महाराष्ट्र राज्य तंत्रशिक्षण मंडळ

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

अभियांत्रिकी आणि तंत्रज्ञान पदविका

शिक्षण पुस्तिका

(Learning Material)

युटीलायझेशन ऑफ इलेक्ट्रिकल एनर्जी

UTILIZATION OF ELECTRICAL ENERGY (UEE)

(314323)

विद्‌युत अभियांत्रिकी गट

(के-स्कीम)

मराठी - इंग्रजी (द्विभाषिक) माध्यम

(अभियांत्रिकी व तंत्रज्ञानातील चौथे सत्र पदविका)

शिक्षण पुस्तिका
(Learning Material)

युटीलायझेशन ऑफ इलेक्ट्रिकल एनर्जी

UTILIZATION OF ELECTRICAL ENERGY (UEE)

(314323)

विद्युत अभियांत्रिकी गट
के-स्कीम
K-Scheme

मराठी – इंग्रजी (द्विभाषिक) माध्यम

(अभियांत्रिकी व तंत्रज्ञानातील चौथे सत्र पदविका)

महाराष्ट्र राज्य तंत्रशिक्षण मंडळ

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

युटीलायझेशन ऑफ इलेक्ट्रिकल एनर्जी

UTILIZATION OF ELECTRICAL ENERGY (UEE)

(314323)

मार्गदर्शक

डॉ. संजय वसंत भंगाळे
विभागप्रमुख, विद्युत अभियांत्रिकी

प्रकल्प समन्वयक

संजय भाऊराव पवार
विभागप्रमुख, विद्युत अभियांत्रिकी

समिक्षक

पंकज माधवराव मोहन
अधिव्याख्याता, विद्‍युत अभियांत्रिकी

संकलक

श्रद्धा भानुदास पुंड
विभागप्रमुख, विद्युत अभियांत्रिकी

धनंजय कृष्णराव लाखे
अधिव्याख्याता, विद्युत अभियांत्रिकी

कविता विलास अहिरे
अधिव्याख्याता, विद्युत अभियांत्रिकी

महाराष्ट्र राज्य तंत्र शिक्षण मंडळ

(स्वायत्त) (ISO ९००१:२०१५) (ISO/IEC २७००१:२०१३)

शासकीय तंत्रनिकेतन इमारत, ४ था मजला, ४९, खेरवाडी, वांद्रे (पूर्व), मुंबई - ४०० ०५१

दू.क्र.: ०२२-६२५४२१००/१०१/१०२

संकेतस्थळ : www.msbte.org.in ई-मेल : director@msbte.com

स्वातंत्र्याचा अमृत महोत्सव

प्रास्ताविक

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

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

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

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

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

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

अनुक्रमणिका

अ.क्र.	युनिटचे नाव	पान क्र.
1	इलूमिनेशन (ILLUMINATION)	01
2	इलेक्ट्रिक हीटिंग (ELECTRIC HEATING)	27
3	इलेक्ट्रिक वेल्डिंग (ELECTRIC WELDING)	59
4	इलेक्ट्रिक ड्राइव्ह आणि एलेव्हेटर (ELECTRIC DRIVES AND ELEVATORS)	80
5	इलेक्ट्रिक ट्रॅक्शन (ELECTRIC TRACTION)	110

Unit 1 - Illumination
युनिट 1 - इल्यूमिनेशन

विषय निष्पत्ती (Course level learning outcome - CO's):

CO 1 - सिम्पल लाईटिंग स्कीम (simple lighting scheme) डिझाइन (design) करा.

घटक निष्पत्ती (Theory Learning Outcome- TLO's):

1. दिलेल्या संज्ञाला इल्यूमिनेशन (illumination) शी संबंधित परिभाषित करा.
2. दिलेल्या लॅम्प (lamp) आणि लॅम्प फिटिंग्ज (lamp fitting) चे कन्स्ट्रकशन (construction) आणि वर्कींग (working) स्पष्ट करा.
3. इल्यूमिनेशन च्या संदर्भातील विविध लॉ सांगा.
4. ठराविक अँप्लिकेशन (application) साठी लॅम्प स्पष्टीकरणासह निवडा.
5. दिलेल्या माहिती साठी सिम्पल लाईटिंग स्कीम (simple lighting scheme) डिझाइन करा.
6. लाईट योजनांच्या गुणवत्तेवर परिणाम करणारे घटक स्पष्ट करा.

1.1 विविध इल्यूमिनेशन संज्ञांच्या व्याख्या: (Definitions of various illumination terminology)

परिचय (Introduction):

जेव्हा काही मटेरिअल विशिष्ट तापमानापेक्षा जास्त गरम केले जातात तेव्हा ते लाईट (Light) च्या स्वरूपात ऊर्जा रॅडीएन्ट (Radiant) करण्यास सुरुवात करतात. या घटनेला लुमिनन्स (Luminance) म्हणतात. लाईट चे दोन सोर्स आहेत: नॅचरल आणि आर्टिफिशियल. नॅचरल लाईट सोर्स मध्ये सूर्य, चंद्र इत्यादींचा समावेश होतो आणि आर्टिफिशियल लाईट सोर्स मध्ये कॅण्डल (Candle), केरोसीन (Kerosene) लॅम्प यांचा समावेश होतो. आजकाल आर्टिफिशियल (Artificial) लाईट स्रोतांचा मोठ्या प्रमाणात वापर केला जातो ज्यामध्ये विविध प्रकारचे लॅम्प समाविष्ट आहेत. या धड्यात आपण लाईट योजनेशी संबंधित विविध संज्ञा (Illumination Terminology), इल्यूमिनेशनचे लॉ (law), विविध प्रकारचे लॅम्प - त्यांचे कन्स्ट्रकशन (Construction), वर्किंग (Working), वापर (Application) इत्यादींचा अभ्यास करणार आहोत.

आर्टिफिशियल लाईट निर्माण करण्या साठी सॉलिड बॉडी किंवा व्हेपरवर हीट प्रोवाइड करूँ तयार होतो. असे आढळून आले आहे की सॉलिड बॉडी हळुवार रूमच्या तापमानापेक्षा जास्त हीट होत असताना, ते विविध इलेकट्रो मॅगनेटिक व्हेवच्या (Electromagnetic Waves) स्वरूपात आसपासच्या माध्यमात एनर्जी रेडिएट करू लागते. या रॅडीएन्ट एनर्जीचे स्वरूप हॉट बॉडी (hot body) तापमानावर अवलंबून असते. अशाप्रकारे, जेव्हा तापमान कमी असते, तेव्हा रॅडीएन्ट एनर्जी (Radiant Energy) केवळ हीट व्हेवच्या स्वरूपात असते परंतु जेव्हा विशिष्ट तापमान गाठले जाते तेव्हा हीटच्या व्हेव व्यतिरिक्त लाईटच्या व्हेव देखील बाहेर पडतात आणि सॉलिड बॉडी ल्युमिनस (Luminous) बनते.

इल्यूमिनेशनशी संबंधित काही संज्ञांवर (Definitions) अभ्यास करूया.

लाईट (Light): लाईट किंवा व्हिसिबल लाईट (Visible Light) म्हणजे इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक स्पेक्ट्रमच्या (Electromagnetic spectrum) त्या भागात असलेले इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक रेडिएशन, (Electromagnetic radiation) जे मानवी डोळ्यांना जाणवते. हा शब्द सामान्यतः व्हिसिबल लाईटचा (Visible Light) संदर्भ देतो, जो मानवी डोळ्यांना सहजपणे दिसण्यासाठी आवश्यक असतो.

Figure 1. 1: लाईट (Light)

ल्युमिनस फ्लक्स (Luminous Flux) (Φ किंवा F): ल्युमिनस फ्लक्स हा लाईट व्हेवच्या स्वरूपात एनर्जी रॅडिएशनचा दर आहे आणि तो Φ किंवा F ने दर्शविला जातो आणि तो खालील प्रमाणे दिला आहे

$\Phi = Q/t$

युनिट = ल्युमेन्स (Lumens)

ल्युमेन्स (Lumen): एका कॅण्डलच्या एका पॉवरच्या सोर्स द्वारे प्रती युनिट सॉलिड अँगल (solid angle) एमिट होणारा लुमिनिस फ्लक्स म्हणजे एक ल्युमेन होय. ल्युमेन्स (lumens) हे ल्युमिनस फ्लक्सचे युनिट (Unit) आहे.

ल्युमेन (Lumen) = कॅण्डल पॉवर (Candle Power) * सॉलिड अँगल (Solid Angle)

प्लेन अँगल (θ) (Plane Angle): एक प्लेन अँगल एका बिंदूवर विस्तारित असतो आणि तो एकाच प्लेन मध्ये असलेल्या दोन सरळ रेषांनी वेढलेला असतो. प्लेन अँगल (Plane angle) हा डिग्री (degree) किंवा रेडियन (radian) स्वरूपात दिला जातो.

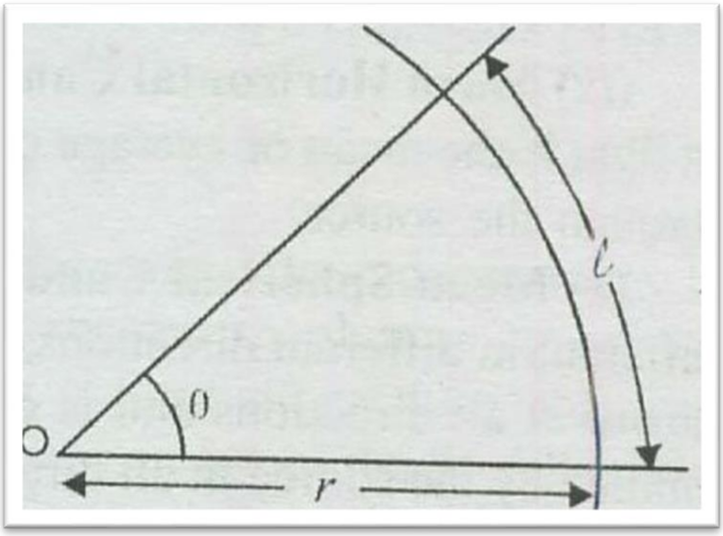


Figure 1.2 प्लेन अँगल (Plane Angle)

सॉलिड अँगल (ω)Solid Angle:

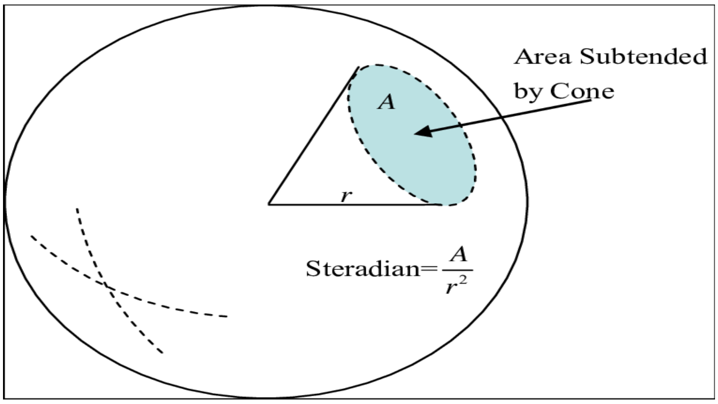


Figure. 1.3: सॉलिड अँगल (Solid Angle)

सॉलिड अँगल (ω): इल्यूमिनेशन मध्ये, लॅम्प मधून निघालेल्या लाईट फ्लक्स ने त्याच्या वर्किंग प्लेन वर कमीत कमी कोन करून व्याप्त केलेली क्षेत्रफळाची जागा म्हणजेच सॉलिड अँगल (ω) होय.

गोलाच्या मध्यभागी त्याच्या पृष्ठभागाच्या एका भागाने (त्रिज्या) ^{2} च्या क्षेत्रफळाने बनलेला अँगल म्हणून देखील त्याची व्याख्या करता येते. सॉलिड अँगल स्टेरडियनमध्ये असतो.

सॉलिड अँगल (solid angle) = $\frac{\text{एरिआ ऑफ स्पिअर (Area of sphere)}}{\text{रेडियस स्क्वेअर (Radius Square)}}$

$\omega = \frac{4\pi r^2}{r^2} = 4\pi$

ल्युमिनस इन्टेन्सिटी (Luminous Intensity) (I): ल्युमिनस इन्टेन्सिटी म्हणजेच ल्युमिनस फ्लक्स पर युनिट सॉलिड अँगल.

ल्युमिनस इन्टेन्सिटी (Luminous Intensity) = $\frac{\text{ल्युमिनस फ्लक्स (luminous flux)}}{\text{सॉलिड अँगल (solid angle)}}$

$I = \frac{F}{\omega}$ .... ल्युमेन (lumen) / स्टेरॅडियन (staradian) किंवा कॅन्डेला (candela)

इल्यूमिनेशन (Illumination): इल्यूमिनेशन म्हणजेच ल्युमिनस फ्लक्स पर युनिट एरिआ.
कोणत्याही दिलेल्या बिंदूवर पृष्ठभागावर प्रति युनिट क्षेत्रफळातील लुमिनिस फ्लक्स म्हणजे इल्यूमिनेशन होय.

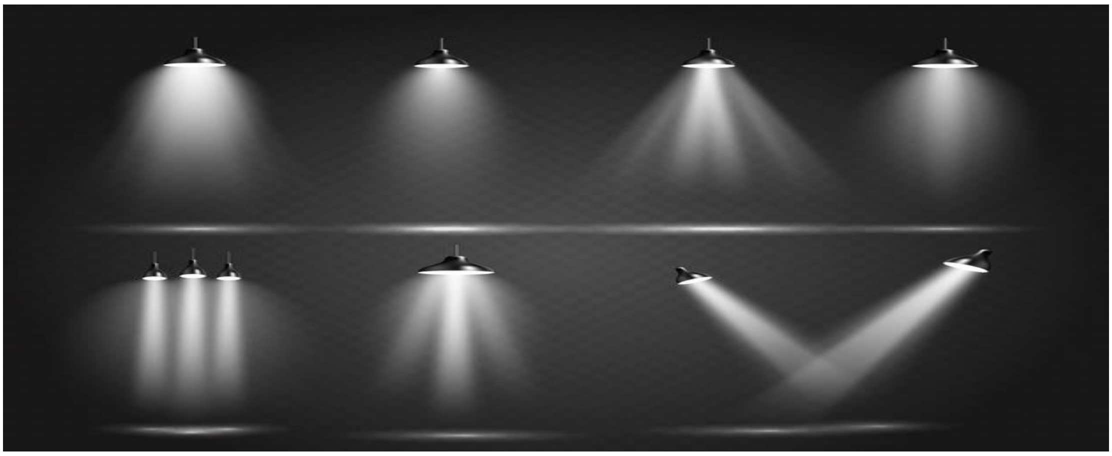


Figure 1.4: इल्यूमिनेशन (Illumination)

ते E असे दर्शविले जाते आणि $E = F/A$......ल्युमेन (lumen) / मीटर^2 (meter)^2 किंवा लक्स (lux)

कॅण्डल पॉवर (Candle Power): कॅण्डल पॉवर ही पर युनिट सॉलिड अँगल मधे सोर्स मधून इमिट होणाऱ्या ल्युमेनची संख्या म्हणून व्याख्या केली आहे.

$C.P. = F/\omega$ ...... कँडेला (candela) मध्ये मोजले जाते.

मिन हॉरीझॉन्टल कॅण्डल पॉवर (MHCP): मिन हॉरीझॉन्टल कॅण्डल पॉवर हि लाईट सोर्स असलेल्या हॉरीझॉन्टल प्लेन मधील सर्व दिशांना असणारी सरासरी कॅण्डल पॉवर म्हणून त्याची व्याख्या केली जाते.

मिन स्पेरिकेल कॅण्डल पॉवर (MSCP): सर्व दिशांना आणि सर्व स्तरांमध्ये लाईट सोर्सची सरासरी कॅण्डल पॉवर म्हणून त्याची व्याख्या केली जाते.

$$MSCP = F/4\pi \text{ किंवा } \phi/4\pi$$

मिन हेमिस्पेरिकेल कॅण्डल पॉवर (MHSCP): हे सर्व दिशांना असणारी जी हेमीस्पिअर (hemisphere) मधील वर किंवा खाली असलेल्या हॉरीझॉन्टल प्लेन (Horizontal Plane) मधील सरासरी कॅण्डल पॉवर होय.

लॅम्प इफिशिअन्सी (Lamp Efficiency): हे लॅम्पला येणाऱ्या उर्जा इनपुटशी ल्युमिनस फ्लक्स चे (luminous flux) रेशिओ आहे. युनिट ल्युमेन (lumen) / वॅट (watt) आहे.

ग्लेअर (Glare): व्हिजुअल कंडिशन (visual condition) ज्यामध्ये जास्त कॉन्ट्रास्ट असतो किंवा लाईट सोर्सचे अयोग्य वितरण असते जे निरीक्षकाच्या डोळ्याला त्रास देते किंवा तपशील (details) आणि वस्तूंमध्ये (objects) फरक करण्याची क्षमता मर्यादित करते. ग्लेअर हे अत्याधिक आणि अनियंत्रित ब्राइटनेस (brightness) मुळे उद्भवणारा परिणाम आहे.

शॅडो (Shadow): प्रकाशाचा आणि पृष्ठभागाच्या दरम्यान येणाऱ्या बॉडी मुळे निर्माण होणारा शेप (shape) किंवा डार्क एरिया (dark area) शॅडो म्हणजे एक अंधारी जागा जिथे लाईट सोर्स मधील लाईट एखाद्या वस्तूद्वारे अडवला जातो.

ब्राइटनेस (Brightness): कोणत्याही पृष्ठभागाचा ब्राइटनेस हा लाईटच्या तीव्रतेनुसार पृष्ठभागाच्या क्षेत्रफळाच्या प्रति युनिट दिलेल्या दिशेने प्रक्षेपित पृष्ठभाग होय. हे सहसा 'L' या चिन्हाने दर्शविले जाते. जर क्षेत्र A वर स्रोताची लाईटमान तीव्रता 'I' कॅन्डेला असेल, तर प्रक्षेपित क्षेत्रफळ A cos θ. ब्राइटनेसचे एकक कँडेला/मीटर^2 किंवा कँडेला/सेमी^{2} किंवा कँडेला/ (फूट) ^{2} आहे.

ब्राइटनेस, $L = I/ A\ Cos\theta$

1.2 विविध प्रकारचे लॅम्प्स (Various Types of Lamps):

इलेक्ट्रिकल लॅम्प चे वर्गीकरण: (Classification of Lamps)

1. **इनकॅन्डेसेंट (Incandenscent) लॅम्प**
2. **गॅस डिस्चार्ज**
3. **एलईडी**

1. इनकॅन्डेसेंट लॅम्प (Incandenscent): हे लॅम्प इलेक्ट्रिक करंटने फिलॅमेंट (filament) उष्ण केल्याने लाईट निर्माण करतात.

2. गॅस-डिस्चार्ज लॅम्प: हे असे लॅम्प आहेत जे वायूद्वारे इलेक्ट्रिक आर्क (electric arc through gas discharge) मुळे लाईट निर्माण करतात.
3. एलईडी लॅम्प: हे लॅम्प सेमीकंडक्टर मधील बँड गॅप मुळे इलेक्ट्रॉनच्या प्रवाहाद्वारे लाईट निर्माण करतात.

गॅस डिस्चार्ज लॅम्प:

1. लो प्रेशर मर्क्युरी व्हेपर लॅम्प (Low Pressure Mercury Vapour Lamp)
2. फ्लुरोसंट ट्यूब (Fluroscent Tube)
3. हाय प्रेशर मर्क्युरी व्हेपर लॅम्प (High Pressure Mercury Vapour Lamp)
4. कॉम्पॅक्ट फ्लोरोसेंट लॅम्प (Compact Fluorescent Lamp)
5. सोडियम व्हेपर लॅम्प (Sodium Vapour Lamp)

1.2.1 लो प्रेशर मर्क्युरी व्हेपर लॅम्प (फ्लोरोसेंट ट्यूब):

फ्लोरोसेंट लॅम्प हा लो वेट मर्क्युरी व्हेपर लॅम्प आहे जो व्हिजिबल लाईट देण्यासाठी फ्लुरोसन्स (fluroscence) चा वापर करतो. वायूमधील इलेक्ट्रिक करंट मुळे मर्क्युरी एनरजाईज (energize) झाल्यामुळे जो डिस्चार्ज प्रक्रियेद्वारे अल्ट्राव्हायोलेट रेडिएशन्स (ultraviolet radiations) देतो आणि अल्ट्राव्हायोलेट रॅडिएशनमुळे लॅम्पच्या आतील भागावरील फॉस्फर कोटिंग (phosphur coating) व्हिसिबल लाईट पसरवते.

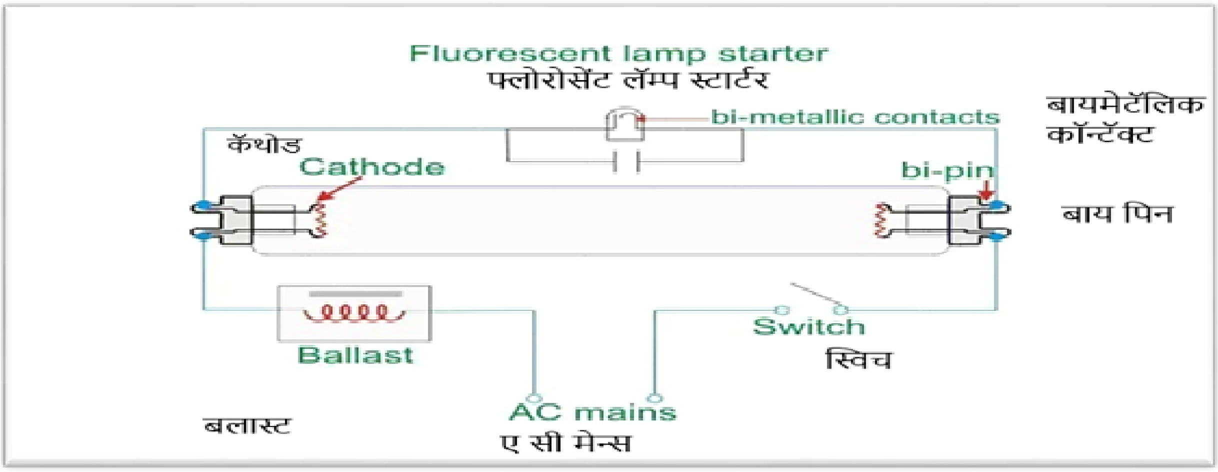


Figure 1.5 फ्लुरोसंट ट्यूब (Fluorescent Tube)

कॉम्पोनन्ट (Component): ग्लास ट्यूब, चोक/बलास्ट, स्टार्टर, पॉवर फॅक्टर इम्प्रूव्हमेंट कपॅसिटर, इलेक्ट्रोड्स

वर्कींग प्रिंसिपल (Working Principle): फ्लोरोसेंट लॅम्प,असे लॅम्प असतात ज्यात इलेक्ट्रिक करंट मुळे वायूच्या आत फ्री इलेक्ट्रॉन आणि आयन मुळे लाईट निर्माण होतो.

वर्कींग (Working): जेव्हा आपण सप्लाय स्विच ऑन करतो, तेव्हा फुल व्होल्टेज, लॅम्प मधून आणि तसेच स्टार्टरमधून बलास्टमधून येतो. तत्क्षणी, कोणताही डिस्चार्ज होत नाही, म्हणजेच लॅम्प मधून ल्युमेन आउटपुट मिळत नाही. त्या पूर्ण व्होल्टेजवर प्रथम स्टार्टरमध्ये ग्लो डिस्चार्ज (Discharge) होतो. कारण स्टार्टरच्या निऑन बल्बमधील इलेक्ट्रोडमधील अंतर फ्लोरोसेंट लॅम्पपेक्षा खूपच कमी असते. मग या फुल व्होल्टेजमुळे स्टार्टरमधील गॅस एनरजाईज होतो आणि बायमेटॅलिक स्ट्रिप हीट करतो. त्यामुळे बायमेटॅलिक स्ट्रीप बेंड होऊन फिक्स कॉन्टॅक्टशी जोडली जाते. आता, स्टार्टरमधून करंट वाहू लागतो. जरी निऑनची आयोनायजेशन पोटेन्शिअल अरगॉन पेक्षा जास्त असली तरी, लहान इलेक्ट्रोड गॅपमुळे, निऑन बल्बमध्ये

उच्च व्होल्टेज ग्रेडियंट (voltage gradient) दिसून येतो आणि म्हणूनच स्टार्टरमध्ये प्रथम ग्लो डिस्चार्ज (glow discharge) सुरू होतो. स्टार्टरच्या निऑन बल्बच्या टच (touch) केलेल्या कॉन्टॅक्ट मधून करंट वाहू लागताच, निऑन बल्बवरील व्होल्टेज कमी होतो कारण करंट मुळे इंडक्टर (बलास्ट) वर व्होल्टेज कमी होतो. निऑनवर कमी किंवा शून्य व्होल्टेजवर स्टार्टरच्या बल्बमध्ये, गॅस डिस्चार्ज होणार नाही आणि त्यामुळे बायमेटॅलिक स्ट्रिप थंड होते आणि फिक्स कॉन्टॅक्टपासून तुटते. स्टार्टरच्या निऑन बल्बमधील संपर्क तुटण्याच्या वेळी, इलेक्ट्रिक सप्लाय मधे व्यत्यय येतो आणि म्हणूनच त्या क्षणी, इंडक्टर (बलास्ट) च्या दरम्यान व्होल्टेज सर्ज (Surge) निर्माण होतो.

$$V = L\frac{di}{dt}$$

जेथे, L= इंडक्टन्स (Inductance), V= व्होल्टेज (voltage),

हे हाय सर्ज व्होल्टेज फ्लोरोसेंट लाईट (ट्यूब लाईट) इलेक्ट्रोड्समधून येते आणि पेनिंग मिश्रण (अरगॉन गॅस आणि मर्क्युरी व्हेपर यांचे मिश्रण) वर आदळते. गॅस डिस्चार्जची प्रक्रिया सुरू होते आणि चालू राहते आणि म्हणूनच इलेक्ट्रिक करंट पुन्हा फ्लोरोसेंट ट्यूब (ट्यूबलाईट) मधूनच वाहण्याचा मार्ग मिळतो. सभोवतालच्या गॅस मिश्रणाच्या डिस्चार्ज दरम्यान गॅस च्या रेजिस्टेंस पेक्षा स्टार्टरच्या रेजिस्टेंस कमी असतो. मर्क्युरी अणूंच्या उत्सर्जनामुळे अल्ट्रा व्हॉयलेट रेडिएशन (ultra violet radiations) निर्माण होतात. ज्यामुळे फॉस्फर पावडर कोटिंगला व्हिजिबल लाईट पसरण्यास उत्तेजन मिळते. फ्लोरोसेंट दिवा (ट्यूब लाईट) ग्लो होताना स्टार्टर निष्क्रिय होतो कारण त्या स्थितीत स्टार्टरमधून कोणताही विद्युत प्रवाह जात नाही.

लॅम्प इफिशिअन्सी (Lamp Efficiency): फ्लोरोसेंट लॅम्पची इफिशिअन्सी 50 ते 100 ल्युमेन /वॅट पर्यंत असते.

ॲडव्हानटेजेस (Advantages):

1. फ्लुरोसंट लॅम्पची इफिशिअन्सी जास्त असते.
2. त्यांची लाईफ जास्त असते.
3. त्यांची रनिंग कॉस्ट ही कमी आहे.
4. फ्लोरोसंट लॅम्पसाठी हीट आऊट पुट देखील कमी आहे.

डीसॲडव्हानटेजेस (Disadvantages):

1. फ्लुरोसंट लॅम्प मधे स्ट्रोबोस्कोपिक इफेक्ट (stroboscopic effect) आढळतो.
2. फ्लोरोसेंट लॅम्पमध्ये चोक (choke) च्या वापरामुळे मॅग्नेटिक हमिंग (magnetic humming) निर्माण होतो ज्यामुळे डीस्टरबन्स (disturbance) होतो.
3. फ्लोरोसेंट लॅम्पला, कमी वॅटेजसाठी पण मोठ्या प्रमाणात फिटिंग्जची आवश्यकता असते.

ॲप्लिकेशन्स (Applications):

1. फ्लोरोसेंट लॅम्प मोठ्या प्रमाणात लाईट देऊ शकतात, त्यामुळे हे लॅम्प औद्योगिक वापरासाठी (industrial applications) योग्य आहेत.
2. ऑफिसेस मध्ये इल्यूमिनेशन साठी फ्लोरोसेंट लॅम्प वापरले जातात कारण ते एकसमान लाईट प्रोव्हाइड करतात.

3. फ्लोरोसेंट लॅम्प रेसिडेंशिअल ॲप्लिकेशन्स मध्ये, व्हॅलेन्सेस (Valences) आणि फॅसिआ (Fascia) इत्यादींसाठी प्रभावी लाईट प्रोव्हाइड करतात.
4. क्लासरूम लायटिंग आणि रिटेल लायटिंग इत्यादींमध्ये देखील फ्लोरोसेंट लॅम्प वापरले जातात.

1.1.2 कॉम्पॅक्ट फ्लोरोसेंट लॅम्प (Compact Fluroscent Lamp)

कॉम्पॅक्ट फ्लोरोसेंट लॅम्प (CFL) हा एक प्रकारचा फ्लोरोसेंट लॅम्प आहे जो सामान्य इनकॅन्डेसेंट लॅम्प च्या तुलनेत कॉम्प्रेस साइज मधे येतो. हे गॅस डिस्चार्जच्या तत्त्वावर काम करते, म्हणजेच करंट द्वारे गॅसचे आयोनायझेशन (ionization) होय. आधुनिक सीएफएलचा शोध एडवर्ड ई. हॅमर यांनी 1973 मध्ये लावला होता. इनकॅन्डेसेंट लॅम्पसाठी ऊर्जा कार्यक्षम पर्याय शोधणाऱ्यांसाठी सीएफएल लॅम्प हे पसंतीचे लॅम्प आहेत. सीएफएल लॅम्प इनकॅन्डेसेंट लॅम्प पेक्षा खूपच कमी वीज वापरतात. आकार आणि रंगांची विविधता आणि सीएफएलच्या लहान आकारामुळे ते पारंपारिक लॉन्ग ट्युब फ्लोरोसेंट लॅम्पपेक्षा अधिक वर्सटाइल (versatile) आणि एक्सेप्टेबल (acceptable) बनले आहेत.

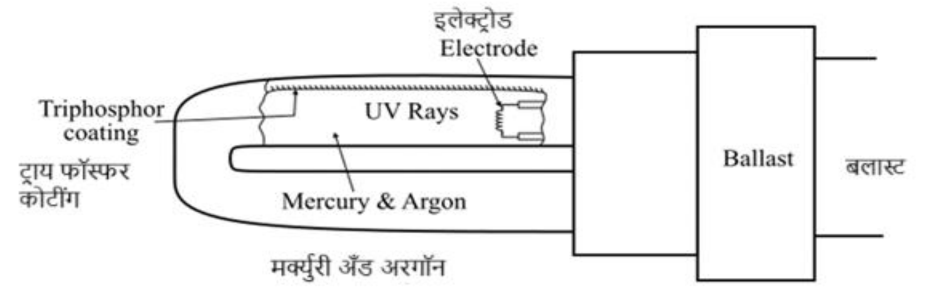


Figure. 1.6 कॉम्पॅक्ट फ्लोरोसेंट लॅम्प (CFL)

कॉम्पोनन्ट (Component): गॅस फिल्ड ट्युब, इलेक्ट्रोड, बॅलास्ट

वर्कींग प्रिंसिपल (Working Principle): हे गॅस डिस्चार्जच्या तत्त्वावर वर्कींग करते, म्हणजेच विद्युत प्रवाहाद्वारे गॅसचे आयनीकरण.

वर्कींग (Working): एका सामान्य CFL मध्ये गॅसने भरलेली ट्यूब असते ज्याच्या टोकाच्या टोपीमध्ये दोन इलेक्ट्रोड बसवलेले असतात. या ट्युब, मध्ये कमी दाबाने अरगॉन वायू, मर्क्युरी व्हेपर आणि लिक्विड मर्क्युरी यांचे मिश्रण असते. ट्युबच्या आतील बाजूस तीन वेगवेगळ्या फॉस्फरचा लेअर देखील असतो. जेव्हा विद्युत पुरवठा इलेक्ट्रोडशी जोडला जातो तेव्हा दोन इलेक्ट्रोडमध्ये एक इलेक्ट्रिक आर्क तयार होतो. इलेक्ट्रिक आर्क इलेक्ट्रॉनचा प्रवाह निर्माण करतो. जेव्हा ट्युबतील मर्क्युरी अणूंवर (atoms) या इलेक्ट्रॉनचा अटॅक होतो तेव्हा अल्ट्रा व्हायोलेट रॅडिएशन्स (Ultraviolet Rediation) निर्माण होतात. ट्यूबमधील फॉस्फर कोटिंग अल्ट्रा व्हायोलेट रॅडिएशन्स च्या संपर्कात आल्यावर लाईट देते. सीएफएलच्या सर्किटमध्ये एक बॅलास्ट असतो जो सुरुवातीचा इलेक्ट्रिक आर्क तयार करण्यासाठी आवश्यक असलेला उच्च प्रारंभिक व्होल्टेज प्रदान करतो आणि नंतर लॅम्प ला खराब होण्यापासून रोखण्यासाठी करंट मर्यादित करतो.

ॲडव्हानटेजेस (Advantages):

1. सीएफएल हे ऊर्जा कार्यक्षम लॅम्प आहेत. सीएफएलचा ऑपरेटिंग खर्च खूप कमी आहे. सीएफएलमुळे वीज खूप वाचते.

2. इनकॅन्डेसेंट बल्बच्या तुलनेत सीएफएल कमी उष्णता निर्माण करतात.
3. सीएफएलची लॅम्प वर्किंग क्षमता बरीच जास्त आहे, प्रति वॅट सुमारे 50 ते 75 ल्युमेन आहे. .
4. सीएफएल लॅम्प ला स्टार्टींग गिअरची (starting gear) आवश्यकता नसते. सीएफएल लॅम्प लगेच सुरू होतात.
5. सीएफएलची लाईफ जास्त असते.

डीसअॅडव्हानटेजेस (Disadvantages):
1. सीएफएल लॅम्प बसवण्याचा सुरुवातीचा खर्च जास्त असतो.
2. सीएफएल मध्ये मर्क्युरी असतो म्हणून तो पर्यावरणपूरक नसताततो.
3. जास्त हीट झाल्यास सीएफएल अकाली निकामी होऊ शकतात.
4. टायमर स्विचसह सीएफएल लॅम्प वापरता येत नाहीत कारण ते सीएफएलचे लाईफ कमी करू शकतात.

ॲप्लिकेशन्स (Applications):
1. रेसिडेंशिअल लाइटिंग स्किम (Residential Lighting Scheme)
2. रुग्णालये (Hospitals)
3. दुकाने (Shops), कॉरिडॉर (Coridoars)

1.2.3 मेटल हॅलाईड लॅम्प (Metal Halide Lamp):

मेटल हॅलाइड लॅम्प, ज्याला मर्क्युरी हॅलाइड लॅम्प देखील म्हणतात, हा एक विद्युत लॅम्प आहे जो व्हेपोराईज्ड मर्क्युरी (vapoursied mercury), गॅसीअस मिक्सचर आणि मेटलच्या हॅलाइड्सद्वारे इलेक्ट्रिक आर्क तयार झाल्यावर लाईट तयार करतो. मेटल हॅलाइड लॅम्प चा शोध 1960 मध्ये डॉ. रीलिंग यांनी लावला होता .

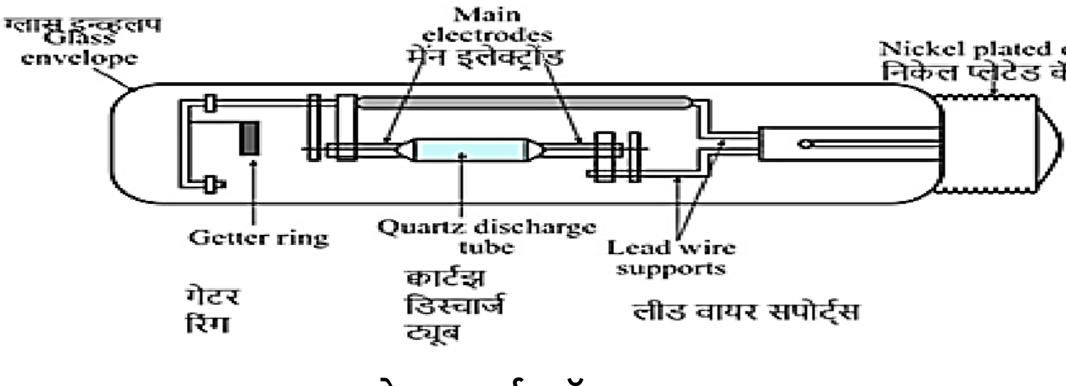


Figure 1.7: मेटल हलाईड लॅम्प (Metal Halide Lamp)

कॉम्पोनन्ट (Component): मेटल बेस (Metel Base), काचेचे शिल्ड (Glass Shield), इलेक्ट्रोड (Electrode), बलास्ट (Ballast), कॉम्पॅक्ट आर्क (Compact Arc) ट्यूबमध्ये उच्च दाबावर अरगॉन, मर्क्युरी आणि विविध धातूंच्या हॅलाइडचे मिश्रण असते.

वर्कींग प्रिंसिपल (Working Principle):
वायू आयनीकृत (अरगॉन) होवून लाईट निर्माण होतो.

वर्कींग (Working): जेव्हा मेटलच्या हॅलाइड लॅम्प इलेक्ट्रिक व्होल्टेज दिले जाते तेव्हा लॅम्प मधील अरगॉन गॅस आयोनाइज्ड (ionized) होतो आणि दोन इलेक्ट्रोड मध्ये आर्क तयार होते. आर्कमुळे निर्माण होणारी हीट

मर्क्युरी आणि मेटल हॅलाइड्सला व्हॅपोराईझ (vaporize) करते ज्यामुळे टेम्पेरेचर आणि प्रेशर वाढल्याने लाईट निर्माण होतो. मेटल हॅलाइड्सचे वापरलेले प्रकार लॅम्प द्वारे निर्माण होणाऱ्या लाईटचे स्वरूपावर परिणाम करते. स्पेक्ट्रम (spectrum) सुधारण्यासाठी आणि लाईट पसरवण्यासाठी कधीकधी बाहेरील ग्लास ट्युबच्या आतील भागावर फॉस्फर कोटिंग देखील केले जाते.मेटलच्या हॅलाइड लॅम्पला पूर्ण ग्लो होण्यासाठी सुमारे 3 ते 5 मिनिटे लागतात. मेटलच्या हॅलाइड लॅम्पला आर्क करंट फ्लो स्टॅबिलाईज (stabilize) ठेवायाला आणि रेग्युलेट (regulate) करायला आणि योग्य व्होल्टेज प्रोव्हाइड करण्यास इलेक्ट्रिक किंवा इलेक्ट्रॉनिक बलास्टची आवश्यकता असते.

ॲडव्हानटेजेस (Advantages):

1. मेटल हॅलाइड लॅम्पमध्ये प्रति वॅट सुमारे 60 ते 115 ल्युमेन ची उच्च वर्किंग क्षमता असते.
2. मेटल हॅलाइड लॅम्पचे लाईफ सुमारे 10000 ते 20000 तास असते.
3. मेटल हॅलाइड लॅम्पना, सुरु करण्यासाठी कोणत्याही उपकरणांची आवश्यकता नसते.

डीसअ‍ॅडव्हानटेजेस (Disadvantages):

1. मेटल हॅलाइड लॅम्पमध्ये मर्क्युरी असल्याने हे लॅम्प पर्यावरणपूरक नाहीत.
2. मेटल हॅलाइड लॅम्प ची किंमत इन्कंडेनसेंट लॅम्प पेक्षा जास्त असते.
3. मेटल हॅलाइड लॅम्प कार्यरत असताना जास्त उष्णता निर्माण करतात.
4. मेटल हॅलाइड लॅम्पना सुरु होण्याकरिता सुरुवातीचा वेळ लागतो.

ॲप्लिकेशन्स (Applications):

1. इनडोअर लाइटिंग (Indoor lighting)
2. रेसिडेंशिअल (residential) आणि कमर्शिअल (commercial) लाइटिंग
3. 3.क्रीडा (Sport) स्टेडियम लाइटिंग

1.2.4 लाईट एमिटिंग डायोड (Light Emitting Diode):

एलईडी हा एक पीएन-जंक्शन डायोड (PN-Junction Diode) आहे जो जेव्हा विद्युत प्रवाह त्याच्यामधून पुढे जातो तेव्हा लाईट एमिट करतो. एलईडी मध्ये, चार्ज कॅरियरचे रीकॉम्बिनेशन (recombination) होते. N-बाजूचे इलेक्ट्रॉन आणि P-बाजूचे होल्स एकत्रित होतात आणि उष्णता आणि प्रकाशाच्या स्वरूपात ऊर्जा देतात.

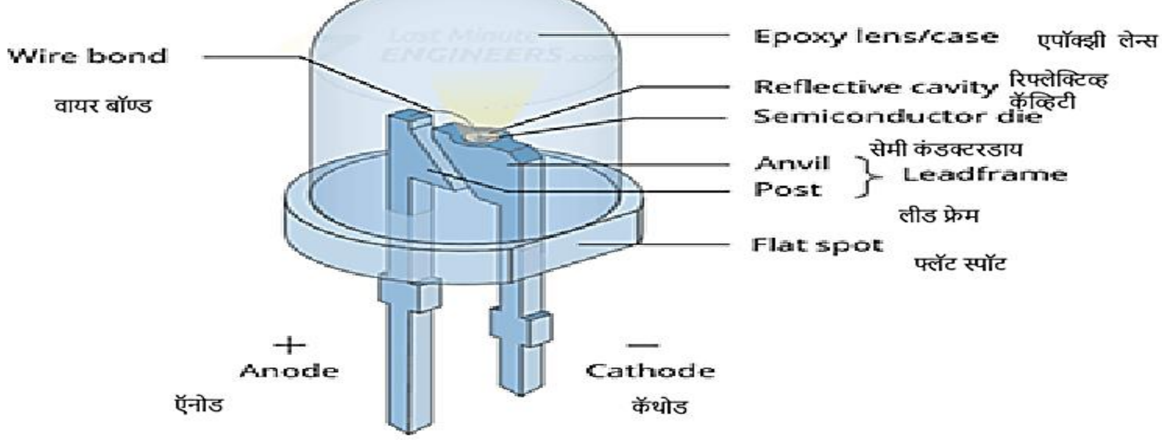


Figure 1.8 लाईट एमिटिंग डायोड कन्स्ट्रकशन (Construction of LED)

कन्स्ट्रकशन: LED हा तीन थरांनी बनलेला असतो, उदा. P-प्रकारचा सेमीकंडक्टर थर, N-प्रकारचा सेमीकंडक्टर थर आणि ऍक्टिव्ह रिजिन (Active Region). N-थरमध्ये बहुतेक इलेक्ट्रॉन होते तर P-थरमध्ये बहुतेक होल्स असतात ऍक्टिव्ह रिजिन (Active Region) मध्ये इलेक्ट्रॉन्स आणि होल्स समान प्रमाणात असतात, म्हणून तेथे बहुसंख्य चार्ज वाहक (Charge Carriers) नसतात. ऍक्टिव्ह रिजिन ला डीप्लिशन रिजन (Depletion Region) असेही म्हणतात. या रिजिन मध्ये इलेक्ट्रॉन आणि होल्स पुन्हा एकत्रित होतात. आपल्याला माहित आहे की जेव्हा इलेक्ट्रॉन आणि होल्स एकत्र येतात तेव्हा लाईट उत्सर्जित होतो.

वर्किंग (Working): सामान्य डायोडप्रमाणे, LED फक्त फॉरवर्ड बायस स्थितीतच काम करतो. जेव्हा LED फॉरवर्ड बायस (Forward Biased) असतो, तेव्हा फ्री इलेक्ट्रॉन PN जंक्शन ओलांडतात आणि होल्स सह पुन्हा एकत्र होतात. इलेक्ट्रॉन्स उच्च पातळीवरून कमी पातळीवर पडतात, त्यामुळे ते फोटॉनच्या स्वरूपात ऊर्जा उत्सर्जित करतात. लाईट उत्सर्जक डायोड विविध रंगांमध्ये उपलब्ध आहेत ज्यात सर्वात सामान्य म्हणजे लाल, हिरवा, पिवळा, निळा, नारंगी, पांढरा आणि इन्फ्रारेड (अदृश्य) लाईट असे असतात.

जर्मेनियम किंवा सिलिकॉनपासून बनवलेल्या सामान्य डायोड्सच्या पेक्षा वेगळे, LEDs गॅलियम, आर्सेनिक आणि फॉस्फरस सारख्या घटकांपासून बनवले जातात. या घटकांना वेगवेगळ्या प्रमाणात एकत्र करून, उत्पादक वेगवेगळ्या रंगांचे लाईट रेडिएट करणारे एलईडी तयार करू शकतो.

ॲडव्हानटेजेस (Advantages):

1. LED मजबूत असून, तो यांत्रिक धक्के आणि व्हायब्रेशन्स सहन करू शकतो.
2. LED चा लाईफ खूप जास्त असून, तो दीर्घकाळ कार्यरत राहतो.
3. त्याला खूप कमी व्होल्टेजची आवश्यकता असते आणि खूप कमी वीज लागते.
4. ते कोणत्याही आकारात बनवता येतात. म्हणून, अल्फान्यूमेरिक डिस्प्ले तयार करण्यासाठी लहान एलईडी वापरण्यात येतात.
5. ऑप्टोकप्लर, एलईडी पासून बनतात जे इलेक्ट्रिकली सर्किटआयसोलेट करतात आणि ते ऑप्टिकली जोडलेले असतात.
6. एलईडी स्वस्त, किफायतशीर आणि खूप विश्वासार्ह आहेत.
7. कमी तापमानाचा त्याच्या कामगिरीवर परिणाम होत नाही.
8. LED चा स्विचिंग वेळ 1 nanosecond च्या श्रेणीत खूप जलद असतो. म्हणून ते गतिमान ऑपरेशनसाठी योग्य आहेत.
9. LED तत्काळ लाईट देतात.

डीसॲडव्हानटेजेस (Disadvantages):

1. हे मूलतः एक डायोड आहे म्हणजेच ते युनि डायरेक्शनल (uni directional) आहे. उच्च व्होल्टेज सोर्स शी उलट दिशेने जोडल्याने ते कायमचे खराब होऊ शकते.
2. सर्किटशी जोडताना त्याच्या ध्रुवीयतेचा (Polarity) विचार केला पाहिजे.
3. ते विद्युत प्रवाह आणि व्होल्टेजमधील चढउतार (बदल) सहन करू शकत नाहीत, ज्यामुळे LED कायमचे खराब होऊ शकतो.
4. ते रेडिएशन पॉवरमुळे जास्त हीट देखील होऊ शकतात. त्यामुळे LED चे लाईफ कमी होते.

1.3 प्रकाशाचे नियम (Laws of Illumination)

प्रकाशाचे नियम खालीलप्रमाणे आहेत:

इनवर्स स्क्वेअर लॉ (Inverse Square Law) 2. लॅम्बर्टचा कोसाइन लॉ (Lambert Cosine Law)

1.3.1 इनवर्स स्क्वेअर लॉ:

विधान (स्टेटमेंट): पृष्ठभागावरील लाईट हा पृष्ठभाग आणि सोर्स यांच्यातील अंतराच्या वर्गाच्या व्यस्त प्रमाणात असतो.

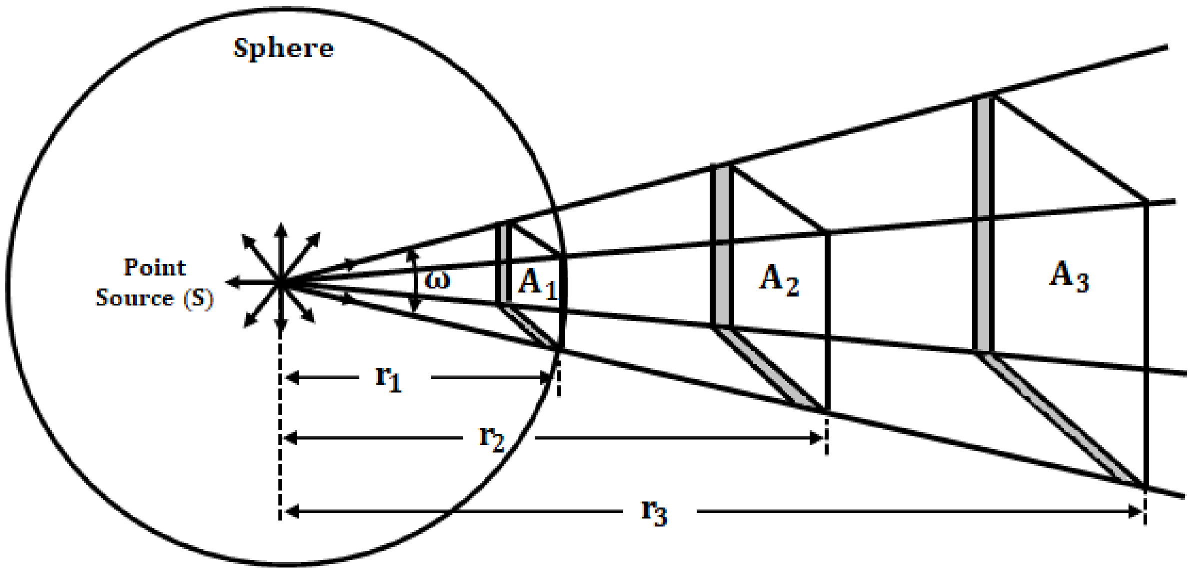


Figure 1.9 इनवर्स स्क्वेअर लॉ (Inverse square law)

$\boldsymbol{E = I/r^2}$

E = पृष्ठभागाचा लाईटमान

I =प्रकाशाची तीव्रता

r = स्रोत आणि पृष्ठभागामधील अंतर

स्पष्टीकरण:ल्युमेन /स्टेरेडियन म्हणून व्यक्त केलेल्या बिंदू स्रोताची लाईटमान तीव्रता I असू द्या.

समजा ω हा सॉलिड अँगल आहे,

एकूण लाईट प्रवाह ω स्टेरेडियनमध्ये = $I\omega$

त्रिज्या r_1 वर पृष्ठभागाचे क्षेत्रफळ, $A_1 = \omega r_1^2$

त्रिज्या r_2 वर पृष्ठभागाचे क्षेत्रफळ, $A_2 = \omega r_2^2$

त्रिज्या r1 वर पृष्ठभागाचे क्षेत्रफळच्या पृष्ठभागावर इल्यूमिनेशन,

$$E_1 = \frac{I\omega}{\omega r_1^2} = \frac{I}{r_1^2}$$

$$E_2 = \frac{I\omega}{\omega r_2^2} = \frac{I}{r_2^2}$$

$$\boldsymbol{\frac{E_1}{E_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}} \text{......... } \mathbf{(1)}$$

समीकरण (1) दर्शविते की एखाद्या बिंदूवरील लाईट हा बिंदू स्रोतापासूनच्या अंतराच्या वर्गाच्या व्यस्त प्रमाणात असतो आणि प्रकाशाच्या तीव्रतेशी किंवा C.P. (candle power) च्या त्या प्रकाशाच्या स्रोताचे दिशेने थेट प्रमाणात असतो.

1.3.2 लॅम्बर्टचा कोसाइन नियम (Lambert's Cosine Law):

स्टेटमेंट (Statement): पृष्ठभागावरील एखाद्या बिंदूवरील लाईट हा त्या बिंदूवरील पृष्ठभागाच्या नॉर्मलसोबत किरणाने बनवलेल्या कोनाच्या कोसाइनच्या प्रमाणात असतो.

$$E = \frac{I\theta}{d^2}\, Cos\theta$$

हे बिंदू स्रोत लाईटचे समीकरण आहे, जिथे $I\theta$ ही प्रकाशित बिंदूच्या दिशेने असलेल्या स्रोताची लाईट तीव्रता आहे, ϴ हा कोन आहे, जो प्रकाशित बिंदू असलेल्या समतलाच्या परपेंडीक्यूलर आणि प्रकाशित बिंदूला सोर्सशी जोडणाऱ्या रेषेदरम्यान तयार होतो, आणि d हे प्रकाशित बिंदूपर्यंतचे अंतर आहे.

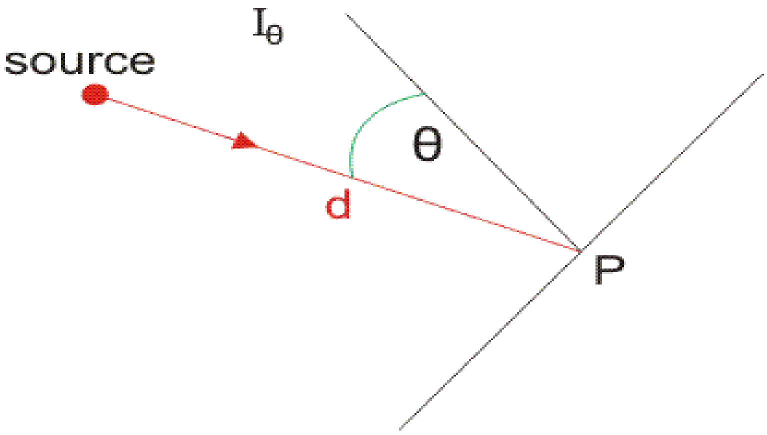
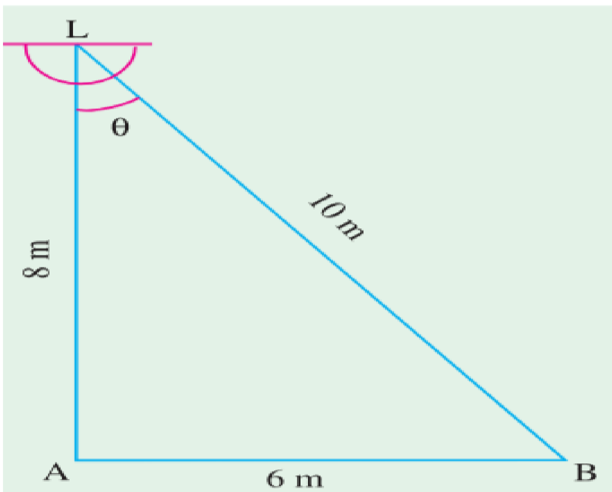


Figure.1.10 लॅम्बर्टचा कोसाइन नियम (Lambert's Cosine Law)

इल्यूमिनेशन लॉ वरील नमुना उदहारण (Sample numerical on Laws of Illumination):

1. सर्व दिशांना 1200 ल्यूमेन देणारा लॅम्प कार्यरत भागापसून 8 मीटर वर लटकलेला आहे. लॅम्पच्या पायथ्यापासून 6 मीटर अंतरावर कार्यरत असलेल्या समतलावरील एका बिंदूवरील इल्यूमिनेशन मोजा.



लॅम्प ची लाइट इन्टेन्सिटी अशी आहे,

$I = 1200/4\pi = 95.5$ cd

आकृती वरून,

$L_B = \sqrt{6^2 + 8^2} = 10m$ and $\cos\theta = 6/8 = 0.8$

Now, $E = \frac{I\theta}{r2}$

$$E = \frac{95.5\times0.8}{102}$$

$\therefore\ EB = 0.764\ lm/m2$

1.4 विविध लाइटिंग स्कीम्स (Various Lighting Schemes):

चांगली लाइटिंग स्कीम्स ही वेगवेगळ्या दिशांना आणि विविध ठिकाणी लाईट प्रदान करते.

फीचर्स (Features):

1. पुरेशी गुणवत्ता (Sufficient Quality)
2. पुरेशी मात्रा (Sufficient Quantity)
3. तेजस्वीपणा (Brightness)
4. लाईट फ्लक्स (Ligh Flux)
5. कोणताही विरोधाभास नसणे (No contrasts)
6. योग्य प्रसार (Right Diffusion)
7. योग्य रंग प्रभाव (Correct colour effect)
8. किफायतशीर (Economical)
9. देखभाल करणे सोपे (Easy to maintain)

1.4. 1लाइटिंग स्कीम्स चे प्रकार (Types of Lighting Schemes):

1. डायरेक्ट लाइटिंग (Direct Lighting)
2. सेमी डायरेक्ट लाइटिंग (Semi Direct Lighting)
3. इनडायरेक्ट लाइटिंग (Indirect Lighting)
4. सेमी इनडायरेक्ट लाइटिंग (Semi Indirect Lighting)
5. जनरल लाइटिंग (General Lighting)

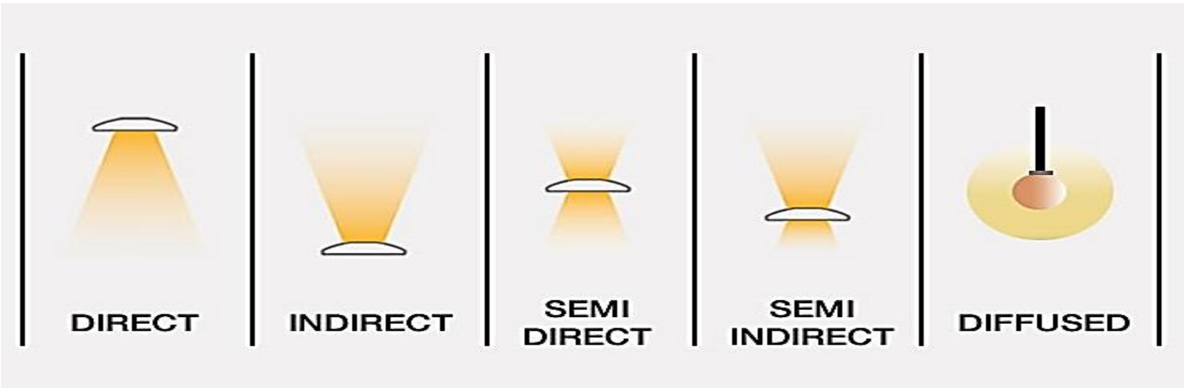


Figure 1.11 लाईटयोजनांचे प्रकार (Types of Lighting Schemes)

1. **डायरेक्ट लाइटिंग (Direct Lighting):**

1. हा सर्वात जास्त वापरला जाणारा लाईटिंग स्कीम चा प्रकार आहे. या लाईटिंग स्कीम मधे डीप रिफ्लेक्टर (deep reflector) च्या मदतीने एकूण लाईट फ्लक्स (light flux) च्या 90 टक्क्यांहून अधिक भाग थेट कार्यरत पातळीवर (working plane) पडतो.
2. 90 ते 95% लाईट थेट पृष्ठभागावर पडतो.

ॲडव्हानटेजेस (Advantages):

1. ते सर्वात कार्यक्षम आहे
2. ते स्वस्त आहे

डीसॲडव्हानटेजेस (Disadvantages):

1. डार्क शॅडो (Dark Shadow)
2. ग्लेअर (Glare)
3. टनेलिंग इफेक्ट (Tunelling effect)

ॲप्लिकेशन्स (Applications):

1. इंडस्ट्रिअल लाइटिंग (Industrial lighting)
2. जनरल आऊट डोअर लाइटिंग (General outdoor lighting)

2. सेमी डायरेक्ट लाइटिंग (Semi Direct Lighting):

1. या योजनेत, एकूण लाईट फ्लक्स (light flux) पैकी सुमारे 60 ते 90% भाग कामाच्या पृष्ठभागावर (working plane) पडतो आणि 10 ते 40%भाग छतावर आणि भिंतींवर पडतो.
2. सेमी डायरेक्ट परावर्तक (reflectors) प्रदान करून हे साध्य केले जाते. अशी योजना जास्त उंची असलेल्या खोल्यांसाठी सर्वात योग्य आहे.

ॲडव्हानटेजेस (Advantages):

1. ग्लेअर टाळले जातात आणि डीफ्यूजड बल्ब (diffused bulb) वापरले जातात.
2. सुधारित ब्राईटनेस मिळतो
3. एफिशिएंट लाइटिंग सिस्टम (Efficient Lighting System)

ॲप्लिकेशन्स (Applications):

झोनल (zonal) किंवा ॲक्सेंट (accent) लाइटिंगसाठी योग्य.

3. इनडायरेक्ट लाइटिंग (Indirect Lighting):

या लाइटिंग स्कीम्समध्ये, इन्व्हर्टेड किंवा बाउल रिफ्लेक्टर वापरून डिफ्यूजड (diffused) रिफ्लेक्शन करण्यासाठी एकूण लाईट फ्लक्सच्या 90% पेक्षा जास्त भाग कमाल मर्यादेपर्यंत वर टाकला जातो.जणू काही सीलिंग लाईट सोर्स म्हणून काम करते त्यामुळे ग्लेअर कमी होते. लाईट हा पुरेसा, प्रसारित आणि खूप सौम्य असतो आणि शॅडो कमी होतात.

ॲडव्हानटेजेस (Advantages):

1. हे शॅडो विरहित लाईट प्रदान करते जे ड्रॉईंग ऑफिसेससाठी (Drawing Offices) उपयुक्त आहे.
2. सॉफ्ट इल्यूमिनेशन
3. पुरेशी रोषणाई
4. डिफ्यूजड इल्यूमिनेशन (diffused illumination)

ॲप्लिकेशन्स (Applications):

1. सिनेमा, थिएटर आणि हॉटेल्स इत्यादींमध्ये सजावटीसाठी याचा वापर केला जातो.
2. ज्या कार्यशाळांमध्ये मोठ्या यंत्रांमुळे आणि इतर अडथळ्यांमुळे शॅडो चा त्रास होऊ शकतो, तेथे डायरेक्ट लाईटिंग स्कीम वापरले जातात.

4. सेमी इनडायरेक्ट डायरेक्ट लाइटिंग (Semi Indirect Lighting):

या सिस्टममध्ये, एकूण लाईट फ्लक्स पैकी 60 ते 90 % भाग सीलिंगवर पडण्यासाठी वळवला जातो जिथून लाईट डिफ्यूजड रिफ्लेक्शन द्वारे कार्यरत पृष्ठभागावर निर्देशित केला जातो. केवळ 30 ते 40 % लाईट फ्लक्स वर्किंग प्लेनवर पोहोचतो. ही लाइटिंग स्कीम्स सॉफ्ट शॅडोसह आणि ग्लेअरमुक्त आहे.

ॲडव्हानटेजेस (Advantages):

1. एफिशिएंट सिस्टम
2. ग्लेअर मुक्त सिस्टम
3. आल्हाददायक लाईटयोजना
4. लाइटिंग सॉफ्ट शॅडोसह असते

डीसॲडव्हानटेजेस (Disadvantages):

स्कीम महाग आहे.

ॲप्लिकेशन्स (Applications):

सजावटीसाठी वापरले जाते

5. जनरल लाइटिंग (General Lighting):

1. या योजनेत डिफ्यूजिंग ग्लासपासून बनवलेले लॅम्प वापरले जातात.
2. लाईट सर्व दिशांना समान प्रमाणात वितरित होतो.

ॲडव्हानटेजेस (Advantages):

एकसमान रोषणाई (Uniform illumination)

ॲप्लिकेशन्स (Applications):

हे विविध ठिकाणी वापरले जाते, ज्यामध्ये कंदील, कार्यालयीन जागा, शैक्षणिक सुविधा आणि निवासस्थाने यांचा समावेश आहे.

Table No 1: लाईट पडण्याच्या टक्केवारीसह लाईटिंग स्कीम (Lighting schemes with percentage of light fall)

Sr. No.	Type of Lighting Scheme	Amount Of Light fall on working plane (Lower hemisphere)	Amount Of Light fall on Ceiling (upper hemisphere)
01	डायरेक्ट लाइटिंग (Direct Lighting)	90 to 100%	0 to 10%
02	सेमी डायरेक्ट लाइटिंग (Semi Direct)	60 to 90%	10 to 40%
03	इनडायरेक्ट लाइटिंग (Indirect lighting)	0 to 10%	90 to 100%
04	सेमी इनडायरेक्ट लाइटिंग (Semi Indirect Lighting)	10 to 40%	60 to 90%
05	जनरल लाइटिंग (General Lighting)	40 to 60%	40 to 60%

1.5 लाइटिंग स्कीम्स चे डिजाईन (Design Of Lighting Schemes)

चांगल्या प्रकारे डिझाइन केलेली लाईटिंग स्कीम म्हणजे ती जी- (i) पुरेसा लाईट प्रदान करते (ii) ग्लेअर आणि हार्ड शॅडो टाळते (iii) पुरेसा लाईट प्रदान करते संपूर्ण कार्यरत पृष्ठभागावर प्रकाशाचे एकसमान वितरण करते. विशिष्ट क्षेत्रावर एकसमान लाईट निर्माण करण्यासाठी लॅम्पची संख्या, आकार आणि योग्य व्यवस्था कशी निश्चित करावी हे स्पष्ट करण्यापूर्वी, अशा कॅल्क्युलेशन्स मध्ये महत्त्वाचे असलेले खालील फॅक्टर्स आपण प्रथम विचारात घेऊया.

1.5.1 लाईटयोजना तयार करताना विचारात घ्यावयाचे घटक:

1. स्पेस - हाइट रेशिओ (Space to height ratio)
2. युटिलायझेशन फॅक्टर (Utilisation factor)
3. डेप्रीसिएशन फॅक्टर (Depreciation Factor)
4. रिफ्लेक्शन फॅक्टर (Reflection Factor)
5. वेस्ट लाइट फॅक्टर (Waste Light Factor)

1. **स्पेस - हाइट रेशिओ (Space to height ratio):**

हे लगतच्या लॅम्प मधील त्यांच्या माउंटिंगच्या उंचीपर्यंतचे हॉरीझॉन्टल अंतर म्हणून परिभाषित केले जाते.

$$\text{Space to height ratio} = \frac{\text{Horizontal distance between two lamps}}{\text{mounting height of lamp}}$$

2. युटिलायझेशन फॅक्टर (Utilisation factor):

हे एका विशिष्ट पृष्ठभागावर प्रत्यक्षात प्राप्त होणाऱ्या ल्युमेन चे लाईट स्रोताद्वारे उत्सर्जित होणाऱ्या एकूण ल्युमेन शी रेशिओ आहे.

$$\eta = \frac{\text{lumens actually received on working plane}}{\text{lumens emitted by the light source}}$$

या युटिलायझेशन फॅक्टर चे व्हॅल्यू मोठ्या प्रमाणात बदलते आणि खालील फॅक्टरवर अवलंबून असते:

1. लाईट व्यवस्थाचा प्रकार, डायरेक्ट असो इनडायरेक्ट इ.
2. फिटिंग्जचा प्रकार आणि माउंटिंग हाइट
3. भिंती आणि छताचा रंग आणि पृष्ठभाग
4. काही प्रमाणात रूमचा आकार आणि डायमेन्शस (dimensions) वर

3. डेप्रीसिएशन फॅक्टर (Depreciation Factor):

या ρ= (वास्तविक परिस्थितीत लाईट) / (सर्व काही पूर्णपणे स्वच्छ असताना लाईट) घटकामुळे सर्व लॅम्प किंवा लाईट सोर्सची प्रभावी कॅन्डल पॉवर ग्लोब्स आणि रिफ्लेक्टर इत्यादींवर धूळ किंवा घाण साचल्याने त्यांची कार्यक्षमता कमी होते. त्याचप्रमाणे, भिंती आणि छत इत्यादी देखील स्वच्छ असताना तितका लाईट परावर्तित करत नाहीत. जर लॅम्पच्या फिटिंग्ज नियमितपणे स्वच्छ केल्या जात असतीलतर या घटकाचे मूल्य 1/1.3 किंवा जास्त धूळ इत्यादी असल्यास 1/1.5 असे घेतले जाऊ शकते.

$$\boldsymbol{\rho} = \frac{\textbf{Illumination under actual condidtions}}{\textbf{Illumination when everything is perfectly clean}}$$

$$\rho = \frac{\text{(वास्तविक परिस्थितीत लाईट)}}{\text{(सर्व काही पूर्णपणे स्वच्छ असताना लाईट}}$$

लाईटमानता lm/m^2 मध्ये निर्दिष्ट केल्यामुळे, चौरस मीटरमधील क्षेत्रफळाचा लाईटमानाने गुणाकार केला जातो lm/m^2 मध्ये आवश्यक असलेले एकूण उपयुक्त लाईटमान प्रवाह देते जे वर्किंग (Working) रत समतलापर्यंत पोहोचले पाहिजे. ॲप्लिकेशन्स, वेस्ट लाइट फॅक्टर आणि डेप्रीसिएशन फॅक्टर विचारात घेतल्यास, आवश्यक असलेल्या ग्रॉस ल्युमेन साठी एक्स्प्रेशन खालीलप्रमाणे आहे.

$$\phi = \frac{E \times A}{\eta \times \rho}$$

जिथे $E = lm/m^2$ मध्ये योग्य इल्यूमिनेशन; A = मध्ये प्रकाशित करावयाच्या कार्यरत समतलाचे क्षेत्रफळ m^2, ρ = डेप्रीसिएशन फॅक्टर किंवा मैंटेनन्स फॅक्टर, η = युटिलायझेशन फॅक्टर (Utilisation factor). लॅम्प चा आकार फिटिंग्जच्या संख्येवर अवलंबून असतो, जर समान वितरण आवश्यक असेल तर ते एकमेकांपासून खूप दूर नसावेत. प्रत्यक्ष अंतर आणि व्यवस्था, स्पेस - हाइट व्हॅल्यू आणि सिलिंग वरील बीम किंवा कॉल्युम्स लेआउटद्वारे नियंत्रित केली जाते. आवश्यक युनिट्सची संख्या निश्चित केल्यानंतर, प्रति युनिट ल्युमेन (एकूण ल्युमेन /युनिटची संख्या) मिळू शकतात ज्यावरून लॅम्प चा साईझ मोजता येतो.

4. रिफ्लेक्शन फॅक्टर (Reflection Factor):

हे रिफ्लेक्टड लाईट (Refected Light) आणि इंसिडेन्ट लाईटशी (Incident Light) असलेले रेशिओ म्हणून परिभाषित केले आहे. हे एक पेक्षा कमी आहे.

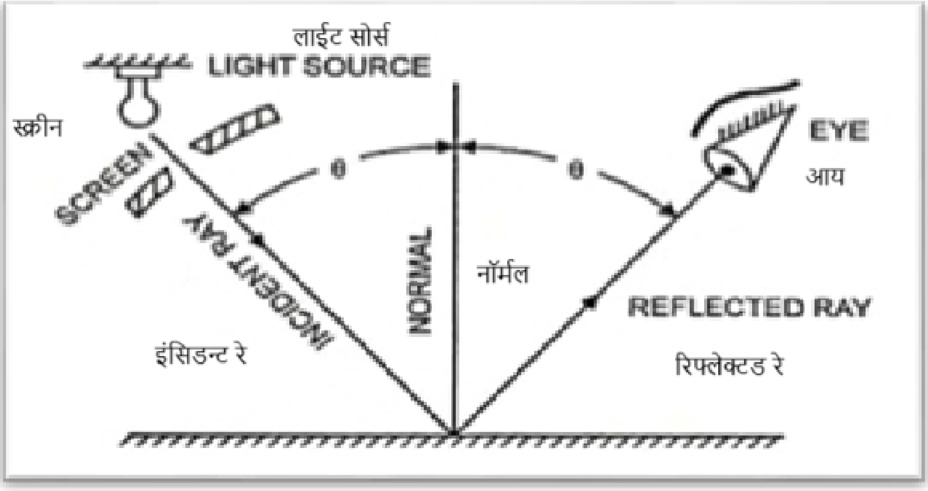


Figure 1.12: परावर्तन घटक (Specular Reflection)

5. वेस्ट लाइट फॅक्टर (Waste Light Fcator):

जेव्हा एखादा पृष्ठभाग अनेक लॅम्पनी प्रकाशित होतो, तेव्हा लाईट वेव्ज (light waves) एकमेकांवर आच्छादित (overlapping) झाल्यामुळे काही प्रमाणात अपव्यय होतो. म्हणून हा फॅक्टर विचारात घ्यावा लागेल. या फॅक्टर ची व्हॅल्यू 1.2 ते 1.5 दरम्यान आहे.

इनडोर लाइटिंग स्कीम्स डिझाइन वरील नमुना उदहारण: (Numerical on Design of indoor lighting scheme)

1) 1.8 चौरस मीटर × 12 मीटर आकाराच्या खोलीत 15 लॅम्प लावले जातात आणि 100 ल्युमेन/चौरस मीटर इतका एकसमान लाईट मिळतो. प्रत्येक लॅम्प चे आउटपुट 1600 ल्युमेन असल्याने खोलीचा उपयोगाचे गुणांक (Utilisation factor) काढा.

उत्तर:

लॅम्पमधून एमिट होणारे ल्युमेन

= 15 × 1600

= 24000 ल्युमेन

रूम च्या कार्यरत समतलाने (working plane) प्राप्त केलेले ल्युमेन

= 8 × 12 × 100

= 9600 lm

युटिलायझेशन फॅक्टर (Utilisation Factor)

= 9600/24000

= 0.4 किंवा 40%

2) 30 मीटर × 10 मीटरच्या ड्रॉइंग ऑफिसमधील इल्युमिनेशन चे व्हॅल्यू 250 लक्स असावे आणि ते 300 वॅटच्या अनेक फिलामेंट लॅम्प द्वारे प्रदान केले जावे. जर युटिलायझेशन फॅक्टर 0.4 आणि वेस्ट लाइट

फॅक्टर 0.9 असेल, तर आवश्यक असलेल्या लॅम्पची संख्या निश्चित करा. प्रत्येक लॅम्प ची लाईटक्षमता 14 ल्युमेन/वॅट आहे.

उत्तर:
आपल्याला माहित आहे की,

$\phi = \frac{E \times A}{\eta \times \rho}$

$\therefore \ \phi = \frac{250 \times 300}{14 \times 0.9}$

$\therefore \ \phi = 208,333 \ lm$

लुमिनिस फ्लक्स /लॅम्प $= \ 300 \ \times \ 14 \ = \ 4200 \ lm$

लॅम्पची आवश्यक संख्या = $208,333/4200 \ = \ 50$

3) वर्किंग पातळीपासून 5 मीटरवर बसवलेल्या लॅम्पद्वारे 60 × 15 मीटरच्या कार्यशाळेच्या जागेला प्रकाशित करण्यासाठी आवश्यक असलेल्या लॅम्पची संख्या आणि वॅटेजचा अंदाज लावा. आवश्यक असलेली सरासरी इल्यूमिनेशन सुमारे 100 लक्स आहे. युटिलायझेशन फॅक्टर (Utilisation Factor) = 0.4; लाईटमान कार्यशाळा (lamp efficiency)
= 16 ल्युमेन/वॅट.
स्पेस / हाइट रेशिओ 1 धरा (consider) आणि कॅण्डल पॉवर डीप्रीसिएशन 20% गृहीत धरा.

उत्तर: आपल्याला माहित आहे की, लुमिनिस फ्लक्स

$\therefore \ \phi = \ (E \times A) \ / \ (\eta \times \rho)$

$\therefore \phi = \ (100 \times \ (60 \times 15) \ ) \ / \ (0.4 \times 1/1.2)$

= 27 × 104 ल्युमेन

आवश्यक एकूण वॅटेज (wattage)

=27×104 ल्युमेन /16

=17000 W

स्पेस / हाइट रेशिओ एक साठी, रूम च्या रुंदीसह फक्त तीन लॅम्प बसवता येतात.
त्याचप्रमाणे, रूम च्या लांबीच्या बाजूने 12 लॅम्प लावता येतात.
एकूण आवश्यक असलेल्या लॅम्प ची संख्या,
12 × 3 = **36** आहे.
प्रत्येक लॅम्प ची वॅटेज,

= 17000/36 = **472 वॅट** आहे.

1.6 घरगुती आणि औद्योगिक लॅम्प चे फिटिंग्ज (Domestic and Industrial Lamp fitting):

लाईट/लॅम्प फिटिंग (lamp fitting) किंवा फिक्स्चर (fixture) म्हणजे काय?

लाईट फिटिंग हा शब्द लाईटयोजना युनिटसाठी व्यापक शब्द म्हणून समाविष्ट आहे. तथापि, कधीकधी अधिक स्पष्टपणे सांगायचे झाल्यास, विद्युत घटक असू शकतात, जसे की लॅम्प होल्डर, ज्यामध्ये लाईट बल्ब (Light Bulb) जोडलेले असतात. फिटिंग म्हणजे विद्युत प्रवाहाचे प्रकाशात रूपांतर करण्याची प्रक्रिया असते, जी व्यावहारिक किंवा सजावटीच्या उद्देशाने केली जाते. हे छताला (Ceiling), भिंतीला (Wall) किंवा पेंडंट (Pendent) किंवा प्लग-इन (Plug-in) स्वरूपात जोडले जाऊ शकते.

1.6.1. घरगुती लॅम्प चे फिटिंग्ज (Domestic lamp fittings)

हे घरांमध्ये लाईटयोजना बसवण्यासाठी आणि त्यांना आधार देण्यासाठी वापरल्या जाणाऱ्या विविध घटकांचा आणि ॲक्सेसरीजचा संदर्भ देते. या फिटिंग्जमुळे लॅम्प आणि इतर लाईट घटक सुरक्षितपणे बसवलेले जातात, विद्युत प्रणालींशी योग्यरित्या जोडलेले आहेत आणि दिसायला आकर्षक जातात.

घरगुती लॅम्प च्या फिटिंग्जचे काही सामान्य प्रकार आहेत:

1. **पेंडंट लाईट फिटिंग्ज:** हे हँगिंग लाईट फिक्स्चर असतात, जे विविध डिझाइनमध्ये उपलब्ध असून उंचीनुसार समायोजित करता येतात. हे छतावरून लटकण्यासाठी हुक किंवा साखळ्यांच्या साहाय्याने जोडले जातात.
2. **सीलिंग रोझ (Ceiling rose):** सीलिंग रोझ हा सजावटीचा भाग असून, तो लॅम्पच्या वायरला छताला जोडलेल्या विद्युत जोडण्यांना झाकण्यासाठी वापरला जातो हे फिक्स्चरसाठी एक सुरक्षित माउंटिंग पॉइंट देखील प्रदान करते.
3. **लॅम्प होल्डर (Lamp Holder):** हे सॉकेट्स असतात, जिथे लॅम्प बसवले जातात. लॅम्प होल्डर वेगवेगळ्या प्रकारच्या बल्बसाठी डिझाइन केले जातात, जसे की इनकॅन्डेसेंट, एलईडी किंवा हॅलोजन लॅम्प इ.
4. **झुंबर:** मोठे, सजावटीचे लॅम्प जे छताला लटकतात आणि अनेक बल्ब असतात. झुंबरांना त्यांचे वजन सहन करण्यासाठी मजबूत आणि विशेष फिटिंग्ज आवश्यक असतात.
5. **भिंतीवरील ब्रैकेट्स:** ही भिंतीवर बसवली जाणारी फिटिंग्ज आहेत, जी **(Sconces)** किंवा वाचन लॅम्पसाठी **(Reading Lamps)** वापरली जातात.
6. **टेबल लॅम्प फिटिंग्ज:** यामध्ये टेबल लॅम्पसाठी बेस, बल्ब सॉकेट, स्विच आणि वायरिंग यांचा समावेश होतो. लॅम्पच्या डिझाइननुसार या फिटिंग्ज वेगवेगळ्या प्रकारच्या असतात.
7. **लॅम्प स्विचेस:** यामध्ये टॉगल, डिमर किंवा पुश-बटण असे विविध प्रकारचे स्विचेस येतात, जे लॅम्प नियंत्रित करण्यासाठी वापरले जातात.

8. लॅम्प शेड होल्डर्स (Lamp Shade Holders): ही फिटिंग्ज लॅम्पशेडला सुरक्षित ठेवण्यासाठी वापरली जातात, हे वेगवेगळ्या आकार आणि मटेरियलमध्ये (पितळ, तांबे, स्टील, प्लास्टिक) उपलब्ध असतात, जे खोलीच्या सजावटीशी सुसंगत राहतात. सौंदर्यात्मक किंवा कार्यात्मक हेतूंसाठी,सुरक्षितता आणि डिझाइन दोन्हीसाठी योग्य फिटिंग महत्त्वपूर्ण आहे.

1.6.2. औद्योगिक लॅम्प चे फिटिंग्ज (Industrial lamp fittings):

हे व्यावसायिक, औद्योगिक किंवा मोठ्या प्रमाणात ॲप्लिकेशन्स साठी डिझाइन केलेले असतात. ते सामान्यतः घरगुती फिटिंग्जपेक्षा अधिक मजबूत आणि कार्यक्षम असतात, कारखाने, गोदामे, कार्यशाळा

आणि इतर जड-कर्तव्य क्षेत्रांच्या कठोर वातावरणाचा सामना करण्यासाठी बांधलेले असतात. या फिटिंग्जमध्ये टिकाऊपणा, कार्यक्षमता आणि सुरक्षितता यांना प्राधान्य दिले जाते. औद्योगिक लॅम्प च्या फिटिंग्जचे काही सामान्य प्रकार येथे आहेत:

1. औद्योगिक पेंडंट लाईट फिटिंग्ज :

वर्णन: हे लटकणारे फिक्स्चर आहेत जे सामान्यतः कारखाने, मोठी स्वयंपाकगृहे किंवा मोठ्या कामाच्या ठिकाणी वापरले जातात. ते बहुतेकदा स्टीलसारख्या मेटलपासून बनवले जातात आणि जड वापरासाठी मजबूत डिझाइन असलेले असतात.

ॲप्लिकेशन्स (Applications):

कारखाने, कार्यशाळा, मोठे स्वयंपाकघर आणि गोदामे.

2. स्फोट-प्रूफ फिटिंग्ज:

वर्णन: ठिणग्या (spark) रोखण्यासाठी आणि स्फोटांना प्रतिकार (explosion resistant) करण्यासाठी विशेषतः डिझाइन केलेले, स्फोट-प्रतिरोधक लॅम्प फिटिंग्ज धोकादायक वातावरणात, जसे की रासायनिक प्रकल्प किंवा ज्वलनशील वायू असलेल्या भागात वापरले जातात.

ॲप्लिकेशन्स (Applications): तेल शुद्धीकरण कारखाने, रासायनिक संयंत्रे, खाणी किंवा स्फोटक वातावरण असलेले क्षेत्रे.

3. फ्लड लाइट्स:

वर्णन: मोठ्या क्षेत्रांना प्रकाशित करण्यासाठी डिझाइन केलेले उच्च-शक्तीचे लॅम्प असतात.त्यांच्याकडे बहुतेकदा मजबूत मेटलचे कव्हर असते आणि ते हवामान-प्रतिरोधक असतातबाहेरील कठीण औद्योगिक परिस्थितींना तोंड देण्यासाठी डिझाइन केलेले असतात

ॲप्लिकेशन्स (Applications): बाहेरील औद्योगिक जागा, गोदामे, बांधकाम स्थळे किंवा पार्किंग लॉट

4. हाय बे आणि लो बे फिटिंग्ज:

वर्णन: हाय बे फिटिंग्ज सामान्यतः उंच छताच्या जागांसाठी वापरल्या जातात, तर लो बे फिटिंग्ज लहान छतांसाठी डिझाइन केल्या जातात. हे लॅम्प मोठ्या क्षेत्रांसाठी तीव्र, एकसमान लाईट प्रदान करण्यासाठी डिझाइन केलेले आहेत

ॲप्लिकेशन्स (Applications): गोदामे, कारखाने, व्यायामशाळा आणि हॅन्गर.

5. एलईडी इंडस्ट्रियल फिटिंग्ज:

वर्णन: एलईडी औद्योगिक लॅम्प ऊर्जा- कार्यक्षम असतात आणि उच्च-तीव्रतेचा लाईट प्रदान करतात, बहुतेकदा मोठ्या जागांमध्ये ॲप्लिकेशन्स जातात जिथे सतत लाईट आवश्यक असतो. ते विविध प्रकारांमध्ये येतात, जसे की एलईडी हाय बे किंवा एलईडी स्ट्रिप लाईट्स

ॲप्लिकेशन्स (Applications): उत्पादन लाइन, मोठ्या किरकोळ जागा आणि कारखाने.

6. फ्लुरोसंट ट्यूब फिटिंग्ज

वर्णन: लॉन्ग, लिनिअर लाईट फिक्सचर जे फ्लोरोसेंट बल्बसाठी सामान्यतः औद्योगिक क्षेत्रात त्यांच्या कार्यक्षमतेसाठी आणि किफायतशीरतेसाठी वापरले जातात. ते पृष्ठभागावर बसवलेल्या (surface mounted) आणि सस्पेंडेड व्हर्जन दोन्ही प्रकारमध्ये उपलब्ध आहेत.

ॲप्लिकेशन्स (Applications): कार्यालये, स्टोरेज रूम्स आणि मॅनुफॅक्चरींग युनिट

7. पृष्ठभागावर बसवलेले औद्योगिक फिटिंग्ज

वर्णन: हे फिक्स्चर थेट पृष्ठभागावर (सहसा सिलिंग वर किंवा भिंतींवर) बसवले जातात. ते बहुतेकदा मोठ्या जागांमध्ये जनरल लाइटिंग साठी वापरले जातात आणि टिकाऊपणासाठी डिझाइन केलेले असतात

ॲप्लिकेशन्स (Applications): गोदामे, कॉरिडॉर आणि कारखान्याचे फ्लोअर

8. औद्योगिक फ्लड आणि सुरक्षा लॅम्प:

वर्णन: व्यापक आणि तीव्र लाईट प्रदान करण्यासाठी डिझाइन केलेले हेवी-ड्युटी लॅम्प. ते सामान्यतः ॲल्युमिनियम किंवा कास्ट आयर्न सारख्या पदार्थांपासून बनवले जातात आणि सुरक्षिततेच्या उद्देशाने किंवा मोठ्या प्रमाणात लाईट योजनेसाठी वापरले जातात

ॲप्लिकेशन्स (Applications): बाहेरील औद्योगिक यार्ड, लोडिंग डॉक आणि सुरक्षा लाईट योजना.

9. टास्क लाइटिंग फिटिंग्ज:

वर्णन: असेंब्ली लाईन्स किंवा दुरुस्ती क्षेत्रांसारख्या औद्योगिक सेटिंग्जमध्ये विशिष्ट कामांसाठी केंद्रित लाईट प्रदान करणारे विशेष फिक्स्चर. या फिक्स्चरमध्ये अनेकदा समायोज्य आर्म्स किंवा माउंट्स असतात जे गरजेनुसार लाईट निर्देशित करतात.

ॲप्लिकेशन्स (Applications): असेंब्ली युनिट्स, वर्कबेंच आणि तांत्रिक स्टेशन

10. गंज-प्रतिरोधक फिटिंग्ज:

वर्णन: हे फिटिंग्ज गंज प्रतिरोधक पदार्थांपासून बनवले जातात, जसे की स्टेनलेस स्टील किंवा पावडर-कोटिंग ॲल्युमिनियम, जे कठोर रसायने किंवा पर्यावरणीय परिस्थितींना तोंड देऊ शकतात.

ॲप्लिकेशन्स (Applications): रासायनिक युनिट्स, अन्न प्रक्रिया आणि सागरी वातावरणात

11. मोशन सेन्सर लाइट्स:

वर्णन: मोशन सेन्सर्सने सुसज्ज लॅम्प, बहुतेकदा औद्योगिक सेटिंग्जमध्ये वापरले जातात जिथे हालचाल आढळल्यावरच लॅम्प चालू होतात, ज्यामुळे ऊर्जा वाचते

ॲप्लिकेशन्स (Applications): स्टोरेज युनिट्स, लोडिंग डॉक आणि कमी रहदारी असलेले क्षेत्र

12. ट्रॅक लाइटिंग:

वर्णन: ट्रॅकवर बसवलेली लॅम्प ची एक प्रणाली जी आवश्यकतेनुसार केंद्रित लाईट प्रदान करण्यासाठी समायोजित केली जाऊ शकते. हे सामान्यतः अशा ठिकाणी वापरले जाते जिथे लाईट योजना व्हर्सटाईल असणे आवश्यक आहे.

ॲप्लिकेशन्स (Applications): औद्योगिक शोरूम, कार्यशाळा किंवा समायोज्य लाईट आवश्यकता असलेले क्षेत्र.

1. 7 लाईटयोजनेच्या गुणवत्तेवर परिणाम करणारे घटक (Factors affecting on quality of lighting scheme)

दिलेल्या युनिट मधील प्रकाशाची गुणवत्ता प्रकाशाच्या तीव्रतेवर (intensity) आणि देखाव्यावर (appearance) परिणाम करणाऱ्या अनेक घटकांमुळे प्रभावित होते. युनिट किती चांगले प्रकाशित आहे, लाईटयोजना किती

आरामदायी (comfortable) आणि प्रभावी (efficient) आहे आणि ती परिसराच्या सौंदर्यावर (aesthetics) कसा प्रभाव पाडते यामध्ये हे घटक महत्त्वाची भूमिका बजावतात.
प्रकाशाच्या गुणवत्तेवर परिणाम करणारे मुख्य घटक येथे आहेत:

1. **प्रकाशाची तीव्रता (लक्स आणि लुमेन्स):**

वर्णन: स्रोताद्वारे निर्माण होणाऱ्या प्रकाशाचे प्रमाण, ल्युमेन मध्ये मोजले जाते आणि ते पृष्ठभागावर कसे वितरित केले जाते ते लक्समध्ये मोजले जाते.
गुणवत्तेवर परिणाम: जास्त प्रकाशाची तीव्रता दृश्यमानता वाढवू शकते, परंतु जास्त प्रकाशामुळे चमक किंवा अस्वस्थता येऊ शकते. अपुऱ्या तीव्रतेमुळे जागा अंधुक वाटू शकतात आणि अचूकतेची आवश्यकता असलेल्या कामांवर परिणाम होऊ शकतो.

2. **रंग तापमान (केल्विन, K)**

वर्णन: उष्ण (पिवळ्या) ते थंड (निळसर) टोनपर्यंत, स्रोताद्वारे उत्सर्जित होणाऱ्या प्रकाशाचा रंग. केल्विन (K) मध्ये मोजले.
गुणवत्तेवर परिणाम:
उबदार लाईट (2000-3000 K): एक आरामदायी, आरामदायी वातावरण तयार करते, जे लिव्हिंग रूम आणि बेडरूमसाठी आदर्श आहे.
न्युट्रल लाईट (3500-4500 K): स्वयंपाकघर, कार्यालये आणि वर्किंग (Working) स्थळांसाठी चांगला संतुलित लाईट.
थंड लाईट (5000-6500 K): गॅरेजसारख्या कामाच्या ठिकाणी किंवा जास्त एकाग्रतेची आवश्यकता असलेल्या जागांमध्ये बहुतेकदा वापरला जातो
परिणाम: रंगाचे टेम्परेचर मूड, उत्पादकता आणि व्हिजुअल कम्फर्ट (visual comfort) वर परिणाम करते. उदाहरणार्थ, वार्म लाईट (warm light) विश्रांतीस चालना देतो, कुल लाईट अधिक कार्यशक्ती वाढवण्यास मदत करते.

3. **कलर रेंडरिंग इंडेक्स (CRI)**

वर्णन: नैसर्गिक प्रकाशाच्या तुलनेत लाईट स्रोत किती अचूकपणे रंग देतो हे सीआरआय मोजते. हे 0 ते 100 च्या प्रमाणात मोजले जाते
गुणवत्तेवर परिणाम: ज्या जागांमध्ये रंग अचूकता महत्त्वाची आहे (उदा. किचन, आर्ट स्टुडिओ आणि रिटेल स्पेसेस) त्यांच्यासाठी उच्च CRI (80-100) इष्ट आहे. कमी CRI मुळे रंग निस्तेज वा चुकीचे दिसू शकतात, जे अशा परिस्थितीत समस्याप्रधान असू शकते जिथे रंग वेगळे करणे आवश्यक असते.

4. **लाईट वितरण (एकसारखेपणा):**

वर्णन: दिलेल्या क्षेत्रात लाईट किती समान रीतीने पसरलेला आहे. लाईट थेट (एका ठिकाणी केंद्रित) किंवा विखुरलेला (पसरलेला) असू शकतो
गुणवत्तेवर परिणाम: खराब वितरणामुळे सावल्या किंवा असमान लाईट निर्माण होऊ शकतो, ज्यामुळे चमक येते किंवा खूप तेजस्वी किंवा खूप गडद भाग दिसतात. डोळ्यांचा ताण आणि अस्वस्थता टाळण्यासाठी आदर्श लाईटयोजनेत चांगली एकरूपता असावी

5. ग्लेअर (Glare)

वर्णन: जेव्हा तीव्र प्रकाशामुळे अस्वस्थता येते तेव्हा ग्लेअर निर्माण होतो, बहुतेकदा तेजस्वी आणि गडद भागांमधील उच्च कॉन्ट्रास्टमुळे किंवा लाईट स्रोतांच्या थेट संपर्कामुळे असतो. गुणवत्तेवर **परिणाम**: जास्त ग्लेअर दृश्य अस्वस्थता निर्माण करू शकते, दृष्टी खराब करू शकते आणि थकवा वाढवू शकते. योग्य लाईट व्यवस्था आणि प्रसार (diffusion), ग्लेअर कमी करण्यास मदत करू शकतात.

6. लाईटिंग फिक्स्चर प्रकार:

वर्णन: वापरल्या जाणाऱ्या लाईटयोजनेचा प्रकार, जसे की रीसेस्ड लाईट, पेंडंट लाईट, ट्रॅक लाईट किंवा डेस्क लाईट, (Recessed Lights, Pendant Lights, Track Lights, Desk Lamps) लाईट कसा वितरित केला जातो आणि कसा सरफेसवर येतो यावर परिणाम करू शकतात.

गुणवत्तेवर परिणाम: लाईट समान रीतीने पसरवणारे फिक्स्चर गुणवत्ता सुधारतील, तर जे लाईट केंद्रित पद्धतीने निर्देशित करतात ते हॉटस्पॉट आणि शॅडो तयार करू शकतात. उदाहरणार्थ, पेंडंट लॅम्प स्थानिक लाईटयोजना तयार करू शकतात, तर डाउनलाइट्स किंवा झुंबर लाईट अधिक समान रीतीने वितरित करतात.

7. लाईट स्रोत (बल्बचा प्रकार):

वर्णन: बल्बचा प्रकार इनकॅन्डेसेंट, एलईडी, हॅलोजन, फ्लोरोसेंट प्रकाशाच्या गुणवत्तेवर परिणाम करतो.

गुणवत्तेवर परिणाम:

LEDs: विविध रंग तापमान आणि CRI रेटिंगसह कार्यक्षम आणि दीर्घकाळ टिकणारे असतात. इन्कन्डेंसेंट: उबदार प्रकाश देते, परंतु अकार्यक्षम आहे.

फ्लोरोसेंट: कार्यालये आणि व्यावसायिक जागांमध्ये सामान्य आहे, परंतु गुणवत्तेनुसार ते हार्श (harsh) किंवा चमकणारे (flickering) असू शकते.

हॅलोजन: एक प्रकारचा इनकॅन्डेसेंट लॅम्प, जो तेजस्वी, व्हाईट लाईट देतो परंतु भरपूर उष्णता निर्माण करतो.

8. परावर्तन (Reflection) आणि पृष्ठभाग पूर्ण करणे:

वर्णन: लाईट एखाद्या जागेतील पृष्ठभागा वर पडतो मग परावर्तक पृष्ठभाग (Reflective surfaces) असोत किंवा शोषक (मॅट पृष्ठभाग) असोत.

गुणवत्तेवर परिणाम: हलक्या रंगाच्या भिंती आणि परावर्तित पृष्ठभाग लाईट वाढवू शकतात आणि खोली उजळ वाटू शकतात. गडद भिंती जास्त लाईट शोषून घेतात, ज्यामुळे प्रकाश कमी होतो आणि मंद, गूढ वातावरण तयार होते.

9. लायटिंग कंट्रोल्स (डिमर आणि सेन्सर्स)

वर्णन: प्रकाशाची किंवा रंग तापमान समायोजित करण्याची क्षमता ही त्या जागेच्या गरजेनुसार किंवा दिवसाच्या वेळेनुसार ठरते.

डिमर आणि मोशन सेन्सर्सच्या मदतीने लाईट विविध कार्ये आणि गरजांनुसार बदलता येते, त्यामुळे कार्यक्षमता आणि व्हिजुअल कम्फर्ट सुधारतो. स्वयंचलित प्रणाली लाईटच्या गुणवत्तेसह ऊर्जा कार्यक्षमतेतही सुधारणा करू शकते.

10. पर्यावरणीय घटक:

वर्णन: बाह्य घटक जसे की सभोवतालचा लाईट, दिवसाच्या लाईटची उपलब्धता आणि खोलीचे वातावरण, घरातील लाईटच्या गुणवत्तेवर प्रभाव टाकतात. नैसर्गिक लाईट कृत्रिम लाईटला पूरक ठरू शकतो, परंतु

त्याची उपलब्धता खिडक्या, पडदे आणि हवामानावर अवलंबून असते. दिवसाचा लाईट आणि कृत्रिम लाईट यांचे संतुलित संयोजन एकूण लाईट गुणवत्ता सुधारू शकते.

11. लाईट व्यवस्था आणि थर:

वर्णन: जागेत लाईट कसे लावले जातात, ते कार्यात्मक लाईट, अॅक्सेंट लाईट, किंवा सभोवतालच्या लाईट साठी वापरले जातात का, यावरून लाईट व्यवस्था ठरते.

गुणवत्तेवर परिणाम: सभोवतालच्या, कार्यात्मक, आणि अॅक्सेंट लाईटयोजनांचे संतुलित संयोजन लाईटचे थर तयार करते, ज्यामुळे दृश्यमान आराम आणि वर्किंग क्षमता वाढते. योग्य लाईट व्यवस्था शॅडो कमी करू शकते, डोळ्यांचा ताण टाळू शकते आणि कम्फर्ट वातावरण तयार करू शकते.

12. लाईट पोल्युशन:

वर्णन: जास्त किंवा चुकीच्या दिशेने जाणारा लाईट, ज्यामुळे व्हिजुअल डीसकम्फर्ट (Visual discomfort) येते किंवा नैसर्गिक सर्कॅडियन ऱ्हिदम (natural circadian rhythms) प्रभावित होतो.

गुणवत्तेवर परिणाम: बाहेरील लाईटयोजनचे योग्य नियोजन न केल्यास रात्रीच्या वातावरणाच्या गुणवत्तेवर परिणाम होऊ शकतो आणि झोपेमध्ये व्यत्यय येऊ शकतो. लाईट प्रदूषण कमी केल्याने, विशेषतः बाहेरील वातावरणात, घरातील आणि बाहेरील दोन्ही जागांमध्ये लाईटची गुणवत्ता सुधारू शकते.

नमुना प्रश्नसंच

1. संज्ञा परिभाषित (Define) करा:
   (i) Minimum Spherical Candle Power (MSCP)
   (ii) Space to Height Ratio
   (iii) Luminous Flux
   (iv) Utilization Factor
   (v) Minimum Horizontal Candle Power (MHCP)
   (vi) Lamp Efficiency
   (vii) Illumination
   (viii) Light Intensity (प्रकाशाची तीव्रता)
   (ix) Lux
2. चांगल्या Lighting Scheme च्या कोणत्याही चार आवश्यकता सांगा.
3. चांगल्या Lighting Scheme ची वैशिष्ट्ये आणि Advantages सांगा.
4. दिलेल्या Lighting Applications साठी योग्य Lamp निवडा:
   (i) Street Lighting
   (ii) Sports Lighting
   (iii) Industrial Lighting
   (iv) Residential Lighting
5. Lambert चा Cosine Illumination चा नियम सांगा.
6. पारंपारिक Fluorescent Tube Light चा व्यवस्थित लेबल केलेला आकृती काढा व त्यामधील Choke आणि Starter चे कार्य स्पष्ट करा.
7. खालील Lighting Schemes साठी मुख्य वैशिष्ट्ये आणि Application Areas सांगा:
   (i) Semi Direct Lighting Scheme
   (ii) Indirect Lighting Scheme

8. Shadow आणि Glare स्पष्ट करा आणि त्याचे परिणाम लिहा.
9. LED Lamp चे रेखाटन करा आणि LED Lamp चे Construction व Working सांगा.
10. दिलेल्या Lamps चे कोणतेही दोन Applications लिहा:
    (i) LED Lamp
    (ii) Metal Halide Lamp

Unit - 2 Electric Heating
युनिट - 2 इलेक्ट्रिक हिटिंग

विषय निष्पत्ती (Course level learning outcome - CO's):

CO 2 - ॲप्लिकेशन्स (Applications) नुसार योग्य इलेक्ट्रिक फर्नेस (electric furnace) निवडा.

घटक निष्पत्ती (Theory Learning Outcome- TLO's):

1. इलेक्ट्रिकल हिटिंग (Electric Heating) सिस्टमचे कन्स्ट्रक्शन (construction) , वर्किंग प्रिंसिपल (working principle) आणि क्लासिफिकेशन (classification) स्पष्ट करा.
2. दिलेल्या ॲप्लिकेशनसाठी योग्य हिटिंग सिस्टम (heating system) जस्टिफिकेशन (justification) सह सुचवा.
3. दिलेल्या डेटावरून फर्नेसच्या (furnace) टाईप साठी हिटिंग इलेमेंट (heating element) डिझाईन करा.
4. इंडक्शन फर्नेसच्या साईझ (size) च्या आधारित सिम्पल न्युमरिकल (simple numerical) सोडवा.
5. डायलेक्ट्रिक हिटिंगमध्ये व्होल्टेज (voltage) आणि पॉवर रिक्वायरमेन्ट (power requirement) एस्टीमेट (estimate) करा.

परिचय (Introduction):

घरगुती आणि औद्योगिक वापरासाठी इलेक्ट्रिक हिटिंग चा मोठ्या प्रमाणात वापर केला जातो. घरगुती वापरामध्ये (i) रूम हीटर (Room Heater) (ii) पाणी गरम (heat) करण्यासाठी इमर्शण वॉटर हीटर (Immersion Water Heater) (iii) स्वयंपाकासाठी हॉट प्लेट्स (Hot Plates) (iv) इलेक्ट्रिक केटल (Electric Kettles) (v) इलेक्ट्रिक इस्त्री (Electric Iron) (vi) पॉप-कॉर्न प्लांट्स (Pop Corn Plants) (vii) बेकरीसाठी इलेक्ट्रिक ओव्हन (Electric Oven) आणि (viii) इलेक्ट्रिक टोस्टर (Toaster) इत्यादींचा समावेश आहे. इलेक्ट्रिक हिटिंग च्या औद्योगिक वापरांमध्ये (i) मेटलचे वितळणे (ii) टेम्परिंग (tempering, सोल्डरिंग (soldering) आणि ब्रेझिंग (brazing) इत्यादी मेटल हिटिंग ट्रीटमेंट्स (metal heat treatments) यांचा समावेश आहे. (iii) मोल्डींग ऑफ ग्लास (moulding of glass) (iv) इन्सुलेटर बेकिंग (insulator baking) (v) कॉपर वायर चे एनॅमलिंग (copper wire enamling) इ.

2.1 इलेक्ट्रिक हिटिंगची संकल्पना (Concept of Electric Heating):

2.1.1 इलेक्ट्रिक हिटिंग म्हणजे काय?

औद्योगिक आणि घरगुती दोन्ही कारणांसाठी इलेक्ट्रिक हीट आवश्यक आहे. उद्योगांमध्ये, मेटल वितळवणे, काचेचे साचे तयार करणे, कॉपर वायर चे एनॅमलिंग(copper wire enamling) , इन्सुलेटर बेकिंग आणि वेल्डिंग इत्यादींसाठी हिटिंग आवश्यक असते. घरगुती वापरासाठी स्वयंपाक, पाणी गरम करणे, हिवाळ्यात रूम हिटि करणे, कपडे (क्लोथ्स) प्रेस करणे, आणि इतर अनेक कामांसाठी हिटिंगची आवश्यकता असते.

इलेक्ट्रिक हिटिंग (Electric Heating): ही इलेक्ट्रिक उर्जेचे हीट उर्जेमध्ये रूपांतर करण्याची प्रक्रिया आहे.

इलेक्ट्रिक हिटिंगचे प्रिंसिपल (Principle of Electric Heating): इलेक्ट्रिक हिटिंग हे "जेव्हा करंट एखाद्या मटेरिअल मधून जातो तेव्हा उष्णता निर्माण होते" या तत्त्वावर आधारित आहे. सॉलिड मटेरिअलचे (solid material) उदाहरण घेऊया, ज्याचा रेजिस्टन्स 'R' Ohm असतो आणि त्यातून वाहणारा करंट 't' सेकंदांसाठी 'I'amps असतो, त्या पदार्थात निर्माण होणारी हीट $H=I^2Rt$ ज्युल्स असते.

Figure 2.1: इलेक्ट्रिक हिटिंग उपकरणांची उदाहरणे (Examples of Electric Heating Devices)

2.1.2 इलेक्ट्रिक हिटिंग चे ॲडव्हानटेजेस (Advantages of Electric Heating):

1. इलेक्ट्रिक हिटिंग डर्ट फ्री (dirt free) असते म्हणून स्वच्छतेसाठी कमीत कमी प्रयत्न करावे लागतात.
2. इलेक्ट्रिक हिटिंग फ्लू गॅसेस (flue gases) पासून फ्री आहे कारण हिटिंग निर्मितीसाठी एक्झॉस्ट सिस्टमची आवश्यकता नसते.
3. इलेक्ट्रिक हिटिंग मध्ये टेम्परेचर कंट्रोल (temperature control) अगदी सहज करता येते.
4. इंडस्ट्री मध्ये उपलब्ध असलेल्या इतर पारंपारिक हिटिंग सिस्टमच्या तुलनेत इलेक्ट्रिक हिटिंग सिस्टम इकॉनॉमिकल (economical) आहे. इन्स्टॉलेशन कॉस्ट (installation cost) आणि रनिंग कॉस्ट (running cost) दोन्ही खूपच कमी आहेत.
5. इलेक्ट्रिक हिटिंग मध्ये हिटिंग सिस्टममधील कोणत्याही ऍबनॉर्मलीटी (abnormality) पासून सहजपणे प्रोटेक्टशन (protection) केले जाऊ शकते.
6. इतर यासारख्या हिटिंग सिस्टमच्या तुलनेत या सिस्टमची कार्य क्षमता खूपच जास्त आहे.
7. इलेक्ट्रिक हिटिंग सिस्टम नॉइज़ लेस (noise less) आहे.
8. इलेक्ट्रिक हिटिंग सिस्टम इतर हिटिंग सिस्टमपेक्षा फास्ट सुरु करता येतात.

2.1.3 इलेक्ट्रिक हिटिंग चे वर्गीकरण (Classification of Electric Heating):

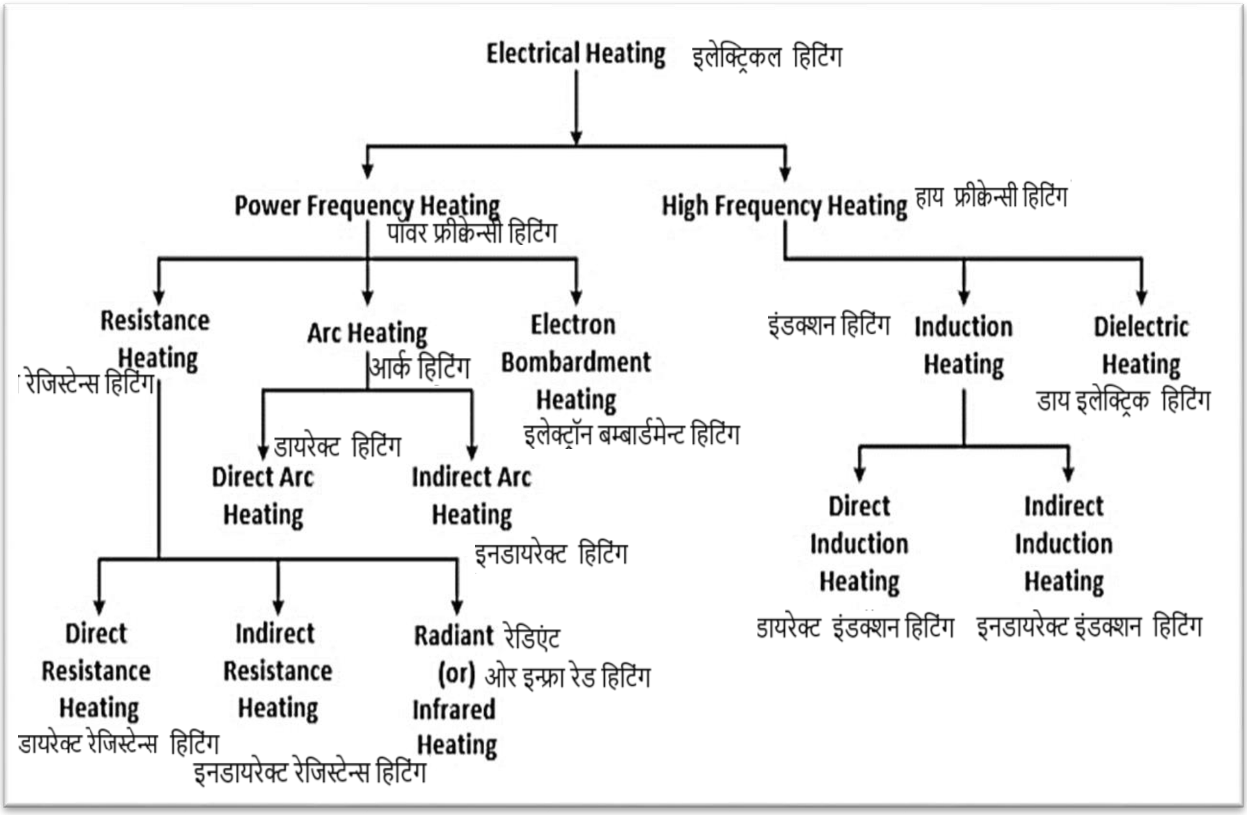


Figure 2.2: इलेक्ट्रिक हिटिंगचे वर्गीकरण (Classification of electric Heating)

2.1.4 हीट ट्रान्सफर पद्धती (Modes of Heat Transfer):

हीट ट्रान्सफर चे (modes of heat transfer) तीन प्रकार म्हणजे कंडक्शन (conduction) , कन्व्हेकशन (convection) आणि रॅडिएशन (radiation) होय.

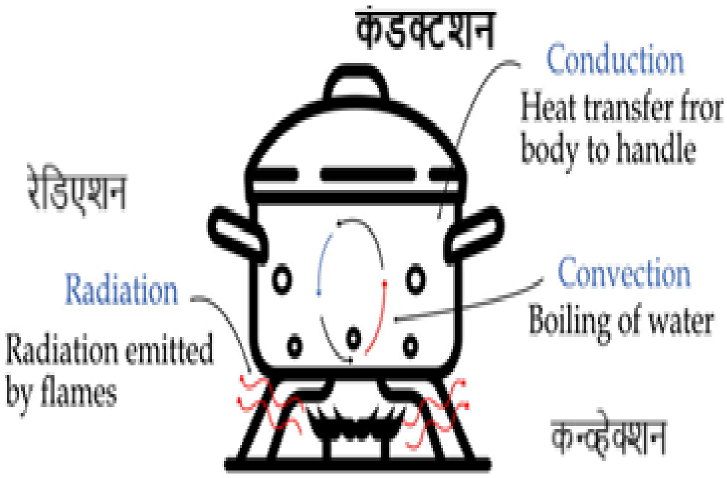


Figure 2.3: हीट ट्रान्सफरच्या पद्धती (Mode of heat transfer)

1. **कंडक्शन (Conduction):**

हीट ट्रान्सफरच्या (mode of heat transfer) या पद्धतीमध्ये, सब्स्टन्स (substance) चा एक मॉलीक्यूल (molecule) हीट होतो आणि काही हीट (heat) जवळच्या मॉलिक्यूलमध्ये ट्रान्सफर करतो, आणि असे इतर

मॉलिक्यूल्सही हीट ट्रान्सफर करतात. ज्या बॉडीला गरम करायचे असते, त्या बॉडीच्या टोकांदरम्यान विशिष्ट अंतरावर तापमानात होणाऱ्या बदलाचा दर असतो, म्हणजेच टेम्परेचर ग्रेडिएंट (temperature gradient) होय.

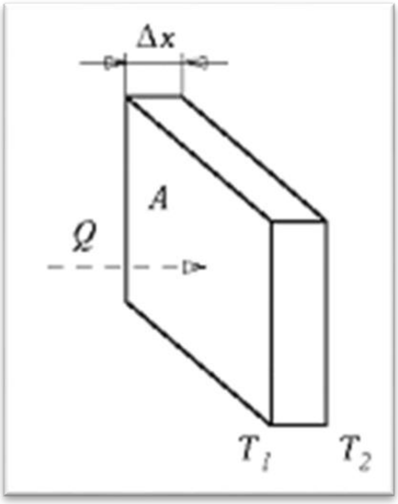


Figure 2.4: वहन दर (Rate of Conduction)

Figure 2.4 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे सॉलिड मटेरिअल गृहीत धरा, ज्याचा क्रॉस-सेक्शन $A\ m^2$ (square meter) चा आणि थिकनेस x मीटर (meter) घ्या. जर $T1$ आणि $T2$ हे स्लॅबच्या दोन्ही बाजूंचे तापमान $^\circ K$ मध्ये असेल, तर दोन विरुद्ध बाजूंमध्ये t सेकंदात होणारी हीट (heat) द्वारे दिली जाते,

$$Q = \frac{KA(T_1 - T_2)t}{x}$$

जिथे K= मटेरिअलची थर्मल कंडक्टिव्हिटी (Thermal Conductivity of the material.)

खाली काही कंडक्शनची उदाहरणे दिली आहेत:

1. कपड्यांना इस्त्री करणे हे कंडक्शनचे एक उदाहरण आहे जिथे हीट (heat) इस्त्रीपासून कपड्यांपर्यंत ट्रान्सफर केली जाते.
2. हीट (heat) हातातून बर्फाच्या तुकड्याकडे ट्रान्सफर (transfer) होते ज्यामुळे हातात धरल्यावर बर्फाचा तुकडा वितळतो.
3. उन्हाळ्यात समुद्रकिनाऱ्यांवरील वाळू हीट (heat) असल्याचे अनुभवता येते. कारण वाळूत हीट ट्रान्सफर होते.

2. कन्व्हेकशन (Convection)

जेव्हा मॉलीक्यूलच्या (molecule) प्रत्यक्ष गतीमुळे पदार्थाच्या किंवा द्रवाच्या एका भागातून दुसऱ्या भागात हीट ट्रान्सफर (heat transfer) होते, तेव्हा त्याला हीट ट्रान्सफर ची कन्व्हेकशन (convection) पद्धत म्हणतात. या पद्धतीमध्ये, उष्णता हस्तांतरणाचा दर (rate of heat transfer) प्रामुख्याने वेगवेगळ्या तापमानात फ्लुइड डेन्सिटी (fluid density) तील फरकावर अवलंबून असतो. इमर्शण वॉटर हीटरपासून पाण्यात हीट उर्जेचे ट्रान्सफर, हे हीट ट्रान्सफरच्या कन्व्हेकशन (convection mode of heat transfer) कन्व्हेकशन पद्धतीचे एक उदाहरण आहे. हीटरमधून कन्व्हेकशन द्वारे पाण्यामध्ये शोषल्या जाणाऱ्या हीटचे प्रमाण अंशतः हिटिंग इलेमेंटच्या (heating element) तापमानावर आणि अंशतः हीटरच्या स्थितीवर (position of heater) अवलंबून असते. गणितीयदृष्ट्या, हीट ट्रान्सफरच्या कन्व्हेकशन पद्धतीमध्ये हीट डीसीपेशन (heat dissipation) खालील एक्स्प्रेशन द्वारे दिला जातो –

$H = a \times (T_1 - T_2) b\ W/m^2$

जिथे, ‘a’ आणि ‘b’ हे कॉँस्टंट्स आहेत ज्यांची व्हॅल्यू हिटिंग सरफेस वर (heating surface) अवलंबून असतात.

T1 आणि T2 हे हिटिंग इलेमेंट्स चे आणि द्रव/मटेरिअल (fluid/substance) चे तापमान $°K$ मध्ये आहेत.

खाली काही कन्व्हेकशनची उदाहरणे दिली आहेत:

1. जास्त घनतेचे मॉलिक्युल्स (molecules) असलेले पाणी उकळल्याने तळाशी हालचाल होते तर कमी घनतेचे मॉलिक्युल्स वरच्या दिशेने सरकतात ज्यामुळे मॉलिक्युल्सची सर्क्युलर हालचाल (circular motion) होते ज्यामुळे पाणी गरम होते.
2. विषुववृत्ताभोवती असलेले गरम पाणी ध्रुवाकडे सरकते तर ध्रुवांवरील थंड पाणी विषुववृत्ताकडे सरकते.
3. गरम रक्ताच्या प्राण्यांमध्ये रक्ताभिसरण (blood circulation) कन्व्हेकशनच्या मदतीने होते, ज्यामुळे बॉडीचे तापमान नियंत्रित होते.

3. रॅडिएशन (Radiation)

जेव्हा हीट ट्रान्सफर, हीटच्या सोर्सपासून हीट करायच्या पदार्थापर्यंत त्यांच्याशी थेट कॉन्टॅक्ट न होता केले जाते, तेव्हा त्याला हीट ट्रान्सफर चा रॅडिएशन मोड (radiation mode) म्हणतात. रॅडिएशनद्वारे होणारे हीट ट्रान्सफर पृष्ठभागावर अवलंबून असतो. सौर हीटरच्या (solar heater) बाबतीत हीटचे ट्रान्सफर होणे हे रेडिएशन या हीट ट्रान्सफर च्या पद्धतीचे एक उदाहरण आहे.

गणितीयदृष्ट्या, रेडिएशन द्वारे हीट डिसिपेशन (heat dissipation) होण्याचा दर स्टीफनच्या नियमाद्वारे खालीलप्रमाणे दिला आहे,

$$H = 5.72\ \times ke\left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_1}{100}\right)^4\right] \cdots w/m^2$$

जेथे

σ = (5.72× 10^{-8}) स्टीफन कॉँस्टंट आहे

e= इमसिटिव्हिटी आहे (आयडियल रेडिएटरसाठी 1 आहे)

T_1= केल्विनमध्ये स्त्रोताचे तापमान आहे

T_2 =केल्विनमध्ये हीट करायच्या पदार्थाचे तापमान आहे

k हा रेडिएशन कोएफ़िशिएंट आहे (सिंगल इलेमेंटसाठी तो 1, ब्लॅक बॉडीसाठी 0.5-0.8, रेजिस्टन्स हिटिंग इलेमेंटसाठी 0.9 आहे) . तसेच, रेडियंट हिटिंगच्या एक्स्प्रेशन वरून असे दिसून येते की रेडियंट हीट तापमानाच्या चौथ्या पॉवरच्या फरकाच्या प्रमाणात असते. म्हणून, रेडियंट हिटिंग उच्च तापमानात खूप कार्यक्षम आहे.

2.2 रेजिस्टेंस हिटिंग (Resistance Heating):

इलेक्ट्रिक हिटिंग करण्याच्या या पद्धतीमध्ये, ज्या मटेरिअल मधे हीट निर्माण करायची आहे त्यातून इलेक्ट्रिक प्रवाह पाठवला जातो. मटेरिअल ने इलेक्ट्रिक प्रवाहाला दिलेल्या रेजिस्टन्स मुळे (resistance) I^2R हा ओहमिक लॉस (ohmic loss) निर्माण होतो ज्यामुळे मटेरिअल हीट होते.

रेजिस्टेंस हिटिंग चे प्रकार (Types of Resistance Heating):

1. डायरेक्ट रेजिस्टन्स हिटिंग (Direct Resistance Heating)
2. इनडायरेक्ट रेजिस्टन्स हिटिंग (Indirect Resistance Heating)

2.2.1 डायरेक्ट रेजिस्टन्स हिटिंग (Direct Resistance Heating):

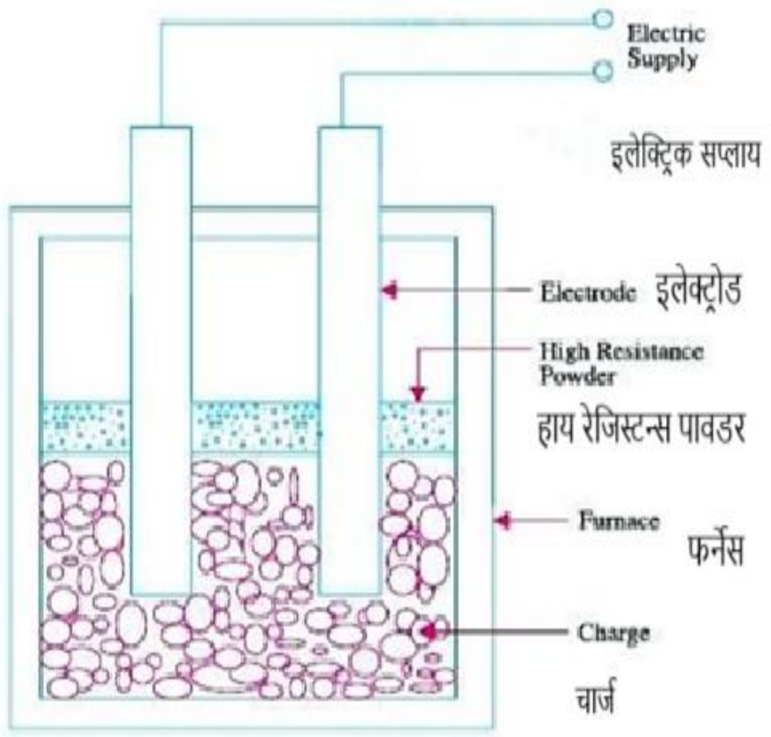


Figure 2.5: डायरेक्ट रेजिस्टेंस हिटिंग (Direct Resistance Heating)

कन्स्ट्रकशन (Construction):

त्यात इन्सुलेटेड चेंबर, चार्ज केलेले ग्रेफाइट इलेक्ट्रोड, हाय रेजिस्टन्स पावडरचे लेअरअसतो.

वर्कींग प्रिंसिपल (Working Principle):

ज्युल हिटिंग (Joule) ($H=I^2Rt$ हीट तयार होते)

वर्कींग (Working):

डायरेक्ट रेजिस्टन्स हिटिंगमध्ये इलेक्ट्रोडद्वारे इलेक्ट्रिक पुरवठा (electric supply) केला जातो (एसी किंवा डीसी पुरवठा दिला जाऊ शकतो) . चार्ज (material which is to be heated) हे पावडर, लहान सॉलिड पिसेस (solid pieces) किंवा लिक्विड (liquid) स्वरूपात असू शकतो. जेव्हा मेटलचे तुकडे हीट करायचे असतात तेव्हा थेट शॉर्ट सर्किट टाळण्यासाठी चार्जच्या पृष्ठभागावर उच्च रेजिस्टन्स असलेल्या मटेरिअलची पावडर टाकली जाते. चार्जमधून करंट फ्लो होतो आणि ज्युलच्या नियमानुसार चार्ज मध्येहीट निर्माण होते.

ॲडव्हानटेजेस (Advantages):

1. एकसमान हिटिंग.
2. अचूक टेम्परेचर नियंत्रण करते.
3. कार्यक्षम हीट ट्रान्सफर करते.

ॲप्लिकेशन्स:

1. हीट ट्रीटमेंट (Heat Treatment): मेटल चे हार्डनिंग (hardening) , टेम्परिंग (tempering) करणे आणि ॲनिलिंग (annealing) करणे यासारख्या प्रक्रियांमध्ये वापरले जाते.
2. मेटल प्रोसेसिंग (Metal Processing): स्टील(steel) , ॲल्युमिनियम (aluminium) आणि इतर मेटलच्या प्रक्रियेत सामान्यतः वापरले जाते
3. सोल्डरिंग (Soldering): इलेक्ट्रॉनिक्स सारख्या काही इंडस्ट्रीमध्ये सोल्डरिंगसाठी वापरले जाते.
4. क्वेंचिंग (Quenching): हिटिंग नंतर पदार्थांना कडक करण्यासाठी सॉल्ट बाथ वापरून लवकर थंड करण्यासाठी वापरले जाते.

2.2.2 इनडायरेक्ट रेजिस्टेंस हिटिंग (Indirect Resistance Heating)

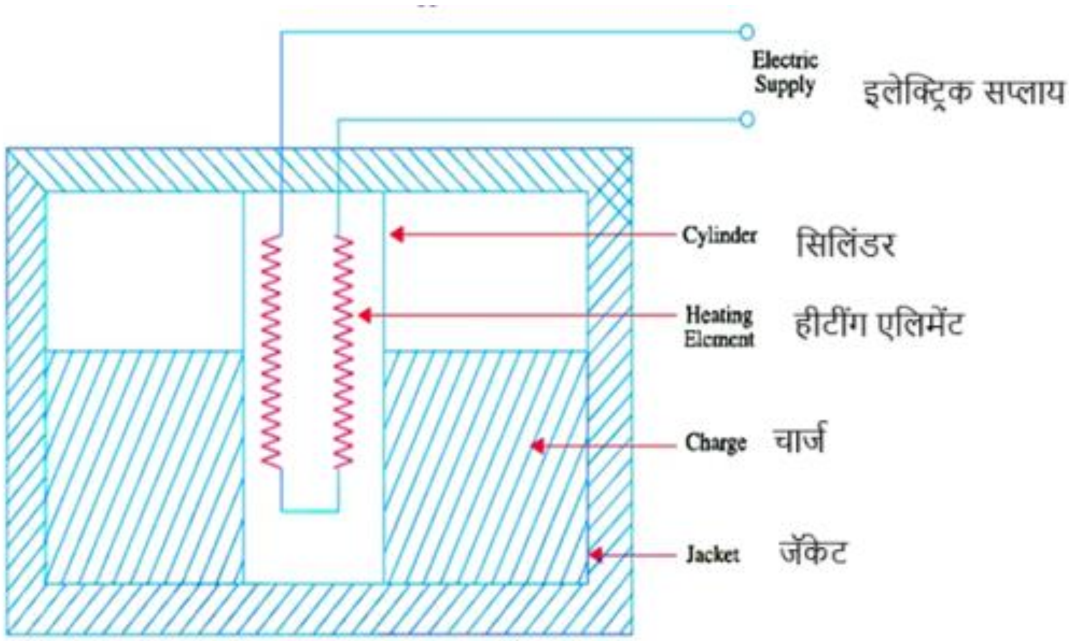


Figure 2.7: इनडायरेक्ट रेजिस्टेंस हिटिंग (Indirect Resistance Heating)

इनडायरेक्ट रेजिस्टेंस हिटिंग या हिटिंग पद्धतीमध्ये, इलेक्ट्रिक करंट वायर किंवा इतर उच्च- रेजिस्टेंस पदार्थातून जाते ज्यामुळे हीट करणारा घटक तयार होतो. हिटिंग इलेमेंटमध्ये निर्माण होणाऱ्या I^2R लॉस च्या प्रमाणात हीट तयार होते आणि ही हीट हस्तांतरणाच्या एक किंवा अधिक पद्धतींद्वारे उदा. कंडक्शन, कन्व्हेकशन आणि रेडिएशन (conduction, convection and radiation) चार्जला दिली जाते. जर हीट ट्रान्सफर कंडक्शन द्वारे होत असेल तर रेजिस्टेंस (resistor) चार्जच्या संपर्कात असणे आवश्यक आहे. इलेक्ट्रिक करंट साठी रेडिएशन आणि कन्व्हेकशन द्वारे हीट ट्रान्सफर साठी एक संलग्नक, ज्याला हिटिंग चेंबर म्हणून ओळखले जाते, आवश्यक आहे. औद्योगिक कारणांसाठी, जिथे मोठ्या प्रमाणात चार्ज हीट करायचा असतो, तिथे हिटिंग इलेमेंट एका सिलेंडरमध्ये ठेवले जाते ज्याभोवती चार्ज असलेल्या जॅकेटने वेढलेले असते.

ॲडव्हॅनटेजेस:

1. हे एकसमान तापमान प्रदान करते.
2. स्वयंचलित तापमान नियंत्रण प्रदान केले जाऊ शकते.
3. वीज पुरवठा दोन्ही प्रकारचा (AC/DC) वापरला जाऊ शकतो.

अँप्लिकेशन:

1. रूम हीटर (Room Heater) ,
2. इमर्शन वॉटर हीटर (Immersion Water Heater)
3. घरगुती आणि व्यावसायिक स्वयंपाकात वापरल्या जाणाऱ्या विविध प्रकारच्या रेजिस्टन्स ओव्हनमध्ये (resistance ovens) आणि सॉल्ट बाथ (salt bath) फर्नेसमध्ये वापरला जातो.

2.2.2.a) रेजिस्टेंस फर्नेस किंवा ओव्हन (Resistance Furnaces or Oven):

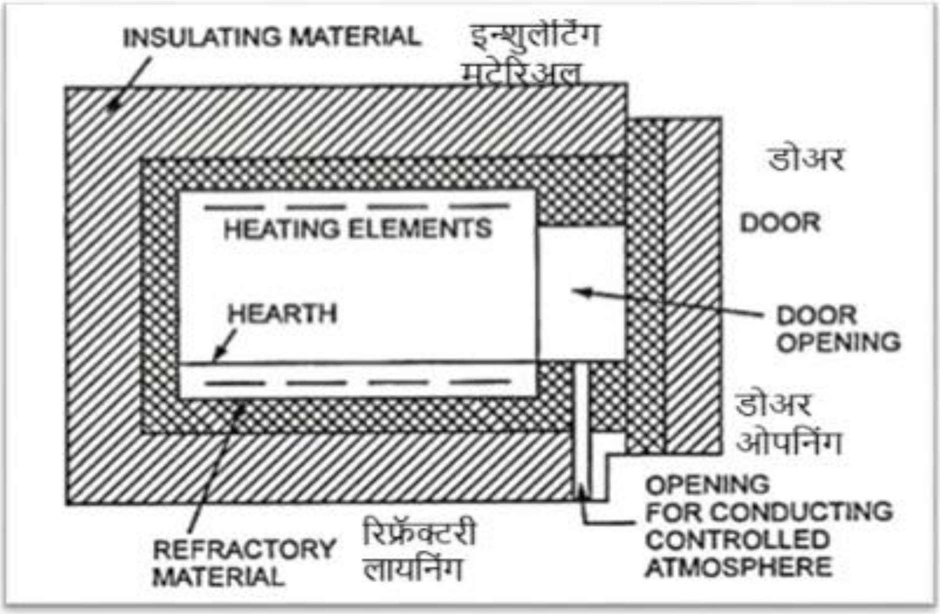


Figure 2.8 रेजिस्टेंस फर्नेस (Resistance Furnaces/Oven)

रेजिस्टेंस फर्नेसेस किंवा ओव्हन (Resistance Furnaces/Oven): रेजिस्टेंस ओव्हनमध्ये एक चेंबर असतो जो पदार्थ हीट करण्यासाठी उच्च-शक्तीच्या करंटचा वापर करतो. ओव्हनमध्ये वायर किंवा स्ट्रिपसारख्या उच्च-प्रतिरोधक (High Resistance) पदार्थांपासून बनवलेले हीट करणारे घटक (heating elements) असतात.

वर्किंग:

हिटिंग इलेमेंट्समधून करंट जातो आणि हिटिंग इलेमेंट्स कंडक्शन (Conduction) , कन्व्हेकशन (Convection) आणि रेडिएशन (Radiation) द्वारे मटेरिअलला हीट ट्रान्सफर करतात. व्होल्टेज, करंट, वेळ आणि रेजिस्टन्स समायोजित करून ओव्हनचे तापमान नियंत्रित करता येते.

अँप्लिकेशन्स:

1. पॉटरी ड्राय व बेक करणे (drying and baking pottery)
2. वार्निश कोटिंग ड्राय करणे (drying varnish coating)
3. सिंथेटिक पदार्थांचे व्हल्कनाइझिंग (Vulcanising) आणि हार्डनिंग (hardening) करणे
4. व्यावसायिक आणि घरगुती वापरामध्ये हीट निर्माण करणे
5. धातूंचे उष्णता उपचार (heat treatments of metals)
6. अन्न शिजवण्याकरिता वापरले जाते

2.2.3 हिटींग एलेमेंट्स (Heating Element):

हिटींग करण्यासाठी वापरल्या जाणाऱ्या रेजिस्टिव इलेमेंट्सला (resistive element) हिटिंग इलेमेंट म्हणतात.

नायक्रोम : बहुतेक रेजिस्टन्स वायर हिटिंग इलेमेंट्स सहसा नायक्रोम 80/20 (80% निकेल, 20% क्रोमियम) वापरतात. हिटिंग इलेमेंट्स वायर(wire) , रिबन (ribbon) किंवा स्ट्रिप (strip) असतात. नायक्रोम हे एक आयडियल मटेरिअल आहे, कारण त्याचा रेजिस्टेंस (resistance) तुलनेने जास्त असतो आणि जेव्हा ते पहिल्यांदा हीट केले जाते तेव्हा ते क्रोमियम ऑक्साईडचा एक ऍडहरन्ट (adherent) लेअर तयार करते. सिरेमिक(ceramic) , कार्ट्रिज(cartridge) , कॉइल(coil) , हॅलोजन (halogen) आणि पीटीसी सिरेमिक(PTC Ceramic) इत्यादी विविध हिटिंग इलेमेंट्स आहेत.

हिटिंग इलेमेंटच्या आवश्यकता (Requirements of heating element)

1. हाय रेजीस्टीव्हिटी (High Resistivity)
2. हाय मेल्टिंग पॉईंट (High Melting Point)
3. लो टेम्परेचर कोइफिशिएंट (Low Temperature Coefficient)
4. ऑक्सिडेशनमुक्त (Free from Oxidation)
5. डक्टाइल (Ductile)
6. उत्तम मेकॅनिकल स्ट्रेन्थ (mechanical strength)

2.2.4 हिटिंग इलेमेंट्सच्या फेल्युअरची कारणे (Causes of Failure of Heating Elements)

1. ऑक्सिडेशन (Oxidation)
2. करोजन (Corrosion)
3. मेकॅनिकल फेल्युअर (Mechanical Failure)
4. तुटलेली किंवा जीर्ण वायरिंग (Broken or worn wiring)
5. एम्ब्रिटलमेंट (Embrittlement)
6. हॉट स्पॉट्सची निर्मिती (Formation of hot spots)

2.2.5 तापमान नियंत्रित करण्याच्या पद्धती (Methods of Temperature Control)

विशिष्ट मर्यादिनुसार, फर्नेस किंवा ओव्हनमध्ये विशिष्ट निवडक ठिकाणी रेजिस्टन्स हिटिंगचे तापमान नियंत्रित करण्यासाठी विविध पद्धती आहेत. फर्नेस चे तापमान स्थिर ठेवण्यासाठी किंवा आवश्यकतेनुसार ते बदलण्यासाठी रेजिस्टन्स हिटिंगचे तापमान नियंत्रण आवश्यक असू शकते आणि ते मॅन्युअली किंवा ऑटोमॅटिकली केले जाऊ शकते. रेजिस्टन्स फर्नेस किंवा ओव्हनच्या बाबतीत, तयार झालेली हीट खालील द्वारे दिली जाते:

$$\boldsymbol{H = I^2Rt}$$

$$\boldsymbol{= V^2t/R}$$

म्हणून, रेजिस्टन्स फर्नेसचे तापमान खालीलपैकी कोणत्याही पद्धतींनी नियंत्रित केले जाऊ शकते:

1. अधूनमधून स्विचिंग आणि चालू-बंद नियंत्रण (By intermittent switching or ON-OFF Control)
2. सर्किट कॉन्फिगरेशन बदलणे (By changing circuit configuration)
3. लागू केलेल्या व्होल्टेजमध्ये बदल करणे (By varying the applied voltage)
4. हिटिंग इलेमेंट्स संख्या बदलणे (By varying number of heating elements)

1. इंटरमिटंन स्विचिंग (Intermittent Switching)

इंटरमिटंट स्विचिंग पद्धतीमध्ये, इनपुट सप्लाय (input supply) काही काळ बंद करून रेजिस्टन्स फर्नेसच्या तापमानात वाढ ठराविक मर्यादेपेक्षा जास्त थांबवता येते. इनपुट सप्लाय बंद केल्यानंतरही, पूर्णपणे बंद असलेल्या फर्नेसचे तापमान काही प्रमाणात वाढते. काही काळानंतर फर्नेस चे तापमान कमी होऊ लागते. जेव्हा तापमान पुन्हा पूर्वनिर्धारित कमी तापमाना पर्यंत पोहोचते, तेव्हा इनपुट सप्लाय पुन्हा चालू केला जातो.

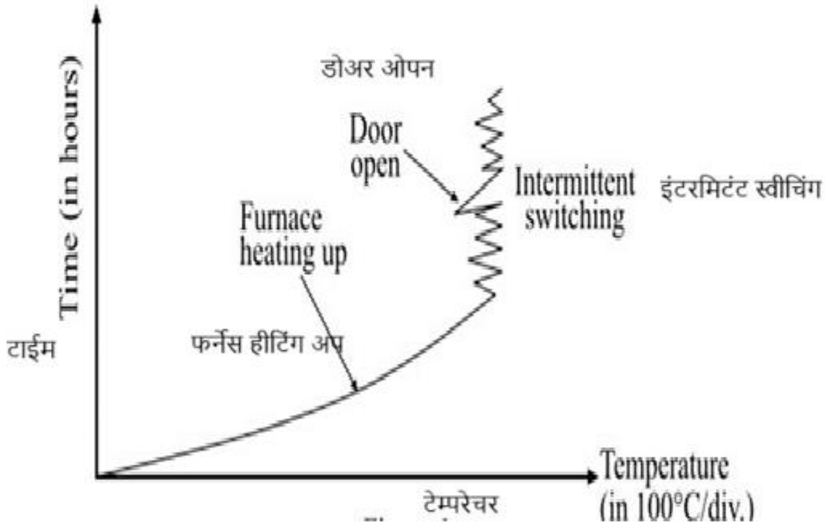


Figure2.9 स्विचिंग कॅरेक्टरिस्टिक्स (Switching Characteristics)

रेजिस्टन्स हिटिंग या पद्धतीप्रमाणे, तापमान नियंत्रणा साठी संपूर्ण फर्नेस चालू आणि बंद केले जातेम्हणून ., स्विचिंग कंट्रोल्समध्ये आर्क (arc) असते बंद-वेळेच्या कार्यामुळे तापमानावर अधूनमधून स्विचिंग किंवा चालू . नियंत्रणाचा परिणाम Figure2.9 मध्ये दर्शविला आहे.

2. सर्किट कॉन्फिगरेशन बदलणे (Variation in Circuit Configuration)

सर्किट कॉन्फिगरेशन बदलून, रेजिस्टन्स फर्नेसचे तापमान नियंत्रित करता येते. थ्री-फेज सर्किट्सच्या बाबतीत, हिटिंग इलेमेंट स्टार (Star) कॉन्फिगरेशन मध्ये जोडलेले असताना कमी हीट देईल तर डेल्टा (Delta) कॉन्फिगरेशनमध्ये जास्त हीट देईल. सिंगल-फेज सर्किट्सच्या बाबतीत, हिटिंग इलेमेंट्सच्या सिरीज-पॅरलल (series-paralle) ग्रुपिंगद्वारे तापमानात बदल साध्य केला जातो.

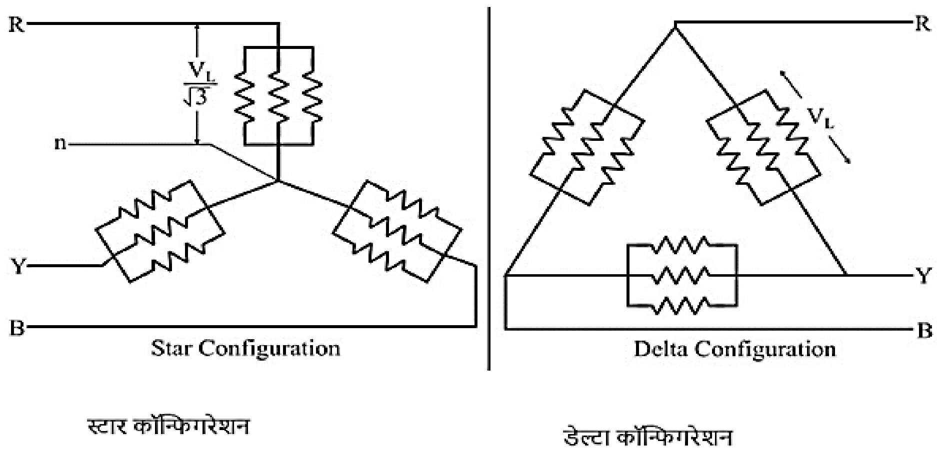


Figure2.10 सर्किट कॉन्फिगरेशन बदल (Variation of circuit configuration)

3. अप्लाइड व्होल्टेजमध्ये बदल करणे (Variation in Applied Voltage)

वरील हीटच्या समीकरणावरून हे स्पष्ट होते की अप्लाइड केलेल्या व्होल्टेजमधील बदलामुळे हीट डीसीपेशन (heat dissipation) होईल आणि त्यामुळे फर्नेस चे तापमान बदलेल. अप्लाइड केलेल्या व्होल्टेजमध्ये बदल करण्यासाठी दोन पद्धती उपलब्ध आहेत: – जेव्हा फर्नेस ला उच्च व्होल्टेज असलेल्या ट्रान्सफॉर्मर प्रायमरी (transformer primary) मधून सप्लाय केला जातो, तेव्हा उच्च व्होल्टेज बाजूला प्रायमरीला टॅपिंग नियंत्रण ठेवणे उचित आहे, कारण ट्रान्सफॉर्मरमध्ये प्रायमरी बाजूला कमी प्रमाणात करंट असतो. योग्य प्रायमरी टॅपिंग (primary tapping) निवडून, सेकंडरीला (secondary) व्होल्टेज वाढवता किंवा कमी करता येतो ज्यामुळे फर्नेस चे तापमान बदलते.

ऑटोट्रान्सफॉर्मर(autotransformer) नियंत्रण - रेजिस्टन्स हिटिंग फर्नेस च्या तापमान नियंत्रणासाठी ऑटोट्रान्सफॉर्मर नियंत्रण पद्धतीचे सर्किट खालील Figure 2.11 मध्ये दर्शविले आहे. ही पद्धत प्रामुख्याने लहान रेजिस्टन्स फर्नेसमध्ये वापरली जाते. या प्रणालीमध्ये, ऑटोट्रान्सफॉर्मरचा वापर रेजिस्टन्स फर्नेसमध्ये लागू होणारे व्होल्टेज नियंत्रित करण्यासाठी आणि परिणामी फर्नेसचे तापमान समायोजित करण्यासाठी केला जातो.

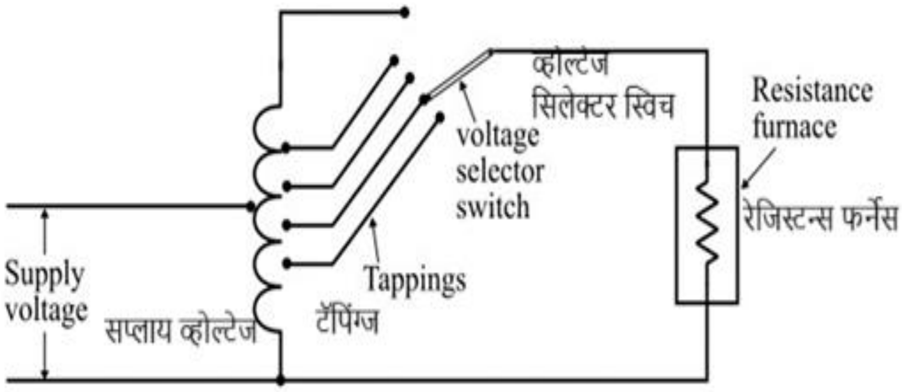


Figure 2.11 टॅपिंगचा वापर करून व्होल्टेजमध्ये फरक (Variation in voltage using tappings)

4. हिटिंग इलेमेंट्स संख्या बदलणे (Variation of Number of Heating Elements): रेजिस्टन्स हिटिंगच्या तापमान नियंत्रणाच्या या पद्धतीमध्ये, हिटिंग सर्किटमधील हिटिंग एलिमेंट्सची संख्या बदलली जाते. तापमान कमी करण्यासाठी हिटिंग एलिमेंट्सची संख्या कमी केली जाते, तर तापमान वाढवण्यासाठी अधिक हिटिंग एलिमेंट्स जोडले जातात

2.2.6 हिटिंग इलेमेंट्सची डिझाईन (Design of Heating Elements)

हिटिंग इलेमेंटसाठी वापरलेली वायर रिबनसारखी वर्तुळाकार (circular) किंवा आयताकृती (rectangular) असू शकते. इनपुट सप्लाय आणि त्याचा व्होल्टेज जाणून घेतल्यास दिलेले तापमान निर्माण करण्यासाठी आवश्यक असलेल्या हिटिंग इलेमेंट म्हणून वायरचा आकार आणि लांबी मोजता येते. सुरुवातीला हिटिंग इलेमेंटचे तापमान हळूहळू वाढते परंतु काहीवेळाने ते स्थिर तापमानात पोहोचते. या क्षणी, इलेमेंट्स पृष्ठभागावरून बाहेर पडणारी हीट इलेक्ट्रिक उर्जेच्या इनपुटइतकी असते. रेडिएशनमुळे हीट बाहेर पडते असे गृहीत धरण्यासाठी तापमान पुरेसे जास्त असेल.

स्टीफनच्या नियमानुसार हीट डीसीपेटेड (heat dissipated) अशी दिली आहे,

$$H = 5.72Ke\left[\left(\frac{T1}{100}\right)4 - \left(\frac{T2}{100}\right)4\right]\ Watt/Cm2$$

इलेक्ट्रिकल इनपुट पॉवर $P = \frac{V^2}{R}$

जेथे v सप्लाई वोल्टेज आणि R हिटिंग इलेमेंटचा रेजिस्टन्स.

$P = \frac{V^2}{R}$ And $R = \rho \frac{l}{a}$

$$R = \rho \frac{l}{\pi r^2}$$

$$R = \rho * \frac{l}{\left(\frac{\pi d^2}{4}\right)}$$

$$R = \frac{4\rho l}{\pi d^2}$$

$$P = \frac{V^2}{\frac{4\rho l}{\pi d^2}}$$

$$P = \frac{V^2 \pi d^2}{4\rho l}$$

$$\frac{l}{d^2} = \frac{\pi V^2}{4lP} \quad \dots \dots \dots \dots \dots \dots (i)$$

जेथे,

ρ = वायर मटेरियलचा स्पेसिफिक रेजिस्टन्स.

l = वायरची लांबी

d= वायरचा व्यास

वायर इलेमेंटचा (wire element) एकूण पृष्ठभाग = $\pi d l$,

जर वायर च्या प्रति युनिट पृष्ठभागाच्या क्षेत्रफळाच्या प्रति सेकंद रेडिएशनने त्याची हीट डीसीपेट होत असेल, तर प्रति सेकंद उत्सर्जित होणारी हीट = $\pi d l H$ $\dots \dots \dots \dots \dots \dots (ii)$

जेथे,

l = वायरची लांबी (length of the wire)

H = प्रति युनिट पृष्ठभाग क्षेत्रफळावरून उत्सर्जित होणारी उष्णता (heat radiated per unit surface area)

जर समीकरण (i) *आणि* (ii) *इक्केट* (equate) *केले तर,*

$$\frac{\pi d^2}{4\rho l} = \pi d * H$$

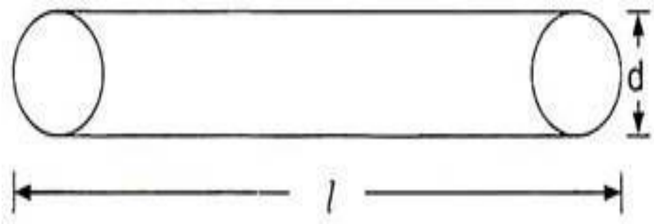


Figure 2.12: Circular Heating Element (Wire)

$$\frac{d}{l^2} = \frac{4\rho H}{V^2}$$

समीकरण (i) आणि (ii) योग्यरित्या सोडवून वायर ची लांबी (length) आणि व्यास (diameter) काढता येते.

Ribbon Type Element

जर w ही रिबनची रुंदी (width) असेल आणि t ही त्याची थिकनेस (thickness) असेल, तर

$$P = \frac{V^2}{R} = \frac{V^2}{\frac{\rho l}{a}} = \frac{V^2}{\frac{\rho l}{wt}} = \frac{wtV^2}{\rho l} \; or \; \frac{t}{l^2} = \frac{V^2}{\rho P} \cdots\cdots (iii)$$

रिबनच्या पृष्ठभागावरून होणारे हीट लॉस = $2wlH$ (बाजूच्या क्षेत्राकडे $2tl$ सोडून)

$$\frac{wtV^2}{\rho l} = 2wlH$$

$$\frac{t}{l^2} = \frac{2\rho H}{V^2} \cdots\cdots (iv)$$

दिलेल्या थिकनेसच्या t रिबनसाठी(iii) आणि (iv) समीकरण वरून l आणि w मिळू शकतात.

हिटिंग इलेमेंट वर नमूना उदाहरण (Sample Numerical on Heating Element):

1) 20 किलोवॅटच्या सिंगल फेज 220 व्होल्ट रेजिस्टन्स ओव्हनमध्ये नायक्रोम वायर हिटिंग इलेमेंट्स असतात. वायरचे कमाल 1150°C तापमान आणि चार्ज तापमान 600°C असण्यासाठी डिझाइन केलेले आहे. जर रेडिएटिंग इफिशन्सी 0.55 असेल; एमिसीव्हीटी (Emissivity) 0.9 आहे आणि स्पेसिफिक रेजिस्टेंस (specific resistance) 1.09 x10^-6 ओहम मीटर आहे.वायरचा व्यास (diameter) आणि लांबी (length) अंदाजे काढा.

उत्तर :

दिलेली माहिती:

ओव्हनचे पॉवर रेटिंग, P = 20kW = 20000W

वोल्टेज रेटिंग, V = 220 V

T_1 = 1150°C = 1150+273 =1423°K

T_2 = 600°C = 500 +273 = 773°K

रेडिएटिंग इफिशन्सी (k) = 0.55,

स्पेसिफिक रेजिस्टेंस (ρ) = 1.09x10 $^{-6}$ ohm-m,

एमिसीव्हीटी (Emissivity e) = 0.9.

जर प्रति युनिट क्षेत्रफळातील उष्णता अपव्यय (Heat dissipation) किरणोत्सर्गाद्वारे दिला जात असेल,

$H = 5.72Ke\left[\left(\frac{T1}{100}\right)4 - \left(\frac{T2}{100}\right)4\right]\ Watt/m2$

$H = 5.72Ke\left[\left(\frac{1423}{100}\right)4 - \left(\frac{773}{100}\right)4\right]\ Watt/m2$

$H = 105987.6985\ Watt/Cm2$

हीट डीसीपिटेड (watt) = इलेक्ट्रिकल इनपुट पॉवर (watt)

$H * \pi dl = P$………….. समीकरण (1)

परंतु P=V^2/R आणि $R = \varrho l/a$

$=\varrho l/\pi r2$

$=\varrho * \frac{l}{\pi d2/4}$

$=4\varrho l/\pi d2$

P=$\frac{V2}{4\varrho l/\pi d2}$

P=$\pi d2V2/4\varrho l$

$=\frac{l}{d2} = \pi V2/4P\varrho$

$\frac{l}{d2} = \frac{3.41 * (220)2}{4 * 20 * 1000 * 1.09 * 10^\wedge - 6}$

$\frac{l}{d2} = 1743728.032$ …………………. समीकरण (2)

$H * \pi dl = P$

$105987.6985 * \pi dl = 20000$

$dl = 0.06$ …………………. समीकरण (3)

दोन्ही साइडला वर्ग घेऊ,

$d^2l^2 = 0.00361$

$d^2 = 0.00361/l^2$

ही व्हॅल्यू समीकरण (2) मधे टाकू,

$\frac{l}{0.03361/l2} = 1743728.032$

$l = 1743728..032 * 0.00361 = 6294.86$

$l = 18.464m$

ही व्हॅल्यू समीकरण (3) मधे टाकू

$d(18.464) = 0.06$

$d = 3.25\ mm$

2) 27 किलोवॅट, 3 Φ, 400 V रेजिस्टन्स ओव्हनमध्ये थ्री स्टार-कनेक्टेड हिटिंग इलेमेंटसाठी 0.25 मिमी थिकनेस ची निकेल-क्रोम स्ट्रिप वापरायची आहे. जर पट्टीचे तापमान 1000 ºC आणि चार्जचे तापमान 600ºC असेल, तर पट्टीसाठी योग्य रुंदीचा अंदाज घ्या. ओव्हनमध्ये एमिसीव्हीटी (emmissivity) =0.9 आणि रेडिएटिंग इफिशन्सी 0.5 आहे असे गृहीत धरा आणि स्ट्रिप मटेरियलची रेसिस्टीव्हीटी 101.6 ×10^-8Ωmआहे.

उत्तर :

दिलेली माहिती:

पॉवर (P) = 27 KW

वोल्टेज (V) = 400 V,

निकेल-क्रोम पट्टीची थिकनेस (t) = 0.25 mm

T1 = 1000 ºC = 1000 + 273 = 1273

T2 = 600º C = 600 + 273 = 873

एमिसीव्हीटी (Emissivity e) = 0.9.

रेडिएटिंग इफिशन्सी (k) = 0.5

स्पेसिफिक रेजिस्टेंस (ρ) = 101.6 × 10^ -8 Ωm

पॉवर पर फेज = $\frac{27}{3}$=9 KW=9000Watt

वोल्टेज पर फेज =$\frac{400}{\sqrt{3}}$ =231 V

$P = V^2/R$

$$R = \frac{V^2}{P}$$

$R = 231^2/9000$

$R = 5.93\Omega$

l = पट्टीची लांबी

w = स्ट्रिपची रुंदी

स्टीफनच्या सूत्रा नुसार हीट डीसीपिटेड,

$$= 5.72Ke\left[\left(\frac{T1}{100}\right)4 - \left(\frac{T2}{100}\right)4\right]\ Watt/m2$$

$$H = 5.72 * 0.9 * 0.5\left[\left(\frac{1273}{100}\right)4 - \left(\frac{873}{100}\right)4\right]\ Watt/m2$$

$$H = 52645.33\ Watt/Cm2$$

एकूण उपलब्ध पृष्ठभागाचे क्षेत्रफळ = $2 \times W \times l$

एकूण हीट डीसीपिटेड,= इनपुट पॉवर

$\therefore 52645.33 \times [2 \times W \times l] = 9000$

$2\ W\ l = \frac{9000}{52645.33}$

$2\ W\ l = 0.171\ m^2$

$W\ l = 0.0855\ m^2$ ………………………………………………… समीकरण (1)

$$R = \frac{\rho l}{a} = \frac{\rho l}{wt} = (101.6 * [[10]]\verb|^|(-8)\ * l)\ /(w * 0.25 * 10^{-3})$$

$$w = 1459.15$$

समीकरण (1) मध्ये व्हॅल्यू टाकू,

$w \times w \times 1459.15 = 0.0855\ m^2$

$\therefore w^2 \times 1459.15 = 0.0855\ m^2$

$\therefore w^2 = 5.8595 \times 10^{-5}$

$\therefore w = 7.654 \times 10^{-3}$

$\therefore w = 7.654$ mm and $l = 7.654 \times 1459.15$

$\therefore l = 11.16$ m

2.3 आर्क हिटिंग (Arc Heating):

इलेक्ट्रिक आर्क च्या मदतीने चार्ज (material which is to be heated) मध्ये हीट तयार करण्याच्या पद्धतीला आर्क हिटिंग म्हणतात. चार्ज सॉलिड (solid) , लिक्विड (liquid) किंवा गॅस (gas) असू शकतो. जेव्हा डायरेक्ट हिटिंग असेल, तेव्हा एक इलेक्ट्रोड वापरतात. इनडायरेक्ट हिटिंगमध्ये, हीट ही कन्व्हेक्शन (convection) किंवा रेडिएशनद्वारे (radiation) हस्तांतरित केली जाते.

आर्क फर्नेसमध्ये वापरले जाणारे इलेक्ट्रोड:

1. कार्बन इलेक्ट्रोड (carbon electrode)
2. ग्रेफाइट इलेक्ट्रोड (graphaite electrode)

3. सेल्फ - बेकिंग इलेक्ट्रोड्स (self-baked electrodes)

आर्क हिटिंग फर्नेसचे प्रकार (Types of arc heating furnaces):
(i) डायरेक्ट आर्क फर्नेस (ii) इनडायरेक्ट आर्क फर्नेस

2.3.1 डायरेक्ट आर्क फर्नेस:

जेव्हा इलेक्ट्रोड्सना इलेक्ट्रिक पुरवठा (eletric supply) दिला जातो तेव्हा दोन आर्क्स तयार होतात आणि करंट चार्जमधून प्रवाहित होतो, जसे Figure 2.13 मध्ये दाखवले आहे. आर्क थेट चार्जच्या संपर्कात (contact) असल्याने आणि चार्जमधून वाहणाऱ्या करंटमुळे हीट निर्माण होते. म्हणून त्याला डायरेक्ट आर्क फर्नेस म्हणतात.

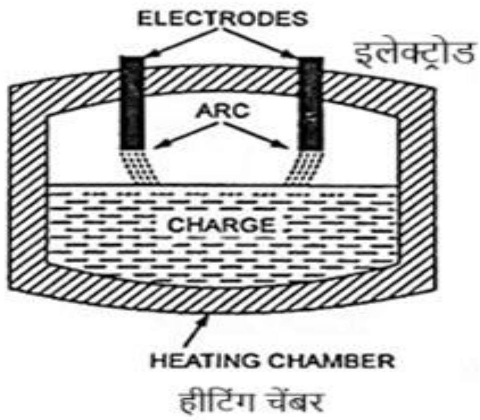


Figure 2.13 डायरेक्ट आर्क फर्नेस (Direct Arc Furnace)

जर उपलब्ध पुरवठा (available supply) DC किंवा 1-Ø AC असेल, तर दोन इलेक्ट्रोड पुरेसे आहेत, जर पुरवठा 3-Ø AC असेल, तर समभुज त्रिकोणाच्या तीन शिरोबिंदूंवर (at three vertices of an equilateral triangle) तीन इलेक्ट्रोड ठेवले जातात. डायरेक्ट आर्क फर्नेसचे सर्वात महत्त्वाचे वैशिष्ट्य म्हणजे करंट थेट चार्जमधून वाहतो. करंट द्वारे इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक फोर्स सेटअपमुळे ढवळण्याची क्रिया (stirring action) सहज होते, या प्रकारच्या फर्नेसचा वापर मिश्रधातू (alloy) स्टीलच्या उत्पादनासाठी (manufacturing of alloy) केला जातो आणि प्युअर प्रॉडक्ट मिळते. डायरेक्ट आर्क फर्नेस 0.8 लॅगिंग पॉवर फॅक्टरवर ऑपरेट होते.

ॲडव्हानटेजेस (Advantages):
1. इतर हिटिंग पद्धतींच्या तुलनेत, या पद्धतीत अधिक शुद्ध (pure) प्रॉडक्ट तयार होते.
2. ही हिटिंग प्रक्रिया खूप सोपी आहे आणि रिफाइनिंग प्रक्रियेदरम्यान (refining process) दरम्यान अंतिम प्रॉडक्टचे कम्पोसिशन (composition) सहज नियंत्रित करता येते.

डीसॲडव्हानटेजेस (Disadvantages):
1. डायरेक्ट आर्क फर्नेस खूप महाग आहे.
2. जरी ती स्मेल्टिंग (smelting) आणि रिफाईनिंग (refining) दोन्हीसाठी वापरली जाते, तरी इलेक्ट्रिक ऊर्जा महाग आहे.

ॲप्लिकेशन्स (Applications):

1. या प्रकारच्या फर्नेस मध्ये स्टील (steel) , मिश्रधातूचे स्टील (alloy of steel) जसे की स्टेनलेस स्टील (stainless steel) शीट (sheet) तयार केली जातात.
2. ग्रे आयन कास्टिंग (grey ion casting) च्या निर्मितीसाठी वापरले जाते.

2.3.2 इनडायरेक्ट आर्क फर्नेस (Indirect Arc Furnace):

इनडायरेक्ट आर्क फर्नेसमध्ये, आर्क दोन इलेक्ट्रोड्समध्ये मोमेंटरीली कॉन्टॅक्ट (momentarily contact) होवून तयार होते आणि नंतर हीट (heat) निर्माण होते. एयर गॅप मधे आर्क तयार झाल्यामुळे निर्माण झालेली हीट चार्जला रेडिएशनद्वारे ट्रान्सफर होते. Figure 2.13 मध्ये एक सिम्पल इनडायरेक्ट आर्क फर्नेस दाखवले आहे. हे फर्नेस सहसा 1-Ø असतात आणि म्हणूनच त्यांचा आकार एका बिंदूपासून घेता येणाऱ्या एका-फेज लोडच्या प्रमाणात मर्यादित असतो. या फर्नेस मध्ये कोणतीही सहज ढवळण्याची क्रिया (stirring action) नाही, कारण करंट चार्ज मधून वाहत नाही आणि फर्नेस ला यांत्रिकरित्या (mechanically) हलवावे लागते. या चेंबरमधून प्रत्येक टोकाला हॉरीझॉन्टल ॲक्सिस वर इलेक्ट्रोड्स प्रक्षेपित केले जातात. या फर्नेस ला कधीकधी रॉकिंग आर्क फर्नेस (rocking arc furnace) असेही म्हणतात. या फर्नेस मधील चार्ज केवळ इलेक्ट्रोडच्या टोकांमधील आर्कमधून येणाऱ्या रेडिएशनद्वारेच नव्हे तर रॉकिंग क्रियेदरम्यान तापलेल्या रिफ्रैक्टरी (refractory) वहनाने देखील हीट केला जातो; म्हणून, अशा फर्नेस ची कार्य क्षमता जास्त असते.

इलेक्ट्रोड्सना कॉन्टॅक्ट मध्ये आणून आणि नंतर त्यांना सेपरेट करून आर्क तयार होते; इलेक्ट्रोड हलवून आर्क लांबी (arc length) समायोजित (adjust) करून फर्नेस ला मिळणारा वीजपुरवठा (electric supply) नियंत्रित केला जातो. जरी लोखंडी फाउंड्रीमध्ये याचा वापर केला जाऊ शकतो जिथे कमी प्रमाणात लोखंडाची वारंवार आवश्यकता असते, तरी या फर्नेस चा मुख्य उपयोग म्हणजे नॉन फेरस धातू (non ferrus metal) वितळवणे होय.

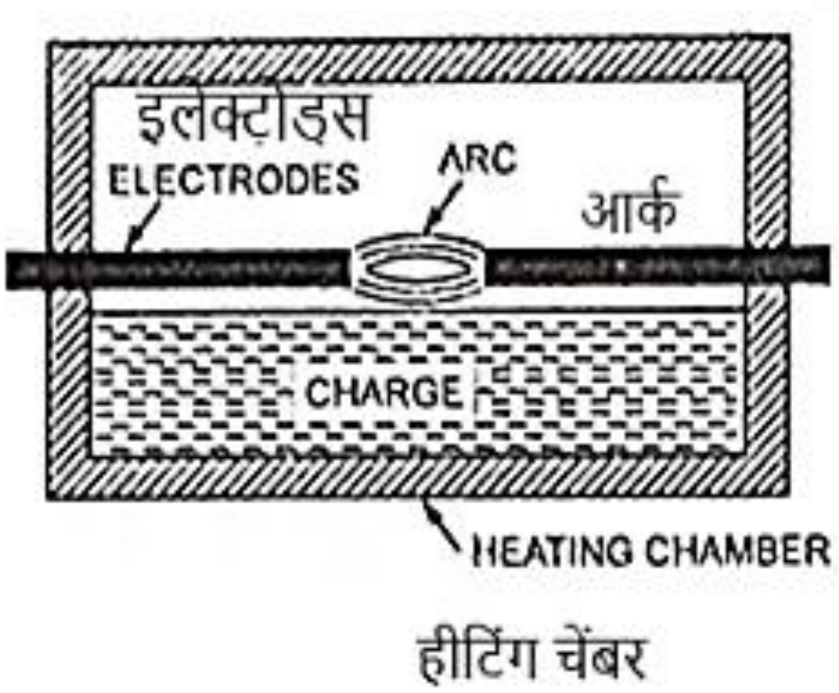


Figure 2.14 इनडायरेक्ट आर्क फर्नेस (Indirect Arc Furnace)

ॲडव्हानटेजेस :

1. वितळलेल्या पदार्थाच्या प्रति टन एकूण उत्पादन खर्च कमी आहे.
2. थीन (thin) आणि इंट्रिकेट (गुंतागुंतीच्या) स्वरुपाच्या कास्टिंग डिझाइनमध्ये वापरले जाते.
3. ऑक्सिडेशन (oxidation) आणि वोलॅटायझेशन (volatilization) मुळे होणारे धातूचे नुकसान खूपच कमी असते.
4. ऑपरेशन फ्लेक्सिबल असते.

डीसॲडव्हानटेजेस :

1. चार्जमधून करंट प्रवाहित होत नसल्यामुळे कोणतीही सहज ढवळण्याची (stirring action) क्रिया घडत नाही.
2. हीट समान रीतीने वितरित करण्यासाठी चार्ज सतत हलवावे लागते.

ॲप्लिकेशन्स

1. या प्रकारच्या फर्नेस चा मुख्य उपयोग म्हणजे नॉन फेरस मेटल वितळवण्यासाठी वापरतात.

2.4 इंडक्शन हिटिंग (Induction Heating):

इंडक्शन हिटिंग म्हणजे कंडक्टर (conductor) मध्ये (सामान्यतः मेटल) इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक इंडक्शनद्वारे (electromagnetic induction) हीट करण्याची प्रक्रिया, ज्यामध्ये एडी करंट्सद्वारे (eddy currents) मेटल मध्ये हीट निर्माण होत असते.

वर्किंग प्रिंसिपल (Working Principle):

इंडक्शन हिटिंग प्रक्रियेचे वर्किंग प्रिंसिपल म्हणजे इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक इंडक्शन (electromagnetic induction) आणि ज्युल हिटिंग (joule heating) यावर आधारित असते, ज्यामुळे हीट निर्माण होते.

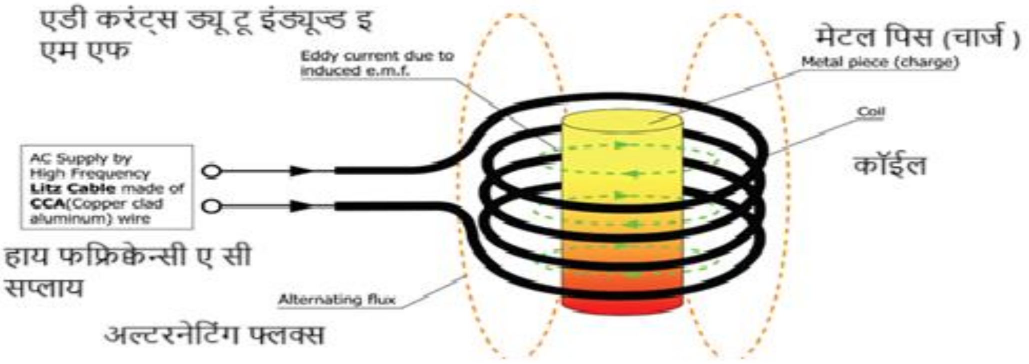


Figure 2.15: इंडक्शन हिटिंग (Induction Heating)

वर्किंग (Working):

इंडक्टर कॉइलला सॉलिड स्टेट आरएफ फ्रिक्केन्सी पॉवर सप्लाय (solid state RF Frequency supply) दिला जातो आणि हीट करावयाचे मटेरिअल कॉइलच्या आत ठेवले जाते. जेव्हा कॉइलमधून पर्यायी करंट जातो तेव्हा फॅरेडेच्या नियमानुसार (Farday's Law) त्याभोवती एक पर्यायी मॅग्नेटिक फील्ड (Magnetic field) निर्माण होते. जेव्हा इंडक्टरमध्ये ठेवलेले मटेरिअल या पर्यायी मॅग्नेटिक फील्ड च्या क्षेत्रात येते तेव्हा मटेरिअल मधे एडी करंट निर्माण होतो. आता जूल हिटिंगचे प्रिंसिपल दिसून येते. यानुसार जेव्हा मटेरिअल मधून करंट जातो तेव्हा त्यात हीट निर्माण होते. म्हणून, जेव्हा इंड्यूसड मॅग्नेटिक फील्ड (induced magnetic field) मुळे

मटेरिअल मध्ये करंट प्रोड्युस होतात, तयार झालेल्या करंट मुळे मटेरिअल मध्ये हीट निर्माण होते. हे नॉन कॉन्टेक्ट हिटिंगची (non contact heating) प्रक्रिया स्पष्ट करते.

प्रकार (Types):

1. डायरेक्ट इंडक्शन हिटिंग (Direct Induction Heating)
2. इन डायरेक्ट इंडक्शन हिटिंग (Indirect Induction Heating)

1. डायरेक्ट इंडक्शन हिटिंग (Direct Induction Heating):

डायरेक्ट इंडक्शन हिटिंगमध्ये, जवळपासच्या बदलत्या करंटमुळे चार्जमध्येच करंट तयार होतो. चार्जच्या रेजिस्टन्समुळे, चार्जमध्येच सहज हीट निर्माण होते. इंडक्शन फर्नेस आणि एडी करंट हीटर ही डायरेक्ट इंडक्शन इलेक्ट्रिक हिटिंगची दोन उदाहरणे आहेत.

2. इनडायरेक्ट इंडक्शन हिटिंग (Indirect Induction Heating):

या पद्धतीत, फर्नेसमधील हिटिंग इलेमेंट्स स्त्रोत कॉइलच्या म्यूच्युअल इंडक्शनमुळे त्यांच्यामध्ये निर्माण होणाऱ्या एडी करंट (eddy current) ने हीट होतात. ही हीट नंतर रेडिएशन (radiation) आणि संवहन (convection) द्वारे चार्जमध्ये ट्रान्सफर केली जाते. इनडायरेक्ट इंडक्शन ओव्हन प्रामुख्याने मेटल वितळविण्यासाठी वापरले जातात.

इंडक्शन फर्नेस (Induction Furnaces)

इंडक्शन फर्नेस ही एक इलेक्ट्रिक फर्नेस (electric furnace) आहे ज्यामध्ये मेटलच्या इंडक्शन हिटिंगद्वारे (induction heating) हीट वापरली जाते. इंडक्शन फर्नेसची क्षमता एक किलोग्रॅमपेक्षा कमी ते शंभर टनांपर्यंत असते आणि ती लोखंड आणि पोलाद, तांबे, ॲल्युमिनियम आणि मौल्यवान मेटल वितळवण्यासाठी वापरली जाते.

इंडक्शन फर्नेस प्रकार (Types of Induction Furnace):

1. कोअर (core)
 a. डायरेक्ट कोअर (Direct Core)
 b. व्हर्टिकल कोअर (अजॅक्स व्याट) (Ajax Wyatt)
 c. इनडायरेक्ट कोअर (Indirect core)
2. कोअर लेस (core less)

2.4.1 डायरेक्ट कोर (Direct Core):

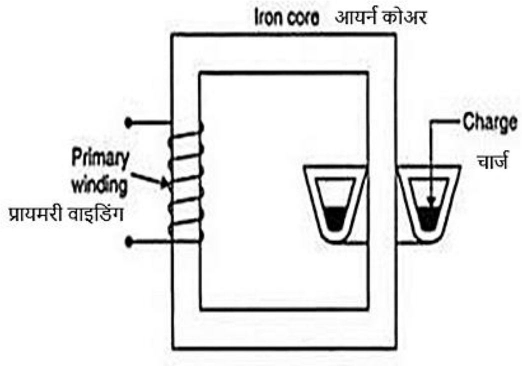


Figure 2.16 डायरेक्ट कोअर इंडक्शन फर्नेस (Direct core type induction furnace)

डायरेक्ट कोअर प्रकारची इंडक्शन फर्नेस Figure 2.15 मध्ये दाखवली आहे. त्यात एक लोखंडी कोर, क्रूसिबल आणि एसी पुरवठ्याशी जोडलेले प्राइमरी वाइंडिंग असते. चार्ज क्रूसिबलमध्ये ठेवला जातो, जो सिंगल टर्न शॉर्ट सर्किटेड सेकेंडरी वाइंडिंग बनवतो. त्यात निर्माण होणाऱ्या उच्च करंट मुळे हा चार्ज वितळतो. जेव्हा वितळलेला मेटल नसतो तेव्हा सेकेंडरी वाइंडिंग मध्ये कोणताही प्रवाह वाहत नाही. फर्नेस सुरू करण्यासाठी, आधीच्या चार्जमधून वितळलेला मेटल ओव्हनमध्ये ओतला जातो.

वर्किंग

हे ट्रान्सफॉर्मरच्या वर्किंग प्रिंसिपलवर वर्किंग करते ज्यामध्ये हीट करावयाचा चार्ज सिंगल-टर्न शॉर्ट-सर्किटेड सेकंडरी वाइंडिंग (single turn short circuited secondary winding) हे ट्रान्सफॉर्मरच्या वर्किंग प्रिंसिपलवर वर्किंग करते ज्यामध्ये हीट करावयाचा चार्ज सिंगल-टर्न शॉर्ट-सर्किटेड सेकंडरी वाइंडिंग (single turn short circuited secondary winding) बनवतो आणि तो लोखंडी कोअर द्वारे मॅग्नेटिकली (magnetically) प्राइमरी वाइंडिंगशी जोडला जातो. फर्नेस मध्ये एक गोलाकार(circular) भाग असतो ज्यामध्ये ऍन्यूलर रिंगच्या स्वरूपात वितळवायचा चार्ज (melting charge) असतो. जेव्हा रिंगमध्ये कोणताही वितळलेला मेटल नसतो, तेव्हा सेकेंडरी वाइंडिंग ओपन -सर्किट होते ज्यामुळे सेकेंडरी वाइंडिंग प्रवाह बंद होतो.

अँप्लिकेशन्स

तांबे, निकेल, चांदी, तांबे आणि निकेल मिश्रधातू सारख्या नॉनफेरस मटेरिअलच्या हीट ट्रीटमेंट मधे वापरले जाते

2.4.2 इनडायरेक्ट कोअर फर्नेस (Indirect Core Furnace):

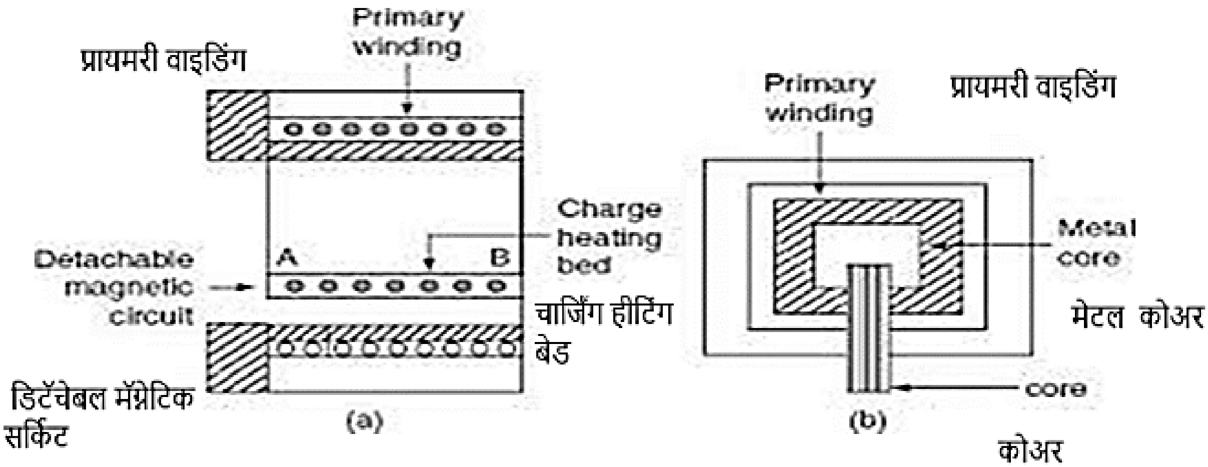


Figure 2.17 इनडायरेक्ट कोअर इंडक्शन फर्नेस (Indirect Core Type Induction Furnace)

या प्रकारच्या फर्नेस मध्ये मेटल हीट करण्यासाठी इंडक्शन प्रिंसिपल (Induction Principle) वापरले गेले आहे. अशा फर्नेस मध्ये इंडक्शन हिटिंग ने हिटिंग इलेमेंट मधे तयार झालेली हीट चार्ज ला ट्रान्सफ़र केली जाते

वर्किंग (Working):

जेव्हा प्राइमरी वाइंडिंग ला सप्लाय दिला जातो, तेव्हा सेकेंडरी वाइंडिंच्या मेटल कंटेनर मध्ये करंट निर्माण होतो म्हणून इंडक्शन विद्युतधारेमुळे हीट निर्माण होते. ही हीट रेडिएशनद्वारे चार्जमध्ये ट्रान्सफर केली जाते. मॅग्नेटिक सर्किटचा भाग AB हा एका विशेष मिश्रधातूपासून (alloy) बनलेला असतो आणि तो फर्नेस च्या

चेंबरमध्ये ठेवला जातो. विशिष्ट तापमानाला त्या विशेष मिश्रधातूच्या मॅग्नेटिक प्रॉपर्टीज नष्ट होतात आणि जेव्हा मिश्रधातू थंड होतो तेव्हा मॅग्नेटिक प्रॉपर्टीज परत मिळतात. फर्नेस क्रिटिकल (critical) तापमानापर्यंत पोहोचताच मॅग्नेटिक सर्किटचा रिलक्टन्स वाढतो आणि करस्पॉन्डिन्गली इंडक्टिव्ह इफेक्ट (correspondingly inductive effect) कमी होऊन हीट कमी होते. बार (bar) AB हा काढता येण्याजोगा आहे आणि तो वेगवेगळ्या क्रिटिकल तापमानासह इतरांनी बदलता येतो. अशा प्रकारे फर्नेस चे तापमान खूप प्रभावीपणे नियंत्रित केले जाऊ शकते.

अँप्लिकेशन्स (Applications):
हीट ट्रीट्मेंट्

2.4.3 व्हर्टिकल कोअर फर्नेस (अजॅक्स व्याट) (Vertical Core Ajax Wyatt Furnace):

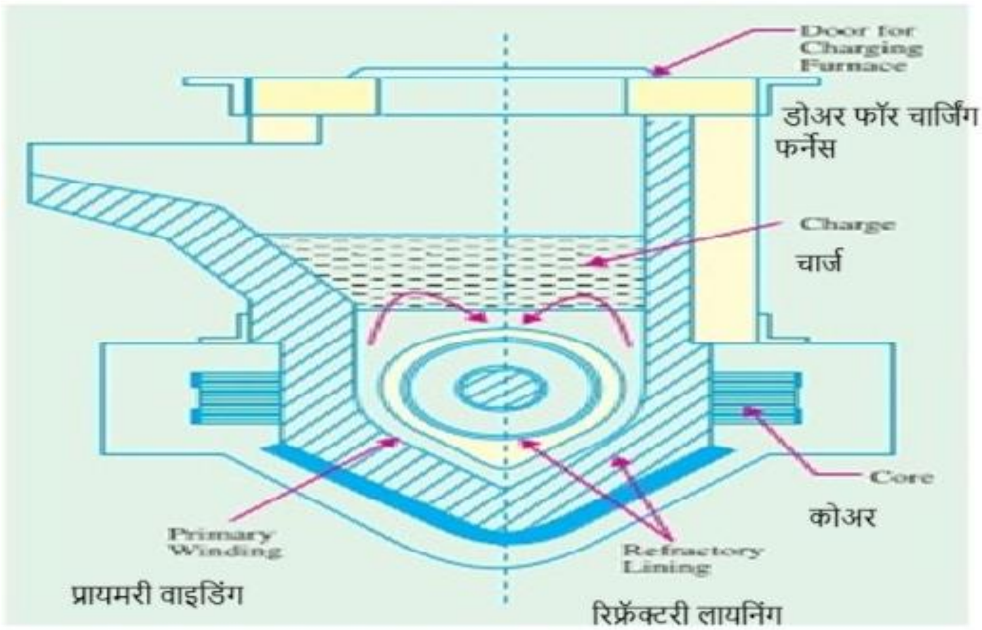


Figure 2.18: व्हर्टिकल कोअर (अजॅक्स व्याट) फर्नेस (Ajax Wyatt Vertical Core Type Furnace)

कोअर प्रकारच्या इंडक्शन फर्नेसचा एक सुधारित प्रकार म्हणजे अजॅक्स व्याट फर्नेस (Ajax Wyatt Furnace) . हे फर्नेस सतत चालण्यासाठी अतिशय योग्य आहे आणि ते स्टँडर्ड सप्लाय फ्रिक्वेन्सी (standard supply frequency) वर म्हणजेच 50 हर्ट्झवर चालवता येते. कोअर भाग लॅमिनेटेड स्टीलचा (laminated steel) बनलेला असतो आणि वितळलेल्या मेटलच्या सिंगल-टर्नद्वारे सेकेंडरी सर्किट तयार होते. वरून चार्ज टाकला जातो आणि वितळलेले मेटल ट्यूबद्वारे बाहेर काढले जाते. ढवळण्याची क्रिया पिंच (pinch) इफेक्टमुळे होते, जी अँप-टर्नच्या (amp-turns) वर्गाच्या प्रमाणात असते. सेकेंडरी सर्किट (secondary circuit) पूर्ण होण्यासाठी ‘V’ आकारात पुरेसे वितळलेले मेटल असणे आवश्यक असते. फर्नेस रात्रभर चालू ठेवायचा असल्यास, कमी व्होल्टेज वापरले जाते, जे मेटलला वितळलेल्या अवस्थेत ‘V’ मध्ये ठेवण्यासाठी आवश्यक ऊर्जा पुरवते.

अॅडव्हानटेजेस :
1. कंट्रोल सिम्पल आहे.
2. हे थंड वातावरणात, डर्ट, नॉईज आणि स्मोक शिवाय, एक आदर्श काम करण्याची स्थिती प्रदान करते.

3. उच्च पॉवर फॅक्टर वर 0.8 ते 0.85 काम करते
4. क्रूसिबल वापरला जात नाही
5. चार्जचे एकसारखे ढवळणे (uniform stirring) एकसंध कम्पोसिशन देते.

ॲप्लिकेशन्स:
अजॅक्स व्याट व्हर्टिकल कोअर फर्नेसचा (Ajax Wyatt Vertical Core Furnace) वापर पितळ (brass) , तांबे (copper) आणि जस्त (zinc) सारख्या नॉन-फेरस (non ferrus) मेटल्सचे वितळविणे आणि रिफाईनिंग साठी केला जातो.

2.4.5 कोअरलेस फर्नेस (Coreless Furnace):

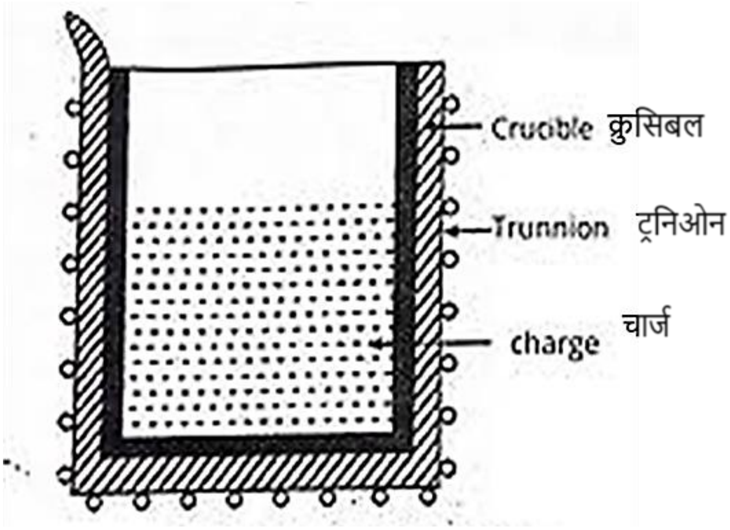


Figure 2.19 कोअरलेस इंडक्शन फर्नेस (Coreless Induction Furnace)

हे एक सिम्पल फर्नेस आहे ज्याचात कोअर नाही,जसे Figure 2.19 मध्ये दाखवला आहे. या फर्नेस मध्ये, त्यातून वाहणाऱ्या एडी करंट्समुळे चार्जमध्ये हीट निर्माण झाली. फर्नेस मध्ये एक रिफ्रैक्टरी किंवा सिरेमिक क्रूसिबल (ceramic crucible) सिलिंड्रिकल (cylindrical) आकार असतो जो ट्रान्सफॉर्मरचा प्राइमरी वाइंडिंग (transformer primary winding) असलेल्या कॉइलमध्ये बंद असतो. फर्नेस मध्ये एक कंटेनर देखील असतो जो कंडक्टिंग (conducting) किंवा नॉन कंडक्टिंग (non conducting) मटेरिअल चा बनलेला असतो. तो सेकेंडरी वाइंडिंग म्हणून काम करतो. जर कंटेनर वाहक पदार्थापासून बनलेला असेल, तर चार्ज कंडक्टिंग किंवा नॉन कंडक्टिंग असू शकतो, जर कंटेनर नॉन कंडक्टिंग मटेरिअल पासून बनलेला असेल, तर घेतलेल्या चार्जमध्ये कंडक्टिंग गुणधर्म असले पाहिजेत.

वर्किंग (Working):
जेव्हा प्राइमरी वाइंडिंगला AC सोर्स द्वारे सप्लाय दिला जातो, तेव्हा या कॉइल्सद्वारे तयार होणारा फ्लक्स चार्जमध्ये एडी करंट तयार करतो. परिणामी एडी करंटची दिशा प्राइमरी वाइंडिंग मधील करंटच्या विरुद्ध दिशेने असते. हे करंट चार्जला मेल्टिंग पॉईंट (melting point) पर्यंत हीट करतात आणि ते इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक फोर्स (electromagnetic force) देखील तयार करतात जे चार्जला स्टीअरींग एक्शन (stirring action) निर्माण करतात. कोणत्याही मॅग्नेटिक सर्किटमध्ये विकसित होणारे एडी करंट असे दिले आहेत: $We \propto B_m^2 f^2$, जिथे B_m ही फ्लक्स डेन्सिटी (टेस्ला) , f ही फ्रीक्वेंसी (Hz) आहे आणि W_e एडी करंट लॉस (वॅट्स) आहे. कोअरलेस फर्नेसमध्ये, कोअर नसल्यामुळे फ्लक्स घनता कमी असेल. म्हणून, लो फ्लक्स डेन्सिटी कॉम्पेन्सेट (low flux density compensate) करण्यासाठी प्राइमरी वाइंडिंग मध्ये उच्च फ्रीक्वेंसी असावी. जर ते उच्च फ्रीक्वेंसी वर वर्किंग करत

असेल तर, स्किन इफेक्ट (Skin Effect) मुळे कॉपर लॉस (copper loss) होते, ज्यामुळे प्राइमरी वाइंडिंग चे तापमान वाढते. यासाठी आर्टीफिसिअल कूलिंग (artificial cooling) आवश्यक आहे. म्हणून, कॉइल(coil) हॉलो कॉपर ट्यूब (hollow copper tube) पासून बनलेली असते ज्याद्वारे कोल्ड वॉटर सर्क्युलेट केले जाते. कोअरलेस फर्नेस डिझाइन करताना स्ट्रे मॅग्नेटिक फील्ड (stray magnetic field) मेन्टेन केले जाते,अन्यथा मोठ्या प्रमाणात एडी करंट लॉस होईल.

अॅडव्हानटेजेस :

1. नियंत्रणास सोपे आहे.
2. मेल्टिंग पॉईंट (melting point) पर्यंत पोहोचण्यासाठी लागणारा वेळ कमी असल्याने ऑक्सिडेशन (oxidation) कमी होते.
3. चार्जमधील एडी करंट्समुळे आपोआप ढवळण्याची क्रिया (stirring action) होते.
4. इरेक्शन (Irection) आणि ऑपरेशन (operation) साठी खर्च कमी आहे.
5. ते हीट करण्यासाठी आणि वितळविण्यासाठी वापरले जाऊ शकते.
6. क्रूसिबलचा (crucible) कोणताही आकार वापरता येतो.
7. हे इंटरमिटंट ऑपरेशन (intermittent operation) साठी योग्य आहे.

2.4.6 एडी करंट हिटिंग (Eddy Current Heating):

एडी करंट हिटिंगला (eddy current heating) इंडक्शन हिटिंग (induction heating) असेही म्हणतात. हीट करावयाच्या पदार्थाला (चार्ज) कॉइलच्या आत ठेवले जाते. चार्ज मध्ये हीट एडी करंटद्वारे निर्माण होते. एडी करंटमुळे होणारा पॉवर लॉस म्हणजे एडी करंट लॉस आणि हा लॉस हीटच्या स्वरूपात दिसून येतो. हे इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक इंडक्शनच्या (electromagnetic induction) तत्त्वावर वर्किंग करते. ठराविक डायमिटर (diameter) आणि थिकनेस (thickness) असलेल्या मेटलच्या डिस्कच्या भोवती कॉपरच्या कॉइलने वेढलेल्या कॉइल मधून एसी सप्लाय (AC supply) दिला जातो. आपल्याला आढळते की डिस्कच्या बाह्य पृष्ठभागावर सेकंडरी करंट वाहक होण्यास कारण होते. ट्रान्सफॉर्मरमध्ये सेकंडरी तील विद्युत ऊर्जा असते तर इंडक्शन हिटिंगमध्ये ती चार्जला स्वतःला हीट करण्यासाठी वापरली जाते जी शॉर्ट सर्किटेड सेकंडरी म्हणून काम करते. उच्च फ्रिक्वेन्सी असलेला करंट वाहून नेणाऱ्या कॉइलला हीटर कॉइल किंवा वर्क कॉइल म्हणतात. हीट करावयाच्या पदार्थाला चार्ज किंवा लोड म्हणतात. मेटलच्या डिस्कच्या बाह्य पृष्ठभागावर करंट वाहतो आणि असे केल्याने, ही पृष्ठभाग हीट होते. हीट ऊर्जा मेटलमध्ये अत्यंत जलद गतीने ट्रान्सफर केली जाते, जी मेटल हीट करण्याच्या पारंपारिक पद्धतींपेक्षा खूप वेगवान असते.

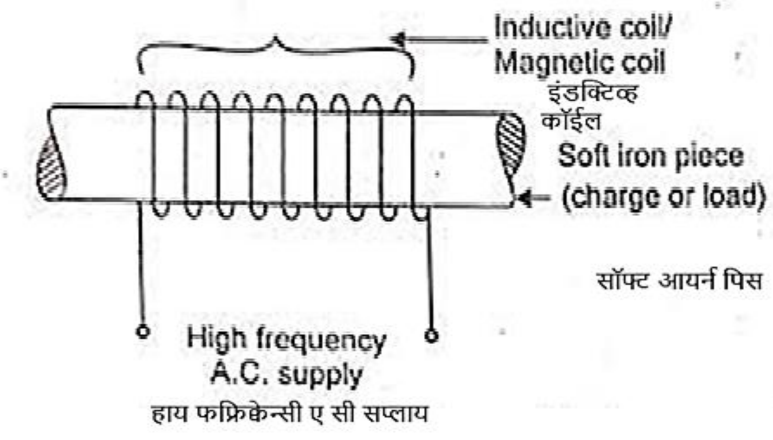


Figure 2.20 एडी करंट हिटिंग (Eddy Current Heating)

अॅडव्हानटेजेस (Advantages):

1. ही क्वीक (quick) , स्वच्छ (clean) आणि सोयीस्कर (conventional) पद्धत आहे.
2. हीटचा अपव्यय (wastage of heat) कमी होतो, कारण निर्माण झालेली हीट थेट चार्ज (charge) हीट करण्यासाठी होते.
3. व्हॅक्यूम किंवा इतर विशेष वातावरणात सहजपणे हिटिंग घडू शकते, जिथे अशा ठिकाणी इतर पारंपारिक हिटिंगचे (conventional heating) प्रकार वापर करणे शक्य नाही.
4. तापमान नियंत्रित करणे खूप सोपे आहे.
5. हीट मेटल च्या पृष्ठभागावर कोणत्याही ठराविक डेप्थ (depth) वर प्रवेश करता येते.
6. अकुशल कामगार (unskilled labour) देखील उपकरणे ऑपरेट करू शकतात.
7. ज्या पृष्ठभागावर हीट निर्माण होते त्याचे क्षेत्रफळ (area) अचूकपणे नियंत्रित केले जाऊ शकते.
8. सुटेबल टाइमिंग डिवाइस द्वारे (suitable timing devices) तयार होणाऱ्या हीट चे प्रमाण अचूकपणे नियंत्रित केले जाऊ शकते.

अँप्लिकेशन्स (Applications):

याचा वापर सरफेस हार्डनिंग (surface hardening) , ॲनिलिंग (annealing) , सोल्डरिंग(soldering) , वेल्डिंग (welding) , पेंट्स सुकवणे (ड्राइंग पेंट्स) , महत्त्वाचे मेटल वितळवणे, शस्त्रक्रिया उपकरणांचे निर्जंतुकीकरण करणे आणि बोल्ट (bolt) आणि रिव्हेट हेड्स (revets heads) घासण्यासाठी केला जातो.

2.4.7 रेडियंट हिटिंग (Radiant Heating):

रेडियंट हिटिंग ही एक प्रकारची हिटिंग सिस्टम आहे जी हीट वितरित करण्यासाठी हवेचा वापर करण्याऐवजी, जमिनीवरून, भिंतीवरून किंवा छतावरून थेट हीट पसरवून रूम किंवा इमारतीला हीट करते. संपूर्ण जागेत फिरणाऱ्या गरम हवेवर अवलंबून न राहता, रूम मधील लोक आणि वस्तूंना थेट देणारी आरामदायी, समान रीतीने वितरित केलेली हीट निर्माण करणे हे उद्दिष्ट आहे.

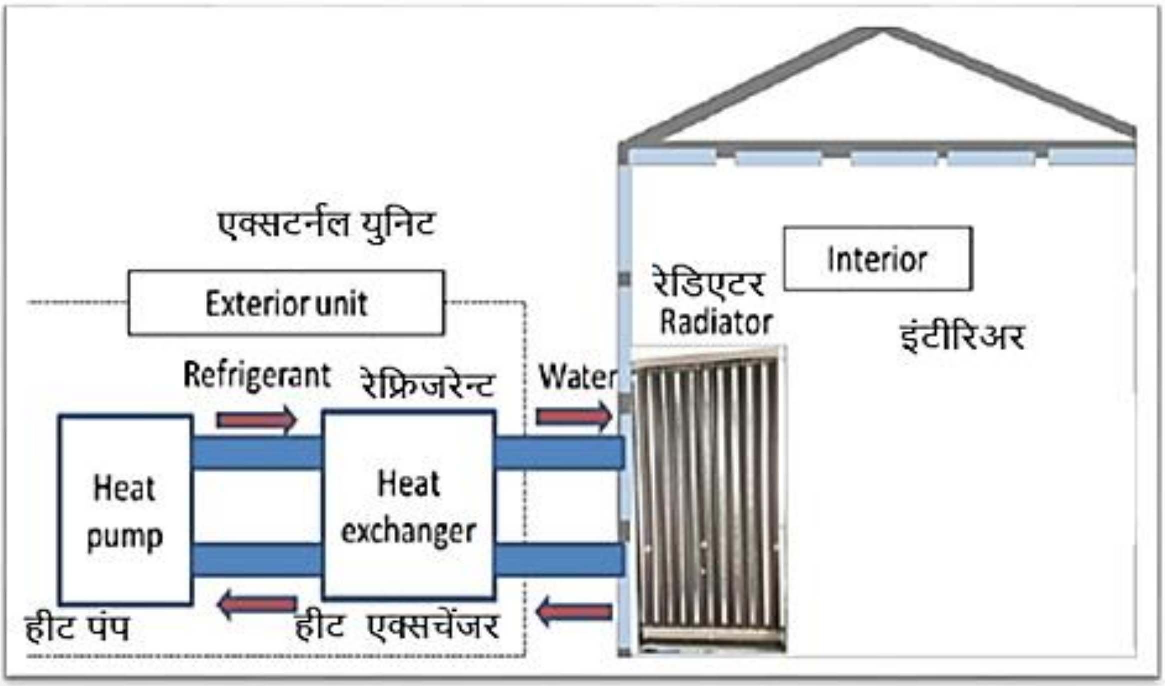


Figure 2.21 रेडियंट हिटिंग (Radiant Heating)

रेडियंट हिटिंग सिस्टमचे काही वेगवेगळे प्रकार आहेत

1. **रेडियंट फ्लोअर हिटिंग (Radiant Floor Heating):** हा रेडियंट हिटिंगचा सर्वात सामान्य प्रकार आहे, जिथे इलेक्ट्रिक हिटिंग केबल्स किंवा गरम पाण्याचे पाईप जमिनीत बसवले जातात. जमिनीवरून हीट वाढत असताना, ते रूम आणि त्यातील वस्तूंना हीट करते.
2. **रेडियंट वॉल हिटिंग (Radiant Wall Heating):** रेडियंट फ्लोअर हिटिंगसारखेच परंतु हिटिंग इलेमेंट्स भिंतींमध्ये बसवले जातात. हा प्रकार कमी सामान्य आहे, परंतु काही विशिष्ट परिस्थितींमध्ये, विशेषतः ज्या जागांमध्ये मजल्यावरील जागा मर्यादित आहे अशा जागांमध्ये तो प्रभावी ठरतो.
3. **रेडियंट सीलिंग हिटिंग (Radiant Ceiling Heating):** ही सिस्टिम छतावर हिटिंग इलेमेंट्स बसवून वर्किंग करते. हीट रूम मध्ये पसरते, त्यामुळे रूम मधील हीट वाढते.

ॲडव्हानटेजेस (Advantages):

1. फोर्स्ड-एअर (forced air) सिस्टीममध्ये येऊ शकणाऱ्या ड्राफ्टशिवाय समान आणि सातत्यपूर्ण हीट प्रदान करते.
2. हवेऐवजी वस्तू आणि लोकांना थेट गरम केल्याने ते अधिक ऊर्जा-कार्य क्षम ठरू शकते.
3. नॉईजलेस आहे. वातावरणात कोणताही अडथळा नाही कारण पंखे किंवा ब्लोअर नाहीत.
4. पारंपारिक फोर्स्ड-एअर सिस्टीमच्या तुलनेत कमी धूळ आणि ॲलर्जन (allergens) प्रसारित होत असल्याने हवेची गुणवत्ता सुधारू शकते.

2.4.8 इन्फ्रारेड हिटिंग (Infrared heating):

इन्फ्रारेड हिटिंग हा एक प्रकारचा रेडियंट हिटिंग (radiant heating) आहे जो हवा हीट करण्याऐवजी वस्तू आणि लोकांना थेट हीट करण्यासाठी इन्फ्रारेड रेडिएशन (infrared radiation) वापरतो. ही सिस्टम इन्फ्रारेड प्रकाश (सूर्यप्रकाशासारखी) रेडिएट करून वर्किंग करते जी रूम मधील पृष्ठभागांद्वारे शोषली जाते, ज्यामुळे हीट जागेत पसरते. हे पारंपारिक हिटिंग पद्धतींपेक्षा वेगळे आहे जसे की फोर्स्ड-एअर सिस्टम, ज्या हवा हीट करतात आणि सर्क्युलेशन वर (Circulation) अवलंबून असतात.

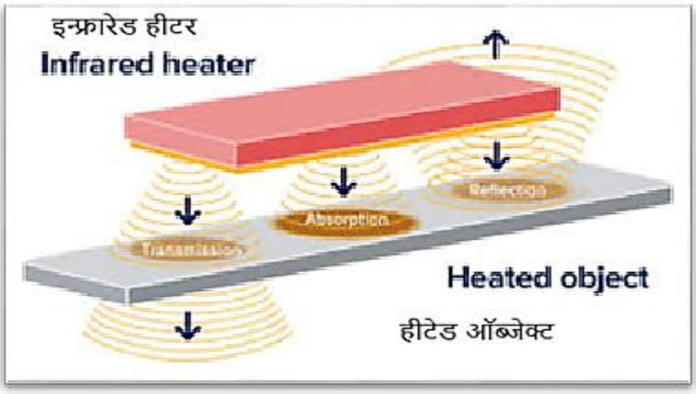


Figure 2.22 Infrared Heater

इन्फ्रारेड हीटर्स इन्फ्रारेड स्पेक्ट्रममध्ये इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक लहरी (elctromagnetic waves) रेडिएट करतात, ज्या वस्तू, भिंती आणि रूम मधील लोकांना उष्णता प्रदान करतात. नंतर या वस्तू त्यांनी शोषलेली हीट आसपासच्या हवेत आणि वातावरणात सोडतात. हवा हीट करणाऱ्या पारंपारिक सिस्टिमपेक्षा, इन्फ्रारेड हीटर्स थेट रूम मधील वस्तू आणि लोकांना हीट प्रोवाइड करतात. म्हणूनच जेव्हा तुम्ही इन्फ्रारेड हीटरसमोर असता तेव्हा तुम्हाला जवळजवळ लगेचच हीट जाणवते. इन्फ्रारेड हीट हवेपेक्षा वस्तूना थेट हीट करते, म्हणून

ती अधिक ऊर्जा-कार्यक्षम असते, विशेषतः उंच सीलिंग असलेल्या जागांमध्ये किंवा ड्राफ्ट(draft) भागात जिथे पारंपारिक हिटिंगमुळे हीट कमी होऊ शकते.

ॲडव्हानटेजेस (Advantages):

1. क्वीक हीट: इन्फ्रारेड हीटर्स वस्तू आणि लोकांना थेट हीट देतात तेव्हा तुम्हाला लगेच हीट जाणवते.
2. ऊर्जा- कार्य क्षमता: ते हवेऐवजी वस्तू हीट करते, त्यामुळे कमी ऊर्जा वाया जाते, विशेषतः खराब इन्सुलेटेड जागांमध्ये कार्यक्षम आहे.
3. नॉइज़ लेस (noiseless): इन्फ्रारेड हीटर्स पंखे किंवा ब्लोअर (blower) वापरत नाहीत, म्हणून ते नॉइज़ लेस असतात, ज्यामुळे ते आवाज-संवेदनशील वातावरणासाठी आदर्श बनतात.
4. आरोग्यासाठी अनुकूल: इन्फ्रारेड हीटर्स धूळ किंवा ऍलर्जी (allergy) निर्माण करत नाहीत, जे श्वसन समस्या किंवा ऍलर्जी असलेल्या लोकांसाठी ॲडव्हानटेजीएस (Advantageous) ठरू शकतात.
5. आरामदायी: कारण ते अधिक एकसमान हीट प्रोवाइड करतात, ते अधिक आरामदायक वाटू शकते, विशेषतः रूम च्या थंड ठिकाणी आरामदायी आहे.

ॲप्लिकेशन्स (Applications):

1. अन्न शिजवणे, वाळवणे आणि प्रक्रिया करण्यासाठी इन्फ्रारेड हिटिंगचा वापर केला जातो.
2. **या** हिटिंगचा वापर काच उत्पादन केला जातो.
3. काच वितळवणे आणि आकार देण्यासाठी या हिटिंगचा उपयोग केला जातो.
4. काच वितळवणे आणि आकार देण्यासाठी या हिटिंगचा उपयोग केला जातो.
5. पेंट वाळवणे: पेंट लवकर वाळवण्यासाठी आणि क्युअरिंगसाठी इन्फ्रारेड हिटिंगचा वापर केला जातो.
6. चिकट वाळवणे: विविध उद्योगांमध्ये चिकट पदार्थ लवकर वाळवण्यासाठी ही प्रणाली वापरली जाते.
7. स्क्रीन प्रिंटिंग: स्क्रीन प्रिंटिंगमध्ये शाई (ink) त्वरीत वाळवण्यासाठीइन्फ्रारेड हिटिंगचा वापर केला जातो.

फर्नेस रेटिंग वर नमुना उदाहरणे (Sample Numerical on Rating of Furnace):

1) 20°C तापमानाला सुरुवातीला 2 किलो ॲल्युमिनियम वितळविण्यासाठी 10 मिनिटे लागणाऱ्या उच्च-फ्रिक्वेन्सी इंडक्शन फर्नेसची वर्किंगक्षमता निश्चित करा. फर्नेस ने काढलेली शक्ती 5 किलोवॅट आहे, ॲल्युमिनियमची विशिष्ट हीट=0.212,ॲल्युमिनियमचा वितळण्याचा बिंदू=660°C आणि ॲल्युमिनियमच्या संलयनाची सुप्त हीट आहे.= 77 किलोकॅलरी/किलो

उत्तर: ॲल्युमिनियम वितळण्यासाठी लागणारी हीट = 2 × 77 = 154 kcal

ॲल्युमिनियमचे तापमान वाढवण्यासाठी लागणारी हीट 20°C ते 660°C
= 2 × 0.212 × (660 – 20)
= 2 × 0.212 × 640
= 271.4 kcal
एकूण आवश्यक हीट = 154 + 271.4
= 425.4 kcal
प्रति तास आवश्यक हीट = 425.4 × 60/10
= 2552.4 kcal

अॅल्युमिनियमला दिली जाणारी पॉवर = 2552.4/860
= 2.96 kW
∴ कार्य क्षमता = आउटपुट / इनपुट
= 2.97/5
= 0.594 or 59.4%

2) एका सिंगल-फेज इंडक्शन फर्नेसमध्ये 0.5 टन पितळ वितळण्यासाठी लागणारी ऊर्जा अंदाजे काढा. जर वितळणे 0.5 तासात करायचे असेल, तर फर्नेस ला सरासरी किती वीज इनपुट करावी लागेल? पितळाची विशिष्ट उष्णता = 0.094 पितळाच्या संलयनाची सुप्त हीट 30 = किलोकॅलरी/किलो पितळाचा वितळण्याचा बिंदू = 920°C फर्नेस ची वर्किंगक्षमता = 60.2% कोल्ड चार्जचे तापमान 20°C असे घेता येते.
उत्तर: 0.5 किलो पितळ वितळविण्यासाठी लागणारी एकूण हीट
= (0.5 × 1000) × 39 + 500 × 0.094 × (920 — 20)
= 61,800 kcal
= 61,800/860
= 71.86 kWh
एकूण फर्नेस इनपुट = 71.86/0.602
= 119.4 kWh

2.5 डायलेक्ट्रिक हिटिंग (Dielectric Heating):

डायलेक्ट्रिक हिटिंगला कधीकधी हाय फ्रिक्वेन्सी कॅपेसिटन्स हिटिंग (high frequency capacitance heating) असेही म्हणतात. जर मेटल नसलेले पदार्थ म्हणजेच लाकूड, प्लास्टिक, चायना क्ले, काच, सिरेमिक इत्यादी इन्सुलेटर उच्च व्होल्टेज एसी करंटच्या अधीन असतील तर त्यांचे तापमान डायलेक्ट्रिक लॉसचे हीट मध्ये रूपांतर झाल्यामुळे तापमानात वाढ होईल. डायलेक्ट्रिक हिटिंगसाठी आवश्यक असलेली सप्लाय फ्रिक्वेन्सी 10-50 MHz दरम्यान असते आणि सप्लाय व्होल्टेज 20 KV असते.

2.5.1 डायलेक्ट्रिक हिटिंगचे प्रिंसिपल (Principle of Dielectric Heating):

जेव्हा कॅपेसिटरला साइनसॉइडल AC व्होल्टेज दिले जाते तेव्हा कपॅसिटर एक्झॅक्ट 90° लिडिंग करंट घेत नाही. करंट आणि व्होल्टेजमधील फेज अँगल थोडा कमी असतो ज्यामुळे करंट चा एक लहान इन-फेज घटक असतो जो कॅपेसिटरच्या डायलेक्ट्रिकमध्ये पॉवर लॉस निर्माण करतो. सामान्य फ्रिक्वेन्सी वर (50 Hz) असे लॉस लहान असू शकते परंतु उच्च फ्रिक्वेन्सी वर हा लॉस डायलेक्ट्रिकला हीट करण्यासाठी पुरेसा मोठा होतो. डायलेक्ट्रिकला हीट करण्यासाठी हा लॉस वापरला जातो. फिगरमध्ये दाखवल्याप्रमाणे समांतर प्लेट कॅपेसिटर तयार करण्यासाठी इन्सुलेटिंग मटेरियल दोन कंडक्टिन्ग (conducting) प्लेट्समध्ये ठेवले जाते. डायलेक्ट्रिक लॉस हा फ्रिक्वेन्सी आणि उच्च व्होल्टेजवर अवलंबून असतो. म्हणून उच्च हिटिंग इफेक्ट मिळविण्यासाठी उच्च फ्रिक्वेन्सी वर उच्च व्होल्टेजचा वापर सहसा केला जातो. हीट करावयाचा मेटल दोन शीट प्रकारच्या इलेक्ट्रोडमध्ये ठेवला जातो जो फिगर मध्ये दाखवल्याप्रमाणे कॅपेसिटर बनवतो. इक्विव्हॅलंट सर्किट (equivalent circuit) आणि वेक्टर डायग्रॅम (vector diagram) देखील Figure 2.20 मध्ये दर्शविली आहे.

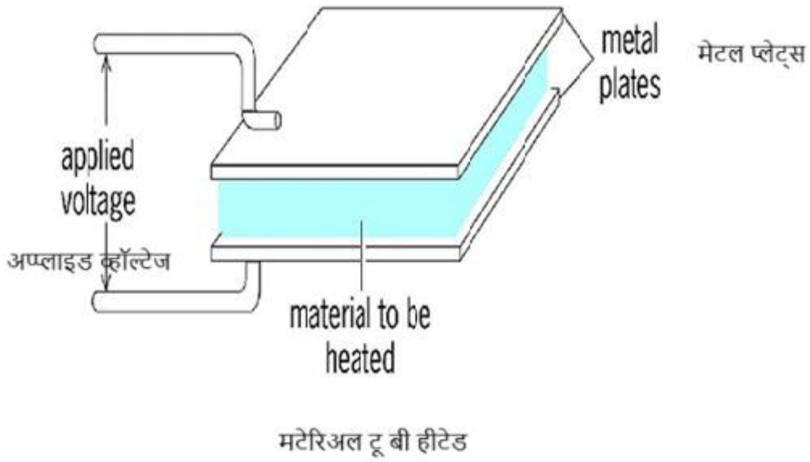


Figure 2.23 Dielectric Heating

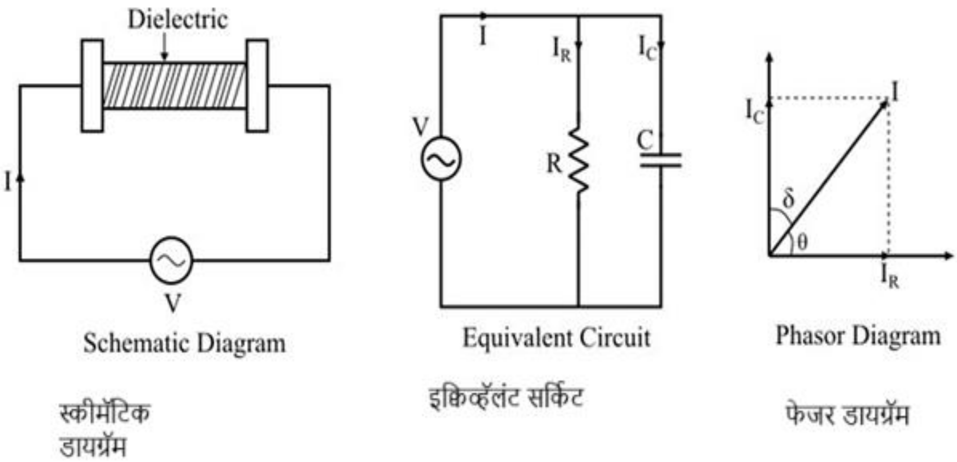


Figure 2.24 Equivalent Circuit

$P = VICosØ$

आता,$Ic = I = \frac{V}{XC} = 2\pi fCV$

$P = V(2\pi fCV)CosØ = 2\pi fCV2CosØ$

आता,$Ø = (90 - \partial), CosØ = Cos(90 - \partial) \; = Sin\partial = tan\partial$

जेथे ∂ हा खूप लहान आहे आणि तो रेडिअन्स मध्ये घेतात.

$P = 2\pi fCV2\partial \; watts$

येथे,$C = \varepsilon 0 \epsilon r \; \frac{A}{d}$

d ही थिकनेस आहे आणि A हे डायलेक्ट्रिक स्लॅबचे पृष्ठभाग क्षेत्र आहे.

ε0- व्हॅक्यूमची ॲब्सोल्यूट परमिटिव्हिटी आहे $(= \; 8.854 \; x \; 10^{-12} F/m)$.
ही पॉवर हीट मध्ये रूपांतरित केले जाते कारण दिलेल्या इन्सुलेशन सामग्रीसाठी C आणि δ स्थिर असतात, डायलेक्ट्रिक लॉस α V^2F आहे.
डायलेक्ट्रिक हिटिंगची एकूण वर्किंगक्षमता सुमारे ५०% आहे.

अॅडव्हानटेजेस (Advantages):

1. एकसमान हिटिंग मिळते.
2. ऑपरेटिंग कॉस्ट (operating cost) कमी असते.
3. नॉन-कंडक्टिंग पदार्थ अल्प कालावधीत गरम होतात.
4. हीट नियंत्रित करणे सोपे जाते.
5. फ्रिक्वेन्सी वाढल्याने हिटिंग प्रक्रिया वेगवान होते.
6. प्लास्टिक आणि लाकडी वस्तूंसारख्या ज्वलनशील वस्तू सुरक्षितपणे गरम करता येऊ शकतात.

डीसअॅडव्हानटेजेस (Disadvantages):

1. हाय इंस्टॉलेशन कॉस्ट असल्यामुळे, जिथे इतर पद्धती वापरणे शक्य नाही, तिथे याला प्राधान्य दिले जाते.

2.6 डायलेक्ट्रिक हिटिंगच्या मर्यादा (Limitations of Dielectric Heating):

1. मटेरिअलची विशिष्टता
2. नॉन-कंडक्टिव्ह मटेरिअलपुरते मर्यादित
3. असमान हिटिंग
4. विसंगत हिटिंग
5. ऊर्जेचा अपव्यय
6. कमी ऊर्जा कार्यक्षमता
7. उच्च प्रारंभिक खर्च
8. महागडा सेटअप
9. मर्यादित हिटिंग क्षमता
10. जटिल नियंत्रण प्रणाली
11. इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक इंटरफेरन्स (EMI)

2.6.1 अँप्लिकेशन्स (Applications):

फुड प्रोसेसिंग (food process) , वूड प्रोसेसिंग (wood process) , कापड उद्योगात ड्रायिंग परपज (drying purpose) , इलेक्ट्रॉनिक शिवणकाम, फुड ड्रायिंग (food drying) , रबराचे व्हल्कनायझेशन (rubber vulcanisation) , स्फोटके वाळवणे, स्फोटके वाळवणे, विशिष्ट प्रकारच्या वेदना आणि रोगांच्या उपचारांसाठी आवश्यक असलेल्या टिश्यूज (tissues) आणि शरीराच्या हाडांना हीट करणे, रिमुव्हल ऑफ मॉइश्चर (removal of moisture)

डायलेक्ट्रिक हिटिंगवरील नमुना उदाहरण (Sample Numericals on Dielctric Heating):

1) 150 सेमी^{2} (cm^2) क्षेत्रफळ आणि 1 सेमी थिकनेस असलेल्या इन्सुलेटिंग मटेरियलचा स्लॅब डायलेक्ट्रिक हिटिंगद्वारे हीट करायचा आहे. 30 मेगाहर्ट्झवर 400 वॅटची वीज आवश्यक आहे. मटेरियलची रेलेटिव्ह परमिटिव्हिटी 5 आणि पॉवर फॅक्टर 0.05 आहे. आवश्यक व्होल्टेज निश्चित करा. अॅब्सोल्यूट परमिटिव्हिटी $(8.854\, x\, 10^{-12} F/m)$

उत्तर :

$$P = 400\, W, p.f. = 0.05,$$

$$f = 30 \times 10^6\, Hz$$

C = ∈ 0 ∈ r A/d = $\left(8.854 \times 10^{-12} \times 5 \times 150 \times \frac{10^{-1}}{1}\right) \times 10^{-12}$

$= 66.4 \times 10^{-12} F$

आता,

$P = 2\pi f\ CV^2\ cos\varphi$ or

$400 = 2\pi \times 30 \times 106 \times 66.4 \times 10^{-12} \times V^2 \times 0.05$

$V = 800\ V$

2) 2 सेमी (cm) थिकनेस आणि 200सेमी^{2} (cm^2) क्षेत्रफळ असलेले इन्सुलेटेड पदार्थ डायलेक्ट्रिक हिटिंगने हीट करायचे आहे. पदार्थाची रेलेटिव्ह परमिटिव्हिटी 5 आणि पॉवर फॅक्टर 0.05 आहे. आवश्यक पॉवर 400 वॅट आहे आणि फ्रिक्वेन्सी 40 मेगाहर्ट्झ वापरायची आहे. आवश्यक व्होल्टेज आणि पदार्थातून वाहणारा प्रवाह निश्चित करा. जर व्होल्टेज 700 व्होल्टपर्यंत मर्यादित ठेवायचा असेल, तर तोच लॉस मिळविण्यासाठी फ्रिक्वेन्सी किती असेल?

Ans: $C = 8.854 \times 10^{-12} \times 5 \times 200 \times 10^{-4}/2 \times 10^{-2}$

$= 44.27 \times 10^{-12}\ Farad$

$P = 2\pi F\ CV\ ^2 cos\varphi$

or

$V = \sqrt{400/_{2\pi \times 10^{-6} \times 44.27 \times 10^{-12} \times 0.05}}$

$= 848\ V$

मटेरिअल मधूनवाहणारा विद्युत प्रवाह,

$I = \frac{P}{V}\cos\varphi$

$= \frac{400}{848} \times 0.05$

$= 9.48\ A$

$Heat\ produced \propto V^2\ F$

$\therefore V2^2 F^2 = V_1\ ^2 F_1$

or

$F_2 = F_1\ (V_1\ /V_2)\ 2$

$= 40 \times 10^6\ (848/700)\ 2$

$= 58.7\ MHz$

नमुना प्रश्न (Sample Questions):

1. इलेक्ट्रिक हिटिंगचे वर्गीकरण करा.
2. इलेक्ट्रिक हिटिंगचे चार अॅडव्हानटेजेस सांगा.
3. हिटिंग इलेमेंटचे गुणधर्म सांगा.

4. उष्णता हस्तांतरणाच्या पद्धतींची यादी करा.
5. पॉवर फ्रिक्वेन्सी हिटिंगच्या आधारावर इलेक्ट्रिक हिटिंगचे वर्गीकरण करा.
6. खालील मुद्द्यांवर कोअर प्रकारच्या फर्नेस आणि कोअरलेस प्रकारच्या फर्नेस (इंडक्शन) ची तुलना करा.
   i) वजन आणि आकार ii) फ्रिक्वेन्सी iii) लिकेज फ्लक्स iv) क्रूसिबल आकार
7. डायरेक्ट रेसिस्टन्स हिटिंगची रचना आणि वर्किंग व्यवस्थित लेबल केलेल्या Figureसह स्पष्ट करा.
8. डायलेक्ट्रिक हिटिंग म्हणजे काय ते स्पष्ट करा. त्याचे चार उपयोग सांगा.
9. योग्य Figureसह डायरेक्ट रेसिस्टन्स आणि इन डायरेक्ट रेसिस्टन् हिटिंग यांची तुलना करा.
10. अजॅक्स व्याट व्हर्टिकल कोअर इंडक्शन फर्नेसची रचना आणि वर्किंगसिस्टिम व्यवस्थित Figureसह स्पष्ट करा.
11. हिटिंग इलेमेंट्सच्या बिघाडाची कोणतीही चार कारणे ओळखा
12. निकेल-क्रोम वायर वापरणाऱ्या रेजिस्टन्स ओव्हनला 220 V, 1-फेज आणि सप्लायपासून गरम करायचे आहे आणि त्याचे रेटिंग 16 किलोवॅट आहे. जर घटकाचे तापमान 1170°C पर्यंत मर्यादित करायचे असेल आणि सरासरी चार्ज तापमान 500°C असेल, रेडिएटिंग इफिशन्सी, K = 0.57, एमिसीव्हीटी e = 0.9,नायक्रोम चा विशिष्ट रेजिस्टन्स = $109\times10^{-6}\ \Omega$ सेमी, तर वायरचा व्यास आणि लांबी शोधा
13. 50 किलोवॅट, तीन फेज, 440 V, रेजिस्टन्स ओव्हनमध्ये थ्री-स्टार कनेक्टेड हिटिंग इलेमेंट्ससाठी 0.3 मिमी थिकनेस ची निकेल-क्रोम स्ट्रिप दिली जाते. जर वायरचे तापमान 1500°C आणि चार्जचे तापमान 1000°C असेल, तर स्ट्रिपची योग्य रुंदी काढा. एमिसीव्हीटी 0.91 आणि रेडिएशन वर्किंगक्षमता 0.6 घ्या. नायक्रोम मिश्रधातूचा विशिष्ट रेजिस्टन्स 1.016X 10^6 आहे. चार्ज 20°C वर थंड असताना घटकाचे तापमान किती असेल?

Unit - 3 Electric Welding

युनिट - 3 इलेक्ट्रिक वेल्डिंग

विषय निष्पत्ती (Course level learning outcome - CO's):

CO 3-विविध इलेक्ट्रिक वेल्डिंग (Electric Welding) सिस्टम ऑपरेट करा. (Operate the different electric welding system)

घटक निष्पत्ती (Theory Learning Outcome- TLO's):

1. ठराविक अँप्लिकेशनसाठी संबंधित वेल्डिंग (Welding) सिस्टम निवडा आणि संदर्भ सांगा.
2. वेल्डिंगमध्ये वापरल्या जाणाऱ्या विशेष प्रकारच्या ट्रान्सफॉर्मरचे (Transformer) प्रिंसिपल आणि कन्स्ट्रक्शन (Construction) स्पष्ट करा.
3. इलेक्ट्रिक वेल्डिंग आणि त्याच्या प्रकारांचे प्रिंसिपल स्पष्ट करा.
4. आधुनिक वेल्डिंग तंत्राचे अँप्लिकेशन (Application) सांगा.

परिचय (Introduction):

मेटल किंवा नॉन मेटलचे दोन तुकडे त्यांच्या मेल्टिंग पॉईंटवर गरम करून जॉईंट करण्याच्या प्रक्रियेला वेल्डिंग असे म्हणतात. दोन तुकडे जॉईंट करण्यासाठी फिलर मेटल (filler metal) वापरले जाते. मेल्टिंग पॉईंट (Melting Point), डेनसिटी (Density), थर्मल कंडक्टिविटी (Thermal Conductivity) आणि टेंसाइल स्ट्रेंथ (Tensile Strength) यासारख्या वेल्ड केलेल्या मटेरियलचे फिजिकल (Physical) आणि मेकॅनिकल (Mechanical) गुणधर्म वेल्डिंगमध्ये महत्त्वपूर्ण भूमिका घेतात.

इलेक्ट्रिक वेल्डिंग ही अशी वेल्डिंग प्रक्रिया आहे ज्यात हीट आणि मेटल मेल्ट करण्यासाठी विजेचा वापर होतो. या प्रक्रियेमध्ये सामान्यत: दोन इलेक्ट्रोड्स, वेल्डिंग मशीन आणि फिलर मटेरियलचा समावेश केला जातो. फिलर मटेरियल दोन मेटलच्या भागांना जॉईंट (joint) करण्यासाठी वापरला जातो. कन्स्ट्रक्शन,ऑटोमोटिव्ह, एरोस्पेस आणि मॅन्युफॅक्चरिंगसह (construction, automotive, aerospace, and manufacturing), असंख्य उद्योगांमध्ये इलेक्ट्रिक वेल्डिंगचा वापर केला जातो. हे विशेषतः स्टील (Steel), अॅल्युमिनियम (Aluminium) आणि इतर मेटलमध्ये मजबूत, टिकाऊ जॉईंट तयार करण्यासाठी उपयुक्त आहे.

3.1 इलेक्ट्रिक वेल्डिंग (Electric Welding)

3.1.1 रेजिस्टन्स वेल्डिंगचे प्रिंसिपल (Working principle of Resistance Welding)

रेजिस्टन्स वेल्डिंग (Resistance Welding) ही अशी वेल्डिंग प्रक्रिया आहे जी हीट निर्माण करण्यासाठी आणि मेटलचे दोन तुकडे जॉईंट करण्यासाठी इलेक्ट्रिक रेजिस्टन्स (Electrical Resistanc) वापरते. या प्रक्रियेस फिलर मटेरियलची आवश्यकता नसते. कारण इलेक्ट्रिक करंटद्वारे (Electric Current) तयार होणारी उष्णता वर्कपीसला (Workpiece) मेल्ट (Melt) आणि फ्यूज (fuse) करते.

सीम (Seam), स्पॉट (Spot), प्रोजेक्शन (Spot) सारखे रेजिस्टन्स वेल्डिंग याच प्रिंसिपल वर कार्य करतात. जेव्हा जेव्हा इलेक्ट्रिक करंट रेजिस्टन्स मधून वाहतो, तेव्हा तेव्हा हीट निर्माण होते. हेच प्रिंसिपलं इलेक्ट्रिक कॉइलमध्ये ही (Coil) वापरले जाते. तयार झालेली हीट मटेरिअल रेजिस्टन्स, इलेक्ट्रिक करंट, टाईम (Time), सरफेसच्या (Surface) परिस्तिथीवर अवलंबून असते.

इलेक्ट्रिक ऊर्जेचे थर्मल ऊर्जेत रूपांतरणामुळे हीट निर्माण होते. हीट निर्मिती साठी रेजिस्टन्स वेल्डिंगचे सूत्र आहे,

$$H = I^2Rt$$

रेजिस्टन्स वेल्डिंगमध्ये, दोन मेटलच्या जॉईंटवर इलेक्ट्रिक करंटला देण्यात आलेल्या रेजिस्टन्स द्वारे आवश्यक हीट तयार केली जाते.

3.2 इलेक्ट्रिक वेल्डिंगच्या पद्धती (Methods of Electric Welding)

इलेक्ट्रिक वेल्डिंगचे विस्तृतपणे दोन मुख्य प्रकारांमध्ये क्लासिफिकेशन (Classification) केले जाते: आर्क वेल्डिंग (Arc welding) आणि रेझिस्टन्स वेल्डिंग (Resistance welding). प्रत्येक पद्धतीने वापरलेल्या अँप्लिकेशन आणि मटेरियल च्या आधारे अनेक प्रकारात सब-क्लासिफिकेशन (Sub-Classification) केले जाते.

3.2.1 इलेक्ट्रिक आर्क वेल्डिंग (Electric arc welding)

आर्क वेल्डिंग हा इलेक्ट्रिक वेल्डिंग चा प्रकार आहे ज्यामध्ये इलेक्ट्रिक आर्कद्वारे तयार होणा ऱ्या हीट द्वारे दोन मेटल जॉईंट होतात. तीव्र हीट निर्माण करण्यासाठी इलेक्ट्रिक आर्कचा वापर करून मेटलच्या तुकड्यांना जॉईंट करण्याची ही एक पद्धत आहे, ज्यामुळे मेटलचे दोन वर्क पीस वितळतात आणि एकत्र जॉईंट होतात. इलेक्ट्रोड आणि वर्कपीसद्वारे इलेक्ट्रिक करंट पास करून इलेक्ट्रिक आर्क (Electric Arc) तयार केला जातो, आर्क तापमान 3,000–6,500°C पर्यंत पोहोचते.

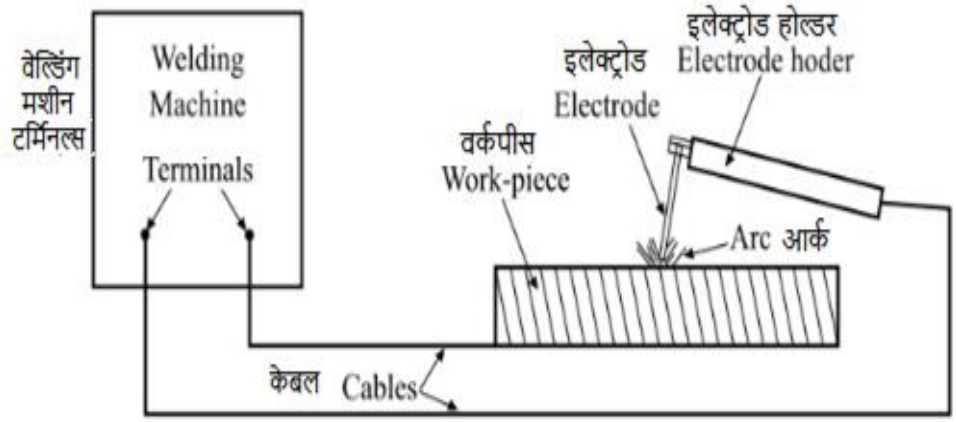


Figure 3.1 इलेक्ट्रिक आर्क वेल्डिंग (Electric Arc Welding)

इलेक्ट्रिक आर्क वेल्डिंग मध्ये इलेक्ट्रोड आणि वेल्डिंग भागांमधील आर्कद्वारे तयार केलेल्या हीट सोर्सचा वापर केला जातो तेव्हा ते मेल्ट झालेले मटेरियल खाली ग्रूव्ह (Groove) मध्ये पडते आणि वेल्डिंगच्या भागांवर एक मोल्टन पुल (molten pool) तयार होतो व मेल्ट झालेल्या भागांवर एक वेल्ड सीम बनवतोत्यामुळे . दोन वेल्डिंग भाग एकत्र जॉईंट होतात. इलेक्ट्रिक आर्क वेल्डिंगची वेल्ड सीम गुणवत्ता विश्वसनीय आहे आणि ही सामान्यत: वापरली जाणारी वेल्डिंग पद्धत आहे.

तीव्र विद्युत उर्जा प्लाझ्मा (plasma) म्हणून ओळखल्या जाणाऱ्या कंडक्टिव्ह गॅसचे (Conductive Gas) आयोनाइज्ड चॅनेल (Ionized Channel) तयार करते,जे 3,500- 15,500°C पर्यंतच्या अत्यंत उच्च तापमानात

पोहोचू शकते. प्लाझ्मा मेटलला वितळवतो आणि मजबूत, आणि दोन्ही मेटलला फुज (Fuse) करून एक मजबुत बॉण्ड तयार करतो.

3.2.2 रेजिस्टन्स वेल्डिंग (Resistance welding)

रेजिस्टन्स वेल्डिंग ही दोन मेटलचे वर्कपीस जॉईंट करण्याची प्रक्रिया आहे ज्यात मेटल जॉईंट करण्यासाठी, मेटलच्या माध्यमातून जास्त वेळ इलेक्ट्रिक करंट पास होतो आणि मेकॅनिकल प्रेशर देखील लागू केला जातो.

ही एक फ्यूजन वेल्डिंग (Fusion welding) प्रक्रिया आहे ज्यासाठी उत्कृष्ट जॉईंट साध्य करण्यासाठी हीट आणि प्रेशर दोन्हीचा वापर करणे आवश्यक आहे. या प्रक्रियेचा सर्वात सोपा प्रकार स्पॉट वेल्डिंग आहे जेथे दोन ओव्हरलॅपिंग शिट्स (Overlapping sheets) क्लॅम्पिंगद्वारे (clamping) इलेक्ट्रोड्स (Electrodes) दरम्यान प्रेशर देऊन मजबूत जॉईंट तयार केला जातो.

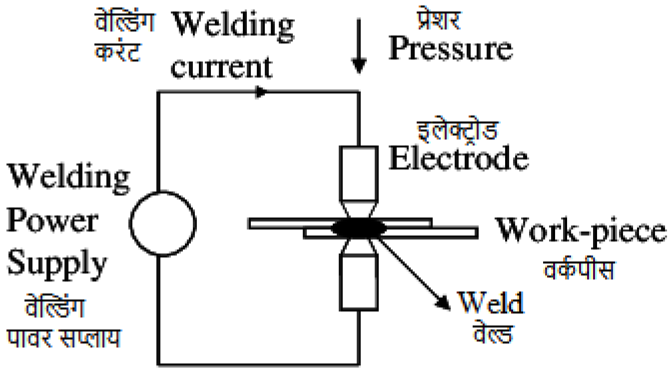


Figure 3.2 रेजिस्टन्स वेल्डिंग (Resistance Welding)

3.3 रेजिस्टन्स वेल्डिंग (Resistance Welding)

3.3.1 रेजिस्टन्स वेल्डिंगचे तत्व (Principle of Resistance Welding)

प्रेशरने एकत्र ठेवलेल्या दोन मेटलच्या तुकड्यांमधून इलेक्ट्रिक करंट जातो. ज्याने रेजिस्टन्समुळे कॉन्टॅक पॉईंटवर (contact point) हीट निर्माण केली जाते. त्या उष्णतेमुळे मेटलचे सरफेस वितळतात आणि वेल्ड (Weld) तयार करतात. तेथे मेटल मजबूत होईपर्यंत प्रेशर राखला जातो आणि मजबूत जॉईंट तयार करतात.

रेजिस्टन्स वेल्डिंगचे ऍडव्हान्टेजेस (Advantages of Resistance Welding)

1. ऑटोमोटिव्ह वेल्डिंग स्पॉट वेल्डिंगने हाय स्पीड (<.1 सेकंद) मध्ये होते.
2. 1/4 इंचापेक्षा कमी जाडीच्या शीट मेटल वेल्डिंग ॲप्लिकेशन साठी ही प्रक्रिया उत्कृष्ट आहे.
3. फिलर मेटल किंवा कन्जुमेबल मटेरिअल आवश्यक नाहीत.
4. कमी इलेक्ट्रिक व्होल्टेज आवश्यक असल्या मुळे तुलनेने सुरक्षित.
5. पर्यावरणास अनुकूल (Environment friendly), स्वच्छ प्रक्रिया (clean process) आहे.
6. तयार होणारे जॉईंट उत्तम क्वालिटीचे असतात.

रेजिस्टन्स वेल्डिंगचे डीसऍडव्हान्टेजेस (Disadvantages of Resistance Welding)

1. विशिष्ट जाडी पर्यंत मर्यादित- खूप जाड मटेरिअल योग्य नाही.
2. उपकरणांची प्रारंभिक किंमत जास्त- मशीन्स महाग आहेत.
3. अचूक नियंत्रण आवश्यक आहे. चुकीच्या सेटिंगजमुळे जॉईंट कमकुवत होऊ शकतात.

4. इलेक्ट्रोड्स कालांतराने डिग्रेड (degrade) होतात आणि त्यांची देखभाल करणे आवश्यक असते.

3.3.2 रेजिस्टन्स वेल्डिंगचे प्रकार (Types of Resistance welding)

वर्कपीसचा आकार आणि इलेक्ट्रोड्सच्या स्वरूपावर अवलंबून, रेजिस्टन्स वेल्डिंग प्रक्रियेचे अनेक प्रकारांमध्ये क्लासिफिकेशन केले जाऊ शकते.

1. स्पॉट वेल्डिंग (Spot Welding)
2. प्रोजेक्शन वेल्डिंग (Projection Welding)
3. सीम वेल्डिंग (Seam Welding)
4. बट वेल्डिंग (Butt Welding)
5. फ्लॅश वेल्डिंग (Flash Welding)

1) **स्पॉट वेल्डिंग** (Spot Welding)

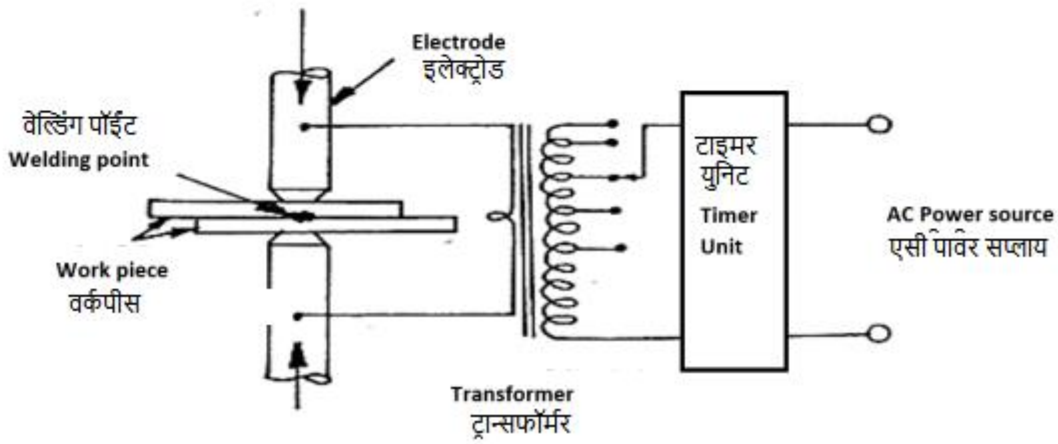


Figure 3.3 स्पॉट वेल्डिंग (Spot Welding)

हा रेजिस्टन्स वेल्डिंगचा सर्वात व्यापकपणे वापरला जाणारा प्रकारआहे. कमी खर्च, वेग आणि विश्वसनीयता ही या प्रकाराची वैशिष्ट्य (characteristics) आहेत. स्पॉट वेल्डिंग मेटॅलिक शीटवर (metalic sheets) विशिष्ट बिंदूंवर केले जाते. वेल्ड करावयाचे तुकडे दोन इलेक्ट्रोड दरम्यान ठेवले जातात. जेव्हा इलेक्ट्रिक करंट इलेक्ट्रोड मधून जातो तेव्हा शिट्सच्या दरम्यान स्पॉट वेल्ड तयार होते. वेल्ड करावयाचे वर्कपीस इलेक्ट्रोड्सद्वारे मेकॅनिकल प्रेशरने एकत्रितपणे दाबले जातात. हे इलेक्ट्रोड प्युअर कॉपरचे बनलेले असतात.

मेकॅनिकल प्रेशर न्युमॅटिक प्रेशरने (Pneumatic Pressure) किंवा हायड्रॉलिक प्रेशरद्वारे (Hydraulic Pressure) तयार केला जातो. वेल्ड थंड होईपर्यंत आणि पुरेसा मजबूत होईपर्यंत प्रेशर ठेवते जाते.

यासाठी इलेक्ट्रिक करंट 4500 A पेक्षा जास्त आवश्यक आहे आणि इलेक्ट्रोड्स दरम्यान इलेक्ट्रिक व्होल्टेज सहसा 2 V पेक्षा कमी असते. ओपन सर्किट व्होल्टेज (Open Circuit Voltage) 12 V पेक्षा कमी आहे. दोन शॉर्ट्सच्या एकूण जाडीच्या प्रत्येक 0.25 मिमी साठी इलेक्ट्रिक करंटचा कालावधी सुमारे 1/50 Second आहे. जंक्शन गरम करण्यासाठी, इलेक्ट्रोड्स उच्च विद्युत तसेच थर्मल कंडक्टिव्हिटी (Thermal Conductivity) असलेल्या मटेरियलचे बनलेले असतात. इलेक्ट्रोड चिकटने टाळण्यासाठी वॉटर-कूल्ड इलेक्ट्रोड (Water Cooled Electrode) वापरले जातात. कार्यक्षम स्पॉट वेल्ड्स केवळ इलेक्ट्रिक करंट, प्रेशर, इलेक्ट्रिक व्होल्टेज आणि वेल्डिंग वेळेच्या योग्य कॉम्बिनेशनने शक्य आहेत.

2) प्रोजेक्शन वेल्डिंग (Projection Welding)

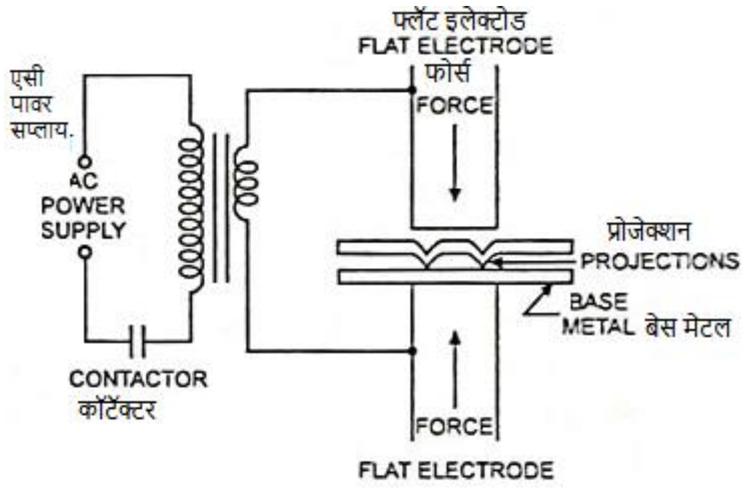


Figure 3.4 प्रोजेक्शन वेल्डिंग (Projection Welding)

प्रोजेक्शन वेल्डिंग ही एक रेजिस्टन्स वेल्डिंग प्रक्रिया आहे जी इलेक्ट्रिक करंटमधून तयार केलेल्या हीटचा वापर करून धातूच्या तुकड्यांना जॉईंट करण्यासाठी वापरली जाते. इतर रेजिस्टन्स वेल्डिंग पद्धतींपेक्षा, वर्कपीसवरील विशिष्ट बिंदूंवर हीट केंद्रित करण्यात मदत करते, एक मजबूत आणि कार्यक्षम वेल्ड सुनिश्चित करते. मेटलच्या सरफेसवरील पूर्व-तयार (Pre-formed) केलेल्या अंदाजामुळे प्रक्रियेस "प्रोजेक्शन वेल्डिंग" असे नाव दिले गेले आहे, जे वेल्ड तयार करण्यास सुलभ आहे. वेल्ड करावयाचे मेटलचे तुकडे कॉपर इलेक्ट्रोड्स (Copper electrode) दरम्यान ठेवले जातात.

3) सीम वेल्डिंग (Seam Welding)

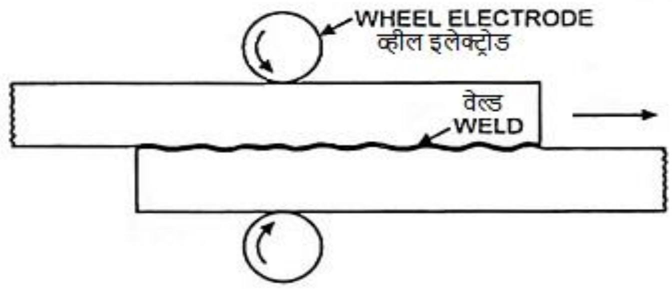


Fig 3.5 सीम वेल्डिंग (Seam Welding)

या प्रक्रियेमध्ये वेल्ड करावयाचे मेटलचे तुकडे दोन व्हील्सच्या (Wheels) दरम्यान ठेवले जातात जे पुरेसे मेकॅनिकल प्रेशर लागू करतात आणि वेल्ड तयार करण्यासाठी पुरेसा करंट देखील ठेवतात.

इलेक्ट्रोड हे कॉपर ॲलोय (Copper Alloys) मेटलचे बनलेले असतात आणि त्यांच्याकडून हीट कमी करण्यासाठी पाणी प्रसारित (circulated) केले जाते. हाय-स्पीड सीम वेल्डिंगमध्ये इलेक्ट्रिक करंटची फ्रिक्वेन्सी (Frequency) इंटरप्रेटर (Interrupter) म्हणून कार्य करते. वेल्डिंग पॉईंटवर इलेक्ट्रिक करंट आणि प्रेशरचे स्थानिकीकरण (localise) करण्यासाठी, इलेक्ट्रोड्सचे संपर्क क्षेत्र लहान (Contact Area) ठेवले जाते. सहसा, स्पॉट्सची संख्या जॉईंटच्या प्रति मीटरच्या (per metre of joints) 200 ते 400 दरम्यान असते. वेल्डिंग

स्पीड प्रति मिनिट 0.25 मीटर ते 10 मीटर पर्यंत आहे. या प्रकारचे वेल्डिंग खूप महत्वाचे आहे कारण ते घट्ट किंवा लीक प्रुफ जॉईंट (leak proof joint) प्रदान करते.

4) बट वेल्डिंग (Butt Welding)

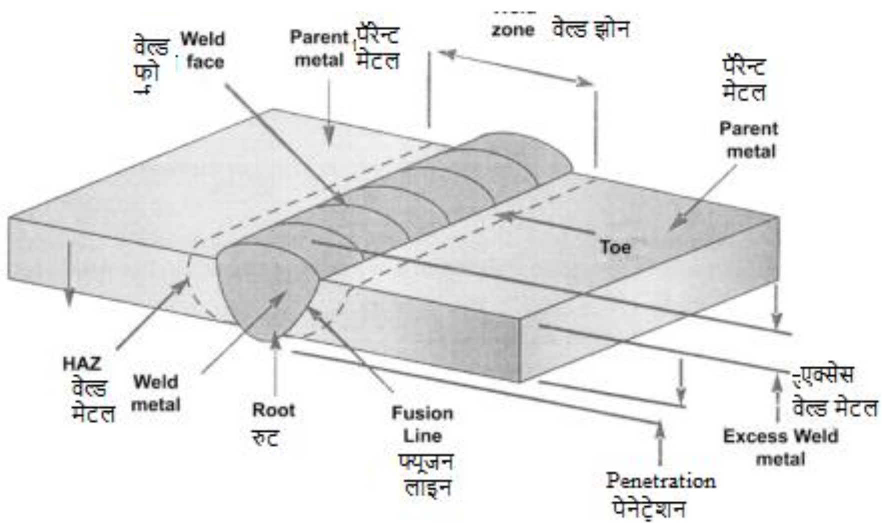


Figure 3.6 बट वेल्डिंग (Butt Welding)

बट वेल्ड या प्रकारात मेटलचे दोन तुकडे एका सरफेससह एकत्र जोडले जाते. मेटलच्या तुकड्यांच्या कडा अशा प्रकारे संरेखित (aligned) केल्या आहेत की ते एकमेकांच्या विरूद्ध बट (butt) तयार करतात, म्हणूनच "बट वेल्ड" हे नाव देण्यात आले आहे. हे तंत्र सामान्यत: एक मजबूत आणि अखंड जॉईंट तयार करण्याच्या क्षमतेसाठी वापरले जातात जे लक्षणीय स्ट्रेस (Stress) आणि प्रेशर हाताळू शकतात.

5) फ्लॅश वेल्डिंग (Flash Welding)

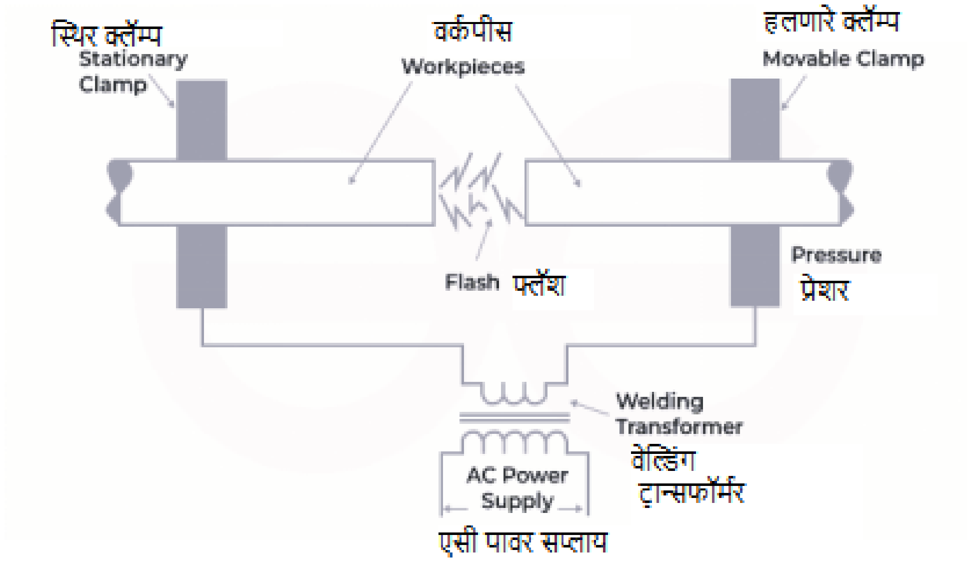


Figure 3.7 फ्लॅश वेल्डिंग (Flash Welding)

फ्लॅश वेल्डिंग ही एक रेजिस्टन्स वेल्डिंग प्रक्रिया आहे जी इलेक्ट्रिक आर्क (फ्लॅश) तयार करून मेटलचे तुकडे जॉईंट करते. तीव्र हीट जनरेट केल्यास मेटलचे सर्फेस वितळतात आणि नंतर ते एकत्र दाबले जातात ज्यामुळे एक मजबूत जॉईंट तयार होतो. रेल्वेमार्गाचे ट्रॅक, ऑटोमोटिव्ह आणि एरोस्पेस मॅन्युफॅक्चरिंग (Railroad tracks, Automotive, and Aerospace manufacturing) सारख्या मजबूत, आवश्यकता असलेल्या उद्योगांमध्ये ही प्रक्रिया मोठ्या प्रमाणात वापरली जाते.

3.4 इलेक्ट्रिक आर्क वेल्डिंग (Electric Arc Welding)

3.4.1 इलेक्ट्रिक आर्कची निर्मिती (Formation of Electric Arc)

जेव्हा गॅससारख्या सामान्यत: नॉन -कंडक्टिव्ह (nonconductive) मटेरियलपेक्षा उच्च इलेक्ट्रिक फील्ड स्ट्रेंथ (व्होल्टेज ग्रेडियंट) होते तेव्हा इलेक्ट्रिक आर्क तयार होतो, ज्यामुळे मटेरियलचे इलेक्ट्रिक ब्रेकडाऊन (Electric Breakdown) होते, ज्यामुळे माध्यमातील कंडक्टिविटी (Conductivity) वाढते.

आर्क वेल्डिंगच्या बेसिक प्रिंसिपलध्ये वेल्डिंग इलेक्ट्रोड आणि वर्कपीस दरम्यान इलेक्ट्रिक आर्क तयार करणे समाविष्ट आहे. ही आर्क एक उच्च-तापमान फ्लेम (flame) तयार करते, जे वेल्डिंग जॉईंटवर मेटल वितळवते. वितळलेले मेटल थंड झाल्यावर वेल्ड तयार करण्यासाठी एकत्रित फ्यूज होते.

3.4.2 आर्क तयार करण्याच्या स्टेप्स (Steps in Arc Formation)

1. व्होल्टेज अँप्लिकेशन: इलेक्ट्रोड आणि वर्कपीस दरम्यान उच्च व्होल्टेज लागू केते जाते.
2. एअर गॅपचा ब्रेकडाउन (Breakdown of Air Gap): जेव्हा दोन इलेक्ट्रोड जवळ आणले जातात तेव्हा त्या दरम्यानची हवा आयोनाइज (Ionize) होते आणि कंडक्टिव (Conductive) बनते.
3. प्लाझ्मा निर्मिती (Plasma Formation): हाय एनर्जी आयोनाइज गॅस (प्लाझ्मा) वीज कंडक्ट करते आणि आर्क टिकवून ठेवते.
4. हीट निर्मिती: आर्कचे तापमान (3000 - 6500 °C) इलेक्ट्रोड आणि वर्कपीस वितळवते आणि वेल्ड तयार करते.

3.4.3 इलेक्ट्रिक आर्कची वैशिष्ट्ये (Characteristics of Electric Arc)

1. उच्च तापमान - आर्क अत्यधिक हीट निर्माण करते, आणि मेटल सहजपणे वितळतात. तापमान रेंज: 3,000–6,500°C.
2. ब्राईट लाईट आणि UV रेडिएशन (UV Radiation) - इंटेन्स व्हिजिबल लाईट (Intense visible light) आणि UV रेडिएशन उत्सर्जित होतात, ज्यासाठी संरक्षणात्मक सामग्री (protective gear) (हेल्मेट, गॉगल) आवश्यक आहे.
3. गॅसचे आयोनायजेशन (Ionization of Gas) - आर्क आसपासच्या गॅसला आयोनाइज करते, जे स्थिर इलेक्ट्रिक करंट राखण्यास मदत करते.
4. आवाज (noise) आणि स्पार्क (sparks) - आर्क वेल्डिंग प्रक्रिये दरम्यान जोरात आवाज आणि मेटलचा स्पार्क तयार करतात, ज्यामुळे योग्य सुरक्षा उपायांची आवश्यकता असते.
5. इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक फिल्ड (Electromagnetic Field) जनरेशन - आर्क वेल्डिंग प्रक्रिये दरम्यान मजबूत मॅग्नेटिक फिल्ड तयार केली जाते, जी जवळपासच्या विद्युत उपकरणांवर परिणाम करू शकते.
6. स्थिरता आणि नियंत्रण - आर्कची स्थिरता वेल्ड गुणवत्तेवर परिणाम करते. आर्क इलेक्ट्रिक करंट प्रकार (AC/DC), व्होल्टेज आणि शिल्डिंग गॅसद्वारे नियंत्रित केली जाते.

3.4.4 आर्कच्या लांबीचे परिणाम (Effects of Arc length)

आर्कची लांबी ही वर्कपीस पासून त्याच्या असलेल्या अंतरावर अवलंबून असते. जेव्हा आर्कची लांबी जास्त असते, तेव्हा इलेक्ट्रिक करंट कमी असतो आणि कमी हीट निर्माण होते. याउलट,एक कमी लांबीची आर्क जास्त इलेक्ट्रिक करंट आणि हीट निर्माण करते.

3.5 इलेक्ट्रिक आर्क वेल्डिंगचे प्रिंसिपल (Principle of electric arc welding)

आर्क वेल्डिंगच्या मूलभूत प्रिंसिपल मध्ये वेल्डिंग इलेक्ट्रोड आणि वर्कपीस दरम्यान इलेक्ट्रिक आर्क तयार करणे समाविष्ट आहे. ही आर्क एक उच्च-तापमान फ्लेम (flame) तयार करते, जी वेल्डिंग जॉईंटवर मेटल वितळवते. वितळलेले मेटल एकत्रित फ्यूज होते व थंड झाल्यावर वेल्ड तयार होतो.

ही वेल्डिंग एक हाय -हीट प्रक्रिया आहे जी बेस मटेरियल वितळवते. सोल्डरिंग आणि ब्रेझिंगचा (Soldering and Brazing) हा मुख्य भिन्न घटक आहे जिथे केवळ फिलर मटेरियल वितळले जाते आणि मूळ मटेरियल दरम्यान कोणतेही फ्यूजन होत नाही. ही वेल्डिंग उच्च तापमानात दोन किंवा अधिक वर्कपीस जॉईंट करून कार्य करते.

3.5.1 इलेक्ट्रिक आर्क वेल्डिंगचे प्रकार (Types electric arc welding)

इलेक्ट्रिक आर्क वेल्डिंगचे पुढील प्रकारांमध्ये वर्गीकरण केले जाते

1. गॅस मेटल आर्क वेल्डिंग (Gas Metal Arc Welding (GMAW/MIG))
2. गॅस टंगस्टन आर्क वेल्डिंग (Gas Tungsten Arc Welding (GTAW/TIG))
3. शिल्ड मेटल आर्क वेल्डिंग (Shielded Metal Arc Welding (SMAW))
4. फ्लक्स कोअर आर्क वेल्डिंग (Flux Cored Arc Welding (FCAW))
5. सबमर्ज आर्क वेल्डिंग (Submerged Arc Welding (SAW))

1. गॅस मेटल आर्क वेल्डिंग (Gas Metal Arc Welding (GMAW/MIG))

गॅस मेटल आर्क वेल्डिंग (Gas Metal Arc Welding), सामान्यत: MIG (मेटल इनर्ट गॅस) (Metal Inert Gas) वेल्डिंग म्हणून ओळखले जाते, ही एक वेल्डिंग प्रक्रिया आहे जी कन्जुमेबल वायर इलेक्ट्रोड (consumable wire electrode) आणि वर्कपीस दरम्यान वेल्ड तयार करण्यासाठी इलेक्ट्रिक आर्कचा वापर करते. वेल्ड पूल ऍटमॉस्फेरिक कंटॅमिनेशन पासून (Atmospheric Contamination) पासून वाचवण्यासाठी शिल्डिंग गॅसचा वापर केला जातो.

डायरेक्ट करंट (DC) इलेक्ट्रिसिटी सप्लाय सतत व्होल्टेज प्रदान करतो, जो कन्जुमेबल इलेक्ट्रोड (मेटल वायर) आणि वर्कपीस दरम्यान इलेक्ट्रिक आर्क तयार करतो. आर्क वेल्ड तयार करण्यासाठी इलेक्ट्रोड वायर आणि बेस मेटल दोन्ही वितळले जातात . इलेक्ट्रोड वायर वेल्डिंग गनद्वारे (Welding Gun) वायरला सतत मोटराइज्ड वायर फीडरद्वारे (motorized wire feeder) दिले जाते. वायर, वेल्डसाठी हीट स्त्रोत आणि फिलर मटेरियल आसे दोन्ही कार्य करते.

ऍटमॉस्फेरिक कंटॅमिनेशन (ऑक्सिजन,नायट्रोजन,आर्द्रता) पासून वितळलेल्या वेल्ड पूलचे संरक्षण करण्यासाठी वेल्डिंग गनद्वारे शिल्डिंग गॅस (जसे की अरगॉन, CO_2, किंवा दोघांचे मिश्रण) पुरविला जातो. हे ऑक्सिडेशन (Oxidation), सच्छिद्रता (Porosity) आणि कमकुवत वेल्ड्स प्रतिबंधित करते.

वितळलेले धातू इलेक्ट्रोडमधून वेल्ड पूलमध्ये हस्तांतरित केले जाते. आर्क पुढे जात असताना, वितळलेला मेटल थंड होतो आणि मजबूत वेल्ड जॉईंट करण्यासाठी दृढ होतो. ही प्रक्रिया अँप्लिकेशन वर अवलंबून ऑटोमेटेड किंवा मॅन्युअली (Automated or Manually) केली जाऊ शकते.

गॅस मेटल आर्क वेल्डिंगचे ऍडव्हान्टेजेस (Advantages of Gas Metal Arc Welding)

1. वेल्डिंगची गती आणि कार्यक्षमता जास्त आहे.
2. कमीतकमी स्पॅटरसह (Spatter) स्वच्छ वेल्ड्स तयार करते.
3. मेटल आणि त्याच्या जाडीच्या विस्तृत रेंजसाठी योग्य.
4. रोबोट वेल्डिंगसाठी ऑटोमेटेड (Automated) केले जाऊ शकते.
5. स्टिक (SMAW) किंवा गॅस टंगस्टन आर्क (TIG) वेल्डिंगच्या तुलनेत कमी ऑपरेटर कौशल्य आवश्यक आहे.

गॅस मेटल आर्क वेल्डिंगचे डीसऍडव्हान्टेजेस (Disadvantages of Gas Metal Arc Welding)

1. शिल्डिंग गॅसवर एअरचा सहज परिणाम होतो (फील्डवर्कसाठी वापरास योग्य नाही) .
2. शिल्ड मेटल आर्क वेल्डिंगच्या तुलनेत उपकरणांची प्रारंभिक किंमत जास्त आहे .
3. वेल्डिंग साठी स्वच्छ सर्फेस आवश्यक आहे. रस्ट आणि डर्ट (Rust and Dirt) वेल्ड गुणवत्तेवर परिणाम करू शकते.

गॅस मेटल आर्क वेल्डिंगचे अँप्लिकेशन (Applications of Gas Metal Arc Welding)

1. ऑटोमोटिव्ह मॅन्युफॅक्चरिंग (Automotive manufacturing)
2. स्ट्रक्चरल फॅब्रिकेशन (Structural fabrication)
3. एरोस्पेस उद्योग (Aerospace industry)
4. पाईप आणि ट्यूब वेल्डिंग (Pipe and tube welding)
5. दुरुस्ती आणि देखभाल (Repair and maintenance)

2. गॅस टंगस्टन आर्क वेल्डिंग (Gas Tungsten Arc Welding (GTAW/TIG)

गॅस टंगस्टन आर्क वेल्डिंग (Gas Tungsten Arc Welding), ज्याला टंगस्टन इनर्ट गॅस (Tungsten Inert Gas) वेल्डिंग देखील म्हटले जाते, ही एक अचूक वेल्डिंग प्रक्रिया आहे जी आर्क तयार करण्यासाठी आणि बेस मेटल वितळण्यासाठी नॉन-कन्जुमेबल टंगस्टन इलेक्ट्रोडचा (non-consumable tungsten electrode) वापर करते. आवश्यक असल्यास स्वतंत्र फिलर मेटलचा वापर केला जाऊ शकतो आणि ऍटमॉस्फेरिक काँटॅमिनेशन होण्यापासून रोखण्यासाठी एक जड गॅस (जसे की अरगॉन किंवा हेलियम) वेल्डला शील्ड (Shield) करतो. जी.टी.ए.डब्ल्यू.(G.T.A.W.) चा वापर एरोस्पेस, ऑटोमोटिव्ह आणि पाईप वेल्डिंगमधील उच्च-गुणवत्तेच्या आणि अचूक वेल्डिंग अँप्लिकेशनसाठी केला जातो.

नॉन -कन्जुमेबल टंगस्टन इलेक्ट्रोड आणि वर्कपीस दरम्यान इलेक्ट्रिक आर्क स्थापित केला जातो. आर्कपासून तयार होणारी हीट बेस मेटल वितळवते आणि एक वितळलेला वेल्ड पूल तयार करते. आवश्यक असल्यास, मटेरियल जॉईंट करण्यासाठी वेल्ड पूलमध्ये स्वतंत्र फिलर रॉड मॅन्युअली जोडला जातो. शिल्डिंग गॅसचा सतत फ्लो (Continuous flow) (अरगॉन, हीलियम) वेल्डला ऍटमॉस्फेरिक कंटॅमिनेशन होण्यापासून वाचवते. वितळलेले मेटल एक स्वच्छ आणि मजबूत वेल्ड जॉईंट तयार करण्यासाठी मजबूत करते.

गॅस टंगस्टन आर्क वेल्डिंगचे ऍडव्हान्टेजेस (Advantages of Gas Tungsten Arc Welding)

1. स्लॅग नसलेल्या आणि उच्च-गुणवत्तेची स्वच्छ वेल्ड तयार करते.
2. हीट इनपुट आणि वेल्ड बीड वर (Weld Bead) उत्कृष्ट नियंत्रण प्रदान करते.
3. अल्युमिनियम,स्टेनलेस स्टील आणि टायटॅनियमसह विस्तृत मेटलचे वेल्ड करू शकते.
4. अचूक आर्क नियंत्रणामुळे पातळ मटेरिअल च्या वेल्डिंग साठी आदर्श.
5. कोणतेही स्पॅटर नाही,परिणामी वेल्ड नंतर कमीत कमी सफाई आवश्यक.

गॅस टंगस्टन आर्क वेल्डिंगचे डीसऍडव्हान्टेजेस (Disadvantages of Gas Tungsten Arc Welding)

1. इतर वेल्डिंग प्रक्रियेच्या तुलनेत या वेल्डिंग चा स्पीड कमी आहे.
2. प्रभावीपणे ऑपरेट करण्यासाठी उच्च कौशल्य पातळी आवश्यक आहे.
3. प्युअर शिल्डिंग गॅस आणि विशेष उपकरणांच्या आवश्यकतेमुळे अधिक महाग.
4. अतिरिक्त फिलर मेटलशिवाय जाड मटेरिअल साठी योग्य नाही.

गॅस टंगस्टन आर्क वेल्डिंगचे ॲप्लिकेशन (Applications of Gas Tungsten Arc Welding)

1. एरोस्पेस (Aerospace) उद्योग: विमान घटकांसाठी वापरले जाते.
2. ऑटोमोटिव्ह (Automotive) उद्योग: उच्च-कार्यक्षमता एक्झॉस्ट सिस्टम आणि फ्रेमसाठी वापरली जाते.
3. मेडिकल (Medical) उपकरणे उत्पादन: स्टेनलेस स्टील (Stainless Steel) आणि टायटॅनियम (Titanium) वेल्डिंगसाठी वापरली जाते.
4. पाइपलाइन आणि प्रेशर व्हेसल (Pipelines and Pressure Vessels): उच्च-सामर्थ्य, दोष-मुक्तवेल्ड्स सुनिश्चित करते.
5. ज्वेलरी आणि आर्ट वेल्डिंग (Jewellery and art welding): अचूक आणि एस्थेटिक (Aesthetic) वेल्ड प्रदान करते.

3. शिल्ड मेटल आर्क वेल्डिंग (Shielded Metal Arc Welding (SMAW))

शिल्ड मेटल आर्क वेल्डिंग ज्याला स्टिक वेल्डिंग देखील म्हटले जाते, ही मॅन्युअल आर्क वेल्डिंग प्रक्रिया आहे जी वेल्ड तयार करण्यासाठी फ्लक्स-कोटेड (flux-coated) कन्जुमेबल इलेक्ट्रोड वापरते. हे कन्स्ट्रक्शन, शीप बिल्डिंग, पाइपलाइन आणि दुरुस्तीच्या कामासाठी (Construction, Shipbuilding, Pipelines, and Repair work) मोठ्या प्रमाणात वापरले जाते कारण त्याच्या साधेपणा आणि अनुकूल पणा आहे.

या प्रक्रियेत इलेक्ट्रोड वर्कपीसच्या जवळ आणले जातात व इलेक्ट्रोडचे टोक आणि मेटल सर्फेस दरम्यान इलेक्ट्रिक आर्क तयार होते. आर्क पासून हीट इलेक्ट्रोड आणि बेस मेटल दोन्ही वितळते आणि एक वितळलेले वेल्ड पूल तयार करते. इलेक्ट्रोडचे फ्लक्स कोटिंग विघटित होते, वेल्डला ऑक्सिडेशन आणि ऍटमॉस्फेरिक कंटॅमिनेशनपासून संरक्षण करणारे शिल्डिंग गॅस सोडले जातात. वेल्ड थंड होत असताना, फ्लक्स एक स्लॅग लेयर तयार करतो जो वेल्ड बीडला (Weld Bead) व्यापतो, आणि कंटॅमिनेशन होण्यापासून प्रतिबंधित करततो. तयार वेल्ड रिवेल (Reveal) करण्यासाठी वेल्डिंगनंतर स्लॅग काढला जातो.

शिल्ड मेटल आर्क वेल्डिंगचे ऍडव्हान्टेजेस (Advantages of Shielded Metal Arc Welding)

1. सोपी आणि खर्च-प्रभावी (cost effective) उपकरणे.
2. पोर्टेबल आणि फील्डवर्कसाठी वापरले जाऊ शकते.
3. बाह्य शिल्डिंग गॅसची आवश्यकता नाही,ज्यामुळे ते फील्डवर्कसाठी योग्य आहे.

4. रस्टी, पेंट केलेले किंवा डर्टी मेटल वर कमीतकमी तयारीसह कार्य करते.
5. स्टील,कास्ट आयर्न आणि स्टेनलेस स्टीलसह विविध मेटलचे वेल्ड करू शकते.

शिल्ड मेटल आर्क वेल्डिंगचे डीसऍडव्हान्टेजेस (Disadvantages of Shielded Metal Arc Welding)

1. इतर वेल्डिंग पद्धतींच्या तुलनेत हळू प्रक्रिया.
2. वारंवार इलेक्ट्रोड बदल आवश्यक आहेत.
3. वेल्डिंगनंतर स्लॅग तयार करणे आवश्यक आहे.
4. एमआयजी/टीआयजी वेल्डिंगच्या तुलनेत अधिक स्पॅटर (spatter) तयार करते.
5. अचूक नियंत्रणासाठी उच्च कौशल्य आवश्यक आहे.

शिल्ड मेटल आर्क वेल्डिंगचे अॅप्लिकेशन (Applications of Shielded Metal Arc Welding)

1. कन्स्ट्रक्शन आणि स्ट्रक्चरल (Structural) वेल्डिंग (पूल,इमारती,फ्रेम) .
2. शिप बिल्डींग आणि ऑफ शोअर
3. पाइपलाइन आणि प्रेशर वेसल वेल्डिंग.
4. दुरुस्ती आणि देखभाल काम (शेती,कारखाने,रेल्वे) .
5. अवजड उपकरणे उत्पादन

4. फ्लक्स कोअर्ड आर्क वेल्डिंग (Flux Cored Arc Welding (FCAW):

फ्लक्स कोअर्डआर्क वेल्डिंग (एफसीएडब्ल्यू) एक ऑटोमेटिक किंवा सेमी ऑटोमेटिक (automatic or semi-automatic) आर्क वेल्डिंग प्रक्रिया आहे जी पोकळ आणि फ्लक्सने भरलेल्या कन्जुमेबल इलेक्ट्रोडचा वापर करते. इलेक्ट्रोडच्या आत फ्लक्स शिल्डिंग गॅस आणि स्लॅग प्रदान करते, ज्यामुळे काही प्रकरणांमध्ये बाह्य शिल्डिंग गॅसची आवश्यकता नसते. एफसीएडब्ल्यूचा हाय डिपोजिशन आणि डीप पेनेट्रेशन (High Deposition and Deep Penetration) मुळे त्याचा वापर कंस्ट्रक्शन, शीप बिल्डिंग आणि जड उपकरणे उत्पादन यात मोठ्या प्रमाणात केला जातो.

फ्लक्स-कोअर्ड इलेक्ट्रोड आणि वर्कपीस दरम्यान इलेक्ट्रिक आर्क तयार केला जातो. इलेक्ट्रोडमधील फ्लक्स वितळतो आणि वेल्डला ऍटमॉस्फेरिक कंटॅमिनेशनपासून वाचवण्यासाठी शिल्डिंग गॅस सोडतो. इलेक्ट्रोड सतत वेल्ड पूलमध्ये फीड करते, वितळते आणि मेटल जमा करते. वेल्ड मजबूत झाल्यावर,फ्लक्स एक संरक्षक स्लॅग लेयर तयार करतो,जो वेल्डिंगनंतर साफ करणे आवश्यक आहे.

फ्लक्स कोअर्ड आर्क वेल्डिंगचे ऍडव्हान्टेजेस (Advantages of Flux Cored Arc Welding)

1. एसएमएडब्ल्यू (SMAW) आणि जीएमएडब्ल्यूच्या (GMSW) तुलनेत हाय डिपोजिशन रेट
2. जाड मटेरियलसाठी चांगले पेनेट्रेशन. (Good penetration)
3. स्वत:ची शील्ड असलेले एफसीएडब्ल्यू गॅसचे शिल्ड न करता घराबाहेर वापरले जाऊ शकते.
4. यासाठी प्री-वेल्ड सर्फेसची तयारी असणे आवश्यक आहे.
5. ही प्रक्रिया सर्व प्रकारच्या वेल्डिंग साठी योग्य आहे .

फ्लक्स कोअर्ड आर्क वेल्डिंगचे डीसऍडव्हान्टेजेस (Disadvantages of Flux Cored Arc Welding)

1. जीएमएडब्ल्यू (GMAW) आणि जीटीएडब्ल्यू (GTAW) पेक्षा अधिक फ्युम्स आणि स्मोक (fumes and smoke) तयार होतो.

2. वेल्डिंगनंतर स्लॅग (Slag) काढणे आवश्यक आहे.
3. हाय हीट इनपुटमुळे पातळ मटेरियलसाठी ही प्रक्रिया योग्य नाही.
4. सेल्फ-शील्ड एफसीएडब्ल्यू (Gas sheild FCAW) मध्ये गॅस-शील्ड एफसीएडब्ल्यू (Gas sheild FCAW) पेक्षा जास्त स्पॅटर (Spatter) तयार होतो.

फ्लक्स कोअर्ड आर्क वेल्डिंगचे ॲप्लिकेशन (Applications of Flux Cored Arc Welding)

1. कंस्ट्रक्शन आणि स्ट्रक्चरल वेल्डिंग (structural welding) (पूल,इमारती).
2. शीप बिल्डिंगआणि सागरी उद्योग.
3. अवजड उपकरणे उत्पादन (ट्रक,उत्खनन करणारे,क्रेन).
4. पाइपलाइन (Pipeline) आणि प्रेशर व्हेसल फॅब्रिकेशन (Pressure Vessel Fabrication).
5. दुरुस्ती आणि देखभाल काम.

5. सबमर्ज आर्क वेल्डिंग (Submerged Arc Welding (SAW))

सबमर्ज आर्क वेल्डिंग (एसएई) ही एक ऑटोमेटिक आणि सेमी ऑटोमेटिक वेल्डिंग प्रक्रिया आहे. यात आर्क पूर्णपणे ग्रॅन्युलर फ्लक्सने (Granular flux) झाकलेला असतो. फ्लक्स, स्पॅटरला प्रतिबंधित करतो आणि वितळलेल्या वेल्ड पूलचे ऍटमॉस्फेरिक कंटॅमिनेशनपासून संरक्षण करतो त्यामुळे आर्क स्टेबल होते. शिपबिल्डिंग, प्रेशर व्हेसल्स आणि स्ट्रक्चरल स्टील फॅब्रिकेशन यासारख्या जड उद्योगांमध्ये अधिक मजबूत वेल्ड्ससाठी सबमर्ज आर्क वेल्डिंगचा वापर केला जातो.

इलेक्ट्रोड वायर, मेटल जॉईंट मध्ये दिली जाते व वेल्डिंग आर्क पूर्णपणे झाकून एक ग्रॅन्युलर फ्लक्स लेयर लागू केला जातो. आर्क हा इलेक्ट्रोड वायर, बेस मेटल आणि फ्लक्सला वितळतो,व एक वितळलेला वेल्ड पूल तयार करतो. यात फ्लक्स एक प्रोटेक्टिव्ह बॅरिअर (protective arrier) म्हणून कार्य करतो तसेच कंटॅमिनेशन होण्यापासून प्रतिबंधित करतो. त्यामुळे वितळलेले मेटल मजबूत होते आणि एक मजबूत वेल्ड तयार करते. या दरम्यान फ्लक्स स्लॅग लेयर तयार होतो, जो थंड झाल्यानंतर काढला जातो.

सबमर्ज आर्क वेल्डिंगचे ऍडव्हान्टेजेस (Advantages of Submerged Arc Welding)

1. हाय डिपोजिशन रेट (Deposition Rate).
2. आर्क पूर्णपणे सबमर्ज असल्यामुळे आर्कफ्लॅश तयार होत नाही.
3. कमीतकमी स्पॅटर तयार होतो आणि यात बाह्य शिल्डिंग गॅसची आवश्यकता नाही.
4. लांब वेल्डमध्ये चांगली वेल्ड गुणवत्ता आणि सुसंगतता मिळते (consistency).
5. जाड मटेरियलसाठी उत्कृष्ठ वेल्डिंग (उदा. **6** mm आणि त्यापेक्षा जास्त).

सबमर्ज आर्क वेल्डिंगचे डीसऍडव्हान्टेजेस (Disadvantages of Submerged Arc Welding)

1. फ्लक्सवरील ग्रॅव्हिटेशनच्या (Gravitation) परिणामामुळे ही वेल्डिंग प्रक्रिया प्रामुख्याने फ्लॅट आणि हॉरीझॉन्टल स्थितीसाठी मर्यादित आहे.
2. ही वेल्डिंग प्रक्रिया 3 mm पेक्षा कमी जाड असलेल्या पातळ मटेरियलसाठी योग्य नाही
3. ऑटोमेटिक सिस्टमसाठी प्रारंभिक खर्च जास्त आहे.
4. ही वेल्डिंग प्रक्रिया मर्यादित फ्लेक्सिबिलिटी (Flexibility) प्रदान करते आणि प्रामुख्याने स्ट्रेट-लाइन वेल्डिंगसाठी वापरली जाते.

सबमर्जआर्क वेल्डिंगचे ॲप्लिकेशन(Applications of Submerged Arc Welding)

1. शीप बिल्डिंग आणि ऑफशोअर स्ट्रक्चर्स.

2. प्रेशर वेसल्स आणि स्टोरेज टँकचे (Storagr Tank) उत्पादन.
3. पाइपलाइन आणि स्ट्रक्चरल स्टील फॅब्रिकेशन.
4. रेलरोड आणि अवजड उपकरणे वेल्डिंग.
5. ऑटोमोबाईल आणि ट्रेलर मॅन्युफॅक्चरिंग (Automobile and Trailer manufacturing)

3.5.2 इलेक्ट्रिक आर्क वेल्डिंगचे ऍडव्हान्टेजेस (Advantages of Electric Arc Welding)

1) हाय वेल्डिंग स्पीड- आर्क वेल्डिंग तीव्र हीट निर्माण करते, ज्यामुळे फास्ट (fast) वेल्डिंग आणि उत्पादकता वाढते.
2) मजबूत आणि टिकाऊ जॉइंट्स- मेटलचे फ्यूजन हाय- स्ट्रेंथ वेल्ड तयार करते आणि स्ट्रक्चरल ॲप्लिकेशनमध्ये ड्युरॅबिलिटी (Durability) सुनिश्चित करते.
3) खर्च-प्रभावी प्रक्रिया - इतर वेल्डिंग पद्धतींच्या तुलनेत कमीतकमी उपकरणे आवश्यक आहेत. इलेक्ट्रोड्स सारखे कन्जुमेबल मटेरियल स्वस्त आणि सहज उपलब्ध आहेत.
4) व्हर्सटाईल ॲप्लिकेशन (Versatile Applications) - विविध मेटलसाठी योग्य (स्टील,ॲल्युमिनियम,तांबे,स्टेनलेस स्टील). कंस्ट्रक्शन, ऑटोमोटिव्ह, एरोस्पेस आणि शिपबिल्डिंगमध्ये वापरले जाऊ शकतात.
5) वेगवेगळ्या पोझिशन्समध्ये कार्य करते – हॉरीझॉन्टल ,व्हर्टिकल ,ओव्हरहेड आणि फ्लॅट पोझिशनमध्ये वेल्डिंग करू शकते, ज्यामुळे ते अत्यंत फ़्लेझीबल (flexible) होते.
6) पोर्टेबिलिटी आणि ऍक्सेसिबिलीटी (Accessibility) - काही आर्क वेल्डिंग पद्धतीमध्ये (स्टिक वेल्डिंग-एसएमडब्ल्यू) लाइटवेट आणि पोर्टेबल उपकरणे आवश्यक आहेत, जी फिल्डवर्क आणि रिमोट ॲप्लिकेशनसाठी योग्य आहे.
7) बाह्य गॅसची आवश्यकता नाही (एसएमएडब्ल्यू आणि एफसीएडब्ल्यू) - शिल्ड मेटल आर्क वेल्डिंग (एसएमडब्ल्यू) सारख्या प्रक्रिया फ्लक्स -कोटेड इलेक्ट्रोड वापरतात,वारा किंवा बाहेरील वातावरणाचा वापर करून वेल्डिंग करण्याचा खर्च कमी करून गॅस शिल्डिंगची आवश्यकता दूर करते.
8) जाड आणि पातळ मटेरियल वेल्ड करू शकते - आर्क वेल्डिंग योग्य टेक्निक वापरून जड स्ट्रक्चरल मटेरियलवर पातळ शीट्स वेल्ड करू शकते.
9) ऑटोमेशनची सोबत अनुलुक - एमआयजी, टीआयजी आणि सबमर्ज आर्क वेल्डिंग सारख्या पद्धती उच्च -कार्यक्षमतेच्या उत्पादनासाठी वापरल्या जातात.
10) रस्टी आणि डर्टी सर्फेसवर कार्य करते - काही आर्क वेल्डिंग टेक्निक रस्टी पेंट केलेले किंवा तेलकट मेटल वेल्ड करू शकते, ज्यामुळे अत्यधिक सर्फेसची आवश्यकता नसते.

3.5.3 इलेक्ट्रिक आर्क वेल्डिंगचे डीसऍडव्हान्टेजेस (Disadvantages of Electric Arc Welding)

1) हाय हीट अफेक्टेड झोन (HAZ) - हाय हीट मुळे विकृती आणि मेटलच्या गुणधर्मांमध्ये बदल होऊ शकतात, विशेषत: पातळ मटेरिअल.
2) कुशल ऑपरेटर आवश्यक आहेत - उच्च गुणवत्तेच्या वेल्ड्ससाठी आर्कची लांबी, करंट आणि इलेक्ट्रोडची हालचाल यांचे योग्य नियंत्रण आवश्यक आहे. अननुभव नसणारे वेल्डर कमकुवत किंवा सदोष वेल्ड तयार करू शकतात.
3) सुरक्षिततेचे धोके -यूव्ही रेडिएशन (UV Radiation), हीट आणि फ्लाईंग स्पार्क्स (Flying Spark) तयार होतात, ज्यामुळे जळणे आणि डोळ्याचे नुकसान होऊ शकते. त्यासाठी संरक्षणात्मक गियर (हेल्मेट, ग्लोव्हज, अग्निरोधक कपडे) (helmet, gloves, fire-resistant clothing) आवश्यक आहे.

4) हानिकारक फ्युम्स (Harmfull Fumes) आणि गॅस तयार करतात - आर्क वेल्डिंगमुळे हानिकारक फ्युम्स तयार होतात, (विशेषत: वेल्डिंग कोटेड किंवा गॅल्वनाइज्ड मेटल). त्यासाठी योग्य व्हेंटिलेशन (Ventilation) किंवा एक्झॉस्ट सिस्टम (Exhaust System) आवश्यक आहेत.
5) पातळ मटेरियल साठी मर्यादित - अत्यंत पातळ मेटल ज्वलन न करता वेल्ड करणे कठीण आहे. पातळ शीट्स साठी टीआयजी वेल्डिंग हा एक चांगला पर्याय आहे.
6) पोरॉसिटी आणि क्रॅकसाठी संवेदनशील (Susceptible to Porosity & Cracks)- कमकुवत वेल्डिंगमुळे, पोरॉसिटी (गॅस बबल्स) आणि क्रॅक येऊ शकतात, ज्यामुळे वेल्ड कमकुवत होते. इलेक्ट्रोड्समध्ये ओलावा किंवा गॅस कंटॅमिनेशनमुळे वेल्डिंगमध्ये दोष तयार होऊ शकतात.
7) लार्ज स्केल उत्पादनासाठी अयोग्य - ऑटोमेटेड वेल्डिंग प्रक्रियेच्या तुलनेत मॅन्युअल आर्क वेल्डिंगसाठी जास्त वेळ लागतो
8) कन्जुमेबल मटेरियल आवश्यक आहेत - इलेक्ट्रोड्स किंवा फिलर वायर वारंवार बदलले जाणे आवश्यक आहे.
9) फिल्ड वर्कसाठी मर्यादित (एमआयजी आणि टीआयजी)- गॅस शील्ड आर्क वेल्डिंग (एमआयजी/टीआयजी) गॅससाठी संवेदनशील आहे आणि शिल्डिंग गॅसचे संरक्षण आवश्यक आहे. स्टिक वेल्डिंग (एसएमडब्ल्यू) फिल्ड वर्कसाठी अधिक योग्य आहे.
10) इलेक्ट्रिक सप्लाय आवश्यकता - इलेक्ट्रिसिटी सप्लायची आवश्यकता आहे, ज्यामुळे ते रिमोट लोकशनसाठी कमी योग्य आहे.

3.5.4 इलेक्ट्रिक वेल्डिंगचे अँप्लिकेशन (Applications of Electric Welding)

1) वेल्डिंग शीट मेटलसाठी इलेक्ट्रिक वेल्डिंगचा वापर केला जातो.
2) पातळ मेटल जॉईंट करण्यासाठी या वेल्डिंगचा वापर केला जातो, ज्यात फेरस (Ferrous) आणि नॉन-फेरस (Non-Ferrous) दोन्ही समाविष्ट आहेत.
3) या वेल्डिंगचा वापर प्रेशर आणि प्रेशर व्हेसल डिझाइनमध्ये तसेच औद्योगिक पाइपवर्कमध्ये केला जातो.
4) ऑटोमोबाईल (Automobile) आणि होम फर्निशिंग (Home Furnishing) उद्योगांमध्ये देखील वापर केला जातो.
5) आर्क वेल्डिंगचा वापर वेल्डिंग मेटल्ससह विविध अँप्लिकेशनसाठी केला जातो,
6) फॅब्रिकेशन (Fabrication), दुरुस्ती आणि कंस्ट्रक्शन यासारख्या कामासाठी स्टील, स्टेनलेस स्टील, अल्युमिनियम वापरले जाते.

3.6 रेजिस्टन्स वेल्डिंग आणि इलेक्ट्रिक आर्क वेल्डिंगशी तुलना (Comparison with resistance welding and Electric Arc Welding)

पैलू (Aspect)	रेजिस्टन्स वेल्डिंग (Resistance Welding)	आर्क वेल्डिंग (Arc Welding)
हीटचे उत्पादन (Production of Heat)	रेजिस्टन्स वेल्डिंगमध्ये, मुख्यतः रेजिस्टन्समधून इलेक्ट्रिक करंट पास झाल्यामुळे हीट तयार होते.	आर्क वेल्डिंगमध्ये, इलेक्ट्रोड आणि वर्क-पीस दरम्यान तयार केलेल्या आर्क मुळे हीट तयार होते.
पावर सप्लाय (Power Supply)	सामान्यत: एसी (AC) पावर सप्लाय रेजिस्टन्स वेल्डिंगसाठी वापरला जातो.	एसी (AC) आणि डीसी (DC) दोन्ही पावर सप्लाय आर्क वेल्डिंगमध्ये वापरला जाऊ शकतो.
फिलर मटेरियलची आवश्यकता	रेजिस्टन्स वेल्डिंगमध्ये,दोन मेटल च्या तुकड्यांना जॉईंट करण्यासाठी कोणत्याही स्वरूपात कोणतीही	आर्क वेल्डिंगमध्ये, काही फिलर मेटल रॉड आवश्यक आहे जेणेकरून जॉईंट मध्ये योग्य स्ट्रेंथ मिळू शकेल.

पैलू (Aspect)	रेजिस्टन्स वेल्डिंग (Resistance Welding)	आर्क वेल्डिंग (Arc Welding)
(Requirement of Filler Material)	फिलर मटेरियल जॉईंट केली जात नाही.	
एक्सटर्नल प्रेशर आवश्यक (Requirement of External Pressure)	रेजिस्टन्स वेल्डिंगमध्ये, मेटलच्या तुकड्यांना जॉईंट करण्यासाठी एक्सटर्नल प्रेशर आवश्यक आहे.	आर्क वेल्डिंगमध्ये,एक्सटर्नल प्रेशर आवश्यक नाही. त्यामुळे उपकरणे सोपी आणि नियंत्रित करणे सोपे आहे.
इलेक्ट्रिक व्होल्टेज (Voltage)	रेजिस्टन्स वेल्डिंगसाठी खूप कमी इलेक्ट्रिक व्होल्टेज आवश्यक आहे.	आर्क वेल्डिंगच्या बाबतीत, स्ट्रायकिंग इलेक्ट्रिक व्होल्टेज (Striking Voltage) जास्त आहे. म्हणून, त्यास इलेक्ट्रिक व्होल्टेज नियंत्रणाची आवश्यकता आहे.
पॉवर फॅक्टर (Power Factor)	रेजिस्टन्स वेल्डिंगमध्ये,पॉवर फॅक्टर कमी आहे.	आर्क वेल्डिंगमध्ये,पॉवर फॅक्टर खूपच कमी आहे.
तापमान (Temperature)	रेजिस्टन्स वेल्डिंग प्रक्रियेमध्ये तापमान वाढ जास्त नाही.	आर्क वेल्डिंगमध्ये,आर्क चे तापमान खूप जास्त आहे. जर ते योग्यरित्या हाताळले गेले नाही तर ते वर्क-पीसचे नुकसान करू शकते.
स्टॅबिलिटी (Suitability)	रेजिस्टन्स वेल्डिंग उत्पादनासाठी आणि दुरुस्तीच्या कामासाठी सर्वात योग्य आहे.	आर्क वेल्डिंग दुरुस्तीच्या कामासाठी योग्य आहे. परंतु,ते उत्पादनासाठी योग्य नाही.

3.7 आधुनिक वेल्डिंग टेक्निक (Modern Welding Techniques)

आधुनिक वेल्डिंग टेक्निकने कार्यक्षमता, सुस्पष्टता आणि सामर्थ्य (efficiency, precision, and strength) सुधारून मेटलच्या जॉईन्टमध्ये क्रांती घडवून आणली आहे. लेझर बीम वेल्डिंग (Laser Beam Welding) (एलबीडब्ल्यू), इलेक्ट्रॉन बीम वेल्डिंग (Electron Beam Welding) (ईबीडब्ल्यू), फ्रिक्शन स्टिर वेल्डिंग (Friction Stir Welding) (एफएसडब्ल्यू) आणि प्लाझ्मा आर्क वेल्डिंग (Plasma Arc Welding) (पीएडब्ल्यू) यासारख्या प्रगत पद्धती हाय स्पीड ,ऑटोमेटेड आणि दोष-मुक्त वेल्डिंग देतात. रोबोटिक आणि एआय-पॉवर वेल्डिंग सिस्टम (Robotic and AI-powered welding systems), ऑटोमोटिव्ह, एरोस्पेस आणि उत्पादन उद्योगांमध्ये कन्सिसटंन्सी (Consistency) वाढवतात. कोल्ड मेटल ट्रान्सफर (Cold Metal Transfer) (सीएमटी) आणि हायब्रीड वेल्डिंग सारख्या टेक्निक हीट इनपुट आणि मटेरियलचे विकृती कमी करतात. या नवकल्पना अधिक मजबूत, अधिक टिकाऊ वेल्ड्स, वाढीव उत्पादकता आणि खर्च-प्रभावीपणा सुनिश्चित करतात,उच्च-कार्यक्षमतेसाठी आणि वेग वेगळ्या अँप्लिकेशनसाठी आधुनिक वेल्डिंग आवश्यक आहे.

3.7.1 अल्ट्रासॉनिक वेल्डिंग (Ultrasonic Welding)

अल्ट्रासॉनिक वेल्डिंग ही एक औद्योगिक प्रक्रिया आहे ज्यामध्ये वर्कपीसवर हाय फ्रिक्वेन्सी (20-40 KHz) अल्ट्रासॉनिक व्हायब्रेशन (Ultrasonic Vibrations) लागू केले जातात. हे सामान्यत: प्लास्टिक आणि मेटल विशेषत: भिन्न मटेरियल जॉईंट करण्यासाठी वापरले जाते.

हे व्हायब्रेशन मटेरिअल सर्फेसवर फ्रिक्शनल हीट (frictional heat) निर्माण करतात. प्रेशर खाली, मटेरियल न वितळता मऊ आणि फ्यूज होतात. नंतर ते एकदा थंड झाल्यावर,एक मजबूत, अखंड जॉईंट तयार होतो.

अल्ट्रासॉनिक वेल्डिंग इलेक्ट्रिक उर्जेला हाय फ्रिक्वेन्सी व्हायब्रेशनमध्ये रूपांतरित करण्यासाठी अल्ट्रासॉनिक जनरेटरचा वापर करते. ट्रान्सड्यूसर (Transducer) इलेक्ट्रिक उर्जेला मेकॅनिकल व्हायब्रेशनमध्ये रूपांतरित

करते. व्हायब्रेशन वर्कपीसकडे निर्देशित करण्यासाठी सोनोट्रोड (Sonotrod) (हॉर्न) वापरतात. मटेरियल एक जागेवर ठेवण्यासाठी अन्विल (Anvil) वापरतात.

अल्ट्रासॉनिक वेल्डिंगचे ऍडव्हान्टेजेस (Advantages of Ultrasonic Welding)

1. या वेल्डिंगला काही सेकंदच वेळ लागतो
2. या वेल्डिंगमध्ये थर्मल डॅमेज (Thermal Damage) कमी आहे
3. उच्च-गुणवत्तेची, एकसमान वेल्ड तयार होतो.
4. खर्च-प्रभावी आणि स्वच्छ. वेल्डिंग प्रक्रिया आहे
5. इलेक्ट्रॉनिक्स आणि मेडिकल (Medical) उपकरणांसाठी योग्य आहे.

अल्ट्रासॉनिक वेल्डिंगचे डीसऍडव्हान्टेजेस (Disadvantages of Ultrasonic Welding)

1. जाड मेटल साठी अयोग्य आहे.
2. उपकरणे महाग आहेत.
3. विशिष्ट प्लास्टिक आणि मेटलसह उत्कृष्ट कार्य करते.
4. मटेरियल योग्य स्तिथीत ठेवणे अवघड आहे.

अल्ट्रासॉनिक वेल्डिंगचे अँप्लिकेशन (Applications of Ultrasonic Welding)

1. ऑटोमोटिव्ह उद्योग - वेल्डिंग प्लास्टिकचे भाग,वायरिंग आणि सेन्सरमध्ये वापरला जातो.
2. मेडिकल उद्योग - सर्जिकल टूल्स,कॅथेटर आणि आयव्ही फिल्टर्समध्ये (Surgical tools, Catheters, and IV filters) वापरला जातो.
3. इलेक्ट्रॉनिक्स उद्योग - बाँडिंग सर्किट बोर्ड, बॅटरी टर्मिनल आणि सेन्सरमध्ये (Bonding circuit boards, battery terminals, and sensors) वापरला जातो.
4. पॅकेजिंग उद्योग - सीलिंग ब्लिस्टर पॅक,फूड पॅकेजिंग आणि कंटेनर मध्ये (Sealing blister packs, food packaging, and containers) वापरला जातो.

3.7.2 लेझर वेल्डिंग (Laser Welding)

लेझर वेल्डिंग (लेझर बीम वेल्डिंग किंवा एलबीडब्ल्यू) एक प्रगत वेल्डिंग टेक्निक आहे ज्यात मटेरियल जॉईंट करण्यासाठी हाय एनर्जी लेझर बीमचा (High-Energy Laser Beam) वापर केला जातो. ही प्रक्रिया अचूक, वेगवान आणि हाय स्ट्रेंथ वेल्ड तयार करते. लेझर वेल्डिंगचा वापर ऑटोमोटिव्ह, एरोस्पेस, मेडिकल आणि इलेक्ट्रॉनिक्स उद्योगांमध्ये (Automotive, Aerospace, Medical, and Electronics Industries) त्याच्या अचूकतेसाठी आणि कार्यक्षमतेसाठी केला जातो.

लेझरचे संक्षिप्त रुप म्हणजे "लाईट अँप्लिफिकेशन बाय स्टिम्युलेटेड एमिशन ऑफ रेडिएशन" (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation). लेझर हे रेझोनंट इफेक्टवर (Resonant Effects) कार्य करतात.

लेझर वेल्डिंग ही वितळू शकणाऱ्या आणि रेझोलीडीफाय (Resolidify) होऊ शकणाऱ्या कोणत्याही मटेरियलवर वापरली जाऊ शकते. याचा उपयोग ॲल्युमिनियम, कॉपर आणि स्टेनलेस स्टील सारख्या मेटलसाठीच नाही तर विशिष्ट प्रकारच्या थर्माप्लास्टिक, ग्लास आणि कंपोझिटस (Thermoplastics, Glasses, and Composites) आणि इतर मटेरियलसाठी देखील केला जातो.

प्रामुख्याने त्यांच्या प्रगत टेक्निक आणि क्षमतांमुळे पारंपारिक वेल्डिंग मशीनच्या तुलनेत लेझर वेल्डिंग महाग आहे. प्रारंभिक खर्च (Initial Cost) जास्त असतो, परंतु वेल्डरच्या वाढीव कार्यक्षमता, कमी खर्च यामुळे ते बऱ्याचदा ऑफसेट (Offset) केले जातात.

लेझर वेल्डिंगसह काम करताना, तयार होणाऱ्या तीव्र लाईटमुळे डोळे आणि त्वचेचे गंभीर नुकसान होऊ शकते. कर्मचाऱ्यांची सुरक्षा सुनिश्चित करण्यासाठी, योग्य पर्सनल प्रोटेक्टिव्ह गियर (Personal Protective Gear) (PPE) पुरवणे महत्त्वपूर्ण आहे,

काच, क्रिस्टल किंवा गॅस सारख्या ऑप्टिकल मटेरियलच्या ऍटममध्ये इलेक्ट्रॉन इलेक्ट्रिक करंट किंवा लाईटमधून उर्जा शोषली जाते तेव्हा एक लेझर तयार केला जातो. ती अतिरिक्त उर्जा ऍटमच्या मध्यवर्ती भागाच्या आसपासच्या कमी-उर्जा कक्षापासून उच्च-उर्जा कक्षेत जाण्यासाठी पुरेसे इलेक्ट्रॉनांना उत्तेजित करते.

अल्ट्राव्हायोलेट लेझर (Ultraviolet lasers):

सर्वात मजबूत अल्ट्राव्हायोलेट लाईन वेव्हलेन्थ (wavelength) 337.1 mm आणि 357.6 mm इतकी आहे. हाय-पॉवर गॅस लेझर चा आणखी एक प्रकार म्हणजे एक्झिमर (Excimer) लेझर. ते अल्ट्राव्हायोलेट आणि व्हॅक्यूम अल्ट्राव्हायोलेट वेव्हलेन्थ (Ultraviolet and vacuum ultraviolet) रेंजमध्ये उत्सर्जित करणारे लेझर मोठ्या प्रमाणात वापरले जातात.

लेझर वेल्डिंगचे ऍडव्हान्टेजेस (Advantages of Laser Welding)

1. उच्च सुस्पष्टता (High Precision)- मायक्रो वेल्डिंग (micro-welding) आणि गुंतागुंतीच्या डिझाइनसाठी योग्य.
2. कमीतकमी हीट अफेक्टेड झोन (एचएझेड) - वेल्डिंगची विकृती कमी करते.
3. हाय स्पीड वेल्डिंग - मोठ्या प्रमाणात उत्पादनात उत्पादकता वाढवते.
4. नॉन कॉन्टॅक्ट प्रक्रिया (Non-Contact Process)-इलेक्ट्रोड्स किंवा मटेरिअलवर कोणतेही आवरण नाही.
5. विविध मटेरियलसह कार्य - मेटल, प्लास्टिक आणि सिरेमिकसाठी योग्य

लेझर वेल्डिंगचे डीसऍडव्हान्टेजेस (Disadvantages of Laser Welding)

1. उच्च प्रारंभिक किंमत - लेझर उपकरणे महाग आहेत.
2. कुशल ऑपरेटर आवश्यक आहेत आणि सुस्पष्टता महत्त्वपूर्ण आहे.
3. जॉईंटची जाडी मर्यादित- अत्यंत जाड मटेरिअलसाठी ही वेल्डिंग कमी प्रभावी आहे.
4. सेफ्टी हझार्ड (Safety Hazards)- तीव्र लेझर रेडिएशनसाठी संरक्षणात्मक उपाय आवश्यक आहेत.

लेझर वेल्डिंगचे अँप्लिकेशन (Applications of Laser Welding)

1. ऑटोमोटिव्ह उद्योग - वेल्डिंग बॉडी पॅनेल्स, बॅटरी आणि इंजिन घटक (Welding body panels, batteries, and engine components).
2. एरोस्पेस उद्योग - फ्युएल टँक, टर्बाइन ब्लेड आणि एअर क्राफ्ट स्ट्रक्चरसाठी (fuel tanks, turbine blades, and aircraft structures) वापरला जातो.
3. मेडिकल उद्योग-शल्यक्रिया साधने,रोपण आणि सूक्ष्म घटकांचे (surgical tools, implants, and micro-components) वेल्डिंग.

4. इलेक्ट्रॉनिक्स उद्योग - सर्किट बोर्ड,सेन्सर आणि नाजूक घटकांमध्ये (circuit boards, sensors, and delicate components) सामील होणे.
5. दागिने आणि अचूक अभियांत्रिकी - सूक्ष्म आणि गुंतागुंतीच्या मेटलना जॉईंट करण्यासाठी वापरले जाते.

3.7.3 अंडर वॉटर वेल्डिंग (Under Water Welding)

अंडर वॉटर वेल्डिंग ही एक विशिष्ट वेल्डिंग प्रक्रिया आहे जी पाण्याखालील संरचना दुरुस्त करण्यासाठी आणि बांधण्यासाठी वापरली जाते. ही सागरी, किनारपट्टी आणि पाण्याखालील (marine, offshore, and underwater pipeline industries) पाइपलाइन उद्योगांमध्ये मोठ्या प्रमाणात वापरले जाते. ही प्रक्रियेत जहाजे, ऑइल रिग्स आणि सबमर्ज पाइपलाइन दुरुस्ती टेक्निकसह स्कूबा डायव्हिंग (Scuba Diving) चा समावेश होतो.

हायपरबेरिक वेल्डिंग ही एलिव्हेटेड प्रेशरवर काम करणारी वेल्डिंग प्रक्रिया आहे, सामान्यत: ही प्रक्रिया पाण्याखाली ड्राय आणि प्रेशर चेंबरमध्ये होते

अंडर वॉटर वेल्डिंगचे दोन प्रकार आहेत

वेट वेल्डिंग (Wet Welding)

1. ही प्रक्रिया कोणत्याही एन्क्लोजरशिवाय (enclouser) थेट पाण्यात केली जाते.
2. यात वॉटरप्रूफ इलेक्ट्रोड वापरले जातात. इलेक्ट्रोड आणि वर्कपीस दरम्यान इलेक्ट्रिक आर्क तयार होते.
3. आजूबाजूचे पाणी वेल्डला वेगाने थंड करते, ज्यामुळे कडकपणा आणि क्रॅक होण्याचा धोका वाढतो.
4. ऍडव्हान्टेजेस: क्विक सेटअप, कमी किंमत आणि ही वेल्डिंग जास्त खोल पाण्यात करता येते.
5. डीसऍडव्हान्टेजेस: इलेक्ट्रिक शॉक, हायड्रोजन प्रेशर (Electric shock, hydrogen embrittlement) आणि खराब वेल्ड गुणवत्तेचा धोका.

ड्राय वेल्डिंग (हायपरबेरिक वेल्डिंग) Dry Welding (Hyperbaric Welding)

1. ही वेल्डिंग प्रक्रिया गॅसने भरलेल्या कोरड्या चेंबरमध्ये, वेल्डिंग क्षेत्रापासून पाणी काढण्यासाठी केली जाते.
2. वेल्डर चेंबरमध्ये जमीनीवर असलेल्या आर्क वेल्डिंग तंत्राचा वापर करून काम करतो.
3. ऍडव्हान्टेजेस: उच्च-गुणवत्तेचे वेल्ड, चांग ली व्हिजिबिलिटी (visibility) आणि वेल्डरसाठी ही वेल्डिंग प्रक्रिया अधिक सुरक्षित आहे.
4. डीसऍडव्हान्टेजेस: सेटअप ची कॉस्ट जास्त आहे, मर्यादित गतिशीलता आणि वेळ घेणारी प्रक्रिया आहे.

अंडर वॉटर वेल्डिंगचे ऍडव्हान्टेजेस (Advantages of Underwater Welding)

1. सागरी आणि ऑफशोअर दुरुस्तीसाठी आवश्यक- सबमर्ज संरचनेची दुरुस्ती सक्षम करते.
2. आपत्कालीन दुरुस्तीसाठी खर्च जास्त आहे - यासाठी वेल्डिंग रचना पाण्याबाहेर काढण्याची गरज नाही.
3. सर्वप्रकारच्या अप्लिकेशन साठी योग्य- जहाज देखभाल, पाइपलाइन आणि अंडरवॉटर कन्स्ट्रक्शनमध्ये वापरली जाते.
4. वेल्डिंग पाण्यात खोलवर केली जाऊ शकते-खोल समुद्रात ऑइलच्या रिग्स आणि पुलांसाठी (bridges) योग्य आहे.

अंडर वॉटर वेल्डिंगचे डीसएॅडव्हान्टेजेस (Disadvantages of Underwater Welding)

1. वेल्डरसाठी हाय रिस्क (High Risk) - इलेक्ट्रिक शॉक (Electric shock), विघटन, (decompression) आणि बुडण्याचे धोके.
2. खराब वेल्ड गुणवत्ता (ओले वेल्डिंग) - वेगवान कुलिंगमुळे (Cooling) क्रॅकिंग आणि पोर्सिटी (cracking and porosity) तयार होते.
3. महाग उपकरणे आणि प्रशिक्षण - अत्यंत कुशल व्यावसायिक आवश्यक आहेत.
4. मर्यादित व्हिसिबिलीटी (Visibility) - पाण्याचे अशांतता अचूकता (Accuracy) आणि कार्यक्षमता (Efficiency) कमी करते.

अंडर वॉटर वेल्डिंगचे ॲप्लिकेशन (Applications of Underwater Welding)

1. जहाज देखभाल आणि दुरुस्ती - फिक्सिंग हल, प्रोपेलर्स आणि रुडर्स (Fixing hull damage, propellers, and rudders)
2. ऑफशोर ऑइल रिग्स आणि प्लॅटफॉर्म - पाइपलाइन, प्लॅटफॉर्म आणि स्ट्रक्चरल सपोर्ट दुरुस्त करणे.
3. पूल आणि धरणे (Bridges & Dams)- वेल्डिंग आणि अंडरवॉटर इन्फ्रास्ट्रक्चरला मजबुत करणे.
4. पाणबुडी आणि नौदल दुरुस्ती (Submarine & Naval Repairs) -पाणबुडीची आपत्कालीन आणि नियमित देखभाल.

3.7.4 आयजीबीटी नियंत्रित वेल्डिंग (IGBT controlled wielding)

आयजीबीटी इन्व्हर्टर टेक्निक एसी पावर सप्लायला रेक्टिफायरद्वारे (Rectifier) डीसी पावर सप्लाय मध्ये रूपांतरित करून कार्य करते. नंतर आयजीबीटी ट्रान्झिस्टरचा (IGBT transistors) वापर डीसी पावर सप्लायचे पुन्हा हाय फ्रिक्वेन्सी एसी इलेक्ट्रिक करंटमध्ये रूपांतर करण्यासाठी केला जातो. नंतर हा हाय - फ्रिक्वेन्सी करंट, वेल्डिंग अप्लिकेशन साठी वापरला जातो

या वेल्डिंग प्रक्रियेत व्होल्टेज नियंत्रित करण्यासाठी आयजीबीटी चा वापर करून वेल्डिंगसाठी हाय फ्रिक्वेन्सी एसी करंट तयार केला जातो. आयजीबीटी हे एक सेमीकंडक्टर डिव्हाइस (Eemiconductor device) आहे जे मॉस्फेटच्या (MOSFET) स्विचिंग वेगास (Switching Speed) बायपोलार ट्रान्झिस्टरच्या (Bipolar Transistor) हाय- व्होल्टेज आणि हाय-करंटसह जॉईंट करतात.

आयजीबीटी नियंत्रित वेल्डिंग हे एक प्रगत वेल्डिंग टेक्निक आहे जे इलेक्ट्रिक करंट नियंत्रित करण्यासाठी आयजीबीटी-आधारित इनव्हर्टर वापरते. हे पावर कंझमशन (Power Consumption)

करताना वेल्डिंग ऑपरेशन्समध्ये कार्यक्षमता, स्थिरता आणि सुस्पष्टता (Efficiency, Stability, and Precision) वाढवते.

आयजीबीटी नियंत्रित वेल्डिंगचे प्रिंसिपल (Principle of IGBT Controlled Welding)

1. आयजीबीटी वेगवान इलेक्ट्रॉनिक स्विच (Electronic switch) म्हणून कार्य करते आणि वेल्डिंग आर्कचा पावर सप्लाय नियंत्रित करते.
2. वेल्डिंग मशीन एसीला डीसीमध्ये रूपांतरित करते, त्यानंतर वेल्डिंग करंट नियंत्रित करण्यासाठी आयजीबीटी इन्व्हर्टर टेक्निक वापरते.
3. हाय फ्रिक्वेन्सी स्विचिंग (सामान्यत: 20-50KHz) चांगली आर्क स्थिरता (Stability) आणि कार्यक्षमता प्रदान करते.
4. इलेक्ट्रिक व्होल्टेज, करंट आणि हीट इनपुट सारख्या वेल्डिंग पॅरामीटर्सचे अचूक नियंत्रण करते.

आयजीबीटी नियंत्रित वेल्डिंगचे ऍडव्हान्टेजेस (Advantages of IGBT Controlled Welding)

1. ऊर्जा कार्यक्षम (Energy Efficient)- पारंपारिक ट्रान्सफॉर्मर्सच्या तुलनेत वीज वापर कमी होतो.
2. लाइटवेट आणि कॉम्पॅक्ट (Lightweight & Compact) -इन्व्हर्टर-आधारित डिझाइन मशीन लहान आणि पोर्टेबल बनवते.
3. स्थिर आणि सातत्यपूर्ण आर्क (Stable & Consistent Arc) - उच्च-गुणवत्तेच्या वेल्ड्ससाठी एक स्मूथ (Smooth) आणि नियंत्रित आर्क प्रदान करते.
4. अचूक नियंत्रण **(Precise Control)** - वेल्डिंग पॅरामीटर्स वेल्डची अचूकता वाढवतात.
5. कमी हीट निर्मिती - इलेक्ट्रॉनिक घटकांवरचा थर्मल स्ट्रेस कमी करतात.
6. एमआयजी, टीआयजी, एमएमए (स्टिक) आणि प्लाझ्मा वेल्डिंगसाठी योग्य - एकाधिक वेल्डिंग प्रकारां साठी सुटेबल **)Suitable)** आहे.

आयजीबीटी नियंत्रित वेल्डिंगचे डीसऍडव्हान्टेजेस (Disadvantages of IGBT Controlled Welding)

1. जास्त प्रारंभिक किंमत - पारंपारिक वेल्डिंग मशीनपेक्षा अधिक महाग.
2. इलेक्ट्रिक व्होल्टेज फ्लक्चुएशन **(Voltage Fluctuations)** - योग्य इलेक्ट्रिक प्रोटेक्शन ची **(electrical protection)** आवश्यकता आहे.
3. कॉम्प्लेक्स सर्किटरी **(Complex Circuitry)-** कंम्पोनन्ट्ससाठी (components) अधिक देखभाल आवश्यक.
4. कुशल ऑपरेटर आवश्यक आहेत - प्रगत कार्यक्षमतेसाठी कुशल ऑपरेटरची आवश्यकता आहे.

आयजीबीटी नियंत्रित वेल्डिंगचे अँप्लिकेशन (Applications of IGBT Controlled Welding)

1. ऑटोमोटिव्ह उद्योग - कार बॉडी फॅब्रिकेशन (Car body fabrication) आणि चेसिस वेल्डिंगमध्ये (Chassis welding) वापरली जाते.
2. एरोस्पेस उद्योग **(Aerospace Industry)-** विमानाच्या संरचनेसाठी योग्य वेल्डिंग.
3. जहाज बांधणी आणि सागरी उद्योग - मोठ्या मेटलच्या वेल्डिंगसाठी कार्यक्षम.
4. बांधकाम आणि पायाभूत सुविधा - वेल्डिंग पाइपलाइन, पूल आणि स्टील स्ट्रक्चर्ससाठी आदर्श वेल्डिंग.
5. मॅन्युफॅक्चरिंग इंडस्ट्री (Manufacturing Industry)- रोबोटिक आणि स्वयंचलित वेल्डिंग सिस्टममध्ये वापरली जाते.

नमुना प्रश्न (Sample Numericals)

1) इलेक्ट्रिक वेल्डिंग म्हणजे काय?
2) इलेक्ट्रिक वेल्डिंगचे मुख्य प्रकार कोणते आहेत?
3) रेजिस्टन्स वेल्डिंगचे प्रिंसिपल सांगा.
4) इलेक्ट्रिक आर्क वेल्डिंगचे विविध प्रकार काय आहेत?
5) रेजिस्टन्स वेल्डिंगचे विविध प्रकार काय आहेत?
6) भिन्न आधुनिक वेल्डिंग तंत्र काय आहेत?
7) अल्ट्रासॉनिक वेल्डिंगचे ऍडव्हान्टेजेस द्या.
8) स्पॉट वेल्डिंगचे काम स्पष्ट करा.
9) इलेक्ट्रिक वेल्डिंगचे ऍडव्हान्टेजेस आणि डीसऍडव्हान्टेजेस
10) इलेक्ट्रिक आर्क वेल्डिंगसह रेजिस्टन्स वेल्डिंगची तुलना करा.
11) प्रोजेक्शन वेल्डिंग प्रक्रिया स्पष्ट करा.

12) आयजीबीटी नियंत्रित वेल्डिंग स्पष्ट करा. ऍडव्हान्टेजेस आणि डीसऍडव्हान्टेजेस द्या.
13) इलेक्ट्रिक आर्क वेल्डिंगचे ऍडव्हान्टेजेस आणि डीसऍडव्हान्टेजेस द्या.
14) इलेक्ट्रिक आर्कची वैशिष्ट्ये सांगा.
15) अंडर वॉटर वेल्डिंगचे काम स्पष्ट करा.

Unit - 4 Electric Drive
युनिट - 4 इलेक्ट्रिक ड्राईव्ह

विषय निष्पत्ती (Course level learning outcome - CO's):
CO 4 – विशिष्ट ॲप्लिकेशनसाठी (application) योग्य इलेक्ट्रिक ड्राईव्हची निवड करा.

घटक निष्पत्ती (**Theory Learning Outcome- TLO's**):

1. दिलेल्या प्रकारच्या इलेक्ट्रिक ड्राईव्हमधील (Electric Drive) महत्त्वपूर्ण वैशिष्ट्यांमधील फरक ओळखा.
2. दिलेल्या ॲप्लिकेशनसाठी (application) योग्य मोटर सुचवा आणि त्यासाठी योग्य कारण द्या.
3. दिलेल्या ॲटमोस्फेरिक कंडीशन साठी (atmospheric condition) योग्य एन्क्लोजर (enclosure) निवडा आणि त्यासाठी कारण द्या.
4. दिलेल्या ॲप्लिकेशनसाठी (application) इलेक्ट्रिक मोटरच्या पॉवर ट्रान्समिशन (Motor power transmission) ड्राईव्हची निवड करा आणि कारण द्या.
5. दिलेल्या लोड सायकल (load cycle) साठी योग्य मोटर साईज (size) आणि रेटिंग (rating) अंदाजे ठरवा.
6. दिलेल्या ॲप्लिकेशन साठी योग्य इलेव्हेटर्स (लिफ्ट) (lift) मशीन आणि इलेक्ट्रिक मोटर (Electric motor) निवडा आणि त्यासाठी योग्य कारण द्या.
7. दिलेल्या इलेक्ट्रिक ड्राईव्ह (Electric Drives) आणि लिफ्टची देखभाल करण्याची प्रक्रिया स्पष्ट करा.

4.1 इलेक्ट्रिक ड्राईव्हस् (Electric Drives): संकल्पना आणि इलेक्ट्रिक मोटरच्या निवडीसाठी महत्त्वाचे फॅक्टर (Electric drives: Concept, factors governing selection of electric drives (motor).

4.1.1 संकल्पना (Concept):

ड्राईव्ह (Drive): ड्राईव्ह म्हणजे असे यंत्र आहे जे मशीनला मेकॅनिकल एनर्जी पुरवते. ड्राईव्हचे मुख्य प्रकार पुढीलप्रमाणे आहेत:

a) डीझेल इंजिन ड्राईव्ह (Diesel Engine Drive)
b) इलेक्ट्रिक ड्राईव्ह (Electric Drive)

इलेक्ट्रिक ड्राईव्ह (Electric Drive): इलेक्ट्रिक ड्राईव्ह ही एक मशीन इक्युपमेंट सिस्टीम आहे जी इलेक्ट्रिकल एनर्जीला मेकॅनिकल एनर्जीमध्ये रूपांतरित करते आणि या प्रक्रियेचे इलेक्ट्रिकल कंट्रोल (Electrical control) प्रोव्हाइड करते.

4.1.2 इलेक्ट्रिक मोटरच्या सिलेक्शनसाठी महत्त्वाचे फॅक्टर (Factors governing selection of electric motors):

इलेक्ट्रिक ड्राईव्हची मूलभूत घटकांमध्ये इलेक्ट्रिक मोटर (electric motors), ट्रान्समिशन आणि इलेक्ट्रिकल कंट्रोल सिस्टीम यांचा समावेश होतो. इलेक्ट्रिक ड्राईव्ह त्याच्या सिंपल , इझी आणि स्मूथ कंट्रोल (smooth control), रीलायाबिलीटी (reliability) आणि लाँग लाईफ (long life) यामुळे अधिक लोकप्रिय होत आहे. आजकाल वेगवेगळ्या प्रकारच्या मोटारी उपलब्ध असून, त्यांच्या वेगवेगळ्या वैशिष्ट्यांमुळे आपण आपल्या आवश्यकतेनुसार योग्य मोटर निवडली पाहिजे. मोटर निवडताना खालील फॅक्टर विचारात घेतले जातात:

1. इलेक्ट्रिक सप्लायचे स्वरूप (Nature of the Electric Supply)

उपलब्ध इलेक्ट्रिक सप्लाय थ्री फेज ए.सी. (3-Phase A.C.), सिंगल फेज ए.सी. (Single Phase A.C.) किंवा डी.सी. (D.C.) असू शकतो.

थ्री फेज ए.सी. (three phase AC) सप्लायसाठी:

1. कमी क्षमतेसाठी स्किरल केज इंडक्शन मोटर्स (squirrel cage type for small ratings)
2. उच्च क्षमतेसाठी स्लिप रिंग इंडक्शन मोटर्स (for higher ratings)
3. स्पीड (speed) बदलण्याची आवश्यकता असेल तर पोल बदलणाऱ्या मोटर्स (pole changing motors) किंवा स्टेप्ड पुली (stepped pulleys) असलेल्या मोटर्स वापरल्या जातात.
4. अचूक स्पीड नियंत्रण आवश्यक असेल तर शेझ्री मोटर्स/एस-चार्ज (Scharge Motors) वापरल्या जातात.

सिंगल फेज मोटर्स (single phase motors):

मुख्यतः लाईट लोडसाठी वापर होतो कारण त्यांची आउटपुट क्षमता मर्यादित असते.

डी.सी. मोटर्स (DC motors) या ए.सी. मोटर्सइतक्या प्रमाणात जास्त वापरल्या जात नाहीत कारण:

1. ए.सी. सप्लाय ला डी.सी. सप्लाय मध्ये बदलण्यासाठी अतिरिक्त उपकरणांची आवश्यकता असते.
2. डी.सी. मोटर्समध्ये कम्युटेटर्स (commutators) असतात, त्यामुळे स्पार्किंग (sparking) ब्रश घासणे (brush wear), आर्किंग आणि वातावरणातील मोईश्चर (moisture) व धोकादायक वायूंमुळे (destructive fumes) समस्या निर्माण होतात.
3. डी.सी. मोटर्स महागड्या असतात आणि त्यांचा मेंटेनन्स (maintenance) जास्त असतो.

तरीही, इलेक्ट्रिक एक्स्कॅलेटर (Escalator), स्टील मिल्स (steel mills) आणि क्रेन (crane) सारख्या ॲप्लिकेशन मध्ये वेग नियंत्रण महत्त्वाचे असल्यामुळे डी.सी. सप्लाय वापरला जातो.

2. ड्राईव्हचा प्रकार (Type of Drive)

ड्राईव्हचे प्रकार आणि त्यासाठी आवश्यक असलेल्या मोटर्सनुसार योग्य ड्राईव्ह निवडला जातो.

3. लोडचे स्वरूप (Nature of Load)

लोड कंट्युनीअस (Continuous), इंटरमिटंट (intermittent), किंवा व्हेरियेबल्स लोड असू शकतात यावर आधारित मोटरची निवड केली जाते.

4. इलेक्ट्रिकल (विद्युत) कॅरेक्टरीक्सस्टिकस (Electrical Characteristics)

a) ऑपरेटिंग किंवा चालू स्थितीतील कॅरेक्टरीक्सस्टिकस
b) सुरुवातीचे कॅरेक्टरीक्सस्टिकस (Starting Characteristics)
c) स्पीड कंट्रोल (Speed Control)
d) ब्रेकिंग कॅरेक्टरीक्सस्टिकस (Braking Characteristics)

5. मेकॅनिकल (यांत्रिक) बाबी (Mechanical Considerations)

a) एन्क्लोजरचा प्रकार (Type of Enclosures)
b) बिअरिंगचा प्रकार (Type of Bearings)
c) ट्रान्समिशन प्रकार (Type of Transmission for Drive)
d) नॉइज लेव्हल (Noise Level)
e) हीटिंग आणि कूलिंग टाइम कॉन्स्टंट (Heating and Cooling Time Constants)

6. सर्व्हिस कॅपॅसिटी (क्षमता) आणि रेटिंग (Service Capacity and Rating)

a) कंट्युनीअस ड्यूटी (continuous), इंटरमिटंट (intermittent), व्हेरिएबल (variable), लोड सायकलसाठी आवश्यक (कॅपॅसिटी)

b) ओव्हरलोड कॅपॅसिटी (capacity) आणि पुल-आउट टॉर्क (pullout torque)

7. ॲपिअरन्स (Appearance)

यंत्राचे स्वरूप, डिझाईन आणि मजबुती विचारात घेतली जाते.

8. कॉस्ट (Cost)

a) प्रारंभिक कॉस्ट (Capital or Initial Cost)

b) रनिंग कॉस्ट (Running Cost)

वरील सर्व फॅक्टरचा इलेक्ट्रिक मोटर सिलेक्शन करताना विचार केला जातो.

2. इलेक्ट्रिक ड्राईव्हचे प्रकार:

उद्योगांमध्ये वापरल्या जाणाऱ्या इलेक्ट्रिक ड्राईव्हचे तीन मेन प्रकार आहेत:

(1) ग्रुप ड्राईव्ह (Group Drive)

(2) ईंडीव्हीज्युअल ड्राईव्ह (Individual Drive)

(3) मल्टी-मोटर ड्राईव्ह (Multi-Motor Drive)

(1) ग्रुप ड्राईव्ह (Group Drive):

ग्रुप ड्राईव्हमध्ये एका सिंगल इलेक्ट्रिक मोटरद्वारे अनेक छोट्या मशीन चालवल्या जातात.

यामध्ये एक लेंदी शाफ्ट (lengthy shaft) असतो, ज्यावर विविध मशीन पुली (Pulleys) आणि कन्व्हेयर बेल्ट्स (Conveyor Belts) च्या साहाय्याने जोडली जातात.ग्रुप ड्राईव्हला "लाईन शाफ्ट ड्राईव्ह" (Line Shaft Drive) असेही म्हणतात.

हे प्रामुख्याने कार मॅनुफॅक्चरिंग इंडस्ट्रीज (Car Manufacturing Industries) किंवा ज्या ठिकाणी सक्सेसिव्ह ऑपरेशन प्रोसेस (successive operations) आवश्यक असलेल्या उद्योगांमध्ये वापरले जाते.

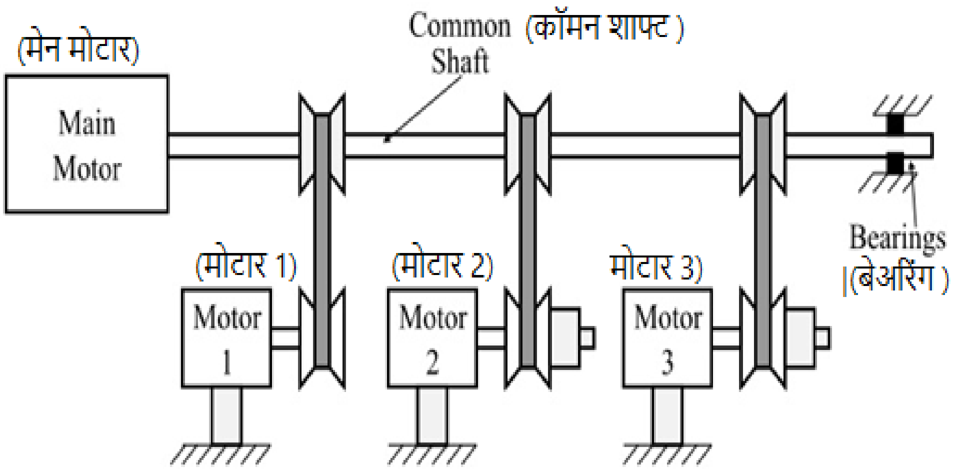


Figure 4.1 ग्रुप ड्राईव्ह (Group Drive)

ग्रुप ड्राईव्हचे ऍडव्हान्टेजेस (Advantages of Group Drive):

1) लो कॉस्ट : एका हाय कॅपॅसिटीच्या (High Capacity) मशीनद्वारे अनेक मशीन चालवता येतात, त्यामुळे अनेक लहान क्षमतेच्या मोटारींपेक्षा एकच हाय कॅपॅसिटी मोटारचा खर्च लागतो . उदा. एक 10HP मोटार घेतल्यास ती 10 वेगवेगळ्या 10× 1HP मोटारींपेक्षा स्वस्त मिळते.
2) स्पीड कंट्रोल फॅसिलिटी (Speed control facility): स्पीड वेगवेगळ्या व्यासाच्या पुली (Pulleys) वापरून वेगवेगळे स्पीड (Speed) मिळवता येतात.

ग्रुप ड्राईव्हचे डीसऍडव्हान्टेजेस (Disadvantages of Group Drive):

1) ईंडीव्हीज्युअल मशीन (individual machine) चा स्टेप पुली (Stepped Pulleys) आणि बेल्ट्स वापरून स्पीड कंट्रोल करणे डिफीकल्ट (difficult) आहे.
2) गुड अँपिअरन्स (good appearance) आणि ओपरेटसाठी कमी सेफ (less safe to operate): लाँग शाफ्ट, पुली आणि बेल्ट्समुळे मशीनचा अपिअरन्स बिघडतो आणि सेफ्टीचा धोका वाढतो.
3) अतिरिक्त मशीन बसवण्याची मर्यादा: विद्यमान सिस्टीम मध्ये नवीन मशीन जोडण्याची क्षमता मर्यादित असते.
4) लो ओपरेशन इफ़िशिअन्शी (operation efficiency): जर काही मशिन विशिष्ट वेळी चालू नसतील, तर मोटर कमी क्षमतेने चालते आणि परिणामी इफ़िशिअन्शी (कार्यक्षमता) कमी होते.
5) मेन मशीनमध्ये फॉल्ट (fault) झाल्यास सर्व यंत्रणेवर परिणाम होऊन संपूर्ण ऑपरेशन थांबते.

(2) ईंडीव्हीज्युअल (वैयक्तिक) ड्राईव्ह (Individual Drive):

या ड्राईव्हमध्ये प्रत्येक मशीनसाठी स्वतंत्र मोटार वापरली जाते. म्हणजेच, प्रत्येक काम करणाऱ्या मशीनला स्वतःची वेगळी मुख्य मोटर असते.

उदाहरणे: सिंगल-स्पिंडल ड्रिलिंग मशीन (Single-Spindle Drilling Machine), इलेक्ट्रिकल हँड टूल्स (Electrical Hand Tools), साध्या प्रकारच्या मेटल वर्किंग टूल्स (Metal Working Tools) इत्यादी.

ईंडीव्हीज्युअल ड्राईव्हचे ऍडव्हान्टेजेस (Advantages of Individual Drive):

1) स्थापना (Installation) सोपी आणि सोयीस्कर असते.
2) मुख्य मशीनमध्ये बिघाड झाल्यास संपूर्ण यंत्रणेला फटका बसत नाही, कारण प्रत्येक मशीन स्वतंत्र असते.
3) प्रत्येक मशीन त्याच्या निर्धारित क्षमतेवर (Rated Capacity) कार्य करू शकते.
4) प्रत्येक मशीनला स्वतंत्र कंट्रोल मिळते, त्यामुळे आवश्यक स्पीड आणि ऑपरेशन सहज साध्य करता येते.
5) मशीनला सोयीस्कर ठिकाणी बसवता येते, त्यामुळे जागेचा योग्य उपयोग करता येतो.

ईंडीव्हीज्युअल ड्राईव्हचे डीसऍडव्हान्टेजेस (Disadvantages of Individual Drive):

1) खर्च जास्त: प्रत्येक मशीनसाठी स्वतंत्र मोटार बसवावी लागते, त्यामुळे हा प्रकार महागडा पडतो.
2) जास्त जागेची गरज: कारण प्रत्येक मशीनसाठी स्वतंत्र मुख्य मशीन (Main Motor) असते.

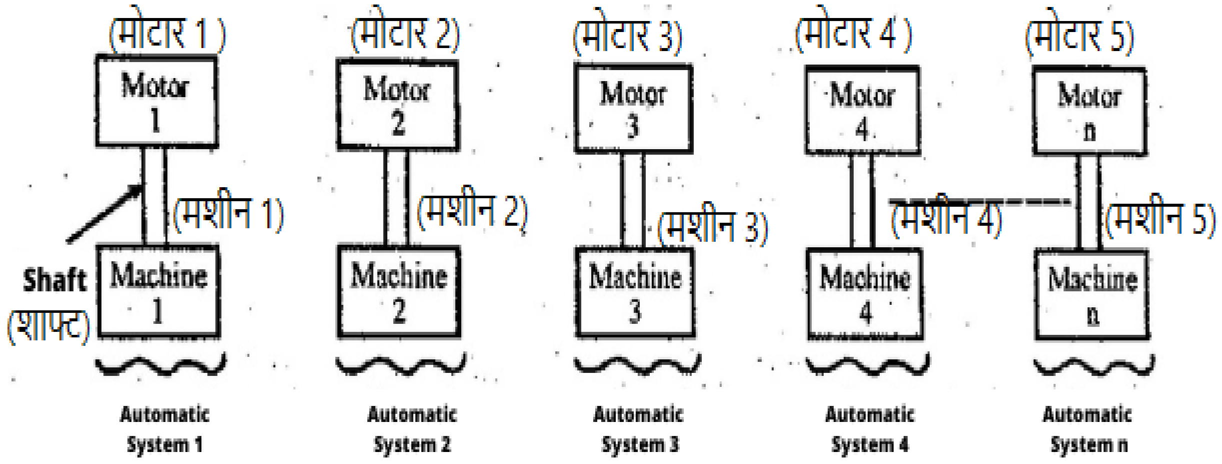


Figure 4.2 ईंडीव्हीज्युअल ड्राईव्ह (Individual Drive)

(3) मल्टीमोटर ड्राईव्ह (Multimotor Drive):

मल्टीमोटर ड्राईव्हमध्ये एकाच सिस्टीम मध्ये अनेक स्वतंत्र मोटारी असतात, ज्या विविध कार्यरत भागांना वेगवेगळे ऑपरेशन करण्यासाठी पॉवर पुरवतात.

मल्टीमोटर ड्राईव्हचे कॅरेक्टरीक्सस्टिकस:

1) हे अनेक स्वतंत्र ड्राईव्ह्सचे संयोजन (combination) असते.
2) एका विशिष्ट कार्यासाठी (Special Work) अनेक वेगवेगळ्या मोटारींचा वापर केला जातो.
3) संपूर्ण प्रक्रियेतील विविध ऑपरेशन्स स्वतंत्रपणे चालवता येतात.

उदाहरण: क्रेन (Crane) ऑपरेशन:

क्रेन चालवण्यासाठी वेगवेगळ्या ऑपरेशन्ससाठी वेगवेगळ्या मोटार लागतात.

उदा. हुक उचलण्यासाठी एक मोटर,बूम (boom) हलवण्यासाठी दुसरी वेगळी मोटर, क्रेन (crane) रोटेट करण्यासाठी तिसरी मोटर

मल्टीमोटर ड्राईव्हचे ॲडव्हान्टेजेस (Advantages):

1) प्रत्येक मोटर स्वतंत्रपणे कार्य करते: प्रत्येक ऑपरेशनसाठी स्वतंत्र मोटर असल्यामुळे नियंत्रण अधिक चांगले मिळते.
2) उच्च कार्यक्षमता: फक्त आवश्यक त्या मोटारींना ऊर्जा पुरवली जाते, त्यामुळे ऊर्जेचा अपव्यय कमी होतो.
3) देखभाल सोपी: एखादी मोटर बिघडल्यास फक्त तेवढ्या भागावर परिणाम होतो, संपूर्ण सिस्टीम ठप्प होत नाही.

मल्टीमोटर ड्राईव्हचे डीसॲडव्हान्टेजेस (Disadvantages):

1) उच्च खर्च: अनेक मोटारी वापरल्यामुळे प्रारंभिक खर्च जास्त असतो.
2) जास्त जागेची आवश्यकता: प्रत्येक मोटरला जागा लागते, त्यामुळे संपूर्ण यंत्रणा मोठी आणि अवजड होते.
3) कॉम्प्लेक्स कंट्रोल सिस्टीम : वेगवेगळ्या मोटारींमध्ये कोर्डीनेट ठेवण्यासाठी अधिक नियंत्रण सिस्टीम आणि तंत्रज्ञानाची गरज लागते.

3. लोड चे नेचर (Nature of the load):

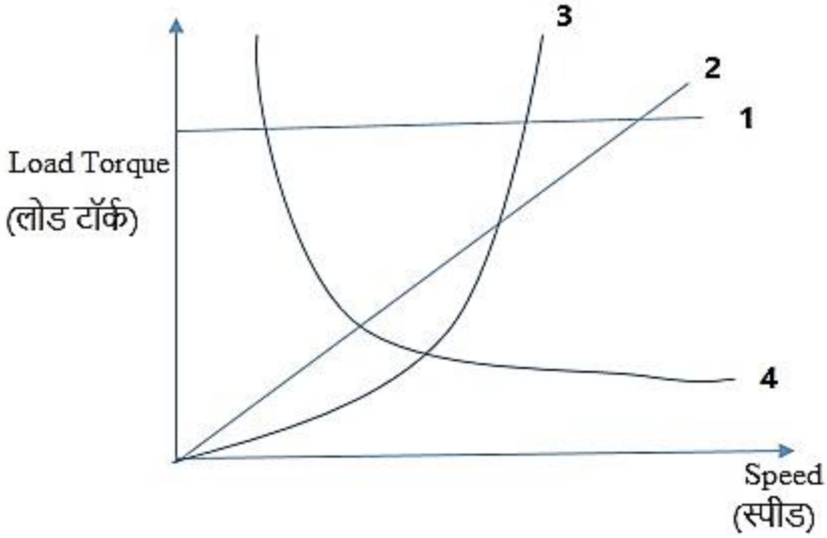


Figure 4.3 स्पीड (वेग) -टॉर्क कॅरेक्टरीक्सस्टिकस (Speed-Torque Characteristics)

स्पीड-टॉर्क वैशिष्ट्यांनुसार लोडचे वर्गीकरण (Classification of Loads Based on Speed-Torque Characteristics):

विविध औद्योगिक अनुप्रयोगांमध्ये भार (Load) त्यांच्या स्पीड -टॉर्क वैशिष्ट्यांनुसार वेगवेगळ्या प्रकारात विभागले जातात. खालीलप्रमाणे लोडचे प्रमुख चार प्रकार आहेत:

(i) स्थिर टॉर्क असलेले लोड (Constant Torque Loads)

कॅरेक्टरीक्सस्टिकस:

- स्पीड कितीही असो, टॉर्क सारखा (Constant) राहतो.
- या प्रकारात लोड होरीझोंटल लाईन 1 (Horizontal Line 1) प्रमाणे वर्तणूक करतो.

ऍप्लिकेशन:

1) क्रेन (Hoisting Mechanisms)
2) हॉइस्ट विंच (Hoist Winches)
3) मशीन टूल फीड मेकॅनिसम (Machine Tool Feed Mechanisms).
4) पिस्टन पंप्स (Piston Pumps) (ज्या दाबाच्या विरुद्ध कार्य करतात)

(ii) वेगाच्या प्रमाणात टॉर्क वाढणारे लोड (Torque Proportional to Speed)

कॅरेक्टरीक्सस्टिकस (Characteristics):

- टॉर्क वेगाच्या थेट प्रमाणात वाढतो.
- ग्राफ स्त्रेथ लाईन 2 (Straight Line 2) प्रमाणे दिसतो.

ऍप्लिकेशन:

1) रोलिंग मिल (Rolling Mills) 2) पेपर्स मिल (Paper Mills) 3) कन्वेअर (Conveyors)

(iii) वेगाच्या वर्गाच्या प्रमाणात टॉर्क वाढणारे भार (Torque Proportional to Square of Speed)

कॅरेक्टरीक्सस्टिकस

- स्पीड वाढला की टॉर्क स्पीडच्या वर्गाच्या प्रमाणात वाढतो.
- ग्राफ कर्व -3 (Curve 3) प्रमाणे दिसतो.

ऍप्लिकेशन:

1) ब्लोअर्स (Blowers) 2) फॅन (Fans) 3) सेंट्रीफ्यूगल पंप्स (Centrifugal Pumps)

4) शिपचे प्रोपेलर्स (Ship Propellers)

(iv) स्पीड वाढल्यास टॉर्क कमी होणारे लोड (Torque Decreasing with Increase in Speed)

कॅरेक्टरीक्सस्टिकस (Characteristics):

- स्पीड वाढला की टॉर्क कमी होतो.
- ग्राफ उतरत्या वक्रासारखा (Falling Curve) दिसतो.

ऍप्लिकेशन :

बोरिंग मशीनस् (Boring Machines) 2) मिलिंग मशीनस् (Milling Machines) 3) मेटल कटिंग मशीनस् (Metal Cutting Machines)

4. इलेक्ट्रिकल कॅरेक्टरीक्सस्टिकस (**Electrical Characteristics**):

विद्युत यंत्रणांची कार्यक्षमता समजून घेण्यासाठी स्पीड -टॉर्क कॅरेक्टरीक्सस्टिकस (Speed-Torque Characteristics), स्पीड -करंट कॅरेक्टरीक्सस्टिकस (Speed-Current Characteristics), टॉर्क-करंट कॅरेक्टरीक्सस्टिकस (Torque-Current Characteristics), लॉस (Losses), कार्यक्षमता (Efficiency), मॅगनेटाइझिंग करंट (Magnetizing Current) आणि पॉवर फॅक्टर (Power Factor) यांचा स्टडी करावा लागतो.

विशेषतः A.C.मोटर्सच्या बाबतीत मॅगनेटाइझिंग करंट (Magnetizing Current) आणि पॉवर फॅक्टर (Power Factor) यांना महत्त्व असते.

(i) ऑपरेटिंग कॅरेक्टरीकस्टिक्स (Running or Operating Characteristics):

(ii) स्पीड -करंट कॅरेक्टरीकस्टिक्स (Speed-Current Characteristics):

केस 1: डीसी शंट मोटर (**DC Shunt Motor**):

स्पीड = N ∝ (V - IaRa) /ø

- शंट मोटरमध्ये ø (फ्लक्स) स्थिर ठेवले जाते, कारण DC शंट मोटर ही स्थिर वेगाची मोटर असते.
- जर V (सप्लाय व्होल्टेज) स्थिर ठेवले, तर स्पीड -करंट कॅरेक्टरीक्सस्टिकस खालीलप्रमाणे दिसतात:
- DC शंट मोटर हलक्या किंवा नो-लोड स्थितीत सुरू करावी.
- जर पूर्ण लोडवर सुरू केली, तर सुरुवातीस जास्त करंट वाहू शकतो, ज्यामुळे मोटरची वाइंडिंग जळू शकते.
- शंट मोटरचा प्रारंभिक टॉर्क कमी असतो.

इलेक्ट्रिक ड्राइव्हचे ऍप्लिकेशन (**Applications of Electric Drives**):

1) कन्व्हेयर बेल्ट्स (Conveyor Belts)
2) सेंट्रीफ्यूगल पंप (Centrifugal Pumps)
3) छोट्या प्रिंटिंग प्रेस (Small Printing Presses)
4) पेपर बनवण्याच्या मशीन (Paper Making Machines)
5) रेसिप्रोकेटिंग पंप (Reciprocating Pumps)
6) मेटल कटिंग मशीन (Metal Cutting Machines)

7) ग्राइंडर्स (Grinders)
8) पॉलिशिंग मशीन (Polishers)

DC शंट मोटरची स्पीड -करंट कॅरेक्टरीक्सस्टिकस (Speed-Current Characteristics)

स्पष्टीकरण:

$$N \propto \frac{V - IaRa}{\emptyset}$$

1. शंट मोटरमध्ये फ्लक्स (Φ) जवळपास स्थिर असतो, कारण फील्ड वाइंडिंग आर्मेचरसह समांतर (Parallel) जोडलेली असते आणि फील्ड करंट मोठ्या प्रमाणात अपरिवर्तित राहतो.
2. सप्लाय व्होल्टेज (VVV) देखील सामान्यतः स्थिर असते.
3. स्पीड समीकरणानुसार:
   Φ स्थिर असल्याने, गती प्रामुख्याने आर्मेचर करंट (Ia) आणि आर्मेचर प्रतिकार ड्रॉप (IaRa) वर अवलंबून असते.
4. लोड वाढल्यावर, आर्मेचर करंट (Ia) वाढतो, परिणामी व्होल्टेज ड्रॉप (IaRa) वाढतो, त्यामुळे गती थोडीशी कमी होते.
5. स्पीड-करंट कॅरेक्टरीक्सस्टिकस जवळपास सपाट असतात, म्हणजेच DC शंट मोटर लोड बदलल्यानंतरही जवळपास समान गती राखते.

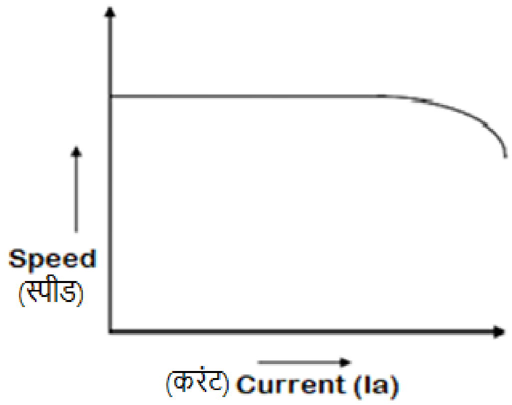


Figure 4.4 DC शंट मोटरची स्पीड -करंट कॅरेक्टरीक्सस्टिकस (Speed-Current Characteristics of dc shunt motor)

इलेक्ट्रिक ड्राइव्हचे इतर ड्राइव्ह्सपेक्षा ऍडव्हान्टेजेस आणि डीसऍडव्हान्टेजेस

ऍडव्हान्टेजेस (Advantages:)

1) शुद्ध (clean) आणि पोल्युशन फ्री (air pollution free): इलेक्ट्रिक ड्राइव्हसाठी कोणत्याही इंधनाची गरज नसल्यामुळे ते पोल्युशन फ्री असते.
2) लवचिकता (flexibility): इलेक्ट्रिक ड्राइव्हला सहजपणे कुठेही बसवता येते.
3) कमी कॉस्ट (low cost): इतर ड्राइव्हच्या तुलनेत इलेक्ट्रिक ड्राइव्ह कमी खर्चिक असते.
4) लाँग लाईफ (long life): इलेक्ट्रिक ड्राइव्हचा कार्यकाल मोठा असतो.
5) रिमोट कंट्रोल ऑपरेशन: इतर ड्राइव्हच्या तुलनेत इलेक्ट्रिक ड्राइव्हचे दूरस्थ नियंत्रण शक्य असते.
6) स्पीड कंट्रोल (speed control): इलेक्ट्रिक ड्राइव्हद्वारे स्पीड सहज नियंत्रित करता येतो.
7) लो मेंटेनन्स कॉस्ट (low maintenance cost): इलेक्ट्रिक ड्राइव्हची मेंटेनन्स इझी आणि कमी खर्चिक असते.

8) कमी बसवण्याचा आणि देखभालीचा खर्च: इलेक्ट्रिक ड्राइव्हच्या बसवण्याचा आणि देखभालीचा खर्च तुलनेने कमी असतो.
9) कमी जागा लागते (low space): इलेक्ट्रिक ड्राइव्ह अन्य ड्राइव्हच्या तुलनेत कमी जागा व्यापते.
10) उच्च कार्यक्षमता: इलेक्ट्रिक ड्राइव्हची कार्यक्षमता तुलनेने जास्त असते.

डीसऍडव्हान्टेजेस (Disadvantages):

1) वीजसप्लाय खंडित झाल्यास समस्या: सप्लाय बंद झाल्यास इलेक्ट्रिक ड्राइव्ह काम करणे थांबवते, ज्यामुळे संपूर्ण सिस्टीम ठप्प होऊ शकते.
2) मर्यादित वापर: इलेक्ट्रिक ड्राइव्ह फक्त इलेक्ट्रिक सप्लाय असलेल्या ठिकाणीच वापरले जाऊ शकते.
3) विद्युत दोषाचा धोका: शॉर्ट सर्किट किंवा ओव्हरहेड कंडक्टरच्या बिघाडामुळे इलेक्ट्रिक ड्राइव्ह खराब होऊ शकते आणि मोठ्या समस्या निर्माण होऊ शकतात.

4.2 इलेक्ट्रिक ड्राइव्हचे प्रकार: स्वतंत्र आणि ग्रुप (group) ड्राइव्ह, ऍप्लिकेशन

4.2.1 ग्रुप ड्राइव्ह (group drive):

एका मोटारद्वारे अनेकमाशिन्माशी मशिन एका कॉमन शाफ्ट किंवा बेल्ट सिस्टीम च्या मदतीने चालवली जातात.

ग्रुप ड्राइव्ह चे ऍप्लिकेशन:

1) कापड गिरण्या – अनेक लूम किंवा कताई मशिन चालवण्यासाठी.
2) फ्लोअर मिल (पीठ गिरण्या) – अनेक ग्राइंडर आणि प्रक्रिया मशिन चालवण्यासाठी.
3) वर्कशॉप (workshop) आणि लहान कारखाने – अनेक लेथ (lathes), ड्रिलिंग (, drilling) आणि शेपिंग (shaping machines) मशीन चालवण्यासाठी.
4) लाकडी वस्तू तयार करणाऱ्या वर्कशॉप (workshop) – एकाच सेटअपमध्ये करवत, प्लॅनर आणि सँडर चालवण्यासाठी.
5) प्रिंटींग प्रेस (printing presses.) – अनेक लहान प्रिंटींग प्रेस चालवण्यासाठी.
6) कन्व्हेयर बेल्ट्स (conveyer belts) – उत्पादन (Production) आणि वाहतुकी (transportation) साठी वापरले जातात.

ऍडव्हान्टेजेस (Advantages):

1) प्रारंभिक खर्च कमी (एक मोटर अनेक यंत्रांसाठी).
2) स्थिर गतीच्या कार्यांसाठी उपयुक्त.

डीसऍडव्हान्टेजेस (Disadvantages):

1) मोटर बिघडल्यास सर्व मशिन थांबतात.
2) काही मशिन निष्क्रिय असताना वीजेचा अपव्यय होतो.
3) स्वतंत्र मशीनच्या गतीचे नियंत्रण करणे कठीण होते.

4.2.2 स्वतंत्र /इंडिविझूल ड्राइव्ह (Individual Drive)

प्रत्येक यंत्राला स्वतंत्र मोटार असते, जी स्वतंत्र ऑपरेशन प्रदान करते.

ऍप्लिकेशन (Application):

1) सीएनसी मशीन (CNC Machine) – प्रत्येक मशीनला अचूक नियंत्रण आवश्यक असते.

2) कन्वेयर सिस्टम (conveyer system) – प्रत्येक कन्वेयर विभागाचा स्वतंत्र ड्राइव्ह असतो.
3) पंप आणि कंप्रेसर (pump and compressor) – स्वतंत्र ड्राइव्ह कार्यक्षमतेत वाढ करतो.
4) ऑटोमेशनमधील रोबोटिक आर्म्स (robotic arms) – प्रत्येक आर्म किंवा विभागासाठी स्वतंत्र मोटार असते.
5) मोठी प्रिंटींग प्रेस (printing press) – प्रत्येक रोलर किंवा विभाग स्वतंत्रपणे चालवला जातो.
6) मेटल कटिंग (metal cutting) आणि ग्राइंडिंग (grinding) मशीन – अचूक गती आणि उर्जेचे नियंत्रण आवश्यक असते.

टेबल 4.1: स्वतंत्र ड्राइव्ह आणि समूह ड्राइव्ह यांच्यातील तुलना
(**Comparison between Individual Drive and Group Drive**)

पॉईंट्स फॉर कंपॅरिजन (**Point of Comparison**)	**इंडिविझूल ड्राइव्ह** (**Individual Drive**)	**समूह ड्राइव्ह** (**Group Drive**)
मोटरची आवश्यकता (Motor Requirement)	प्रत्येक मशीनसाठी स्वतंत्र मोटर (Independent Motor) आवश्यक.	एकाच मोटरद्वारे (Single Motor) अनेक मशिन (Machines) चालतात.
पॉवर आवश्यकता (Power Requirement)	एकूण पॉवर आवश्यकता (Total Power Requirement) जास्त असते.	एकाच मोटरमुळे एकूण पॉवर आवश्यकता कमी असते.
ओव्हरलोड क्षमता (Overload Capacity)	कमी ओव्हरलोड क्षमता (Low Overload Capacity).	जास्त ओव्हरलोड क्षमता (High Overload Capacity).
सेफ्टी (Safety)	उच्च सेफ्टी (Higher Safety) कारण प्रत्येक यंत्र स्वतंत्र आहे.	कमी सेफ्टी (Lower Safety) कारण एकच मोटर संपूर्ण प्रणाली चालवते.
स्पीड कंट्रोल (Speed Control)	प्रत्येक यंत्राची स्वतंत्र स्पीड कंट्रोल (Independent Speed Control) करता येते.	स्वतंत्र स्पीड कंट्रोल शक्य नाही (No Individual Speed Control).
सिस्टम रचना (System Appearance)	स्वच्छ आणि व्यवस्थित रचना (Neat and Clean System).	गोंधळलेली आणि अव्यवस्थित रचना (Clumsy System).
लेआउट फ्लेक्झिबिलिटी (Layout Flexibility)	फ्लेक्झिबल लेआउट (Flexible Layout) - नवीन मशीन सहज बसवता येते.	निश्चित लेआउट (Fixed Layout) - बदल करणे कठीण.

पॉईंट्स फॉर कंपॅरिजन (Point of Comparison)	**इंडिविझूल ड्राइव्ह (Individual Drive)**	**समूह ड्राइव्ह (Group Drive)**
विस्तार क्षमता (Expansion Capability)	भविष्यात नवीन मशीन सहज जोडता येते (Easy Future Expansion).	भविष्यात विस्तार करणे कठीण (Difficult Future Expansion).
दोषांचा परिणाम (Effect of Fault)	एका मशीनमध्ये बिघाड झाल्यास इतर मशिन कार्यरत राहतात.	मुख्य मोटरमध्ये बिघाड झाल्यास संपूर्ण यंत्रणा थांबते.
पॉवर लॉस (Power Loss)	कमी पॉवर लॉस (Lower Power Loss).	जास्त पॉवर लॉस (Higher Power Loss).
मेंटेनन्स (Maintenance)	स्वतंत्र मोटरीमुळे मेंटेनन्स सोपी (Easy Maintenance).	एकाच मोटरमुळे मेंटेनन्स कठीण (Difficult Maintenance).
खर्च (Cost)	अधिक खर्च (Higher Cost) – प्रत्येक मशीनसाठी स्वतंत्र मोटरमुळे.	कमी खर्च (Lower Cost) – एकाच मोटरमुळे.
ॲप्लिकेशन (Applications)	लिफ्ट (Lifts), क्रेन (Cranes), लेथ मशीन (Lathe Machines), इत्यादी.	वर्कशॉप (Workshops), पेपर मिल (Paper Mills), टेक्सटाईल मिल (Textile Mills).

4.3 ड्राइव्हचे मेकॅनिकल फिचर्स (features): उद्देश, प्रकार आणि विविध प्रकारच्या एनक्लोजरचे (Enclosure) ॲप्लिकेशन

4.3.1 एनक्लोजरचा (Enclosure) उद्देश (purpose)

एनक्लोजर (Enclosure) हे एक संरक्षक आवरण किंवा कव्हरिंग असते, जे विद्युत, यांत्रिक आणि औद्योगिक प्रणालींमध्ये घटकांना पर्यावरणीय आणि कार्यात्मक धोक्यांपासून सुरक्षित ठेवण्यासाठी वापरले जाते.

4.3.2 मोटर एनक्लोजरचे प्रकार (Types of Enclosure)

भारतीय मानक (IS 4691) विविध प्रकारच्या संलग्नांसाठी कोड निर्दिष्ट करतात. इलेक्ट्रिक मोटरसाठी एनक्लोजर वापरले जातात जेणेकरून मोटार सुरक्षित राहील .खालील प्रकारची इलेक्ट्रिक मोटरसाठी एनक्लोजर प्रामुख्याने वापरली जातात –

1) ओपन प्रोटेक्टेड (Open Protected) टाईप – हे एनक्लोजर (Enclosure) हवा मुक्त प्रवाह करण्यास अनुमती देते आणि मोटरला पुरेसे यांत्रिक संरक्षण प्रदान करते.
2) स्क्रीन प्रोटेक्टेड (Screen Protected) टाईप – यामध्ये मोटरला अतिरिक्त संरक्षण दिले जाते, तसेच धातूच्या जाळ्या (metal grids) किंवा छिद्रयुक्त कव्हर्स (perforated covers) असतात.
3) ड्रिप प्रूफ (Drip Proof) टाईप – यामध्ये वेंटिलेशनसाठी ओपनिंग जागा (openings for ventilation) असते, जी मोटरमध्ये उभ्या दिशेने पडणारे पाणी किंवा धूळ जाण्यापासून रोखते.

4) स्प्लॅश प्रूफ (Splash Proof) टाईप – यामध्ये, उभ्या दिशेने आणि 100° कोनातून पडणाऱ्या द्रव किंवा घन कणांना मोटरमध्ये जाण्यापासून रोखले जाते.
5) टोटली एनक्लोज्ड (Totally Enclosed) टाईप – या प्रकारात, मोटरच्या आतील आणि बाहेरील भागामध्ये एअर चे फ्री सर्क्युलेशन होत नाही (free circulation of air).
6) पाईप व्हेंटिलेटेड (Pipe Ventilated) टाईप – या प्रकारात, सतत ताजी हवा मोटरमध्ये प्रवेश करण्यासाठी पाईप्स किंवा डक्ट्स दिलेले असतात.
7) एक्सप्लोजन प्रूफ (Explosion Proof) टाईप – हे एनक्लोजर (Enclosure) अंतर्गत स्फोट सहन करण्यास सक्षम असतात आणि मोटरच्या संरचनेला नुकसान पोहोचत नाही.
8) वेदर प्रूफ (Weather Proof) टाईप – या एनक्लोजरमध्ये मोठे धूळ कण (debris) आणि रेन (rain) मोटरमध्ये जाण्यापासून रोखण्यासाठी अतिरिक्त प्रोटेक्शन दिले जाते.

4.3.3 एनक्लोजरचे ॲप्लिकेशन (Applications of Enclosure)

1. ओपन टाइप एनक्लोजर (Enclosure) (IP00, IP10)

ॲप्लिकेशन: स्वच्छ, कोरड्या आणि चांगल्या प्रकारे हवेशीर ठिकाणी वापरले जाते, जिथे योग्य थंड करणाऱ्या सिस्टीम ची आवश्यकता असते.

उदाहरणे:

1) मोठे औद्योगिक मोटर्स (Large industrial motors) (कंट्रोल वातावरणात).
2) प्रयोगशाळेतील उपकरणे (Laboratory equipment).
3) व्हेंटीलेटेड ट्रान्सफॉर्मर्स (Ventilated transformers).

2. ड्रिप-प्रूफ एनक्लोजर (Enclosure) (IP22, IP23)

ॲप्लिकेशन: पाण्याचे थेंब (water droplets) आणि सौम्य ओलसर (condensation) वातावरणापासून प्रोटेक्शन देते.

उदाहरणे:

1) उत्पादन कारखान्यातील इनडोअर मोटर्स (Indoor motors in manufacturing plants).
2) HVAC प्रणालींमध्ये वापरण्यात येणाऱ्या मोटर्स.
3) शेल्टर आउट डोअर अल्टरनेटरसाठी (Alternators in sheltered outdoor conditions).

3. टोटली एनक्लोज्ड फॅन-कूल्ड (TEFC) एनक्लोजर (IP54)

ॲप्लिकेशन: धूळ आणि आर्द्रतेच्या वातावरणात वापरले जाते, जिथे बाहेरील हवा मोटरमध्ये प्रवेश करू शकत नाही.

उदाहरणे:

1) लाकडी वस्तू उत्पादन करणाऱ्या कारखान्यातील मोटर्स (धूळीपासून संरक्षणासाठी)
2) कृषी पाणी (Agriculture) सप्लाय पंप मोटर,.
3) HVAC कोंप्रेसर मोटर्स.

4. टोटली एनक्लोज्ड नॉन-वेन्टिलेटेड (TENV) एनक्लोजर (Enclosure) (IP55)

ॲप्लिकेशन: कमी देखभाल आवश्यक असलेल्या हेंव्ही ॲटमॉसस्फिअर वापरले जाते.

उदाहरणे:

1) खाण कामगारांसाठी वापरण्यात येणाऱ्या लहान मोटर्स.

2) बाहेर बसवलेल्या सहाय्यक (Auxiliary motors.) मोटर्स.
3) केमिकल कारखान्यातील (Chemical factories) मोटर्स.

5. एक्सप्लोजन-प्रूफ एनक्लोजर (Enclosure) (IP65, IP66)

ॲप्लिकेशन: ज्वलनशील वायू, धूळ किंवा वाफ असलेल्या धोकादायक भागात वापरले जाते.

उदाहरणे:

1) तेलशुद्धीकरण कारखान्यातील मोटर्स. (Motors in oil refineries).
2) कोळसा खाणीतील व्हेन्तिलेशन फॅन्स (Coal mine ventilation fans)
3) रासायनिक उद्योगातील प्रक्रिया मोटर्स.

6. वेदर-प्रूफ एनक्लोजर (Enclosure) (IP44, IP45)

ॲप्लिकेशन: उघड्या वातावरणात (open space) जिथे पाऊस आणि वारा यांचा मध्यम प्रमाणात संपर्क होतो तिथे वापरले जाते.

उदाहरणे:

1) जलप्रक्रिया मशिनतील मोटर्स.
2) आउटडोअर पंप मोटर्स (Outdoor pump motors).
3) विंड पॉवर जनरेटर.

7. सबमर्सिबल एनक्लोजर (Enclosure) (IP67, IP68)

ॲप्लिकेशन: पाण्याखाली किंवा ओलसर ठिकाणी कार्यरत असलेल्या मोटर्ससाठी वापरले जाते.

उदाहरणे:

1) पाण्यात बुडणाऱ्या पंपांसाठी मोटर्स (Submersible pump motors).
2) अंडरवॉटर हायड्रॉलिक मोटर्स.
3) सागरी अनुप्रयोगांमध्ये वापरण्यात येणाऱ्या मोटर्स.

4.4 मेकॅनिकल पॉवर ट्रान्समिशन: थेट आणि अप्रत्यक्ष ड्राइव्ह (बेल्ट, रोप, चेन, गियर), व्हर्टिकल ड्राइव्ह आणि त्याचे ॲप्लिकेशन (Transmission of mechanical power: direct and indirect drive (belt, rope, chain, gear), vertical drives and its applications)

बेल्ट किंवा दोर यांचा वापर एका शाफ्टवरून दुसऱ्या शाफ्टवर पॉवर प्रेषित करण्यासाठी केला जातो. ही पॉवर पुलीच्या मदतीने समान किंवा भिन्न वेगाने हस्तांतरित होते.

पॉवर ट्रान्समिशन चे (power transmission) प्रमाण खालील घटकांवर अवलंबून असते –

1) बेल्टचा स्पीड.
2) पुलीवर बेल्टचे टेन्शन.
3) बेल्ट आणि लहान पुलीमधील आर्क चा कॉन्टॅक्ट.
4) बेल्ट वापरण्याच्या परिस्थिती (कंडीशन)

बेल्ट ड्राइव्हची निवड करताना विचारात घेण्याचे महत्त्वाचे घटक:

1) चालक आणि चालित शाफ्टचा स्पीड (Speed of the driving and driven shafts).
2) स्पीड कमी करण्याचा गुणोत्तर (Speed reduction ratio).
3) हस्तांतरित होणारी पॉवर (Power to be transmitted.)

4) शाफ्टमधील मध्यांतर.
5) निश्चित स्पीड आवश्यक असल्यास.
6) शाफ्टची संरचना (Shafts layout).
7) उपलब्ध जागा (Space available).
8) सेवा स्थिती (Service conditions.

1. बेल्ट ड्राइव्ह (Belts Drive):
वर्णन: बेल्ट ड्राइव्ह सकारात्मक ड्राइव्ह नाही, कारण यात स्लीप होणे (slip) आणि क्रिप (creep) होऊ शकते.

ॲप्लिकेशन:
1) शेती आणि औद्योगिक यंत्रणेतील मेकॅनिकल पॉवर हस्तांतरण.
2) कन्व्हेयर बेल्ट्समध्ये वापर.
3) फॅन आणि पंप यंत्रणेतील पॉवर ट्रान्सफरसाठी .
4) कारखान्यातील मोठ्या यंत्रांसाठी वापर.

ॲडव्हान्टेजेस :
1) कमी खर्च आणि सिम्पल रचना (simple construction).
2) कमी देखभाल खर्च.
3) जास्त वेगाने चालण्यासाठी उपयुक्त.

डीसॲडव्हान्टेजेस :
1) सरकण्यामुळे (sliding) कार्यक्षमतेत घट.
2) लोड बदलल्यास स्पीड कमी-जास्त होतो.
3) दीर्घकालीन वापरासाठी योग्य नाही.

2. रोप (Rope) ड्राइव्ह
वर्णन: मजबूत कापड, सुतळी, वायर किंवा कृत्रिम सामग्रीपासून बनलेले दोर पुलींवर गुंडाळून पॉवर हस्तांतरित करण्यासाठी वापरले जातात.

ॲप्लिकेशन:
1) क्रेन आणि होईस्टमध्ये जड वस्तू उचलण्यासाठी.
2) लिफ्ट आणि माईन होईस्ट मध्ये वापर (व्हरटीकल मुवमेंट साठी) (elevators and mine hoists for vertical movement.)
3) लांब अंतरावर पॉवर ट्रान्सफरसाठी (long-distance power transfer).
4) पर्वतीय भागांतील केबल कार आणि रोपवे.

ॲडव्हान्टेजेस :
1) लांब अंतरासाठी उपयोगी.
2) साधी आणि किफायतशीर रचना.
3) झटक्याचा प्रभाव कमी होतो. (Reduces shock loads).

डीसॲडव्हान्टेजेस :
1) सरकण्यामुळे कार्यक्षमता कमी (Low efficiency due to slipping).

2) वारंवार देखभाल आणि चेंज आवश्यक.

3. चेन (chain) ड्राइव्ह

वर्णन: साखळी (series of metal links) आणि स्प्रॉकेटच्या (sprockets) मदतीने पॉवर ट्रान्सफर करणारी सिस्टीम जी सरकत (slip) नाही.

ॲप्लिकेशन:

1) सायकल आणि मोटारसायकलमध्ये पॉवर हस्तांतरण.
2) कन्व्हेयर बेल्ट आणि औद्योगिक मशिनमध्ये वापर.
3) इंजिनच्या टाइमिंग सिस्टममध्ये. (Used in timing mechanisms of engines (timing chain)).
4) शेती (अग्रीकल्चर) यंत्रसामग्रीमध्ये वापर.

ॲडव्हान्टेजेस :

1) निश्चित गती आणि अचूक पॉवर ट्रान्सफर साठी.
2) जड भार आणि उच्च टॉर्कसाठी उपयुक्त.
3) बेल्ट आणि दोर (Rope) ड्राइव्ह पेक्षा जास्त आयुष्य.

डीसॲडव्हान्टेजेस :

1) नियमित ल्युब्रिकेशन (lubrication) आवश्यक.
2) आवाज आणि कंपन तयार होऊ शकतो. (Produces noise and vibrations).
3) दीर्घकाळ वापरल्याने स्प्रॉकेट गंजू शकतो.

4. गियर (gear) ड्राइव्ह

वर्णन: दात (teeth) असलेल्या चाकांच्या मदतीने अचूक स्पीड आणि टॉर्क ट्रान्सफर करणारी सिस्टीम .

ॲप्लिकेशन:

1) ऑटोमोबाईल ट्रान्समिशनमध्ये वापर.
2) लेथ, मिलिंग मशीन आणि टर्बाईनमध्ये वापर.
3) रोबोटिक आर्म्स (robotics arms) आणि ऑटोमेशन (automation) यंत्रणांमध्ये वापर.
4) घड्याळे आणि टाइमिंग उपकरणांमध्ये वापर.

ॲडव्हान्टेजेस :

1) उच्च कार्यक्षमता (high efficiency) आणि लो पॉवर लॉस.
2) अचूक आणि स्थिर पॉवर ट्रान्सफर.
3) जड भार आणि उच्च वेगासाठी उपयुक्त.

डीसॲडव्हान्टेजेस :

1) महाग आणि कोम्प्लेक्स (complex) निर्मिती प्रक्रिया.
2) ल्युब्रिकेशन आवश्यक (Requires lubrication).
3) लांब अंतराच्या पॉवर ट्रान्सफर उपयुक्त नाही (Not suitable for long-distance power transmission).

5. व्हर्टिकल (Vertical) ड्राइव्ह

वर्णन: उभ्या हालचालींसाठी डिझाइन केलेली सिस्टीम ,जी गियर, बेल्ट, चेन किंवा हायड्रॉलिक तंत्रज्ञानावर आधारित असते.

ॲप्लिकेशन:

1) लिफ्ट आणि उचलण्याच्या यंत्रणांमध्ये वापर.
2) व्हर्टिकल मिलिंग आणि ड्रिलिंग मशीनमध्ये वापर. (Vertical milling machines and drilling machines.)
3) क्रेन आणि होईस्टमध्ये वापर.
4) रोबोटिक आर्म्समध्ये वापर.

ॲडव्हान्टेजेस :

1) व्हर्टिकल हालचालींसाठी कार्यक्षम पॉवर ट्रान्सफर.
2) जड वस्तू उचलताना स्थिरता आणि नियंत्रण.
3) सुरक्षितता (safety) आणि नियंत्रित हालचाल.

डीसॲडव्हान्टेजेस :

1) भाराच्या नियंत्रणासाठी मजबूत ब्रेकिंग सिस्टीम आवश्यक.
2) गुरुत्वाकर्षणामुळे होणाऱ्या झटक्यांमुळे जास्त देखभाल आवश्यक. (Higher maintenance due to gravity-related wear and tear).

4.5 बियरिंग: विविध प्रकार आणि ॲप्लिकेशन (Bearing: types and applications.)

बियरिंग हे यांत्रिक घटक आहेत जे फिरणाऱ्या किंवा हलणाऱ्या भागांमध्ये घर्षण कमी करतात आणि भाराला आधार देतात. त्यांचा ॲप्लिकेशन ऑटोमोटिव्ह, एअरोस्पेस, उत्पादन आणि यंत्रसामग्री उद्योगांमध्ये मोठ्या प्रमाणावर होतो.

1. बॉल बियरिंग (Ball Bearings)

वर्णन: गोलसर बॉल्सच्या मदतीने बियरिंग रेसमध्ये विभाजन ठेवून घर्षण कमी करतात.

ॲप्लिकेशन:

1) इलेक्ट्रिक मोटर्स.
2) पंखे (Fans).
3) पंप्स (Pumps).
4) हार्ड ड्राइव्हस (Hard Drives).
5) सायकल (Bicycle).

2. रोलर बियरिंग (Roller Bearings)

वर्णन:बॉल्सच्या ऐवजी सिलेंडरच्या आकाराचे रोलर्स वापरले जातात, ज्यामुळे जास्त लोड कॅपसिटी मिळते. (due to this higher load capacity).

प्रकार आणि त्यांचे ॲप्लिकेशन:

1) सिलेंड्रिकल रोलर बियरिंग (Cylindrical Roller Bearings):
   - उच्च रेडियल लोड क्षमता
   - गिअरबॉक्स आणि इलेक्ट्रिक मोटर्समध्ये वापरले जातात

2) टेपर रोलर बियरिंग (Tapered Roller Bearings):
   - रेडियल आणि अक्षीय दोन्ही लोड सहन करू शकतात
   - वाहनांच्या चाकांमध्ये वापरले जातात
3) नीडल रोलर बियरिंग (Needle Roller Bearings):
   - लहान व्यासाच्या रोलर्स असलेले
   - ऑटोमोटिव्ह ट्रान्समिशन आणि कंप्रेसरमध्ये वापरले जातात
4) स्फेरिकल रोलर बियरिंग (Spherical Roller Bearings):
   - आपोआप संरेखन (Self-Aligning) करण्याची क्षमता असलेले
   - मोठ्या यंत्रांमध्ये वापरले जातात.

3. थ्रस्ट बियरिंग (Thrust Bearings)

वर्णन: अक्षीय (थ्रस्ट) भार सहन करण्यासाठी डिझाइन केलेले.

प्रकार आणि त्यांचे ऍप्लिकेशन:

1) बॉल थ्रस्ट बियरिंग (Ball Thrust Bearings):
   - कमी वेगाने फिरणाऱ्या यंत्रणांसाठी
   - टर्नटेबल्स आणि बार स्टूल्समध्ये वापरले जातात
2) रोलर थ्रस्ट बियरिंग (Roller Thrust Bearings):
   - ऑटोमोटिव्ह ट्रान्समिशन आणि मशीन टूल्समध्ये वापरले जातात
3) फ्लुइड थ्रस्ट बियरिंग (Fluid Thrust Bearings):
   - टर्बाइन्स आणि मोठ्या यंत्रांमध्ये वापरले जातात

4. प्लेन बियरिंग (Plain Bearings / Sleeve Bearings)

वर्णन: कोणतेही रोलिंग घटक नसलेले साधे, कमी घर्षण असलेल्या बियरिंग.

ऍप्लिकेशन:

1) ऑटोमोटिव्ह इंजिन
2) कृषी उपकरणे (Agricultural Equipment)
3) औद्योगिक यंत्रसामग्री (industrial machinery)

5. मॅग्नेटिक बियरिंग (Magnetic Bearings)

वर्णन: चुंबकीय (मॅग्नेटिक) फिल्डच्या (क्षेत्राचा) ऍप्लिकेशन करून लोड सपोर्ट करणारी सिस्टीम , ज्यामध्ये कोणताही फिजिकल संपर्क नसतो.

ऍप्लिकेशन:

1) उच्च-गती यंत्रणा (High-Speed Machinery)
2) उर्जासंचयक फ्लायव्हील (Flywheel Energy Storage)
3) एअरोस्पेसमध्ये ऍप्लिकेशन

6. फ्लुइड बियरिंग (Fluid Bearings)

वर्णन: द्रव किंवा गॅसच्या मदतीने भार समर्थित करणारी सिस्टीम , ज्यामुळे घर्षण खूपच कमी होते.

ऍप्लिकेशन:

1) टर्बोचार्जर्स.

2) उच्च-गती टर्बाइन्स.
3) मोठे औद्योगिक फॅन्स.

4.6 मोटरचा आकार आणि रेटिंग, आय.एस. प्रमाणे प्रमाणित रेटिंगची व्याख्या (Size and rating of motor, definition of standard rating as per IS.)

4.6.1 मोटरचा आकार आणि रेटिंग

मोटरच्या आकार आणि रेटिंगची निवड त्याच्या तापमानवाढीवर अवलंबून असते. मोटरची कमाल तापमानवाढ ही त्यात वापरण्यात आलेल्या इन्सुलेशनच्या प्रकारावर ठरते.

इन्सुलेशन वर्गानुसार कमाल तापमानवाढ:

क्लास A Insulation: 40°C पर्यंत टेम्परेचर राईज (temperature rise) पर्मिसिबल आहे.

क्लास B Insulation: 50°C पर्यंत टेम्परेचर राईज (temperature rise) पर्मिसिबल आहे.

मोटरचे प्रमाणित रेटिंग (Standard Ratings for Motors) - IS मानकानुसार

1. कंट्युनीअस रेटिंग (Continuous Rating)

मोटर दीर्घकाळ कार्यरत राहू शकते आणि निर्दिष्ट तापमानवाढीपेक्षा जास्त तापमान होत नाही.

ही मोटर 2.५% ओव्हरलोडसह 2 तासांसाठी कार्य करू शकते.

2. कंट्युनीअस मॅक्झिमम रेटिंग (Continuous Maximum Rating)

या रेटिंग च्या मोटार कंट्युनीअस रेटिंगप्रमाणेच, परंतु कोणताही ओव्हरलोड शिवाय (without allowing any overload) रेटिंगडी साईड केली जाते.

प्रामुख्याने 2.5 HP प्रति RPM पेक्षा मोठ्या मोटरमध्ये वापरले जाते.

3. शॉर्ट टाइम रेटिंग (Short-time Rating)

मोटर ठराविक शॉर्ट टाइम साठी (कमी कालावधीसाठी) (उदा. ½ तास किंवा ¼ तास) काम करू शकते, पण त्याची स्पेसिफाईड टेम्परेचर राईज पेक्षा जास्त होऊ नये याची पण काळजी घ्यावी लागते. (without exceeding the specified temperature rise). तात्पुरत्या जास्त (temporary more load) लोडसाठी याचा वापर केला जातो.

4.6.2 नमुना न्यूमेरिकल (Sample numerical)

न्यूमेरिकल -1

एका विद्युत मोटरीचे लोड बदल खालीलप्रमाणे आहेत:

i) टॉर्क 140 Nm - 20 मिनिटांसाठी
ii) टॉर्क 40 Nm - 10 मिनिटांसाठी
iii) टॉर्क 200 Nm - 10 मिनिटांसाठी
iv) टॉर्क 100 Nm - 20 मिनिटांसाठी

मोटरीचा वेग 720 rpm असल्यास, मोटरीची पॉवर रेटिंग गणना करा. (An electric motor has load variation as given below. i) Torque 140 Nm for 20 minutes ii) Torque 40 Nm for 10 minutes iii) Torque 200 Nm for 10 minutes iv) Torque 100 Nm for 20 minutes If the speed of the motor is 720 rpm, calculate the power rating of motor).

Given Data:

Torque 140 Nm for 20 minutes

Torque 40 Nm for 10 minutes

Torque 200 Nm for 10 minutes

Torque 100 Nm for 20 minutes

speed of the motor is 720 rpm

ड्युटी सायकल (Duty Cycle (T)) = 20 + 10 + 10 + 20 = 60 min

मोटर रेटिंग- टॉर्कमध्ये (Rating of motor (torque) = $\sqrt{\frac{T1^2*t1+T2^2*t2+T3^2*t3+T4^2*t4}{T}}$

मोटर रेटिंग- टॉर्कमध्ये (Rating of motor (torque)) = $\sqrt{\frac{140^2*20+40^2*10+200^2*10+100^2*20}{60}}$

मोटर रेटिंग- टॉर्कमध्ये (Rating of motor (torque)) = $\sqrt{\frac{1008000}{60}}$

मोटर रेटिंग- टॉर्कमध्ये Rating of motor (torque) = 129.61 Nm

मोटर रेटिंग वॅट मध्ये - (Rating of motor (watts) = $\frac{2\pi NT}{60}$

मोटर रेटिंग वॅट मध्ये - Rating of motor (watts) = $\frac{2\pi*720*129.61}{60}$

Rating of motor (watts) = 9772.36 = 9.77 KW

It can be rounded to kW rating available in market i.e. 10 kW or 12 kW

वास्तविक वापरासाठी मोटर रेटिंग्स स्टँडर्ड स्वरूपात असतात. 9.77 kW हे स्टँडर्ड रेटिंगमध्ये उपलब्ध नसल्यामुळे, ते पुढील उपलब्ध स्टँडर्ड रेटिंगकडे 10 kW पर्यंत सिलेक्शन केले जाते.

न्यूमेरिकल -2

एका विद्युत मोटरीचे लोड बदल खालीलप्रमाणे आहेत:

i) टॉर्क 160 Nm – 25 मिनिटांसाठी

ii) टॉर्क 50 Nm – 15 मिनिटांसाठी

iii) टॉर्क 220 Nm – 10 मिनिटांसाठी

iv) टॉर्क 90 Nm – 30 मिनिटांसाठी

मोटरीचा वेग 1000 rpm असल्यास, मोटरीची पॉवर रेटिंग (शक्ती क्षमता) गणना करा.

(An electric motor has load variation as given below. i) Torque 160 Nm for 25 minutes ii) Torque 50 Nm for 15 minutes iii) Torque 220 Nm for 10 minutes iv) Torque 90 Nm for 30 minutes If the speed of the motor is 1000 rpm, calculate the power rating of motor).

Given Data:

Torque 160 Nm for 25 minutes

Torque 50 Nm for 15 minutes
Torque 220 Nm for 10 minutes
Torque 90 Nm for 30 minutes
speed of the motor is 1000 rpm
Duty Cycle (T) = 25+ 15 + 10+ 30 = 80 min

मोटर रेटिंग- टॉर्कमध्ये (Rating of motor (torque)) = $\sqrt{\frac{T1^2*t1+T2^2*t2+T3^2*t3+T4^2*t4}{T}}$

मोटर रेटिंग- टॉर्कमध्ये (Rating of motor (torque)) = $\sqrt{\frac{160^2*25+50^2*15+220^2*10+90^2*30}{80}}$

मोटर रेटिंग- टॉर्कमध्ये (Rating of motor (torque)) = $\sqrt{\frac{1404500}{80}}$

मोटर रेटिंग- टॉर्कमध्ये (Rating of motor (torque)) = 132.5 Nm

मोटर रेटिंग वॅट मध्ये (Rating of motor (watts)) = $\frac{2\pi NT}{60}$

मोटर रेटिंग वॅट मध्ये (Rating of motor (watts)) = $\frac{2\pi*720*132.5}{60}$

Rating of motor (watts) = 13875.36 = 13.87 KW

It can be rounded to kW rating available in market i.e. 15 kW

वास्तविक वापरासाठी मोटर रेटिंग्स स्टँडर्ड स्वरूपात असतात. 13.87 kW हे स्टँडर्ड रेटिंगमध्ये उपलब्ध नसल्यामुळे, ते पुढील उपलब्ध स्टँडर्ड रेटिंगकडे 15 kW पर्यंत सिलेक्शन केले जाते.

4.6.3 विशिष्ट सेवांसाठी मोटारी (Motors for particular services)

मागील विभागांमध्ये विद्युत मोटारींच्या परफॉर्मन्सच्या विविध पैलूंवर चर्चा करण्यात आली. योग्य मोटार निवडण्याचा मूलभूत प्रश्न म्हणजे मोटारीची कॅरेक्टरीक्सस्टिकस आणि लोडच्या आवश्यकतांमध्ये जुळवणी (मॅचिंग) करणे. म्हणजेच, लोडची यांत्रिक कॅरेक्टरीक्सस्टिकस स्पष्टपणे ज्ञात असणे आवश्यक आहे. यावर मोटारच्या प्रकाराची निवड अवलंबून असते.
यानंतर, मोटार लोड वाहून नेण्यास सक्षम आहे का हे तपासले जाते.
ही क्षमता दोन घटकांवर मर्यादित असते – थर्मल आणि यांत्रिक.
थर्मल कंसीडरेशन (Thermal consideration) म्हणजे दिलेल्या कार्यप्रदर्शनाच्या अधीन असताना तापमान वाढ किती होते.मेकॅनिकल कंसीडरेशन (Mechanical consideration) म्हणजे मोटार सुरक्षितपणे मॅक्झिमम लोड (maximum load) सहन करू शकते का?
आता, मोटार निवडीसाठी दोन उदाहरणे पाहूया. जर एखाद्या पंख्यासाठी मोटार चालवायची असेल, तर लोड टॉर्क वेगाच्या वर्गाच्या प्रमाणात बदलतो. ए.सी. मोटरपैकी इंडक्शन मोटार योग्य ठरते. टॉर्क-स्पीड (Torque-Speed) वैशिष्ट्यांमध्ये स्थिर कार्यबिंदू S म्हणून दर्शविला जातो.

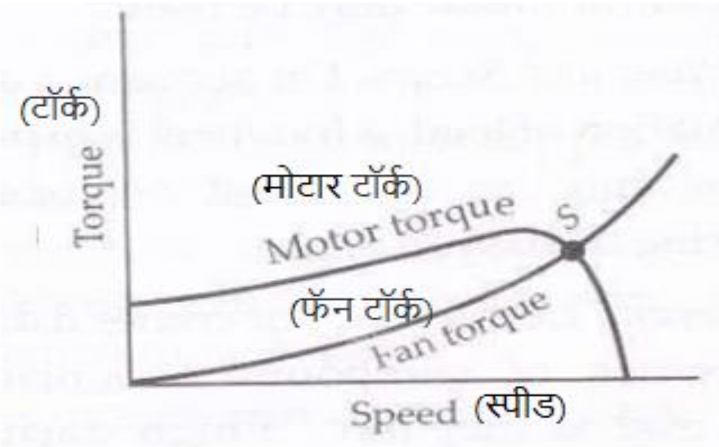


Figure 4.5 फॅन लोड आणि इंडक्शन मोटर टॉर्क स्पीड ग्राफ

(Fan load and induction motor torque speed curves)

डी.सी. मोटरमध्ये शंट मोटर अधिक योग्य ठरते. स्थिर कार्यबिंदू (Stable Operating Point) हा तो बिंदू असतो जिथे मोटर टॉर्क आणि पंख्याचा टॉर्क यांचे वक्र (Curve) एकमेकांना छेदतात, हे खालील आकृतीत दाखवले आहे.

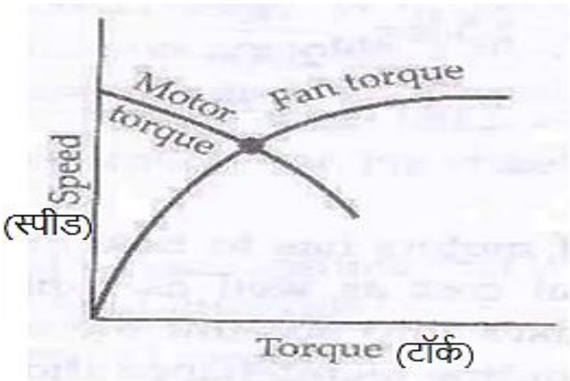


Figure 4.6 फॅन लोड आणि शंट मोटर स्पीड टॉर्क कर्व.

(Fan load and shunt motor speed torque curves)

4.6.4 विशिष्ट सेवांसाठी मोटारींची निवड (Motors for particular services)

आता आपण पंचिंग मशीन (punching machine) किंवा शीअरिंग मशीनचा (shearing machine) विचार करू. या प्रकारच्या यंत्रांमध्ये लोड सतत बदलत असतो, त्यामुळे लोडची मागणी सुरळीत करण्यासाठी फ्लायव्हील (flywheel) वापरणे आवश्यक असते. फ्लायव्हील (flywheel) फक्त अशा मोटारींसोबत वापरता येतो, ज्याचा स्पीड लोड वाढल्यावर कमी होऊ शकतो. यासाठी डी.सी. शंट (DC Shunt) किंवा कंपाउंड मोटार (Compound motor) तसेच 3-फेज इंडक्शन मोटार उपयुक्त ठरते.

खाली काही विशिष्ट सेवांसाठी वापरण्यात येणाऱ्या मोटारींची माहिती दिली आहे:

1) डोमेस्टिक (Domestic) ॲप्लिकेशन –सिरीज प्रकारातील स्मॉल युनिव्हर्सल मोटार (universal motors) व्हॅक्यूम क्लिनर, फ्रीज, वॉशिंग मशीन, पंखे इत्यादींमध्ये वापरतात.
2) ग्राइंडिंग आणि मिलिंग मशीन – 50 एच.पी. पर्यंत डी.सी. शंट मोटार किंवा स्लिप-रिंग इंडक्शन मोटार वापरली जाते. (Upto 50 h.p. the motors may be D.C. shunt or induction with slip-rings and arrangement for pole-changing with cage rotors).

3) प्लॅनर मशीन – कटिंग स्ट्रोक आणि क्विक रिटर्न स्ट्रोकसाठी स्पीड बदलण्याची व्यवस्था आवश्यक असते. डी.सी. कंपाउंड मोटार उपयुक्त ठरते. (There is cutting stroke and a quick return stroke. Arrangements for reversing the speed have to be incorporated. A D.C. compound motor may be used).
4) पंचिंग आणि शीअरिंग मशीन – लोडमधील मोठ्या चढ-उतारांमुळे (heavy fluctuations of load) फ्लायव्हील बसवले जाते. डी.सी. शंट, कंपाउंड किंवा स्लिप-रिंग इंडक्शन मोटार वापरतात.
5) क्रेन्स आणि होइस्ट – उच्च प्रारंभिक टॉर्क आवश्यक असल्यामुळे डी.सी. सिरीज किंवा कंपाउंड मोटार वापरतात. इंडक्शन मोटार देखील होइस्टिंगसाठी वापरली जाते.
6) लिफ्ट – हाय अ‍ॅक्सेलेरेशन (α) आणि रिटार्डेशन (β) (high acceleration and high retardation) आवश्यक असल्यामुळे मोटारीचे आर्मेचर हलके आणि मध्यम वेगाने फिरणारे असावे. डी.सी. कंपाउंड, स्लिप-रिंग इंडक्शन आणि इंडक्शन-रिपल्शन मोटारी यासाठी योग्य आहेत.
7) कापड उद्योग (Textile Industry) – मोटारी पूर्णपणे बंद (Totally Enclosed) आणि आर्द्रतारोधक (Moisture-proof) असाव्यात, कारण या ठिकाणी सूत आणि कापडाचे कण मोटारीत शिरण्याची शक्यता असते. 3-फेज इंडक्शन मोटार वापरली जाते, कारण तिचा स्पीड पुरवठ्याच्या वारंवारतेवर (supply frequency) अवलंबून असतो.
8) प्रिंटिंग मशिन (Printing machinery) – बदलत्या वेगाची आवश्यकता असल्यामुळे रोटर रेझिस्टन्स (rotor resistance) असलेली इंडक्शन मोटार वापरली जाते. मोठ्या स्पीड बदलासाठी डी.सी. कंपाउंड मोटार किंवा ए.सी. कम्युटेटर मोटार वापरतात.
9) पेपर इंडस्ट्री (Paper Industry) – सिंक्रोनस मोटार वापरली जाते, कारण सतत स्थिर स्पीड राखल्याने कागदाचा समान जाडीचा थर तयार होतो. स्पीड स्थिर असण्याची आवश्यकता नसल्यास स्किरल केज इंडक्शन मोटार किंवा डी.सी. मोटार वापरतात.
10) लोखंड आणि स्टील उद्योग – डी.सी. शंट मोटार (फ्लायव्हीलसह) किंवा स्पीड नियंत्रित इंडक्शन मोटार वापरली जाते.
11) खाणकाम (Mining Work) – सुरक्षा कारणास्तव ज्वालारोधक (Flame-proof) मोटारी आवश्यक असतात. 10 एच.पी. पर्यंत स्किरल केज मोटार, तर मोठ्या क्षमतेसाठी स्लिप-रिंग किंवा डी.सी. मोटार वापरतात.

4.7 लोड सायकल: ग्राफिकल रीप्रेझेंटेशनसह संकल्पना (Load cycles: concept with graphical representation)

1. कंट्युनीअस ड्यूटी मोटर सायकल (एस 1) (Continuous Duty Motor Cycle (S1))

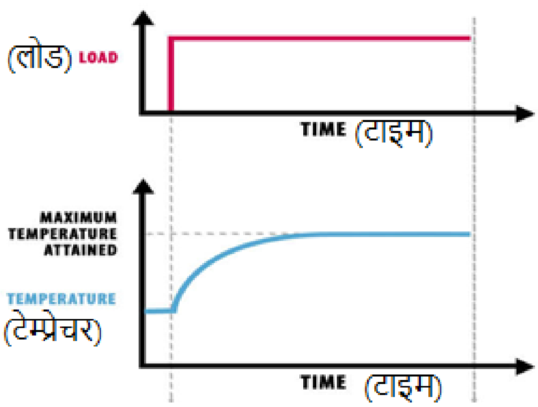


Figure 4.7 मोटर ड्यूटी सायकल- कंट्युनीअस ड्यूटी (Motor Duty Cycle– Continuous Duty)

सर्वात पहिला आणि सोपा ड्युटी सायकलचा प्रकार कंट्युनीअस ड्यूटी (Continuous Duty) आहे. याला संक्षिप्त रूपात S1 ड्युटी असेही म्हटले जाते.

या प्रकारच्या ड्युटी सिस्टीम मध्ये, मोटार सतत स्थिर लोडवर चालते आणि दीर्घकाळ कार्यरत राहिल्यानंतर तिचे तापमान संतुलित (Thermal Equilibrium) होते. तसेच, मोटार सुरू करण्याचा तिच्या तापमानावर अगदीच किरकोळ परिणाम होतो. S1 ड्युटीचे एक उदाहरण म्हणजे पंखा, जो एकदा सुरू केल्यावर तो न थांबवता सतत चालू राहतो.

कंट्युनीअस ड्यूटी सिस्टीम चे ऍडव्हान्टेजेस (Advantages of Continuous Duty).

1) उच्च कार्यक्षमता (Efficiency) – सतत स्थिर लोडमुळे मोटार अधिक कार्यक्षम राहते.
2) विश्वसनीयता (Dependability) – अशा मोटारी दीर्घकाळ कोणत्याही अडचणीशिवाय चालू राहू शकतात.
3) साधेपणा (Simplicity) – वारंवार सुरू किंवा बंद करण्याची आवश्यकता नसते.

S1 ड्युटीची प्रमुख उदाहरणे

कंट्युनीअस आणि लॉंग टाइम चालणाऱ्या यंत्रांसाठी S1 ड्युटी आयडीअल मानली जाते. यामध्ये समाविष्ट आहे:

1) एस्कलेटर (Escalators)
2) इलेक्ट्रिक वाहने (eMobility solutions)
3) MIG वेलडिंग मशीन.
4) पॅकेजिंग मशिनरी (Packaging Machinery)

S1 ड्युटी असलेल्या मोटार मुख्यतः कंट्युनीअस आणि कॉन्स्टंट लोडवर चालणाऱ्या यंत्रांसाठी योग्य असतात.

2. शॉर्ट टाइम (अल्पकालीन) कार्य रेटिंग (Short Time Rating - S2)

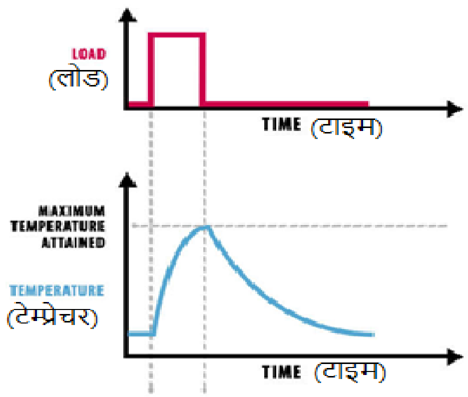


Figure 4.8 मोटर ड्यूटी सायकल- अल्पकालीन/शॉर्ट कार्य ड्यूटी
(Motor Duty Cycle – Short Duty)

अल्पकालीन/ शॉर्ट टाइम रेटिंग (S2) (Short Time Rating - S2):

अल्पकालीन कार्य रेटिंग (Short Time Rating - S2) हा मोटारच्या कार्य करण्याच्या कालावधीचा एक प्रकार आहे, ज्यामध्ये मोटार ठराविक वेळेसाठी सतत लोडवर चालते आणि थर्मल समतोल (thermal

equilibrium) गाठण्याच्या आधीच बंद केली जाते. यानंतर, मोटार पूर्णपणे थंड होईपर्यंत (ambient temperature) बंद घेतली जाते आणि त्यानंतरच पुन्हा सुरू केली जाते.

विशेष कॅरेक्टरीक्सस्टिकस:

1) स्थिर लोड: मोटार ठराविक लोडवर कार्य करते.
2) मर्यादित वेळेसाठी कार्यरत: थर्मल समतोल गाठण्याआधीच बंद केली जाते.
3) शीतकरण कालावधी आवश्यक: मोटार पुन्हा सुरू करण्यापूर्वी ती पूर्णपणे थंड होणे आवश्यक आहे.

S2 कार्य रेटिंगचे वर्गीकरण:

1) S2 नंतर दिलेले मिनिटांचे मूल्य मोटार किती वेळ चालू शकते हे दर्शवते. उदाहरणार्थ,
2) S2 10 मिनिटे – मोटार 10 मिनिटे कार्यरत राहते आणि नंतर थंड होण्यास बंद असते घेते.
3) S2 30 मिनिटे – मोटार 30 मिनिटे चालते आणि नंतर थंड होईपर्यंत बंद असते घेतली जाते.

उदाहरणे व ऍप्लिकेशन :

S2 कार्य रेटिंग असलेले मोटार अल्पकालीन ऑपरेशनसाठी वापरले जातात जसे की:

1) क्रेन आणि लिफ्ट्स – उचलण्याचे ऑपरेशन लहान कालावधीसाठी असते.
2) कापड उद्योगातील मशिन – अल्पकालीन प्रक्रिया ज्या सतत कार्यरत राहण्याची गरज नसते.
3) काही प्रकारची पॅकिंग यंत्रणा – ज्यामध्ये विशिष्ट वेळेसाठी काम होते आणि नंतर बंद असते मिळते.
   S2 मोटार नियतकालिक ऑपरेशनसाठी (intermittent operation) योग्य आहेत, जिथे सतत कार्य करण्याची गरज नाही आणि मोटार गरम होण्याच्या आधीच बंद केली जाऊ शकते.

3. इंटरमिटंट ड्यूटी (S3) (Intermittent Periodic Duty (S3))

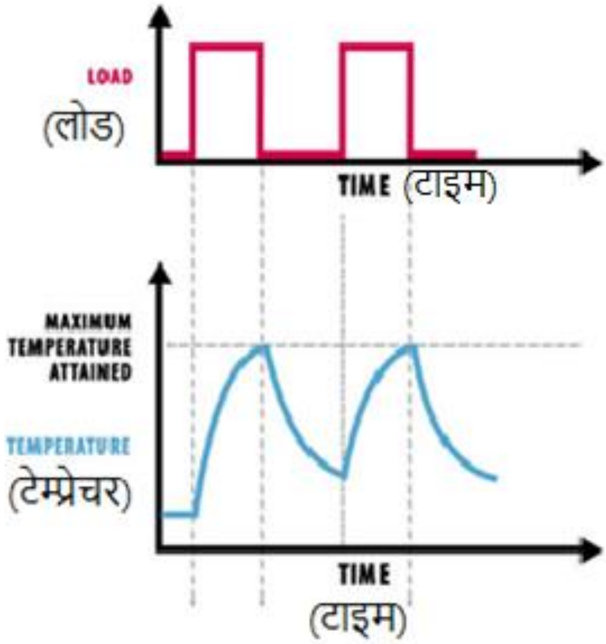


Figure 4.9 मोटर ड्यूटी सायकल- इंटरमिटंट ड्यूटी
(Motor Duty Cycle – Intermittent Duty)

इंटरमिटंट आवर्तक कार्य (S3) (Intermittent Periodic Duty (S3)) म्हणजे एक कार्य चक्र (duty cycle) जिथे मोटार ठराविक वेळेसाठी कार्य करते आणि नंतर बंद असते . या प्रकारात, मोटार सतत थंड होण्याइतपत बंद असत नाही, त्यामुळे काही प्रमाणात उष्णता साठते.

विशेष कॅरेक्टरीक्सस्टिकस:

1) कार्यरत आणि बंदचा समावेश: मोटार एका आवर्त चक्रात ठराविक वेळ चालते आणि बंद होते.
2) थर्मल समतोल साध्य होत नाही: बंद चा कालावधी पुरेसा नसतो, त्यामुळे प्रत्येक चक्रात थोडी उष्णता साठते.
3) कार्यकाल आणि बंद यांचे प्रमाण दिले जाते: S3 नंतर दिलेले % मूल्य कार्यकाल आणि बंद यांचे प्रमाण दर्शवते.

S3 कार्य रेटिंगचे वर्गीकरण:

S3 नंतर दिलेले % मूल्य दर्शवते की मोटार किती वेळ कार्यरत असेल आणि किती वेळ बंद असेल.
उदाहरणार्थ,
S3 25% – मोटार 25% वेळ चालू राहते आणि 75% वेळ बंद राहते.
S3 40% – मोटार 40% वेळ चालू राहते आणि 60% वेळ बंद राहते.

उदाहरणे व ॲप्लिकेशन:

S3 कार्य रेटिंग असलेले मोटार वारंवार थांबणाऱ्या आणि सुरू होणाऱ्या यंत्रणांसाठी वापरले जातात, जसे की:

1) प्रेस मशीन – प्रेस मशीनमध्ये सतत कार्य न करता, काही सेकंद ते मिनिटांच्या अंतराने काम केले जाते.
2) लिफ्ट आणि क्रेन यंत्रणा – जिथे मोटार सतत कार्यरत राहत नाही, पण अधूनमधून कार्य करते.
3) पॅकेजिंग आणि असेंब्ली लाइन यंत्रणा – जिथे प्रत्येक ऑपरेशननंतर बंद घेतली जाते.
4) वेल्डिंग यंत्रणा – सतत काम करण्याऐवजी ठराविक वेळेसाठी वेल्डिंग ऑपरेशन होते. S3 प्रकारातील मोटार वारंवार थांबणाऱ्या आणि सुरू होणाऱ्या प्रक्रियांसाठी योग्य असतात, जिथे बंद चा कालावधी कमी असतो पण सतत काम करण्याची आवश्यकता नसते.

4.8 लोड इक्वीलाईझेशन (Load Equalization): संकल्पना, पद्धती आणि अटी (Load Equalization: Concept, and methods and condition of load equalization)

औद्योगिक ड्राइव्हमध्ये, जसे की रोलिंग मिल्स, प्लॅनिंग मशीन, इलेक्ट्रिक हॅमर्स, आणि रिसिप्रोकॅटिंग पंप, लोड मोठ्या प्रमाणात चढ-उतार करतो. जर लोड अचानक वाढला तर सप्लाय सिस्टीम वर जास्त ताण येतो, ज्यामुळे व्होल्टेज ड्रॉप होऊ शकतो किंवा मोठ्या आकाराचे केबल्स आणि वायरिंग आवश्यक होऊ शकते.

4.8.1 लोड इक्वीलाईझेशनची संकल्पना (Concept of Load Equalization)

लोड इक्वीलाईझेशन (Load Equalization) ही विद्युत सिस्टीम तील तंत्र आहे, ज्याद्वारे औद्योगिक आणि विद्युत वाहतूक सिस्टीम मध्ये लोडच्या चढ-उतारांना संतुलित केले जाते.
परिभाषा (definition): "फ्लक्ट्युएटिंग लोड स्मूथ करणे म्हणजे लोड इक्वीलाईझेशन (Load Equalization) होय."

लोड इक्वीलाईझेशनचे ऍडव्हान्टेजेस :

1) उर्जेचा कार्यक्षम वापर होतो.
2) विद्युत स्त्रोतावरचा ताण कमी होतो.
3) सिस्टीम अधिक स्थिर आणि कार्यक्षम बनते.

4.8.2 लोड इक्वीलाईझेशनच्या पद्धती (Methods of Load Equalization)

लोड इक्वीलाईझेशनचे दोन मुख्य प्रकार आहेत:

A) फ्लायव्हीलचा वापर (यांत्रिक पद्धत)

फ्लायव्हील हा फिरणारा वस्तुमान असतो, जो कमी लोडच्या वेळी ऊर्जा साठवतो आणि उच्च लोडच्या वेळी ती ऊर्जा पुरवतो.

कार्य करण्याची पद्धत:

जेव्हा लोड कमी असतो, मोटर फ्लायव्हीलला फिरवून ऊर्जा साठवते.
जेव्हा लोड वाढतो, फ्लायव्हील आपली साठवलेली ऊर्जा पुरवतो आणि सप्लायवरील भार स्थिर ठेवतो.
वापर: DC मोटर-ड्रिव्हन सिस्टीम जसे की प्रेस मशीन, रोलिंग मिल्स.

B) ऊर्जा संचयन उपकरणांचा वापर (विद्युत पद्धत)

सध्या यांत्रिक फ्लायव्हीलच्या ऐवजी इलेक्ट्रिकल एनर्जी स्टोरेज डिव्हाइसेस वापरल्या जातात, जसे की:

1) सुपरकॅपेसिटर
2) बॅटरी एनर्जी स्टोरेज सिस्टम (BESS)
3) इलेक्ट्रिक ट्रॅक्शनमधील पुनरुत्पादक ब्रेकिंग (Regenerative Braking)

कार्य करण्याची पद्धत:

1) कमी लोडच्या वेळी अतिरिक्त ऊर्जा संचयित केली जाते.
2) उच्च लोडच्या वेळी ती साठवलेली ऊर्जा पुरवली जाते.

वापर: इलेक्ट्रिक रेल्वे, ट्राम, स्मार्ट ग्रिड सिस्टम्स.

4.8.3 लोड इक्वीलाईझेशनसाठी आवश्यक अटी (Condition for Load Equalization)

लोड इक्वीलाईझेशन (Load Equalization) प्रभावी होण्यासाठी खालील अटी पूर्ण करणे आवश्यक आहे:

1) लोडमध्ये पूर्वानुमान करण्यासारखे बदल असावेत :
   जर लोडचा चढ-उतार नियमित असेल, तर फ्लायव्हील किंवा बॅटरी त्याला योग्य प्रतिसाद देऊ शकते.
2) योग्य ऊर्जा संचयन क्षमता असावी :
   फ्लायव्हील किंवा बॅटरीमध्ये पुरेशी ऊर्जा साठवण्याची क्षमता असावी.
3) कार्यक्षम नियंत्रण सिस्टीम असावी :
   फ्लायव्हीलसाठी मेकॅनिकल गव्हर्नर, तर बॅटरीसाठी इलेक्ट्रॉनिक कंट्रोल सिस्टम असावी.
4) रिजनरेटीव्ह ब्रेकिंगचे इंटेग्रेशन (इलेक्ट्रिक ट्रॅक्शनमध्ये वापर)
   इलेक्ट्रिक लोकोमोटिव्हमध्ये रिजनरेटीव्ह ब्रेकिंगद्वारे गाडी थांबवताना निर्माण होणारी ऊर्जा साठवली जाते आणि ती नंतर वापरली जाते.

4.8.4 लोड इक्वीलाईझेशनचे ऍडव्हान्टेजेस (Advantages of Load Equalization)

1) विद्युत लोडचा ताण कमी होतो.
2) इलेक्ट्रिक सिस्टम चा पॉवरफॅक्टर सुधारते. (Improves power factor and efficiency)

3) मोटर आणि यंत्रसामग्रीचे आयुष्य वाढते.
4) ऊर्जेची बचत होते, विशेषतः इलेक्ट्रिक ट्रॅक्शनमध्ये.

4.8.5 लोड इक्वीलाईझेशनचे ॲप्लिकेशन (Application of Load Equalization)

1) इलेक्ट्रिक ट्रॅक्शन: लोकोमोटिव्ह, मेट्रो, ट्राम, इलेक्ट्रिक बस.
2) औद्योगिक मशीनरी: रोलिंग मिल्स, प्रेस मशीन, लिफ्ट्स, क्रेन.
3) नवीकरणीय ऊर्जा सिस्टीम : सोलर आणि पवन ऊर्जा संयंत्रांमध्ये.
4) UPS आणि स्मार्ट ग्रिड: सतत कार्यरत राहणाऱ्या सिस्टमसाठी.

4.9 लिफ्ट (Elevators): कार्य, ॲप्लिकेशन, प्रकार, मोटर आणि सुरक्षा सिस्टीम (Elevators: Function, application, Types, its motor and safety)

4.9.1 लिफ्टचे फंक्शन (Function of Elevators)

लिफ्ट ही ऊर्ध्ववाहन सिस्टीम (Vertical Transportation System) आहे, जी लोक आणि माल विविध मजल्यांवर नेण्यासाठी वापरली जाते.

कार्य करण्याची पद्धत:

1) विद्युत मोटर लिफ्टला वर-खाली हलवते.
2) कंट्रोल सिस्टम स्पीड , दारे (door) आणि थांबे (स्टॉप) नियंत्रित करते.
3) सुरक्षा सिस्टीम फ्री-फॉल आणि अचानक थांबे टाळते.

4.9.2 लिफ्टचे ॲप्लिकेशन (Applications of Elevators)

1) रेसिडेन्शिअल बिल्डींग (Residential Buildings) – अपार्टमेंट्स आणि उच्च इमारतींमध्ये.
2) कमर्शियल बिल्डींग – ऑफिस, मॉल, हॉटेल्समध्ये.
3) हॉस्पिटल (रुग्णालये) – रुग्णांना हलवण्यासाठी.
4) इंडस्ट्रीअल एरिया – जड माल हलवण्यासाठी.
5) रेल्वे आणि मेट्रो स्थानकेमध्ये – प्रवासी सोयीसाठी.
6) माईन्स (खाणकाम) आणि कंन्सट्रक्सशन (बांधकाम) – जड उचलण्याच्या कामासाठी.

4.9.3 इलेव्हेटर्स (लिफ्टचे) प्रकार (Types of Elevators)

A) ऑपरेटिंग मेकेनिसमवर आधारित (Based on Operating Mechanism)

ट्रॅक्शन इलेव्हेटर (लिफ्ट) (Traction Elevator)

1) स्टील रोप आणि कॉउंटरवेट वापरतात.
2) उच्च-इमारतींसाठी उपयुक्त.
3) गिअरयुक्त (Geared) किंवा गिअरलेस (Gearless) प्रकार असतो.

हायड्रॉलिक इलेव्हेटर (लिफ्ट) (Hydraulic Elevator)

1) हायड्रॉलिक पंप आणि पिस्टन वापरतात.
2) लो-राईज (2-5 मजले) इमारतींसाठी उपयुक्त.
3) ट्रॅक्शन लिफ्टपेक्षा वेगाने हळू असते.

मशीन रूम-लेस (MRL) इलेव्हेटर (लिफ्ट) (Machine room Less Elevator)

1) वेगळ्या मशीन रूमची आवश्यकता नाही.
2) ऊर्जा-बचत करणारी आणि जागा वाचवणारी सिस्टीम .

न्यूमॅटिक (व्हॅक्युम) इलेव्हेटर (लिफ्ट) (Pneumatic Elevator)

1) हवेच्या दाबाचा तफावत वापरते.
2) घरगुती लिफ्टसाठी वापरली जाते.

B) पर्पज वर आधारित (Based on Purpose)

1) प्रवासी लिफ्ट (Passenger Elevator) – सामान्य लोकांसाठी.
2) मालवाहू लिफ्ट (Freight Elevator) – जड माल वाहतुकीसाठी.
3) रुग्णालय लिफ्ट (Hospital Elevator) – रुग्ण आणि स्ट्रेचरसाठी.
4) डंबवेटर (Dumbwaiter) – हॉटेल्स, ऑफिसमध्ये अन्न आणि दस्तऐवज वाहतुकीसाठी.
5) सिझर लिफ्ट (Scissor Lift) – औद्योगिक क्षेत्रात मोठ्या उंचीवर काम करण्यासाठी.

4.9.4 लिफ्टमध्ये वापरल्या जाणाऱ्या मोटर (Motors Used in Elevators)

ट्रॅक्शन लिफ्टसाठी:

1) AC इंडक्शन मोटर (3-Phase) – सर्वसामान्य ट्रॅक्शन लिफ्टमध्ये वापरली जाते.
2) परमनंट मॅग्नेट सिंक्रोनस मोटर (Permanent Magnet Synchronous Motor (PMSM)) – गिअरलेस ट्रॅक्शनमध्ये वापरली जाते, उच्च कार्यक्षमतेसाठी.

4.9.5 इलेव्हेटर (लिफ्ट) ची सुरक्षा (सेफ्टी) सिस्टीम (Elevator Safety Systems)

A) मेकॅनिकल सुरक्षा (सेफ्टी) सिस्टीम (Mechanical Safety Features)

1) ओव्हरस्पीड गव्हर्नर (Overspeed governor) – लिफ्ट वेगाने खाली गेल्यास थांबवते.
2) सेफ्टी ब्रेक्स (safety brakes) – वायर तुटल्यास किंवा मोटर बिघडल्यास लिफ्ट थांबवते.
3) बफर सिस्टम (buffer system) – लिफ्ट तळाशी गेल्यावर धक्का कमी करते.
4) इमर्जन्सी स्टॉप बटण – प्रवाशांना आवश्यकतेनुसार लिफ्ट थांबवता येते.

B) इलेक्ट्रिकल सुरक्षा (सेफ्टी) सिस्टीम (Electrical Safety Features)

1) डोअर इंटरलॉक सिस्टम – दारे पूर्ण बंद होईपर्यंत लिफ्ट सुरू होत नाही.
2) ओव्हरलोड सेन्सर – जास्त वजन असल्यास लिफ्ट सुरू होत नाही.
3) बॅकअप पॉवर सिस्टम – वीज गेल्यास सुरक्षितपणे ऑपरेट करते.
4) ऑटोमॅटिक रेस्क्यू डिव्हाइस (ARD) – वीज गेल्यास लिफ्ट जवळच्या मजल्यावर पोहोचवते.

4.10 इलेव्हेटर (लिफ्ट) च्या कारची आकार आणि स्वरूप ठरवणारे घटक

1) इलेव्हेटर (लिफ्ट) कारचा आकार (Size of Elevator Car)

लिफ्टचा आकार प्रवाशांची संख्या किंवा इमारतीच्या डिझाइननुसार ठरतो.

2 स्क्वेअर फूट/प्रवासी जागा राखली जाते.

2) इलेव्हेटर (लिफ्ट) चा स्पीड (Speed of Elevator)

स्पीड फूट प्रति मिनिट (ft/min) मध्ये मोजला जातो.

उदाहरणार्थ,

1) खाजगी घरात: 100–150 ft/min
2) हॉटेल्स आणि अपार्टमेंट्स: 100–350 ft/min
3) डिपार्टमेंट स्टोअर्स: 100–300 ft/min
4) ऑफिसेस: 250–800 ft/min

3) इलेव्हेटर (लिफ्ट) मशीनचे लोकेशन (Location of Elevator Machine)

बहुतेक पेंट हाऊसमध्ये (इमारतीच्या वरच्या बाजूला) स्थापित केली जाते.
काही ठिकाणी तळमजल्यावरही बसवली जाते, पण यामुळे होईस्ट केबल लांब लागते आणि ते टाळले जाते.

4) मोटर ड्राइव्ह (Motor Drive)

मोटर स्मूथ आणि रिलाएबल (reliable) असावी.
स्पीड कंट्रोल करणे सोपे असावे.

5) इलेव्हेटर (लिफ्ट) कारचा आकार आणि रचना (Shape of Elevator Car)

1) लिफ्ट कार रुंद समोरील भाग आणि उथळ खोली असलेली असावी.
2) मोठे दरवाजे असतील, तर प्रवाशांचे जलद स्थानांतरण शक्य होते.
3) लिफ्ट हे शहरी जीवनाचा अविभाज्य भाग आहे. विविध प्रकारच्या लिफ्ट्स त्यांच्या कार्यसिस्टीम आणि वापरानुसार तयार केल्या जातात. विद्युत मोटर्स, सुरक्षा सिस्टीम आणि योग्य डिझाइन यामुळे लिफ्ट्स सुरक्षित, कार्यक्षम आणि वापरण्यास सुलभ बनतात.

नमुना प्रश्न (Sample Questions)

1) ग्रुप ड्राइव्ह (Group Drive) चे कोणतेही दोन फायदे आणि दोन तोटे नमूद करा.
2) इलेक्ट्रिक ड्राइव्ह (Electric Drive) च्या निवडीवर परिणाम करणारे कोणतेही चार घटक (factors) नमूद करा.
3) इंडिव्हिज्युअल ड्राइव्ह (Individual Drive) चे कोणतेही दोन फायदे आणि दोन तोटे नमूद करा.
   Q4. परिभाषित करा (Define):

i) सरासरी गती (Average Speed) ii) अनुसूची गती (Schedule Speed)

4) खालील ड्युटी सायकल (Duty Cycle) साठी मोटरची (Motor) योग्य H.P. मोजण्यासाठी वक्र (curve) काढा आणि अंदाज करा:

200 ते 400 HP वाढणारा लोड (Rising Load) – 5 मिनिटे
400 HP चा समान लोड (Uniform Load) – 2 मिनिटे
50 ते शून्य HP पर्यंत रिजनरेटिव्ह ब्रेकिंग (Regenerative Braking) – 1 मिनिट
आयडल (Idle) स्थिती – 1 मिनिट

5) एका इलेक्ट्रिक मोटरचा (Electric Motor) लोड खालीलप्रमाणे आहे:
   टॉर्क (Torque) 140 Nm – 20 मिनिटे
   टॉर्क (Torque) 40 Nm – 10 मिनिटे
   टॉर्क (Torque) 200 Nm – 10 मिनिटे
   टॉर्क (Torque) 100 Nm – 20 मिनिटे
6) जर मोटरचा वेग (Speed) 720 rpm असेल, तर मोटरचे पॉवर रेटिंग (Power Rating) गणना करा.
7) AC इलेक्ट्रिक लोकोमोटिव्ह (AC Electric Locomotive) च्या विविध भागांचे रेखाटन (Diagram) करा आणि योग्य लेबलिंग (Labeling) करा.
8) एका इलेक्ट्रिक मोटरचा (Electric Motor) लोड खालीलप्रमाणे आहे:
   i) टॉर्क (Torque) 150 Nm – 20 मिनिटे ii)टॉर्क (Torque) 50 Nm – 10 मिनिटे
   ii) टॉर्क (Torque) 220 Nm – 10 मिनिटे iv) टॉर्क (Torque) 120 Nm – 20 मिनिटे

9) जर मोटरचा वेग (Speed) 750 rpm आणि कार्यक्षमता (Efficiency) 85% असेल, तर मोटरचे पॉवर रेटिंग (Power Rating) शोधा.
10) ड्राइव्हमध्ये (Drive) लोड इक्कलायझेशन (Load Equalization) ची गरज स्पष्ट करा. उद्योगामध्ये (Industry) लोड इक्कलायझेशन साध्य करण्यासाठी वापरल्या जाणाऱ्या सामान्य पद्धतीचे वर्णन करा.
11) मोटर्समध्ये (Motors) लोड इक्कलायझेशन (Load Equalization) ची गरज स्पष्ट करा.
12) बिअरिंग्सची (Bearings) कार्ये आणि त्यांच्या प्रकारांबद्दल लिहा.
13) ड्राइव्हमध्ये (Drive) लोड इक्कलायझेशन (Load Equalization) ची गरज स्पष्ट करा. उद्योगामध्ये (Industry) लोड इक्कलायझेशन साध्य करण्यासाठी वापरल्या.

Unit - 5 Electric Traction
युनिट - 5 इलेक्ट्रिक ट्रॅक्शन

विषय निष्पत्ती (Course level learning outcome - CO's):
CO 5 - वेगवेगळ्या इलेक्ट्रिक ट्रॅक्शन सिस्टमचे देखभाल व निगा राखणे. (Maintain different electric traction system.)

घटक निष्पत्ती (Theory Learning Outcome- TLO's):
1. दिलेल्या ॲप्लिकेशन (Application) साठी योग्य ट्रॅक्शन सिस्टिमची (Traction system) निवड करा आणि त्याचे स्पष्टीकरण द्या.
2. विशिष्ट ट्रॅक्शन सर्व्हिस साठी योग्य ट्रॅक इलेक्ट्रिफिकेशन (track electrification system) सिस्टिम निवडा आणि त्याचे स्पष्टीकरण द्या.
3. ट्रॅक इलेक्ट्रिफिकेशन सिस्टिमच्या (track electrification system) विविध प्रकारांमधील महत्त्वाच्या वैशिष्ट्यांमध्ये फरक करा.
4. दिलेल्या इलेक्ट्रिक ट्रॅक्शन ॲप्लिकेशन साठी स्पीड टाइम-कर्व (Speed-Time Curve) काढा.
5. दिलेल्या निकषांनुसार (क्रायटेरिया नुसार) ट्रॅक्शन सर्व्हिसच्या विविध प्रकारांमधील फरक दर्शवा.
6. दिलेल्या ट्रॅक्शन सर्व्हिस साठी ॲव्हरेज स्पीड आणि शेड्यूल स्पीड (Average & Schedule Speed) शोधा.

5.1 इलेक्ट्रिक ट्रॅक्शन सिस्टिमची (Electric Traction System) ओळख आणि आयडीअल (Ideal) ट्रॅक्शन सिस्टिमसाठी आवश्यक घटक (Introduction of electric traction system, Requirements of ideal traction system)

5.1.1 परिचय (Introduction):
इलेक्ट्रिक ट्रॅक्शन म्हणजे अशी वाहतूक सिस्टिम जिथे लोकोमोटिव्ह इलेक्ट्रिक मोटरद्वारे ऑपेरेट (operate) जाते. ही सिस्टिम इलेक्ट्रिक रेल्वे, ट्राम (Tram), ट्रॉली (Trolly) बस आणि डिझेल-इलेक्ट्रिक वाहनांमध्ये वापरली जाते. स्टीम ट्रॅक्शन आणि इतर नॉन-इलेक्ट्रिक ट्रॅक्शन सिस्टमच्या तुलनेत इलेक्ट्रिक ट्रॅक्शनचे अनेक ॲडव्हान्टेज (Advantage) आहेत.
इलेक्ट्रिक ट्रॅक्शन सर्वप्रथम 1890 ला ब्रिटनमध्ये 600V DC सिस्टिमसह सुरू करण्यात आले. भारतात इलेक्ट्रिक ट्रॅक्शनची सुरुवात 1925 मध्ये झाली. पहिली उपनगरी रेल्वे सर्व्हिस मुंबई (CSMT) ते इगतपुरी आणि पुणे दरम्यान सुरू करण्यात आली आणि त्यासाठी 1500V DC इलेक्ट्रिक सप्लाय देण्यात आला. प्रारंभी, इलेक्ट्रिक पुरवठ्यासाठी रोटरी कन्व्हर्टर सबस्टेशन्स वापरण्यात आली, नंतर ती कंट्रोल्ड मर्क्युरी आर्क (Mercury Arc) रेक्टिफायर्सने बदलण्यात आली. आता, सॉलिड-स्टेट (solid state) उपकरणांचा वापर डीसी सबस्टेशनमध्ये मोठ्या प्रमाणावर केला जात आहे.
सुमारे 20 वर्षांनंतर, 3000V DC सिस्टिमचा अवलंब करण्यात आला. परंतु, फ्रेंच आंतरराष्ट्रीय रेल्वेच्या अहवालांनुसार, 50Hz इंडस्ट्रियल फ्रिक्वेन्सी असलेल्या AC सिस्टिमचे आर्थिक आणि कार्यक्षमतेच्या (financially and operationally) दृष्टीने अधिक ॲडव्हान्टेज (Advantage) असल्याचे आढळून आले. त्यामुळे 1957 मध्ये भारतीय रेल्वे बोर्डाने भविष्यातील सर्व ट्रॅक्शन योजनांसाठी 25kV, 50Hz सिंगल-फेज एसी सिस्टम स्वीकारली. या सिस्टिममुळे ओव्हरहेड वायरिंग (Overhead wiring), सबस्टेशन (substation) आणि लोकोमोटिव्हच्या (Locomotive) वापराच्या खर्चात मोठ्या प्रमाणावर बचत होते.
आज भारत देश ट्रॅक इलेक्ट्रिफिकेशनमध्ये आशियात दुसऱ्या आणि जगात अकराव्या स्थानावर आहे. भारतात 25kV, 50Hz सिंगल-फेज AC सप्लयास इंजिनला दिला जातो. इंजिनमध्ये असलेल्या ट्रान्सफॉर्मर

(Transformer) आणि रेक्टिफायरच्या (Rectifier) मदतीने एसीला डीसीमध्ये रूपांतरित करून डीसी ट्रॅक्शन मोटर्सना सप्लाय दिला जातो. मात्र, अलीकडे AC ट्रॅक्शन मोटर्स चा अधिक वापर करण्याच्या दृष्टीने संशोधन (research) सुरू आहे.

5.1.2 आयडीअल ट्रॅक्शन सिस्टिमसाठी आवश्यक घटक (Requirement of an Ideal traction system):

1 हाय अधेशन कोइफिशंट (High Adhesion Coefficient): सुरुवातीस हाय ट्रॅक्टीव्ह ईफोर्ट (tractive effort) मिळवण्यासाठी आणि हाय प्रवेग (ॲक्सेलेरेशन) होण्यासाठी हाय अधेशन कोइफिशंट असावा.
2 सेल्फ कंटेनड युनिट (Self-Contained Unit): इंजिन किंवा ट्रेन युनिट अशा प्रकारे असावे की ते कोणत्याही रूटवर चालू शकेल.
3 ट्रॅकची झिज (Minimum Wear on Track) कमीत कमी होईल अशी व्यवस्था असावी.
4 सिस्टम कमी वेळेसाठी (Short-Term Overloading Capability) अतिरिक्त भार सहन करू शकेल.
5 आवश्यक उपकरणे अत्यंत एफिशीअंट (Efficient) (High Efficiency & Low Maintenance Cost): असावीत आणि त्यांचा प्रारंभिक व मेंटेनन्स कॉस्ट कमी असावा.
6 पोल्युशन -फ्री (Pollution-Free): इलेक्ट्रिक ट्रॅक्शन सिस्टिम कोणतेही पोल्युशन निर्माण न करणारी असावी.
7 इझी स्पीड कंट्रोल (Easy Speed Control): इलेक्ट्रिक ट्रॅक्शन चे स्पीड कंट्रोल सोपे आणि अचूक असावे.
8 प्रभावी ब्रेकिंग (Efficient Braking): ब्रेकिंग सिस्टम अशी असावी की ब्रेक शूजचे फ्रिक्शन (घर्षण) कमी होईल आणि शक्य असल्यास ब्रेकिंग दरम्यान निर्माण होणारी उष्णता वीजेत रूपांतरित करून परत वापरता येईल.

5.2 ट्रॅक इलेक्ट्रिफिकेशन सिस्टिम: DC ट्रॅक इलेक्ट्रिफिकेशन, सिंगल-फेज 25kV AC सप्लाय सिस्टिम, कंपोझिट सिस्टिम (Systems of Track Electrification: D.C Track Electrification, Single phase 25 KV AC Supply System, Composite System)

5.2.1 इलेक्ट्रिक ट्रॅक्शन (Electric traction):

इलेक्ट्रिक ट्रॅक्शन म्हणजे अशी सिस्टिम जिथे लोकोमोटिव्हला (Locomotive) इलेक्ट्रिक सप्लाय ओव्हरहेड वायर (Overhead wire) द्वारे केला जातो.
इलेक्ट्रिक ट्रॅक्शन सिस्टिम दोन प्रमुख प्रकारांमध्ये विभागली जाऊ शकते:

- अल्टरनेटिंग करंट (AC) सप्लाय सिस्टिम
- डायरेक्ट करंट (DC) सप्लाय सिस्टिम

प्रचलित इलेक्ट्रिक ट्रॅक्शन सिस्टिमचे प्रकार:

a) AC 3-फेज 3.7 kV सिस्टिम
b) AC सिंगल-फेज 15/16 kV – 16 1/25 Hz
c) AC सिंगल-फेज 20/25 kV - 50/60 Hz
d) DC 600V, DC 1200V, DC 1.5 kV, DC 3 kV

इलेक्ट्रिक ट्रॅक्शनचे ॲडव्हान्टेजेस (Advantages):

इलेक्ट्रिकल ट्रान्समिशनचे ॲडव्हान्टेज (Advantage) खालील प्रमाणे आहेत,

1. इलेक्ट्रिक ट्रॅक्शनचे विदाउट शॉक स्मूथ स्टार्टिंग (smooth starting) होते.

2. फुल ड्रायव्हिंग टॉर्क (driving torque) स्टॅन्डस्टील पासुन उपलब्ध होतो. (Full driving torque is available from standstill).
3. इंजिन योग्य स्पीडच्या मर्यादित चालवता येते.
4. हाय इफिशीअन्शी (efficenecy) मिळते.
5. ट्रॅक्शन मोटर आणि जनरेटरचे गुणधर्म (Characteristics) अशा प्रकारे निवडले जातात की लोड (load) आणि ग्राडीएंट नुसार (Gradient) स्पीड आपोआप ऍडजस्टेड (समायोजित) होतो.
6. इलेक्ट्रिकल ट्रान्समिशन (transmission) केवळ टॉर्क कन्व्हर्टरप्रमाणे कार्य करत नाही तर गीअर सिस्टम म्हणूनही मदत करते.

स्टीम ट्रॅक्शनच्या तुलनेत इलेक्ट्रिक ट्रॅक्शनचे ऍडव्हान्टेज (Advantage):

1. **क्लीनलीनेस (Cleanliness):** स्मोक तसेच करोसिव्ह फ्युम्स (smoke or corrosive fumes) तयार होत नसल्यामुळे, इलेक्ट्रिक ट्रॅक्शन अंडरग्राउंड रेल्वेसाठी अत्यंत उपयुक्त आहे. तसेच, स्मोक आणि फ्ल्यू गॅसेसच्या अनुपस्थितीमुळे (absence of smoke and flue gases) इमारती आणि इतर उपकरणांचे कोणतेही नुकसान होत नाही.
2. **लो मेंटेनन्स कॉस्ट (Low Maintenance Cost):** इलेक्ट्रिक लोकोमोटिव्हची देखभाल खर्च स्टीम लोकोमोटिव्हच्या तुलनेत 50% कमी आहे.देखभालीचा वेळही कमी लागतो.
3. **क्विक स्टार्टअप (Quick Start-up):** इलेक्ट्रिक लोकोमोटिव्ह क्विक सुरू करता येते.स्टीम लोकोमोटिव्ह सुरू करण्यासाठी इलेक्ट्रिक लोकोमोटिव्ह पेक्षा जास्त वेळ लागतो (साधारणतः 2 तास लागतात.)
4. **हाय स्टार्टींग टॉर्क (High Starting Torque):** इलेक्ट्रिक ट्रॅक्शनमधील मोटर्स उच्च प्रारंभिक टॉर्क निर्माण करतात.इलेक्ट्रिक लोकोमोटिव्हचा प्रवेग 1.5 ते 2.5 km/h/s असतो (स्टीम ट्रॅक्शनसाठी 0.6 ते 0.8 km/h/s) .परिणामी:उच्च गती गाठता येते , वाहतूक क्षमता वाढते, टर्मिनल जागेची गरज (less terminal space required) कमी होते, जे शहरी भागात महत्त्वाचे आहे.
5. **ब्रेकिंग (Braking):** इलेक्ट्रिक ट्रॅक्शन सिस्टममध्ये रिजनरेटीव्ह ब्रेकिंग (Regenerative Braking) वापरणे शक्य आहे. यामुळे खालील ऍडव्हान्टेज (Advantage) मिळतात:
   - उतारावर उतरताना, चढण्यासाठी घेतलेल्या ऊर्जेपैकी सुमारे 80% पॉवर परत सप्लाय यंत्रणेला परत केली जाते.
   - उतारावर मालवाहतूक अधिक सुरक्षित आणि वेगवान होते.
   - मेकॅनिकल ब्रेक्सचा कमी वापर झाल्यामुळे ब्रेक शूज, चाके, टायर्स आणि ट्रॅक रेल्सच्या देखभालीचा खर्च मोठ्या प्रमाणात कमी होतो, कारण झिज कमी होते.
6. **हाय ग्रेड कोल ची बचत (Saving in High-Grade Coal):** स्टीम लोकोमोटिव्हसाठी महागडा, उच्च श्रेणीचा कोळसा लागतो. इलेक्ट्रिक लोकोमोटिव्हसाठी जलविद्युत किंवा थर्मल पॉवरचा वापर करता येतो.
7. **लोवर सेंटर ऑफ ग्रॅव्हिटी (Lower Center of Gravity):** इलेक्ट्रिक लोकोमोटिव्हचा उंची कमी असल्याने त्याचे गुरुत्व केंद्र खाली असते.त्यामुळे वळणावर अधिक वेगाने आणि सुरक्षितपणे प्रवास शक्य होतो.
8. **अबसेन्स ऑफ अनबॅलन्स फोर्सेस (Absence of Unbalanced Forces):** इलेक्ट्रिक लोकोमोटिव्हमध्ये स्टीम इंजिनप्रमाणे रेसीप्रोकेटिंग मासेसमुळे (reciprocating masses) असंतुलित बल निर्माण होत नाहीत.परिणामी अढेसीव कोईफिशंट (Adhesion coefficient) जास्त असतो.weight/kW गुणोत्तर कमी होते, प्रवास अधिक आरामदायक होतो.ट्रॅकचे नुकसान कमी होते.

इलेक्ट्रिक ट्रॅक्शनच्या मर्यादा (Disadvantages of electric traction):

1. **प्रारंभिक खर्च जास्त (High Initial Cost):** ओव्हरहेड वायर्स आणि इलेक्ट्रिकसप्लाय सिस्टिम उभारण्याचा खर्च जास्त असतो.जर वाहतूक कमी असेल, तर ही सिस्टिम अर्थशास्त्रीयदृष्ट्या फायदेशीर ठरत नाही.
2. **पॉवर फेल्युअर इशूज (Power Failure Issues):** काही मिनिटांसाठी इलेक्ट्रिकसप्लाय खंडित झाल्यास, वाहतूक विस्कळीत होते.
3. **कम्यूनिकेशन लाईनवर इफेक्ट (Effect on Communication Lines):** रेल्वे ट्रॅकजवळ असलेल्या कम्यूनिकेशन लाईन इलेक्ट्रिक सिग्नल्समुळे प्रभावित होतात.त्यामुळे तारांचे स्थान बदलावे लागते किंवा अंडरग्राउंड केबल्स वापराव्या लागतात, ज्याचा खर्च अधिक होतो.
4. **मर्यादित वापर (Limited Application):** फक्त विद्युत प्रवाह असलेल्या मार्गांवरच वापर शक्य. स्टीम लोकोमोटिव्हसारखे कोणत्याही मार्गावर सहजतेने चालवता येत नाही.

   ट्रॅक इलेक्ट्रिफिकेशन (Electrification) सिस्टिमचे वर्गीकरण:

   आजच्या घडीला उपलब्ध इलेक्ट्रिक सप्लायवर आधारित ट्रॅक इलेक्ट्रिफिकेशन सिस्टिम खालील प्रकारात विभागली जाते:

   - डी.सी सिस्टिम (DC system) .
   - सिंगल-फेज ए.सी सिस्टिम (Single-phase AC system) .
   - थ्री-फेज ए.सी सिस्टिम (Three-phase AC system)
   - कंपोझिट सिस्टिम (Composite System)

1. डी.सी सिस्टिम: (DC system.)

या ट्रॅक्शन सिस्टिममध्ये आवश्यक टॉर्क निर्माण करण्यासाठी अशा मोटारींची निवड केली जाते ज्या डीसी पुरवठ्यावर कार्य करू शकतील. अशा डीसी सिस्टिमवर चालणाऱ्या वाहनांचे उदाहरण ट्रामवे (tramway) आणि ट्रॉली बस (trolly bus) आहेत. डीसी सीरीज मोटार ट्रामवे आणि ट्रॉली बससाठी प्राधान्याने वापरल्या जातात, परंतु काही ठिकाणी डीसी कंपाऊंड मोटार वापरल्या जातात जिथे रिजनरेटिव्ह ब्रेकिंगसाठी (regenerative braking) गरजेची असते.

डीसी ट्रॅक विद्युतीकरण सिस्टिमसाठी कार्यरत व्होल्टेज: 600V, 750V, 1, 500V, आणि 3, 000V.600–750 V डीसी ट्रामवे आणि शहरी क्षेत्रांमध्ये वापरला जातो, तर 1, 500–3, 000 V उपनगरी आणि मुख्य रेल्वेसाठी वापरला जातो.काही ठिकाणी डीसी सप्लाय उपकेंद्रांमधून रोटरी कन्व्हर्टर्स द्वारे उपलब्ध करून दिला जातो, जे एसीला डीसीमध्ये रूपांतरित करतात.ही सिस्टिम उपनगरी वाहतुकीसाठी अधिक उपयुक्त आहे, जिथे स्टॉप्स वारंवार असतात आणि थांब्यांमधील अंतर कमी असते.

2. सिंगल-फेज ए.सी सिस्टिम (Single-phase AC system):

या सिस्टिममध्ये ए.सी सिरीज मोटारी वापरल्या जातात. सप्लाय व्होल्टेज: 15-25 kV असते. तसेच फ्रिक्वेन्सी कमी ठेवली असते साधारण 16⅔ Hz किंवा 25 Hz फ्रिक्वेन्सीवर ऑपरेट होतात (operating at reduced frequencies) कारण की कमी फ्रिक्वेन्सी वर एसी मोटारी अधिक कार्यक्षम ठरतात.हाय व्होल्टेज स्टेप-डाउन (step down) ट्रान्सफॉर्मर द्वारे 300-400 V पर्यंत कमी केले जाते.ओव्हरहेड लाईनमधील रिऍक्टन्स (reactance) कमी झाल्यामुळे व्होल्टेज ड्रॉप कमी होतो.ही सिस्टिम मेन लाईन (main line) मार्गांसाठी वापरण्यात येते.

3. थ्री-फेज ए.सी सिस्टिम (Three-phase AC system):

या सिस्टिममध्ये थ्री-फेज इंडक्शन मोटर्स वापरल्या जातात. ऑपरेटिंग व्होल्टेज (operating voltage) 3, 000–3,600 V ए.सी. असते.ही सिस्टिम हाय इफिशीअन्सी (efficiency) आणि ऑटोमॅटिक रिजनरेटिव्ह ब्रेकिंग (regerative braking) प्रोव्हाइड करते.परंतु कमी इनिशिअल टॉर्क, जास्त इनिशिअल करंट आणि स्पीड कंट्रोलचा अभाव यासारख्या मर्यादा आहेत.या सिस्टिमसाठी दोन ओव्हरहेड वायर आणि ट्रॅक रेल तिसऱ्या फेजसाठी वापरले जातात.

4. कंपोझीट सिस्टिम (Composite System):

या सिस्टिममध्ये एसी आणि डीसी प्रणालींचे फायदे एकत्रितपणे वापरले जातात.

कंपोझीट सिस्टिमचे दोन प्रकार आहेत.:

- सिंगल-फेज ते डीसी सिस्टिम: हाय व्होल्टेज पुरवठ्यासाठी 25 kV, 50 Hz वापरले जाते.ट्रान्सफॉर्मरच्या मदतीने व्होल्टेज कमी करून रेक्टीफायरच्या मदतीने डीसी मोटरला सप्लाय केला जातो.
- सिंगल-फेज ते थ्री-फेज सिस्टिम (Kando System): भारतात ही सिस्टिम प्रामुख्याने वापरण्यात येते. 15-25 kV, 50 Hz सिंगल-फेज सप्लाय वितरित केला जातो. फेज कन्व्हर्टर्सच्या मदतीने थ्री-फेज सप्लायमध्ये कनवर्ट केले जाते.

25 kV ए.सी सिस्टिमचे डी.सी सिस्टिमवरील ऍडव्हान्टेजेस (Advantage):

1. 25 kV ए.सी ट्रॅक इलेक्ट्रिफिकेशन सिस्टिम डीसी ट्रॅक सिस्टिमपेक्षा अधिक स्वस्त आहे.
2. 25 kV ए.सी उपकेंद्रांमध्ये कमी उपकरणे लागतात (lesser number equipment).
3. ओव्हरहेड वायर हलक्या असतात आणि त्यामुळे सपोर्ट सिस्टम हलकी असते.
4. दीर्घ (लाँग) अंतरासाठी उपकेंद्रांमध्ये मोठे अंतर ठेवता येते.
5. देखभाल खर्च आणि उभारणी प्रक्रिया सोपी आहे.
6. 25 kV ए.सी सिस्टिमतील उपकेंद्रे (सबस्टेशन) डीसी सिस्टिमपेक्षा अधिक कार्यक्षम असतात.
7. डीसीच्या तुलनेत एसी लोकोमोटिव्हची प्रारंभिक कार्यक्षमता जास्त असते.
8. उच्च व्होल्टेजमुळे करंट कमी होतो आणि त्यामुळे हिट लॉस कमी होतो.
9. ए.सी लोकोमोटिव्हमध्ये कोईफिशंट ऑफ अढेशन (Coefficient of Adhesion) जास्त असतो.
10. ए.सी लोकोमोटिव्ह सुरू करताना डीसीपेक्षा कमी पॉवर लागते.

25 kV ए.सी सिस्टिमचे डीसऍडव्हान्टेजेस (Disadvantage):

1. ही सिस्टिम कम्युनिकेशन (Communication) लाइनमध्ये हस्तक्षेप निर्माण करते.
2. ही सिंगल-फेज सिस्टिम असल्याने ती इलेक्ट्रिकसप्लाय व्यवस्थेत अनबॅलन्स निर्माण करू शकते.

Table 5.1 DC आणि AC ट्रॅक्शनची तुलना (Comparison between DC and AC Traction)

तुलना निकष (Point of Comparison)	DC ट्रॅक्शन सिस्टिम (DC Traction System)	AC ट्रॅक्शन सिस्टिम (AC Traction System)
इफिशीअन्शी (Efficiency)	DC ट्रॅक्शन सिस्टिम अधिक इफिशिअंट आहे.	AC ट्रॅक्शन सिस्टिम कमी इफिशिअंट आहे.
मोटरचा खर्च (Cost of Motor)	DC सिरीज मोटार स्वस्त असतात.	AC मोटार महाग असतात.
देखभाल (Maintenance)	DC ट्रॅक्शन सिस्टिमस कमी देखभालीची गरज असते.	AC ट्रॅक्शन सिस्टिमस जास्त देखभालीची गरज असते.
स्पीड कंट्रोल (Speed Control)	DC सिरीज मोटारसाठी स्पीड कंट्रोल मर्यादित आहे.	AC मोटारसह विस्तृत स्पीड कंट्रोल शक्य आहे.
सिस्टिमचा एकूण खर्च (Cost of System)	DC ट्रॅक्शन सिस्टिमचा एकूण खर्च कमी आहे.	AC ट्रॅक्शन सिस्टिमचा एकूण खर्च अधिक आहे.
ओव्हरहेड वितरण (Overhead Distribution)	DC ट्रॅक्शन सिस्टिममध्ये वीजेचे ओव्हरहेड वितरण शक्य आहे.	AC ट्रॅक्शन सिस्टिममध्ये ओव्हरहेड वितरण वापरले जाते.
ॲक्सेलेरेशन (acceleration)	DC सिरीज मोटार तुलनेने जास्त अक्सिलरेशन निर्माण करते.	AC सिरीज मोटार तुलनेने कमी अक्सिलरेशन निर्माण करते..
प्रारंभिक टॉर्क (Torque)	DC सिरीज मोटार तुलनेने कमी टॉर्क निर्माण करते.	AC मोटार हाय इनीशिअल आणि रनिंग टॉर्क निर्माण करते.
रिजनरेटिव्ह ब्रेकिंग (Regenerative braking)	DC सिरीज मोटार अधिक कार्यक्षम (efficient) रिजनरेटिव्ह ब्रेकिंग प्रोव्हाइड करतात.	AC मोटारच्या बाबतीत रिजनरेटिव्ह ब्रेकिंग कमी कार्यक्षम आहे.
कम्युनिकेशन लाईन ला इंटरफरन्स (Interference with communication lines)	DC ट्रॅक्शन सिस्टिमस कमी व्यत्यय होतो.	AC ट्रॅक्शन सिस्टिमस अधिक व्यत्यय होतो.
सबस्टेशन ची संख्या (Number of substations)	DC ट्रॅक्शनसाठी एका ट्रॅक अंतरासाठी अधिक सब स्टेशन लागतात.	AC ट्रॅक्शनसाठी कमी सब स्टेशन लागतात.

तुलना निकष (Point of Comparison)	**DC ट्रॅक्शन सिस्टिम (DC Traction System)**	**AC ट्रॅक्शन सिस्टिम (AC Traction System)**
योग्यता (Suitability)	DC ट्रॅक्शन सिस्टिम शहरी रेल्वे सेवेसाठी योग्य आहे.	AC ट्रॅक्शन सिस्टिम मुख्य रेल्वे सेवेसाठी योग्य आहे.
एनर्जी कन्झम्प्शन (Energy Consumption)	DC ट्रॅक्शन सिस्टिमस कमी ऊर्जा लागते.	AC ट्रॅक्शन सिस्टिमस जास्त ऊर्जा लागते.
लोकोमोटीवचे वजन (Weight of locomotive)	DC लोकोमोटीव चे वजन कमी असते.	AC लोकोमोटीव चे वजन जास्त असते.
सुरुवातीची किंमत (Capital cost of substation)	कनवरतींग सब स्टेशन मुळे DC ट्रॅक्शन सिस्टम, सुरुवातीची किंमत जास्त असते	AC ट्रॅक्शन सिस्टीम ची सुरुवातीची किंमत कमी असते
कंडक्टरची किंमत (Cost of conductor)	डीसी ट्रॅक्शन सिस्टममध्ये, ऑपरेटिंग व्होल्टेज कमी असल्याने ओव्हरहेड कंडक्टरची किंमत अधिक आहे.	एसी ट्रॅक्शन सिस्टम उच्च व्होल्टेज वापरते जेणेकरून कंडक्टरची किंमत कमी होते

Table 5.2 1-फेज 25 केव्ही एसी आणि डीसी ट्रॅक विद्युतीकरण दरम्यान तुलना
(Comparison between 1-phase 25 KV AC and D.C Track Electrification)

तुलना निकष (Parameter of Comparison)	25 Kv AC सिस्टम (25 Kv AC System)	DC सिस्टीम (DC System)
ओव्हरहेड कंडक्टरचा आकार (Size of overhead conductor)	लहान आकाराचा कंडक्टर लागतो.	तुलनेत मोठ्या आकाराचा कंडक्टर लागतो.
फाउंडेशन आणि सपोर्ट स्ट्रक्चरचा खर्च (Cost of foundation and support structure)	कमी वजनाच्या कंडक्टरमुळे कमी खर्च.	AC च्या तुलनेत जास्त खर्च येतो.
करंट (Current)	लाईन करंट कमी असतो.	लाईन करंट जास्त असतो.
सब स्टेशन ची संख्या (Number of substations)	सब स्टेशन ची संख्या कमी लागतात.	सब स्टेशन ची संख्या जास्त लागतात.
सब स्टेशन मध्ये स्पेसिंग (Spacing between substations)	सब स्टेशन मध्ये स्पेसिंग जास्त असते.	सब स्टेशन मध्ये स्पेसिंग कमी असते.
सब स्टेशन ची क्षमता (Capacity of Substation)	25 kV AC सब स्टेशन ची क्षमता जास्त असते.	DC सब स्टेशन ची क्षमता कमी असते.
कार्यक्षमता (Efficiency)	25 केव्ही एसी सिस्टमची कार्यक्षमता अधिक चांगली आहे.	ही सिस्टिम तुलनात्मकदृष्ट्या कमी कार्यक्षम आहे.
कम्युनिकेशन लाईन ला इंटरफरन्स (Interference with communication lines)	कम्युनिकेशन लाईनला इंटरफरन्स होतो.	कम्युनिकेशन लाईनला इंटरफरन्स कमी होतो.

5.3 ट्रॅक्शन मेकॅनिक्स: ए.सी. इलेक्ट्रिक लोकोमोटिव्हचे ब्लॉक डायग्राम आणि प्रत्येक भागाचे कार्य (Traction Mechanics: Block Diagram of A.C Electric locomotive and function of each part)

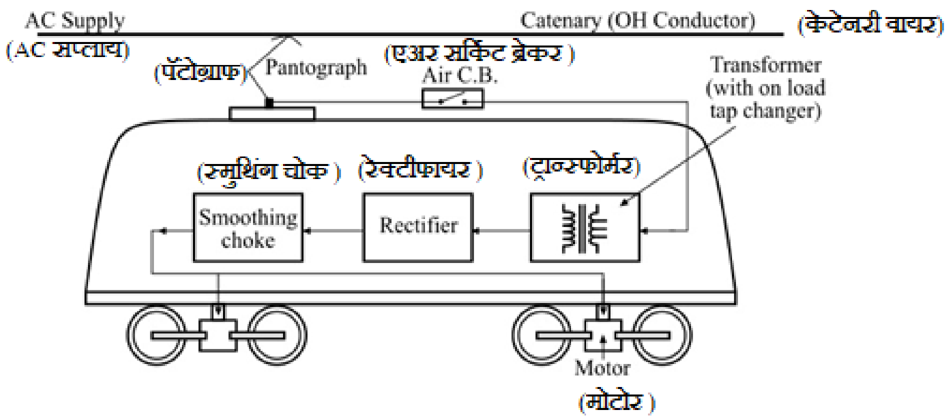


Figure 5.1 एसी इलेक्ट्रिक लोकोमोटिव्हची ब्लॉक डायग्राम
(Block diagram of AC Electric Locomotive)

1. पँटोग्राफ (Pantograph)

- हे रेल्वे इंजिनच्या टॉपवर असते.
- ओव्हरहेड वायरमधून हाय -व्होल्टेज एसी पॉवर (सामान्यत: 25 kV, 50 Hz) कलेक्ट करतो .
- इलेक्ट्रिसिटी मेन पावर सर्किटला ट्रान्सफर करण्याचे काम पँटोग्राफ करतो (Transfers electricity to the main power circuit)

2. सर्किट ब्रेकर (Circuit Breaker)

- फॉल्टच्या बाबतीत सिस्टम वेगळ्या करण्यासाठी संरक्षण डिव्हाइस म्हणून सर्किट ब्रेकर कार्य करते.
- सर्किट ब्रेकर ओव्हरलोडिंग आणि शॉर्ट सर्किट्स प्रतिबंधित (प्रिव्हेंट) करते.

3. ट्रान्सफॉर्मर (Transformer)

- एसी (25 kv) हाय -व्होल्टेजला वापरण्यायोग्य कमी व्होल्टेजमध्ये करायचे काम ट्रान्सफॉर्मर करतो.
- ट्रान्सफॉर्मर युनिट सोबत ऑनलोड टॅप चेंजरपण असतो.
- ट्रॅक्शन मोटर्ससाठी योग्य पातळीवर वोल्टेज लेव्हल कमी करतो जेणेकरून पॉवर सेव्ह होईल.

4. रेक्टिफायर (Rectifier) आणि इन्व्हटर (Inverter) सिस्टम

- रेक्टिफायर (Rectifier): या ब्लॉक मध्ये AC व्होल्टेजला DC व्होल्टेजमध्ये कनवर्ट केले जाते. रेक्टिफायर सर्किट पॉवर इलेक्ट्रॉनिक्स कंपोनंट वापरून पासून बनलेले असते.
- इनव्हर्टर (Inverter): मोटर च्या स्मूथ ऑपरेशनसाठी इनव्हर्टर DC सप्लाय ला AC मध्ये किंवा DC to AC ला सोबत व्हेरीएबल फ्रिक्वेन्सी आणि व्होल्टेज मध्ये कनवर्ट करतो. ज्यामुळे लोकोमोटिव्ह चा योग्य स्पीड व टॉर्क (torque) सुनिश्चित (ensure) करतो.

5. ट्रॅक्शन कंट्रोल सिस्टिम (Traction Control System)

- ट्रॅक्शन मोटारला सप्लाय होणाऱ्या विजेचे नियमन करते.
- गती कंट्रोल, ऊर्जा कार्यक्षमता आणि प्रवेग यांची योग्य समतोलता राखते.

6. ट्रॅक्शन मोटर्स (Traction Motors)

- विद्युत ऊर्जा यांत्रिक ऊर्जेत रूपांतरित करतात.
- रेल्वेच्या चाकांना गती देऊन ट्रेन पुढे किंवा मागे नेतात.
- आधुनिक लोकोमोटिव्हमध्ये थ्री-फेज इंडक्शन मोटर्स वापरण्यात येतात, ज्यामुळे उच्च कार्यक्षमता मिळते.

7. ऑक्झीलरी सिस्टिम (Auxiliary Systems)

- ऑक्झीलरी सिस्टिम उपकरणांचा समावेश:
- कूलिंग फॅन्स – ट्रान्सफॉर्मर आणि मोटर थंड ठेवण्यासाठी.
- कंप्रेसर्स – ब्रेकिंग आणि पॅन्टोग्राफ कार्यांसाठी.
- प्रकाश सिस्टिम – कॅबिन आणि बाह्य प्रकाशयोजना.

8. ब्रेकिंग सिस्टिम (Braking System)

- रिजनरेटीव्ह ब्रेकिंग (Regenerative Braking) – ब्रेक लावल्यावर निर्माण होणारी ऊर्जा पुन्हा विद्युत ऊर्जेत रूपांतरित करून विद्युत ग्रिडला परत पाठवली जाते.
- रिओस्टॅटिक ब्रेकिंग (Rheostatic Braking) – जादा ऊर्जा उष्णतेमध्ये रूपांतरित करून रेझिस्टर्सच्या मदतीने नष्ट केली जाते.
- न्यूमॅटिक ब्रेकिंग (Pneumatic Braking) –इमर्जन्सी ब्रेकिंगमध्ये एअर प्रेशर चा वापर केला जातो जेणेकरून ब्रेक लावले जातील (Uses air pressure for emergency braking)

5.3.1 ट्रॅक्शन मोटर्स: आयडीअल ट्रॅक्शन मोटरची इच्छित वैशिष्ट्ये (Traction Motors: Desirable Characteristics of an Ideal Traction Motor)

ट्रॅक्शनसाठी वापरल्या जाणाऱ्या इलेक्ट्रिक मोटरमध्ये असलेल्या आवश्यक वैशिष्ट्यांचा खालीलप्रमाणे एक्सप्लेन केला आहे.

आयडीअल ट्रॅक्शन मोटरची आवश्यक कॅरेक्टरीस्टिकस:

1. **योग्य स्पीड-टॉर्क कॅरेक्टरीस्टिकस (Suitable Speed-Torque Characteristics)**

- ट्रॅक्शन मोटरमध्ये योग्य स्पीड-टॉर्क वैशिष्ट्ये असावी.
- सुरुवातीस गाडी सुरू करताना खूप जास्त टॉर्क आवश्यक असतो, तर स्थिर स्पीडने चालताना टॉर्कची गरज तुलनेने कमी असते.
- त्यामुळे ट्रॅक्शन मोटरने उच्च प्रारंभिक टॉर्क निर्माण करावा आणि स्पीड वाढल्यावर हा टॉर्क कमी व्हायला हवा.

2. **हाय ओव्हरलोड क्षमता (High Overload Capacity)**

- ट्रॅक्शन मोटरला उच्च ओव्हरलोड क्षमता असावी.
- सुरुवातीस मोठा प्रवाह (रश करंट) वाहतो, त्यामुळे आर्मेचर रिॲक्शन आणि कम्युटेशन खराब होऊ शकते.
- फ्लॅशओव्हर (कम्युटेटरवर आर्किंग) टाळण्यासाठी मोटर उच्च भार घेण्यास सक्षम असावी.

3. **समांतर कार्यक्षमतेसाठी योग्य (Operate in Parallel)**

- ट्रॅक्शन मोटर समांतर कार्य करण्यास सक्षम असावी.
- रेल्वे, ट्राम किंवा मेट्रोमध्ये एकाच वेळी अनेक मोटर्स कार्यरत असतात, त्यामुळे सर्व मोटर्स योग्य समन्वयाने कार्य करणे आवश्यक आहे.
- चाकांच्या अनइक्वल फ्रिक्शनमुळे स्पीडमध्ये थोडा फरक पडतो, परंतु त्यामुळे टॉर्क आणि करंटमध्ये मोठा फरक पडू नये.

4. **मजबूत आणि टिकाऊ रचना (Robust Construction)**

- ट्रॅक्शन मोटर मजबूत आणि टिकाऊ असावी.
- ट्रॅक्शन मोटर सतत कंपनांना तोंड देते, त्यामुळे ती मजबूत असावी.
- माती, पाणी, चिखल यांपासून संरक्षण होण्यासाठी यामध्ये यंत्रसामग्री संरक्षण असावे.

5. **व्होल्टेज बदल सहन करण्याची क्षमता (Withstand Voltage Fluctuations)**

- ट्रॅक्शन मोटरला सप्लाय व्होल्टेजमध्ये सातत्याने चढ-उतार होतात.

- त्यामुळे मोटरने या चढ-उतारांना सहन करण्याची क्षमता असावी आणि त्याचा कार्यक्षमतेवर विपरीत परिणाम होऊ नये.

6. **कमी वजन (Weight of Traction Motor)**
- ट्रॅक्शन मोटरचे वजन कमीत कमी असावे, जेणेकरून वाहतुकीची क्षमता (payload capacity) वाढेल.
- मोटरचे पॉवर-टू-वेट रेशियो (Power-to-Weight Ratio) जास्त असावा.

7. **छोटे आकारमान (Small Dimension)**
- ट्रॅक्शन मोटरचे फिजिकल आकारमान लहान असावे.
- मोटर ट्रेनच्या डब्याखाली बसवली जाते, त्यामुळे जागेची मर्यादा असते.
- यातून उपाय म्हणून Class-H इन्सुलेशन वापरले जाते, जे मोटरच्या लहान आकारात जास्त कार्यक्षमता प्रोव्हाइड करते.

8. **सोपे स्पीड कंट्रोल (Simple Speed Control)**
- इलेक्ट्रिक ट्रेन्स अनेक वेळा सुरू आणि थांबत असतात, त्यामुळे मोटरचे स्पीड कंट्रोल सोपे असावे.
- स्पीड कंट्रोल करण्यासाठी सिंपल आणि इफेक्टिव्ह पद्धती असाव्यात.

9. **सेल्फ रिलिविंग प्रॉपर्टी (Self-Relieving Property)**
- ट्रॅक्शन मोटरमध्ये असा गुणधर्म असावा की भार वाढला की स्पीड कमी व्हावा.
- यामुळे मोटर स्वतःला ओव्हरलोड (overload) पासून सुरक्षित ठेवू शकते.

10. **इलेक्ट्रिकपुरवठ्यातील तात्पुरते व्यत्यय सहन करण्याची क्षमता (Withstand Temporary Interruption of Supply)**
- रेल्वे ट्रॅकवर सेक्शन इन्सुलेटर्स आणि क्रॉसओव्हर पॉईंट्स असतात, जिथे तात्पुरता इलेक्ट्रिक सप्लाय खंडित होऊ शकतो.
- अशा परिस्थितीत मोटरने अचानक इनरश करंट (Inrush Current) न घेता स्थिर कार्यक्षमता राखावी.

11. **डायनॅमिक किंवा रिजनरेशन ब्रेकिंगसाठी सोपे कंट्रोल (Dynamic or Regenerative Braking)**
- ट्रॅक्शन मोटरला डायनॅमिक किंवा पुनरुत्पादक ब्रेकिंग सहज आणि सोप्या पद्धतीने करता यायला हवे.
- ब्रेकिंग करताना निर्माण होणारी ऊर्जा परत ग्रिडमध्ये पाठवता येणे आवश्यक आहे.

5.4 क्रेस्ट, ॲव्हरेज आणि शेड्यूल स्पीड: व्याख्या आणि त्यावर परिणाम करणारे घटक (Crest, Average and Schedule Speed; definition and factors affecting them): रेल्वे गाड्यांच्या गतीचा अभ्यास करताना खालील प्रकारचे स्पीड विचारात घेतले जातात:

1. क्रेस्ट स्पीड (Vm): ट्रेनने धावण्याच्या दरम्यान मिळवलेला कमाल (maximum) स्पीड म्हणजे क्रेस्ट स्पीड.

2. ॲव्हरेज स्पीड (Va):
- प्रवासादरम्यान ट्रेनने राखलेला सरासरी स्पीड म्हणजे ॲव्हरेज स्पीड.
- तो खालील फोर्मुलाने मिळतो

$$\text{ॲव्हरेज स्पीड (Average speed)} = \frac{\text{Distance between stops in km}}{\text{Actual time of run in hour}}$$

3. **शेड्यूल स्पीड (Schedule Speed (Vs):** हा स्पीड थांबण्याच्या वेळेसह गणना केला जातो हे थांबे असलेल्या अंतर आणि हे अंतर कवर करण्यासाठी लागलेल्या एकूण वेळ (थांबण्याच्या वेळेसह) यांचे गुणोत्तर आहे.

$$\text{शेड्यूल स्पीड (Schedule speed)} = \frac{\text{distance between stops in km}}{\text{Actual time of run in hr.+ stop time in hr.}}$$

शेड्यूल स्पीडवर परिणाम करणारे घटक:

शेड्यूल स्पीड खालील घटकांवर अवलंबून असतो:

(a) क्रेस्ट स्पीड (Vm):

- जर ट्रेन स्थिर प्रवास करत असेल आणि समान प्रवेग (ॲक्सेलेरेशन (α):) आणि मंदी (रिटार्डेशन (β)) असेल, तर क्रेस्ट स्पीड वाढल्यास प्रवासाचा एकूण कालावधी कमी होतो.
- लांब पल्ल्याच्या गाड्यांसाठी क्रेस्ट स्पीडचा प्रभाव मोठ्या प्रमाणावर दिसून येतो.

(b) ॲक्सेलेरेशन (Acceleration) (α):

- जर दोन स्टेशनमधील अंतर आणि क्रेस्ट स्पीड स्थिर ठेवले, तर ॲक्सेलेरेशन वाढवल्यास प्रवासाचा कालावधी कमी होतो आणि शेड्यूल स्पीड वाढतो.
- लहान अंतर असलेल्या सेवांमध्ये (मेट्रो, लोकल ट्रेन) ॲक्सेलेरेशनचा प्रभाव अधिक स्पष्टपणे जाणवतो.

(c) रिटार्डेशन (Retardation) (β):

- ट्रेनची ब्रेकिंग क्षमता (रिटार्डेशन) जास्त असल्यास, ट्रेन वेगाने थांबू शकते आणि त्यामुळे शेड्यूल स्पीड वाढतो.
- ही बाब मुख्यतः लहान अंतर असलेल्या सेवांमध्ये जास्त प्रभावी असते.

(d) थांबण्याचा कालावधी (Duration of Stop):

- थांबण्याचा कालावधी जास्त असल्यास ट्रेनचा एकूण प्रवासाचा कालावधी वाढतो, त्यामुळे शेड्यूल स्पीड कमी होतो.
- लहान अंतराच्या सेवांसाठी 15-20 सेकंदांचा थांबा योग्य मानला जातो, तर मुख्य रेल्वेमार्गावर हा कालावधी नगण्य असतो.

5.5 ट्रॅक्शन सर्व्हिस (Traction services):

5.5.1 सर्व्हिस प्रकार (Traction services):

योग्य ट्रॅक्शन सिस्टिम निवडण्यासाठी विविध प्रकारच्या रेल्वे सेवांच्या आवश्यकतांची माहिती असणे गरजेचे आहे. ट्रॅक्शन सिस्टिम मुख्यतः शहरी, उपनगरी आणि मेनलाईन सर्व्हिस या तीन प्रकारच्या प्रवासी सर्व्हिससाठी वापरण्यात येते.

(i) शहरी सर्व्हिस (Urban Service):

- दोन सलग स्थानकांमधील अंतर 1 किमीपेक्षा कमी असते.
- शहरी सेवेसाठी आवश्यक मुख्य वैशिष्ट्ये:

1. हाय स्पीड असावी, जेणेकरून जास्त वारंवार (ऑपरेट फ्रेक्वेंसी) गाड्या उपलब्ध होतील.

2. स्पीड वाढवण्यासाठी उच्च प्रवेग (अॅक्सेलेरेशन (α):) आणि जलद मंदीकरण (रिटार्डेशन (β)) आवश्यक असते.
3. कमी उर्जेचा वापर करण्यासाठी थोड्या टाइमसाठी कोस्टिंग (coasting) ठेवली जाते.

(ii) उपनगरी सर्व्हिस (Suburban Service):

- दोन स्थानकांमधील अंतर 1 ते 8 किमी असते.
- उपनगरी सेवेसाठी आवश्यक वैशिष्ट्ये:

1. वारंवार गाडी थांबत आणि सुरू होत असल्याने वेगवान प्रवेग (रॅपिड अॅक्सेलेरेशन (α)) आणि मंदीकरण (रिटार्डेशन (β)) आवश्यक आहे.
2. इलेक्ट्रिक सप्लायमधील ताण-तणाव (voltage fluctuations) मोटारींच्या कार्यक्षमतेवर परिणाम करू नये.
3. रेल्वे मार्गाच्या जवळ असलेल्या कम्युनिकेशन लाईनवर कोणताही इंटरफरन्स होऊ नये.

डी.सी सिस्टिम उपनगरी सेवेसाठी अधिक योग्य आहे, कारण:

1. समान परिस्थितीत डी.सी सिस्टिममधील पॉवर वापर ए.सी सिस्टिमपेक्षा कमी असतो.
2. समान टॉर्क निर्माण करण्यासाठी डी.सी सिस्टिमला लागणारा करंट ए.सी सिस्टिमपेक्षा कमी असतो.
3. डी.सी लोकोमोटिव्ह आणि मोटर कोच लाईटवेटच्या असतात, कमी खर्चिक असतात आणि अधिक कार्यक्षम असतात.

डी.सी सिस्टिमशी संबंधित काही डीसऍडव्हान्टेजस:

1. कमी व्होल्टेज वितरणामुळे करंट (current) जास्त असतो, ज्यामुळे मोठ्या आकाराचे कंडक्टर (conductor) लागतात. परिणामी, उपकेंद्रे (सब स्टेशन) जवळ असावी लागतात आणि त्यांची संख्या जास्त असते.
2. सब स्टेशन महाग असतात, कारण त्यामध्ये कन्व्हर्टिंग मशीनरी लागते.
3. सब स्टेशन ची कार्यक्षमता (efficiency) तुलनेने कमी असते.
4. निगेटिव्ह बूस्टरसारखी अतिरिक्त उपकरणे आवश्यक असतात जेणेकरून परतीचा रेल्वे मार्ग व्होल्टेज मर्यादित राहील.

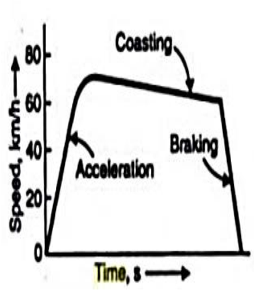
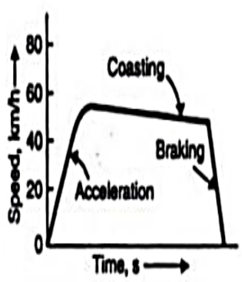
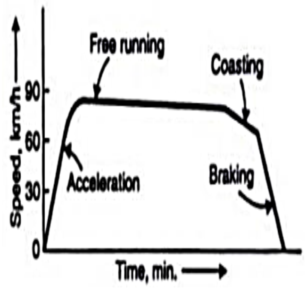
(iii) मुख्य मार्ग सर्व्हिस (Main Line Service):

- या सेवेमध्ये दोन स्थानकांमधील अंतर 10 किमी किंवा त्याहून अधिक असते.
- मुख्य मार्ग रेल्वे सेवेसाठी आवश्यक वैशिष्ट्ये:

1. हाय स्पीड असावी.
2. ओव्हरहेड वायरिंगच्या संरचनेचा खर्च कमी असावा. (low overhead structure cost) .
3. प्रवेग (अॅक्सेलेरेशन (α)) आणि मंदीकरण (रिटार्डेशन (β)) हे मुख्य मार्ग सेवेसाठी फारसे महत्त्वाचे नसतात.

Table 5.3 शहरी, उपनगरी आणि मुख्य लाईन ट्रॅक्शन सेवांची तुलना

(Comparison between Urban, suburban and main line traction service)

Sr. No.	तुलना निकष (Parameter for comparison)	शहरी सर्व्हिस (Urban Service):	उपनगरी सर्व्हिस (Suburban Service):	मुख्य मार्ग सर्व्हिस (Main Line Service):
1	ॲक्सेलेरेशन (α)	1.5 -4 Kmphps	1.5 -4 Kmphps	6 -8 Kmphps
2	रिटार्डेशन (β)	3 -4 Kmphps	3 -4 Kmphps	1.5 Kmphps
3	हायस्पीड (Max.Speed)	120 Kmph	120 Kmph	160 Kmph
4	स्टेशन मधील अंतर (Distance between Stations)	1 Km	1-8 Km	>10 Km
5	स्पीड-टाइम कर्व (Speed Time curve)			
6	स्पेशल रीमार्क्स (Special Remarks if any)	फ्री रनिंग कालावधी अनुपस्थित व कोस्टिंग कालावधी लहान	फ्री रनिंग कालावधी अनुपस्थित व कोस्टिंग कालावधी लांब असतो	फ्री रनिंग कालावधी व कोस्टिंग कालावधी लांब असतो व लहान ॲक्सेलेरेशन व ब्रेकिंग पिरेड लहान असतात .

5.5.2 स्पीड-टाइम कर्व्स (Speed-time curves):

एका रेल्वेगाड्याला दोन स्थानकांदरम्यान योग्य रीतीने चालविणे महत्त्वाचे आहे. ट्रेनच्या गतीमानतेचा आणि ऊर्जा वापराचा अभ्यास स्पीड-टाइम कर्व आणि स्पीड-डिस्टन्स कर्व यांच्या साहाय्याने सोयीस्करपणे केला जातो.

- स्पीड-टाइम कर्व : वेगवेगळ्या टाइमला ट्रेनचा स्पीड दर्शवते.
- स्पीड-डिस्टन्स कर्व : सुरुवातीच्या बिंदूपासून विविध अंतरांवर ट्रेनचा स्पीड दर्शवतो.
- स्पीड-टाइम कर्व अधिक उपयुक्त ठरतो कारण या कर्वचा उतार ॲक्सेलेरेशन (α) दर्शवतो, आणि कर्वखालील एरिया वाटचाल केलेले अंतर दर्शवते.

स्पीड-टाइम कर्वची वैशिष्ट्ये:

- X-एक्सिस (Abscissa): टाइम (सेकंद किंवा मिनिटांमध्ये)
- Y- एक्सिस ((Ordinate): स्पीड (किमी/तास)
- कर्ववरील कोणत्याही बिंदूवरील उतार = ॲक्सेलेरेशन (α) किंवा रिटार्डेशन (β) ची किंमत
- कर्वचा वरच्या बाजूला झुकणारा भाग = ॲक्सेलेरेशन (α)

- कर्वचा खाली झुकणारा भाग = रिटार्डेशन (β)

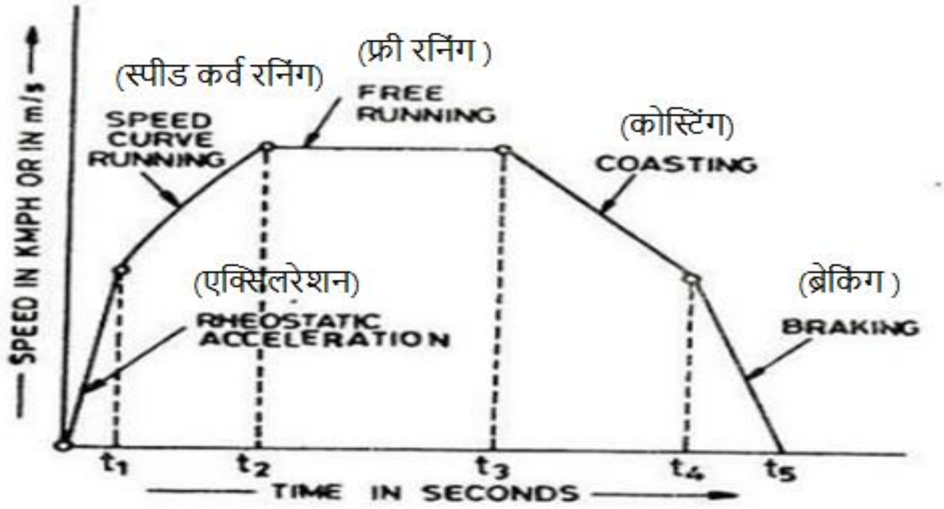


Figure 5.2 स्पीड-टाइम कर्व मेन लाइन साठी (Speed-Time Curve for main line)

स्पीड-टाइम कर्व मुख्यतः खालील टप्प्यांपासून बनलेला असतो:

1. इन्हिशिअल ॲक्सेलेरेशन (Accleration) (α)
2. स्थिर स्पीडचा प्रवास किंवा फ्री रन (Constant speed run or free run)
3. कोस्टींग (coasting)
4. रिटार्डेशन (Retardation (β)) किंवा ब्रेकिंग.

मेन लाइन सेवेकरिता एक विशिष्ट स्पीड-टाइम कर्व दाखवले आहे:

(i) ॲक्सेलेरेशन (α):

डीसी सिरीज मोटरवर चालणाऱ्या इलेक्ट्रिक ट्रेनमध्ये ॲक्सेलेरेशन (α) दोन टप्प्यांत असतो:

- (a) स्थिर ॲक्सेलेरेशन (α) (Notching up) दरम्यान
- (b) कमी होत जाणारा ॲक्सेलेरेशन (α)

(a) स्थिर ॲक्सेलेरेशन (α):

- ट्रेन सुरू होत असताना, ॲक्सेलेरेशन (α) स्थिर ठेवला जातो.
- हे साध्य करण्यासाठी मोटरला सतत स्थिर विद्युत प्रवाह पुरवला जातो.
- मोटरवरील व्होल्टेज हळूहळू वाढवले जाते, ज्यामुळे प्रारंभिक रेझिस्टन्स कमी केला जातो.
- ही प्रक्रिया "रिओस्टॅटिक ॲक्सेलेरेशन" म्हणून ओळखली जाते.
- सामान्यतः याचा वेग 0.6 – 0.8 Kmphps असतो.

(b) कमी होत जाणारा ॲक्सेलेरेशन (α):

- जेव्हा ट्रेन वेग घेत जाते, तेव्हा मोटरवरील व्होल्टेज स्थिर राहते.
- वेग वाढत गेल्यामुळे विद्युत प्रवाह (Current) कमी होतो.
- एका टप्प्यावर ट्रेनचा वेग स्थिर होतो कारण मोटरची ट्रॅक्टिव्ह इफोर्ट (tractive effort) प्रवासातील विरोधाशी (resistance) बरोबरी करते.

- यावेळी ॲक्सेलेरेशन (α) शून्य होते.

(ii) फ्री रन किंवा स्थिर वेगाचा प्रवास:

- जेव्हा ट्रेन t_2 वेळेला कमाल वेग गाठते, तेव्हा ती स्थिर वेगाने धावते.
- या टप्प्यावर ट्रेन सतत कॉन्सटन्ट पॉवर (constant power) घेते.

(iii) कोस्टींग:

- t_3 वेळेला इलेक्ट्रिकसप्लाय बंद केला जातो, आणि ट्रेन अपेक्षित गतीने चालत राहते.
- गाडीच्या गतीवर घर्षणाचा परिणाम होतो, त्यामुळे हळूहळू वेग कमी होत जातो.
- या टप्प्यातील रिटार्डेशन (β) ला "कोस्टींग रिटार्डेशन" म्हणतात.

(iv) रिटार्डेशन (β) किंवा ब्रेकिंग:

- t_4 वेळेला ब्रेक लावले जातात, आणि ट्रेनचा वेग झपाट्याने कमी होतो.
- शेवटी वेग शून्य होतो, आणि ट्रेन थांबते.

ट्रॅपेझॉयडल आणि क्वाड्रिलॅटरल स्पीड-टाइम कर्व:

वास्तविक स्पीड-टाइम कर्वच्या तुलनेत साध्या गणितीय पद्धतीने स्पीड-टाइमचे अध्ययन करण्यासाठी सिम्पल कर्व वापरले जातात.

हे सरलीकृत (सिम्पली फाइड) कर्व वापरल्यामुळे मोठ्या प्रमाणावर गणना करणे सोपे होते आणि मोटरच्या विशेष गुणधर्मांचा फारसा अभ्यास न करता गणनांची सोय होते.

अंदाजित स्पीड-टाइम कर्व रेखाटताना खालील बाबी लक्षात घेतल्या जातात:

- ॲक्सेलेरेशन (α) आणि रिटार्डेशन (β) चे मूल्य वास्तविक स्पीड-टाइम कर्वसारखेच ठेवले जाते.
- वास्तविक स्पीड-टाइम कर्वमधील स्पीड कर्व रनिंग आणि कोस्टींग पिरीयड्स स्थिर कालावधीने बदलले जातात. (ट्रॅपेजॉईडल अंदाज)
- प्रारंभिक ॲक्सेलेरेशन (α) कालावधी आणि कोस्टींग कालावधी विस्तारित केले जातात. (क्वाड्रिलॅटरल अंदाज)
- अंदाजित कर्वखालील क्षेत्रफळ आणि वास्तविक कर्वखालील क्षेत्रफळ (स्टेशन्समधील अंतर) समान ठेवले जाते.

5.5.3 ट्रॅपेझॉयडल स्पीड – टाइम कर्वनुसार गणना (Calculations by trapezoidal speed time curve):

ट्रॅपेझॉयडल स्पीड-टाइम कर्व हा मुख्य रेल्वे सेवेसाठी एक जवळचा अंदाज (Approximation) आहे, कारण यात फ्री रनिंग कालावधी जास्त असतो.

ट्रॅपेझॉयडल स्पीड-टाइम कर्वचे वैशिष्ट्ये (trapezoidal speed time curve):

हा कर्व मुख्यतः लांब पल्ल्याच्या रेल्वेगाड्यांसाठी वापरला जातो, जिथे गाडी दीर्घकाळ स्थिर वेगाने धावते.

यामध्ये ॲक्सेलेरेशन (α) आणि रिटार्डेशन (β) निश्चित असतात.

ट्रॅपेझॉयडल कर्व OABC:

OABC कर्व खालील चार टप्प्यांमध्ये विभागला जातो:

OA – ॲक्सेलेरेशन (α) कालावधी: गाडी सुरुवातीला वेग घेत असते.

AB – स्थिर वेगाचा (Free Running) कालावधी: गाडी एका ठराविक वेगाने प्रवास करते.

BC – कोस्टींग कालावधी: गाडीचा वेग हळूहळू कमी होतो, परंतु अजून ब्रेक लावले जात नाहीत.
CD – रिटार्डेशन (β) किंवा ब्रेकिंग कालावधी: गाडीचा वेग झपाट्याने कमी केला जातो आणि गाडी थांबते.
गाडी दीर्घकाळ फ्री रनिंग अवस्थेत राहते, त्यामुळे इंधन किंवा ऊर्जा बचत होते.

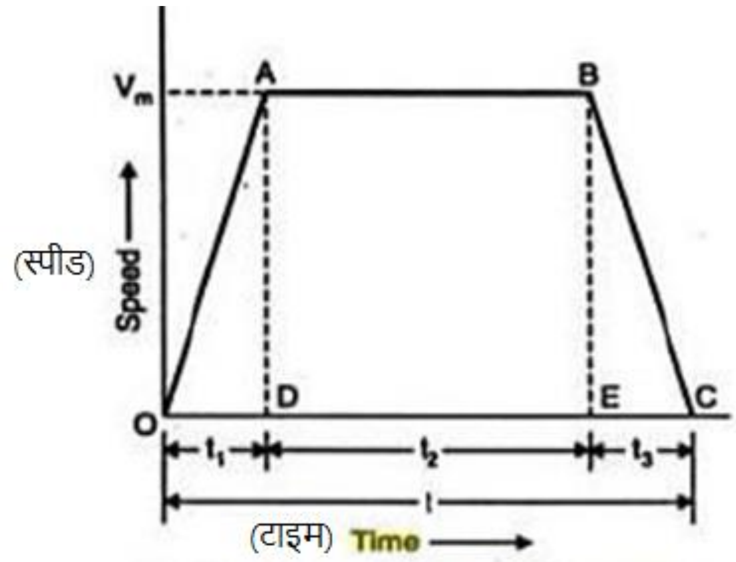


Figure 5.3 ट्रॅपेझॉयडल स्पीड-टाइम कर्व (Trapezoidal speed time curve)

$D =$ Distance Between Stops (metres)

t = Actual time of run between stops (Seconds)

$\alpha =$ Acceleration during starting period (m/s^2)

β= Retardation during braking period (m/s^2)

V_m =Maximum or crest speed (m/s)

V_a= Average Speed (=D/t) m/s

t_1= Time of Acceleration (Seconds)

t_3= Time of retardation (Seconds)

t_2= Time of free running =t- ($t_1 + t_3$) in seconds

$\alpha = \frac{Vm}{t_1}$ or $t_1 = \frac{Vm}{\alpha}$ … (i)

$\beta = \frac{Vm}{t_3}$ or $t_3 = \frac{Vm}{\beta}$ … (ii)

D= Area OABC

D= Area OAB + Area ABED + Area BCE

$D = \frac{1}{2} V_m * t_1 + V_m * t_2 + \frac{1}{2} V_m * t_3$

$D = \frac{1}{2} V_m * t_1 + V_m * \{t - (t_1 + t_3)\} + \frac{1}{2} V_m * t_3$

Rewriting equation

$D= V_m[t - \frac{1}{2}(t_1 + t_3)]$

$D= V_m[t - \frac{Vm}{2}(\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\beta})]$

$K=\frac{1}{2}(\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\beta})$ or $\frac{\alpha+\beta}{2\alpha\beta}$

Substituting value of K in above equation, we get

$D= V_m(t- K V_m)$

Or

$K V^2_m - V_m t + D=0$ …… (iii)

Therefore, $Vm = \frac{t\pm\sqrt{t^2-4KD}}{2K}$

The Positive sign will not be used, as it will give much higher value of Vm which will not be met with in practice, Therefore, we have

$$Vm = \frac{t-\sqrt{t^2-4KD}}{2K} \quad \text{…… (2)}$$

From equation (iii) we get

$K V^2_m =- V_m t + D$ Or $K=\frac{t}{Vm} - \frac{D}{V_m^2} = \frac{D}{V_m^2}(V_m * \frac{t}{D} - 1)$

Now $V_a = \frac{D}{t}$

Therefore

$$K = \frac{D}{Vm^2} * (\frac{Vm}{Va} - 1) \quad \text{...... (3)}$$

Obviously, if Vm, V_a and D are given then value of K and hence value of α and β can be found

5.5.4 क्वाड्रिलॅटरल स्पीड-टाइम कर्व (QUADRILATERAL SPEED TIME CURVE):

क्वाड्रिलॅटरल स्पीड-टाइम कर्व हा शहरी (Urban) आणि उपनगरीय (Suburban) रेल्वे सेवांसाठी अधिक उपयुक्त आहे. या सेवांमध्ये स्टॉप-स्टार्ट ऑपरेशन वारंवार होत असल्याने हा कर्व वापरणे सोयीस्कर ठरते.

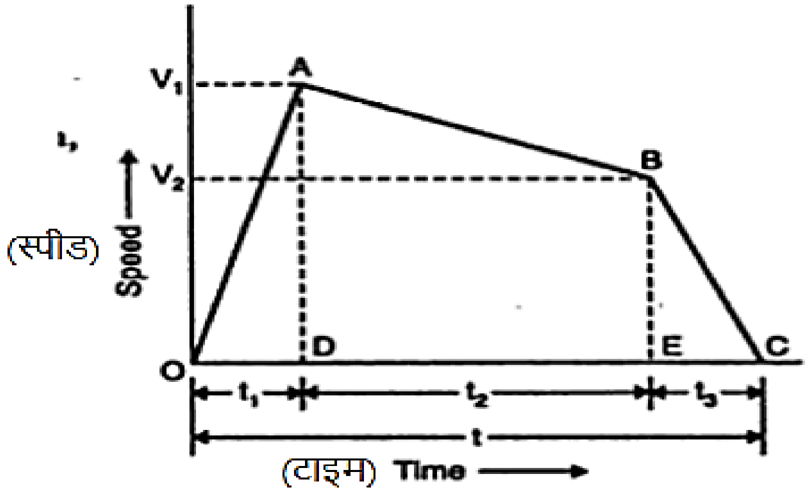


Figure 5.4 क्वाड्रिलॅटरल स्पीड-टाइम (quadrilateral Speed time curve)

Simple Numerical based on Trapezoidal speed time curve

न्यूमेरिकल (Numerical No.1)

2 किमी अंतरावर दोन स्थानकांदरम्यान सरासरी 36 किमी/तासाच्या वेगासह उपनगरीय ट्रेन धावते. ऍक्सलरेशन

आणि रिटार्डेशन ची व्हॅल्यू 1.8 किमी/ताशी आणि 3.6 किमी/ताशी/ताशी आहेत. ट्रॅपेझॉइडल स्पीड टाइम कर्व गृहीत धरून ट्रेनच्या जास्तीत जास्त वेग (स्पीड) कॅलक्यूलेट करा.

(A suburban train runs with an average speed of 36 km/h between two stations 2 km apart. Values of accleration (α) and Retardation (β) are 1.8 km/h/s and 3.6 km/h/s. Compute the maximum speed of the train assuming trapezoidal speed/time curve.)

Solution. Now,

$Va = 36 \text{ km/h} = 36 \times \frac{5}{18} = 10 \text{ m/s}$

$\alpha = 1.8 \text{ km/h/s} = 1.8 \times \frac{5}{18} = 0.5 \text{ m/s}^2$

$\beta = 3.6 \text{ km/h/s} = 3.6 \times \frac{5}{18} = 1.0 \text{ m/s}^2$

$t = \frac{D}{Va} = \frac{2000}{10} = 200 \text{ s}$;

$K = \frac{(\alpha + \beta)}{2\alpha\beta}$

$= \frac{(0.5 + 1.0)}{2 \times 0.5 \times 1}$

$= 1.5$

$$Vm = \frac{t - \sqrt{t^2 - 4KD}}{2K}$$

$$Vm = \frac{200 - \sqrt{200^2 - 4 * 1.5 * 2000}}{2 * 1.5}$$

= 11 m/s (to convert m/s into Km/h we need to multiply 18/5)

$= 11 * \frac{18}{5}$

Vm = 39.6 Km/h

न्यूमेरिकल 2 (Numerical No.2)

36 किमी/तासाच्या वेळापत्रकात 1 किमी अंतरावर दोन स्थानकांदरम्यान ट्रेनची आवश्यकता असते, थांबण्याचा कालावधी 2 seconds सेकंद आहे. ब्रेकिंग रिटार्डेशन 3 किमी/ताशी/से आहे. ट्रॅपेझॉइडल स्पीड टाइम कर्व गृहीत धरून, सरासरी वेग ते जास्तीत जास्त वेगाचे प्रमाण 1.25 असेल तर प्रवेग (ॲक्सेलेरेशन (α) कॅलक्यूलेट करा

(A train is required to run between two stations 1.5 km apart at a schedule speed of 36 km/h, the duration of stops being 25 seconds. The braking retardation is 3 km/h/s. Assuming a trapezoidal speed/time curve, calculate the acceleration if the ratio of maximum speed to average speed is to be 1.25)

Solution. Here,

D = 1500 m;

Schedule speed = 36 km/h (to convert Km/h into m/s we need to multiply $\frac{5}{18}$)

$= 36 \times \frac{5}{18}$

$=10$ m/s

$\beta = 3$ km/h/s

$= 3 \times \frac{5}{18}$

$= \frac{5}{6} m/s^2$

Schedule time of run = 1500/10 = 150 s;

Actual time of run = 150 − 25 = 125 s

$\therefore V_a = 1500/125 = 12$ m/s;

$V_m = 1.25 \cdot 12$

$V_m = 15$ m/s

Now

$$K = \frac{D}{Vm^2} * \left(v\frac{m}{v_a} - 1\right)$$

$K = \frac{1500}{15^2}(1.25 - 1)$

$K = \frac{5}{3}$

Also,

$K = \frac{1}{2} * \left(\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\beta}\right)$ or (Substitute value of K and β)

$\frac{5}{3} = \frac{1}{2} * \left(\frac{1}{\alpha} + \frac{6}{5}\right)$

$\alpha = 0.47 m/s^2$

$\alpha = 0.47 * \frac{18}{5}$

$\boxed{= 1.7 \text{ Km/h/s}}$

न्यूमेरिकल 3 (Numerical No.3)

जास्तीत जास्त ते सरासरी स्पीडचे प्रमाण 1.25 असल्यास 1.5 किमीच्या धावण्यासाठी इलेक्ट्रिक ट्रेनची वेळापत्रक शोधा. यात 6.6 किमी/ताशी/ताशी ब्रेकिंग मंदता आहे. ट्रॅपेझॉइडल स्पीड टाइम कर्व समजा.

(Find the schedule speed of an electric train for a run of 1.5 km if the ratio of its maximum to average speed is 1.25. It has a braking Retardation (β) of 3.6 km/h/s, acceleration (α): of 1.8 km/h/s and stop time of 21 second. Assume trapezoidal speed/time curve.)

Solution.

$\alpha = 1.8 \times \frac{5}{18} = 0.5$ m/s2,

$\beta = 3.6 \times \frac{5}{18} = 1.0$ m/s2

D = 1.5 km = 1500 m

K= $\frac{1}{2} * \left(\frac{1}{0.5}+\frac{1}{1}\right) = \frac{3}{2}$

Now,

K = $\frac{D}{\text{Vm}^2} * \left(v\frac{m}{v_a} - 1\right)$

Or

$\text{Vm}^2 = \frac{D}{K} * \left(v\frac{m}{v_a} - 1\right)$

$\text{Vm}^2 = \frac{1500}{\frac{3}{2}} *(1.25-1)$ =250

Vm = 15.8 m/s

Va = $\frac{\text{Vm}}{1.25} = \frac{15.8}{1.25}$ = 12.6 m/s

Actual time of run = $\frac{1500}{12.6}$ = 119 seconds

Schedule time = 11 + 21 = 140 second

∴ Schedule speed = $\frac{1500}{140}$ = 10.7 m/s = 38.5 km/h

न्यूमेरिकल 4 (Numerical No.4)

एक उपनगरी ट्रेन 2 किमी अंतराच्या दोन स्थानकांदरम्यान सरासरी 40 किमी/तासाच्या वेगाने धावते. प्रवेग आणि मंदतेची मूल्ये 1.8 किमी/ताशी आणि 3.6 किमी/ताशी/ताशी आहेत. ट्रॅपेझॉइडल स्पीड टाइम कर्व गृहीत धरून ट्रेनच्या जास्तीत जास्त वेग कॅलक्यूलेट करा.

(A suburban train runs with an average speed of 40 km/h between two stations 2 km apart. Values of accleration and retardation are 1.8 km/h/s and 3.6 km/h/s. Compute the maximum speed of the train assuming trapezoidal speed/time curve.)

Solution. Now,

Va = 40 km/h = 40 × 5/18 = 11.11 m/s

α = 1.7 km/h/s = 1.7 × 5/18 = 0.472 m/s^2

β = 3.6 km/h/s = 3.6 × 5/18 = 1.0 m/s^2

t = D/Va = 2000/10 = 200 s;

$K = \frac{(\alpha+\beta)}{2\alpha\beta}$

$= \frac{(0.472+1.0)}{2\times 0.472\times 1}$

= 1.557

$$\text{Vm} = \frac{t - \sqrt{t^2 - 4KD}}{2K}$$

$$\text{Vm} = \frac{200 - \sqrt{200^2 - 4 * 1.557 * 2000}}{2 * 1.557}$$

= 10.93 m/s (to convert m/s into Km/h we need to multiply 18/5)

= $10.93*\frac{18}{5}$

Vm = 39.34 Km/h

5.6 सिंपल कॅटनरी वायरची रचना (Simple Catenary Construction Concept and function of Catenary wire, Contact wire and Dropper, Material used for them, Simple Catenary construction, Definition and Need of Neutral Section, Current Collecting system: Diamond type pantograph and Faiveley type pantograph (Construction and Working)

5.6.1. कॅटनरी वायर (Catenary wire):

संकल्पना आणि कार्य:

- कॅटनरी वायर ही इलेक्ट्रिक प्रवाह वहन करणारी मुख्य वायर असते, जी ओव्हरहेड इलेक्ट्रिफिकेशन सिस्टममध्ये संपर्क वायरला आधार देते.
- ही वायर दोन्ही टोकांवर टांगलेली असते आणि गुरुत्वाकर्षणामुळे तिचा आकार कॅटनरी कर्व (Catenary Curve) प्रमाणे दिसतो. कॅटनरी वायर ही मुख्य आधारभूत वायर आहे, जी स्वतःच्या वजनामुळे वक्र (curve) स्वरूपात लटकते. ती संपर्क वायरला योग्य ताण (tension) पुरवते, जेणेकरून ती आपल्या जागी कायम राहील.
- वापरले जाणारे साहित्य: कॅटनरी वायर तांबे (Copper), कांस्य (Bronze), किंवा तांब्याच्या मिश्र धातूपासून (Copper Alloy) तयार केली जाते.

5.6.2. संपर्क वायर (Contact Wire):

- **संकल्पना आणि कार्य:**
- संपर्क वायर ही थेट पँटोग्राफच्या संपर्कात येणारी वायर असते आणि ती गाडीला सतत इलेक्ट्रिक सप्लाय पुरवते.
- ही वायर सरळ (Straight) ठेवली जाते आणि ट्रेनच्या पँटोग्राफशी संपर्क राखते, त्यामुळे विद्युत प्रवाह अखंड राहतो.
- ही खऱ्या अर्थाने विद्युत प्रवाह वाहून नेणारी वायर आहे, जी गाडीच्या पँटोग्राफला थेट स्पर्श करते आणि गाडीपर्यंत इलेक्ट्रिक पोहोचवते.
- वापरले जाणारे साहित्य:संपर्क वायर हाय कंडक्टिव्हिटी तांबे (High Conductivity Copper) किंवा तांबे-सिल्व्हर मिश्रधातूपासून (Copper-Silver Alloy) तयार केली जाते.

5.6.3. ड्रॉपर (Dropper):

- **संकल्पना आणि कार्य:**
- ड्रॉपर म्हणजे कॅटनरी वायर आणि संपर्क वायर यांना जोडणारा लहान वायरचा भाग.
- ड्रॉपरचा मुख्य उद्देश संपर्क वायर योग्य उंचीवर ठेवणे आणि तिची समांतरता (Alignment) राखणे आहे.
- ट्रेनच्या वेगानुसार संपर्क वायर हलू नये म्हणून ड्रॉपर मदत करतो.
- ड्रॉपर हा कॅटनरी वायर आणि संपर्क वायर यांना जोडणारा उभा तुकडा (short vertical wire) आहे, जो संपर्क वायरच्या उंचीमध्ये समायोजन करून तिला सरळ ठेवतो.

- वापरले जाणारे साहित्य:ड्रॉपर वायर तांबे किंवा कांस्य मिश्रधातूपासून (Copper or Bronze Alloy) बनवली जाते.

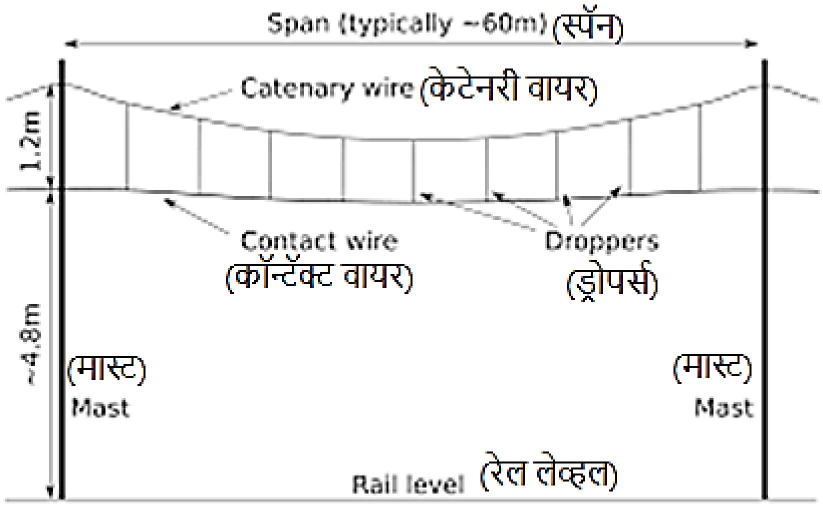


Figure 5.5 कॅटनरी वायर, ड्रॉपर, संपर्क वायर यांचे कन्सट्रक्सशन (catenary, dropper and contact wire construction in traction)

रेल्वे इलेक्ट्रिफिकेशनमधील कॅटनरी सिस्टम मध्ये कॅटनरी वायर चा वापर संपर्क वायर एकसमान उंचीवर निलंबित ठेवण्यासाठी केला जातो. ड्रॉपरद्वारे या दोन्ही वायर्स एकमेकांशी जोडलेल्या असतात, ज्यामुळे गाडीचा पॅंटोग्राफ संपर्क वायरमधून इलेक्ट्रिक प्राप्त करू शकतो.

- कॅटनरी वायर: ही मुख्य आधारभूत वायर असून ती संपर्क वायरला धरून ठेवते.
- संपर्क वायर: ही थेट इलेक्ट्रिक वाहून नेणारी वायर आहे जी पॅंटोग्राफशी संपर्क राखते.
- ड्रॉपर: हे कॅटनरी वायर आणि संपर्क वायर यांना जोडणारे लहान तुकडे असतात, जे संपर्क वायर योग्य उंचीवर स्थिर ठेवतात.

ही संपूर्ण सिस्टिम मुख्यतः तांब्याच्या मिश्रधातूपासून (Copper-based alloys) बनवलेली असते.

न्यूट्रल सेक्शन (Neutral Section):

न्यूट्रल सेक्शन म्हणजे एक विशिष्ट गॅप जिथे विद्युतसप्लाय दिला जात नाही. याचा उपयोग शेजारील दोन इलेक्ट्रिकसप्लाय विभागांमधील आर्किंग (Arcing) टाळण्यासाठी केला जातो.

करंट संकलन सिस्टिम (Current Collection System):

करंट संकलन सिस्टिम म्हणजे संपूर्ण यंत्रणा, जिथे कॅटनरी वायर, संपर्क वायर आणि पॅंटोग्राफ एकत्रित कार्य करतात, जेणेकरून विद्युतशक्ती गाडीपर्यंत पोहोचू शकेल.

- **साधी कॅटनरी संरचना (Simple Catenary Construction):**

1. **सपोर्ट संरचना:** रुळाच्या बाजूने ठराविक अंतरावर सिमेंट किंवा स्टीलचे पोल उभारले जातात.
2. **कॅटनरी वायर बसवणे:** ही वायर या खांबांवर योग्य ताणासह ओढली जाते.
3. **ड्रॉपर बसवणे:** ठराविक अंतरावर ड्रॉपर लावले जातात, जे संपर्क वायरला खाली अडकवतात.

वेगाचा कॅटनरी सिस्टिमवर परिणाम (Effect of Speed on Catenary):

गाडीचा वेग वाढल्यावर, पँटोग्राफद्वारे विद्युत प्रवाह संकलनात अडचणी येऊ शकतात. म्हणून, वेगानुसार कॅटनरीच्या रचनेत बदल करणे आवश्यक आहे.

- 100 किमी/तास पर्यंतच्या वेगासाठी – फक्त संपर्क वायरच्या ताणाचे नियमन करणे आवश्यक असते.
- 120 किमी/तास पर्यंतच्या वेगासाठी – कॅटनरी वायर आणि संपर्क वायर दोन्हींच्या ताणाचे नियमन करावे लागते.
- 160 किमी/तास पर्यंतच्या वेगासाठी – सपोर्ट पॉइंट्सवर 10m "Y" वापरणे आवश्यक आहे.
- 160 किमी/तासपेक्षा जास्त वेगासाठी – 20m "Y" किंवा कंपाऊंड कॅटनरी सिस्टिम (Compound Catenary System) वापरली जाते.
- 200 किमी/तासपर्यंतच्या वेगासाठी – संपूर्ण जाळीदार कॅटनरी (Continuous Mesh Catenary) किंवा कंपाऊंड कॅटनरी वापरली जाते.

5.6.5 न्यूट्रल सेक्शन (Neutral Section):

व्याख्या (Definition):

कॅटनरी सिस्टिमतील एक छोटासा गॅप जिथे संपर्क वायर तुटलेली असते, ज्यामुळे दोन वेगवेगळ्या इलेक्ट्रिकसप्लाय विभागांमध्ये आर्किंग (Arcing) होण्यापासून संरक्षण मिळते.

गरज (Need):

शेजारील इलेक्ट्रिफाइड विभाग वेगळे ठेवण्यासाठी.

गाड्या एका सेक्शन मधून दुसऱ्यात जाताना शॉर्ट सर्किट होऊ नये यासाठी.

5.6.6 करंट कलेक्टिंग डिव्हायसेस (Current Collecting Devices):

(1) ट्रॉली कलेक्टर (Trolley Collector):

- प्रामुख्याने ट्राम आणि ट्रॉली बसमध्ये वापरले जाते.
- लांब दांडा असतो, ज्याच्या टोकाला गन मेटल व्हील किंवा कार्बन स्लाइडर शू असतो.
- सस्पेंशन स्प्रिंग्सचा वापर योग्य दाब देण्यासाठी केला जातो.
- वेग जास्त झाल्यास (24-32 किमी/तासपेक्षा अधिक) वायरशी संपर्क सुटण्याची शक्यता असते.

(2) बो कलेक्टर (Bow Collector):

- हेही ट्रामसाठी वापरले जाते, परंतु ट्रॉली बससाठी योग्य नाही.
- हलक्या धातूचा एक सपाट पट्टा (bow) असतो, जो संपर्क वायरला स्पर्श करतो.
- वेग जास्त असल्यास वायरशी संपर्क तुटण्याची शक्यता कमी असते.
- कार्बन, अॅल्युमिनियम किंवा कॉपरचा पट्टा वापरला जातो, जेणेकरून संपर्क वायरला नुकसान होणार नाही.

(3) पँटोग्राफ कलेक्टर (Pantograph Collector):

- रेल्वेसाठी सर्वाधिक वापरला जातो.
- वेग जास्त असल्यास (100-130 किमी/तास) आणि 2000-3000 Amps पर्यंत विद्युत प्रवाह संकलन करण्यासाठी योग्य.
- स्टीलच्या सांधलेल्या फ्रेमपासून बनलेला असतो.
- कार्बन किंवा ब्रॉन्झ प्लेट वापरल्या जातात, जेणेकरून घर्षणामुळे तुटण्याचा धोका कमी राहील.

- गाडीच्या दोन्ही दिशांना काम करू शकतो.

(A) डायमंड पँटोग्राफ (Diamond Pantograph):

- सुरुवातीला विकसित केलेली पारंपरिक डायमंड-आकाराची रचना.
- स्टील फ्रेमवर संपर्क पट्ट्या बसवलेल्या असतात, ज्या वायरला घासत राहतात.
- DC सिस्टिमसाठी, कॉपर, ब्रॉन्झ किंवा स्टील पट्ट्या वापरल्या जातात, परंतु ग्रीस किंवा ग्रेफाइट लुब्रिकेशन आवश्यक असते.
- 25kV AC सिस्टिमसाठी – एकच पँटोग्राफ पुरेसा असतो.
- 1500V DC सिस्टिमसाठी – 2500A
- इलेक्ट्रिक वाहून नेण्यासाठी दोन पँटोग्राफ वापरावे लागतात.

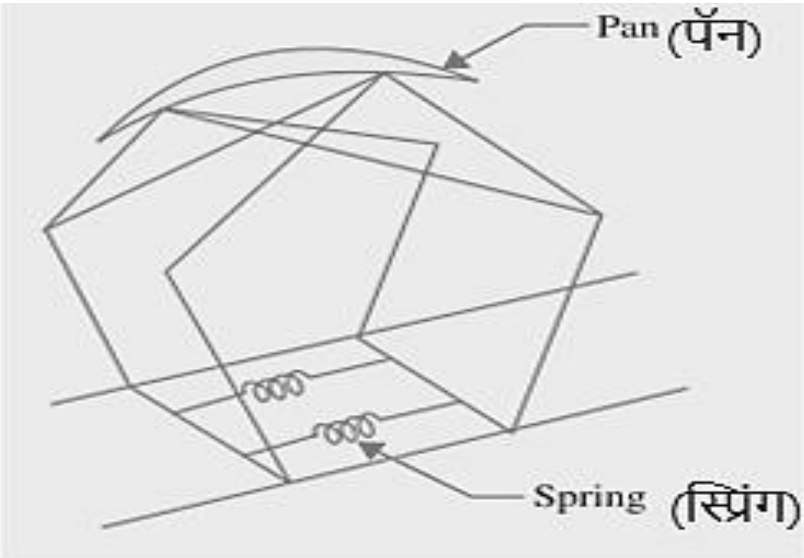


Figure 5.6 डायमंड पँटोग्राफ (Dimond type pantograph)

डायमंड पँटोग्राफमधील ताण स्प्रिंग्स आणि त्याचे कार्य:पँटोग्राफच्या बेसवर (base) बसवलेल्या ताण स्प्रिंग्स (tensioning springs) आडव्या (horizontal) शाफ्टला फिरवतात, जे फ्रेमच्या चारही खालच्या आर्म्सशी (lower arms) जोडलेले असतात. यामुळे सर्व आर्म्स एकसारखेपणे वर-खाली होतात आणि संपूर्ण पँटोग्राफ एकसंध (uniform) हालचाल करतो.

डायमंड पँटोग्राफचे ॲडव्हान्टेज (Advantages)

1) कोणत्याही डायरेक्शन ला कार्य करू शकतो (It can operate in either direction of motion) .
गाडी कोणत्याही डायरेक्शनने गेली तरीही हा पँटोग्राफ प्रभावीपणे करंट कलेक्ट करू शकतो.
2) बसवण्याची प्रक्रिया सोपी असते (The erection is simple) .
डायमंड पँटोग्राफच्या रचनेमुळे त्याची उभारणी (installation) तुलनेने सोपी असते.
3) कलेक्टर वायरपासून जम्पिंग ऑफ होण्याचा धोका कमी असतो (risk of jumping off the collector is less) चांगल्या संतुलित यंत्रणेच्या मदतीने वायरवर सतत संपर्क टिकवून ठेवला जातो.
4) त्याची हाइट सहज कमी-जास्त करता येते (Its height can be easily increased or decreased) .
गाडीच्या गरजेनुसार ट्रेन ड्रायव्हरच्या केबिनमधून उंची सहज कमी किंवा वाढवता येते.

डायमंड पँटोग्राफची मर्यादा (Drawback) या प्रकारच्या पँटोग्राफला छतावर मोठ्या प्रमाणात जागा (roof area) आवश्यक असते.परिणामी, सर्व गाड्यांवर याला सहज बसवता येत नाही.

b) फेव्हले पँटोग्राफ (Faiveley Pantograph)

25kV एसी (AC) सिस्टिममध्ये, ओव्हरहेड वायर हलकी असते. त्यामुळे डीसी (DC) पँटोग्राफच्या तुलनेत संपर्क प्रेशर (contact pressure) कमी असतो.

- एसी पँटोग्राफमध्ये: 6.5 kg ते 9 kg दाब आवश्यक असतो.
- डीसी पँटोग्राफमध्ये: 10 kg ते 15 kg दाब लागतो.

यामुळे हलका आणि कमी कॉन्टॅक्ट प्रेशर असलेला सिंगल-एंडेड (single-ended) फेव्हले पँटोग्राफ एसी ट्रॅक्शनसाठी योग्य ठरतो.

फेव्हले पँटोग्राफची वैशिष्ट्ये

फेव्हले पँटोग्राफमध्ये पुढील घटक असतात:

1) बेस (Base): हे संपूर्ण संरचनेला आधार देणारे घटक आहे.
   - वेल्डेड विभागांपासून (welded sections) तयार केले जाते.

2) आर्टिक्युलेटेड सिस्टम (Articulated System):
   - ही सिस्टिम खालच्या भुजेसोबत (lower arm) जोडलेली असते.
   - यामुळे पँटोग्राफ सहज वर-खाली होऊ शकतो.

3) न्यूमॅटिक कंट्रोल सिस्टिम (Pneumatic Control System):
   - यात थ्रॉटल व्हॉल्व (throttle valve) आणि दोन स्प्रिंग्स असतात.
   - हवेच्या दाबाच्या (air pressure) मदतीने उंची नियंत्रित केली जाते.

4) चार इन्सुलेटर्स (Four Insulators):
   - इलेक्ट्रिकल इन्सुलेशन (electrical insulation) सुनिश्चित करतात.

फेव्हले पँटोग्राफचा कार्यसिस्टिम (Working of Faiveley Pantograph)

आर्टिक्युलेटेड सिस्टममध्ये खालील भाग असतात:

- होरीझोनटल स्पिंडल (Horizontal Spindle):
- दोन बॉल बेअरिंग्समध्ये (ball bearings) बसवलेला असतो.
- लोअर आर्म (Lower Arm):
- याच्या वरच्या टोकाला आधार देणारा भाग (support) असतो.
- हा भाग फिरत असतो आणि पँटोग्राफ वर-खाली हालू शकतो.
- गायडिंग रॉड (Guiding Rod):
- खालच्या हाताच्या (Lower Arm) फिरण्याच्या हालचालींना मार्गदर्शन करतो.
- ट्रान्सवर्सल ट्यूब (Transversal Tubes):
- पॅन पोझिशनिंग रॉड (Pan Positioning Rod) आणि स्प्रिंग बॉक्सशी (Spring Box) जोडलेले असतात.

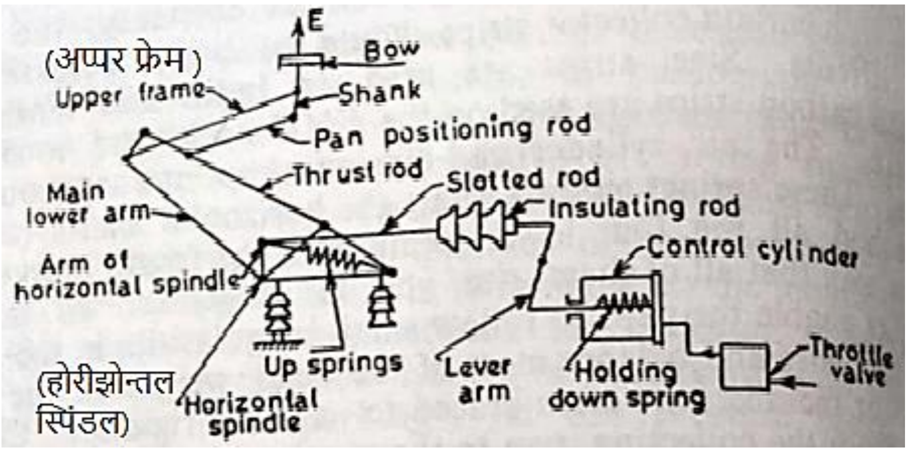


Figure 5.7 फेव्हले पँटोग्राफ ची डायग्राम (Faiveley type Pantograph diagram)

फेव्हले पँटोग्राफचे ॲडव्हान्टेज (Advantages of Faiveley Pantograph)

1) हलके वजन आणि कमी जडत्व (Lightweight & Low Inertia):
- नवीन डिझाईन्समध्ये कमी आर्म्स (fewer arms) असतात, त्यामुळे गतीवेग जास्त असूनही हालचाल सहज होते.

2) लो कॉन्टॅक्ट प्रेशर (Low Contact Pressure):
- ओव्हरहेड वायर जड नसल्यामुळे, लो कॉन्टॅक्ट प्रेशरने (6.5 kg – 9 kg) कार्य करते.

3) सिंगल-एंडेड रचना (Single-Ended Design):
- डीसी पँटोग्राफप्रमाणे मोठ्या जागेची गरज नसते.

फेव्हले पँटोग्राफचा कंट्रोल सिस्टिम (Control System of Faiveley Pantograph)

जेव्हा कम्प्रेस्ड एअर (compressed air) कंट्रोल सिलेंडरमध्ये सोडली जाते, तेव्हा हवेच्या दाबामुळे होल्डिंग डाऊन स्प्रिंग्स (holding down springs) संकुचित होतात.यामुळे पिस्टन (piston) वर हलतो आणि अप-स्प्रिंग्स (up springs) पँटोग्राफला वर उचलतात.पँटोग्राफ ओव्हरहेड वायरला (overhead conductor) स्पर्श करेपर्यंत इंक्रीज होत राहतो.एकदा कॉन्टॅक्ट झाल्यानंतर, आर्टिक्युलेटेड सिस्टम (articulated system) स्थिर होते आणि पिस्टन त्याचा स्ट्रोक पूर्ण करतो. आता एअर मोटर थांबते आणि पिस्टन स्थिर राहतो.

पँटोग्राफ खाली आणण्याची प्रक्रिया (Pantograph Lowering Process):

जेव्हा कंट्रोल सिलेंडर उघडला जातो, तेव्हा होल्डिंग स्प्रिंग्स पिस्टनला पुन्हा मूळ स्थितीत आणतात. यामुळे स्लॉटेड रॉड (slotted rod) होरीझोनटल स्पिंडलच्या (horizontal spindle) पिनवर दाब टाकतो, आणि आर्टिक्युलेटेड सिस्टम खाली येते.

पँटोग्राफ उचलण्याचे आणि खाली आणण्याचे प्रकार (Methods of Raising and Lowering Pantograph):

1) एअरने उचलला जातो, गुरुत्वाकर्षणाने खाली आणला जातो (Air Raised, Gravity Lowered)
- हवा दिली की पँटोग्राफ वर जातो, आणि गुरुत्वाकर्षणामुळे तो आपोआप खाली येतो.

2) एअरने उचलला जातो, स्प्रिंगने खाली आणला जातो (Air Raised, Spring Lowered)
- हवा दिली की पँटोग्राफ वर जातो, आणि स्प्रिंगच्या दाबामुळे तो खाली येतो.

3) स्प्रिंगने उचलला जातो, एअरने खाली आणला जातो (Spring Raised, Air Lowered)
- स्प्रिंगच्या मदतीने पँटोग्राफ वर जातो आणि हवा बाहेर काढल्यावर खाली येतो.

5.7 मेट्रो आणि मोनोरेलचा परिचय (Introduction of Metro and Monorail)

मेट्रो आणि मोनोरेल यामधील मुख्य वैशिष्ट्ये आणि फरक (Main Features and Differences)

मेट्रो (Metro):

- उच्च-क्षमता (High-capacity) असलेली जलद सार्वजनिक वाहतूक सिस्टिम.
- बहुतेक वेळा भुयारी (underground) किंवा उन्नत (elevated) मार्गावर धावते.
- शहरांमध्ये मोठ्या संख्येने प्रवासी वाहतुकीसाठी प्रभावी.
- अनेक स्थानके (multiple stations) असलेली वेगवान (rapid transit) सर्व्हिस.

मोनोरेल (Monorail):

- सिंगल रेल (single rail) ट्रॅकवर चालणारी वाहतूक सिस्टिम.
- प्रामुख्याने उन्नत (elevated) मार्गावर चालते.
- कमी-क्षमता (lighter capacity) असलेली, सहसा लहान अंतरासाठी वापरली जाते.
- मोठ्या शहरांमध्ये फीडर लाईन (feeder line) किंवा मर्यादित जागेत वाहतुकीसाठी उपयुक्त.

मेट्रो सिस्टिमची वैशिष्ट्ये (Features of Metro Systems):

Figure 5.8 मेट्रो रेल फोटो (Metrorail Photo)

1) उच्च-क्षमता (High Capacity):

- मेट्रो ट्रेन मोठ्या संख्येने प्रवासी वाहून नेण्यास सक्षम असते.
- गर्दीच्या वेळी (peak hours) मोठ्या प्रमाणावर प्रवासी सेवा देऊ शकते.

2) भुयारी किंवा एलिवेटेड ट्रॅक (Underground or Elevated Tracks):

- काही मेट्रो सिस्टिम भुयारी (subway) असतात, तर काही एलिवेटेड मार्गाने (elevated) चालतात.
- शहराच्या संरचनेनुसार मार्ग ठरवला जातो.

3) अनेक स्टेशन (Multiple Stations):

- विविध भागांमध्ये समान अंतरावर (frequent stops) असलेली स्थानके.
- त्यामुळे शहरातील वेगवेगळ्या भागांना जोडते.

4) जलद वाहतूक (Rapid Transit):

- वेगवान आणि वेळेची बचत करणारी वाहतूक सिस्टिम.
- इतर वाहतूक व्यवस्थांपेक्षा (like buses, trams) अधिक वेगवान आणि नियमित सेवा.
-

मोनोरेल सिस्टिमची वैशिष्ट्ये (Features of Monorail Systems):

Figure 5.9 मोनोरेल फोटो (Monorail Photo)

1) सिंगल रेल ट्रॅक (Single Rail Track):
- पारंपारिक रेल्वेप्रमाणे दुहेरी ट्रॅकऐवजी एका रेल (single rail) वर धावते.
- ट्रेन ट्रॅकवर बसलेली किंवा त्यावरून लटकलेली (suspended) असते.

2) एलिवेटेड मार्ग (Elevated Track System):
- बहुतेक सर्व मोनोरेल ट्रेन उन्नत ट्रॅकवर चालतात.
- त्यामुळे सडकेवरील वाहतुकीला अडथळा होत नाही.

3) लहान वाहतूक क्षमता (Lower Passenger Capacity):
- मेट्रोच्या तुलनेत प्रवासी क्षमता मर्यादित असते.
- सहसा फीडर सेवा (feeder service) किंवा छोटी अंतर वाहतूक (short-distance transport) म्हणून वापरली जाते.

4) कमी जागेत बसणारी सिस्टिम (Space-Efficient System):
- एलिवेटेड ट्रॅक असल्यामुळे अल्प जागेत बसते आणि वाहतुकीला अडथळा येत नाही.
- उंच पूल किंवा रस्त्यांवरून सहजतेने जाता येते.

मेट्रो आणि मोनोरेल ट्रॅक्शन सिस्टिमचे कार्य (Working Principle):

मेट्रो आणि मोनोरेल या दोन्ही वाहतूक सिस्टिम विद्युत उर्जेवर (electric power) कार्य करतात, ज्या ट्रेन्स मार्गदर्शित ट्रॅकवर (guided track) चालवतात.

वेग कंट्रोल (Speed Control):
- इलेक्ट्रिक मोटरला पुरविल्या जाणाऱ्या वीजेच्या प्रमाणानुसार ट्रेनचा वेग नियंत्रित केला जातो.

ब्रेकिंग सिस्टिम (Braking System):
- इलेक्ट्रिक आधारित ब्रेकिंग सिस्टिम वापरली जाते, जी अधिक सेफ आणि इफेक्टिव्ह आहे.

संकेत सिस्टिम (Signaling System):
- ट्रेनच्या सुरक्षिततेसाठी अत्याधुनिक संकेत आणि कंट्रोल सिस्टिम (signaling system) वापरली जाते, जी अपघात टाळण्यास मदत करते.

शहरी वाहतुकीसाठी आयडीअल पर्याय (Ideal for Urban Transport): मेट्रो आणि मोनोरेल दोन्ही सिस्टिम पर्यावरणपूरक (eco-friendly) , फास्ट आणि कार्यक्षम (efficient) वाहतूक सेवा प्रोव्हाईड करतात. शहरी भागांमध्ये वाहतूक कोंडी कमी करण्यासाठी आणि प्रदूषण टाळण्यासाठी हे उत्तम पर्याय आहेत.

एकंदरीत, मेट्रो आणि मोनोरेल या आधुनिक, सुरक्षित आणि स्वच्छ सार्वजनिक वाहतूक सिस्टिम असून, भविष्यात शहरी वाहतूक व्यवस्थेचा एक महत्त्वाचा भाग बनतील.

नमुना प्रश्नसंच (Sample Numericals)

1) विविध प्रकारच्या ट्रॅक्शन मोटर्स ची माहिती द्या.
2) इलेक्ट्रिकल ट्रॅक्शनसाठी वापरलेली विविध व्होल्टेज स्तरांची यादी करा.
3) भारतात वापरण्यात येणाऱ्या विविध प्रकारच्या ट्रॅक्शन सिस्टिमची माहिती द्या.
4) शहरी आणि मुख्यलाइन सेवांची (service) खालील मुद्द्यांवर तुलना करा: i) सबस्टेशन दरम्यान अंतर II) (व्हॅल्यू ऑफ एक्सिलरेशन)
5) शहरी लाईन , उप -शहरी लाईन आणि मेन लाइन सेवांच्या खालील पॉईंट्स दरम्यान तुलना करा - i) दोन रेल्वे स्टेशन दरम्यानचे अंतर ii) रिटार्डेशन iii) अक्सिलरेशन iv) मॅक्झिमम स्पीड v) स्पेसिफिक एनर्जी कंझमशन vi) फ्री रनिंग अस्तित्वात आहे की नाही vii) कोस्टिंग कालावधी अस्तित्वात आहे की नाही viii) स्पीड टाइम कर्वचा आकार
6) भारतात वापरल्या जाणाऱ्या ट्रॅक विद्युतीकरणाचे प्रकार. कोणताही एक प्रकार समजावून सांगा.
7) 25 KV, 1 फेज, 50 हर्ट्झ एसी लोकोमोटिव्हचे ब्लॉक डायग्राम बनवा. प्रत्येक भागाचे कार्य सांगा .
8) ट्रॅक्शन सिस्टिममध्ये सरासरी स्पीड आणि शेड्यूल स्पीड वर्णन करा. शेड्यूल स्पीडला प्रभावित करणारे कोणतेही दोन घटक यादी करा.
9) ट्रॅक्शन मोटर्सच्या कोणत्याही आठ इच्छित गुणधर्मांची माहिती द्या.
10) 25 KV एसी ट्रॅक्शन सिस्टिमचे कोणत्याही चार फायदे वर्णन करा.
11) लिफ्टच्या आकार आणि आकार निवडण्यासाठी विचारले जाणारे घटक सांगितले.
12) मोटरच्या निवडीसाठी विचारले जाणारे घटक सांगा.
13) एसी इलेक्ट्रिक लोकोमोटिव्हचे व्यवस्थित लेबल केलेले ब्लॉक डायग्राम काढा. प्रत्येक भागाचे कार्य सांगा.
14) दोन स्टेशन दरम्यान एक ट्रेन सरासरी 40 KMPH च्या वेगाने 2 किमी अंतरावर आहे. ट्रेन 2 KMPHPS येथे वेगवान होते आणि 3 KMPHPS येथे ट्रॅपेझॉइडल स्पीड टाइम कर्व समजा. कॅल्क्युलेट करा i) स्पीड टाइम कर्व काढा आणि मार्क करा II) ब्रेक लागू होण्यापूर्वी जास्तीत जास्त वेग III) ट्रेनने प्रवास केलेले एकूण अंतर धावण्यापेक्षा क्रेस्ट किंवा जास्तीत जास्त वेग निश्चित करा. गृहीत धरून: i) थांबे 50 सेकंदांचा कालावधी ii) प्रवेग 2 किमीपीएचपीएस III) मंदबुद्धी 3 किमीपीएचपीएस स्पीड टाइम वक्र ट्रॅपेझॉइडल आहे.
15) ट्रेनची शेड्यूल स्पीड 80 किमी/तास आहे आणि स्थानकांमधील अंतर 8 किमी आहे. धावण्यावर शिखर किंवा कमाल गती ठरवा. समजा: i) थांबण्याचा कालावधी ५० सेकंद ii) त्वरण २ किमी/तास² iii) मंदी ३ किमी/तास² आहे. वेग-समय वक्र ट्रॅपझॉयडाल आहे.
16) व्यवस्थित स्केच, फाईव्हली प्रकार पॅन्टोग्राफचे कन्स्ट्रक्शन आणि कार्य यासह स्पष्ट करा
17) ट्रेनच्या ट्रॅपेझॉइडल टाइम कर्व मध्ये असे असते: i) 25 सेकंदांसाठी 6 KMPHPS प्रवेग(acceleration) ii) 10 मिनिटे फ्री रनिंग धावणे. iii) ट्रेन थांबविण्यासाठी 6 KMPHPS एकसमान घसरण.(retardation) iv) 5 मिनिटांचा थांबवा. स्टेशन, सरासरी आणि वेळापत्रक स्पीड दरम्यानचे अंतर शोधा.
18) ट्रेनमध्ये 7 किमी अंतरावर असलेल्या स्टॉप दरम्यान 70 किमी प्रति तास वेळापत्रक असते. बाजूला. धावण्यापेक्षा क्रेस्ट किंवा जास्तीत जास्त वेग निश्चित करा. गृहीत धरून: - i) थांबे 50 सेकंदांचा कालावधी ii) प्रवेग 2 किमीपीएचपीएस. III retardation 3 किमीपीएचपीएस. स्पीड टाइम वक्र ट्रॅपेझॉइडल आहे.
19) व्यवस्थित स्केचसह फेवली टाइप पँटोग्राफच्या कार्याचे वर्णन करा.
20) i) इलेक्ट्रिक ट्रॅक्शनमध्ये वर्तमान संकलन प्रणालीच्या विविध प्रकारच्या यादीची यादी करा.
    ii) मेट्रो रेल आणि मोनोरेल ट्रॅक्शन लाइन सर्व्हिसेसची मुख्य वैशिष्ट्ये सांगा.

रेफरन्स (References)

XII. Suggested Learning Materials / Books

Sr. No	Author	Title	Publisher with ISBN Number
1	H.Pratab	Art and Science of Utilization of Electrical Energy	Dhanpat Rai & Sons, New Delhi, ISBN: 9788177001440
2	J.B. Gupta	Utilization of Electric Power and Electric Traction.	S.K. Kataria & Sons, New Delhi, ISBN: 978- 9350142585
3	G. C. Garg	Utilization of Electric Power and Electric Traction.	Khanna Publishers, New Delhi, ISBN: 8174091645
4	J. Upadhaya and S.N. Mahendra	Electric Traction	Allied Publisher Ltd., New Delhi, ISBN: 8177640054
5	G.K. Dubey	Fundamentals of Electric Drive	Narosa Publishing House, New Delhi, ISBN: 8173190410, 9788173190414
6	V. K. Mehta	Principles of Power System	S. Chand, New Delhi, ISBN: 9788121924962
7	H. Pratab	Modern Electric Traction	Dhanpat Rai & Sons, New Delhi, ISBN: 1234567147206
8	S. Sivanagaraju & M. Balasubba Reddy & B. Srilatha	Generation and Utilization of Electrical Energy	Personal Education, New Delhi, ISBN: 9789332515673

XIII. Learning Websites & Portals

Sr.No	Link / Portal	Description
1	https://www.youtube.com/watch?v=7GLiBwgVBLQ	Videos on Electric Traction
2	https://www.youtube.com/watch?v=fakGLu03jYg	Videos on Electric Traction
3	https://www.youtube.com/watch?v=BDMFsYnTdVI	Videos on Electric Locomotive with full description
4	https://www.youtube.com/watch?v=49rH3buD0bc	Video showing the working of Diesel Locomotive
5	https://www.youtube.com/watch?v=82EFMvYcbN4	Videos on Electric Multiple Unit
6	https://www.youtube.com/watch?v=AAyLKnz4UJY	Videos to describe Electric Heating system
7	https://mmrda.maharashtra.gov.in/projects/transport/mumbai-monorail/overview https://www.railway-technology.com/projects/mumbai-monorail	Information about Metro Mono rail system

Sr.No	Link / Portal	Description
	https://mmrda.maharashtra.gov.in/projects/transport/metro-line-1/overview	
8	https://www.electricaldeck.com/2022/05/current-collecting-system-in-electric-traction.html	Information about current collecting system