



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

अभियांत्रिकी आणि तंत्रज्ञान पदविका

शिक्षण पुस्तिका
(Learning Material)

इलेक्ट्रिकल आणि इलेक्ट्रॉनिक मेजरमेन्ट
Electrical and Electronic Measurement
(EEM)

(313334)

इलेक्ट्रिकल अभियांत्रिकी गट
(के-स्कीम)

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

शिक्षण पुस्तिका
(Learning Material)

इलेक्ट्रिकल आणि इलेक्ट्रॉनिक मेजरमेन्ट
Electrical and Electronic Measurement
(EEM)

(313334)

इलेक्ट्रिकल अभियांत्रिकी गट
(के-स्कीम)

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



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

मार्गदर्शक

डॉ. संजय वसंत भंगाळे

विभागप्रमुख, विद्युत अभियांत्रिकी

प्रमुख समन्वयक

प्रो. प्रकाश त्र्यंबकराव कडवे

प्राचार्य

समन्वयक

संजय भाऊराव पवार

विभागप्रमुख, विद्युत अभियांत्रिकी

समिक्षक

सुनिल रमेश पवार

अधिव्याख्याता, विद्युत अभियांत्रिकी

लेखक

परनीत कौर चौधरी

अधिव्याख्याता, विद्युत अभियांत्रिकी

विशाल बाळकृष्ण राव

अधिव्याख्याता, विद्युत अभियांत्रिकी

माधुरी तानाजी नवले

अधिव्याख्याता, विद्युत अभियांत्रिकी

दिपक प्रकाश कुंभार्डे

अधिव्याख्याता, विद्युत अभियांत्रिकी



महाराष्ट्र राज्य तंत्र शिक्षण मंडळ

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

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

दूरध्वनी क्र.: ०२२-६२५४२१७० / १६१

Email : director@msbte.com

Web : www.msbte.org.in



प्रास्ताविक

महाराष्ट्र राज्यातील पदविका स्तरावरील तंत्रशिक्षणाशी संबंधित बाबींचे नियमन करण्यासाठी महाराष्ट्र राज्य तंत्रशिक्षण मंडळ वचनबद्ध असून विद्यार्थ्यांच्या सर्वांगीण 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 ह्यांमध्ये 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 सर्वाना शिक्षणाची कल्पना मांडण्यात आली आहे. त्यास अनुसरून मराठी-इंग्रजी द्विभाषिक माध्यमाचा पर्याय द्वितीय व तृतीय वर्षाकरिताही उपलब्ध करून देण्यात आला आहे. तसेच त्याकरिता शैक्षणिक सामुग्रीही विद्यार्थी व अध्यापकांना उपलब्ध करून देण्यात येत आहे.

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

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


(प्रमोद नाईक)

संचालक

म. रा. तंत्र शिक्षण मंडळ, मुंबई.

अनुक्रमणिका (INDEX)

अ.क्र. (Sr.No.)	युनिटचे नाव (Name of Unit)	पान क्र. (Page No.)
1	मापनाची मूलभूत तत्त्वे. (Fundamentals of Measurement)	01
2	पॉवर आणि एनर्जीचे मोजमाप. (Measurement of Power and Energy)	39
3	डिजिटल मापन उपकरणे. (Digital Measuring Instruments)	67
4	ट्रान्सड्यूसर आणि प्रेशर मापन. (Transducer and Pressure Measurement)	94
5	फ्लो, लेव्हल आणि टेम्परेचर मापन. (Flow, Level and Temperature Measurement)	115

युनिट-1

मापनाची मूलभूत तत्त्वे

(Fundamentals of Measurement)

विषय निष्पत्ती (Course Outcome): मापन उपकरणांमध्ये (मेजरींग इंस्ट्रुमेंटमध्ये) मापनाच्या (मेजरमेंटच्या) मूलभूत तत्त्वांचा उपयोग करा.

(Apply the basics of measurement to the measuring instruments.)

थिअरी लर्निंगसह मॅप केलेली शिक्षण सामग्री निष्पत्ती (TLOs) आणि विषय निष्पत्ती COs:

(Learning content mapped with Theory Learning Outcomes (TLO's) and CO's):

- 1.1 मेजरींग इंस्ट्रुमेंटचे (measuring instrument) स्थिर (static) आणि गतिमान (dynamic) गुणधर्म (characteristics) परिभाषित करा.
- 1.2 मेजरींग इंस्ट्रुमेंटमधील (measuring instrument) त्रुटींचे प्रकार (types of errors) आणि त्यांची भरपाई समजून सांगा.
- 1.3 मेजरींग इंस्ट्रुमेंटचे वर्गीकरण (classification) लिहा.
- 1.4 मेजरींग इंस्ट्रुमेंटमधील विविध प्रकारच्या टॉर्कचे (torques) स्पष्टीकरण द्या.
- 1.5 दिलेल्या इंस्ट्रुमेंटच्या कॅलिब्रेशनची प्रक्रिया (procedure for calibration) वर्णन करा.
- 1.6 PMMC आणि PMMI मीटरची रचना (construction) आणि कार्य (working) वर्णन करा.
- 1.7 दिलेल्या DC/AC अमीटर (ammeter) आणि वोल्टमीटरची (voltmeter) श्रेणी वाढवा (Extend the range).
- 1.8 रेसिस्टन्सचे (resistance) विविध प्रकार वर्गीकृत (Classify) करा.

परिचय (Introduction):

सायंटिफिकली (scientifically) आणि तंतोतंत (precisely) मेजरमेंटसाठी विविध प्रमाण (quantities) आहेत. हे युनिट विविध मेजरींग इंस्ट्रुमेंट (measuring instruments) आणि त्यांच्या मूलभूत गरजा (basic requirements) स्पष्ट करते.

1.1 मेजरमेंट (Measurement): व्याख्या, गरज आणि महत्त्व (Definition, Need & Significance):

1.1.1 मेजरमेंटची व्याख्या (Definition of Measurement):

1) मेजरमेंट (measurement) ही एक अशी प्रक्रिया (process) आहे ज्याद्वारे एखादी व्यक्ती फिजिकल पॅरामीटर (physical parameters) अर्थपूर्ण संख्येमध्ये रूपांतरित (convert) करू शकते. मेजरमेंट (measurement) ही वास्तविक जगातील वस्तू आणि घटनांचे फिजिकल काँटीटी (physical quantity) मिळवणे आणि त्यांची तुलना करणे (comparision) ही क्रिया (process) आहे.

2) इंस्ट्रुमेंटच्या इंजिनीरिंग (engineering) डिझाइनच्या (design) सर्व शाखांमध्ये (branch) दोन प्रमुख कार्ये आहेत, प्रक्रिया इंस्ट्रुमेंट आणि प्रक्रिया (Process), यांचे योग्य ऑपरेशन (operation) आणि देखभाल, ही दोन्ही कार्ये मेजरमेंटसाठी (measurement) आवश्यक आहेत.

3) मेजरमेंटच्या (measurement) एकाकाशी अज्ञात प्रमाणाची (Unknown quantity) तुलना करण्यासाठी वापरलेले इंस्ट्रुमेंट (instrument) किंवा मानक (standard) प्रमाण मोजण्याचे साधन (Measuring instrument) म्हणून ओळखले जाते.

1.1.2 मेजरमेंटची गरज (Need of Measurement):

मेजरमेंट (measurement) हे दैनंदिन अटींमध्ये, शक्ती (Power), तीव्रता (Intensity), प्रतिकार (Resistance) आणि व्होल्टेज (Voltage) मोजण्यासाठी इंस्ट्रुमेंट (instrument) वापरून मशीन (Machine) आणि

इंस्टॉलेशनच्या (Installation) योग्य ऑपरेशनची पुष्टी (Confirm) करणे तसेच विशिष्ट विद्युत ऊर्जा सेवेच्या (Electric Energy Service) वापराची वैशिष्ट्ये (characteristics) ओळखणे शक्य करते.

1.1.3 मेजरमेंटचे महत्त्व (Significance of Measurement):

इलेक्ट्रॉनचा चार्ज (Charge of Electron) किंवा प्रकाशाचा वेग (Speed of Light) यांसारख्या मूलभूत (Fundamental) भौतिक गुणधर्मांचे (Physical Properties) निर्धारण करण्यासाठी आणि इलेक्ट्रिकल मेजरमेंटच्या (electrical measurements) युनिट्सच्या (units) व्याख्येमध्ये, काही प्रकरणांमध्ये (In Some Experiments) क्रमानुसार अचूकतेसह, इलेक्ट्रिक कॅन्टीटीचे (Electric Quantities) उच्च-सुस्पष्टता (High-Precision) प्रयोगशाळेतील मेजरमेंट्स (measurements) प्रयोगांमध्ये वापरले जातात.

1.2 मापन उपकरणांचे स्थिर आणि गतिमान वैशिष्ट्ये (Static and Dynamic Characteristics of Measuring Instruments):

इन्स्ट्रुमेंटची कार्यक्षमता वैशिष्ट्ये प्रामुख्याने दोन श्रेणींमध्ये विभागली जातात:

- (1) स्टॅटिक वैशिष्ट्ये (Static Characteristics)
- (2) डायनॅमिक वैशिष्ट्ये (Dynamic Characteristics)

1.2.1 स्टॅटिक वैशिष्ट्ये (Static Characteristics):

इन्स्ट्रुमेंट (instrument) साठी परिभाषित (defined) केलेल्या निकषांच्या (criteria) संचाचा (set) वापर केला जातो, ज्याचा वापर वेळेनुसार हळूहळू बदलणारे प्रमाण मेजरमेंटसाठी (measurement) किंवा बहुतेक स्टॅटिक (static), म्हणजे वेळेनुसार बदलत नाही, याला स्टॅटिक वैशिष्ट्ये (Static Characteristics) म्हणतात.

स्टॅटिक परफॉर्मन्सचे (Static Performance) वर्णन करण्यासाठी अनेक व्याख्या (definition) वापरल्या जातात.

1) अचूकता (Accuracy):

मेजरमेंट (measurement) केलेल्या व्हेरिएबलच्या (Variables) खऱ्या मूल्याला (true values) प्रतिसाद देण्याची प्रणालीची क्षमता.

2) संवेदनशीलता (Sensitivity):

आउटपुट (output) मधील बदल आणि इनपुट (input) मधील बदलाचे गुणोत्तर (ratio).

3) प्रिसिजन (Precision):

हे मेजरमेंटच्या (measurement) पुनरावृत्तीचे (repeatability) एक माप आहे.

4) रिप्रॉड्यूसिबिलिटी (Reproducibility):

पुनरावृत्ती (repeated) केलेल्या मेजरमेंटच्या (measurement) संख्येतील ही जवळीक आहे.

5) ड्रिफ्ट (Drift):

हा ठराविक कालावधीत आउटपुट (output) इनपुट (input) संबंधात अवांछित बदल (undesirable change) आहे.

6) रिझोल्यूशन (Resolution):

इनपुट (input) किंवा आउटपुट (output) वर कमीतकमी वाढीव मूल्य जे डिटेक्ड द्वारे शोधले (detected) जाऊ शकते.

7) डेड झोन (Dead Zone):

हे मेजरमेंटखालील (under measurement) परिमाणाचे कमाल मूल्य (maximum value) आहे ज्यासाठी इन्स्ट्रुमेंट (instrument) प्रतिसाद (Response) देत नाही.

8) एरर (Error):

हे इंडिकेटेड व्हॅल्यू (indicated value) आणि ट्रू व्हॅल्यू (true value) यांच्यातील बीजगणितीय (deviation) फरक (difference) आहे.

एरर (Error) = इंडिकेटेड व्हॅल्यू (Indicated Value) - ट्रू व्हॅल्यू (True Value)

1.2.2 डायनॅमिक वैशिष्ट्ये (Dynamic Characteristics):

इन्स्ट्रुमेंटसाठी (instrument) परिभाषित केलेल्या निकषांचा संच (set), जे वेळेनुसार रॅपिडली बदलत (rapidly change) असतात त्यांना डायनॅमिक वैशिष्ट्ये (Dynamic Characteristics) म्हणतात.

डायनॅमिक परफॉर्मन्सचे (dynamic performance) वर्णन करण्यासाठी अनेक व्याख्या (definitions) वापरल्या जातात.

1) डायनॅमिक एरर (Dynamic Error):

हे वेळेनुसार बदलणाऱ्या प्रमाणाच्या टू व्हॅल्यू (true value) तील फरक (difference) आहे आणि प्रदान केलेल्या इन्स्ट्रुमेंटद्वारे दर्शविलेले value स्टॅटिक एरर (static error) शून्य (zero) आहे.

2) फिडिलिटी (Fidelity):

इनपुट (input) प्रमाणेच आउटपुटचे (output) पुनरुत्पादन (reproduce) करण्याची ही सिस्टिमची क्षमता (system ability) आहे.

3) बँडविड्थ (Bandwidth):

ज्या प्रणालीची वारंवारता श्रेणी (range of frequency), ज्यासाठी तिची गतिशील संवेदनशीलता (dynamic sensitivity) समाधानकारक (satisfactory) आहे.

4) स्पीड ऑफ रिस्पॉन्स (Speed of Response):

हा भौतिक सिस्टिमचा प्रतिसाद (response of physical system) आहे ज्याला प्रतिसाद देण्याची क्षमता दर्शवते.

5) टाइम कॉन्स्टंट (Time Constant):

हे पहिल्या ऑर्डर सिस्टिमच्या (first order system) वर्तनाशी संबंधित आहे आणि सिस्टिमला (system) त्याच्या अंतिम आउटपुट सिग्नलच्या (final output signal amplitude) 0.632 पट पोहोचण्यासाठी लागणारा वेळ (time taken) म्हणून परिभाषित (defined) केले जाते.

1.3 मोजमापातील त्रुटींचे प्रकार आणि भरपाई (Types of errors in measurement and compensation):

• एरर (Error):

हे इंडिकेटेड व्हॅल्यू (indicated value) आणि टू व्हॅल्यू (true value) यांच्यातील बीजगणितीय (deviation) फरक (difference) आहे.

एरर (Error) = इंडिकेटेड व्हॅल्यू (Indicated Value) - टू व्हॅल्यू (True Value)

एररचे प्रकार (Types of Error) खालीलप्रमाणे आहेत:

- 1) ग्रॉस एरर (Gross Error)
- 2) सिस्टिमॅटिक एरर (Systematic Error)
 - i) इन्स्ट्रुमेंटल एरर (Instrumental Error)
 - ii) एन्व्हरमेंटल एरर (Environmental Error)
 - iii) ऑब्झर्वेशनल एरर (Observational Error)
- 3) रँडम एरर (Random Error)

1.3.1 ग्रॉस एरर (Gross Error):

1) एररच्या या श्रेणीमध्ये वाचन (reading), रेकॉर्डिंग (recording) आणि वाचन करताना (taking reading) सर्व ह्यूमन मिस्टेक्स (human mistakes) समाविष्ट आहेत. एररची गणना करताना चुका (mistakes) देखील या वर्गवारीत येतात.

2) उदाहरणार्थ, इन्स्ट्रुमेंटच्या (instrument) मीटरवरून रीडिंग (meter reading) घेताना तो 28 चे 38 असे वाचू (read) शकतो. या सर्व प्रकारच्या एरर (error) या वर्गवारीत येतात.

3) दोन योग्य उपाय वापरून एकूण चुका (avoid mistakes) टाळता येतात. आणि ते खाली लिहिले आहेत:

- i) डेटा (data) वाचताना (reading), रेकॉर्ड (recording) करताना योग्य काळजी (proper care) घेतली पाहिजे. त्रुटीची (error) गणना देखील अचूकपणे (accurately) केली पाहिजे.
- ii) प्रयोगकर्त्याची (experiments) संख्या वाढवून आपण ग्राँस एरर (gross error) कमी करू शकतो. प्रत्येक प्रयोगकर्त्याने वेगवेगळ्या बिंदूवर (different points) वेगवेगळे रीडिंग (reading) घेतल्यास, सरासरी जास्त वाचन (average of more reading) करून आपण ग्राँस एरर (gross error) कमी करू शकतो.

1.3.2 सिस्टिमॅटिक एरर (Systematic Error):

या प्रकारच्या एरर (Error) समजून घेण्यासाठी, आपण सिस्टिमॅटिक एरर चे वर्गीकरण खालीलप्रमाणे करूया:

- (i) इंस्ट्रुमेंटल एरर (Instrumental Error)
- (ii) एन्व्हरमेंटल एरर (Environmental Error)
- (iii) ऑब्झर्वेशनल एरर (Observational Error)

(i) इंस्ट्रुमेंटल एरर (Instrumental Error):

- 1) या एरर (error) चुकीची रचना (Construction), मेजरींग इन्स्ट्रुमेंटचे (Measuring instruments) कॅलिब्रेशन (calibration) यामुळे असू शकतात.
- 2) या प्रकारच्या एरर घर्षणामुळे (friction) उद्भवू शकतात किंवा हिस्टेरेसिसमुळे (hysteresis) असू शकतात.
- 3) या प्रकारच्या एरर मध्ये (error) लोडिंग इफेक्ट (loading effect) आणि उपकरणांचा गैरवापर (misuse of instrument) देखील समाविष्ट आहे.
- 4) मेजरमेंटमधील (measurement) ग्राँस एरर (gross error) कमी करण्यासाठी इन्स्ट्रुमेंट काळजीपूर्वक पुन्हा कॅलिब्रेट (calibrate) करणे आवश्यक आहे.

(ii) एन्व्हरमेंटल एरर (Environmental Error):

- 1) या प्रकारची एरर (error) इन्स्ट्रुमेंटच्या एक्सटर्नल परिस्थितीमुळे (external condition) उद्भवते.
- 2) एक्सटर्नल (external) स्थितींमध्ये तापमान (temperature), दाब (pressure), आर्द्रता (humidity) समाविष्ट असते किंवा त्यात एक्सटर्नल चुंबकीय क्षेत्र (external magnetic field) समाविष्ट असू शकते.
- 3) एन्व्हरमेंटल एरर (environmental error) कमी करण्यासाठी खालील स्टेपचे (step) पालन करणे आवश्यक आहे:
 - a) काही व्यवस्था बनवून प्रयोगशाळेचे तापमान (temperature) आणि आर्द्रता (humidity) स्थिर (constant) ठेवण्याचा प्रयत्न करा.
 - b) इन्स्ट्रुमेंटभोवती (instrument) कोणतेही एक्सटर्नल चुंबकीय (external magnetic) किंवा इलेक्ट्रोस्टॅटिक क्षेत्र (electrostatic field) नसावे याची खात्री करा.

(iii) ऑब्झर्वेशनल एरर (Observational Error):

- 1) या प्रकारच्या एरर (error) चुकीच्या ऑब्झर्वेशनमुळे (wrong observation) आहेत हे नावावरूनच इंडिकेट (indicate) होते. चुकीचे ऑब्झर्वेशन (wrong observations) पॅरालॅक्समुळे (parallax) असू शकतात.
- 2) पॅरालॅक्स एरर (parallax error) कमी करण्यासाठी मिरर स्केलसह (mirror scale) अत्यंत अचूक (highly accurate) मीटर आवश्यक आहेत.

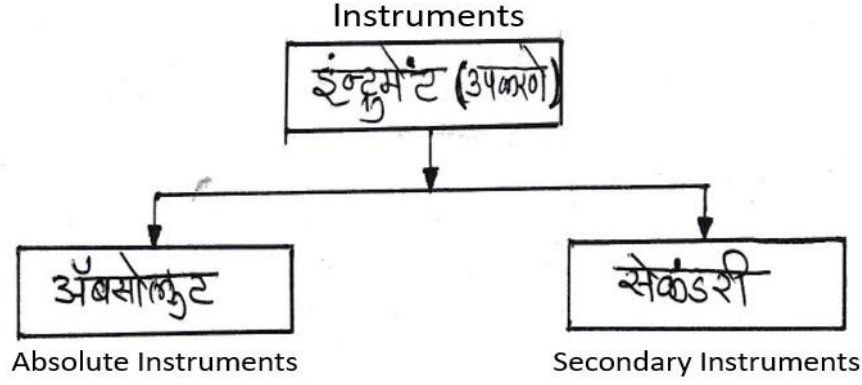
1.3.3 रँडम एरर (Random Error):

- 1) रँडम एरर (Random error) ही एरर आहे जी ग्राँस एरर (gross error) आणि सिस्टिमॅटिक एरर (systematic error) मोठ्या प्रमाणात झाल्यानंतर राहते.
- 2) या एरर (error) अज्ञात कारणांमुळे (unknown reasons) आहेत ज्यांचे निर्धारण होऊ शकत नाही. अशा एरर (error) खूप लहान आहेत आणि कमी गणितीय विश्लेषण (mathematical analysis) करतात.

1.4 साधनांचे वर्गीकरण (Classification of Instruments):

इन्स्ट्रुमेंट (Instruments):

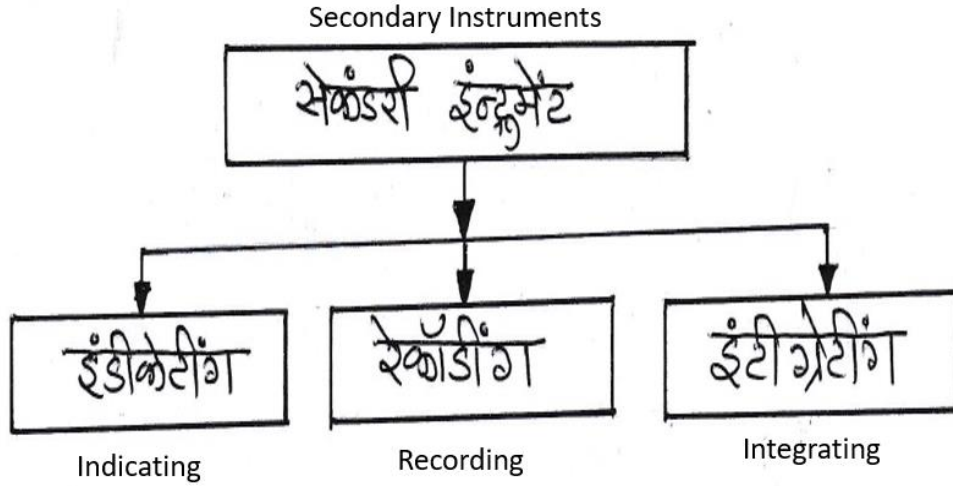
- 1) इन्स्ट्रुमेंट (instrument) हे असे उपकरण आहे ज्यामध्ये ते परिमाण किंवा मूल्य (value) निर्धारित करण्यासाठी वापरले जाते.
- 2) मेजरमेंटचे (measurement) प्रमाण व्होल्टेज (voltage), करंट (current), पॉवर (power) आणि एनर्जी (energy) इत्यादी असू शकते.
- 3) साधारणपणे इन्स्ट्रुमेंट (instrument) दोन श्रेणींमध्ये वर्गीकृत (classification) केले आहे.

**आकृती क्र.1.4.1 साधनांचे वर्गीकरण (Classification of Instruments)****1.4.1 ऑबसोल्यूट इन्स्ट्रुमेंट (Absolute Instruments):**

- 1) ऑबसोल्यूट इन्स्ट्रुमेंट्स (absolute instruments) त्यांच्या भौतिक (physical) स्थितीच्या आधारे परिणामाचे परीणाम मोजतात.
 - 2) हे खरोखर वापरले जाते, कारण दर वेळेस मेजरमेंटच्या (measurement) परिमाणांचे मूल्य (value) बदलते. म्हणून आपल्याला मेजरमेंटच्या (measurement) परिमाणाचे विश्लेषण करावे लागेल.
 - 3) या प्रकारची इन्स्ट्रुमेंट्स (instrument) प्रयोगशाळेच्या (laboratory) वापरासाठी योग्य आहेत.
- उदाहरण (Example): टॅजेंट गॅल्वनोमीटर (tangent galvanometer), करंट बॅलन्स मीटर (current balance meter)

1.4.2 सेकंडरी इन्स्ट्रुमेंट (Secondary Instruments):

- 1) हे इन्स्ट्रुमेंट थेट (direct) मोजल्या जाणारे प्रमाणाचे मूल्य (value) निर्धारित करते.
- 2) सामान्यतः हे इन्स्ट्रुमेंट्स (instrument) दुसऱ्या स्टॅंडर्ड सेकंडरी (standard secondary) इन्स्ट्रुमेंटशी तुलना (comparision) करून कॅलिब्रेट (calibrate) केली जातात जी आधीच दुसरे ऑबसोल्यूट (absolute) इन्स्ट्रुमेंटसह कॅलिब्रेट (calibrate) केली आहे.
- 3) सेकंडरी इन्स्ट्रुमेंटचे (secondary instruments) प्रकार (types) खालीलप्रमाणे आहेत:



आकृती क्र.1.4.2 सेकंडरी इंस्ट्रुमेंटचे प्रकार (Types of Secondary Instruments)

(a) इंडिकेटींग इंस्ट्रुमेंट (Indicating Instruments):

1) हे इंस्ट्रुमेंट (instruments) डायल (dial) आणि पॉइंटरचा (pointer) वापर करून मेजरमेंटचे मूल्य (measurement value) ठरवते. पॉइंटर इंडिकेशन (pointer indication) मेजरमेंटचे (measurement) परिमाण (magnitude) देते.

2) हे एक इंस्ट्रुमेंट (instrument) आहे जे विद्युत प्रमाणाची परिमाण (magnitude of an electrical quantity) दर्शवते जेव्हा ते मेजर (measure) जाते. ग्रॅज्युएटेड डायलवर (graduated dial) फिरणाऱ्या पॉइंटर (moving pointer) द्वारे संकेत (indication) दिले जातात.

उदाहरण (Example): अँमीटर (Ammeter), व्होल्टमीटर (Voltmeter) आणि वॉटमीटर (Wattmeter).

(b) रेकॉर्डिंग इंस्ट्रुमेंट (Recording Instrument):

1) या प्रकारचे इंस्ट्रुमेंट (instrument) सतत मोजल्या (measure) जाणाऱ्या प्रमाणाची तीव्रता (magnitude of quantity) विशिष्ट कालावधीत नोंदवते.

2) ही इंस्ट्रुमेंट्स (instrument) सतत ठराविक कालावधीत पाळल्या जाणाऱ्या विद्युत परिमाणाचे (electrical quantity) परिमाण नोंद (continuous record) ठेवतात.

उदाहरण (Example): X-Y रेकॉर्डर (recorder), ECG रेकॉर्डर (recorder).

(c) इंटीग्रेटींग इंस्ट्रुमेंट (Integrating Instruments):

या प्रकारचे इंस्ट्रुमेंट (instrument) विशिष्ट कालावधीत (specific period of time) मेजर (measure) केले जाणारे एकूण प्रमाण (total amount) देते. ही इंस्ट्रुमेंट (instrument) ठराविक कालावधीत वीज (electricity) किंवा इलेक्ट्रिकल एनर्जीचे (electrical energy) एकूण अमाऊंट (total amount) मेजर (measure) करतात.

उदाहरण (Example): एनर्जी मीटर (Energy Meter).

1.4.3 इलेक्ट्रोमेकॅनिकली इंडिकेटींग इंस्ट्रुमेंट (Electromechanically Indicating Instruments):

इलेक्ट्रोमेकॅनिकल इंडिकेटींग इंस्ट्रुमेंटच्या समाधानकारक ऑपरेशन (operation) साठी, तीन (three) आवश्यक टॉर्क (Torque) आहेत.

(a) डिफ्लेक्टिंग टॉर्क (Deflecting Torque)

(b) कंट्रोलिंग टॉर्क (Controlling Torque)

(c) डॅम्पिंग टॉर्क (Damping Torque)

1.4.4 अॅनालॉग इन्स्ट्रुमेंट (Analog Instrument):

- 1) अॅनालॉग इन्स्ट्रुमेंट (analog instrument) पॉइंटरच्या (pointer) स्वरूपात प्रमाणाची परिमाण (magnitude of quantity) दर्शवतात.
- 2) अशी इन्स्ट्रुमेंटचे रिडींग (reading) घ्यायला शिकले पाहिजे कारण स्केलवर (scale) काही विशिष्ट खुणा (certain marking) असतात.
- 3) ते सहसा संपूर्ण संख्यांमधील मूल्ये (whole number values) दर्शवतात, जरी एक किंवा दोन दशांश स्थानांपर्यंत (one or two decimal places) देखील रिडींग (reading) मिळू शकते.
- 4) दशांश (decimal) ठिकाणी घेतलेले रिडींग (reading) नेहमीच पूर्णपणे बरोबर असू शकत नाही, कारण काही ह्यूमन मिस्टेक्स (human error) नेहमी रिडींग (reading) मध्ये असतात.

1.4.5 डिजिटल इन्स्ट्रुमेंट (Digital Instrument):

- i) डिजिटल (digital) मेजरींग इन्स्ट्रुमेंट्स (Measuring Instruments) डिजिटल स्वरूपातील प्रमाणाची मूल्ये (value) दर्शवतात जी संख्यांमध्ये असतात, जी सहज वाचता येतात.
- ii) ही इन्स्ट्रुमेंट (instrument) वाचण्यासाठी (reading) कोणत्याही पूर्व प्रशिक्षणाची (prior training) आवश्यकता नाही कारण ते थेट संख्यात्मक स्वरूपात (directly in the numerical form) मूल्ये (value) दर्शवतात.
- iii) ते एक किंवा अधिक दशांश (one or more decimal places) ठिकाणी रिडींग (reading) देऊ शकतात.
- iv) ही इन्स्ट्रुमेंट (instrument) वाचण्यात (reading) कोणतीही ह्यूमन मिस्टेक्स (human mistake) होत नसल्यामुळे, ते अधिक अचूक (accurate) आहेत.

1.4.6 अॅनालॉग आणि डिजिटल इन्स्ट्रुमेंटमधील कम्पॅरिजन (Comparison between Analog & Digital instruments):

क्रमांक (Sr.No.)	विशेष (Particular)	अॅनालॉग इन्स्ट्रुमेंट (Analog Instrument)	डिजिटल इन्स्ट्रुमेंट (Digital Instrument)
1	कामाचे तत्व (Working Principle)	अॅनालॉग सिग्नल प्रदर्शित (Analog Signal Display)	डिजिटल सिग्नल प्रदर्शित (Digital Signal Display)
2	अचूकता (Accuracy)	कमी (Less)	अधिक (More)
3	रिजोल्यूशन (Resolution)	कमी (Less)	अधिक (More)
4	पॉवर ची आवश्यकता (Power required)	अधिक (more)	उपेक्षणीय (Negligible)
5	खर्च (Cost)	कमी (Less)	अधिक (More)
6	पोर्टेबिलिटी (Portability)	अत्यंत पोर्टेबल (Extremely Portable)	सहज पोर्टेबल नाही (Not Easily Portable)
7	निरीक्षण त्रुटी (Observational Error)	लक्षणीय त्रुटी (Considerable Error)	पूर्णपणे फ्री (Absolutely Free)
8	उदाहरण (Example)	पीएमएमसी उपकरणे, डीसी अँमीटर आणि व्होल्टमीटर, पोटेंशियोमीटर.	अँमीटर आणि व्होल्टमीटर, पोटेंशियोमीटर मायक्रोप्रोसेसर आधारित साधने

1.4.7 इतर विविध प्रकारची इन्स्ट्रुमेंट (Other Different Types of Instruments):**1. मेकॅनिकल इन्स्ट्रुमेंट (Mechanical Instrument):**

ते स्टॅटिक (static) परिस्थितीसाठी खूप विश्वासार्ह (reliable) आहेत. गैरसोय (disadvantage) म्हणजे ते डायनॅमिक (dynamic) आणि क्षणिक (transient) मेजरमेंटसाठी (measurement) वेगाने प्रतिसाद (rapid respond) देऊ शकत नाहीत.

2. इलेक्ट्रिकल इन्स्ट्रुमेंट (Electrical Instrument):

डिटेक्टरचे आउटपुट (Detector output) दर्शविणाऱ्या इलेक्ट्रिकल पद्धती (Electrical method) मेकॅनिकल पद्धतीपेक्षा (mechanical method) अधिक जलद (fast) असतात. इलेक्ट्रिकल सिस्टिम (electrical system) सामान्यतः एक इंडिकेटिंग इन्स्ट्रुमेंट (indicating instrument) म्हणून मेकॅनिकल (mechanical) मीटरच्या हालचालीवर अवलंबून असते.

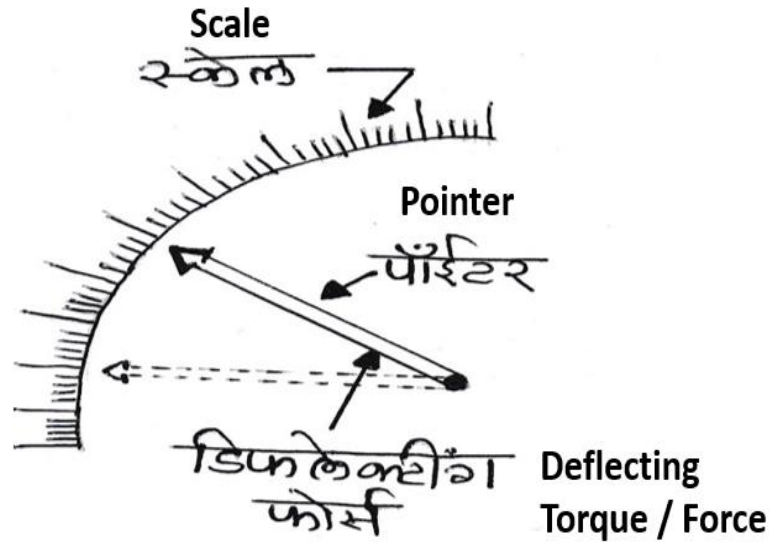
3. इलेक्ट्रॉनिक इन्स्ट्रुमेंट (Electronic Instrument):

या इन्स्ट्रुमेंटला (instrument) अतिशय जलद प्रतिसाद (very fast response) आहे. उदाहरणार्थ (Example) कॅथोड रे ऑसिलोस्कोप (Cathod Ray Oscilloscope) डायनॅमिक (dynamic) आणि क्षणिक बदलांचे (transient changes) पालन करण्यास सक्षम आहे, काही नॅनोसेकंदांचा (nano-seconds) क्रम (10^{-9} सेकंद).

1.5 डिफ्लेक्टिंग, कंट्रोलिंग व डॅम्पिंग टॉर्क (Deflecting, controlling and damping torque):

मेजरींग इन्स्ट्रुमेंटच्या (Measuring instrument) समाधानकारक ऑपरेशन (operation) साठी, तीन (three) आवश्यक टॉर्क (torque) खालीलप्रमाणे:

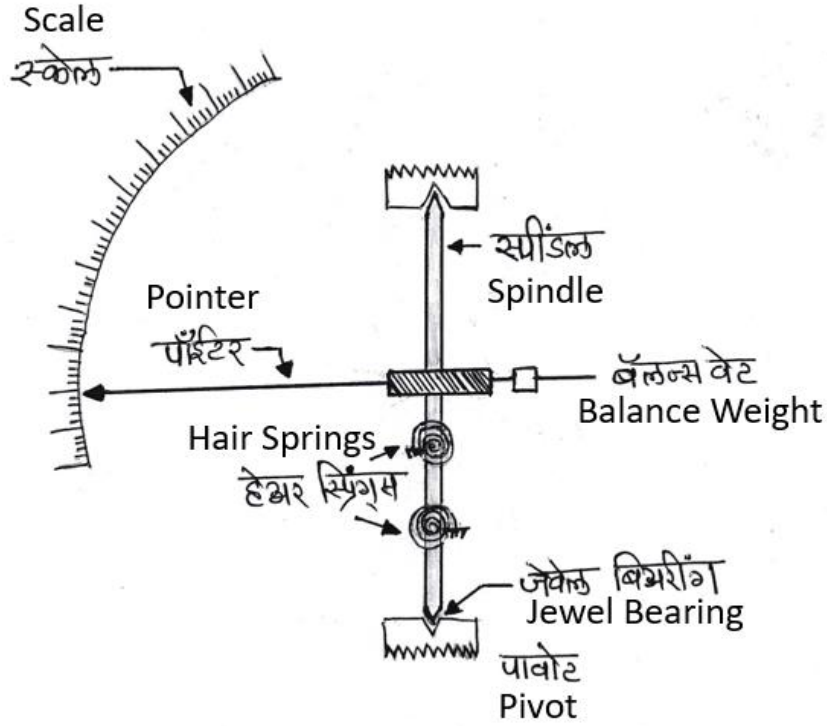
1.5.1 डिफ्लेक्टिंग टॉर्क (Deflecting Torque):



आकृती क्र.1.5.1 डिफ्लेक्टिंग टॉर्क (Deflecting Torque)

- जेव्हा इन्स्ट्रुमेंटला (instrument) कोणतेही इनपुट (input) सिग्नल (signal) नसतात तेव्हा पॉइंटर (pointer) त्याच्या शून्य (zero) स्थानावर (Position) असेल.
- पॉइंटरला (pointer) त्याच्या शून्य (zero) स्थानावरून डिफ्लेक्ट (deflect) करण्यासाठी, एक टॉर्क (torque) आवश्यक आहे ज्याला डिफ्लेक्टिंग टॉर्क (deflecting torque) म्हणून ओळखले जाते.
- डिफ्लेक्टिंग टॉर्क (deflecting torque) निर्माण करणारी सिस्टिम (system) डिफ्लेक्टिंग सिस्टिम (deflecting system) म्हणून ओळखली जाते. सर्वसाधारणपणे डिफ्लेक्टिंग सिस्टिम इलेक्ट्रिकल सिग्नलला (electrical signal) मेकॅनिकल टॉर्कमध्ये (mechanical torque) रूपांतरित (convert) करते.

1.5.2 कंट्रोलिंग टॉर्क (Controlling Torque):



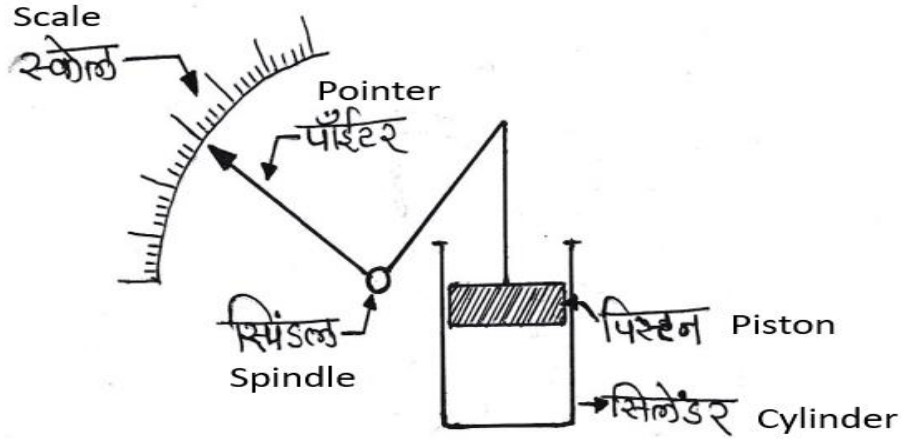
आकृती क्र.1.5.2 कंट्रोलिंग टॉर्क (Controlling Torque)

- 1) पॉइंटर (pointer) द्वारे दर्शविलेले मेजरमेंट (measurement) स्थिर (Stable) करण्यासाठी एक टॉर्क (Torque) आवश्यक आहे जे डिफ्लेक्टिंग (deflecting) करणाऱ्या टॉर्कच्या विरुद्ध (opposite) दिशेने (direction) कार्य (work) करेल.
- 2) हे टॉर्क कंट्रोलिंग टॉर्क (controlling Torque) म्हणून ओळखली जाते. हे टॉर्क (Torque) निर्माण करणारी सिस्टिम कंट्रोलिंग सिस्टिम (controlling system) म्हणून ओळखली जाते.
- 3) जेव्हा इन्स्ट्रुमेंटद्वारे (insrument) मेजर (measure) केले जाणारे एक्सटेर्नल सिग्नल (external signal) काढले जातात, तेव्हा पॉइंटर (pointer) शून्य (zero) स्थितीकडे परत (return back) येतो.
- 4) हे शक्यतो कंट्रोलिंग टॉर्कमुळे (controlling torque) आहे आणि पॉइंटर (pointer) स्थिर मूल्य (steady value) दर्शवेल जेव्हा डिफ्लेक्टिंग टॉर्क (deflecting torque) कंट्रोलिंग टॉर्कच्या (controlling torque) बरोबरीचे (equal) असेल.

1.5.3 डॅम्पिंग टॉर्क (Damping Torque):

- 1) सिस्टीमद्वारे तयार होणारे डिफ्लेक्टिंग टॉर्क (deflecting torque) आणि कंट्रोलिंग टॉर्क (controlling torque) इलेक्ट्रो-मेकॅनिकल सिस्टीम (electro-mechanical system) असतात.
- 2) या सिस्टिम (system) द्वारे तयार केलेल्या जडत्वामुळे (inertia), पॉइंटर (pointer) त्याच्या अंतिम स्थिर स्थितीबद्दल स्तिर (final steady state) होण्यापूर्वी डॅम्पिंग (damping) करतो.
- 3) मेजरमेंट (measurement) घेण्यासाठी जास्त वेळ लागतो.
- 4) हा टॉर्क (Torque) वेगवेगळ्या सिस्टिम (system) द्वारे तयार केला जातो.

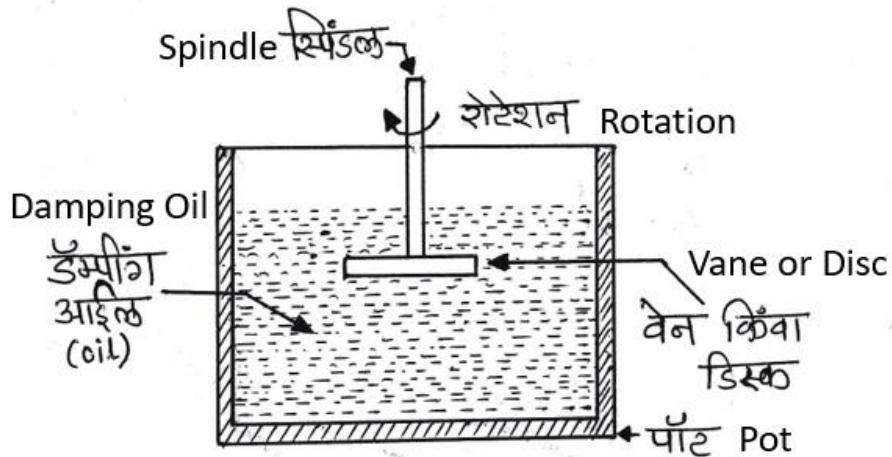
(i) एअर फ्रिक्शन डॅम्पिंग (Air Friction Damping):



आकृती क्र.1.5.3 एअर फ्रिक्शन डॅम्पिंग (Air Friction Damping)

- पिस्टन (piston) कनेक्टिंग (connecting) रॉडद्वारे स्पिंडलशी (spindle) मेकॅनिकली (mechanically) जोडलेला असतो.
- पॉइंटर (pointer) एका कॅलिब्रेटेड डायलवर (calibrated dial) स्पिंडलच्या (spindle) हालचालीवर (movement) स्थिर (steady) असतो.
- जेव्हा पॉइंटर (pointer) क्लॉक वाईज (clock wise) दिशेने (direction) फिरतो तेव्हा पिस्टन (piston) आत जातो आणि सिलिंडर (cylinder) संकुचित (compressed) होते.
- हवा (air) पिस्टनला वरच्या दिशेने ढकलते आणि पॉइंटर अँटी क्लॉक वाईज (anticlock wise) दिशेने सरकतो.
- जर पॉइंटर (pointer) अँटी क्लॉक वाईज (anticlock wise) दिशेने (direction) फिरत असेल तर पिस्टन दूर जाईल आणि सिलिंडरमधील हवा दाब (pressure) कमी होते.
- एक्सटेर्नल (external) दाब (pressure) इंटर्नल (internal) दाबापेक्षा जास्त (more) असतो. त्यामुळे पिस्टन खाली हलतो. पॉइंटर क्लॉक वाईज (clock wise) फिरतो.

(ii) फ्लुइड फ्रिक्शन डॅम्पिंग (Fluid Friction Damping):

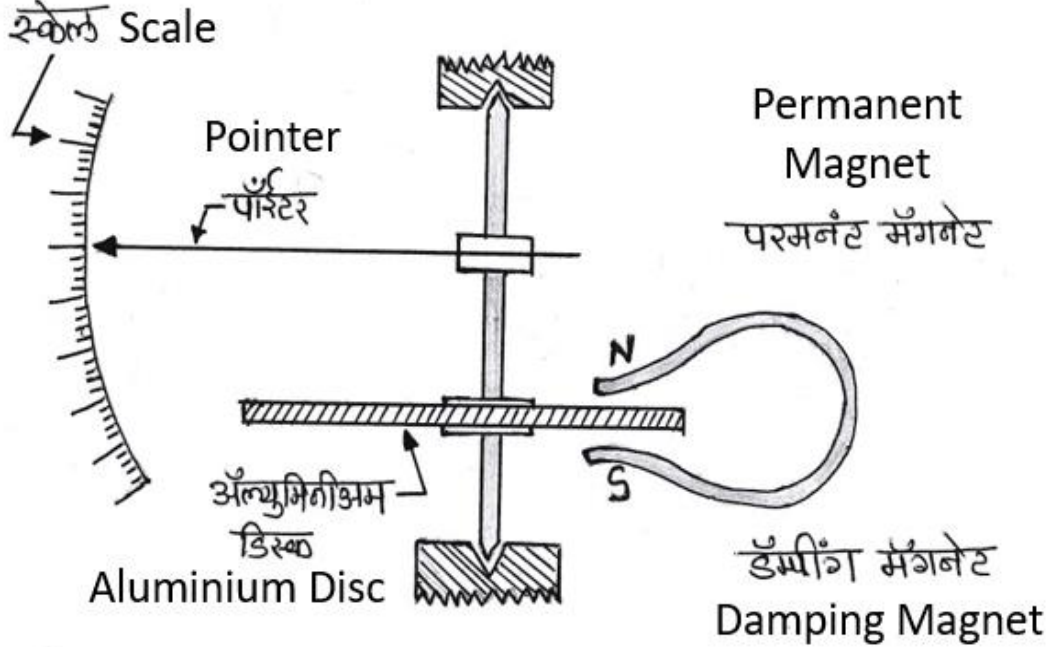


आकृती क्र.1.5.4 फ्लुइड फ्रिक्शन डॅम्पिंग (Fluid Friction Damping)

- डॅम्पिंग (damping) करण्याच्या या पद्धती (method) मध्ये, मूव्हिंग सिस्टिम (Moving system) च्या स्पिंडलला (spindle) एक हलकी डिस्क (light disc) जोडली जाते आणि एका भांड्यात (Pot) डॅम्पिंग ऑईलमध्ये (damping oil) पूर्णपणे बुडविली जाते.

- b) डिस्कच्या गतीला (motion of disc) नेहमी डिस्कवरील फ्रिक्शन (friction) ड्रॅगने विरोध (oppose) केला जातो.
- c) फ्लुइड फ्रिक्शन डॅम्पिंग (fluid friction damping) केवळ व्हर्टिकल पोजिशन (vertical position) वापरल्या जाणाऱ्या इन्स्ट्रुमेंटमध्येच (instrument) वापरले जाऊ शकते.

(iii) एडी करंट डॅम्पिंग (Eddy Current Damping):



आकृती क्र.1.5.5 एडी करंट डॅम्पिंग (Eddy Current Damping)

- a) अल्युमिनियम (aluminium) वर्तुळाकार (Circular) डिस्क (disc) स्पिंडलवर (spindle) निश्चित केली जाते. ही डिस्क नेहमी चुंबकाने (magnets) तयार केलेल्या चुंबकीय क्षेत्रामध्ये (magnetic field) फिरेल अशी ठेवलेली असते.
- b) जेव्हा डिस्क (disc) चुंबकीय क्षेत्र (magnetic field) ओलांडते तेव्हा ते डॅम्पिंग चुंबकाने (damping magnet) तयार होणारे चुंबकीय प्रवाह (Magnetic Lines) कापते (cuts). फॅरेडेज लॉ (faradays law) प्रमाणे परिपत्रक डिस्कमध्ये emf प्रेरित होते.
- c) डिस्कमध्ये एडी करंट (eddy current) स्थापित केले जातात कारण त्यात अनेक बंद मार्ग आहेत. लेन्झच्या लॉ (lenz's law) नुसार, करंट (current) वाहून नेणाऱ्या डिस्कने ऑस्किलेटींग बलाच्या (oscillating force) विरुद्ध दिशेने एक बल निर्माण केले.
- d) गोलाकारावरील चुंबकाचे (magnets) प्रोजेक्शन बदल (projection change) करून डॅम्पिंग टॉर्क (damping Torque) बदलू शकते.

1.6 कॅलिब्रेशन: आवश्यकता, महत्त्व व सामान्य प्रक्रिया (Calibration: Need, significance and general procedure):

1.6.1 कॅलिब्रेशन (Calibration):

- 1) कॅलिब्रेशन (calibration) हे इन्स्ट्रुमेंटचे (instrument) अनोन मेजरमेंट (unknown measurement) आणि स्टॅंडर्ड मेजरमेंट (standard measurement) मधील तुलना (comparision) आहे.
- 2) प्रमाणित इन्स्ट्रुमेंट्सची अचूकता तपासल्या जात असलेल्या मेजरींग इन्स्ट्रुमेंट्स (measuring instrument) अचूकतेच्या (accuracy) दहा पट. तथापि, 3:1 चे अचूकता प्रमाण बहुतेक स्टॅंडर्ड ऑर्गनायजेशनला (standard organisation) मान्य आहे.
- 3) मेजरींग इन्स्ट्रुमेंट (measuring instrument) कॅलिब्रेशनची (calibration) दोन उद्दिष्टे (objectives) आहेत.
 - i) हे इन्स्ट्रुमेंटची (instruments) अचूकता (accuracy) चेक करते.

- ii) हे मेजरमेंटची (measurement) शोधक्षमता (traceability) निर्धारित करते.
- 4) व्यवहारात (in actual practice), कॅलिब्रेशनच्या (calibration) बाहेर असल्यास डिवाइसची दुरुस्ती (device repair) देखील कॅलिब्रेशनमध्ये (calibration) समाविष्ट असते.
- 5) कॅलिब्रेशन (calibration) तज्ञाद्वारे (expert) एक अहवाल प्रदान केला जातो, जो मेजरमेंटमधील (measurement) एरर (error) कॅलिब्रेशनच्या आधी (calibration before) आणि नंतर (after) दर्शवितो.

1.6.2 कॅलिब्रेशनची आवश्यकता (Need of Calibration):

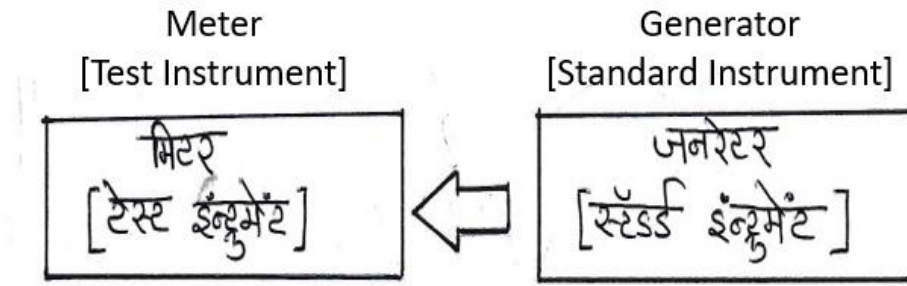
- 1) हे सामान्यतः सामान्य झीज (Normal wear & tear) झाल्यामुळे होते. तथापि, अचूकतेमध्ये (accuracy) बदल देखील होऊ शकतात.
- 2) सर्व मेजरींग इन्स्ट्रुमेंटची (Measuring Instruments) अचूकता (Accuracy) कालांतराने कमी होत जाते. इलेक्ट्रिकल किंवा मेकॅनिकल शॉक (Electrical or Mechanical shock) किंवा धोकादायक उत्पादन वातावरणामुळे (उदा. ऑइल (oil), मेटल चिप्स (metal chips) इ.).
- 3) इन्स्ट्रुमेंटचा (instrument) प्रकार आणि ते ज्या वातावरणात वापरले जात आहे त्यावर अवलंबून आहे.
- 4) कॅलिब्रेशनमुळे (calibration) मेजरींग इन्स्ट्रुमेंटची (Measuring Instruments) अचूकता (Accuracy) सुधारते.

1.6.3 कॅलिब्रेशनची प्रक्रिया (Procedure of Calibration):

कॅलिब्रेशनच्या दोन मेथड (Methods) आहेत.

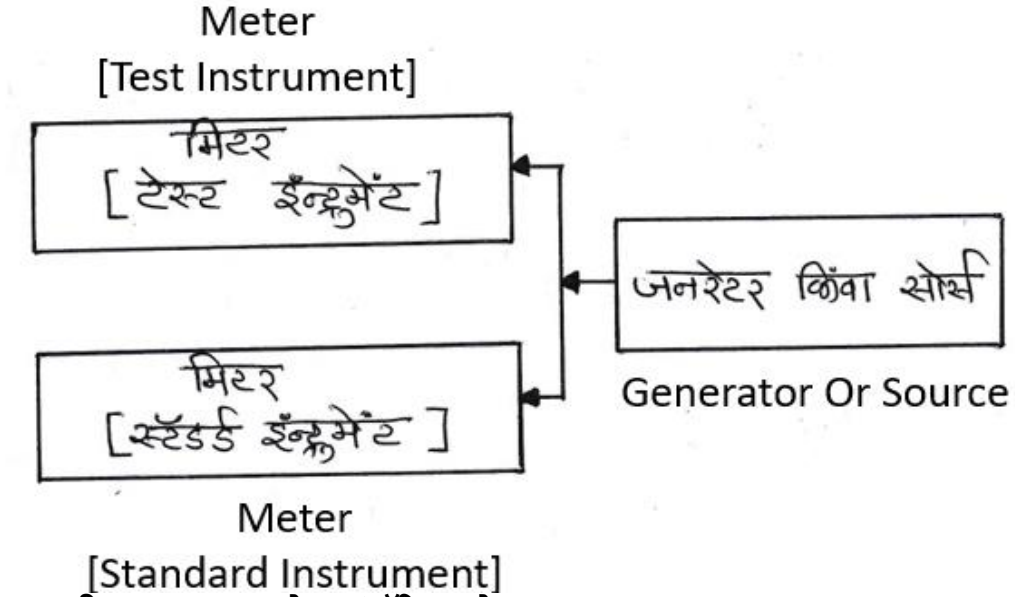
- 1) डायरेक्ट कंपॅरिसन मेथड (Direct Comparison Method)
- 2) इन्डायरेक्ट कंपॅरिसन मेथड (Indirect Comparison Method)

1) डायरेक्ट कंपॅरिसन मेथड (Direct Comparison Method):



आकृती क्र.1.6.1 डायरेक्ट कंपॅरिसन मेथड (Direct Comparison Method)

- i) याचा वापर जनरेटर (generator), ट्रान्सड्यूसर (transducer), मीटर कॅलिब्रेट (meter calibrate) करण्यासाठी केला जाऊ शकतो. जेव्हा मीटर कॅलिब्रेट (meter calibrate) केले जाते, तेव्हा जनरेटरचा वापर स्टॅंडर्ड इन्स्ट्रुमेंट (standard Instruments) म्हणून केला जातो. मीटरचा वापर टेस्ट मीटर (Test Meter) म्हणून केला जातो.
- ii) स्टॅंडर्ड (standard) मूल्यापासून मीटरचे विचलन (deviation) स्वीकार्य कामगिरी मर्यादित तुलना (comparision) केली जाते. जर हे विचलन (deviation) मर्यादा ओलांडले तर मीटर सहनशक्तीच्या (allowable performance limit) बाहेर आहे.

2) इन्डायरेक्ट कंपॅरिसन मेथड (Indirect Comparison Method):**आकृती क्र.1.6.2 इन्डायरेक्ट कंपॅरिसन मेथड (Indirect Comparison Method)**

- i) इन्डायरेक्ट कंपॅरिसन मेथड (indirect comparison method) यात समान प्रकारांची तुलना (similar type of comparison) समाविष्ट आहे.
- ii) जर मीटर या पद्धतीने कॅलिब्रेट (calibrate) केले असेल, तर तेच इनपुट (input) वर लागू केले जाईल.

1.6.4 मेजरींग इंस्ट्रुमेंट्स च्या कॅलिब्रेशनचे उद्दिष्ट (Purpose of Calibration of Measuring Instruments):

- 1) कॅलिब्रेशनचा उद्देश (purpose of calibration) साधनाचे रीडिंग (instrument reading) सुसंगत (consistent) असल्याची खात्री (ensure) करणे हा आहे.
- 2) इंस्ट्रुमेंटची (instruments) अचूकता (Accuracy) निश्चित करण्यासाठी हे देखील महत्वाचे (important) आहे.
- 3) मेजरींग इंस्ट्रुमेंट्स (measuring instrument) ची अचूकता (accuracy) आणि अचूकता मूल्यांकन (Accurate value) आणि संमोजित करण्यासाठी कॅलिब्रेशन (calibration) आवश्यक आहे.
- 4) इंस्ट्रुमेंट कॅलिब्रेशन (instrument calibration) हे इंस्ट्रुमेंटच्या रीडिंगमधील (instruments reading) त्रुटी (Error) दूर करण्यासाठी किंवा कमी करण्यासाठी (minimize) केले जाते.
- 5) चाचणीनंतर (after test) कॅलिब्रेशनसाठी (calibration) इंस्ट्रुमेंट पाठवा वापरकर्त्याला प्राप्त केलेला डेटा (data) विश्वासार्ह (reliable) आणि बरोबर (correct) आहे की नाही (not corrected) हे ठरवण्यास मदत होते. जर इंस्ट्रुमेंट बऱ्याच काळासाठी निष्क्रिय (ideal) ठेवले तर, इंस्ट्रुमेंटची परिस्थिती बदलेल (instrument condition change), अशा प्रकारे कॅलिब्रेशन (calibration) आवश्यक आहे.
- 6) प्रत्येक इंस्ट्रुमेंट योग्यरित्या आणि सुरक्षितपणे (safely) कार्य करू शकते याची खात्री करण्यासाठी वेळोवेळी कॅलिब्रेट (calibrate) करणे आवश्यक आहे.

1.7 परमनंट मॅग्नेट मूव्हिंग कॉइल (पी.एम.एम.सी.) आणि परमनंट मॅग्नेट मूव्हिंग आयर्न (PMMI) मीटर ची रचना आणि कामकाजाचे सिद्धांत.

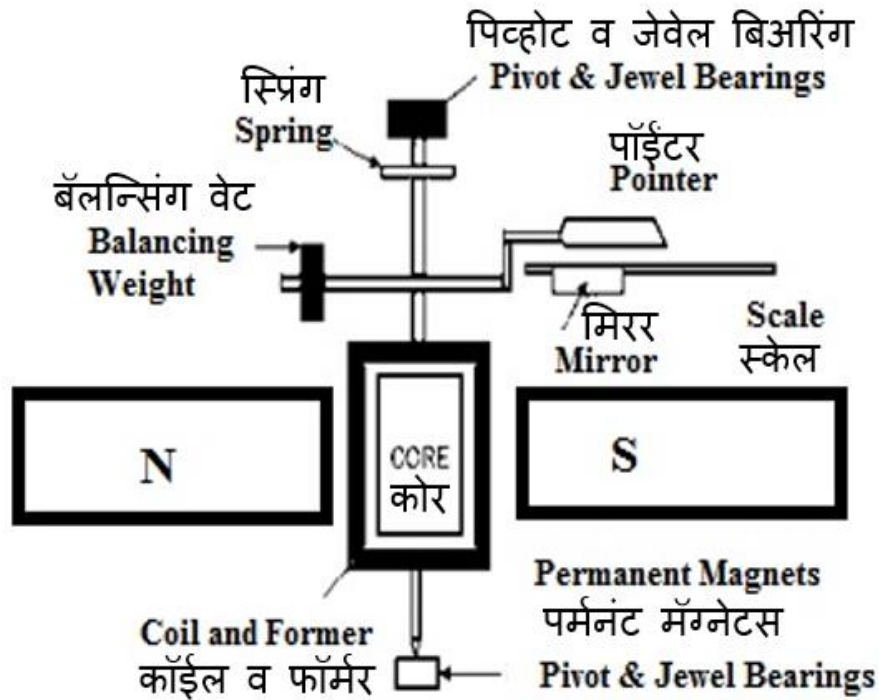
(Construction and working principle of Permanent magnet moving coil (PMMC) and Permanent magnet moving iron (पी.एम.एम.आय.) meter):

1.7.1 परमनंट मॅग्नेट मूव्हिंग कॉइल (पी.एम.एम.सी.) इंस्ट्रुमेंट्स (Permanent magnet moving coil (PMMC) Instruments):

पी.एम.एम.सी. मध्ये कॉइल (Coil) चुंबकीय क्षेत्रामध्ये (Magnetic Field) फिरत असताना, कॉइलच्या आधीच्या किंवा कोअरवर ज्या कॉइलवर आहे किंवा कॉइलच्याच सर्किटमध्ये एडी करंट (Eddy Current) सेट होतो ज्यामुळे कॉइलच्या हालचालीला विरोध (Opposition) होतो ज्यामुळे पॉइंटरचा (Pointer) वेग कमी होतो. आणि नंतर खूप कमी ऑस्विलेशनसह (Oscillations) पटकन आराम (Rest Quickly) करतो.

1) पी.एम.एम.सी. इन्स्ट्रुमेंटची रचना (PMMC Instrument Construction):

- अलिनिको (Alnico) सारख्या मॅग्नेटिक मिश्रधातू (Magnetic Alloys) बनलेल्या U आकाराच्या पर्मनंट मॅग्नेटच्या (Permanent Magnet) पोलसच्या (Poles) दरम्यान असलेल्या अॅल्युमिनियमच्या (Aluminium) स्पिंडलवर पातळ वायरची कॉइल बसवली जाते.
- कोईल (Coil) रत्नजडित बेअरिंगवर (Jeweled Bearing) फिरवली जाते आणि अशा प्रकारे कॉइल फिरण्यास मोकळी असते.
- इलेक्ट्रिक करंट (Electric Current) स्पायरल स्प्रिंग्सद्वारे (Spiral Spring) कॉइलला दिले जाते जे दोन संख्येने असतात.



आकृती क्र.1.7.1 पी.एम.एम.सी. इन्स्ट्रुमेंटची रचना (PMMC Instrument Construction)

- ज्या कॉइलमध्ये इलेक्ट्रिक करंट असतो, ज्याचे मेजरमेंट (Measurement) करायचे असते, ती पर्मनंट मॅग्नेटने (Permanent Magnet) निर्माण केलेल्या मजबूत मॅग्नेटिक फील्ड (Strong Magnetic Field) फिरते आणि स्पिंडलला पॉइंटर जोडलेले असते जे मेजर केलेले मूल्य (Value) दर्शवते.

1) पी.एम.एम.सी. इन्स्ट्रुमेंटचे कार्य (Working Principle of PMMC):

- जेव्हा कॉइलमधून इलेक्ट्रिक करंट (Electric Current) वाहतो तेव्हा ते एक मॅग्नेटिक फील्ड (Magnetic Field) निर्माण करते जे अॅमीटरच्या (Ammeter) बाबतीत इलेक्ट्रिक करंटच्या प्रमाणात (Proportional to the current) असते. डिफ्लेक्टिंग टॉर्क (Deflecting Torque) कॉइलमधील इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक ऍक्शन (electromagnetic action) आणि मॅग्नेटिक फील्डद्वारे (magnetic field) तयार केला जातो. जेव्हा टॉर्क्स संतुलित (Balanced) होतात तेव्हा हलणारी कॉइल थांबते आणि त्याचे कोनीय डिफ्लेक्शन (angular deflection) हे एका निश्चित संदर्भाविरुद्ध (against a fixed reference) मोजले जाणारे इलेक्ट्रिक करंटचे प्रमाण दर्शवते, ज्याला स्केल (scale) म्हणतात.

- ii) जर परमनंट मॅग्नेटिक फील्ड (permanent magnet field) एकसमान (uniform) आणि स्प्रिंग रेखीय (spring linear) असेल, तर पॉइंटरचे डिफ्लेक्शन (pointer deflection) देखील रेखीय (linear) असेल. कंट्रोलिंग टॉर्क (Controlling Torque) दोन फॉस्फरस कांस्य प्लॅट कॉइल (two phosphorous bronze flat coiled) केलेले हेलिकल स्प्रिंग्सद्वारे (helical springs) प्रदान (provide) केले जाते. हे स्प्रिंग्स कॉइल कंडक्टरला (coil conductors) लवचिक (flexible) कनेक्शन म्हणून काम करतात.
- iii) अॅल्युमिनियम कॉइलमध्ये एडी करंट (Eddy Current) सेट केल्यामुळे डम्पिंग (Damping) होते जे कॉइलच्या ऑस्किलेशनसाठी प्रतिबंध करते (prevents the oscillation of the coil).

2) पी.एम.एम.सी. इन्स्ट्रुमेंटचे उपयोग (Applications / Uses of PMMC):

पी.एम.एम.आय. चे विविध उपयोग आहेत.

हे असे वापरले जाऊ शकते: अँमीटर, व्होल्टमीटर, ओहम मीटर, गॅल्व्हानोमीटर.

3) पी.एम.एम.सी. इन्स्ट्रुमेंटचे फायदे (Advantages of PMMC):

- i) पी.एम.एम.सी. कमी उर्जा (Power) वापरते आणि पी.एम.एम.सी. अचूक (Accurate) आहे.
- ii) यात एकसमान विभाजित स्केल (uniformly divided scale) आहे आणि तो 270 अंशांचा (Degree) चाप (Arc) कव्हर करू शकतो.
- iii) पी.एम.एम.सी. मध्ये उच्च (high) टॉर्क (torque) ते वजन (weight) गुणोत्तर (ratio) आहे.
- iv) हे योग्य रेसिस्टन्ससह (resistance) Ammeter किंवा Voltmeter म्हणून सुधारले जाऊ शकते.
- v) यात कार्यक्षम डम्पिंग (efficient damping) वैशिष्ट्ये आहेत आणि अनियंत्रित मॅग्नेटिक फील्डचा (stray magnetic field) परिणाम होत नाही.
- vi) हिस्टेरिसिसमुळे (Hysteresis) कोणतेही नुकसान (Loss) होत नाही.

4) पी.एम.एम.सी. इन्स्ट्रुमेंटचे तोटे (Disadvantages of PMMC):

- i) पी.एम.एम.सी. इन्स्ट्रुमेंट (PMMC Instrument) फक्त डी.सी. पुरवठ्यावर (Supply) वापरले जाऊ शकते कारण इलेक्ट्रिक करंट उलटल्याने (reversal of current) कॉइलवर टॉर्कचा उलटा परिणाम होतो.
- ii) हे खूप नाजूक आहे आणि कधीकधी रेक्टिफायरसह (rectifier) एसी सर्किट (AC circuit) वापरते.
- iii) परमनंट मॅग्नेट मूव्हिंग आयर्न इन्स्ट्रुमेंटच्या (पी.एम.एम.आय.) तुलनेत ते महाग (costly) आहे.
- iv) परमनंट मॅग्नेट चे चुंबकत्व (magnetism of permanent magnet) नष्ट झाल्यामुळे ते एरर (error) दर्शवू शकते.

1.7.2 परमनंट मॅग्नेट मूव्हिंग आयर्न इन्स्ट्रुमेंट्स (पी.एम.एम.आय.) (Permanent Magnet Moving Iron (PMMI) Instruments):

करंट (Current) किंवा व्होल्टेजचा (Voltage) प्रवाह मेजरमेंटसाठी ज्या इन्स्ट्रुमेंटमध्ये (Instrument) मूव्हिंग आयर्न (Moving Iron) वापरले जाते ते मूव्हिंग आयर्न इन्स्ट्रुमेंट (Moving Iron Instrument) म्हणून ओळखले जाते. चुंबकाजवळील लोखंडी जागा (Iron Place near the magnet) त्याकडे आकर्षित होते या तत्त्वावर (Principle) ते कार्य करते. आकर्षणाची शक्ती (Force of Attraction) मॅग्नेटिक फील्डच्या (Magnetic Field) सामर्थ्यावर (Strength) अवलंबून असते. मॅग्नेटिक फील्ड इलेक्ट्रोमॅग्नेटद्वारे (electromagnet) प्रेरित (Induce) होते ज्याची ताकद (Strength) इलेक्ट्रिक करंटच्या परिमाणावर (Magnitude of Current) अवलंबून असते.

- 1) मूव्हिंग आयर्न इन्स्ट्रुमेंटचे रचना (Construction of PMMI): सॉफ्ट आयर्न प्लेट किंवा वेन (Soft Iron Plate or Vane) हे इन्स्ट्रुमेंटचे मूव्हिंग एलिमेंट (moving element) म्हणून वापरले जाते. वेन असा ठेवला आहे की तो स्थिर कॉइलच्या (stationary coil) मॅग्नेटिक फील्डमध्ये मुक्तपणे फिरू शकतो. कंडक्टर स्थिर कॉइल बनवतो आणि ते व्होल्टेज (Voltage) किंवा इलेक्ट्रिक करंटने (Current) उत्तेजित होते ज्याचे परिमाण मेजरमेंटसाठी वापरले जाते. मूव्हिंग आयर्न इन्स्ट्रुमेंट (moving iron instrument) इलेक्ट्रोमॅग्नेट (electromagnet) म्हणून स्थिर कॉइल (stationary coil) वापरते. इलेक्ट्रोमॅग्नेट

(electromagnet) हा तात्पुरता मॅग्नेट (temporary magnet) आहे ज्याच्या मॅग्नेटिक फील्डची शक्ती (magnetic field strength) त्यामधून जात असलेल्या इलेक्ट्रिक करंटच्या तीव्रतेने (Magnitude) वाढते किंवा कमी होते (increases or decreases).

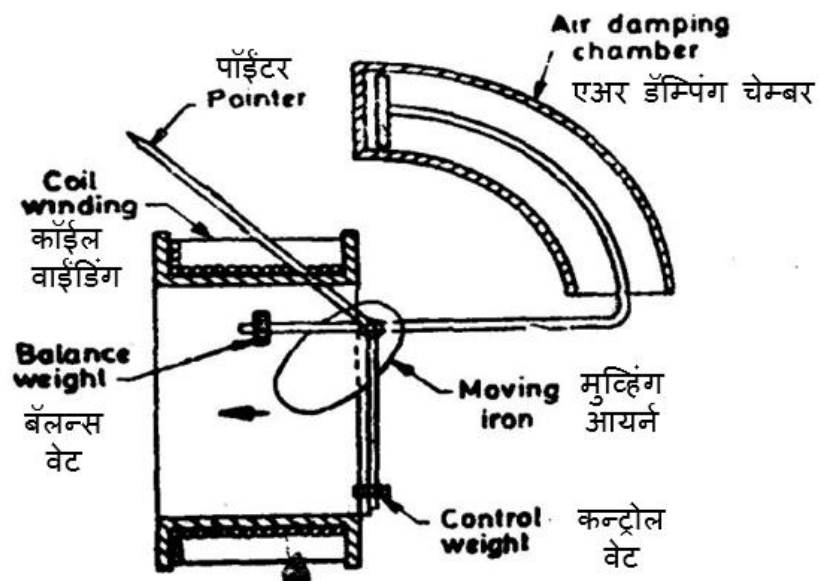
2) मूव्हिंग आयर्न इन्स्ट्रुमेंटचे कार्य (Working Principle of PMMI): मूव्हिंग आयर्न इन्स्ट्रुमेंट (moving iron instruments) कॉपर (Copper) किंवा अॅल्युमिनियम (Aluminum) वायरची स्थिर कॉइल (stationary coil) वापरतात जी इलेक्ट्रोमॅग्नेट (electromagnet) म्हणून काम करतात जेव्हा इलेक्ट्रिक करंट त्यातून जातो. इलेक्ट्रोमॅग्नेटद्वारे प्रेरित मॅग्नेटिक फील्डची ताकद (magnetic field strength) ही त्यामधून जाणाऱ्या इलेक्ट्रिक करंटच्या थेट प्रमाणात (Proportional) असते. कॉइलमधून जाणाऱ्या आयर्न प्लेट्स (Plates) किंवा वैनमुळे (Vanes) स्थिर कॉइलचे इंडक्टन्स (Inductance) वाढते (इंडक्टन्स हा कंडक्टरचा (Inductor) गुणधर्म (Property) असतो ज्यामुळे वेगवेगळे इलेक्ट्रिक करंट (varying current) त्यामधून जातो तेव्हा त्यांची इलेक्ट्रोमोटिव्ह शक्ती (Electromotive Force) वाढते). इलेक्ट्रोमॅग्नेट आयर्न वैनला आकर्षित करतो. वैन कॉइलमधून जाणारा मिनिमम रिलक्टन्स पाथ (minimum reluctance path) व्यापण्याचा प्रयत्न करतो (रिलक्टन्स (reluctance) हा चुंबकाचा गुणधर्म (Property of Magnet) आहे जो इलेक्ट्रिक करंटच्या प्रवाहाला विरोध करतो). वैन कॉइलमधून जात असताना इलेक्ट्रोमॅग्नेटमुळे होणाऱ्या प्रतिकारशक्तीचा (force of repulsion) अनुभव येतो. प्रतिकर्षण शक्ती (force of repulsion) कॉइल इंडक्टन्सची ताकद (Strength) वाढवते. असे घडते कारण इंडक्टन्स (inductance) आणि रिलक्टन्स (reluctances) एकमेकांच्या व्यस्त प्रमाणात (inversely proportional) असतात.

3) मूव्हिंग आयर्न उपकरणांचे वर्गीकरण (Classification of the Moving Iron Instruments): आकर्षण (Attraction) आणि प्रतिकर्षण (Repulsion) हे मूव्हिंग आयर्न इन्स्ट्रुमेंटचे (Moving Iron Instrument) प्रकार आहेत. त्यांचे तपशीलवार स्पष्टीकरण (Detailed Explanation) खाली दर्शविले आहे.

i) अट्रॅक्शन (Attraction) टाईप इन्स्ट्रुमेंट्स:

ज्या इन्स्ट्रुमेंटमध्ये (Instrument) आयर्न प्लेट्स (Iron Plate) कमकुवत क्षेत्रातून (Weaker Field) मजबूत क्षेत्राकडे (Stronger Field) आकर्षित (Attract) होते अशा प्रकारच्या इन्स्ट्रुमेंटला आकर्षण प्रकार इन्स्ट्रुमेंट (Attraction Type Instrument) म्हणून ओळखले जाते.

1) अट्रॅक्शन टाईप इन्स्ट्रुमेंटचे रचना (Construction of Attraction type instrument):



आकृती क्र.1.7.2 अट्रॅक्शन टाईप इन्स्ट्रुमेंटचे रचना (Construction of Attraction type instrument)

अॅट्रॅक्शन टाइप इन्स्ट्रुमेंटची स्थिर कॉइल सपाट (Flat) असते आणि त्याला अरुंद ओपनिंग (Narrow Opening) असते. मूव्हिंग एलिमेंट (Moving Element) म्हणजे आयर्न कोरची फ्लॅट डिस्क (Flat Disc of Iron Core). स्थिर (Stationary) कॉइलमधून इलेक्ट्रिक करंट (Current) मॅग्नेटिक फील्ड (Magnetic Field) तयार करतो जे आयर्न कॉइलला (Iron Coil) आकर्षित करते.

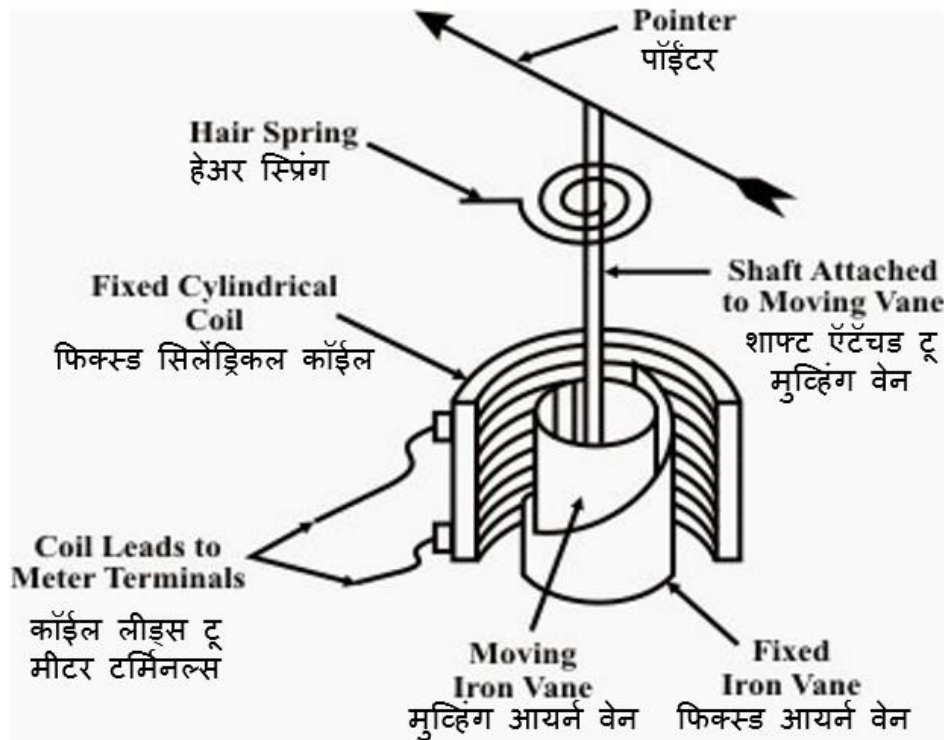
आयर्न वेन (Iron Vane) कमी मॅग्नेटिक फील्डपासून (From low magnetic field) उच्च मॅग्नेटिक फील्डकडे (to high magnetic field) डिफ्लेक्ट (Deflect) होतो आणि डिफ्लेक्शन ताकद (strength of the deflection) त्यामधून वाहणाऱ्या इलेक्ट्रिक करंटच्या (Current) तीव्रतेच्या ((Magnitude) थेट प्रमाणात (directly proportional) असते. थोडक्यात, आपण असे म्हणू शकतो की आयर्न कॉइल (iron coil) आतकडे आकर्षित (attracts towards in) होते.

अॅट्रॅक्शन टाइप इन्स्ट्रुमेंट (attraction type instruments) स्प्रिंग वापरतात, ज्याने कंट्रोलिंग टॉर्क (controlling torque) प्रदान (provide) केला. कॉइलचे डिफ्लेक्शन (deflection) अॅल्युमिनियम पिस्टनद्वारे (aluminum piston) कमी केले जाते जे मूव्हिंग कॉइलला (moving coil) जोडलेले असते.

ii) रिपल्शन (Repulsion) टाइप इन्स्ट्रुमेंट्स:

1) रिपल्शन टाइप इन्स्ट्रुमेंटचे रचना (Construction of Repulsion type instrument):

रिपल्शन टाइप इन्स्ट्रुमेंटमध्ये (Repulsion type instrument) दोन वेन्स (Vaness) किंवा आयर्न प्लेट्स (Iron Plates) असतात. एक निश्चित (Fixed) आहे, आणि दुसरा फिरणारे (Movable) आहे. जेव्हा इलेक्ट्रिक करंट (Current) स्थिर कॉइलमधून (Stationary Coil) जातो आणि त्यांच्यामध्ये प्रतिकर्षण शक्ती (force of repulsion) येते तेव्हा वेन्स मॅग्नेटाइस (Magnetize) होतात. तिरस्करणीय शक्तीमुळे (repulsive force), मूव्हिंग कॉइल स्थिर वेनपासून दूर जाऊ लागते.



आकृती क्र.1.7.3 रिपल्शन टाइप इन्स्ट्रुमेंटचे रचना (Construction of Repulsion type instrument)

स्प्रिंग कंट्रोलिंग टॉर्क (controlling torque) प्रदान (Provide) करते. हवेतील घर्षण डम्पिंग टॉर्कला प्रेरित करते, जे कॉइलच्या हालचालीला विरोध करते. रिपल्शन टाईप इन्स्ट्रुमेंट हे एक नॉन-ध्रुवीकरण इन्स्ट्रुमेंट (non-polarized instrument) आहे, म्हणजे, त्यातून प्रवाहाच्या दिशेने जाणारे मुक्त. अशा प्रकारे, ते एसी (AC) आणि डीसी (DC) दोन्हीसाठी वापरले जाते.

2) मूव्हिंग आयर्न (Moving Iron (MI)) इन्स्ट्रुमेंट्सचे फायदे (Advantages):

एमआय इन्स्ट्रुमेंट्सचे खालील फायदे आहेत:

1. सार्वत्रिक वापर (Universal use):

एम.आय. इन्स्ट्रुमेंट इलेक्ट्रिक करंटच्या (Current) दिशेपासून स्वतंत्र (independent) आहे आणि म्हणून ते ए.सी. (AC) आणि डी.सी (DC) दोन्हीसाठी वापरले जाते.

2. कमी घर्षण त्रुटी (Less Friction Error):

एम.आय. इन्स्ट्रुमेंट्समध्ये घर्षण त्रुटी (friction error) खूप कमी असते कारण त्यांचे टॉर्क वजन प्रमाण (torque weight ratio) जास्त असते. टॉर्क वजनाचे प्रमाण जास्त आहे कारण त्यांचा इलेक्ट्रिक करंट वाहून नेणारा भाग (current carrying part) स्थिर आहे आणि मूव्हिंग भाग (Moving Parts) वजनाने हलके आहेत.

3. स्वस्तपणा (Cheapness):

एम.आय. इन्स्ट्रुमेंटला (Instruments) पी.एम.एम.सी. इन्स्ट्रुमेंटच्या तुलनेत कमी वळणाची (Turns) आवश्यकता असते. त्यामुळे ते स्वस्त (Cheap) आहे.

4. मजबूतपणा (Robustness):

हे इन्स्ट्रुमेंट मजबूत आहे कारण त्याची साधी रचना (Simple Construction). आणि त्यांचा इलेक्ट्रिक करंट वाहून नेणारा भाग (current carrying part) स्थिर आहे.

3) मूव्हिंग आयर्न (Moving Iron (MI)) इन्स्ट्रुमेंट्सचे तोटे (Disadvantages):

मूव्हिंग आयर्न (MI) इन्स्ट्रुमेंटचे खालील तोटे आहेत:

1. अचूकता (Accuracy):

मूव्हिंग आयर्न (MI) इन्स्ट्रुमेंटचे प्रमाण एकसमान (uniform) नसते आणि त्यामुळे अचूक परिणाम (result) मिळणे शक्य नसते.

2. त्रुटी (Errors):

हिस्टेरिसिस (hysteresis), वारंवारता (frequency) आणि भटक्या मॅग्नेटिक फील्डमुळे (stray magnetic field) इन्स्ट्रुमेंटमध्ये काही गंभीर एरर (error) उद्भवतात.

3. वेवफॉर्म एरर (Waveform Error):

एमआय (MI) इन्स्ट्रुमेंटमध्ये डिफ्लेक्शन टॉर्क (deflection torque) इलेक्ट्रिक करंटच्या वर्गाशी (square of the current) थेट प्रमाणात नसतो (not directly proportional). त्यामुळे इन्स्ट्रुमेंटमध्ये वेवफॉर्म एरर (Waveform Error) उद्भवतात.

4. AC आणि DC कॅलिब्रेशनमधील फरक (Difference between AC and DC calibration):

AC आणि DC चे कॅलिब्रेशन मीटरच्या इंडक्टन्स (inductance) आणि ए.सी. (AC) वर वापरल्या जाणाऱ्या एडी करंटच्या (Eddy Current) प्रभावामुळे भिन्न (Different) आहेत. ए.सी. (AC) ते ज्या वारंवारतेने वापरतात त्यावर कॅलिब्रेट केले जाते.

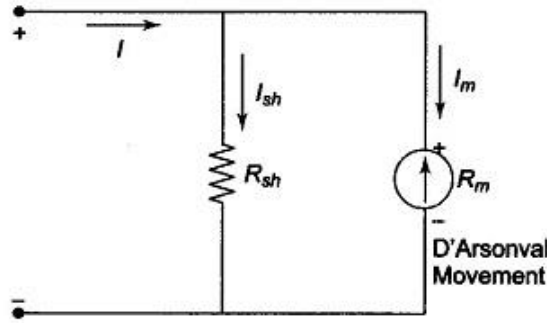
एमआय (MI) इन्स्ट्रुमेंट्समध्ये दोन प्रकारची एरर (Error) आढळते म्हणजे, एरर (Error) ए.सी. (AC) आणि डी.सी (DC) दोन्हीवर येते आणि एरर (Error) जी फक्त एसी (AC) मध्ये होते.

4) एम.आय. आणि एम.सी. साधनांची तुलना (Comparision Between MI and MC Instruments):

अनुक्रमांक	एम.आय. साधने (MI Instrument)	एम.सी. साधने (MC Instrument)
1	हे ए.सी. (AC) तसेच डी.सी. (DC) साठी वापरले जाऊ शकते	हे फक्त डीसी (DC) साठी योग्य आहे
2	स्केल नॉन रेखीय (Non-Uniform) आहे	स्केल एकसमान (Uniform) आहे
3	कमी संवेदनशील (Less Sensitive)	अधिक संवेदनशील (More Sensitive)
4	टॉर्क ते वजन प्रमाण (Torque to Weight ratio) कमी आहे	टॉर्क ते वजन प्रमाण (Torque to Weight ratio) जास्त आहे
5	ते स्वस्त आहे (Cheaper)	ते महाग आहे (Costlier)
6	यामध्ये एअर फ्रिक्शन डॅम्पिंग (Air Friction Damping) वापरले जाते.	यामध्ये एडी करंट डॅम्पिंग (Eddy Current Damping) वापरले जाते.

1.8 समांतर (Shunt) आणि गुणक वापरून Ammeter आणि Voltmeter चा विस्तार (Extension of ammeter and voltmeter by using shunt and multiplier):

1) डी.सी. अँमिटर (DC Ammeter):



आकृती क्र.1.8.1 डी.सी. अँमिटर (DC Ammeter)

डी.सी. अँमिटर ही प्रामुख्याने पी.एम.एम.सी. इन्स्ट्रुमेंट्स (Instruments) आहेत, एम.आय. हे ए.सी. आणि डी.सी. दोन्ही करंट (Currents) मोजू शकतात, तसेच इलेक्ट्रोडायनामोमीटर प्रकाराचे (Electrodynamometer type) थर्मल इन्स्ट्रुमेंट (thermal instrument) डी.सी. आणि ए.सी. मोजू शकते, इंडक्शन (Induction) मीटर सामान्यतः त्यांच्या जास्त किंमतीमुळे, मेजरमेंटमधील चुकीमुळे अँमिटर रचनासाठी वापरले जात नाहीत.

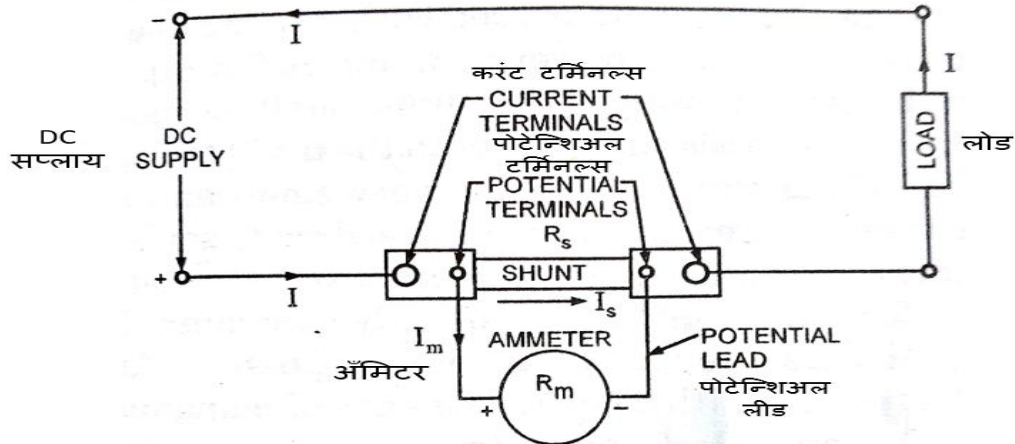
i) पी.एम.एम.सी. अँमिटर चे तत्त्व (Principle of PMMC Ammeter):

जेव्हा इलेक्ट्रिक करंट (Current) वाहून नेणारा कंडक्टर (Conductor) मॅग्नेटिक फील्डमध्ये (magnetic field) ठेवला जातो, तेव्हा एक मेकॅनिकल शक्ती (a mechanical force) कंडक्टरवर कार्य करते, जर ते मूव्हिंग सिस्टिमला (moving system) जोडलेले असेल, तर कॉइलच्या हालचालीसह, पॉइंटर स्केलवर हलते.

स्पष्टीकरण (Explanation): नावाप्रमाणेच त्यात पर्मनंट मॅग्नेट्स (permanent magnets) असतात जे या प्रकारच्या मेजरींग इन्स्ट्रुमेंटमध्ये (Measuring Instrument) वापरले जातात. हे विशेषतः डीसी (DC) मेजरमेंटसाठी (measurement) उपयुक्त आहे कारण येथे डिफ्लेक्शन (deflection) इलेक्ट्रिक करंटच्या प्रमाणात आहे (proportional to the current) आणि म्हणूनच जर इलेक्ट्रिक करंट दिशा (current direction) उलट (reverse) असेल तर, पॉइंटरचे विक्षेपण (deflection of the pointer) देखील उलट होईल म्हणून ते फक्त DC मेजरमेंटसाठी (measurement) वापरले जाते. या प्रकारच्या इन्स्ट्रुमेंटला (instrument) डी आर्न्सनव्हल (D Arnsnval) प्रकाराचे इन्स्ट्रुमेंट म्हणतात. रेखीय स्केल (linear scale), कमी उर्जा वापर (low power consumption), उच्च अचूकता (high accuracy) याचा मोठा फायदा आहे. केवळ DC प्रमाण, जास्त किंमत इ. मोजले जाण्याचा मुख्य गैरसोय आहे (Major disadvantage).

1) अँमिटर च्या विस्तार श्रेणी (Range Extension of ammeter):

- समांतर (Shunt) म्हणून ओळखल्या जाणाऱ्या इन्स्ट्रुमेंटच्या (instruments) कॉइल सर्किटच्या समांतर (parallel) कमी रेसिस्टन्सचा (low resistance) वापर करून Ammeter ची श्रेणी वाढवता येते.
- ही पद्धत ए.सी. तसेच डी.सी. अँमिटर च्या रेंजच्या विस्तारासाठी (Extension) वापरली जाऊ शकते.
- हे मोठे करंट (large currents) मेजरमेंटसाठी वापरले जाते.
- समांतर (Shunt) मध्ये चार टर्मिनल आहेत, दोन मोठ्या इलेक्ट्रिक करंट (Electric Current) वाहून नेण्याच्या क्षमतेचे करंट टर्मिनल (Current Terminal) म्हणून ओळखले जाते आणि दोन पोटेंशियल टर्मिनल (Potential Terminals) आहेत.



आकृती क्र.1.8.2 अँमिटर च्या विस्तार श्रेणी (Range Extension of ammeter)

येथे, I हा सर्किट मधून वाहणारा करंट आहे.

R_s हा समांतर (Shunt) रेझिस्टन्स (Resistance) आहे आणि R_m म्हणजे Ammeter रेझिस्टन्स (Resistance) आहे. मुख्य सर्किट I_m आणि I_s या दोन भागांमध्ये विभागलेले आहे

समांतर (Shunt) मधून वाहणारा इलेक्ट्रिक करंट (Electric Current) असा काढला जातो;

$$I = I_m + I_s$$

इन्स्ट्रुमेंट आणि समांतर (Shunt) मधील व्होल्टेज ड्रॉप (Voltage Drop) असा काढला जातो;

$$I_m \times R_m = I_s \times R_s$$

$$R_s = \frac{I_m \times R_m}{I - I_m}$$

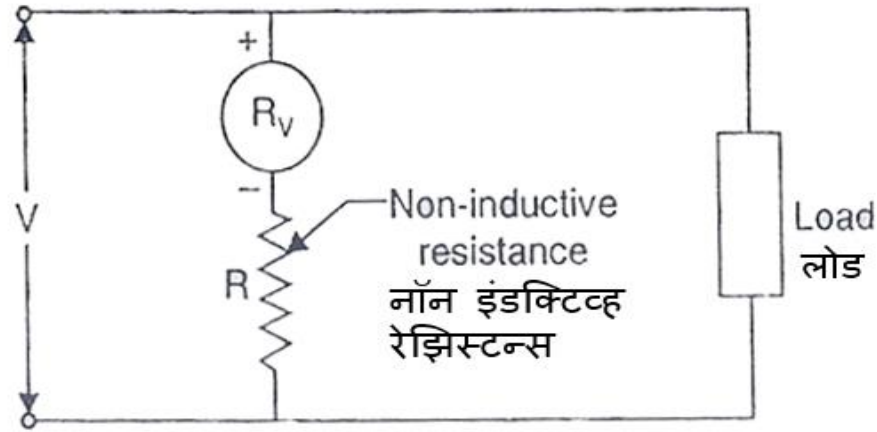
$$R_s = \frac{R_m}{\frac{I}{I_m} - 1}$$

$$R_s = \frac{R_m}{N - 1}$$

जेथे N समांतर (Shunt) ची गुणाकार शक्ती (multiplying power) दर्शवतो.

N हे इन्स्ट्रुमेंट करंट (instrument current) आणि एकूण इलेक्ट्रिक करंट (Total Electric Current) गुणोत्तर (ratio) आहे.

2) डीसी व्होल्टमीटर (DC Voltmeter):



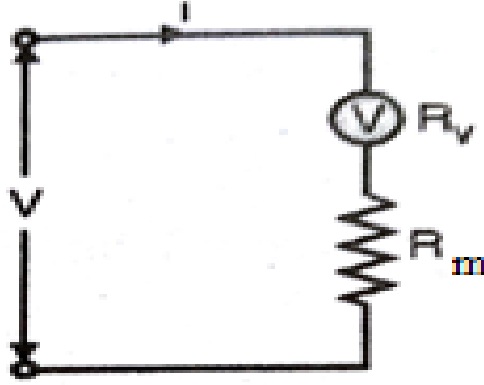
आकृती क्र.1.8.3 डीसी व्होल्टमीटर (DC Voltmeter)

डी.सी. व्होल्टमीटरसाठी पी.एम.एम.सी. इन्स्ट्रुमेंट वापरली जातात, एम.आय. इन्स्ट्रुमेंट ए.सी. आणि डी.सी. दोन्ही व्होल्टेज, इलेक्ट्रोडायनामोमीटर प्रकार (electrodynamometer type), थर्मल इन्स्ट्रुमेंट (thermal instrument) डी.सी. आणि ए.सी. व्होल्टेज देखील मोजू शकते. इंडक्शन (Induction) मीटर जास्त किंमत (high cost), मेजरमेंटमधील चुकीमुळे (inaccuracy in measurement) वापरले जात नाहीत. रेक्टिफायर प्रकार व्होल्टमीटर (Rectifier type voltmeter), इलेक्ट्रोस्टॅटिक प्रकार (electrostatic type) आणि डिजिटल व्होल्टमीटर (DVM) ए.सी. आणि डी.सी. दोन्ही व्होल्टेज मोजू शकतात.

1) पी.एम.एम.सी. व्होल्टमीटर (PMMC Voltmeter):

- जेव्हा इलेक्ट्रिक करंट वाहून नेणारा कंडक्टर (current carrying conductor) मॅग्नेटिक फील्डमध्ये (magnetic field) ठेवला जातो, तेव्हा एक मेकॅनिकल शक्ती (mechanical force) कंडक्टरवर कार्य करते, जर ते मूव्हिंग सिस्टिमला (moving system) जोडलेले असेल, तर कॉइलच्या हालचालीसह, पॉइंटर स्केलवर हलते.
- पी.एम.एम.सी. इन्स्ट्रुमेंटमध्ये पर्मनंट मॅग्नेट्स (permanent magnets) असतात. हे डीसी (DC) मेजरमेंटसाठी (measurement) योग्य आहे कारण येथे डिफ्लेक्शन (deflection) व्होल्टेजच्या प्रमाणात (proportional) आहे कारण मीटरच्या सामग्रीसाठी (material) प्रतिरोध स्थिर असतो (resistance is constant) आणि म्हणून जर व्होल्टेज ध्रुवीयता (voltage polarity) उलट असेल तर पॉइंटरचे डिफ्लेक्शन (deflection of the pointer) देखील उलट होईल म्हणून ते फक्त डीसी मेजरमेंटसाठी वापरले जाते. या प्रकारच्या इन्स्ट्रुमेंटला डी आर्न्सनव्हल (D Arnsnval) प्रकाराचे इन्स्ट्रुमेंट म्हणतात. याचे रेखीय स्केल (linear scale) असण्याचे फायदे आहेत, वीज वापर कमी आहे, उच्च अचूकता (high accuracy) आहे.
- याचे मुख्य तोटे (Disadvantaged) आहेत - हे फक्त DC प्रमाण मोजते आणि जास्त खर्च इत्यादी

2) व्होल्टमीटरची विस्तार श्रेणी (Extension Range of Voltmeter):



आकृती क्र.1.8.4 व्होल्टमीटरची विस्तार श्रेणी (Extension Range of Voltmeter)

- गुणक (multiplier) वापरून डीसी (DC) आणि एसी (AC) व्होल्टमीटरच्या विस्तारासाठी (extension) ही पद्धत वापरली जाऊ शकते.
- गुणक (multiplier) हा एक उच्च रेसिस्टन्स (high resistance) आहे जो इन्स्ट्रुमेंटच्या कॉइलशी जोडलेला असतो.
- व्होल्टेज गुणकांची (voltage multiplier) मुख्य आवश्यकता ही आहे की रेसिस्टन्स (resistance) वेळेनुसार बदलू नये आणि त्याचे तापमान गुणांक (temperature coefficient) खूपच कमी आणि कूलिंगची पुरेशी तरतूद (provision of cooling) असणे आवश्यक आहे.

जेथे R_v हा व्होल्टमीटरचा रेसिस्टन्स (voltmeter resistance) आहे, I इलेक्ट्रिक करंट (current) आहे आणि V हे सर्किटमधील व्होल्टेज (voltage across circuit) आहे
 R_m हे एक्सटर्नल सिरीज रेसिस्टन्स (external series resistance) आहे.

$$V = I R_v + I R_m$$

$$R_m = \left(\frac{V}{I} \right) - R_v$$

संख्यात्मक (Numericals):

1. एक मूव्हिंग कॉइल इन्स्ट्रुमेंट (A moving coil instrument) हे 13mA सह पूर्ण प्रमाणात डिफ्लेक्शन (full scale deflection) असते आणि त्याचा रेसिस्टन्स (resistance) 9Ω असतो. 250 V पर्यंत वाचण्यास सक्षम करण्यासाठी (enable it to read up) कॉइलसह सीरीजमध्ये (in series with coil) रेसिस्टन्सचे (resistance) कोणते मूल्य (value) जोडले पाहिजे?

उत्तर : दिलेला डेटा: $I = 13 \text{ mA}$, $R_v = 9 \Omega$, $V = 250 \text{ V}$,
 काढावयाची व्हॅल्यू: $R_m = ?$

$$R_m = \left(\frac{V}{I} \right) - R_v$$

$$R_m = \frac{250}{13 \times 10^{-3}} - 9$$

$$R_m = 19.22 \text{ k}\Omega \dots \dots \dots \text{ उत्तर}$$

2. एक मूव्हिंग कॉइल इन्स्ट्रुमेंट (A moving coil instrument) 12 mA साठी जास्तीत जास्त डिफ्लेक्शन (deflection) देते. त्याचा रेसिस्टन्स (resistance) 4Ω आहे. 10 Amps पर्यंत वाचण्यासाठी आवश्यक समांतर (Shunt) रेसिस्टन्सचे (resistance) मूल्य (value) मोजा.

उत्तर : दिलेला डेटा: $R_m = 4 \Omega$, $I_m = 12 \text{ mA}$, $I = 10 \text{ A}$,
काढावयाची व्हॅल्यू: $R_s = ?$

$$R_s = \frac{I_m \times R_m}{I - I_m}$$

$$R_s = \frac{12 \times 10^{-3} \times 4}{10 - 12 \times 10^{-3}}$$

$R_s = 0.0048 \Omega$ उत्तर

a) व्होल्टमीटरवर लोडिंग प्रभाव (Loading Effect on Voltmeter):

मीटरमध्ये सेन्सिटिव्हिटी फॅक्टर (sensitivity factor) सर्वात महत्वाचा आहे. कमी रेसिस्टन्स (low resistance) सर्किटमध्ये व्होल्टेज मेजर करताना कमी सेन्सिटिव्हिटी (low sensitivity) योग्य वाचन (Reading) देऊ शकते परंतु उच्च रेसिस्टन्स सर्किटमध्ये (high resistance) अविश्वसनीय वाचन (unreliable reading) देणे निश्चित आहे. मीटर एक प्रशंसनीय करंट (appreciable current) घेते आणि मीटर जोडण्यापूर्वी बाहेर पडलेल्या पेक्षा कमी वाचन दर्शवते. व्होल्टमीटरच्या या प्रभावाला (effect) लोडिंग इफेक्ट (Loading Effect) म्हणतात आणि तो इन्स्ट्रुमेंटच्या कमी सेन्सिटिव्हिटीमुळे (low sensitivity) होतो.

b) व्होल्टमीटर संवेदनशीलता (Voltmeter Sensitivity):

हे एकूण सर्किट रेसिस्टन्स (total circuit resistance) आणि व्होल्टेज श्रेणीचे (voltage range) गुणोत्तर (ratio) आहे. सेन्सिटिव्हिटी (Sensitivity) मूलभूत हालचालीच्या (basic movement) पूर्ण प्रमाणात डिफ्लेक्शन करंटची (full scale deflection current) परस्पर (reciprocal) आहे.

$$\begin{aligned} \text{sensitivity} &= \frac{\text{ohms}}{\text{volt}} \\ &= \frac{1}{\text{volt/ohms}} \\ &= \frac{1}{\text{ampere}} \end{aligned}$$

1.9 प्रतिकाराचे मापन: निम्न, मध्यम आणि उच्च (Measurement of resistance: Low, Medium and High):

1.9.1 इलेक्ट्रिकल रेझिस्टन्सचे वर्गीकरण (Classification of Electrical Resistance):

मेजरमेंटच्या दृष्टिकोनातून (from the point of view of measurement) रेसिस्टन्सचे वर्गीकरण (classification of resistances) खालीलप्रमाणे आहे:

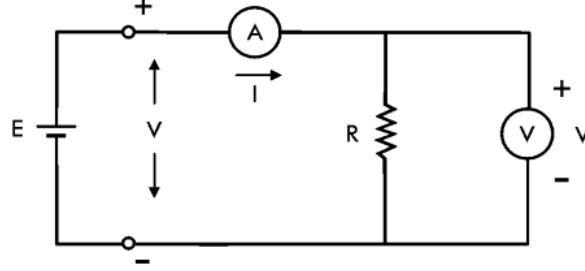
- कमी रेसिस्टन्स (Low resistance):** या श्रेणीमध्ये (category) रेसिस्टन्स मूल्य (resistance value) 1 ओहम (Ohm) पेक्षा कमी आहे.
- मध्यम रेसिस्टन्स (Medium resistance):** या श्रेणीमध्ये (category) रेसिस्टन्स मूल्य (resistance value) 1 ohm ते 0.1 मेगा ओहम (Mega ohm) पर्यंत आहे.
- उच्च रेसिस्टन्स (High resistance):** या श्रेणीमध्ये (category) रेसिस्टन्स मूल्य (resistance value) 0.1 मेगा ओहम (Mega ohm) पेक्षा जास्त आहे.

A. कमी रेसिस्टन्स मोजण्याच्या पद्धती (Methods for measurement of Low Resistance):

कमी रेसिस्टन्स (Low resistance) मेजरमेंटच्या पद्धती खालीलप्रमाणे आहेत:

- 1) अँमीटर (Ammeter) - व्होल्टमीटर (Voltmeter) पद्धत.
- 2) केल्विनची डबल ब्रिज (Kelvin's double bridge) पद्धत.
- 3) पोटेंशियोमीटर (Potentiometer) पद्धत.
- 4) डक्टर (Ductor) पद्धत.
- 5) डिजिटल/एनालॉग मल्टी-मीटर (Digital/analog multi-meter) पद्धत.

1) अँमीटर - व्होल्टमीटर पद्धत (Ammeter – Voltmeter method):



आकृती क्र.1.9.1 अँमीटर - व्होल्टमीटर पद्धत (Ammeter – Voltmeter method)

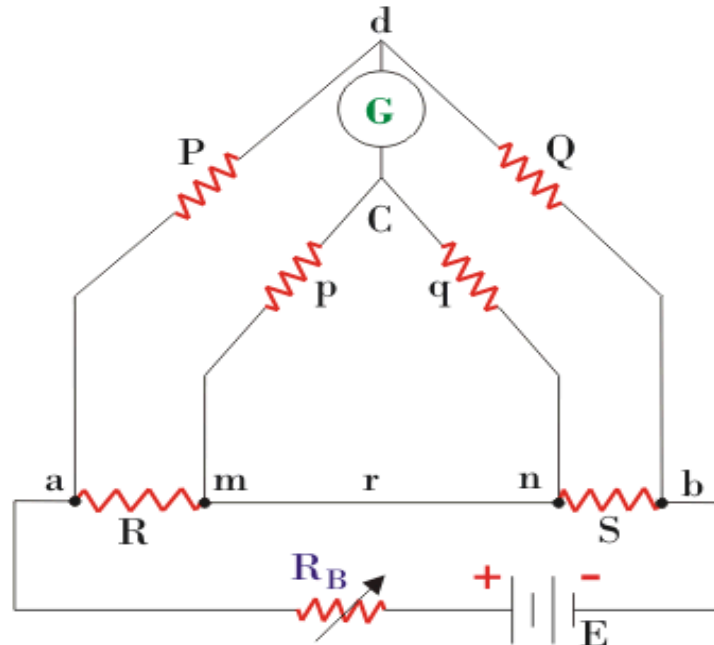
या पद्धतीमध्ये, योग्य स्रोत (suitable source), अँमीटर (ammeter) आणि व्होल्टमीटर (voltmeter) वापरा आणि वरील चित्रात (diagram) दाखवल्याप्रमाणे त्यांना जोडा.

व्होल्टमीटर आणि अँमीटरचे रीडिंग घ्या, नंतर रेसिस्टन्सचे मूल्य (value of resistance) $R = V/I \Omega$

एरर (error) कमी करण्यासाठी समान रेसिस्टन्ससाठी (same resistance) 4 ते 5 निरीक्षणे (observation) घ्या आणि त्यांची सरासरी (average) घ्या.

2) केल्विनची डबल ब्रिज पद्धत (Kelvin's double bridge method):

केल्विनचा डबल ब्रिज (Kelvin's double bridge) हा साध्या व्हीटस्टोन ब्रिजचा (simple Wheatstone bridge) बदल (modification) आहे. खालील आकृती (diagram) केल्विनच्या डबल ब्रिजची सर्किट आकृती (circuit diagram) दर्शवते.



आकृती क्र.1.9.2 केल्विनची डबल ब्रिज पद्धत (Kelvin's double bridge method)

वरील आकृतीत आपण बघू शकतो की आर्म्सचे दोन संच (two sets of arms) आहेत, एक P आणि Q रेझिस्टन्ससह (with resistances) आणि दुसरा p आणि q रेझिस्टन्ससह (with resistances). R हा अननोन कमी रेझिस्टन्स (unknown low resistance) आहे आणि S हा एक स्टँडर्ड रेझिस्टन्स (standard resistance) आहे. येथे r अननोन रेझिस्टन्स (unknown resistance) आणि स्टँडर्ड रेझिस्टन्स (standard resistance) यांच्यातील कॉन्टॅक्ट रेझिस्टन्स (contact resistance) दर्शविते, ज्याचा प्रभाव (effect) आपल्याला दूर करणे (eliminate) आवश्यक आहे. मेजरमेंटसाठी आपण P/Q गुणोत्तर (ratio) p/q बरोबर करतो आणि त्यामुळे एक बॅलन्सड व्हीटस्टोन ब्रिज (balanced Wheatstone bridge) तयार होतो ज्यामुळे गॅल्वनोमीटरमध्ये (galvanometer) शून्य डिफ्लेक्शन (null deflection) होते. त्यामुळे बॅलन्सड ब्रिजसाठी (balanced bridge) आपण लिहू शकतो.

$$E_{ad} = E_{amc}$$

$$\text{Or, } \left\{ \frac{P}{P+Q} \right\} E_{ab} = I \left[R + \frac{p}{p+q} \left\{ \frac{r(p+q)}{p+q+r} \right\} \right] \dots\dots (1)$$

$$\text{Where, } E_{ab} = I \left[R + S + \frac{p}{p+q} \left\{ \frac{r(p+q)}{p+q+r} \right\} \right] \dots\dots (2)$$

आता समीकरण (Equation) 2 हे समीकरण (Equation) 1 मध्ये टाकणे आणि सोडवणे आणि $P/Q = p/q$ वापरणे, मग आपल्याला मिळेल-

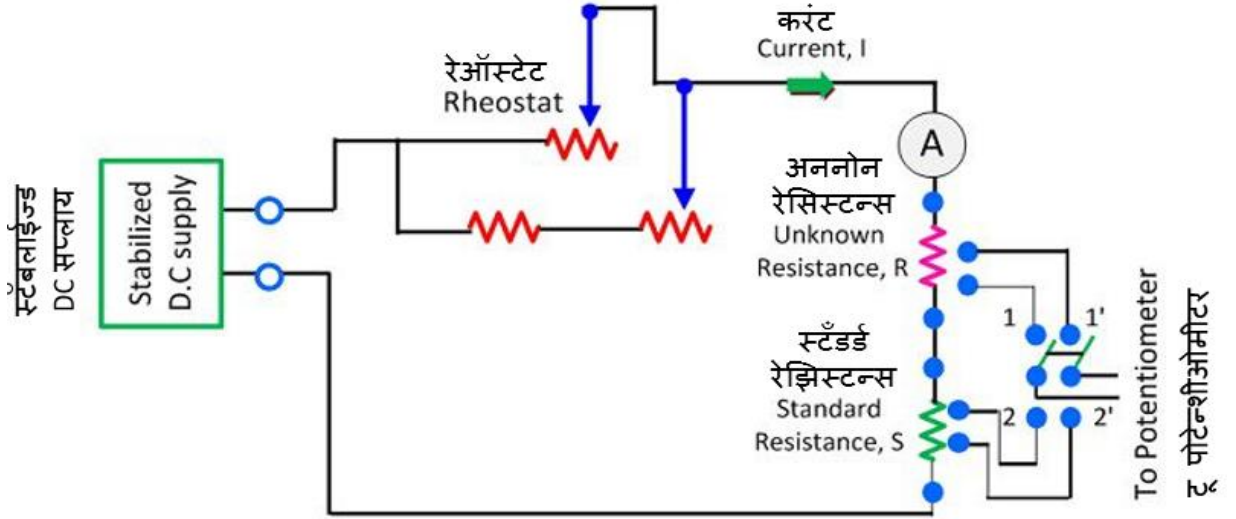
$$R = \frac{P}{Q} S$$

म्हणून आपण पाहतो की बॅलन्सड डबल आर्म्स (balanced double arms) वापरून आपण कॉन्टॅक्ट रेझिस्टन्स (contact resistance) पूर्णपणे काढून टाकू शकतो आणि त्यामुळे होणाऱ्या एरर (error) देखील. थर्मो-इलेक्ट्रिक ईएमएफमुळे (thermo-electric emf) होणारी दुसरी एरर (error) दूर करण्यासाठी, आपण बॅटरी कनेक्शन (battery connection) उलट करून दुसरे रीडिंग घेतो आणि शेवटी दोन रीडिंगची सरासरी (average) घेतो. हा ब्रिज $0.1\mu\Omega$ ते 1.0Ω मधील रेझिस्टन्ससाठी उपयुक्त आहे.

3) पोटेंशियोमीटर पद्धत (Potentiometer method):

रेझिस्टन्स मेजरमेंटची (measurement of resistance) डीसी पोटेंशियोमीटर पद्धत (DC potentiometer method) कमी मूल्याच्या (low value) अननोन रेझिस्टन्स (unknown resistance) मेजर करण्यासाठी वापरली जाते. हे अननोन रेझिस्टन्सची (unknown resistance) तुलना स्टँडर्ड रेझिस्टन्सशी (standard resistance) करून करता येते. ज्ञात (known) आणि अज्ञात (unknown) मधील व्होल्टेज ड्रॉप (voltage drop) मेजर केले जाते आणि तुलना (comparison) करून ज्ञात रेझिस्टन्सचे मूल्य (value of known resistance) निर्धारित (determine) केले जाते.

आता सर्किट डायग्रामच्या मदतीने हे समजून घेऊ. R हा अननोन रेझिस्टन्स (unknown resistance) आहे ज्याचे मूल्य (value) मेजरमेंटसाठी आवश्यक आहे. S हा स्टँडर्ड रेझिस्टन्स (standard resistance) आहे ज्यावरून अननोन रेझिस्टन्सच्या (unknown resistance) मूल्याची तुलना (Comparison) केली जाते. रियोस्टॅटचा (rheostat) वापर सर्किटमधील इलेक्ट्रिक करंटची तीव्रता (magnitude of current) नियंत्रित (Control) करण्यासाठी केला जातो.



आकृती क्र.1.9.3 पोटेन्शियोमीटर पद्धत (Potentiometer method)

सर्किटमध्ये डबल पोल डबल थ्रो स्विच (double pole double throw switch) वापरला जातो. स्विच, जेव्हा स्थिती (position) 1, 1 वर जातो तेव्हा अननोन रेसिस्टन्स (unknown resistance) सर्किटला जोडतो आणि जेव्हा ते स्थान (position) 2, 2 वर सरकतो तेव्हा स्टॅंडर्ड रेसिस्टन्स (standard resistance) सर्किटला जोडतो. लक्षात घ्या की जेव्हा स्विच (switch) 1,1 स्थितीत (position) असतो तेव्हा अननोन रेसिस्टन्सवरील व्होल्टेज ड्रॉप (voltage drop) V_R असतो.

$$V_R = IR$$

आणि जेव्हा ते 2, 2 मध्ये असते तेव्हा रेसिस्टन्स ओलांडून (across the resistance) व्होल्टेज ड्रॉप (voltage drop) V_S असतो.

$$V_S = IS$$

(1) आणि (2) समीकरण काढल्यावर आपल्याला मिळते

$$\frac{V_R}{V_S} = \frac{IR}{IS}$$

$$\frac{V_R}{V_S} = \frac{R}{S}$$

$$R = \frac{V_R}{V_S} \cdot S$$

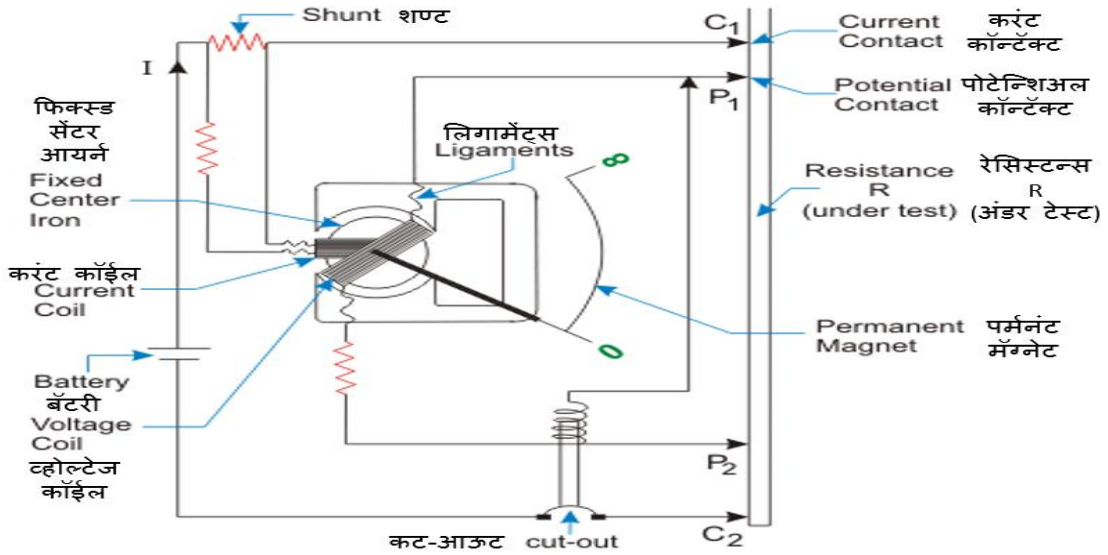
अननोन रेसिस्टन्सची (unknown resistance) अचूकता (accuracy) स्टॅंडर्ड रेसिस्टन्सच्या मूल्यावर (value of standard resistance) अवलंबून (depend) असते.

अननोन रेसिस्टन्सची अचूकता (accuracy of the unknown resistance) रीडिंगच्या वेळी इलेक्ट्रिक करंटच्या विशालतेवर (magnitude of the current) देखील अवलंबून असते. इलेक्ट्रिक करंटची तीव्रता (magnitude of current) समान राहिल्यास, सर्किट अचूक परिणाम (accurate result) देते. रीडिंग दरम्यान रेसिस्टन्समधून इलेक्ट्रिक करंटची तीव्रता निर्धारित (determine) करण्यासाठी सर्किटमध्ये ammeter वापरला जातो. इलेक्ट्रिक करंटची तीव्रता (magnitude of the current) अशा प्रकारे समायोजित (adjust) केली जाते की ओलांडून व्होल्टेज ड्रॉप (voltage drop across the resistance) 1 व्होल्टच्या समान आहे.

4) डक्टर पद्धत (Ducter Method):

हे एक इलेक्ट्रोमेकॅनिकल इन्स्ट्रुमेंट (electromechanical instrument) आहे जे कमी रेझिस्टन्स (low resistances) मेजरमेंटसाठी वापरले जाते. त्यात PMMC इन्स्ट्रुमेंटमाणेच पर्मनंट मॅग्नेट्स (permanent magnet) आणि मॅग्नेटिक पोल्सद्वारे (poles) तयार केलेल्या मॅग्नेटिक फील्डधील दोन कॉइल (Coils) असतात. दोन कॉइल एकमेकांच्या काटकोनात (at right angles) आहेत आणि सामान्य अक्षाभोवती (common axis) फिरण्यास मुक्त आहेत. खालील आकृती एक डक्टर ओहममीटर (Ducter Ohmmeter) आणि अननोन रेसिस्टन्स (unknown resistance) R मोजण्यासाठी आवश्यक कनेक्शन दर्शवते.

करंट कॉइल (current coil) नावाच्या कॉइलपैकी एक, करंट टर्मिनल्स (current terminals) C1 आणि C2 शी जोडलेली असते, तर दुसरी कॉइल ज्याला व्होल्टेज कॉइल (voltage coil) म्हणतात ती पोटेंशियल टर्मिनल (potential terminals) V1 आणि V2 शी जोडलेली असते. व्होल्टेज कॉइल R मध्ये व्होल्टेज ड्रॉपच्या प्रमाणात (proportional of the voltage drop) करंट वाहून नेते (carries current) आणि त्यामुळे त्याचा टॉर्क (torque) तयार होतो. करंट कॉइल R मधून वाहणाऱ्या इलेक्ट्रिक करंटच्या प्रमाणात (proportional to the current flowing through R) इलेक्ट्रिक करंट वाहून नेतो (carries current) आणि त्याचप्रमाणे त्याचा टॉर्क (torque) देखील असतो. दोन्ही टॉर्क (torque) विरुद्ध दिशेने (in opposite direction) कार्य करतात आणि जेव्हा दोन समान (equal) असतात तेव्हा निर्देशक थांबतो (indicator come to halt). हे साधन $100\mu\Omega$ ते 5Ω श्रेणीतील (range) रेसिस्टन्ससाठी (resistance) उपयुक्त आहे.



आकृती क्र.1.9.4 डक्टर पद्धत (Ducter Method)

5) डिजिटल / एनालॉग मल्टी-मीटर पद्धत (Digital / analog multi-meter method):

मल्टीमीटर (Digital Multimeter) हे एक टेस्ट इन्स्ट्रुमेंट (test instrument) आहे जे एका इन्स्ट्रुमेंटमध्ये (tool) अनेक इलेक्ट्रॉनिक मेजरमेंट कार्य (several electronic measurement task) देते. याला व्होल्टमीटर (voltmeter) किंवा ओहम मीटर (Ohm meter) किंवा व्होल्ट ओहम मीटर (Volt Ohm meter) असेही म्हणतात.

मल्टीमीटरद्वारे केले जाणारे स्टॅंडर्ड (standard) आणि मूलभूत मेजरमेंट (basic measurements) म्हणजे अँप्स (amps), व्होल्ट (volts) आणि ओहमचे (ohms) मेजरमेंट. याशिवाय, हे डिजिटल मल्टीमीटर डिजिटल (digital) आणि लॉजिक तंत्रज्ञानाचा (logic technology) वापर करून अनेक अतिरिक्त (additional) मेजरमेंट करतात. यामध्ये तापमान (temperature), वारंवारता (frequency), सातत्य (continuity), कॅपॅसिटन्स (capacitance) इत्यादींचा समावेश असू शकतो. डिजिटल मल्टीमीटरचे नवीन सुधारित एकात्मिक सर्किट्स (integrated circuits) अधिक कार्यक्षम (more efficient), जलद (faster) आहेत आणि अॅनालॉग मल्टीमीटरच्या तुलनेत (compared to an analogue Multimeter) मोठ्या अचूकतेसह (large accuracy) कार्य करतात. परंतु अतिरिक्त वैशिष्ट्यांच्या बाबतीत (in the case of additional features), ते अचूक नाही परंतु वाचनाच्या जवळ आहे. एक चांगला

मल्टीमीटर म्हणजे सातत्य आणि स्मार्ट वैशिष्ट्यांसह पॅक (packed with smart features), लॉग (log), आलेख डेटा (graph data) आणि समस्यानिवारणासाठी उत्तम (great for troubleshooting).



आकृती क्र.1.9.5 डिजिटल / एनालॉग मल्टी-मीटर पद्धत (Digital / analog multi-meter method)
B. मध्यम प्रतिकार मोजण्याच्या पद्धती (Methods for measurement of Medium Resistance):

मध्यम रेसिस्टन्स (Medium resistance) मेजरमेंटच्या पद्धती (Measurement Methods) खालीलप्रमाणे आहेत:

- 1) अँमीटर - व्होल्टमीटर पद्धत (Ammeter voltmeter method)
- 2) ओहममीटर पद्धत (Ohmmeter method)
- 3) व्हीटस्टोन ब्रिज पद्धत (Wheatstone bridge method)
- 4) प्रतिस्थापन पद्धत (Substitution method)
- 5) कोरी फॉस्टर पद्धत (Corey foster method)

1) अँमीटर - व्होल्टमीटर पद्धत (Ammeter voltmeter method):

रेसिस्टन्स मेजरमेंटची (Resistance Measurement) ही सर्वात सोपी पद्धत आहे. हे इलेक्ट्रिक करंट (current) I मेजरमेंटसाठी एक अँमीटर (ammeter) वापरते, व्होल्टेज (voltage) V मेजरमेंटसाठी एक व्होल्टमीटर वापरते, आणि रेसिस्टन्स मूल्य (Resistance Value) अशी मिळते.

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

आता खालील आकृतीमध्ये दर्शविलेले ammeter आणि voltmeter चे दोन संभाव्य कनेक्शन असू शकतात.

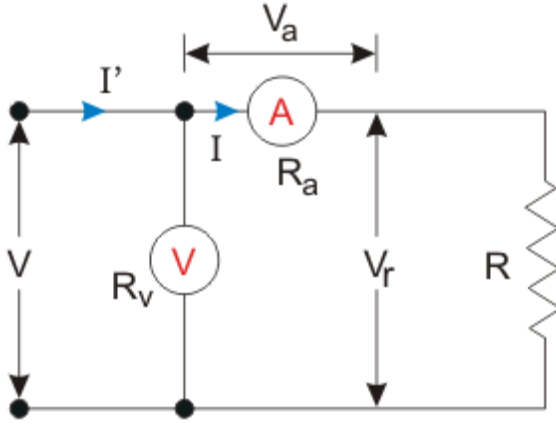


Figure-1

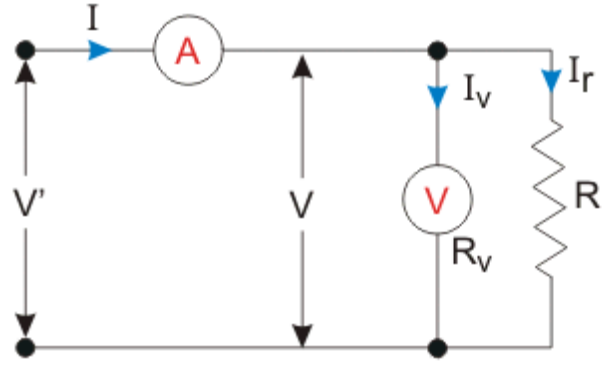


Figure-2

आकृती क्र.1.9.6 अँमीटर - व्होल्टमीटर पद्धत (Ammeter voltmeter method)

आता आकृती 1 मध्ये, व्होल्टमीटर (voltmeter) अँमीटरवर व्होल्टेज ड्रॉप (voltage drop across ammeter) आणि अननोन रेसिस्टन्स (unknown resistance) मेजर करतो, म्हणून

$$R_1 = \frac{(V_a + V_r)}{I} = \frac{(IR_a + IR)}{I} = R_a + R$$

म्हणून, रिलेटिव्ह एरर (relative error) असेल,

$$\epsilon = \frac{R_1 - R}{R} = \frac{R_a}{R}$$

आकृती 2 मधील जोडणीसाठी, अँमीटर (ammeter) व्होल्टमीटर (voltmeter) आणि रेसिस्टन्सद्वारे (resistance) इलेक्ट्रिक करंटची बेरीज मेजर करतो (measures the sum of current), म्हणून

$$R_2 = \frac{V}{(I_v + I_r)} = \frac{V}{\left(\frac{V}{R_v} + \frac{V}{R}\right)} = \frac{R}{\left(1 + \frac{R}{R_v}\right)}$$

म्हणून, रिलेटिव्ह एरर (relative error) असेल,

$$\epsilon = \frac{R_2 - R}{R} \approx -\frac{R}{R_v}$$

पहिल्या प्रकरणात (in first case) $R_a = 0$ आणि दुसऱ्या प्रकरणात (in second case.) $R_v = \infty$ साठी रिलेटिव्ह एरर (relative error) शून्य आहे. आता प्रश्न उभे आहेत की कोणत्या प्रकरणात कोणते कनेक्शन वापरायचे. हे शोधण्यासाठी आपण दोन्ही एररची बरोबरी करतो.

$$\frac{R_a}{R} = \frac{R}{R_v} \text{ or } R = \sqrt{R_a R_v}$$

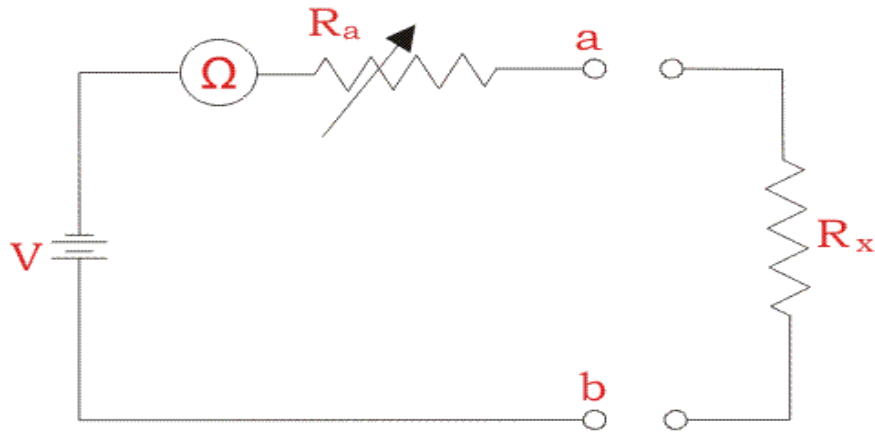
म्हणून वरील समीकरणाने (equation) दिलेल्या पेक्षा जास्त रेसिस्टन्ससाठी (resistances) आपण पहिली पद्धत (first method) वापरतो आणि त्यापेक्षा कमी असल्यास दुसरी पद्धत (second method) वापरतो.

1) ओहममीटर पद्धत (Ohmmeter method):

ओहममीटर हे एक इन्स्ट्रुमेंट (Instrument) आहे जे प्रमाणाचा रेसिस्टन्स (resistance of a quantity) मेजर करते. इलेक्ट्रिकल अर्थाने (electrical sense) रेसिस्टन्स म्हणजे इन्स्ट्रुमेंटमधील (instrument) इलेक्ट्रिक करंटला (current) पदार्थाने दिलेला विरोध (opposition offered by a substance). प्रत्येक इन्स्ट्रुमेंटचा रेसिस्टन्स असतो, तो मोठा किंवा लहान असू शकतो आणि कंडक्टरच्या तापमानासह ते वाढते, तथापि अर्धसंवाहक इन्स्ट्रुमेंटसाठी (semiconducting devices) उलट सत्य आहे.

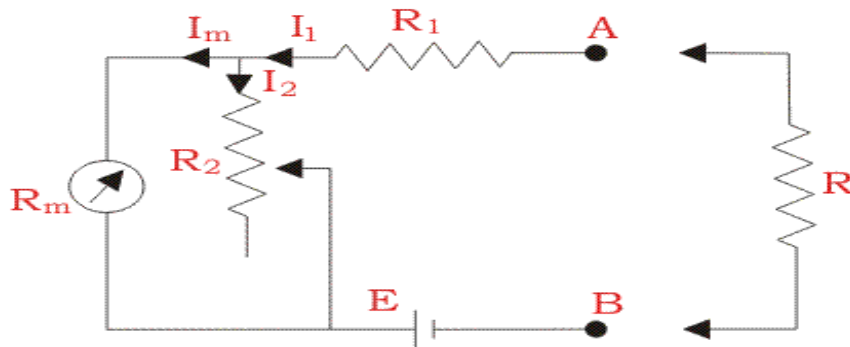
ओहममीटरचे अनेक प्रकार उपलब्ध आहेत जसे की,

- सिरीज ओहममीटर (Series ohmmeter)
- शंट ओहममीटर (Shunt ohmmeter)
- मल्टी रेंज ओहममीटर (Multi range ohmmeter)

ओहममीटरचे कार्य तत्त्व (Working Principle of Ohmmeter):

आकृती क्र.1.9.7 ओहममीटरची सर्किट आकृती (Circuit Diagram of Ohmmeter)

इन्स्ट्रुमेंट बॅटरी (battery), सिरीज समायोज्य रेझिस्टर (series adjustable resistor) आणि वाचन देणारे इन्स्ट्रुमेंट (instrument which gives the reading) यांच्याशी जोडलेले आहे. मेजर केले जाणारे रेझिस्टर टर्मिनल ab (terminal ab) जोडलेले आहे. जेव्हा आउटपुट रेझिस्टन्स (output resistance) कनेक्ट करून सर्किट पूर्ण होते, तेव्हा सर्किट करंट वाहतो आणि त्यामुळे डिफ्लेक्शन (deflection) मेजर केले जाते.

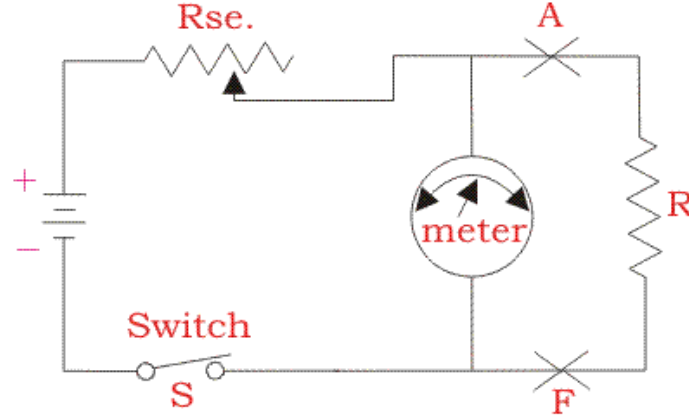
i) सिरीज ओहममीटर (Series ohmmeter):

आकृती क्र.1.9.8 सिरीज ओहममीटर (Series ohmmeter)

सिरीज ओहममीटरमध्ये (series type ohmmeter) करंट लिमिटिंग रेसिस्टर (current limiting resistor) R_1 , झिरो ऍडजस्टिंग रेसिस्टर (Zero adjusting resistor) R_2 , EMF स्रोत (EMF source) E , डी'अरसोनवल

(D'Arsonval) मोव्हमेन्ट (D'Arsonval movement) R_m चे इंटर्नल रेसिस्टन्स (Internal resistance) आणि मेजरमेंटसाठी रेसिस्टन्स (resistance to be measured) R यांचा समावेश असतो.

ii) शंट ओहममीटर (Shunt ohmmeter):

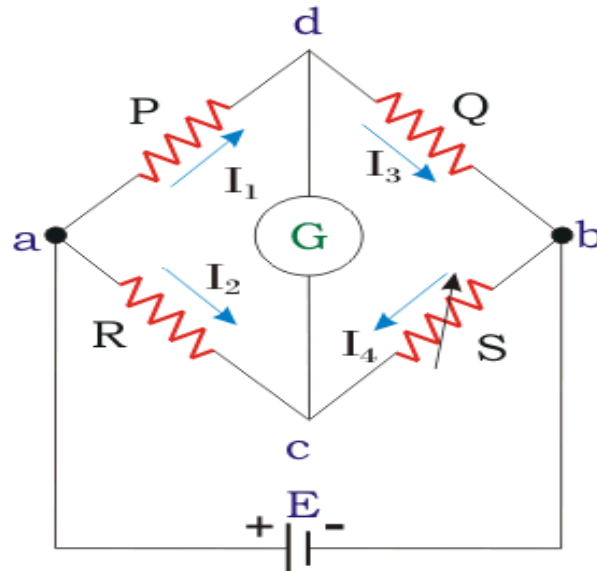


आकृती क्र.1.9.9 शंट ओहममीटर (Shunt ohmmeter)

या प्रकारच्या मीटरमध्ये बॅटरीचा स्रोत (battery source) असतो आणि अॅडजस्टेबल रेझिस्टर (adjustable resistor) स्रोताशी (Source) सिरीजमध्ये जोडलेला असतो. मीटरला रेझिस्टन्सच्या समांतर (parallel to the resistance) जोडले आहे जे मेजर करायचे आहे.

2) व्हीटस्टोन ब्रिज पद्धत (Wheatstone bridge method):

हे मेजरमेंट अभ्यासात वापरले जाणारे सर्वात सोपे (simplest) आणि सर्वात मूलभूत ब्रिज सर्किट (most basic bridge circuit) आहे. यात प्रामुख्याने P , Q , R आणि S हे चार आर्म्स (arms) असतात; R हा प्रयोगांतर्गत (under experiment) अननोन रेसिस्टन्स (unknown resistance) आहे, तर S हा एक स्टँडर्ड रेसिस्टन्स (standard resistance) आहे. P आणि Q हे गुणोत्तर आर्म्स (ratio arms) म्हणून ओळखले जातात. EMF स्रोत (EMF source) बिंदू (points) a आणि b दरम्यान जोडलेला असतो तर बिंदू (points) c आणि d दरम्यान गॅल्वनोमीटर (galvanometer) जोडलेला असतो.



आकृती क्र.1.9.10 व्हीटस्टोन ब्रिज पद्धत (Wheatstone bridge method)

ब्रिज सर्किट नेहमी नल डिटेक्शनच्या तत्वावर (principle of null detection) कार्य करते, म्हणजे डिटेक्टर (detector) शून्य दर्शविपर्यंत आपण पॅरामीटर (parameter) बदलतो आणि नंतर भिन्न पॅरामीटर (varying parameter) आणि इतर स्थिरांकांच्या (constants) दृष्टीने अज्ञात निर्धारित करण्यासाठी (determine the unknown) गणितीय संबंध (mathematical relation) वापरतो. गॅल्व्हानोमीटरमध्ये (galvanometer) शून्य डिफ्लेक्शन (null deflection) प्राप्त करण्यासाठी येथे स्टॅंडर्ड रेसिस्टन्स (standard resistance), S देखील भिन्न (varied) आहे. हे शून्य डिफ्लेक्शन सूचित करते की बिंदू c ते d पर्यंत कोणतेही इलेक्ट्रिक करंट नाही, जे सूचित करते की बिंदू c आणि d ची क्षमता (potential) समान आहे. त्यामुळे,

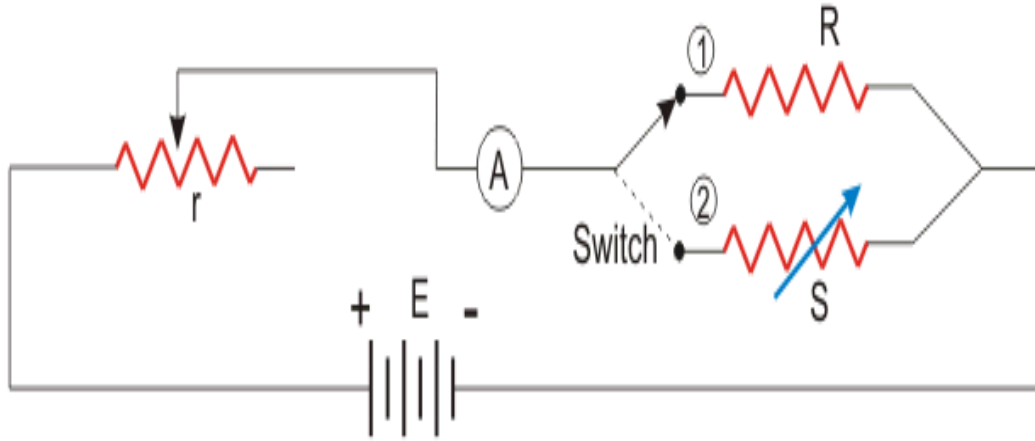
$$I_1 P = I_2 R \dots\dots (4)$$

$$\text{Also, } I_1 = I_3 = \frac{E}{(P + Q)} \text{ and } I_2 = I_4 = \frac{E}{(R + S)} \dots\dots (5)$$

वरील दोन समीकरणे एकत्र केल्यास प्रसिद्ध समीकरण मिळते;

$$R = \frac{P}{Q} S$$

4) प्रतिस्थापन पद्धत (Substitution method):



आकृती क्र.1.9.11 प्रतिस्थापन पद्धत (Substitution method)

वरील आकृती (figure) अननोन रेझिस्टन्सच्या (unknown resistance) रेझिस्टन्स मेजरमेंटसाठी सर्किट (resistance measurement) डायग्राम दाखवते. S हा स्टॅंडर्ड व्हेरिएबल रेझिस्टन्स (standard variable resistance) आहे आणि r हा रेग्युलेटिंग रेझिस्टन्स (Regulating Resistance) आहे.

प्रथम स्विच 1 स्थानावर (at position 1) ठेवला जातो आणि r बदलून ठराविक प्रमाणात करंट वाचण्यासाठी ammeter तयार केले जाते. ammeter रीडिंगचे मूल्य (value) लक्षात घेतले जाते. आता स्विच 2 पोजीशनवर हलविला (moved to position 2) गेला आहे आणि सुरुवातीच्या केसमध्ये वाचल्याप्रमाणे समान ammeter रीडिंग प्राप्त करण्यासाठी S मध्ये विविधता आहे. S चे मूल्य (Value) ज्यासाठी अॅमीटर स्थिती 1 प्रमाणेच वाचते, हे अज्ञात प्रतिकार (unknown resistance) R चे मूल्य आहे, जर इ. एम. एफ. सोर्सचे (EMF source) संपूर्ण प्रयोगात स्थिर मूल्य (constant value) असेल.

त्यामुळे,

स्थान 1 वर स्विच करण्यासाठी,
अॅमीटर द्वारे रीडिंग असे दिले जाते,

$$I = \frac{E}{R + r}$$

त्याचप्रमाणे,
स्थान 2 वर स्विच करण्यासाठी
ॲमीटर द्वारे रीडिंग असे दिले जाते,

$$I = \frac{E}{S + r}$$

C. उच्च प्रतिकार मोजण्यासाठी पद्धती (Methods for measurement of High Resistance): उच्च रेसिस्टन्स (High resistance) मेजरमेंटच्या पद्धती (measurement Methods) खालीलप्रमाणे आहेत:

- 1) मेगर पद्धत (Megger method)
- 2) लॉस ऑफ चार्ज पद्धत (Loss of charge method)
- 3) डायरेक्ट डिफ्लेक्शन पद्धत (Direct deflection method)
- 4) मेगा ओहम ब्रिज पद्धत (Mega ohm bridge method)

1) मेगर पद्धत (Megger method):

- i) मेगर (Megger) हे इन्सुलेशनचा रेसिस्टन्स मेजरमेंटसाठी (measuring the resistance of the insulation) वापरले जाणारे इन्स्ट्रुमेंट (instrument) आहे.
- ii) हे तुलनेच्या तत्वावर (principle of comparison) कार्य करते, म्हणजे, इन्सुलेशनच्या रेसिस्टन्सची तुलना रेसिस्टन्सच्या ज्ञात मूल्याशी (known value of resistance) केली जाते.
- iii) जर इन्सुलेशनचा रेसिस्टन्स जास्त असेल तर, फिरत्या कॉइलचा पॉइंटर (pointer of the moving coil) अनंताकडे वळतो (deflects towards the infinity) आणि जर तो कमी असेल, तर पॉइंटर शून्य रेसिस्टन्स दर्शवतो (the pointer indicates zero resistance).
- iv) इतर साधनांच्या तुलनेत मेगरची अचूकता (accuracy) जास्त आहे.

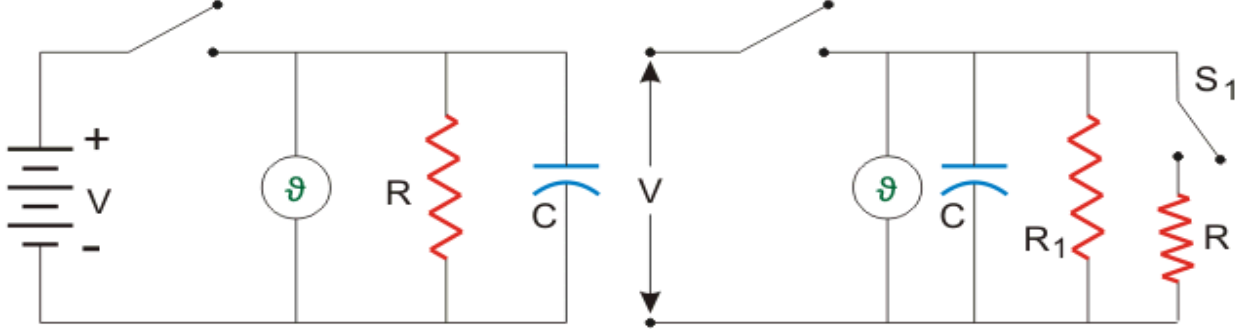
a) मेगरची रचना (Construction of Megger):

- i) मेगरची रचना (Construction) वरील चित्रात दाखवले आहे.
- ii) मेगरमध्ये एक करंट कॉइल (one current coil) आणि दोन व्होल्टेज कॉइल्स (two voltage coils) V1 आणि V2 आहेत.
- iii) व्होल्टेज कॉइल V1 जनरेटरला जोडलेल्या मॅग्नेटवर (magnet connected to the generator) जाते.
- iv) जेव्हा पी.एम.एम.सी. इन्स्ट्रुमेंटचा पॉइंटर अनंताकडे (towards infinity) वळतो, तेव्हा त्याचा अर्थ असा होतो की व्होल्टेज कॉइल कमकुवत मॅग्नेटिक फील्डमध्ये (weak magnetic field) राहते आणि त्यामुळे खूप कमी टॉर्कचा अनुभव येतो.
- v) जेव्हा कॉइल मजबूत मॅग्नेटिक फील्डच्या (strong magnetic field) आत फिरते तेव्हा कॉइलद्वारे अनुभवलेले टॉर्क (torque experienced by the coil) वाढते.
- vi) कॉइल पोल फेस (pole faces) अंतर्गत जास्तीत जास्त टॉर्क अनुभवते (experience the maximum torque) आणि रेझिस्टन्स स्केलच्या (resistance scale) शून्य टोकाला पॉइंटर सेट करते (the pointer set at the zero end).

x) जे दर्शविते की रेझिस्टन्समध्ये (resistance) उच्च इन्सुलेशन (high insulation) आहे, कमी रेझिस्टन्ससाठी (low resistance), पॉइंटर शून्याकडे सरकतो (the pointer moves towards zero).

2) लॉस ऑफ चार्ज पद्धत (Loss of charge method):

या पद्धतीत आपण अननोन रेझिस्टन्स (unknown resistance) R चे मूल्य (value) शोधण्यासाठी डिस्चार्जिंग कॅपेसिटरमधील व्होल्टेजचे समीकरण (equation of voltage across a discharging capacitor) वापरतो. खालील आकृती सर्किट आकृती दर्शवते (circuit diagram) आणि त्यात समाविष्ट असलेली समीकरणे (equations) आहेत.



आकृती क्र.1.9.13 लॉस ऑफ चार्ज पद्धत (Loss of charge method)

$$v = Ve^{-\frac{t}{RC}}$$

$$R = \frac{0.4343t}{C \log_{10} V/v}$$

तथापि, वरील केस (case) कॅपेसिटरचा गळती प्रतिरोध नाही (no leakage resistance of the capacitor) असे गृहीत धरते. म्हणून याचा विचार करण्यासाठी आपण वरील दुसऱ्या आकृतीत दाखवलेले सर्किट वापरतो. R_1 हा C चा लिकेज रेझिस्टन्स (leakage resistance) आहे आणि R हा अननोन रेझिस्टन्स (unknown resistance) आहे. आपण तीच पद्धत फॉलो करतो पण प्रथम S_1 बंद (Close) आणि पुढे स्विच S_1 चालू (open) करून.

$$R' = \frac{0.4343t}{C \log_{10} V/v}$$

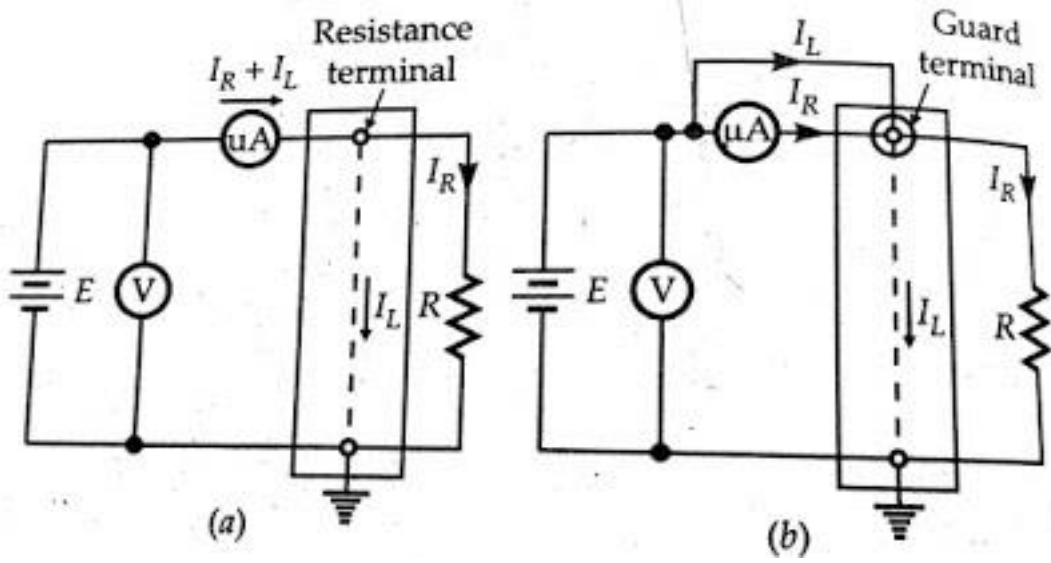
$$\text{Where, } R' = \frac{RR_1}{R + R_1}$$

स्विच ओपन असलेल्या दुसऱ्या केससाठी आपणास मिळेल

$$R_1 = \frac{0.4343t}{C \log_{10} V/v}$$

R' च्या समीकरणात वरील समीकरणातून R_1 वापरून आपण R शोधू शकतो.

3) डायरेक्ट डिफ्लेक्शन पद्धत (Direct deflection method):



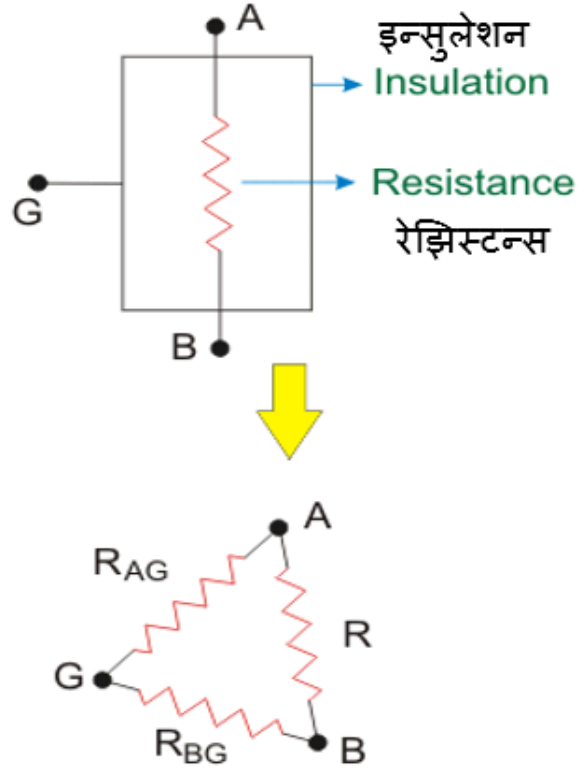
आकृती क्र.1.9.14 डायरेक्ट डिफ्लेक्शन पद्धत (Direct deflection method)

डायरेक्ट डिफ्लेक्शन पद्धत (direct deflection method) ही वरील आकृती-(b) ची आहे. केबल्सच्या इन्सुलेशन रेझिस्टन्ससारख्या (insulation resistance of cables) उच्च रेझिस्टन्ससाठी (high resistances), डी'अर्सनव्हल प्रकारचा (d'Arsonval type) एक सेन्सिटिव्ह गॅल्व्हनोमीटर (sensitive galvanometer) (सामान्यतः 1 मीटरच्या स्केल अंतरावर 1000 mm/μA करंट सेन्सिटिव्हिटी (current sensitivity) असलेला) मायक्रोमीटरच्या (microammeter) जागी वापरला जातो. खरं तर, गॅल्व्हनोमीटरचे अनेक सेन्सिटिव्ह प्रकार 0.1 - 1 nA पासून करंट शोधू (detect) शकतात. म्हणून, 1 kV च्या लागू व्होल्टेजसह (applied voltage), 10^{12} ते 10×10^{12} इतके उच्च रेझिस्टन्स (high resistances) मोजले जाऊ शकतात.

केबलचा इन्सुलेशन रेझिस्टन्स (insulation resistance of a cable) मेजरमेंटसाठी वापरल्या जाणाऱ्या डायरेक्ट डिफ्लेक्शन पद्धतीचे (direct deflection method) उदाहरण खालील आकृतीमध्ये दर्शविले आहे. गॅल्व्हनोमीटर (galvanometer) G कंडक्टर (conductor) आणि मेटल शीथमधील (metal Sheath) करंट I_R मोजतो. लिकेज करंट (leakage current) I_L , इन्सुलेटिंग सामग्रीवर (insulating material), इन्सुलेशनवरील गार्ड वायरच्या (guard wire) द्वारे वाहून जाते आणि त्यामुळे गॅल्व्हनोमीटरमधून वाहत नाही.

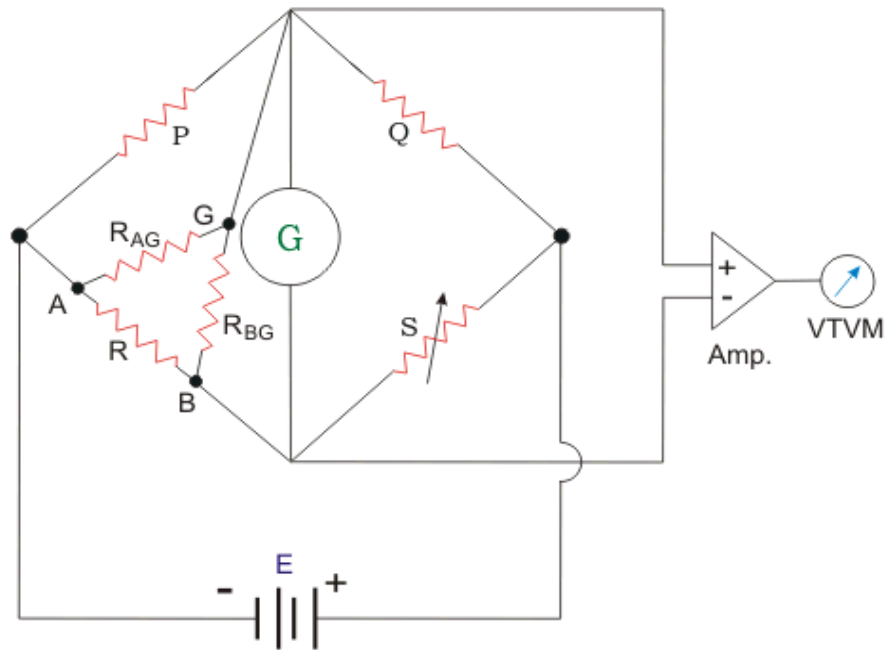
4) मेगा ओहम ब्रिज पद्धत (Mega ohm bridge method):

या पद्धतीत प्रसिद्ध व्हीटस्टोन ब्रिज तत्त्वज्ञान (Wheatstone bridge philosophy) वापरतो परंतु थोड्या सुधारित पद्धतीने (slightly modified way). खालील आकृतीप्रमाणे उच्च रेझिस्टन्स (high resistance) दर्शविला आहे.



आकृती क्र.1.9.15 मेगा ओहम ब्रिज पद्धत (Mega ohm bridge method)

G हे गार्ड टर्मिनल (guard terminal) आहे. आता आपण वरील आकृतीमध्ये दर्शविल्याप्रमाणे रेझिस्टर (Resistor) देखील दर्शवू शकतो, जेथे R_{AG} आणि R_{BG} हे लिकेज रेझिस्टन्स (leakage resistances) आहेत. मेजरमेंटसाठी सर्किट खालील आकृतीमध्ये दर्शविले आहे.



आकृती क्र.1.9.16 मेगा ओहम ब्रिज मेजरमेंट सर्किट (Mega ohm bridge measurement circuit)

हे पाहिले जाऊ शकते की आपण R आणि R_{AG} चे समांतर संयोजन (parallel combination) असलेले रेसिस्टन्स प्रत्यक्षात प्राप्त करतो (actually obtain the resistance). जरी यामुळे खूप क्षुल्लक एरर (very insignificant error) उद्भवते.

स्व-अध्ययन (Exercise):

- 1) मेजरमेंट (measurement) म्हणजे काय?
- 2) मेजरींग इन्स्ट्रुमेंटची (Measuring Instruments) स्थिर आणि गतिमान वैशिष्ट्ये (Static and Dynamic Characteristics) कोणती आहेत?
- 3) मेजरमेंटमधील (Measurement) एररचे (Error) प्रकार कोणते आहेत?
- 4) इन्स्ट्रुमेंटचे (instrument) वर्गीकरण (classification) कसे केले जाते?
- 5) इन्स्ट्रुमेंटमधील वेगवेगळ्या प्रकारचे टॉर्क (Torque) स्पष्ट करा.
- 6) कॅलिब्रेशन (Calibration) म्हणजे काय? कॅलिब्रेशनची गरज सांगा आणि त्याची प्रक्रिया (Procedure) सांगा.
- 7) पी.एम.एम.सी. इन्स्ट्रुमेंटची रचना (Construction) आणि कार्याचे (Working) वर्णन करा.
- 8) पी.एम.एम.आय. इन्स्ट्रुमेंटची रचना (Construction) आणि कार्याचे (Working) वर्णन करा.
- 9) पी.एम.एम.आय. (PMMI) आणि पी.एम.एम.आय. (PMMC) इन्स्ट्रुमेंटची तुलना करा.
- 10) Ammeter आणि Voltmeter ची श्रेणी (Range) कशी वाढवायची?
- 11) मूल्यांच्या श्रेणीसह (range of values) रेसिस्टन्सचे (resistance) वर्गीकरण (classification) द्या.
- 12) कमी (low), मध्यम (medium) आणि उच्च (high) रेसिस्टन्सच्या (resistances) मेजरमेंटच्या पद्धतींची यादी करा.

संदर्भग्रंथ (Bibliography):

- 1) Electrical and Electronic Measurement and Instrumentation by A.K.Sawhney.
- 2) Electronics and Electrical Measurements and Instrumentation by J.B.Gupta.
- 3) Electrical and Electronic Measurement and Instrumentation by R.K.Rajput
- 4) Principles of Industrial Instrumentation by Patranabis D.

माहिती संकेतस्थळ (Information Websites):

- 1) <https://circuitglobe.com/types-of-transducer.html>
- 2) <https://www.electrical4u.com/linear-variable-differential-transformer/>
- 3) <https://www.elprocus.com/pressure-transducer-working-and-its-applications/>
- 4) <https://www.electrical4u.com/piezoelectric-transducer/>

युनिट-2

पॉवर आणि एनर्जीचे मोजमाप.

(Measurement of Power and Energy)

विषय निष्पत्ती (Course Outcome):

योग्य मीटर वापरून अचूकपणे विद्युत पॉवर आणि एनर्जी मोजा.

(Measure precisely electrical power and energy using appropriate meters.)

थिअरी लर्निंगसह मॅप केलेली शिक्षण सामग्री परिणाम (TLOs) आणि (COs) (Learning content mapped with Theory Learning Outcomes (TLO's) and (CO's)):

TLO 2.1 Describe the working of the dynamometer wattmeter with the help of neat sketch.

(स्केचच्या मदतीने डायनामोमीटर वॉटमीटरच्या कार्याचे वर्णन करा.)

TLO 2.2 Describe the procedure for measuring power using appropriate method.

(योग्य पद्धत वापरून शक्ती मोजण्याच्या प्रक्रियेचे वर्णन करा.)

TLO 2.3 Justify the effect of Power factor on wattmeter reading in two wattmeter method.

(दोन वॉटमीटर पद्धतीने वॉटमीटर रिडींग वर पॉवर फॅक्टरचा प्रभाव प्रमाणित करा.)

TLO 2.4 Describe the working of MDI and four quadrant meters with neat labelled sketch.

(लेबल केलेल्या स्केचसह एम.डी.आय आणि चार क्वाड्रंट मीटरच्या कार्याचे वर्णन करा.)

TLO 2.5 Describe the working of a given type of energy meter with help of block diagram.

(ब्लॉक डायग्रामच्या मदतीने दिलेल्या प्रकारच्या ऊर्जा (एनर्जी) मीटरच्या कार्याचे वर्णन करा.)

TLO 2.6 Describe the working of a given digital energy meter and smart energy meter with neat sketch.

(दिलेल्या डिजिटल एनर्जी मीटर आणि स्मार्ट एनर्जी मीटरच्या कामाचे स्पष्ट स्केचसह वर्णन करा.)

परिचय (Introduction):

• इलेक्ट्रिक पॉवर (Electrical Power):

इलेक्ट्रिक पॉवर हे व्होल्टेज आणि करंटचा गणुकार (product) आहे. इलेक्ट्रिक पॉवर ही 'P' द्वारे दर्शविली जाते आणि ती वॉट्स (watts) मध्ये मोजली जाते.

$$\text{इलेक्ट्रिकल पॉवर, } P = V * I \quad \text{.....(i)}$$

$$V = I * R,$$

$$\text{इलेक्ट्रिकल पॉवर, } P = I^2 * R = V^2 / R \quad \text{.....(ii)}$$

म्हणजेच,

$$P = \text{पॉवर}$$

$$V = \text{पोटेन्शियल डिफरन्स}$$

$$I = \text{करंट}$$

$$R = \text{रेझिस्टन्स}$$

इलेक्ट्रिक पॉवरचे मापन (measurement) करण्यासाठी डायनामोमीटर प्रकारचे वॉटमीटर वापरले जाते

• इलेक्ट्रिकल एनर्जी (Electrical Energy):

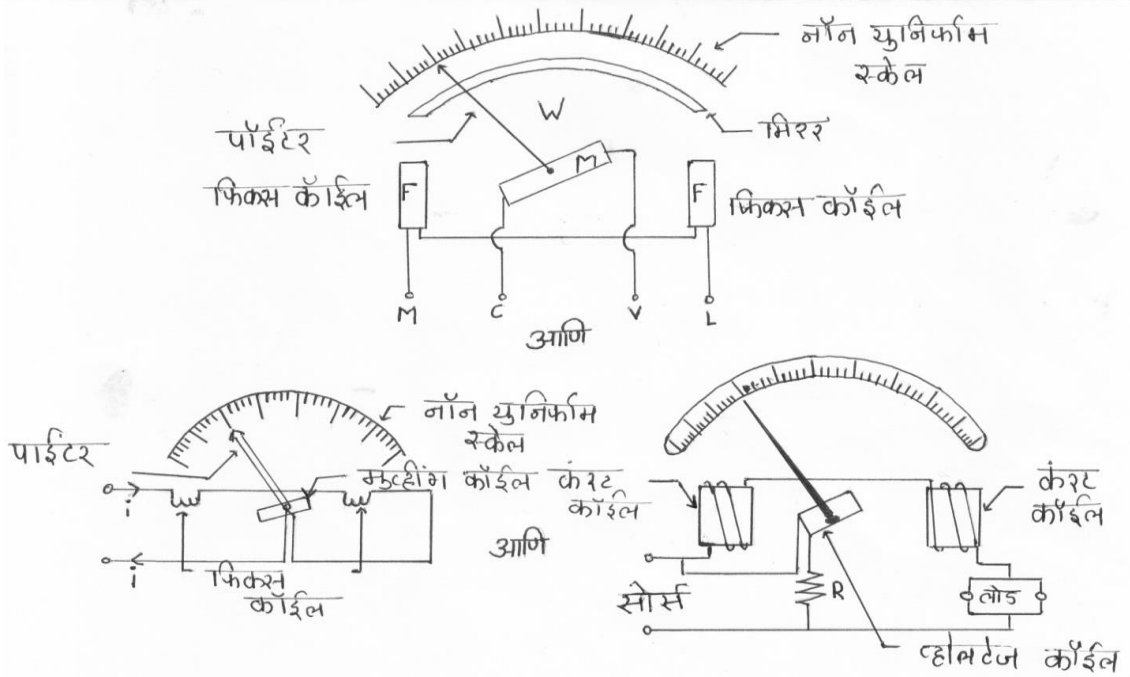
इलेक्ट्रिकल एनर्जी म्हणजे पॉवर आणि वेळेचा (time) गुणाकार (product). जर इलेक्ट्रिकल करंट (I) ऑपिअर, कंडक्टरमधून त्याच्या पोटेन्शियल डिफरन्स (V) वॉल्ट्सद्वारे, (t) सेकंदासाठी वाहत आहे, तर

$$\text{इलेक्ट्रिकल एनर्जी} = E = V * I * t \text{ Joules}$$

इलेक्ट्रिक उर्जेचे एकक (unit) वॉट हवर (watt hour) किंवा kWh आहे.

इलेक्ट्रिक एनर्जी मापन करण्यासाठी इंडक्शन कार्य प्रणालीवर आधारित एनर्जी मीटर वापरले जाते.

2.1 डायनामोमीटर वॉटमीटरचे बांधकाम आणि कार्य, मल्टिप्लायिंग फॅक्टर: (Construction and working of dynamometer wattmeter, multiplying factor):



आकृती क्र. 2.1 डायनामोमीटर वॉटमीटर (Dynamometer Type Wattmeter)

• बांधकाम (Construction):

- 1) आकृती मध्ये डायनामोमीटर प्रकारच्या वॉटमीटरचे बांधकाम (construction) दर्शविले आहे. यात दोन एकसारख्या (आयडेंटिकल) फिक्स कॉइल (coil) आणि एक मुव्हिंग कॉइल, मिरर, स्केल आणि पॉइंटर असतात. दोन फिक्स कॉइलमधील अंतरामध्ये, एक मुव्हिंग कॉइल ठेवली जाते जी स्पिंडलला जोडलेली असते.
- 2) डायनामोमीटर टाईप वॉटमीटरची फिक्स कॉइल करंट कॉइल (CC) म्हणून ओळखली जाते आणि लोड सोबत सिरीज मध्ये जोडलेली असते. M आणि L हे करंट कॉइलचे टर्मिनल आहेत. मुव्हिंग कॉइलमधून वाहणारा करंट जाण्यासाठी, एक उच्च (हाय) रेझिस्टन्स हा मुव्हिंग कॉइलसह सिरीजमध्ये जोडला जातो आणि त्याचे सर्किट प्युअर रेझिस्टीव्ह बनवले जाते. या कॉइलला व्होल्टेज किंवा प्रेशर कॉइल (PC) म्हणतात. व्होल्टेज कॉइल लोडला समांतर (पॅरलल) मध्ये जोडलेली आहे.
- 3) मुव्हिंग कॉइलला पायवोटेड स्पिंडलद्वारे (Pivoted spindle) सपोर्ट केला जातो आणि फिक्स करंट कॉइलद्वारे वाऊंड केले जाते. कंट्रोलिंग टॉर्क (Controlling torque) तयार करण्यासाठी स्प्रिंग (Spring) कंट्रोलचा वापर केला जातो.
- 4) डॅम्पिंग टॉर्क (Damping Torque) तयार करण्यासाठी एअर फ्रिक्शन डॅम्पिंगचा (Air Friction Damping) वापर केला जातो. डायनामोमीटर टाईप वॉटमीटरची स्केल (Scale) नॉन युनिफॉर्म असते. पॅरॉलॅक्स एरर (Parallax error) मुळे होणाऱ्या चुका कमी करण्यासाठी मिरर आणि नाईफ एज (Knife Edge) पॉइंटर वापरला जातो.

• कामाचे तत्व (Working Principle):

- 1) करंट वाहून नेणारी मुव्हिंग कॉइल दोन फिक्स कॉइलद्वारे तयार केलेल्या चुंबकीय क्षेत्रामध्ये ठेवली जाते. मुव्हिंग कॉइलवर फोर्स लावला जातो. तो खालील प्रमाणे,

$$F = BIL \sin\theta$$

म्हणजेच,

- F = मुव्हिंग कॉइलचा फोर्स (युनिट न्यूटन)
- B = फ्लक्स घनता (density) (युनिट वेबर)
- I = करंट (युनिट ॲंपिअर)
- L = कंडक्टरची लांबी (युनिट मीटर)

2) हा फोर्स पॉइंटरचे डिफ्लेक्शन देतो तसेच लोडद्वारे वापरल्या जाणाऱ्या पॉवरच्या प्रपोरशनल मध्ये असतो. उत्पादित डिफ्लेक्टिंग टॉर्क (T_d) हा करंट कॉइल मधून वाहणाऱ्या करंट आणि व्होल्टेज कॉइलचा करंट आणि पॉवर फॅक्टर यांच्या गुणाकारा इतका असतो.

$$T_d \propto i_{cc} \times i_{pc} \times \cos \phi \dots\dots\dots (1)$$

म्हणजेच,

i_{cc} = करंट कॉइलमधून वाहणारा करंट

i_{pc} = व्होल्टेज कॉइलमधून वाहणारा करंट

$\cos \phi$ = पॉवर फॅक्टर

3) करंट कॉइलमधून करंट वाहतो आणि करंट कॉइल ही लोड सोबत सिरीज मध्ये जोडलेली असते

$$i_{cc} = I_L \dots\dots\dots (2)$$

आणि

$$i_{pc} = V / R_{pc} \dots\dots\dots (3)$$

R_{pc} = प्रेशर कॉइलचा रेजिस्टन्स

V = प्रेशर कॉइलचा व्होल्टेज

समीकरण 2, 3 आणि समीकरण 1 मधून i_{cc} आणि i_{pc} चे व्हॅल्यू बदला, त्यामुळे

$$T_p \propto I_L \times V / R_{pc} \times \cos \phi \dots\dots\dots (4)$$

R_{pc} कॉन्स्टन्ट घेऊन,

$$T_d \propto V \times I_L \times \cos \phi \dots\dots\dots (5)$$

परंतु,

$$V \times I_L \times \cos \phi = \text{Power} = P$$

त्यामुळे,

$$T_d \propto P$$

अशा पद्धतीने हे मीटर इलेक्ट्रिक पॉवरचे मोजमाप करते.

• **डायनामोमीटर टाईप वॅटमीटरचे फायदे (Advantages of Dynamometer Type Wattmeter):**

- 1) ही उपकरणे हिस्टेरिसिस आणि एडी करंट लॉसपासून मुक्त (Free) आहेत कारण या मध्ये जी कॉइल वापरतात ती कॉइल एअर कोअर (core) असते.
- 2) डायनामोमीटर टाईप वॅटमीटरची अचूकता (Accuracy) ही प्रिंसीजन ग्रेड आहे.
- 3) डायनामोमीटर टाईप वॅटमीटर हे ट्रान्सफर इंस्ट्रुमेंट्स म्हणून खूप उपयुक्त आहेत.
- 4) डायनामोमीटर टाईप वॅटमीटर हे ए.सी. (A.C.) आणि डी.सी. (D.C.) या दोन्हीच्या मापनासाठी वापरले जाते.

• **डायनामोमीटर टाईप वॅटमीटरचे तोटे: (Disadvantages of Dynamometer Type Wattmeter):**

- 1) डायनामोमीटर टाईप वॅटमीटरची स्केल नॉन-युनिफॉर्म आहे.
- 2) यात टॉर्क-वेट रेशिओ (गुणोत्तर) लो (कमी) आहे आणि त्यामुळे या मीटरची संवेदनशीलता (Sensitivity) कमी आहे.
- 3) लो (कमी) टॉर्क-वेट रेशिओ (गुणोत्तर) असल्यामुळे, फ्रिक्शनल (घर्षण) लॉसेस (नुकसान) जास्त आहे.
- 4) हे मीटर अधिक महाग आहे.
- 5) एअर कोअर कॉइल्समुळे, यामध्ये कमकुवत चुंबकीय क्षेत्र (magnetic field) असते आणि वाहणारा करंट मोठा असतो.
- 6) ओव्हरलोड आणि यांत्रिक (mechanical) प्रभावांना ही उपकरणे संवेदनशील असतात.
- 7) भटक्या चुंबकीय क्षेत्रांचा (stray magnetic field) सहज परिणाम होतो.

• **मल्टिप्लायिंग फॅक्टर आणि रेंज एक्सटेंशन (श्रेणीचा विस्तार) (Multiplying Factor and Range Extension):**

• **मल्टिप्लायिंग फॅक्टर (Multiplying factor):-**

मल्टिप्लायिंग फॅक्टर म्हणजे करंट कॉइलची रेंज आणि व्होल्टेज कॉइलची रेंज आणि वॅटमीटरच्या फुल स्केल डिफ्लेक्शन यांच्या रेशिओ प्रॉडक्ट एवढा असतो.

मल्टिप्लायिंग फॅक्टर = (करंट कॉइलची रेंज X व्होल्टेज कॉइलची रेंज) / वॉटमीटरचे फुल स्केल डिफ्लेक्शन.

• **मल्टिप्लायिंग फॅक्टरवरील उदाहरणे(Numerical on Multiplying Factor) :**

1) सर्किटमध्ये, 15 अँपिअर, 400 व्होल्ट आणि 1500 वॉट्स फुल स्केल डिफ्लेक्शन असलेल्या वॉटमीटरने पॉवर मोजली जाते. रीडिंग 750 वॉट्स होते. लोडद्वारे किती पॉवर वापरली गेली ते शोधा?

उत्तर: दिलेला डेटा:

करंट रेंज = 15 A

व्होल्टेज रेंज = 400 V

फुल स्केल डिफ्लेक्शन = 1500 W

वॉटमीटर रीडिंग = 750 W

शोधण्यासाठी:

1) लोडद्वारे पॉवर वापरली जाते

लोड द्वारे वापरलेली पॉवर = मल्टिप्लायिंग फॅक्टर X वॉटमीटर रीडिंग

आपल्याला प्रथम मल्टिप्लायिंग फॅक्टर शोधावा लागेल त्यामुळे,

मल्टिप्लायिंग फॅक्टर = करंट कॉइलची रेंज X व्होल्टेज कॉइलची रेंज / वॉटमीटरचे फुल स्केल डिफ्लेक्शन

$$= 15 \times 400 / 1500$$

$$= 0.4$$

1) लोडद्वारे पॉवर वापरली जाते

लोड द्वारे वापरलेली पॉवर = मल्टिप्लायिंग फॅक्टर X वॉटमीटर रीडिंग

$$= 0.4 \times 750$$

$$= 3000 \text{ वॉट्स}$$

2) 500 व्होल्ट, 5 अँपिअरसाठी सिंगल फेज वॉटमीटरमध्ये 1000 वॉटचे फुल स्केल डिफ्लेक्शन आहे. वॉटमीटरचा मल्टिप्लायिंग फॅक्टर काय आहे?

उत्तर: दिलेला डेटा:

करंट रेंज = 5 A

व्होल्टेज रेंज = 500 V

फुल स्केल डिफ्लेक्शन = 1000 W

मल्टिप्लायिंग फॅक्टर = करंट कॉइलची रेंज X व्होल्टेज कॉइलची रेंज / वॉटमीटरचे फुल स्केल डिफ्लेक्शन

$$= 5 \times (500 / 1000)$$

$$= 2.5$$

3) वॉटमीटरला 600 व्होल्ट, 1500 वॉट फुल स्केल डिफ्लेक्शन 5/10 अँपिअरसाठी रेट केले जाते. 10 अँपिअर रेंजवर वापरल्यास, मल्टिप्लायिंग फॅक्टर शोधा.

उत्तर: दिलेला डेटा:

करंट रेंज = 10 A

व्होल्टेज रेंज = 600 V

फुल स्केल डिफ्लेक्शन = 1500 W

मल्टिप्लायिंग फॅक्टर = करंट कॉइलची रेंज X व्होल्टेज कॉइलची रेंज / वॉटमीटरचे फुल स्केल डिफ्लेक्शन

$$= 10 \times (600 / 1500)$$

$$= 4$$

4) वॉटमीटर 1500 वॉट, फुल स्केल डिफ्लेक्शन चे मल्टिप्लायिंग फॅक्टर शोधा, जेव्हा करंट आणि व्होल्टेज रेटिंग अनुक्रमे 15 अँपिअर आणि 600 व्होल्ट असतात.

मल्टिप्लायिंग फॅक्टर = करंट कॉइलची रेंज X व्होल्टेज कॉइलची रेंज / वॉटमीटरचे फुल स्केल डिफ्लेक्शन

$$\text{मल्टिप्लायिंग फॅक्टर} = (15 \times 600) / 1500$$

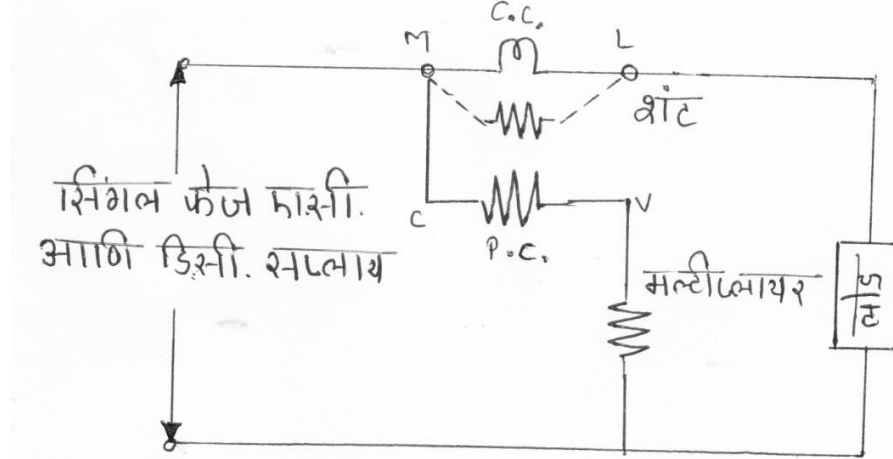
$$= 6$$

• **रेंज एक्सटेंशन (श्रेणीचा विस्तार) (Range Extension):**

वॅटमीटरची अचूकता (accuracy) वाढवण्यासाठी, रेंज एक्सटेंशन (श्रेणीचा विस्तार) केला जातो. खालील पद्धतींचा वापर करून वॅटमीटरची रेंज एक्सटेंशन (श्रेणीचा विस्तार) केला जाऊ शकतो.

1. शंट आणि मल्टिप्लायर (गुणक) वापरून रेंज एक्सटेंशन (श्रेणीचा विस्तार)
2. CT आणि PT वापरून रेंज एक्सटेंशन (श्रेणीचा विस्तार)

1. शंट आणि मल्टिप्लायर (गुणक) वापरून रेंज एक्सटेंशन (श्रेणीचा विस्तार) (Range Extension using Shunt and Multiplier):

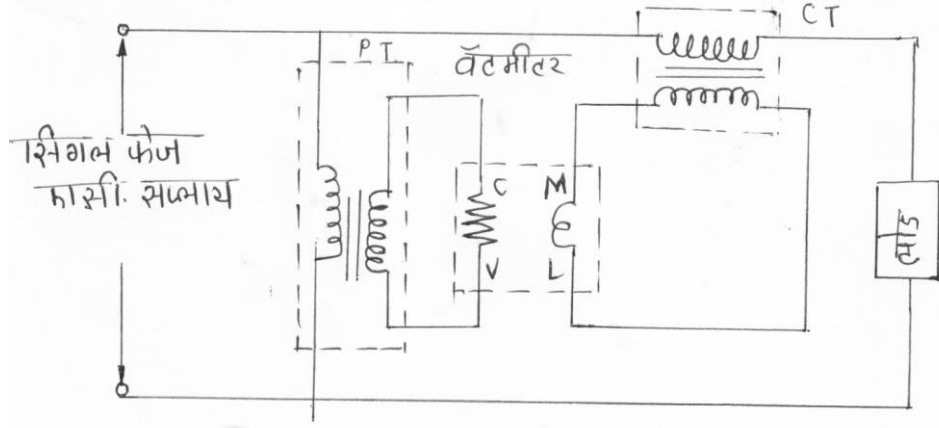


आकृती क्र. 2.2 शंट आणि मल्टिप्लायर (गुणक) वापरून रेंज एक्सटेंशन (श्रेणीचा विस्तार) (Range Extension using Shunt and Multiplier)

- 1) आकृती मध्ये शंट आणि मल्टिप्लायर (गुणक) वापरून वॅटमीटर रेंज एक्सटेंशन (श्रेणी विस्ताराची) व्यवस्था दर्शवली आहे, वॅटमीटर रेंज एक्सटेंशन विस्तारासाठी, शंट करंट कॉइलमध्ये जोडलेले आहे आणि मल्टिप्लायर (गुणक) प्रेशर कॉइलसह सिरीजमध्ये जोडलेले आहे.
- 2) शंट रेसिस्टन्सचे मूल्य लो (कमी) आहे आणि मल्टिप्लायर (गुणक) रेसिस्टन्सचे मूल्य हाय (जास्त) आहे. लो (कमी) शंट रेसिस्टन्स व्हॅल्यू असल्यामुळे उच्च विद्युत् करंट हा शंट रेसिस्टन्स मधून वाहतो आणि उच्च मल्टिप्लायर (गुणक) रेसिस्टन्स व्होल्टेज कॉइलमधील करंट ला विरोध करतो.

2. करंट ट्रान्सफॉर्मर CT आणि पोटेशिअल ट्रान्सफॉर्मर PT वापरून रेंज एक्सटेंशन (श्रेणी विस्तार) (Range Extension using CT and PT):

- 1) आकृती मध्ये CT आणि PT वापरून वॅटमीटरच्या रेंज एक्सटेंशन (श्रेणी विस्ताराची) व्यवस्था दर्शवते. या व्यवस्थेमध्ये CT आणि PT यांचा समावेश आहे.
- 2) पोटेशिअल ट्रान्सफॉर्मर (PT) संपूर्ण पुरवठ्यावर जोडलेला असतो आणि करंट ट्रान्सफॉर्मर (CT) लोडसह सिरीज जोडलेला असतो.
- 3) PT च्या सेकंडरी भागामध्ये, वॅटमीटरची प्रेशर कॉइल जोडलेली असते आणि वॅटमीटरची करंट कॉइल सीटीच्या सेकंडरी भागामध्ये जोडलेली असते.
- 4) करंट कॉइल आणि प्रेशर कॉइलद्वारे करंटच्या व्यावहारिक समायोजनामुळे, वॅटमीटर वाचण्याची अचूकता वाढवता येते.



आकृती क्र. 2.3. CT आणि PT वापरून रेंज एक्सटेंशन (श्रेणीचा विस्तार)
(Range Extension using CT and PT)

2.2 ऍक्टिव्ह आणि रिऍक्टिव्ह पॉवर मोजमाप (Active and reactive power measurement: One, two and three wattmeter methods)

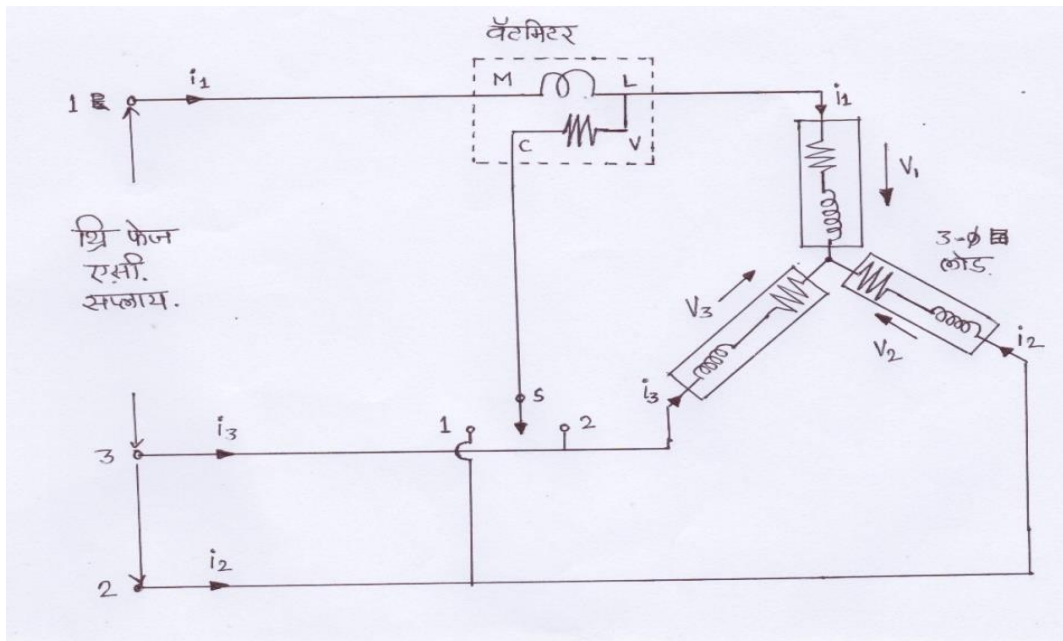
ऍक्टिव्ह पॉवर मोजण्यासाठी, खालील पद्धती वापरल्या जातात.

- 1) एक वॉटमीटर पद्धत
- 2) दोन वॉटमीटर पद्धत
- 3) तीन वॉटमीटर पद्धत

प्रत्येक पद्धतीचे तपशीलवार वर्णन खालीलप्रमाणे आहे.

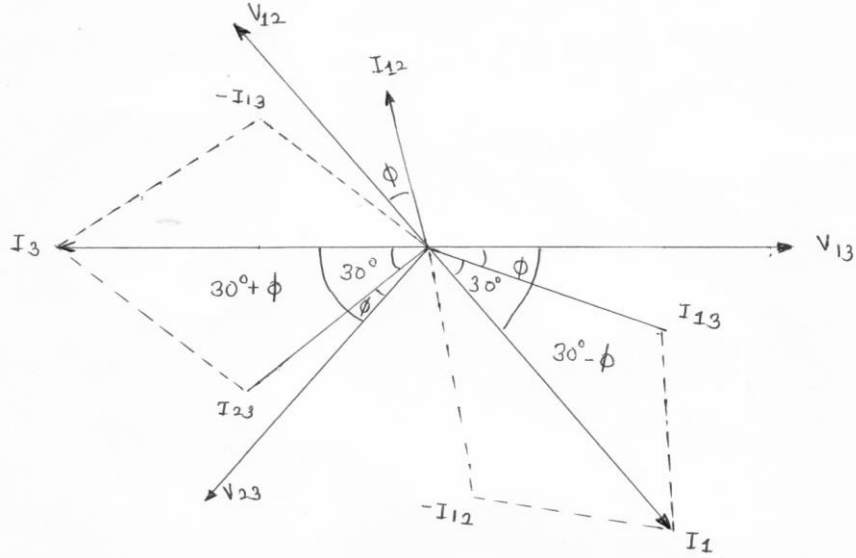
1) एक वॉटमीटर पद्धत (One Wattmeter Method):

1) आकृती मध्ये एक वॉटमीटर वापरून थ्री फेज थ्री वायर बॅलन्स (संतुलित) प्रणालीमध्ये पॉवर मोजण्यासाठी सर्किट व्यवस्था दर्शवते. यामध्ये बॅलन्स (संतुलित) तीन फेज, तीन वायर सिस्टीम असते ज्यामध्ये तारा जोडलेल्या लोडसाठी कोणत्याही एका टप्प्यात एक वॉटमीटर जोडलेले असते (या सिस्टीमसाठी वॉटमीटर 1 फेजमध्ये जोडलेले असते).



आकृती क्र. 2.4 सर्किट डायग्राम: एक वॉटमीटर पद्धत (One Wattmeter Method)

- 2) या पद्धतीमध्ये, वॉटमीटर फेज 1 मध्ये लोडच्या बाजूला जोडलेल्या प्रेशर कॉइल्सह जोडलेले आहे. स्वीच S वापरून इतर दोन टप्प्यांशी आळीपाळीने जोडलेल्या प्रेशर कॉइल्सचे दुसरे टोक.
- 3) अशा प्रकारे प्राप्त झालेल्या दोन वॉटमीटर रीडिंगची बेरीज लोडमधील एकूण पॉवर दर्शवते.



आकृती क्र. 2.5 फेसर डायग्राम (Phasor Diagram)

- जर स्विच S स्थान 1 वर असेल तर वॉटमीटर रीडिंग आहे.

$$W_1 = V_{12} I_1 \cos (30^\circ + \phi)$$

$$W_1 = V_L I_L \cos (30^\circ + \phi) \dots \dots \dots (1)$$

त्याचप्रमाणे, जर स्विच S स्थान 2 वर असेल तर वॉटमीटर रीडिंग आहे

$$W_2 = V_{13} I_1 \cos (30^\circ - \phi)$$

$$W_2 = V_L I_L \cos (30^\circ - \phi) \dots \dots \dots (2)$$

म्हणून, एकूण पॉवर (P) द्वारे दिली जाते

$$P = W_1 + W_2$$

$$P = V_L I_L \cos (30^\circ + \phi) + V_L I_L \cos (30^\circ - \phi)$$

$$P = V_L I_L [\cos (30^\circ + \phi) + \cos (30^\circ - \phi)]$$

$$P = V_L I_L [\cos 30^\circ \times \cos \phi \sin 30^\circ \times \sin \phi + \cos 30^\circ \times \cos \phi - \sin 30^\circ \times \sin \phi]$$

$$P = V_L I_L [2 \cos 30^\circ \times \cos \phi]$$

$$\text{पण } \cos 30^\circ = \sqrt{3}/2$$

$$P = V_L I_L [2 (\sqrt{3}/2) \times \cos \phi]$$

त्यामुळे

$$P = \sqrt{3} * V_L I_L \cos \phi$$

एका वॉटमीटर पद्धतीचे फायदे (Advantages):

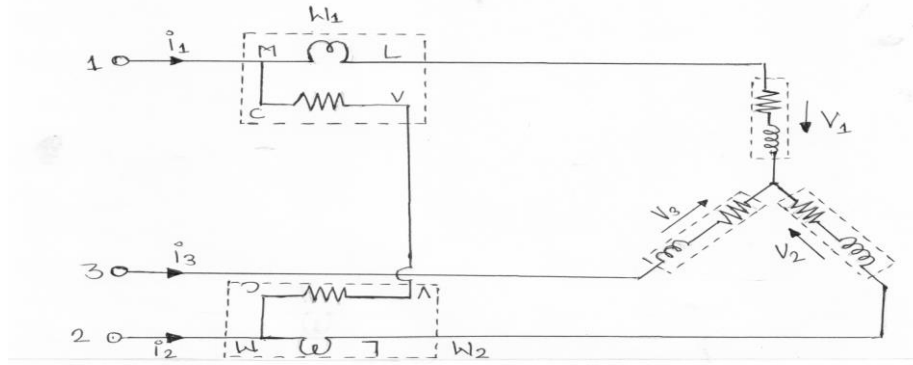
- 1) फक्त एक वॉटमीटर वापरले जाते.
- 2) कनेक्शनची कमी संख्या.
- 3) आवश्यक खर्च कमी आहे.

एका वॉटमीटर पद्धतीचे तोटे (Disadvantages):

- 1) फक्त संतुलित लोडसाठी वापरले जाते
- 2) हे असंतुलित लोडसाठी वापरले जाऊ शकत नाही
- 3) ते तारा जोडणीसाठी वापरले जाते नंतर तटस्थ बिंदू उपलब्ध असणे आवश्यक आहे

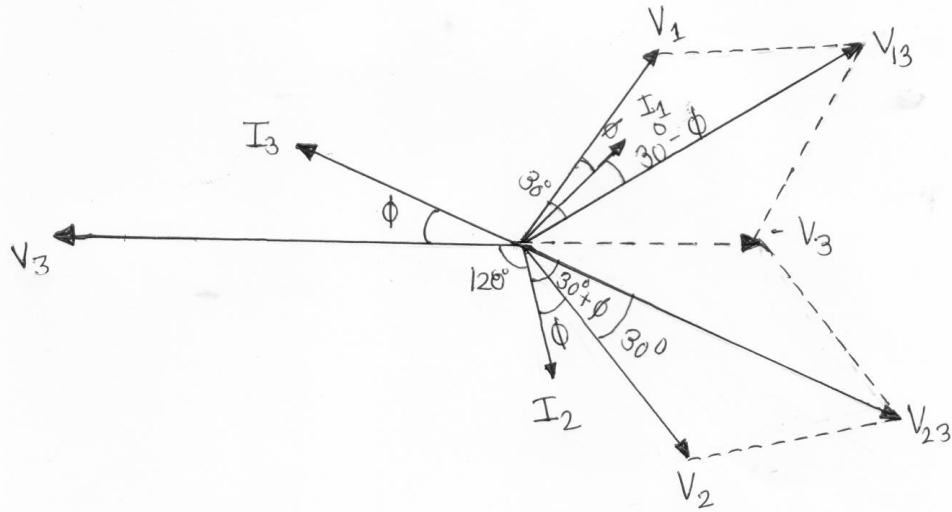
4) करंट कॉइल जोडण्यासाठी डेल्टा कनेक्शन उघडणे आवश्यक आहे.

2) दोन वॉटमीटर पद्धत (Two Wattmeter Method):



आकृती क्र. 2.6 सर्किट डायग्राम: दोन वॉटमीटर पद्धत (Two Wattmeter Method)

- 1) तीन फेज थ्री वायर सर्किटमध्ये पॉवर मोजण्यासाठी दोन वॉटमीटर पद्धती वापरल्या जातात.
- 2) आकृती दोन वॉटमीटर पद्धती वापरून थ्री फेज थ्री वायर स्टार कनेक्ट बॅलन्स (संतुलित) प्रणालीमध्ये पॉवर मोजण्यासाठी सर्किट व्यवस्था दर्शवते.
- 3) यात संतुलित तीन फेज, तीन वायर सिस्टीम असते ज्यामध्ये फेज 1 आणि फेज 2 मध्ये दोन वॉटमीटर जोडलेले असतात आणि प्रेशर कॉइल पुरवठा बाजूला जोडलेले असते. दोन वॉटमीटरच्या प्रेशर कॉइलची इतर टोके एकमेकांना जोडलेली असतात.
- 4) आकृतीवरून हे स्पष्ट होते की वॉटमीटर W_1 फेज 1 मध्ये पॉवर रीड करतो.



आकृती क्र. 2.7 फेसर डायग्राम (Phasor Diagram)

$$W_1 = V_{12} I_1 \cos (30^\circ - \phi)$$

$$W_1 = V_L I_L \cos (30^\circ - \phi) \dots \dots \dots (1)$$

त्याचप्रमाणे, वॉटमीटर W_2 फेज 2 मध्ये पॉवर रीडिंग दिले जाते

$$W_2 = V_{23} I_2 \cos (30^\circ + \phi)$$

$$W_2 = V_L I_L \cos (30^\circ + \phi) \dots \dots \dots (2)$$

म्हणून, दोन वॉटमीटरची एकूण पॉवर (P) ही W_1 आणि W_2 ची बेरीज आहे

$$P = W_1 + W_2$$

$$P = V_L I_L \cos (30^\circ - \phi) + V_L I_L \cos (30^\circ + \phi)$$

$$P = V_L I_L [\cos (30^\circ - \phi) + \cos (30^\circ + \phi)]$$

$$P = V_L I_L [\cos 30^\circ \times \cos \phi \sin 30^\circ \times \sin \phi + \cos 30^\circ \times \cos \phi - \sin 30^\circ \times \sin \phi]$$

$$P = V_L I_L [2 \cos 30^\circ \times \cos \phi]$$

$$\text{पण } \cos 30^\circ = \sqrt{3}/2$$

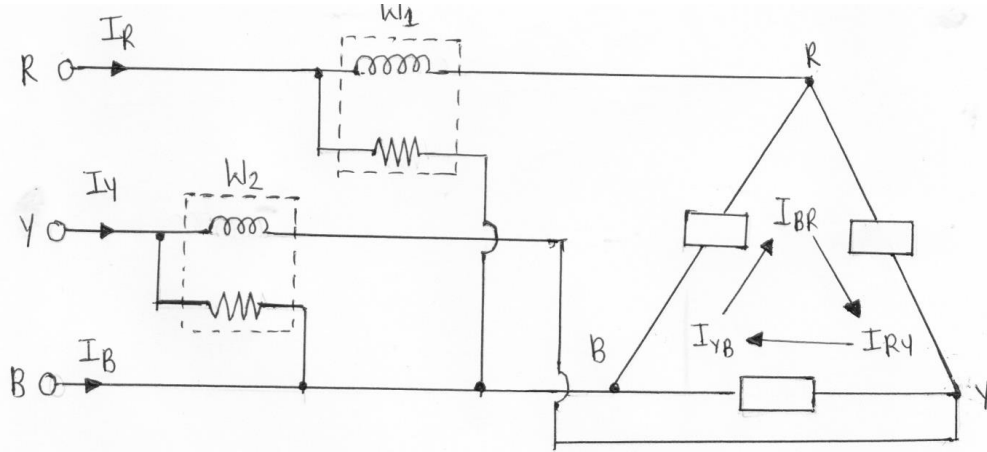
$$P = V_L I_L [2 (\sqrt{3}/2) \times \cos \phi]$$

त्यामुळे

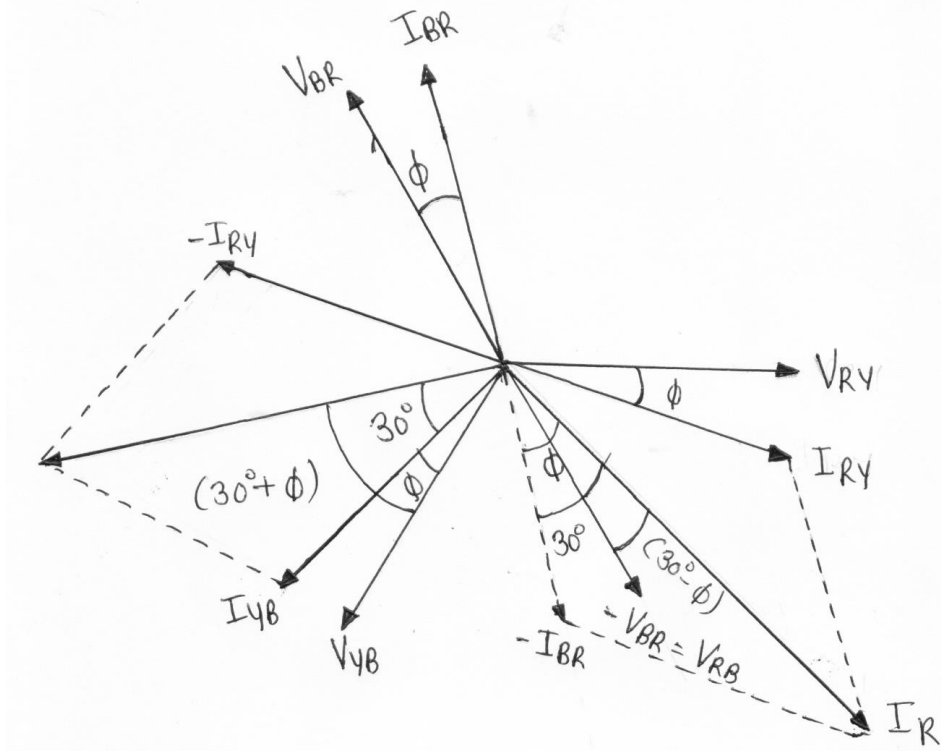
$$P = \sqrt{3} V_L I_L \cos \phi$$

• **डेल्टा कनेक्टेड लोडसाठी दोन वॉटमीटर पद्धत (Two Wattmeter method For Delta connected load) :**

- 1) आकृती दोन वॉटमीटर पद्धती वापरून 3 फेस, 3 वायर डेल्टा कनेक्टेड बॅलन्स (संतुलित) प्रणालीमध्ये पॉवर मोजण्यासाठी सर्किट व्यवस्था दर्शवते.
- 2) यामध्ये बॅलन्स (संतुलित) 3 ϕ , 3 वायर प्रणाली असते ज्यामध्ये फेज 1 आणि फेज 2 मध्ये दोन वॉटमीटर जोडलेले असतात आणि प्रेशर कॉइल पुरवठा बाजूला जोडलेले असते. दोन वॉटमीटरच्या प्रेशर कॉइलची इतर टोके एकमेकांना जोडलेली असतात.



आकृती क्र. 2.8 सर्किट डायग्राम: डेल्टा कनेक्टेड लोडसाठी दोन वॉटमीटर पद्धत
(Two Wattmeter method For Delta connected load)



आकृती क्र. 2.9 फेसर डायग्राम (Phasor Diagram)

3) आकृतीवरून हे स्पष्ट होते की, वॉटमीटर W1 फेज 1 मध्ये पॉवर रीड करतो.

$$W1 = V_{13} I_1 \cos (30^\circ - \phi)$$

$$W1 = V_L I_L \cos (30^\circ - \phi) \dots \dots \dots (1)$$

त्याचप्रमाणे, वॉटमीटर W2 फेज 2 मध्ये पॉवर रीड करतो आणि द्वारे दिला जातो.

$$W2 = V_{23} I_2 \cos (30^\circ + \phi)$$

$$W2 = V_L I_L \cos (30^\circ + \phi) \dots \dots \dots (2)$$

म्हणून, दोन वॉटमीटरची एकूण शक्ती (P) ही W1 आणि W2 ची बेरीज आहे

$$P = W_1 + W_2$$

$$P = V_L I_L \cos (30^\circ - \phi) + V_L I_L \cos (30^\circ + \phi)$$

$$P = V_L I_L [\cos (30^\circ - \phi) + \cos (30^\circ + \phi)]$$

$$P = V_L I_L [\cos 30^\circ \times \cos \phi + \sin 30^\circ \times \sin \phi + \cos 30^\circ \times \cos \phi - \sin 30^\circ \times \sin \phi]$$

$$P = V_L I_L [2 \cos 30^\circ \times \cos \phi]$$

$$\text{पण } \cos 30^\circ = \sqrt{3}/2$$

$$P = V_L I_L [2 (\sqrt{3}/2) \times \cos \phi]$$

त्यामुळे

$$P = \sqrt{3} V_L I_L \cos \phi$$

• **दोन वॉटमीटर पद्धतीचा फायदा (Advantages) :-**

- 1) हे संतुलित आणि असंतुलित दोन्ही प्रकारच्या लोडमध्ये पॉवर मोजण्यासाठी वापरले जाते.
- 2) तारा जोडलेल्या प्रणालीच्या बाबतीत तटस्थ वायर जोडण्याची आवश्यकता नाही.
- 3) हे पॉवरसह पॉवर फॅक्टरच्या मोजमापासाठी वाव देते.
- 4) अतिरिक्त वॉटमीटरची आवश्यकता नाही.
- 5) संतुलित लोड वापरून रेअक्टिव्ह पॉवर मोजणे शक्य आहे.

• **दोन वॉटमीटर पद्धतीचा तोटा (Disadvantages) :-**

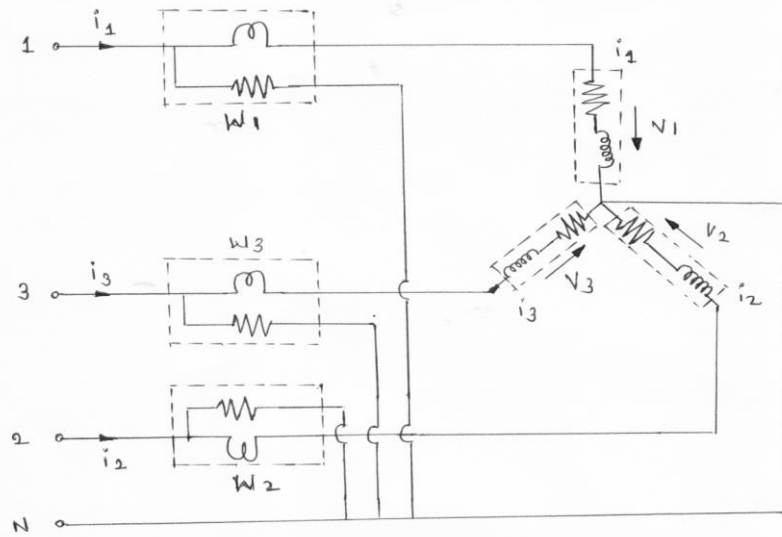
- 1) लोड पॉवर फॅक्टरच्या प्रकारानुसार, वॉटमीटरचे योग्य प्रकार ध्रुवीकरण निवडणे आवश्यक आहे.

- 2) ही पद्धत 3 ϕ , 4 वायर प्रणालीला लागू नाही.
- 3) डेल्टा कनेक्टेड लोड्स वापरून पॉवर मोजण्यासाठी, डेल्टा लोड्स उघडण्याची गरज नाही.

3) तीन वॉटमीटर पद्धती वापरून पॉवर मापन (Three Wattmeter Method):

• स्टार प्रकारामध्ये जोडलेल्या बॅलन्स (संतुलित) लोडसाठी तीन वॉटमीटर पद्धत (Three Watt Meter Method For Star Connected Load) :-

- 1) आकृती मध्ये तीन वॉटमीटर पद्धती वापरून 3 ϕ , 4 वायर सिस्टममध्ये पॉवर मोजण्यासाठी सर्किट व्यवस्था दर्शवते.
- 2) या पद्धतीमध्ये, प्रत्येक वॉटमीटर प्रत्येक टप्प्यात जोडलेले आहे, म्हणजे वॉटमीटर W_1 फेज 1 मध्ये जोडलेले आहे, वॉटमीटर W_2 फेज 2 मध्ये आणि वॉटमीटर W_3 फेज 3 मध्ये जोडलेले आहे.
- 3) ही पद्धत 3 फेज, 4 वायर सर्किटमध्ये पॉवर मोजण्यासाठी वापरली जाते कारण तीन फेजसाठी न्यूट्रल सामान्य आहे, प्रत्येक वॉटमीटर त्याच्या स्वतःच्या टप्प्यात पॉवर रीड करतो आणि लोडची एकूण पॉवर रीडिंगच्या बेरीजद्वारे दिली जाते.
- 4) म्हणजे लोड सर्किटची एकूण पॉवर $P = W_1 + W_2 + W_3$



आकृती क्र.2.9 सर्किट डायग्राम :स्टार कनेक्टेड बॅलन्स (संतुलित) लोडसाठी तीन वॉटमीटर पद्धत (Three Wattmeter Method For Star Connected Load)

- 5) ही पद्धत 3 फेज 4 वायर लोड सर्किटमध्ये पॉवर मोजण्यासाठी उपयुक्त आहे.

• डेल्टा कनेक्टेड बॅलन्स (संतुलित) लोडसाठी तीन वॉटमीटर पद्धत (Three Watt Meter Method For Delta Connected Load):

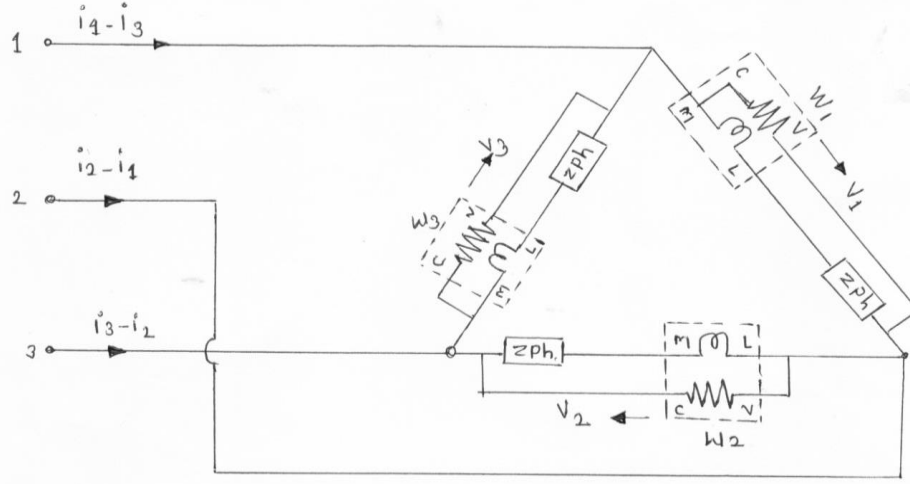
- 1) आकृती मध्ये डेल्टा कनेक्टेड बॅलन्स (संतुलित) लोडसाठी तीन वॉटमीटर पद्धत वापरून 3 ϕ , 3 वायर प्रणालीमध्ये पॉवर मोजण्यासाठी सर्किट व्यवस्था दर्शवते.
- 2) बॅलन्स (संतुलित) लोडसाठी $W_1 = W_2 = W_3 = W$
एकूण पॉवर $P = 3W$
- 3) अनबॅलन्स (असंतुलित) लोडसाठी, $W_1 \neq W_2 \neq W_3$
एकूण पॉवर $P = W_1 + W_2 + W_3$

• तीन वॉटमीटर पद्धतीचा फायदा (Advantages) :-

- 1) बॅलन्स (संतुलित) आणि अनबॅलन्स (असंतुलित) लोडसाठी पॉवर मोजणे शक्य आहे

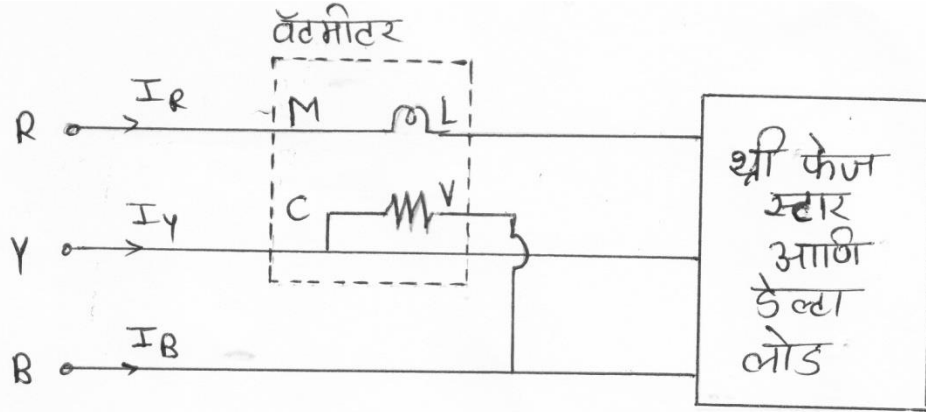
• **तीन वॉटमीटर पद्धतीचा तोटा (Disadvantages):-**

- 1) स्टार कनेक्टेड लोडसाठी तटस्थ बिंदू उपलब्ध असावा.
- 2) डेल्टा कनेक्टेड लोडसाठी जेव्हा पॉवर मापन केले जाते तेव्हा डेल्टा कनेक्ट केलेले लोड उघडले जाऊ नयेत
- 3) यासाठी तीन वॉटमीटरची आवश्यकता असते.



आकृती क्र.2.10 सर्किट डायग्राम: डेल्टा कनेक्टेड बॅलन्स (संतुलित) लोडसाठी तीन वॉटमीटर पद्धत
(Three-Watt Meter Method for Delta Connected Load)

• **एक वॉटमीटर पद्धत वापरून रिएक्टिव्ह पॉवर मापन (Reactive Power Measurement using one wattmeter method):**



आकृती क्र.2.11 सर्किट डायग्राम: एक वॉटमीटर पद्धत वापरून रिएक्टिव्ह पॉवर मापन
(Reactive Power Measurement using one wattmeter method)

- 1) आकृती मध्ये एका वॉटमीटर पद्धतीने 3 फेज लोडमध्ये रिएक्टिव्ह पॉवर मोजण्यासाठी सर्किट व्यवस्था दर्शवते
- 2) वॉटमीटरची करंट कॉइल R फेजशी जोडलेली आहे आणि प्रेशर कॉइल Y आणि B फेजमध्ये जोडलेली आहे.

$$W = V_{YB} \cdot I_R \cos (90^\circ - \phi)$$

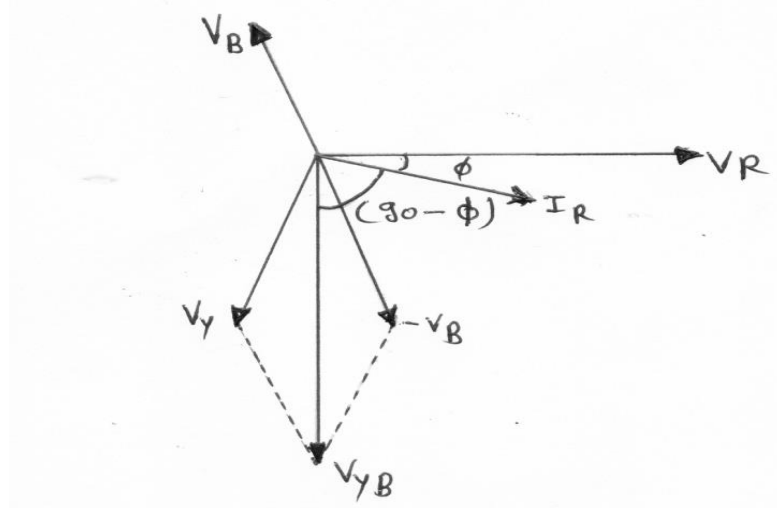
$$W = V_L I_L \cos (90^\circ - \phi)$$

$$W = V_L I_L [\cos 90^\circ \cdot \cos \phi \sin 90^\circ \cdot \sin \phi]$$

$$W = V_L I_L \sin \phi \dots \dots \dots (1)$$

3 फेज लोडमधील एकूण रिएक्टिव्ह पॉवर Q,

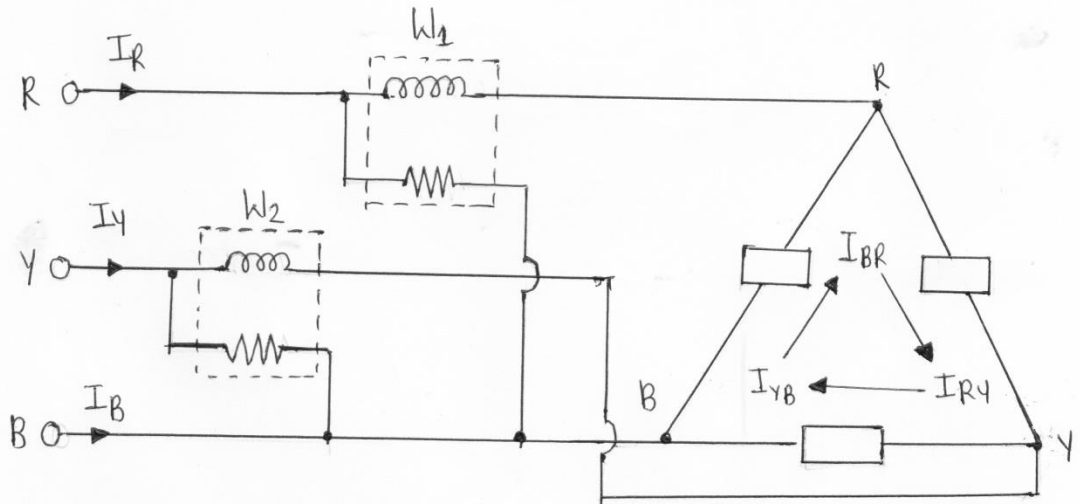
$$Q = \sqrt{3} V_L I_L \sin \phi$$



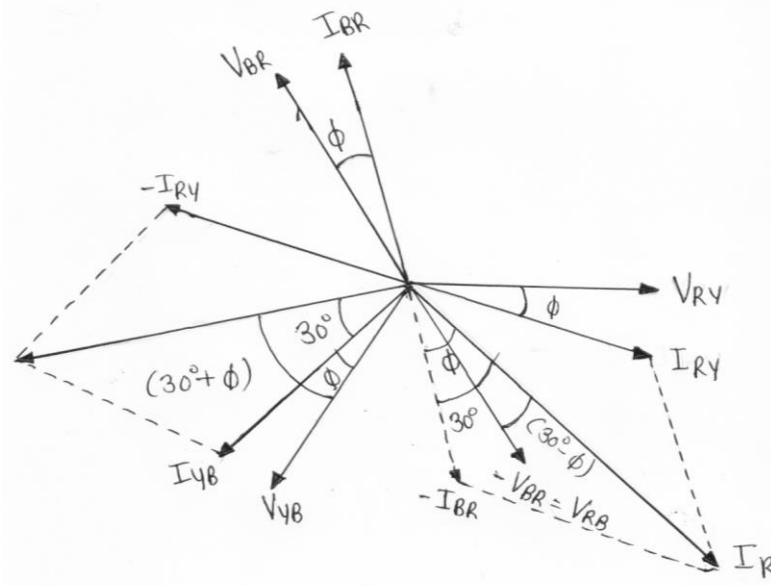
आकृती क्र. 2.12 फेसर डायग्राम (Phasor Diagram)

• दोन वॅटमीटर पद्धती वापरून रिॲक्टिव्ह पॉवर मापन (Reactive Power Measurement using Two wattmeter method):

- 1) आकृती दोन वॅटमीटर पद्धती वापरून 3 फेज लोडमध्ये रिॲक्टिव्ह पॉवर मोजण्यासाठी सर्किट व्यवस्था दर्शवते
- 2) रिॲक्टिव्ह पॉवर मोजण्यासाठी दोन वॅटमीटरचे W1 आणि W2 आवश्यक आहेत. वॅटमीटर W1 R-फेजमध्ये जोडलेले आहे आणि वॅटमीटर W2 Y-फेजमध्ये जोडलेले आहे.
- 3) दोन्ही वॅटमीटरचे प्रेशर कॉइल बी-फेजशी जोडलेले आहेत. ही पद्धत श्री फेज श्री वायर बॅलन्स (संतुलित) डेल्टा प्रकार लोडसाठी जोडलेली आहे.



आकृती क्र.2.13 सर्किट डायग्राम: दोन वॅटमीटर पद्धती वापरून रिॲक्टिव्ह पॉवर मापन (Reactive Power Measurement using Two wattmeter method)



आकृती क्र. 2.14 फेसर डायग्राम (Phasor Diagram)

आकृतीवरून हे स्पष्ट होते.

$$V_L = V_{RB}, I_L = I_R$$

ϕ = टप्प्यांचा व्होल्टेज आणि करंट यांच्यातील फेज कोन.

वॅटमीटरचे रीडिंग आहे

$$W_1 = V_L I_L \cos (30^\circ - \phi) \text{ आणि}$$

$$W_2 = V_L I_L \cos (30^\circ + \phi)$$

$$W_1 - W_2 = V_L I_L \{ \cos (30^\circ - \phi) - \cos (30^\circ + \phi) \}$$

$$= V_L I_L \{ (\cos 30^\circ \cos \phi + \sin 30^\circ \sin \phi) - (\cos 30^\circ \cos \phi - \sin 30^\circ \sin \phi) \}$$

$$= V_L I_L \{ \cos 30^\circ \cos \phi + \sin 30^\circ \sin \phi + \cos 30^\circ \cos \phi - \sin 30^\circ \sin \phi \}$$

$$= V_L I_L \{ 2 \cos 30^\circ \cos \phi \}$$

$$= V_L I_L \{ 2 (0.5) \cos \phi \}$$

$$= V_L I_L \cos \phi$$

$$\text{एकूण 3-phase रिप्रेजेंटिव्ह पॉवर} = \sqrt{3} V_L I_L \cos \phi$$

2.3 दोन वॅटमीटर पद्धतीने वॅटमीटर रीडिंगवर पॉवर फॅक्टरचा प्रभाव (Effect of Power factor on wattmeter reading in two wattmeter method.):

वॅटमीटर रीडिंगवर पॉवर फॅक्टरचा प्रभाव निश्चित करण्यासाठी, आम्हाला पुढील अस्समशन्स (गृहीतके) काढावी लागतील

1) लोड बॅलन्स (संतुलित) प्रकाराचा असतो

2) लोडचा पॉवर फॅक्टर लॅगिंग आहे

दोन वॅटमीटर पद्धतीच्या बाबतीत, दोन वॅटमीटरचे रीडिंग आहेत

$$W_1 = V_L I_L \cos (30^\circ - \phi)$$

$$\text{आणि } W_2 = V_L I_L \cos (30^\circ + \phi)$$

आता खालील केस चा विचार करा

केस I: $\phi = 0$ किंवा $\cos \phi = 1$

वर नमूद केलेल्या वॅटमीटर समीकरणांमध्ये $\phi = 0$ हे मूल्य बदला. आम्हाला मिळते,

$$W_1 = V_L I_L \cos (30^\circ - \phi)$$

$$= V_L I_L \cos (30^\circ - 0)$$

$$= V_L I_L \cos (30^\circ)$$

त्याचप्रमाणे,

$$W_2 = V_L I_L \cos (30^\circ + \phi)$$

$$= V_L I_L \cos (30^\circ + 0)$$

$$= V_L I_L \cos (30^\circ)$$

म्हणून, $\cos \phi = 1$ साठी, दोन्ही वॉटमीटर समान आणि विरुद्ध रीडिंग देतील आणि दोन्ही वॉटमीटर पॉसिटीव्ह (सकारात्मक) मूल्ये वाचतील.

केस II: $\phi = 60^\circ$ किंवा $\cos \phi = 0.5$

वर नमूद केलेल्या वॉटमीटर समीकरणांमध्ये $\phi = 60^\circ$ हे मूल्य बदला. आम्हाला मिळते,

$$W_1 = V_L I_L \cos (30^\circ - \phi)$$

$$= V_L I_L \cos (30^\circ - 60^\circ)$$

$$= V_L I_L \cos (-30^\circ)$$

त्याचप्रमाणे,

$$W_2 = V_L I_L \cos (30^\circ + \phi)$$

$$= V_L I_L \cos (30^\circ + 60^\circ)$$

$$= V_L I_L \cos (90^\circ)$$

म्हणून, $\cos \phi = 0.5$ साठी, एक वॉटमीटर शून्य विक्षेपण दर्शवितो आणि दुसरा वॉटमीटर पॉसिटीव्ह (सकारात्मक) डिफ्लेक्शन (विक्षेपण) दर्शवितो.

केस III: $\phi = 90^\circ$ किंवा $\cos \phi = 0$

वर नमूद केलेल्या वॉटमीटर समीकरणांमध्ये $\phi = 90^\circ$ हे मूल्य बदला. आम्हाला मिळते,

$$W_1 = V_L I_L \cos (30^\circ - \phi)$$

$$= V_L I_L \cos (30^\circ - 90^\circ)$$

$$= V_L I_L \cos (-60^\circ)$$

त्याचप्रमाणे,

$$W_2 = V_L I_L \cos (30^\circ + \phi)$$

$$= V_L I_L \cos (30^\circ + 90^\circ)$$

$$= V_L I_L \cos (120^\circ)$$

म्हणून, $\cos \phi = 0$ साठी, दोन्ही वॉटमीटर पॉसिटीव्ह (सकारात्मक) डिफ्लेक्शन (विक्षेपण) दर्शवतात.

संख्यात्मक (Numerical) 01.

एक 415V, 3- ϕ , स्टार कनेक्टेड इंडक्शन मोटर 20A चा करंट देते. इनपुट पॉवर 15 किलोवॉट आहे. R आणि B मध्ये Y आणि PC मध्ये CC असलेले वॉटमीटर वापरले जाते. वॉटमीटरचे रीडिंग निश्चित करा.

उत्तर:

$$\text{एकूण पॉवर} = \sqrt{3} * V_L I_L * \cos \phi$$

$$15000 = \sqrt{3} * 415 * 20 * \cos \phi$$

$$\cos \phi = 1.0$$

$$\text{वॉटमीटर रीडिंग } W = V_L I_L$$

$$= 415 * 20 * 0$$

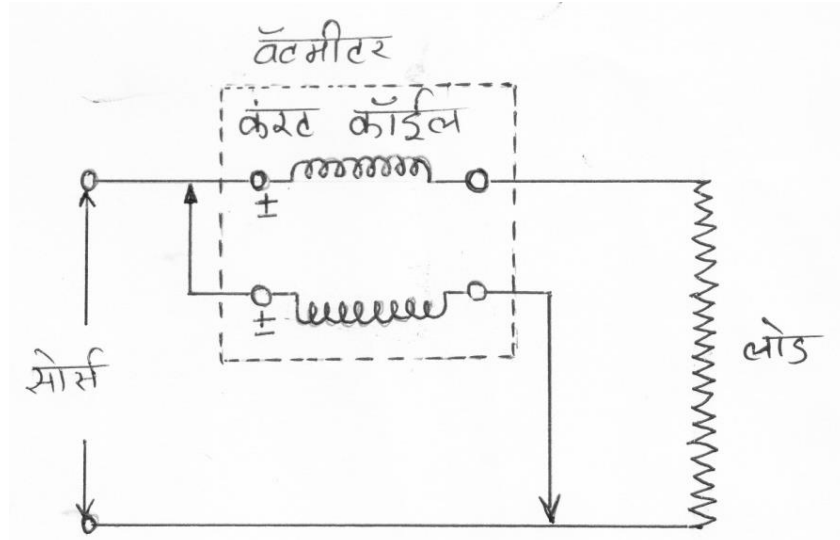
$$= 0 \text{ VAr.}$$

संख्यात्मक (Numerical) 02.

1- ϕ वॉटमीटरचा कनेक्शन आकृती काढा. 230 V, 50 Hz शी जोडलेले असताना 2 kW लोड मोजण्यासाठी त्याचे रेटिंग काढा.

उत्तर:

वॉटमीटर वैशिष्ट्ये: 10A, 250V किंवा 300V



आकृती क्र.2.15 सर्किट डायग्राम (Circuit Diagram)

2.4 मॅक्सिमम डिमांड इंडिकेटरचे बांधकाम आणि कार्य, चार क्वाड्रंट मीटर (Construction and working of maximum Demand indicator (MDI), four quadrant meters.)

2.4.1) मॅक्सिमम डिमांड इंडिकेटर (कमाल मागणी निर्देशक) (maximum Demand indicator):

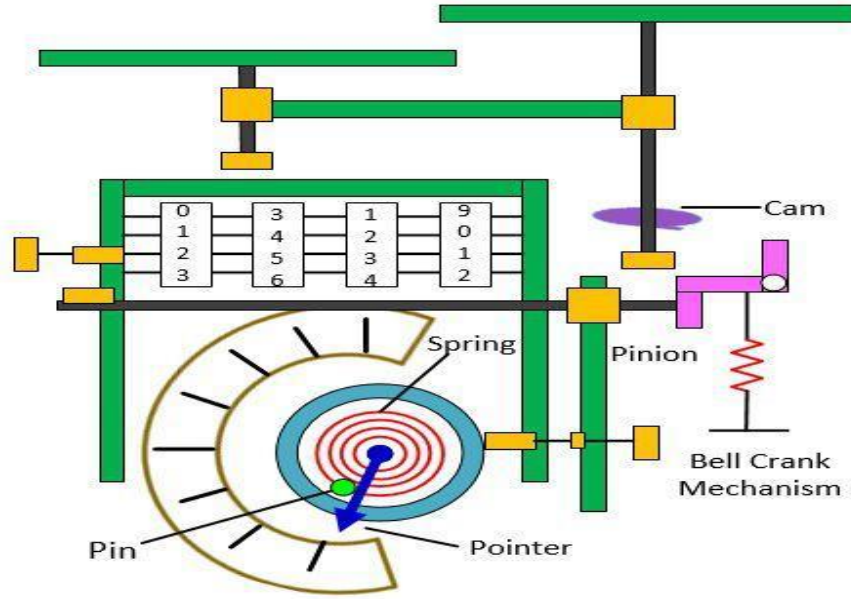
कमाल मागणी निर्देशक (MDI) ठराविक अंतराने ग्राहकाला आवश्यक असलेली कमाल उर्जा मोजतो. MDI अशा प्रकारे डिझाइन केलेले आहे की ते बेस लोड आणि पीक लोड मोजतात. एमडीआय हे विशिष्ट कालावधीतील पॉवर रेकॉर्ड करण्यासाठी डिझाइन केलेले आहे.

कमाल मागणी निर्देशकांचे प्रकार खालीलप्रमाणे आहेत

- 1) रेकॉर्डिंग मागणी निर्देशक
- 2) सरासरी मागणी निर्देशक
- 3) थर्मल प्रकार कमाल मागणी निर्देशक
- 4) डिजिटल कमाल मागणी निर्देशक

• सरासरी मागणी निर्देशक (Average Demand Indicator):

- 1) आकृती कमाल मागणी निर्देशकाची बांधकाम व्यवस्था दर्शविते, त्यात पाच मुख्य भाग समाविष्ट आहे
 - a) मूव्हिंग सिस्टमशी कनेक्ट केलेले डायल
 - b) पॉइंटर
 - c) डिव्हाइस रीसेट करा
 - d) फ्रॅक्शन डिव्हाइस
 - e) पिन



आकृती क्र.2.16 मॅक्सिमम डिमांड इंडिकेटर (Maximum Demand indicator)

- 2) या प्रकारचे इंडिकेटर ऊर्जा मीटरमध्ये अंगभूत आहे. ऊर्जा मीटर आणि सरासरी मागणी निर्देशक एकत्रितपणे एकूण वीज वापर आणि निर्दिष्ट कालावधीत विजेचे कमाल मूल्य मोजतात.
- 3) सरासरी मागणी निर्देशकामध्ये एक जटिल स्पीड डायल यंत्रणा असते. पिन थोड्या कालावधीसाठी डायल पुढे सरकवतो. डायलवर निर्दिष्ट वेळेत वापरलेली एकूण उर्जा प्रदर्शित केली जाते त्यात कॅम देखील असतो जो टाइमिंग गीअर्सद्वारे नियंत्रित केला जातो.
- 4) सुरुवातीच्या स्थितीत पॉइंटर परत आणण्यासाठी देखील कॅम वापरला जातो. पॉइंटर निर्दिष्ट वेळेच्या अंतराने लोडद्वारे वापरलेली एकूण उर्जा दर्शवितो. पुढच्या वेळेच्या सेटिंगसाठी, पिन पुन्हा पुढे सरकतो
- 5) परंतु पॉइंटर फक्त तेव्हाच विचलित होतो जेव्हा लोडद्वारे वापरलेली एकूण उर्जा पूर्वी सेट केलेल्या वेळेपेक्षा जास्त असते. सरासरी कमाल मागणी अशी मोजली जाऊ शकते,
 सरासरी कमाल मागणी = वेळ मध्यांतर (तासामध्ये) रेकॉर्ड केलेली कमाल ऊर्जा (KWh) / वेळ मध्यांतर (Hours)

• फायदा (Advantages)

- 1) उच्च अचूकता
- 2) एकसमान मापन स्केल

• गैरसोय (Disadvantages)

- 1) खूप जास्त किंमत
- 2) बांधकाम क्लिष्ट आहे

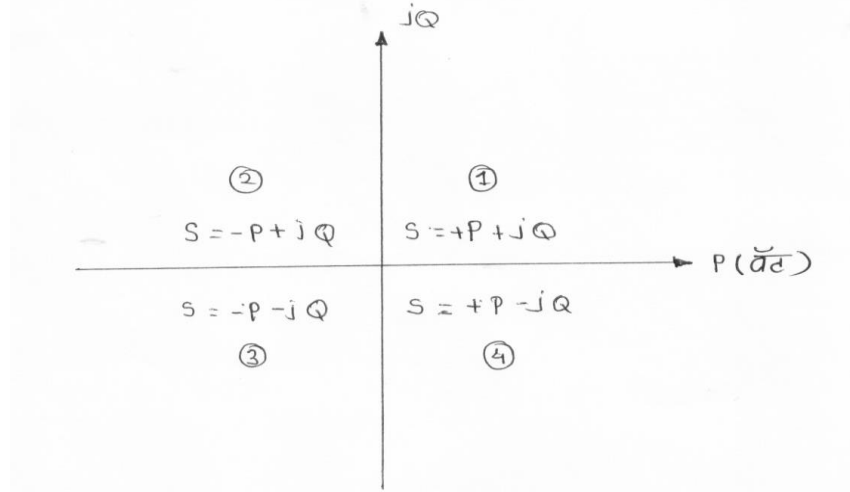
• वापर (Application)

- 1) होम सर्किस इन्स्टॉलेशन
- 2) HT फीडर
- 3) ट्रान्सफॉर्मर

2.4.2 चार क्वाड्रंट मीटर (Four Quadrant Meter):

- 1) चार चतुर्थांश (Quadrant) मीटर हे इलेक्ट्रिकल युटिलिटीजमधील पॉवर फ्लोची दिशा आणि पॉवरचे वर्गीकरण दर्शविण्यासाठी वापरलेले मीटर.
- 2) हे पॉवर फ्लोची दिशा (Direction) क्रमवारी आणि सूचित करण्यात मदत करते. त्यानुसार ऍक्टिव्ह पॉवर (सक्रिय शक्ती), रिऍक्टिव्ह पॉवर (प्रतिक्रियात्मक शक्ती) आणि अँपेरेन्ट पॉवर (उघड शक्ती) विचारात घेतली जाते.
- 3) इलेक्ट्रिकल पॉवर सिस्टममध्ये मूलतः ऍक्टिव्ह पॉवर (सक्रिय शक्ती), रिऍक्टिव्ह पॉवर (प्रतिक्रियात्मक शक्ती) आणि अँपेरेन्ट पॉवर (उघड शक्ती) लोडच्या स्वरूपानुसार कार्य करत आहेत. ऍक्टिव्ह पॉवर (सक्रिय शक्ती) प्रत्यक्षात प्रतिरोधक (Resistance) लोडने वापरली जाते.

4) रिऍक्टिव्ह पॉवर (प्रतिक्रियात्मक शक्ती) इंडक्टर(L) आणि कॅपेसिटर(C) सारख्या घटकांमध्ये संग्रहित केली जाते जी नंतर पुन्हा AC चक्राद्वारे स्त्रोताकडे सोडली जाते आणि अॅपरेन्ट पॉवर (उघड शक्ती) एकत्रितपणे ऍक्टिव्ह पॉवर (सक्रिय शक्ती) आणि रिऍक्टिव्ह पॉवर (प्रतिक्रियात्मक शक्ती) दोन्हीचे कार्य करते.



आकृती क्र.2.17 चार काड्रंट मीटर ऑपरेशन (Four Quadrant Meter Operation)

5) चार काड्रंट मीटर वेगवेगळ्या पॉवरवर ऑपरेशनच्या वेगवेगळ्या काड्रंटमध्ये ऑपरेशन करतात. या खाली चर्चा केल्या आहेत

काड्रंट 1 : काड्रंट 1 मध्ये दोन्ही पॉवर चे क्षेत्र ऍक्टिव्ह पॉवर (सक्रिय शक्ती) आणि रिऍक्टिव्ह पॉवर (प्रतिक्रियात्मक शक्ती) दर्शवतो. म्हणजे काड्रंट 1 ऑपरेशनमध्ये, ऍक्टिव्ह पॉवर (सक्रिय शक्ती) आणि रिऍक्टिव्ह पॉवर (प्रतिक्रियात्मक शक्ती) पॉसिटीव्ह (सकारात्मक) प्रवाहित होते आणि दोन्ही ग्राहकांच्या लोडवर वितरित केल्या जातात. काड्रंट 1 मध्ये, प्रेरक प्रभावामुळे, पॉवर फॅक्टर मागे पडतो आणि आपल्याला ऍक्टिव्ह पॉवर (सक्रिय शक्ती) आणि रिऍक्टिव्ह पॉवर (प्रतिक्रियात्मक शक्ती) आयात करावी लागते.

काड्रंट 2 : काड्रंट 2 मध्ये, रिऍक्टिव्ह पॉवर (प्रतिक्रियात्मक शक्ती) पॉसिटीव्ह सकारात्मक वाहते आणि ऍक्टिव्ह पॉवर (सक्रिय शक्ती) नेगेटिव्ह (नकारात्मक) वाहते. म्हणून काड्रंट 2 मध्ये, आपल्याला पॉवर निर्यात करावी लागतील.

काड्रंट 3 : काड्रंट 3 मध्ये, ऍक्टिव्ह पॉवर (सक्रिय शक्ती) आणि रिऍक्टिव्ह पॉवर (प्रतिक्रियात्मक शक्ती) दोन्ही नेगेटिव्ह (नकारात्मक) वाहते. म्हणून, काड्रंट 3 मध्ये, ऍक्टिव्ह पॉवर (सक्रिय शक्ती) आणि रिऍक्टिव्ह पॉवर (प्रतिक्रियात्मक शक्ती) दोन्ही पॉवर कडून प्राप्त होतात.

काड्रंट 4 : काड्रंट 4 मध्ये ऍक्टिव्ह पॉवर (सक्रिय शक्ती) पॉसिटीव्ह (सकारात्मक) वाहते आणि रिऍक्टिव्ह पॉवर (प्रतिक्रियात्मक शक्ती) नेगेटिव्ह (नकारात्मक) वाहते. म्हणून, चतुर्थांश IV मध्ये, आपल्याला पॉवर आयात करावी लागतील.

खालील तक्त्यामध्ये चार काड्रंट मीटरच्या ऑपरेशनची स्थिती दर्शविली आहे.

क्रमांक	ऑपरेशन काड्रंट	पॉवर फ्लोव चिन्ह	पॉवर स्थिती
1	I	ऍक्टिव्ह पॉवर (सक्रिय शक्ती): पॉसिटीव्ह (सकारात्मक) रिऍक्टिव्ह पॉवर (प्रतिक्रियात्मक शक्ती): पॉसिटीव्ह (सकारात्मक)	ऍक्टिव्ह पॉवर (सक्रिय शक्ती) आयात रिऍक्टिव्ह पॉवर (प्रतिक्रियात्मक शक्ती) इंडक्टिव्ह आयात

2	II	एक्टिव्ह पॉवर (सक्रिय शक्ती): नेगेटिव्ह (नकारात्मक) रिएक्टिव्ह पॉवर (प्रतिक्रियात्मक शक्ती): पॉसिटिव्ह (सकारात्मक)	एक्टिव्ह पॉवर (सक्रिय शक्ती) निर्यात रिएक्टिव्ह पॉवर (प्रतिक्रियात्मक शक्ती) कॅपेसिटिव्ह आयात
3	III	एक्टिव्ह पॉवर (सक्रिय शक्ती): नेगेटिव्ह (नकारात्मक) रिएक्टिव्ह पॉवर (प्रतिक्रियात्मक शक्ती): नेगेटिव्ह (नकारात्मक)	एक्टिव्ह पॉवर (सक्रिय शक्ती) निर्यात रिएक्टिव्ह पॉवर (प्रतिक्रियात्मक शक्ती) इंडक्टिव्ह निर्यात
4	IV	एक्टिव्ह पॉवर (सक्रिय शक्ती): पॉसिटिव्ह (सकारात्मक) रिएक्टिव्ह पॉवर (प्रतिक्रियात्मक शक्ती): नेगेटिव्ह (नकारात्मक)	एक्टिव्ह पॉवर (सक्रिय शक्ती) आयात रिएक्टिव्ह पॉवर (प्रतिक्रियात्मक शक्ती) कॅपेसिटिव्ह निर्यात

2.5 इंडक्शन टाईप सिंगल फेज एनर्जी मीटरचे बांधकाम आणि कार्य, त्रुटीचे (errors) प्रकार आणि कॉम्पेन्सेशन (Construction and working of Induction type single phase energy meter, types of errors and compensation):

एनर्जी (ऊर्जा) मीटर हे एक साधन आहे जे विद्युत उर्जेचे मोजमाप करते. हे वॅट-हवर (Wh) मीटर म्हणूनही ओळखले जाते. हे एक एकीकृत (Integrating) उपकरण आहे.

ऊर्जा मीटरचे अनेक प्रकार आहेत. सिंगल फेज इंडक्शन टाईप एनर्जी मीटरचा वापर घरगुती आणि व्यावसायिक जागी वापरल्या जाणाऱ्या विद्युत उर्जेचे मोजमाप करण्यासाठी केला जातो. या ऊर्जा मीटरद्वारे विद्युत ऊर्जा किलो वॅट-तास (kWh) मध्ये मोजली जाते.

बांधकाम आणि कार्य (Construction and working):

सिंगल फेज इंडक्शन टाईप एनर्जी मीटरमध्ये ड्रायव्हिंग सिस्टीम, मूव्हिंग सिस्टीम, ब्रेकिंग सिस्टीम आणि नोंदणी प्रणाली (Registering mechanism) असते. प्रत्येक प्रणाली खाली थोडक्यात स्पष्ट केली आहे.

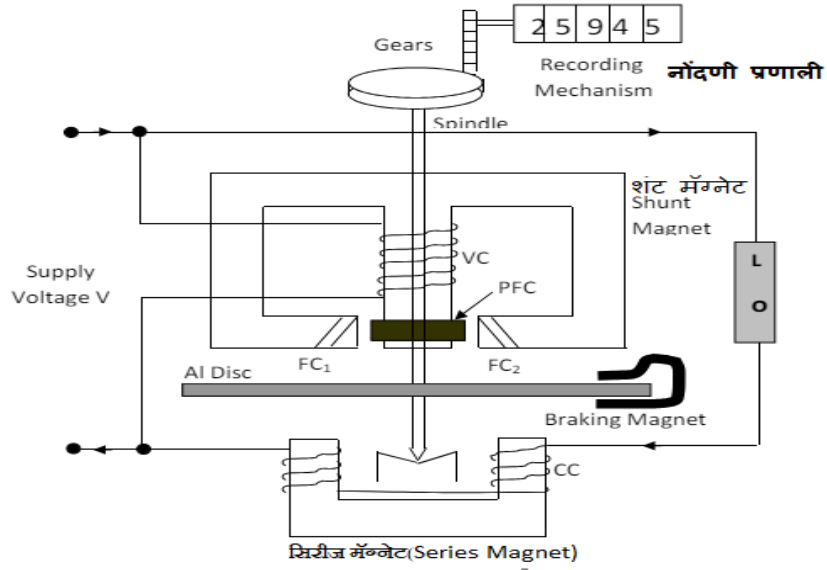
ड्रायव्हिंग सिस्टीम (Driving System) :- ऊर्जा मीटरच्या या प्रणालीमध्ये दोन सिलिकॉन स्टील लॅमिनेटेड इलेक्ट्रोमॅग्नेट्स असतात. आकृतीत दाखवल्याप्रमाणे इलेक्ट्रोमॅग्नेट M1 ला सिरीज मॅग्नेट म्हणतात आणि इलेक्ट्रोमॅग्नेट M2 ला शंट मॅग्नेट म्हणतात.

सिरीज चुंबक M1 मध्ये जाड वायरची काही वळणे असलेली कॉइल असते. या कॉइलला करंट कॉइल (CC) म्हणतात आणि ती सर्किटसह सिरीज मध्ये जोडलेली असते. या कॉइलमधून लोड करंट वाहतो.

शंट मॅग्नेट M2 मध्ये पातळ वायरची अनेक वळणे असलेली कॉइल असते. या कॉइलला व्होल्टेज कॉइल (VC) म्हणतात आणि विद्युत् सप्लायशी पॅरलल मध्ये जोडलेली असते. शंट मॅग्नेटच्या मध्यवर्ती अंगाच्या खालच्या भागावर शॉर्ट सर्किट केलेले तांब्याचे पट्टे (Copper bands) बसवलेले आहे.

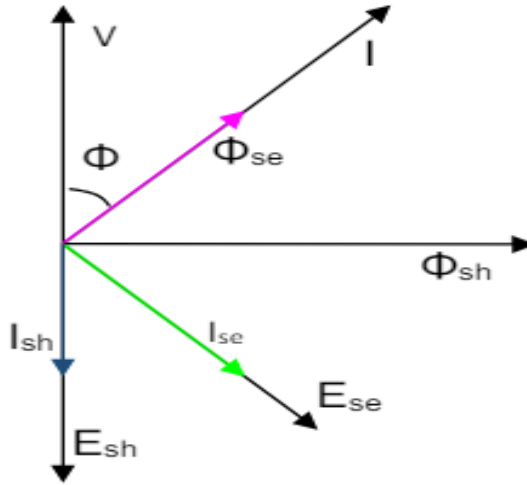
या लूपची स्थिती (position) समायोजित केली जाते. त्यामुळे शंट मॅग्नेट मॅग्नेटिक फ्लक्स हा व्होल्टेजच्या 90° मागे (lagging) ठेवता येतो.

शंट मॅग्नेट (fc1 आणि fc2) च्या प्रत्येक बाह्य अंगावर तांब्याचे शेडींग बँड बसवले जातात, हे बँड घर्षण भरपाईसाठी (frictional compensation) वापरले जातात.



आकृती क्र.2.18 इंडक्शन टाईप सिंगल फेज एनर्जी मीटर
(Induction type single phase energy meter)

FC1, FC2 = फ्रिकशन कॉम्पेन्सेशन
PFC = पॉवर फॅक्टर कॉम्पेन्सेटर
CC = करंट कॉइल
VC = व्होल्टेज कॉइल



आकृती 2.19 फेसर डायग्राम (Phasor Diagram)

मूव्हिंग सिस्टीम (Moving System): फिरत्या प्रणालीमध्ये स्पिंडलवर बसविलेली पातळ अॅल्युमिनियम डिस्क असते आणि ती सिरीज आणि शंट मॅग्नेटमधील एअर गॅप मध्ये ठेवली जाते. दोन्ही मॅग्नेटस मुळे तयार झालेला मॅग्नेटिक फ्लक्स हा डिस्क ने कट केला जातो. आणि डिस्क मध्ये एडी करंट इंड्यूस होतो. दोन्ही फोर्स हे डिस्कवर कार्य करतात. त्यामुळे डिफ्लेक्टिंग टॉर्क तयार होतो.

ब्रेकिंग सिस्टीम (Braking system): ब्रेकिंग सिस्टीममध्ये ब्रेक मॅग्नेट नावाचा कायमस्वरूपी(permanent) चुंबक असतो. ब्रेक मॅग्नेट हे डिस्कच्या काठाजवळ ठेवले जाते. ब्रेक मॅग्नेटच्या क्षेत्रात डिस्क फिरते म्हणून तिच्यामध्ये एडी करंट इंड्यूस होतो. हे एडी करंट फ्लक्स सोबत प्रतिक्रिया करतात आणि टॉर्क निर्माण करतात. हा टॉर्क डिस्कच्या फिरण्याच्या विरुद्ध दिशेने कार्य करतो. ब्रेकिंग टॉर्क डिस्कच्या गतीच्या प्रमाणात (Proportional) आहे

नोंदणी प्रणाली (Registering mechanism): डिस्कची स्पिंडल मोजणी यंत्रणेशी जोडलेली असते. ही यंत्रणा डिस्कच्या आवर्तनांच्या(rotations) संख्येच्या प्रमाणात असलेल्या संख्येची नोंद करते. काउंटर थेट किलो वॉट-हवर (kWh) मध्ये वापरली जाणारी ऊर्जा(Energy) दर्शवण्यासाठी कॅलिब्रेट केले जाते.

कार्य (Working) :

V = पुरवठा व्होल्टेज

I = लोड करंट V ला Φ ने लॅगिंग आहे

$\cos \Phi$ = लोड पॉवर फॅक्टर (लॅगिंग)

I_{sh} = फ्लक्स Φ_{sh} द्वारे डिस्कमध्ये एडी करंट सेटअप.

I_{se} = फ्लक्स Φ_{se} द्वारे डिस्कमध्ये एडी करंट सेटअप

इंस्टंटेनियस डिफ्लेक्टिंग टॉर्क,

$$\tau_d \propto (\psi_{shI_{se}} - \psi_{seI_{sh}})$$

जेथे ψ आणि i अनुक्रमे फ्लक्स आणि करंटची इंस्टंटेनियस मूल्ये आहेत

Average deflecting torque

$$T_d \propto [\Phi_{shI_{se}} \cos \Phi - \Phi_{seI_{sh}} \cos(180 - \Phi)] \quad \text{जेथे } \Phi \text{ आणि } I, \text{ RMS मूल्ये आहेत}$$

$$T_d \propto [\Phi_{shI_{se}} \cos \Phi + \Phi_{seI_{sh}} \cos \Phi]$$

$$T_d \propto [\Phi_{shI_{se}} + \Phi_{seI_{sh}}] \cos \Phi$$

We know $\Phi_{sh} \propto V$, $I_{se} \propto I$, $\Phi_{se} \propto I$, $I_{sh} \propto V$

So $T_d \propto [VI + VI] \cos \Phi$

$$T_d \propto VI \cos \Phi$$

$$\propto \text{Power}$$

t सेकंदात केलेल्या रिव्होल्यूशनची संख्या $\int_0^t N dt \propto \int_0^t p dt \propto t$ सेकंदात वापरलेली ऊर्जा.

त्रुटीचे (errors) प्रकार आणि कॉम्पेन्सेशन (Types of errors and compensation):

विद्युत उर्जेचा वापर करणाऱ्यांकडून त्यांच्या आवारात स्थापित केलेल्या ऊर्जा मीटरच्या रीडिंगनुसार शुल्क आकारले जाते. म्हणूनच, हे खूप महत्वाचे आहे की ऊर्जा मीटरचे बांधकाम आणि डिझाइन दीर्घकाळ अचूकता सुनिश्चित करण्यासाठी असे असले पाहिजे, म्हणजे, सामान्य वापराच्या परिस्थितीत अनेक वर्षांच्या कालावधीत योग्य रीडिंग दिले पाहिजे. ऊर्जा मीटरमधील काही सामान्य त्रुटी आणि त्यावरील उपायांची खाली चर्चा केली आहे.

1) फेज एरर (Phase Error): शंट मॅग्नेट फ्लक्स हा पुरवठा व्होल्टेजपेक्षा अगदी 90° मागे (lagging) असेल तरच मीटर योग्यरित्या रीडिंग वाचेल. शंट मॅग्नेट कॉइलमध्ये थोडासा प्रतिकार (रेझिस्टंस) असतो आणि तो पूर्णपणे प्रतिक्रियाशील नसल्यामुळे, शंट मॅग्नेट फ्लक्स हा पुरवठा व्होल्टेजमध्ये अगदी 90° ने मागे (lag) पडत नाही. याचा परिणाम असा होतो की मीटर सर्व पॉवर घटकांवर योग्यरित्या वाचणार नाही.

समायोजन (Compensation): शंट मॅग्नेटमधील फ्लक्स शंट मॅग्नेटच्या मध्यवर्ती अंगाच्या खालच्या भागाभोवती ठेवलेल्या शेडिंग कॉइलची स्थिती समायोजित करून पुरवठा व्होल्टेजच्या अगदी 90° ने मागे ठेवता येतो. शंट मॅग्नेट फ्लक्सद्वारे शेडिंग कॉइलमध्ये विद्युतप्रवाह प्रेरित होतो आणि फ्लक्सचे आणखी विस्थापन होते. शेडिंग कॉइल अंगाच्या वर किंवा खाली हलवून, शंट मॅग्नेट फ्लक्स आणि पुरवठा व्होल्टेजमधील विस्थापन 90° पर्यंत समायोजित केले जाऊ शकते. हे समायोजन लॅग समायोजन (compensation) किंवा पॉवर फॅक्टर समायोजन म्हणून ओळखले जाते.

2) गती एरर (Speed Error): कधीकधी मीटरच्या डिस्कची गती एकतर वेगवान किंवा मंद असते, परिणामी ऊर्जेच्या वापराचे चुकीचे रेकॉर्डिंग होते.

समायोजन (Compensation): ब्रेक मॅग्नेटची स्थिती बदलून ऊर्जा मीटरच्या डिस्कची गती इच्छित मूल्यामध्ये समायोजित केली जाऊ शकते. जर ब्रेक मॅग्नेट स्पिंडलच्या मध्यभागी हलवले तर ब्रेकिंग टॉर्क कमी होतो आणि डिस्कचा वेग वाढतो. ब्रेक मॅग्नेट स्पिंडलच्या मध्यापासून दूर हलवले तर उलट होईल.

3) घर्षण एरर (Friction Error): रोटार बियरिंगवरील आणि मोजणी यंत्रणेमधील घर्षण शक्ती ब्रेकिंग टॉर्कच्या बरोबरीने असते. घर्षण टॉर्क वेगाच्या प्रमाणात नसून साधारणपणे स्थिर असल्यामुळे मीटर रीडिंगमध्ये मोठ्या प्रमाणात त्रुटी निर्माण होऊ शकते.

समायोजन (Compensation): या त्रुटीची भरपाई करण्यासाठी, ड्रायव्हिंग टॉर्कमध्ये स्थिर वाढ करणे आवश्यक आहे जे घर्षण टॉर्कच्या समान आणि विरुद्ध आहे. हे शंट मॅग्नेटच्या एअर गॅपमध्ये ठेवलेल्या दोन समायोजित करण्यायोग्य शॉर्ट-सर्किट लूपद्वारे तयार केले जाते. हे लूप लीकेज फ्लक्सची सममिती (symmetry) खराब करतात आणि घर्षण टॉर्कला विरोध करण्यासाठी एक लहान टॉर्क तयार करतात. हे समायोजन लाइट-लोड समायोजन म्हणून ओळखले जाते. लूप अशा प्रकारे समायोजित केले जातात की जेव्हा करंट कॉइलमधून कोणताही विद्युत प्रवाह जात नाही (म्हणजे, सिरीज

चुंबकाची उत्तेजक कॉइल), तेव्हा तयार होणारा टॉर्क प्रत्यक्षात डिस्क फिरवल्याशिवाय सिस्टममधील घर्षणावर मात करण्यासाठी पुरेसा असतो.

4) क्रिपिंग एरर (Creeping Error): काहीवेळा मीटरची डिस्क भाराविना (without any load) संध पण सतत फिरते, म्हणजे जेव्हा व्होल्टेज कॉइल उत्तेजित असते परंतु लोडमध्ये विद्युत प्रवाह नसतो. याला क्रिपिंग असे म्हणतात. ही त्रुटी घर्षण, अत्याधिक पुरवठा व्होल्टेज, कंपने, चुंबकीय क्षेत्रे इत्यादींसाठी जास्त कॉम्पेन्सेशन यांमुळे उद्भवू शकते.

समायोजन (Compensation): हे क्रिपिंग टाळण्यासाठी, डिस्कमध्ये दोन विरुद्ध बाजूला छिद्र पाडले जातात. यामुळे फिल्ड विकृत होते. याचा परिणाम असा होतो की जेव्हा छिद्रांपैकी एक छिद्र शंट चुंबकाच्या एका ध्रुवाखाली येते तेव्हा डिस्क स्थिर राहते.

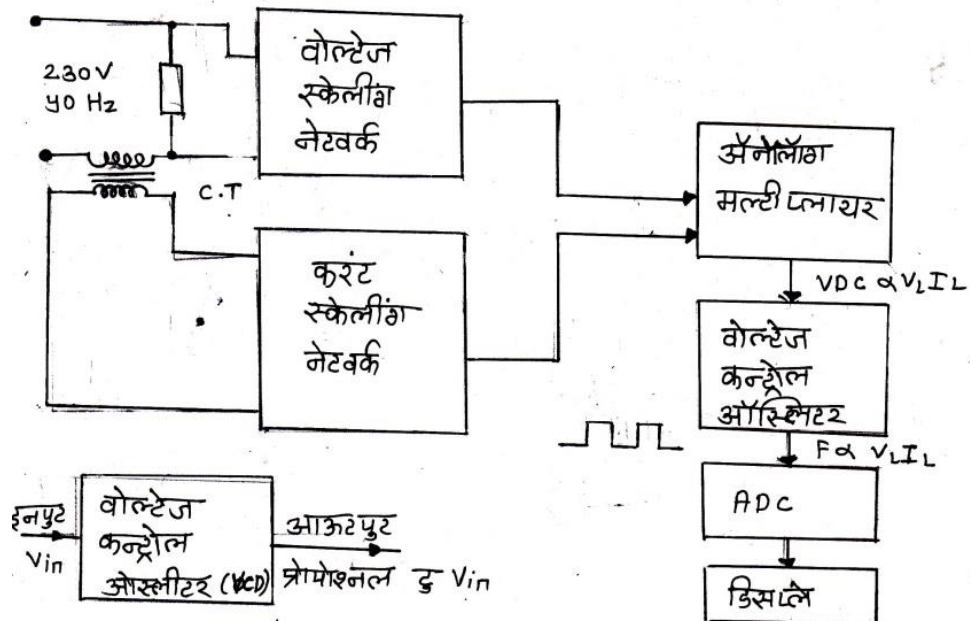
5) तापमानातील होणारया बदलामुळे येणारा एरर (Temperature Error): तपमानातील फरकामुळे येणारा एरर खूप कमी असतो. कारण निर्माण होणारे विविध परिणाम एकमेकांना निष्प्रभ (Cancel) करतात. व्होल्टेज कॉइलच्या डिस्कचा रेझिस्टन्स, चुंबकीय सर्किटची वैशिष्ट्ये आणि ब्रेक मॅग्नेटची ताकद हे तापमानातील बदलांमुळे प्रभावित होतात. म्हणून, तापमानातील फरकांमुळे त्रुटी दूर करण्यासाठी मीटरच्या डिझाइनमध्ये खूप काळजी घेतली जाते.

6) फ्रिक्वेन्सी भिन्नता (Frequency Variations): मीटर विशिष्ट फ्रिक्वेन्सी (सामान्यतः 50 Hz) वर किमान त्रुटी देण्यासाठी डिझाइन केलेले आहे. पुरवठा फ्रिक्वेन्सी बदलल्यास, कॉइलची प्रतिक्रिया देखील बदलते, परिणामी एक लहान त्रुटी येते. सुदैवाने, याला फारसे महत्त्व नाही कारण व्यावसायिक फ्रिक्वेन्सी ही मर्यादित ठेवली जाते.

7) व्होल्टेज भिन्नता (Voltage Variations): शंट मॅग्नेट फ्लक्स व्होल्टेजच्या वाढीसह वाढेल. ड्रायव्हिंग टॉर्क फ्लक्सच्या पहिल्या पॉवरच्या प्रमाणात आहे तर ब्रेकिंग टॉर्क फ्लक्सच्या स्केअरच्या प्रमाणात आहे. म्हणून, जर पुरवठा व्होल्टेज सामान्य मूल्यापेक्षा जास्त असेल, तर ब्रेकिंग टॉर्क ड्रायव्हिंग टॉर्कपेक्षा खूप जास्त वाढेल. याचा परिणाम असा होतो की मीटरमध्ये सामान्य व्होल्टेजपेक्षा जास्त वेगाने आणि कमी व्होल्टेजवर वेगवान चालण्याची प्रवृत्ती असते. तथापि, बहुतेक मीटरसाठी परिणाम लहान आहे आणि रेट केलेल्या मूल्यापासून 10% व्होल्टेज बदलासाठी 0.2% ते 0.3% पेक्षा जास्त नाही. शंट मॅग्नेटच्या चुंबकीय सर्किटच्या योग्य डिझाइनद्वारे व्होल्टेज भिन्नतेमुळे होणारी छोटी त्रुटी दूर केली जाऊ शकते.

2.6 सिंगल आणि थ्री फेज डिजिटल एनर्जी मीटर: ब्लॉक डायग्राम, बांधकाम वैशिष्ट्ये आणि कार्य तत्त्व (Single and three phase digital energy meter: Block diagram, constructional features and working principle):

• सिंगल फेज डिजिटल एनर्जी मीटर (Single and phase digital energy meter):



आकृती क्र.2.20 सिंगल फेज डिजिटल एनर्जी मीटर (Single Phase digital Energy Meter)

बांधकाम वैशिष्ट्ये आणि कार्य तत्त्व (constructional features and working principle) :

दिलेली आकृती सिंगल फेज इलेक्ट्रॉनिक एनर्जी मीटरची रचना दर्शवते, प्रमुख रचणे मध्ये खालील भागांचा समावेश आहे

1. करंट ट्रान्सफॉर्मर (CT)
2. व्होल्टेज आणि करंट स्केलिंग नेटवर्क (Voltage & Current Scaling Network)
3. करंट सेन्सिंग आणि स्केलिंग नेटवर्क (Current Sensing & Current Scaling Network)
4. अॅनालॉग गुणक (Analog Multiplier)
5. व्होल्टेज नियंत्रित ऑसिलेटर (Voltage Controlled Oscillator)
6. अॅनालॉग डिजिटल कन्व्हर्टर (Analog Digital Converter)
7. डिस्प्ले (Display)

सिंगल फेज पुरवठा व्होल्टेज सेन्सिंग आणि स्केलिंग नेटवर्कवरला जोडला जातो, ज्यामध्ये लोड व्होल्टेज सेन्स केले जाते आणि गरजेनुसार कमी केले जाते. पुरवठ्याचा तोच पॉईंट करंट सेन्सिंग आणि स्केलिंग नेटवर्कशी जोडलेला आहे; करंट ट्रान्सफॉर्मर (CT) द्वारे. हे भारानुसार इलेक्ट्रिक करंटचे व्हॅल्यू कमी करते.

व्होल्टेज आणि करंट या दोन्हीची स्केल्ड डाउन मूल्ये अॅनालॉग मल्टिप्लायरला दिली जातात. या प्रकरणात अॅनालॉग गुणक पॉवर सर्किटसारखे कार्य करते आणि लोड व्होल्टेज आणि लोड करंटचा गुणाकार मिळतो.

अॅनालॉग गुणकाचे पॉवर आउटपुट जे व्होल्टेज आणि करंटचा गुणाकार आहे ते व्होल्टेज नियंत्रित ऑसिलेटरवर लागू केले जाते. या प्रकरणात व्होल्टेज नियंत्रित ऑसिलेटर हा व्होल्टेज ते फ्रिक्वेंसी कन्व्हर्टर कार्य करतो. व्होल्टेज नियंत्रित ऑसिलेटर स्केअर वेव्ह फ्रिक्वेंसी आउटपुट तयार करतो. व्होल्टेज नियंत्रित ऑसिलेटरची ही चौक्रेअर वेव्ह फ्रिक्वेंसी इन्स्टेनियस पॉवरच्या प्रमाणात असते.

व्होल्टेज नियंत्रित ऑसिलेटरच्या आउटपुटवर अॅनालॉग सिग्नल अॅनालॉग ते डिजिटल कनव्हर्टर (ADC) वापरून डिजिटल सिग्नलमध्ये रूपांतरित केले जाते.

ADC चे आउटपुट डिजिटल स्वरूपात आहे जे डिस्प्ले युनिटवर प्रदर्शित केले जाते. डिस्प्ले युनिट प्रत्यक्षात फ्रिक्वेंसी दाखवते जी पॉवरच्या प्रमाणात असते.

इलेक्ट्रॉनिक एनर्जी मीटर एका युनिट कालावधीत पॉवर $P = V_L \cdot I_L$ मोजते. यामुळे, शक्तीचे ऊर्जेत रूपांतर होते, $E = P \cdot t$. ही ऊर्जा नंतर डिस्प्ले युनिटद्वारे वॉट-हवर युनिटमध्ये प्रदर्शित केली जाते.

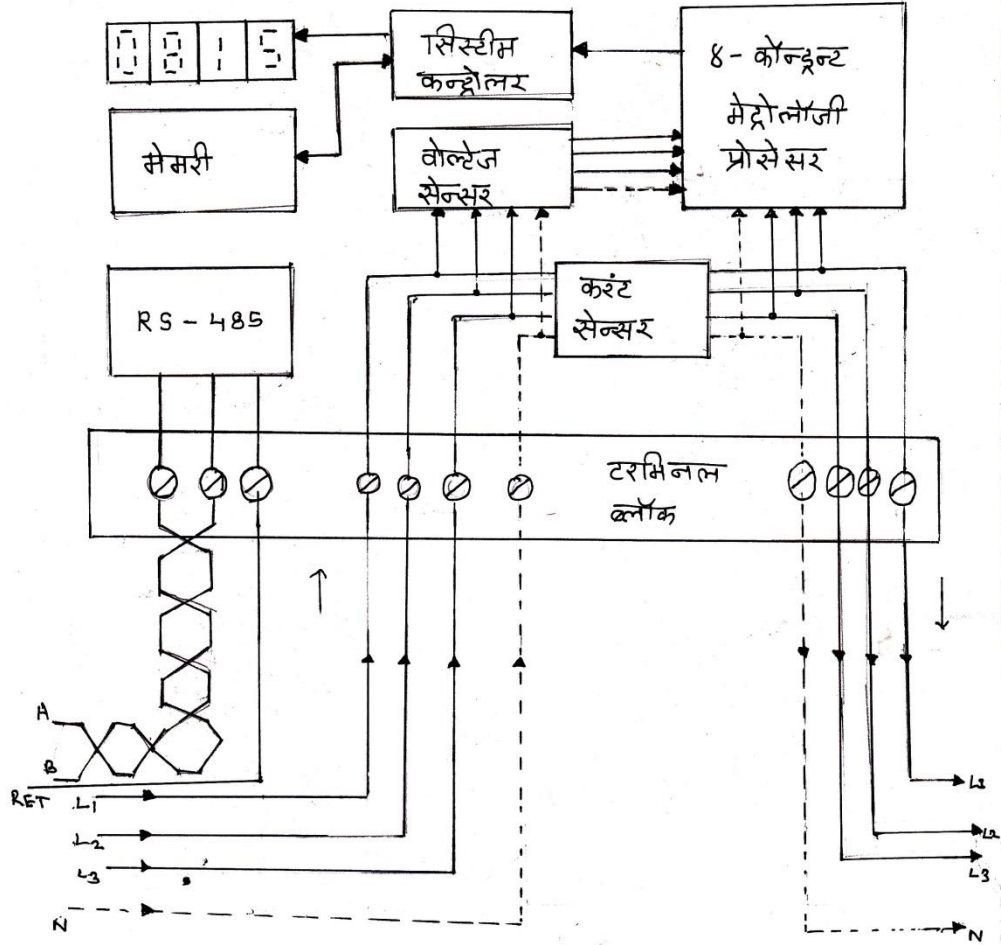
इलेक्ट्रॉनिक ऊर्जा मीटरची ठळक वैशिष्ट्ये /गुण (Features of Electronic Energy Meter):

1. हलणारे भाग नसल्यामुळे, इलेक्ट्रॉनिक ऊर्जा मीटामध्ये घर्षण नुकसान (Frictional Losses) शून्य आहे.
2. उच्च अचूकता (High Accuracy)
3. उच्च रिझोल्यूशन (High Resolution)
4. बाह्य समायोजनाची गरज नाही (No need of external Adjustment)
5. मध्यम संक्षिप्त आकार (Moderate Compact Size)
6. सुरक्षित काम (High Safety)
7. दैनंदिन वीज वापराबाबत ग्राहकांना स्पष्ट कल्पना येते (Consumer gets clear idea about daily power consumption.)
8. वापरलेल्या ऊर्जेचे त्वरित निरीक्षण केले जाते. (Quick monitoring of energy consumed.)

• श्री फेज डिजिटल एनर्जी मीटर (Three phase digital energy meter):

आकृती तीन फेज इलेक्ट्रॉनिक ऊर्जा मीटरचे बांधकाम ब्लॉक आकृती दर्शवते. मुख्य ब्लॉकमध्ये खालील दिलेले भाग समाविष्ट आहे:

1. व्होल्टेज सेन्सर
2. करंट सेन्सर
3. सिस्टम कंट्रोलर
4. चार क्वाड्रंट मेट्रोलॉजी प्रोसेसर (four quadrant metrology processor)
5. मेमरी
6. RS-485
7. टर्मिनल ब्लॉक
8. डिजिटल डिस्प्ले



आकृती क्र.2.21 थ्री फेज डिजिटल एनर्जी मीटर (Three phase digital energy meter)

- 1) फेज इलेक्ट्रॉनिक एनर्जी मीटरचा प्रत्येक घटक अशा प्रकारे जोडलेला आहे की ते ऑनलाँग इलेक्ट्रिकल तसेच डिजिटल क्वांटिटी ऑपरेट करू शकतात आणि प्रतिसाद देऊ शकतात.
- 2) सुरुवातीला, तीन फेज सप्लाय (इनकमिंग) L1, L2, L3 आणि N तसेच रेफरन्स सिग्नल A, B आणि RET टर्मिनल ब्लॉकला जोडलेले आहेत. टर्मिनल ब्लॉक ही कंडक्टिंग स्ट्रिप आहे ज्यामध्ये इनकमिंग आणि आउटगोइंग टर्मिनल जोडलेले आहेत.
- 3) येणारे पुरवठा टर्मिनल L1, L2, L3 आणि N हे टर्मिनल ब्लॉकद्वारे करंट सेन्सरशी जोडलेले आहेत. करंट सेन्सर विद्युत् गणनेसाठी विचारात घेतलेल्या करंटचे मूल्य सेन्स करतो.
- 4) त्याचप्रमाणे, करंट सेन्सरचे टर्मिनल व्होल्टेज सेन्सरशी जोडलेले आहेत. व्होल्टेज सेन्सर लोड व्होल्टेजचे मूल्यसेन्स करतो.
- 5) करंट सेन्सर आणि व्होल्टेज सेन्सर या दोन्हीचे आउटपुट चार क्वांट मेट्रोलाजी प्रोसेसरला दिले जाते, मेट्रोलाजी प्रोसेसर हे एक मल्टी-इनपुट प्रिसिजन डायमेशनल (फोर क्वांट) तपासणी युनिट आहे जे शक्तिशाली डेटा ऑपरेशन करते.
- 6) चार क्वांट मेट्रोलाजी प्रोसेसर आठ डिजिटल गेज इनपुटसह कॉन्फिगर केले जाऊ शकतात जे गुणक ऑपरेशन्स करतात. मेट्रोलाजी प्रोसेसरमध्ये एकापेक्षा जास्त भाग वैशिष्ट्यांचा सेटअप परिभाषित केला जाऊ शकतो, प्रत्येकाची अद्वितीय टोलरन्स मर्यादा, प्रीसेट व्हॅल्यू, मापन रिझोल्यूशन, पीक - होल्ड सेटिंग, गणित ऑपरेशन्स आणि डिस्प्ले फॉर्मॅट आहे. पुश-बटण किंवा ऑटो स्वॅप फंक्शन वापरून ते त्वरीत भिन्न सेटअप देखील निवडते. सर्व माहिती (सेट अप) नॉन-व्होलॅटाइल मेमरीमध्ये ठेवली जाते.
- 7) चार क्वांट मेट्रोलाजी प्रोसेसरचे आउटपुट (सेट अप माहिती) सिस्टम कंट्रोलरवर लागू केले जाते. क्लोज लूप फीडबॅक नियंत्रित करण्यासाठी सिस्टम कंट्रोलरचा वापर केला जातो, तो ऑनलाँग तसेच डिजिटल सर्किट व्यवस्था दोन्ही वापरून लागू केला जाऊ शकतो.

- 8) चार क्वांटम मेट्रोलॉजी प्रोसेसर आणि सिस्टम कंट्रोलर मधील लोड करंट आणि लोड व्होल्टेज (उपभोगलेली शक्ती) ची तुलना केलेली समतुल्य मूल्ये डिजिटल डिस्प्ले युनिटवर युनिट कालावधीत प्रदर्शित केली जातात.
- 9) वीज वापराशी संबंधित सेटअप माहिती नॉन-व्होल्टाइल मेमरी युनिटमध्ये संग्रहित केली जाते. मेमरी युनिट दुय्यम स्टोरेज सिस्टम म्हणून काम करते आणि दीर्घकालीन पर्सिस्टंट डेटा साठवते.
- 10) RS-485 हे सीरियल कम्युनिकेशन सिस्टममध्ये वापरण्यासाठी ड्रायव्हर्स आणि रिसीव्हर्सची इलेक्ट्रिकल वैशिष्ट्ये परिभाषित करणारे मानक आहे. हे टर्मिनल A, B किंवा RET वापरून इलेक्ट्रिकल डेटा प्राप्त/पाठवू शकते.

श्री फेज इलेक्ट्रॉनिक एनर्जी मीटरची ठळक वैशिष्ट्ये (गुणधर्म) (Features of Electronic Energy Meter):

1. वर्ग 1.0 अचूकता. (accuracy)
2. शार्प आणि ब्राइट (अल्ट्रा ब्राइट) एलईडी डिस्प्ले.
3. अॅडव्हान्स पॅरामीटर तसेच फॉल्ट सेटिंग.
4. प्रोग्राम करण्यायोग्य नियंत्रण.
5. पॅरामीटर्सचे स्मार्ट आणि अद्वितीय नियंत्रण.
6. उच्च रूपांतरण कार्यक्षमता.
7. उच्च कार्यक्षमता - 97.5% पेक्षा जास्त.
8. आकारात तुलनात्मकदृष्ट्या कॉम्पॅक्ट.
9. रिल टाइम डेटा प्रदान करतो. जो लोड मागणी संतुलित करण्यासाठी उपयुक्त आहे.
10. द्रुत डेटा निरीक्षण.
11. दीर्घकालीन डेटा संचयनासाठी सहाय्य/समर्थन प्रदान करते.
12. सीरियल कम्युनिकेशनला वाव आहे.

2.7 स्मार्ट एनर्जी मीटर: मूलभूत संकल्पना, ब्लॉक आकृती, कार्य आणि कार्य तत्त्व. (Smart energy meter: Basic concept, block diagram, operation and working principle):

• मूलभूत संकल्पना (Basic concept):

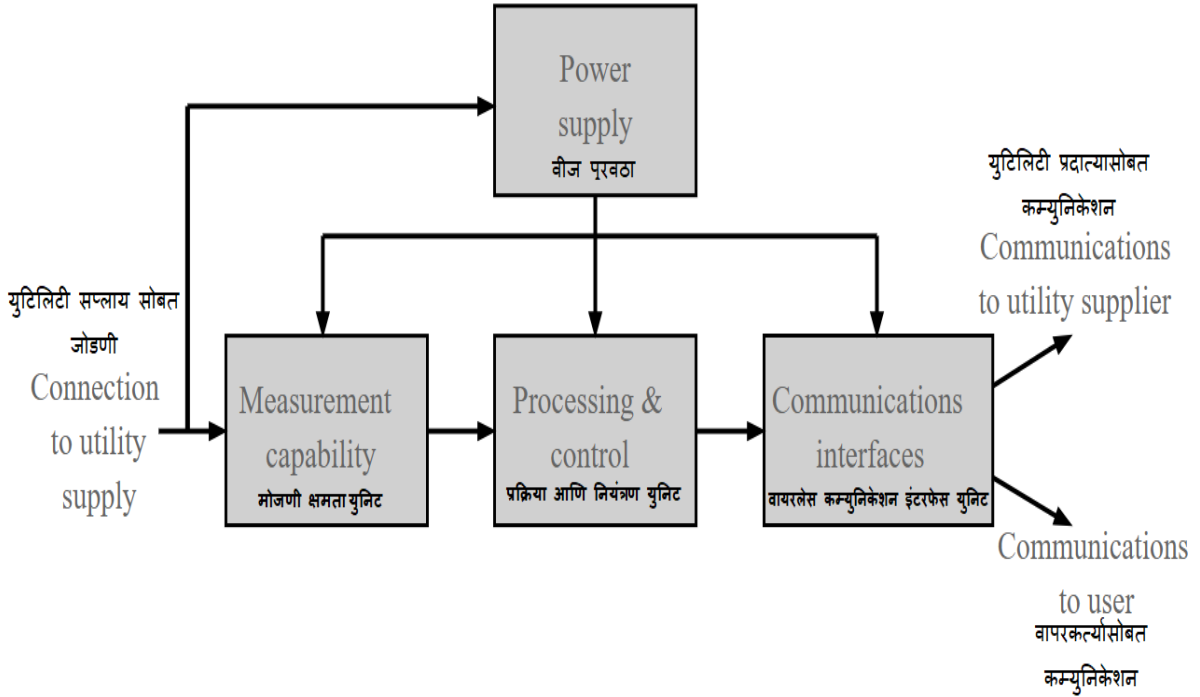
- 1) एनर्जी वापराचा पर्यावरणीय प्रभाव कमी करण्यासाठी अनेक युटिलिटी कंपन्यांद्वारे स्मार्ट एनर्जी मीटरचा वापर केला जात आहे. ते केवळ वापरकर्त्यांना त्यांची एनर्जी कशी वापरली जात आहे हे पाहण्यास सक्षम करत नाहीत तर ते विकसित होत असलेल्या "स्मार्ट ग्रिड" प्रणालीचे आयोजन करण्यासाठी उपयुक्तता (Utility) कंपन्यांना महत्त्वपूर्ण डेटा देखील प्रदान करतात.
- 2) जुन्या शैलीतील मीटर अनेक वर्षांपासून वापरात आहेत आणि दीर्घ कालावधीसाठी अत्यंत अचूक आणि अतिशय विश्वासार्ह आहेत. तथापि नवीन स्मार्ट मीटर्सना अतिरिक्त क्षमता प्रदान करताना समान पातळीची अचूकता आणि दीर्घकालीन विश्वासार्हता प्रदान करण्यात सक्षम असणे आवश्यक आहे. या आवश्यकता स्मार्ट मीटरच्या इलेक्ट्रॉनिक सर्किट डिझाइन अवघड करतात. कारण त्यांना अचूकपणे कार्य करणे आवश्यक आहे आणि तसेच तापमानातील फरकांना सहन करता आले पाहिजे.
- 3) या व्यतिरिक्त स्मार्ट मीटर इलेक्ट्रॉनिक सर्किट डिझाइनने हे सुनिश्चित केले पाहिजे की युनिट सेट करणे सोपे आहे आणि ते स्मार्ट एनर्जी मॉनिटर किंवा "इन-हाउस डिस्प्ले" (IHD) तसेच युटिलिटी कंपनी कम्युनिकेशन नेटवर्कशी विश्वसनीयरीत्या संवाद (Communication) साधते.

• ब्लॉक आकृती, कार्य आणि कार्य तत्त्व (block diagram, operation and working principle):

- 1) स्मार्ट मीटरच्या कार्यक्षमतेच्या दृष्टीने ब्लॉक डायग्राममध्ये अनेक घटक आहेत. या व्यतिरिक्त कमी उर्जा वीज पुरवठा देखील समाविष्ट आहे आणि संपूर्ण स्मार्ट मीटरचे यशस्वी ऑपरेशन सुनिश्चित करण्यासाठी यासाठी अनेक विशेष आवश्यकता आहेत.
- 2) ब्लॉक डायग्रामवरून पाहिल्याप्रमाणे, स्मार्ट मीटरच्या एकूण ब्लॉक डायग्राममध्ये अनेक घटक आहेत ज्यांचा इलेक्ट्रॉनिक सर्किट डिझाइनसाठी विचार करणे आवश्यक आहे.

1) वीज पुरवठा (Power Supply):

- 1) स्मार्ट मीटरचा हा विभाग मीटरसाठी सर्किटरीला वीज पुरवठा करतो आणि बॅटरी बँक-अप देतो. तसेच ट्रान्झिस्टर्स इत्यादींपासून संरक्षण देखील प्रदान करतो.



आकृती क्र.2.22 स्मार्ट एनर्जी मीटर: ब्लॉक आकृती (Smart Energy Meter Block Diagram)

2) वीज पुरवठा तंत्रज्ञान स्विच मोड तंत्राचा वापर करेल. हे उच्च पातळीच्या कार्यक्षमतेची खात्री देते आणि स्मार्ट मीटरमुळे होणारा सध्याचा करंट ड्रेन (current drain) कमी करते - हे एक महत्वाचे वैशिष्ट्य आहे.

3) स्विच मोड पॉवर सप्लाय (SMPS), लाईन अल्टरनेटिंग करंट (AC) सिग्नल घेईल आणि हे आवश्यक डीसी (DC) व्होल्टेजमध्ये किंवा सर्व मीटर फंक्शन्स चालविण्यासाठी आवश्यक व्होल्टेजमध्ये रूपांतरित करेल. सामान्यतः हे 5 व्होल्ट किंवा त्याहून कमी असेल.

4) या उद्देशासाठी रिचार्ज करण्यायोग्य बॅटरी वापरली असल्यास बॅटरी बॅकअप पूर्णपणे चार्ज झाला आहे याची खात्री करण्यासाठी SMPS देखील वापरला जाईल. कोणत्याही कारणास्तव एसी लाइनमध्ये व्यत्यय आल्यास बॅटरी बॅकअपवर बदलण्यासाठी यात इलेक्ट्रॉनिक स्विच देखील समाविष्ट असेल..

2) मोजणी क्षमता युनिट (Measurement capabilities unit):

1) स्मार्ट एनर्जी मीटर ब्लॉक आकृतीचा हा विभाग वापरल्या जाणाऱ्या उपयुक्ततेच्या (utility) मूलभूत मापनांना (measurement) संबोधित करतो. ते विश्वसनीय आणि अचूक असणे आवश्यक आहे.

2) करंट सॅम्पलिंगसाठी वापरलेले रेझिस्टन्स आणि व्होल्टेज मोजण्यासाठी स्केलिंग रेझिस्टन्समध्ये कमी तापमान गुणांकासह कमी टॉलरन्स असणे आवश्यक आहे जेणेकरून मोजमाप विस्तृत तापमान श्रेणीवर अचूक राहतील. हे सामान्यतः डिजिटल फॉर्मॅटमध्ये डेटा जमा करते आणि त्यासाठी ऑनलाँग ते डिजिटल कन्व्हर्टर वापरले जाते.

3) प्रक्रिया आणि नियंत्रण युनिट (Processing and Control unit):

1) यासारख्या कोणत्याही मीटरला डेटामध्ये फेरफार (Manipulation) करणे आवश्यक आहे. कम्युनिकेशन लिंक्सद्वारे डेटा पाठवण्यासाठी तसेच स्मार्ट मीटरवर डेटा प्रदर्शित करण्यासाठी ते फॉर्मॅट करणे आवश्यक आहे.

2) सामान्यतः सिस्टम डेटाचे प्रोसेसिंग करण्यासाठी, त्यावर प्रक्रिया करण्यासाठी आणि इंटरफेससाठी आवश्यक असलेल्या आवश्यक स्वरूपांमध्ये रूपांतरित करण्यासाठी प्रक्रिया प्रदान करण्यासाठी मायक्रोकंट्रोलरचा (Microcontroller) वापर करेल.

3) जरी डेटा प्रामुख्याने प्रसारित (transmit) करणे आवश्यक असले तरी, स्मार्ट मीटरमध्ये स्थानिक रीडिंगसाठी स्वतःचा डिस्प्ले देखील असतो. डिस्प्ले साधारणपणे एलसीडी (LCD) प्रकारचा असतो.

4) प्रोसेसरला विविध वायरलेस कम्युनिकेशन इंटरफेसवर डेटा आणि आदेश पाठवणे (sending) आणि प्राप्त (receiving) करणे, व्यवस्थापित करणे देखील आवश्यक आहे. सामान्यतः या इंटरफेसमध्ये युटिलिटी प्रदात्याला लांब

पल्ल्याच्या वायरलेस संप्रेषणांचा समावेश असेल आणि स्मार्ट एनर्जी मॉनिटर किंवा ग्राहकांना प्रदान केलेल्या इन-हाउस डिस्ट्रिब्यूशन कमी अंतराचे वायरलेस कम्युनिकेशन लिंक असणे आवश्यक आहे.

4) वायरलेस कम्युनिकेशन इंटरफेस युनिट (Wireless communications interface):

- 1) अनेक भिन्न वायरलेस कम्युनिकेशन इंटरफेस आहेत जे युटिलिटी प्रदात्याच्या लिंक्ससाठी आणि वापरकर्त्यांच्या परिसरात स्मार्ट एनर्जी मॉनिटरसाठी वापरले जातात.
- 2) अनेक भिन्न वायरलेस कम्युनिकेशन इंटरफेस आहेत जे वापरले जातात. यात समाविष्ट:
 1. ब्रॉडबँड ओव्हर पावर लाईन (Broadband Over Power Line (BPL))
 2. मोबाइल कम्युनिकेशन किंवा सेल्युलर कम्युनिकेशन टूजी (2G) जीएसएम (GSM) अजूनही मोठ्या प्रमाणावर वापरले जात आहे आणि जीपीआरएस (GPRS) सह ती कमी किमतीची आणि विश्वासार्ह प्रवेश पद्धत प्रदान करते. थ्रीजी (3G) चा वापर कमी प्रमाणात केला जातो आणि खरं तर अनेक देशांमध्ये 3G हे 2G पेक्षा आधी काढला जात आहे, त्यामुळे ते वापरण्यासाठी आणखी कमी प्रोत्साहन आहे. अर्थात आता फोरजी (4G) आणि फाईव्हजी (5G) हे देखील पर्याय आहेत.
 3. झिग्बी (Zigbee) सारख्या प्रणालींसह आरएफ (RF) नेटवर्क स्थानिक कम्युनिकेशन एक चांगला पर्याय देतात तर लोरा (LoRa) किंवा सिगफॉक्स (SigFox) सारख्या प्रणाली दीर्घ श्रेणीतील वायरलेस कम्युनिकेशनसाठी पर्याय आहेत.
- 3) निवडलेली वायरलेस कम्युनिकेशन सिस्टीम (wireless communication system) कोणतीही असो, एकूण सिस्टीम कम्युनिकेशन आवश्यकतांचा विचार करणे आवश्यक आहे.

स्मार्ट मीटरमध्ये जे काही डिझाईन केले जाईल आणि नंतर ते तैनात केले जाईल ते पुढील अनेक वर्षांपर्यंत ऑपरेट करू शकतील याची खात्री करणे अत्यंत आवश्यक आहे. काही जुने मीटर दहा, पंधरा, वीस किंवा त्याहून अधिक वर्षांपासून सेवेत आहेत आणि ते चांगले चालतात. नूतनीकरणाचा खर्च जास्त असू शकतो म्हणून, कोणतेही स्मार्ट मीटर विश्वासार्ह, अचूक आणि वापरलेले तंत्रज्ञान पुढील अनेक वर्षांसाठी समर्थित असल्याची खात्री करणे आवश्यक आहे.

स्वाध्याय (Excercise):

1. वॅटमीटर कनेक्शनची व्यवस्थित आकृती काढा. (Draw a neat sketch of wattmeter connection.)
2. डायनामोमीटर प्रकार वॅटमीटरचे बांधकाम आणि कार्य आकृतीसह स्पष्ट करा. (Sketch and explain the construction and working of dynamometer type wattmeter.)
3. सिंगल फेज इलेक्ट्रॉनिक ऊर्जा मीटरच्या बांधकाम वैशिष्ट्यांचे आकृतीसह वर्णन करा. (Describe the constructional features of single phase electronic energy meter with neat labelled diagram).
4. थ्री फेज इलेक्ट्रॉनिक ऊर्जा मीटरची व्यवस्थित ब्लॉक आकृती काढा. (Draw a neat block diagram of three phase electronic energy meter.)
5. डायनामोमीटर प्रकार वॅटमीटरचे कार्य तत्त्व सांगा. (State the working principle of dynamometer type wattmeter.)
6. वॉटमीटरच्या करंट कॉइल आणि व्होल्टेज कॉइलची तुलना करा. (कोणतेही चार मुद्दे) (Compare current coil and potential coil of wattmeter. (any four))
7. विद्युत उर्जेच्या मोजमापातील त्रुटी (error) आणि त्रुटीचे कारण देखील नमूद करा. (कोणत्याही चार). State errors in measurement of electric energy and also mention its cause for errors. (any four).
8. दोन वॅटमीटर पद्धतीने पावर मापनासाठी व्यवस्थित आकृती काढा. (Draw neat diagram for power measurement by two wattmeter method.)
9. सिंगल फेज एनर्जी मीटरचे आकृतीसह वर्णन करा. (Describe with sketches single phase energy meter for electrical energy measurement.).

संदर्भग्रंथ (Bibliography):

- 1) Electrical and Electronic Measurement and Instrumentation by A.K.Sawhney.
- 2) Electronics and Electrical Measurements and Instrumentation by J.B.Gupta.
- 3) Electrical and Electronic Measurement and Instrumentation by R.K.Rajput
- 4) Principles of Industrial Instrumentation by Patranabis D.

माहिती संकेतस्थळ (Information Websites):

- 1)<https://www.electrical4u.com>
- 2)<https://circuitglobe.com/temperature-transducer.html>
- 3)<https://ndl.iitkgp.ac.in/>
- 4)[www.dreamtechpress.com /ebooks](http://www.dreamtechpress.com/ebooks)
- 5)<https://nptel.ac.in/>

युनिट-3

डिजिटल मापन उपकरणे (Digital Measuring Instruments)

विषय निष्पत्ती (Course Outcome):

विविध उपयोगांसाठी डिजिटल मोजमाप उपकरणे वापरा.

(Use digital measuring instruments for different applications.)

थिअरी लर्निंगसह मॅप केलेली शिक्षण सामग्री निष्पत्ती (TLOs) आणि विषय निष्पत्ती COs:

(Learning content mapped with Theory Learning Outcomes (TLO's) and CO's):

TLO 3.1 Explain the merits of digital measuring instruments.

(डिजिटल मापन यंत्रांचे गुण स्पष्ट करा.)

TLO 3.2 Describe the construction and working of a given digital meter with neat sketch.

(दिलेल्या डिजिटल मीटरच्या बांधकामाचे आणि कामाचे व्यवस्थित स्केचसह वर्णन करा.)

TLO 3.3 Describe the construction and working of a given resistance measurement meters with neat sketch.

(दिलेल्या रेझिस्टन्स मापन मीटरच्या बांधकामाचे आणि कामाचे स्पष्ट स्केचसह वर्णन करा.)

TLO 3.4 Describe the working of a given meter used for synchronization with neat sketch.

(स्केचसह सिंक्रोनाइझेशनसाठी वापरलेल्या दिलेल्या मीटरच्या कार्याचे वर्णन करा.)

TLO 3.5 Describe the working of function generator with neat sketch.

(फंक्शन जनरेटरच्या कार्याचे स्पष्ट स्केचसह वर्णन करा.)

TLO 3.6 Describe the working of CRO, Digital storage oscilloscope with neat sketch.

(सी.आर.ओ. च्या कार्याचे वर्णन करा, डिजिटल स्टोरेज ऑसिलोस्कोप व्यवस्थित स्केचसह.)

परिचय (Introduction): डिजिटल नंबरच्या स्वरूपात मोजलेले मूल्य (Value) दर्शविणारे साधन डिजिटल उपकरण म्हणून ओळखले जाते. हे परिमाणीकरणाच्या तत्वावर कार्य (Working) करते. परिमाणीकरण ही सतत इनपुट सिग्नलला मोजण्यायोग्य आउटपुट सिग्नलमध्ये रूपांतरित करण्याची प्रक्रिया आहे. डिजिटल उपकरणे इलेक्ट्रिकल इंजिनीरिंगचा आधारस्तंभ म्हणून उभी आहेत, आणि टेकनॉलॉजिकल इवोल्युशन आणि इनोवेशन पल्स चालविण्यात महत्त्वपूर्ण भूमिका बजावतात. डिजिटल साधने आणि संसाधने वापरण्याचे असंख्य फायदे (advantages) आहेत. अधिक सुसंगत, कार्यक्षम (efficient) आणि सुरक्षित (secure) होण्यासाठी प्रक्रियांची वाढ आणि सुधारणा हे सर्वात स्पष्ट आहे.

3.1 डिजिटल मोजमाप उपकरणे (Digital measuring instruments): मोजमाप साधने (Digital measuring instruments) ही मोजमाप करणारी उपकरणे आहेत जी व्होल्टेज, करंट आणि रेजिस्टन्स यांसारख्या परिमाणांचे मोजमाप करू शकतात. मोजलेली मूल्ये (Value) डिजिटल डिस्प्लेवर दर्शविली जातात, ती सहजपणे आणि थेट वाचण्याची परवानगी देतात, अगदी नवीन वापरकर्त्यांना देखील.

1) डिजिटल मोजमाप साधनाची आवश्यकता आणि फायदे (Digital Measuring Instrument: Need and Advantages):

1) डिजिटल मापन साधने डिजिटल स्वरूपात मोजलेले मूल्य (Value) दर्शवतात जे त्याच्या युनिटसह संख्येत असते. ऑनलाइन उपकरणांच्या तुलनेत ते वाचणे खूप सोपे आहे.

2) या डिजिटल साधनांद्वारे मोजलेले मूल्य कोणीही सहजपणे मोजू शकते आणि नोंदवू शकते कारण ते मोजलेले मूल्य संख्यात्मक स्वरूपात सूचित करेल. ते एक किंवा अधिक दशांश (decimal) ठिकाणी वाचन देऊ शकतात.

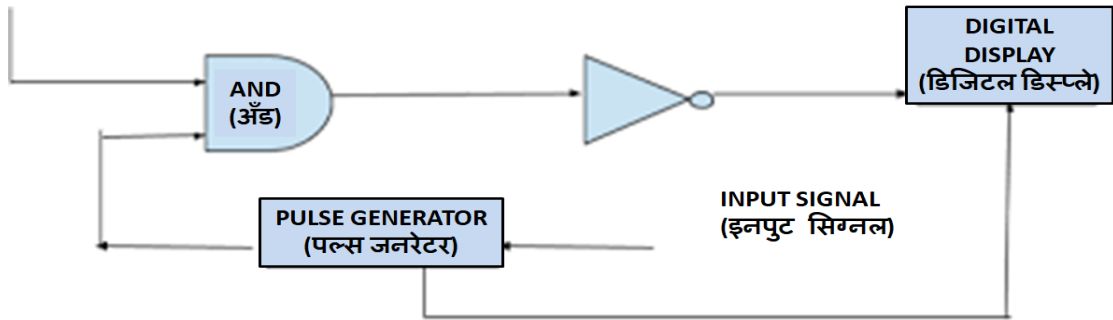
- 3) या प्रकारच्या उपकरणांमध्ये कोणतीही मानवी चूक होणार नाही कारण ते फंक्शनमधून मोजल्याप्रमाणे मूल्य दर्शविले. त्यामुळे मोजलेले मूल्य (Value) ऑनलाँग इन्स्ट्रुमेंटच्या तुलनेत अधिक अचूक असेल.
- 4) इन्स्ट्रुमेंटमधील डेटा भविष्यातील (future) संदर्भासाठी रेकॉर्ड केला जाऊ शकतो.
- 5) डिजिटल इन्स्ट्रुमेंटचे आउटपुट संगणकावरून मिळू शकते.
- 6) डिजिटल इन्स्ट्रुमेंटला कमी एनर्जी आवश्यक आहे.
- 7) इलेक्ट्रॉनिक उपकरणांमध्ये खूप कमी हलणारे (Movable) भाग असल्याने, ते सहसा ऑनलाँग उपकरणांपेक्षा अधिक अचूक असतात. ह्या उपकरणांचे रिडींग घेण्यामध्ये मानवी (human) चुका (error) ही खूप कमी आहेत, ज्यामुळे डिजिटल साधनांच्या अचूकते (accuracy) मध्ये भर पडते.

3.2 डिजिटल मीटरचे कन्स्ट्रक्शन आणि कार्य (Construction and Working of Digital Meter):

1) डिजिटल अँमीटर (Digital Ammeter): डिजिटल अँमीटर ऑनलाँग-टू-डिजिटल रूपांतरणाच्या तत्वावर कार्य करते. सर्किटमधून जाणारा इलेक्ट्रिक करंट ऑनलाँग-टू-डिजिटल कनवर्टर (ADC) वापरून डिजिटल सिग्नलमध्ये रूपांतरित केला जातो. या डिजिटल सिग्नलवर नंतर प्रक्रिया केली जाते आणि डिजिटल स्क्रीनवर प्रदर्शित केले जाते, अचूक संख्यात्मक मूल्य (Numerical Value) दर्शवते.

2) डिजिटल व्होल्टमीटर (Digital Voltmeter): डिजिटल व्होल्टमीटर मोजमापाचे अचूक मूल्य (Value) दर्शविण्यासाठी अंकीय (Numerical Value) दाखवतो. हे डिजिटल व्होल्टमीटर अधिक अचूक (Highly Accuracy) आणि रीड करण्यास सोपे बनवते. या व्होल्टमीटरच्या अचूक स्वरूपामुळे, ते ऑनलाँग व्होल्टमीटरपेक्षा अधिक महाग (Costly) आहेत.

• डिजिटल व्होल्टमीटरची ब्लॉक आकृती: (Block Diagram of Digital Voltmeter):



आकृती क्र. 2 डिजिटल व्होल्ट मीटर (Digital Voltmeter)

- **इनपुट सिग्नल (Input Signal)** - हे सिग्नल आहे जे डिवाइसला इनपुट म्हणून दिले जाते ज्यासाठी व्होल्टेज पातळी मोजली जाते.
- **पल्स जनरेटर (Pulse Generator)** - हे व्होल्टेज स्रोत (Source) साधन आहे जे AC, DC, किंवा रेक्टंगुलर वेव म्हणून आउटपुट देण्यासाठी दोन्ही पद्धतींसह कार्य करते. जनरेटरच्या आत असलेल्या डिजिटल सर्किटरीचा वापर करून जनरेट केलेल्या रेक्टंगुलर वेव ची वारंवारता (Wave form) आणि रुंदीचे स्तर नियंत्रित केले जाऊ शकतात. तर वाढत्या आणि पडण्याच्या वेळेचे स्तर ऑनलाँग सर्किटरीद्वारे व्यवस्थापित केले जातात.
- **अँड गेट (AND Gate)** - जसे आपल्याला माहित आहे की अँड गेटचे आउटपुट उच्च (High) तेव्हाच असते जेव्हा त्याचे दोन्ही इनपुट जास्त (High) असतात. जेव्हा रेक्टंगुलर वेव सह ट्रेन पल्स अँड गेटला इनपुट म्हणून दिली जाते, तेव्हा आउटपुट अशा स्वरूपात असते की ट्रेन पल्स चा कालावधी रेक्टंगुलर वेव इतकाच असतो.

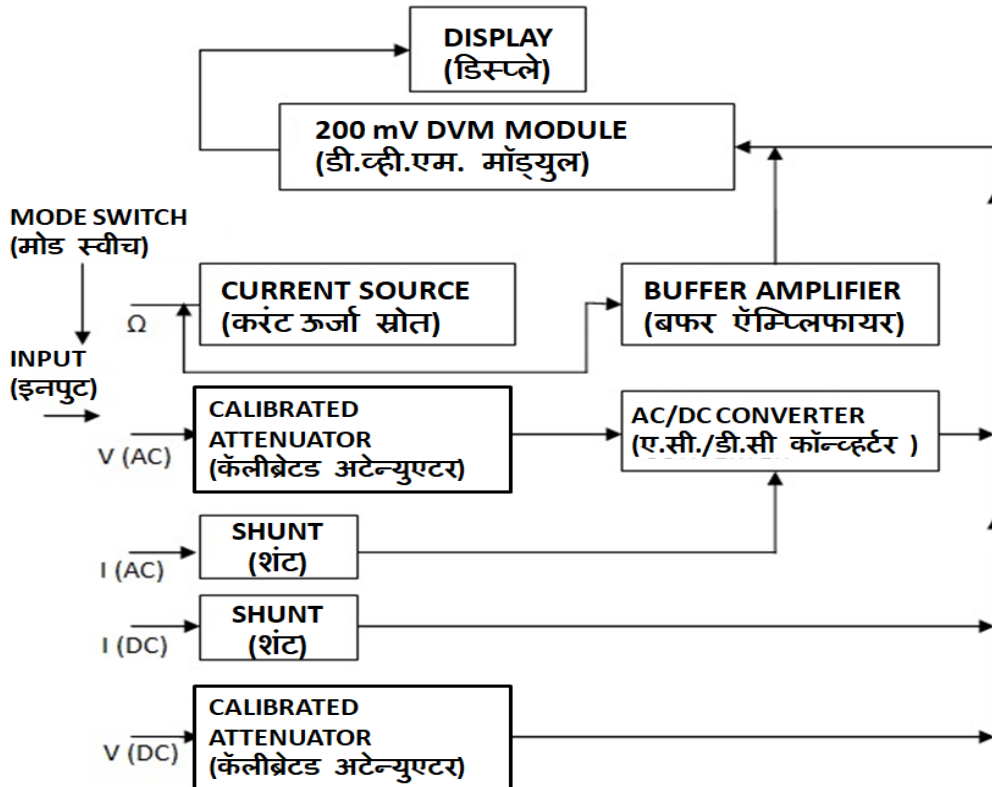
• **डिजिटल डिस्प्ले (Digital Display)**- हा सेक्शन सगळ्या इंपल्स (Impulses) आणि इंपल्स (Impulses) दरम्यानचा कालावधी मोजण्यासाठी वापरला जातो. नंतर कॅलिब्रेशननंतर गणना एलईडी (LED) किंवा एलसीडी (LCD) स्क्रीनवर प्रदर्शित केली जाते.

• **डिजिटल व्होल्टमीटरचे कार्य (Digital Voltmeter Working):**

1. पल्स जनरेटरला इनपुट म्हणून अज्ञात (Unknown) व्होल्टेज सिग्नल प्रदान केला जातो. येथे, आउटपुट एक वेव आहे जिथे त्याची रुंदी इनपुट सिग्नल सारखीच असते.
2. पल्स जनरेटरमधून तयार केलेले आउटपुट एक इनपुट म्हणून अँड गेटला (AND Gate) दिले जाते आणि दुसरे इनपुट ट्रेन पल्स हे अँड गेटला (AND Gate) दिले जाते.
3. अँड गेटचे (AND Gate) आउटपुट हा पल्स जनरेटरद्वारे प्रदान केलेल्या वेव च्या रुंदीच्या समान रुंदी असलेल्या ट्रेन पल्स पॉझिटिव्ह (Positive) ट्रिगर केलेला क्रम आहे.
4. आता, पॉझिटिव्ह ट्रिगर केलेले पल्स आउटपुट इन्व्हर्टरला इनपुट म्हणून दिले जाते जे नंतर अँड गेटचे (AND Gate) आउटपुट बदलते.
5. आता, इन्व्हर्टरचे आउटपुट काउंटर उपकरणाला दिले जाते जेथे ते त्या कालावधीतील ट्रिगर्सची एकूण संख्या मोजते. हे इनपुट सिग्नल सारखेच आहे.
6. आता, अचूक मापन करण्यासाठी काउंटर उपकरण कॅलिब्रेट केले पाहिजे आणि ते व्होल्टमध्ये थेट व्होल्टेज रीडिंग दर्शवते.

3) डिजिटल मल्टीमीटर (Digital Multimeter): डिजिटल मल्टीमीटर (DMM) हे व्होल्टेज, करंट, रेझिस्टन्स आणि काहीवेळा कॅपेसिटन्स, फ्रिक्वेंसी आणि तापमान यासारख्या विविध इलेक्ट्रिकल पॅरामीटर्स मोजण्यासाठी वापरले जाणारे बहुमुखी इलेक्ट्रॉनिक इन्स्ट्रुमेंट आहे. यामध्ये सामान्यतः डिस्प्ले युनिट, सिलेक्शन डायल किंवा मापन फंक्शन्स निवडण्यासाठी बटणे आणि चाचणी अंतर्गत सर्किटला इलेक्ट्रिकल कनेक्शन बनवण्यासाठी प्रोब असतात.

• **डिजिटल मल्टीमीटरचे रचना (Construction of Digital Multimeter):**



आकृती क्र. 3 डिजिटल मल्टीमीटर (Digital Multimeter)

•डिजिटल मल्टीमीटरचे कार्य:

1. **इनपुट सिग्नल:** डीएमएम हे प्रोब वापरून चाचणी अंतर्गत सर्किटशी जोडलेले आहे. (व्होल्टेज, करंट, रेझिस्टन्स इ.) केलेल्या मापनावर अवलंबून, योग्य प्रोब डीएमएमवरील संबंधित इनपुट जॅकमध्ये घातल्या जातात.
2. **सिग्नल कंडिशनिंग:** अचूक मापन सुनिश्चित करण्यासाठी इनपुट सिग्नल डीएमएमच्या अंतर्गत सर्किटरीद्वारे कंडिशन केलेले आहे. यामध्ये प्रवर्धन, फिल्टरिंग आणि स्केलिंग केले जात असलेल्या मापनाच्या श्रेणीशी जुळण्यासाठी समाविष्ट असू शकते.
3. **अॅनालॉग-टू-डिजिटल रूपांतरण (ADC):** कंडिशन केलेले अॅनालॉग सिग्नल नंतर ए.डी.सी. वापरून डिजिटल स्वरूपात रूपांतरित केले जाते. ए.डी.सी. नियमित अंतराने अॅनालॉग सिग्नलचे नमुने घेते आणि त्याचे वेगळे डिजिटल मूल्यांमध्ये परिमाण करते.
4. **डिजिटल डिस्प्ले:** एडीसीकडून प्राप्त डिजिटल मूल्यांवर प्रक्रिया केली जाते आणि डीएमएमच्या स्क्रीनवर प्रदर्शित केली जाते. डिस्प्ले विशेषतः संबंधित युनिटसह मोजलेले प्रमाण (व्होल्टेज, वर्तमान, प्रतिकार इ.) आणि कोणतेही संबंधित मापन मापदंड (जसे की श्रेणी किंवा रिझोल्यूशन) दर्शविते.
5. **ऑटो-रेंजिंग किंवा मॅन्युअल रेंज सिलेक्शन:** काही डी.एम.एम. (DMM) मध्ये ऑटो-रेंजिंग क्षमता असते, जिथे इन्स्ट्रुमेंट आपोआप सापडलेल्या सिग्नलच्या मोठेपणावर आधारित योग्य मापन श्रेणी निवडते. वैकल्पिकरित्या, वापरकर्ते श्रेणी निवडक स्विच किंवा बटणे वापरून इच्छित श्रेणी व्यक्तिचलितपणे निवडू शकतात.
6. **अतिरिक्त कार्ये:** डी.एम.एम. (DMM) च्या मॉडेल आणि वैशिष्ट्यांवर अवलंबून, ते सातत्य चाचणी, डायोड चाचणी, कॅपेसिटन्स मापन, वारंवारता मापन आणि तापमान मापन यासारखी अतिरिक्त मापन कार्ये देऊ शकते. ही कार्ये विशिष्ट मापन तंत्रे आणि प्रत्येक मापन प्रकारासाठी तयार केलेले अल्गोरिदम वापरून कार्य करतात.
7. **सुरक्षा वैशिष्ट्ये:** डी.एम.एम. (DMMs) सहसा वापरकर्त्याची सुरक्षितता सुनिश्चित करण्यासाठी ओव्हरलोड संरक्षण, फ्यूज संरक्षण आणि CAT रेटिंग यांसारखी सुरक्षा वैशिष्ट्ये समाविष्ट करतात, विशेषतः उच्च व्होल्टेज किंवा करंटसह काम करताना.

• अॅनालॉग मल्टीमीटरपेक्षा डिजिटल मल्टीमीटरचे गुण (Advantages of digital multimeter over analog multimeter):

- 1) वाचण्यास सोपे (Easy to read).
- 2) उच्च अचूकता (High Accuracy), उच्च रिझोल्यूशन आणि अचूकता.
- 3) कोणतेही घर्षण (Friction) नुकसान नाही कारण कोणतेही हलणारे भाग (Moving Parts) नाहीत.
- 4) कोणतेही बाह्य समायोजन नाही.
- 5) हलणारे भाग नसल्यामुळे मोठी वारंवारता श्रेणी.
- 6) कॉम्पॅक्ट आणि पोर्टेबल.

•डिजिटल मल्टीमीटरचे अनुप्रयोग (Digital Multimeter Applications):

1. डीसी व्होल्टेजचे मापन.
2. डीसी करंटचे मापन.
3. एसी व्होल्टेजचे मापन.
4. एसी करंटचे मापन.
5. रेझिस्टन्स मापन.
6. सातत्य चाचणी.
7. ट्रान्झिस्टरची चाचणी.
8. वारंवारतेचे (Frequency) मापन.

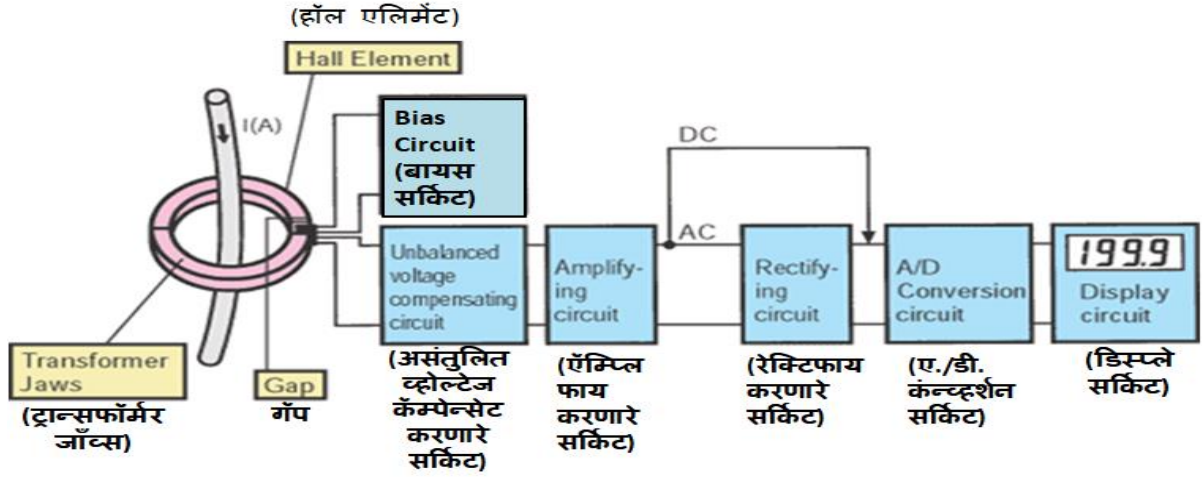
4) क्लॅम्प-ऑन मीटर (Clamp on Meter):

चाचणी लीड्स न वापरता कार्यक्षम, सोयीस्कर आणि सुरक्षित रीतीने इलेक्ट्रिक करंट मोजण्यासाठी वापरलेले उपकरण क्लॅम्प -ऑन मीटर म्हणून ओळखले जाते.

• क्लॅम्प-ऑन चे कार्य तत्त्व (Working Principle of Clamp-On Meter):

वायरमधील करंट चुंबकीय क्षेत्र (Magnetic Field) निर्माण करतो. हॉल इफेक्ट सेन्सर प्रामुख्याने चुंबकीय क्षेत्र शोधतो जे इलेक्ट्रिक करंटमुळे सेन्सरवर कमी व्होल्टेज निर्माण करते.

• क्लॅम्प-ऑन मीटर ब्लॉक आकृती: (Block Diagram of Clamp-on Meter)

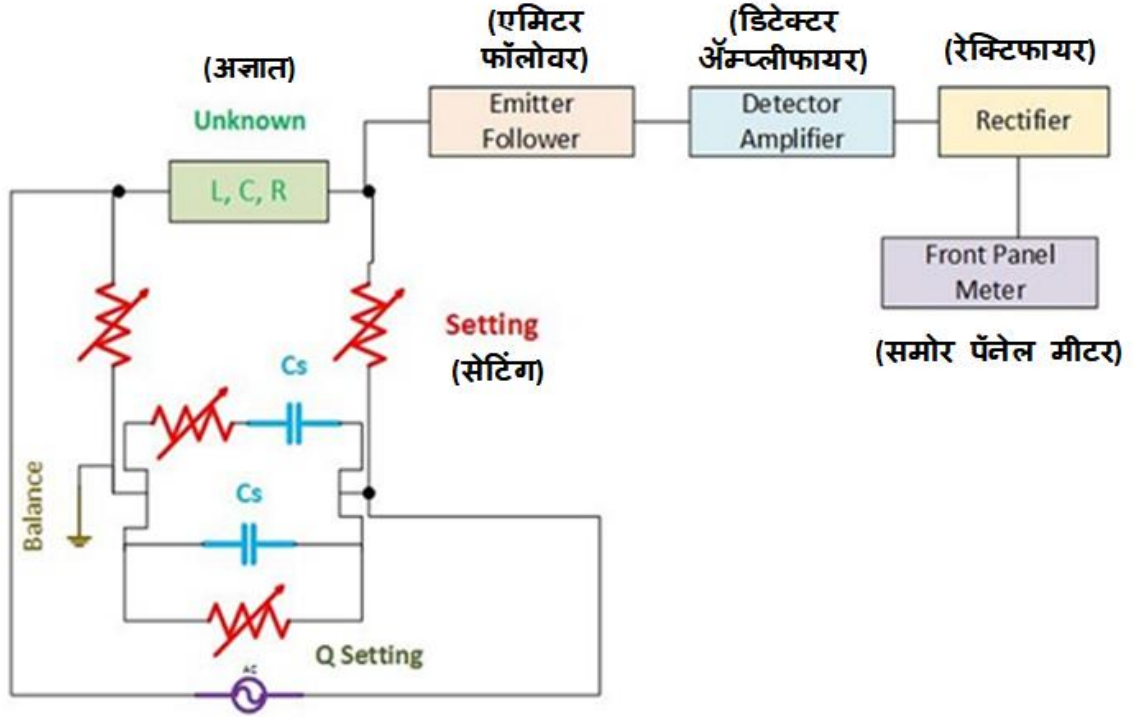


आकृती क्र. 4 क्लॅम्प-ऑन मीटर (Clamp-on Meter)

• क्लॅम्प-ऑन मीटरची कार्यप्रणाली (Clamp-On Meter Working Principle): सर्वसाधारणपणे हॉल घटकांचा वापर डीसी करंट शोधण्यासाठी सेन्सर म्हणून केला जातो कारण समर्पित AC क्लॅम्प मीटरसाठी वापरल्या जाणाऱ्या इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक इंडक्शन पद्धतीचा वापर करणे शक्य नसते. डावीकडील आकृतीमध्ये दर्शविल्याप्रमाणे, ट्रान्सफॉर्मर जबड्याचा काही भाग कापून तयार केलेल्या अंतरावर हॉल घटक ठेवलेला आहे. जेव्हा ट्रान्सफॉर्मर जबड्यात AC आणि DC दोन्ही प्राथमिक प्रवाहांच्या प्रमाणात चुंबकीय प्रवाहाचा प्रवाह येतो तेव्हा हा हॉल घटक चुंबकीय प्रवाह शोधतो आणि आउटपुट व्होल्टेज म्हणून बाहेर काढतो. हॉल घटक जेव्हा इनपुट टर्मिनलवर बायस करंट लागू केला जातो तेव्हा आउटपुट टर्मिनलवर बायस करंट आणि चुंबकीय क्षेत्राच्या उत्पादनाच्या प्रमाणात व्होल्टेज तयार करण्यासाठी हा एक सेमीकंडक्टर आहे. सर्वसाधारणपणे AC क्लॅम्प मीटर कंडक्टरमधून वाहणाऱ्या करंट च्या परिणामी निर्माण होणारा चुंबकीय प्रवाह उचलण्यासाठी वापरल्या जाणाऱ्या करंट ट्रान्सफॉर्मर (CT) च्या तत्त्वावर चालतात. कंडक्टरमधून वाहणारा करंट हा प्राथमिक प्रवाह आहे असे गृहीत धरून, तुम्ही ट्रान्सफॉर्मरच्या दुय्यम बाजूने (वाइंडिंग) इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक इंडक्शनद्वारे प्राथमिक करंट च्या आनुपातिक प्रवाह (Flow) मिळवू शकता जे साधनाच्या मोजणी सर्किटशी जोडलेले आहे.

5) एल-सी-आर मीटर (LCR Meter): एल-सी-आर मीटर (LCR Meter) हे मल्टीमीटर म्हणून वापरले जाऊ शकते, कारण ते आवश्यकतेनुसार प्रतिरोध, इंडक्टन्स आणि कॅपेसिटन्स मोजता येतो. त्याच्या नावात **L** म्हणजे इंडक्टन्स, **C** म्हणजे कॅपेसिटन्स आणि **R** म्हणजे रेझिस्टन्स. एलसीआर मीटर (इंडक्टन्स (एल), कॅपेसिटन्स (सी), आणि रेझिस्टन्स (आर) चाचणी उपकरणे घटकाची इंडक्टन्स, कॅपेसिटन्स आणि प्रतिरोध मोजण्यासाठी वापरली जातात. हे प्रतिबाधा मापनाच्या तत्त्वावर कार्य करते. एलसीआर मीटरच्या सामान्य आवृत्त्यांमध्ये, हे प्रमाण थेट मोजले जात नाही, परंतु प्रतिबाधाच्या मोजमापावरून निर्धारित केले जाते. आवश्यक गणना, इन्स्ट्रुमेंटच्या सर्किटरीमध्ये समाविष्ट केली जाते; मीटर थेट **L**, **C** आणि **R** वाचतो आणि मानवी गणना आवश्यक नसते. हे व्होल्टेज आणि विद्युत् प्रवाहाच्या पुनरावृत्तीच्या फरकांच्या परिमाणातील सापेक्ष बदल निर्धारित करेल ज्याला एम्पलीट्यूड (Amplitude) म्हणून ओळखले जाते.

•एल-सी-आर मीटर ची ब्लॉक आकृती (LCR Meter Block Diagram):



आकृती क्र. 5 एल-सी-आर मीटर (LCR Meter)

•एल-सी-आर मीटर (LCR Meter) च्या ब्लॉक्सचे कार्य:

- 1) **ऑसीलेटर (Oscillator):** ते मोजमापासाठी आवश्यकतेनुसार चल वारंवारता निर्माण करते
- 2) **करंट टू व्होल्टेज कन्वर्टर (Current to voltage converter IVC):** पुढील मापनाच्या उद्देशाने अज्ञात पॅरामीटर (मापण्यासाठी) इनपुट करंटला इक्विवॅलेंट व्होल्टेजमध्ये रूपांतरित करते.
- 3) **नियंत्रण स्विच (Control Switches):** सरासरी व्होल्टेज डिटेक्टर (AVD) आणि डिजिटल इंटिग्रेटर युनिटला योग्य इनपुट प्रदान करण्यासाठी.
- 4) **व्होल्टेज कंट्रोल ऑसिलेटर (Voltage Controlled Oscillator VCO):** ते घड्याळ सिग्नल तयार करतात, जे संदर्भ सिग्नलच्या टप्प्यात लॉक केलेले असतात.
- 5) **फेज सेन्सिटिव्ह डिटेक्टर (Phase sensitive detector):** इनपुट सिग्नलमधील फेज ओळखतो.
- 6) **रेंज स्विच (Range Switch):** मापनासाठी योग्य रेंज निवडते
- 7) **एलसीआर फंक्शन स्विच (LCR Function Switch):** इंडक्टन्स (एल), कॅपेसिटन्स (सी) आणि रेझिस्टन्स (आर) मोजण्यासाठी हे स्विच वापरले जाते.
- 8) **डिस्प्ले युनिट (Display Unit):** मोजले जाणारे प्रमाण प्रदर्शित करते.

• एल-सी-आर मीटर ची कार्यप्रणाली (LCR Meter Working Principle):

सदर मीटर चाचणी अंतर्गत डिव्हाइस **AC** व्होल्टेज स्रोताच्या अधीन आहे. एलसीआर मीटर चाचणी अंतर्गत उपकरणाद्वारे व्होल्टेज ओव्हर आणि करंट शोधतो. यांच्या गुणोत्तरावरून मीटर प्रतिबाधाची तीव्रता ठरवू शकतो. व्होल्टेज आणि करंटमधील फेज कोन देखील शोधला जातो. सर्वात उपयुक्त गृहितक, आणि सामान्यतः स्वीकारले जाणारे, म्हणजे **LR** मोजमापांमध्ये मालिकेतील घटक असतात (जसे की इंडक्टर कॉइलमध्ये आढळते) आणि **CR** मोजमापांमध्ये कंपोनेंट पॅरलल असतात जसे कॅपेसिटरचे मोजमाप करताना आढळते लिकेज डायलेक्ट्रिक. हे कायम चुंबक (Permanent Magnet) मशीनमधील रोटारच्या स्थानाच्या संदर्भात इंडक्टन्स व्हेरिएशन तपासण्यासाठी देखील वापरले जाऊ शकते. पूर्ण एलसीआर मीटर चाचणी, चाचणी केलेल्या उपकरणावर अवलंबून खूप लवकर घेतली जाऊ शकते.

• एल-सी-आर मीटर चे उपयोग (LCR Meter Application):

1. प्रतिकाराचे मोजमाप (Measurement of resistance)
2. सेल्फ-इंडक्टन्सचे मापन (Measurement of self-inductance)
3. म्युच्युअल इंडक्टन्सचे मोजमाप (Measurement of mutual inductance)
4. कॅपेसिटन्सचे मोजमाप (Measurement of capacitance)
5. Q घटकाचे मोजमाप (Measurement of Q factor)

6) पॉवर फॅक्टर मीटर (Power Factor Meter):

डिजिटल पॉवर फॅक्टर मीटर हे एक इलेक्ट्रॉनिक उपकरण आहे जे इलेक्ट्रिकल सिस्टमचे पॉवर फॅक्टर मोजण्यासाठी वापरले जाते. पॉवर फॅक्टर हे प्रणालीमध्ये विद्युत उर्जेचा किती प्रभावीपणे वापर केला जात आहे याचे मोजमाप आहे. हे ऑक्टिव पॉवर (Watt) आणि अपरांट पॉवर (VA) चे गुणोत्तर आहे, ज्याचे मूल्य (Value) 0 ते 1 पर्यंत आहे. डिजिटल पॉवर फॅक्टर मीटर पॉवर फॅक्टर मूल्यांचे मोजमाप, प्रक्रिया आणि डिस्प्लेसाठी डिजिटल तंत्रज्ञानाचा वापर करतात. इलेक्ट्रिकल सिस्टीममधून घेतलेल्या व्होल्टेज आणि वर्तमान मोजमापांवर आधारित पॉवर फॅक्टरची एक्यूरेटली गणना (Calculate) करण्यासाठी हे मीटर सामान्यतः मायक्रोकंट्रोलर किंवा डिजिटल सिग्नल प्रोसेसर (डीएसपी) वापरतात.



आकृती क्र. 6 पॉवर फॅक्टर मीटर (Power Factor Meter)

• पॉवर फॅक्टर मीटर ची रचना (Power Factor Meter Construction):

1. **डिस्प्ले:** मीटरच्या समोर, सामान्यतः एक डिजिटल डिस्प्ले (जसे की LCD किंवा LED स्क्रीन) असतो जेथे पॉवर फॅक्टर मूल्य दर्शविले जाते.
2. **इनपुट टर्मिनल्स:** असे इनपुट टर्मिनल्स आहेत जिथे विद्युत प्रणालीतील व्होल्टेज आणि वर्तमान सिग्नल मीटरला जोडलेले असतात.
3. **फंक्शन बटणे:** डिस्प्लेच्या बाजूला, मेनू नेव्हिगेट करण्यासाठी, सेटिंग्ज कॉन्फिगर करण्यासाठी आणि इतर ऑपरेशन्स करण्यासाठी फंक्शन बटणे किंवा कीपॅड असू शकतात.
4. **इंडिकेटर लाइट्स:** काही मीटरमध्ये मीटरची स्थिती किंवा सिग्नलची गुणवत्ता दर्शविण्यासाठी इंडिकेटर लाइट्स समाविष्ट असतात.
5. **कम्युनिकेशन पोर्ट्स:** मीटरच्या मागील किंवा बाजूला, बाह्य उपकरणे किंवा नेटवर्कशी कनेक्ट करण्यासाठी RS-485, इथरनेट किंवा USB सारखी संप्रेषण पोर्ट असू शकतात.
6. **एनक्लोजर:** संपूर्ण मीटर सामान्यतः संरक्षक आच्छादनात (Protective Casing) ठेवलेले असते, जे ऑप्लिकेशन्स च्या वातावरणावर अवलंबून प्लास्टिक किंवा धातूचे बनलेले असू शकते.

• **पॉवर फॅक्टर मीटर ची कार्यप्रणाली (Power Factor Meter Working):**

- 1) **व्होल्टेज आणि करंट मोजमाप:** मीटर व्होल्टेज आणि करंट ट्रान्सफॉर्मर (VTs आणि CTs) वापरून विद्युत प्रणालीचे व्होल्टेज आणि करंट मोजतो. हे ट्रान्सफॉर्मर सिस्टीममध्ये असलेले उच्च व्होल्टेज आणि करंट मोजण्यासाठी योग्य पातळीपर्यंत खाली आणतात.
- 2) **सिग्नल कंडिशनिंग:** मोजलेले व्होल्टेज आणि करंट सिग्नल मीटरच्या प्रोसेसिंग सर्किटरीशी अचूकता आणि सुसंगतता सुनिश्चित करण्यासाठी कंडिशन केलेले आहेत. यामध्ये आवाज, ॲप्लिकेशन आणि आयसोलेशन फिल्टर करणे समाविष्ट असते.
- 3) **पॉवर फॅक्टरची गणना:** कंडिशन केलेले व्होल्टेज आणि करंट सिग्नल नंतर मीटरच्या मायक्रोकंट्रोलर किंवा डिजिटल सिग्नल प्रोसेसर (DSP) द्वारे प्रक्रिया केली जातात. मीटर सूत्र वापरून पॉवर फॅक्टरची गणना करते:

$$\text{पॉवर फॅक्टर (PF)} = \frac{\text{ॲक्टिव पॉवर (Active Power)}}{\text{अपरांट पॉवर (Apparent Power)}}$$

- 4) **ॲक्टिव पॉवर:** हे पॉवर फॅक्टरद्वारे ($\cos\phi$) गुणाकार केलेले व्होल्टेज आणि करंट चे गुणाकार आहे, तर अपरांट पॉवर (VA) व्होल्टेज आणि करंटचे गुणाकार आहे.

- 5) **डिस्प्ले:** मोजलेले पॉवर फॅक्टर मूल्य मीटरच्या डिजिटल डिस्प्लेवर (LCD किंवा LED) प्रदर्शित केले जाते, ज्यामुळे वापरकर्त्याला मापन सहजपणे वाचता येते आणि त्याचा अर्थ लावता येतो.

- 7) **टॅकोमीटर (Tachometer):** टॅकोमीटर हे एक यंत्र आहे जे एखाद्या वस्तूचा गती मोजण्यासाठी वापरले जाते, विशेषत: रीवोल्यूशन प्रति मिनिट (RPM). इंजिन, मोटर्स, टर्बाइन, कन्व्हेयर बेल्ट आणि इतर औद्योगिक उपकरणे यासारख्या फिरत्या यंत्रांच्या गतीचे निरीक्षण करण्यासाठी हे सामान्यतः वापरले जाते.

• **टॅकोमीटर (Tachometer) चे दोन प्रकार पडतात: (Types of Tachometers)**

- 1) **कॉन्टॅक्ट टॅकोमीटर (Contact type Tachometer):** कॉन्टॅक्ट-टाइप टॅकोमीटर हे शाफ्टशी संपर्क करून फिरणाऱ्या शाफ्टची फिरण्याची गती मोजण्यासाठी वापरले जाणारे उपकरण आहे. हे टॅकोमीटर सामान्यतः सेन्सर किंवा प्रोबचा वापर करतात जे फिरणाऱ्या वस्तूच्या पृष्ठभागाला त्याचा वेग शोधण्यासाठी थेट स्पर्श करतात.



आकृती क्र. 7 कॉन्टॅक्ट टॅकोमीटर (Contact Tachometer)

• कॉन्टॅक्ट टॅकोमीटर ची रचना (Contact type Tachometer Construction):

- 1) प्रोब किंवा सेन्सर (Prob or Sensor):** कॉन्टॅक्ट-टाइप टॅकोमीटरच्या मध्यभागी एक प्रोब असतो जो फिरत्या शाफ्टच्या पृष्ठभागाशी संपर्क साधतो. हे प्रोब ऑप्लिकेशन वातावरणातील परिस्थितीचा सामना करण्यासाठी आणि ऑपरेशन दरम्यान शाफ्टशी अचूक संपर्क राखण्यासाठी डिझाइन केलेले आहे.
- 2) मेकॅनिकल लिंकेज (Mechanical Linkage):** प्रोब बहुतेक वेळा टॅकोमीटरच्या मुख्य भागाशी मेकॅनिकल लिंकेजद्वारे जोडलेले असते, ज्यामुळे प्रोबची हालचाल गती मोजण्यासाठी टॅकोमीटरच्या अंतर्गत घटकांमध्ये प्रसारित केली जाते.
- 3) सेन्सर मेकॅनिझम (Sensor Mechanism):** टॅकोमीटर हाऊसिंगमध्ये, एक सेन्सर यंत्रणा आहे जी प्रोबची हालचाल शोधते कारण ती फिरत्या शाफ्टशी संपर्क साधते. या यंत्रणेमध्ये टॅकोमीटरच्या रचनेनुसार गीअर्स, लीव्हर किंवा इलेक्ट्रॉनिक सेन्सर यांसारखे घटक समाविष्ट असतो.
- 4) सिग्नल प्रोसेसिंग सर्किट (Signal Processing Circuit):** सेन्सर मेकॅनिझम शाफ्टच्या रोटेशनल स्पीडच्या प्रमाणात इलेक्ट्रिकल सिग्नल तयार करते. या सिग्नलवर शाफ्टचा वेग निश्चित करण्यासाठी टॅकोमीटरमध्ये सर्किटरीद्वारे प्रक्रिया केली जाते.
- 5) डिस्प्ले युनिट (Display Unit):** मोजलेली रोटेशनल स्पीड सामान्यतः टॅकोमीटरच्या पुढील पॅनेलवर डिजिटल डिस्प्लेवर प्रदर्शित केली जाते. हा डिस्प्ले वापरकर्त्याला रिल-टाइम फीडबॅक प्रदान करतो, प्रति मिनिट रिवोल्यूशन वेग (RPM) किंवा इतर योग्य युनिट दर्शवितो.
- 6) उर्जा स्रोत (Energy Source):** टॅकोमीटर योग्य उर्जा स्रोताद्वारे समर्थित आहे, जे डिझाइन आणि अनुप्रयोग आवश्यकतांवर अवलंबून बॅटरी असते.

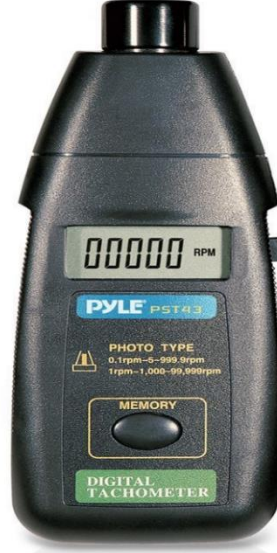
• कॉन्टॅक्ट टॅकोमीटर ची कार्यप्रणाली (Contact type Tachometer Working Principle):

- 1) प्रोब कॉन्टॅक्ट (Prob Contact):** टॅकोमीटर प्रोब, सामान्यतः टीप किंवा चाकाने सुसज्ज असतो, फिरणाऱ्या शाफ्टच्या पृष्ठभागाशी थेट संपर्क साधतो. हा संपर्क खात्री करतो की शाफ्टची गती प्रोबमध्ये हस्तांतरित केली जाते.
- 2) यांत्रिक लिंकेज (Mechanical Linkage):** प्रोबची हालचाल टॅकोमीटरच्या अंतर्गत घटकांना यांत्रिक जोडणीद्वारे प्रसारित केली जाते. हे लिंकेज हे सुनिश्चित करते की प्रोबची गती फिरत्या शाफ्टची गती अचूकपणे प्रतिबिंबित करते.
- 3) सेन्सर मेकॅनिझम (Sensor Mechanism):** टॅकोमीटरमध्ये, एक सेन्सर यंत्रणा असते जी फिरणाऱ्या शाफ्टमुळे होणाऱ्या प्रोबची हालचाल शोधते. ही यंत्रणा टॅकोमीटरच्या डिझाइनवर अवलंबून विविध तंत्रज्ञानाचा वापर करू शकते, जसे की गियर्स, लीव्हर किंवा इलेक्ट्रॉनिक सेन्सर.
- 4) सिग्नल निर्मिती (Signal Generation):** शाफ्टच्या रोटेशनच्या प्रतिसादात प्रोब हलत असताना, सेन्सर यंत्रणा शाफ्टच्या गतीच्या प्रमाणात विद्युत सिग्नल तयार करते. या सिग्नलची वारंवारता किंवा विशालता शाफ्टच्या घूर्णन गतीशी संबंधित आहे.
- 5) सिग्नल प्रोसेसिंग (Signal Processing):** सेन्सर मेकॅनिझमद्वारे व्युत्पन्न केलेल्या इलेक्ट्रिकल सिग्नलवर टॅकोमीटरमधील सर्किटरीद्वारे प्रक्रिया केली जाते. अचूकता आणि स्थिरता सुनिश्चित करण्यासाठी या प्रक्रियेमध्ये प्रवर्धन, फिल्टरिंग आणि रूपांतरण समाविष्ट असू शकते.
- 6) डिस्प्ले (Display):** प्रक्रिया केलेले सिग्नल नंतर गेज किंवा डिजिटल डिस्प्लेवर प्रदर्शित केले जातात, सामान्यतः प्रति मिनिट (RPM) किंवा दुसऱ्या योग्य युनिटमध्ये शाफ्टची फिरती गती दर्शवते. हे वापरकर्त्याला रिल-टाइम फीडबॅक प्रदान करते, ज्यामुळे त्यांना फिरत्या यंत्राच्या गतीचे निरीक्षण करता येते.

• **नॉन कॉन्टॅक्ट टॅकोमीटर (Non-Contact type Tachometer):** नॉन टॅकोमीटर, नावाप्रमाणेच, एखाद्या वस्तूशी संपर्क न करता त्याच्या फिरण्याच्या गतीचे मोजमाप करण्यासाठी वापरले जाणारे उपकरण आहे. हे टॅकोमीटर फिरणाऱ्या वस्तूचा वेग निश्चित करण्यासाठी संपर्क नसलेल्या विविध पद्धती वापरतात. नॉन टॅकोमीटरचे दोन सामान्य प्रकार आहेत:

A) ऑप्टिकल टॅकोमीटर (Optical Tachometer): ऑप्टिकल टॅकोमीटर फिरणाऱ्या वस्तूचा वेग मोजण्यासाठी प्रकाश-आधारित तंत्र वापरतात. ते सामान्यतः परावर्तित वस्तू, जसे की परावर्तित टेप किंवा चिन्हांकित पृष्ठभागावर प्रकाशाचा किरण चमकवून कार्य करतात. फोटोडिटेक्टर नंतर परावर्तित प्रकाश पल्स (Light pulse) शोधतो आणि त्यांना विद्युत सिग्नलमध्ये रूपांतरित करतो. या प्रकाश पल्स (Light pulse) वारंवारता ऑब्जेक्टच्या रोटेशनल वेगाच्या प्रमाणात असते, ज्यामुळे टॅकोमीटर वेग मोजू शकतो.

B) लेझर टॅकोमीटर (Laser Tachometer): लेझर टॅकोमीटर हे विशिष्ट प्रकारचे ऑप्टिकल टॅकोमीटर आहेत जे रोटेशनल गती मोजण्यासाठी लेसर बीम वापरतात. ते फिरणाऱ्या वस्तूच्या परावर्तित पृष्ठभागावर लेसर किरण उत्सर्जित करतात आणि परावर्तित प्रकाशात डॉपलर शिफ्ट मोजतात. ही शिफ्ट परावर्तित पृष्ठभागाच्या टॅकोमीटरच्या दिशेने किंवा दूरच्या हालचालीमुळे होते, ज्यामुळे परावर्तित प्रकाशाची वारंवारता बदलते. डॉपलर शिफ्टचे विश्लेषण करून, टॅकोमीटर ऑब्जेक्टची गती निर्धारित करू शकतो.



आकृती क्र. 8 नॉन कॉन्टॅक्ट टॅकोमीटर (Non-Contact Tachometer)

• नॉन कॉन्टॅक्ट टॅकोमीटर ची कार्यप्रणाली (Non-Contact type Tachometer Working Principle):

- 1) उत्सर्जक (Emitter):** टॅकोमीटर फिरणाऱ्या लक्ष्य ऑब्जेक्टच्या दिशेने लेसर किरण उत्सर्जित करतो. हा लेसर बीम सामान्यतः लेसर डायोडमधून उत्सर्जित केला जातो आणि फिरत्या वस्तूच्या पृष्ठभागाकडे निर्देशित केला जातो.
- 2) लक्ष्य पृष्ठभाग (Target Surface):** फिरणाऱ्या वस्तूला परावर्तित पृष्ठभाग असणे आवश्यक आहे किंवा ते परावर्तित टेप, पेंट किंवा नमुन्यांनी चिन्हांकित केले पाहिजे. लेसर बीमशी संवाद साधण्यासाठी आणि सिग्नल निर्माण करण्यासाठी ही परावर्तित पृष्ठभाग आवश्यक आहे.
- 3) परावर्तन (Reflection) आणि डॉपलर शिफ्ट (Doppler Shift):** लेझर बीम फिरणाऱ्या वस्तूच्या परावर्तित पृष्ठभागावर आदळत असताना, ते टॅकोमीटरच्या दिशेने परत परावर्तित होते. फिरणारी पृष्ठभाग आणि टॅकोमीटर यांच्यातील सापेक्ष गतीमुळे परावर्तित लेसर प्रकाशाच्या वारंवारतेमध्ये डॉपलर शिफ्ट होते.
- 3) शोध (Detection):** टॅकोमीटरमध्ये एक फोटोडिटेक्टर असतो जो परावर्तित लेसर प्रकाश शोधतो. हा फोटोडिटेक्टर ऑप्टिकल सिग्नलला इलेक्ट्रिकल सिग्नलमध्ये रूपांतरित करतो.
- 4) सिग्नल प्रोसेसिंग (Signal Processing):** फोटोडिटेक्टरच्या इलेक्ट्रिकल सिग्नलमध्ये लक्ष्य ऑब्जेक्टच्या रोटेशनमुळे होणाऱ्या डॉपलर शिफ्टबद्दल माहिती असते. टॅकोमीटरचे इलेक्ट्रॉनिक्स डॉपलर-शिफ्ट केलेल्या प्रकाशाची वारंवारता काढण्यासाठी या सिग्नलवर प्रक्रिया करते, जी ऑब्जेक्टच्या फिरण्याच्या गतीशी थेट प्रमाणात असते.
- 5) गती गणना (Speed Measurement) आणि डिस्प्ले (Display):** डॉपलर-शिफ्टेड सिग्नलमधून मिळालेल्या वारंवारता माहितीचा वापर करून, टॅकोमीटर लक्ष्य ऑब्जेक्टच्या फिरण्याच्या गतीची गणना करतो. हा वेग सामान्यतः टॅकोमीटरच्या स्क्रीनवर डिजिटल प्रति मिनिट रीवोल्यूशन वेग (RPM) प्रदर्शित केला जातो.

लेझर नॉन टॅकोमीटर उच्च अचूकता, जलद प्रतिसाद वेळ आणि त्यांच्या ऑपरेशनमध्ये हस्तक्षेप न करता दूरवरून वस्तूचा वेग मोजण्याची क्षमता यासह अनेक फायदे देतात. ते सामान्यतः विविध औद्योगिक अनुप्रयोगांमध्ये

वापरले जातात, जसे की फिरणारी यंत्रसामग्री, इंजिन, टर्बाइन, कन्व्हेयर बेल्ट आणि इतर उपकरणे यांच्या गतीचे निरीक्षण करण्यासाठी जेथे अचूक गती मोजणे आवश्यक आहे.

3.3 रेजिस्टन्स मापन मीटर चे कन्स्ट्रक्शन आणि कार्य (Resistance Measurement Meter Construction and Working): रेजिस्टन्स मोजमाप ही घटक किंवा सामग्रीचा विद्युत प्रतिकार (Oppose) निर्धारित करण्याची प्रक्रिया आहे. विद्युत प्रतिकार (Opposition to the flow of current) हा एक गुणधर्म आहे जो कंडक्टरद्वारे करंटच्या प्रवाहाला विरोध करतो. रेजिस्टन्स सामान्यतः ओहम (ohms) (Ω) मध्ये मोजला जातो.

• **रेजिस्टन्स मापन पद्धती खालीलप्रमाणे (Methods of Resistance Measurement):**

1) ओहम मीटर (ohm meter):

ओहममीटर हे एक साधन आहे जे रेजिस्टन्स मोजते. विद्युतीय अर्थाने रेजिस्टन्स म्हणजे यंत्रातील करंट ला विरोध करतो.

प्रत्येक यंत्राचा रेजिस्टन्स असतो, तो मोठा किंवा लहान असू शकतो आणि कंडक्टरच्या तापमानासह ते वाढते, तथापि अर्धसंवाहक (Semi conductor) उपकरणांसाठी उलट सत्य आहे.

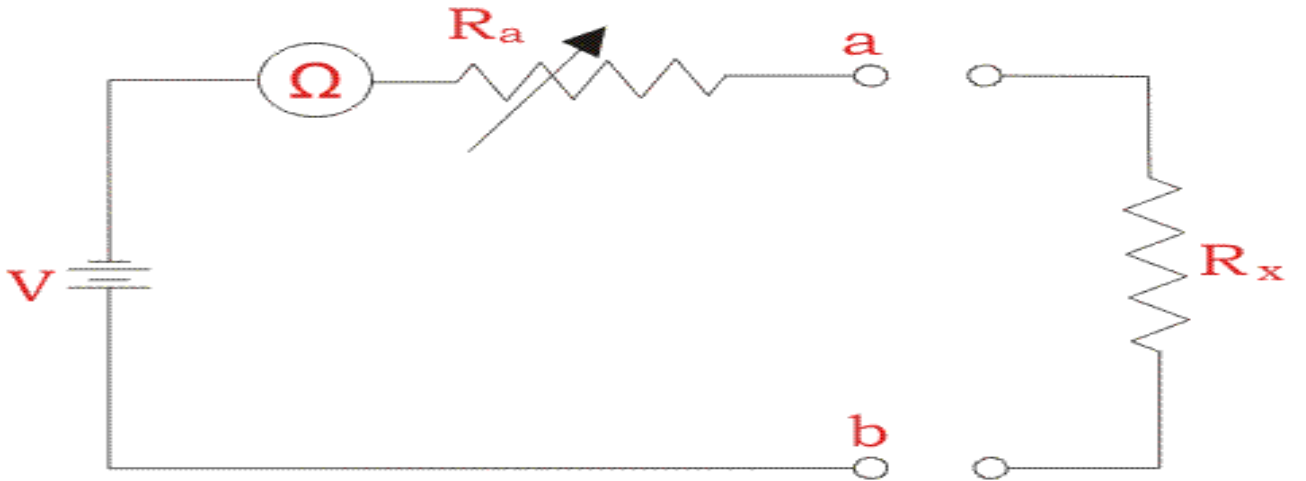
ओहममीटरचे अनेक प्रकार उपलब्ध आहेत जसे की

1. सिरीज (Series) ओहममीटर (Ohm Meter).

2. समांतर (Shunt) ओहममीटर (Ohm Meter).

3. मल्टी रेंज (Multi Range) ओहममीटर (Ohm Meter).

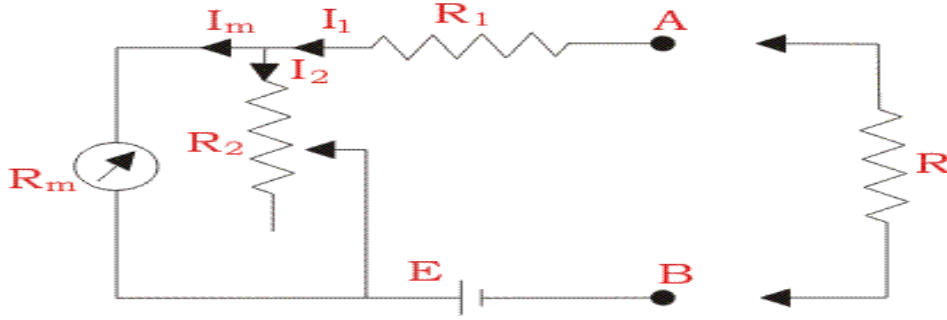
• **ओहममीटरचे कार्य तत्त्व (Working Principle of Ohmmeter):**



आकृती क्र. 9 ओहम मीटर (Ohm Meter)

इन्स्ट्रुमेंट बॅटरी, सिरीज (Series) समायोज्य रेझिस्टर आणि वाचन देणारे साधन यांच्याशी जोडलेले आहे. मोजले जाणारे रेजिस्टन्स टर्मिनल **AB** वर जोडलेले आहे. जेव्हा आउटपुट रेझिस्टन्स जोडून सर्किट पूर्ण होते, तेव्हा सर्किट करंट वाहतो आणि त्यामुळे रेजिस्टन्स मोजले जाते.

1. सिरीज ओहममीटर (Series Ohm Meter):

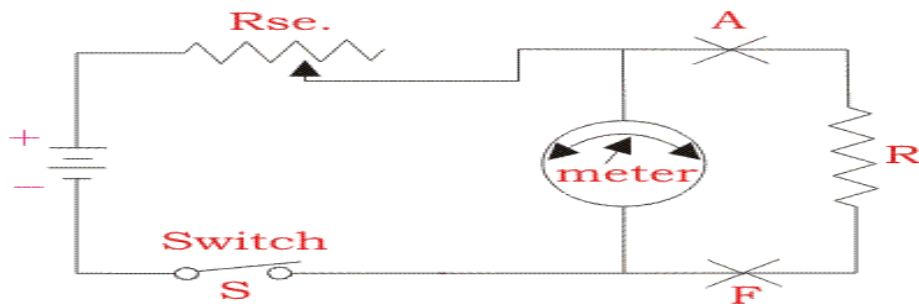


Basic series type ohmmeter

आकृती क्र. 10 सिरीज ओहममीटर (Series Ohm Meter)

सिरीज (Series) ओहममीटरमध्ये वर्तमान मर्यादित रेजिस्टन्स R_1 , शून्य समायोजित करणारे रेजिस्टन्स R_2 , EMF स्रोत E , D'Arsonval चळवळ R_m चे अंतर्गत रेजिस्टन्स आणि मोजण्यासाठी रेजिस्टन्स R यांचा समावेश असतो. मोजण्यासाठी कोणताही रेजिस्टन्स नसताना, करंट द्वारे काढला जातो. सर्किट जास्तीत जास्त असेल आणि मीटर एक विक्षेपण दर्शवेल. R_2 समायोजित करून मीटर पूर्ण स्केल वर्तमान मूल्यामध्ये समायोजित केले जाते कारण त्या वेळी रेजिस्टन्स शून्य असेल. सह-प्रतिसाद सूचक संकेत शून्य म्हणून चिन्हांकित केले आहे. पुन्हा जेव्हा टर्मिनल AB उघडले जाते तेव्हा ते खूप उच्च रेजिस्टन्स प्रदान करते आणि म्हणून सर्किटमधून जवळजवळ शून्य करंट वाहते. अशा स्थितीत पॉइंटरचे विक्षेपण शून्य असते जे रेजिस्टन्स मापनासाठी अतिशय उच्च मूल्यावर चिन्हांकित केले जाते. त्यामुळे शून्य ते अत्यंत उच्च मूल्यादरम्यानचा रोध चिन्हांकित केला जातो आणि म्हणून ते मोजले जाऊ शकते. म्हणून, जेव्हा रेजिस्टन्स मोजायचा असेल, तेव्हा वर्तमान मूल्य कमाल पेक्षा काहीसे कमी असेल आणि विक्षेपण रेकॉर्ड केले जाईल आणि त्यानुसार रेजिस्टन्स मोजला जाईल. ही पद्धत चांगली आहे परंतु तिच्या वापरासह बॅटरीची क्षमता कमी होणे यासारख्या काही मर्यादा आहेत त्यामुळे प्रत्येक वापरासाठी समायोजन करणे आवश्यक आहे. जेव्हा टर्मिनल्स लहान केले जातात तेव्हा मीटर शून्य वाचू शकत नाही, अशा प्रकारच्या समस्या उद्भवू शकतात ज्याचा रेजिस्टन्स बॅटरीसह सिरीज जोडलेल्या समांतर रेजिस्टन्स ने केला जातो.

2. समांतर ओहममीटर (Shunt Ohmmeter):



Shunt type ohmmeter

आकृती क्र. 11 समांतर ओहममीटर (Shunt Ohm Meter)

या प्रकारच्या मीटरमध्ये बॅटरीचा स्रोत असतो आणि अॅडजस्टेबल रेजिस्टर स्रोताशी सिरीज मध्ये जोडलेला असतो. मीटरला रेजिस्टन्सच्या समांतर जोडले आहे जे मोजायचे आहे. एक स्विच आहे ज्याचा वापर करून आपण सर्किट

चालू किंवा बंद करू शकतो. वापरात नसताना स्विक उघडला जातो. जेव्हा मोजायचे रेजिस्टन्स शून्य असते तेव्हा टर्मिनल **A** आणि **F** लहान केले जातात त्यामुळे मीटरमधून करंट शून्य असेल. मीटरची शून्य स्थिती शून्य असण्याचा रेजिस्टन्स दर्शवते. जेव्हा कनेक्ट केलेला रेजिस्टन्स खूप जास्त असतो, तेव्हा एक लहान करंट टर्मिनल **AF** मधून वाहते आणि म्हणून बॅटरीशी जोडलेल्या सिरीज रेजिस्टन्स समायोजित करून मीटरमधून पूर्ण प्रमाणात करंट वाहू दिला जातो. तर, पूर्ण प्रमाणात विक्षेपण खूप उच्च रेजिस्टन्स मोजते. जेव्हा मोजायचे रेजिस्टन्स **A** आणि **F** मध्ये जोडलेले असते, तेव्हा पॉइंटर एक विक्षेपण दर्शवितो ज्याद्वारे आपण रेजिस्टन्स मूल्ये मोजू शकतो. या प्रकरणात देखील, बॅटरीची समस्या उद्भवू शकते ज्याचा रेजिस्टन्स समायोजित करून रेजिस्टन्स केला जाऊ शकतो. मीटरच्या वारंवार वापरामुळे देखील काही त्रुटी असू शकतात.

2) डिजिटल मेगर (Digital Megger): डिजिटल मेगर, ज्याला डिजिटल इन्सुलेशन टेस्टर किंवा डिजिटल इन्सुलेशन रेजिस्टन्स टेस्टर म्हणून देखील ओळखले जाते, हे इलेक्ट्रिकल उपकरणे आणि सिस्टम्सच्या इन्सुलेशन प्रतिरोधनाचे मोजमाप करण्यासाठी वापरले जाणारे एक विशेष साधन आहे. विद्युत इन्सुलेशनची अखंडता आणि सुरक्षितता सुनिश्चित करण्यासाठी, गळतीचे करंट (Leakage current) रोखण्यासाठी आणि विद्युत दोष आणि धोके टाळण्यासाठी इन्सुलेशन रेजिस्टन्स चाचणी आवश्यक आहे.



आकृती क्र. 12 डिजिटल मेगर (Digital Megger)

• डिजिटल मेगर ची रचना (Construction of Digital Megger):

- 1. बाह्य आवरण (Outer Casing):** डिजिटल मेगरचे बाह्य आवरण सामान्यतः भौतिक नुकसान आणि पर्यावरणीय घटकांपासून संरक्षण प्रदान करण्यासाठी प्लास्टिक किंवा रबरसारख्या टिकाऊ सामग्रीचे बनलेले असते. केसिंगमध्ये एर्गोनॉमिक वैशिष्ट्ये देखील समाविष्ट असू शकतात जसे की हाताळणी सुलभतेसाठी पकड आणि हँडल.
- 2. डिस्प्ले पॅनल (Display Panel):** डिजिटल मेगरच्या समोरील पॅनलमध्ये डिस्प्ले युनिट असते, जे एलसीडी (लिक्विड क्रिस्टल डिस्प्ले) किंवा एलईडी (लाइट एमिटिंग डायोड) स्क्रीन असू शकते. डिस्प्ले पॅनल वापरकर्त्याला मोजमाप वाचन, चाचणी पॅरामीटर्स आणि इतर संबंधित माहिती दाखवते.
- 3. कंट्रोल इंटरफेस:** कंट्रोल इंटरफेसमध्ये बटणे, स्विकेस आणि नॉब असतात जे वापरकर्त्याला मापन सेटिंग्ज निवडण्याची, चाचण्या सुरू करण्यास आणि मेनू पर्यायांमधून नेव्हिगेट करण्यास अनुमती देतात. इंटरफेसमध्ये संख्यात्मक मूल्ये इनपुट करण्यासाठी आणि आदेश प्रविष्ट करण्यासाठी कीपॅड किंवा टचस्क्रीन देखील समाविष्ट असू शकते.

4. मेजरमेंट सर्किटरी (Measurement Circuitry): डिजिटल मेगरचे हृदय हे त्याची मापन सर्किटरी असते, जी चाचणी अंतर्गत इन्सुलेशनवर चाचणी व्होल्टेज लागू करते आणि परिणामी रेजिस्टन्स मोजते. या सर्किटरीमध्ये सामान्यतः व्होल्टेज स्रोत, वर्तमान सेन्सर्स, अॅम्प्लीफायर्स, फिल्टर्स आणि अॅनालॉग-टू-डिजिटल कन्व्हर्टर्स (ADCs) सारख्या घटकांचा समावेश असतो ज्यामुळे मूल्यांच्या विस्तृत श्रेणीवर इन्सुलेशन रेजिस्टन्स अचूकपणे मोजला जातो.

5. मायक्रोकंट्रोलर किंवा प्रोसेसर (Microcontroller and Processor): मायक्रोकंट्रोलर किंवा डिजिटल सिग्नल प्रोसेसर (DSP) चा वापर डिजिटल मेगरचे ऑपरेशन नियंत्रित करण्यासाठी, मापन डेटावर प्रक्रिया करण्यासाठी आणि वापरकर्ता इंटरफेस आणि डिस्प्ले पॅनेलसह संप्रेषण व्यवस्थापित करण्यासाठी केला जातो. मायक्रोकंट्रोलर इन्सुलेशन रेजिस्टन्स चाचण्या करण्यासाठी आणि मापन परिणामांची गणना करण्यासाठी फर्मवेअर किंवा सॉफ्टवेअर अल्गोरिदम कार्यान्वित करतो.

6. पॉवर सप्लाय (Power Supply): वीज पुरवठा युनिट डिजिटल मेगरच्या सर्व घटकांना आवश्यक विद्युत उर्जा पुरवते. यामध्ये पोर्टेबल मॉडेल्ससाठी बॅटरी किंवा स्थिर युनिट्ससाठी AC अडॅप्टर्सचा समावेश असू शकतो.

7. कम्युनिकेशन पोर्ट्स (Communication Ports): काही डिजिटल मेगरमध्ये यूएसबी, आरएस-232, किंवा डेटा ट्रान्सफर, रिमोट कंट्रोल आणि बाह्य उपकरणे किंवा संगणक प्रणालीसह एकत्रीकरणासाठी ब्ल्यूटूथ सारख्या कम्युनिकेशन पोर्टचा समावेश असू शकतो.

• डिजिटल मेगर ची कार्यप्रणाली (Working Principle of Digital Megger):

1. व्होल्टेज ऍप्लिकेशन (Voltage Application): डिजिटल मेगर चाचणी अंतर्गत इन्सुलेशनवर चाचणी व्होल्टेज लागू करतो. ही चाचणी व्होल्टेज सामान्यतः डीसी (डायरेक्ट करंट) असते आणि विशिष्ट अनुप्रयोग आणि आवश्यकतांवर अवलंबून बदलू शकते. सामान्य चाचणी व्होल्टेजमध्ये 250V, 500V, 1000V आणि उच्च समाविष्ट आहेत.

2. इन्सुलेशन रेजिस्टन्स मापन (Insulation Resistance Measurement): चाचणी व्होल्टेज लागू केल्यावर, विद्युत प्रणालीच्या इन्सुलेशनमधून एक लहान करंट वाहतो. या करंट तीव्रता इन्सुलेशनच्या प्रतिकारशक्तीच्या व्यस्त प्रमाणात असते. उच्च प्रतिकाराचा परिणाम कमी करंट होतो, तर कमी प्रतिकारामुळे उच्च करंट होतो.

3. करंट मापन (Current Measurement): डिजिटल मेगर अंतर्गत सेन्सर्स किंवा मापन सर्किटरी वापरून इन्सुलेशनमधून वाहणारा करंट मोजतो. हे वर्तमान मोजमाप सामान्यतः शंट रेजिस्टर, हॉल इफेक्ट सेन्सर्स किंवा वर्तमान ट्रान्सफॉर्मर यांसारख्या तंत्रांचा वापर करून केले जाते. इन्सुलेशन रेजिस्टन्सची गणना: ओमचा नियम वापरणे

$$\text{Ohms Law, } R = \frac{V}{I}$$

डिजिटल मेगर लागू केलेल्या चाचणी व्होल्टेज आणि मोजलेल्या विद्युत् प्रवाहाच्या आधारावर इन्सुलेशन रेजिस्टन्स ची गणना करतो.

4. मापन परिणामांचे प्रदर्शन (Display of Measurement Result): गणना केलेले इन्सुलेशन रेजिस्टन्स मूल्य डिजिटल मेगरच्या स्क्रीनवर प्रदर्शित केले जाते, विशेषतः ohms (Ω) किंवा megaohms (M Ω) मध्ये संख्यात्मक मूल्य म्हणून. काही मॉडेल्स चाचणी व्होल्टेज, मापन वेळ आणि इन्सुलेशन स्थिती निर्देशक यासारखी अतिरिक्त माहिती देखील प्रदर्शित करू शकतात.

5. तुलना आणि विश्लेषण (Comparison and Analysis): इन्सुलेशनच्या स्थितीचे मूल्यांकन करण्यासाठी मोजलेल्या इन्सुलेशन रेजिस्टन्स मूल्याची तुलना पूर्वनिर्धारित थ्रेशोल्ड किंवा मानकांशी केली जाते. थ्रेशोल्डच्या वरची इन्सुलेशन रेजिस्टन्स मूल्ये चांगली इन्सुलेशन अखंडता दर्शवतात, तर थ्रेशोल्डच्या खाली असलेली मूल्ये इन्सुलेशन खराब होणे किंवा दोष दर्शवू शकतात.

3) डिजिटल अर्थ टेस्टर (Digital Earth Tester): "डिजिटल अर्थ टेस्टर" हे एक विशेष साधन आहे जे विद्युत प्रतिष्ठापनांमध्ये ग्राउंडिंग सिस्टीम, ज्याला अर्थ सिस्टम म्हणूनही ओळखले जाते, त्याचा रेजिस्टन्स मोजण्यासाठी वापरले जाते. विद्युत सुरक्षा, उपकरणे संरक्षण आणि विद्युत प्रणालींचे योग्य कार्य सुनिश्चित करण्यासाठी ग्राउंडिंग सिस्टम महत्त्वपूर्ण आहेत. ग्राउंडिंग सिस्टमचा प्रतिकार दर्शवितो की ते विद्युतीय धोके रोखून पृथ्वीवर फॉल्ट करंट किती प्रभावीपणे चालवू शकते.



आकृती क्र. 13 डिजिटल अर्थ टेस्टर (Digital Earth Tester)

• डिजिटल अर्थ टेस्टर ची रचना (Digital Earth Tester Construction):

- 1. बाह्य आवरण (Outer Cover):** डिजिटल अर्थ टेस्टरचे बाह्य आवरण सामान्यतः ABS प्लास्टिक किंवा रबर सारख्या टिकाऊ आणि खडबडीत सामग्रीपासून बनलेले असते. हे आवरण भौतिक नुकसान, धूळ आणि आर्द्रतेपासून संरक्षण प्रदान करते, ज्यामुळे उपकरण बाहेरील आणि औद्योगिक सेटिंग्जसह विविध वातावरणात वापरण्यासाठी योग्य बनते.
- 2. डिस्प्ले पॅनल (Display Panel):** डिजिटल अर्थ टेस्टरच्या समोरील पॅनलमध्ये डिस्प्ले युनिट असते, जे लिक्विड क्रिस्टल डिस्प्ले (LED) किंवा लाइट एमिटिंग डायोड (LED) स्क्रीन असू शकते. डिस्प्ले पॅनल वापरकर्त्याला मोजमाप वाचन, चाचणी पॅरामीटर्स आणि इतर संबंधित माहिती दाखवते. हे चाचण्या आयोजित करण्यासाठी आणि परिणामांचा अर्थ लावण्यासाठी स्पष्ट आणि वाचण्यास-सुलभ इंटरफेस प्रदान करते.
- 3. कंट्रोल इंटरफेस (Control Interface):** कंट्रोल इंटरफेसमध्ये बटणे, स्विचेस आणि नॉब असतात जे वापरकर्त्याला मोजमाप सेटिंग्ज निवडण्याची, चाचण्या सुरू करण्यास आणि मेनू पर्यायांमधून नेव्हिगेट करण्यास अनुमती देतात. इंटरफेसमध्ये संख्यात्मक मूल्ये इनपुट करण्यासाठी आणि आदेश प्रविष्ट करण्यासाठी कीपॅड किंवा टचस्क्रीन देखील समाविष्ट असू शकते. अंतर्ज्ञानी आणि वापरकर्ता-अनुकूल नियंत्रणे इन्स्ट्रुमेंटच्या ऑपरेशनची सुलभता आणि कार्यक्षमता वाढवतात.
- 4. मेजरमेंट सर्किटरी (Measurement Circuitry):** डिजिटल अर्थ टेस्टरची मापन सर्किट चाचणी सिग्नल तयार करण्यासाठी, त्यांना जमिनीवर किंवा चाचणी अंतर्गत ग्राउंडिंग सिस्टमवर लागू करण्यासाठी आणि परिणामी व्होल्टेज किंवा करंट मोजण्यासाठी जबाबदार आहे. या सर्किटरीमध्ये अचूक आणि अचूक मोजमापांसाठी व्होल्टेज स्रोत, वर्तमान स्रोत, अ‍ॅम्प्लीफायर्स, फिल्टर आणि अ‍ॅनालॉग-टू-डिजिटल कन्व्हर्टर (ADCs) सारखे घटक समाविष्ट आहेत.
- 5. टेस्ट प्रोब्स आणि लीड्स (Test Probs and Leads):** डिजिटल अर्थ टेस्टरचे विशेष चाचणी प्रोब आणि लीड्ससह येतात ज्याचा वापर जमिनीवर किंवा ग्राउंडिंग इलेक्ट्रोडशी विद्युत जोडणी करण्यासाठी केला जातो. माती किंवा ग्राउंडिंग सिस्टमशी सुरक्षित आणि विश्वासार्ह संपर्क साधण्यासाठी हे प्रोब सामान्यतः उष्णतारोधक हँडल आणि टिकाऊ धातूच्या टिपांनी सुसज्ज असतात. काही मॉडेल्समध्ये विशिष्ट चाचणी कॉन्फिगरेशनसाठी सहायक इलेक्ट्रोड किंवा उपकरणे देखील समाविष्ट असू शकतात.

6. पॉवर सप्लाय (Power Supply): पॉवर सप्लाय युनिट डिजिटल अर्थ टेस्टरच्या सर्व घटकांना आवश्यक विद्युत उर्जा पुरवते. मॉडेलवर अवलंबून, अंतर्गत बॅटरी, रिचार्ज करण्यायोग्य बॅटरी किंवा बाह्य AC अडॅप्टरद्वारे वीज पुरवठा केला जाऊ शकतो. पोर्टेबल मॉडेल्स बहुतेकदा सोयीसाठी आणि गतिशीलतेसाठी बॅटरीवर चालतात, तर स्थिर युनिट्समध्ये मुख्य पॉवर कनेक्शनसाठी पर्याय असू शकतात.

7. कम्युनिकेशन पोर्ट्स (Communication Ports): काही डिजिटल अर्थ टेस्टरमध्ये यूएसबी, आरएस-232, किंवा ब्लूटूथ सारखे कम्युनिकेशन पोर्ट डेटा ट्रान्सफर, रिमोट कंट्रोल आणि बाह्य उपकरणे किंवा संगणक प्रणालीसह एकत्रीकरणासाठी वैशिष्ट्यीकृत आहेत. हे पोर्ट वापरकर्त्यांना मापन डेटा संचयित आणि विश्लेषित करण्यास, फर्मवेअर अद्यतने करण्यास आणि वर्धित कार्यक्षमतेसाठी सॉफ्टवेअर अनुप्रयोगांसह इंटरफेस करण्यास सक्षम करतात.

• डिजिटल अर्थ टेस्टर ची कार्यप्रणाली (Digital Earth Tester Working Principle):

1. चाचणी सेटअप (Test Setup): मोजमाप करण्यापूर्वी, वापरकर्ता डिजिटल अर्थ टेस्टरवर योग्य चाचणी कॉन्फिगरेशन आणि सेटिंग्ज निवडतो. यामध्ये चाचणी पद्धत (जसे की तीन-बिंदू किंवा चार-बिंदू चाचणी), चाचणी वर्तमान परिमाण आणि मापन श्रेणी निवडणे समाविष्ट असू शकते.

2. चाचणी करंट जनरेशन (Test Current Generation): डिजिटल अर्थ टेस्टर विशिष्ट ऍप्लिकेशन आणि आवश्यकतांवर अवलंबून, विशेषत: मिलीअँपिअर ते अँपिअरच्या श्रेणीत, ज्ञात चाचणी करंट व्युत्पन्न करतो. हा चाचणी करंट चाचणी प्रोब किंवा लीड्सद्वारे चाचणी अंतर्गत जमिनीवर किंवा ग्राउंडिंग सिस्टमवर लागू केला जातो.

3. व्होल्टेज मापन (Voltage Measurement): चाचणी करंट जमिनीवरून किंवा ग्राउंडिंग सिस्टीममधून वाहताना त्याला प्रतिकार होतो, परिणामी जमिनीवर व्होल्टेज कमी होते. डिजिटल अर्थ टेस्टर अंतर्गत व्होल्टेज सेन्सिंग सर्किटरी वापरून या व्होल्टेज ड्रॉपचे मोजमाप करतो.

4. रेझिस्टन्स गणना (Resistance Calculation): ओहमचा नियम वापरणे (Ohms Law, $R = \frac{V}{I}$)

डिजिटल अर्थ टेस्टर मोजलेल्या व्होल्टेज ड्रॉप आणि लागू केलेल्या चाचणी करंट च्या आधारावर ग्राउंड किंवा ग्राउंडिंग सिस्टमच्या रेझिस्टन्स ची गणना करतो.

5. मापन परिणामांचे प्रदर्शन (Display of Measurement Result): गणना केलेले ग्राउंड रेझिस्टन्स मूल्य डिजिटल अर्थ टेस्टरच्या स्क्रीनवर प्रदर्शित केले जाते, विशेषत: ohms (Ω) किंवा kiloohms ($k\Omega$) मध्ये संख्यात्मक मूल्य म्हणून. काही मॉडेल्स चाचणी वर्तमान, चाचणी व्होल्टेज आणि मापन वेळ यासारखी अतिरिक्त माहिती देखील प्रदर्शित करू शकतात.

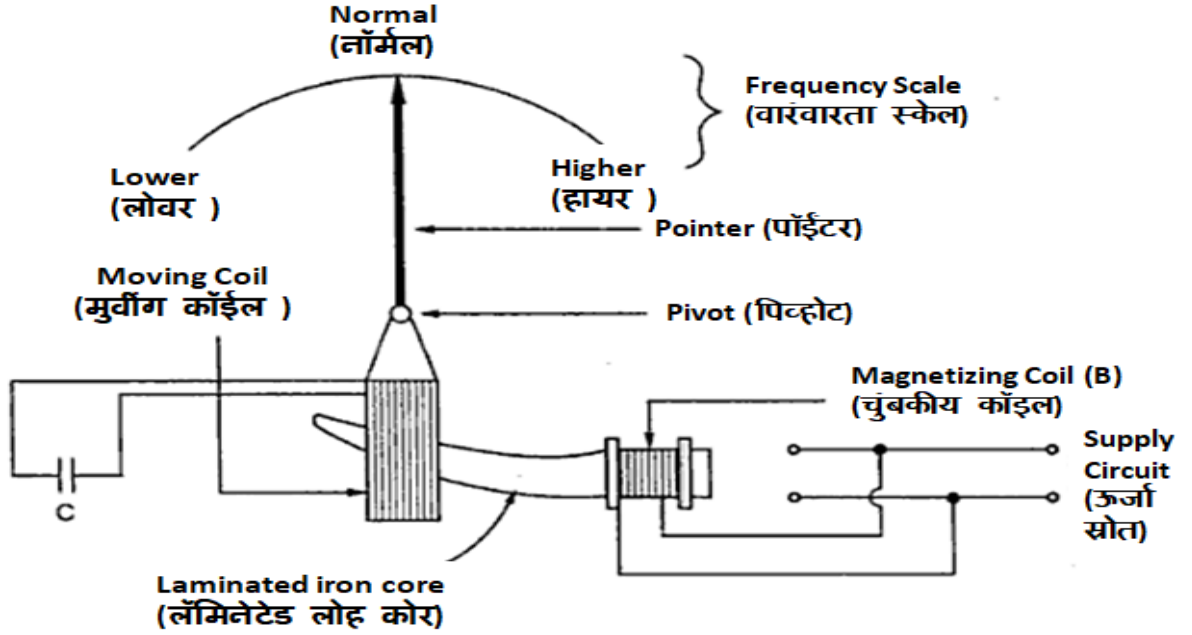
6. डेटा लॉगिंग आणि विश्लेषण (Comparison and Analysis): अनेक डिजिटल अर्थ टेस्टर मापन डेटा संचयित करण्यासाठी अंगभूत मेमरी वैशिष्ट्यीकृत करतात, वापरकर्त्यांना वेळोवेळी चाचणी परिणाम रेकॉर्ड आणि पुनरावलोकन करण्यास अनुमती देतात. ही डेटा लॉगिंग क्षमता रेकॉर्ड राखण्यासाठी, ट्रेंडचे विश्लेषण करण्यासाठी आणि ग्राउंड किंवा ग्राउंडिंग सिस्टमसह संभाव्य समस्या ओळखण्यासाठी उपयुक्त आहे.

3.4 सिंक्रोनाइझेशन (Synchronization) साठी वापरल्या जाणाऱ्या मीटरचे कन्स्ट्रक्शन (Construction) आणि कार्य (Working):

1) वारंवारता मीटर (Frequency meter): वारंवारता मीटर हे एक प्रकारचे इलेक्ट्रॉनिक उपकरण आहे जे इलेक्ट्रिकल सिग्नलची वारंवारता मोजण्यासाठी वापरले जाते. वारंवारता, हर्ट्झ (Hz) मध्ये मोजली जाते, एका सेकंदात उद्भवणाऱ्या सायकल याला वारंवारता असे म्हणतात.

• वारंवारता मीटर चे प्रकार (Frequency Meters Types):

1. इलेक्ट्रिकल रेझोनान्स मीटर (Electrical Resonance Type Meter):



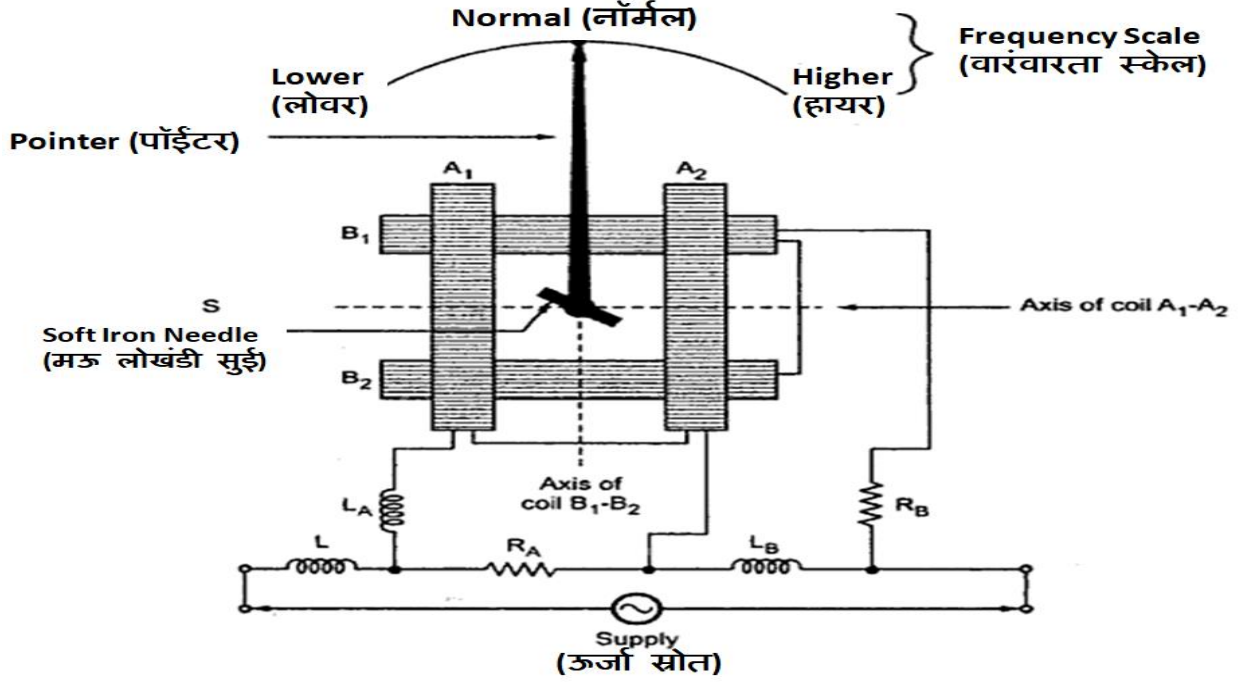
आकृती क्र. 14 इलेक्ट्रिकल रेझोनान्स मीटर (Electrical Resonance Type Meter)

• **इलेक्ट्रिकल रेझोनान्स मीटर ची रचना (Electrical resonance Construction):** या मीटर मध्ये एक स्थिर कॉइल असते. ज्याची वारंवारता मोजली जाणार आहे तो पुरवठा त्यामध्ये जोडलेला आहे. या कॉइलला मॅग्नेटायझिंग कॉइल असेही म्हणतात. हे लॅमिनेटेड लोखंडी कोरवर बसवले जाते. कोरमध्ये एक सामान्य भिन्न क्रॉस सेक्शन आहे. हे लांबीच्या बाजूने बदलते आणि कोरच्या शेवटी जास्तीत जास्त असते. त्याची हलणारी कॉइल या लोखंडी गाभ्यावर वळवली जाते. पॉइंटर स्पिंडलला निश्चित केले आहे आणि फिरत्या कॉइलचे टर्मिनल योग्य कॅपेसिटर **C** शी जोडलेले आहेत. या मीटर मध्ये कंट्रोलिंग टॉर्कची आवश्यकता नाही

• **इलेक्ट्रिकल रेझोनान्स मीटर ची कार्यप्रणाली (Electrical Resonance Operation System):**

1. मॅग्नेटायझिंग कॉइलमधून वाहणारा करंट लोखंडाच्या कोरमध्ये फ्लक्स तयार करतो ज्यामुळे हलत्या कॉइलमध्ये एक ईएमएफ सेट होईल. हे ईएमएफ फ्लक्स Φ जवळजवळ 900 ने मागे टाकते. यामुळे करंट **I** कॅपेसिटर **C** मधून प्रवाहित होईल.
2. जर करंट प्रेरक असेल तर ते प्रेरित (Inductive) ईएमएफ मागे जाईल आणि कॉइलवर टॉर्क कार्य करेल. जर करंट कॅपेसिटिव्ह (Capacitive) असेल तर टॉर्क देखील कार्य करेल, परंतु जर प्रेरक अभिक्रिया कॅपेसिटिव्ह अभिक्रिया बरोबर असेल तर दोन टॉर्क फिरत्या कॉइलवर कार्य करतील.
3. कॅपेसिटिव्ह अभिक्रिया ही दिलेल्या वारंवारतेसाठी (Frequency) स्थिर असते परंतु प्रेरक अभिक्रिया ही कोरवरील पिक्वोटेट कॉइलच्या स्थितीवर अवलंबून असते. कॉइल मॅग्नेटायझिंग कॉइलच्या जितक्या जवळ जाईल तितकी त्याची इंडक्टन्स जास्त असेल.
4. दोन्ही अभिक्रिया तंतोतंत समान होईपर्यंत फिरणारी कॉइल चुंबकीय कॉइलकडे खेचली जाते. म्हणजे जेव्हा टॉर्क शून्य असतो.
5. कॅपेसिटरचे मूल्य इतके निवडले आहे की जेव्हा वारंवारता (Frequency) सामान्य मूल्य असते तेव्हा हलणारी कॉइल सोयीस्कर स्थिती घेते.

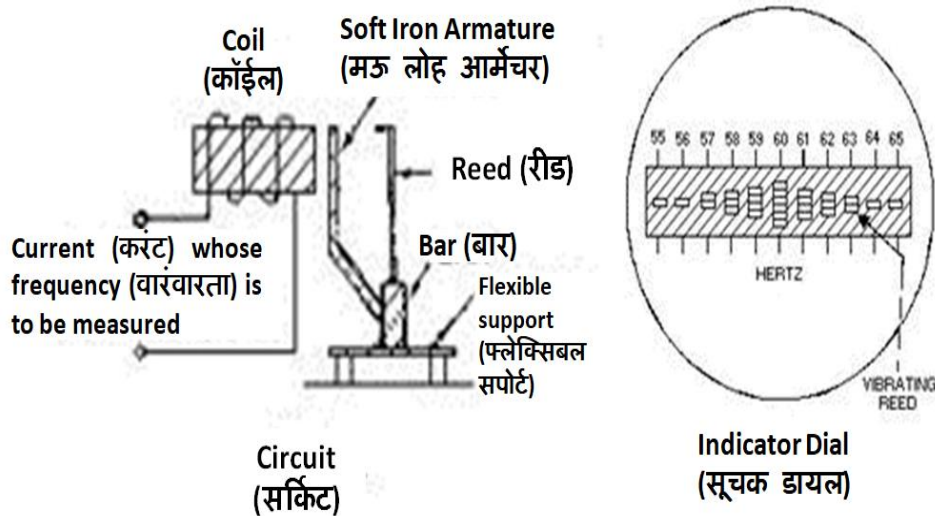
• वेस्टन वारंवारता मीटर रचना आणि कार्य (Weston Frequency Meter Construction and Working):



आकृती क्र. 15 वेस्टन वारंवारता मीटर (Weston frequency meter)

माउंटिंग आणि कनेक्शन आकृतीमध्ये दर्शविले आहेत. इंडक्टर एल करंट मधील हार्मोनिक्स ओलसर करतो. पुरवठ्यावर जोडलेले असताना, कॉइल **A** आणि **B** चुंबकीय क्षेत्रे तयार करण्यासाठी करंट काढतात जे त्यास विचलित करण्यासाठी लोखंडी सुईवर कार्य करतात. सुईची स्थिती या प्रवाहांवर अवलंबून असते. सामान्य वारंवारता अंतर्गत (**RA, RB, LA, LB**, च्या योग्य निवडीमुळे) सामान्य वारंवारता दर्शवण्यासाठी दोन बल पॉइंटर बनवतात. जेव्हा वारंवारता सामान्य पेक्षा वेगळी असते, तेव्हा बदललेल्या प्रतिबाधांमुळे, **LA** आणि **LB** ची प्रतिक्रिया अपरिवर्तित प्रतिकारांसह भिन्न असेल, ज्यामुळे तेथे असलेल्या प्रवाहांवर अवलंबून दोन्ही दिशेने विक्षेपण होतात.

• रीड प्रकार वारंवारता मीटर (Reed Type Frequency Meter):



आकृती क्र. 16 रीड प्रकार वारंवारता मीटर (Reed Type Frequency Meter)

1.रचना (Construction): आकृती रीड प्रकार वारंवारता मीटरची सर्किट व्यवस्था दर्शवते. यात इलेक्ट्रोमॅग्नेट असते ज्यावर योग्य वळण असलेली कॉइल वर असतात, मऊ लोखंडी आर्मेचर बारला जोडलेले असते, बारला योग्य आकाराचे रीड जोडलेले असतात आणि लवचिक आधार असतो ज्यावर होलिंग बार ठेवला जातो.

2.कार्य (Working) : जेव्हा इन्स्ट्रुमेंट संपूर्ण पुरवठ्यावर जोडलेले असते ज्याची वारंवारता मोजली जाते, तेव्हा एक पर्यायी करंट सेट केला जातो. या प्रवाहामुळे प्रत्येक अर्ध्या चक्रानंतर रीड्सवर एक आकर्षक शक्ती अनुभवली जाते. परिणामी रीड्स कंपन करतात परंतु ज्यांची वास्तविक वारंवारता पुरवठा वारंवारतेच्या दुप्पट असते तीच रेझोनान्समध्ये असते आणि जास्तीत जास्त मोठेपणासह कंपन करते सामान्यतः इतर रीड्सचे कंपन इतके किरकोळ असते की ते निरीक्षण करता येत नाही.

3)सिंक्रोस्कोप मीटर (Synchroscope Meter):

• एसी इलेक्ट्रिकल पॉवर सिस्टममध्ये, सिंक्रोस्कोप हे एक उपकरण आहे जे दोन प्रणाली (जनरेटर किंवा पॉवर नेटवर्क) एकमेकांशी किती प्रमाणात समक्रमित आहेत हे दर्शविते.



आकृती क्र. 17 सिंक्रोस्कोप मीटर (Synchroscope Meter)

• पॉवर सिस्टममध्ये सिंक्रो-स्कोपची आवश्यकता (Necessity) काय आहे?

अल्टरनेटरला समांतर जोडण्यासाठी किंवा अनंत बसमध्ये अल्टरनेटर लावण्यासाठी आवश्यक असलेल्या स्विचिंगची अचूक झटपट निश्चित करण्यासाठी सिंक्रोस्कोपचा वापर केला जातो. त्याचे पॉइंटर सिंक्रोनाइझिंगसाठी अल्टरनेटरच्या गतीचे समायोजन करण्यासाठी वेगवान आणि हळू मशीनची कल्पना देते.

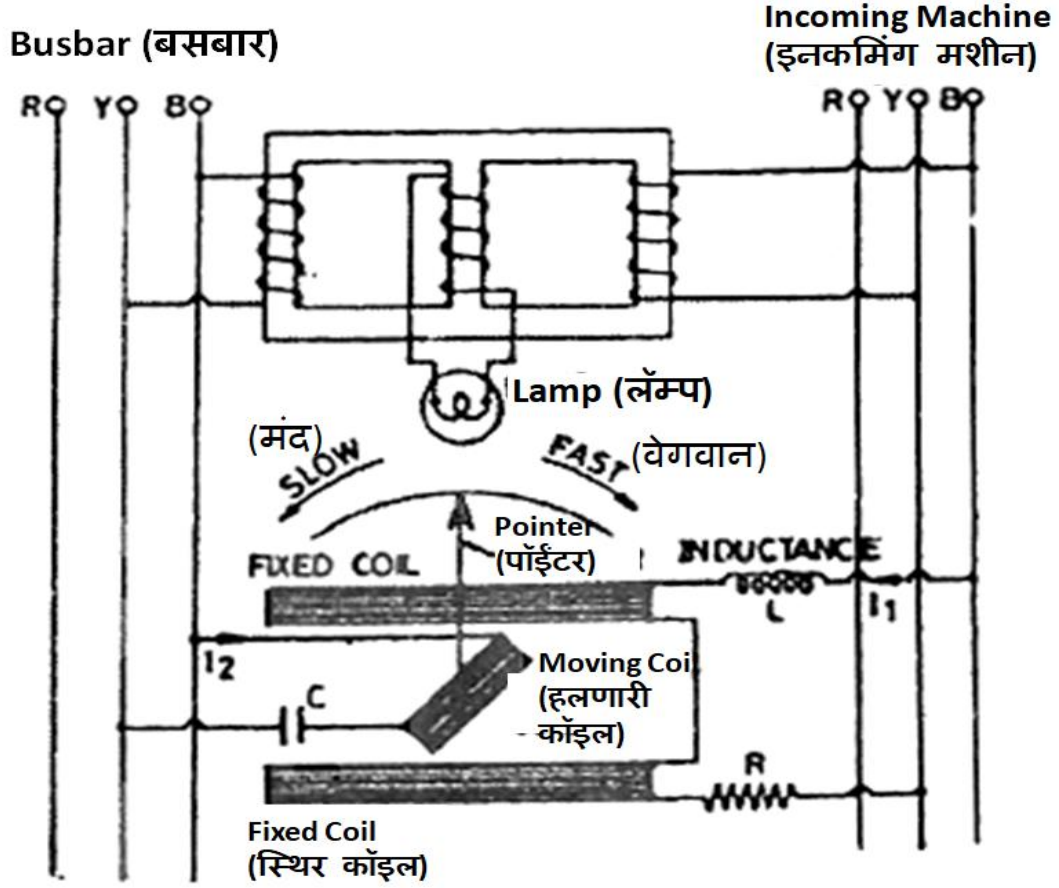
• सिंक्रोस्कोपचा वापर (Use of synchroscope):

अल्टरनेटरला समांतर जोडण्यासाठी किंवा अनंत(Infinity) बसमध्ये अल्टरनेटर लावण्यासाठी आवश्यक असलेल्या स्विचिंगची अचूक झटपट निश्चित करण्यासाठी सिंक्रोस्कोपचा वापर केला जातो.त्याचे पॉइंटर सिंक्रोनाइझ करण्यासाठी अल्टरनेटरच्या गतीचे समायोजन करण्यासाठी वेगवान आणि हळू मशीनची कल्पना देते.

• वेस्टन सिंक्रोस्कोप (Weston Synchroscope):

रचना (Construction): - आकृती वेस्टन प्रकारच्या सिंक्रोस्कोपची कन्स्ट्रक्शन व्यवस्था दर्शवते. त्याचे प्रमुख भाग शेल प्रकारचे चुंबक आहेत. शेल टाईप मॅग्नेटच्या प्राथमिक अंगावर तीन फेज पुरवठा दिला जातो, मध्यभागी दिवा

दर्शविणारा दिवा जोडलेला असतो आणि बाहेरील अंगावर इनकमिंग मशीन टर्मिनल जोडलेले असतात. यात दोन स्थिर कॉइल आणि एक हलणारी कॉइल देखील असते. वैयक्तिक स्थिर कॉइलच्या दोन स्वतंत्र टोकांवर एक योग्य मूल्य प्रतिरोध आणि इंडक्टर इनकमिंग मशीनच्या बाजूला जोडलेले आहे. त्याचप्रमाणे फिरत्या कॉइलवर, पुरवठा (बस बार) बाजूला योग्य मूल्याचा कॅपेसिटर ठेवला जातो.



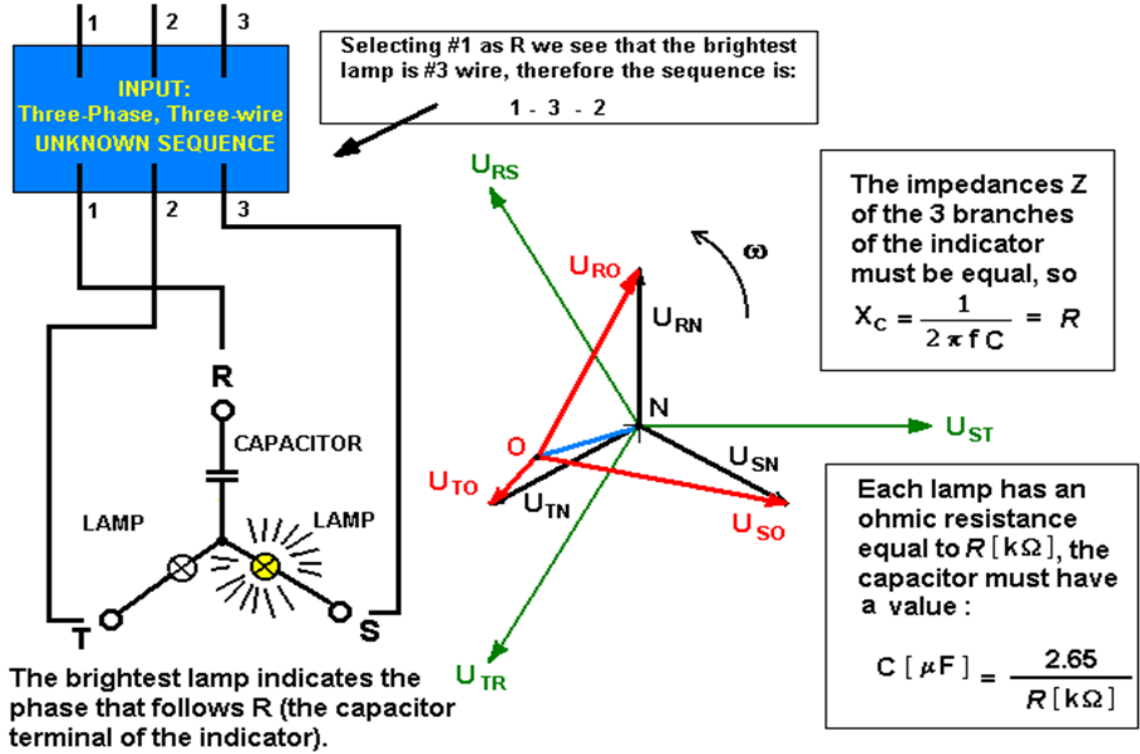
आकृती क्र. 17 वेस्टन सिंक्रोस्कोप (Weston Synchroscope)

कार्य (Working):

1. यात तीन अंगांचे ट्रान्सफॉर्मर असतात. बाहेरील एका अंगावरील वळण बस-बारमधून उत्तेजित होते आणि दुसऱ्या अंगावर येणाऱ्या मशीनद्वारे. बाह्य अंगांद्वारे तयार केलेले दोन करंट मध्यवर्ती अंगाद्वारे जबरदस्तीने आणले जातात. मध्यवर्ती अंगातून परिणामी करंट या प्रवाहांच्या फेसर (Phasor) बेरीजच्या बरोबरीचा असतो.
2. जेव्हा बस-बार आणि इनकमिंग मशीन व्होल्टेज टप्प्यात असतात, तेव्हा सेंट्रल लिंब वाइंडिंगमध्ये प्रेरित ईएमएफ जास्तीत जास्त असतो त्यामुळे दिवा(light) जास्तीत जास्त चमकते. जेव्हा बस-बार (Bus bar) आणि इनकमिंग मशीन व्होल्टेज फेजच्या बाहेर 180 डिग्री असतात, तेव्हा मध्यवर्ती अंगात प्रेरित इलेक्ट्रो मोटिव्ह फोर्स (EMF) जवळजवळ शून्य असते आणि लॅम्प (light) चमकत नाही. जेव्हा येणा-या मशीनची वारंवारता बस-बारपेक्षा वेगळी असते, तेव्हा लॅम्प (light) चमकतो.
3. सिंक्रोनाइझिंगची योग्य झटपट म्हणजे जेव्हा लॅम्प (light) खूप मंद गतीने चमकत असतो आणि तो त्याच्या कमाल ब्राइटनेसवर असतो.

3) फेज अनुक्रम निर्देशक (Phase sequence indicator): फेज सीक्वेन्स इंडिकेटर हे इलेक्ट्रिकल टेस्टिंग डिव्हाईस आहे जे थ्री-फेज इलेक्ट्रिकल सिस्टीममधील टप्प्यांचा क्रम निर्धारित करण्यासाठी वापरले जाते. थ्री-फेज

सिस्टीममध्ये, फेज R, फेज Y आणि फेज B असे लेबल केलेले तीन कंडक्टर किंवा टप्पे असतात. थ्री-फेज मोटर्स, ट्रान्सफॉर्मर आणि इतर इलेक्ट्रिकल उपकरणांच्या योग्य ऑपरेशनसाठी या टप्प्यांचा योग्य क्रम आवश्यक आहे.



आकृती क्र. 17 फेज अनुक्रम निर्देशक (Phase sequence indicator)

1. आकृतीमध्ये दर्शविल्याप्रमाणे दोन लॅम्प, दिवा 1 ते 2-फेज, लॅम्प 2 ते 3-फेज आणि कॅपेसिटर किंवा इंडक्टर 1-फेजशी कनेक्ट करा. ओव्हर करंट्स आणि ब्रेकडाउन व्होल्टेजपासून लॅम्प सुरक्षित ठेवण्यासाठी रेझिस्टर्स लॅम्प सह मालिकेत जोडलेले आहेत. 2. जर पुरवठ्याचा क्रम **RYB** असेल, तर लॅम्प 2 लॅम्प 1 पेक्षा अधिक तेजस्वी होईल; जर पुरवठ्याचा क्रम उलटला किंवा बदलला, तर लॅम्प 1 लॅम्प 2 पेक्षा अधिक तेजस्वी होईल.

किंवा (OR)

- हे इंडिकेशन मोटर्सच्या तत्वावर कार्य करते.
- डिस्कवर चिन्हांकित केलेला बाण रोटेशनची दिशा दर्शवतो.
- जर पुरवठ्याचा फेज क्रम इंडिकेटरवर चिन्हांकित केलेल्या टर्मिनल्ससारखाच असेल तर डिस्क रोटेशनच्या दिशेने फिरेल (**123 Or RYB**)
- जर डिस्क घड्याळाच्या दिशेने फिरत असेल तर निवडलेला क्रम **123** किंवा **RYB** असेल आणि जर रोटेशनची दिशा घड्याळाच्या उलट दिशेने असेल तर क्रम उलट होईल (**132 Or RBY**).

• फेज सीक्वेन्स इंडिकेटरचा वापर (Use of phase sequence indicator):

फेज सीक्वेन्स इंडिकेटरचा वापर 3 फेज A.C. पुरवठ्यातील टप्प्यांचा क्रम ओळखण्यासाठी केला जातो.

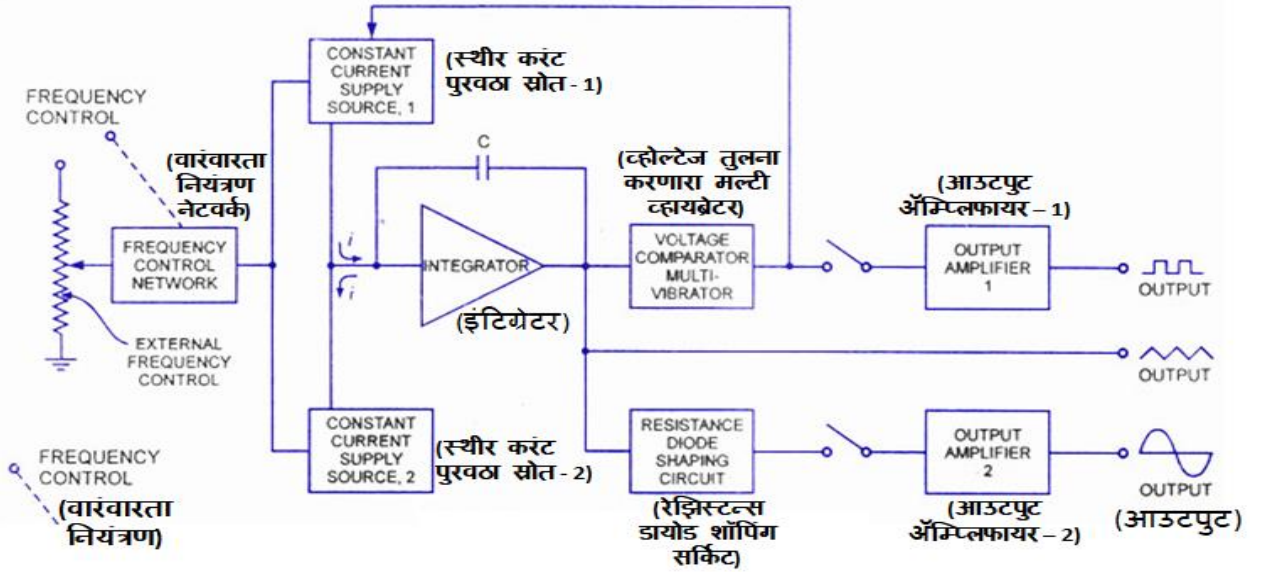
उदाहरणार्थ (i.e.) R Y B किंवा R B Y.

3.5 फंक्शन जनरेटर ब्लॉक आकृती, प्रत्येक ब्लॉकचे कार्य आणि उपयोग (Function Generator Block Diagram, Function of Every Block and Application):

फंक्शन जनरेटर हे एक इलेक्ट्रॉनिक चाचणी साधन आहे जे विविध प्रकारचे इलेक्ट्रिकल वेव्हफॉर्म तयार करण्यासाठी वापरले जाते, जसे की साइन वेव्ह (Sinewave), स्क्वेअर वेव्ह (Square Wave), त्रिकोणी वेव्ह (Triangular wave), सॉटूथ वेव्ह (Saw tooth) आणि

अनियंत्रित वेव्हफॉर्म. हे वेव्हफॉर्म इलेक्ट्रॉनिक्स, दूरसंचार, संशोधन आणि शिक्षणामध्ये चाचणी, कॅलिब्रेशन, समस्यानिवारण आणि डिझाइन सत्यापनासाठी वापरले जातात.

• फंक्शन जनरेटर (Function generator) ब्लॉक आकृती:



आकृती क्र. 18 फंक्शन जनरेटर (Function Generator)

• फंक्शन जनरेटर (Function generator) प्रत्येक ब्लॉकचे कार्य:

1. वारंवारता कंट्रोल सर्किट (Frequency Control Circuit): हे सर्किट आउटपुट वेव्हफॉर्मची वारंवारता परिभाषित करण्यासाठी वापरले जाणारे प्राथमिक वेळेचे सिग्नल तयार करते. यामध्ये क्रिस्टल ऑसिलेटर, व्होल्टेज-नियंत्रित ऑसिलेटर (VCO) किंवा इतर वारंवारता निर्मिती तंत्रांचा समावेश असू शकतो. वारंवारता नियंत्रण सर्किट वापरकर्त्यांना निर्दिष्ट श्रेणीवर आउटपुट वेव्हफॉर्मची वारंवारता समायोजित करण्यास अनुमती देते.

2. वेव्हफॉर्म सिलेक्शन सर्किट (Waveform Selection Circuit): वेव्हफॉर्म सिलेक्शन सर्किट कोणत्या प्रकारचे वेव्हफॉर्म तयार करायचे ते ठरवते, जसे की साइन वेव्ह, स्क्वेअर वेव्ह, त्रिकोणी (Tanguler) वेव्ह, सॉटूथ वेव्ह किंवा अनियंत्रित वेव्हफॉर्म. यामध्ये वेव्हफॉर्म शोपिंग सर्किट्स, वेव्हफॉर्म मेमरी किंवा सानुकूल वेव्हफॉर्म तयार करण्यासाठी डिजिटल-टू-एनालॉग कन्व्हर्टर (डीएसी) समाविष्ट असू शकतात.

3. एम्प्लीट्यूड नियंत्रण सर्किट (Amplitude Control Circuit): एम्प्लीट्यूड नियंत्रण सर्किट आउटपुट वेव्हफॉर्मची व्होल्टेज पातळी समायोजित करते. यामध्ये आउटपुट व्होल्टेज पातळी नियंत्रित करण्यासाठी व्होल्टेज अॅम्प्लीफायर्स, अटॅन्युएटर किंवा डिजिटल-टू-एनालॉग कन्व्हर्टर (डीएसी) समाविष्ट असू शकतात. अॅम्प्लीट्यूड कंट्रोल सर्किट वापरकर्त्यांना वेव्हफॉर्मचे पीक-टू-पीक व्होल्टेज किंवा आरएमएस व्होल्टेज समायोजित करण्यास अनुमती देते.

4. मॉड्युलेशन सर्किट (Modulation Circuit): काही फंक्शन जनरेटरमध्ये मॉड्युलेशन क्षमतांचा समावेश होतो, ज्यामुळे वापरकर्त्यांना आउटपुट वेव्हफॉर्मची वारंवारता, मोठेपणा किंवा टप्पा मॉड्युलेट करता येतो. मॉड्युलेशन सर्किटमध्ये फ्रिक्वेंसी मॉड्युलेशन (एफएम), अॅम्प्लीट्यूड मॉड्युलेशन (एएम), किंवा फेज मॉड्युलेशन (पीएम) सर्किट्स तसेच मॉड्युलेशन स्रोत आणि नियंत्रण पॅरामीटर्स समाविष्ट असू शकतात.

5. फेज कंट्रोल सर्किट (Phase Control Circuit): फंक्शन जनरेटर फेज कंट्रोल क्षमता देऊ शकतात, जे वापरकर्त्यांना एकाधिक आउटपुट चॅनेलमधील फेज संबंध समायोजित करण्यास किंवा बाह्य सिग्नलसह वेव्हफॉर्मसिंक्रोनाइझ करण्यास अनुमती देतात. फेज कंट्रोल सर्किटमध्ये फेज शिफ्टर्स, फेज डिटेक्टर किंवा फेज-लॉक केलेले लूप (पीएलएल) अचूक फेज समायोजन समाविष्ट असू शकतात.

6.आउटपुट ॲम्प्लिफायर सर्किट (Output Amplifier Circuit): आउटपुट ॲम्प्लिफायर सर्किट व्युत्पन्न केलेल्या वेव्हफॉर्मला इच्छित व्होल्टेज स्तरावर वाढवते आणि आउटपुट लोड चालवते. हे सुनिश्चित करते की आउटपुट वेव्हफॉर्म त्याचे आकार, मोठेपणा आणि वारंवारता वैशिष्ट्ये लोड स्थितीच्या विस्तृत श्रेणीमध्ये राखते.

7.डिस्प्ले आणि यूजर इंटरफेस (Display and Interface): फंक्शन जनरेटरमध्ये डिस्प्ले स्क्रीन, कंट्रोल नॉब्स, बटणे आणि डिजिटल इनपुट/आउटपुट पोर्ट्स सह वापरकर्ता-अनुकूल इंटरफेस समाविष्ट आहे. इंटरफेस वापरकर्त्यांना वेव्हफॉर्म पॅरामीटर्स कॉन्फिगर करण्यास, वेव्हफॉर्म निवडण्याची आणि जनरेटरचे ऑपरेशन नियंत्रित करण्यास अनुमती देते. हे व्हिज्युअल फीडबॅक, स्थिती निर्देशक आणि मेनू नेव्हिगेशन पर्याय देखील प्रदान करू शकते.

8. पॉवर सप्लाय सर्किट (Power Supply Circuit): पॉवर सप्लाय सर्किट फंक्शन जनरेटरच्या सर्व घटकांना आवश्यक विद्युत उर्जा प्रदान करते. यात जनरेटरचे स्थिर आणि विश्वासार्ह ऑपरेशन सुनिश्चित करण्यासाठी व्होल्टेज रेग्युलेटर, फिल्टर आणि संरक्षण सर्किट समाविष्ट असू शकतात.

• फंक्शन जनरेटर उपयोग (Function generator Applications):

1. चाचणी आणि समस्यानिवारण (Testing and Troubleshooting): फंक्शन जनरेटर सर्किट्स, चाचणी घटकांना उत्तेजित करण्यासाठी आणि सिस्टम कार्यक्षमता सत्यापित करण्यासाठी इलेक्ट्रॉनिक्स चाचणी आणि समस्यानिवारण मध्ये मोठ्या प्रमाणावर वापरले जातात. ते वेगवेगळ्या सिग्नल परिस्थितींचे अनुकरण करण्यासाठी आणि सर्किट प्रतिसादांची चाचणी घेण्यासाठी साइन वेव्ह, स्केअर वेव्ह आणि त्रिकोणी लाटा यासारखे मानक वेव्हफॉर्म तयार करू शकतात.

2. वारंवारता रिस्पॉन्स ॲनालिसिस (Frequency Response Analysis): इलेक्ट्रॉनिक सर्किट्स, फिल्टर्स, ॲम्प्लिफायर्स आणि कंट्रोल सिस्टम्सच्या वारंवारता रिस्पॉन्सचे मोजमाप करण्यासाठी वारंवारता रिस्पॉन्स ॲनालिसिसमध्ये फंक्शन जनरेटरचा वापर केला जातो. वेगवेगळ्या वारंवारता आणि ॲम्प्लिट्यूड्सचे साइन वेव्ह सिग्नल लागू करून, फंक्शन जनरेटर डिव्हाइसेस आणि सिस्टम्सच्या वारंवारता-आधारित वर्तनाचे वैशिष्ट्ये बनवू शकतात.

3. सिग्नल कंडिशनिंग आणि कॅलिब्रेशन (Signal Conditioning and Calibration): फंक्शन जनरेटर सिग्नल कंडिशनिंग आणि कॅलिब्रेशन ॲप्लिकेशन्समध्ये उपकरणे, सेन्सर्स आणि मापन प्रणाली कॅलिब्रेट करण्यासाठी कार्यरत आहेत. ते ऑसिलोस्कोप, स्पेक्ट्रम विश्लेषक, डेटा संपादन प्रणाली आणि इतर चाचणी उपकरणे कॅलिब्रेट करण्यासाठी ज्ञात वैशिष्ट्यांसह अचूक वेव्हफॉर्म तयार करू शकतात.

4. ऑडिओ चाचणी आणि मापन (Audio Testing and Measurement): फंक्शन जनरेटरचा वापर ऑडिओ चाचणी आणि मापन अनुप्रयोगांमध्ये चाचणी स्पीकर, हेडफोन, ऑडिओ ॲम्प्लीफायर्स आणि ऑडिओ प्रक्रिया उपकरणांसाठी ऑडिओ सिग्नल निर्माण करण्यासाठी केला जातो. ऑडिओ उपकरणांच्या कार्यक्षमतेचे मूल्यांकन करण्यासाठी ते ऑडिओ फ्रिक्वेन्सीवर साइन वेव्ह, स्केअर वेव्ह आणि इतर वेव्हफॉर्म तयार करू शकतात.

5. कम्युनिकेशन सिस्टीम टेस्टिंग (Communication System Testing): रेडिओ फ्रिक्वेन्सी (RF) सिस्टीम, मायक्रोवेव्ह सिस्टीम आणि वायरलेस नेटवर्कसह कम्युनिकेशन सिस्टीमची चाचणी आणि वैशिष्ट्यीकरण करण्यात फंक्शन जनरेटर महत्त्वपूर्ण भूमिका बजावतात. ते संप्रेषण प्रणालीच्या कार्यक्षमतेचे मूल्यांकन करण्यासाठी मॉड्युलेटेड सिग्नल, फ्रिक्वेन्सी-शिफ्ट (FSK) सिग्नल, ॲम्प्लिट्यूड-मॉड्युलेटेड (AM) सिग्नल आणि फेज-मॉड्युलेटेड (PM) सिग्नल तयार करू शकतात.

6. पल्स आणि डिजिटल सिग्नल टेस्टिंग (Pulse and Digital Signal Testing): फंक्शन जनरेटर पल्स आणि डिजिटल सिग्नल टेस्टिंग ॲप्लिकेशन्समध्ये पल्स वेव्हफॉर्म, स्केअर वेव्ह आणि डिजिटल पॅटर्न तयार करण्यासाठी वापरले जातात. ते डिजिटल सर्किट्स, मायक्रोकंट्रोलर्स, लॉजिक गेट्स आणि डिजिटल कम्युनिकेशन इंटरफेसच्या चाचणीसाठी डिजिटल लॉजिक सिग्नल, घड्याळ सिग्नल आणि पल्स-रुंदी मॉड्युलेशन (PWM) सिग्नलचे अनुकरण करू शकतात.

7. शिक्षण आणि प्रशिक्षण (Education and Training): फंक्शन जनरेटर ही शैक्षणिक संस्थांमध्ये सिग्नल निर्मिती, वेव्हफॉर्म वैशिष्ट्ये, मॉड्युलेशन तंत्र आणि इलेक्ट्रॉनिक सर्किट विश्लेषणाशी संबंधित संकल्पना शिकवण्यासाठी मौल्यवान साधने आहेत. ते विद्यार्थ्यांना इलेक्ट्रॉनिक सर्किट्स आणि सिग्नल प्रोसेसिंग तत्वांबद्दल जाणून घेण्यासाठी प्रत्यक्ष अनुभव देतात.

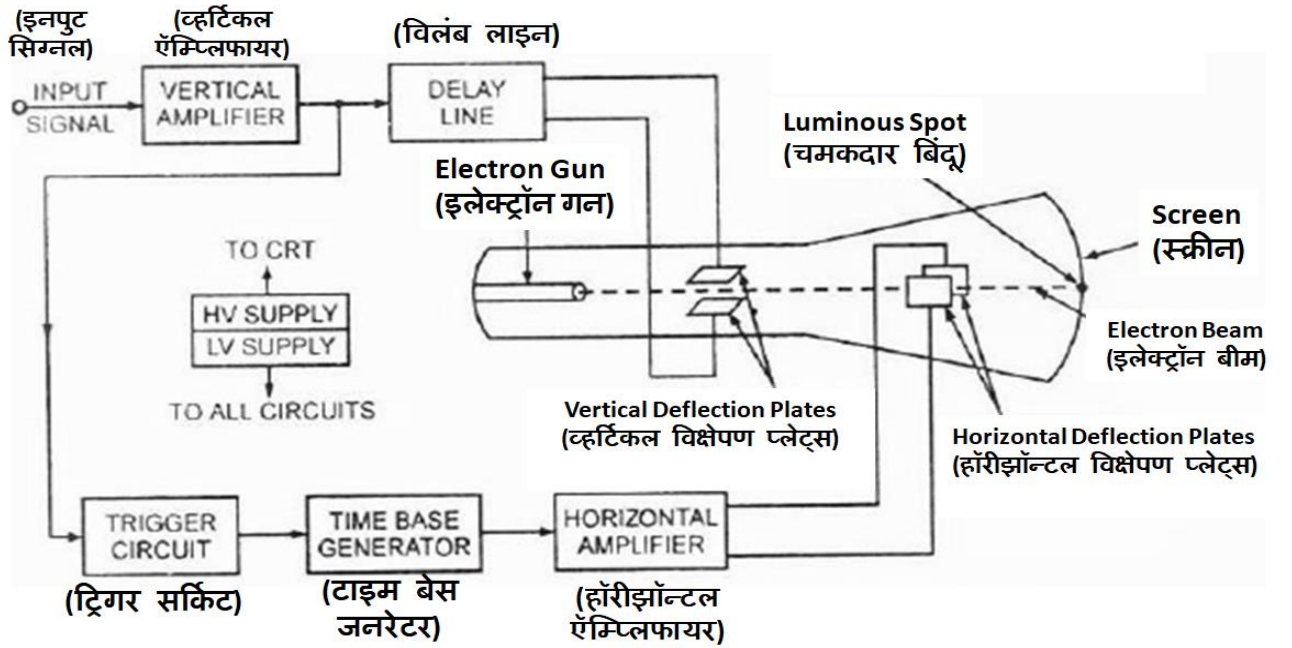
8. संशोधन आणि विकास (Research and Development): फंक्शन जनरेटर इलेक्ट्रॉनिक्स, दूरसंचार, एरोस्पेस आणि ऑटोमोटिव्हसह विविध उद्योगांमध्ये संशोधन आणि विकास क्रियाकलापांमध्ये कार्यरत आहेत. त्यांचा उपयोग

सर्किट्सचे प्रोटोटाइप करण्यासाठी, नवीन तंत्रज्ञान विकसित करण्यासाठी, प्रयोग आयोजित करण्यासाठी आणि संशोधन प्रयोगशाळा आणि विकास सुविधांमध्ये सिस्टम कार्यक्षमतेचे विश्लेषण करण्यासाठी केला जातो.

3.6 सीआरओ (CRO): ब्लॉक आकृती आणि प्रत्येक ब्लॉकचे कार्य (Block Diagram and Function of Every Block):

CRO, किंवा कॅथोड रे ऑसिलोस्कोप, एक इलेक्ट्रॉनिक चाचणी साधन आहे जे विद्युत सिग्नलच्या वेव्हफॉर्मचे निरीक्षण आणि विश्लेषण करण्यासाठी वापरले जाते. हे इलेक्ट्रॉनिक्स प्रयोगशाळांमधील सर्वात मूलभूत आणि अष्टपैलू साधनांपैकी एक आहे आणि अभियांत्रिकी, भौतिकशास्त्र, दूरसंचार आणि संशोधन यासारख्या क्षेत्रात मोठ्या प्रमाणावर वापरले जाते.

• सीआरओ (CRO): ब्लॉक आकृती (Block Diagram):



आकृती क्र. 18 सीआरओ (CRO)

1. अनुलंब विक्षेपण प्लेट (Vertical deflection plate): सिग्नल, तपासले जाणारे, अँटिन्युएटर आणि अँप्लीफायर स्टेजच्या संख्येद्वारे उभ्या विक्षेपित प्लेट्सवर लागू केले जातात. सिग्नल इतका मजबूत नसल्यामुळे, **CRT** स्क्रीनवर मोजता येण्याजोगे विक्षेपण निर्माण करण्यासाठी उभ्या अँप्लीफायर्सची आवश्यकता असते.

2. क्षैतिज विक्षेपण प्लेट (Horizontal deflection plate): क्षैतिज विक्षेपण प्लेट्स स्वीप व्होल्टेजद्वारे दिले जातात जे एक वेळ आधार तयार करतात. जेव्हा व्होल्टेज पुरेसे मोठे असतात तेव्हा त्यांना थेट दिले जाते. क्षैतिज प्लेट्सवर बाह्य सिग्नल लागू करताना, ते बाह्य स्थितीत स्वीप निवड स्विचद्वारे क्षैतिज अँप्लीफायरद्वारे दिले जाऊ शकतात.

3. ब्लॉकिंग सर्किट (Blanking circuit): जेव्हा क्षैतिज विक्षेपण प्लेट्सवर सॉ ट्रूथ स्वीप व्होल्टेज लागू केले जाते, तेव्हा ते स्वीप किंवा ट्रेस टाइम दरम्यान डावीकडून उजवीकडे सरळ आडव्या रेषेत सीआरटी ओलांडून बीम हलवते. जेव्हा हालचालीचा दर दृष्टीच्या स्थिरतेच्या उंबरठ्यापेक्षा जास्त असेल तेव्हा स्पॉटची संथ हालचाल एक घन रेषा म्हणून दिसून येईल. या थ्रेशोल्ड मर्यादेच्या खाली, हलणारी जागा समजली जाते. फ्लाय-बॅक टाइम खूप कमी असल्यास, स्पॉट अदृश्य राहतो. फ्लाय-बॅक कालावधी दरम्यान ग्रीडवर उच्च नकारात्मक व्होल्टेज लागू करून रिट्रेस रिकत केले जाते. ब्लॉकिंग व्होल्टेज सामान्यतः स्वीप जनरेटरद्वारे विकसित केले जाते.

4. सिंक्रोनाइझिंग सर्किट (Synchronizing circuit): मोजले जाणारे सिग्नल वापरलेल्या स्वीपसह समक्रमित केले जावेत. स्थिर नमुना मिळविण्यासाठी सिंक्रोनाइझेशन करावे लागेल. यासाठी टाइम बेस उभ्या विक्षेपित प्लेट्सवर लागू केलेल्या मोजमाप अंतर्गत सिग्नलच्या सबमल्टिपल फ्रिक्वेन्सीवर ऑपरेट करणे आवश्यक आहे. सिंक्रोनाइझेशनच्या तीन पद्धती (i) अंतर्गत, (ii) बाह्य, (iii) लाइन.

5.वर्टिकल अॅम्प्लीफायर (Vertical amplifier): वर्टिकल अॅम्प्लीफायर (उभ्या कमी होणाऱ्या प्लेट्सवर लागू केलेले इनपुट सिग्नल मजबूत करते.

6.ट्रिगर सर्किट (Trigger Circuit): टाइम बेस सर्किटला इनपुट देते.

7.टाइम बेस जनरेटर (Time Base Generator): चे आउटपुट क्षैतिज अॅम्प्लीफायरद्वारे वाढवले जाते आणि नंतर CRT च्या क्षैतिज विक्षेपित प्लेट्सवर लागू केले जाते.

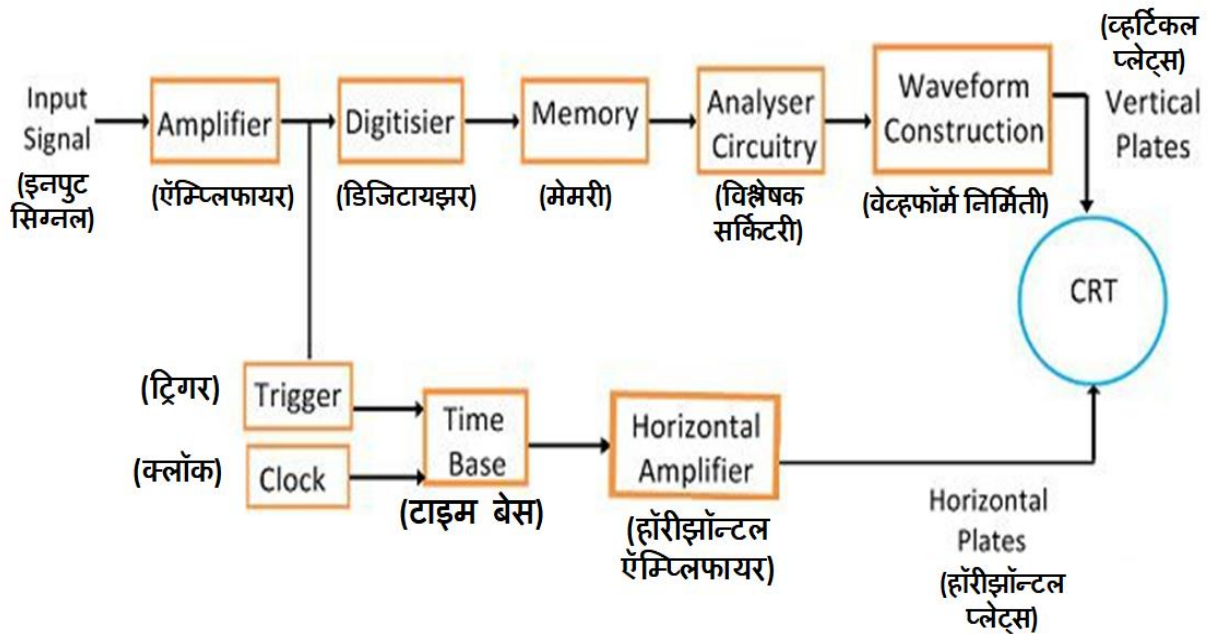
8.सीआरटीमध्ये इलेक्ट्रॉन गन असेंब्ली असते ज्यामध्ये थर्मली गरम केलेले कॅथोड, प्रवेगक एनोड, फोकसिंग एनोड यांचा समावेश होतो.

9.इलेक्ट्रॉन गन असेंब्लीमधून बाहेर येणारा इलेक्ट्रॉन बीम विक्षेपित प्लेट्समध्ये प्रवेश करतो.

10.CRT ची स्क्रीन आंतरिकरित्या फॉस्फर सामग्रीसह लेपित आहे ज्यावर आपण इनपुट सिग्नलच्या वेव्हफॉर्मचे निरीक्षण करतो.

3.7. डिजिटल स्टोरेज ऑसिलोस्कोप (Digital Storage Oscilloscope): ब्लॉक आकृती आणि प्रत्येक ब्लॉकचे कार्य (Block Diagram and Function of Every Block): डिजिटल स्टोरेज ऑसिलोस्कोप (DSO) हे एक अत्याधुनिक इलेक्ट्रॉनिक उपकरण आहे जे प्रामुख्याने इलेक्ट्रॉनिक सिग्नलच्या वेव्हफॉर्मचे दृश्य आणि विश्लेषण करण्यासाठी वापरले जाते. हे इलेक्ट्रिकल अभियांत्रिकी, दूरसंचार, भौतिकशास्त्र आणि इतर अनेक क्षेत्रांमध्ये एक मूलभूत साधन आहे जेथे सिग्नलचे अचूक मोजमाप आवश्यक आहे.

•डिजिटल स्टोरेज ऑसिलोस्कोप (Digital Storage Oscilloscope): ब्लॉक आकृती (Block Diagram):



आकृती क्र. 18 डिजिटल स्टोरेज ऑसिलोस्कोप (Digital Storage Oscilloscope)

•डिजिटल स्टोरेज ऑसिलोस्कोप ब्लॉकचे कार्य (Digital Storage Oscilloscope Function of Block):

1. अॅम्प्लीफायर (Amplifier): डिजिटल स्टोरेज ऑसिलोस्कोपमधील अॅम्प्लीफायर इनकमिंग सिग्नलच्या मोठेपणाला चालना देतो, इलेक्ट्रॉनिक वेव्हफॉर्मचे अचूक मापन आणि व्हिज्युअलायझेशन सक्षम करतो. हे उच्च-विश्वस्त वेव्हफॉर्म कॅप्चर आणि विश्लेषण सुनिश्चित करून आवाज कमी करते.

2. डिजिटाइझर (Digitizer): डिजिटल स्टोरेज ऑसिलोस्कोपमधील डिजिटाइझर ॲम्प्लीफाइड ॲनालॉग सिग्नलला डिजिटल डेटामध्ये रूपांतरित करतो, उच्च अचूकता आणि रिझोल्यूशनसह वेव्हफॉर्मचे स्टोरेज, प्रक्रिया आणि प्रदर्शन सुलभ करते. हे सॅम्पलिंग रेट आणि बिट डेप्थ निर्धारित करते, वेव्हफॉर्म तपशील अचूकपणे कॅप्चर करण्यासाठी आणि त्याचे प्रतिनिधित्व करण्यासाठी महत्त्वपूर्ण आहे.

3. मेमरी (Memory): डिजिटल स्टोरेज ऑसिलोस्कोपमधील मेमरी डिजिटाइज्ड वेव्हफॉर्म डेटा संग्रहित करते, ज्यामुळे विस्तारित कालावधीत किंवा दुर्मिळ घटनांमध्ये सिग्नल कॅप्चर आणि विश्लेषण करता येतात. हे DSO ला अनेक वेव्हफॉर्म ठेवण्यास आणि प्रदर्शित करण्यास सक्षम करते, तपशीलवार तपासणी आणि तुलना सुलभ करते.

4. विश्लेषक सर्किटरी (Analyzer Circuitry): डिजिटल स्टोरेज ऑसिलोस्कोपमधील विश्लेषक सर्किटरी कॅप्चर केलेल्या वेव्हफॉर्म डेटाची प्रक्रिया आणि विश्लेषण करते, ट्रिगरिंग, माप आणि गणिती ऑपरेशन्स यांसारखी कार्ये करते. हे प्रगत वेव्हफॉर्म विश्लेषण सक्षम करते आणि समस्यानिवारण आणि डिझाइन प्रमाणीकरणासाठी सिग्नल वैशिष्ट्यांमध्ये अंतर्दृष्टी प्रदान करते.

5. वेव्हफॉर्म कन्स्ट्रक्शन (Waveform Construction): डिजिटल स्टोरेज ऑसिलोस्कोपमधील वेव्हफॉर्म कन्स्ट्रक्शनमध्ये सॅम्पल केलेल्या डेटा पॉइंट्सना सिग्नलच्या ग्राफिकल प्रेझेंटेशनमध्ये एकत्र करणे समाविष्ट आहे, जे विश्लेषण आणि स्पष्टीकरणासाठी स्क्रीनवर प्रदर्शित केले जाते. हे डिजिटाइज्ड डेटामधून वेव्हफॉर्म आकार आणि वैशिष्ट्ये अचूकपणे पुनर्रचना करते, सिग्नल वर्तनामध्ये दृश्यमान अंतर्दृष्टी प्रदान करते.

6. सी.आर.टी. (Cathod Ray Tube): डिजिटल स्टोरेज ऑसिलोस्कोपमधील सीआरटी (कॅथोड रे ट्यूब) वापरकर्त्याद्वारे विश्लेषण आणि स्पष्टीकरणासाठी व्हिज्युअल प्रतिनिधित्व म्हणून पुनर्रचित वेव्हफॉर्म डेटा प्रदर्शित करते. हे उच्च रिझोल्यूशन आणि रिफ्रेश दरांसह इलेक्ट्रिकल सिग्नलचे रिअल-टाइम व्हिज्युअलायझेशन प्रदान करते.

7. क्षैतिज ॲम्प्लीफायर (Horizontal Amplifier): डिजिटल स्टोरेज ऑसिलोस्कोपमधील क्षैतिज ॲम्प्लीफायर डिस्प्लेवरील इलेक्ट्रॉन बीमच्या क्षैतिज विक्षेपणवर नियंत्रण ठेवतो, वेव्हफॉर्म व्हिज्युअलायझेशनसाठी वेळ निश्चित करतो. हे प्रदर्शित सिग्नलचे क्षैतिज स्केलिंग नियंत्रित करून अचूक वेळ-डोमेन मोजमाप आणि वेव्हफॉर्म विश्लेषण सक्षम करते.

8. टाइम बेस (Time Base): डिजिटल स्टोरेज ऑसिलोस्कोपमधील टाइम बेस वेव्हफॉर्म डेटा प्रदर्शित करण्यासाठी क्षैतिज स्केल निर्धारित करतो, स्क्रीनवरील प्रत्येक क्षैतिज विभागाद्वारे दर्शविलेल्या वेळेचा कालावधी नियंत्रित करतो. हे वापरकर्त्यांना वेळेचे रिझोल्यूशन समायोजित करण्यास आणि अचूक वेळ-डोमेन विश्लेषण सुलभ करून वेव्हफॉर्म तपशीलांचे अचूक निरीक्षण करण्यास अनुमती देते.

9. ट्रिगर (Trigger): डिजिटल स्टोरेज ऑसिलोस्कोपमधील ट्रिगर निर्दिष्ट सिग्नल स्थितीवर आधारित डेटा कॅप्चर सुरू करून वेव्हफॉर्म अधिग्रहण समक्रमित करतो, जसे की व्होल्टेज पातळी किंवा किनारी संक्रमण. हे स्थिर आणि पुनरावृत्ती करण्यायोग्य वेव्हफॉर्म डिस्प्ले सुनिश्चित करते, विश्लेषणासाठी घटनांचे अचूक ट्रिगरिंग सक्षम करते.

10. घड्याळ (clock): डिजिटल स्टोरेज ऑसिलोस्कोपमधील घड्याळ टायमिंग सिग्नल व्युत्पन्न करते जे वेव्हफॉर्म डेटाचे सॅम्पलिंग आणि प्रोसेसिंग सिंक्रोनाइझ करते, डिस्प्लेवर अचूक वेळ-डोमेन प्रतिनिधित्व सुनिश्चित करते. हे सॅम्पलिंग रेट ठरवते आणि इलेक्ट्रॉनिक सिग्नल्सचे अचूक तात्पुरते मोजमाप सुलभ करते.

स्व-अध्ययन (Exercise):

- 1) फंक्शन जनरेटरच्या ब्लॉक आकृती सह वर्णन करा
- 2) CRO चा ब्लॉक आकृती काढा आणि प्रत्येक ब्लॉकचे कार्य सांगा.
- 3) पॉवर सिस्टममध्ये सिंक्रोस्कोपची आवश्यकता काय आहे? सिंक्रोस्कोपचे कार्य आकृती सह स्पष्ट करा.
- 4) फंक्शन जनरेटर चे (Function generator) उपयोग सांगा.
- 5) डिजिटल मोजमाप साधनांची आवश्यकता आणि फायदे लिहा.
- 6) क्लॉम्प-ऑन मीटर चे कार्य आकृतीसह स्पष्ट करा.
- 7) डिजिटल मल्टीमीटर चे फायदे लिहा.
- 8) रेजिस्टन्स मापन च्या पद्धती सांगा व कुठली एक स्पष्ट करा.
- 9) डिजिटल स्टोरेज ऑसिलोस्कोप (DSO) ब्लॉक ब्लॉक आकृती काढा.
- 10) एल सी आर(LCR) मीटर स्पष्ट करा.
- 11) टॅकोमीटर चे उपयोग सांगा.

संदर्भग्रंथ (Bibliography):

- 1) Electrical and Electronic Measurement and Instrumentation by A.K.Sawhney.
- 2) Electronics and Electrical Measurements and Instrumentation by J.B.Gupta.
- 3) Electrical and Electronic Measurement and Instrumentation by R.K.Rajput
- 4) Principles of Industrial Instrumentation by Patranabis D.

माहिती संकेतस्थळ (Information Websites):

- 1)<https://www.electrical4u.com>
- 2)<https://circuitglobe.com/temperature-transducer.html>
- 3)<https://ndl.iitkgp.ac.in/>
- 4)[www.dreamtechpress.com /ebooks](http://www.dreamtechpress.com/ebooks)
- 5)<https://nptel.ac.in/>

युनिट-4

ट्रान्सड्यूसर आणि प्रेशर मापन (Transducer and Pressure Measurement)

विषय निष्पत्ती (Course Outcome):

प्रेशर ट्रान्सड्यूसर वापरून दिलेल्या ॲप्लिकेशनसाठी आवश्यक प्रेशर राखा. (Maintain required pressure for given application using pressure transducer.)

थिअरी लर्निंगसह मॅप केलेली शिक्षण सामग्री निष्पत्ती (TLOs) आणि विषय निष्पत्ती COs: (Learning content mapped with Theory Learning Outcomes (TLO's) and CO's):

TLO 4.1 Describe the working of instrumentation system with neat sketch.

(स्केचसह इंस्ट्रुमेंटेशन सिस्टमच्या कार्याचे वर्णन करा.)

TLO 4.2 State the difference between sensors and transducer.

(सेन्सर आणि ट्रान्सड्यूसरमधील फरक सांगा.)

TLO 4.3 Write the classification of transducer.

(ट्रान्सड्यूसरचे वर्गीकरण लिहा.)

TLO 4.4 Describe the working of given electrical transducer with neat sketch.

(दिलेल्या इलेक्ट्रिकल ट्रान्सड्यूसरच्या कार्याचे स्पष्ट स्केचसह वर्णन करा.)

TLO 4.5 Describe the working of piezoelectric transducer with neat sketch.

(पीझोइलेक्ट्रिक ट्रान्सड्यूसरच्या कार्याचे नीट स्केचसह वर्णन करा.)

TLO 4.6 Classify pressure transducer.

(प्रेशर ट्रान्सड्यूसरचे वर्गीकरण करा.)

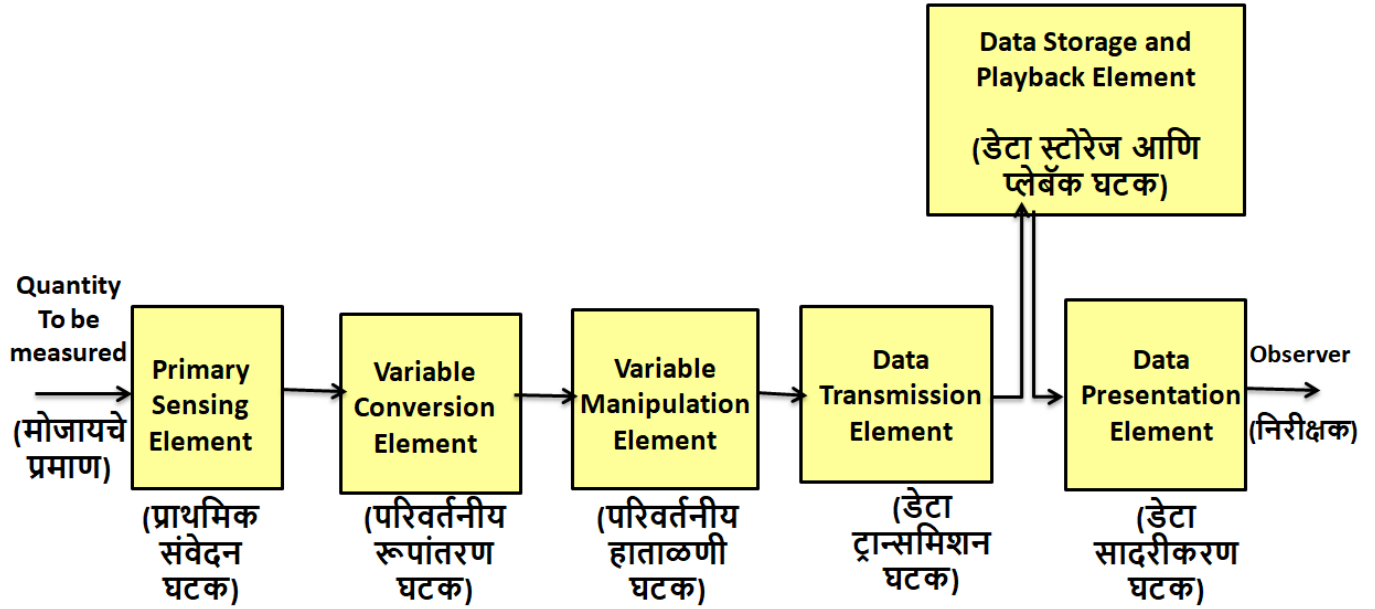
TLO 4.7 Describe the working of bourdon tube with LVDT as secondary transducer with neat sketch.

(स्केचसह दुय्यम ट्रान्सड्यूसर म्हणून एल.व्ही.डी.टी. सह बोर्डन ट्यूबच्या कार्याचे वर्णन करा.)

परिचय (Introduction): ट्रान्सड्यूसर (Transducer) हे एक इलेक्ट्रॉनिक (Electronic) उपकरण आहे जे उर्जेचे (Energy) एका रूपातून दुसऱ्या रूपात रूपांतर करते. उर्जेचे एका रूपातून दुसऱ्या रूपात रूपांतर करण्याच्या प्रक्रियेला ट्रान्सडक्शन (Transduction) असे म्हणतात. ट्रान्सड्यूसरच्या काही सामान्य उदाहरणांमध्ये लाउडस्पीकर (Loudspeaker), मायक्रोफोन (microphone), थर्मामीटर (thermometer) आणि एल.ई.डी (LED) यांचा समावेश होतो. तापमान (temperature) आणि प्रेशर (Pressure) यासारख्या भौतिक मापदंड (physical parameters) अचूक परिमाण निश्चित करणे कठीण आहे. परंतु, जर या भौतिक मापदंड (physical parameters) विद्युतीय सिग्नलमध्ये (Electrical signal) रूपांतर केले गेले, तर त्यांची मूल्ये मीटर वापरून सहजपणे निर्धारित केली जाऊ शकतात. ट्रान्सड्यूसरचे प्राथमिक कार्य म्हणजे भौतिक मापदंड (physical parameters) इलेक्ट्रिकल सिग्नलमध्ये (Electrical signal) रूपांतर करणे जेणेकरून ते सहजपणे हाताळले जाऊ शकते आणि मापनासाठी प्रसारित केले जाऊ शकते.

4.1 इंस्ट्रुमेंटेशन सिस्टम - ब्लॉक आकृती, प्रत्येक ब्लॉकचे कार्य (Instrumentation System-Block diagram, function of each block):

इंस्ट्रुमेंटेशन सिस्टममध्ये विविध घटक असतात जे मोजमाप (measurement), निरीक्षण (observation) आणि प्रक्रिया नियंत्रित (process control) करण्यासाठी एकत्र काम करतात. खालील आकृती 1 मध्ये इंस्ट्रुमेंटेशन सिस्टमचा ब्लॉक आकृती दर्शविली आहे.



आकृती क्र. 4.1.1: इन्स्ट्रुमेंटेशन सिस्टमचा ब्लॉक आकृती
(Block Diagram of Instrumentation System)

- प्राथमिक संवेदन घटक (Primary Sensing Element):** प्राथमिक संवेदन घटकास सेन्सर असेही म्हणतात. मुळात ट्रान्सड्यूसरचा वापर प्राथमिक संवेदन घटक म्हणून केला जातो. येथे, भौतिक प्रमाण (जसे की तापमान, प्रेशर इ.) जाणवले जाते आणि नंतर ॲनालॉग सिग्नल (analog signal) मध्ये रूपांतरित केले जाते.
- परिवर्तनीय रूपांतरण घटक (Variable Conversion Element):** हा ब्लॉक माहिती न बदलता प्राथमिक संवेदन घटका (Primary Sensing Element) चे आउटपुट योग्य स्वरूपात रूपांतरित करतो. मुळात हे सेकंडरी ट्रान्सड्यूसर (Secondary Transducer) आहेत.
- परिवर्तनीय हाताळणी घटक (Variable Manipulation Element):** ट्रान्सड्यूसरचे आउटपुट इलेक्ट्रिकल सिग्नल असू शकते, म्हणजे व्होल्टेज (Voltage), करंट (Current) किंवा इतर इलेक्ट्रिकल पॅरामीटर. येथे, मॉडिफिकेशन म्हणजे सिग्नलच्या संख्यात्मक मूल्यातील बदल. हा घटक सिग्नलला योग्य श्रेणीत रूपांतरित करण्यासाठी वापरला जातो.
- डेटा ट्रान्समिशन घटक (Data Transmission Element):** कधीकधी एखाद्या विशिष्ट ठिकाणी गुणवत्तेचे थेट रीडिंग देणे शक्य नसते (उदाहरणार्थ - भट्टीतील तापमानाचे मापन). अशा परिस्थितीत, डेटा एका ठिकाणाहून दुसऱ्या ठिकाणी चॅनेलद्वारे हस्तांतरित केला पाहिजे ज्याला डेटा ट्रान्समिशन एलिमेंट म्हणतात. सामान्यतः प्रेषण मार्ग म्हणजे न्यूमॅटिक पाईप, इलेक्ट्रिकल केबल आणि रेडिओ लिंक्स.
- डेटा स्टोरेज घटक (Data Storage Element):** जर डेटा रेकॉर्ड करायचा असेल तर रेकॉर्डर जसे की चुंबकीय टेप (Magnetic Tape), हाय स्पीड कॅमेरा (High speed camera) आणि टीव्ही (TV) उपकरणे; स्टोरेज प्रकार C.R.T., प्रिंटर (CRT Printer), ॲनालॉग आणि डिजिटल संगणक (Analog and Digital computers) वापरले जाऊ शकतात.
- डेटा सादरीकरण घटक (Data Presentation Element):** हा ब्लॉक डेटा सादर (present) करण्याचे कार्य (work) करतो जेणेकरून तो निरीक्षकास (observer) सहज समजेल.

4.2 उदाहरणांसह सेन्सर (Sensor) आणि ट्रान्सड्यूसरमधील (Transducer) फरक

क्र.	फरकाचा आधार	सेन्सर (Sensor)	ट्रान्सड्यूसर (Transducer)
------	-------------	-----------------	----------------------------

	(Basis of difference)		
1	व्याख्या (Definition)	सेन्सर हे असे उपकरण (instrument) आहे जे परिमाणाचे भौतिक पॅरामीटर संबंधित इलेक्ट्रिकल आउटपुटमध्ये (Electrical output) रूपांतरित करते.	ट्रान्सड्यूसर हे असे उपकरण आहे जे ऊर्जा (Energy) एका रूपातून दुसऱ्या रूपात बदलते, जसे की तापमानाचे इलेक्ट्रिकल सिग्नलमध्ये रूपांतर.
2	मुख्य घटक (Main Components)	सेन्सरमध्ये स्वतःशिवाय दुसरा कोणताही घटक नसतो.	ट्रान्सड्यूसरचे घटक - इनपुट उपकरण (सेन्सर), प्रक्रिया उपकरण (सिग्नल कंडिशनिंग) आणि आउटपुट उपकरण आहेत.
3	जटिलता (Complexity)	सेन्सर कॉन्स्ट्रक्शन आणि डिझाइनमध्ये सोपे आहे.	ट्रान्सड्यूसर हे अधिक क्लिष्ट उपकरण आहे कारण त्यात उर्जेचे एका रूपातून दुसऱ्या रूपात रूपांतर होते.
4	अभिप्राय (Feedback)	सेन्सर सिस्टमला कोणताही फीडबॅक देत नाही. याचा अर्थ, ते केवळ भौतिक प्रमाणातील बदल मोजते आणि स्वतः सिस्टमला इनपुट देऊ शकत नाही.	ट्रान्सड्यूसर सामान्यतः प्रक्रिया केल्यानंतर आउटपुट दिव्हाइसद्वारे सिस्टमला फीडबॅक प्रदान करतो.
5	अवलंबित्व (Dependency)	सर्व सेन्सर्स ट्रान्सड्यूसर असू शकत नाहीत.	ट्रान्सड्यूसरमध्ये नेहमी सेन्सर असतो.
6	उदाहरणे (Examples)	तापमान सेन्सर, फोटो सेन्सर, प्रॉक्सिमिटी सेन्सर, मॅग्नेटिक सेन्सर इ.	स्ट्रेन गेज, मायक्रोफोन, लाऊड स्पीकर, पिझोइलेक्ट्रिक ट्रान्सड्यूसर, थर्मिस्टर, थर्मोकपल इ.

4.3 ट्रान्सड्यूसरचे (Transducer) वर्गीकरण:

1) बाह्य वीज पुरवठ्याच्या (External power supply) आवश्यकतेनुसार:

- **एक्टिव्ह ट्रान्सड्यूसर (Active Transducer):** ज्या ट्रान्सड्यूसरला बाह्य उर्जा स्त्रोता (External power supply) ची आवश्यकता नसते त्याला **एक्टिव्ह ट्रान्सड्यूसर** म्हणतात. अशा प्रकारचे ट्रान्सड्यूसर त्यांच्या मालकीचे व्होल्टेज किंवा करंट विकसित करतात, म्हणून त्यांना सेल्फ जेनरेटिंग (self-generating) ट्रान्सड्यूसर म्हणून ओळखले जाते. उदाहरणे: पिझोइलेक्ट्रिक क्रिस्टल (Piezoelectric crystal), फोटो-व्होल्टेइक सेल (Photovoltaic cell)
- **पॅसिव्ह ट्रान्सड्यूसर (Passive Transducer):** ज्या ट्रान्सड्यूसरला बाह्य पुरवठा स्त्रोता (External power supply) कडून उर्जा (energy) आवश्यक असते त्याला **पॅसिव्ह ट्रान्सड्यूसर** म्हणून ओळखले जाते. उदाहरणे: लिनियर (Linear) आणि अँगुलर पोटेंशियोमीटर (Angular potentiometer), एल.व्ही.डी.टी (LVDT) इ.

2) आउटपुट सिग्नलच्या स्वरूपावर आधारित:

- **अॅनालॉग ट्रान्सड्यूसर (Analog Transducer):** अॅनालॉग ट्रान्सड्यूसर इनपुटचे प्रमाण अॅनालॉग आउटपुटमध्ये बदलते. उदाहरणे: स्ट्रेन गेज (Strain gauge), एल.व्ही.डी.टी (LVDT), थर्मोकपल (Thermocouple), थर्मिस्टर (Thermistor) इ.
- **डिजिटल ट्रान्सड्यूसर (Digital Transducer):** हे ट्रान्सड्यूसर इनपुटचे प्रमाण डिजिटल सिग्नलमध्ये रूपांतरित करतात. उदा. रोटरी एन्कोडर (Rotary encoder).

3) रूपांतरणावर आधारित:

- **इलेक्ट्रिकल ट्रान्सड्यूसर (Electrical Transducer):** जे ट्रान्सड्यूसर भौतिक प्रमाण किंवा यांत्रिक प्रमाण थेट व्होल्टेज (Voltage) किंवा करंट (Current) सारख्या समतुल्य विद्युत प्रमाणामध्ये रूपांतरित करते त्याला इलेक्ट्रिकल ट्रान्सड्यूसर म्हणतात. उदाहरणे: थर्मिस्टर (Thermistor), पोटेंशियोमीटर (Potentiometer), स्ट्रेन गेज (Strain gauge), एल.व्ही.डी.टी. (LVDT) इ.
- **मेकॅनिकल ट्रान्सड्यूसर (Mechanical Transducer):** हे ट्रान्सड्यूसर भौतिक प्रमाण दुसऱ्या समतुल्य भौतिक प्रमाणात रूपांतरित करतात. उदाहरणे: बॉर्डन ट्यूब (Bourdon tube), डायफ्राम (Diaphragm).

4) मोजल्या जाणाऱ्या प्रमाणासह कनेक्टिव्हिटीवर अवलंबून:

- **प्राथमरी ट्रान्सड्यूसर (Primary Transducer):** प्राथमरी ट्रान्सड्यूसर इनपुट भौतिक प्रमाण मेकॅनिकल सिग्नलमध्ये रूपांतरित करतो. उदा. बॉर्डन ट्यूब.
- **सेकंडरी ट्रान्सड्यूसर (Secondary Transducer):** सेकंडरी ट्रान्सड्यूसर मेकॅनिकल सिग्नलला इलेक्ट्रिकल सिग्नलमध्ये रूपांतरित करतो. उदा. एल.व्ही.डी.टी. (LVDT).

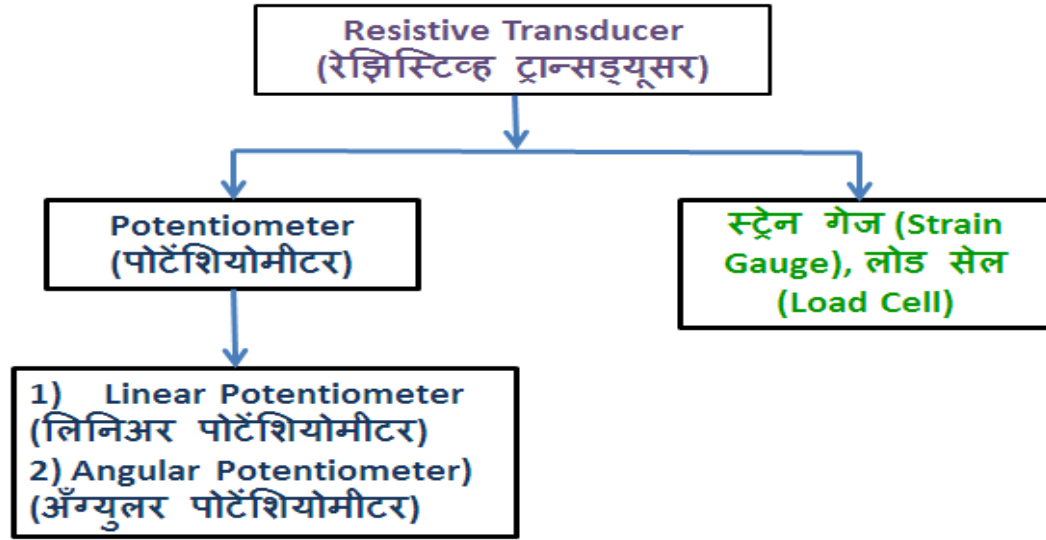
5) रूपांतरण फॉर्मवर आधारित:

- **ट्रान्सड्यूसर (Transducer):** जे यंत्र नॉन-इलेक्ट्रिकल सिग्नलला इलेक्ट्रिकल परिमाणात रूपांतर करते त्याला ट्रान्सड्यूसर म्हणतात. उदा. थर्मिस्टर (Thermistor), पोटेंशियोमीटर (Potentiometer), स्ट्रेन गेज (Strain gauge), एल.व्ही.डी.टी. (LVDT) इ.
- **इन्व्हर्स ट्रान्सड्यूसर (Inverse Transducer):** ट्रान्सड्यूसर जो इलेक्ट्रिकल परिमाणाचे भौतिक प्रमाणात रूपांतर करतो, अशा प्रकारच्या ट्रान्सड्यूसरला इन्व्हर्स ट्रान्सड्यूसर म्हणतात. उदा. पिएझोइलेक्ट्रिक ट्रान्सड्यूसर (Piezoelectric Transducer).

4.4 इलेक्ट्रिकल ट्रान्सड्यूसर: इलेक्ट्रिकल ट्रान्सड्यूसर भौतिक प्रमाणात इलेक्ट्रिकल स्वरूपात रूपांतरित करतात. मुळात इलेक्ट्रिकल ट्रान्सड्यूसरचे तीन प्रकार आहेत: रेझिस्टिव्ह (resistive), इंडक्टिव्ह (inductive) आणि कॅपेसिटिव्ह (capacitive) ट्रान्सड्यूसर.

4.4.1 रेझिस्टिव्ह ट्रान्सड्यूसर (Resistive Transducer) –

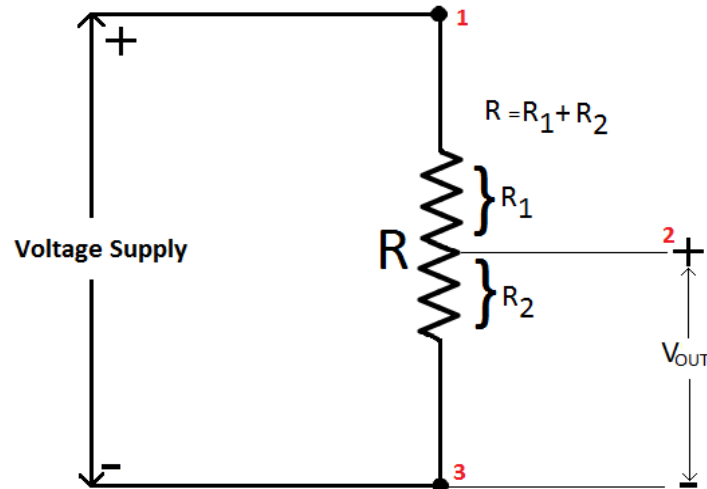
ट्रान्सड्यूसर ज्याचा रेसिस्टन्स पर्यावरणीय प्रभावामुळे (environmental effects) बदलतो अशा प्रकारच्या ट्रान्सड्यूसरला रेझिस्टिव्ह ट्रान्सड्यूसर म्हणतात. प्रतिकारातील बदल ए.सी. (A.C.) किंवा डी.सी. (D.C.) मापन उपकरणांद्वारे मोजला जातो. रेझिस्टिव्ह ट्रान्सड्यूसरचा वापर तापमान (temperature), डिस्प्लेसमेंट (displacement), स्ट्रेन (strain), वायब्रेशन (vibration) इत्यादी भौतिक प्रमाण मोजण्यासाठी केला जातो. खालील आकृती रेझिस्टिव्ह ट्रान्सड्यूसरचा प्लो चार्ट दाखवते:



आकृती क्र. 4.4.1.1: रेझिस्टिव्ह ट्रान्सड्यूसरचे प्रकार
(Types of Resistive Transducers)

a) लिनिअर पोटेंशियोमीटर (Linear Potentiometer):

- पोटेंशियोमीटर (ज्याला पॉट किंवा पॉटमीटर म्हणून देखील ओळखले जाते) हे 3 टर्मिनल व्हेरिएबल रेझिस्टर म्हणून परिभाषित केले जाते ज्यामध्ये इलेक्ट्रिक करंट (electric current) नियंत्रित करण्यासाठी रेसिस्टन्स हा मॅनुअली (manually) बदलला जातो. पोटेंशियोमीटर व्होल्टेज डिव्हायडर (voltage divider) म्हणून कार्य करते.



आकृती क्र. 4.4.1.2: लिनिअर पोटेंशियोमीटर
(Linear Potentiometer)

- पोटेंशियोमीटर एक पॅसिव्ह ट्रान्सड्यूसर (Passive Transducer) आहे म्हणजेच त्याच्या ऑपरेशनसाठी त्याला पुरवठ्याचा बाह्य स्रोत (external power supply) आवश्यक आहे.
- पोटेंशियोमीटर एकसमान रेझिस्टन्स ओलांडून सलिडिंग कॉन्टॅक्टची (sliding contact) स्थिती बदलून कार्य करतात.

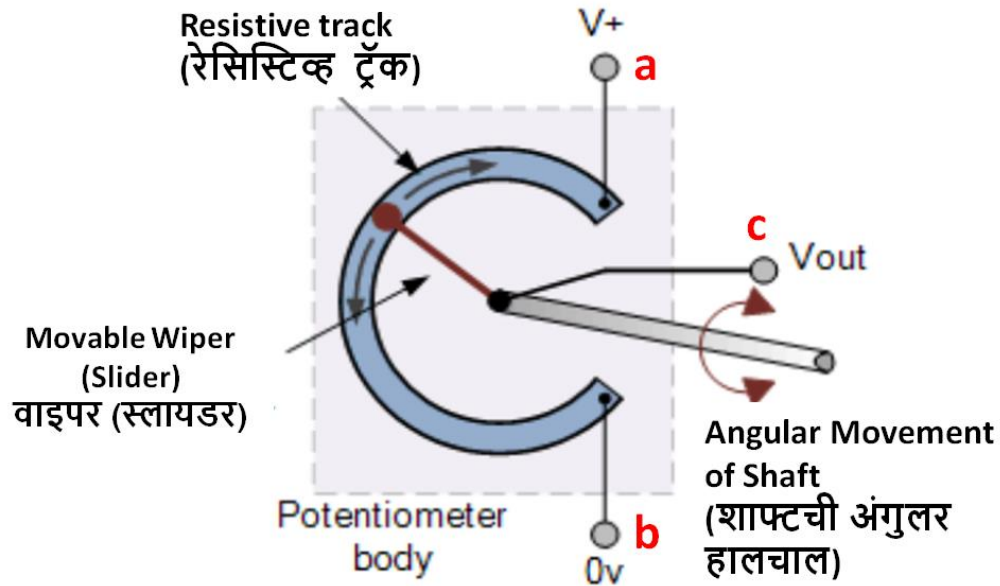
- पोटेंशियोमीटरमध्ये, संपूर्ण इनपुट व्होल्टेज रेझिस्टरच्या संपूर्ण लांबीवर लागू केले जाते आणि आकृतीमध्ये दर्शविल्याप्रमाणे आउटपुट व्होल्टेज स्थिर आणि स्लाइडिंग कॉन्टॅक्ट दरम्यान व्होल्टेज ड्रॉप आहे.
- हलणाऱ्या वस्तूचे डिस्प्लेसमेंट स्लाइडिंग कॉन्टॅक्ट किंवा वाइपरला दिले जाते आणि ते रेझिस्टिव्ह घटकावर सरकते.
- लिनिअर डिस्प्लेसमेंटमुळे रेसिस्टन्स बदलत असताना, सर्किटमधून करंट बदलतो आणि ओहम नियमानुसार (Ohm's law) व्होल्टेज देखील बदलतो.
- खाली दिलेल्या सूत्राचा वापर करून आउटपुट व्होल्टेज मिळवता येते:

$$V_{out} = V_{in} \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

- अशाप्रकारे, इलेक्ट्रिकल व्होल्टेजच्या स्वरूपात लिनिअर डिस्प्लेसमेंट मोजण्यासाठी लिनिअर पोटेंशियोमीटरचा वापर केला जाऊ शकतो.

b) अँग्युलर पोटेंशियोमीटर (Angular Potentiometer):

- रोटरी पोटेंशियोमीटरचा वापर अँग्युलर डिस्प्लेसमेंट मोजण्यासाठी केला जातो.
- खालील आकृती क्र. 4.4.1.2 अँग्युलर पोटेंशियोमीटरचे सर्किट आकृती दर्शवते.



आकृती क्र. 4.4.1.3: अँग्युलर पोटेंशियोमीटर (Angular Potentiometer)

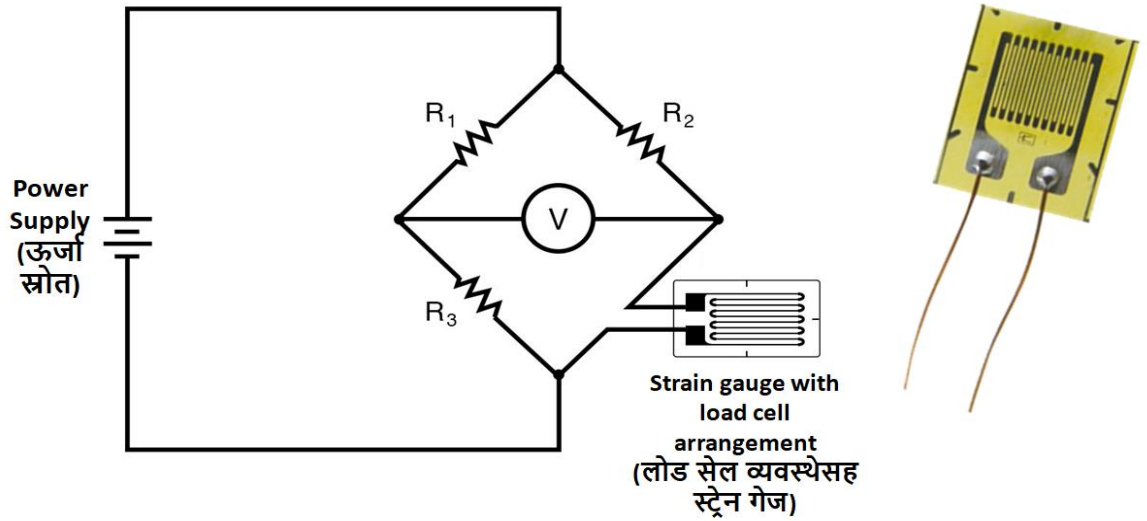
- अँग्युलर पोटेंशियोमीटर हे तीन टर्मिनल उपकरण आहे आणि आकृतीमध्ये दर्शविल्याप्रमाणे, टर्मिनल a आणि b स्थिर आहेत आणि टर्मिनल c व्हेरिअबल आहे ज्याला वायपर (स्लायडर) देखील म्हणतात.
- रोटरी पोटेंशियोमीटरच्या बाबतीत रेझिस्टिव्ह घटक गोलाकार (circular) असतात आणि ते एका सिलिंड्रिकल फॉर्मरवर (cylindrical former) गुंडाळलेला असतात.
- त्यात फॉस्फर ब्रॉझचा बनलेला वायपर (स्लायडर) असतो जो गोलाकार रेझिस्टिव्ह घटकावर सरकतो.
- अँग्युलर डिस्प्लेसमेंट वायपरवर लागू केले जाते जे व्हेरिअबल रेझिस्टन्सवर सरकते आणि आम्हाला संबंधित आउटपुट व्होल्टेज देते.

• **पोटेंशियोमीटरचा वापर (Applications):**

- लिनिअर आणि अँग्युलर डिस्प्लेसमेंट मोजण्यासाठी पोटेंशियोमीटर वापरले जातात.
- व्होल्टेज कंट्रोल आणि ऍडजस्ट करण्यासाठी पोटेंशियोमीटरचा वापर व्होल्टेज डिव्हायडर म्हणून केला जाऊ शकतो
- मोटर्सचा वेग नियंत्रित करण्यासाठी पोटेंशियोमीटरचा वापर इलेक्ट्रॉनिक ड्राइव्हमध्ये केला जाऊ शकतो.
- ट्यूनिंगच्या उद्देशाने वाद्ययंत्रांमध्ये पोटेंशियोमीटर देखील वापरले जातात.
- पोटेंशियोमीटर हे अमीटर, व्होल्टमीटर आणि वॅटमीटरच्या कॅलिब्रेशनसाठी देखील वापरले जातात

c) स्ट्रेन गेज (Strain Gauge), लोड सेल (Load Cell):

- स्ट्रेन गेज एक ट्रान्सड्यूसर आहे ज्याचा रेसिस्टन्स लागू फोर्सनुसार (force) बदलतो. ते फोर्स (force), प्रेशर (Pressure), तणाव (tension), वजन (weight) इ. चे इलेक्ट्रिकल रेसिस्टन्सच्या बदलामध्ये रूपांतरित करते जे नंतर मोजले जाऊ शकते.

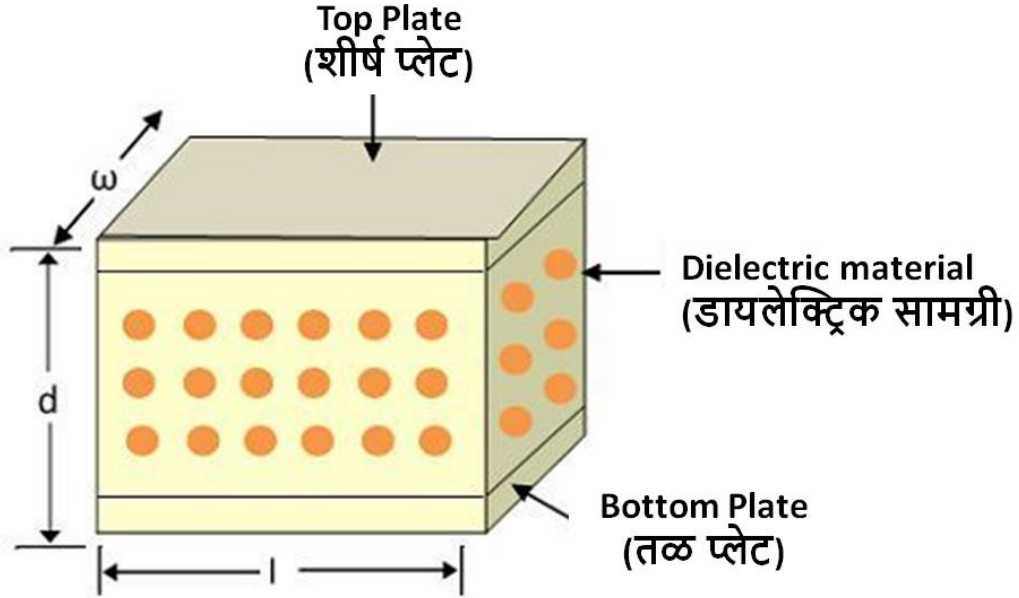


आकृती क्र. 4.4.1.4: स्ट्रेन गेज (Strain Gauge)

- स्ट्रेन गेज हे रेझिस्टिव्ह ट्रान्सड्यूसर आहे जे एखाद्या वस्तूवरील ताण मोजण्यासाठी वापरले जाते.
- जेव्हा एखाद्या वस्तूवर बाह्य शक्ती (external force) लागू केली जाते तेव्हा त्या वस्तूच्या आकारात विकृती (deformation) निर्माण होते.
- आकारातील ही विकृती (deformation) कॉम्प्रेसिव्ह (compressive) किंवा तन्यता (tensile) अशा दोन्ही प्रकारची असते याला स्ट्रेन (strain) म्हणतात आणि ते स्ट्रेन गेज (strain gauge) द्वारे मोजले जाते.
- विकृत रूप वाढवणे आणि ताणणे किंवा अरुंद करणे, लहान करणे आणि रुंद करणे असे असू शकते. त्याचा परिणाम म्हणून, रेसिस्टन्समध्ये बदल होतो.
- वर दर्शविलेल्या सर्किट आकृतीमध्ये, R1 आणि R3 हे एकमेकांच्या बरोबरीचे गुणोत्तर भुजा आहेत आणि R2 हे रिओस्टॅट आर्मचे मूल्य स्ट्रेन गेज रेझिस्टन्सच्या बरोबरीचे आहे.
- जेव्हा गेज अनियंत्रित (unstrained) असतो, तेव्हा ब्रिज संतुलित (balanced) असतो आणि व्होल्टमीटर शून्य व्हॉल्यू दाखवतो.
- स्ट्रेन गेजच्या रेसिस्टन्समध्ये बदल झाल्यामुळे, ब्रिज असंतुलित (unbalanced) होतो आणि व्होल्टमीटरवर व्हॉल्यू इंडिकेट केले जाते.

4.4.2 कॅपेसिटिव्ह ट्रान्सड्यूसर (Capacitive Transducer):

- कॅपेसिटिव्ह ट्रान्सड्यूसरचा वापर डिस्प्लेसमेंट, प्रेशर आणि इतर फिसिकल पॅरामीटर मोजण्यासाठी केला जातो.
- हे एक पॅसिव्ह ट्रान्सड्यूसर आहे याचा अर्थ ऑपरेशनसाठी बाह्य शक्ती (external power supply) आवश्यक आहे. कॅपेसिटिव्ह ट्रान्सड्यूसर व्हेरिएबल कॅपेसिटन्सच्या (variable capacitance) तत्वावर कार्य करतो.
- प्लेट्सचे ओव्हरलॅपिंग (overlapping of plates), प्लेट्समधील अंतर (change in distance between the plates) आणि डायलेक्ट्रिक कॉन्स्टंट (dielectric constant) अशा अनेक कारणांमुळे कॅपेसिटिव्ह ट्रान्सड्यूसरची कॅपेसिटन्स बदलते.
- खालील आकृतीत दाखवल्याप्रमाणे कॅपेसिटिव्ह ट्रान्सड्यूसरमध्ये दोन समांतर मेटल प्लेट्स (parallel metal plates) असतात. या प्लेट्स डायलेक्ट्रिक माध्यमाद्वारे (dielectric medium) विभक्त केल्या जातात जे एकतर हवा (air), सामग्री, वायू किंवा द्रव (liquid) असतात.



आकृती क्र. 4.4.2.1: कॅपेसिटिव्ह ट्रान्सड्यूसर
(Capacitive transducer)

- खालील समीकरणे कॅपेसिटरच्या प्लेट्समधील कॅपेसिटन्स एक्सप्रेस करतात:

$$C = \frac{\epsilon A}{d}$$

येथे,

A = प्लेट्सचे ओव्हरलॅपिंग क्षेत्र (overlapping area of plates in m²)

d = दोन प्लेट्समधील अंतर (distance between two plates in meter)

ϵ = माध्यमाची परमिटीविटी (permittivity of the medium in F/m)

C = प्लेट्समधील कॅपेसिटन्स (Capacitance between the plates in Farad)

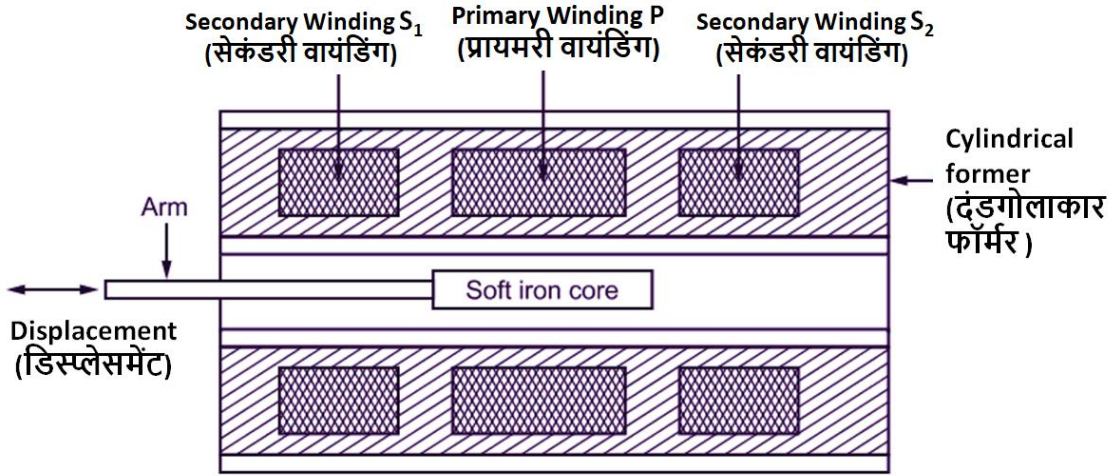
- डिस्प्लेसमेंट, फोर्स, प्रेशर इत्यादी भौतिक चलांमुळे कॅपेसिटन्समध्ये बदल होतो.
- ट्रान्सड्यूसरचा कॅपेसिटन्स त्याच्या डायलेक्ट्रिक कॉन्स्टंटच्या फरकाने देखील बदलते जे द्रव किंवा वायू पातळीच्या (liquid or gas level) मोजमापामुळे होते.
- कॅपेसिटिव्ह ट्रान्सड्यूसरचा वापर प्रामुख्याने लिनिअर डिस्प्लेसमेंट (linear displacement) मोजण्यासाठी केला जातो.

4.4.3 इंडक्टिव्ह ट्रान्सड्यूसर (Inductive Transducer):

इंडक्टिव्ह ट्रान्सड्यूसर या तत्वावर आधारित कार्य करतात की मोजलेल्या प्रमाणातील कोणताही महत्त्वपूर्ण बदल इंडक्टन्समध्ये बदल करतो. इंडक्टिव्ह ट्रान्सड्यूसरचा वापर लिनिअर आणि अँग्युलर डिस्प्लेसमेंट मोजण्यासाठी केला जातो. खालील त्याचे प्रकार आहेत:

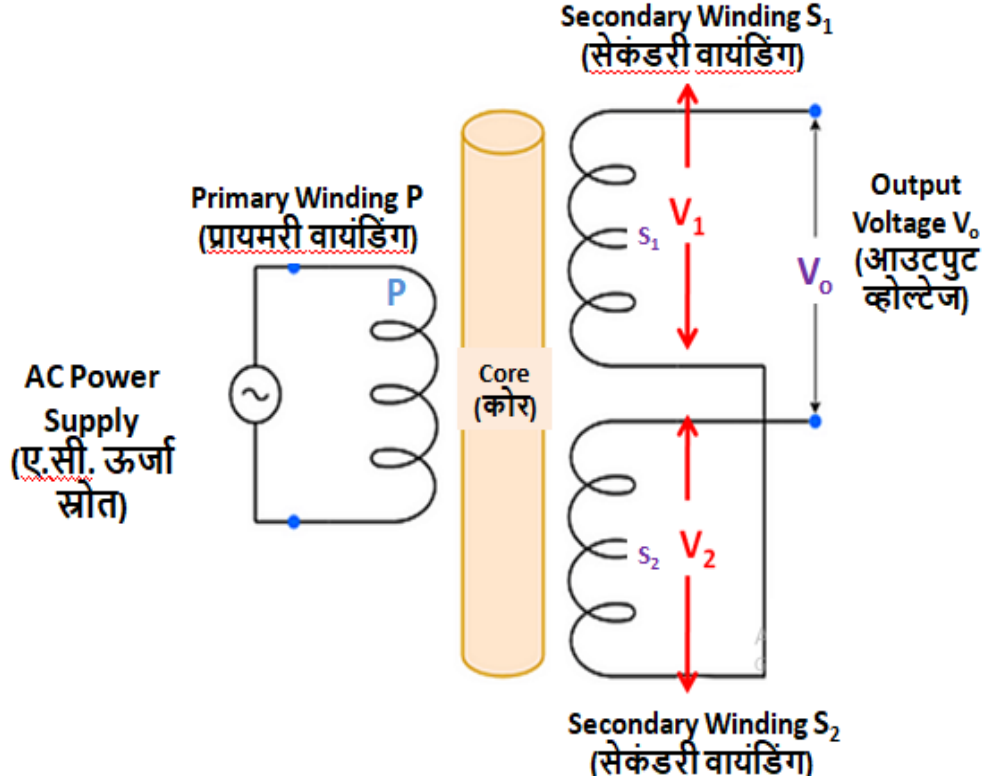
a) लिनिअर वेरिअबल डिफरेंशियल ट्रान्सड्यूसर - एल.वी.डी.टी. (LVDT):

- एल.वी.डी.टी. (LVDT) एक इंडक्टिव्ह ट्रान्सड्यूसर आहे जो लिनिअर डिस्प्लेसमेंटला इलेक्ट्रिकल सिग्नलमध्ये रूपांतरित करतो. हे एक पॅसिव्ह ट्रान्सड्यूसर आहे.
- **एल.वी.डी.टी. चे रचनात्मक आकृती (Construction of LVDT):**
- खालील आकृतीत दाखवल्याप्रमाणे LVDT मध्ये एक प्रायमरी वायंडिंग (Primary Winding P) आणि दोन सेकंडरी वायंडिंग (Secondary Winding) S_1 आणि S_2 चा समावेश असतो जो एका दंडगोलाकार फॉर्मरवर (Cylindrical former) गुंडाळलेले असते (जे पोकळ असते आणि त्यात कोर (core) असतो).



आकृती क्र. 4.4.3.1: एल.वी.डी.टी. चे रचनात्मक आकृती
(Construction of LVDT)

- दोन्ही सेकंडरी वायंडिंगमध्ये समान वळण (turns) असतात आणि त्यांना प्रायमरी वायंडिंगच्या दोन्ही बाजूला ठेवलेल्या असतात.
- प्रायमरी वायंडिंग ए.सी. (A.C.) स्त्रोताशी जोडलेले असते ज्यामुळे हवेच्या अंतरामध्ये (air gap) फ्लक्स (flux) निर्माण होतो आणि सेकंडरी वायंडिंगमध्ये व्होल्टेज प्रेरित होतात.
- एक जंगम मऊ आयर्न कोर (movable soft iron core) फॉर्मरच्या आत ठेवला जातो आणि मोजण्यासाठी डिस्प्लेसमेंट लोह कोरशी जोडलेले असते.
- दोन्ही सेकंडरी वायंडिंग अशा प्रकारे जोडलेल्या असतात की परिणामी आउटपुट व्होल्टेज दोन्ही वायंडिंग्सच्या व्होल्टेजमधील फरक असतो.
- **एल.वी.डी.टी. चे कार्य (Working of LVDT):**
- खालील आकृती मध्ये एल.वी.डी.टी. चे सर्किट दर्शविले आहे. एल.वी.डी.टी.चे कार्य 3 भागा मध्ये खालीलप्रमाणे स्पष्ट केले जाऊ शकते:



आकृती क्र. 4.4.3.2: एल.व्ही.डी.टी. चे सर्किट आकृती
(Circuit diagram of LVDT)

• **केस 1: जेव्हा कोर शून्य स्थितीत (Null position) असतो (डिस्प्लेसमेंट न करता):**

जेव्हा कोर कॉइलच्या मध्यभागी असतो तेव्हा दोन्ही सेकंडरी वायंडिंगना जोडलेला फ्लक्स (flux) समान असेल. समान फ्लक्स लिंकेजमुळे सेकंडरी प्रेरित व्होल्टेज (V_1 आणि V_2) समान आहेत परंतु त्यांच्यात विरुद्ध ध्रुवता (opposite polarity) आहेत. त्यामुळे आउटपुट व्होल्टेज V_0 शून्य असते. या स्थितीला "शून्य स्थिती" म्हणतात.

• **केस 2: जेव्हा कोर शून्य स्थितीच्या वरच्या दिशेने हलविला जातो:**

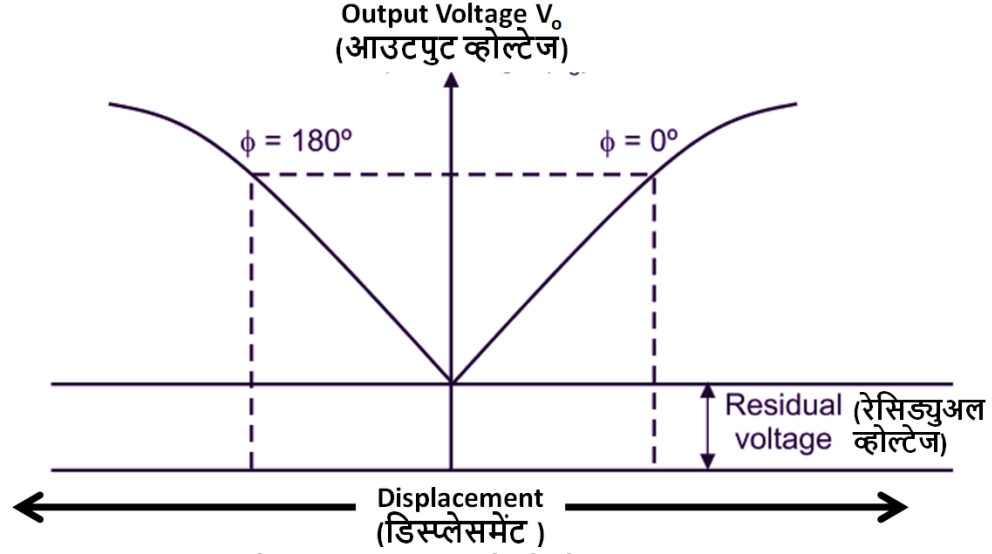
आता जर कोर त्याच्या शून्य स्थितीतून सेकंडरी S_1 कडे डिस्प्लेस झाला असेल तर सेकंडरी S_1 शी जोडलेला फ्लक्स (flux) वाढतो आणि S_2 शी जोडलेला फ्लक्स कमी होतो. त्यामुळे $V_1 > V_2$ आणि आउटपुट व्होल्टेज V_0 पॉसिटिव्ह (+ positive) असेल.

• **केस 3: जेव्हा कोर शून्य स्थितीच्या खाली हलविला जातो**

त्याचप्रमाणे जर कोर सेकंडरी S_2 कडे डिस्प्लेस असेल तर $V_2 > V_1$ आणि आउटपुट व्होल्टेज नेगेटिव्ह (- negative) असेल.

• **एल.व्ही.डी.टी. चे आलेख (Characteristics of LVDT)**

जसजसा कोर शून्य स्थितीतून एका दिशेने हलविला जातो, तसतसे डिस्प्लेस आउटपुट व्होल्टेज म्हणजेच दोन्ही सेकंडरी व्होल्टेजमधील फरक इनपुट स्त्रोतापासून व्होल्टेजशी इन-फेज संबंध राखताना वाढतो. शून्य स्थितीपासून दुसऱ्या दिशेने, डिस्प्लेस व्होल्टेज देखील वाढेल, परंतु स्त्रोताच्या व्होल्टेजसह फेजच्या 180° आऊट ऑफ फेज असेल.

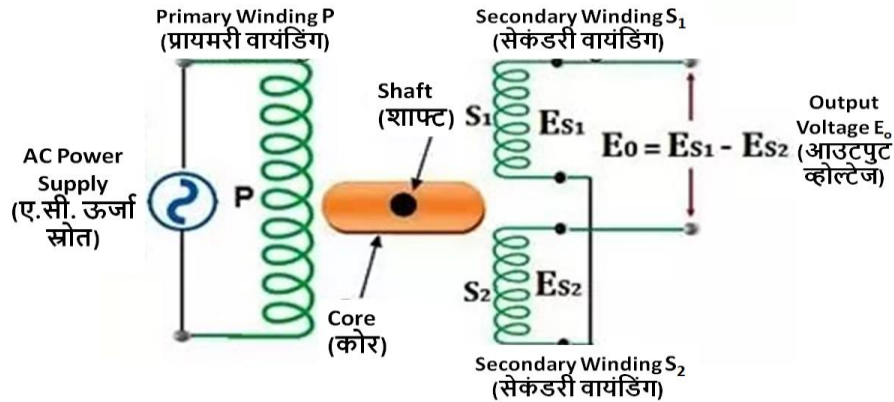


आकृती क्र. 4.4.3.3: एल.वी.डी.टी. चे आलेख

(Characteristics of LVDT)

b) रोटरी वेरिएबल डिफरेंशियल ट्रान्सड्यूसर - आर. वी.डी.टी. (RVDT):

- आर.वी.डी.टी. (RVDT) फुल फॉर्म म्हणजे रोटरी वेरिएबल डिफरेंशियल ट्रान्सड्यूसर. हा इलेक्ट्रो-मेकॅनिकल प्रकारचा इंडक्टिव्ह ट्रान्सड्यूसर आहे जो रोटरी डिस्प्लेसमेंट संबंधित इलेक्ट्रिकल सिग्नलमध्ये रूपांतरित करतो.
- **आर.वी.डी.टी. चे रचनात्मक आकृती (Construction of RVDT):**
- आर.वी.डी.टी. चे मूळ रचनात्मक आकृती खालील आकृतीत दाखवले आहे. आर.वी.डी.टी. मध्ये एक प्रायमरी वायंडिंग (Primary Winding P) आणि दोन सेकंडरी वायंडिंग (Secondary Winding) S_1 आणि S_2 असतात.



आकृती क्र. 4.4.3.4: आर.वी.डी.टी. चे रचनात्मक आकृती

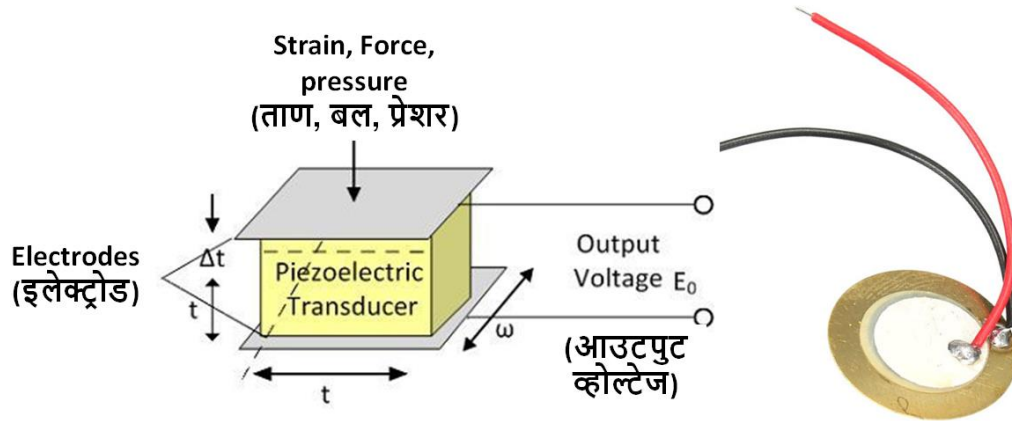
(Construction of RVDT)

- सेकंडरी वायंडिंगमध्ये प्रेरित ई.एम.एफ. (E.M.F.) हे रोटरी डिस्प्लेसमेंट मुळे तयार होते. दोन्ही सेकंडरी वायंडिंग एकमेकांना फेजच्या बाहेर 180° ई.एम.एफ. (E.M.F.) तयार करण्यासाठी अशा प्रकारे ठेवल्या जातात.
- **आर.वी.डी.टी. चे कार्य (Working of RVDT):**
- RVDT चे कार्य LVDT सारखेच आहे. शाफ्टच्या हालचालीनुसार, तीन भिन्न परिस्थिती तयार होतात.
- **केस 1:** जेव्हा शाफ्ट वरील आकृतीमध्ये दर्शविल्याप्रमाणे शून्य स्थितीत असतो, तेव्हा दोन्ही सेकंडरी वायंडिंगमध्ये प्रेरित ई.एम.एफ. (E.M.F.) समान परंतु विरुद्ध असतात. म्हणून, आउटपुट व्होल्टेज E_o शून्य असते.

- **केस 2:** जेव्हा शाफ्ट घड्याळाच्या (Clockwise) दिशेने फिरतो तेव्हा कोरचा अधिक भाग वायंडिंग S_1 वर येतो. म्हणून, कॉइल S_1 मध्ये प्रेरित ई.एम.एफ. (E.M.F.) S_2 पेक्षा जास्त असेल आणि आउटपुट व्होल्टेज E_0 पॉसिटिव्ह (+ positive) असेल.
- **केस 3:** जेव्हा शाफ्ट घड्याळाच्या विरुद्ध (anticlockwise) दिशेने फिरतो, तेव्हा कोरचा अधिक भाग वायंडिंग S_2 वर येतो. म्हणून, कॉइल S_2 मध्ये प्रेरित ई.एम.एफ. (E.M.F.) S_1 च्या तुलनेत अधिक असेल आणि आउटपुट व्होल्टेज नेगेटिव्ह (- negative) असेल.

4.5 पिझोइलेक्ट्रिक ट्रान्सड्यूसरचे (Piezoelectric Transducer) कार्य, वर्गीकरण, उदाहरणे

- पिझोइलेक्ट्रिक ट्रान्सड्यूसर (पिझोइलेक्ट्रिक सेन्सर म्हणूनही ओळखले जाते) हे एक असे उपकरण आहे जे प्रवेग (acceleration), प्रेशर (pressure), ताण (strain), तापमान (temperature) किंवा शक्ती (force) इलेक्ट्रिक व्होल्टेजमध्ये रूपांतरित करण्यासाठी पायझोइलेक्ट्रिक प्रभाव वापरते.
- पिझोइलेक्ट्रिक इफेक्ट या ट्रान्सड्यूसरना जेव्हा यांत्रिक ताण (strain) लागू होतो तेव्हा व्होल्टेज निर्माण करण्यास अनुमती देतो, ज्याचा वापर नंतर तो ताण मोजण्यासाठी केला जातो.
- पिझोइलेक्ट्रिक मटेरियल एक प्रकारचे ट्रान्सड्यूसर आहे.



आकृती क्र. 4.4.5.1: पिझोइलेक्ट्रिक ट्रान्सड्यूसर (Piezoelectric Transducer)

- जेव्हा आपण ही पिझोइलेक्ट्रिक सामग्री पिळून (squeeze) काढतो किंवा कोणतेही बल (force) किंवा प्रेशर (pressure) लावतो तेव्हा ट्रान्सड्यूसर या ऊर्जेचे व्होल्टेजमध्ये रूपांतर करतो.
- पिझोइलेक्ट्रिक ट्रान्सड्यूसरद्वारे उत्पादित इलेक्ट्रिक व्होल्टेज, कोणतेही व्होल्टेज मापन यंत्राद्वारे सहजपणे मोजले जाऊ शकते.
- हे व्होल्टेज त्यावर लागू केलेल्या बलाचे किंवा दाबाचे कार्य असल्याने, व्होल्टेज रीडिंगद्वारे बल/प्रेशर काय होता हे आपण अनुमान काढू शकतो. अशा प्रकारे, पिझोइलेक्ट्रिक ट्रान्सड्यूसर वापरून यांत्रिक बल (force) किंवा प्रेशर (pressure) यासारखे भौतिक प्रमाण (physical parameter) थेट मोजले जाऊ शकते.
- **पिझोइलेक्ट्रिक सामग्रीची नावे (Examples of Piezoelectric materials):**
 1. बेरियम टायनेट (Barium Titanate)
 2. रोशेल सॉल्ट (Rochelle salts)
 3. क्वार्ट्ज क्रिस्टल (Quartz crystal)
 4. टोपाझ (Topaz)
- **पिझोइलेक्ट्रिक ट्रान्सड्यूसरचे अनुप्रयोग (Applications of Piezoelectric transducers):**
 - मायक्रोफोनमध्ये, ध्वनी प्रेशर इलेक्ट्रिक सिग्नलमध्ये रूपांतरित केला जातो आणि हा सिग्नल शेवटी मोठा आवाज निर्माण करण्यासाठी वाढविला जातो.

- स्वयंपाकघरात वापरल्या जाणाऱ्या इलेक्ट्रिक लाइटमध्ये याचा वापर केला जातो. पायझोइलेक्ट्रिक सेन्सरवर तयार केलेला प्रेशर इलेक्ट्रिक सिग्नल तयार करतो ज्यामुळे शेवटी फ्लॅश पेटतो.
- हे अल्ट्रासोनिक मीटरमध्ये वापरले जाते.
- हे रेस्टॉरंट्स किंवा विमानतळांमध्ये देखील वापरले जाते जिथे एखादी व्यक्ती दरवाजाजवळ जाते आणि दरवाजा आपोआप उघडतो.

4.6 प्रेशर (Pressure) मापन:

4.6.1: प्रेशर आणि त्याची एकके (Pressure and its units):

- व्याख्या (Definition): प्रेशर (Pressure) सामान्यतः एखाद्या विशिष्ट क्षेत्रावर (area) लागू केलेल्या शक्तीचे (Force) प्रमाण म्हणून परिभाषित केले जाते. प्रेशर दबाव खालील सूत्राद्वारे व्यक्त केला जातो:

$$P = \frac{F}{A}$$

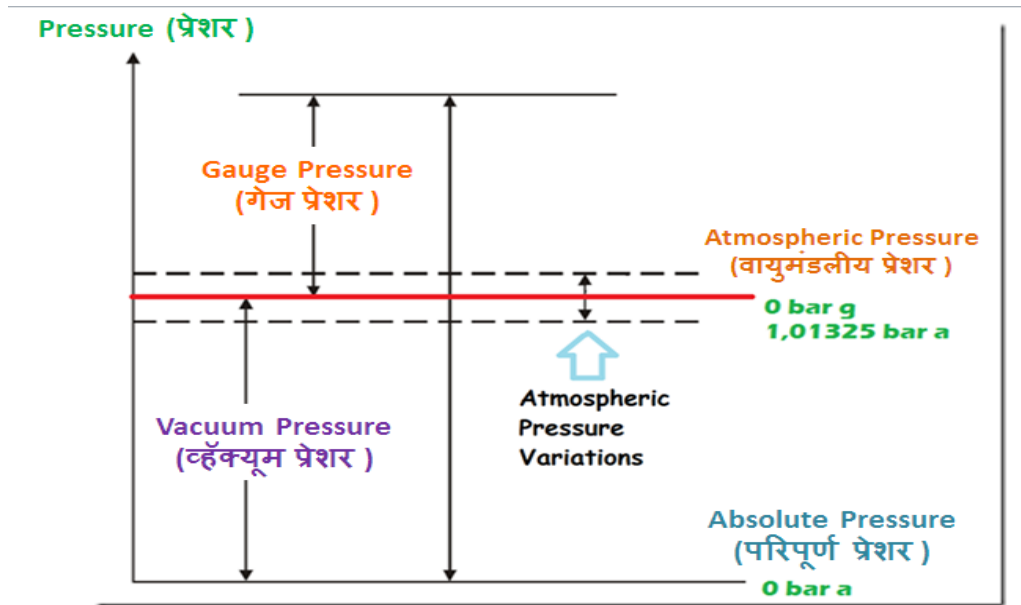
येथे F = परपेंडीक्युलर फोर्स (Force perpendicular to the surface)

A = पृष्ठभागाचे क्षेत्रफळ (Area of surface)

- खालील दाबाची एकके (units) आहेत
 1. पास्कल (Pa किंवा N/m²)-N म्हणजे न्यूटन जे दाबाचे SI एकक आहे
 2. पी.एस.आय - पाउंड प्रति चौरस इंच (Pounds per square inch PSI)
 3. बार (Bar)
 4. टॉर (Torr)

4.6.2 प्रेशरचे प्रकार (Types of Pressure):

मुळात दबावाचे चार प्रकार आहेत: – परिपूर्ण (Absolute), गेज (Gauge), वायुमंडलीय (Atmospheric), व्हॅक्यूम (Vacuum).



आकृती क्र. 4.6.2.1: प्रेशरचे प्रकार
(Types of Pressure)

a) परिपूर्ण प्रेशर (Absolute Pressure): परिपूर्ण प्रेशर (Absolute pressure) म्हणजे व्हॅक्युम (vacuum) ला संदर्भ/ रेफरेंस (reference) घेऊन मोजला जाणारा प्रेशर. परिपूर्ण प्रेशर (Absolute pressure) सूत्र खालीलप्रमाणे आहे:

$$P_{\text{absolute}} = P_{\text{atm}} + P_{\text{gauge}}$$

b) गेज प्रेशर (Gauge Pressure): गेज प्रेशर (gauge pressure) संदर्भ म्हणून वायुमंडलीय प्रेशरने मोजले जाणारे प्रेशर म्हणून परिभाषित केले जाते. गेज प्रेशर म्हणजे परिपूर्ण प्रेशर (Absolute pressure) आणि वायुमंडलीय प्रेशर (Atmospheric Pressure) यांच्यातील फरक.

$$P_{\text{gauge}} = P_{\text{absolute}} - P_{\text{atm}}$$

c) वायुमंडलीय प्रेशर (Atmospheric Pressure): वायुमंडलीय प्रेशर (Atmospheric pressure) म्हणजे पृथ्वीच्या सभोवतालच्या हवेद्वारे दबाव म्हणून परिभाषित केले जाते.

$$P_{\text{atm}} = P_{\text{absolute}} - P_{\text{gauge}}$$

d) व्हॅक्यूम प्रेशर (Vacuum pressure): व्हॅक्यूम हा फक्त एक प्रेशर आहे जो आसपासच्या वातावरणाच्या दाबापेक्षा कमी असतो.

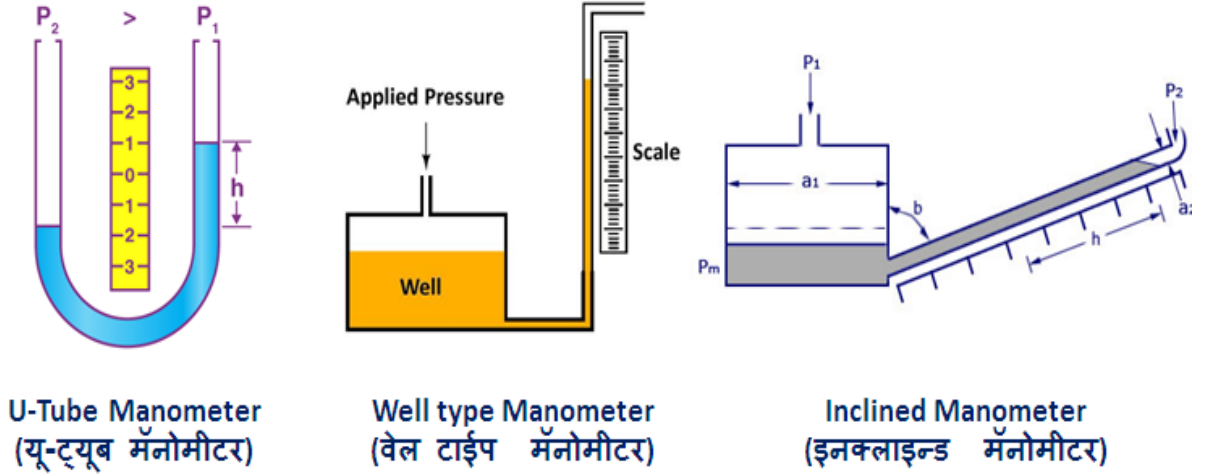
4.7 प्रेशर (Pressure) मोजण्याच्या उपकरणांचे वर्गीकरण (Classification of Pressure measuring devices):

प्रेशर (Pressure) मोजण्याचे साधन तीन मूलभूत प्रकारांमध्ये विभागले जाऊ शकते:

- 1) मॅनोमीटर (Manometer)
 - 2) इलेस्टिक प्रेशर ट्रान्सड्यूसर (Elastic pressure transducer)
 - 3) इलेक्ट्रिकल प्रेशर ट्रान्सड्यूसर (Electrical Pressure transducers)
- हे प्रकार खालीलप्रमाणे स्पष्ट केले जाऊ शकतात:

4.7.1 मॅनोमीटर (Manometer):

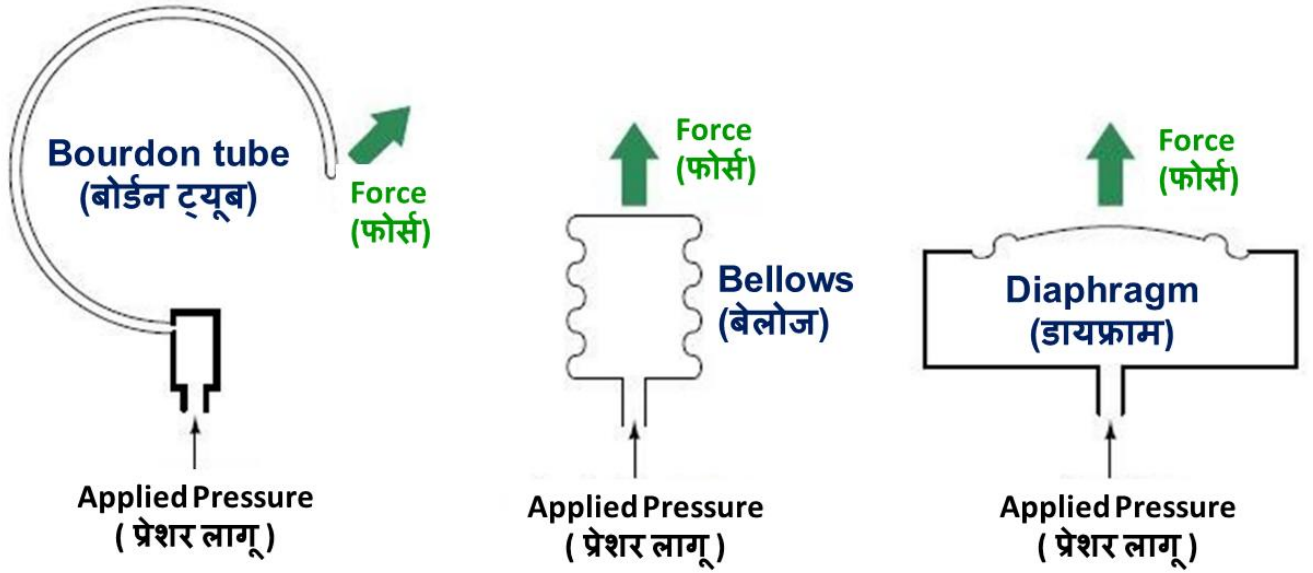
- मॅनोमीटर हे द्रवाच्या स्तंभाच्या वजनाशी प्रेशर संतुलित करून प्रेशर मोजण्याचे सर्वात सोपे साधन आहे. सर्व मॅनोमीटरची क्रिया एका खोलीवर द्रवपदार्थाद्वारे दबावाच्या प्रभावावर अवलंबून असते.
- मॅनोमीटरचे कार्य तत्त्व असे आहे की प्रेशर स्रोत मोजण्यासाठी एक टोक सील-टाइट गॅसशी जोडलेले आहे. तर, त्याचे दुसरे टोक पृथ्वीच्या वायुमंडलीय दाबासाठी मोकळे सोडले जाते.
- जर त्यात उपस्थित प्रेशर 1 atm पेक्षा जास्त असेल तर स्तंभातील द्रव त्या दाबाने खाली आणला जाईल. तथापि, यामुळे सध्याच्या स्तंभात समान प्रमाणात वाढ होईल.
- खालीलप्रमाणे मॅनोमीटरचे विविध प्रकार आहेत:
 - a) U-Tube Manometer (यू-ट्यूब मॅनोमीटर)
 - b) Well type Manometer (वेल टाईप मॅनोमीटर)
 - c) Inclined Manometer (इनक्लाइंड मॅनोमीटर)



आकृती क्र. 4.7.1.1: मॅनोमीटरचे प्रकार
(Types of Manometers)

4.7.2 इलॅस्टिक प्रेशर ट्रान्सड्यूसर (Elastic pressure transducer):

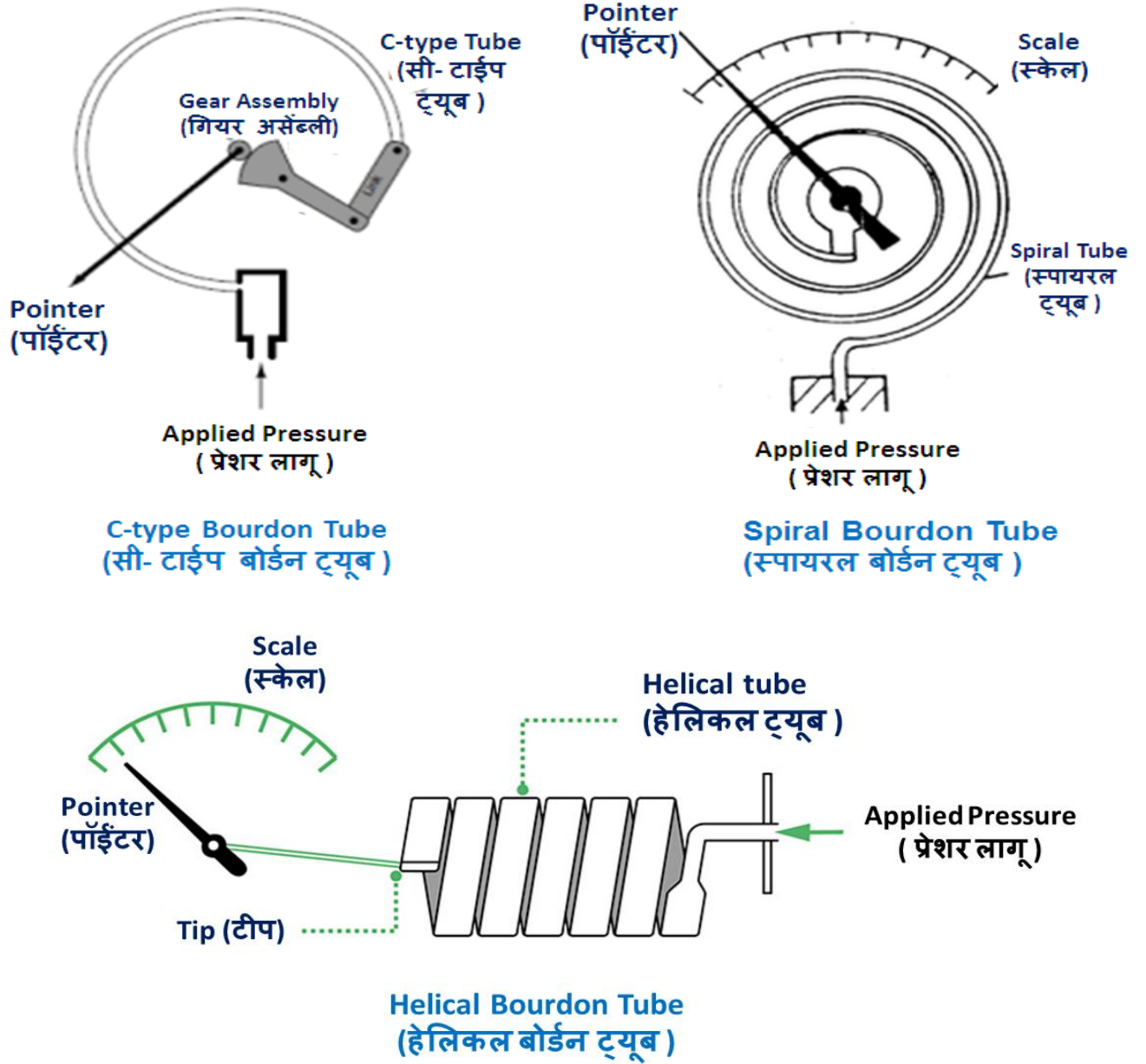
- इलॅस्टिक प्रेशर ट्रान्सड्यूसर (Elastic pressure transducer) लवचिक (इलॅस्टिक – elastic) प्राथमरी (primary transducer) संवेदन घटक जसे की बॉर्डन ट्यूब (Bourdon tube), बेलोज (Bellows), डायफ्राम (Diaphragm) इ. वापरतात.
- इलॅस्टिक प्रेशर ट्रान्सड्यूसर (Elastic pressure transducer) प्रेशरचे यांत्रिक विस्थापनात रूपांतर करतात जे नंतर सेकंडरी ट्रान्सड्यूसर (secondary transducer) वापरून इलेक्ट्रिकल प्रमाणामध्ये रूपांतरित केले जातात.
- दबाव लागू केल्यावर हे ट्रान्सड्यूसर तात्पुरते विकृत (deform) होतात जे प्रेशरचे मूल्य दर्शवतात आणि एकदा प्रेशर काढून टाकल्यानंतर ते त्यांचे मूळ आकार घेतात.
- इलॅस्टिक प्रेशर ट्रान्सड्यूसर खालील तीन प्रकारचे असतात:
 - 1) बॉर्डन ट्यूब (Bourdon tube)
 - 2) बेलोज (Bellows)
 - 3) डायफ्राम (Diaphragm)



आकृती क्र. 4.7.2.1: इलॅस्टिक प्रेशर ट्रान्सड्यूसरचे प्रकार
(Types of Elastic pressure transducers)

1) बॉर्डन ट्यूब (Bourdon tube):

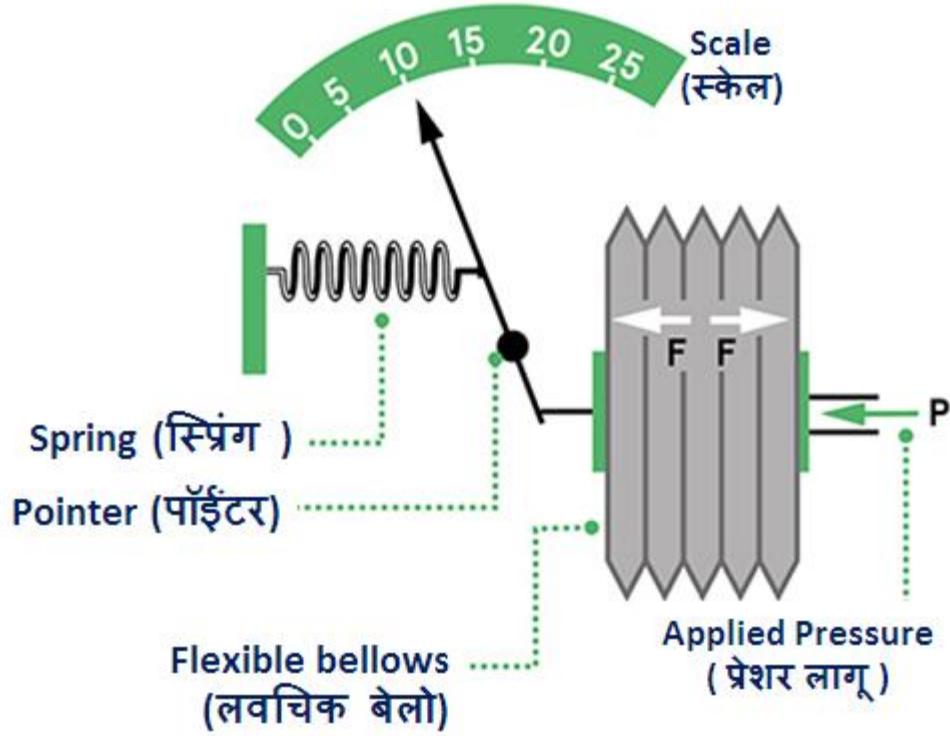
- बॉर्डन ट्यूब एका साध्या तत्वावर कार्य करते की वाकलेली ट्यूब (tube) जेव्हा अंतर्गत (internal) आणि बाह्य (external) दाबांच्या भिन्नतेच्या संपर्कात येते तेव्हा त्याचा आकार बदलतो.
- अंतर्गत प्रेशर लागू केल्यामुळे, ट्यूब सरळ होते आणि प्रेशर सोडल्यावर मूळ स्वरूपात परत येते.
- अंतर्गत प्रेशर बदलासह ट्यूबची टीप (tip) हलते आणि पॉइंटरसह (pointer) स्केलवर (scale) सहजपणे रूपांतरित होते.
- खालील आकृतीत दाखवल्याप्रमाणे बॉर्डन ट्यूबचे तीन प्रकार आहेत:
 - a) सी- टाईप बॉर्डन ट्यूब (C-type Bourdon Tube)
 - b) स्पायरल बॉर्डन ट्यूब (Spiral Bourdon Tube)
 - c) हेलिकल बॉर्डन ट्यूब (Helical Bourdon Tube)



आकृती क्र. 4.7.2.2: बोर्डन ट्यूबचे प्रकार (Types of Bourdon Tubes)

2) बेलोज (Bellows):

- बेलोज प्रेशर गेजमध्ये (Bellow pressure gauge) लवचिक (elastic) धातूची बेलो असते जी दाबातील बदलांच्या प्रतिसादात विस्तारते (expand) किंवा आकुंचन (Contract) पावते.
- बेलो टाईप गेजचा वापर परिपूर्ण प्रेशर (Absolute pressure) (सामान्य तसेच कमी प्रेशर) मोजण्यासाठी केला जातो.

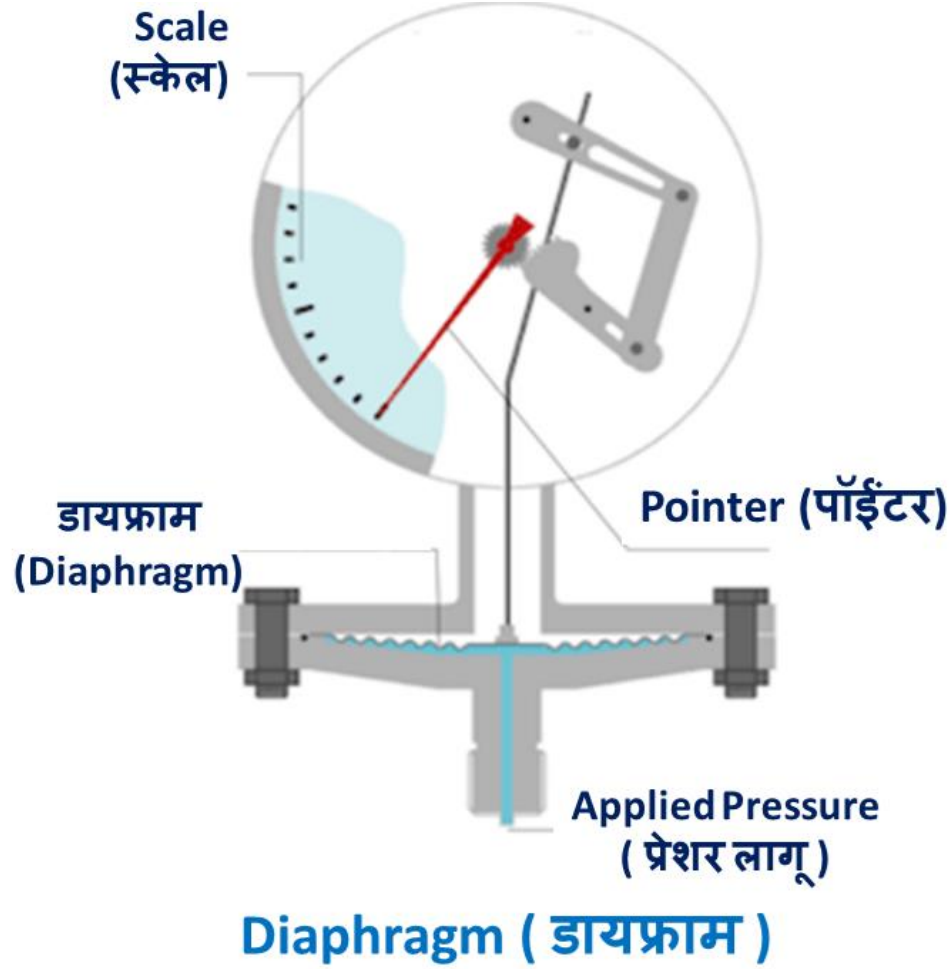


आकृती क्र. 4.7.2.3: बेलोज
(Bellows)

- बॉर्डन ट्यूबपेक्षा बेलो अधिक संवेदनशील असतात.
- बेलो हे मिश्रधातूपासून (alloy) बनलेले असते जे अत्यंत लवचिक असते, उच्च शक्ती असते आणि दीर्घकाळापर्यंत त्याचा गुणधर्म टिकवून ठेवते.

3) डायफ्राम (Diaphragm):

- डायफ्राम प्रेशर गेज सिस्टीममधील द्रव प्रेशर मोजण्यासाठी पातळ, लवचिक पडद्याच्या विक्षेपणाचा वापर करते.
- डायफ्राम माध्यमातील अंतर्गत घटक वेगळे करतो, ज्यामुळे हा गेज संक्षारक किंवा दूषित द्रव किंवा वायूसाठी योग्य बनतो.
- हा गेज कमी-प्रेशर मोजण्यासाठी वापरला जातो, जसे की वायुमंडलीय प्रेशर मोजणे किंवा गॅस कॅनिस्टरमधील दबाव निरीक्षण करणे. त्यांना फ्लेक्सिबल मेम्ब्रेन प्रेशर गेज (flexible membrane pressure gauge) म्हणून देखील संबोधले जाते.
- डायफ्राम प्रेशर मापक हा पितळ (brass) किंवा कांस्य (bronze) बनलेला पातळ आणि लवचिक (flexible) पडदा (membrane) आहे.



Diaphragm (डायफ्राम)

आकृती क्र. 4.7.2.3: डायफ्राम
(Diaphragm)

- डायफ्रामची हालचाल सूचक किंवा रेकॉर्डरच्या ऑपरेशनचे नियमन करते. विविध दिशानिर्देशांमध्ये कार्य करण्याच्या बहुमुखीपणामुळे आणि त्याच्या पोर्टेबिलिटीमुळे, या प्रकारचे गेज विमानासारख्या मोबाइल मशीनरीमध्ये स्थापनेसाठी किंवा वापरण्यासाठी अपवादात्मकपणे योग्य आहे.

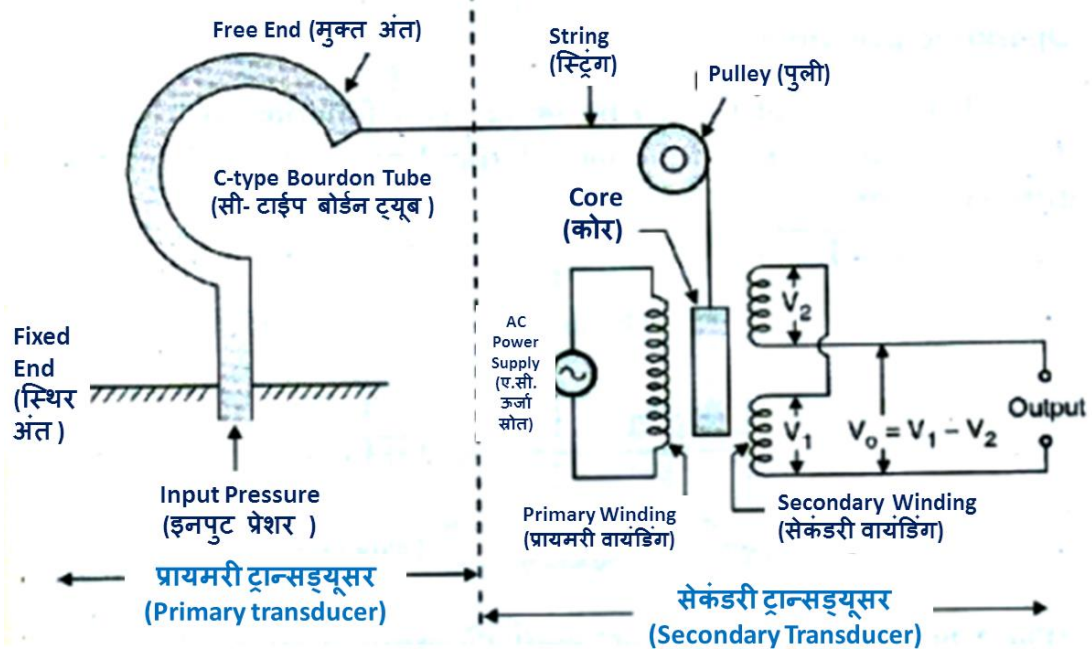
4.7.3 इलेक्ट्रिकल प्रेशर ट्रान्सड्यूसर (Electrical Pressure transducers):

- इलेक्ट्रिकल प्रेशर ट्रान्सड्यूसर, ज्याला प्रेशर सेन्सर किंवा प्रेशर ट्रान्समीटर म्हणूनही ओळखले जाते, हे प्रेशर मोजण्यासाठी आणि इलेक्ट्रिकल सिग्नलमध्ये रूपांतरित करण्यासाठी वापरले जाणारे एक उपकरण आहे.
- हे विविध औद्योगिक (industrial), ऑटोमोटिव्ह (automotive), एरोस्पेस (aerospace) आणि वैद्यकीय (medical) अनुप्रयोगांमध्ये (applications) एक महत्त्वपूर्ण घटक आहे जेथे अचूक प्रेशर मापन आवश्यक आहे.
- इलेक्ट्रिकल प्रेशर ट्रान्सड्यूसरमध्ये मुळात प्राथमरी ट्रान्सड्यूसरचा (primary transducer) समावेश होतो जो दबाव दुसऱ्या भौतिक प्रमाणात जसे की डिस्प्लेसमेंट, ताण इ. मध्ये रूपांतरित करतो आणि नंतर सेकंडरी ट्रान्सड्यूसर (secondary transducer) या भौतिक प्रमाणात इलेक्ट्रिक व्होल्टेजमध्ये रूपांतरित करतो.
- त्यामुळे मुळात दाबापासून व्होल्टेजमध्ये रूपांतरण दोन टप्प्यात होते.
- इलेक्ट्रिकल प्रेशर ट्रान्सड्यूसरचे विविध प्रकार आहेत जसे की:
 - 1) एल.व्ही.डी.टी (LVDT) सह बॉर्डन ट्यूब (Bourdon tube with LVDT)

- 2) एल.व्ही.डी.टी (LVDT) सह बेलो (Bellow with LVDT)
 - 3) डायाफ्राम स्ट्रेन गेजसह (Diaphragm with Strain gauge)
- यापैकी एक प्रकार पुढील विषयात तपशीलवार स्पष्ट केला आहे.

4.8 प्रेशर (Pressure) मोजण्याची पद्धत – सेकंडरी ट्रान्सड्यूसर (Secondary Transducer) म्हणून बॉर्डन ट्यूब (Bourdon Tube) सह एल.वी.डी.टी. (LVDT):

- बॉर्डन ट्यूब (Bourdon Tube) आणि एल.व्ही.डी.टी (LVDT) वापरून प्रेशर मापन खालील आकृतीमध्ये दाखवले आहे.
- यामध्ये, बॉर्डन ट्यूब प्राथमरी ट्रान्सड्यूसर (Primary transducer) म्हणून काम करते आणि एल.व्ही.डी.टी, जे बॉर्डन ट्यूब च्या आउटपुटला इनपुट म्हणून घेते, ते सेकंडरी ट्रान्सड्यूसर (Secondary Transducer) म्हणून कार्य करते.
- बॉर्डन ट्यूब प्रेशर ओळखते आणि त्याचे डिस्प्लेसमेंट मध्ये रूपांतर करते.



आकृती क्र. 4.8.1 सेकंडरी ट्रान्सड्यूसर म्हणून बॉर्डन ट्यूब सह एल.वी.डी.टी.
(Bourdon tube with LVDT as secondary transducer)

- बॉर्डन ट्यूबचा फ्री एंड (free end) हे डिस्प्लेसमेंट दर्शवितो. आकृतीत दाखवल्याप्रमाणे बॉर्डन ट्यूबच्या फ्री एंडला एल.व्ही.डी.टी च्या कोरशी (core) जोडण्यासाठी कॉर्डचा (cord) वापर केला जातो.
- जेव्हा फ्री एंड डिस्प्लेसमेंट दर्शवितो, तेव्हा LVDT चा कोर देखील हलतो. कोरची ही हालचाल फ्री एंडच्या डिस्प्लेसमेंटच्या प्रमाणात असते, जी लागू केलेल्या दाबाच्या प्रमाणात असते.
- एल.व्ही.डी.टी (LVDT) एनालॉग आउटपुट (analog output) देते जे संबंधित ई.एम.एफ. (E.M.F.) मध्ये डिस्प्लेसमेंटचे रूपांतर आहे. हे सेटअप प्रेशर मोजण्यासाठी वापरले जाते जे एल.व्ही.डी.टी (LVDT) द्वारे इलेक्ट्रिकल सिग्नलमध्ये (electrical signal) रूपांतरित होते.

स्व-अध्ययन (Exercise):

- 1) इन्स्ट्रुमेंटेशन सिस्टमची (Instrumentation system) ब्लॉक आकृती (block diagram) काढा आणि प्रत्येक ब्लॉकचे कार्य (function) स्पष्ट (explain) करा.
- 2) ट्रान्सड्यूसरचे तपशीलवार वर्गीकरण (classification) करा.
- 3) सर्किट डायग्रामसह (circuit diagram) एल.व्ही.डी.टी. (LVDT) ची रचना (construction) आणि कार्य (working) स्पष्ट करा.
- 4) प्झोइलेक्ट्रिक प्रभाव (piezoelectric effect) म्हणजे काय? दोन प्झोइलेक्ट्रिक सामग्रीची नावे द्या.
- 5) व्याख्या (Define) करा: i) संपूर्ण प्रेशर (Absolute pressure) ii) वायुमंडलचा प्रेशर (Atmospheric pressure).
- 6) प्रेशर मापन यंत्रांचे (Pressure measuring instruments) वर्गीकरण (classification) करा.
- 7) एल.व्ही.डी.टी. (LVDT) सह बॉर्डन ट्यूबद्वारे (Bourdon tube) प्रेशर मोजण्याची पद्धत आकृतीसह स्पष्ट (explain) करा.

संदर्भग्रंथ (Bibliography) :

- 1) Electrical and Electronic Measurement and Instrumentation by A.K.Sawhney.
- 2) Electronics and Electrical Measurements and Instrumentation by J.B.Gupta.
- 3) Electrical and Electronic Measurement and Instrumentation by R.K.Rajput
- 4) Principles of Industrial Instrumentation by Patranabis D.

माहिती संकेतस्थळ (Information Websites):

- 1) <https://circuitglobe.com/types-of-transducer.html>
- 2) <https://www.electrical4u.com/linear-variable-differential-transformer/>
- 3) <https://www.elprocus.com/pressure-transducer-working-and-its-applications/>
- 4) <https://www.electrical4u.com/piezoelectric-transducer/>

युनिट-5

फ्लो, लेव्हल आणि टेम्परेचर मापन. (Flow, Level and Temperature Measurement)

विषय निष्पत्ती (Course Outcome):

दिलेल्या ऍप्लिकेशनमध्ये आवश्यक फ्लो, लेव्हल आणि टेम्परेचर राखण्यासाठी योग्य ट्रान्सड्यूसर वापरा. (Use appropriate transducer for maintaining required flow, level and temperature in given application.)

थिअरी लर्निंगसह मॅप केलेली शिक्षण सामग्री परिणाम (TLOs) आणि Cos (Learning content mapped with Theory Learning Outcomes (TLO's) and (CO's)):

TLO 5.1 Classify flow transducer.

(फ्लो ट्रान्सड्यूसरचे वर्गीकरण करा.)

TLO 5.2 Describe the working of given electrical flow meter with neat sketch.

(दिलेल्या इलेक्ट्रिकल फ्लो मीटरच्या कार्याचे स्पष्ट स्केचसह वर्णन करा.)

TLO 5.3 Classify level transducer.

(ट्रान्सड्यूसर चे वर्गीकरण.)

TLO 5.4 Describe the working of given level transducer with neat sketch.

(दिलेल्या लेव्हल ट्रान्सड्यूसरच्या कार्याचे स्पष्ट स्केचसह वर्णन करा.)

TLO 5.5 Classify temperature transducer.

(तापमान ट्रान्सड्यूसरचे वर्गीकरण करा.)

TLO 5.6 Describe the working of given temperature transducer with neat sketch.

(दिलेल्या टेम्परेचर ट्रान्सड्यूसरच्या कामाचे स्पष्ट स्केचसह वर्णन करा.)

परिचय (Introduction): औद्योगिक प्रक्रियांमध्ये (industrial processes) फ्लो (Flow), लेव्हल (Level) आणि टेम्परेचर (Temperature) मोजण्याची गरज खूप महत्वाची आहे. हे पॅरामीटर्स प्रक्रिया कार्यक्षमता, उत्पादन गुणवत्ता आणि सुरक्षिततेचे महत्त्वपूर्ण निर्देशक म्हणून काम करतात. फ्लो (Flow) मापन द्रव (fluids) आणि वायूंचे (gases) योग्य वितरण सुनिश्चित करते, संसाधनांचा वापर अनुकूल करते आणि कचरा कमी करते. अचूक लेव्हलचे (Level) निरीक्षण ओव्हरफ्लो (overflow) किंवा कमतरता (shortage) टाळते, उपकरणाच्या अखंडतेचे रक्षण करते आणि पर्यावरणीय धोके रोखते. रासायनिक अभिक्रिया (chemical reactions) नियंत्रित करण्यासाठी, उत्पादनाची सातत्य राखण्यासाठी आणि कर्मचारी आणि उपकरणांची सुरक्षा सुनिश्चित करण्यासाठी टेम्परेचर (Temperature) मोजमाप महत्त्वपूर्ण आहे. थोडक्यात, फ्लो (Flow), लेव्हल (Level) आणि टेम्परेचर (Temperature) मोजमाप ऑपरेशनल उत्कृष्टता राखण्यासाठी आणि विविध औद्योगिक अनुप्रयोगांमध्ये इच्छित परिणाम साध्य करण्यासाठी अपरिहार्य आहे.

5.1 फ्लो मापन (Flow measurement) - फ्लो आणि त्याची एकके (units), फ्लो ट्रान्सड्यूसरचे वर्गीकरण - व्हेरिएबल हेड फ्लो मीटर (Variable head flow meter), व्हेरिएबल एरिया फ्लो मीटर (Variable area flow meter).

5.1.1 फ्लो आणि त्याची एकके (units):

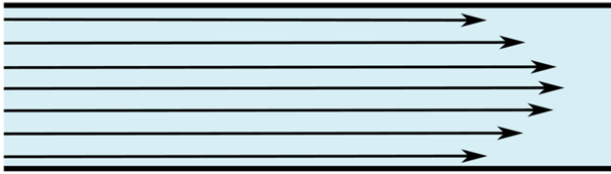
- फ्लो (flow) दर म्हणजे वेळेच्या एककामधून जाणारे द्रवपदार्थाचे प्रमाण. हे द्रवपदार्थ एकतर द्रव (liquid), वायू (gas), दाणेदार घन (granular solids) किंवा त्यांचे संयोजन (combination) असू शकतात.

- फ्लो (flow) ची एकके (units):
- गॅस आणि स्टीम फ्लो युनिट:
 - a) टोटल क्युबिक मीटर प्रती तास (actual cubic meter per hour acm/h)
 - b) किलो स्टॅंडर्ड क्युबिक मीटर प्रती तास (kilo standard cubic meter per hour kscm/h)
- लिक्विड फ्लो एकक (unit): लिटर प्रति सेकंद (Litres per second l/s)

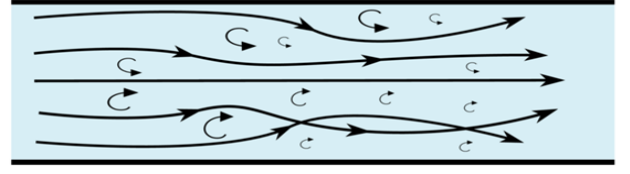
5.1.2 फ्लोचे प्रकार (Types of Flow):

- मुळात फ्लोचे दोन प्रकार आहेत: लॅमिनार फ्लो (Laminar flow) आणि टरबूलेन्ट फ्लो (Turbulent flow).

1) लॅमिनार फ्लो (Laminar Flow): ज्या प्रवाहात द्रव सुरळीतपणे वाहतो अशा प्रकारे द्रवपदार्थाचे थर (streamlines) एकमेकांना समांतर (parallel) असतात आणि कोणत्याही प्रवाहात एकमेकांना छेदत (intersect) नाहीत त्याला लॅमिनार फ्लो म्हणतात. याचा अर्थ असा की द्रवपदार्थ थरांमध्ये वाहतो ज्यामध्ये मध्यभागी सर्वात वेगवान थर असतो आणि बाहेरील कडांवर सर्वात हळू हलणारा थर असतो.



Laminar Flow
(लॅमिनार फ्लो)



Turbulent Flow
(टरबूलेन्ट फ्लो)

आकृती क्र. 5.1.2.1: लॅमिनार फ्लो आणि टरबूलेन्ट फ्लो (Laminar flow and Turbulent flow)

२) टरबूलेन्ट फ्लो (Turbulent Flow): ज्या फ्लो मध्ये द्रव एकसमान थर नसताना अनियमित रीतीने (irregular manner) वाहतो आणि वेगात अनियमितपणे चढ-उतार होतो त्याला टरबूलेन्ट फ्लो असे म्हणतात.

- जर रेनॉल्ड संख्या 2000 च्या खाली असेल तर फ्लो लॅमिनार असेल आणि जर तो 4000 च्या पुढे असेल तर फ्लो टरबूलेन्ट असेल.

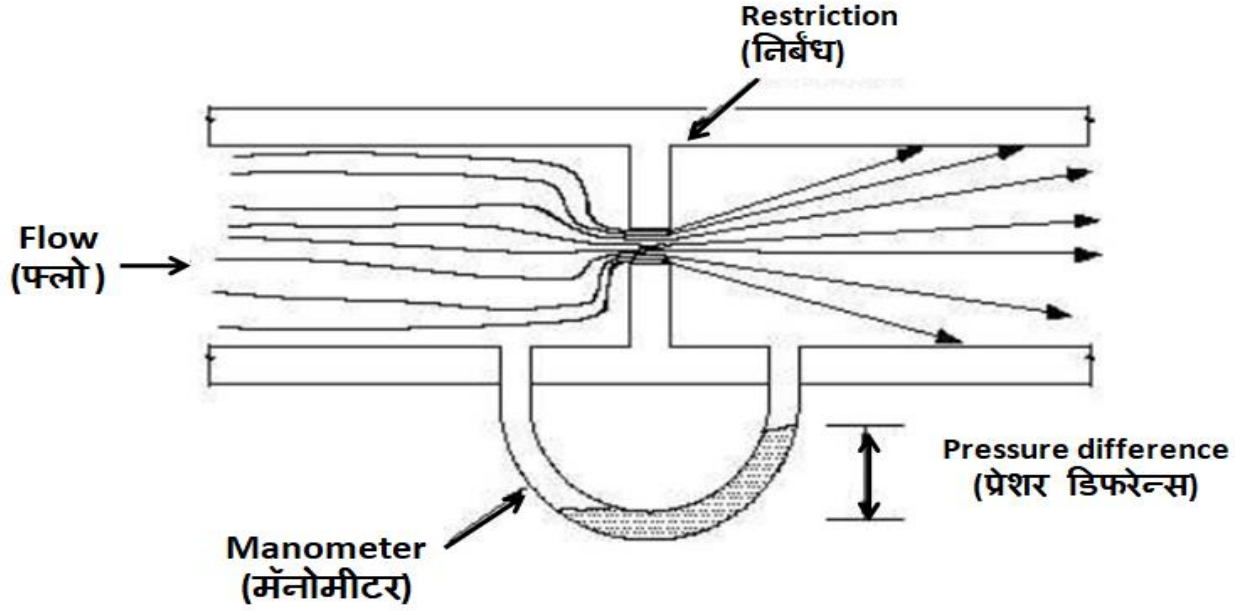
5.1.3 फ्लो ट्रान्सड्यूसरचे वर्गीकरण (Classification of flow transducers):

फ्लो ट्रान्सड्यूसर त्यांच्या वर्किंग प्रिंसिपल वर आधारित दोन मूलभूत प्रकारांमध्ये वर्गीकृत केले आहेत:

- 1) व्हेरिएबल हेड फ्लो मीटर (Variable head flow meter)
- 2) व्हेरिएबल एरिया फ्लो मीटर (Variable area flow meter)

5.1.3.1 व्हेरिएबल हेड फ्लो मीटर (Variable head flow meter):

- व्हेरिएबल हेड फ्लो मीटर डिफरेंशियल प्रेशर हेड (differential pressure head) होण्यासाठी रेषेत निर्बंध (restriction) ठेवण्याच्या तत्वावर वर्क करतात.
- डिफरेंशियल प्रेशर, जो हेडमुळे होतो, तो मोजला (measure) जातो आणि फ्लो मापनात (flow measurement) रूपांतरित होतो.
- व्हेरिएबल हेड फ्लो मीटरमध्ये दोन घटक आहेत; प्राथमरी कंपोनेन्ट रेषेतील निर्बंध आहे आणि सेकंडरी कंपोनेन्ट डिफरेंशियल प्रेशर मोजण्याचे साधन आहे.
- खालील आकृती मध्ये व्हेरिएबल हेड फ्लो मीटरचे बेसिक कन्स्ट्रक्शन दर्शविले आहे.



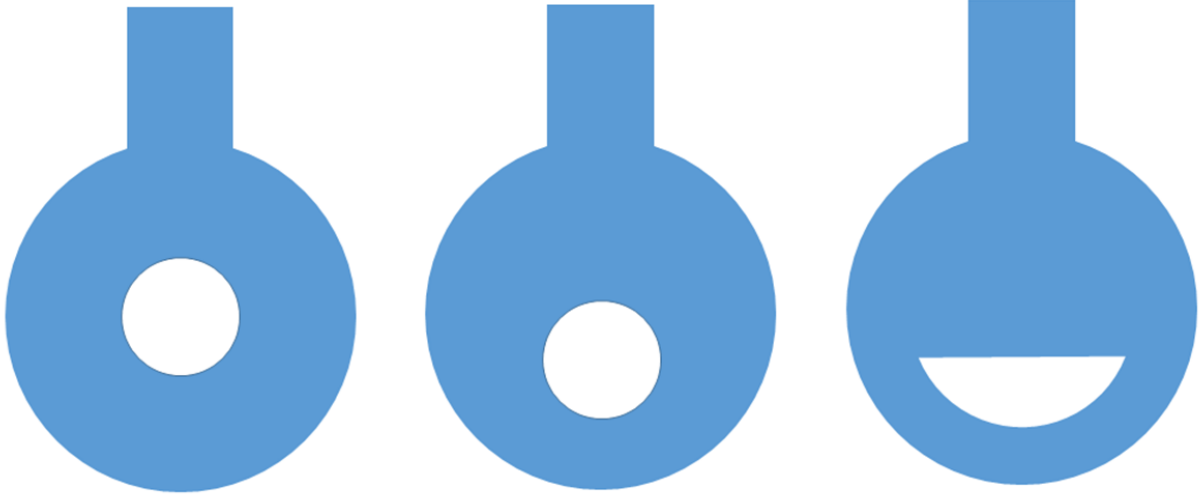
आकृती क्र. 5.1.3.1.1: व्हेरिएबल हेड फ्लो मीटर
(Variable head flow meter)

- व्हेरिएबल हेड फ्लो मीटरमध्ये वापरल्या जाणाऱ्या विविध निर्बंधांमध्ये हे समाविष्ट आहे:

- 1) ओरिफिस प्लेट (Orifice Plate)
- 2) वेंचुरी मीटर (Venturi meter)
- 3) नोजल (Nozzle)
- 4) पिटोट ट्यूब (Pitot tube)

1) ओरिफिस प्लेट (Orifice Plate):

- सर्व प्रेशर -आधारित फ्लो घटकांपैकी, सर्वात सामान्य आहे ओरिफिस प्लेट.
- ही फक्त एक धातूची प्लेट आहे ज्यामध्ये द्रवपदार्थ वाहून जाण्यासाठी मध्यभागी एक छिद्र आहे.
- ओरिफिस प्लेट्स सामान्यतः पाईप जॉइंटच्या दोन फ्लँजमध्ये सँडविच केले जातात, ज्यामुळे इंस्टॉल आणि रिमूव्ह सोपे होते.
- खालील आकृती विविध प्रकारचे ओरिफिस प्लेट्स दर्शवते.



Concentric Orifice Plate
(कॉन्सेंट्रीक ओरिफीस प्लेट)

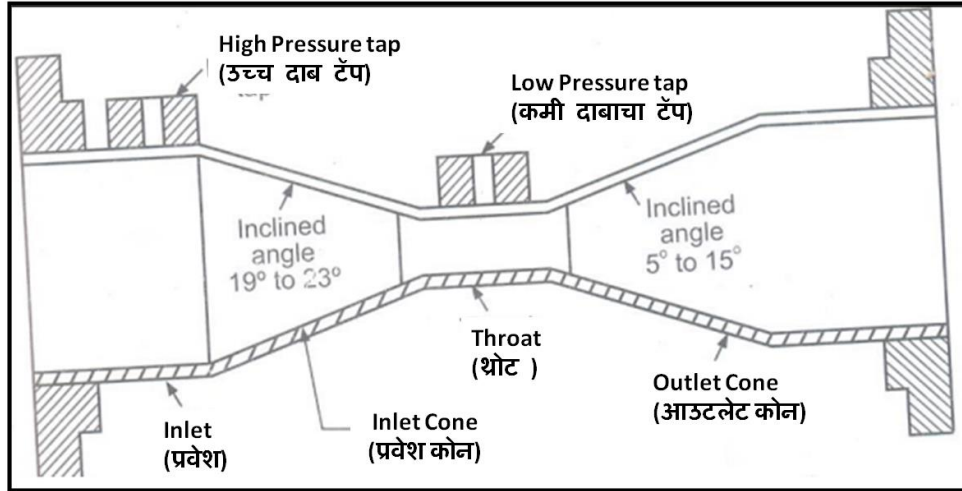
Eccentric Orifice Plate
(ईसेंट्रिक ओरिफीस प्लेट)

Segmental Orifice Plate
(सेगमेंटल ओरिफीस प्लेट)

आकृती क्र. 5.1.3.1.2: ओरिफीस प्लेट्सचे प्रकार
(Types of Orifice Plates)

2) वेंचुरी मीटर (Venturi meter):

- वेंचुरी फ्लो मीटर हा एक प्रकारचा डिफरेंशियल प्रेशर फ्लो मीटर (Differential pressure flow meter) आहे जो पाईपमधील दोन वेगवेगळ्या ठिकाणी प्रेशरचा फरक मोजून फ्लो मापन तयार करतो. खालील आकृतीत वेंचुरी मीटरचे स्ट्रक्चर आकृती दर्शवते.



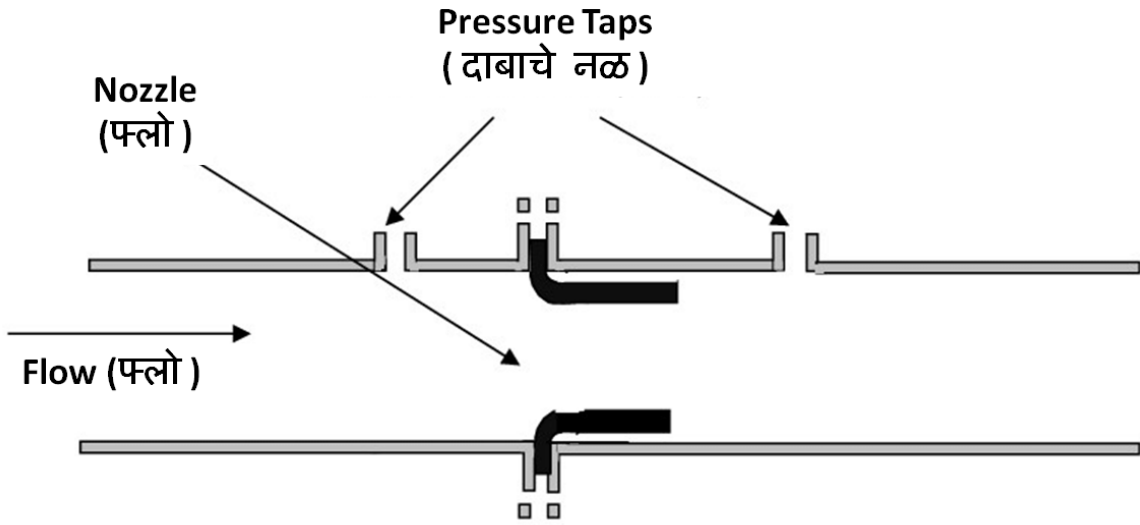
आकृती क्र. 5.1.3.1.3: वेंचुरी फ्लो मीटर
(Venturi Flow meter)

- हा प्रेशर फरक पाईपचा व्यास (diameter) संकुचित (constrict) करून तयार केला जातो, ज्यामुळे फ्लो चा वेग वाढतो आणि संबंधित प्रेशर कमी होतो.
- ज्याचा फ्लो रेट (flow rate) मोजला जाणार आहे अशा द्रवपदार्थ वाहून नेणाऱ्या पाईपमध्ये जेव्हा वेंचुरी फ्लो मीटर ठेवला जातो तेव्हा वेंचुरी मीटरच्या प्रवेशद्वाराच्या आणि थ्रोट (throat) च्या दरम्यान प्रेशर कमी होतो.

- हा प्रेशर कमी डिफरेंशियल प्रेशर सेन्सर वापरून मोजला जातो आणि कॅलिब्रेट केल्यावर हा प्रेशर ड्रॉप (pressure drop) फ्लो दराचे मोजमाप बनतो.

3) नोजल (Nozzle):

- फ्लो नोजल ही एक प्रवाही नलिका आहे ज्यामध्ये एक अभिसरण (convergent) विभाग असतो जो सिलिंड्रिकल थ्रोटच्या (cylindrical throat) भागाकडे जातो. थ्रोट हा नोजलचा सर्वात लहान सेक्शन आहे.
- प्रेशर टॅप नोजल प्लेटच्या अपस्ट्रीम (upstream) बाजूला आणि नोजल आउटलेटच्या डाउनस्ट्रीम (downstream) बाजूला असतात. खालील आकृतीत नोजलचे स्ट्रक्चर आकृती दर्शवते.

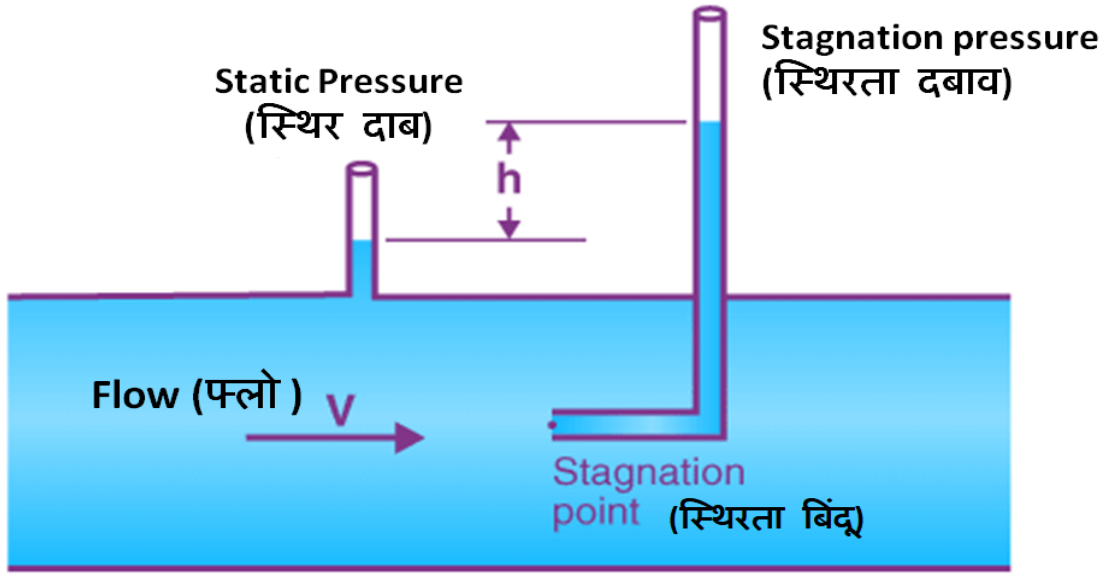


आकृती क्र. 5.1.3.1.4: नोजल
(Nozzle)

- फ्लो नोजल ज्या पाईपमध्ये प्रवाहाचा दर मोजायचा आहे त्यामध्ये ठेवल्यास, फ्लो नोजलमुळे प्रेशर कमी होतो जो फ्लो दरानुसार बदलतो.
- हा प्रेशर ड्रॉप डिफरेंशियल प्रेशर सेन्सर वापरून मोजला जातो आणि जेव्हा कॅलिब्रेट केला जातो तेव्हा हा दबाव फ्लो दराचे माप बनतो.

4) पिटोट ट्यूब (Pitot tube):

- पिटोट ट्यूब किंवा पिटोट प्रोब हे फ्लो मापन इन्स्ट्रुमेंट आहे जे द्रव (liquid) फ्लो वेग (speed) मोजण्यासाठी वापरले जाते.
- खालील आकृतीत दाखवल्याप्रमाणे पिटोट ट्यूबमध्ये दोन पोकळ नळ्या (hollow tubes) असतात ज्या पाईपमधील विविध ठिकाणी प्रेशर मोजतात.
- एक ट्यूब प्रभाव (impact) किंवा स्थिरता (stagnation) प्रेशर मोजते, आणि दुसरी ट्यूब फक्त स्थिर (static) प्रेशर मोजते, सामान्यतः पाईपच्या भिंतीवर.
- या पोकळ नळ्या पाईपमध्ये स्वतंत्रपणे बसवल्या जाऊ शकतात किंवा एकाच इन्स्ट्रुमेंटच्या रूपात एकाच केसिंगमध्ये एकत्र एस्टॅब्लिश केल्या जाऊ शकतात.

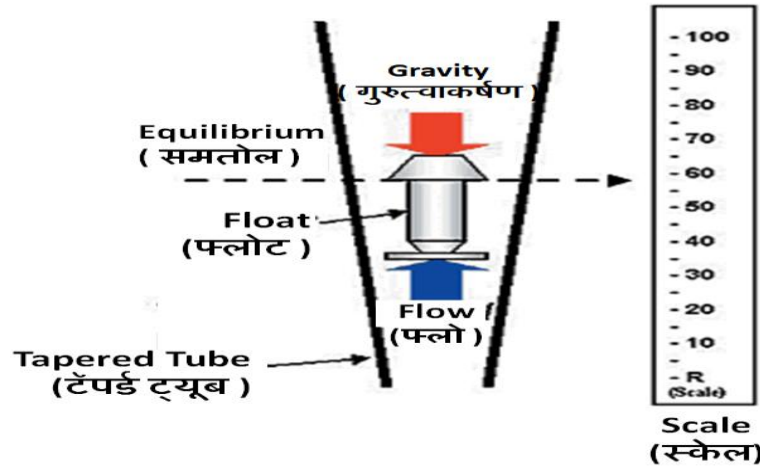


आकृती क्र. 5.1.3.1.5: पिटोट ट्यूब
(Pitot tube)

- पिटोट मीटरमध्ये एक ट्यूब असते जी प्रवाहाच्या दिशेने निर्देशित केली जाते. इम्पॅक्ट होलमधून द्रव आत प्रवेश करतो आणि याशिवाय, पिटोट ट्यूबमध्ये आणखी दोन छिद्र असू शकतात जे कॉन्स्टन्ट प्रेशर सोर्स म्हणून वर्क करतात.
- स्थिर दाब मोजण्यासाठी मीटरवर दुसरा प्रेशर सेन्सिंग एलिमेंट इन्स्टॉल केला पाहिजे.

5.1.3.2 व्हेरिएबल एरिया फ्लो मीटर (Variable area flow meter):

- व्हेरिएबल एरिया फ्लो मीटरला रोटामीटर (rotameter) असेही म्हणतात.
- खालील आकृतीत दाखवल्याप्रमाणे यात व्हर्टिकल टॅपर्ड ट्यूब (vertical tapered tube) आणि स्केलवरील (scale) फ्लो दर दर्शविण्यासाठी वापरला जाणारा मेटॅलिक फ्लोट (metallic float) असतो.



आकृती क्र. 5.1.3.2.1: व्हेरिएबल एरिया फ्लो मीटर
(Variable area flow meter)

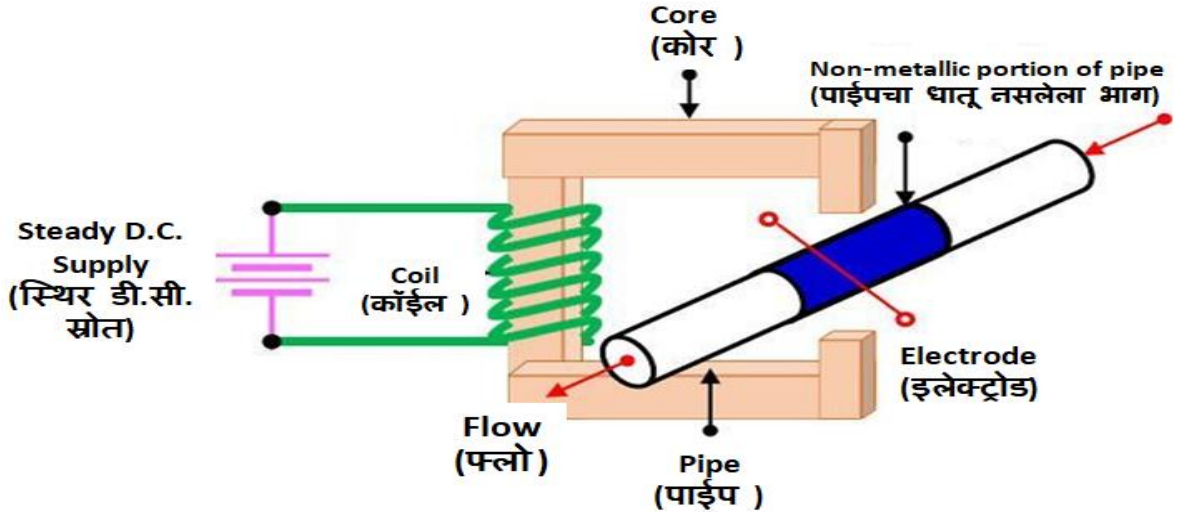
- जेव्हा कोणतेही द्रव (liquid) वाहत नसते, तेव्हा फ्लोट ट्यूबच्या तळाशी असतो.
- रोटामीटरच्या तळापासून वरच्या दिशेने द्रव वाहू लागताच, फ्लोट वरच्या दिशेने सरकतो. फ्लोटची स्थिती फ्लो दराचे (flow rate) व्हॅल्यू दर्शवते.

- जेव्हा फ्लो दर वाढतो तेव्हा फ्लोट वरच्या दिशेने सरकतो आणि जेव्हा फ्लो दर कमी होतो तेव्हा फ्लोट खाली सरकतो.
- फ्लोट कॅलिब्रेटेड स्केलवर रीडिंग देतो जे काचेच्या नळीवर आहे आणि फ्लो दर मीटरिंग ट्यूबच्या थेट निरीक्षणाद्वारे (direct observation) निर्धारित केला जाऊ शकतो.

5.2 इलेक्ट्रिकल फ्लो मोजण्याच्या पद्धती मीटर (Electrical flow meter):

5.2.1 इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक फ्लो मीटर (Electromagnetic flow meter):

- इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक फ्लो मीटर हे पाइपलाइन मधून जात असताना द्रवाचा फ्लो मोजण्यासाठी वापरले जाणारे एक इन्स्ट्रुमेंट आहे.
- इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक फ्लो मीटरमध्ये फायबरपासून बनविलेले इलेक्ट्रिकली इन्सुलेटेड पाईप असते.
- यामध्ये इलेक्ट्रोड्स एकमेकांच्या विरुद्ध स्थित असतात आणि इन्सुलेटेड पाईप द्रव वाहून नेतो ज्याचा फ्लो मोजला जाणे आवश्यक आहे.
- खालील आकृतीत दाखवल्याप्रमाणे इलेक्ट्रोमॅग्नेट (Electromagnet) इन्सुलेटेड पाईपच्या भोवती ठेवलेले असते. हे इलेक्ट्रोमॅग्नेट पाईपभोवती मॅग्नेट फील्ड (magnetic field) प्रेरित करते.
- इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक फ्लोमीटर फॅराडेच्या इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक इंडक्शन लॉ च्या (Faraday's Law of electromagnetic induction) तत्वावर कार्य करते.
- हा कायदा सांगतो की जेव्हा कंडक्टिव्ह द्रव (conductive liquid) चुंबकीय क्षेत्रातून जातो तेव्हा कंडक्टरमध्ये (conductor) व्होल्टेज प्रेरित (induce) होते.



आकृती क्र. 5.2.1.1: इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक फ्लो मीटर
(Electromagnetic flow meter)

- हे प्रेरित इ.एम.एफ. (induced EMF) खालील समीकरणाद्वारे व्यक्त केले जाऊ शकते:

$$E = B l v$$

येथे, E = इंड्यूस्ड इ.एम.एफ (Induced E.M.F)

B = चुंबकीय फ्लो घनता (magnetic flux density Wb/m²)

l = पाईपचा व्यास (diameter of pipe in meter)

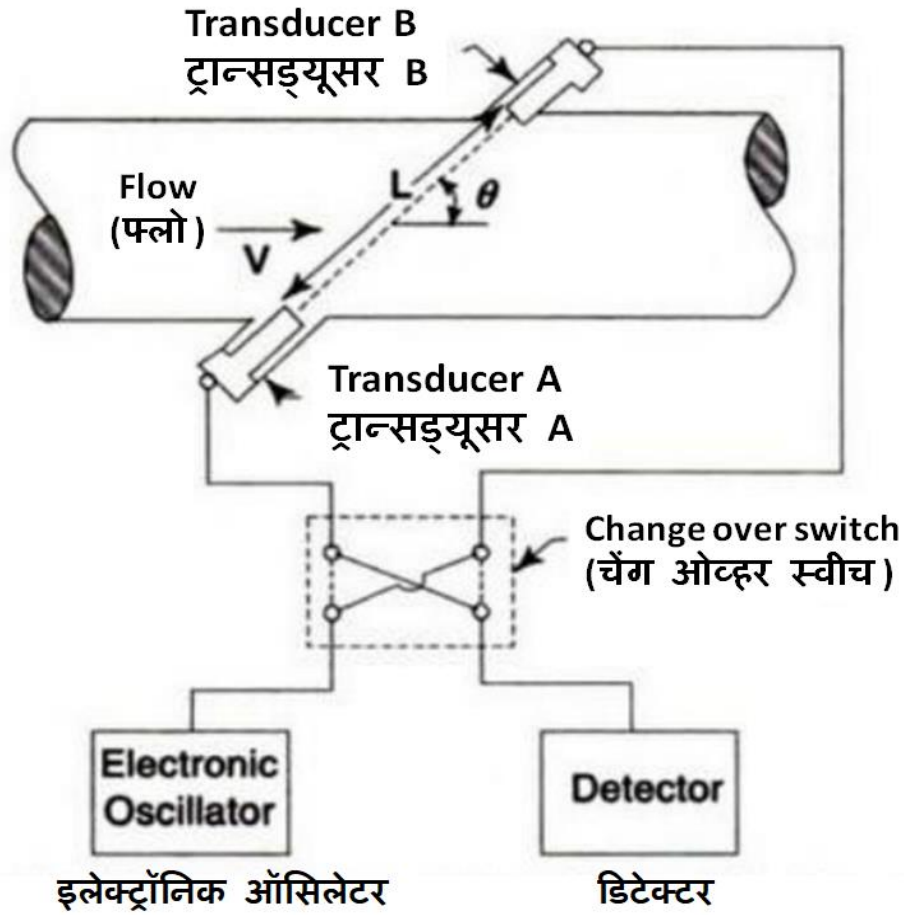
v = फ्लो वेग (flow velocity m/s)

5.2.2 अल्ट्रासॉनिक फ्लो मीटर (Ultrasonic flow meter):

- अल्ट्रासॉनिक फ्लो मीटर (Ultrasonic flow meter) पाइपमध्ये अल्ट्रासॉनिक व्हेव्स (ultrasonic sound waves) पाठवून द्रव (liquid) किंवा वायूचा (gas) फ्लो मोजतो, ज्यामध्ये फ्लोच्या दिशेने आणि फ्लोच्या विरुद्ध दिशेने फ्लो असतो.
- अल्ट्रासॉनिक व्हेव्स (ultrasonic sound waves) आणि द्रव किंवा वायूच्या प्रवाहाचा वेग (flow velocity) एकत्र करून फ्लो रेट (flow rate) निश्चित केला जाऊ शकतो.
- अल्ट्रासॉनिक फ्लो मीटरमध्ये दोन ट्रान्समीटर (transmitter) आणि दोन रिसीव्हर्स (receiver) असतात, त्यातील प्रत्येकी एक पाईपच्या दोन्ही बाजूला अचूक रीडिंग प्रदान करण्यासाठी मोजलेल्या अंतरावर बसवलेला असतो.
- हे एक नॉन-इन्व्हेसिव्ह फ्लो मीटर आहे ज्याला द्रव प्रवाहामध्ये बबल (bubbles) किंवा घन कणांची (solid particles) आवश्यकता असते.
- हे मीटर सांडपाणी (wastewater) वापरण्यासाठी योग्य आहेत परंतु ते पिण्याच्या/डिस्टिल्ड (distilled) पाण्यासोबत वर्क करणार नाहीत.
- त्यामुळे जेथे रासायनिक सुसंगतता, कमी देखभाल आणि कमी-दाब ड्रॉप आवश्यक असेल अशा ठिकाणी या प्रकारचे फ्लो मीटर आयडेल आहे.
- अल्ट्रासॉनिक फ्लो मीटरचे दोन प्रकार आहेत:
 - 1) टाइम ट्रान्सीट टाइप अल्ट्रासॉनिक फ्लो मीटर (Time Transit Type Ultrasonic Flow Meter)
 - 2) डॉपलर टाइप अल्ट्रासॉनिक फ्लो मीटर (Doppler Type Ultrasonic Flow Meter)

1) टाइम ट्रान्सीट टाइप अल्ट्रासॉनिक फ्लो मीटर (Time Transit Type Ultrasonic Flow Meter):

- टाइम-डिफरन्स प्रकार अल्ट्रासॉनिक फ्लो मीटर पाईपमधील द्रव प्रवाहासोबत आणि विरुद्ध अशा दोन्ही प्रकारच्या पाईप विभागात प्रवास करण्यासाठी अल्ट्रासॉनिक व्हेव्स साठी (ultrasonic sound waves) लागणारा टाइम मोजून फ्लो मोजतो.
- खालील आकृतीत दाखवल्याप्रमाणे यात ट्रान्समीटर (transmitter) आणि रिसीव्हर (receiver) म्हणून काम करणाऱ्या पाइपलाइनमध्ये दोन ट्रान्समीटर A आणि B समाविष्ट असतात.
- डिटेक्टर अपस्ट्रीम (upstream) आणि डाउनस्ट्रीम (downstream) ट्रान्सड्यूसरमधून संक्रमण टाइम मोजतो.

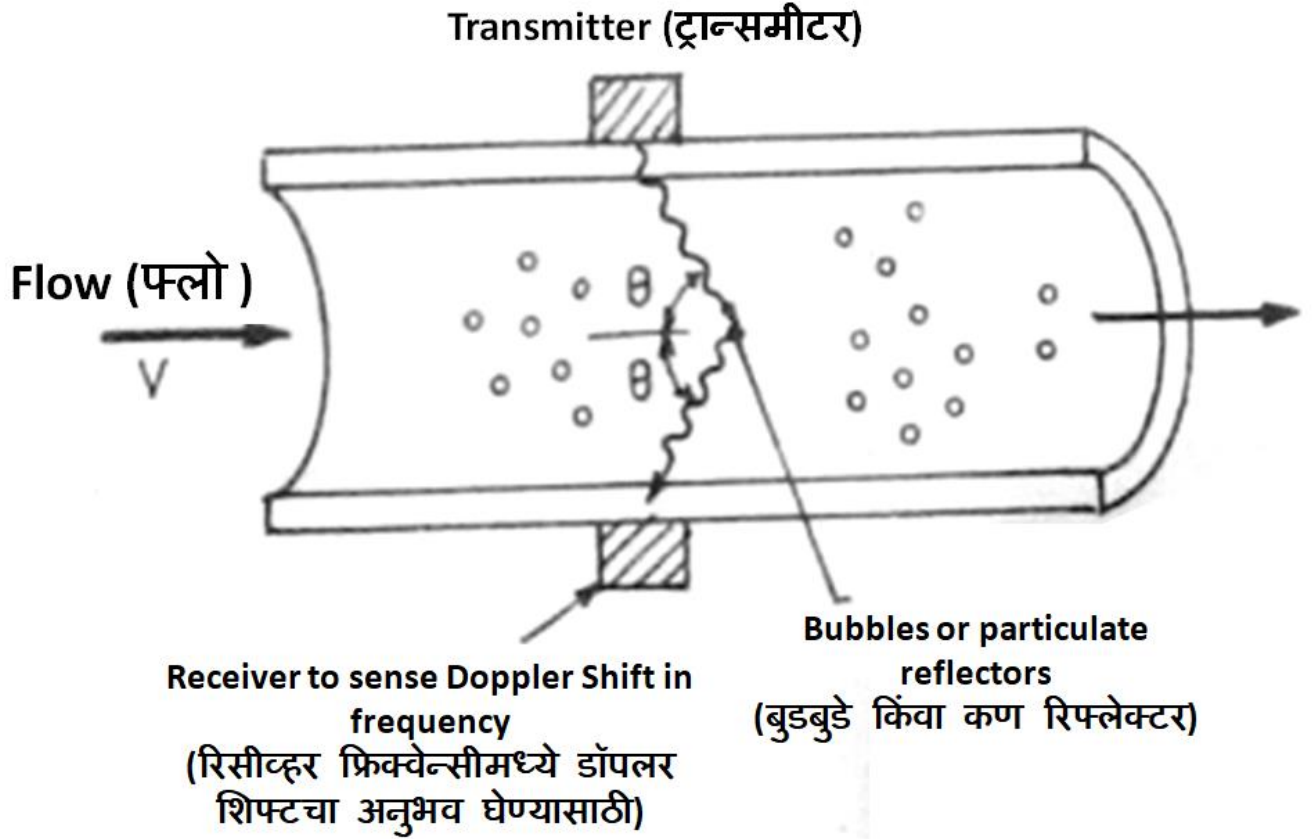


आकृती क्र. 5.2.2.1: टाईम ट्रान्सीट टाइप अल्ट्रासॉनिक फ्लो मीटर
(Time Transit Type Ultrasonic Flow Meter)

- अल्ट्रासोनिक ध्वनी लहरींना अपस्ट्रीम (upstream) ट्रान्सड्यूसरपासून डाउनस्ट्रीम (downstream) ट्रान्सड्यूसर पर्यंत प्रवास करण्यासाठी लागणारा टाईम t_{AB} समान लहरींना डाउनस्ट्रीम ते अपस्ट्रीम t_{BA} पर्यंत प्रवास करण्यासाठी आवश्यक असलेल्या टाईम पेक्षा कमी आहे. हा फरक जितका मोठा असेल तितका फ्लो स्पीड जास्त असेल.

2) डॉपलर टाईप अल्ट्रासॉनिक फ्लो मीटर (Doppler Type Ultrasonic Flow Meter):

- डॉपलर फ्लो मीटरमध्ये, आकृतीमध्ये दर्शविल्याप्रमाणे पाईपच्या बाहेर बसवलेल्या ट्रान्सड्यूसरमध्ये क्रिस्टल प्रसारित करून पाईपच्या भिंतीमधून द्रवामध्ये अल्ट्रासॉनिक तरंग (ultrasonic waves) प्रक्षेपित केली जाते.
- फ्लो मीटर ऑपरेट करण्यासाठी, प्रचंड अल्ट्रासॉनिक वेव्स (ultrasonic waves) प्रतिबिंबित करण्यासाठी प्रवाहामध्ये घन कण (solid particles) किंवा बुडबुडे (bubbles) यांसारखे कण असणे आवश्यक आहे.



आकृती क्र. 5.2.2.2: डॉपलर टाईप अल्ट्रासॉनिक फ्लो मीटर
(Doppler Type Ultrasonic Flow Meter)

- अल्ट्रासॉनिक लाटा वेव्हस चा काही भाग द्रवमधील बुडबुडे (bubbles) किंवा कणांद्वारे (solid particles) परत रिफ्लेक्ट होतो आणि पाईपच्या भिंतीद्वारे क्रिस्टल प्राप्त करण्यासाठी परत येतो.
- रिफ्लेक्टर (bubbles) द्रव गतीने प्रवास करत असल्याने परावर्तित लहरीची फ्रीक्वेंसी (frequency) डॉपलर प्रिंसिपल नुसार बदलली जाते.

5.3 लेव्हल मापन (Level measurement) - लेव्हल आणि त्याची एकके (units), लेव्हल मापन ट्रान्सड्यूसरचे वर्गीकरण: रेसिस्टिव्ह (Resistive), इंडक्टिव्ह (Inductive) आणि कॅपेसिटिव्ह (Capacitive)

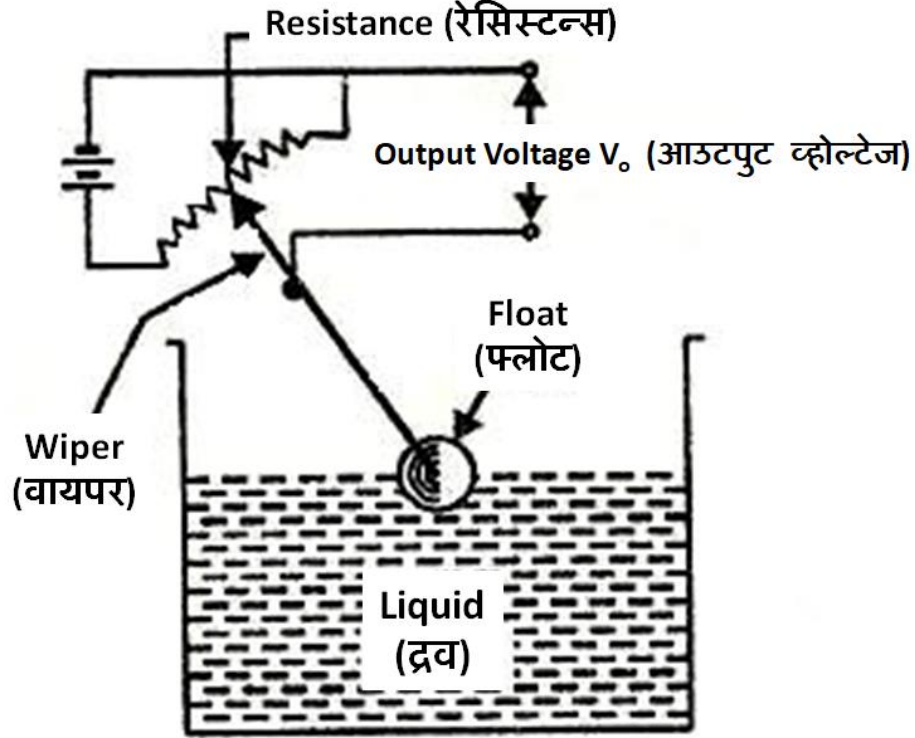
5.3.1 लेव्हल आणि त्याची एकके (units):

- एका भांड्यात किंवा स्तंभातील द्रवाचा लेव्हल म्हणजे रेफरन्स पॉइंट पासून (reference point) द्रव पृष्ठभागाची (surface) उंची.
- लेव्हल थेट सेंटीमीटर (cm) किंवा मीटर (m) सारख्या निरपेक्ष युनिटमध्ये मोजली जाते किंवा टक्केवारीनुसार मोजली जाऊ शकते.
- उदा. जेव्हा टाकी भरली जाते तेव्हा 4 मीटरची टाकी लेव्हल 100% शी संबंधित असते तर 2 मीटर 50% शी संबंधित असते.

5.3.2 लेव्हल मापन ट्रान्सड्यूसरचे वर्गीकरण (Classification of Level Transducers):

5.3.2.1 रेसिस्टिव्ह लेव्हल ट्रान्सड्यूसर (Resistive Level Transducer):

- खालील आकृतीत दर्शविल्याप्रमाणे रेझिस्टिव्ह लेव्हल ट्रान्सड्यूसरमध्ये फ्लोट असतो जो द्रवाच्या पृष्ठभागावर (liquid surface) असतो.

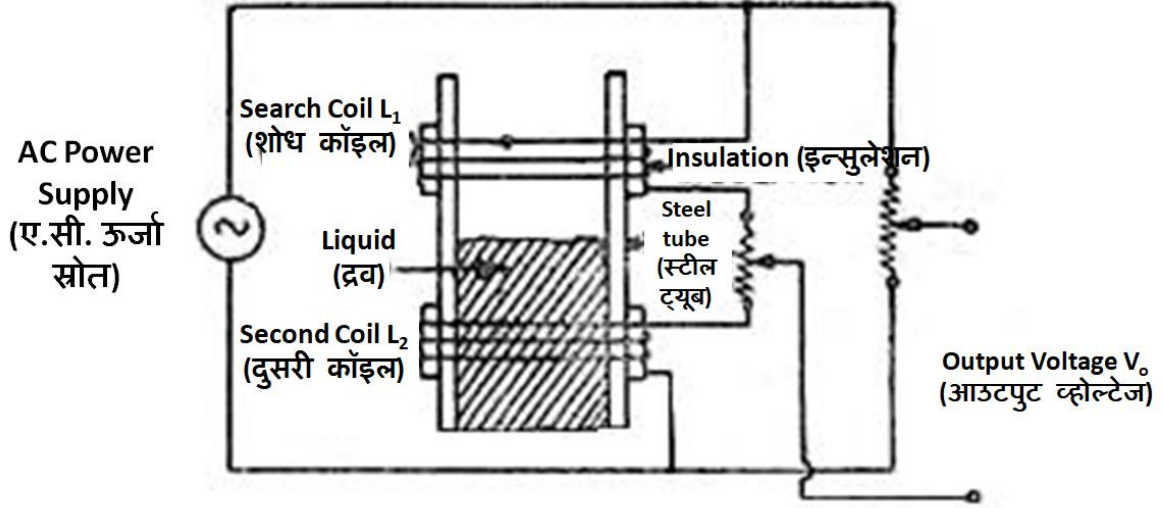


आकृती क्र. 5.3.2.1.1: रेसिस्टिव्ह लेव्हल ट्रान्सड्यूसर
(Resistive Level Transducer)

- हा फ्लोट पोटेंशियोमीटर (potentiometer) ऑपरेट करण्यासाठी वापरला जाऊ शकतो.
- टाकीमध्ये द्रव लेव्हल वाढल्याने, फ्लोट वरच्या दिशेने सरकतो.
- यामुळे वायपर पोटेंशियोमीटरवर फिरतो ज्याचे आउटपुट टर्मिनल (output terminal) व्होल्टमीटरला (voltmeter) जोडलेले असतात.
- जसजसा फ्लोट वर जातो तसतसे रेझिस्टिव्ह घटकाचा एक मोठा भाग आउटपुट सर्किटमध्ये समाविष्ट केला जातो ज्यामुळे वाढीव आउटपुट व्होल्टेज मिळते. म्हणून, आउटपुट व्होल्टेज द्रव लेव्हलच्या प्रमाणात असते.

5.3.2.2 इंडक्टिव्ह लेव्हल ट्रान्सड्यूसर (Inductive Level Transducer):

- इंडक्टिव्ह लेव्हल ट्रान्सड्यूसरचा वापर प्रामुख्याने कंडक्टिव्ह द्रव्यांच्या (conductive liquids) लेव्हलच्या मोजमापासाठी केला जातो.
- ही पद्धत परिवर्तनीय पारगम्यतेवर आधारित आहे. खालील आकृतीमध्ये दर्शविल्याप्रमाणे, व्यवस्थेमध्ये द्रव असलेल्या स्टीलच्या नळीभोवती दोन कॉइल L_1 आणि L_2 वाळुंड केल्या जातात.



आकृती क्र. 5.3.2.2.1: इंडक्टिव्ह लेव्हल ट्रान्सड्यूसर (Inductive Level Transducer)

- कॉइल रेझिस्टन्सद्वारे सिरीस मध्ये जोडलेले असतात आणि सर्किटला पर्यायी विद्युत् स्त्रोताद्वारे एनर्जी मिळते. प्रत्येक कॉइलचा इंडक्टन्स सुरुवातीला समान असतो.
- कॉइलपैकी एक सर्च कॉइल (search coil) म्हणून कार्य करते आणि पूर्वनिर्धारित स्तरावर सेट केले जाते.
- कंडक्टिव्ह द्रव्यांच्या (conductive liquids) कॉइलच्या प्लेनमध्ये जाताना सर्च कॉइलचा इंडक्टन्स झपाट्याने बदलतो.
- ही पद्धत चांगली वर्क करते कारण टेप सामग्री वीक मॅग्नेटिक आहे आणि द्रव धातू एक कंडक्टर आहे ज्यामुळे एडी करंट त्यामध्ये वाहू शकतो.

5.3.2.3 कॅपेसिटिव्ह लेव्हल ट्रान्सड्यूसर (Capacitive Level Transducer):

- कॅपेसिटन्स लेव्हल इंडिकेटरचे ऑपरेशन व्हेरिएबल कॅपेसिटन्सच्या तत्वावर आधारित आहे. पॅरलल प्लेट कॅपेसिटरचे समीकरण खालीलप्रमाणे दिले आहे:

$$C = \frac{\epsilon A}{D}$$

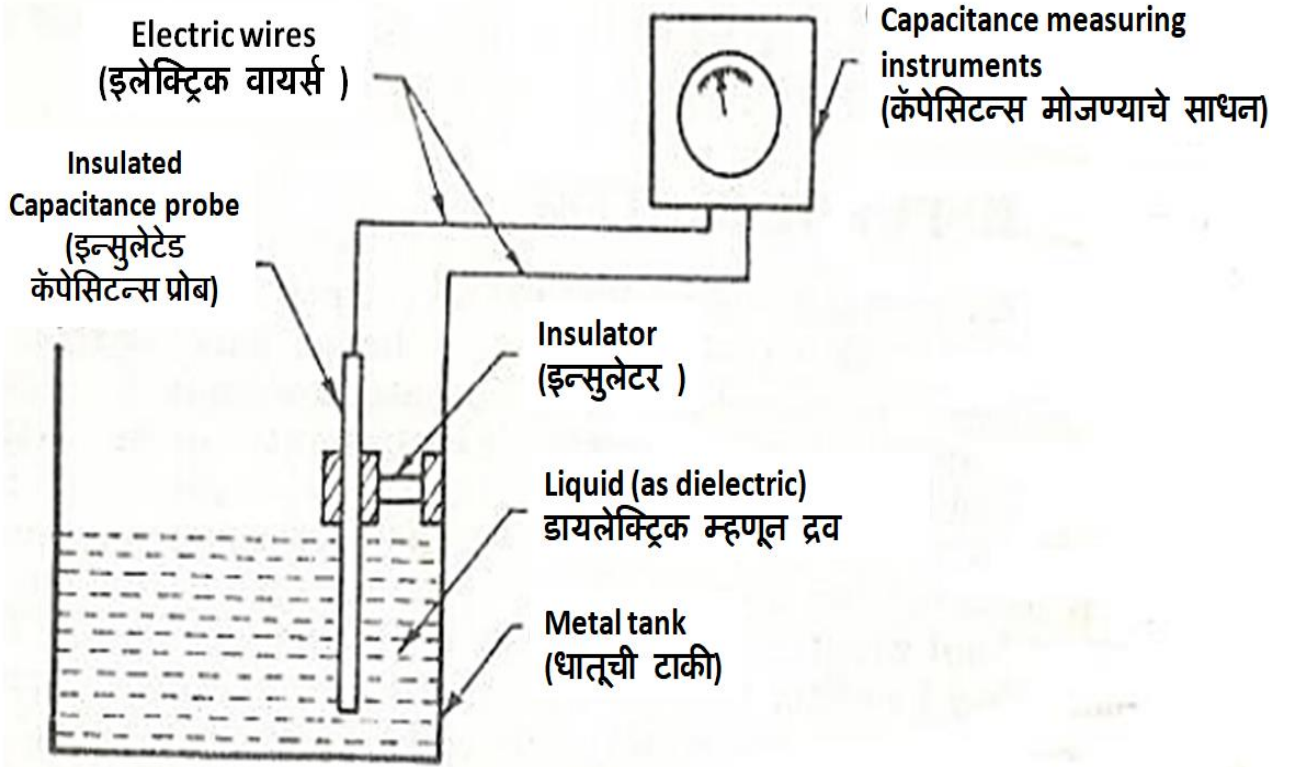
येथे, C = कॅपेसिटन्स (Capacitance in Farad)

ϵ = डायलेक्ट्रिक ची पेरमिटीव्हिटी (Permittivity of dielectric)

A = प्लेटचे क्षेत्रफळ (area of plates in m²)

D = प्लेट्समधील अंतर (distance between the plates in meter)

- वरील समीकरणावरून असे दिसून येते की जर A आणि D स्थिर असतील तर कॅपेसिटरची कॅपेसिटन्स डायलेक्ट्रिक स्थिरांकाशी थेट प्रमाणात असते आणि हे प्रिंसिपल कॅपेसिटन्स लेव्हल निर्देशकामध्ये वापरले जाते
- खालील आकृती कॅपेसिटिव्ह लेव्हल ट्रान्सड्यूसर दाखवते. त्यात इन्सुलेटेड कॅपेसिटन्स प्रोब (insulated capacitance probe) (जे मेटल इलेक्ट्रोड आहे) टँकच्या मेटल च्या भितीजवळ आणि पॅरलल घट्टपणे स्थिर केले जाते.



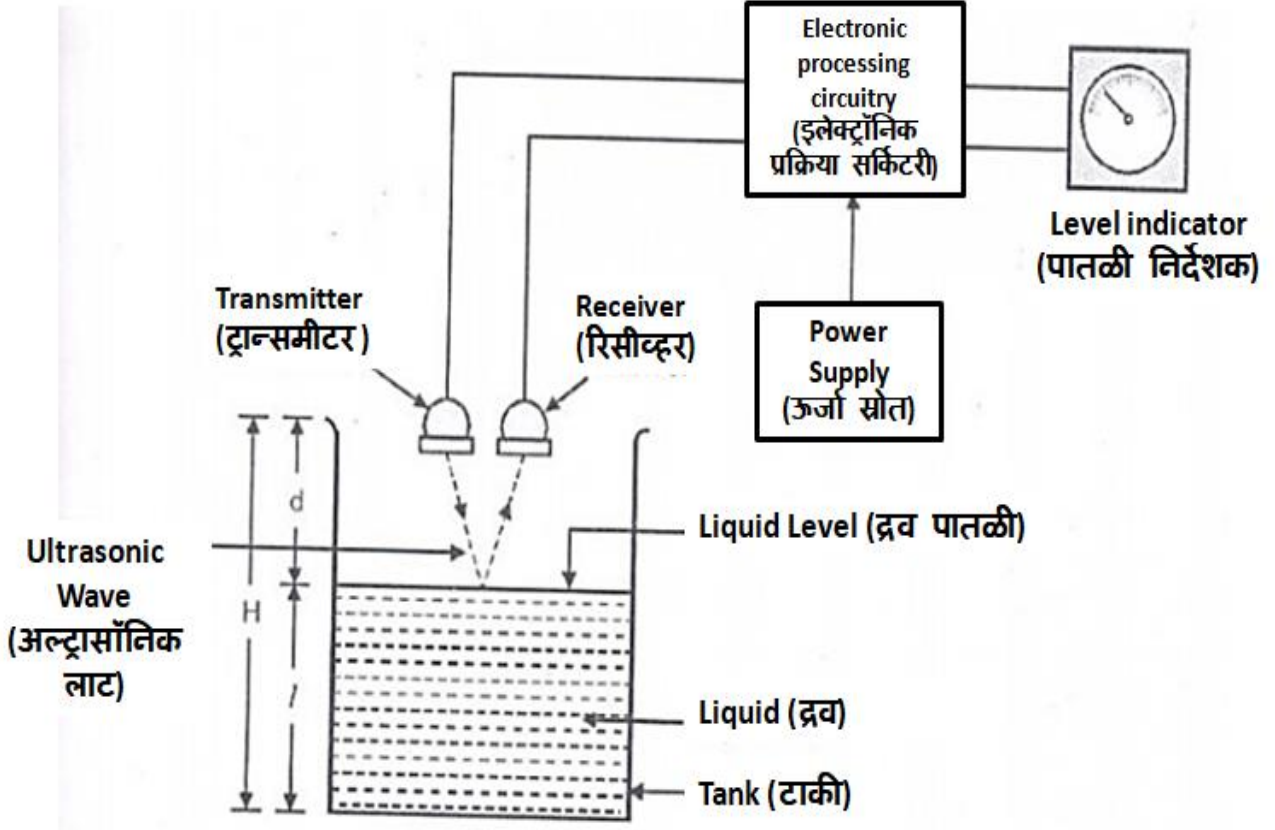
**आकृती क्र. 5.3.2.3.1: कॅपेसिटिव्ह लेव्हल ट्रान्सड्यूसर
(Capacitive Level Transducer)**

- कॅपेसिटन्स मोजण्याचे इन्स्ट्रुमेंट प्रोब आणि टाकीच्या भिंतीशी जोडलेले असते, जे टाकीतील द्रवाच्या लेव्हलनुसार कॅलिब्रेट (calibrate) केले जाते.
- जेव्हा टाकीमधील द्रव लेव्हल वाढते, तेव्हा कॅपेसिटन्स वाढते. जेव्हा टाकीची द्रव लेव्हल कमी होते, तेव्हा कॅपेसिटन्स देखील कमी होतो.
- कॅपेसिटन्समधील डिफरन्स मोजला जातो आणि द्रव पातळीच्या दृष्टीने कॅलिब्रेट केलेल्या इंडिकेटर वर डिस्प्ले केला जातो.

5.4 लेव्हल मोजण्याच्या पद्धती (Methods of level measurement):

5.4.1 अल्ट्रासॉनिक लेव्हल ट्रान्सड्यूसर (Ultrasonic Level Transducer):

- खालील आकृतीत दाखवल्याप्रमाणे, अल्ट्रासॉनिक ट्रान्समीटर (transmitter) आणि रिसीव्हर (receiver) टाकीच्या वर बसवले आहेत.
- अल्ट्रासॉनिक व्हेव्स (ultrasonic wave) ट्रान्समीटरद्वारे खाली पाठविली जाते आणि टाकीमध्ये असलेल्या घन किंवा द्रवाच्या पृष्ठभागाद्वारे परत परावर्तित होते. ही व्हेव्स प्राप्तकर्त्याद्वारे प्राप्त होते.
- व्हेव्स ने घेतलेला टाईम हे त्याद्वारे प्रवास केलेल्या अंतराचे मोजमाप आहे.

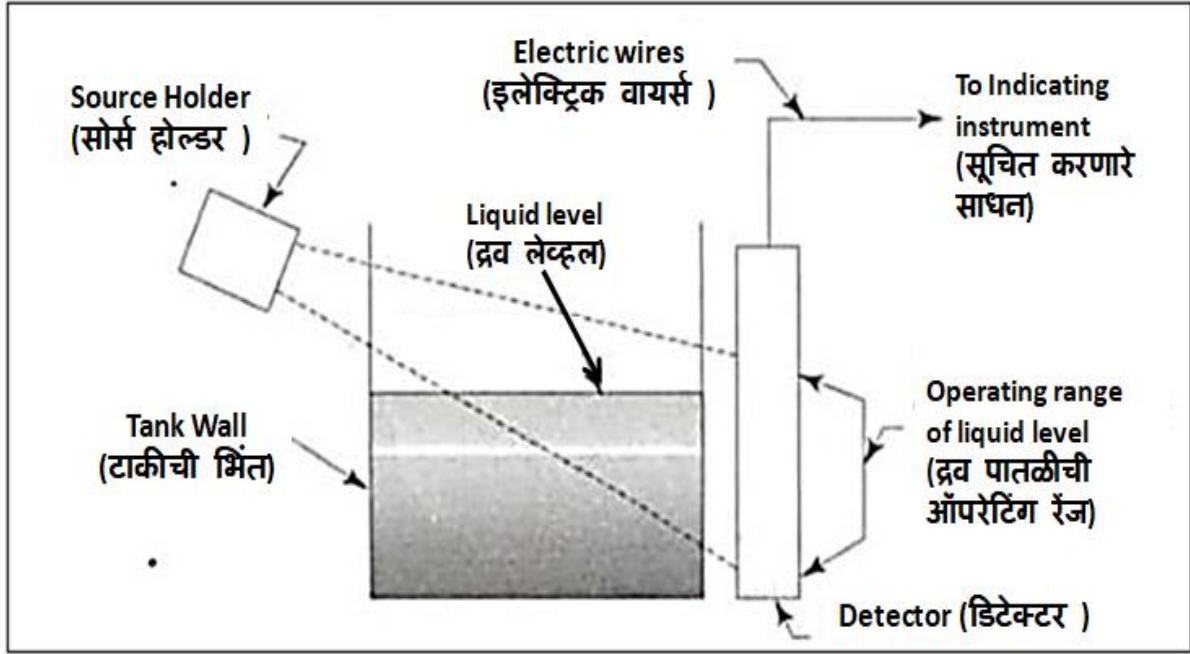


आकृती क्र. 5.4.1.1: अल्ट्रासॉनिक लेव्हल ट्रान्सड्यूसर
(Ultrasonic Level Transducer)

- म्हणून, सिग्नल प्रसारित करणे आणि प्राप्त करणे दरम्यानचा वेळ अल्ट्रासॉनिक ट्रान्सड्यूसर आणि टाकीच्या सामग्रीच्या पृष्ठभागाच्या अंतराच्या प्रोपोरशन आहे.
- टाकीतील पातळी जास्त असल्याने अंतर कमी आणि त्यानुसार टाईम कमी लागेल. ही वेळ टाकीमधील द्रव पातळीचे मोजमाप आहे.

5.4.2 रेडिएशन लेव्हल ट्रान्सड्यूसर (Radiation Level Transducer):

- रेडिएशन/न्यूक्लियर लेव्हल मापन प्रिंसिपल चा वापर गॅमा रेडिएशन चा वापर (Gamma radiation) करून बंद टाकीमधील द्रव (liquid) किंवा घन (solid particles) लेव्हल मोजण्यासाठी केला जातो.
- गॅमा रेडिएशनचे सोर्स लेव्हल मोजण्याच्या उपकरणांमध्ये वापरण्यासाठी निवडले जातात कारण गॅमा किरणांमध्ये उत्कृष्ट पेनेट्रेट पॉवर (penetrating power) असते आणि ते विचलित (deflect) केले जाऊ शकत नाहीत.



आकृती क्र. 5.4.2.1: रेडिएशन लेव्हल ट्रान्सड्यूसर (Radiation Level Transducer)

- रेडिएशन टाईप लेव्हल ट्रान्सड्यूसर मोजल्या जात असलेल्या सामग्रीमधून गॅमा रेडिएशन पार करून लेव्हल मोजलं जातो.
- या सामग्रीमधून रेडिएशन जात असताना, क्षीणतेच्या (attenuation) प्रमाणात लेव्हल निश्चित केली जाऊ शकते.
- गॅमा रेडिएशन सोर्स पासून टांकीमध्ये उत्सर्जित (emit) होतो आणि टांकीद्वारे प्रसारित होतो.
- टांकीमधून जाणारे गॅमा रेडिएशन मोजण्यासाठी डिटेक्टरचा (detector) वापर केला जातो.
- टांकी रिकामी असल्यास, डिटेक्टरद्वारे जास्तीत जास्त रज जाणवतात. जसजसे लेव्हल वाढते तसतसे डिटेक्टरद्वारे जाणवलेल्या गॅमा रेडिएशनचे प्रमाण कमी होते.

5.5 टेम्परेचर मापन (Temperature measurement) - टेम्परेचर आणि त्याची एकके (units), वर्गीकरण- थर्मिस्टर (Thermistor), रेझिस्टन्स टेम्परेचर डिटेक्टर (Resistance Temperature Detector - RTD) आणि थर्मोकपल (Thermocouple):

5.5.1 टेम्परेचर आणि त्याची एकके (units)-

- तापमान म्हणजे एखाद्या वस्तूची उष्णता (hotness) किंवा शीतलता (coldness). एखाद्या वस्तूच्या आत असलेल्या अद्वितीय कायनेटिक एनर्जी चे मोजमाप म्हणून देखील त्याची व्याख्या केली जाऊ शकते.
- सेल्सिअस (Celsius °C), केल्विन (Kelvin K), फॅरेनहाइट (Fahrenheit °F) इत्यादी तापमानाचे विविध स्केल (scale) / युनिट (unit) आहेत.

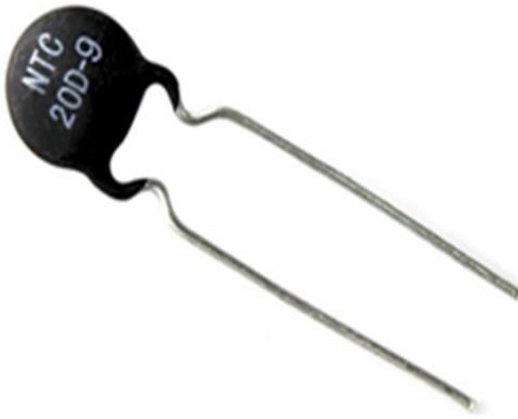
5.5.2 टेम्परेचर ट्रान्सड्यूसरचे वर्गीकरण (Classification of Temperature Transducers):

- टेम्परेचर ट्रान्सड्यूसर (Temperature transducer) हे असे इन्स्ट्रुमेंट आहे जे टेम्परेचरला मेकॅनिकल एनर्जी (mechanical energy), प्रेशर (pressure) आणि इलेक्ट्रिकल सिग्नल (electrical signal) इत्यादी कोणत्याही भौतिक प्रमाणात (physical quantity) रूपांतरित करते.

- उदाहरणार्थ, थर्मोकपलच्या टर्मिनल्सवरील टेम्परेचरतील फरकामुळे इलेक्ट्रिकल पोटेंशियल डिफरेंस (electrical potential difference) निर्माण होतो. म्हणून, थर्मोकपल हे टेम्परेचर ट्रान्सड्यूसर आहे.
- इलेक्ट्रिकल टेम्परेचर ट्रान्सड्यूसरचे (Electrical Temperature transducer) खालील तीन प्रकारांमध्ये वर्गीकरण केले आहे:
 - 1) थर्मिस्टर (Thermistor)
 - 2) रेझिस्टन्स टेम्परेचर डिटेक्टर (Resistance Temperature Detector - RTD)
 - 3) थर्मोकपल (Thermocouple)

5.5.2.1 थर्मिस्टर (Thermistor)

- थर्मिस्टर हा एक प्रकारचा रेझिस्टर (resistor) आहे ज्याचे रेसिस्टन्स (resistance) आसपासच्या तापमानावर / टेम्परेचरवर (temperature) अवलंबून असते.
- हे टेम्परेचर सेन्सिटिव्ह इन्स्ट्रुमेंट (temperature sensitive device) आहे.
- थर्मिस्टर हा शब्द थर्मली सेंसिटिव्ह रेझिस्टर (thermally sensitive resistor) या शब्दापासून बनला आहे.
- थर्मिस्टर हा सेमीकंडक्टर मटेरियलपासून (semiconductor material) बनलेला असतो म्हणजे त्यांचा रेसिस्टन्स (resistance) कंडक्टर (conductor) आणि इन्सुलेटर (insulator) यांच्यामध्ये असतो.
- **थर्मिस्टरचे प्रकार (Types of thermistors):** थर्मिस्टरचे दोन प्रकारांमध्ये वर्गीकरण केले जाते.



**Negative Temperature Coefficient
Thermistor**
(नेगेटिव्ह टेम्परेचर कोइफिसिएंट थर्मिस्टर)



**Positive Temperature Coefficient
Thermistor**
(पॉसिटिव्ह टेम्परेचर कोइफिसिएंट थर्मिस्टर)

आकृती क्र. 5.5.2.1.1: थर्मिस्टरचे प्रकार (Types of Thermistor)

- **नेगेटिव्ह टेम्परेचर कोइफिसिएंट थर्मिस्टर (Negative Temperature Coefficient Thermistor)** – या प्रकारच्या थर्मिस्टरमध्ये तापमान कमी झाल्यामुळे रेसिस्टन्स (resistance) वाढतो.
- **पॉसिटिव्ह टेम्परेचर कोइफिसिएंट थर्मिस्टर (Positive Temperature Coefficient Thermistor)** – तापमानात वाढ झाल्यामुळे थर्मिस्टरचा रेसिस्टन्स (resistance) वाढतो.

5.5.2.2 रेझिस्टन्स टेम्परेचर डिटेक्टर (Resistance Temperature Detector -RTD):

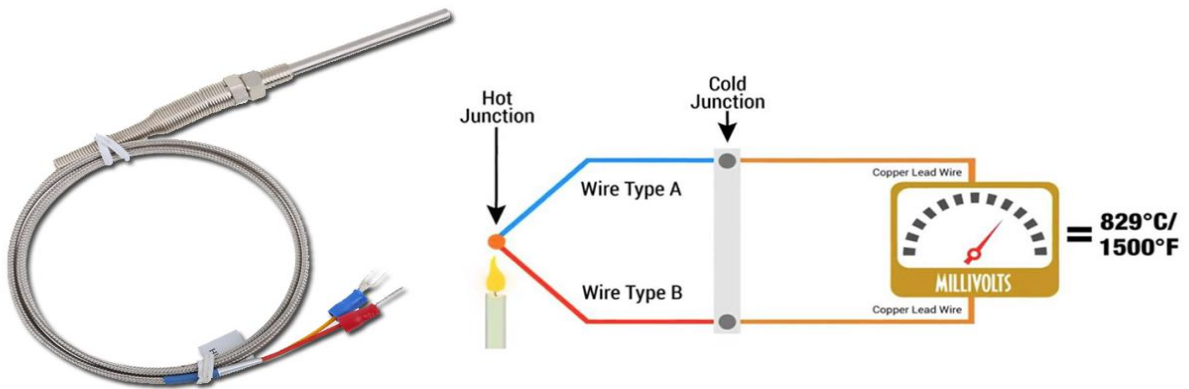


**आकृती क्र. 5.5.2.2.1: रेझिस्टन्स टेम्परेचर डिटेक्टर
(Resistance Temperature Detector - RTD)**

- रेझिस्टन्स टेम्परेचर डिटेक्टर (Resistance Temperature Detector RTD) तापमान मोजण्यासाठी इलेक्ट्रिकल कंडक्टरचा (conductor) रेझिस्टन्स (resistance) वापरतो.
- कंडक्टरचा रेझिस्टन्स वेळेनुसार बदलतो. कंडक्टरचा हा गुणधर्म तापमान मोजण्यासाठी वापरला जातो.
- रेझिस्टन्स टेम्परेचर डिटेक्टरचे (Resistance Temperature Detector RTD) मुख्य कार्य म्हणजे तापमानासह प्रतिकारामध्ये पॉसिटीव्ह (positive) बदल घडवून आणणे, म्हणजे जेव्हा तापमान वाढते तेव्हा आर.टी.डी. (RTD) चा रेझिस्टन्स देखील वाढतो.

5.5.2.3 थर्मोकपल (Thermocouple):

- थर्मोकपल (Thermocouple) हे इलेक्ट्रिकल टेम्परेचर ट्रान्सड्यूसर (Electrical temperature transducer) असतात ज्यात मुळात दोन टोकांना (two ends) वेल्ड (weld) केलेल्या भिन्न धातूंचे (dissimilar metals) दोन जंक्शन (junction) असतात, उदाहरणार्थ तांबे (copper) आणि कॉन्स्टंटन (constantan).



**आकृती क्र. 5.5.2.3.1 थर्मोकपल
(Thermocouple)**

- एक जंक्शन एका स्थिर (constant) तापमानावर ठेवला जातो ज्याला संदर्भ (reference) (कोल्ड- cold) जंक्शन म्हणतात, तर दुसरा मापन (measuring) गरम (hot) जंक्शन.
- जेव्हा दोन जंक्शन वेगवेगळ्या तापमानात असतात, तेव्हा जंक्शनवर एक व्होल्टेज (voltage) विकसित होतो जो तापमान मोजण्यासाठी वापरला जातो.

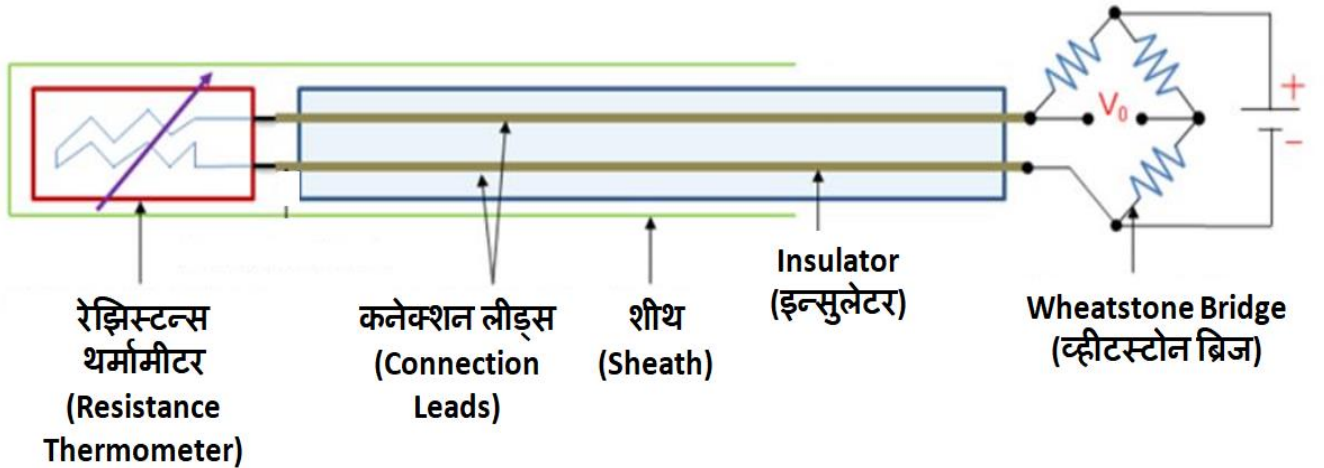
5.6 टेम्परेचर मोजण्याच्या पद्धती (Methods of Temperature measurement)

5.6.1 रेझिस्टन्स टेम्परेचर डिटेक्टर (Resistance Temperature Detector - RTD):

- रेझिस्टन्स टेम्परेचर डिटेक्टर (Resistance Temperature Detector - RTD) हे पॉझिटिव्ह टेम्परेचर कोइफिसिएंट थर्मिस्टर (Positive Temperature Coefficient) या तत्वावर काम करते, म्हणजे तापमान वाढले की, थर्मामीटरने दिलेला रेझिस्टन्सही वाढतो.
- प्लॅटिनम (Platinum) आणि लोखंडी (iron) धातूच्या वायरचे (wires) प्रतिरोधक रेसिस्टिव्ह एलिमेंट (resistive element) काचेच्या (glass), सिरेमिक (ceramic) किंवा माइकाच्या (mica) इलेक्ट्रीकल इन्सुलेटिंग सपोर्ट (electrically insulating support) मध्ये ठेवला जातो, सर्किटरीला (circuit) जोडायला रेसिस्टिव्ह एलिमेंट (resistive element) मधून वायर (wires) बाहेर काढल्या जातात.

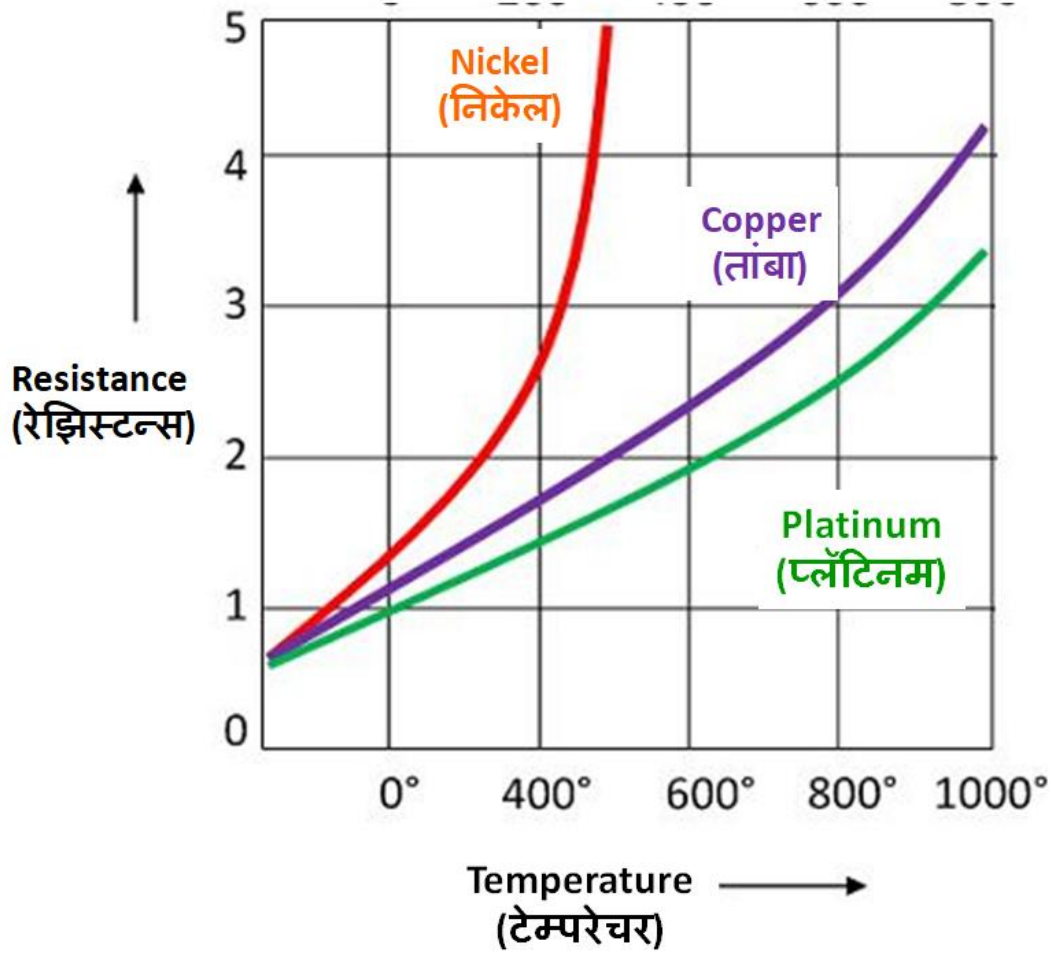
➤ आर.टी.डी. चे रचनात्मक आकृती (Construction of RTD):

- खालील आकृती रेझिस्टन्स टेम्परेचर डिटेक्टरचे (Resistance Temperature Detector - RTD) रचनात्मक आकृती दर्शवते.



आकृती 5.6.1.1 रेझिस्टन्स टेम्परेचर डिटेक्टरची रचनात्मक आकृती
(Construction of Resistance Temperature Detector - RTD)

- येथे रेसिस्टिव्ह एलिमेंट (resistive element) व्हीटस्टोन ब्रिजला (wheatstone bridge) जोडलेला आहे.
- रेसिस्टिव्ह एलिमेंट (resistive element) आणि कनेक्शन लीड्स (connection leads) एका शीथ (sheath) ने संरक्षित (protect) केले जातात.
- कॉइलमधून थोड्या प्रमाणात करंट (current) सतत जात असतो. जसजसे तापमान बदलते तसतसे कॉइलचा रेझिस्टन्स (resistance) बदलतो जो व्हीटस्टोन ब्रिजवर (wheatstone bridge) आढळतो.
- आर.टी.डी. (RTD) सामान्यतः प्लॅटिनम (Platinum), निकेल (Nickel) किंवा कॉपर (Copper) पासून बनविलेले असतात.
- आर.टी.डी. (RTD) मध्ये बहुधा, प्लॅटिनमचा (Platinum) वापर केला जातो कारण त्याची स्थिरता (stability) जास्त असते आणि ते उच्च तापमानाला (high temperature) सहन करू शकते. या धातूचा टेम्परेचर विरुद्ध रेझिस्टन्स ग्राफ खालील आकृतीमध्ये दर्शविला आहे.



आकृती 5.6.1.2 टेम्परेचर विरुद्ध रेझिस्टन्स ग्राफ
(Resistance vs Temperature graph)

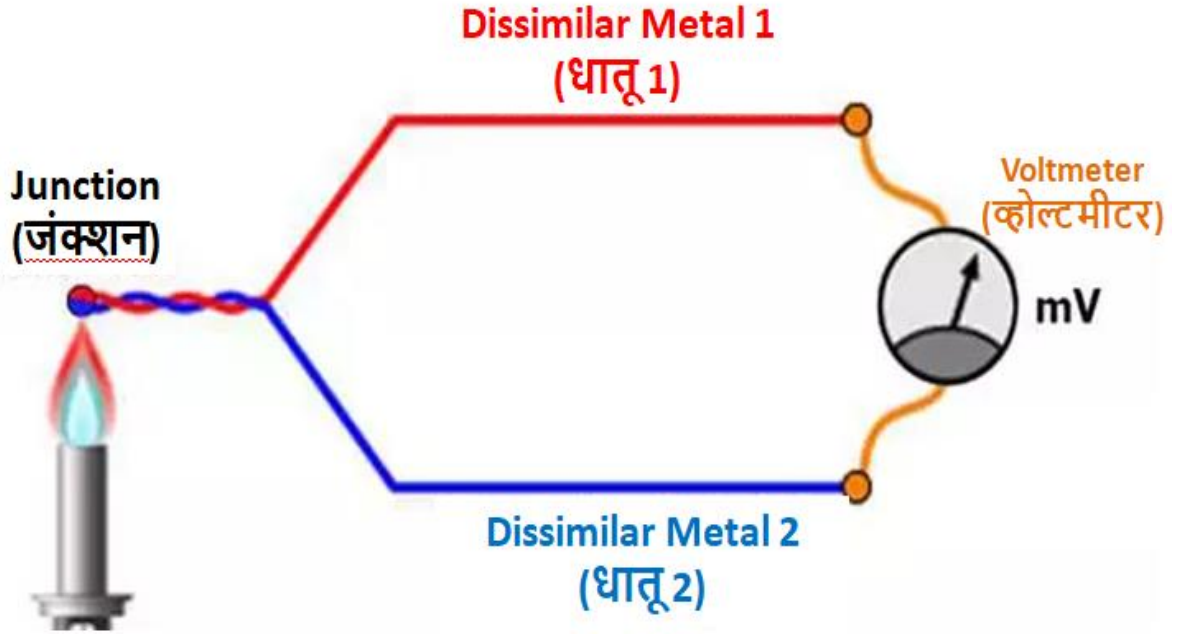
➤ **आर.टी.डी (RTD) चे कार्य तत्त्व (Working of RTD):**

- जेव्हा धातूचे तापमान वाढते तेव्हा करंटचा रेसिस्टन्स देखील वाढतो.
- सेन्सरमधून करंट पार केला जातो, त्यामधून जात असलेल्या रेसिस्टन्स मोजण्यासाठी रेसिस्टिव्ह एलिमेंट (resistive element) वापरला जातो.
- रेसिस्टिव्ह एलिमेंटचे (resistive element) तापमान वाढल्याने रेसिस्टन्स देखील वाढते.
- रेसिस्टन्स ओहममध्ये (Ohm) मोजला जातो. रेसिस्टन्स व्हॅल्यू नंतर तापमानात कन्व्हर्ट केले जाऊ शकते.

5.6.2 थर्मोकपल (Thermocouple):

➤ **थर्मोकपलचे रचनात्मक आकृती (Construction of Thermocouple):**

- थर्मोकपल हे एक इन्स्ट्रुमेंट आहे जे करंट (current) किंवा इ.एम.एफ. च्या (EMF) स्वरूपात तापमान (temperature) मोजण्यासाठी वापरले जाते.
- खालील आकृतीत दाखवल्याप्रमाणे थर्मोकपलमध्ये वेगवेगळ्या धातूंच्या (dissimilar metals) दोन वायरचा समावेश असतो ज्या टोकांना एकत्र जोडलेल्या असतात.
- वेल्डेड (welded) भाग जंक्शन (junction) तयार करतो जेथे तापमान मोजले जाते. वायरच्या तापमानातील डिफरन्स व्होल्टेजला (voltage) प्रेरित (induce) करतो.



आकृती 5.6.2.1 थर्मोकपलचे रचनात्मक आकृती (Construction of Thermocouple)

➤ थर्मोकपलचे कार्य तत्त्व (Working of Thermocouple):

- थर्मोकपलमध्ये किमान दोन वेगळे धातू (dissimilar metal) एकत्र जोडून दोन जंक्शन (junction) बनतात.
- एक जंक्शन त्या बॉडीशी (body) जोडलेले असते ज्याचे टेम्परेचर (temperature) मोजायचे असते; हे गरम किंवा मोजण्याचे जंक्शन (hot or measuring junction) आहे.
- दुसरे जंक्शन ज्ञात टेम्परेचरच्या (known temperature) बॉडीशी (body) जोडलेले असते; हे थंड किंवा रेफरन्स जंक्शन (cold or reference junction) आहे.
- म्हणून थर्मोकपल इतर बॉडीच्या ज्ञात टेम्परेचरच्या (known temperature) संदर्भात बॉडीचे अननोन टेम्परेचर (unknown temperature) मोजते.

➤ थर्मोकपलचे कार्य सिद्धांत (Working Principle of Thermocouple):

थर्मोकपलचे कार्य तत्त्व (working principle) सीबेक (Seebeck), पेल्टियर (Peltier) आणि थॉमसन (Thomson) यांनी शोधलेल्या तीन प्रभावांवर (effects) आधारित आहे. ते खालीलप्रमाणे आहेत.

- 1) **सीबेक इफेक्ट (Seebeck Effect):** सीबेक इफेक्ट असे सांगतो की जेव्हा दोन भिन्न किंवा विपरीत धातू (two different or unlike metals) दोन जंक्शनवर (junction) एकत्र जोडले जातात तेव्हा दोन जंक्शनवर इलेक्ट्रोमोटिव्ह फोर्स (electro motive force EMF) तयार होते. धातूंच्या वेगवेगळ्या संयोगांसाठी (combinations) इ.एम.एफ. (EMF) प्रमाण वेगळे असते.
- 2) **पेल्टियर इफेक्ट:** पेल्टियर इफेक्ट नुसार, जेव्हा दोन भिन्न धातू (dissimilar metals) एकत्र जोडून दोन जंक्शन बनवतात तेव्हा सर्किटच्या दोन जंक्शनच्या भिन्न तापमानामुळे सर्किटमध्ये (circuit) इ.एम.एफ. (EMF) तयार होतो.
- 3) **थॉमसन इफेक्ट:** थॉमसन इफेक्ट नुसार, जेव्हा दोन विपरीत धातू (unlike metals) एकत्र जोडून दोन जंक्शन बनवतात, तेव्हा सर्किटमधील कंडक्टरच्या संपूर्ण लांबीसह तापमान ग्रेडियंटमुळे (gradient) सर्किटमध्ये पोटेंशियल डिफरन्स (potential difference) तयार होतो.

➤ **थर्मोकपलचे प्रकार (Types of Thermocouples):**

क्र.	प्रकार	धातू संयोजन	टेम्परेचर रेंज (°C)
1	टाईप T	कॉपर – कॉन्स्टंटन (Copper – Constantan)	- 180 to +400 °C
2	टाईप J	आयर्न – कॉन्स्टंटन (Iron – Constantan)	- 180 to +850 °C
3	टाईप E	क्रोमल-कॉन्स्टंटन (Chromel – Constantan)	- 180 to +850 °C
4	टाईप K	क्रोमल - अॅल्युमेल (Chromel – Alumel)	-200 to +1300 °C
5	टाईप S	प्लॅटिनम - प्लॅटिनम / 10% रोडियम (Platinum - Platinum / 10% Rhodium)	-0 to +1400 °C
6	टाईप R	प्लॅटिनम - प्लॅटिनम / 10% रोडियम (Platinum - Platinum / 13% Rhodium)	-0 to +1600 °C

स्व-अध्ययन (Exercise):

- 1) लॅमिनार आणि टर्ब्युलेंट फ्लोची व्याख्या करा.
- 2) रोटामीटरचे (Rotameter) कार्य (working) व्यवस्थित आकृतीसह (diagram) स्पष्ट (Explain) करा.
- 3) डॉपलर अल्ट्रासोनिक फ्लोमीटरचे (Doppler Ultrasonic flow meter) कार्य (working) तत्त्व आकृतीसह स्पष्ट (Explain) करा.
- 4) व्यवस्थित आकृतीसह, कॅपॅसिटन्स लेव्हल मापनाचे (Capacitance Level measurement) कार्य (working) स्पष्ट (Explain) करा.
- 5) न्यूक्लियर रेडिएशन प्रकार (Nuclear radiation type) आणि प्रचंड अल्ट्रासोनिक लेव्हल मापनाची (Ultrasonic level measurement) तुलना (Compare) करा.
- 6) सीबेक (Seebeck) आणि पेल्टियर (Peltier) इफेक्टचे नियम स्पष्ट करा.
- 7) खालील प्रकारच्या थर्मोकपलसाठी (Thermocouple) सामग्री (material) आणि तापमान श्रेणीची (temperature range) नावे द्या: (i) J (ii) K (iii) R (iv) S
- 8) व्यवस्थित आकृतीसह, आर.टी.डी (RTD) चे कार्य (working) स्पष्ट (explain) करा.

संदर्भग्रंथ (Bibliography):

- 1) Electrical and Electronic Measurement and Instrumentation by A.K.Sawhney.
- 2) Electronics and Electrical Measurements and Instrumentation by J.B.Gupta.
- 3) Electrical and Electronic Measurement and Instrumentation by R.K.Rajput
- 4) Principles of Industrial Instrumentation by Patranabis D.

माहिती संकेतस्थळ (Information Websites):

- 1) <https://www.instrumentationtoday.com/ultrasonic-flowmeter/2013/01/>
- 2) https://instrumentationtools.com/types-level-measurement/#google_vignette
- 3) <https://circuitglobe.com/temperature-transducer.html>
