंडिंग (Shorted Winding) (e) मेकॅनिकल ओव्हरलोड (Mechanical Overload)	(a) लोड कमी करा (b) व्हेंटिलेशन इम्प्रूव्ह करा (c) व्होल्टेज नॉर्मल करा (d) वाइंडिंग रिपेअर / रिवाइंड करा (e) मेकॅनिकल लोड कमी करा

B. थ्री फेज इंडक्शन मोटरचा ट्रबल शूटिंग चार्ट (Trouble shooting chart for Three Phase Induction Motor):

Table 3.2: ट्रबल शूटिंग चार्ट फॉर थ्री फेज इंडक्शन मोटर (Trouble shooting chart for Three Phase Induction Motor)

Sr. No.	ट्रबल/फॉल्ट (Trouble / Fault)	प्रॉबेबल कॉज (Probable Cause)	रेमेडी / करेक्टिव्ह ॲक्शन (Remedy / Corrective Action)
1	**मोटर स्टार्ट होत नाही(Motor Does Not Start)**	(a) नो सप्लाय (No Supply) किंवा ब्लोन फ्यूज (Blown Fuse) (b) कंट्रोल सर्किटमध्ये ओपन सर्किट (Open Circuit in Control Circuit) (c) सिंगल फेजिंग (Single Phasing) (d) स्टेटर वाइंडिंगमध्ये ओपन सर्किट (Open Stator Winding) (e) रोटर जॅम किंवा टाईट बेअरिंग्स (Rotor Jammed / Tight Bearings)	(a) सप्लाय आणि फ्यूजेस चेक करा (b) कंट्रोल सर्किट आणि कनेक्शन्स इन्स्पेक्ट करा (c) मिसिंग फेज रिस्टोर करा (d) वाइंडिंग टेस्ट करा, गरज असेल तर रिवाइंड करा (e) मेकॅनिकल ऑब्स्ट्रक्शन काढा किंवा बेअरिंग्स ल्युब्रिकेट करा

Sr. No.	ट्रबल/फॉल्ट (Trouble / Fault)	प्रॉबेबल कॉज (Probable Cause)	रेमेडी / करेक्टिव्ह ॲक्शन (Remedy / Corrective Action)
2	**मोटर स्लो रन होते(Motor Runs but at Low Speed)**	(a) लो सप्लाय व्होल्टेज (Low Voltage) (b) हेवी लोड (Heavy Load) (c) वाइंडिंगमध्ये शॉर्टेड टर्न्स (Shorted Turns) (d) रोटर फॉल्ट्स (Rotor Faults)	(a) व्होल्टेज करेक्ट करा (b) लोड कमी करा (c) वाइंडिंग रिवाइंड करा (d) रोटरमध्ये ब्रोकन बार्स किंवा हाई-रेझिस्टन्स जॉइंट्स तपासा
3	**मोटर हमिंग करते पण स्टार्ट होत नाही (Motor Hums but Does Not Start)**	(a) सिंगल फेजिंग (Single Phasing) (b) फॉल्टी कॉन्टॅक्टर (Faulty Contactor) किंवा लूज कनेक्शन (Loose Connection) (c) स्लिप-रिंग मोटरमध्ये रोटर सर्किट ओपन (Rotor Circuit Open – Slip Ring Motor) (d) अनबॅलन्स्ड सप्लाय व्होल्टेज (Unbalanced Supply)	(a) मिसिंग फेज करेक्ट करा (b) कॉन्टॅक्टर आणि टर्मिनल्स इन्स्पेक्ट करा (c) रोटर रेसिस्टन्स सर्किट रिपेअर करा (d) सप्लाय व्होल्टेज बॅलन्स करा
4	**मोटर रिव्हर्स चालते (Motor Runs in Reverse Direction)**	(a) रॉंग फेज सिक्वेन्स (Wrong Phase Sequence)	(a) सप्लाय लीड्स पैकी कोणतेही दोन इंटरचेंज करा
5	**मोटर ओव्हरहिट होते (Motor Overheats)**	(a) ओव्हरलोड (Overload) (b) लो व्होल्टेज (Low Voltage) (c) अनबॅलन्स्ड सप्लाय (Unbalanced Supply) (d) पूअर व्हेंटिलेशन (Poor Ventilation) (e) बेअरिंग फ्रिक्शन (Bearing Friction) (f) शॉर्टेड टर्न्स (Shorted Turns)	(a) लोड कमी करा (b) व्होल्टेज करेक्ट करा (c) सप्लाय बॅलन्स करा (d) एअर पैसेजेस क्लीन करा (e) बेअरिंग्स ल्युब्रिकेट करा (f) स्टेटर वाइंडिंग रिवाइंड करा
6	**मोटर आवाज करते (Motor Runs Noisily)**	(a) लूज माउंटिंग बोल्ट्स (Loose Mounting Bolts) (b) डिफेक्टिव्ह बेअरिंग्स (Defective Bearings) (c) रोटर स्टेटरला रब करणे (Rotor Rubbing Stator) (d) इलेक्ट्रिकल अनबॅलन्स (Electrical Unbalance) किंवा हार्मोनिक नॉईज (Harmonic Noise)	(a) बोल्ट्स टाईटन करा (b) बेअरिंग्स रिप्लेस करा (c) अलायन्मेंट आणि एअर गॅप तपासा (d) सप्लाय आणि वाइंडिंग्ज इन्स्पेक्ट करा

Sr. No.	ट्रबल/फॉल्ट (Trouble / Fault)	प्रॉबेबल कॉज (Probable Cause)	रेमेडी / करेक्टिव्ह ॲक्शन (Remedy / Corrective Action)
7	**जास्त व्हायब्रेशन होते (Motor Vibrates Excessively)**	(a) मिसअलायन्मेंट (Misalignment) (b) अनबॅलन्स्ड रोटर (Unbalanced Rotor) (c) बेंट शाफ्ट (Bent Shaft) (d) अनइव्हन एअर गॅप (Uneven Air Gap)	(a) मोटर आणि लोड री-अलाइन करा (b) रोटर बॅलन्स करा (c) शाफ्ट रिपेअर / रिप्लेस करा (d) स्टेटर अलायन्मेंट ॲडजस्ट करा
8	**फ्यूज ब्लोन होतो / ब्रेकर ट्रिप होतो (Fuses Blow or Circuit Breaker Trips)**	(a) शॉर्ट सर्किट (Short Circuit) (b) ग्राउंड फॉल्ट (Ground Fault) (c) ओव्हरलोड (Overload) (d) लॉक्ड रोटर (Locked Rotor)	(a) फॉल्ट लोकेट करून क्लिअर करा (b) इन्स्युलेशन रेसिस्टन्स चेक करा (c) लोड कमी करा (d) मेकॅनिकल सिस्टिम तपासा
9	**फुल स्पीडला पोहचत नाही (Motor Does Not Reach Full Speed)**	(a) लो व्होल्टेज (Low Voltage) (b) ओव्हरलोड (Overload) (c) रोटर फॉल्ट्स (Rotor Faults) (d) शॉर्टेड टर्न्स (Shorted Turns)	(a) व्होल्टेज करेक्ट करा (b) लोड कमी करा (c) रोटरमध्ये ब्रोकन बार्स तपासा (d) स्टेटर वाइंडिंग रिवाइंड करा
10	**मोटर अचानक बंद होते (Motor Stops Suddenly)**	(a) पॉवर फेल्युअर (Power Failure) (b) ओव्हरलोड ट्रिप (Overload Trip) (c) लूज सप्लाय कनेक्शन (Loose Supply Connection)	(a) सप्लाय चेक करा (b) कारण ओळखून ओव्हरलोड रिले रीसेट करा (c) कनेक्शन्स टाईटन करा

***

स्वाध्याय (Exercise):

1. प्रिव्हेंटिव्ह मेंटेनन्स शेड्यूल डेव्हलप करण्याचा पर्पज सांगा.
   (State the purpose of developing a preventive maintenance schedule.)
2. सिंगल-फेज इंडक्शन मोटरसाठी रिकमेंड केलेल्या मेंटेनन्स ॲक्टिव्हिटीज लिस्ट करा.
   (List recommended maintenance activities for single-phase induction motors.)
3. थ्री-फेज इंडक्शन मोटरसाठी रिकमेंड केलेल्या मेंटेनन्स ॲक्टिव्हिटीज लिस्ट करा.
   (List recommended maintenance activities for three -phase induction motors.)
4. सिंगल-फेज इंडक्शन मोटर टेस्टिंगसाठी लागू असलेला IS कोडचे नाव लिहा.
   (Name the IS code for testing of single-phase induction motors.)
5. IS स्टँडर्डनुसार इंडक्शन मोटरसाठी थ्री मेन टेस्ट कॅटिगरीज एक्सप्लेन करा.
   (Explain the three main categories of tests for induction motors as per IS standards.)
6. IS 900–1992 नुसार सिंगल-फेज आणि थ्री-फेज इंडक्शन मोटरसाठी ट्रबल-शूटिंग चार्ट तयार करा.
   (Prepare Trouble shooting chart for single phase and three phase induction motor as per IS 900 – 1992.)

Suggested Learning Materials / Books:

Sr. No	Author	Title	Publisher with ISBN Number
1	Bhattacharya S. K.	Electrical Machines	McGraw Hill Education. New Delhi, ISBN : 9789332902855
2	Theraja B.L.	Electrical Technology Vol-II (AC and DC machines)	S.Chand and Co.Ltd., New Delhi ISBN : 9788121924375
3	Bandyopadhyay M. N.	Electrical Machines Theory and Practice	PHI Learning Pvt. Ltd., New Delhi, ISBN :9788120329973 VI
4	Jean-Claude Trigeassous	Electrical Machine Diagnosis	John Wiley & Sons, IncISBN:978-1-84821-263-3.

Learning websites & portals:

Sr. No	Link / Portal	Description
1	https://www.youtube.com/watch?v=w4jHpHoYZhk	How to Use a Fire Extinguisher
2	https://www.youtube.com/watch?v=wrawEAaJrrY	Artificial respiration methods
3	https://www.youtube.com/watch?v=CvuDFgFFOa8	Fundamentals of Transformer Commissioning and Maintenance Testing
4	https://www.youtube.com/watch?v=ntOc4h792UE	Motor Maintenance & Troubleshooting
5	https://www.youtube.com/watch?v=uMxK6djp_rI	Electric Motor Repair & Rebuild Instructions
6	https://youtu.be/JvsPnGbUH5M	power transformer oil filtration and treatment
7	https://nptel.ac.in/	Relevant information from NPTEL
8	https://www.electricaltechnology.org/	Relevant information
9	https://www.electrical4u.com/	Relevant information

युनिट – 4
टेस्टिंग अँड ट्रबल शूटिंग ऑफ ट्रान्सफॉर्मर्स
(Testing and Trouble Shooting of Transformers)

विषय निष्पत्ती (Course Level Learning Outcomes):

CO4 - मेंटेन सिंगल फेज आणि थ्री फेज ट्रान्सफॉर्मर्स

(Maintain single phase and three phase transformers.)

घटक निष्पत्ती (Theory Learning Outcomes):

1. दिलेल्या ट्रान्सफॉर्मरच्या मेंटेनन्ससाठी IS कोड ऑफ प्रॅक्टिसनुसार फॉलो करण्याच्या प्रोसीजरल स्टेप्स डिस्क्राईब करा.

   (Describe the procedural steps to be followed as per IS code of practice for maintenance of the given transformer.)
2. दिलेल्या प्रकारच्या ट्रान्सफॉर्मरसाठी स्पेसिफाइड टेस्टचा पर्पज सांगून त्या ट्रान्सफॉर्मरचे टर्मिनल्स आयडेंटिफाय करा .

   (Explain the specified test with its purpose and identify the terminals of a given type of transformer.)
3. दिलेल्या ट्रान्सफॉर्मरचा व्होल्टेज रेशो विविध मेथड्स वापरून कसा फाइंड करतात. त्याची प्रोसीजर डिस्क्राईब करा.

   (Describe the procedural steps to be followed for finding voltage ratio of given transformer by various methods.)
4. दिलेल्या ट्रान्सफॉर्मरचे पोलॅरिटी टेस्ट, फेजिंग-आऊट टेस्ट आणि बॅक-टू-बॅक टेस्ट डिस्क्राईब करा.

   (Describe the Polarity test, Phasing out test, Back to Back test of given transformer.)
5. सिंगल-फेज आणि थ्री-फेज ट्रान्सफॉर्मरसाठी ट्रबल-शूटिंग चार्ट प्रिपेअर करा करा.

   (Prepare the trouble shooting chart for single phase and three phase transformers.)
6. दिलेल्या प्रकारच्या ट्रान्सफॉर्मरसाठी फाऊंडेशन रिक्वायरमेंट योग्य स्केचसह सुचवा.

   (Suggest the foundation requirement with sketch for the given type of transformer.)

परिचय (Introduction):

ट्रान्सफॉर्मर हे एसेंशियल (essential) स्टॅटिक (static) इलेक्ट्रिकल मशीन्स असून इलेक्ट्रिकल एनर्जी एक सर्किट पासून दुसऱ्या सर्किट मध्ये इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक इंडक्शन (induction) द्वारे ट्रान्स्फर करण्यासाठी वापरले जातात, ज्यामध्ये युजुअली (usually) व्होल्टेज आणि करंट लेव्हल्स मध्ये चेंज होतो.रिलायबल आणि इफिशियंटसाठी, ट्रान्सफॉर्मर्स चे परफॉर्मन्स, सेफ्टी, आणि क्वालिटी (quality) व्हेरिफाय (verify) करण्यासाठी कमिशन्ड (commissioned) करण्यापूर्वी आणि पिरिऑडिकली सर्व्हिस दरम्यान टेस्ट्स करणे आवश्यक असते.ह्या टेस्ट्स मॅन्युफॅक्चरिंग डिफेक्ट्स (defects), इंस्टॉलेशन (installation) फॉल्ट्स (faults), इन्स्युलेशन (insulation) डिटेरिऑरेशन (deterioration), आणि ऑपरेशन (operation) ला इफेक्ट करणाऱ्या इतर इश्यूज (issues) ओळखण्यासाठी मदत करतात.

टेस्टिंग व्यतिरिक्त, ट्रबल शूटिंग (Trouble-Shooting) ट्रान्सफॉर्मरच्या मेंटेनन्स (Maintenance) मध्ये अत्यंत महत्त्वाची भूमिका बजावते. ट्रबल शूटिंग म्हणजे ट्रान्सफॉर्मरमध्ये येणाऱ्या ॲबनॉर्मल बिहेवियर (Abnormal Behavior) किंवा फेल्युअर्स (Failures) जसे की ओव्हरहीटिंग (Overheating), हमींग नॉईज (Humming Noise), ऑईल लीकेज (Oil Leakage) किंवा लो आउटपुट व्होल्टेज (Low Output Voltage) यांची कारणे शोधून योग्य कररेक्टिव्ह ॲक्शन्स (Corrective Actions) घेणे. सिस्टेमॅटिक ऑब्झर्व्हेशन (Observation), मेजरमेंट (Measurement) आणि ॲनॅलिसिस (Analysis) च्या मदतीने टेक्निशियन (Technicians) फॉल्ट्स (Faults) ओळखू शकतात जसे की ओपन वाइंडिंग्स (Open Windings), शॉर्ट सर्किट्स (Short Circuits), इन्सुलेशन ब्रेकडाउन (Insulation Breakdown), अनबॅलन्स्ड लोड्स (Unbalanced Loads) किंवा मेकॅनिकल व्हायब्रेशन्स (Mechanical Vibrations) ज्यामुळे ट्रान्सफॉर्मरचे रिपेअर लवकर होते आणि त्याचे लाईफ वाढते.

4.1 रेकमेंडेड मेन्टेनन्स शेड्युल्स: ट्रान्सफॉर्मर्स (IS 10028, part III – 1981) (Recommended maintenance schedules: transformers (IS 10028, part III – 1981)

ट्रान्सफॉर्मर्स इलेक्ट्रिकल पॉवर सिस्टिम्स मध्ये क्रुशियल (crucial) रोल (role) प्ले (play) करत असून इफिशियंट व्होल्टेज ट्रान्सफॉर्मेशन आणि रिलायबल पॉवर डिस्ट्रीब्युशन एनेबल (enable) करतात. त्यांचा परफॉर्मन्स मेंटेन करण्यासाठी आणि फेल्युर्स प्रिव्हेंट (prevent) करण्यासाठी रेग्युलर इन्स्पेक्शन आणि मेन्टेनन्स एसेंशियल (essential) असतो. इंडियन (Indian) स्टँडर्ड (Standard) आय.एस. (IS) 10028 (Part III) – 1981 ट्रान्सफॉर्मर्सच्या प्रॉपर मेन्टेनन्स साठी डीटेल्ड (detailed) गाइडलाइन्स (guidelines) प्रोव्हाइड करते, ज्यामध्ये डेली (daily), मंथली (monthly), आणि इयरली (yearly) शेड्युल्स (schedules) कव्हर (cover) केले आहेत.यामध्ये ऑइल (oil) टेस्टिंग, टेंपरेचर (temperature) मॉनिटरिंग (monitoring), अर्थिंग (earthing), आणि प्रोटेक्शन (protection) सिस्टिम (system) चेक्स (checks) सारखे व्हायटल (vital) अस्पेक्ट्स (aspects) समाविष्ट असतात.या रेकमेंडेड प्रॅक्टिसेस सेफ्टी एन्शुअर करतात, इफिशियन्सी एन्हान्स करतात, ब्रेकडाउनस मिनिमाइज करतात , आणि ट्रान्सफॉर्मर्स ची ऑपरेशनल लाईफ पॉवर नेटवर्क्स मध्ये प्रोलॉंग (prolong) करतात.

1. रूटीन चेक्स – डेली / वीकली / मंथली (Routine Checks (Daily / Weekly / Monthly) :

हे चेक्स प्रामुख्याने व्हिज्युअल इन्स्पेक्शन (Visual Inspection) आणि फंक्शनल चेक्स (Functional Checks) असतात, ज्यासाठी आउटेज (Outage) घेण्याची गरज नसते.

a) **ऑईल लेव्हल चेक (Oil Level Check):** कन्झर्व्हेटर टँक (Conservator Tank) मधील ऑईल लेव्हल दररोज किंवा आठवड्यातून(Daily/Weekly) एकदा तपासणे.
b) **ब्रीदर इन्स्पेक्शन (Breather Inspection):** सिलिका जेल ब्रीदर (Silica Gel Breather) चा रंग बदल तपासणे — ज्यामुळे मॉइश्चर ॲब्झॉर्प्शन झाली आहे का हे कळते.
c) **ऑईल लीक्स (Oil Leaks):** टँक (Tank), बुशिंग्स (Bushings) किंवा पाईप कनेक्शन्स मधून ऑईल लीक (Oil Leakage) होत आहे का हे व्हिज्युअली तपासणे (Daily).
d) **वाइंडिंग टेंपरेचर इंडिकेटर (Winding Temperature Indicator (WTI)) आणि ऑइल टेंपरेचर इंडिकेटर (Oil Temperature Indicator (OTI)):** या इंडिकेटर्स (Indicators) वरील रीडिंग्ज (Readings) नोंदवून ऑपरेटिंग कंडिशन्स मॉनिटर करणे (Daily).

e) **बुशिंग/टर्मिनल कंडिशन (Bushing/Terminal Condition):** आर्किंग (Arcing), क्रॅकिंग (Cracking) किंवा इतर कोणतेही डॅमेज (Damage) झालेले आहे का हे तपासणे (Monthly).

2. पिरियॉडिक चेक्स – क्वार्टरली / हाफ-इयरली / इयरली (Periodic Checks (Quarterly/Half-Yearly/Yearly) :

हे चेक्स (Checks) अधिक डिटेल इन्स्पेक्शन असतात आणि काही वेळा आउटेज (Outage) घेणे आवश्यक असते.

a) **कूलिंग सिस्टिम इन्स्पेक्शन (Cooling System Inspection**): रेडिएटर्स (Radiators), फॅन्स (Fans) आणि ऑईल पंप्स (Oil Pumps) यांची तपासणी व स्वच्छता करणे (Quarterly / Half-Yearly).

b) **कंट्रोल पॅनेल इन्स्पेक्शन (Control Panel Inspection):** मार्शलिंग किऑस्क (Marshalling Kiosk) मधील टर्मिनल्स (Terminals), वायरिंग (Wiring) आणि रिलेज (Relays) तपासणे व स्वच्छ करणे (Half-Yearly / Yearly).

c) **अर्थिंग कनेक्शन्स (Earthing Connections):** सर्व अर्थ कनेक्शन्स (Earth Connections) व न्युट्रल अर्थिंग (Neutral Earthing) टाईट आहेत का आणि त्यावर करोजन (Corrosion) नाही ना हे तपासणे (Yearly).

d) **डायइलेक्ट्रिक स्ट्रेंथ टेस्ट / बीडीव्ही टेस्ट (Dielectric Strength Test (BDV Test)):** ट्रान्सफॉर्मर ऑईल (Transformer Oil) चे ब्रेकडाउन व्होल्टेज (Breakdown Voltage) तपासणे (Half-Yearly / Yearly).

e) **ॲसिडिटी टेस्ट (Acidity Test):** ऑईल (Oil) ची ॲसिडिटी (Acidity) तपासणे, ज्यामुळे इन्सुलेशनची स्थिती समजते (Yearly).

f) **डिझॉल्व्ह्ड गॅस ॲनालिसिस (Dissolved Gas Analysis (DGA)):** ही एक अत्यंत महत्त्वाची फॉल्ट डायग्नोसिस टेस्ट (Fault Diagnosis Test) आहे.ही टेस्ट सामान्यतः दरवर्षी (Yearly) किंवा ट्रान्सफॉर्मरच्या लोड (Load) आणि कंडिशन (Condition) नुसार केली जाते.

3. मेजर ओव्हरहॉल – साधारणतः प्रत्येक 3 ते 5 वर्षांनी (Major Overhaul (Typically Every 3 to 5 Years) :

या प्रक्रियेमध्ये एक्स्टेन्सिव्ह (Extensive) टेस्ट्स (Tests), आवश्यकतेनुसार इंटरनल इन्स्पेक्शन (Internal Inspection) आणि रिकंडिशनिंग (Reconditioning) केली जाते. यासाठी प्रोलाँग आउटेज घेणे आवश्यक असते.

a) **वाइंडिंग इन्सुलेशन रेसिस्टन्स टेस्ट (Winding Insulation Resistance (IR) Test):** वाइंडिंग्स (Windings) ची इन्सुलेशन रेसिस्टन्स (Insulation Resistance) मोजून इन्सुलेशनची स्थिती तपासणे.

b) **पोलरायझेशन इंडेक्स टेस्ट (Polarization Index (PI) Test):** ही टेस्ट इन्सुलेशन क्वालिटी (Insulation Quality) तपासण्यासाठी केली जाते.

c) **टर्न्स रेशो टेस्ट (Turns Ratio Test):** ट्रान्सफॉर्मरचा व्होल्टेज रेशो (Voltage Ratio) योग्य आहे का हे तपासण्यासाठी केली जाणारी टेस्ट.

d) **वाइंडिंग रेसिस्टन्स मेजरमेंट (Winding Resistance Measurement):** वाइंडिंग्सचा DC रेसिस्टन्स (DC Resistance) मोजणे, ज्यातून कोणतेही ओपन सर्किट (open circuit)किंवा इंटरनल फॉल्ट्स (Internal Faults) ओळखता येतात.

e) **बुशिंग्स पावर फॅक्टर / टॅन डेल्टा टेस्ट (Bushings Power Factor / Tan δ (Tan Delta) Test):**
ही टेस्ट बुशिंग इन्सुलेशन (Bushing Insulation) ची स्थिती तपासण्यासाठी केली जाते.

f) **कोर इन्स्पेक्शन (Core Inspection):** मोठ्या क्षमतेच्या (Large Capacity) ट्रान्सफॉर्मर्ससाठी, कोर (Core) आणि कॉइल्स (Coils) यांचे इंटरनल इन्स्पेक्शन (Internal Inspection) केले जाऊ शकते.

4.2 रुटीन, टाईप, सप्लिमेंटरी, स्पेशल टेस्ट्स, ट्रान्सफॉर्मरचे टर्मिनल नॉमेनक्लेचर अॅज पर IS 2026–1981 (Routine, type, Supplementary, Special tests of transformers, nomenclature of transformer terminals as per IS 2026-1981):

A. रूटीन टेस्ट्स (Routine Tests): पॉवर ट्रान्सफॉर्मर (Power Transformer) च्या रूटीन टेस्ट्स (Routine Tests) म्हणजे प्रत्येक तयार केलेल्या युनिटवर (Unit) केली जाणारी इन्स्पेक्शन्स (Inspections) आणि मेजरमेंट्स (Measurements) होय.या टेस्ट्सचा मुख्य उद्देश म्हणजे ट्रान्सफॉर्मरचा ऑपरेशनल परफॉर्मन्स (Operational Performance), इलेक्ट्रिकल इंटेग्रिटी (Electrical Integrity) आणि क्वालिटी कंट्रोल (Quality Control) तपासणे, जेणेकरून तो यूजरकडे (User) पाठविण्यापूर्वी त्याची इफिशियन्सी व सेफ्टी निश्चित केली जाईल.

इसेन्शिअल रूटीन टेस्ट्स (List of Essential Routine Tests for Transformers):

1.वाइंडिंग रेसिस्टन्स मेजरमेंट (Measurement of Winding Resistance):

a) **पर्पज (Purpose)**: वाइंडिंग्स मधील लूज कनेक्शन्स, हाय रेसिस्टन्स जॉइंट्स (High Resistance Joints), ब्रोकन स्ट्रँड्स (Broken Strands) किंवा शॉर्टेड टर्न्स (Shorted Turns) आहेत का हे तपासण्यासाठी ही टेस्ट केली जाते.

b) **मेथड (Method):** या टेस्टमध्ये DC व्होल्टेज (DC Voltage) देवून, वाइंडिंगच्या टर्मिनल्स (Terminals) मधील रेसिस्टन्स (Resistance) मेजर केला जातो. हे मेजरमेंट मायक्रो-ओहममीटर (Micro-Ohmmeter) च्या साहाय्याने केले जाते.

2. व्होल्टेज रेशो मेजरमेंट आणि फेज डिस्प्लेसमेंट / व्हेक्टर ग्रुप चेक (Measurement of Voltage Ratio and Check of Phase Displacement (Vector Group) :

a) **पर्पज** (**Purpose**): या टेस्टचा उद्देश म्हणजे ट्रान्सफॉर्मरच्या सर्व टॅप पोझिशन्स (Tap Positions) वर वाइंडिंग्सचा करेक्ट टर्न्स रेशो निश्चित करणे आणि फेज रिलेशनशिप (Phase Relationship) म्हणजेच व्हेक्टर ग्रुप (Vector Group) योग्य आहे का हे तपासणे.

b) **मेथड** (**Method**): या टेस्टमध्ये लो ए.सी. व्होल्टेज (Low AC Voltage) ट्रान्सफॉर्मरच्या प्रायमरी वाइंडिंगला (Primary Winding) लावला जातो, आणि सेकंडरी वाइंडिंग (Secondary Winding) मध्ये प्रोड्युस होणारा इंड्यूस्ड व्होल्टेज (Induced Voltage) मोजला जातो. हे मोजमाप ट्रान्सफॉर्मर टर्न्स रेशो मीटर (Transformer Turns Ratio – TTR Meter) च्या साहाय्याने केले जाते.

3. नो-लोड लॉस आणि करंटचे मेजरमेंट ओपन सर्किट टेस्ट (Measurement of No-Load Loss and Current (Open Circuit Test)):

a) **पर्पज** (**Purpose**): या टेस्टचा उद्देश म्हणजे कोअर लॉसेस (Core Losses / Iron Losses) शोधणे, जे लोड असो वा नसो कॉन्स्टन्ट (Constant) असतात. तसेच, कोअर (Core) मध्ये आवश्यक मॅग्नेटिक फ्लक्स (Magnetic Flux) प्रोड्युस करण्यासाठी लागणारा नो-लोड करंट (No-Load Current) मोजणे हा देखील उद्देश असतो.

b) **मेथड** (**Method**): या टेस्टमध्ये लो व्होल्टेज वाइंडिंग (Low Voltage – LV Winding) ला त्याच्या रेटेड व्होल्टेज (Rated Voltage) आणि रेटेड फ्रिक्वेन्सी (Rated Frequency) ने एनर्जाईज (Energize) केले जाते, तर हाय व्होल्टेज वाइंडिंग (High Voltage Winding) ओपन ठेवली (Kept Open) जाते. या कन्डिशन मध्ये इनपुट पॉवर (Input Power) आणि नो-लोड करंट (No-Load Current) मोजून आयर्न लॉस (Iron Loss) निश्चित केला जातो.

4. शॉर्ट-सर्किट इम्पीडन्स आणि लोड लॉसेसचे मेजरमेंट (शॉर्ट सर्किट टेस्ट) (Measurement of Short-Circuit Impedance and Load Losses (Short Circuit Test)):

a) **पर्पज (Purpose):**या टेस्टचा उद्देश म्हणजे कॉपर लॉसेस आणि इम्पीडन्स शोधणे. हे लोडवर ट्रान्सफॉर्मरची इफिशियन्सी (Efficiency under Load), व्होल्टेज रेग्युलेशन (Voltage Regulation) आणि शॉर्ट-सर्किट फॉल्ट लेव्हल (Short-Circuit Fault Level) मोजण्यासाठी अत्यंत आवश्यक असते.

b) **मेथड (Method):**या टेस्टमध्ये लो व्होल्टेज (Low Voltage) वाइंडिंग शॉर्ट-सर्किट (winding Short-Circuited) केली जाते, आणि हाय व्होल्टेज (High Voltage) वाइंडिंग ला कमी व्होल्टेज (Reduced Voltage) दिले जाते ज्यामुळे रेटेड करंट (Rated Current) सर्क्युलेट (Circulate) होतो. या कन्डिशन मध्ये व्होल्टेज (Voltage), करंट (Current) आणि इनपुट पॉवर (Input Power) मोजून, कॉपर लॉस (Copper Loss) आणि इम्पीडन्स (Impedance) मेजर केले जातात.

5. डायइलेक्ट्रिक रूटीन टेस्ट्स – इन्सुलेशन स्ट्रेंथ (Dielectric Routine Tests (Insulation Strength)):

a) या टेस्ट्स ट्रान्सफॉर्मरच्या इन्सुलेशन वर हाय व्होल्टेज स्ट्रेस आल्यावर त्याची इंटिग्रीटी तपासण्यासाठी केल्या जातात. पहिली टेस्ट म्हणजे सेपरेट सोर्स ए.सी. विथस्टँड व्होल्टेज टेस्ट जिला अप्लाईड व्होल्टेज टेस्ट असेही म्हणतात.

b) या प्रोसीजरमध्ये, हाय व्होल्टेज एका एक्स्टर्नल किंवा वेगळ्या सोर्स मधुन (External or Separate Source) प्रत्येक वाइंडिंग टर्मिनल आणि इतर सर्व वाइंडिंग्ज ज्या ग्राउंड / टँकला (Ground/Tank) जोडलेल्या असतात यांच्यामधून अप्लाय (Apply) केल जाते. ही टेस्ट विशेषतः मेन म्हणजे वाइंडिंग आणि कोर / टँक (Winding and Core/Tank) यांच्यामधील इन्सुलेशन, तसेच डिफरेंट वाइंडिंग्जमधील इन्सुलेशन तपासण्यासाठी केली जाते. या प्रक्रियेद्वारे हे निश्चित केले जाते की इन्सुलेशन सिस्टम हाय व्होल्टेज स्ट्रेस सहन करण्यास सक्षम आहे.

c) दुसरी टेस्ट म्हणजे शॉर्ट ड्युरेशन इंड्युस्ड ए.सी. विथस्टँड व्होल्टेज टेस्ट (Short Duration Induced AC Withstand Voltage Test) जिला इंड्युस्ड व्होल्टेज टेस्ट (Induced Voltage Test) असेही म्हणतात. या टेस्टदरम्यान वाइंडिंगमध्ये (Windings) साधारणतः रेटेड व्होल्टेजच्या दुप्पट (Twice the Rated Voltage) ए.सी. व्होल्टेज (AC Voltage) इंड्युस (Induce) केले जाते. या

टेस्टचा उद्देश म्हणजे इंटर-टर्न इन्सुलेशन (Inter-Turn Insulation) म्हणजे वाइंडिंगच्या शेजारील टर्न्स (Adjacent Turns) दरम्यानचे इन्सुलेशन आणि लाँगिट्यूडिनल इन्सुलेशन (Longitudinal Insulation) म्हणजे वाइंडिंगच्या लांबीच्या दिशेने (Along the Length) असलेले इन्सुलेशन यांची स्ट्रेन्थ (Strength) तपासणे. ही टेस्ट सुनिश्चित करते की ट्रान्सफॉर्मरचे इन्सुलेशन सिस्टम (Insulation System) हाय व्होल्टेज स्ट्रेस पासुन (High Voltage Stress) इंटर्नल सेफ्टी आणि कार्यक्षम राहते.

6. इन्सुलेशन रेसिस्टन्स मेजरमेन्ट आय.आर. व्हॅल्यू / मेगर टेस्ट (Insulation Resistance Measurement (IR Value/Megger Test)):

a) **पर्पज (Purpose):** या टेस्टचा उद्देश म्हणजे वाइंडिंग्जमधील (Between Windings) आणि वाइंडिंग्ज व अर्थ (Earth / Ground) यांच्यामधील इन्सुलेशनची स्थिती (Condition of Insulation) तपासणे.

b) **मेथड (Method):** या टेस्टमध्ये डी.सी. व्होल्टेज (DC Voltage) सामान्यतः 500 व्होल्ट ते 5 किलोव्होल्ट (500V to 5kV) मेगर (Megger) या उपकरणाद्वारे अप्लाय (Apply) केले जाते, आणि इन्सुलेशन रेसिस्टन्स (Insulation Resistance) मोजले (Measured) जाते.

7. लीक टेस्टिंग विथ प्रेशर (Leak Testing with Pressure):

a) ही टेस्ट लिक्विड-इमर्स्ड ट्रान्सफॉर्मर्स (Liquid-Immersed Transformers) साठी अत्यंत महत्त्वाची प्री-सर्विस टेस्ट (Pre-Service Check) आहे. या टेस्टचा मुख्य उद्देश म्हणजे ऑईल लिकेज (Oil Leakage) तपासणे, विशेषतःमेन टँक स्ट्रक्चर (Main Tank Structure) गॅस्केटेड जॉइंट्स (Gasketed Joints) रेडिएटर कनेक्शन्स (Radiator Connections).

b) टँक पूर्णपणे सीलबंद (Sealed) असणे अत्यावश्यक आहे, कारण ते इन्सुलेटिंग ऑईलची इंटेग्रेटी (Integrity of Insulating Oil) टिकवून ठेवते आणि कंटॅमिनेशन (Contamination) किंवा डायइलेक्ट्रिक फ्लुइड लॉस (Loss of Dielectric Fluid) होण्यापासून प्रतिबंध करते. हे दोन्ही घटक म्हणजेच कूलिंग (Cooling) आणि इन्सुलेशन परफॉर्मन्स (Insulation Performance) ट्रान्सफॉर्मरच्या सुरक्षित आणि कार्यक्षम ऑपरेशनसाठी अत्यंत आवश्यक आहेत.

B. टाइप टेस्ट्स (Type Tests): टाइप टेस्ट्स (Type Tests) या ट्रान्सफॉर्मरच्या प्रोटोटाइप युनिटवर (Prototype Unit) किंवा एका बॅचमधील निवडक युनिटवर (One Unit from a Batch) घेतल्या जातात. या टेस्ट्सचा उद्देश म्हणजे ट्रान्सफॉर्मरची बेसिक डिझाइन (Basic Design), मटेरियल्स (Materials) आणि मॅन्युफॅक्चरिंग प्रोसेस (Manufacturing Process) यांची खात्री करणे. या टेस्ट्सद्वारे हे सिद्ध केले जाते की तयार केलेला ट्रान्सफॉर्मर (transformer) त्याच्या डिझाइन स्पेसिफिकेशन्स (Design Specifications) आणि परफॉर्मन्स स्टँडर्ड्स (Performance Standards) पूर्ण करतो. या टेस्ट्स कॉम्प्रिहेन्सिव्ह (Comprehensive) आणि कॉस्टली (Costly) असतात, म्हणूनच त्या प्रत्येक ट्रान्सफॉर्मरवर (Every Transformer) केल्या जात नाहीत, तर केवळ सॅंपल युनिटवर (Sample / Prototype Unit) केल्या जातात.

टाइप टेस्ट्स (Type Tests) करण्याचा मुख्य उद्देश म्हणजे हे सिद्ध करणे की ट्रान्सफॉर्मर (Transformer) परचेसरच्या स्पेसिफिकेशन्स (Purchaser's Specifications) पूर्ण करतो. या टेस्ट्स ट्रान्सफॉर्मरचा फंडामेंटल परफॉर्मन्स (Fundamental Performance) आणि एन्ड्युरन्स (Endurance) तपासण्यासाठी घेतल्या जातात.

1.टेंपरेचर-राईज टेस्ट (थर्मल परफॉर्मन्स) (Temperature-Rise Type Test (Thermal Performance)):

a) **पर्पज (Purpose):** या टेस्टचा उद्देश म्हणजे हे सिद्ध करणे की ट्रान्सफॉर्मरच्या ऑईल (Oil) आणि वाइंडिंग्जचा मॅक्सिमम टेंपरेचर राईज (Maximum Temperature Rise) स्टँडर्ड्स मध्ये स्पेसिफाइड केलेल्या मर्यादेपेक्षा (Limits Specified by Standards) जास्त होत नाही. उदाहरणार्थ: एक ऑईल-इमर्स्ड ट्रान्सफॉर्मर (Oil-Immersed Transformer) साठी साधारणतः वाइंडिंगचे टेंपरेचर राईज (Winding Temperature Rise) = 55°Celsius ॲंबियंट टेंपरेचर (Ambient Temperature) = 40°Celsius असते.

b) **मेथड (Method):** या टेस्टमध्ये ट्रान्सफॉर्मरला त्याच्या रेटेड लोडवर रन केले जाते, जोपर्यंत ऑईल आणि वाइंडिंग्जचे टेंपरेचर स्थिर (Stabilize) होत नाही. ही टेस्ट ट्रान्सफॉर्मरची मॅक्सिमम कॉन्टिनुअस लोड कपॅसिटी (Maximum Continuous Loading Capacity) निश्चित करण्यासाठी केली जाते.

2. लाईटनिंग इम्पल्स विथस्टँड टेस्ट – डायइलेक्ट्रिक स्ट्रेंथ टेस्ट (Lightning Impulse Withstand Test (Dielectric Strength)):

a) **पर्पज (Purpose):** या टेस्टचा उद्देश म्हणजे ट्रान्सफॉर्मरच्या इन्सुलेशन सिस्टमची (Insulation System) कॅपॅसिटी तपासणे, जी ॲटमॉस्फेरिक लाईटनिंग स्ट्राइक्स (Atmospheric Lightning Strikes) मुळे प्रोड्यूस होणाऱ्या हाय व्होल्टेज ट्रान्झिएंट सर्जेस (High-Voltage Transient Surges) सहन करू शकते की नाही हे निश्चित करते.

b) **मेथड (Method):** या टेस्टमध्ये हाय व्होल्टेज इम्पल्स वेव्ह (High-Voltage Impulse Wave) ट्रान्सफॉर्मरच्या टर्मिनल्सना (Terminals) अप्लाय (Apply) केली जाते. सामान्यतः वापरली जाणारी वेव्हफॉर्म (Waveform) म्हणजे 1.2/50 मायक्रोसेकंड (Microsecond) वेव्ह, ज्याचा अर्थ असा की: ती 1.2 मायक्रोसेकंदात (1.2 μs) तिच्या पीक व्हॅल्यू (Peak Value) पर्यंत पोहोचते, आणि 50 मायक्रोसेकंदात (50 μs) त्या पीक व्हॅल्यूच्या अर्ध्या (Half) पर्यंत डिके (Decay) होते. जर अप्लाय केलेली व्होल्टेज वेव्ह (Applied Voltage Wave) कोलॅप्स (Collapse) किंवा इंटर्नल/एक्स्टर्नल फ्लॅशओव्हर (Internal/External Flashover) दिसून येतो, तर टेस्ट फेल्ड (Failed) समजली जाते.

3. साऊंड लेव्हल मेजरमेंट – अकूस्टिक नॉईज टेस्ट (Measurement of Sound Level (Acoustic Noise) :

a) **पर्पज (Purpose):** या टेस्टचा उद्देश म्हणजे ट्रान्सफॉर्मरने प्रोड्यूस केलेला नॉईज (Noise) जो प्रामुख्याने कोअरमधील मॅग्नेटोस्ट्रिक्शन (Magnetostriction in the Core) मुळे, तसेच फॅन आणि पंप ऑपरेशन (Fan/Pump Operation) मुळे प्रोड्यूस होतो. तो गॅरंटी लिमिट्स मध्ये (Guaranteed Limits) आहे का, हे तपासणे. हे विशेषतः त्या ट्रान्सफॉर्मर्ससाठी महत्त्वाचे (Important) आहे जे रेसिडेन्शियल एरिया (Residential Areas) किंवा नॉईज-सेन्सिटिव्ह झोन (Noise-Sensitive Zones) जवळ बसवलेले असतात.

b) **मेथड (Method):** या टेस्टसाठी ट्रान्सफॉर्मरच्या आसपास ठरावीक पॉईंट्सवर (Specified Points) आणि ठरलेल्या ऑपरेटिंग कंडीशन्समध्ये (Specified Operating Conditions) साऊंड लेव्हल मीटर (Sound Level Meter) वापरून मोजमाप (Measurement) केले जाते.

4. ॲडिशनल टेस्ट्स (Additional Tests (Often Classified as Type or Special Tests) :

a) **शॉर्ट-सर्किट विथस्टँड टेस्ट (Short-Circuit Withstand Test) :** ही टेस्ट ट्रान्सफॉर्मरची मेकॅनिकल आणि थर्मल स्ट्रेंथ (Mechanical and Thermal Strength) तपासण्यासाठी केली जाते, जेणेकरून एक्स्टर्नल शॉर्ट-सर्किट फॉल्ट (External Short-Circuit Fault) घडल्यास त्यातून निर्माण होणारे इनॉर्मस फोर्सेस (Enormous Forces) ट्रान्सफॉर्मर सहन करू शकेल आणि कोणतीही इंटर्नल किंवा एक्स्टर्नल डॅमेज (Internal/External Damage) होणार नाही याची खात्री होते.

b) **पार्शिअल डिस्चार्ज मेजरमेंट (Measurement of Partial Discharges):** ही टेस्ट इन्सुलेशन सिस्टीममध्ये घडणाऱ्या स्मॉल लोकलाइज्ड ब्रेकडाउन (Small Localized Breakdowns) शोधण्यासाठी केली जाते. हे मॅन्युफॅक्चरिंग डिफेक्ट्स (Manufacturing Defects) किंवा लाँग-टर्म इन्सुलेशन डिग्रेडेशन (Long-Term Insulation Degradation) याची अर्ली वार्निंग (Early Warning) असू शकते.

C. सप्लिमेंटरी टेस्ट्स (Supplementary Tests): सप्लिमेंटरी टेस्ट्स (Supplementary Tests) या ट्रान्सफॉर्मरवर घेतल्या जाणाऱ्या अशा एक्स्ट्रा टेस्ट आहेत ज्या रूटीन टेस्ट्स (Routine Tests) आणि टाईप टेस्ट्स (Type Tests) व्यतिरिक्त घेतल्या जातात. या टेस्ट्स नेहमी अनिवार्य (Mandatory) नसतात, पण त्या परचेसर (Purchaser) च्या मागणीवर किंवा विशेष आवश्यकता (Special Requirement) असल्यास घेतल्या जातात. या टेस्ट्सचा उद्देश म्हणजे ट्रान्सफॉर्मरच्या ॲडिशनल कॅरेक्टरिस्टिक्स (Determination of Additional Characteristics) डीटरमिनेशन करणे किंवा त्याच्या स्पेशल परफॉर्मन्स फीचर्स (Confirmation of Special Performance Features) कन्फर्मेशन करणे.

खालील टेस्ट्स या ट्रान्सफॉर्मरवर घेतल्या जाणाऱ्या महत्त्वाच्या सप्लिमेंटरी टेस्ट्स (Key Supplementary Tests) आहेत:

1. झिरो-सीक्वेन्स इम्पीडन्स डीटरमिनेशन (Determination of Zero-Sequence Impedance):

a) ही टेस्ट ट्रान्सफॉर्मरच्या वाइंडिंग्समधून फ्लो होणाऱ्या झिरो-सीक्वेन्स करंट्स ला (Zero-Sequence Currents) ऑफर होणाऱ्या इम्पीडन्स (Impedance) चे मेजरमेंट करण्यासाठी केली जाते. ही मेजरमेंट विशेषतः त्या ट्रान्सफॉर्मर्ससाठी महत्त्वाची असते जे अनबॅलन्स्ड लोड्स (Unbalanced Loads) किंवा अर्थ फॉल्ट्स (Earth Faults) असलेल्या सिस्टीम्सना जोडलेले असतात.

b) ट्रान्सफॉर्मरचा झिरो-सीक्वेन्स इम्पीडन्स (Zero-Sequence Impedance) माहित असणे अत्यंत गरजेचे असते कारण यावरून फॉल्ट करंट्सचे (Fault Currents) करेक्ट कॅल्क्युलेशन (Calculation) करता येते, आणि प्रोटेक्टिव्ह रिले (Protective Relays) योग्य प्रकारे सेट (Setting) करता येतात. कारण हा इम्पीडन्स ग्राउंड फॉल्ट (Ground Fault) च्या वेळी करंटचे मॅग्निट्यूड (Magnitude) आणि डिस्ट्रिब्युशन (Distribution) थेट प्रभावित करतो, म्हणूनच ही टेस्ट ट्रान्सफॉर्मरच्या सिस्टम प्रोटेक्शन (System Protection) आणि फॉल्ट विश्लेषणासाठी (Fault Analysis) अत्यंत आवश्यक आहे.

2. मेजरमेंट ऑफ हार्मोनिक्स इन नो-लोड करंट (Measurement of Harmonics in No-load Current): ही स्पेसिफिक टेस्ट (Specific Test) ट्रान्सफॉर्मरच्या नो-लोड करंट (No-Load Current) मधील वेव्हफॉर्म डिस्टॉर्शन (Waveform Distortion) इव्हॅल्यूएशन (Evaluation) करण्यासाठी केली

जाते. नो-लोड करंट (No-Load Current) प्रामुख्याने मॅग्नेटायझिंग करंट (Magnetizing Current) असतो, जो ट्रान्सफॉर्मरच्या कोअरच्या नॉन-लिनिअर मॅग्नेटिक प्रॉपर्टीज (Non-linear Magnetic Properties of the Core) मुळे प्रभावित होतो. यामुळे या करंटमध्ये सहसा हार्मॉनिक्स (Harmonics) उपस्थित असतात.

3. मेजरमेंट ऑफ अकूस्टिक नॉइज लेव्हल (Measurement of Acoustic Noise Level):

a) या टेस्टचा उद्देश म्हणजे ट्रान्सफॉर्मर नॉर्मल ऑपरेटिंग(Normal Operating) व एनर्जाइज्ड कन्डिशन (Energized Condition) मध्ये असताना प्रोड्यूस होणाऱ्या साउंड लेव्हलचे (Sound Level) मेजरमेंट करणे. हा नॉईज (Noise) प्रामुख्याने दोन कारणांमुळे निर्माण होतो.मॅग्नेटोस्ट्रिक्शन (Magnetostriction): म्हणजेच मॅग्नेटिक फ्लक्स (Magnetic Flux) च्या प्रभावाखाली कोर मटेरियलच्या आकारात होणारा अत्यंत सूक्ष्म बदल आणि कूलिंग इक्विपमेंट (Cooling Equipment) जसे फॅन्स (Fans) किंवा ऑइल पंप्स (Oil Pumps) यांच्यामुळे होणारा मेकॅनिकल नॉइज. या टेस्टसाठी ट्रान्सफॉर्मरच्या आसपास ठरावीक पॉईंट्सवर (Specified Points) आणि ठरलेल्या ऑपरेटिंग कंडीशन्समध्ये (Specified Operating Conditions) साऊंड लेव्हल मीटर (Sound Level Meter) वापरून मेजरमेंट (Measurement) केले जाते.

b) ही टेस्ट विशेषतः त्या ट्रान्सफॉर्मर्ससाठी महत्त्वाची असते जे रेसिडेन्शियल एरिया (Residential Area) किंवा नॉईज-सेंसिटिव्ह झोन (Noise-Sensitive Zone) मध्ये बसवलेले असतात. अशा ठिकाणी एक्सेसिव्ह ऑपरेशनल नॉईज (Excessive Operational Noise) असल्यास एन्व्हायर्नमेंटल कंप्लेंट्स (Environmental Complaints) होऊ शकतात.

4. मेजरमेंट ऑफ शॉर्ट-सर्किट इम्पीडन्स आणि लोड लॉसेस ॲट डिफरंट करंट्स (Measurement of Short-Circuit Impedance and Load Losses at Different Currents): ही एक स्पेशल टेस्ट (Specialized Test) आहे जी ट्रान्सफॉर्मरच्या इम्पीडन्स (Impedance) आणि लोड लॉसेस (Load Losses) हे वाइंडिंग करंटच्या (Winding Current) बदलानुसार कसे बदलतात हे अचूकपणे मोजण्यासाठी केली जाते. रूटीन टेस्ट्स (Routine Tests) साधारणपणे या पॅरामीटर्सचे मेजरमेंट रेटेड करंटवर (Rated Current) करतात, परंतु या टेस्ट मध्ये विविध करंट रेंजेसमध्ये (Over a Range of Currents) मेजर करून ट्रान्सफॉर्मरच्या पूर्ण ऑपरेटिंग प्रोफाइलचा (Full Operating Profile) अभ्यास केला जातो.

5.मेजरमेंट ऑफ नो-लोड लॉसेस आणि करंट ॲट डिफरंट व्होल्टेजेस आणि फ्रीक्वेन्सीज (Measurement of No-Load Losses and Current at Different Voltages and Frequencies): ही एक स्पेशल टेस्ट (Specialized Test) आहे जी ट्रान्सफॉर्मरचा बिहेवियर ॲनालाईज करण्यासाठी (To Analyze the Transformer's Behavior) केली जाते, जेव्हा त्याला जाणूनबुजून (Intentionally) त्याच्या रेटेड व्हॅल्यूजपेक्षा वेगळ्या व्होल्टेज (Voltages) किंवा फ्रिक्वेन्सी (Frequencies) वर चालवले जाते.

या टेस्टचा मुख्य उद्देश म्हणजे जेव्हा ऑपरेटिंग कंडिशन्स नॉन-स्टँडर्ड (Non-Standard) असतात,तेव्हा ट्रान्सफॉर्मरच्या नो-लोड लॉसेस (No-Load Losses) आणि करंट (Current) कसे बदलतात हे पाहणे. ही टेस्ट विशेषतः जे ट्रान्सफॉर्मर कन्व्हर्टर अप्लिकेशन्समध्ये (Converter Applications) वापरले जातात, किंवा फ्लक्चुएटिंग फ्रिक्वेन्सी सिस्टिम्समध्ये (Fluctuating Frequency Systems) वापरतात त्यांच्यावरती केली जाते.

6. डायइलेक्ट्रिक डिसिपेशन फॅक्टर मेजरमेंट (**Dielectric Dissipation Factor (tan δ) Measurement):** ही एक महत्त्वाची डायग्नोस्टिक टेस्ट (Crucial Diagnostic Test) आहे जी ट्रान्सफॉर्मरच्या इन्सुलेशन सिस्टीममधील डायइलेक्ट्रिक लॉसेस (Dielectric Losses) मोजण्यासाठी घेतली जाते. या टेस्टद्वारे ए.सी. व्होल्टेज (AC Voltage) दिल्यानंतर इन्सुलेशनमध्ये हिट (Heat) स्वरूपात होणाऱ्या एनर्जी लॉस चे (Energy Loss) मेजरमेंट केले जाते. या टेस्टचा उद्देश म्हणजे इन्सुलेशनच्या कंडिशन (Condition) आणि त्यातील मॉइस्चर कॉन्टेन्ट चा (Moisture Content) अंदाज घेणे. कारण डायइलेक्ट्रिक डिसिपेशन फॅक्टर (tan δ) हे इन्सुलेशन किती चांगल्या स्थितीत आहे हे दर्शवते. जर tan δ ची व्ह्याल्यू जास्त (High Value) किंवा रॅपिडली रायझिंग (Rapidly Rising) असेल, तर ते सूचित करते की इन्सुलेशन खराब झालेले (Degraded) आहे, कॉन्टॅमिनेटेड (Contaminated) झालेले आहे, किंवा त्यामध्ये एक्सेसिव्ह मॉइस्चर (Excessive Moisture) गेला आहे. अशा स्थितीत इन्सुलेशनची स्ट्रेंथ (Insulation Strength) कमी होते आणि ते व्होल्टेज स्ट्रेस (Voltage Stress) विथस्टँड (Unable to Withstand) करत नाही.

7. इन्सुलेशन रेसिस्टन्स मेजरमेंट – IR (**Measurement of Insulation Resistance (IR):** ही टेस्ट ट्रान्सफॉर्मरच्या संपूर्ण इन्सुलेशन कंडिशनचा (Overall Insulation Condition) अंदाज घेण्यासाठी केली जाते. विशेषतः ही टेस्ट खालील गोष्टी मोजते: हाय-वोल्टेज (High-Voltage) आणि लो-वोल्टेज (Low-Voltage) वाइंडिंग्समधील इन्सुलेशनचे रेसिस्टन्स (Resistance of Insulation Material) प्रत्येक वाइंडिंग आणि ट्रान्सफॉर्मर अर्थ (Tank/Core) मधील रेसिस्टन्स. ट्रान्सफॉर्मरमधील ग्रॉस इन्सुलेशन फेल्युअर्स (Gross Insulation Failures), हाय मॉइस्चर कॉन्टेन्ट (High Moisture Content) किंवा सिव्हिअर डिग्रेडेशन Severe Degradation) यांची ओळख करण्यासाठी ही टेस्ट आवश्यक आहे. जर इन्सुलेशन डॅमेज झाले असेल, तर त्यामुळे फ्लॅशओव्हर्स (Flashovers) आणि संपूर्ण ट्रान्सफॉर्मर फेल्युअर (Catastrophic Failure) होऊ शकतो. म्हणून ही टेस्ट सेफ्टी (Safety) आणि रिलायबिलिटी (Reliability) सुनिश्चित करण्यासाठी अत्यंत आवश्यक आहे.

D. स्पेशल टेस्ट्स (**Special Tests**):

स्पेशल टेस्ट्स ह्या फक्त खालील परिस्थितींमध्ये केली जाते:

जेव्हा परचेसर (Purchaser) स्पेशल रिक़्वेस्ट करतो, किंवा जेव्हा ट्रान्सफॉर्मर स्पेशल ॲप्लिकेशन्स (Special Applications) साठी असतो.ही टेस्ट ट्रान्सफॉर्मरच्या परफॉर्मन्स (Performance), कन्स्ट्रक्शन (Construction), आणि ड्युरॅबिलिटी (Durability) बाबतीत अनयुज्युअल ऑर सिव्हिअर कंडिशन्समध्ये (Unusual or Severe Conditions) अतिरिक्त माहिती देतात.

लिस्ट ऑफ स्पेशल टेस्ट्स (**List of Common Special Tests):**

1. डायइलेक्ट्रिक डिसिपेशन फॅक्टर आणि कॅपॅसिटन्स टेस्ट (Dielectric Dissipation Factor (tan δ) and Capacitance Test)
2. टेम्परेचर राइझ टेस्ट बाय रेझिस्टन्स मेथड (Temperature Rise Test by Resistance Method)
3. व्हॅक्यूम आणि प्रेशर टेस्ट ऑन ट्रान्सफॉर्मर टँक (Vacuum and Pressure Tests on Transformer Tank)
4. मेजरमेंट ऑफ झिरो-सीक्वेन्स इम्पीडन्स (Measurement of Zero-Sequence Impedance)
5. डिटरमिनेशन ऑफ हार्मोनिक्स इन नो-लोड करंट (Determination of Harmonics in No-load Current)

6. शॉर्ट-सर्किट टेस्ट (Short-Circuit Test)
7. डिटरमिनेशन ऑफ साउंड लेव्हल(Determination of Sound Level)
8. मॅग्रेटिक बॅलन्स टेस्ट–(थ्री-फेज ट्रान्सफॉर्मर) (Magnetic Balance Test (for 3-Phase Transformers))
9. मेजरमेंट ऑफ इन्सुलेशन रेझिस्टन्स – IR टेस्ट (Measurement of Insulation Resistance (IR))

ट्रान्सफॉर्मरचे टर्मिनल नॉमेनक्लेचर (Nomenclature of Transformer Terminals):

इंडियन स्टँडर्ड IS:2026-1981 नुसार, ट्रान्सफॉर्मरच्या टर्मिनल्सचे (transformer terminals) नॉमेनक्लेचर (nomenclature) आणि मार्किंग (marking) हे कनेक्शन्स (connections) ओळखण्यासाठी, तसेच इन्स्टॉलेशन आणि टेस्टिंग दरम्यान योग्य पोलॅरिटी (polarity), फेज सिक्वेन्स (phase sequence), आणि इंटर-कनेक्शन (interconnection) सुनिश्चित करण्यासाठी स्पेसिफाय (specifies) केले जाते.

जनरल रूल (General Rule):

a) प्रत्येक वाइंडिंगला दोन टर्मिनल्स (terminals) असतात.
b) हाय-व्होल्टेज (HV) वाइंडिंग्ज साठी, हे टर्मिनल्स कॅपिटल लेटर्स (Capital Letters) द्वारे दर्शविले जातात.उदा. A, B, C.
c) लो-व्होल्टेज (LV) वाइंडिंग्ज साठी, हे टर्मिनल्स स्मॉल लेटर्स (Small Letters) द्वारे दर्शविले जातात. उदा. a, b, c.
d) जर ट्रान्सफॉर्मरला (transformer) दोनपेक्षा जास्त वाइंडिंग्ज असतील (उदा. टर्शियरी - tertiary), तर त्याच प्रिन्सिपलनुसार योग्य डेझिग्नेशन्स (designations) असाईन (assigned) केली जातात.

टर्मिनल डिझिग्नेशन (Terminal Designations):

Table 4.1: टर्मिनल डिझिग्नेशन (Terminal Designations)

वाइंडिंग (Winding)	टर्मिनल मार्किंग (Terminal Marking)	रिमार्क्स (Remarks)
हाय व्होल्टेज (High Voltage - HV) वाइंडिंग (Winding)	A1, A2	कॅपिटल लेटर्स (Capital letters) वापरले.
लो व्होल्टेज (Low Voltage - LV) वाइंडिंग (Winding)	a1, a2	स्मॉल लेटर्स (Small letters) वापरले.
टर्शियरी वाइंडिंग (Tertiary Winding) (उपलब्ध असल्यास - if present)	a3, a4 or n1, n2	ऑक्सिलरी (auxiliary) किंवा टर्शियरी वाइंडिंगसाठी (tertiary winding) वापरले.

थ्री-फेज ट्रान्सफॉर्मर टर्मिनल डेझिग्नेशन्स (Three-Phase Transformer Terminal Designations):

थ्री-फेज ट्रान्सफॉर्मर्समध्ये प्रत्येक फेजसाठी हाय व्होल्टेज (HV) आणि लो व्होल्टेज (LV) वाइंडिंग्जमध्ये खालीलप्रमाणे टर्मिनल्स असतात:

Table 4.2: थ्री-फेज ट्रान्सफॉर्मर टर्मिनल डेझिग्रेशन्स

(Three-Phase Transformer Terminal Designations)

फेज (**Phase**)	**हाय व्होल्टेज टर्मिनल्स (High Voltage Terminals)**	**लो व्होल्टेज टर्मिनल्स (Low Voltage Terminals)**
फेज 1 (Phase 1)	A1 – A2	a1 – a2
फेज 2 (Phase 2)	B1 – B2	b1 – b2
फेज 3 (Phase 3)	C1 – C2	c1 – c2

पोलॅरिटी इंडिकेशन (**Polarity Indication**)**:**

a) सफिक्स "1": ज्या टर्मिनल्सची इन्स्टंटॅनिअस पोलॅरिटी सेम असते, त्यांना सेम सफिक्स "1" वापरला जातो. याचा अर्थ: A1 हा a1 शी, B1 हा b1 शी आणि C1 हा c1 शी करस्पॉन्ड (correspond) असतो.

b) सफिक्स "2": हा सफिक्स "1" च्या ऑपोजिट (opposite) एन्ड टर्मिनल (terminal) दर्शवतो. जेव्हा करंट (current) टर्मिनल A1 मध्ये प्रवेश करतो, तेव्हा तो सेम इन्स्टंटला (same instant) टर्मिनल a1 मधून बाहेर पडायला हवा, ज्यामुळे योग्य फेज रिलेशनशिप (phase relationship) राखला जातो.

वेक्टर ग्रुप आणि फेज रिलेशनशिप (**Vector Group and Phase Relationship**): वेक्टर ग्रुप (Vector Group) नोमेनक्लेचर हा ट्रान्सफॉर्मरच्या HV (हाय व्होल्टेज) आणि LV (लो व्होल्टेज) वाइंडिंग्जमधील (Windings) रिलेटिव्ह फेज डिस्प्लेसमेंट (Relative Phase Displacement) दर्शवतो वेक्टर ग्रुप (उदा. Dyn11, Yyn0). योग्य स्टार/डेल्टा कनेक्शन्स (Star/Delta Connections), योग्य फेज सिक्वेन्स (Phase Sequence), ट्रान्सफॉर्मर्स पॅरललमध्ये (Parallel) रन करण्यासाठी, त्यांचा वेक्टर ग्रुप आणि फेज सिक्वेन्स एकसारखा असणे आवश्यक आहे.

उदाहरणे (Typical Examples):

1.सिंगल-फेज (Single-Phase) ट्रान्सफॉर्मर (Transformer)

a) एच-व्ही (HV) साइड (side)**:** A1, A2

b) एल-व्ही (LV) साइड (side)**:** a1, a2

2. थ्री-फेज (Three-Phase) ट्रान्सफॉर्मर (Transformer) (स्टार–डेल्टा (Star–Delta))

a) एच-व्ही (HV) (स्टार (Star) मध्ये: A1, B1, C1 हे न्युट्रलला (neutral) कनेक्टेड (connected) केलेले असतात किंवा लाइन टर्मिनल्स (terminals); आणि A2, B2, C2 हे मे (may) बी (be) इंटरकनेक्टेड (interconnected) असू शकतात.

b) एल-व्ही (LV) (डेल्टा (Delta) मध्ये: a1–b2, b1–c2, c1–a2 हे फॉर (for) डेल्टा (delta) लूप (loop) असे जोडलेले असतात

कलर कोडिंग (**Colour Coding (as per practice)**)**:**

जरी इंडियन स्टँडर्ड IS:2026 मध्ये विशिष्ट कलर्स स्पेसिफाय केलेले नसले तरी, आयडेंटिफिकेशनसाठी खालील कलर्स सामान्यतः वापरले जातात.

Table 4.3: कलर कोडिंग Colour Coding

फेज (Phase)	**कलर कोडिंग (Colour Coding)**
R (Phase 1)	Red
Y (Phase 2)	Yellow
B (Phase 3)	Blue
न्यूट्रल (Neutral)	Black
अर्थ (Earth)	Green

समरी टेबल (Summary Table):

Table 4.4: समरी टेबल (Summary Table)

वाइंडिंग (Winding)	**टर्मिनल 1 (Terminal 1) (पोलॅरिटी - Polarity)**	**टर्मिनल 2 (Terminal 2) (ऑपोजिट एंड - Opposite End)**
एचव्ही (HV) (सिंगल-फेज - Single-phase)	A1	A2
एलव्ही (LV) (सिंगल-फेज - Single-phase)	a1	a2
एचव्ही (HV) (थ्री-फेज - Three-phase)	A1, B1, C1	A2, B2, C2
एलव्ही (LV) (थ्री-फेज - Three-phase)	a1, b1, c1	a2, b2, c2

4.3 व्होल्टेज रेशो मेजरमेंट–रेशो मीटर, स्टँडर्ड ट्रान्सफॉर्मर आणि टर्न टेस्टिंग मेथड (Measurement of Voltage Ratio by Ratio Meter, Standard Transformer, Turn Testing Method):

4.3.1 रेशो मीटर (Measurement of Voltage Ratio by Ratio Meter):

ऑब्जेक्टिव्ह (Objective): व्होल्टेज रेशो टेस्ट (Voltage Ratio Test) घेण्याचा मुख्य उद्देश खालीलप्रमाणे आहे

a) टर्न्स रेशो चे डिटरमिनेशन (Determination of Turns Ratio): ट्रान्सफॉर्मरच्या (transformer) वाइंडिंग्जमधील (windings) टर्न्स रेशो (व्होल्टेज रेशो) निश्चित करणे.
b) डिझाईन व्हेरिफिकेशन (Design Verification): ट्रान्सफॉर्मरचे ट्रान्सफॉर्मेशन रेशो (transformation ratio) त्याच्या डिझाईन (design) आणि नेमप्लेट डेटा (nameplate data) नुसार बरोबर आहे की नाही, हे सुनिश्चित करणे.

प्रिंसिपल (Principle of the Test):

ट्रान्सफॉर्मरचा व्होल्टेज रेशो (V_2/ V_1) हा प्रायमरी (HV) आणि सेकंडरी (LV) वाइंडिंग्जमधील टर्न्सच्या संख्येच्या (N_1 / N_2) डायरेक्टली प्रोपोर्शनल (directly proportional) असतो.

Voltage Ratio = $\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1}$

where:

V_1 = प्रायमरी (HV) वाइंडिंगमधील व्होल्टेज (Voltage applied to primary winding)

V2 = सेकंडरी (LV) वाइंडिंगमधील व्होल्टेज (Induced voltage in secondary winding)

N1, N2= प्रायमरी (HV) आणि सेकंडरी (LV) वाइंडिंगमधील टर्न्सची संख्या (Number of turns on primary and secondary windings respectively)

सर्किट डायग्राम (Circuit Diagram):

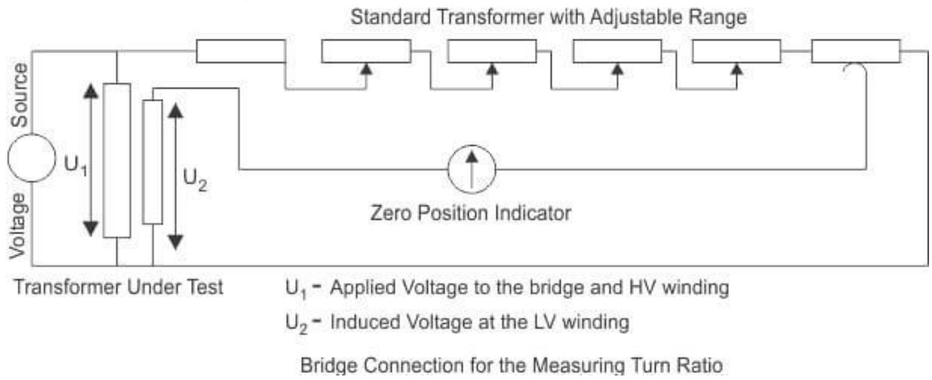


Fig 4.1: रेशो मीटर पद्धत (Measurement of Voltage Ratio by Ratio Meter)

Reference Link: https://powerofengineers.wordpress.com/2020/08/23/voltage-and-turn-ratio-test-of-transformer/

इक्विपमेंट (Equipment Required) :

a) ट्रान्सफॉर्मर रेशो मीटर (Transformer Ratio Meter) (TRM) किंवा टर्न रेशो टेस्टर (Turn Ratio Tester)
b) लो-व्होल्टेज (Low-Voltage) ए.सी. सोर्स (AC Source) (सामान्यतः 230 V, 50 Hz)
c) योग्य इन्स्युलेशन असलेले कनेक्शन लीड्स (Connection Leads)
d) मल्टिमीटर (Multimeter

टेस्ट कनेक्शन्स (Test Connections):

a) ट्रान्सफॉर्मरच्या (Transformer) एच.व्ही. टर्मिनल्स (HV Terminals) (A1–A2) ला रेशो मीटरच्या (Ratio Meter) एच.व्ही. टर्मिनल्स (HV Terminals) शी कनेक्ट (connect) करा.
b) एल.व्ही. टर्मिनल्स (LV Terminals) (a1–a2) ला रेशो मीटरच्या (Ratio Meter) एल.व्ही. टर्मिनल्स (LV Terminals) शी कनेक्ट (connect) करा.
c) पोलेरिटी (Polarity) बरोबर असल्याची खात्री करा.
d) रेशो मीटरच्या (Ratio Meter) इंटर्नल सोर्स (internal source) एच.व्ही. साईडला (HV side) कमी व्होल्टेज (low voltage) (सामान्यतः ≤ 250 V) अप्लाय करा.
e) एल.व्ही. साईड (LV side) ओपन (open) ठेवा (नो लोड कंडिशन (no load condition)).

टेस्ट प्रोसिजर (Test Procedure):

a) रेशो मीटर (Ratio Meter) वापरून ट्रान्सफॉर्मरला (Transformer) एनर्जाइज (Energize) करा.
b) रेशो मीटर (Ratio Meter) आपोआप (automatically) एल.व्ही. वाइंडिं (LV Winding) चे इंड्युस्ड व्होल्टेज (Induced Voltage) मेजर (measure) करते.

c) त्यानंतर, ते व्होल्टेज रेशो (Voltage Ratio) (V1 / V2) कम्प्यूट (compute) करते आणि डिस्प्ले (display) करते.
d) ट्रान्सफॉर्मरच्या (Transformer) सर्व टॅपिंग पोझिशन्ससाठी (जर त्यात टॅप चेंजर असेल तर) रीडिंग्ज (Readings) रेकॉर्ड (record) करा.

ऑब्झरवेशन आणि कॅलक्युलेशन (Observations and Calculation)

Let:

Rm= मेझर्ड रेशो (रेशो मीटरने मोजलेला रेशो) (Measured ratio (by ratio meter)

Rn= नेमप्लेट रेशो (Name plate ratio)

परसेंटेज (percentage) एरर (error) इन रेशो (ratio):

$$\% \text{ रेशो एरर (percentage error)} = \frac{R_m - R_n}{R_n}$$

रेशो मीटर वापरण्याचे फायदे (Advantages of Using a Ratio Meter)

a) सेफ (Safe): कमी टेस्ट व्होल्टेज (Test Voltage) वापरते.
b) ॲक्युरेट (Accurate): सामान्यतः ±0.1% ॲक्युरसी (Accuracy) असते.
c) फास्ट (Fast): डायरेक्ट डिजिटल रीडआउट (Direct Digital Readout) मिळते.
d) कन्व्हिनियंट (Convenient): हाय टेस्ट व्होल्टेज (Test Voltages) किंवा एक्सटर्नल मेजरमेंट सर्किट्स (External Measurement Circuits) ची आवश्यकता नसते.

कन्क्लुजन (Conclusion):

रेशिओ मीटर (Ratio Meter) द्वारे केलेली व्होल्टेज रेशो टेस्ट (Voltage Ratio Test) ट्रान्सफॉर्मरवर (Transformer) केली जाणारी एक रुटीन टेस्ट (Routine Test) आहे. ही टेस्ट वाईंडिंग टर्न्स रेशो (Winding Turns Ratio) आणि टॅप चेंजर (Tap Changer) परफॉर्मन्स परमिसिबल लिमिट्समध्ये (Permissible Limits) असल्याची खात्री करते. यामुळे ऑपरेशन (Operation) दरम्यान योग्य ट्रान्सफॉर्मेशन कॅरॅक्टरिस्टिक्स (Transformation Characteristics) सुनिश्चित होतात.

4.3.2 स्टँडर्ड ट्रान्सफॉर्मरने व्होल्टेज रेशोचे मेजरमेंट (Measurement of Voltage Ratio by Standard Transformer): स्टँडर्ड ट्रान्सफॉर्मर मेथड वापरून ट्रान्सफॉर्मरच्या व्होल्टेज रेशोचे अचूकपणे मेजरमेंट केले जाऊ शकते. या टेक्निकमध्ये अननोन ट्रान्सफॉर्मरला (Unknown Transformer) एका रेफरन्स ट्रान्सफॉर्मरशी (Reference Transformer) कम्पेअर (compare)केले जाते, ज्याचा व्होल्टेज रेशो (Voltage Ratio) नोन् (known) असतो.

प्रिंसिपल (Principle): ही मेथड जेव्हा फ्लक्स (Flux) कंडिशन्स (Conditions) समान असतात, तेव्हा ट्रान्सफॉर्मरचे टर्न्स रेशो हे वाईंडिंगच्या व्होल्टेज रेशो इतके असते या प्रिन्सिपलवर आहे.

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{V_2}{V_1}$$

दोन्ही ट्रान्सफॉर्मर्समध्ये इंड्युस्ड व्होल्टेजची तुलना करून, ट्रान्सफॉर्मेशनचा रेशो डिटर्मिन केला जाऊ शकतो.

अपेरटस रिक्वायर्ड (Apparatus Required):

1. स्टँडर्ड ट्रान्सफॉर्मर (Standard Transformer)
2. ट्रान्सफॉर्मर अंडर टेस्ट (Transformer Under Test)

3. ए.सी. सप्लाय (AC Supply): (व्हेरीएबल (Variable))
4. व्होल्टमीटर (Voltmeter): (ए.सी. (AC) व्होल्टेज मोजण्यासाठी)
5. नल डिटेक्टर (Null Detector) किंवा रेशो मीटर (Ratio Meter): (फाईन ॲडजस्टमेंटसाठी (fine adjustment))

सर्किट डायग्राम (Circuit Diagram)

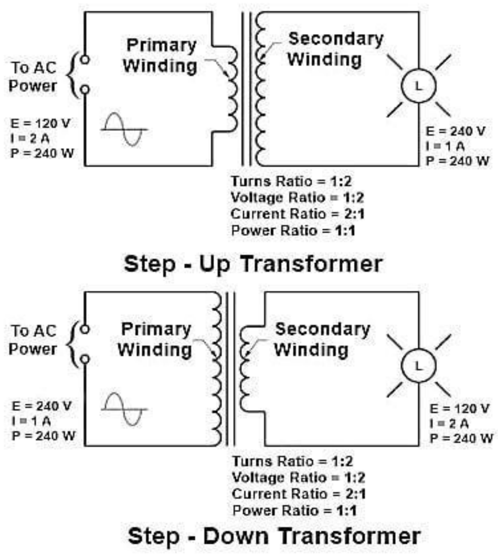


Fig 4.2: स्टॅंडर्ड ट्रान्सफॉर्मरने व्होल्टेज रेशोचे मेजरमेंट (Measurement of Voltage Ratio by Standard Transformer)

Reference Link: https://eepower.com/technical-articles/calculating-the-turns-ratio-of-a-transformer/#

प्रोसिजर (Procedure):

1. दोन्ही ट्रान्सफॉर्मर्सचे प्रायमरी वाईंडिंग्ज एकाच ए.सी. सप्लायच्या (AC Supply) पॅरलल (parallel) मध्ये कनेक्ट करा.
2. सेकंडरी वाईंडिंग्ज दोन्ही ट्रान्सफॉर्मर्सच्या सिरीज अपोझिशनमध्ये कनेक्ट) करा.
3. पोलेरिटी (Polarity) अशी ॲडजस्ट (Adjust) करा की, जेव्हा इंड्युस्ड ई.एम.एफ. (Induced EMFs) समान असतील, तेव्हा नल डिटेक्टरने (Null Detector) झीरो डिफ्लेक्शन (zero deflection) दर्शवावे.
4. जर डिटेक्टरने अनबॅलन्स दर्शविला, तर नल पॉईंट अचीव्ह होईपर्यंत सप्लाय किंवा कनेक्शन्स व्हेरी करा.
5. व्होल्टेजेस मेजर करा:

   V1s= प्रायमरी व्होल्टेज ऑफ स्टॅंडर्ड ट्रान्सफॉर्मर (primary voltage of the standard transformer)

   V2s= सेकंडरी व्होल्टेज ऑफ स्टॅंडर्ड ट्रान्सफॉर्मर (secondary voltage of the standard transformer)

   V1x= प्रायमरी व्होल्टेज ऑफ ट्रान्सफॉर्मर अंडर टेस्ट (primary voltage of the transformer under test)

V2x= सेकंडरी व्होल्टेज ऑफ ट्रान्सफॉर्मर अंडर टेस्ट (secondary voltage of the transformer under test)

कॅलक्युलेशन (Calculation): स्टँडर्ड ट्रान्सफॉर्मरचा रेशो नोन असल्यामुळे, टेस्ट ट्रान्सफॉर्मरचा व्होल्टेज रेशो ॲक्युरेटली डिटर्मिन (determine) केला जाऊ शकतो.

$$\text{व्होल्टेज रेशो (Voltage Ratio of Transformer under Test)} = \frac{V_{2x}/V_{1x}}{V_{2s}/V_{1s}}$$

फायदे (Advantages):

a) कॅलिब्रेटेड स्टँडर्डशी कम्पेरिझनमुळे (comparison) हाय ॲक्युरसी (High Accuracy) मिळते.
b) सिम्पल आणि क्विक मेथड (Quick Method) आहे.
c) दोन्ही बाजूंना हाय-प्रिसिजन व्होल्टमीटर्सची आवश्यकता एलिमिनेट (Eliminate) करते.

4.3.3 टर्न्स टेस्टिंग मेथड (Measurement of Voltage Ratio by Turn Testing Method):

ऑब्जेक्टिव्ह (Objective): टर्न्स टेस्टर (Turns Tester) किंवा टर्न्स रेशो टेस्टिंग इन्स्ट्रुमेंट (Turns Ratio Testing Instrument) वापरून ट्रान्सफॉर्मरच्या हाय-व्होल्टेज (High-Voltage - HV) आणि लो-व्होल्टेज (Low-Voltage - LV) वाइंडिंग्जमधील टर्न्स (Turns) ची संख्या निश्चित करून व्होल्टेज रेशो (Voltage Ratio) (किंवा टर्न्स रेशो (Turns Ratio)) मेजर करणे.

प्रिंसिपल (Principle): ट्रान्सफॉर्मरचा टर्न्स रेशो (Turns Ratio) हा त्याच्या व्होल्टेज रेशो (Voltage Ratio) शी प्रपोर्शनल (Proportional) असतो.

$$\text{व्होल्टेज रेशो (Voltage Ratio)} = \frac{V2}{V1} = \frac{N2}{N1}$$

Where:

V1= प्राईमरी वाइंडिंग (Primary Winding) ला अप्लाइड व्होल्टेज (Applied Voltage)
V2= सेकंडरी वाइंडिंग (Secondary Winding) मध्ये इंड्यूस व्होल्टेज (Induced Voltage)
N1= प्राईमरी वाइंडिंग (Primary Winding) मध्ये टर्न्स (Turns) ची संख्या
N2=सेकंडरी वाइंडिंग (Secondary Winding) मध्ये टर्न्स (Turns) ची संख्या

म्हणून, जर आपण (N1) आणि (N2) मोजू शकलो, तर आपण व्होल्टेज रेशो (Voltage Ratio) सहजपणे शोधू शकतो.

सर्किट डायग्राम (Circuit Diagram):

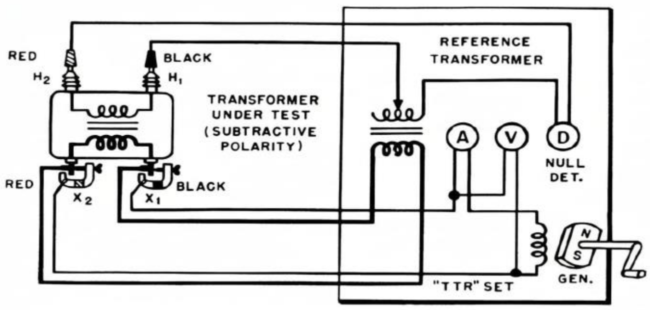


Fig 4.3: व्होल्टेज रेशो मेजरमेंट बाय टर्न्स टेस्टिंग मेथड (Measurement of Voltage Ratio by Turn Testing Method)

Reference Link: https://wiki.testguy.net/t/introduction-to-transformer-turns-ratio-testing/95

इक्विपमेंट रिक्वायर्ड (Equipment Required):

a) टर्न्स रेशो टेस्टर (Turn Ratio Tester) किंवा ट्रान्सफॉर्मर टर्न्स टेस्टिंग ब्रिज (Transformer Turn Testing Bridge)
b) लो-व्होल्टेज (Low-Voltage) AC सोर्स (AC Source) (सामान्यतः 230 V, 50 Hz)
c) व्होल्टमीटर (Voltmeter), मॅन्युअल टेस्टिंग (Manual Testing) साठी
d) कनेक्शन लीड्स (Connection Leads)

प्रोसिजर (Procedure):

a) ट्रान्सफॉर्मरच्या हाय-व्होल्टेज (High-Voltage - HV) वाइंडिंगला टर्न्स रेशो टेस्टरच्या (Turns Ratio Tester) टर्मिनल (Terminal) H1–H2 शी जोडा. लो-व्होल्टेज (Low-Voltage - LV) वाइंडिंगला टेस्टरच्या टर्मिनल X1–X2 शी जोडा.
b) टेस्टरच्या इंटरनल सोर्सचा (Internal Source) वापर करून HV वाइंडिंगला एक लो AC व्होल्टेज (AC Voltage) (सामान्यतः 10–250 V) द्या .
c) LV वाइंडिंगमध्ये (LV Winding) इंड्यूस (Induced) झालेले व्होल्टेज (Voltage) हे इन्स्ट्रुमेंटद्वारे ऑटोमॅटिकली (Automatically) मोजले जाते.
d) टेस्टर (Tester) टर्न्स रेशो (Turns Ratio) किंवा व्होल्टेज रेशो (Voltage Ratio) कॅलक्युलेट (Calculate) करतो आणि तो थेट डिस्प्लेवर (Display) दर्शवितो.
e) जर ट्रान्सफॉर्मरला टॅप चेंजर (Tap Changer) असेल, तर ही चाचणी (Test) सर्व टॅप पोझिशन्ससाठी (Tap Positions) पुन्हा करा.

कॅलक्युलेशन (Calculation):

Turns Ratio $(N_1/N_2) = \frac{V_1}{V_2}$

Percentage Error = $\frac{\text{(Measured Ratio – Nameplate Ratio)}}{\text{Nameplate Ratio}}$ X 100

फायदे (Advantages):

a) सिंपल आणि क्विक पद्धत (Simple and quick method)
b) सेफ (Safe): या टेस्टसाठी लो-व्होल्टेजचा (Low-Voltage) वापर केला जात असल्याने ती सेफ (Safe) आहे.
c) हाय ॲक्युरसी (High accuracy): या पद्धतीमध्ये ॲक्युरसी (Accuracy) खूप जास्त (High) असते (साधारणपणे ±0.1%).
d) लोडची (Load) आवश्यकता नाही:

कन्क्लुजन (**Conclusion**):

टर्न्स टेस्टिंग मेथड ट्रान्सफॉर्मरचे व्होल्टेज रेशो (Voltage Ratio) अचूकपणे निश्चित करते, कारण ही प्राईमरी (primary) आणि सेकंडरी (secondary) वाइंडिंग्जमधील (windings) टर्न्स रेशो (Turns Ratio) थेट मोजते. योग्य ट्रान्सफॉर्मेशन कॅरेक्टरिस्टिक्स (Transformation Characteristics) सुनिश्चित करण्यासाठी, ही एक रुटीन टेस्ट आहे, जी सर्व पॉवर (power) आणि डिस्ट्रिब्युशन ट्रान्सफॉर्मर्स (distribution transformers) वर केली जाते.

4.4 पोलॅरिटी टेस्ट (Polarity Test of Transformer)

ऑब्जेक्टिव्ह (Objective):

ट्रान्सफॉर्मरची पोलॅरिटी टेस्ट ही प्रायमरी आणि सेकंडरी वाइंडिंग्सच्या रिलेटिव्ह पोलॅरिटीज (Relative Polarities) म्हणजेच इन्स्टंटेनियस व्होल्टेज डायरेक्शन (Instantaneous Direction of Voltages) ठरवण्यासाठी केली जाते.

ही टेस्ट आवश्यक असते कारण ट्रान्सफॉर्मर्सना पॅरलेल ऑपरेशनमध्ये (Parallel Operation) किंवा स्कॉट कनेक्शन (Scott Connection), थ्री-फेज बँक (Three-Phase Bank) अशा विशेष कॉन्फिगरेशन्समध्ये जोडताना टर्मिनल्स योग्यरित्या ओळखले गेले नाहीत तर शॉर्ट-सर्किट (Short-Circuit) किंवा फेज-ऑपोजिशन (Phase Opposition) होऊ शकतो.

प्रिंसिपल (Principle):

जेव्हा अल्टरनेटिंग व्होल्टेज प्रायमरी वाइंडिंगला दिले जाते, तेव्हा ट्रान्सफॉर्मर प्रिन्सिपलनुसार सेकंडरी वाइंडिंगमध्ये ईएमएफ (EMF) इंड्यूस होते. जर पोलॅरिटीज अॅडिटिव्ह (Additive Polarity) असतील तर सेकंडरीमध्ये निर्माण होणारे व्होल्टेज प्रायमरीला लागू केलेल्या व्होल्टेजला "एड"(Aid) करते. पण पोलॅरिटीज सब्ट्रॅक्टिव्ह (Subtractive Polarity) असतील तर सेकंडरी व्होल्टेज प्रायमरी व्होल्टेजला "अपोज" करते (Opposes).व्होल्टेजच्या इन्स्टंटेनियस डायरेक्शनवर (Instantaneous Direction of Voltage) पोलॅरिटीचा प्रकार ठरतो:

1. अॅडिटिव्ह पोलॅरिटी (Additive Polarity) → दोन्ही व्होल्टेज इन-फेज (In Phase) → हायर रीडिंग (Higher Reading)
2. सब्ट्रॅक्टिव्ह पोलॅरिटी (Subtractive Polarity) → व्होल्टेज आउट-ऑफ-फेज (Out of Phase) → लोवर रीडिंग (Lower Reading)

इक्विपमेंट रिक्वायर्ड (Equipment Required):

a) टेस्टसाठी सिंगल-फेज ट्रान्सफॉर्मर (Single-Phase Transformer under Test)
b) AC सप्लाय (Low Voltage, Typically 230 V)
c) व्होल्टमीटर (Voltmeter – 0–250 V Range)
d) कनेक्टिंग वायर्स (Connecting Wires)

प्रोसिजर (Procedure):

a) ट्रान्सफॉर्मरला (transformer) सर्किट डायग्राममध्ये (circuit diagram) दर्शविल्याप्रमाणे जोडा.
b) प्रायमरी वाइंडिंगला (primary winding) (H1–H2) कमी एसी व्होल्टेज (low AC voltage) (जवळपास ≈230 V) द्या .
c) टर्मिनल्स (terminals) H2 आणि a2 मध्ये एक व्होल्टमीटर (voltmeter) जोडा.
d) खालील व्होल्टेजेस (voltages) नोंदवा:
   V1: प्रायमरी वाइंडिंगमधील (primary winding) व्होल्टेज (Voltage) (H1–H2 दरम्यान)
   V2: सेकंडरी वाइंडिंगमधील (secondary winding) व्होल्टेज (Voltage) (a1–a2 दरम्यान)
   V3: H1 आणि a2 दरम्यानचे व्होल्टेज (Voltage) (सिरीज एडिंग - series aiding) किंवा अपोजिंग (पोलॅरिटीनुसार - depending on polarity)

सर्किट डायग्राम (Circuit Diagram):

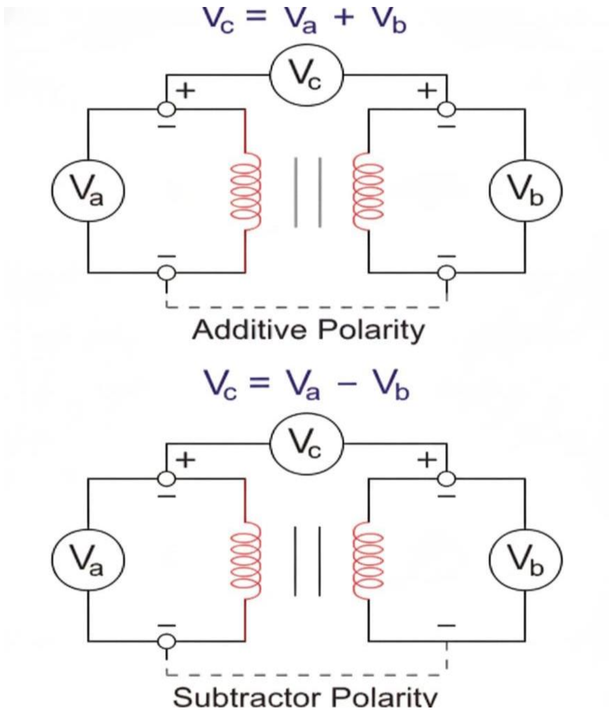


Fig 4.4: पोलॅरिटी टेस्ट (Polarity Test)

Reference Link: https://www.electrical4u.com/transformer-polarity-test/#google_vignette

ऑब्झर्वेशन आणि इंटरप्रिटेशन (Observation and Interpretation):

Table 4.5: ऑब्झर्वेशन आणि इंटरप्रिटेशन (Observation and Interpretation)

केस (Case)	कंडिशन (Condition)	(व्ही 3) (V3) चे एक्सपेक्टेड रीडिंग (Expected Reading)	पोलॅरिटीचा प्रकार (Polarity Type)
1	ॲडिटीव्ह (Additive)	V3 = V1 + V2	ॲडिटीव्ह पोलॅरिटी (Additive Polarity)
2	सबट्रॅक्टिव्ह (Subtractive)	V3 = V1 - V2	सबट्रॅक्टिव्ह पोलॅरिटी (Subtractive Polarity)

उदाहरणे (Example):

जर V1 = 230V, (V2 = 115V),:

V3 = 345V →ॲडिटीव्ह पोलॅरिटी (Additive Polarity)

V3 = 115V →सबट्रॅक्टिव्ह पोलॅरिटी (Subtractive Polarity)

पोलॅरिटी टेस्टचे इम्पोर्टन्स (Importance of Polarity Test):

a) पोलॅरिटी (Polarity) आणि फेजिंग चेक (phasing check) हा एक प्री-सर्व्हिस टेस्ट (pre-service test) आहे. ही टेस्ट ट्रान्सफॉर्मर्सच्या (transformers) इन्स्टंटेनियस व्होल्टेज रिलेशनशिप (instantaneous voltage relationship) पडताळणी करून त्यांची योग्य पॅरलल ऑपरेशन (parallel operation) सुनिश्चित करते.ही प्रक्रिया अत्यंत महत्त्वाची आहे, कारण ती शॉर्ट-सर्किट्स

(short-circuits) आणि रिव्हर्स कनेक्शन्स (reverse connections) यांना थेट एलीमिनेट करते, ज्यामुळे मोठे सर्क्युलेटिंग करंट (circulating currents) आणि इक्विपमेंट फेल्युअर (equipment failure) होणार नाही .

b) वाइंडिंगची अरेंजमेंट (winding arrangement) निश्चित करून, ही टेस्ट हाय-व्होल्टेज (H1, H2) आणि लो-व्होल्टेज (X1, X2) टर्मिनल्स (terminals) एकमेकांच्या संदर्भात योग्यरित्या ओळखण्यास मदत करते. परिणामी, हे व्हॅलिडेशन (validation) मल्टी-ट्रान्सफॉर्मर सिस्टीमसाठी (multi-transformer systems) आवश्यक आहे, जिथे ट्रान्सफॉर्मर्सनी (transformers) लोड (load) अचूकपणे शेयर करणे गरजेचे असते.

4.5 फेझिंग आउट टेस्ट (Phasing out Test):

ऑब्जेक्टिव्ह (**Objective**): दोन ट्रान्सफॉर्मर वाइंडिंग्ज (transformer windings) (किंवा दोन ट्रान्सफॉर्मर्स) एकमेकांशी इन फेज (in phase) आहेत की आऊट ऑफ फेज (out of phase) आहेत हे निश्चित करणे म्हणजेच, त्यांच्या व्होल्टेजमधील (voltages) रिलेटिव्ह फेज डिस्प्लेसमेंट (relative phase displacement) तपासणे.

थिअरी (**Theory**):

a) दोन ट्रान्सफॉर्मर वाइंडिंग्ज (transformer windings) किंवा दोन संपूर्ण ट्रान्सफॉर्मर्स (transformers) यशस्वीरित्या पॅरललमध्ये (parallel) कार्यरत होण्यासाठी, त्यांच्या सेकंडरी व्होल्टेजनी (secondary voltages) दोन महत्त्वाच्या कन्डिशन पूर्ण करणे आवश्यक आहे: त्यांचे मॅग्निट्यूड (magnitude) समान असले पाहिजेत आणि ते एकमेकांशी पूर्णपणे इन फेज (in phase) असले पाहिजेत.

b) या कन्डिशन पूर्ण करण्यात अयशस्वी झाल्यास सर्क्युलेटिंग करंट्स (circulating currents) तयार होतील. फेजिंग-आऊट टेस्ट (phasing-out test) ही या फेज रिलेशनशिप (phase relationship) पडताळणी करण्यासाठी तयार केलेली एक महत्त्वपूर्ण कमिशनिंग प्रोसिजर (commissioning procedure) आहे. ही टेस्ट दोन सेकंडरी सर्किट्सना (secondary circuits) तात्पुरते एकत्र जोडून आणि नंतर त्यांच्या ओपन एन्ड्स मधील (open ends) व्होल्टेज (voltage) मोजून केली जाते.

c) जर या ओपन टर्मिनल्समध्ये (terminals) मोजलेले व्होल्टेज झिरो (zero) (किंवा झिरोच्या जवळ) असेल, तर सेकंडरी व्होल्टेजेस (secondary voltages) इन फेज (in phase) आहेत; जास्त व्होल्टेज रिडिंग (voltage reading) ही आऊट-ऑफ-फेज (out-of-phase) किंवा रिव्हर्स कनेक्शन (reverse connection) दर्शवते.

प्रोसिजर (Procedure):

1. दोन्ही ट्रान्सफॉर्मरच्या प्रायमरीज् पॅरललमध्ये (parallel) जोडा आणि ऑटो-ट्रान्सफॉर्मरमधून कमी एसी व्होल्टेज (low AC voltage) द्या.
2. फेजिंग टेस्ट डायग्रामनुसार सेकंडरी वाइंडिंग्ज जोडा.प्रत्येक सेकंडरीचे (secondary) एक टर्मिनल (terminal) एकत्र जोडा.
3. उर्वरित दोन ओपन सेकंडरी टर्मिनल्समधील व्होल्टेज (voltage) व्होल्टमीटरने (voltmeter) मोजा.
4. ऑब्झर्व आणि नोट (Observe and Note)
   a) जर व्होल्टमीटरने झिरो (किंवा खूप कमी व्होल्टेज - very low voltage) रिडिंग दाखवले
   → इन फेज (In phase) (योग्य पोलॅरिटी - correct polarity)

b) जर व्होल्टमीटरने (voltmeter) सेकंडरी व्होल्टेजच्या दुप्पट (twice the secondary voltage) रिडिंग (reads) दाखवले → आऊट ऑफ फेज (Out of phase) (रिव्हर्स कनेक्शन - reverse connection)

सर्किट डायग्राम (Circuit Diagram):

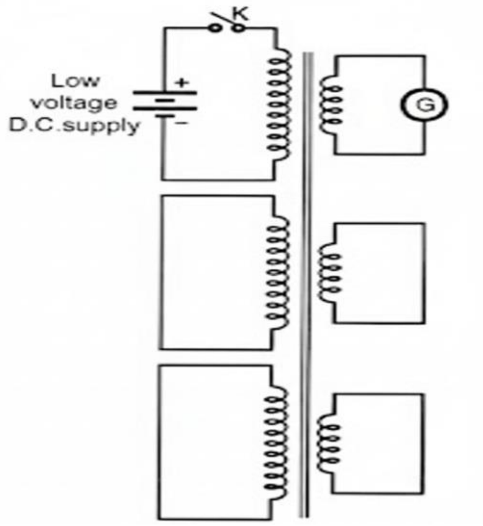


Fig 4.5: फेझिंग आउट टेस्ट (Phasing out Test)

Reference Link: https://deepakkumaryadav.in/phasing-out-test-carried-out-on-transformer/

कन्क्लुजन (**Conclusion**): वरील टेस्टमुळे दोन ट्रान्सफॉर्मर वाइंडिंग्जमधील फेज रिलेशनशिप निश्चित केला जातो. जेव्हा व्होल्टमीटरचे रिडिंग झिरो (zero) येते, तेव्हा दोन्ही वाइंडिंग्ज इन फेज असतात आणि त्यांना पॅरललमध्ये सुरक्षितपणे जोडले जाऊ शकते.

4.6 बॅक टू बॅक टेस्ट (Back to Back Test):

ऑब्जेक्टिव्ह (Objective):

प्रत्यक्षात फुल-लोड (full-load) न करता, दोन सारख्या सिंगल-फेज ट्रान्सफॉर्मर्सची (identical single-phase transformers) इफिशियन्सी (efficiency) आणि टेम्परेचर राइज (temperature rise) फुल-लोड परिस्थितींमध्ये निश्चित करणे.

थिअरी (**Theory**):

बॅक-टू-बॅक टेस्ट (Back-to-Back Test), ज्याला संम्पनर टेस्ट (Sumpner's Test) म्हणूनही ओळखले जाते, ती सोर्समधून (source) फुल-लोड पॉवर (full-load power) न देता ट्रान्सफॉर्मरचे (transformer) खालील पॅरामीटर्स (parameters) निश्चित करण्यासाठी वापरली जाते:

a) आयर्न लॉसेस (Iron losses) (कोअर लॉसेस - core losses)
b) कॉपर लॉसेस (Copper losses)
c) इफिशियन्सी (Efficiency)
d) टेम्परेचर राइज (Temperature rise)

यामध्ये दोन आयडेन्टिकल ट्रान्सफॉर्मर्स (identical transformers) अशा प्रकारे जोडले जातात की, एक लोडेड ट्रान्सफॉर्मर (loaded transformer) म्हणून वर्क करतो आणि दुसरा सर्क्युलेटिंग करंट

(circulating current) पुरवतो. सप्लायमधून (supply) फक्त लॉसेस (losses) साठी पावर कंझ्युम केली जाते, ज्यामुळे ही टेस्ट खूप इकॉनॉमिकल (economical) ठरते.

सर्किट डायग्राम (Circuit Diagram):

सर्किटमध्ये (circuit) खालील गोष्टींचा समावेश होतो:

a) दोन्ही ट्रान्सफॉर्मर्सचे प्रायमरीज् (Primaries of both transformers) सप्लायला (supply) पॅरललमध्ये (parallel) जोडलेले असतात.
b) सेकंडरीज् (Secondaries) सिरीज अपोजिशनमध्ये (series opposition) जोडलेले असतात.
c) एक वॉटमीटर (wattmeter) आयर्न लॉस (iron loss) आणि दुसरा वॉटमीटर कॉपर लॉस (copper loss) मेजर करतो .

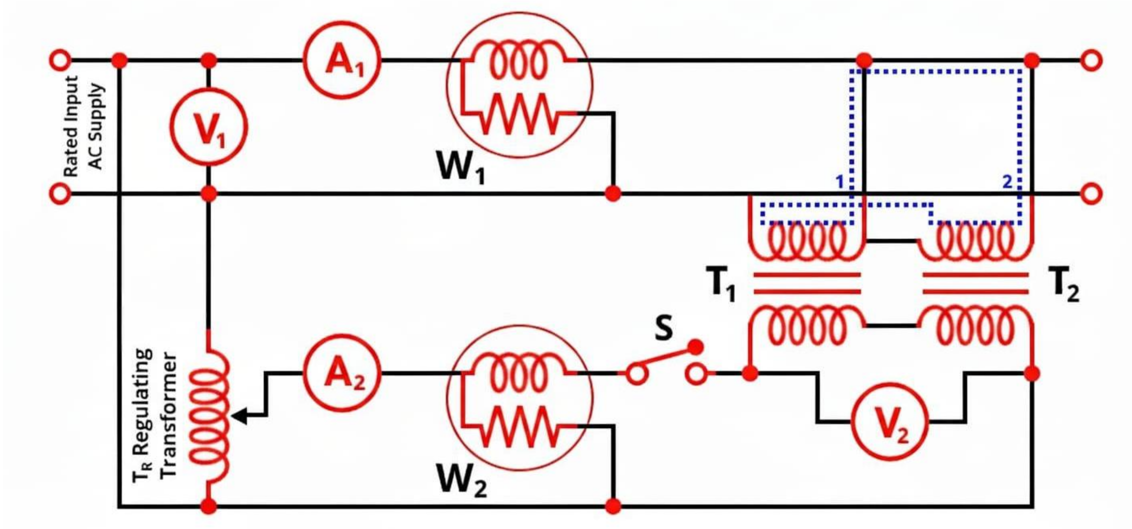


Fig 4.6: बॅक टू बॅक टेस्ट (Back to Back Test)

Reference Link: https://www.electricaltechnology.org/2022/02/sumpners-test-back-to-back-test-transformer.html#google_vignette

प्रिकॉशन्स (Precautions)

a) समान रेटिंगचे (same ratings) सारखे ट्रान्सफॉर्मर्स (identical transformers) वापरा.
b) सेकंडरीज् (secondaries) अपोजिशनमध्ये (opposition) जोडताना योग्य पोलॅरिटीची (polarity) खात्री करा.
c) ओव्हर-फ्लक्सिंग (over-fluxing) टाळण्यासाठी रेटेड व्होल्टेज (rated voltage) काळजीपूर्वक द्या.
d) ऑटो-ट्रान्सफॉर्मरने (auto-transformer) सेकंडरी करंट (secondary circulating current) हळू हळू वाढवा.

फायदे (Advantages):

a) प्रत्यक्ष लोडची (actual load) आवश्यकता नाही → त्यामुळे इकॉनॉमिकल (economical).
b) आयर्न (iron) आणि कॉपर लॉसेस (copper losses) दोन्ही एकाच वेळी मोजता येतात.
c) फुल-लोड कन्डिशनमध्येही (full-load conditions) टेम्परेचर राइज टेस्ट (temperature rise test) करणे शक्य होते.

कन्क्लुजन (Conclusion): बॅक-टू-बॅक (Back-to-Back) टेस्टमधून (Test), ट्रान्सफॉर्मर्सवर (transformers) लोड (loading) न देता त्यांचे आयर्न लॉस (iron loss), कॉपर लॉस (copper loss),

आणि इफिशियन्सी (efficiency) निश्चित केली जाते. ही पद्धत आयडेन्टिकल ट्रान्सफॉर्मर्सच्या (identical transformers) परफॉर्मन्स टेस्टिंग साठी (performance testing) अत्यंत ॲक्युरेट (accurate) आणि इफिशियंट (efficient) आहे.

4.7 सिंगल-फेज आणि थ्री-फेज ट्रान्सफॉर्मरचा ट्रबल-शूटिंग चार्ट (Trouble-Shooting Chart for Single Phase and Three Phase Transformers):

A. सिंगल-फेज आणि थ्री-फेज ट्रान्सफॉर्मर (Single Phase Transformer):

Table 4.6: सिंगल-फेज ट्रान्सफॉर्मर ट्रबल -शूटिंग चार्ट (Trouble-Shooting Chart for Single Phase Transformers)

Sr. No.	ट्रबल/फॉल्ट (Trouble / Fault)	प्रॉबेबल कॉज (Probable Cause)	इफेक्ट/ इंडीकेशन (Effect / Indication)	रेमेडी / करेक्टिव्ह ॲक्शन (Remedy / Corrective Action)
1	ट्रान्सफॉर्मर आउटपुट व्होल्टेज देत नाही (No Output Voltage)	प्रायमरी/सेकंडरी वाइंडिंगमध्ये ओपन सर्किट (Open Circuit in Winding)	आउटपुट झिरो (No Output)	वाइंडिंग कंटिन्युइटी मल्टिमीटरने चेक करा (Check Continuity with Multimeter), रिपेअर/रिप्लेस करा
2	ट्रान्सफॉर्मर खूप हमिंग करतो (Excessive Humming)	लूज लेमिनेशन्स किंवा मेकॅनिकल व्हायब्रेशन (Loose Laminations / Mechanical Vibration)	नॉईज आणि व्हायब्रेशन (Noise & Vibration)	बोल्ट्स टाईटन करा (Tighten Bolts), कोर वार्निश करा (Varnish Core), डॅम्पिंग पॅड्स लावा (Add Damping Pads)
3	ट्रान्सफॉर्मर ओव्हरहिट होतो (Overheating)	ओव्हरलोडिंग किंवा शॉर्टेड टर्न्स (Overloading / Shorted Turns)	जास्त टेम्परेचर, इन्स्युलेशनचा वास (High Temperature, Insulation Smell)	ओव्हरलोड कमी करा, इन्स्युलेशन तपासा (Check Insulation), वाइंडिंग रिपेअर करा
4	आउटपुट व्होल्टेज कमी येतो (Low Output Voltage)	शॉर्टेड टर्न्स किंवा पूअर कनेक्शन्स (Shorted Turns / Poor Connections)	सेकंडरी व्होल्टेज ड्रॉप (Voltage Drop)	वाइंडिंग रेसिस्टन्स तपासा (Check Winding Resistance), कनेक्शन्स चेक करा
5	सप्लाय दिल्यावर फ्यूज ब्लोन होतो (Fuse Blows When Energized)	वाइंडिंगमध्ये शॉर्ट सर्किट किंवा इन्स्युलेशन फेल (Short Circuit / Insulation Failure)	फ्यूज लगेच ब्लोन होतो (Immediate Fuse Blowing)	इन्स्युलेशन तपासा (Inspect Insulation), मेगर टेस्ट करा (Test with Megger), रिपेअर/रिप्लेस करा
6	ऑइल लीक (ऑइल-फिल्ड टाईप) (Oil Leakage – Oil-Filled Transformer)	लूज गॅस्केट किंवा टँक क्रॅक (Loose Gasket / Cracked Tank)	ऑइल लेव्हल कमी, फ्लॅशओव्हर रिस्क (Low Oil Level, Flashover Risk)	गॅस्केट बदला (Replace Gasket), टँक वेल्ड करा (Weld Tank), क्लीन ऑइल रिफिल करा

Sr. No.	ट्रबल/फॉल्ट (Trouble / Fault)	प्रॉबेबल कॉज (Probable Cause)	इफेक्ट/ इंडीकेशन (Effect / Indication)	रेमेडी / करेक्टिव्ह ॲक्शन (Remedy / Corrective Action)
7	हाय नो-लोड करंट (High No-Load Current)	शॉर्टेड टर्न्स किंवा मॅग्नेटिक सॅच्युरेशन (Shorted Turns / Magnetic Saturation)	नो-लोडवर हाय इनपुट करंट (High Input Current at No-Load)	वाइंडिंग रेसिस्टन्स आणि कोर कंडिशन तपासा (Check Winding & Core Condition)
8	बर्निंग स्मेल किंवा स्मोक (Burning Smell or Smoke)	इंटरनल वाइंडिंग फॉल्ट (Internal Winding Fault)	इन्स्युलेशन ब्रेकडाउन (Insulation Breakdown)	त्वरित डिस्कनेक्ट करा (Disconnect Immediately), इंटरनल इन्स्पेक्शन करा (Inspect Internally)

B. थ्री-फेज ट्रान्सफॉर्मर (Three Phase Transformers):

ट्रान्सफॉर्मर्स इलेक्ट्रिकल पॉवर सिस्टिम्स मध्ये क्रुशियल (crucial) रोल (role) प्ले (play) करत असून इफिशियंट व्होल्टेज ट्रान्सफॉर्मेशन आणि रिलायबल पॉवर डिस्ट्रीब्युशन एनेबल (enable) करतात. त्यांचा परफॉर्मन्स मेंटेन करण्यासाठी आणि फेल्युर्स प्रिव्हेंट (prevent) करण्यासाठी रेग्युलर इन्स्पेक्शन आणि मेंटेनन्स एसेंशियल (essential) असतो.

Table 4.7: थ्री-फेज ट्रान्सफॉर्मर ट्रबल-शूटिंग चार्ट (Trouble-Shooting Chart for Three Phase Transformers)

Sr. No.	ट्रबल/फॉल्ट (Trouble / Fault)	प्रॉबेबल कॉज (Probable Cause)	इफेक्ट/ इंडीकेशन (Effect / Indication)	रेमेडी / करेक्टिव्ह ॲक्शन (Remedy / Corrective Action)
1	थ्री-फेजमध्ये अनइक्वल लोड करंट (Unequal Load Current)	अनइक्वल लोड किंवा एका फेजमध्ये ओपन सर्किट	अनबॅलन्स्ड ऑपरेशन, हीटिंग	लोड बॅलन्स करा किंवा ओपन फेज रिपेअर करा
2	सेकंडरीमध्ये एका फेजचा व्होल्टेज मिसिंग	एका फेजच्या वाइंडिंगमध्ये ओपन सर्किट	एक लाईन सप्लाय मिसिंग	कंटिन्युइटी चेक करा, री-कनेक्ट किंवा रिवाइंड करा
3	नॉर्मल लोडवर ट्रान्सफॉर्मर ओव्हरहिट	पूअर व्हेंटिलेशन किंवा ओव्हरफ्लक्सिंग	टेम्परेचरमध्ये वाढ	कूलिंग सुधारा किंवा व्होल्टेज/फ्रिक्वेन्सी रेशो तपासा
4	ऑइल बबलिंग	मॉइश्चर किंवा इंटरनल फॉल्ट	इन्स्युलेशन ब्रेकडाउनची रिस्क	ऑइल फिल्टर करा, ड्राय करा आणि इन्स्युलेशन टेस्ट करा

Sr. No.	ट्रबल/फॉल्ट (Trouble / Fault)	प्रॉबेबल कॉज (Probable Cause)	इफेक्ट/ इंडीकेशन (Effect / Indication)	रेमेडी / करेक्टिव्ह ॲक्शन (Remedy / Corrective Action)
5	हाई व्हायब्रेशन आणि नॉईज	लूज कोर, टँक किंवा फॉल्टी माउंटिंग	ऑडिबल हम	सर्व मेकॅनिकल पार्ट्स आणि बोल्ट्स टाईटन करा
6	बकोल्ज रिले ट्रिपिंग (Buchholz Relay Tripping)	इंटरनल फॉल्टमुळे गॅस फॉर्मेशन	ट्रान्सफॉर्मर ट्रिप होतो	गॅस इन्स्पेक्ट करा, ट्रान्सफॉर्मर आयसोलेट करा आणि वाइंडिंग्ज टेस्ट करा
7	लो इन्स्युलेशन रेसिस्टन्स (Low IR)	मॉइश्चर इनग्रेस किंवा ओल्ड इन्स्युलेशन	फ्लॅशओव्हरचा धोका	वाइंडिंग्स ड्राय करा, इन्स्युलेशन/ऑइल बदला
8	बॉडीला लीकेज करंट किंवा आर्किंग	डॅमेज्ड इन्स्युलेशन किंवा मॉइश्चर	इलेक्ट्रिक शॉक हॅझर्ड	प्रॉपर अर्थिंग द्या, ट्रान्सफॉर्मर ड्राय व री-इन्स्युलेट करा
9	3-फेज आऊटपुटमध्ये अनइक्वल व्होल्टेज	टॅप चेंजर डिफेक्ट किंवा पर्शिअल शॉर्ट	व्होल्टेज इंबॅलन्स	टॅप चेंजर कॉन्टॅक्ट्स तपासा, कनेक्शन्स करेक्ट करा
10	मेंटेनन्सनंतर ट्रान्सफॉर्मर स्टार्ट होत नाही	रॉंग फेज कनेक्शन किंवा पोलॅरिटी एरर	ट्रिपिंग किंवा आउटपुट नाही	फेज सिक्वेन्स आणि पोलॅरिटी व्हेरिफाय करून एनर्जाइज करा

4.8 फाऊंडेशन्स: रिक्वायरमेंट्स फॉर स्टॅटिक मशीन फाऊंडेशन्स, IS 10028 पार्ट 2 नुसार फॅक्टर्स (Foundations: Requirements for Static Machine Foundations, Factors Governing Them as per IS 10028 Part 2):

4.8.1 स्टॅटिक मशीन फाऊंडेशन्सचे रिक्वायरमेंट्स (Requirements for Static Machine Foundations):

स्टॅटिक मशीन्सना (static machines) (उदा. ट्रान्सफॉर्मर, स्टॅटिक इक्विपमेंट(static equipment)) आधार देणाऱ्या फाउंडेशनसाठी (foundations) काही प्रमुख डिझाइन (design)/इन्स्टॉलेशन (installation) रिक्वायरमेंट्स मध्ये खालील मुद्यांचा समावेश होतो:

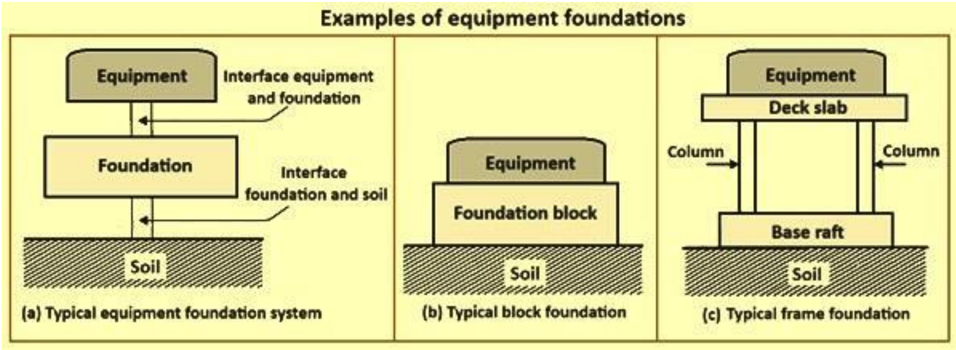


Fig 4.7: स्टॅटिक मशीन फाऊंडेशन्स उदाहरणे (Static Machine Foundation Examples)

1. फाउंडेशनने (Foundation) सर्व ॲप्लाइड लोड (applied loads) (डेड (dead), लाइव्ह (live), इक्विपमेंटचे स्टॅटिक लोड (static loads of equipment)) बेअरिंग (Bearing), शिअर (Shear) सेफली कॅरी केले पाहिजे.
2. फाउंडेशनने (Foundation) हे सुनिश्चित केले पाहिजे की इक्विपमेंट (equipment) योग्य पोझिशन (position), लेव्हल (level) आणि अलाइनमेंटमध्ये (alignment) बसले आहे (विशेषतः प्रिसीजन मशीन्ससाठी (precision machines) महत्त्वाचे).
3. फाउंडेशन (Foundation) शेजारच्या फाउंडेशन्स (adjoining foundations), फ्लोअर स्लॅब (floor slabs), किंवा बिल्डिंग स्ट्रक्चरल एलिमेंट्सपासून (building structural elements) स्वतंत्र (independent) / वेगळे (separated) असले पाहिजे जेणेकरून व्हायब्रेशन (vibration) किंवा लोडचे ट्रान्समिशन (transmission of vibration or load) टाळता येईल. उदाहरणार्थ, इक्विपमेंट फाउंडेशन्सना (equipment foundations) अनेकदा जॉईंट्स (joints) वापरून बिल्डिंग स्लॅबपासून (building slabs) वेगळे केले जाते.
4. फाउंडेशनखालील (beneath the foundation) सॉइल बेअरिंग (soil bearing) कॅपॅसिटी पुरेशी असली पाहिजे; ॲलोएबल स्ट्रेस (allowable stress) / बेअरिंग प्रेशर (bearing pressure) क्रॉस केले जाऊ नये.
5. फाउंडेशन (Foundation) तयार करत असताना एन्व्हायर्नमेंटल कंडिशन्स चा (environmental conditions) विचार केला पाहिजे — उदा. ग्राउंडवॉटर लेव्हल (groundwater level), मॉइस्चर (moisture), ऑइल (oil) / केमिकल्सची (chemicals) उपस्थिती, कॉन्टॅमिनेशनपासून (contamination) संरक्षण.
6. स्टॅटिक मशीन्ससाठी (static machines)व्हायब्रेशन आयसोलेशन (vibration isolation) / विचार करणे आवश्यक आहे, विशेषतः जर मशीन (machine) किंवा इक्विपमेंट (equipment) लोड (loads) किंवा व्हायब्रेशन्स (vibrations) प्रोड्यूस करत असेल.
7. फाउंडेशनमध्ये (Foundations) योग्य अँकरिंग (anchoring), लेव्हलिंग प्लेट्स (leveling plates), आणि ग्राउटिंग (grouting) (विशेषत: स्टॅटिक इक्विपमेंट इन्स्टॉलेशनसाठी) समाविष्ट असले पाहिजे. इन्स्टॉलेशन प्रक्रियेने (Installation procedure) बेस प्लेट ग्राउटिंग (base plate grouting), लेव्हलिंग (levelling), अँकर बोल्ट्स (anchor bolts), शिम्स (shims) इत्यादी सुनिश्चित केले पाहिजे.

8. पुरेसे डॉक्युमेंटेशन (documentation): फाउंडेशन ड्रॉईंग्सने (foundation drawings) एलिव्हेशन लेव्हल्स (elevation levels) (उदा. इक्झिस्टिंग ग्राउंड लेव्हल - EGL, फिनिश्ड ग्राउंड लेव्हल - FGL), इक्विपमेंटचे स्थान (location of equipment), ॲक्सेस (access), वेंटिलेटिंग व्यवस्था (ventilating arrangements), केबल ट्रेंचेस (cable trenches), संप्स (sumps) इत्यादी ट्रान्सफॉर्मर (transformer) / इक्विपमेंट इन्स्टॉलेशनमध्ये (equipment installation) आवश्यकतेनुसार दर्शविल्या पाहिजेत.

4.8.2 फॅक्टर्स गव्हर्निंग द डिझाइन ऑफ फाउंडेशन्स फॉर स्टॅटिक मशिन्स (Factors Governing the Design of Foundations for Static Machines):

स्टॅटिक मशीन्सच्या (static machines) फाउंडेशनच्या डिझाइनसाठी (design of foundations) आवश्यक असलेले काही प्रमुख गव्हर्निंग फॅक्टर्स (governing factors) खालीलप्रमाणे आहेत:

1. लोड कॅरेक्टरिस्टिक्स (Load characteristics) – इक्विपमेंटचे (equipment) स्टॅटिक वजन (static weight), कोणतेही इसेट्रिक लोड (eccentric loads), पायपिंग (piping) किंवा अटॅचमेंट्समुळे (attachments) होणारे मोमेंट्स (moments), ॲन्सिलरी लोड (ancillary loads). फाउंडेशनने (foundation) हे लोड (loads) ओव्हर-स्ट्रेस (over-stress) किंवा एक्सेसिव्ह सेटलमेंटशिवाय (excessive settlement) सॉइल मध्ये (soil) ट्रान्स्फर केले पाहिजेत.
2. सेटलमेंट आणि डिफरेंशियल सेटलमेंट (Settlement and differential settlement) – स्टॅटिक मशीन्सना (static machines) अनेकदा प्रिसिजन अलाइनमेंटची (precision alignment) आवश्यकता असल्यामुळे, डिफरेंशियल सेटलमेंट (differential settlement) कमीत कमी असणे आवश्यक आहे, जेणेकरून अलाइनमेंट (alignment) किंवा स्ट्रक्चरल डिस्टॉर्शन (structural distortion) होणार नाही.
3. व्हायब्रेशन/रेझोनन्स (Vibration/Resonance) स्ट्रेस: स्टॅटिक मशीन्समध्येही (static machines) काही व्हायब्रेशन (vibration) असू शकते (उदाहरणार्थ, अटॅचमेंट्स (attachments) किंवा आयडल मोटर्समुळे - idle motors). जर कोणतेही डायनॅमिक लोड (dynamic loads) किंवा लहान हालचाली असतील, तर फाउंडेशनच्या नॅचरल फ्रीक्वेन्सीने (foundation's natural frequency) रेझोनंट कंडिशन्स (resonant conditions) टाळल्या पाहिजेत.
4. इतर स्ट्रक्चर्सपासून आयसोलेशन (Isolation from other structures): व्हायब्रेशन (vibration), आवाज (noise), किंवा लोडचे (loads) इक्विपमेंट फाउंडेशनमधून (equipment foundation) शेजारच्या स्ट्रक्चर्समध्ये (structures) ट्रान्समिशन (transmission) टाळण्यासाठी आयसोलेशन जॉईंट्स (isolation joints) आणि वेगळी फाउंडेशन्स (separate foundations) वापरली जातात.
5. इन्स्टॉलेशन आणि अलाइनमेंट टॉलरन्स (Installation and alignment tolerance): स्टॅटिक इक्विपमेंटला (static equipment) अनेकदा निश्चित अलाइनमेंटची (alignment) आवश्यकता असल्यामुळे, फाउंडेशनने (foundation) अँकर बोल्ट प्लेसमेंट (anchor bolt placement), लेव्हलिंग (leveling), शिमिंग (shimming), ग्राउट थिकनेस (grout thickness) साठी परमिशन दिली पाहिजे आणि मशीन बेस प्लेट (machine base plate) लेव्हल (level) आणि प्लंब (plumb) असल्याची खात्री केली पाहिजे.
6. अँकरेज, बेस प्लेट आणि ग्राउटिंग (Anchorage, base plate & grouting) – बेस प्लेट (base plate) योग्यरित्या अँकर (anchored) केलेली असावी, आवश्यकतेनुसार शिम्स (shims) घातलेल्या

असाव्यात आणि लोड (loads) समान रीतीने ट्रान्स्फर करण्यासाठी बेस प्लेटखाली (beneath base plate) ग्राउट (grout) भरलेला असावा.

7. कोड आणि स्टँडर्ड कम्प्लायन्स (Code and standard compliance):फाउंडेशनचे डिझाइन (Foundations must be designed) आणि निर्माण (construct) संबंधित भारतीय स्टँडर्ड नुसार (relevant Indian Standards) (उदा. मशीन फाउंडेशन्ससाठी - IS 2974) आणि ट्रान्सफॉर्मर इक्विपमेंट फाउंडेशन्ससाठी (ट्रान्सफॉर्मरच्या इन्स्टॉलेशनच्या - IS 10028 Part 2) नुसार केले जावे.

***

स्वाध्याय (Exercise):

1. ट्रान्सफॉर्मर चे रूटीन, टाईप, सप्लिमेन्टरी, स्पेशल टेस्ट्स आणि आय.एस. (IS) 2026-1981 नुसार ट्रान्सफॉर्मर टर्मिनल्स चे नोमेन्क्लेचर लिस्ट (List) करा.
   (List the Routine, type, supplementary, special tests of transformers, nomenclature of transformer terminals as per IS 2026-1981.)
2. नीट सर्किट डायग्राम सहित पोलॅरिटी टेस्ट) एक्स्प्लेन करा.
   (Explain Polarity test with neat Circuit Diagram.)
3. नीट सर्किट डायग्राम सहित फेझिंग आऊट टेस्ट एक्स्प्लेन करा.
   (Explain Phasing out test with neat Circuit Diagram.)
4. नीट सर्किट डायग्राम सहित बॅक टू बॅक टेस्ट करा.
   (Explain Back to Back test with neat Circuit Diagram.)
5. ट्रान्सफॉर्मर इंस्टॉलेशन च्या फाउंडेशनच्या रिक्वायरमेंट्स स्टेट करा.
   (State the requirements of foundation of a transformer installation.)
6. सिंगल फेज ट्रान्सफॉर्मर साठी ट्रबल-शूटिंग चार्ट प्रिपेअर करा.
   (Prepare a trouble-shooting chart for single phase transformers.)
7. थ्री फेज ट्रान्सफॉर्मर साठी ट्रबल-शूटिंग चार्ट प्रिपेअर करा.
   (Prepare a trouble-shooting chart for three phase transformers.)

Suggested Learning Materials / Books

Sr.No	Title	Author	Publisher with ISBN Number
1	Electrical Power Equipment Maintenance and Testing (2nd Edition).	Paul Gill	CRC Press / Taylor & Francis ISBN-13: 978-1574446562 ([Routledge][1])
2	Maintenance of Electrical Equipment	S. M. Chaudhari	Tech Knowledge Publications ISBN-13: 978-93-89684-68-1 ([techknowledgebooks.com][2])
3	Fundamentals of Maintenance of Electrical Equipments	K. B. Bhatia	Khanna Publishers ISBN-13: 978-93-87394-31-5 ([khannapublishers.in][3])

Learning Websites & Portals:

Sr.No	Link / Portal	Description
1	IS 10028-3: Code of practice for selection, installation and maintenance of transformers, Part 3: Maintenance (1981)	Recommended maintenance schedules: transformers (IS 10028, part III – 1981)
2	IS 10028-2: Code of practice for selection, installation and maintenance of transformers; Part 2 Installation (1981)	Foundations: requirements for static machine foundations, factors governing them as per IS 10028 part 2.
3	IS 2026 (Part 1) Specification for Power Transformers - General	Routine, type, supplementary, special tests of transformers, nomenclature of transformer terminals as per IS 2026-1981.
4	Testing of Transformer	Type Tests, Routine Tests and Special Tests of Transformer	Measurement of voltage ratio by ratio meter, standard transformer, turn testing method.Polarity test.Phasing out test.Back to Back test.

युनिट – 5
टेस्टिंग अँड रिकंडिशनिंग ऑफ इलेक्ट्रिकल मशीन इन्सुलेशन
(Testing and Reconditioning of Electrical Machine Insulation)

विषय निष्पत्ती (Course Level Learning Outcomes):

CO5 - इलेक्ट्रिकल इक्विपमेंट चे इन्सुलेशन सिस्टिम मेंटेन करा.

(Maintain insulation systems of electrical equipment.)

घटक निष्पत्ती (Theory Learning Outcomes):

1. आय.एस. कोड ऑफ प्रॅक्टिस नुसार इलेक्ट्रिकल इक्विपमेंट साठी इन्सुलेशन मटेरिअल क्लॅसिफाय करा.

   (Classify the insulation material for electrical equipment as per IS code of practice.)
2. इन्सुलेटिंग मटेरिअलच्या लाईफ वर अ‍ॅफेक्ट करणारे फॅक्टर्स सांगा.

   (State the factors affecting the life of insulating material.)
3. डिफरंट मेथड्स ने इन्सुलेशन रेसिस्टन्सचे मेजरमेंट करण्यासाठी अ‍ॅडॉप्ट करावयाच्या प्रोसीजरल स्टेप्स डिस्क्राईब करा.

   (Describe the procedural steps to be adopted for measurement of insulation resistance by different methods.)
4. ट्रान्सफॉर्मर ऑइलच्या डिफरंट प्रॉपर्टीज आणि कॉन्टॅमिनेटिंग एजंट्स सांगा.

   (State the different properties and contaminating agents of transformer oil.)
5. ट्रान्सफॉर्मर ऑइलच्या टेस्टिंग साठी आय.एस. कोड ऑफ प्रॅक्टिस नुसार फॉलो करावयाच्या प्रोसीजरल स्टेप्स डिस्क्राईब करा.

   (Describe the procedural steps to be followed as per IS code of practice for testing of transformer oil.)
6. ट्रान्सफॉर्मर ऑइलच्या प्युरिफिकेशन आणि क्लिनिंगच्या व्हेरियस मेथड्स तसेच ट्रान्सफॉर्मर वाइंडिंग्स चे ड्रायिंग आणि री-वार्निशिंग डिस्क्राईब करा.

   (Describe the various methods of purification, cleaning of transformer oil and drying and re-varnishing of transformer windings.)
7. स्पेसिफाइड इलेक्ट्रिकल मशीनसाठी सॅम्पल हिस्ट्री शीट प्रिपेअर करा.

   (Prepare the sample history sheet for the specified electrical machine.)\

परिचय (Introduction): इलेक्ट्रिकल मशीन जसे की ट्रान्सफॉर्मर्स, मोटर्स आणि जनरेटर्स यांचे रिलायबल आणि सेफ ऑपरेशन हे प्रामुख्याने त्यांच्या इन्सुलेशन सिस्टीम (Insulation System) च्या कंडिशन (Condition) वर अवलंबून असते. इन्सुलेशन (Insulation) हे असे मटेरिअल (Material) आहे जे कंडक्टिंग पार्ट्स यांना वेगळे ठेवते आणि अनवॉन्टेड करंट फ्लो होण्यापासून प्रतिबंधित करते, ज्यामुळे ऑपरेशन दरम्यान इलेक्ट्रिकल (Electrical), मेकॅनिकल (Mechanical) आणि थर्मल स्टॅबिलिटी (Thermal Stability) सुनिश्चित होते. कालांतराने इलेक्ट्रिकल स्ट्रेसेस (Electrical Stresses), थर्मल एजिंग (Thermal Ageing), मेकॅनिकल व्हायब्रेशन (Mechanical Vibration), कॉन्टॅमिनेशन (Contamination) आणि मॉइश्चर अ‍ॅब्झॉर्प्शन (Moisture Absorption) यांसारख्या कारणांमुळे इन्सुलेटिंग मटेरिअल्सची क्वालिटी कमी होऊ लागते आणि त्यांची डायलेक्ट्रिक स्ट्रेंथ कमी होते. ही डिग्रेडेशन (Degradation) वेळेत ओळखली आणि सुधारली नाही, तर फेल्युअर्स , शॉर्ट सर्किट्स (Short

Circuits) किंवा अगदी कॅटॅस्ट्रॉफिक ब्रेकडाउन्स (Catastrophic Breakdowns) सारख्या रिस्क निर्माण होऊ शकतात.
म्हणूनच टेस्टिंग आणि रिकंडिशनिंग (Testing and Reconditioning) हे इलेक्ट्रिकल इंजिनिअरिंग मधील प्रिव्हेंटिव मेंटेनन्स (Preventive Maintenance) प्रॅक्टिसेसचा महत्वाचा भाग आहेत. इन्सुलेशन मेंटेनन्स (Insulation Maintenance) साठी सिस्टेमॅटिक अ‍ॅप्रोच फॉलो केल्यास इक्विपमेंट रिलायबिलिटी वाढतेच, तसेच सेफ्टी (Safety) सुनिश्चित होते, डाऊनटाइम (Downtime) कमी होते आणि ओव्हरऑल कॉस्ट ऑफ ऑपरेशन कमी होते.

5.1 इन्सुलेटिंग मटेरियल्सचे क्लासिफिकेशन (Classification of insulating materials as per IS 8504- 1994):

Table 5.1: क्लासिफिकेशन ऑफ इन्सुलेटिंग मटेरियल्स
(Classification of insulating materials)

क्लास (Class)	**मॅक्सिमम हॉट-स्पॉट टेम्परेचर (Maximum Hot-Spot Temperature) (°C)**	**टिपिकल मटेरियल्स / उदाहरणे (Typical Materials / Examples)**
Y (or O)	90 °C	अनट्रीटेड फायब्रस इन्स्युलेशन (untreated fibrous insulation): कॉटन (cotton), सिल्क (silk), अनट्रीटेड पेपर (untreated paper), सेलुलोज (cellulose), वूड (wood)
A	105 °C	फायब्रस मटेरियल्स इम्प्रेग्नेटेड / रेसिन-ट्रीटेड (fibrous materials impregnated/resin-treated): पेपर (paper) किंवा कॉटन (cotton) विथ वार्निश / ऑइल इम्प्रेग्नेशन (varnish/oil impregnation).
E	120 °C	सिंथेटिक रेसिन एनॅमल्स (synthetic resin enamels), कॉटन & पेपर लॅमिनेट्स (cotton & paper laminates) बॉन्डेड विथ फॉर्माल्डिहाइड (bonded with formaldehyde), इम्प्रूव्हड रेसिन ट्रीटमेंट्स (improved resin treatments).
B	130 °C	ग्लास-फायबर (glass-fiber), मायका (mica), अस्बेस्टस लॅमिनेट्स (asbestos laminates) विथ स्युटेबल बॉन्डिंग (with suitable bonding); बिल्ट-अप मायका (built-up mica), ग्लास फायबर क्लॉथ (glass fibre cloth) विथ इम्प्रूव्हड बायंडर (with improved binder).
F	155 °C	मटेरियल्स ऑफ क्लास B कॅटेगरी (Materials of Class B category) अपग्रेडेड (upgraded) विथ हायअर-टेम्परेचर बॉन्डिंग रेसिन्स (higher-temperature bonding resins): एपॉक्सी (epoxy), पॉलीएस्टर (polyester), अल्कायड (alkyd).
H	180 °C	इनऑर्गॅनिक (inorganic) किंवा हाय-टेम्परेचर ऑर्गॅनिक / इनऑर्गॅनिक कॉम्बाईंड इन्स्युलेशन (high-temperature organic/inorganic combined insulation): मायका (mica), ग्लास फायबर (glass fibre) विथ सिलिकॉन / फेनॉलिक बायंडर्स (with silicone/phenolic binders).

क्लास (Class)	मॅक्सिमम हॉट-स्पॉट टेम्परेचर (Maximum Hot-Spot Temperature) (°C)	टिपिकल मटेरियल्स / उदाहरणे (Typical Materials / Examples)
C	> 180 °C	मटेरियल्स (materials) एबल टू विथस्टँड 180°C (able to withstand above 180 °C): फुल्ली इनऑर्गॅनिक सिस्टीम्स (fully inorganic systems), सिरेमिक्स (ceramics), क्वार्ट्ज (quartz), क्वार्ट्ज-ग्लास (quartz-glass), अॅडव्हान्स्ड कॉम्पोजिट्स (advanced composites).

5.2 इन्सुलेटिंग मटेरियल्स च्या लाईफ वर परिणाम करणारे घटक (Factors Affecting Life of Insulating Materials):

इलेक्ट्रिकल मशीन्समध्ये वापरल्या जाणाऱ्या इन्सुलेटिंग मटेरियल्सचे सर्व्हिस लाईफ आणि रिलायबिलिटी विविध ऑपरेटिंग आणि एन्व्हायर्नमेंटल फॅक्टर्सवर अवलंबून असते. या फॅक्टर्सचे योग्य आकलन असणे हे मेन्टेनन्स, डिझाईन आणि विशिष्ट अनुप्रयोगांसाठी योग्य इन्सुलेशननिवडण्यासाठी अत्यंत आवश्यक आहे. इन्सुलेशनच्या लाईफवर परिणाम करणारे प्रमुख फॅक्टर्स खालीलप्रमाणे आहेत:

1. **थर्मल स्ट्रेस (टेम्परेचर) (Thermal Stress (Temperature)):** थर्मल स्ट्रेस हा इन्सुलेशन लाईफ ठरवणारा सर्वात महत्त्वाचा घटक आहे. रेटेड थर्मल क्लास (Rated Thermal Class – A, B, F, H इ.) पेक्षा अंदाजे 10°C ने टेम्परेचर वाढले तरी इन्सुलेशनचे लाईफ निम्मे होते. एक्स्ट्रा हिट मुळे ड्रायिंग, एम्ब्रिटलमेंट, क्रॅकिंग होते आणि डायइलेक्ट्रिक स्ट्रेंथ (Dielectric Strength) हळूहळू लॉस होते .
2. **इलेक्ट्रिकल स्ट्रेस (व्होल्टेज) (Electrical Stress (Voltage)):** ओव्हर-व्होल्टेज (Over-Voltage), स्विचिंग सर्जेस (Switching Surges) आणि पार्शियल डिस्चार्जेस (Partial Discharges) हे इन्सुलेशनवर त्याच्या डायइलेक्ट्रिक लिमिट पेक्षा जास्त स्ट्रेस आणतात, ज्यामुळे ट्रॅकिंग किंवा इलेक्ट्रिकल ब्रेकडाउन होऊ शकतो. मॅक्सिमम व्होल्टेज रेटिंग जवळ सतत ऑपरेशन केल्यास इलेक्ट्रो-केमिकल एजिंग (Electro-Chemical Ageing) प्रक्रिया अधिक वेगाने होते.
3. **मेकॅनिकल स्ट्रेस (Mechanical Stress):** व्हायब्रेशन, शॉर्ट-सर्किट करंट्स किंवा मोटर्सच्या वारंवार स्टार्टिंगमुळे निर्माण होणाऱ्या मेकॅनिकल फोर्सेसमुळे इन्सुलेशनला फिजिकल डॅमेज होऊ शकते. अशा प्रकारचे स्ट्रेस क्रॅकिंग, लूजनिंग किंवा डिस्प्लेसमेंट निर्माण करतात, ज्यामुळे इन्सुलेशनची मेकॅनिकल स्टॅबिलिटी कमी होते.
4. **मॉइश्चर आणि ह्युमिडिटी (Moisture and Humidity):** इन्सुलेशनमध्ये मॉइश्चर (Moisture) उपस्थित असल्यास इन्सुलेशन रेसिस्टन्स आणि डायइलेक्ट्रिक स्ट्रेंथ मोठ्या प्रमाणात कमी होते. मॉइश्चरमुळे सरफेस ट्रॅकिंग (Surface Tracking), कंडक्टर्सची कोरोझन (Corrosion of Conductors) आणि फायब्रस मटेरियल्स (Fibrous Materials) जसे की पेपर (Paper) आणि कॉटन (Cotton) यांचे स्वेलिंग (Swelling) होते. म्हणून मॉइश्चर हा इन्सुलेशनसाठी सर्वात हानिकारक कॉन्टॅमिनंट्स (Contaminants) पैकी एक मानला जातो.
5. **केमिकल कॉन्टॅमिनेशन (Chemical Contamination):** इन्सुलेशन हे ऑइल ऑक्सिडेशन प्रॉडक्ट्स (Oil Oxidation Products), ऍसिड्स (Acids) किंवा इंडस्ट्रियल केमिकल्स (Industrial

Chemicals) यांच्या संपर्कात आल्यास त्याचे केमिकल डिटेरिअरेशन (Chemical Deterioration) होते. अशा प्रकारच्या कॉन्टॅमिनेशनमुळे फ्लेक्सिबिलिटी (Flexibility) कमी होते, बॉन्डिंग मटेरियल्सचे विकनिंग (Weakening of Bonding Materials) होते आणि गंभीर परिस्थितीत कार्बनायझेशन (Carbonization) देखील होऊ शकते.

6. **एन्व्हायर्नमेंटल कंडिशन्स (Environmental Conditions):**डस्ट , सॉल्ट (Salt), इंडस्ट्रियल गॅसेस (Industrial Gases) आणि यूव्ही रेडिएशन (UV Radiation) यांमुळे इन्सुलेशनच्या सरफेस डिग्रेडेशन (Surface Degradation) आणि ट्रॅकिंग (Tracking) मध्ये वाढ होते. हाय अल्टिट्यूड ऑपरेशन (High-Altitude Operation) केल्यास कूलिंग इफिशियंसी (Cooling Efficiency) कमी होते आणि हवेची डायइलेक्ट्रिक स्ट्रेंथ (Dielectric Strength of Air) सुद्धा घटते, ज्यामुळे इन्सुलेशनचा एकूण परफॉर्मन्स (Performance) प्रभावित होतो.
7. **एजिंग आणि ऑक्सिडेशन (Ageing and Oxidation):** ऑर्गॅनिक इन्सुलेटिंग मटेरियल्स (Organic Insulating Materials) हाय टेम्परेचरवर ऑक्सिजन (Oxygen) च्या संपर्कात आल्यास हळूहळू ऑक्सिडाईज (Oxidize) होतात. ही नैसर्गिक एजिंग प्रोसेस (Ageing Process) इन्सुलेशनमध्ये ब्रिटलनेस (Brittleness) निर्माण करते, इलॅस्टिसिटी (Elasticity) कमी करते आणि शेवटी इन्सुलेशनमध्ये क्रॅक्स (Cracks) दिसू लागतात.
8. **फ्रिक्वेन्सी आणि लोड व्हेरिएशन्स (Frequency and Load Variations):**वारंवार लोड फ्लक्चुएशन्स (Load Fluctuations) किंवा ओव्हरलोडिंग झाल्यास इन्सुलेशनला सतत सायक्लिक हीटिंग आणि कूलिंग (Cyclic Heating and Cooling) चा परिणाम सहन करावा लागतो. या प्रकारच्या थर्मल सायकल्स (Thermal Cycles) मुळे फटीग (Fatigue) निर्माण होते आणि इन्सुलेशन सिस्टीमच्या बॉन्डिंग स्ट्रक्चर (Bonding Structure) वर परिणाम होऊन ती विक होते.
9. **रेडिएशन (Radiation):** विशेष वातावरणांमध्ये, जसे की न्यूक्लियर इन्स्टॉलेशन्स (Nuclear Installations), हाय-एनर्जी रेडिएशन (High-Energy Radiation) इन्सुलेशनमधील मॉलिक्युलर बॉण्ड्स (Molecular Bonds) ब्रेक करतो. यामुळे इन्सुलेशनमध्ये एम्ब्रिटलमेंट (Embrittlement) होते आणि त्याची मेकॅनिकल स्ट्रेंथ (Mechanical Strength) कमी होऊ लागते.
10. **मॅन्युफॅक्चरिंग डिफेक्ट्स किंवा पूअर वर्कमॅनशिप (Manufacturing Defects or Poor Workmanship):** अपुरे इम्प्रिग्नेशन (Impregnation), व्हॉइड्सची उपस्थिती (Presence of Voids), चुकीचे क्युअरिंग (Curing) आणि इतर वर्कमॅनशिप डिफेक्ट्स (Workmanship Defects) यामुळे इन्सुलेशनचे लाईफ मोठ्या प्रमाणात कमी होते. सामान्य ऑपरेटिंग कंडिशन्स (Operating Conditions) मध्येही असे डिफेक्ट्स प्रीमॅच्युअर फेल्युअर (Premature Failure) ला कारणीभूत ठरू शकतात.

5.3 इन्सुलेशन रेझिस्टन्स मेजरमेंट: मेगर, वोल्टमीटर, डायइलेक्ट्रिक ॲब्सॉर्प्शन, पोलरायझेशन इंडेक्स (Measurement of Insulation Resistance by Megger, Voltmeter, Dielectric Absorption, Polarisation Index):

इन्सुलेशन रेसिस्टन्स मेजरमेंट ही एक अत्यावश्यक डायग्नॉस्टिक टेस्ट आहे, ज्याद्वारे ट्रान्सफॉर्मर्स, मोटर्स, केबल्स आणि अल्टर्नेटर्स यांसारख्या इलेक्ट्रिकल इक्विपमेंट मधील इन्सुलेशनची हेल्थ आणि क्वालिटी तपासली जाते. या मेजरमेंटमुळे इन्सुलेशनमध्ये मॉइश्चर इन्ग्रेस, एजिंग, कॉन्टॅमिनेशन आणि डिटेरिओरेशन यांसारख्या फॉल्ट्सना ओळखण्यास मदत होते.

A. मेगर वापरुन इन्सुलेशन रेझिस्टन्स मेजरमेंट (Measurement of Insulation Resistance by Megger):

इलेक्ट्रिकल इक्विपमेंट चा इन्सुलेशन रेसिस्टन्स (insulation resistance – IR) हे इन्सुलेशन (insulation) किती इफेक्टिवली लीकेज करंट (leakage current) ला लाईव्ह कंडक्टर्स (live conductors) आणि अर्थ (earth) यांच्यामध्ये किंवा वेगवेगळ्या वाइंडिंग्स (windings) मधे फ्लो होण्यापासून अपोज करते याचे इंडीकेशन आहे. मेगर–इन्सुलेशन रेसिस्टन्स टेस्टर (Megger – Insulation Resistance Tester) हे एक स्पेशल इन्स्ट्रुमेंट (special instrument) आहे, जे हाय रेसिस्टन्स व्हॅल्यूज (high resistance values) – (सामान्यतः मेगा ओह्म्स MΩ (megaohms MΩ)) मोजण्यासाठी वापरले जाते. यासाठी मेगर (Megger) हाय DC व्होल्टेज (high DC voltage) साधारणतः 500 V, 1000 V किंवा 2500 V इंसुलेशनला देते .हा मेगर (Megger) ट्रान्सफॉर्मर्स, केबल्स, मोटर्स, स्विचगिअर आणि जनरेटर्स यांच्या टेस्टिंगसाठी मोठ्या प्रमाणावर वापरला जातो.

प्रिन्सिपल (Principle of Operation):

मेगर हे हॅन्ड-ड्रिव्हन DC जनरेटरच्या प्रिन्सिपल वर कार्य करते, जे टेस्ट मध्ये असलेल्या इन्सुलेशन (insulation under test) ला DC व्होल्टेज (DC voltage) देते. इन्सुलेशनमधून फ्लो होणारा लीकेज करंट (leakage current) मूव्हिंग-कॉइल मीटर (moving-coil meter) मध्ये डेफ्लेक्शन (deflection) निर्माण करतो, आणि हा मीटर मेगा ओह्म्स – MΩ मध्ये कॅलिब्रेटेड (calibrated) केलेला असतो."

$$R = \frac{V}{I}$$

जिथे

R = इन्सुलेशन रेसिस्टन्स (Insulation resistance) (Ω किंवा MΩ)

V = अप्लाईड DC व्होल्टेज (Applied DC voltage) (V)

I = लीकेज करंट (Leakage current) (A)

मेगर (Megger) हे रेसिस्टन्स (resistance) थेट आपल्या कॅलिब्रेटेड स्केल (calibrated scale) वर मेगा ओह्म्स (megaohms) मध्ये दर्शवते.

कन्स्ट्रक्शन (Constructionof Megger):

a) मेगर हे हाय इलेक्ट्रिकल रेसिस्टन्स (high electrical resistance) ,(विशेषतः इलेक्ट्रिकल इक्विपमेंट (electrical equipment) च्या इन्सुलेशन रेसिस्टन्स (insulation resistance)) मोजण्यासाठी तयार केलेले इन्स्ट्रुमेंट (Instrument) आहे आणि हे अनेक की पार्ट्स च्या एकत्रित कार्यावर आधारित असते. मेगर च्या मुख्य भागामध्ये हॅन्ड-ड्रिव्हन DC जनरेटर (Hand-Driven DC Generator) असतो. हा एक छोटा पर्मनंट-मॅग्नेट जनरेटर (permanent-magnet generator) असून तो हॅन्ड क्रँक (hand crank) फिरवून चालवला जातो. हा जनरेटर सर्किटला हाय DC टेस्ट व्होल्टेज (high DC test voltage) सप्लाय करतो, जो साधारणतः इन्स्ट्रुमेंटच्या रेटिंग नुसार 500 V ते 2500 V पर्यंत असतो

b) मेजरमेंट हे पर्मनंट मॅग्नेटच्या फिल्ड मध्ये ठेवलेल्या दोन मेन कॉइल्सच्या मदतीने केले जाते:

डीफ्लेक्टिंग कॉइल / करंट कॉइल (**The Deflecting Coil**): ही कॉइल टेस्ट अंडरअसलेल्या इन्सुलेशन सोबत सिरीज मध्ये जोडलेली असते आणि मटेरिअल मधून फ्लो होणारा लीकेज करंट कॅरी करते.

कंट्रोलिंग कॉइल / पोटेन्शियल कॉइल (**The Controlling Coil (Potential Coil):** ही कॉइल टेस्ट व्होल्टेजला अक्रॉस जोडलेली असते आणि अप्लाइड व्होल्टेजच्या (V) प्रपोशनल टॉर्क प्रोड्युस करते.

c) इन्स्ट्रुमेंटचे डीफ्लेक्शन हे या दोन कॉइल्समुळे प्रोड्युस होणाऱ्या टॉर्क्सच्या रेशो वर अवलंबून असते. पॉइंटर आणि स्केल जे मूव्हिंग सिस्टीमला जोडलेले असते, हे मेगा ओह्म मध्ये कॅलिब्रेटेड केलेले असते. पॉइंटरची फायनल पोझिशन ही या टॉर्क्सच्या रेशोवर अवलंबून असते, जे V/I शी प्रपोशनल असते (Ohm's Law, R = V/I).

मेगर मध्ये कनेक्शनसाठी सेपरेट टर्मिनल्स दिलेले असतात:

a) L (Line) हे टर्मिनल त्या कंडक्टर किंवा वाइंडिंगला जोडले जाते ज्याची टेस्ट (test) केली जात आहे.
b) E (Earth) हे टर्मिनल मेटॅलिक फ्रेम किंवा ग्राउंड ला जोडले जाते.
c) G (Guard) हे टर्मिनल सरफेस लीकेज करंट बाजूला (shunt away) काढण्यासाठी वापरले जाते, ज्यामुळे फक्त व्हॉल्यूम रेसिस्टन्स म्हणजेच इन्सुलेशनचा रेसिस्टन्स मोजला जातो.

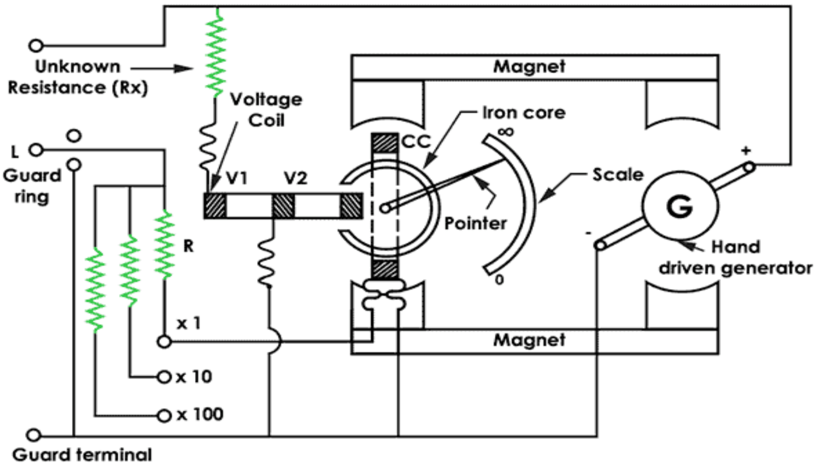


Fig 5.1: मेजरमेंट ऑफ इन्सुलेशन रेझिस्टन्स बाय मेगर (Measurement of Insulation Resistance by Megger)

Reference Link: https://www.codrey.com/electrical/how-to-measure-resistance/

प्रोसिजर (Procedure):

a) मेगर (Megger) टेस्ट सुरू होण्याची पहिली स्टेप म्हणजे कनेक्शन करणे.
L (Line) टर्मिनल (terminal) हे तपासणीसाठी असलेल्या वाइंडिंग (winding) किंवा कंडक्टर (conductor) ला जोडले जाते.त्याच वेळी, E (Earth) टर्मिनल हे सुरक्षितपणे अर्थ्ड बॉडी (earthed body) ला, जसे की ट्रान्सफॉर्मर कोर (transformer core) किंवा फ्रेम (frame), जोडले जाते.
b) जर टेस्ट सरफेस (test surface) कॉन्टॅमिनेटेड असेल किंवा त्यावर लीकेज पाथ्स (leakage paths) असतील, तर G (Guard) टर्मिनल (terminal) ऑप्शनली जोडले जाते, ज्यामुळे हा सरफेस लीकेज करंट (surface leakage current) शंट केला जातो.यानंतरची स्टेप म्हणजे अॅप्लायिंग टेस्ट व्होल्टेज

(applying test voltage).मॅन्युअल मेगर (manual Megger) साठी, युजर हॅन्ड क्रँक (hand crank) फिक्स स्पीड ने फिरवतो किंवा इलेक्ट्रॉनिक मेगर (electronic Megger) असल्यास ते स्विच ऑन करतो.

c) यामुळे इन्टर्नल जनरेटर (Internal Generator) सक्रिय होते, जे हाय DC टेस्ट व्होल्टेज (high DC test voltage) (उदा. 500 V) सर्किटला देते. व्होल्टेज ॲप्लाय (voltage apply) केल्यावर डीफ्लेक्शन (deflection) होते. करंट कॉइल (current coil) इन्सुलेशनमधून जाणाऱ्या अतिशय कमी लीकेज करंटच्या (leakage current – I) प्रपोशनल टॉर्क (torque) निर्माण करते, तर पोटेन्शियल कॉइल (potential coil) अप्लाइड व्होल्टेजच्या (voltage – V) प्रपोशनल टॉर्क निर्माण करते.

d) या दोन टॉर्क्स (torques) च्या रेशियो (ratio) मुळे, जो V/I (रेझिस्टन्स – resistance) च्या प्रपोशनल असतो, पॉईंटर (pointer) स्केलवर डीफ्लेक्शन देतो आणि इन्सुलेशन रेझिस्टन्स (insulation resistance) थेट MΩ मध्ये दर्शवतो. शेवटी, ऑपरेटर (operator) डायलवर दिसणारे इन्सुलेशन रेझिस्टन्सचे व्हॅल्यू (value) रीड करतो.

e) अत्यंत महत्त्वाचे म्हणजे, मेजरमेंट (measurement) पूर्ण झाल्यानंतर वाइंडिंगमधील रेसीड्युअल चार्ज काढून टाकण्यासाठी ते सुरक्षितपणे डिस्चार्ज (discharged) करून अर्थ (earth) ला जोडले पाहिजे, तेही रेझिस्टर (resistor) द्वारे.यामुळे DC टेस्टिंग (DC testing) दरम्यान तयार झालेला कोणताही रिजिड्युअल चार्ज (residual charge) पूर्णपणे रिमुव्ह केला जातो आणि शॉक हॅझर्ड (shock hazard) टळतो.

फायदे (Advantages):

a) हँड-ड्रिव्हन मॉडेल्स मध्ये कोणत्याही एक्स्टर्नल पॉवर सप्लायची (external power supply) आवश्यकता नसते.

b) इन्सुलेशन रेझिस्टन्स थेट मेगा-ओहम्स (megaohms) मध्ये रीड करता येते.

c) पोर्टेबल, रिलायबल आणि वापरण्यास इझी.

d) फील्ड तसेच लॅबोरेटरी टेस्टिंगसाठी योग्य.

B. व्होल्टमीटर मेथड (Voltmeter Method):

ही मेथड ओहम्स लॉ (Ohm’s Law) वर आधारित आहे:

$$R=\frac{V}{I}$$

जेव्हा नोन DC व्होल्टेज (V) – DC voltage इन्सुलेशनला अप्लाय केले जाते, तेव्हा इन्सुलेशन परफेक्ट नसल्यामुळे त्यामधून अतिशय कमी लीकेज करंट (leakage current-I) फ्लो होतो. अप्लाय केलेले व्होल्टेज (applied voltage) आणि फ्लो होणारा लीकेज करंट (leakage current) मोजून, इन्सुलेशन रेझिस्टन्स (R – insulation resistance) कॅल्क्युलेट करता येतो.

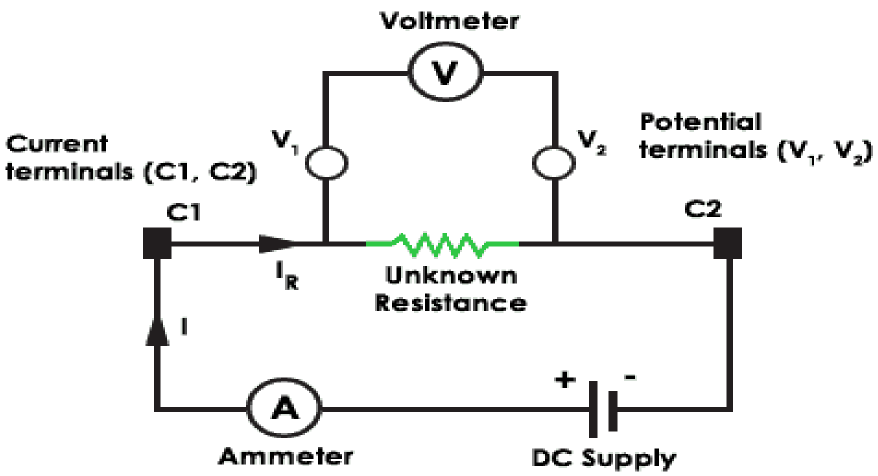


Fig 5.2:व्होल्टमीटर मेथड (Voltmeter Method)

https://www.codrey.com/electrical/how-to-measure-resistance/

प्रोसिजर (Procedure):

a) प्रोसेस प्रिपरेशन (Preparation) पासून सुरू होते.टेस्ट केले जाणारे इक्विपमेंट सप्लायपासून डिस्कनेक्ट (disconnected from the supply) केलेले असणे आणि कोणताही रिसीड्युअल व्होल्टेज (residual voltage) पूर्णपणे डिस्चार्ज (discharged) केलेला असणे आवश्यक आहे, जे सेफ्टीसाठी अत्यावश्यक आहे.टर्मिनल्स व्यवस्थित क्लीन (cleaned) आणि ड्राय (dried) केले पाहिजेत, जेणेकरून कोणतेही सरफेस लीकेज करंट (surface leakage currents) निर्माण होऊ नये, अन्यथा मेजरमेंट (measurement) चुकीचे होऊ शकते.

b) कनेक्शन्ससाठी, कॉम्पोनंट्स स्टँडर्ड सीरिज-पॅरालेल अरेंजमेंटमध्ये (standard series-parallel arrangement) जोडले जाते. ॲमीटर हे टेस्ट स्पेसिमेनसोबत (test specimen) सीरिज (series) मध्ये जोडले जाते, जेणेकरून अतिशय कमी लीकेज करंट (I – leakage current) मोजता येईल. तर व्होल्टमीटर (voltmeter – high-resistance type) इन्सुलेशनवर पॅरालेल (parallel / across) जोडले जाते, जेणेकरून अप्लाय केलेले व्होल्टेज (V – Applied Voltage) मोजता येईल.

c) यानंतर टेक्निशियन (Technician) व्होल्टेज ॲप्लाय (Applies Voltage) करतो, म्हणजे DC सप्लाय (DC supply) सुरू करून ते हळूहळू रेटेड टेस्ट व्होल्टेजपर्यंत (Rated Test Voltage) वाढवतो (उदा. 250 V किंवा 500 V).व्होल्टेज स्टेबल (Stable) झाल्यावर टेक्निशियन रीडिंग्स घेतो म्हणजेच व्होल्टमीटर रीडिंग (V) आणि ॲमीटर रीडिंग (I) नोंदवतो. यानंतर इन्सुलेशन रेझिस्टन्स (Rins – insulation resistance) खालीलप्रमाणे कॅल्क्युलेट केले जाते:

$$Rin = \frac{V}{I}$$

फायदे (Advantages):

a) ही सिंपल (Simple) आणि इनएक्स्पेन्सिव्ह (Inexpensive) मेथड आहे.

b) फक्त बेसिक इन्स्ट्रुमेंट्स — व्होल्टमीटर (Voltmeter) आणि ॲमीटर (Ammeter) — यांचा वापर करते.

c) लो टू मिडीयम इन्सुलेशन रेझिस्टन्स (Low To Medium Insulation Resistance) चे क्विक चेक्स करण्यासाठी योग्य.

लिमिटेशन्स (**Limitations):**

a) खूप हाय रेझिस्टन्स व्हॅल्यूज (Very High Resistances) (काही MΩ पेक्षा जास्त) साठी ही मेथड प्रिसायजली मेजरमेंट करत नाही .
b) लीकेज करंट (Leakage Current) अत्यंत कमी असल्यामुळे ते प्रिसायजली (Precisely) मोजणे कठीण होऊ शकते.
c) जास्त रेझिस्टन्स मेजरमेंटसाठी (Higher Resistance Measurements) मेगर (Megger) अधिक ॲक्युरेट (Accurate) आणि सोयीस्कर असतो.

C. डायलेक्ट्रिक अब्झॉर्प्शन मेथड (Dielectric Absorption Method):

डायलेक्ट्रिक अब्झॉर्प्शन मेथड (Dielectric Absorption Method) द्वारे इन्सुलेशन रेझिस्टन्स (Insulation Resistance) मोजण्याची पद्धत ट्रान्सफॉर्मर्स, मोटर्स, जनरेटर्स आणि केबल्स या इक्विपमेंटच्या इन्सुलेशनची क्वालिटी आणि कंडिशन (Quality and Condition) तपासण्यासाठी वापरली जाते. सिंपल इन्सुलेशन रेझिस्टन्स टेस्टपेक्षा (Simple Insulation Resistance Test) ही मेथड वेगळी आहे कारण यात इन्सुलेशनवर सस्टेन्ड DC व्होल्टेज (sustained DC voltage) अप्लाय केल्यावर ते कसे अब्झॉर्ब (Absorb) होते आणि कसे पॉलाराईझ (polarize) होते हे मेजर केले जाते. जेव्हा DC व्होल्टेज (DC voltage) इन्सुलेशनला दिले जाते, तेव्हा त्यामधून फ्लो होणारा करंट (Current) वेळेनुसार हळूहळू कमी होत जातो, कारण डायलेक्ट्रिक अब्झॉर्प्शन (Dielectric Absorption) आणि पोलरायझेशन इफेक्ट्स (Polarization Effects) घडतात. वेगवेगळ्या टाईम ड्यूरेशनला — उदा. 30 सेकंद, 60 सेकंद किंवा 1 मिनिट, 10 मिनिट इन्सुलेशन रेझिस्टन्स (Insulation Resistance) मोजल्याने डायलेक्ट्रिक अब्झॉर्प्शन रेशो (DAR Dielectric Absorption Ratio) किंवा पोलरायझेशन इंडेक्स (PI – Polarization Index) मिळतात. हे दोन्ही इंडिकेटर्स इन्सुलेशनचे हेल्थ (Insulation Health) दर्शवतात.

प्रोसिजर (Procedure):

a) जेव्हा कॉनस्टंट डीसी टेस्ट व्होल्टेज एखाद्या इन्स्युलेटिंग मटेरियल वर अप्लाय केले जाते, तेव्हा त्या सर्किटमधून फ्लो होणारा टोटल करंट तीन वेगवेगळ्या कंपोनंट्स पासून बनलेला असतो.
b) **कॅपॅसिटीव्ह चार्जिंग करंट (Capacitive Charging Current (I)**: हा एक इनिशियल, हाय करंट आहे जो ब्रीफली (briefly) फ्लो होतो आणि साधारणपणे फक्त काही सेकंद (few seconds) टिकतो. जेव्हा इन्सुलेशन सिस्टम (insulation system) — जे कॅपॅसिटर (capacitor) सारखे बिहेव्ह करते ते अप्लाइड व्होल्टेज (applied voltage) पर्यंत चार्ज होते, तेव्हा हा करंट फ्लो होतो.
c) **अब्झॉर्प्शन / पोलरायझेशन करंट(Absorption / Polarization Current (Ia)**: हा करंट वेळेनुसार हळूहळू कमी (decreases slowly over time) होतो, कारण इन्सुलेशन मटेरियलमधील मॉलिक्युलर डायपोल्स (molecular dipoles) इलेक्ट्रिक फील्डमुळे अलाइन होतात. हा करंट काही मिनिटे (several minutes) टिकू शकतो आणि इन्सुलेशन हेल्थ (Insulation Health) चा एक महत्त्वाचा इंडिकेटर (Vital Indicator) आहे.
d) **लीकेज / कंडक्शन करंट (Leakage (Conduction) Current (I)**: हा करंट खरा रेसिस्टिव्ह (truly resistive), स्टेडी-स्टेट (steady-state) करंट आहे, जो इम्परफेक्ट इन्सुलेशन (imperfect Insulation) मुळे फ्लो होतो, म्हणजेच इन्सुलेशनच्या व्हॉल्यूममधून (through the volume of the insulation).हा करंट DC इन्सुलेशन रेझिस्टन्स (DC insulation resistance) चे ट्रू मेजर (true

measure) दर्शवतो आणि ट्रान्झियंट कंपोनंट्स (transient components) कमी झाल्यानंतर कमी होतो.

e) टेस्टच्या दरम्यान टाईम जसा पास होतो, कॅपॅसिटीव्ह चार्जिंग करंट (capacitive charging current – Ic) आणि अब्झॉर्प्शन / पोलरायझेशन करंट (absorption/polarization current – Ia) हळूहळू कमी होतात आणि शेवटी शून्यावर (decay to zero) पोहोचतात. यानंतर फक्त लीकेज /कंडक्शन करंट (leakage/conduction current) उरतो, जो शेवटी स्टेडी इन्सुलेशन रेझिस्टन्स (final, steady insulation resistance) ची रीडिंग (reading) देतो.

f) वेगवेगळ्या दोन वेळा इन्सुलेशन रेझिस्टन्स (insulation resistance) मोजून, डायलेक्ट्रिक अब्झॉर्प्शन रेशियो (dielectric absorption ratio – DAR) गणना केली जाऊ शकते:

डायलेक्ट्रिक अब्झॉर्प्शन रेशो (Dielectric Absorption Ratio (DAR) = $\frac{R_{60}}{R_{30}}$

R60 = 60 सेकंदानंतरचे इन्सुलेशन रेझिस्टन्स (Insulation resistance after 60 seconds)

R30 = 30 सेकंदानंतरचे इन्सुलेशन रेझिस्टन्स (Insulation resistance after 30 seconds)

टिपिकल व्हॅल्यूज (Typical Values):

a) गूड इन्स्युलेशन (Good insulation): DAR ≥ 1.25

b) मार्जिनल / एज्ड इन्स्युलेशन (Marginal/aged insulation): DAR = 1.0 ते 1.25

c) पुअर इन्स्युलेशन (Poor insulation): DAR < 1.0

D. पोलरायझेशन इंडेक्स मेथड (Polarisation Index Method):

पोलरायझेशन इंडेक्स (Polarization Index – PI) टेस्ट ही एक वाइडली वापरली जाणारी पद्धत आहे, जी ट्रान्सफॉर्मर्स , मोटर्स, अल्टरनेटर आणि केबल्ससारख्या इलेक्ट्रिकल इक्विपमेंटच्या इन्सुलेशनची क्वालिटी आणि कंडिशन तपासण्यासाठी वापरली जाते.

ही इन्सुलेशन रेझिस्टन्स टेस्ट ची एक एक्सटेंडेड (extended) फॉर्म (form) आहे, जी इन्सुलेशन मटेरियलच्या डायलेक्ट्रिक अब्झॉर्प्शन (dielectric absorption) कॅरेक्टरिस्टिक्स (characteristics) ठरवण्यासाठी केली जाते. PI टेस्ट इन्सुलेशनमधील मॉइश्चर कंटेंट (moisture content), कंटॅमिनेशन (contamination) आणि डीटिरिअरेशन (deterioration) यांचा स्पष्ट निर्देश (clear indication) देते.

प्रिन्सिपल (Principle):

जेव्हा कॉनस्टंट DC व्होल्टेज एखाद्या इन्स्युलेटिंग मटेरियलवर अप्लाय केले जाते, तेव्हा इन्सुलेशन रेझिस्टन्स फिक्स राहत नाही तो वेळेनुसार वाढतो.

जेव्हा DC व्होल्टेज अप्लाय केल्यावर 1 मिनिट आणि 10 मिनिट नंतर इन्सुलेशन रेझिस्टन्स मोजले जाते, तेव्हा पोलरायझेशन इंडेक्स (Polarization Index – PI) मेजर केली जाते:

पोलरायझेशन इंडेक्स (Polarization Index (PI) = $\frac{R_{10min}}{R_{1min}}$

जास्त PI व्हॅल्यू (higher PI value) दर्शवते की इन्सुलेशन (insulation) चांगले, ड्राय आणि हेल्दी (healthy) आहे, तर कमी PI व्हॅल्यू (low PI value) दर्शवते की मॉइश्चर (moisture), डर्ट (dirt) किंवा इन्सुलेशन एजिंग (insulation aging) झाले आहे.

प्रोसिजर (Procedure):

a) PI मोजण्यासाठी सेटअपमध्ये खालील कॉम्पोनंट्स (components) असणे आवश्यक आहे:

b) मुख्य इन्स्ट्रुमेंट (primary instrument) म्हणजे DC इन्सुलेशन टेस्टर / मेगर, जे कॉनस्टंट DC टेस्ट व्होल्टेज (constant DC test voltage – 500 V, 1000 V, किंवा 2500 V) अप्लाय करण्यासाठी वापरले जाते आणि इन्सुलेशन रेझिस्टन्स मेगा-ओहम्स (megaohms – MΩ) मध्ये मोजते.
c) PI टेस्ट (PI test) मध्ये प्रिसाइज, टाईम-डिपेंडंट मेजरमेंट (precise, time-dependent measurements) आवश्यक असतात. एक रीडिंग 1 मिनिट नंतर घेतली जाते आणि दुसरी, रीडिंग 10 मिनिटनंतर घेतली जाते, जेव्हा टेस्ट व्होल्टेज (test voltage) अप्लाय केलेले असते.
d) सेटअप कनेक्टिंग लीड्स (Connecting Leads) ने पूर्ण केले जाते — योग्य प्रकारे इन्सुलेटेड वायर (properly insulated wires) जे मेगर (Megger) ला टेस्ट ऑब्जेक्ट (test object) शी जोडतात.

इन्सुलेशन रेझिस्टन्स मेजरमेंट मेथड्सचे कंपॅरिझन (Comparison of Insulation Resistance Measurement Methods):

Table 5.2: इन्सुलेशन रेझिस्टन्स मेजरमेंट मेथड्सचे कंपॅरिझन (Comparison of Insulation Resistance Measurement Methods)

पॅरामीटर (Parameter)	मेगर मेथड (Megger Method)	व्होल्टमीटर मेथड (Voltmeter Method)	डायइलेक्ट्रिक अब्झॉर्प्शन टेस्ट (Dielectric Absorption Test)	पोलरायझेशन इंडेक्स टेस्ट (Polarisation Index – PI Test)
प्रिन्सिपल (Principle)	DC व्होल्टेज अप्लाय करून लीकेज करंट मोजतात; यावरून इन्स्युलेशन रेसिस्टन्स मिळतो	एक्स्टर्नल DC सप्लाय वापरून Ohm’s Law (IR = V/I) ने इन्स्युलेशन रेसिस्टन्स मोजला जातो.	इन्स्युलेशनची अब्झॉर्प्शन कॅरॅक्टरिस्टिक मोजली जाते (IR60sec / IR30sec).	वेळेनुसार इन्स्युलेशन रेसिस्टन्स कसा बदलतो हे मोजले जाते (IR10min / IR1min).
इक्विपमेंट युज्ड (Equipment Used)	हॅन्ड-ड्रिव्हन/इलेक्ट्रॉनिक मेगर.	DC सप्लाय, व्होल्टमीटर, ॲमीटर.	टाइमर, मेगर.	PI टेस्टर किंवा डिजिटल मेगर.
टेस्ट व्होल्टेज (Typical Test Voltage)	250 V – 5 kV (रेटिंगनुसार).	सप्लायवर अवलंबून; सामान्यतः लो-व्होल्टेज.	500 – 1000 V.	500 V – 5 kV (इन्स्युलेशन क्लासनुसार).
टेस्ट ड्युरेशन (Test Duration)	10 सेकंद ते 1 मिनिट.	काही सेकंद.	एकूण 60 सेकंद.	10 मिनिटे.
पॅरामिटर मेजर्ड / इंडिकेशन (Parameter Measured / Indication)	जनरल इन्स्युलेशन रेसिस्टन्स.	बेसिक इन्स्युलेशन रेसिस्टन्स.	इन्स्युलेशनमध्ये मॉइश्चर (Moisture) आहे का ते दाखवते.	इन्स्युलेशनची लॉंग-टर्म हेल्थ, ड्रायनेस, एजिंग दाखवते.

पॅरामीटर (Parameter)	**मेगर मेथड (Megger Method)**	**व्होल्टमीटर मेथड (Voltmeter Method)**	**डायइलेक्ट्रिक अब्झॉर्प्शन टेस्ट (Dielectric Absorption Test)**	**पोलरायझेशन इंडेक्स टेस्ट (Polarisation Index – PI Test)**
ॲडव्हान्टेजेस (Advantages)	फास्ट, पोर्टेबल, सर्वत्र वापरले जाते.	सोपी पद्धत.	मॉइश्चर व कंटॅमिनेशन लवकर शोधता येते.	सर्वात रिलायबल पद्धत; इन्स्युलेशन हेल्थचे अचूक मूल्यांकन.
लिमिटेशन्स (Limitations)	टाइम-डिपेंडंट इन्स्युलेशन बिहेव्हियर दाखवत नाही.	लो ॲक्युरसी; हाय-व्होल्टेज इक्विपमेंटसाठी योग्य नाही.	मल्टी-लेयर किंवा एज्ड इन्स्युलेशनसाठी लो ॲक्युरसी .	स्मॉल/लो-कॅपॅसिटन्स इक्विपमेंटसाठी उपयुक्त नाही.

5.4 ट्रान्सफॉर्मर ऑइल: प्रॉपर्टीज, कॉन्टॅमिनेटिंग एजंट्स (Transformer Oil: Properties, Contaminating Agents):

5.4.1 ट्रान्सफॉर्मर ऑइल: प्रॉपर्टीज (Transformer Oil: Properties.)

ट्रान्सफॉर्मर ऑइल (Transformer Oil) किंवा इन्सुलेटिंग ऑइल (Insulating Oil) हे मिनरल ऑइल (Mineral Oil) असून ते ट्रान्सफॉर्मरमध्ये इन्सुलेशन (Insulation), कूलिंग (Cooling) आणि आर्क-क्वेंचिंग (Arc-Quenching) साठी वापरले जाते. या ऑइलची क्वालिटी (Quality) ट्रान्सफॉर्मरच्या परफॉर्मन्स (Performance), रिलायबिलिटी (Reliability) आणि सर्व्हिस लाईफ (Service Life) वर थेट परिणाम करते.

ट्रान्सफॉर्मर ऑइलच्या प्रॉपर्टीज (Properties of Transformer Oil):

1. **हाय डायइलेक्ट्रिक स्ट्रेंथ (High Dielectric Strength)**:ट्रान्सफॉर्मर ऑइलमध्ये हाय डायइलेक्ट्रिक स्ट्रेंथ (High Dielectric Strength) असणे अत्यंत आवश्यक आहे, जेणेकरून ऑइल इलेक्ट्रिकल स्ट्रेसेस (Electrical Stresses) सहन करून ब्रेकडाउन (Breakdown) होणार नाही. साधारणपणे चांगल्या ऑइलचा ब्रेकडाउन व्होल्टेज (Breakdown Voltage – BDV) हा 2.5 mm गॅप साठी 30 kV किंवा त्याहून अधिक असतो. ही प्रॉपर्टी लाइव्ह पार्ट्स (Live Parts) मधील इन्सुलेशन (Insulation) सुनिश्चित करतो आणि इलेक्ट्रिकल फेल्युअर (Electrical Failure) टाळते .
2. **लो व्हिस्कोसिटी (Low Viscosity)**:ट्रान्सफॉर्मर ऑइलमध्ये लो व्हिस्कोसिटी (Low Viscosity) असणे आवश्यक आहे, कारण कमी व्हिस्कोसिटीमुळे ऑइलचा स्मूथ आणि कंटिन्युअस सर्क्युलेशन (Smooth and Continuous Circulation) ट्रान्सफॉर्मरच्या आत व्यवस्थित होतो. कार्यक्षम ऑइल फ्लो (Oil Flow) मुळे वाइंडिंग्स (Windings) आणि कोअर (Core) मधील हिट प्रभावीपणे डिसिपेट (Dissipate) होते, ज्यामुळे ट्रान्सफॉर्मरचे टेम्परेचर सेफ ऑपरेटिंग लिमिट्स (Safe Operating Limits) मध्ये राखले जाते.
3. **हाय फ्लॅश पॉइंट (High Flash Point – ≥ 140°C):**हाय फ्लॅश पॉइंट (Flash Point) म्हणजे ऑइल मिडीयम- हाय टेम्परेचरवरही फ्लॅमेबल वेपर्स (Flammable Vapours) सहजपणे रिलीज करत नाही. ही प्रॉपर्टी ट्रान्सफॉर्मरची ऑपरेशनल सेफ्टी (Operational Safety) मोठ्या प्रमाणात

वाढवते , कारण सामान्य किंवा किंचित वाढलेल्या टेम्परेचरला फायर रिस्क (Fire Risk) कमी होतो.

4. **हाय फायर पॉइंट** (**High Fire Point – ≥ 160°C**):फायर पॉइंट (Fire Point) म्हणजे ऑइलला फायर लागल्यानंतर ते कम्बशन (Combustion) सतत टिकून राहू शकेल असा टेम्परेचर पॉइंट. हाय फायर पॉइंट असल्यास हेवी लोडिंग (Heavy Loading) किंवा अॅबनॉर्मल हीटिंग कंडिशन्स (Abnormal Heating Conditions) दरम्यान फायर हॅझर्ड्स (Fire Hazards) लक्षणीयरीत्या कमी होतात.
5. **हाय केमिकल स्टॅबिलिटी** (**High Chemical Stability**):ट्रान्सफॉर्मर ऑइलमध्ये हाय केमिकल स्टॅबिलिटी (High Chemical Stability) असणे आवश्यक आहे, म्हणजे ते ऑक्सिडेशन (Oxidation) सारख्या केमिकल रिअॅक्शन्सना रेझिस्ट करू शकेल. केमिकलरीत्या स्टेबल ऑइलमध्ये स्लज (Sludge), अॅसिड्स (Acids) किंवा इतर डिग्रेडेशन प्रॉडक्ट्स (Degradation Products) तयार होत नाहीत. यामुळे ऑइलची इन्सुलेटिंग (Insulating) आणि कूलिंग (Cooling) क्षमता दीर्घकाळपर्यंत कॉन्टिन्युअस राखली जाते.
6. **लो पोर पॉइंट** (**Low Pour Point – ≤ –6°C**):लो पोर पॉइंट (Pour Point) असणे म्हणजे ऑइल कमी अॅम्बियंट टेम्परेचर (Ambient Temperature) मध्येही फ्लुइड (Fluid) स्थितीत राहते. हे विशेषतः थंड हवामानात (Cold Climates) बसवलेल्या ट्रान्सफॉर्मर्ससाठी महत्त्वाचे आहे, कारण प्रभावी कूलिंग (Cooling) साठी आवश्यक असलेला ऑइल फ्लो (Oil Flow) कॉन्टिन्युअस राहणे गरजेचे असते.
7. **लो मॉइश्चर कंटेंट** (**Low Moisture Content**)**:**ऑइलमध्ये मॉइश्चर (Moisture) असल्यास त्याची डायइलेक्ट्रिक स्ट्रेंथ (Dielectric Strength) मोठ्या प्रमाणात कमी होते आणि इन्सुलेशन ब्रेकडाउन (Insulation Breakdown) होण्याची रिस्क वाढते. म्हणूनच ट्रान्सफॉर्मर ऑइल नेहमी ड्राय कंडिशन (Dry Condition) मध्ये ठेवणे आवश्यक आहे आणि ते वॉटर कॉन्टॅमिनेशन (Water Contamination) पासून फ्री असले पाहिजे.
8. **लो अॅसिडिटी** (**Low Acidity – Neutralization Value ≤ 0.03 mg KOH/g**):ट्रान्सफॉर्मर ऑइलची अॅसिडिटी (Acidity) खूप कमी असणे आवश्यक आहे, कारण जास्त अॅसिडिटीमुळे मेटॅलिक कॉम्पोनंट्स (Metallic Components) ची कोरोजन (Corrosion) होते आणि सेल्यूलोझ इन्सुलेशन (Cellulose Insulation) चे डिग्रेडेशन (Degradation) होते. ऑइलची अॅसिडिटी वाढणे म्हणजे ऑइलमध्ये एजिंग (Ageing) आणि क्वालिटी डिटेरिओरेशन (Deterioration of Oil Quality) सुरू झाल्याचे स्पष्ट संकेत असतात.
9. **गुड थर्मल कंडक्टिव्हिटी** (**Good Thermal Conductivity**):ट्रान्सफॉर्मर ऑइलमध्ये गुड थर्मल कंडक्टिव्हिटी (Good Thermal Conductivity) असणे आवश्यक आहे, जेणेकरून ट्रान्सफॉर्मरच्या इंटर्नल कॉम्पोनंट्स (Internal Components) मधील हिट प्रभावीपणे टँक सरफेस (Tank Surface) पर्यंत पोहोचू शकेल. उत्तम थर्मल कंडक्टिव्हिटीमुळे ट्रान्सफॉर्मरची कूलिंग परफॉर्मन्स (Cooling Performance) सुधारते आणि वाइंडिंग्स (Windings) तसेच इन्सुलेशन (Insulation) यांचे लाईफ वाढण्यास मदत होते.
10. **ट्रान्स्परंट आणि लाईट कलर** (**Transparent and Light Colour**): ट्रान्सफॉर्मर ऑइल हे ट्रान्स्परंट आणि लाईट कलर असणे अत्यंत महत्त्वाचे आहे. अशा स्वरूपामुळे ऑइल क्लीन

(Clean) असून त्यामध्ये सस्पेन्डेड पार्टिकल्स (Suspended Particles) किंवा स्लज (Sludge) नसल्याचे दर्शवते. ऑइलचा कलर डार्क होणे (Darkening of Colour) हे साधारणतः कंटॅमिनेशन (Contamination) किंवा एजिंग (Ageing) या दोन्हींपैकी कोणत्यातरी प्रक्रियेचे लक्षण असते.

5.4.2 ट्रान्सफॉर्मर ऑइलचे कंटॅमिनेटिंग एजंट्स (Contaminating Agents of Transformer Oil)

1. **मॉइश्चर** (**Moisture**) (**Water**): मॉइश्चर (Moisture) ट्रान्सफॉर्मर (transformer) मध्ये ब्रीदिंग होल्स (breathing holes), कंडेन्सेशन (condensation), किंवा लीकेज (leakage) द्वारे प्रवेश करू शकते. अगदी थोड्या प्रमाणातील वॉटर (water) डायलेक्ट्रिक स्ट्रेन्थ (dielectric strength) खूपच कमी करते आणि पेपर (paper) व प्रेसबोर्ड (pressboard) सारख्या सॉलिड इन्स्युलेशन (solid insulation) च्या डिटेरिओरेशन (deterioration) ला जास्त वेगाने वाढवते.
2. **डस्ट** (**Dust**) **आणि डर्ट** (**Dirt**): डस्ट (Dust) आणि डर्ट (Dirt) भोवतालच्या एन्व्हायर्नमेंट (environment) मधून किंवा मेंटेनन्स वर्क (maintenance work) दरम्यान आत प्रवेश करतात. हे पार्टिकल्स (particles) इन्स्युलेशन क्वालिटी (insulation quality) कमी करतात, सरफेस ट्रॅकिंग (surface tracking) निर्माण करतात, आणि कूलिंग डक्ट्स (cooling ducts) ब्लॉक करू शकतात, ज्यामुळे हीट डिसिपेशन (heat dissipation) कमी होते.
3. **ऑक्सिडेशन प्रॉडक्ट्स** (**Oxidation Products) (Sludge and Acids**): ऑक्सिजन (oxygen) आणि हाई टेम्परेचर (high temperature) ला सतत एक्स्पोजर (exposure) झाल्यामुळे ऑइल ऑक्सिडेशन (oil oxidation) होते. यामुळे स्लज (sludge) आणि ॲसिडिक कम्पाऊंड्स (acidic compounds) ची फॉर्मेशन (formation) होते, जे व्हिस्कॉसिटी (viscosity) वाढवतात, ऑइल सर्क्युलेशन (oil circulation) कमी करतात, कूलिंग एफिशियन्सी (cooling efficiency) कमी करतात आणि मेटॅलिक पार्ट्स (metallic parts) चे करोजन (corrosion) करतात.
4. **गॅसेस (Dissolved Gases):** हायड्रोजन (Hydrogen), मीथेन (Methane) आणि एथिलीन (Ethylene) सारखे गॅसेस (gases) आर्किंग (Arcing), कोरोना (Corona) किंवा ओव्हरहिटिंग (overheating) मुळे ट्रान्सफॉर्मर (Transformer) मध्ये तयार होतात. या गॅसेस ची प्रेझेन्स आणि कॉन्सन्ट्रेशन (Presence and Concentration) डीजीए (Dissolved Gas Analysis – DGA) द्वारे मोजली जाते आणि त्यावरून इंटरनल फॉल्ट्स (Internal Faults) ची शक्यता दर्शवली जाते.
5. **कार्बन पार्टिकल्स** (**Carbon Particles):**कार्बन (Carbon) पार्टिकल्स (Particles) हे आर्किंग (arcing) आणि इन्स्युलेशन (insulation) फेल्युअर (failure) दरम्यान प्रोड्यूस (produced) होतात. हे कंडक्टिव्ह (conductive) पार्टिकल्स (particles) ऑइलची (oil) डायइलेक्ट्रिक (dielectric) स्ट्रेंथ (strength) लोअर (lower) करतात आणि पुढील डिस्चार्जेस (discharges) किंवा ब्रेकडाउन्स (breakdowns) इनिशिएट (initiate) करू शकतात.
6. **मेटल पार्टिकल्स** (**Metal Particles):** कोर (core) किंवा वाइंडिंग्स (winding) कंपोनंट्सच्या (components) मेकॅनिकल (mechanical) वेअरमुळे (wear) फाइन (fine) मेटल (metal) पार्टिकल्स (particles) ऑइलबरोबर (into the oil) रिलीज (release) होऊ शकतात. हे पार्टिकल्स (particles) पर्शिअल (partial) डिस्चार्जेस (discharges) ट्रिगर (trigger) करू शकतात आणि शॉर्ट (short) सर्किट्सची (circuits) रिस्क (risk) इन्क्रीज (increase) करतात.

7. **फायबर आणि इन्स्युलेशन डेब्रिज (Fibre and Insulation Debris):** पेपर (paper) किंवा प्रेसबोर्ड (pressboard) इन्स्युलेशन (insulation) ची एजिंग (ageing) आणि मेकॅनिकल (mechanical) डिटिरिओरेशन (deterioration) फायब्रोस (fibrous) डेब्रिज (debris) ऑइलमध्ये (into the oil) रिलीज (release) करतात. हे फायबर्स (fibres) डायइलेक्ट्रिक (dielectric) स्ट्रेंथ (strength) रिड्यूस (reduce) करतात आणि ट्रान्सफॉर्मरच्या (transformer) आत प्रोग्रेसिव्ह (progressive) इन्स्युलेशन (insulation) डिग्रेडेशन (degradation) इंडिकेट (indicate) करतात.

5.5 ट्रान्सफॉर्मर ऑइल टेस्टिंग ॲज पर IS 1866: डायइलेक्ट्रिक स्ट्रेंथ टेस्ट, ॲसिडिटी टेस्ट, स्लज टेस्ट, क्रॅकल टेस्ट, फ्लॅशपॉईंट आणि फायर पॉईंट टेस्ट)

(Testing of Transformer Oil as per IS 1866: Dielectric Strength Test, Acidity Test, Sludge Test, Crackle Test, Flashpoint and Fire Point Test):

A. डायइलेक्ट्रिक स्ट्रेंथ टेस्ट (Dielectric Strength Test): ही टेस्ट ऑइलची हाई इलेक्ट्रिक स्ट्रेसस विथस्टँडिंग ॲबिलिटी डिटर्माइन (determines) करते, त्यामध्ये स्टँडर्ड 2.5 मिमी (mm) इलेक्ट्रोड (electrode) गॅप (gap) मध्ये जोपर्यंत ऑइल (oil) डायइलेक्ट्रिक फेल्युअर (failure) अनुभवत नाही तोपर्यंत ग्रॅज्युअली इनक्रीजिंग (increasing) AC व्होल्टेज अप्लाय केले जाते. हाई BDV व्हॅल्यू (value) क्लीन (clean), ड्राय (dry), आणि कंटॅमिनेशन-फ्री (contamination-free) ऑइल (oil) दर्शवते, तर लो व्हॅल्यू मॉइश्चर (moisture), सस्पेंडेड (suspended) पार्टिकल्स (particles), किंवा डिटिरिओरेशन (deterioration) प्रॉडक्ट्स (products) च्या उपस्थितीची सुचना देते.

ऑइल टेस्ट-सेल (test-cell) नावाच्या कंटेनरमध्ये (container) पोर (poured) केले जाते, ज्याची इंटर्नल (internal) डायमेंशन्स (dimensions) 55 mm x 90 mm x 100mm आहेत. इलेक्ट्रोड्स (electrodes) 12.7 ते 13mm डायमीटर (diameter) चे पोलिश्ड (polished) ब्रास (brass) चे स्फियर्स (spheres) असतात,ज्यांना हॉरिझॉन्टली (horizontally) अरेंज (arranged) केले जाते आणि त्यांच्या ॲक्सिसेस (axes) सेलच्या (cell) बॉटम (bottom) पेक्षा कमीतकमी 40mm वर असतात.

टेस्टसाठी स्फियर्स (spheres) यांच्यामधील डिस्टन्स (distance) 2.5mm असावी. गॅप अॅडजस्ट (adjust) करण्यासाठी सुटेबल (suitable) गेज (gauge) वापरले जाते. ऑइल सॅम्पल (sample) तयार करताना (preparing), टेस्ट-सेल पूर्णपणे क्लीन केलेले असावे आणि मॉइश्चर (moisture) व सस्पेंडेड (suspended) पार्टिकल्स (particles) नसावेत.

Fig 5.3 दिलेल्या ऑइल सॅम्पलची डायइलेक्ट्रिक स्ट्रेंथ शोधण्यासाठी एक्सपेरिमेंटल सेट-अप दाखवते. व्होल्टमीटर हाय व्होल्टेज ट्रान्सफॉर्मरच्या प्रायमरी साईड वर कनेक्ट केलेले असते, पण ते हाय व्होल्टेज साईड वर कॅलिब्रेट (calibrated) केलेले असते.

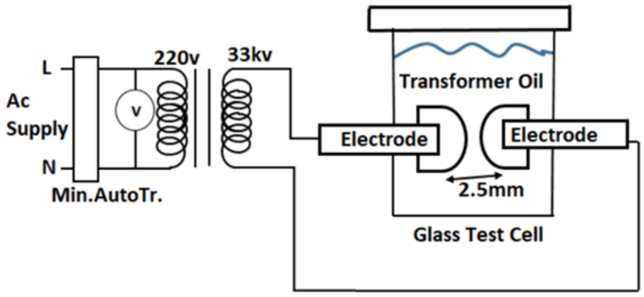


Fig 5.3: डायइलेक्ट्रिक स्ट्रेंथ टेस्ट (Dielectric Strength Test)

प्रोसिजर (Procedure):

a) ट्रान्सफॉर्मर ऑइल टेस्टिंगवर दिलेल्या इनक्लोज्ड (enclosed) इन्स्ट्रक्शन (instruction) ची स्टडी (study) करा.टेस्ट किट (kit) ऑन करा.

b) हळूहळू व्होल्टेज वाढवा आणि ते 33 kV (33 kV) वर एक मिनिट (one minute) ठेवा. शेवटी (रेकॉर्ड (record) करा की ऑइल सॅम्पल 33 kV एक मिनिट विथस्टँडिंग झाले का. जर ते आधी फेल (fails) झाले, तर 33 kV (33 kV) वर किती वेळ (time) ते विथस्टँड झाले ते नोट करा.

c) जर ते 33 kV पेक्षा कमी (lower) व्होल्टेज वर फेल झाले, तर ते व्होल्टेज ब्रेकडाऊन व्होल्टेज (breakdown voltage) म्हणून रेकॉर्ड करा.

d) नंतर व्होल्टेज अशा वेळी वाढवा (raise) जोपर्यंत ब्रेकडाऊन होत नाही, आणि ब्रेकडाऊन व्होल्टेज रेकॉर्ड करा. काळजी (take care) घ्या की जास्तीत जास्त व्होल्टेज 60 kV पेक्षा जास्त (exceed) होऊ नये.

e) ब्रेकडाऊन (breakdown) मुळे निर्माण झालेले सस्पेंडेड (suspended) पार्टिकल्स (particles) दिलेल्या ग्लास ट्यूब च्या मदतीने रिमूव्ह (remove) करा.

f) 5 मिनिटे थांबा. स्टेप 3 to 6 पाच वेळा रिपीट करा, ज्यामुळे एकूण सहा ऑब्झर्वेशन्स मिळतील.

g) टेस्ट (test) किट (kit) ऑफ (off) करा.

B. ॲसिडिटी टेस्ट (Acidity Test): ॲसिडिटी टेस्ट (Acidity Test) ही ट्रान्सफॉर्मर ऑइलचे सॅम्पल स्टँडर्ड अल्कली सोल्यूशनने टायट्रेट (Titration with Standard Alkali Solution) करून केली जाते. या प्रक्रियेमधून ऑइलमध्ये ऑक्सिडेशनमुळे (Oxidation) तयार झालेले ॲसिडिक कंपाऊंड्स (Acidic Compounds) किती प्रमाणात आहेत, हे कळते.

ॲसिडिक ऑइल मेटलच्या पार्टसवर कोरोजन वाढवते, सेल्युलोज इन्स्युलेशन (Cellulose Insulation) खराब करते आणि स्लज फॉर्मेशन (Sludge Formation) जलद घडवते. त्यामुळे न्यूट्रलायझेशन व्हॅल्यू (Neutralization Value) शक्य तितकी कमी ठेवणे हे लाँग-टर्म इन्स्युलेशन रिलायबिलिटी (Long-Term Insulation Reliability) कायम ठेवण्यासाठी अत्यंत महत्त्वाचे आहे.

Fig 5.4: ॲसिडिटी टेस्ट किट (Acidity Test kit)

प्रिन्सिपल (Principle):

a) न्यूट्रल (neutral) सोल्युशन (solution) सह PH व्हॅल्यू 7 असते. अॅसिडिक (acidic) मटेरियल (material) सह PH व्हॅल्यू (value) 7 पेक्षा कमी (less than 7) असते, आणि अल्कली (alkali) मटेरियल (material) सह PH व्हॅल्यू (value) 7 पेक्षा जास्त (above 7) असते.
b) नॉर्मल ट्रान्सफॉर्मर ऑइलची अॅसिडिटी (Acidity) 0.3 mg KOH/gram असते. जेव्हा अल्कली मटेरियल (Alkali Material) ट्रान्सफॉर्मर ऑइलमध्ये अॅड केले जाते, तेव्हा ऑइल पूर्णपणे न्यूट्रल (Neutral) होईल असे नाही. कारण अल्कलीचे प्रमाण (Quantity of Alkali) अॅसिडिटी न्यूट्रलाइझ (Neutralize Acidity) करण्यापुरतेच असावे लागते.
c) जर 0.3 mg अल्कली हे 1-gram ट्रान्सफॉर्मर ऑइल मध्ये अॅड केले, तर ऑइल न्यूट्रल स्टेट (Neutral State) म्हणजेच pH = 7 प्राप्त करू शकते.
d) जर 1-gram ट्रान्सफॉर्मर ऑइलमध्ये 0.3 mg पेक्षा जास्त अल्कली अॅड केले, तर ऑइलचा pH > 7 होतो आणि ट्रान्सफॉर्मर ऑइल अल्कलाइन (Alkaline) बनते.
e) ट्रान्सफॉर्मर ऑइलचा pH 7 पेक्षा कमी असतो, याचा अर्थ त्यामध्ये अॅसिडिक प्रॉपर्टीज (Acidic Properties) असतात.
f) ऑइलची अॅसिडिक नेचर (Acidic Nature) तपासण्यासाठी pH स्ट्रिप्स (pH Strips) ट्रान्सफॉर्मर ऑइलमध्ये बुडवून त्यांचा कलर (Colour Change) पाहिला जातो.

प्रोसिजर (Procedure):

a) सर्वप्रथम, व्हॉल्यूमेट्रिक (volumetric) सिरींज (syringe) वापरून 1 gram इन्सुलेटिंग ऑइल घ्या. प्रत्यक्षात, 1 gram ऑइल म्हणून 1.1 millilitre ऑइल घेतले जाते.
b) टेस्टिंग करण्यापूर्वी, टेस्ट सॅम्पल मध्ये 1 ml रेक्टिफाइड स्पिरिट एथिल अल्कोहॉल ऍड (added) करून डिसॉल्व्हड ऍसिड ऑइल मधून एक्सट्रॅक्ट करणे आवश्यक आहे. कारण मिनरल ऑइल मध्ये तयार झालेला ऍसिड अल्कोहॉल मध्ये अत्यंत सॉल्यूबल (soluble) असतो.
c) टेस्ट सॅम्पल नीट शेक (shaking) केल्यावर, सॅम्पल मध्ये 1 ml सोडियम कार्बोनेट ऍड (added) केले जाते. सोडियम कार्बोनेट त्या पर्पज (purpose) साठी सर्वात योग्य (suitable) अल्कली आहे कारण ते युज (use) दरम्यान अॅटमॉस्फिअर (atmosphere) शी संपर्कात आल्यावर त्याच्या कॅरेक्टरिस्टिक्स (characteristics) मध्ये जास्त बदल करत नाही.
d) शेवटी, सॅम्पल (sample) मिक्सचर (mixture) पुन्हा शेक (re-shaking) केल्यावर, सॅम्पल (sample) मध्ये 5 ड्रॉप्स (drops) युनिव्हर्सल (universal) इंडिकेटर (indicator) ऍड (added) करणे आवश्यक आहे.

अॅसिडिटी टेस्ट किट (Acidity Test Kit) हे ट्रान्सफॉर्मर इन्सुलेटिंग ऑइलची अॅसिडिटी तपासण्यासाठी वापरले जाते. या किटमध्ये खालील घटक असतात:

1. सोडियम कार्बोनेट सोल्यूशनची (Sodium Carbonate Solution) एक पॉलिथिन बॉटल
2. रेक्टिफाइड स्पिरिट / इथाइल अल्कोहोल (Rectified Spirit / Ethyl Alcohol) याची एक पॉलिथिन बॉटल
3. युनिव्हर्सल इंडिकेटर (Universal Indicator – Liquid) ची एक बॉटल
4. व्हॉल्युमेट्रिक स्केल असलेले सिरिंजेस (Volumetric Syringes)
5. क्लिअर आणि ट्रान्सपेरंट टेस्ट ट्यूब्स (Transparent Test Tubes)

ऑब्झर्वेशन (Observation): सॅम्पल ऑइल रेक्टिफाइड स्पिरिट, सोडियम कार्बोनेट, आणि युनिव्हर्सल (universal) इंडिकेटर (indicator) शी मिक्स केली जाते आणि त्याचा कलर हा रेफरन्स चार्ट सोबत कम्पेअर केला जातो. ऑइल सॅम्पलची ऍसिडिटी (acidity) व्हॅल्यू mg KOH / g मध्ये खालीलप्रमाणे डिस्क्राइब्ड (described) केली जाते.

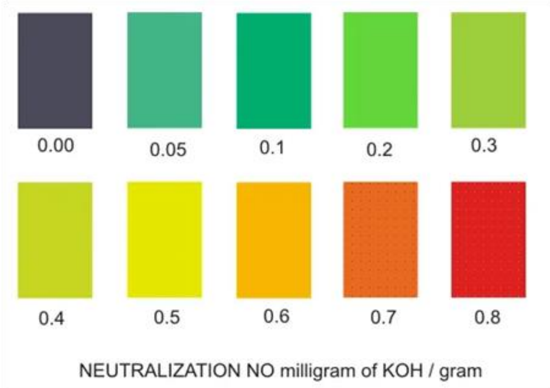


Fig 5.5: कलर चार्ट (Colour chart)

C. स्लज टेस्ट (Sludge Test): ट्रान्सफॉर्मर ऑइलचे लाँग टर्म थर्मल एजिंग (Thermal Ageing) झाल्यावर ऑक्सिडेशन प्रॉडक्ट्स (Oxidation Products) हळूहळू ऑइलमध्ये जमा होतात आणि शेवटी स्लज तयार करतात. हा स्लज वाइंडिंग्स आणि कूलिंग डक्ट्सवर जमा होऊन ट्रान्सफॉर्मरची कूलिंग परफॉर्मन्स कमी करतो.

स्लज टेस्ट ही ट्रान्सफॉर्मर ऑइलमध्ये अशा जमा झालेल्या स्लजचे अस्तित्व आणि प्रमाण ओळखण्यासाठी केली जाते. ही टेस्ट वेळेवर स्लज फिल्ट्रेशन किंवा रीकंडीशनिंग करण्यास मदत करते, ज्यामुळे सेविअर क्लॉगिंग, ओव्हरहिटिंग किंवा इन्स्युलेशन फेल्युअर होण्यापूर्वीच योग्य उपाय करता येतात.

प्रोसिजर (Procedure):

a) ट्रान्सफॉर्मर ऑइलचा मोजलेला सॅम्पल एक स्वच्छ टेस्ट कंटेनरमध्ये घ्या. सॅम्पलला कंट्रोल कन्डिशन मध्ये सुमारे 100°C पर्यंत हिट करा ज्यामुळे ऑक्सिडेशन प्रॉडक्ट्सचे प्रिसिपिटेशन (Precipitation) फास्ट होते.
b) सॅम्पल थंड होऊ द्या जेणेकरून तयार झालेले स्लज पार्टिकल्स खाली बसतील किंवा सस्पेंडेड अवस्थेत राहतील.
c) ऑइलला प्री-वेटेड फिल्टर पेपरमधून फिल्टर करा. फिल्टर पेपरला पेट्रोलियम इथर किंवा योग्य सॉल्व्हेंटने वॉश करा, जेणेकरून उरलेले ऑइल काढले जाईल. फिल्टर पेपरला कंट्रोल टेम्परेचरवर ड्राय करा जेणेकरून सॉल्व्हेंटचे ट्रेसेस निघून जातील.
d) फिल्टर पेपरचे पुन्हा वजन करा (Weigh Again).वजनातील वाढ (Increase in Weight) = सॅम्पलमध्ये असलेल्या स्लजचे प्रमाण (Amount of Sludge) दर्शवते.

ऑब्झर्वेशन (Observation):

a) ऑइल क्लीन दिसते आणि कोणतेही रेसिड्यू नाही (Clear Oil, No Residues) → ऑइलची कंडीशन चांगली आहे. (Oil is in Good Condition)

b) डार्क किंवा स्टिकी डिपॉझिट्स दिसतात (Dark or Sticky Deposits) →ऑइल खराब होत आहे; स्लज तयार होऊ लागला आहे. (Oil is Deteriorating; Sludge Formation Started)
c) स्लज मोठ्या प्रमाणात दिसतो (Large Amount of Sludge) →ऑइलला प्युरीफिकेशन किंवा रिप्लेसमेंटची गरज आहे. (Oil Requires Purification or Replacement)

D. क्रॅकल टेस्ट (Crackle Test): क्रॅकल टेस्ट (Crackle Test) ही ट्रान्सफॉर्मर ऑइलमध्ये मॉइश्चर कंटॅमिनेशन (Moisture Contamination) आहे का हे क्विक पद्धतीने (Quick Qualitative Indication) ओळखण्यासाठी वापरली जाते. या टेस्टमध्ये ऑइलचा एक स्मॉल ड्रॉप हॉटप्लेटवर (Hot Plate) टाकून क्रॅकल किंवा सिझल होणारा आवाज (Crackling / Sizzling Sound) ऐकला जातो. जर आवाज ऐकू आला तर ऑइलमध्ये वॉटर (Water) आहे हे स्पष्ट संकेत असतात. मॉइश्चरमुळे ट्रान्सफॉर्मर ऑइलची डायइलेक्ट्रिक स्ट्रेंथ (Dielectric Strength) कमी होते आणि इन्स्युलेशन ब्रेकडाउन (Insulation Breakdown) होण्याची शक्यता वाढते. त्यामुळे या सोप्या टेस्टद्वारे लवकर मॉइश्चर ओळखणे अत्यंत महत्त्वाचे आहे.

E. फ्लॅशपॉईंट पॉईंट टेस्ट (Flashpoint Point Test): फ्लॅश पॉईंट टेस्ट (Flash Point Test) ही ट्रान्सफॉर्मर ऑइल कोणत्या मिनिमम टेम्परेचर (Minimum Temperature) ला फ्लेमच्या कॉन्टॅक्टमध्ये (Contact with Flame) आल्यावर मोमेंटरीली इग्नाइट (Momentarily Ignite) होते, हे ठरवण्यासाठी केली जाते. या टेस्टद्वारे ऑइलमधून तयार होणाऱ्या वेपर्सची (Vapours) इग्निशन टेंडन्सी (Ignition Tendency) किती आहे, हे कळते.

हाय फ्लॅश पॉईंट (High Flash Point) असलेले ऑइल हाय-टेम्परेचर ऑपरेशन (High-Temperature Operation) दरम्यान अचानक फायर हॅझर्ड (Fire Hazard) निर्माण न करता सुरक्षितपणे काम करते, तसेच ओव्हरलोड कंडिशन्समध्ये (Overload Conditions) थर्मल स्ट्रेस (Thermal Stress) सहन करण्याची क्षमता जास्त असते. त्यामुळे फ्लॅश पॉईंट व्हॅल्यू (Flash Point Value) शक्य तितकी जास्त असणे हे ऑपरेशनल सेफ्टी (Operational Safety) आणि लाँग-टर्म मशीन प्रोटेक्शन (Long-Term Machine Protection) सुनिश्चित करण्यासाठी अत्यंत महत्त्वाचे आहे.

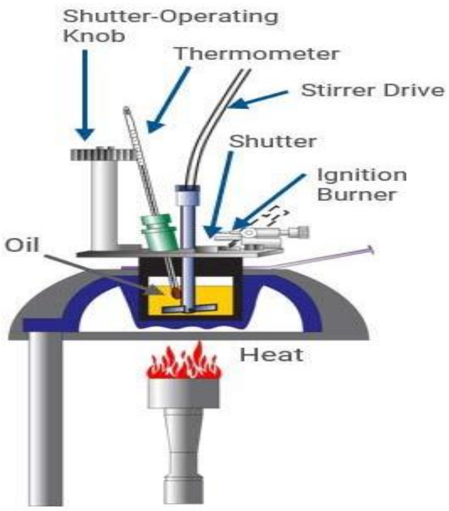


Fig 5.6: फ्लॅशपॉईंट पॉईंट टेस्ट (Flash Point Test)
Reference Link: https://vietnamtransformer.com

प्रोसिजर (Procedure):

a) फ्लॅश पॉईंट अपरॅटसच्या (Flash Point Apparatus) कपमध्ये ऑइल सॅम्पल मार्क केलेल्या लेव्हलपर्यंत (Marked Level) भरा.
b) लिड (Lid) व्यवस्थित बंद करा आणि थर्मामीटर (Thermometer) योग्य पोजिशनमध्ये ठेवा.
c) ऑइल सॅम्पलचे हीटिंग कंट्रोल्ड आणि युनिफॉर्म रेटने (Controlled and Uniform Rate) सुरू करा.
d) प्रत्येक ठराविक टेम्परेचर इंटरव्हलला (Temperature Intervals)-साधारणपणे 1–2°C,दिलेल्या ओपनिंगमधून टेस्ट फ्लेम (Test Flame) मोमेंटरीली (Momentarily) ॲप्लाय करा.
e) ऑइलच्या सरफेसवर (Surface) लक्ष ठेवा: जर फ्लॅश दिसला नाही तर हीटिंग सुरू ठेवा.
f) इन्स्टंटेनियस फ्लॅश (Instantaneous Flash) दिसल्यावर थर्मामीटरवर (Thermometer) दाखवलेले टेम्परेचर रेकॉर्ड करा.
g) टेम्परेचर ट्रान्सफॉर्मर ऑइलचा फ्लॅश पॉईंट (Flash Point) म्हणून नोट केले जाते.

F. फायर पॉईंट टेस्ट (Fire Point Test): फ्लॅश पॉईंटशी (Flash Point) क्लोजली रिलेटेड असलेली फायर पॉईंट टेस्ट (Fire Point Test) ऑइलचे वेपर्स (Vapours) सतत कम्बशन (Continuous Combustion) टिकवून ठेवतात ते टेम्परेचर मोजते. फायर पॉईंट (Fire Point) पुरेसा जास्त असणे महत्त्वाचे आहे, कारण त्यामुळे ट्रान्सफॉर्मर ऑइल अबनॉर्मल थर्मल कंडिशन्समध्ये (Abnormal Thermal Conditions) प्रोलाँग बर्निंग (Prolonged Burning) ला सपोर्ट करत नाही. यामुळे इक्विपमेंटची (Equipment) ओव्हरऑल फायर सेफ्टी (Overall Fire Safety) वाढते.

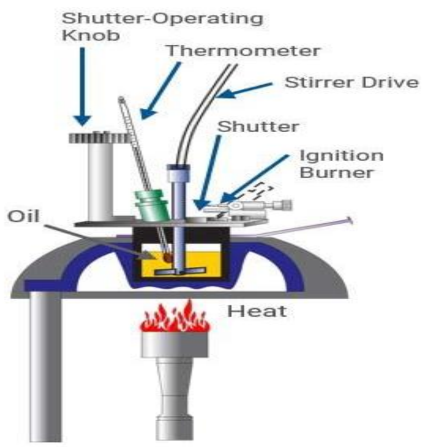


Fig 5.7: फायर पॉईंट टेस्ट (Fire Point Test)

Reference Link: https://vietnamtransformer.com

प्रोसिजर (Procedure):

a) टेस्ट कपमध्ये (Test Cup) ट्रान्सफॉर्मर ऑइल सॅम्पल स्पेसिफाईड लेव्हलपर्यंत (Specified Level) ओता.
b) अपरॅटस (Apparatus) योग्यरीत्या असेंबल करा आणि थर्मामीटर (Thermometer) नीट पोजिशनमध्ये ठेवा.
c) ऑइलचे हीटिंग स्टेडी आणि युनिफॉर्म रेटने सुरू करा.
d) प्रत्येक टेम्परेचर इंटरव्हलला दिलेल्या ओपनिंगमधून टेस्ट फ्लेम ॲप्लाय करा.

e) ऑइलच्या सरफेसकडे लक्ष द्या: मोमेंटरी फ्लॅश दिसल्यास ते फ्लॅश पॉईंट (Flash Point) असल्याचे दर्शवते (हे lower temperature असते).
f) हीटिंग पुढे चालू ठेवा जोपर्यंत ऑइल वेपर्स इग्नाइट होऊन किमान 5 सेकंद स्टेडीली बर्न होत नाहीत.
g) या स्टेपला दिसणारे टेम्परेचर ट्रान्सफॉर्मर ऑइलचा फायर पॉईंट म्हणून नोट करा.

5.6 इन्सुलेशन रिकंडिशनिंग: सेंट्रीफ्यूगल प्युरिफायर्स, स्ट्रीमलाईन फिल्टर (व्हॅक्यूम टाईप) फॉर प्युरिफिकेशन आणि इन्सुलेटिंग ऑइल फिल्टरिंग.क्लिनिंग आणि ड्रायिंग, रि-वार्निशिंग, व्हॅक्यूम इम्प्रेग्रेशन प्लांट कन्स्ट्रक्शन आणि वर्किंग (Reconditioning of insulation: centrifugal purifiers,streamline filter (Vacuum type) for purification and filtering of insulating oil. Cleaning and drying, revarnishing, construction and working of vacuum Impregnation plant):

इन्स्युलेशन रिकंडिशनिंग (Reconditioning of Insulation) ही एक अत्यावश्यक मेंटेनन्स प्रॅक्टिस (Maintenance Practice) आहे, जी ट्रान्सफॉर्मरच्या इन्स्युलेटिंग ऑइल आणि सॉलिड इन्स्युलेशन मटेरियल्सची (Solid Insulation Materials) इलेक्ट्रिकल आणि केमिकल प्रॉपर्टीज (Electrical and Chemical Properties) रिस्टोर करण्यासाठी केली जाते. काळानुसार इन्स्युलेटिंग ऑइलमध्ये मॉइश्चर (Moisture), ऑक्सिडेशन (Oxidation), डिसॉल्व्ड गॅसेस (Dissolved Gases) आणि सस्पेंडेड इम्प्युरिटीज (Suspended Impurities) यांच्या परिणामामुळे डिटेरिओरेशन (Deterioration) होते. ऑइलची डायलेक्ट्रिक स्ट्रेंथ (Dielectric Strength) वाढवण्यासाठी, कंटॅमिनन्ट्स काढण्यासाठी आणि कुलिंग व इन्स्युलेटिंग कॅरॅक्टेरिस्टिक्स रिस्टोर करण्यासाठी ऑइल प्युरिफिकेशन विविध पद्धतींनी केले जाते. यापैकी दोन वाइडली युज होणाऱ्या मेथड्स म्हणजे सेंट्रीफ्यूगल प्युरीफायर्स आणि स्ट्रीमलाइन/व्हॅक्यूम-टाईप फिल्टर्स.

A.सेंट्रीफ्यूगल प्युरिफायर (Centrifugal Purifier):

ट्रान्सफॉर्मर ऑपरेशनदरम्यान ऑइलमध्ये मॉइश्चर डस्ट, कार्बन पार्टिकल्स आणि स्लज अशा इम्प्युरिटीज मिसळतात. या इम्प्युरिटीजमुळे ऑइलची डायलेक्ट्रिक स्ट्रेंथ आणि कूलिंग एफिशियन्सी कमी होते. ही इम्प्युरिटीज काढण्यासाठी सेंट्रीफ्यूगल प्युरीफायर वापरला जातो, जो सेंट्रीफ्यूगल फोर्सच्या प्रिन्सिपलवर काम करतो, म्हणजे ऑइलमधील लाईट आणि हेवी पार्टिकल्स वेगवेगळे केले जातात.
सेंट्रीफ्यूगल प्युरीफायर सेंट्रीफ्यूगल सेपरेशन या प्रिन्सिपलवर कार्य करतो, ज्यात: ऑइलला हाय-स्पीडने फिरवले असता हेवी पार्टिकल्स आणि वॉटर सेंट्रीफ्यूगल फोर्समुळे बाहेरच्या बाजूस फेकले जातात, तर क्लीन ऑइल सेंटरजवळ राहते आणि ते स्वतंत्रपणे कलेक्ट केले जाते.

कन्स्ट्रक्शन (Construction):

a) या सिस्टीमचा मुख्य भाग म्हणजे रोटेटिंग बाउल / ड्रम (Rotating Bowl or Drum) — एक मेटॅलिक कॉम्पोनेंट जो इलेक्ट्रिक मोटरने हाय स्पीडमध्ये (3000–6000 rpm) फिरवला जातो. हाच ड्रम प्युरिफाय करायचे ऑइल कॅरी करतो आणि सेपरेशनसाठी आवश्यक असलेला सेंट्रीफ्यूगल फोर्स तयार करतो.
b) कंटॅमिनेटेड ऑइल इनलेट पाइप (Inlet Pipe) मधून प्युरिफायर मध्ये प्रवेश करते. आत गेल्यावर बॅफल प्लेट्स / गाईड व्हेन्स (Baffle Plates / Guide Vanes) ऑइलला योग्य दिशेने मार्गदर्शन

करतात, ज्यामुळे हाय-स्पीड बाउलच्या आत ऑइलचे इव्हन डिस्ट्रिब्युशन (Even Distribution) होते.

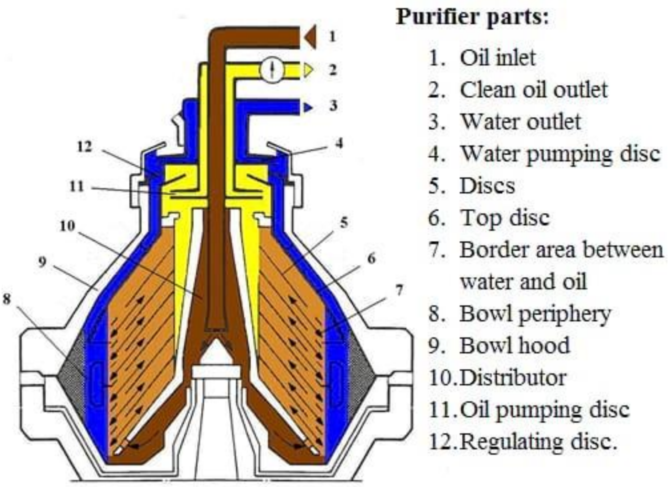


Fig 5.8: सेंट्रीफ्यूगल प्युरिफायर (Centrifugal Purifier)

Reference Link: https://www.linkedin.com/pulse/working-principle-centrifugal-oil-purifier-davide-laverga

c) बाउल रोटेशनमुळे डेंसिटी-बेस्ड सेपरेशन (Density-Based Separation) घडते: हेवी इम्प्युरिटीज आणि स्लज (Sludge) बाहेरील भिंतीकडे फेकले जातात आणि स्लज चेंबर (Sludge Chamber) मध्ये जमा होतात.

d) लाईट , क्लीन ऑइल (Clean Oil) आणि सेप्रेटेड वॉटर (Separated Water) सेंटरकडे सरकतात आणि स्पेशलाइज्ड आउटलेट पाइप्स (Outlet Pipes) मधून बाहेर पडतात. हे आउटलेट्स क्लीन ऑइल आणि रिमूव्हड कंटॅमिनन्ट्स (Removed Contaminants) यांचे स्वतंत्र डिस्चार्ज सुनिश्चित करतात.

e) संपूर्ण असेंब्ली (assembly) ला ड्राईव मेकॅनिझम (Drive Mechanism) चालवतो — ज्यात मोटर (Motor) आणि बेल्ट/पुली सिस्टीम (Belt/Pulley System) किंवा डायरेक्ट कपलिंग (Direct Coupling) असते. बाह्य भाग सुरक्षितपणे केसिंग / हाउझिंग (Casing / Housing) ने झाकलेला असतो, जे सर्व रोटेटिंग पार्ट्सला एनक्लोज करून ऑइल स्प्रे टाळते.

वर्किंग (Working):

सेंट्रीफ्युगल प्युरिफायर चे वर्किंग खालीलप्रमाणे आहे :

a) प्युरीफिकेशन (Purification) प्रोसेस ऑइल (Oil) फीडिंग (Feeding) पासून सुरू (begins) होते, जिथे कॉन्टॅमिनेटेड ट्रान्सफॉर्मर ऑइल इनलेट (inlet) पाइप मधून सतत (continuously) रोटेटिंग (rotating) बाउल (bowl) मध्ये डायरेक्ट (directed) केले जाते.

b) नंतर, रोटेशन सुरू होते. बाउल (bowl) हाय स्पीड (typically 3000–6000 rpm) वर ड्राईव्ह केला जातो, ज्यामुळे पॉवरफुल सेंट्रीफ्युगल फोर्स (force) तयार होते, जो ग्रॅव्हिटी (gravity) च्या फोर्स (force) पेक्षा अनेक पटींनी जास्त (many times greater) असतो.

c) हा पॉवरफुल फोर्स सेपरेशन (Separation) चे क्रुशियल (स्टेप (step) ड्राईव्ह (drives) करतो. हाय सेंट्रीफ्युगल (centrifugal) फोर्स (force) मुळे कंपोनंट्स (components) त्यांच्या डेंसिटी (density) वर आधारित वेगळे (separate) होतात:
d) हेव्हियर पार्टिकल्स जसे की स्लज, कार्बन , आणि मेटल डस्ट आणि डेनसर वॉटर ड्रॉपलेट्स रोटेटिंग बाउल च्या वॉल कडे जातात.लाइटर, क्लीन ऑइल बाउल च्या सेंट्रल जवळ राहते.
e) सेपरेशन नंतर, डिस्चार्ज होते. क्लीन ऑइल सुरक्षितपणे वेगळ्या आउटलॅट पाइप मधून रीसर्क्युलेशन साठी काढले जाते. त्याचवेळी, हेव्हियर इम्प्युरिटीज (impurities) आणि सेपरेटेड वॉटर स्लज चेंबर मध्ये जमा होतात आणि सिस्टिम मधून पिरियॉडिकली ड्रेन केले जातात.
f) शेवटी, कलेक्शन स्टेज मध्ये प्युरिफाइड ऑइल क्लीन ऑइल टँक मध्ये कलेक्ट होते, ज्यामुळे ते ट्रान्सफॉर्मर मध्ये रियुज साठी रेडी असते आणि त्याच्या डायलेक्ट्रिक आणि फिजिकल प्रॉपर्टीज पुन्हा रिस्टोर होतात.

फायदे (Advantages):
a) सस्पेंडेड इम्प्युरिटीज (impurities) आणि फ्री वॉटर इफिशियंटली रिमुव्ह केल्या जातात .
b) कॉन्टिन्युअस ऑपरेशन शक्य आहे.
c) फ्रिक्वेंट फिल्टर एलिमेंट (element) रिप्लेसमेंट (replacement) ची गरज (need) नाही.

लिमिटेशन्स (Limitations):
a) डिसॉल्व्हड गॅसेस किंवा मॉइश्चर पूर्णपणे काढता येत नाही.
b) खूप फाईन इम्प्युरिटीज (<1 मायक्रॉन (micron)) साठी सुटेबल नाही.
c) स्लज चेंबरची पिरियॉडिक क्लिनिंग आवश्यक आहे.

B. स्ट्रीमलाइन फिल्टर (Streamline Filter – Vacuum Type):

व्हॅक्यूम-टाईप प्युरीफायर (Vacuum-Type Purifier), ज्याला प्रचलितपणे स्ट्रीमलाइन फिल्टर (Streamline Filter) असेही म्हटले जाते, हा ट्रान्सफॉर्मर इन्स्युलेटिंग ऑइलचे डीप ड्रायिंग (Deep Drying) आणि ॲडव्हान्स्ड प्युरिफिकेशन (Purification) करण्यासाठी सर्वात प्रभावी सिस्टीमपैकी एक आहे.

कन्स्ट्रक्शन आणि वर्किंग (Construction and Working):

a) प्युरीफिकेशन सिस्टिम सिक्वेन्शली (sequentially) ऑपरेट (operates) करते, इनलेट (Inlet)/कोर्स (Coarse) स्ट्रेनर (Strainer) पासून सुरूवात होते, जो साधारणतः मेश (mesh) किंवा बास्केट (basket) असतो, आणि जो सब्सिक्वेंट (subsequent) पंप्स (pumps) ला लार्ज डेब्रीज (debris) पासून प्रोटेक्ट (protects) करतो.फीड (Feed) / सर्क्युलेशन (circulation) पंप (Pump) नंतर ऑइलला प्रेशराईज (pressurizes) करतो आणि त्याला प्रि-हीटर (Pre-Heater) शेल (shell) आणि ट्यूब (tube) किंवा इलेक्ट्रिक (electric) मधून पाठवतो. हीटर \ (Heater) चे पर्पज (purpose) महत्वाचे (vital) आहे: हे ऑइल (oil) साधारणतः 70–110°C टेम्परेचर (temperature) पर्यंत हीट (heats) करते, ज्यामुळे त्याचे विस्कॉसिटी (viscosity) मोठ्या प्रमाणात कमी (drastically reduce) होते आणि वॉटर (water) चे पार्शियल (partial) प्रेशर (pressure) वाढते, ज्यामुळे मॉइश्चर (moisture) बाहेर (driving out) निघते.
b) हीटिंग (Heating) नंतर, ऑइल फाईन फिल्टर /पॉलिशिंग युनिट (Unit) (मधून जाते, जे सॉलिड पार्टिकल्स (साधारण 1–10 µm) रिमुव्ह केले जाते.

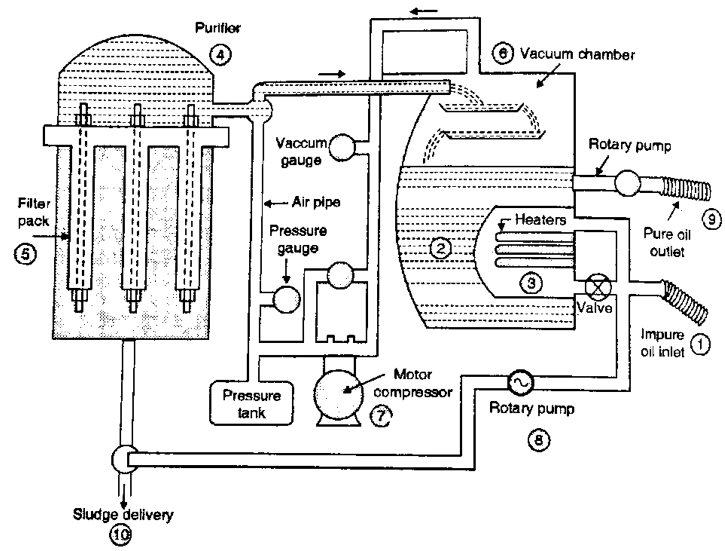


Fig 5.9: स्ट्रीमलाइन फिल्टर (Streamline Filter – Vacuum Type)

Reference Link: https://deepakkumaryadav.in/method-of-filtration-of-impure-oil-using-streamline-filter/

c) सिस्टिमचा कोर (core) म्हणजे व्हॅक्यूम (Vacuum) चेंबर/डीगॅसिंग (Degassing) वेसल (Vessel), एक मोठा सील्ड स्पेस जिथे ऑइल प्रोसेस करून वॉटर आणि डिसॉल्व्हड गॅसेस रिमुव्ह केले जातात. आत, ऑइल डिस्ट्रिब्यूशन मेकॅनिझम नोजल्स (nozzles) ऑइलला थिन (thin) फिल्म (film) किंवा ड्रॉपलेट्स (droplets) मध्ये स्प्रेड (spreads) करतो, ज्यामुळे सरफेस (surface) एरिया जास्त होतो. हाय व्हॅक्यूम (vacuum) अप्लाय केले जाते.ज्यामुळे वॉटर (water) आणि डिसॉल्व्हड गॅसेस कमी टेम्परेचरवर (temperature) बॉइल (boil) होतात.

d) एक्स्ट्रॅक्ट केलेला वॉटर व्हेपर आणि गॅसेस व्हेपर आउटलॅट मधून कंडेंसर कडे (drawn out) जातात. येथे व्हेपर कूल करून लिक्विड वॉटर मध्ये कंडेन्स केला जातो, जो व्हेपर सेपरेटर/रिसीव्हर मध्ये कलेक्ट केला जातो आणि पिरियॉडिकली ड्रेन केला जातो, तर रेसिड्युअल ऑइल ट्रेस (traces) सिस्टम मध्ये परत पाठवले जातात.

e) ऑप्शनल (Optional) कंपोनंट्स (components) मध्ये पॉलिशिंग (Polishing) फिल्टर्स (Filters), मॉलिक्युलर (Molecular) सीव्ह्स (Sieves), किंवा अॅक्टिव्हेटेड (Activated) अॅल्युमिना (Alumina) समाविष्ट असतात, जे डीपर (deeper) ड्रायिंग (drying) किंवा ॲसिड्स (acids) व गॅसेस (gases) काढण्यासाठी वापरले जातात.नंतर ऑइल कूलिंग सेक्शन हीट (Heat) एक्सचेंजर मधून जातो, जे सुरक्षित (safe) टेम्परेचर (temperature) पर्यंत परत आणते. फायनल (Final) पार्टिकल (Particle)/पॉलिशिंग (Polishing) फिल्टर (micro-filters) हे सुनिश्चित (ensures) करते की ऑइल परत पाठवण्यापूर्वी हायेस्ट लेव्हल च्या पार्टिकल (particle) क्लीनलिनेस (cleanliness) मध्ये आहे.

f) शेवटी, आउटलेट (Outlet)/रिटर्न (Return) पंप) प्युरिफाइड ऑइल ट्रान्सफॉर्मर कडे परत पाठवतो. ही संपूर्ण प्रोसेस क्रुशियल (crucial) इन्स्ट्रुमेंटेशन (Instrumentation) द्वारा मॉनिटर्ड (monitored) आणि कंट्रोल (controlled) केली जाते, ज्यामध्ये फ्लो (flow) कंट्रोल (control) व्हॉल्व्ह्स (valves), प्रेशर (pressure)/व्हॅक्यूम (vacuum) गेजेस (gauges), टेम्परेचर

(temperature) सेन्सर्स (sensors), आणि मॉइश्चर (PPM) व ॲसिडिटी (TAN) मोजण्यासाठी स्पेशलाइज्ड (specialized) मीटर्स (meters) समाविष्ट असतात.

फायदे (Advantages)

a) **व्हॅक्यूम फिल्टर स्ट्रेंथ्स** (**Vacuum filter strengths**):एक्सलेंट डीहायड्रेशन आणि डीगॅसिंग, डायलेक्ट्रिक स्ट्रेंथ रिस्टोर करण्यासाठी आणि लॉंग-टर्म कंडिशनिंगसाठी चांगले.

b) **सेंट्रीफ्युगल स्ट्रेंथ्स** (**Centrifugal strengths**):फ्री वॉटर (water) आणि हेव्ही (heavy) पार्टिक्युलेट (particulate)/इमल्शन्स (emulsions) काढण्यासाठी उत्कृष्ट (excellent),

c) **कॉम्बाइन्ड ॲप्रोच** (**Combined approach**):अनेक (Many) फॅसिलिटीज (facilities) बल्क (bulk) सॉलिड (solid)/वॉटर (water) साठी सेंट्रीफ्युगल (centrifugal) प्युरिफिकेशन (purification) वापरतात आणि डीप (deep) ड्रायिंग (drying) व डीगॅसिंगसाठी व्हॅक्यूम (Vacuum) स्ट्रिमलाइन (Streamline) वापरतात.

क्लिनिंग आणि ड्रायिंग , रिवार्निशिंग (Cleaning and Drying, Revarnishing):

क्लिनिंग (Cleaning): इलेक्ट्रिकल मशीनसच्या सरफेस मध्ये सर्व्हिस दरम्यान डस्ट, ऑइल मॉइश्चर आणि कार्बन पार्टिकल्स जमा होतात. हे कॉन्टॅमिनंट्स इन्सुलेशन रेसिस्टन्स कमी करतात आणि ट्रॅकिंग किंवा फ्लॅशओवर ची शक्यता वाढवतात. क्लिनिंग ड्राय क्लॉथ्स, कॉम्प्रेस्ड एअर, सॉफ्ट ब्रशेस, किंवा अप्रूव्ह्ड सॉल्व्हेंट्स (जसे की पेट्रोलियम जेली (jelly) किंवा ट्रायक्लोरोएथिलीन (trichloroethylene)) वापरून केली जाते, हे कॉन्टॅमिनेशन (contamination) च्या सिव्हेरिटी (severity) वर अवलंबून असते. सर्व लूज (loose) पार्टिकल्स (particles) आणि मॉइश्चर-ॲब्झॉर्बिंग (moisture-absorbing) डिपॉझिट्स (deposits) पुढीलट्रीटमेंट (treatment) करण्यापूर्वी रिमुव्ह करणे आवश्यक (necessary) आहे.

इन्सुलेशन क्लिनिंग मेथड्स (Methods of Cleaning of Insulation):

a) लूज डस्ट ब्लोअरने (Blower) रिमुव्ह करावी ; फोर्स्ड / सक्शन एअरचा (Forced/Suction Air) प्रेशर मिडरेट असावा.

b) लूज डस्ट व्हॅक्यूम क्लीनरने (Vacuum Cleaner) रिमुव्ह करावी.

c) ड्राय डस्ट सॉफ्ट ब्रशने (Soft Brush) रिमुव्ह करावी.

d) ओपन केबल्सवरील ओपन डस्ट / डर्ट कॉटन वेस्टने (Cotton Waste) स्वच्छ करावी.

e) स्टिकी डर्ट फायब्रस स्क्रॅपरने (Fibrous Scraper) स्मूथली रिमुव्ह करावी.

f) ऑइली किंवा व्हिस्कस फिल्म्स (Oily Viscous Films) ॲप्रूव्ह्ड पेट्रोलियम सॉल्व्हेंटने (Approved Petroleum Solvent) पुसून, नंतर कॉटन क्लॉथने (Cotton Cloth) स्वच्छ कराव्यात.

g) ऑइल, ग्रीस आणि डर्ट शक्य तितके क्लीन ड्राय क्लॉथने (Clean Dry Cloth) पुसून काढावे; नंतर कॉइल मॅन्युफॅक्चररने (Coil Manufacturer) रेकमेंड केलेल्या सॉल्व्हेंटने (Solvent) वापरून क्लॉथने पुन्हा पुसून घ्यावे.

h) विशेषतः H-Class इन्स्युलेशन (H Class Insulation) क्लीन वॉटरने आणि डिटर्जंटने (Detergent) स्वच्छ करता येते.

i) क्लिनिंग शक्य तितक्या लवकर करावी आणि एक्सेस मॉइश्चर ड्राय क्लॉथने (Dry Cloth) रिमुव्ह करावे.

ड्रायिंग (Drying of Insulation): लो इन्स्युलेशन रेसिस्टन्स (Low Insulation Resistance) हे वाइंडिंग्स / इन्स्युलेटिंग ऑइलमध्ये मॉइश्चर (Moisture) शोषल्यामुळे निर्माण होते. बहुतेक इन्स्युलेटिंग मटेरियल्स हायग्रोस्कोपिक (Hygroscopic) असतात. एक्स्पोज्ड लोकेशनमध्ये (Exposed Location) वाइंडिंग / इन्स्युलेशन वॉटर स्प्रे (Water Spray), पूरामुळे उपकरण पाण्यात बुडणे (Submerging by Flooding) इत्यादी कारणांमुळे डॅम्प (Damp) होऊ शकते. डस्ट आणि डर्ट (Dust & Dirt) वाइंडिंग / इन्स्युलेशनवर जमा होऊन मॉइश्चर शोषतात, ज्यामुळे लीकेज करंट (Leakage Current) वाढतो आणि शेवटी ट्रॅकिंग (Tracking) व ब्रेकडाउन ऑफ इन्स्युलेशन (Breakdown of Insulation) होतो.म्हणूनच इन्स्युलेशनचे ड्रायिंग (Drying of Insulation) करून त्याची इन्स्युलेशन रेसिस्टन्स पुन्हा रिस्टोर करणे आवश्यक असते.

इलेक्ट्रिकल इक्विपमेंट ड्रायिंगच्या मेथड्स (Methods of Drying of Electrical Equipment):

A. एक्स्टर्नल हीट (External Heat): ही इन्स्युलेशन ड्रायिंगचा सर्वात कॉमन पद्धत आहे. एक्स्टर्नल हीट पद्धत खालीलप्रमाणे आहेत:

बेकिंग इन द ओव्हन (Baking in the Oven): मशिनचे इक्विपमेंट / वाइंडिंग वार्निशसह बेकिंग ओव्हन (Baking Oven) मध्ये कॉन्स्टंट टेम्परेचरवर (Constant Temperature) ड्राय केले जाते. टेम्परेचर थर्मोस्टॅटिक कंट्रोल (Thermostatic Control) च्या मदतीने सतत कॉन्स्टंट ठेवले जाते.

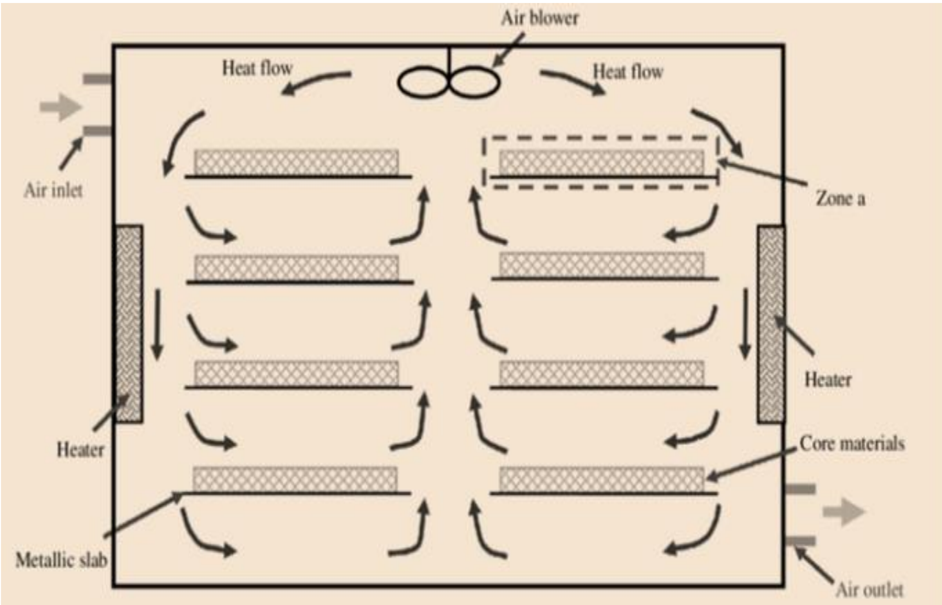


Fig 5.10: बेकिंग इन द ओव्हन (Baking in the Oven)

B.इंटरनल हीट (Internal Heat): इक्विपमेंटच्या वाइंडिंगमध्ये I^2R loss (I^2R Loss) मुळे तयार होणाऱ्या हीटच्या मदतीने वाइंडिंगचे इन्स्युलेशन (Insulation) ड्राय करता येते. यासाठी डी.सी. व्होल्टेज (D.C. Voltage) रेक्टिफायरच्या (Rectifier) मदतीने मिळवले जाते. लो डी.सी. करंट (Low D.C. Current) इक्विपमेंटच्या वाइंडिंगमधून पास केला जातो, आणि इलेक्ट्रिकल करंटच्या हीटिंग इफेक्टमुळे (Heating Effect of Electrical Current) वाइंडिंगमध्ये हीट निर्माण होते.ही निर्माण झालेली हीट इक्विपमेंट / इन्स्युलेशन ड्राय (Dry) करण्यासाठी वापरली जाते.

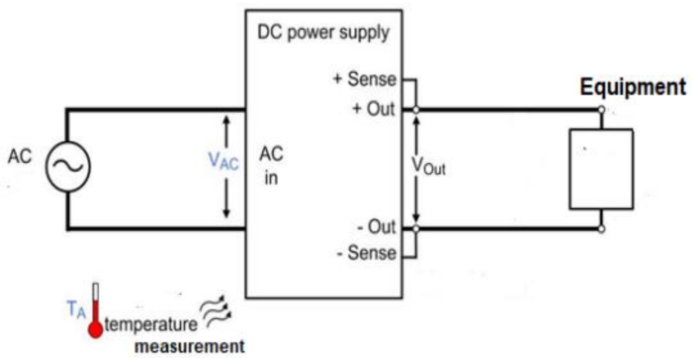


Fig 5.11: इंटरनल हीट (Internal Heating)

रि-वार्निशिंग (Re-Varnishing): रि-वार्निशिंग (Re-Varnishing) ही प्रक्रिया ट्रान्सफॉर्मर वाइंडिंग्सची डायलेक्ट्रिक स्ट्रेंथ (Dielectric Strength), मेकॅनिकल रिजीडिटी (Mechanical Rigidity) आणि मॉइश्चर रेसिस्टन्स (Moisture Resistance) लाँग सर्विसनंतर किंवा दुरुस्तीनंतर (After Long Service or Repairs) पुनर्स्थापित करण्यासाठी केली जाते.

वार्निश अप्लिकेशन मेथड्स (Varnish Application Methods):

1. **ब्रशिंग मेथड (Brushing Method):** ब्रशचा (Brush) वापर करून वार्निश मॅन्युअली (Manually) लावले जाते. ही पद्धत स्मॉल ट्रान्सफॉर्मर्स (Small Transformers) साठी योग्य आहे.
2. **डिपिंग मेथड (Dipping Method):** संपूर्ण वाइंडिंग / कॉइल (Winding / Coil) वार्निश टँकमध्ये (Varnish Tank) डीप केलीजाते, ज्यामुळे युनिफॉर्म कोटिंग (Uniform Coating) मिळते.
3. **व्हॅक्यूम प्रेशर इम्प्रेग्नेशन (Vacuum Pressure Impregnation – VPI):** लार्ज आणि क्रिटिकल ट्रान्सफॉर्मर्स (Large & Critical Transformers) साठी वापरली जाणारी अॅडव्हान्स्ड पद्धत. व्हॅक्यूम आणि प्रेशरच्या (Vacuum & Pressure) मदतीने वार्निश इन्स्युलेशनच्या पोर्समध्ये (Insulation Pores) डीप पेनिट्रेट (Deep Penetrate) होते, ज्यामुळे मॅक्सिमम स्ट्रेंथ आणि प्रोटेक्शन मिळते.

बेकिंग(Baking): वार्निश अप्लिकेशन (Varnish Application) झाल्यानंतर वाइंडिंग ड्रायिंग ओव्हनमध्ये (Drying Oven) ठेवली जाते. टेम्परेचर वार्निश स्पेसिफिकेशन्सनुसार (Varnish Specifications) ठेवले जाते — साधारण 80–120°C. बेकिंग प्रक्रिया (Baking Process) तेव्हाच पूर्ण मानली जाते जेव्हा वार्निश फुल्ली क्युअर्ड (Fully Cured) होते आणि इन्स्युलेशन रेसिस्टन्स (Insulation Resistance) स्टेबल होते.

व्हॅक्यूम इम्प्रेग्नेशन प्लांट चे कन्स्ट्रक्शन आणि वर्किंग (Construction and Working of Vacuum Impregnation Plant):

कन्स्ट्रक्शन (Construction):

एक स्टँडर्ड व्हॅक्यूम इम्प्रेग्नेशन प्लांट खालील मेजर कंपोनेंट्स पासून बनलेले असते:

a) VPI प्रोसेस चा कोर म्हणजे इम्प्रेग्नेशन चेंबर ऑटोक्लेव, जो हर्मेटिकली सील स्टील टँक आहे, जो व्हॅक्यूम आणि हाई प्रेशर दोन्ही सहन करण्यासाठी बनवलेला आहे. यात बोल्टेड डोअर असतो , जो रबर गास्केट ने सील केला जातो, आणि व्हॅक्यूम आणि प्रेशर गेज, ऑइल/व्हॅर्निश इनलेट आणि ड्रेन वाल्व्स, तसेच लेव्हल इंडिकेटर्स हे टँकला कनेक्ट केलेले असतात.याचे प्रायमरी फंक्शन

म्हणजे संपूर्ण व्हॅक्यूम आणि प्रेशर इम्प्रेग्रेशन सायकल दरम्यान कंपोनेंट्स (उदा., वाईंडिंग) सुरक्षितपणे होल्ड करणे.

b) इम्प्रेग्रेशन पूर्वी, व्हॅक्यूम पंप डीप व्हॅक्यूम तयार करतो (typically 0.5 to 5 mbar). याचे क्रिटिकल फंक्शन म्हणजे चेंबर आणि विशेषतः वाईंडिंग्स मधील मायक्रोस्कोपिक पोर्स मधील सर्व एअर आणि मॉइश्चर रिमुव्ह करणे, जेणेकरून व्हॅर्निश पूर्णपणे पेनिट्रेट होऊ शकेल. एक कंडेंसर / ट्रॅप चेंबर आणि व्हॅक्यूम पंप यांच्या मध्ये ठेवलेले असते, जे वॉटर आणि व्हॅर्निश व्हेपर्स कंडेन्स करते, आणि सेंसिटिव्ह पंप मेकॅनिझम ला डॅमेज पासून प्रोटेक्ट करते.

c) इन्सुलेटिंग मटेरियल व्हॅर्निश टँक / स्टोरेज व्हेसल मध्ये स्टोअर केले जाते, जे स्पेशलाइज्ड व्हॅर्निश अल्कायड, पॉलिस्टर, एपॉक्सी, किंवा सिलिकॉन असते . हा व्हेसल हीटिंग कॉइल किंवा थर्मोस्टॅट वापरून व्हॅर्निश ची विस्कॉसिटी कंट्रोल करते (typically 40–60°C) आणि ॲजीटेटर वापरून युनिफॉर्मिटी राखली जाते. एक डेडिकेटेड व्हॅर्निश ट्रान्सफर पंप व्हॅर्निश ला या स्टोरेज टँक मधून चेंबर मध्ये नेतो आणि इम्प्रेग्रेशन फेज नंतर एक्सेस परत पाठवते.

d) शेवटी, संपूर्ण प्रोसेस कंट्रोल पॅनल (सामान्यतः सेमी-ऑटोमॅटिक किंवा PLC-आधारित द्वारे मॅनेज केली जाते) व्हॅक्यूम / प्रेशर वाल्व्स, हीटिंग सिस्टम, आणि प्रोसेस टाइमर्स कंट्रोल करण्यासाठी वापरली जाते. इम्प्रेग्रेशन फेज नंतर, वाईंडिंग्स क्युअरिंग ओव्हन (Baking Chamber) मध्ये ट्रान्सफर केल्या जातात, जिथे त्यांना ठराविक ड्युरेशन (typically 100–150°C, 2–8 hours) साठी हीट केले जाते, जेणेकरून व्हॅर्निश पूर्णपणे क्युअर होते आणि इन्सुलेशन सिस्टीम सॉलिडिफाय होते.

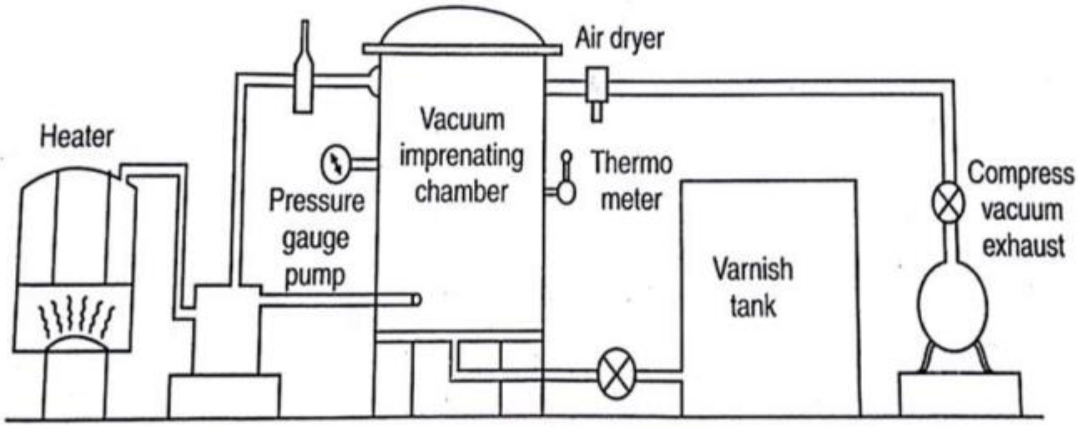


Fig 5.12: व्हॅक्यूम इम्प्रेग्रेशन प्लांट (Vacuum Impregnation Plant)

व्हॅक्यूम इम्प्रेग्रेशन प्रोसेस (Process of Vacuum Impregnation):

ही प्रोसेस अनेक स्टेप्स मध्ये चालते.

स्टेप (Step) 1 – प्रिपरेशन (Preparation):

a) वाईंडिंग्स किंवा कॉइल्स क्लिन आणि मॉइश्चर (Moisture) काढण्यासाठी ओव्हन (Oven) मध्ये प्री-ड्राय (Pre-dried) केल्या जातात.

b) ड्रायिंग नंतर, त्या वॉर्म (Warm) असताना त्वरित इम्प्रेग्रेशन (Impregnation) चेंबर मध्ये ट्रान्सफर केल्या जातात..

स्टेप (Step) 2 – एव्हाक्युएशन (Evacuation):

a) चेंबरचे डोअर (Door) बंद आणि सील (Sealed) केले जाते.
b) व्हॅक्यूम पंप सुरू केला जातो जेणेकरून चेंबर आणि वाईंडिंग पोर्स (Pores) मधील एअर (Air) काढला जाईल.
   ड्युरेशन (Duration): 30–90 मिनिटे (Minutes), कंपोनेंट (Component) च्या साइज (Size) नुसार.
c) इन्सुलेशन मधील सर्व ट्रॅप्ड (Trapped) एअर आणि मॉइश्चर रिमुव्ह केले जाते.

स्टेप 3 (Step) 3 – व्हॅर्निश फिलिंग (VarnishFilling):

a) व्हॅक्यूम मेंटेन (Maintaining) करत, व्हॅर्निश (Varnish) स्टोरेज टँक मधून कंट्रोल वाल्व्स द्वारे चेंबरमध्ये फील केले जाते.
b) व्हॅर्निश (Varnish) संपूर्ण कंपोनेंट (Component) ला इमर्स (Immerse) करते.

स्टेप (Step) 4 – सोकिंग / इम्प्रेग्रेशन (Soaking / Impregnation):

a) व्हॅक्यूम मेंटेन किंवा थोडारिलीज (Released) केला जातो जेणेकरून व्हॅर्निश सर्व पोर्स (Pores) मध्ये डीपली (Deeply) पेनिट्रेट (Penetrate) होऊ शकेल.
b) कधी कधी, पॉझिटिव्ह प्रेशर (0.5–2 bar) व्हॅक्यूम नंतर अप्लाय केला जातो जेणेकरून व्हॅर्निश (Varnish) उर्वरित व्हॉइड्स (Voids) मध्ये फोर्स (Force) केली जाईल, याला व्हॅक्यूम प्रेशर (Vacuum Pressure) इम्प्रेग्रेशन (Impregnation) (VPI) असे म्हणतात.
c) ड्युरेशन (Duration): 30–60 मिनिटे (Minutes).

स्टेप (Step) 5 – ड्रेनिंग (Draining):

a) एक्सेस व्हॅर्निश परत व्हॅर्निश टँक मध्ये ड्रेन केली जाते.
b) कंपोनेंट चेंबर मध्ये राहतो जेणेकरून सर्फेस वर ड्रिपिंग होऊ शकेल.

स्टेप (Step) 6 – क्युअरिंग /बेकिंग (Curing / Baking):

a) इम्प्रेग्रेटेड (Impregnated) कंपोनेंटला क्युअरिंग (Curing) ओव्हन (Oven) मध्ये ट्रान्सफर केले जाते.
b) व्हॅर्निश क्युअर (Cures) आणि हार्डन (Hardens) होईपर्यंत 100–150°C टेम्परेचर ठेवले जाते.
c) रिझल्ट (Result): एक टफ (Tough), ग्लॉसी (Glossy), मॉइश्चर-प्रूफ (Moisture-proof) कोटिंग (Coating) जी इन्सुलेशन (Insulation) शी फर्मली (Firmly) बॉंड (Bonded) केलेली आहे.

व्हॅक्यूम इम्प्रेग्रेशन चे फायदे (Vacuum Impregnation Advantages):

a) हाय डायलेक्ट्रिक आणि मेकॅनिकल स्ट्रेंथ.
b) मॉइश्चर रेसिस्टन्स.
c) लाँगर इक्विपमेंट (Equipment) लाईफ.
d) नो (No) एअर (Air) बबल्स (Bubbles), व्हॉइड्स (Voids).

5.7 हिस्ट्री शीट ऑफ ट्रान्सफॉर्मर्स आणि इंडक्शन मोटर्स – पार्ट A: मशीन स्पेसिफिकेशन्स विथ कॉम्पोनंट स्पेसिफिकेशन्स (इन्स्टॉलेशन इन्फॉर्मेशन, बियरिंग्स, ऑइल टाईप, कोअर वेट etc. ॲज अप्लिकेबल (History Sheet of transformers and induction motors – Part A: machine specifications with component specifications (installation information, bearings, oil type, core weight etc. as applicable)):

A. Transformer History Sheet (Part A)

1. General Information

Table 5.3: General Information

Parameter	Details
Equipment Name	Power / Distribution Transformer
Equipment Code / ID	
Location / Installation Site	
Date of Installation	
Manufacturer	
Year of Manufacture	
Serial Number	
Type of Cooling	ONAN / ONAF / OFAF / OFWF
Type of Transformer	Two-winding / Three-winding / Auto Transformer
Application	Distribution / Power / Furnace / Rectifier, etc.

2. Electrical Ratings

Table 5.4: Electrical Ratings

Parameter	Details
Rated Capacity	___ kVA / MVA
Primary Voltage	___ kV
Secondary Voltage	___ kV
Tertiary Voltage (if any)	___ kV
Frequency	50 Hz
Connection Type	Dyn11 / Yyn0 / Yd1 / etc.
Vector Group	
Tap Changer	Off-Load / On-Load
Tap Range	±___% in steps of ___%
Impedance	___ %
Temperature Rise	Winding: ___ °C, Oil: ___ °C
Insulation Class	A / B / F / H
Efficiency	___ % at ___ load and ___ pf
Regulation	___ % at ___ pf

3. Constructional Details

Table 5.5: Constructional Details

Component	Specification / Details
Core Material	CRGO Steel / Amorphous Alloy
Core Weight	___ kg
Winding Material	Copper / Aluminium
Type of Winding	Disc / Helical / Layer
Core Clamping	Bolted / Pressed / Laminated
Cooling Surface	Radiators / Tubes / Corrugated Tanks
Tank Type	Welded / Bolted / Conservator Type / Sealed Type
Bushings	Porcelain / Polymer, Make & Rating
Oil Type	Mineral / Synthetic / Ester
Oil Quantity	___ litres
Oil Grade	As per IS 335 / IS 12463 etc.
Core and Coil Weight	___ kg
Total Weight	___ kg

4. Installation Information

Table 5.6: Installation Information

Parameter	Details
Foundation Type	RCC / Steel Frame
Earthing Provided	Yes / No
Lightning Arresters	Yes / No
Cable / Bus Duct Connection	
Neutral Grounding	Solid / Resistance / Reactance
Oil Filtration Done Before Commissioning	Yes / No
Initial IR Values	H–E = ___ MΩ, L–E = ___ MΩ, H–L = ___ MΩ
Megger Voltage Used	500V / 1kV / 5kV
Initial Oil BDV	___ kV (per 2.5 mm gap)
Date of Commissioning	

5. Accessories / Instruments

Table 5.7: Accessories / Instruments

Accessory	Make / Type / Specification
Buchholz Relay	
Oil Level Gauge	
Pressure Relief Device	
Magnetic Oil Gauge	
Thermometers	
Silica Gel Breather	

B. Induction Motor History Sheet (Part A)

1. General Information

Table 5.8: General Information

Parameter	Details
Equipment Name	Induction Motor
Equipment Code / ID	
Location / Section	
Date of Installation	
Manufacturer	
Year of Manufacture	
Serial Number	
Type	Squirrel Cage / Slip Ring
Mounting Type	Foot / Flange / Foot–Flange
Application	Pump / Fan / Conveyor / Compressor etc.

2. Electrical Ratings:

Table 5.9: Electrical Ratings

Parameter	Details
Rated Power	___ kW / HP
Rated Voltage	___ V
Rated Current	___ A
Frequency	50 Hz
Power Factor	___
Efficiency	___ %
Speed (RPM)	___
Number of Poles	___
Duty Type	S1 / S2 / S3 etc.
Insulation Class	A / B / F / H
Ambient Temperature	___ °C
Enclosure Type	TEFC / SPDP / CACA / CACW
Frame Size	___
Starting Method	DOL / Star-Delta / Auto-transformer / Rotor Resistance

3. Mechanical Construction Details:

Table 5.10: Electrical Ratings

Component	Specification
Shaft Material	EN8 / EN24 etc.
Shaft Diameter	___ mm
Bearing Type	Ball / Roller / Sleeve
Bearing No.	DE: ___, NDE: ___
Bearing Lubrication	Grease / Oil
Bearing Make	SKF / FAG / NTN etc.

Component	Specification
Bearing Housing Type	Split / Solid
Cooling Fan	Material and No. of Blades
Fan Cover	Cast Iron / Sheet Steel
Rotor Type	Die-cast Aluminium / Wound Rotor
Stator Core Material	Laminated CRGO steel
Core Weight	___ kg
Stator Winding	Copper / Aluminium
Rotor Resistance (for slip ring)	___ Ω
Slip Rings Material	Phosphor Bronze / Gun Metal
Brush Material (for slip ring)	Carbon / Electrographite

4. Installation & Foundation Information:

Table 5.11: Installation & Foundation Information

Parameter	Details
Foundation Type	RCC / Steel Frame
Alignment Type	Coupled / Belt Driven / Direct
Driven Equipment	
Vibration Level	___ mm/s
Earthing Provided	Yes / No
Cable Size & Type	
Control Gear / Starter Type	
Motor Protection	Thermal Overload / Earth Fault / Bearing Temp
Cooling Arrangement	Natural / Forced Ventilation
Date of Commissioning	

5. Initial Test Record:

Table 5.12: Initial Test Record

Test	Measured Value
Insulation Resistance (IR) – Ph–Ph	___ MΩ
Insulation Resistance (IR) – Ph–E	___ MΩ
Winding Resistance (per phase)	___ Ω
No-Load Current	___ A
No-Load Power	___ W or kW
Direction of Rotation	CW / CCW
Test	**Measured Value**
Vibration	Within limit / Excessive
Bearing Temperature (Initial Run)	DE: ___ °C, NDE: ___ °C

6. Lubrication and Maintenance Information:

Table 5.13: Lubrication and Maintenance Information

Parameter	Details
Type of Lubricant	Grease / Oil
Lubricant Grade	(e.g., Shell Alvania EP2, Mobil Polyrex EM, etc.)
Quantity of Lubricant	___ g / per bearing
Re-lubrication Interval	Every ___ hours
Grease Nipple Type	
Oil Type (if sleeve bearing)	Transformer Oil / Turbine Oil (Grade)

Part B: date wise: observations of parameters such as voltage, current, temperature etc., symptoms, work carried out under maintenance:

Table 5.14: Date wise history sheet

Date	Equipment Details (Rating, Sl. No., Location)	Observed Parameters	Symptoms / Abnormalities Noticed	Maintenance / Work Carried Out	Remarks
dd/mm/yyyy	Transformer / Motor details	• Voltage: ___ V			
• Current: ___ A					
• Load: ___ %					
• Temperature: ___ °C					
• IR values: ___ MΩ					
• Vibration / Noise levels					
• Oil level (for transformer)					
• Oil temperature / Winding temp	• Overheating				
• Noise or vibration					
• Oil leakage					
• Rise in current					
• Drop in IR value					
• Unusual smell or sound					
• Abnormal temperature rise	• Tightening of terminals				

Date	Equipment Details (Rating, Sl. No., Location)	Observed Parameters	Symptoms / Abnormalities Noticed	Maintenance / Work Carried Out	Remarks
• Cleaning and drying					
• Re-varnishing (if done)					
• Bearing lubrication (motor)					
• Oil top-up/filtering (transformer)					
• Replacement of parts					
• Testing (IR, PI, BDV, etc.)	Condition OK / Action required / Re-test needed				

***

स्वाध्याय (Exercise):

1. इलेक्ट्रिकल इक्विपमेंटच्या ड्रायिंगची नीड स्टेट (State) करा.
   (State need of drying of electrical equipment.)
2. नीट डायग्राम सोबत इलेक्ट्रिकल इक्विपमेंटच्या ड्रायिंगच्या कोणतीही एक मेथड एक्स्प्लेन करा.
   (Explain any one method of drying of electrical equipment with neat diagram.)
3. ट्रान्स्फॉर्मर ऑईल चे कोणतेही चार कंटॅमिनेटिंग) एजंट्स लिस्ट करा.
   (List any four contaminating agents of transformer oil.)
4. इन्सुलेशन क्लिनिंगच्या वेगवेगळ्या मेथड्स लिस्ट करा.
   (List different methods of cleaning of insulation.)
5. नीट डायग्राम सोबत ट्रान्स्फॉर्मर ऑईल वरील डायइलेक्ट्रिक स्ट्रेंथ आणि फ्लॅश पॉइंट टेस्ट एक्स्प्लेन करा.
   (Explain dielectric strength test and flash point test on transformer oil with neat diagram.)
6. इन्सुलेटिंग मटेरियलच्या लाईफ वर परिणाम करणारे फॅक्टर्स लिस्ट करा.
   (List out factors affecting on life of insulating material.)
7. ट्रान्स्फॉर्मर ऑईलच्या प्रॉपर्टीज स्टेट करा आणि एक्स्प्लेन करा.
   (State and explain the properties of transformer oil.)

8. IS 8504 1994 नुसार इन्सुलेटिंग मटेरियलचे क्लासिफिकेशन क्लास, प्रत्येक क्लास (Class) मधील कोणतेही तीन इन्सुलेटिंग मटेरियल आणि त्यांचे मॅक्सिमम ऑपरेटिंग (Operating) टेम्परेचर एक्स्प्लेन करा.
(Explain the classification of insulating material as per IS 8504 1994.with class information, insulating material (any three class wise) and its maximum operating temperature.)

Suggested Learning Materials / Books

Sr.No	Title	Author	Publisher with ISBN Number
1	Electrical Power Equipment Maintenance and Testing (2nd Edition).	Paul Gill	CRC Press / Taylor & Francis ISBN-13: 978-1574446562 ([Routledge][1])
2	Maintenance of Electrical Equipment	S. M. Chaudhari	TechKnowledge Publications ISBN-13: 978-93-89684-68-1 ([techknowledgebooks.com][2])
3	Fundamentals of Maintenance of Electrical Equipments	K. B. Bhatia	Khanna Publishers ISBN-13: 978-93-87394-31-5 ([khannapublishers.in][3])
4	Installation Commissioning & Maintenance of Electrical Equipments	Tarlok Singh	S.K. Kataria & Sons ISBN: 978-93-5014-377-3 ([skkatariaandsons.com][4])
5	Electrical Equipment Handbook: Troubleshooting and Maintenance	Philip Kiameh	McGraw-Hill / otherwise (AccessEngineering) ISBN-13: 978-0071396035 ([accessengineeringlibrary.com][5])

Learning Websites & Portals:

Sr.No	Link / Portal	Description
1	Reference on IS 8504 (Thermal Endurance Guide)	Insulation Classification
2	Factors Affecting Insulation Life (IEEE focus, highly relevant)	Insulation Life Factors
3	Polarization Index (PI) and Dielectric Absorption Ratio (DAR) Explanation	Insulation Resistance (PI/DAR)
4	Reference on IS 1866 (Maintenance & Supervision)	Oil Properties & Testing
5	Transformer Oil Testing Procedures & Standards Overview	Specific Oil Tests (BDV, Acidity, Sludge, Flashpoint, Crackle)

Sr.No	Link / Portal	Description
6	Working Principle of Transformer Oil Filtration and Degassing Plant	Centrifugal Purifiers & Streamline Filters
7	Vacuum Pressure Impregnation (VPI) Process Explained	Vacuum Impregnation Plant
8	Importance of Maintenance Records & Log Sheets	History Sheets
9	https://vietnamtransformer.com	Transformer Testing Methods