



महाराष्ट्र राज्य तंत्रशिक्षण मंडळ, मुंबई

(स्वायत्त) (ISO 21001:2018) (ISO/IEC 27001:2013)

अभियांत्रिकी आणि तंत्रज्ञान पदविका

शिक्षण पुस्तिका
(Learning Material)

Switchgear & Protection
(315334)

K Scheme

स्विचगिअर आणि प्रोटेक्शन

विद्युत अभियांत्रिकी गट
(के -स्कीम)

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

शिक्षण पुस्तिका
(Learning Material)

स्विचगिअर आणि प्रोटेक्शन

Switchgear & Protection

(315334)

विद्युत अभियांत्रिकी गट

(के-स्कीम)

K-Scheme

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



महाराष्ट्र राज्य तंत्रशिक्षण मंडळ, मुंबई
(स्वायत्त) (ISO 21001:2018) (ISO/IEC 27001:2013)

स्विचगिअर आणि प्रोटेक्शन Switchgear & Protection (315334)

मार्गदर्शक

डॉ.संजय वसंत भंगाळे
विभाग प्रमुख, विद्युत अभियांत्रिकी

प्रकल्प समन्वयक

सौ. राजश्री पाटील
विभाग प्रमुख, विद्युत अभियांत्रिकी

संकलक

सौ. सुरभी श्रॉफ
व्याख्याता, विद्युत अभियांत्रिकी

सौ. जयश्री रुद्रकंठवार
व्याख्याता, विद्युत अभियांत्रिकी

सौ. रश्मी पाटील
व्याख्याता, विद्युत अभियांत्रिकी



महाराष्ट्र राज्य तंत्र शिक्षण मंडळ.

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

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

दूरध्वनी क्र.: ०२२-६२५४२१०० / १५३ / १७०

email : director@msbte.com

web site : www.msbte.ac.in



प्रास्ताविक

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

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

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

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

(डॉ. प्रमोद नाईक)

संचालक

म. रा. तंत्र शिक्षण मंडळ, मुंबई

अनुक्रमणिका

अ.क्र.	युनिटचे नाव	पृष्ठ क्रमांक
1	फंडामेंटल्स ऑफ प्रोटेक्शन (Fundamentals of Protection)	1
2	सर्किट इंटरप्टिंग डिव्हिसेस (Circuit Interrupting Devices)	10
3	प्रोटेक्टिव्ह रिले (Protective Relays)	30
4	अल्टरनेटर, मोटर्स, ट्रान्सफॉर्मर, बसबार आणि ट्रान्समिशन लाईन्सचे प्रोटेक्शन (Protection of Alternators, Motors, Transformers, Busbars and Transmission lines)	44

युनिट - 1

फंडामेंटल्स ऑफ प्रोटेक्शन

(Fundamentals of Protection)

विषय निष्पत्ती (Course Outcomes) (CO)

पॉवर सिस्टममध्ये होणाऱ्या विविध प्रकारचे फॉल्ट ओळखा.

(Recognize the different types of faults occurring in power system)

विषय निष्पत्ती बरोबर जुळणारी थिअरी लर्निंग निष्पत्ती (Theory Learning Outcomes (TLO)

Aligned to Course Outcomes (CO))

1.1 प्रोटेक्टिव्ह सिस्टमच्या दिलेल्या घटकांचे कार्य वर्णन करा

(Describe the functions of the given elements of the protective system)

1.2 पॉवर सिस्टममधील दिलेल्या प्रकारांचे फॉल्ट आणि अॅबनॉर्मलीटीस स्पष्ट करा

(Explain with sketches the given types of faults and abnormalities in a power system)

1.3 दिलेल्या प्रोटेक्शन झोन साठी बॅकअप प्रोटेक्शनची संकल्पना स्केचेससह समजावून सांगा

(Explain with sketches the concept of the Backup protection for the given protection zone)

1.4 दिलेल्या जनरेटरसाठी सिमेट्रिकल फॉल्टची शॉर्ट सर्किट करंट गणना करा

(Calculate the short circuit currents of symmetrical faults for the given generators)

1.5 दिलेल्या परिस्थितीसाठी योग्य करंट लिमिटिंग रिऐक्टर निवडा

(Select suitable current limiting reactors for the given situation with justification)

1.1 प्रोटेक्टिव्ह सिस्टम : आवश्यकता, कार्ये आणि घटक (Protective system: Necessity, functions and components)

1.1.1 प्रोटेक्टिव्ह सिस्टमचे आवश्यकता (Necessity Of Protective System)

पॉवर सिस्टम मध्ये जनरेटर, ट्रान्सफॉर्मर्स, ट्रान्समिशन आणि डिस्ट्रिब्युशन लाईन्स इत्यादी असतात. शॉर्ट सर्किट्स आणि इतर असामान्य परिस्थिती बऱ्याचदा पॉवर सिस्टमवर उद्भवतात. पॉवर सिस्टमच्या प्रत्येक विभागाच्या प्रोटेक्शनसाठी योग्य प्रोटेक्टिव्ह रिले आणि सर्किट ब्रेकर प्रदान न केल्यास हेवी शॉर्ट सर्किट करंटमुळे उपकरणांचे नुकसान होण्याची शक्यता असते.

जर पॉवर सिस्टीमच्या एखाद्या घटकात बिघाड झाला, तर सिस्टमचा निरोगी भाग सामान्य ऑपरेशनमध्ये ठेवण्यासाठी फॉल्ट घटक शक्य तितक्या लवकर वेगळा करण्यासाठी एक स्वयंचलित प्रोटेक्टिव्ह इकव्हीपमेंट्स आवश्यक आहे.

जर एखाद्या सिस्टीममध्ये शॉर्ट सर्किट जास्त काळ चालू राहिला तर त्यामुळे सिस्टीमच्या काही महत्वाच्या भागांना नुकसान होऊ शकते. हेवी शॉर्ट सर्किटमुळे आग लागू शकते. ते प्रणालीमध्ये पसरू शकते आणि त्याच्या एका भागाचे नुकसान करू शकते. सिस्टम व्होल्टेज कमी होऊ शकतो आणि पॉवर स्टेशनमधील जनरेटर किंवा वेगवेगळ्या पॉवर स्टेशनमधील जनरेटरच्या गटांमध्ये सिंक्रोनिझम कमी होऊ शकतो. अशाप्रकारे हेवी शॉर्ट सर्किट करंटमुळे सिस्टम पूर्णपणे बिघडू शकते, म्हणून पॉवर सिस्टम नेटवर्कमध्ये विविध स्विचगियर इकव्हीपमेंट्स (switchgear equipment's) जोडले असते.

1.1.2 प्रोटेक्टिव्ह सिस्टमचे कार्ये (Functions Of Protective System)

शॉर्ट सर्किटमुळे सफॉल्ट (faulty) भाग डिस्कनेक्ट करणे किंवा असामान्य परिस्थितीत सर्किट डिस्कनेक्ट करणे हे प्रोटेक्टिव्ह सिस्टमचे कार्य आहे ज्यामुळे उर्वरित उर्जा प्रणालीचे नुकसान होऊ शकते. या हेतूसाठी रिले वापरली जातात. करंट ट्रान्सफॉर्मर (C.T)मधून येणारा फॉल्ट करंट रिले ओळखतो आणि ट्रिप कॉइलला एनर्जी देतो ज्यामुळे विशिष्ट सिस्टमचा सर्किट ब्रेकर (C. B.) उघडतो आणि सफॉल्ट (faulty) भाग डिस्कनेक्ट होतो.

प्रोटेक्टिव्ह सिस्टमचे दुसरे कार्य म्हणजे फॉल्ट चे संकेत(indication), स्थान (location)आणि फॉल्ट चा प्रकार प्रदान करणे.

प्रोटेक्टिव्ह सिस्टमचे मूलभूत आवश्यकता खालीलप्रमाणे आहेत:

a) **सिलेक्टिव्हिटी (Selectivity):** ही प्रोटेक्टिव्ह सिस्टमचे क्षमता आहे जी संकटात असलेल्या सिस्टमच्या भाग योग्यरित्या निवडते आणि उर्वरित सिस्टमला वेगळे ठेवते आणि फॉल्ट पूर्ण भाग डिस्कनेक्ट करते.

- b) **स्पीड(Speed):** विद्युत उपकरणांचे नुकसान टाळण्यासाठी आणि सिस्टम स्थिरतेसाठी रिले सिस्टमने फौलटी भाग शक्य तितक्या लवकर डिस्कनेक्ट केला पाहिजे.
- c) **सेन्सिटिव्हिटी(Sensitivity):** ही रिले सिस्टीमची अॅक्च्युएटिंग क्वांटिटीच्या कमी मूल्यासह ऑपरेट करण्याची क्षमता आहे.
- d) **रिलायबिलिटी (Reliability):** पूर्वनिर्धारित परिस्थितीत(predetermined condition) काम करण्याची रिले सिस्टमची क्षमता.
- e) **सिम्प्लिसिटी(Simplicity):** रिले सिस्टीम सोपी असावी जेणेकरून ती सहज राखता येईल.
- f) **इकॉनॉमी (Economy):** विशिष्ट प्रोटेक्शन योजनेच्या निवडीमध्ये सर्वात महत्वाचा घटक म्हणजे आर्थिक पैलू. प्रोटेक्शनात्मक उपकरणांची किंमत प्रोटेक्शनासाठी असलेल्या उपकरणांच्या एकूण किमतीच्या ५% पेक्षा जास्त नसावी.

1.1.3 प्रोटेक्टिव्ह सिस्टमचे घटक (Protective System Components or Equipment's)

स्विचगियर इक्वीपमेंट्स (switchgear equipment's)

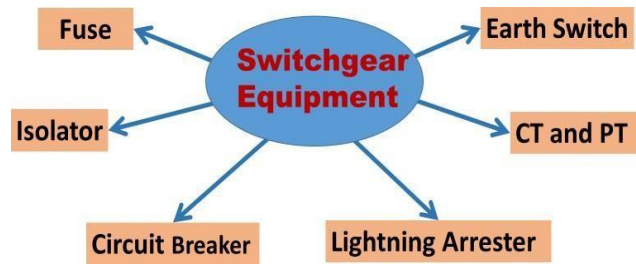
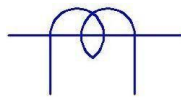
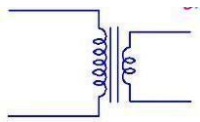


Fig 1.1 switchgear equipment's

Sr. No.	इक्वीपमेंट्स (Equipments)	सिम्बॉल (Symbol)	फांगशन (Function)
1	फ्युज (Fuse)		- घरातील उपकरणांना शॉर्ट सर्किट होण्यापासून वाचवते. - ओव्हरलोडमुळे होणारे नुकसान टाळते.
2	आयसॉलेटर (Isolator)		- वीज स्त्रोतापासून सर्किट वेगळे करणे. - हे लोड नसलेल्या स्थितीत वापरतात.
3	सर्किट ब्रेकर (Circuit Breaker)		- जास्त विद्युत करंटामुळे होणाऱ्या नुकसानापासून प्रोटेक्शन करते. - फॉल्ट शोधल्यानंतर विद्युत करंटात इंटरप्ट करते. - सामान्य आणि असामान्य स्थितीत स्विचिंग.
4	लायटनिंग अरेस्टर (Lightning arrester)		- विजेमुळे होणाऱ्या नुकसानापासून प्रोटेक्शन करते. - हाय वोल्टेज ग्राउंडला डायव्हर्ट करणे

5	अर्थिंग स्वीच (Earthing Switch)		1. वोल्टेज ला डिस्चार्ज करणे.
6	करंट ट्रान्सफॉर्मर (Current Transformer)		1. करंट ला स्टेप डाउन करणे
7	पॉटेन्शियल ट्रान्सफॉर्मर (Potential Transformer)		1. वोल्टेज ला स्टेप डाउन करणे

1.2 नॉर्मल अँड अँबनॉर्मल कंडिशन (Normal and Abnormal Condition)

1.2.1 नॉर्मल कंडिशन (Normal Condition)

ही सिस्टम (system) नेटवर्कची अशी स्थिती आहे ज्यामध्ये सर्किटमधून सामान्यपेक्षा कमी आणि सामान्य विद्युत करंट वाहतो आणि फ्रिक्वेन्सी (frequency) स्थिर राहते. करंट इतर इच्छित मार्गाकडे किंवा ग्राउंडकडे वळवला जात नाही. सिस्टम कोणत्याही अडथळ्या (disturbance) शिवाय काम करते. थ्री फेज व्होल्टेज बॅलेन्स असणे आवश्यक आहे आणि फेज डिस्प्लेसमेंट (displacement) 120 अंश (degree) असणे आवश्यक आहे. लाईन्स मधील सर्व व्होल्टेज समान (equal) आणि सममितीय (symmetrical) असतात.

1.2.2 अँबनॉर्मल कंडिशन (Abnormal Condition)

पॉवर सिस्टममध्ये, फॉल्ट म्हणजे असा डिफेक्ट (defect) ज्यामुळे विद्युत करंट असामान्य होतो. फॉल्ट दरम्यान फॉल्ट इम्पीडन्स कमी होतो, फॉल्ट करंट तुलनेने जास्त होतो आणि थ्री फेज व्होल्टेज असंतुलित होते. फॉल्ट करंट जास्त असल्याने ते उपकरणे आणि पुरवठा स्थापनेचे (supply installation) नुकसान करू शकतात. फॉल्ट दरम्यान वीज सफॉल्ट भागांकडे (faulty parts) वळवली जाते आणि शेजारच्या झोनचा पुरवठा प्रभावित होतो, व्होल्टेज असंतुलित (Unsymmetrical) होते. सिस्टम डिझाइन आणि उपकरणांची गुणवत्ता सुधारून फॉल्ट कमी करता येतो.

1.3 फॉल्ट प्रकार आणि त्यांची कारणे (Types of faults and their causes)

फॉल्ट-

फॉल्ट म्हणजे विद्युत सर्किटमधील डिफेक्टस ज्यामुळे विद्युत करंट इच्छित मार्गावरून वळवला जातो.

फॉल्टचे प्रकार (Types of Fault)-

फॉल्टचे दोन वर्गीकरण (classification) आहेत

- सिमेट्रिकल फॉल्ट (Symmetrical fault)
- अनसिमेट्रिकल फॉल्ट (Unsymmetrical Fault)

सिमेट्रिकल फॉल्ट- थ्री फेज (3-phase) फॉल्टला सिमेट्रिकल प्रकारचा फॉल्ट म्हणतात. 3-phase फॉल्टमध्ये, सर्व तीनही फेज शॉर्ट सर्किट होतात. या फॉल्टचे दोन परिस्थिती असू शकतात थ्री फेज ग्राउंड शॉर्ट सर्किट होऊ शकतात किंवा ग्राउंडचा समावेश न करता शॉर्ट सर्किट होऊ शकतात. सिस्टम फॉल्ट लेव्हल निश्चित करण्यासाठी थ्री फेज शॉर्ट सर्किट फॉल्टला स्टँडर्ड (standard) फॉल्ट मानले जाते.

सिमेट्रिकल फॉल्ट मुळे सिमेट्रिकल फॉल्ट करंट निर्माण होतात जे एकमेकांना 120 अंशांनी विस्थापित (displaced) होतात. सिमेट्रिकल फॉल्टला ब्यलेन्सड (Balanced) फॉल्ट असेही म्हणतात. जेव्हा तिन्ही फेज एकाच वेळी शॉर्ट सर्किट होतात तेव्हा हा फॉल्ट उद्भवतो. सिमेट्रिकल फॉल्ट मध्ये लाईन ते लाईन ते लाईन (L-L-L) आणि लाईन ते लाईन ते लाईन ते ग्राउंड (L-L-L-G) यांचा समावेश होतो.

अनसिमेट्रिकल फॉल्ट- पॉवर सिस्टम नेटवर्कमध्ये आढळणारे सर्वात सामान्य फॉल्ट म्हणजे अनसिमेट्रिकल फॉल्ट. या प्रकारच्या फॉल्ट मुळे अनसिमेट्रिकल फॉल्ट करंट निर्माण होतात (ज्याचे आकारमान (magnitude) वेगवेगळे असते)

आणि फेज डिस्प्लेसमेंट (displacement) असमान असते). या फॉल्टला अनबॅलन्सड (unbalanced) फॉल्ट असेही म्हणतात कारण त्यामुळे सिस्टममध्ये असंतुलित करंट निर्माण होतात.

अनसिमेट्रिकल फॉल्ट मध्ये सिंगल-फेज ते ग्राउंड, दोन-फेज ते ग्राउंड, फेज ते फेज शॉर्ट सर्किट, एक-फेज ओपन सर्किट आणि दोन-फेज ओपन सर्किट यांचा समावेश होतो.

फॉल्टचे कारणे (Causes of Fault)

1. डायरेक्ट लाइटनिंग स्ट्रोक (Direct lightning stroke) पडल्यामुळे व्होल्टेज वाढत.
2. स्विचिंग सर्जमुळे (Switching surge) व्होल्टेज वाढत.
3. ओव्हरहेड लाईन्स वर पडणाऱ्या बाह्य वाहक वस्तू (external conducting objects).
4. लाईन्स, इन्सुलेटर इत्यादी उघड्या घटकांवर धूळ, घाण इत्यादींचा साठा.
5. थोड्या वेळासाठी देखील थ्री फेज लाईन्सवर जास्त असंतुलित (unbalanced) भारनियमन.
6. ओपन सर्किट किंवा तुटलेले कंडक्टर.
7. पॉवर सिस्टमच्या घटकांना यांत्रिक नुकसान.
8. घटक (Components) आणि उपकरणांच्या भागांचे इन्सुलेशन बिघडणे.

1.4 प्रोटेक्शन झोन आणि बॅकअप प्रोटेक्शन (Protection Zones and Backup Protection)

1.4.1 प्रोटेक्शन झोन (Protection Zone)

पॉवर सिस्टीममध्ये जनरेटर, ट्रान्सफॉर्मर, बस बार, ट्रान्समिशन आणि डिस्ट्रिब्यूशन लाइन इत्यादी असतात. प्रत्येक उपकरणासाठी किंवा पॉवर सिस्टमच्या घटकांसाठी एक स्वतंत्र प्रोटेक्शन योजना आहे, जसे की जनरेटर प्रोटेक्शन, ट्रान्सफॉर्मर प्रोटेक्शन ट्रान्समिशन लाईन प्रोटेक्शन, बस बार प्रोटेक्शन इत्यादी. अशाप्रकारे, प्रोटेक्शनसाठी पॉवर सिस्टम अनेक झोनमध्ये विभागली जाते. प्रोटेक्शन झोनमध्ये पॉवर सिस्टमचे एक किंवा जास्तीत जास्त दोन घटक असतात. प्रोटेक्शन झोन अशा प्रकारे नियोजित केली आहेत की संपूर्ण वीज प्रणाली एकत्रितपणे त्यांच्याद्वारे व्यापली जाते आणि अशा प्रकारे, पॉवर सिस्टमचा कोणताही भाग असुरक्षित राहत नाही. एका सामान्य पॉवर सिस्टमचे विविध प्रोटेक्शन झोन आकृती 1.2 मध्ये दर्शविली आहेत. लगतचे (Adjacent) प्रोटेक्शन झोन एकमेकांवर ओव्हरलॅप असले पाहिजेत. योग्यरित्या प्रोटेक्शन झोन योजनेत ओव्हरलॅपिंग झोनमध्ये फॉल्ट आढळल्यास, सिस्टमच्या फॉल्ट नसलेल्या घटकाला वेगळे करण्यासाठी आवश्यक असलेल्या किमान सर्किट ब्रेकरपेक्षा जास्त सर्किट ब्रेकर ट्रिप होतील. तुलनेने कमी प्रमाणात ओव्हरलॅपमुळे या झोनमध्ये फॉल्ट शक्यता कमी होते आणि परिणामी, खूप जास्त ब्रेकर्सचे ट्रिपिंग वारंवार होत नाही.

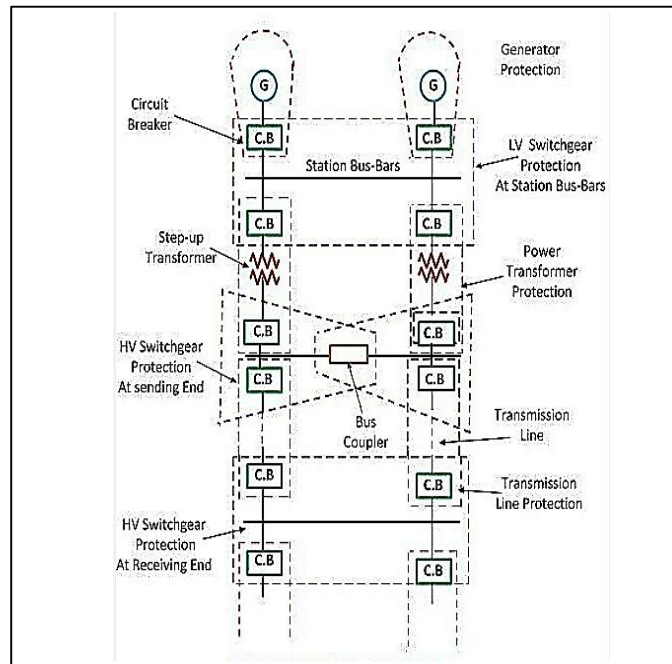


Fig 1.2 Protection zones

Ref: <https://www.eeguide.com/overlapping-zones-of-protection/>

1.4.2 प्राथमरी प्रोटेक्शन (Primary Protection)

प्राथमरी प्रोटेक्शन (Primary Protection) म्हणजे समतुल्य(equivalent)/मशीन किंवा पॉवर सिस्टमच्या भागाचे प्रोटेक्शन करण्यासाठी प्रदान केलेले आवश्यक प्रोटेक्शन.

मुख्य प्रोटेक्शन किंवा प्राथमिक प्रोटेक्शन हे सर्किट विभाग किंवा घटकाच्या सीमेतील दोषांवर त्वरित कारवाई प्रदान करते आणि ते संरक्षित करते. विद्युत स्थापनेच्या प्रत्येक विभागात मुख्य प्रोटेक्शन प्रदान केले जाते. रिले, ऑक्झिलरी रिले करंट ट्रान्सफॉर्मर, पीटी, ट्रिप सर्किट, सर्किट-ब्रेकर इत्यादी संरक्षक प्रणालीतील घटकांपैकी एकाच्या बिघाडामुळे मुख्य प्रोटेक्शन अयशस्वी होऊ शकते. जर प्राथमिक प्रोटेक्शन अयशस्वी झाले तर बॅक-अप प्रोटेक्शन असणे आवश्यक आहे, अन्यथा, फॉल्ट अस्पष्ट राहू शकतो

1.4.3 बॅकअप प्रोटेक्शन (Backup protection)

जर काही कारणास्तव, मुख्य प्रोटेक्शन अयशस्वी झाले, तर बॅक-अप प्रोटेक्शन प्रोटेक्शनाचा उद्देश पूर्ण करते. जेव्हा देखभाल, चाचणी इत्यादी कारणांसाठी मुख्य प्रोटेक्शन निष्क्रिय(inoperative) केले जाते तेव्हा बॅक-अप प्रोटेक्शन मुख्य प्रोटेक्शनासारखे कार्य करते.

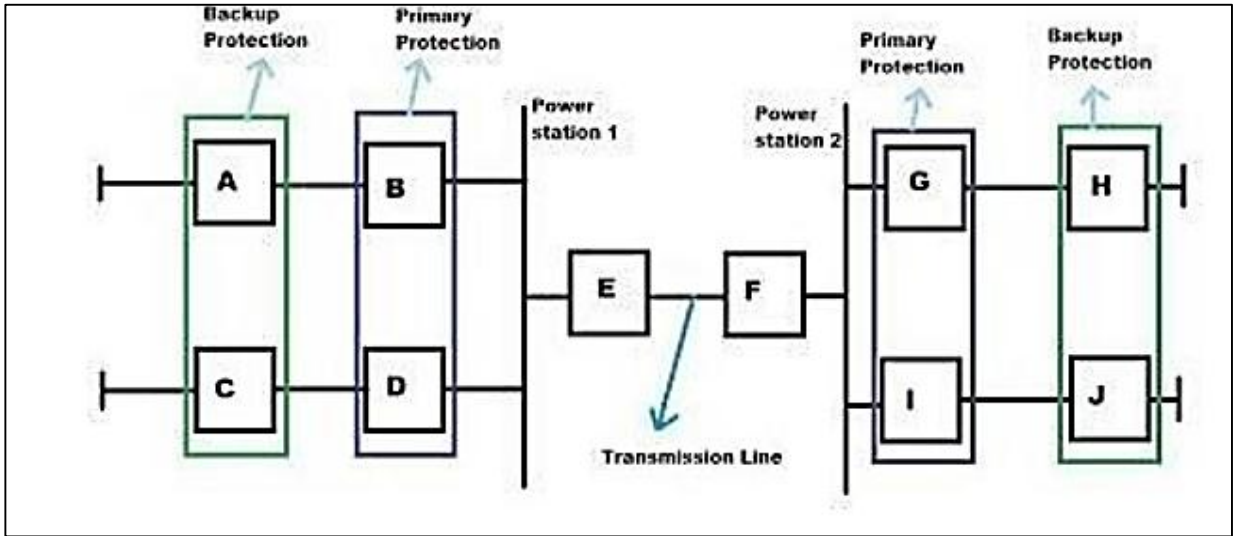


Fig 1.3. Primary protection and Backup protection

1.5 बसबार वरील शॉर्ट सर्किट सिमेट्रिकल फॉल्ट कॅल्कुलेशन (Short circuit fault calculations for symmetrical fault on bus bars fed through generators)

2. सिमेट्रिकल फॉल्ट चे स्टेपवाईस प्रोसिजर (Stepwise procedure for symmetrical fault calculation)

- संपूर्ण नेटवर्कचा एक रेखीय (Single line) आकृती काढा ज्यामध्ये नेटवर्कच्या प्रत्येक घटकाचे रेटिंग, व्होल्टेज आणि पर्सेंटेज रिअॅक्टन्स दर्शविली जाईल.
- बेस kVA चे संख्यात्मकदृष्ट्या सोयीस्कर मूल्य निवडा आणि सर्व % रिअॅक्टन्स बेस मूल्यात रूपांतरित करा.
- नेटवर्कच्या सिंगल लाईन आकृतीशी सुसंगत, सिस्टमचा एक टप्पा आणि न्यूट्रल दर्शविणारा रिअॅक्टन्स आकृती काढा. रिअॅक्टन्स आकृतीमध्ये बेस kVA वरील % रिअॅक्टन्स दर्शवा. सिस्टममधील ट्रान्सफॉर्मर हा मालिकेतील रिअॅक्टन्सने दर्शविला पाहिजे.
- नेटवर्कची फॉल्ट पॉइंटपर्यंतची एकूण % रिअॅक्टन्स शोधा.
- निवडलेल्या बेस kVA आणि फॉल्ट पॉइंटवरील सामान्य सिस्टम व्होल्टेजशी संबंधित फुल लोडकरंट शोधा.
- शॉर्ट सर्किट करंट आणि शॉर्ट सर्किट kVA शोधा.

शॉर्ट सर्किट करंट,

$$I_{SC} = I \times \frac{100}{\%X}$$

शॉर्ट सर्किट kVA,

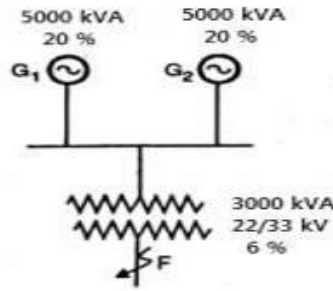
$$Base\ kVA \times \frac{100}{\%X}$$

न्यूमरिकल ऑन

fault calculation)

शॉर्ट सर्किट फॉल्ट कॅल्कुलेशन (Numericals on short circuit

1. दोन 11kV, 3 फेज, 5000kVA जनरेटर जे 20 % रिऐक्टन्स असलेले आहेत ते समांतरपणे काम करतात (operate in parallel). 22kV/33kV रेशो असलेल्या 6% रिऐक्टन्स असलेल्या 3000kVA ट्रान्सफॉर्मरमधून ट्रान्समिशन लाईनला जनरेटर वीज पुरवतो. ट्रान्सफॉर्मरच्या एच.टी. बाजूला फॉल्ट केव्हीए मोजा.



Ans: Assume base KVA = 5000 KVA

% रिऐक्टन्स related to base KVA

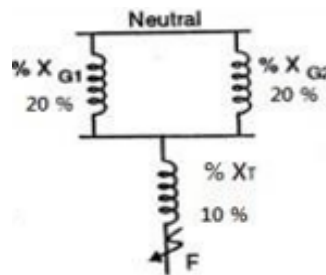
% X = (Base KVA / Rated KVA) x % रिऐक्टन्स on Rated KVA

$$X_{G1} = (5000/5000) \times 20\%$$

$$= 20\%$$

$$\text{Similarly, } X_{G2} = 20\% \quad X_T = (5000/3000) \times 6$$

$$= 10\%$$



For Fault F (HT side)

Total रिऐक्टन्स is %X = ($X_{G1} \parallel X_{G2}$) + X_T

$$= (20 \parallel 20) + 10$$

$$= 10 + 10$$

$$\% X = 20\%$$

$$\text{Rated current at base KVA } I = (5000 \times 1000) / (\sqrt{3} \times 33 \times 1000)$$

$$I = 87.477 \text{ Amp.}$$

$$ISC = I \times (100 / \% X)$$

$$= 87.477 \times (100 / 20)$$

$$ISC = 437.385 \text{ amp}$$

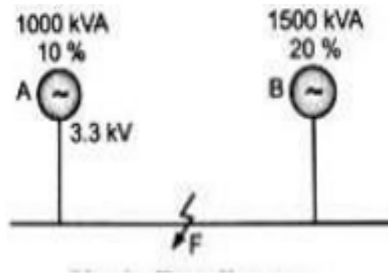
$$\text{S.C. KVA} = \text{Base KVA} \times (100 / \% X)$$

$$= 5000 \times (100 / 20)$$

$$= 25000 \text{ KVA}$$

$$\text{S.C. MVA} = 25 \text{ MVA}$$

2. 1000kVA and 1500kVA, 3.3kV रेटिंग असलेले दोन तीन फेज जनरेटर ज्यांचे रिऐक्टन्स अनुक्रमे 10 आणि 20 % आहे, ते बसबारशी जोडलेले आहेत. बसमध्ये तीन फेज शॉर्ट सर्किट होते. शॉर्ट सर्किट करंट शोधा.



Ans: Assume base kVA = 1500 kVA

% रिऐक्टन्स related to base kVA

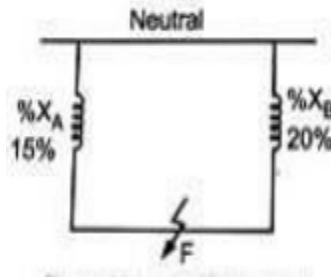
% X = (Base kVA / Rated kVA) x % रिऐक्टन्स on Rated kVA

$X_A = (1500/1000) \times 10\%$

= 15 %

$X_B = (1500/1500) \times 20\%$

= 20 %



For Fault at Bus Total रिऐक्टन्स,

% X = $X_A \parallel X_B$

= 15 $\parallel$ 20

% X = 8.571

Rated current at base kVA = $I = (1500 \times 1000) / (\sqrt{3} \times 3.3 \times 1000)$

$I = 262.431 \text{ amp}$ ISC = $I \times (100 / \% X) = 262.431 \times (100 / 8.571)$

ISC = 3061.848 amp

•S.C. KVA = Base KVA x $(100 / \% X) = 1500 \times (100 / 8.571)$

S.C. KVA = 17,500.87 KVA

1.6 करंट लिमिटिंग रिऐक्टर: गरज, प्रकार, व्यवस्था, तुलनात्मक फायदे आणि तोटे (Current limiting reactor: Need, types, arrangements, comparative advantages and disadvantages)

1.6.1 करंट लिमिटिंग रिऐक्टर (Current Limiting Reactor)

करंट लिमिटिंग रिऐक्टर हा एक सिरीज रिऐक्टर आहे, तो एक इंडक्टिव्ह कॉइल आहे ज्यामध्ये त्याच्या रेझीटन्सच्या तुलनेत जास्त रिऐक्टन्स प्रेरक असते. फॉल्ट परिस्थितीत शॉर्ट सर्किट करंट मर्यादित करण्यासाठी याचा वापर केला जातो. सामान्यतः फॉल्ट स्थितीत सिस्टीमच रिऐक्टन्स कमी असते आणि फॉल्ट करंट धोकादायकपणे उच्च मूल्यांपर्यंत वाढू शकतात. फॉल्ट करंटला CB हाताळू शकणाऱ्या वाजवी परिमाणांपर्यंत मर्यादित करण्यासाठी, अतिरिक्त रिऐक्टन्स असलेले रिऐक्टर्स सिस्टीमसह सिरीज मध्ये जोडले जातात. या रिऐक्टर्स ला करंट लिमिटिंग रिऐक्टर म्हणतात. फीडर, जनरेटर आणि बसबारमध्ये करंट लिमिटिंग रिऐक्टर बसवले जातात.

1.6.2 रिऐक्टर चे प्रकार- (Types of Reactor)

1. जनरेटर रिऐक्टर (Generator Reactor)- जेव्हा करंट लिमिटिंग रिऐक्टर जनरेटरशी सिरीज मध्ये जोडला जातो तेव्हा त्याला जनरेटर रिऐक्टर म्हणतात.

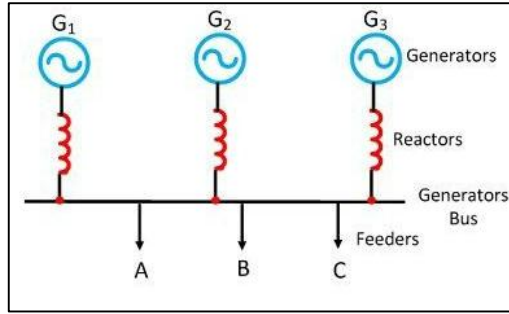


Fig 1.4 Generator Reactor

Ref: <https://circuitglobe.com/current-limiting-reactor.html>

ही सिस्टीम फक्त तेव्हाच स्वीकारली जाते जेव्हा जुने पॉवर स्टेशन नवीन येणाऱ्या मशीनच्या समांतर चालवायचे असते.

2 **फीडर रिअॅक्टर(Feeder Reactor)**-जेव्हा करंट लिमिटिंग रिअॅक्टर फीडरशी सिरीज मध्ये जोडला जातो तेव्हा त्याला फीडर रिअॅक्टर म्हणतात.

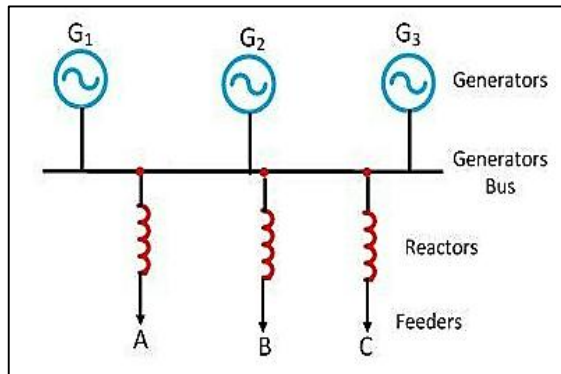


Fig 1.5 Feeder Reactor

Ref: <https://circuitglobe.com/current-limiting-reactor.html>

3. **बसबार रिअॅक्टर(Busbar Reactor)**- बसबारसह सिरीज मध्ये रिअॅक्टर घातल्याने रिअॅक्टर मध्ये होणारे सततचे नुकसान टाळता येते. हे रिअॅक्टरमध्ये सतत व्होल्टेज ड्रॉप आणि सतत पॉवर लॉस देते. बसबार रिअॅक्टरचे दोन प्रकार म्हणजे रिंग सिस्टम आणि टाय-बार सिस्टम.

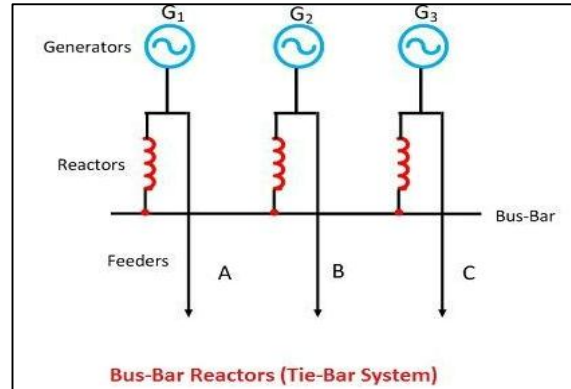
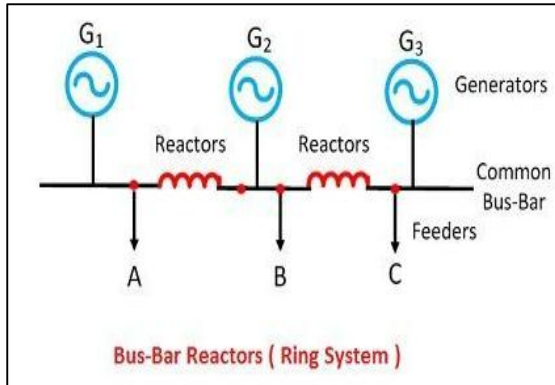


Fig 1.6 Ring System & Tie Bar System

Ref: <https://circuitglobe.com/current-limiting-reactor.html>

1.6.3 करंट लिमिटिंग रिअॅक्टर चे फायदे (Advantages of Current Limiting Reactor)

- ट्रान्सफॉर्मर्स आणि स्विचगियर्सवरील इलेक्ट्रोमॅकेनिकल लोडिंग आणि थर्मल स्ट्रेस कमी करणे.
- फीडरवरील फॉल्ट दरम्यान प्राथमिक बस व्होल्टेजच्या स्थिरतेत सुधारणा.
- लाईन टू लाईन फॉल्ट करंट, लाईन टू ग्राउंड फॉल्टच्या पातळीपेक्षा कमी करणे किंवा उलट करणे.
- डिस्ट्रिब्युशन ट्रान्सफॉर्मर, वीज उपकरणे आणि उपकरणांचे व्होल्टेज ट्रान्झिएंट्सपासून प्रोटेक्शन.
- सिस्टम रेल्याबिलिटी (reliability) वाढ.
- फॉल्ट करंट/शॉर्ट सर्किट करंट नियंत्रित असल्याने योग्य लहान क्षमतेचा सर्किट ब्रेकर सुरक्षितपणे वापरता येतो.
- करंट लिमिटिंग रिअॅक्टर शॉर्ट सर्किटमुळे होणाऱ्या व्होल्टेज डिस्टर्बन्सची तीव्रता(magnitude)कमी करते.

viii) हे फॉल्ट करंटला हेल्दी (healthy) फीडरमध्ये किंवा सिस्टमच्या काही भागांमध्ये जाण्यापासून मर्यादित करते, ज्यामुळे फॉल्ट पसरण्यापासून रोखते.

1.6.4 करंट लिमिटिंग रिअॅक्टर चे नुकसान (Disadvantages of Current Limiting Reactor)

- जेव्हा रिअॅक्टर बसवली जाते, तेव्हा सर्किटची एकूण % रिअॅक्टन्स वाढते.
- यामुळे पॉवर फॅक्टर कमी होतो आणि त्यामुळे रॅग्युलेशन (regulation) खराब होते.

स्वाध्याय (Exercise)

1. बॅकअप प्रोटेक्शन का आवश्यक आहे ते स्पष्ट करा.
2. सर्किट ब्रेकर आणि आयसोलेटरचे चिन्ह काढा आणि त्यांचे कार्य सांगा.
3. करंट लिमिटिंग रिअॅक्टर म्हणजे काय. करंट लिमिटिंग रिअॅक्टरची आवश्यकता स्पष्ट करा.
4. सिमेट्रिकल फॉल्ट आणि अनसिमेट्रिकल फॉल्ट मधील फरक ओळखा.
5. पॉवर सिस्टीममध्ये प्रोटेक्शन झोनचा उद्देश काय आहे?

संदर्भ पाठ्यपुस्तके (Reference Books)

1. Mehta V. K ; Rohit Mehta Principles of Power System S.Chand and Co., New Delhi., 2016 ISBN: 978- 93-5501-077-3
2. Rao.Sunil S. Switchgear and Protection Khanna Publishers, New Delhi, 2015 ISBN: 978-93-87394-72-8
3. Gupta. J. B. Switchgear and Protection S. K. Kataria and Sons, New Delhi, 2015 ISBN: 978-93-5014-372-8.

माहिती संकेतस्थळ (Information Websites)

1. <https://nptel.ac.in/courses/108101039>
2. <https://www.electricaltechnology.org/>

युनिट- 2

सर्किट इंटरपटींग डिक्लिसेस

(Circuit Interrupting Devices)

विषय निष्पत्ती (Course Outcomes) (CO)

वेगवेगळ्या अनुप्रयोगांसाठी योग्य स्विचगियर्स निवडा.

(Select the suitable switchgears for different applications)

विषय निष्पत्ती बरोबर जुळणारी थिअरी लर्निंग निष्पत्ती (Theory Learning Outcomes) (TLO)

Aligned to Course Outcomes (CO))

2.1 दिलेल्या आयसोलेटरच्या रेखाचित्रांसह ऑपरेशन स्पष्ट करा.

(Explain the operation with sketches of the given isolators)

2.2 फ्यूजशी संबंधित दिलेल्या टर्म्स स्केचसह स्पष्ट करा.

(Explain with sketches the given terms related to the specified fuse (s))

2.3 फ्यूजच्या आर्क इंटरप्शन प्रक्रियेशी संबंधित टर्म्स स्पष्ट करा.

(Explain the terms related to arc interruption process of the fuse.)

2.4 दिलेल्या प्रकारच्या सर्किट ब्रेकरमध्ये आर्क फॉर्मेशन, हाय रेझिस्टन्स आणि झिरो करंट इंटरप्शन स्केचसह स्पष्ट करा

(Explain with sketches arc formation, high resistance and zero current interruption in the given type of circuit breaker)

2.5 सर्किटच्या दिलेल्या डेटाच्या आधारे सर्किट इंटरप्शनशी संबंधित टर्म्सची गणना करा.

(Calculate the terms related to circuit interruption based on the given data of the circuit.)

2.6 दिलेल्या सर्किट ब्रेकरच्या स्केचसह ऑपरेशन स्पष्ट करा.

(Explain the operation with sketches of the given circuit breaker(s).)

2.7 दिलेल्या सर्किट इंटरप्टिंग डिक्लिसेसची स्पेसिफाइड (specified) पॅरामीटर्सवर तुलना करा

(Compare the given circuit interrupting devices on the specified parameters.)

2.8 दिलेल्या एप्लिकेशनसाठी योग्य स्विचगियर निवडा आणि त्याचे कारण सांगा.

(Select the relevant switchgear for the given application with justification)

2.9 गॅस इन्सुलेटेड स्विचगियरची सामान्य व्यवस्था वर्णन करा.

(Describe the general arrangement of Gas insulated switchgear)

2.10 दिलेल्या इन्स्टॉलेशन/मशीन इन्सुलेशन कॉर्डिनेशन स्पष्ट करा.

(Explain the Insulation coordination for the given installation/machine.)

2.11 दिलेल्या निकषांवर(criteria) आधारित रिंग मेन युनिट स्विचगियर पॅरामीटर्सचे वर्गीकरण करा.

(Classify the Ring main unit switchgear parameters based on given criteria)

2.1 आयसोलेटर - व्हर्टिकल ब्रेक, हॉरीझॉन्टल ब्रेक आणि पॅटोग्राफ प्रकारासह त्याचे फायदे आणि तोटे

(Isolators- Vertical break, Horizontal break and Pantograph type with its advantages and disadvantages)

आयसोलेटर एक प्रकारचा यांत्रिक स्विच आहे जो आवश्यकतेनुसार इलेक्ट्रिकल सर्किटचा काही भाग वेगळा करण्यासाठी वापरला जातो. आयसोलेटर स्विचचा वापर नो-लोड स्थितीत इलेक्ट्रिकल सर्किट उघडण्यासाठी केला जातो.

2.1.1 आयसोलेटरचे प्रकार-

1. व्हर्टिकल ब्रेक (Vertical Break)

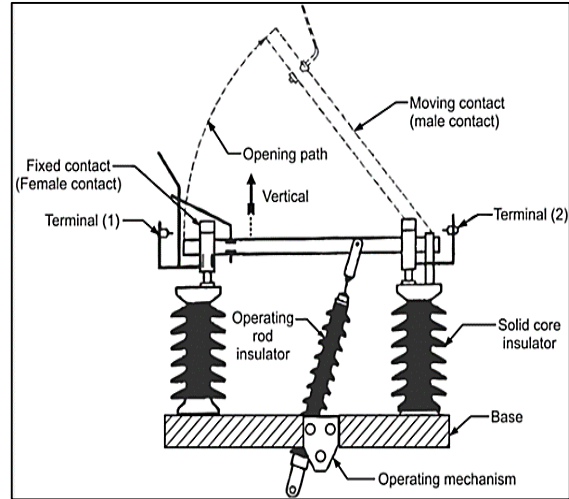


Fig. 2.1 Vertical break Isolator

Ref: https://www.coelme-egic.com/en/prod/22/Vertical-break_%28SHD%26nbsp%3Band_SLOB%29/

- यात इन्सुलेटरचे तीन स्टॅक आणि एक, मुविंग रॉड असते.
- दोन्ही टोकांवरील दोन इन्सुलेटर स्थिर आहेत आणि मधला इन्सुलेटर ऑपरेटिंग रॉड म्हणून काम करतो जो ऑपरेटिंग मेकॅनिझमवर स्थिर असतो.
- मुविंग रॉड एका टोकाला इन्सुलेटरवर बसवलेला असतो आणि एका टोकापासून तो मोकळा फिरू शकतो.
- मुविंग रॉडची हालचाल 90 अंशांनी व्हर्टिकल स्थितीत असते म्हणून इन्सुलेटरला व्हर्टिकल ब्रेक इन्सुलेटर म्हणतात.

2. हॉरीझॉन्टल ब्रेक (Horizontal Break)

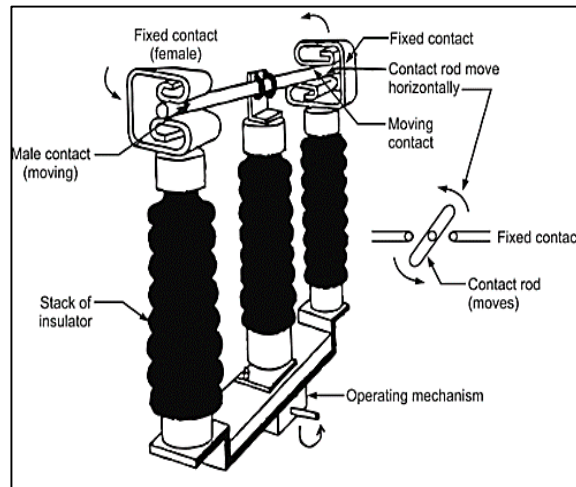


Fig. 2.2 Horizontal break Isolator

Ref: <https://www.justdial.com/jdmart/Bikaner/Horizontal-Double-Break-Type-Isolator/pid-2023589887/9999PX151-X151-140724205913-H3N8>

Ref: <https://electricalworkbook.com/electrical-isolator-disconnector-disconnect-switch/>

- यात इन्सुलेटरचे तीन स्टॅक आणि एक मुविंग रॉड असते. इन्सुलेटरच्या स्टॅकवर धातूचा फिक्स्ड कॉन्टॅक्ट समर्थित(supported) असतो.
- मुविंग रॉड मध्यवर्ती इन्सुलेटिंग सपोर्टशी जोडलेला असतो.
- रॉडची हालचाल 90 अंश हॉरीझॉन्टल आहे आणि त्याचा आधार ऑपरेटरद्वारे मॅन्युअली (manually), इलेक्ट्रिकली (electrically) किंवा न्यूमॅटिकली (pneumatically) केला जाऊ शकतो.
- आयसोलेटर बंद करण्यासाठी आणि उघडण्यासाठी ऑपरेटिंग यंत्रणा फिक्स्ड रॉड पासून विलग करते किंवा जोडते.
- मुविंग रॉड हॉरीझॉन्टली फिरते, म्हणून इन्सुलेटरला हॉरीझॉन्टल ब्रेक आयसोलेटर म्हणतात.
- हि पूर्ण असेंब्ली गॅल्वनाइज्ड स्टील चॅनेल किंवा स्टील फ्रेमवर आधारलेली असते.

3. पॅटोग्राफ आयसोलेटर (Pantograph Isolator)

- पॅटोग्राफ यंत्रणा सपोर्ट इन्सुलेटरवर स्थापित केली जाते. स्प्रिंग एन्क्लोजर हाऊसिंगमध्ये बसवलेले असतात. प्रत्येक पॅटोग्राफमध्ये चार अल्युमिनियम आर्म्स असतात.
- मेन कॉन्टॅक्ट कोपर चे असते. कंडक्टिंग पॅटोग्राफ आर्म बसबार सिस्टीमशी जोडणे आवश्यक असते.
- आयसोलेटर उगडतांना आर्म्स कोलॅप्स(collapse) होतात. बंद स्थितीत, पॅटोग्राफचे वरचे दोन्ही आर्म्स हेड स्टेशन बस बारवर पकड देऊन बंद केले जातात. वरच्या बस बारद्वारे कनेक्टिंग आर्म्सद्वारे खालच्या बस बारवर विद्युत करंट वाहून नेला जातो.

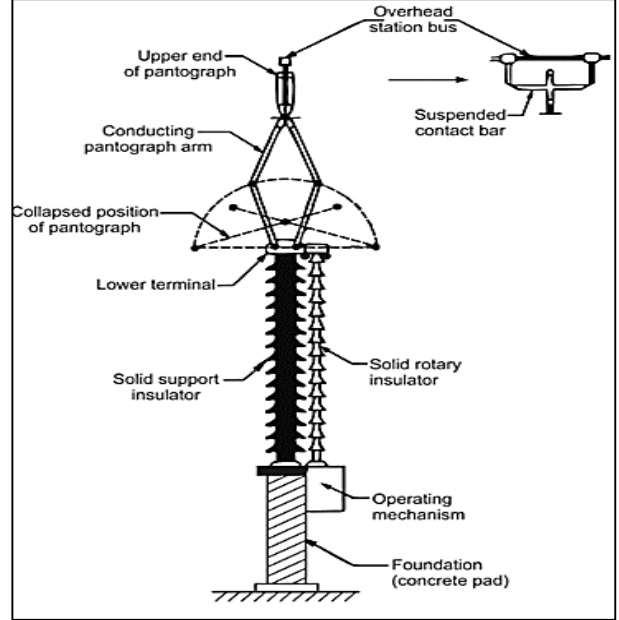


Fig. 2.3 Pantograph Isolator

Ref: https://www.linkedin.com/posts/anup-yadav-ppm%C2%AE-658580262_motorized-isolator-types-applications-advantages-activity-7230419888584974336-J_iS

2.1.2 इलेक्ट्रिकल आयसोलेटरचे फायदे आणि तोटे (Advantages and disadvantages of electrical Isolator)

फायदे (Advantages)

- इलेक्ट्रिकल आयसोलेटर मॅन्युअली वापरण्यास सोपे आहेत.
- सर्किट ब्रेकर्सच्या तुलनेत, आयसोलेटर सोपे आणि स्थापित करणे अधिक परवडणारे आहेत.

तोटे (Disadvantages)

- आयसोलेटर स्विचचा वापर फक्त नो-लोड स्थितीत केला जातो.
- ऑन लोडमध्ये आयसोलेटर उघडल्याने आर्किंग होऊ शकते.

2.2 एचआरसी फ्यूज - कन्स्ट्रक्शन, प्रकार, वर्किंग, इन्व्हर्स टाइम करंट वैशिष्ट्ये (characteristics), फ्यूज घटकाची वैशिष्ट्ये, फ्यूज करंट रेटिंग, मिनिमम फ्यूजिंग करंट, फ्यूजिंग फॅक्टर, प्रोस्पेक्टिव्ह करंट, कट ऑफ करंट. (HRC fuses – Construction, types, working, Inverse time current characteristics, characteristics of fuse element, Fuse current rating, Minimum fusing current, Fusing factor, Prospective current, Cut off Current)

2.2.1 एचआरसी फ्यूज (हाय रपचूरिंग कॅपॅसिटी फ्यूज)- कन्स्ट्रक्शन (HRC (High Rupturing Capacity) Fuse- Construction)

एचआरसी फ्यूजमध्ये प्रामुख्याने हिट रेझिस्टन्स सिरेमिक बॉडी असते. बॉडीच्या आत फ्यूज एलिमेंट्स बसवलेले असतात. फ्यूज एलिमेंट्सचे टोक मेटल एंड कॅप्सशी जोडलेले असतात. करंट वाहून नेणारा फ्यूज एलिमेंट कॉम्पॅक्टली फिलिंग पावडरने भरलेला असतो. अँबनॉर्मल कंडिशन मध्ये जास्त उष्णतेमुळे जेव्हा फ्यूज एलिमेंट उडतो तेव्हा फिलिंग मटेरियल आर्क क्वेंचिंग आणि कूलिंग माध्यम म्हणून काम करते.

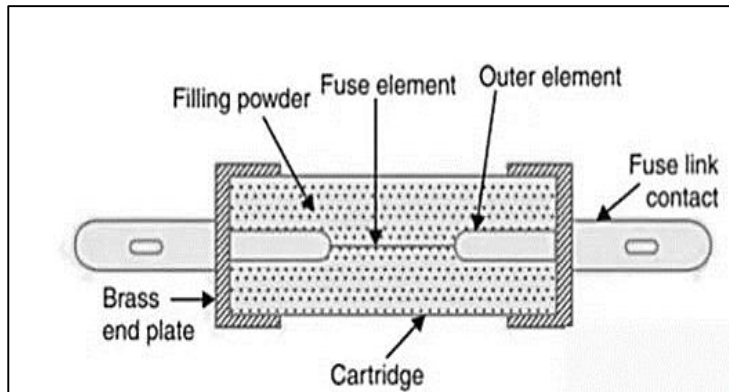


Fig 2.4 HRC fuse

Ref: <https://www.eeguide.com/types-of-fuses/>Ref: <https://www.exportersindia.com/product-detail/hrc-fuse-6140451.html>

2.2.2 एचआरसी फ्यूज – प्रकार

बहुतेक HRC फ्यूज औद्योगिक ॲप्लिकेशनमध्ये वापरण्यासाठी बनवले जातात जिथे केबल्स आणि यंत्रसामग्रींना उच्च व्होल्टेज आणि ॲंपेअर प्रोटेक्शनाची आवश्यकता असते. ग्राहक इलेक्ट्रॉनिक्स किंवा ऑटोमोटिव्ह ॲप्लिकेशनच्या कमी व्होल्टेज / कमी ॲंपेअर आवश्यकतांचे प्रोटेक्शन करण्यासाठी HRC फ्यूजची आवश्यकता नसते. म्हणूनच बहुतेक HRC फ्यूज बहुतेकदा 415V किंवा त्याहून अधिक रेटिंगवर असतात.

काही सर्वात सामान्य HRC फ्यूज प्रकार म्हणजे (Types of HRC Fuse)

- DIN NH ब्लेड फ्यूज,
- ब्रिटिश स्टँडर्ड BS88 फ्यूज आणि
- अमेरिकन किंवा युरोपियन कार्ट्रिज फ्यूज.

Ref: <https://www.youtube.com/watch?v=H5CEOtHKfDw>

2.2.3 एचआरसी फ्यूज (हाय रपचूरिंग कॅपॅसिटी फ्यूज)- वर्किंग (HRC Fuse (High Rupturing capacity) Fuse- working)

नॉर्मल कंडिशन मध्ये फ्यूज घटक त्याच्या वितळण्याच्या बिंदू (melting point) पेक्षा कमी तापमानावर असतो. म्हणून, तो जास्त गरम न होता नॉर्मल करंट वाहून नेतो. जेव्हा फॉल्ट होतो तेव्हा करंट वाढतो आणि निर्माण होणारी उष्णता या घटकांना वितळवण्यासाठी पुरेशी असते. फॉल्ट करंट त्याच्या पहिल्या शिखर मूल्यापर्यंत पोहोचण्यापूर्वी फ्यूज घटक वितळतो. वेपराइस्ड मॅटल फिलिंग पावडरशी रासायनिक (chemically) अभिक्रिया करतात आणि परिणामी हाय रेझिस्टन्स पदार्थ (high resistance substance) तयार होतो जो आर्क क्वेंच (arc quench) करण्यात मदत करतो.

2.2.4 इन्व्हर्स टाइम करंट कॅरक्टरिस्टिक्स ऑफ फ्यूज (Inverse time current characteristics of fuse)

- I^2R द्वारे निर्माण होणाऱ्या उष्णतेमुळे जेव्हा त्याचा घटक (element) वितळतो तेव्हा फ्यूज कार्य करतो, जिथे R म्हणजे फ्यूज रेझिस्टन्स. फ्यूज घटकातून वाहणारा विद्युत करंट वाढल्यास निर्माण होणारी उष्णता वाढते.
- म्हणून, आपण असा निष्कर्ष काढू शकतो की मोठ्या फॉल्ट करंटसाठी फ्यूज घटक जलद वितळेल तर कमी फॉल्ट करंटसाठी थोडा वेळ लागेल.
- फ्यूजचा हा टाइम करंट संबंध फ्यूजची कॅरक्टरिस्टिक्स म्हणून ओळखला जातो आणि विशिष्ट सर्किटसाठी आणि समन्वयासाठी योग्य फ्यूज निवडण्यासाठी खूप उपयुक्त आहे. खालील आकृती 2.5 मध्ये एक सामान्य फ्यूज कॅरक्टरिस्टिक्स दर्शविले आहे.

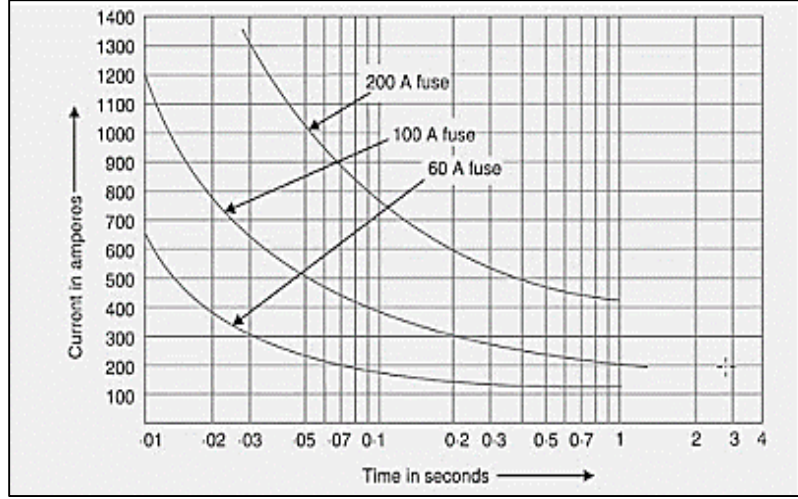


Fig 2.5 Inverse time current characteristics of fuse

Ref: https://www.eeeguide.com/fuses-definition/#google_vignette

2.2.5 फ्यूज घटकाची कॅरक्टरिस्टिक (Characteristics of Fuse Element)

फ्यूजचे कार्य सामान्य करंट ओव्हरहित न होता वाहून नेणे आहे परंतु जेव्हा करंट त्याच्या सामान्य मूल्यापेक्षा जास्त होतो तेव्हा तो वेगाने वितळण्याच्या बिंदूपर्यंत गरम होतो आणि त्याद्वारे संरक्षित सर्किट डिस्कनेक्ट करतो. हे कार्य समाधानकारकपणे पार पाडण्यासाठी, फ्यूज घटकामध्ये खालील इष्ट वैशिष्ट्ये असणे आवश्यक आहे.

- लो मेल्टिंग पॉइंट उद्धरण टिन, लीड इत्यादी.
- हाया कण्डक्टिव्हिटी उद्धरण सिल्वर, कॉपर इत्यादी.
- ऑक्सिडेशनमुळे खराब न होणे.
- कमी किमतीचे उद्धरण टिन, लीड, कॉपर.

2.2.6 महत्वाचे टर्म्स (Important Terms)

1. फ्यूज करंट रेटिंग (Fuse current Rating)

हा तो करंट आहे जो फ्यूज घटक सामान्यतः जास्त गरम न होता किंवा वितळल्याशिवाय वाहून नेऊ शकतो. हे फ्यूज होल्डरच्या संपर्काच्या तापमान वाढीवर, फ्यूज मटेरियलवर अवलंबून असते.

2. मिनिमम फ्यूजिंग करंट (Minimum fusing current)

हा मिनिमम करंट आहे ज्यावर फ्यूज घटक वितळतो आणि अशा प्रकारे त्याद्वारे संरक्षित सर्किट डिस्कनेक्ट करतो.

3. फ्यूजिंग फॅक्टर (Fusing Factor)

फ्यूजिंग फॅक्टर = मिनिमम फ्यूजिंग करंट / फ्यूज घटकाचे करंट रेटिंग.

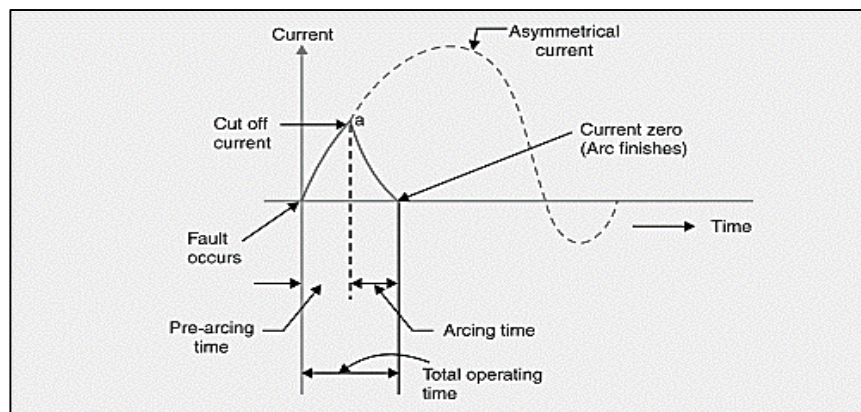


Fig 2.6 AC current

Ref: <https://www.eeeguide.com/fuses-definition/>

4. प्रोस्पेक्टिव्ह करंट (Prospective current)

आकृती 2.6 मध्ये फ्यूजद्वारे एसी करंट कसा कापला जातो हे दाखवले आहे. फॉल्ट करंटमध्ये सामान्यतः खूप मोठा पहिला लूप असतो, परंतु प्रत्यक्षात तो या पहिल्या लूपच्या शिखरावर पोहोचण्यापूर्वीच फ्यूज करण्यायोग्य घटक वितळवण्यासाठी पुरेशी ऊर्जा निर्माण करतो. फॉल्ट करंटच्या पहिल्या लूपचे आर.एम.एस.(RMS) मूल्यला प्रोस्पेक्टिव्ह करंट (म्हणून ओळखले जाते. म्हणून, प्रोस्पेक्टिव्ह करंट खालीलप्रमाणे परिभाषित केला जाऊ शकतो,

जर फ्यूजची जागा नगण्य (negligible) रेझिस्टन्स असलेल्या सामान्य कंडक्टरने घेतली तर मिळणाऱ्या फॉल्ट करंटच्या पहिल्या लूपचे ते आर.एमएस. मूल्य असते.

5. कट ऑफ करंट (Cut off Current)

फ्यूज वितळण्यापूर्वी प्रत्यक्षात पोहोचलेले फॉल्ट करंटचे हे कमाल(maximum) मूल्य आहे.

2.3 फ्यूजच्या आर्क इंटरप्शन प्रक्रियेशी संबंधित टर्म्स- प्री-आर्किंग टाइम, कट ऑफ व्हॅल्यू, आर्किंग टाइम, एकूण ऑपरेटिंग टाइम, प्रोस्पेक्टिव्ह करंट पीक आणि ॲप्लिकेशन (Terms related to Arc interruption process of fuse – pre-arcing time, cut off value, arcing time, total operating time, peak of prospective current and applications)

- प्री-आर्किंग टाइम:** हा फॉल्ट सुरू होण्यापासून ते कटऑफ होण्याच्या क्षणापर्यंतचा टाइम असतो.
- कट ऑफ व्हॅल्यू:** फ्यूज वितळण्यापूर्वी प्रत्यक्षात पोहोचलेले फॉल्ट करंटचे हे कमाल(maximum) मूल्य आहे.
- आर्किंग टाइम:** हा वेळ म्हणजे प्री-आर्किंग टाइम संपण्यापासून ते आर्क विझण्याच्या क्षणापर्यंतचा टाइम.
- एकूण ऑपरेटिंग टाइम:** हे प्री-आर्किंग टाइम आणि आर्किंग टाइम ची बेरीज आहे.
- प्रोस्पेक्टिव्ह करंट पीक:** सर्किटमध्ये फॉल्ट दरम्यान वाहणारा हा सर्वोच्च (highest) करंट आहे, जर तो मर्यादित करण्यासाठी कोणतेही संरक्षक उपकरण (फ्यूजसारखे) उपस्थित नाही असे गृहीत धरले तर.

2.4 आर्क निर्मिती प्रक्रिया, आर्क नष्ट होण्याच्या पद्धती(हाय रेझिस्टन्स आणि लो रेझिस्टन्स (Arc formation process, methods of arc extinction (High resistance and Low resistance).

2.4.1 आर्क निर्मिती प्रक्रिया (Arc formation process):

सामान्यतः बंद स्थितीत कॉन्टॅक्ट (contacts) उच्च दाबाने (high pressure) दाबले जातात. ज्या क्षणी कॉन्टॅक्ट वेगळे होऊ लागतात, त्या क्षणी कॉन्टॅक्ट एरिया वेगाने कमी होते आणि मोठ्या फॉल्ट करंटमुळे करंटची घनता वाढते आणि त्यामुळे तापमान वाढते. संपर्कामधील माध्यमात निर्माण होणारी उष्णता हवेचे आयनीकरण करण्यासाठी किंवा तेलाचे बाष्पीभवन(vaporize) आणि आयोनायझेशन (ionization) करण्यासाठी पुरेशी असते.

आयनीकृत हवा किंवा बाष्प वाहक म्हणून काम करते आणि कॉन्टॅक्टमध्ये एक आर्क निर्माण होतो. कॉन्टॅक्टमधील पी.डी.(potential difference) खूपच कमी असतो आणि आर्क राखण्यासाठी पुरेसा असतो. आर्क कमी रेझिस्टन्स मार्ग प्रदान करतो आणि परिणामी जोपर्यंत आर्क टिकतो तोपर्यंत सर्किटमधील विद्युत करंट अखंड राहतो.

2.4.2 आर्क एक्सटिंग्शन होण्याच्या पद्धती (Methods of Arc Extinction):

1. हाय रेझिस्टन्स (High Resistance)

या पद्धतीमध्ये, आर्क रेझिस्टन्स वेळेनुसार वाढवला जातो जेणेकरून आर्क राखण्यासाठी करंट अपुरा पडतो. परिणामी, विद्युत करंट खंडित होतो किंवा आर्क विझतो. या पद्धतीचा मुख्य तोटा म्हणजे आर्क प्रचंड ऊर्जा विरघळते(dissipate). म्हणून, ते फक्त डी.सी. सर्किट ब्रेकर्स आणि कमी क्षमतेच्या एसी. सर्किट ब्रेकर्समध्ये वापरले जाते.

आर्कचे रेझिस्टन्स वाढवण्याच्या पद्धती,

- लेंथनिंग द आर्क (Lengthening the arc):** आर्क रेझिस्टन्स त्याच्या लांबीच्या थेट प्रमाणात असतो. आर्कची लांबी कॉन्टॅक्ट (contacts) मधले गॅप वाढवून वाढवू शकतो.

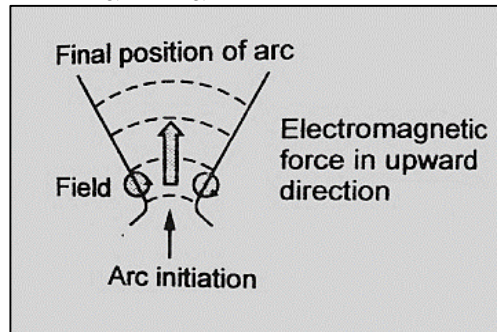


Fig 2.7 Lengthening the arc

Ref: https://www.engineeringa2z.com/arc-extinction-principle-methods/#google_vignette

- कुलिंग द आर्क(cooling the arc):** कुलिंग केल्याने कॉन्टॅक्ट मधील माध्यमाचे डीआयॲन्आयझेशन (deionization) होण्यास मदत होते.

c) **आर्कचे क्रॉस-सेक्शन कमी करणे (Reducing cross sectional area of arc):** जर आर्कच्या क्रॉस-सेक्शनचे क्षेत्रफळ कमी केले तर आर्क राखण्यासाठी आवश्यक असलेला व्होल्टेज वाढतो. दुसऱ्या शब्दांत, आर्क मार्गाचा रेझिस्टन्स वाढते.

d) **स्प्लिटिंग द आर्क (Splitting the arc):** आर्कचा रेझिस्टन्स वाढवण्यासाठी आर्क ला लहान आर्क मध्ये स्प्लिट करतात. या प्रत्येक आर्क वर लेंथनिंग वाढणे आणि कुलिंग होण्याचा परिणाम होतो. कॉन्टॅक्ट मध्ये काही कंडक्टिंग प्लेट्स(conducting plates) घालून आर्क स्प्लिट केला जाऊ शकतो.

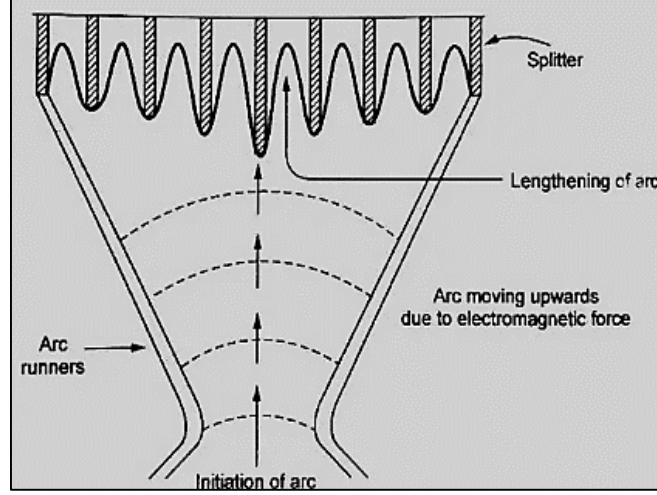


Fig 2.7 Splitting the arc

Ref: <https://studyelectrical.com/2014/05/principles-and-methods-of-arc.html>

2. लो रेझिस्टन्स (Low Resistance)

ही पद्धत एसी सर्किट ब्रेकर्समध्ये वापरली जाते. या पद्धतीत, विद्युत करंट शून्य होईपर्यंत आर्कचे रेझिस्टन्स कमी ठेवला जातो. एसी सिस्टीममध्ये, प्रत्येक अर्धचक्रानंतर (halfcycle) विद्युत करंट शून्यावर येतो. प्रत्येक करंट शून्यावर, आर्क थोड्या क्षणासाठी विझतो. आता संपर्कामधील मिडीयममात आयन आणि इलेक्ट्रॉन असतात म्हणून त्याची डायलेक्ट्रिक शक्ती कमी असते आणि वाढत्या संपर्क व्होल्टेजद्वारे ते सहजपणे तोडता येते ज्याला रिस्ट्रायकिंग व्होल्टेज(Restriking voltage) म्हणतात. जर असा ब्रेकडाउन झाला, तर आर्क दुसऱ्या अर्धचक्रा (another halfcycle) साठी कायम राहील. जर शून्य करंटनंतर लगेचच, संपर्कामधील मिडीयमची डायलेक्ट्रिक शक्ती संपर्कामधील व्होल्टेजपेक्षा अधिक वेगाने तयार झाली, तर आर्करीस्ट्राइक करण्यात अयशस्वी होईल आणि विद्युत करंट खंडित होईल.

एसी आर्क इंटरप्शनची खरी समस्या म्हणजे विद्युत करंट शून्य होताच संपर्कामधील मिडीयमचे जलद डीआयनायझेशन (deionization)करणे.

मिडीयमचे डी-आयनायझेशन याद्वारे साध्य करता येते,

- **लेंथनिंग ऑफ द गॅप (lengthening of the gap):** माध्यमाची डायलेक्ट्रिक शक्ती कॉन्टॅक्ट मधील अंतराच्या लांबीच्या प्रमाणात असते. म्हणून, कॉन्टॅक्ट जलद उघडून, मिडीयमची उच्च डायलेक्ट्रिक शक्ती प्राप्त केली जाऊ शकते.
- **उच्च दाब(High pressure):** जर आर्कच्या परिसरातील दाब (pressure) वाढवला तर आर्कचे निर्माण करणाऱ्या कणांची घनता (density of the particles) देखील वाढते. कणांच्या वाढत्या घनतेमुळे डी-आयनायझेशनचा दर वाढतो आणि परिणामी कॉन्टॅक्टमधील माध्यमाची डायलेक्ट्रिक शक्ती वाढते.
- **कुलिंग(cooling):** जर त्यांना थंड होऊ दिले तर आयनाइस्ड पार्टिकल (ionized particle) नैसर्गिक संयोजन(natural combination) अधिक वेगाने होते.
- **ब्लास्ट इफेक्ट(blast effect):** जर कॉन्टॅक्ट मधील आयनाइस्ड पार्टिकल (ionized particle) वाहून नेले आणि त्याऐवजी अनआयनाइस्ड पार्टिकल (unionized particle) घेतले तर माध्यमाची डायलेक्ट्रिक शक्ती लक्षणीयरीत्या वाढवता येते.

2.5 आर्क व्होल्टेज, रिकव्हरी व्होल्टेज, री-स्ट्रायकिंग व्होल्टेज, रेट ऑफ राईस ऑफ री-स्ट्रायकिंग व्होल्टेज

(Arc voltage, Recovery voltage, Re-striking voltage, Rate of rise of restriking voltage (RRRV))

- **आर्क व्होल्टेज(Arc voltage):** हा व्होल्टेज आहे जो आर्किंग कालावधी दरम्यान सर्किट ब्रेकरच्या कॉन्टॅक्टवर दिसून येतो.

- **रिकव्हरी व्होल्टेज (Recovery voltage):** अंतिम आर्क नष्ट झाल्यानंतर सर्किट ब्रेकरच्या कॉन्टॅक्टवर दिसणारा सामान्य फ्रीक्वेंसी (५० हर्ट्झ) आर.एमएस. व्होल्टेज असतो. हा अंदाजे सिस्टम व्होल्टेजच्या समान असतो.
- **री-स्ट्राइकिंग व्होल्टेज (Re-striking voltage):** आर्किंग कालावधी दरम्यान, हा ट्रांसीएंट व्होल्टेज (transient voltage) आहे जो कॉन्टॅक्टवर करंट शून्यावर किंवा त्याच्या जवळ दिसून येतो.
- **रेट ऑफ राईस ऑफ री-स्ट्राइकिंग व्होल्टेज (Rate of rise of restriking voltage (RRRV)):** हे रेस्ट्राइकिंग व्होल्टेज कर्वच्या स्टीपनेस टॅन्जेंटचा उतार म्हणून परिभाषित केले जाते. (It is defined as the slope of the steepness tangent of the restriking voltage curve)

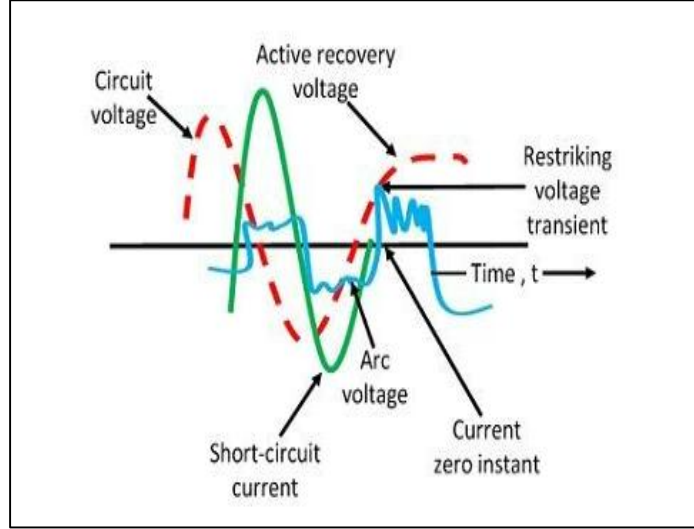


Fig 2.8 Arc Extinction

Ref: <https://circuitglobe.com/restriking-voltage-transient.html>

2.6 (एचटी सर्किट ब्रेकर्स: व्हॅक्यूम सर्किट ब्रेकर, सल्फर-हेक्सा फ्लोराइड (SF₆) - वर्किंग, कन्स्ट्रक्शन, विशिष्टता आणि अप्लिकेशन) (HT circuit breakers: Vacuum circuit breaker, Sulphur-hexa Fluoride (SF₆) - Working, construction, specifications and applications)

2.6.1 व्हॅक्यूम सर्किट ब्रेकर (Vacuum Circuit Breaker)

व्हॅक्यूम सर्किट ब्रेकर मध्ये व्हॅक्यूम आर्क एक्सटिंग्जुईश करण्यासाठी वापरले जाते. ब्रेकरमध्ये, व्हॅक्यूमची डिग्री (10^{-7} to 10^{-5} torr) पर्यंत असते. जेव्हा दोन करंट वाहून नेणारा कॉन्टॅक्ट व्हॅक्यूम मिडीयम वेगळे केले जातात तेव्हा त्याला व्हॅक्यूम सर्किट ब्रेकर म्हणतात.

● कन्स्ट्रक्शन ऑफ व्हॅक्यूम सर्किट ब्रेकर (Construction Of Vacuum Circuit Breaker)

आकृती 2.9 मध्ये एका सामान्य व्हॅक्यूम सर्किट ब्रेकरचे भाग दाखवले आहेत. त्यात फिक्स्ड कॉन्टॅक्ट, मुविंग कॉन्टॅक्ट आणि व्हॅक्यूम चेंबरमध्ये बसवलेले आर्क शील्ड असते. मुवेबल मेमबर स्टेनलेस स्टीलच्या बेलॉस (bellows) नियंत्रण यंत्रणेशी जोडलेला असतो. यामुळे व्हॅक्यूम चेंबर कायमचे सील करणे शक्य होते जेणेकरून डिस्चार्जची शक्यता कमी होईल. आऊटर इन्सुलेटिंग बॉडी म्हणून काचेचे भांडे (glass vessel) किंवा सिरेमिक भांडे (ceramic vessel) वापरले जाते.

● वर्किंग ऑफ व्हॅक्यूम सर्किट ब्रेकर (Working Of Vacuum Circuit Breaker)

जेव्हा ब्रेकर चालू होतो, तेव्हा मुविंग कॉन्टॅक्ट फिक्स्ड कॉन्टॅक्ट पासून वेगळा होतो आणि कॉन्टॅक्ट मध्ये एक आर्क तयार होतो. आर्क निर्मिती धातूच्या आयनांच्या आयोनायझेशनमुळे होते आणि ते कॉन्टॅक्टच्या सामग्री (material)वर बरेच अवलंबून असते. आर्क लवकर विझतो कारण आर्क दरम्यान निर्माण होणारे धातूचे वाष्प (metallic vapours), इलेक्ट्रॉन (electron) आणि आयन (ions) थोड्याच वेळात पसरतात. व्हॅक्यूमची डायलेक्ट्रिक स्ट्रेंथ खूप जास्त असल्याने, व्हॅक्यूम ब्रेकरमध्ये खूप कमी कॉन्टॅक्ट सेपरेशन असल्यास आर्क नष्ट होते (म्हणजे 0.625 cm).

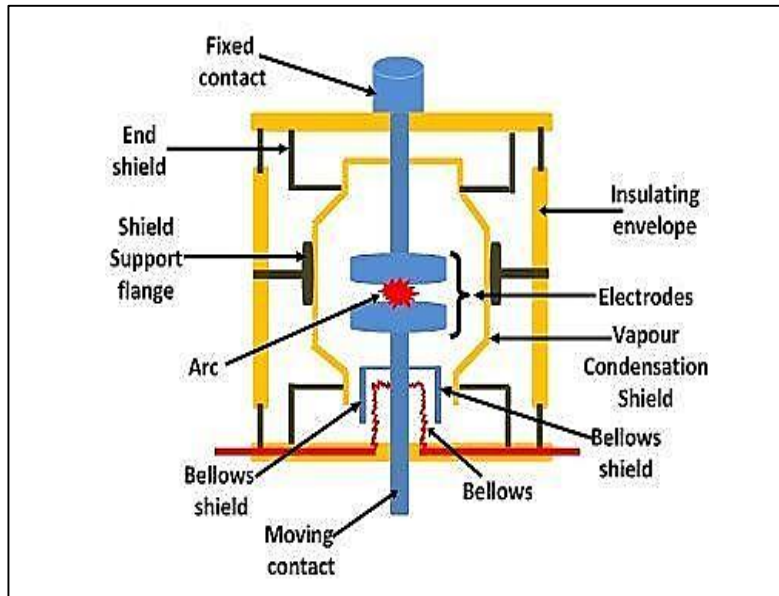


Fig 2.9 Vacuum circuit breaker

Ref: <https://circuitglobe.com/vacuum-circuit-breaker.html>

● **विशिष्टता आणि अलिकेशन ऑफ व्हॅक्यूम सर्किट ब्रेकर (Specification And Application Of Vacuum Circuit Breaker)**

- उच्च व्होल्टेज सर्किट.
- सबस्टेशन आणि जनरेटरमध्ये वापरले जाते.
- उच्च स्विचिंग अलिकेशन साठी.
- 22kV ते 66 kV पर्यंत व्हॅक्यूम सर्किट ब्रेकरचा वापर केला जातो.

2.6.2 सल्फर-हेक्सा फ्लोराइड (SF₆) (Sulphur Hexafluoride)

सल्फर हेक्साफ्लोराइड (SF₆) सर्किट ब्रेकरमध्ये (SF₆ gas) आर्क नष्ट करण्यासाठी वापरले जाते. हा एक इलेक्ट्रो-निगेटिव्ह वायू (electro negative gas) आहे आणि त्यात मुक्त इलेक्ट्रॉन (free electron) शोषण्याची तीव्र प्रवृत्ती असते. ब्रेकरचे कॉन्टॅक्ट SF₆ गॅस च्या उच्च दाबाच्या करंटात उघडले जातात आणि त्यांच्यामध्ये आर्क तयार होतो.

i) कन्स्ट्रक्शन ऑफ सल्फर हेक्साफ्लोराइड सर्किट ब्रेकर (Construction Of Sulphur Hexafluoride Circuit Breaker)

आकृती 2.10 मध्ये एका सामान्य SF₆ सर्किट ब्रेकरचे भाग दाखवले आहेत. त्यामध्ये फिक्स्ड आणि मुव्निंग कॉन्टॅक्ट एका चेंबरमध्ये बंद केलेले असतात आणि त्यात SF₆ गॅस असते. या चेंबरला आर्क इंटरप्शन चेंबर म्हणतात. हे चेंबर SF₆ गॅस रिझर्व्हीयरशी जोडलेले असते. जेव्हा ब्रेकरचे कॉन्टॅक्ट उघडले जातात, तेव्हा व्हॉल्व्ह यंत्रणा उच्च दाबाच्या SF₆ गॅस रिझर्व्हीयर मधून आर्क इंटरप्शन चेंबरकडे वाहू देतात. फिक्स्ड कॉन्टॅक्ट हा एक पोकळ दंडगोलाकार (hollow cylindrical) विद्युत करंट वाहून नेणारा कॉन्टॅक्ट असतो. मुव्निंग कॉन्टॅक्ट हा एक पोकळ दंडगोलाकार आहे ज्याच्या बाजूंना आयताकृती छिद्रे (rectangular holes) आहेत जेणेकरून SF₆ गॅस या छिद्रांमधून बाहेर पडू शकेल. फिक्स्ड कॉन्टॅक्ट, मुव्निंग कॉन्टॅक्ट आणि आर्किंग हॉर्नच्या टोकांना कॉपरटंगस्टन आर्क रेझिस्टन्स सामग्री (material) ने लेपित (coated) केले जाते.

ii) वर्किंग ऑफ सल्फर हेक्साफ्लोराइड सर्किट ब्रेकर (Working of Sulphur Hexafluoride Circuit Breaker)

ब्रेकरच्या बंद स्थितीत, कॉन्टॅक्टच्या बाजूला SF₆ गॅस असते. जेव्हा ब्रेकर चालू होतो, तेव्हा मुव्निंग कॉन्टॅक्ट वेगळा होतो आणि कॉन्टॅक्ट मध्ये आर्क तयार होतो. मुव्निंग कॉन्टॅक्ट ची हालचाल सिंक्रोनाईस्ड (synchronized) असते वेल्व (valve) च्या मेकॅनिजम सोबत. ज्यामुळे SF₆ गॅस 14 kg/cm² वर रिझर्व्हीयर पासून आर्क इंटरप्शन चेंबरपर्यंत पोहोचतो. SF₆ चा उच्च दाब करंट आर्क मार्गातील मुक्त इलेक्ट्रॉन जलद शोषून घेतात. परिणामी, कॉन्टॅक्ट मधील माध्यम जलद गतीने उच्च डायलेक्ट्रिक स्ट्रेंथ निर्माण करते आणि आर्क एक्सटिंग्शुईश होण्यास कारणीभूत ठरते. ब्रेकर ऑपरेशननंतर (म्हणजेच, आर्क एक्सटिशन झाल्यानंतर), स्प्रिंगच्या मदतीने व्हॉल्व्ह (valve) बंद केला जातो.

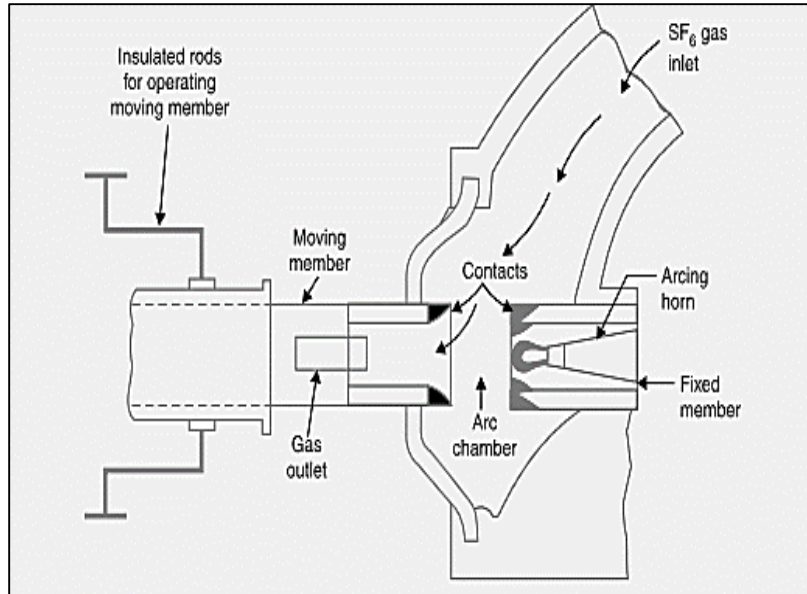


Fig 2.10 Sulphur-hexa Fluoride circuit breaker

Ref: <https://www.eeguide.com/sulphur-hexafluoride-circuit-breaker/>

● **विशिष्टता आणि अप्लिकेशन ऑफ सल्फर हेक्साफ्लोराइड सर्किट ब्रेकर:**

- एका सामान्य SF6 सर्किट ब्रेकरमध्ये इंटरप्टर युनिट्स असतात जे प्रत्येक युनिट 60kA पर्यंतच्या करंट आणि 50-80 kV च्या श्रेणीतील व्होल्टेजशी व्यवहार करण्यास सक्षम असतात.
- SF6 सर्किट ब्रेकर 115 kV ते 230 kV व्होल्टेज, 10 MVA ते 20 MVA पॉवर रेटिंग आणि 3 पेक्षा कमी सायकल इंटरप्टिंग टाइमसाठी विकसित केले गेले आहेत.

2.7 एल.टी. सर्किट ब्रेकरकन्स्ट्रक्शन, वर्किंग आणि अप्लिकेशन (L.T. circuit breaker Construction, Working and applications)

- मीनेचर सर्किट ब्रेकर्स (MCB) (Miniature circuit breakers (MCB))
- मोल्डेड केस सर्किट ब्रेकर्स (MCCB) (Moulded case circuit breakers (MCCB))
- मोटर प्रोटेक्शन सर्किट ब्रेकर (MPCB) (Motor Protection Circuit Breaker (MPCB))
- रेसिड्युअल करंट सर्किट ब्रेकर (RCCB) (Residual Current Circuit Breaker (RCCB))
- अर्थ लीकेज सर्किट ब्रेकर (ELCB) (Earth leakage circuit breaker (ELCB))
- एअर सर्किट ब्रेकर्स (ACB) (Air circuit breakers (ACB))

2.7.1 मीनेचर सर्किट ब्रेकर्स (एम सी बी) (Miniature circuit breakers)

i) कन्स्ट्रक्शन ऑफ मीनेचर सर्किट ब्रेकर्स (Construction of Miniature Circuit Breaker)

- एमसीबी हे एक प्रोटेक्टिंग उपकरण आहे जे सर्किटला ओव्हरलोड आणि शॉर्ट सर्किटपासून प्रोटेक्शन करण्यासाठी वापरले जाते. त्यात ऑपरेटिंग मेकॅनिझम, ट्रिप सर्किट, कॉन्टॅक्ट्स, बायमेटॅलिक स्ट्रिप आणि हाताने चालवले जाणारे ऑन-ऑफ लीव्हर असते.
- ऑपरेटिंग मेकॅनिझममध्ये तीन पोजिशन्स आहेत: चालू (ON) बंद (OFF) आणि ट्रिप (TRIP) पोजिशन.
- ट्रिप युनिटमध्ये बायमेटॅलिक स्ट्रिप आणि इलेक्ट्रोमॅग्नेट असते. बायमेटॅलिक ट्रिप ओव्हरलोड करंटपासून प्रोटेक्शन प्रदान करते आणि इलेक्ट्रोमॅग्नेट शॉर्ट सर्किट करंटपासून प्रोटेक्शन प्रदान करते.

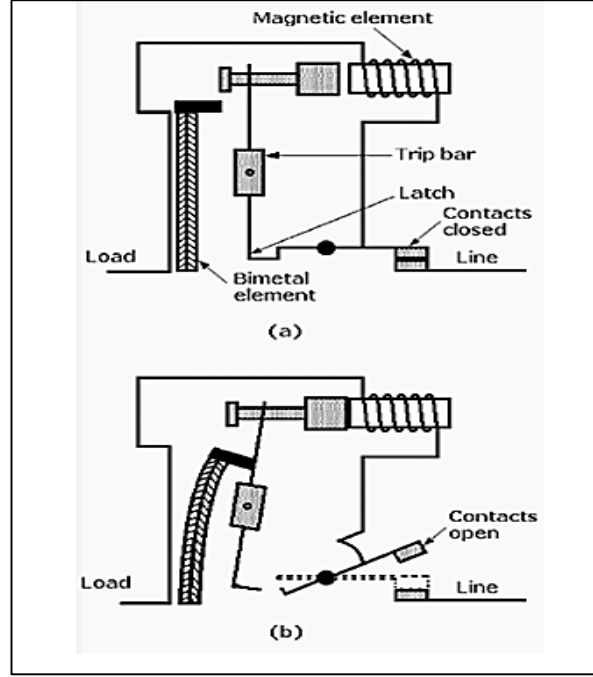


Fig 2.11 Miniature circuit breakers (MCB)

Ref: <https://electricalnotebook.com/dismantle-mccb-elcb-rccb-different-parts/>

ii) वर्किंग ऑफ मीनेचर सर्किट ब्रेकर (Working of Miniature Circuit Breaker)

- ओव्हरलोड आणि शॉर्ट सर्किटपासून प्रोटेक्शन देण्यासाठी एमसीबीचा वापर केला जातो. त्यात इनबिल्ट थर्मल बायमेटल एलिमेंट आणि इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक कॉइल असते.
- जेव्हा ओव्हर करंट परिस्थितीची असते तेव्हा बायमेटल गरम होते आणि कॉन्टॅक्ट वेगळे होतात.
- शॉर्ट सर्किट परिस्थितीत, मॅग्नेटिक कॉइलमधून जाणारा करंट कॉन्टॅक्ट वेगळे करण्यासाठी पुरेसा खेच निर्माण करतो त्यामुळे शॉर्ट सर्किटपासून प्रोटेक्शन मिळते.

iii) अॅप्लिकेशन ऑफ मीनेचर सर्किट ब्रेकर (Application of Miniature Circuit Breaker)

घरगुती लाइटिंग (household lighting) आणि औद्योगिक (industrial) सोलर पॅनेलसारख्या (solar panel) कमी-व्होल्टेज अॅप्लिकेशन मध्ये ओव्हरलोड आणि शॉर्ट-सर्किटपासून इंस्टॉलेशनचे प्रोटेक्शन करण्यासाठी मिनीएचर सर्किट ब्रेकर (MCB) वारंवार वापरला जातो.

2.7.2 मोल्डेड केस सर्किट ब्रेकर (एमसीसीबी) (Moulded Case Circuit Breaker)

मोल्डेड केस सर्किट ब्रेकर किंवा एमसीसीबी हे एक स्वयंचलित (automatic) विद्युत उपकरण आहे. हे एक प्रकारचे सर्किट ब्रेकर आहे जे सर्किटला ओव्हरलोडिंग, शॉर्ट सर्किट आणि करंट सर्जेस (current surge) पासून प्रोटेक्शन करते. हे मीनेचर सर्किट ब्रेकर (एमसीबीचे) प्रगत आवृत्ती (advanced version) आहे.

i) कन्स्ट्रक्शन ऑफ मोल्डेड केस सर्किट ब्रेकर (Construction of Moulded Case Circuit Breaker)

एमसीसीबी खालील मुख्य भागांपासून बनवले जाते,

- आर्क चुट (Arc chute):** आर्क चुट म्हणजे समांतर धातूच्या प्लेट्सचा संच आहे जो एकमेकांपासून परस्पर इन्सुलेटेड असतात. ते आर्क विभाजित (Arc split) करून आणि आर्कची लांबी वाढवून, आर्क विझविण्यास मदत करते. याला आर्क डिव्हायडर किंवा आर्क स्प्लिटर असेही म्हणतात. या प्लेट्स फेरोमॅग्नेटिक मटेरियलपासून बनवलेल्या असतात.
- कॉन्टॅक्ट (Contacts):** कॉन्टॅक्ट हे धातूचे वाहक असतात जे विद्युत करंट लोड पर्यंत वाहून नेण्यासाठी जबाबदार असतात. कॉन्टॅक्टचे दोन प्रकार आहेत फिक्स्ड आणि मुव्निंग कॉन्टॅक्ट.
- ऑपरेटिंग यंत्रणा (Operating mechanism):** ही MCCB ची यंत्रणा आहे जी विद्युत करंट वाहून नेणारे कॉन्टॅक्ट उघडण्यासाठी आणि बंद करण्यासाठी जबाबदार असते.
- टर्मिनल कनेक्टर (Terminal connector):** टर्मिनल कनेक्टरचा वापर MCCB ला आऊटर सर्किटशी जोडण्यासाठी केला जातो. वरचे टर्मिनल आउटपुट/लोडशी जोडलेले असतात तर खालचे टर्मिनल इनपुट/सप्लायशी जोडलेले असतात.
- थर्मल ट्रिप युनिट (Thermal trip unit):** थर्मल ट्रिप युनिटमध्ये थर्मल मेकॅनिझम वापरला जातो. ओव्हरलोडिंगमुळे तापमान वाढते आणि बायमेटल स्ट्रिप वाकते.

- f) **मॅग्नेटिक ट्रिप युनिट(Magnetic trip unit):** मॅग्नेटिक ट्रिप युनिट मध्ये एक रिले असते जे शॉर्ट सर्किटमुळे त्याच्या सोलेनॉइडमधून जास्त करंट वाहते तेव्हा तिथे मेग्नेटीक क्षेत्र निर्माण होतो.
- g) **हँडल / ट्रिप-फ्री यंत्रणा(Handle/Trip free unit):** हे एक हँडल आहे जे ब्रेकर मॅन्युअली उघडण्यासाठी किंवा बंद करण्यासाठी वापरले जाते.
- h) **ट्रिप बटण(Trip button):** ब्रेकरची चाचणी करण्यासाठी ट्रिप बटण वापरले जाते. हे लाल रंगाचे बटण आहे जे दाबल्यावर ऑपरेटिंग यंत्रणेला ट्रिप करते.

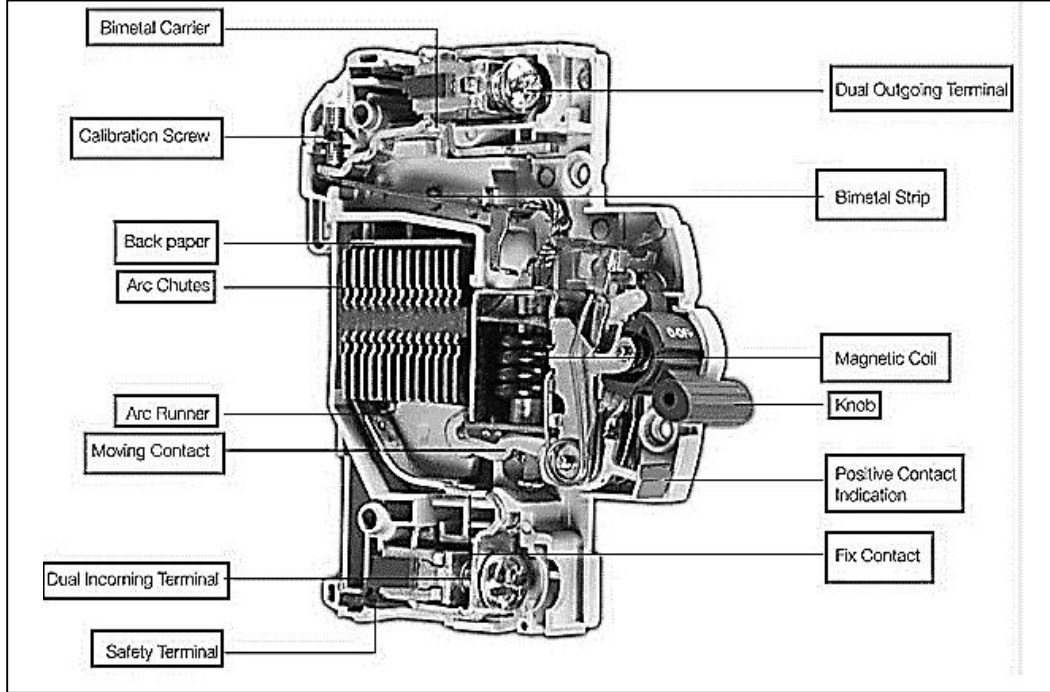


Fig 2.12 Moulded case circuit breakers (MCCB)

ii) **वर्किंग ऑफ मोल्डेड केस सर्किट ब्रेकर(Working of Moulded Case Circuit Breaker)**

एमसीसीबी सर्किटला फॉल्ट करंटपासून प्रोटेक्शन देते. ते फॉल्ट करंट तोडण्यासाठी थर्मल आणि मॅग्नेटिक मेकॅनिझम वापरते. थर्मल मेकॅनिझमचा वापर ओव्हरलोड प्रोटेक्शनसाठी केला जातो तर मॅग्नेटिक मेकॅनिझमचा वापर शॉर्ट सर्किट प्रोटेक्शनसाठी केला जातो. जेव्हा ओव्हरलोड होते, तेव्हा तापमान वाढते आणि बायमेटलिक स्ट्रिप वाकते. बायमेटलीक स्ट्रिप दोन वेगवेगळ्या प्रकारच्या धातूपासून बनवली जाते ज्यांचे थर्मल विस्ताराचे दर वेगवेगळे असतात. वेगवेगळ्या विस्तार दरांमुळे, स्ट्रिप वाकते आणि सर्किट ट्रिप करते. एमसीसीबी सोलेनॉइड वापरून शॉर्ट सर्किटपासून प्रोटेक्शन करते जे इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक फोर्स निर्माण करते. मुख्य करंट सोलेनॉइडमधून वाहतो जो ब्रेकरला अडखळण्यासाठी जबाबदार असलेल्या प्लंजरला आकर्षित करतो आणि सर्किट ट्रिप करते.

iii) **अप्लिकेशन ऑफ मोल्डेड केस सर्किट ब्रेकर(Application of Moulded Case Circuit Breaker)**

- हे उच्च करंट हाताळते.
- मोठ्या विद्युत मोटर्सना ओव्हरलोडिंगपासून वाचवण्यासाठी उद्योगांमध्ये (Industry) MCCB चा वापर केला जातो.
- त्याच्या समायोज्य (adjustable) सेटिंग आणि उच्च विद्युत करंट हाताळणीमुळे, ते विद्युत फीडरमध्ये वीज वितरणासाठी वापरले जाते.

2.7.3 **मोटर प्रोटेक्शन सर्किट ब्रेकर (एमपीसीबी)(Motor Protection Circuit Breaker (MPCB))**

मोटर प्रोटेक्शन सर्किट ब्रेकर (MPCB) हे एक विशेष विद्युत उपकरण आहे जे इलेक्ट्रिक मोटर्सना ओव्हरलोड, शॉर्ट सर्किट आणि फेज लॉसपासून वाचवण्यासाठी डिझाइन केलेले आहे.

i) **कन्स्ट्रक्शन ,वर्किंग ऑफ मोटर प्रोटेक्शन सर्किट ब्रेकर(Construction ,Working of Motor Protection Circuit Breaker)**

एमपीसीबी खालील मुख्य भागांपासून बनवले जाते,

- थर्मल ओव्हरकरंट रिलीज
- इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक ओव्हरकरंट रिलीज
- मुख्य कॉन्टॅक्ट

- d) सहाय्यक(Auxillary) स्विचची स्थिती
- e) स्विच लैच
- f) आर्किंग चेंबर
- g) प्लंजर
- h) ट्रिप कॉइल

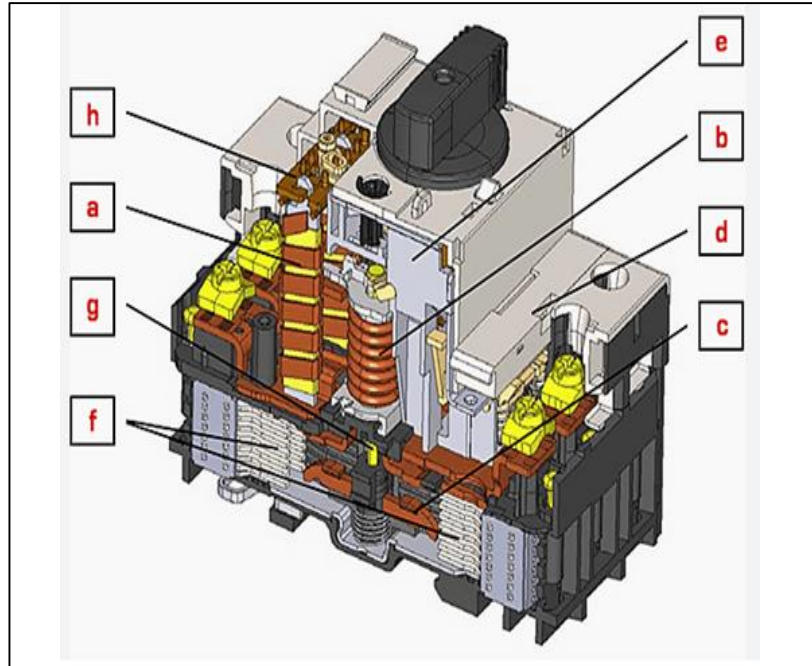


Fig 2.13 Motor Protection Circuit Breaker (MPCB)

Ref: <https://electrical-engineering-portal.com/the-design-basics-of-motor-protection-circuit-breaker>

जेव्हा ओव्हरलोड होते, तेव्हा तापमान वाढते आणि बायमेटॅलिक स्ट्रिप वाकते. बायमेटॅलिक स्ट्रिप दोन वेगवेगळ्या प्रकारच्या धातूंपासून बनवली जाते ज्यांचे थर्मल विस्ताराचे दर वेगवेगळे असतात. वेगवेगळ्या विस्तार दरांमुळे, स्ट्रिप वाकते आणि सर्किट ट्रिप करते. जेव्हा शॉर्ट सर्किट, लाईन फॉल्ट होते तेव्हा मॅग्नेटिक प्रोटेक्शन वापरले जाते. एमपीसीबी सोलेनॉइड वापरून शॉर्ट सर्किटपासून प्रोटेक्शन करते जे इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक फोर्स निर्माण करते. मुख्य करंट सोलेनॉइडमधून वाहतो जो ब्रेकरला अडखळण्यासाठी जबाबदार असलेल्या प्लंजरला आकर्षित करतो आणि सर्किट ट्रिप करते. एमपीसीबी फेज लॉसपासून पण प्रोटेक्शन प्रदान करते. जर एका फेज व्होल्टेजचा अचानक नाश झाला तर त्याचा परिणाम आणखी हानिकारक असतो कारण मोटर फक्त दोन फेजसह चालू राहील. मोटर प्रोटेक्शन सर्किट ब्रेकर फेज व्होल्टेजमधील फरक मोजून या परिस्थिती शोधण्यास सक्षम आहे आणि जेव्हा ते उद्भवतात तेव्हा मोटर ताबडतोब डिस्कनेक्ट करतो.

ii)अप्लिकेशन ऑफ मोटर प्रोटेक्शन सर्किट ब्रेकर(Application of Motor Protection Circuit Breaker)

- a) एमपीसीबीचा वापर इलेक्ट्रिक मोटरला चालू आणि बंद करण्यासाठी केला जातो.
- b) एमपीसीबीचा वापर औद्योगिक उपकरणे, लिफ्ट आणि क्रेन मधले मोटर्स मध्ये वापरले जाते.

2.7.4.रेसिड्युअल करंट सर्किट ब्रेकर (RCCB) (Residual Current Circuit Breaker (RCCB))

आरसीसीबी हा रेसिड्युअल करंट सर्किट ब्रेकर आहे जो सर्किटमधून रेसिड्युअल करंट वाहत असताना काम करतो.

i)कन्स्ट्रक्शन ,वर्किंग ऑफ रेसिड्युअल करंट सर्किट ब्रेकर(Construction,Working of RCCB)

यात प्राइमरी कॉइल, सेकंडरी कॉइल आणि सेन्सिंग कॉइल असते. नॉर्मल ऑपरेटिंग कंडिशन मध्ये प्राइमरी कॉइल आणि सेकंडरी कॉइल मधून वाहणारा विद्युत करंट समान असतो. जेव्हा लोड साईडमध्ये फॉल्ट येतो तेव्हा प्राइमरी कॉइल मधील करंट फॉल्टमधून वाहतो, यामुळे सेकंडरी कॉइल आणि प्राइमरी कॉइल मधला करंट वेगळा असतो. अस्थिर मॅग्नेटिक फील्ड निर्माण होते. रेसिड्युअल फ्लक्स मुळे रेसिड्युअल करंट सर्ज कॉइलमधून वाहतो आणि रिलेच्या ट्रिप कॉइल मध्ये जाते नंतर ट्रिप कॉइल ऊर्जावान होते ज्यामुळे सर्किट ब्रेकर ओपन होते.

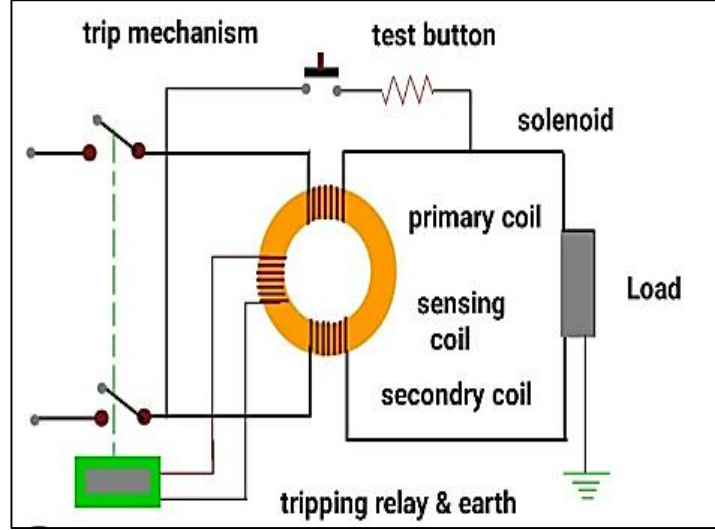


Fig 2.14 Residual Current Circuit Breaker (RCCB)

Ref: <https://www.onesto-ep.com/blog/revealing-the-differences-between-elcb-and-rccb/>**ii)अप्लिकेशन ऑफ रेसिड्युअल करंट सर्किट ब्रेकर (Application of RCCB)**

- आरसीसीबीचा वापर प्रामुख्याने विद्युत सर्किटमधील डिस्चार्ज मुळे होणाऱ्या विद्युत शॉक आणि आगीपासून व्यक्ती आणि उपकरणांचे प्रोटेक्शन करण्यासाठी केला जातो.
- हे निवासी इमारती, व्यावसायिक इमारती आणि उद्योगांमध्ये वापरले जाते.

2.7.5 अर्थ लीकेज सर्किट ब्रेकर (ELCB) (Earth leakage circuit breaker (ELCB))

अर्थ लीकेज सर्किट ब्रेकर (ELCB) हे एक सुरक्षा उपकरण आहे जे विद्युत दोषामुळे अर्थवर विद्युत करंट डिस्चार्ज होतं तेव्हा ते शोधते आणि वीजपुरवठा खंडित करते.

i) कन्स्ट्रक्शन, वर्किंग ऑफ अर्थ लीकेज सर्किट ब्रेकर (Construction, Working of Earth Leakage circuit breaker)

रिले कॉइलचा एक टर्मिनल उपकरणाच्या धातूच्या शरीराशी जोडला जातो, तर दुसरा टर्मिनल थेट अर्थशी जोडला जातो. जर इन्सुलेशन बिघडले किंवा एखादा लाइव्ह वायर धातूच्या शरीराला स्पर्श केला तर कॉइल टर्मिनल आणि अर्थमध्ये व्होल्टेज फरक दिसून येतो. या फरकामुळे रिले कॉइलमधून विद्युत करंट वाहतो. जर व्होल्टेजमधील फरक पूर्वनिर्धारित मर्यादपेक्षा जास्त झाला, तर रिलेमधून जाणारा विद्युत करंट संबंधित सर्किट ब्रेकरला ट्रिप करून उपकरणांना वीजपुरवठा खंडित करण्यासाठी रिले सक्रिय करण्यासाठी पुरेसा होतो.

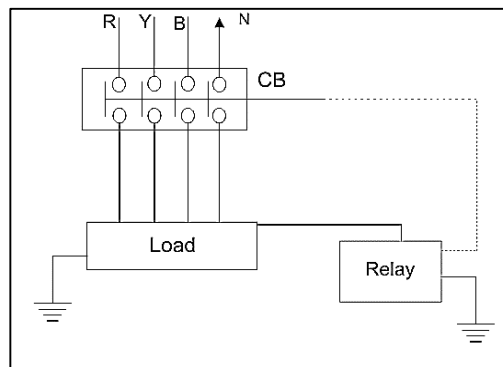


Fig 2.15 Earth leakage circuit breaker (ELCB)

Ref: <https://www.electrical4u.com/working-principle-of-earth-leakage-circuit-breaker-elcb-voltage-current-elcb-rccb/>**ii)अप्लिकेशन ऑफ अर्थ लीकेज सर्किट ब्रेकर (Application of Earth leakage circuit breaker)**

- अर्थ लीकेज सर्किट ब्रेकर (ELCB) सामान्यतः विद्युत प्रणालीमध्ये वापरले जाते जे विद्युत शॉक आणि अर्थवर विद्युत करंट डिस्चार्ज मुळे होणारे इतर धोके शोधण्यासाठी आणि प्रतिबंधित करण्यासाठी वापरले जाते.
- हे निवासी इमारती, व्यावसायिक इमारती आणि उद्योगांमध्ये वापरले जाते.

2.7.6 एअर सर्किट ब्रेकर्स (ACB) (Air circuit breakers (ACB))

एअर सर्किट ब्रेकर हे एक प्रकारचे विद्युत प्रोटेक्शन उपकरण आहे जे आर्क विझवण्यासाठी हवेचा वापर करते, ज्यामुळे विद्युत सर्किटमधील अतिरिक्त करंट मुळे होणारे नुकसान टाळता येते.

एअर सर्किट ब्रेकरचे दोन प्रकार आहेत

एअर ब्रेक सर्किट ब्रेकर आणि एअर ब्लास्ट सर्किट ब्रेकर

1. एअर ब्रेक सर्किट ब्रेकर (Air break circuit breaker)

एअर ब्रेक सर्किट ब्रेकरमध्ये वातावरणाच्या दाबावरील हवा, आर्क विझवण्याचे माध्यम म्हणून वापरली जाते.

i) कन्स्ट्रक्शन ऑफ एअर ब्रेक सर्किट ब्रेकर (Construction of Air break circuit breaker)

यात दोन कॉन्टॅक्ट चे संच आहेत, मुख्य(main) कॉन्टॅक्ट आणि आर्किंग (arcing) कॉन्टॅक्ट. सर्किट ब्रेकरच्या बंद स्थितीत मुख्य कॉन्टॅक्ट विद्युत करंट चालवतो. कॉन्टॅक्ट सामान्यतः चां सिल्व्हर असते आणि आर्किंग कॉन्टॅक्ट प्रामुख्याने कॉपर चे अलोय असते. आर्कच्या वरच्या हालचालीसाठी आर्क रनर्स आर्किंग कॉन्टॅक्टशी जोडलेले असतात. आर्क लांब करण्यासाठी, आर्क स्प्लिटर सर्किट ब्रेकरशी जोडलेले असतात.

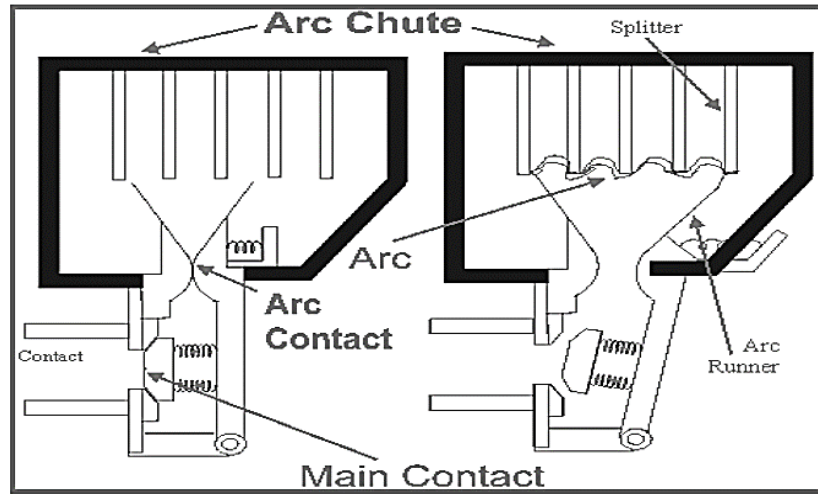


Fig 2.16 Air break circuit breakers

Ref: <https://www.elprocus.com/air-circuit-breaker-acb-working-principle-application/>

ii) वर्किंग ऑफ एअर ब्रेक सर्किट ब्रेकर (Working of Air break circuit breaker)

जेव्हा सर्किट ब्रेकर उघडला जातो तेव्हा मुख्य कॉन्टॅक्ट प्रथम उघडतात. जेव्हा मुख्य कॉन्टॅक्ट उघडले जातात तेव्हा आर्किंग कॉन्टॅक्ट अजूनही एकमेकांच्या कॉन्टॅक्ट मध्ये असतात. आर्किंग कॉन्टॅक्ट मधून विद्युत करंटला लो रेझिस्टिव्ह मार्ग मिळत असतो. मुख्य कॉन्टॅक्ट उघडताना, मुख्य कॉन्टॅक्ट मध्ये कोथर्मल आणि इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक दोन्ही प्रभावांमुळे आर्क डिस्चार्ज वरच्या दिशेने सरकतोनतेही आर्किंग होत नाही. जेव्हा शेवटी आर्किंग संपर्क वेगळे केले जातात तेव्हाच आर्किंग सुरू होते. आर्क वरच्या दिशेने प्रवास करतो आणि स्प्लिटरने स्प्लिट होतो. अशाप्रकारे आर्क लांब करून, ओढून आणि स्प्लिट करून विझवला जातो.

iii) अॅप्लिकेशन ऑफ एअर ब्रेक सर्किट ब्रेकर (Application of Air break circuit breaker)

a) एअर ब्रेक सर्किट ब्रेकर हे पॉवर स्टेशनच्या सहाय्यक(auxillary) आणि औद्योगिक संयंत्रांच्या नियंत्रणासाठी (industrial plants)योग्य आहे. त्यांना कंप्रेसर इत्यादी कोणत्याही अतिरिक्त उपकरणांची आवश्यकता नसते. ते प्रामुख्याने अशा ठिकाणी वापरले जातात जिथे आग किंवा स्फोट होण्याची शक्यता असते.

b) एअर ब्लास्ट सर्किट ब्रेकर एअर ब्लास्ट सर्किट ब्रेकरमध्ये उच्च दाबाच्या कॉम्प्रेस्ड(compressed) हवेचा वापर आर्क विझवण्यासाठी केला जातो.

2. एअर ब्लास्ट सर्किट ब्रेकर (Air Blast circuit breakers (ABCB))

i) कन्स्ट्रक्शन ऑफ एअर ब्लास्ट सर्किट ब्रेकर (Construction of Air Blast Circuit Breaker)

एअर ब्लास्ट सी.बी. च्या संपूर्ण असेंब्लीमध्ये तीन समान खांबे(identical poles) असतात. प्रत्येक खांब्याच्या वरच्या बाजूला आर्क एक्सटिंग्विशर्स असतात. यामध्ये एअर रिझरवोयर असते ज्यामध्ये 20 ते 30 वातावरणाच्या उच्च दाबावर हवा साठवली जाते. पोकळ इन्सुलेटेड कॉलम व्हॉल्व्हसह रिझरवोयर वर बसवलेला असतो. यात एक फिक्स्ड कॉन्टॅक्ट

आणि दोन मुविंग कॉन्टॅक्ट असतात. विद्युत करंट वाहून नेणारा भाग 3 आर्क विझवणाऱ्या कक्षांशी जोडला जातो. संपूर्ण आर्क विझवण्याचे उपकरण इन्सुलेटरवर बसवले जाते.

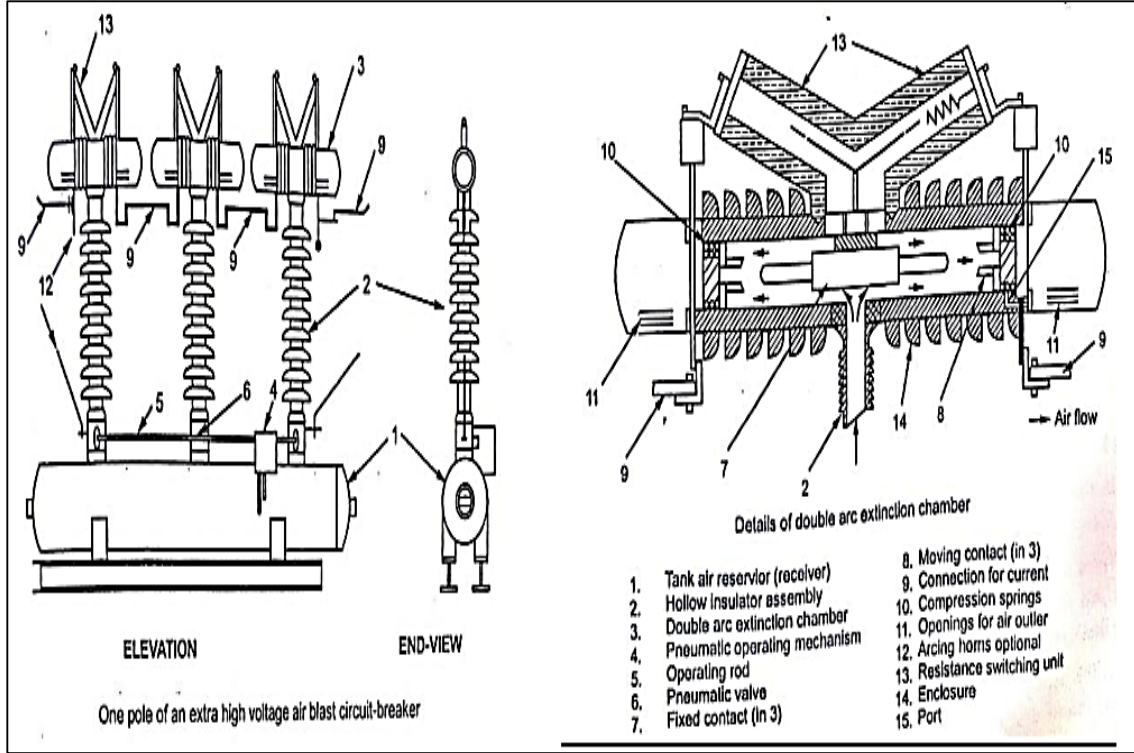


Fig 2.16 Air blast circuit breakers

ii) वर्किंग ऑफ एअर ब्लास्ट सर्किट ब्रेकर (Working of Air Blast Circuit Breaker)

उघडण्याच्या स्थितीत नोझलद्वारे हवा आर्क एक्सटिंग्विशिंग चेंबरमध्ये घातली जाते. ती मुविंग कॉन्टॅक्ट दूर ढकलते आणि कॉन्टॅक्ट वेगळे होतात. यामुळे आयोनाईस्ड गॅस आर्क सह वाहून जातो आणि त्यामुळे आर्क नष्ट होतो. अशाप्रकारे एक किंवा दोन सायकलमध्ये एअर ब्लास्टमुळे आर्क नष्ट होतो आणि चेंबर ताज्या उच्च दाबाच्या हवेने भरला जातो.

iii) अप्लिकेशन ऑफ एअर ब्लास्ट सर्किट ब्रेकर (Application of Air Blast Circuit Breaker)

a) प्रमुख वीज केंद्रे आणि औद्योगिक प्रकल्पांमध्ये क्षणिक ओव्हरव्होल्टेज नियंत्रित करण्यासाठी एअर ब्लास्ट सर्किट ब्रेकरवापर केला जातो.

b) ते पॉवर ट्रान्सफॉर्मर, कॅपेसिटर, एसी जनरेटर आणि डीसी जनरेटर सारख्या उच्च व्होल्टेजवर चालणाऱ्या मशीनचे प्रोटेक्शन करतात. 110 केव्हीपेक्षा जास्त व्होल्टेजसाठी बहुतेक सर्किट ब्रेकर या प्रकारचे असतात.

2.8 एलटी आणि एचटी सर्किट ब्रेकर्सची निवड (Selection of LT and HT Circuit Breakers)

योग्य सर्किट ब्रेकर निवडताना, तो कमी-व्होल्टेज (LT) असो किंवा उच्च-व्होल्टेज (HT), अनेक महत्वाचे घटक समाविष्ट असतात. मुख्य बाबींमध्ये व्होल्टेज रेटिंग, करंट आवश्यकता, शॉर्ट-सर्किट क्षमता आणि विशिष्ट अप्लिकेशन यांचा समावेश होतो. HT सर्किट ब्रेकर जास्त व्होल्टेज आणि करंटसाठी डिझाइन केलेले असतात, तर LT सर्किट ब्रेकर कमी व्होल्टेज आणि करंटसाठी योग्य असतात.

सर्किट ब्रेकर रेटिंग नुमेरिकल -(Circuit Breaker Rating Numerical)

Q. सर्किट ब्रेकरचे रेटिंग 2kA, 1000 MVA, 33kV, 3 sec, 3-फेज असे असते. ब्रेकरची ब्रेकिंग क्षमता, मेकिंग क्षमता, कमी वेळ रेटिंग (short time rating) निश्चित करा.

Ans: Breaking capacity = 1000 MVA (given)

Rated symmetrical breaking current = Breaking capacity / ($\sqrt{3} \times$ rated voltage)

= $1000 \times 10^6 / (\sqrt{3} \times 33 \times 10^3) = 17495.46$ amps

Rated making current = $2.55 \times$ Symmetrical breaking current

= $2.55 \times 17495.46 = 44613.42$ amps

(peak) Short time rating = 17495.46 amps for 3 sec.

2.9 आयसोलेटर, फ्यूज आणि सर्किट ब्रेकर: तुलना (Isolator, Fuses and Circuit Breaker: Comparison)

पॅरामीटर्स (Parameters)	आयसोलेटर, (Isolator)	फ्यूज (Fuse)	सर्किट ब्रेकर (Circuit Breaker)
कार्य	देखभाल किंवा दुरुस्ती (Maintenance and repair) दरम्यान सुरक्षितता सुनिश्चित करण्यासाठी सर्किट किंवा उपकरणांना वीज पुरवठ्यापासून डिस्कनेक्ट करण्यासाठी आयसोलेटरचा वापर केला जातो.	फ्यूज हे एक प्रोटेक्टिव्ह उपकरण आहे जे ओव्हरलोड किंवा शॉर्ट सर्किट झाल्यास सर्किट आपोआप डिस्कनेक्ट करते..	सर्किट ब्रेकर हा एक ऑटोमॅटिक स्विच आहे जो इलेक्ट्रिकल सर्किट्सना ओव्हरकरंट (ओव्हरलोड आणि शॉर्ट सर्किट) पासून प्रोटेक्शन करतो
ऑपरेशन	हा एक मॅन्युअल स्विच आहे जो सर्किट उघडे आहे की बंद आहे याचे दृश्य संकेत देतो.	त्यात एक धातूचा तार किंवा फिलामेंट असतो जो जास्त विद्युत करंट वाहतो तेव्हा वितळतो आणि सर्किट तुटतो	ट्रिपिंगनंतर ते मॅन्युअली किंवा ऑटोमॅटिकली रीसेट केले जाऊ शकते, ज्यामुळे वीज जलद पुनर्संचयित करता येते.
अप्लिकेशन	सामान्यतः उच्च-व्होल्टेज अप्लिकेशन मध्ये वापरले जाते आणि सर्किट डी-एनर्जिझ्ड असतानाच ते चालवले पाहिजे.	सामान्यतः कमी-व्होल्टेज अप्लिकेशन मध्ये वापरले जाते आणि तुलनेने स्वस्त आणि बदलण्यास सोपे आहे.	कमी आणि उच्च-व्होल्टेज दोन्ही अप्लिकेशन मध्ये वापरले जाते
प्रोटेक्शन	ओव्हरलोड किंवा शॉर्ट सर्किट्सपासून कोणतेही प्रोटेक्शन प्रदान करत नाही; त्याचा मुख्य उद्देश आयसोलेशन आहे. .	ओव्हरकरंट प्रोटेक्शन प्रदान करते परंतु ऑपरेशननंतर ते बदलणे आवश्यक आहे.	ओव्हरलोड आणि शॉर्ट सर्किट दोन्ही प्रोटेक्शन देते

2.10 गॅस इन्सुलेटेड स्विचगियर (Gas insulated switchgear)

गॅस-इन्सुलेटेड स्विचगियर (GIS) म्हणजे धातूने बंद केलेले स्विचगियर जे SF6 सारख्या गॅसचा वापर करते. हा गॅस उच्च डायलेक्ट्रिक स्ट्रेंथ, उच्च थर्मल स्टेबिलिटी आणि उत्कृष्ट आर्क क्वेंचिंग गुणधर्म प्रदान करतो.



Fig 2.18 Gas insulated switchgear

Ref: <https://www.electrical4u.com/gis-or-gas-insulated-switchgear/>

गॅस-इन्सुलेटेड स्विचगियर प्रमुख घटकांमध्येच्या हे समाविष्ट आहे:

- **सर्किट ब्रेकर्स(Circuit Breaker):** ही अशी उपकरणे आहेत जी विद्युत सर्किटमध्ये बिघाड झाल्यास विद्युत करंट ला इंटरप्ट करते.
- **डिस्कनेक्टर्स(Disconnectors):** ही अशी उपकरणे आहेत जी देखभाल किंवा चाचणीच्या उद्देशाने सर्किटचा एक भाग उर्वरित सिस्टमपासून वेगळा करू शकतात.

- **बस बार(Busbar):** हे कंडक्टर असतात जे सर्किटच्या वेगवेगळ्या भागांना जोडतात, जसे की जनरेटर, ट्रान्सफॉर्मर, फीडर इ.
 - **ट्रान्सफॉर्मर्स(Transformers):** ही अशी उपकरणे आहेत जी इलेक्ट्रिकल सर्किटची व्होल्टेज पातळी बदलू शकतात.
 - **अर्थ स्विचेस(Arc Switches):** ही अशी उपकरणे आहेत जी सुरक्षिततेसाठी किंवा ग्राउंडिंगच्या उद्देशाने सर्किटचा एक भाग पृथ्वीशी जोडू शकतात.
 - **सर्ज अरेस्टर(Surge Arrester):** ही अशी उपकरणे आहेत जी वीज पडण्यामुळे किंवा स्विचिंग ऑपरेशन्समुळे होणाऱ्या ओव्हरव्होल्टेजपासून सर्किटचे प्रोटेक्शन करू शकतात.
- हे सर्व घटक एका धातूच्या आवरणात बंद केलेले असतात जे एका विशिष्ट दाबाने SF6 गॅस ने भरलेले असते.

2.11 इन्सुलेशन कॉर्डिनेशन: प्रकार 1 आणि प्रकार 2 कॉर्डिनेशन (Insulation Coordination: Type1 & Type 2 Coordination)

इन्सुलेशन कॉर्डिनेशन म्हणजे वीज प्रणालीच्या विविध घटकांच्या इन्सुलेशन ब्रेकडाउन आणि ओव्हरव्होल्टेजपासून प्रोटेक्शनसाठी वापरल्या जाणाऱ्या प्रोटेक्टिव्ह उपकरणांच्या इन्सुलेशनमधील सहसंबंध. बेसिक इन्सुलेशन लेव्हल (BIL) म्हणजे सर्ज प्रोटेक्शन डिवाइसेस सक्रिय होण्यापूर्वी इलेक्ट्रिकल उपकरण इन्सुलेशन हाताळू शकणारा किमान व्होल्टेज.

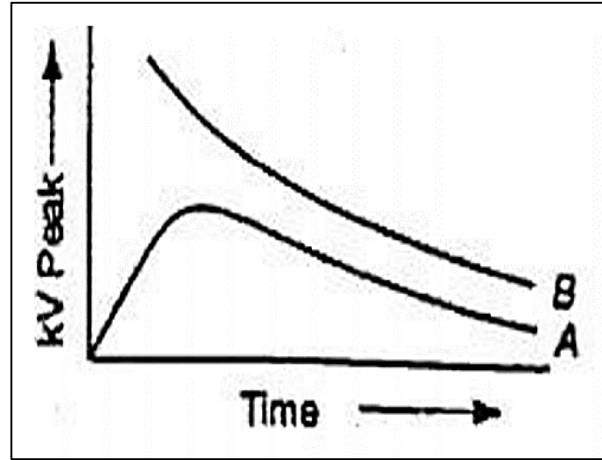


Fig 2.19 Representation of wave

Ref: <https://msbte.engg-info.website/sites/default/files/s18moupto519/17508-2018-Summer-model-answer-paper.pdf>

काही उपकरणांच्या ऑपरेशनसाठी त्याची इन्सुलेशन ताकद मूलभूत इन्सुलेशन पातळी (BIL) च्या समान किंवा त्यापेक्षा जास्त असणे गरजेचे असते. ट्रान्सफॉर्मर, सर्किट ब्रेकर इत्यादी उपकरणांची इन्सुलेशन ताकद लाईटनिंग अरेस्टर आणि इतर सर्ज प्रोटेक्टिव्ह उपकरणांपेक्षा जास्त असावी. वरील आकृती 2.19 मध्ये 'A' हा मूलभूत इन्सुलेशन पातळी आहे आणि 'B' हा इतर उपकरणांचा इन्सुलेशन पातळी आहे जो अ पेक्षा जास्त आहे.

2.12 रिंग मेन युनिट स्विचगियर: परिचय, वर्गीकरण यावर आधारित: इन्सुलेशनचा प्रकार (गॅस, तेल, हवा), इंस्टॉलेशन (आउटडोर ,इनडोर) (Ring Main Unit Switchgear: Introduction, classification based on: type of insulation (gas, oil, air), installation (outdoor, indoor))

परिचय-

रिंग मेन युनिट (आरएमयू) हे एक कॉम्पॅक्ट, सीलबंद स्विचगियर आहे जे मध्यम-व्होल्टेज पॉवर डिस्ट्रिब्युशन नेटवर्कमध्ये वापरले जाते, विशेषतः रिंग मेन सिस्टममध्ये. रिंग मेन युनिट्स त्यांच्या इन्सुलेशनच्या प्रकारानुसार दर्शविले जाऊ शकतात: एअर ,ऑइल किंवा गॅस. ट्रान्सफॉर्मर वेगळे करण्यासाठी वापरलेला स्विच फ्युझिबल स्विच असू शकतो किंवा व्हॅक्यूम किंवा गॅस-इन्सुलेटेड इंटरलॉक्स वापरून सर्किट ब्रेकर असू शकतो. युनिटमध्ये फॉल्टवर सर्किट ब्रेकर चालवण्यासाठी संरक्षक रिले देखील असू शकतात.

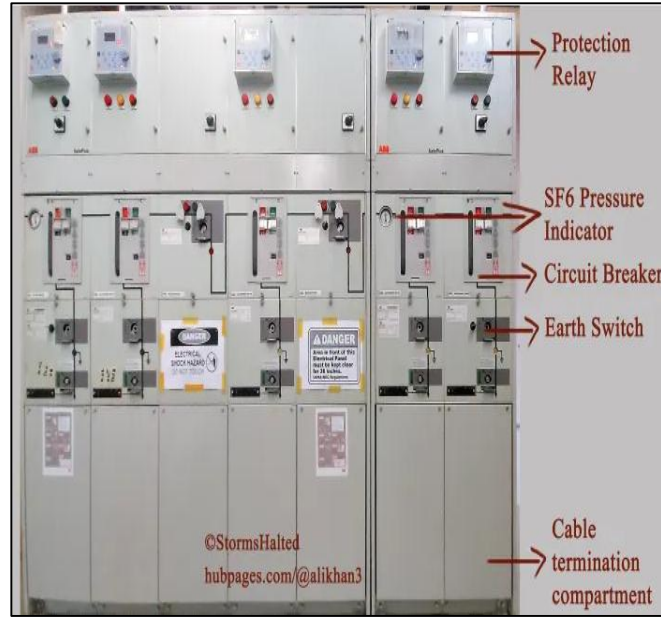


Fig 2.20 Ring Main Unit Switchgear

Ref: <https://discover.hubpages.com/technology/Ring-Main-Units-RMUs-Construction-Working-Comparison-SwitchGears>

वर्गीकरण (Classification)

वापरल्या जाणाऱ्या इन्सुलेशन माध्यमावर अवलंबून, रिंग मेन युनिट्सचे खालील तीन मुख्य प्रकारांमध्ये वर्गीकरण केले जाऊ शकते:

- एअर इन्सुलेटेड रिंग मेन युनिट: एअर इन्सुलेटेड रिंग मेन युनिट म्हणजे फक्त धातूच्या कॅबिनेटमध्ये बंद केलेले स्विचगियर असते आणि ते प्रामुख्याने डिस्ट्रिब्युशन ऑटोमेशन सिस्टममध्ये वापरले जाते. त्यात एअर इन्सुलेटेड व्हॅक्यूम लोड ब्रेक स्विचचा मुख्य घटक असतो. म्हणूनच, एअर इन्सुलेटेड रिंग मेन युनिटची रचना सोपी आणि देखभाल सोपी असते.
- ऑइल इन्सुलेटेड रिंग मेन युनिट: ऑइल इन्सुलेटेड रिंग मेन युनिट हा आणखी एक प्रकारचा आरएमयू आहे जो विशेषतः कठोर आणि संक्षारक पर्यावरणीय (corrosive environment) परिस्थितीत स्थापित करण्यासाठी वापरला जातो. या रिंग मेन युनिटमध्ये, मॉड्यूलर रिंग स्विच आणि प्यूज सर्किट ब्रेकर हे मुख्य घटक म्हणून वापरले जातात. या प्रकारचे रिंग मेन युनिट त्याच्या कॉम्पॅक्ट डिझाइन आणि पूर्णपणे सिस्टम एक्सटेंडेबल वैशिष्ट्यासाठी ओळखले जाते.
- गॅस इन्सुलेटेड रिंग मेन युनिट: गॅस इन्सुलेटेड रिंग मेन युनिटमध्ये इन्सुलेटिंग माध्यम म्हणून गॅसचा वापर केला जातो आणि कमी ते मध्यम व्होल्टेज डिस्ट्रिब्युशन नेटवर्कमध्ये अखंडित वीज पुरवठा प्रदान करण्यासाठी आणि विद्युत उपकरणांचे प्रोटेक्शन करण्यासाठी वापरले जाते. या प्रकारचे रिंग मेन युनिट त्यांच्या कॉम्पॅक्ट डिझाइन आणि कार्यक्षम ऑपरेशनमुळे इनडोर आणि आउटडोर दोन्ही इंस्टॉलेशनमध्ये वापरण्यासाठी योग्य आहेत.

इंस्टॉलेशन (Installation)

रिंग मेन युनिट्स (RMUs) इनडोर आणि आउटडोर दोन्ही इंस्टॉलेशनसाठी उपलब्ध आहेत, प्रत्येक प्रकारच्या डिझाइन आणि आवश्यकतांमध्ये फरक आहे.

1. इनडोर RMU रिंग मेन युनिट्स इंस्टॉलेशन (Indoor RMU Ring Main Unit Installation)

स्थान(Location): स्विचबोर्ड रूम हे इनडोर आरएमयूसाठी एक सामान्य ठिकाण आहे.

विचार(considerations): योग्य वायुवीजन(ventilation) आणि देखभालीसाठी (maintenance) प्रवेश सुनिश्चित केला पाहिजे.

2. आउटडोर RMU रिंग मेन युनिट्स इंस्टॉलेशन (Outdoor RMU Ring Main Unit Installation)

स्थान(Location): उंडरग्राऊंड केबल डिस्ट्रिब्युशन नेटवर्क किंवा जंक्शन पॉइंट्स सारख्या आउटडोर इंस्टॉलेशन आवश्यक असते.

विचार(considerations): हवामानाच्या परिस्थितीपासून पुरेसे प्रोटेक्शन देणारे एन्क्लोझर वापरले पाहिजे.

स्वाध्याय (Exercise)

1. आर्क व्होल्टेज, रिकव्हरी व्होल्टेज, रिस्ट्राइकिंग व्होल्टेज आणि , रेट ऑफ राईस ऑफ री-स्ट्राइकिंग व्होल्टेज या टर्म्स स्पष्ट करा.
2. आयसोलेटर आणि सर्किट ब्रेकरमध्ये फरक लिहा.
3. एचआरसी(HRC) फ्यूज स्केच सह स्पष्ट करा.
4. व्हॅक्यूम सर्किट ब्रेकर काढा.
5. सर्किट ब्रेकरमध्ये आर्क निर्मिती प्रक्रिया स्पष्ट करा.
6. व्हर्टिकल ब्रेक आयसोलेटर काढा आणि स्पष्ट करा.
7. गॅस इन्सुलेटेड स्विचगियरची सामान्य व्यवस्था वर्णन करा.
8. रिंग मुख्य युनिटचे वर्गीकरण करा.
9. सर्किट ब्रेकर आणि फ्यूज मध्ये फरक लिहा.
10. SF6 गॅस चे गुणधर्म लिहा

संदर्भ पाठ्यपुस्तके (Reference Books):

1. Mehta V. K ; Rohit Mehta Principles of Power System S.Chand and Co., New Delhi., 2016 ISBN: 978- 93-5501-077-3
2. Rao.Sunil S. Switchgear and Protection Khanna Publishers, New Delhi, 2015 ISBN: 978-93-87394-72-8
3. Gupta. J. B. Switchgear and Protection S. K. Kataria and Sons, New Delhi, 2015ISBN: 978-93-5014-372-8.

माहिती संकेतस्थळ (Information Websites):

- 1.<https://nptel.ac.in/courses/108101039>
- 2.<https://www.electricaltechnology.org/>

युनिट - 3

प्रोटेक्टिव्ह रिले

(Protective Relays)

विषय निष्पत्ती (Course Outcomes) (CO)

विविध प्रोटेक्टिव्ह रिलेच्या परफॉर्मन्सची टेस्ट करा.

(Test the performance of different protective relays)

विषय निष्पत्ती बरोबर जुळणारी थिअरी लर्निंग निष्पत्ती (Theory Learning Outcomes) (TLO)

Aligned to Course Outcomes (CO))

3.1: प्रोटेक्टिव्ह रिले शी संबंधित टर्म स्पष्ट करा.

(Explain the given terms related to protective relays)

3.2: पॉवर सिस्टीममधील दिलेल्या डेटाच्या आधारे रिले टाइम कॅलक्युलेट करा.

(Calculate the relay time based on the given data in the power system)

3.3: दिलेल्या प्रोटेक्टिव्ह रिलेच्या वर्किंगचे डायग्रामसह स्पष्टीकरण करा.

(Explain with sketches the working of the given protective relay)

3.4: आवश्यक ॲप्लिकेशनसाठी योग्य प्रोटेक्टिव्ह रिलेची निवड करा आणि त्याचे जस्टिफिकेशन द्या.

(Select relevant protective relay for required application with justification.)

3.1 प्रोटेक्टिव्ह रिले: मूलभूत गुणवत्ता आवश्यकता (Fundamental Quality Requirements)

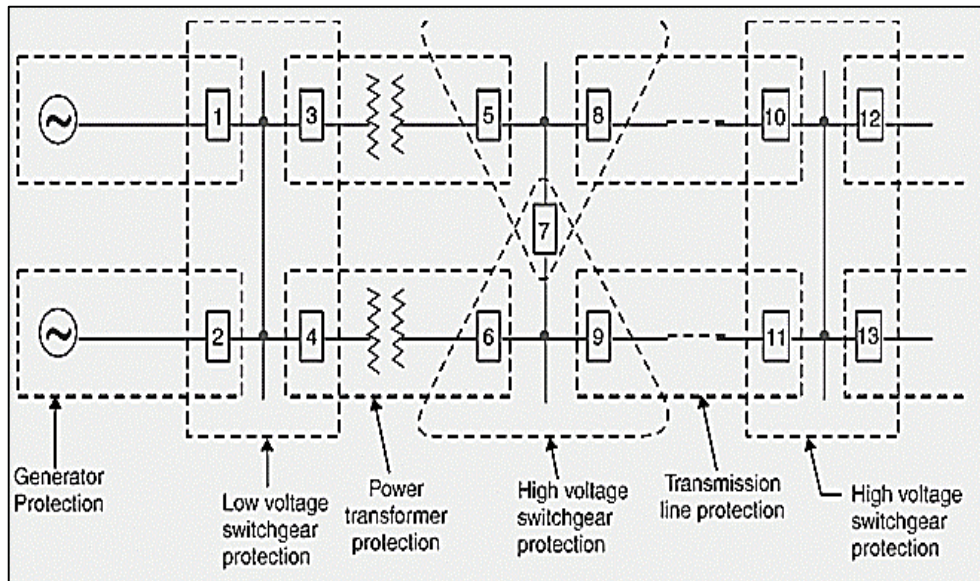


Fig No. 3.1 single line Diagram of part of power system

Ref: [Principles of Power System, Mehta V. K ; Rohit Mehta, S.Chand and Co.,Page no.499](#)

प्रोटेक्टिव्ह रिलेइंगचे मुख्य कार्य हे आहे की, जेव्हा पॉवर सिस्टीमचा कोणताही एलिमेंट अबनॉर्मल कार्य करू लागतो किंवा सिस्टीमच्या इतर भागाच्या प्रभावी कार्यामध्ये व्यत्यय आणतो, तेव्हा त्या घटकाला सर्विस मधून काढून टाकणे. प्रोटेक्टिव्ह रिले सिस्टीमने हे कार्य समाधानकारकरित्या पार पाडावे यासाठी, तिच्यात खालील गुणधर्म असावे लागतात:

● सिलेक्टिव्हिटी (Selectivity)

a) ही प्रोटेक्टिव्ह सिस्टीमची अशी क्षमता आहे की, ती सिस्टीममधील फॉल्ट पूर्ण भागाला योग्यरित्या निवडते आणि उर्वरित सिस्टीमला त्रास न देता केवळ त्या फॉल्ट पूर्ण भागाला डिस्कनेक्ट करते.

b) सुव्यवस्थित आणि कार्यक्षम (Well-organized and efficient) रिले प्रणाली सिलेक्टिव्ह असावी, म्हणजे, तिला फॉल्ट कोठे झाला आहे हे ओळखता यावे आणि फॉल्टच्या सर्वात जवळचे सर्किट ब्रेकर उघडण्यास प्रवृत्त करावे, ज्यामुळे सिस्टीमचे कमीत कमी किंवा कोणतेही नुकसान होणार नाही.

c) हे आकृती 3.1 मध्ये दर्शविलेल्या विशिष्ट पॉवर सिस्टीमच्या एका भागाच्या सिंगल लाईन डायग्रामचा (single line diagram) संदर्भ देऊन स्पष्ट केले जाऊ शकते. हे पाहिले जाऊ शकते की प्रत्येक पॉवर सिस्टीम एलिमेंटच्या

कनेक्शनमध्ये सर्किट ब्रेकर बसवलेले आहेत, ज्यामुळे केवळ फॉल्ट पूर्ण विभाग डिस्कनेक्ट करणे शक्य होते. अशा प्रकारे, जर शेवटच्या झोनमधील बस-बारवर फॉल्ट आला, तर केवळ फॉल्टच्या सर्वात जवळचे ब्रेकर म्हणजे 10, 11, 12 आणि 13 उघडले पाहिजेत. प्रत्यक्षात, फॉल्ट दूर करण्यासाठी इतर कोणतेही ब्रेकर उघडल्यास सिस्टीमचा मोठा भाग डिस्कनेक्ट होईल.

सिस्टीमला सिलेक्टिव्ह क्षमता (selectivity) प्रदान करण्यासाठी, संपूर्ण सिस्टीमला अनेक प्रोटेक्शन झोनमध्ये विभाजित करणे ही सामान्य पद्धत आहे. जेव्हा एखाद्या विशिष्ट झोनमध्ये फॉल्ट येतो, तेव्हा केवळ त्या झोनमधील सर्किट ब्रेकर उघडले जातात. यामुळे केवळ फॉल्ट पूर्ण सर्किट किंवा उपकरण वेगळे होते आणि इतर हेल्दीसर्किट्स (healthy circuits) व्यवस्थित राहतात. सिस्टीम खालील प्रोटेक्शन झोनमध्ये विभागली जाऊ शकते:

- जनरेटर
- लो-टेंशन स्विचगियर
- ट्रान्सफॉर्मर्स
- हाय-टेंशन स्विचगियर
- ट्रान्समिशन लाईन्स

आकृती 3.1 मध्ये हे पाहिले जाऊ शकते की, लगतच्या प्रोटेक्शन झोनमध्ये काही प्रमाणात ओव्हरलॅप असतो. ज्या ठिकाणी दोन लगतचे झोन ओव्हरलॅप होतात, त्या क्षेत्रात जर फॉल्ट आला, तर फॉल्ट पूर्ण विभाग डिस्कनेक्ट करण्यासाठी आवश्यक असलेल्या किमान ब्रेकरपेक्षा जास्त ब्रेकर उघडले जातील. पण जर ओव्हरलॅप नसता, तर झोनच्या मधल्या क्षेत्रातील फॉल्ट कोणत्याही झोनमध्ये आला नसता आणि त्यामुळे कोणताही ब्रेकर उघडला नसता. या कारणामुळे, लगतच्या झोनमध्ये काही प्रमाणात ओव्हरलॅप दिला जातो.

• स्पीड (Speed).

रिले सिस्टीमने फॉल्ट पूर्ण विभाग शक्य तितक्या लवकर डिस्कनेक्ट करावा, याची कारणे खालीलप्रमाणे आहेत:

- a) विद्युत उपकरणांना जर जास्त वेळ फॉल्ट करंट्स सहन करावे लागले, तर त्यांचे नुकसान होऊ शकते.
- b) सिस्टीममधील बिघाडामुळे सिस्टीमच्या व्होल्टेजमध्ये मोठी घट होते. जर फॉल्ट पूर्ण विभाग लवकर डिस्कनेक्ट केला नाही, तर फॉल्टमुळे निर्माण झालेले कमी व्होल्टेज ग्राहकांच्या मोटर्सना बंद करू शकते आणि सिस्टीमवरील जनरेटर) इन्स्टेबल होऊ शकतात.
- c) हाय स्पीड रिले सिस्टीम एका प्रकारच्या फॉल्टचे दुसऱ्या, अधिक गंभीर प्रकारच्या फॉल्टमध्ये रूपांतर होण्याची शक्यता कमी करते.

• सेन्सिटिव्हिटी (Sensitivity).

- a) ही रिले प्रणालीची कमी 'अॅक्टुएटिंग क्वांटिटी' (actuating quantity) मूल्यांवरही ऑपरेट होण्याची क्षमता आहे.
- b) रिलेची सेन्सिटिव्हिटी ही त्याच्या कॉईलमध्ये आवश्यक असलेल्या व्होल्ट-एम्पीअर इनपुटचे कार्य आहे, ज्यामुळे तो ऑपरेट होतो. रिले ऑपरेट होण्यासाठी आवश्यक असलेले व्होल्ट-एम्पीअर इनपुट जितके कमी असेल, तितका रिले अधिक संवेदनशील असतो. अशा प्रकारे, 1 VA रिले हा 3 VA रिलेपेक्षा अधिक संवेदनशील असतो.
- c) रिले प्रणाली संवेदनशील असावी अशी इच्छा असते जेणेकरून ती कमी व्होल्ट-एम्पीअर इनपुट मूल्यांवरही ऑपरेट होईल.

• रिलायबिलिटी (Reliability).

ही रिले सिस्टीमची पूर्वनिर्धारित परिस्थितीत ऑपरेट होण्याची क्षमता आहे. रिलायबिलिटी शिवाय, प्रोटेक्शन मोठ्या प्रमाणात अप्रभावी ठरेल आणि अगदी दायित्वही बनू शकते.

• सिम्प्लिसिटी (Simplicity).

रिलेइंग सिस्टीम साधी असावी जेणेकरून तिचे मंटेनन्स सहज करता येईल. रिलायबिलिटी सिम्प्लिसिटीशी जवळून संबंधित आहे. प्रोटेक्शन योजना जितकी सोपी असेल, तितकी तिची रिलायबिलिटी जास्त असेल.

• इकॉनॉमी (Economy).

विशिष्ट प्रोटेक्शन योजना निवडताना सर्वात महत्वाचा घटक म्हणजे इकॉनॉमी. काहीवेळा प्रोटेक्शनची आदर्श योजना वापरणे आर्थिकदृष्ट्या अयोग्य असते आणि तडजोड पद्धत अवलंबावी लागते. नियमानुसार, प्रोटेक्टिव्ह गियरची किंमत एकूण खर्चाच्या 5% पेक्षा जास्त नसावी. तथापि, जेव्हा प्रोटेक्टिव्ह उपकरण अत्यंत महत्वाचे असते (उदा. जनरेटर, मुख्य ट्रान्समिशन लाईन इत्यादी), तेव्हा इकॉनॉमी विचारांपेक्षा रिलायबिलिटी प्राधान्य दिले जाते.

3.2 बेसिक रिले टर्मिनोलॉजी: (Basic Relay Terminology)

- प्रोटेक्टिव्ह रिले (Protective Relay)
- रिले टाईम (Relay Time)
- पिक-अप (Pick Up)
- रीसेट करंट (Reset Current)
- करंट सेटिंग (Current Setting)
- प्लग सेटिंग मल्टिप्लायर (Plug Setting Multiplier)
- टाइम सेटिंग मल्टिप्लायर (Time Setting Multiplier)

1. प्रोटेक्टिव्ह रिले (Protective Relay)

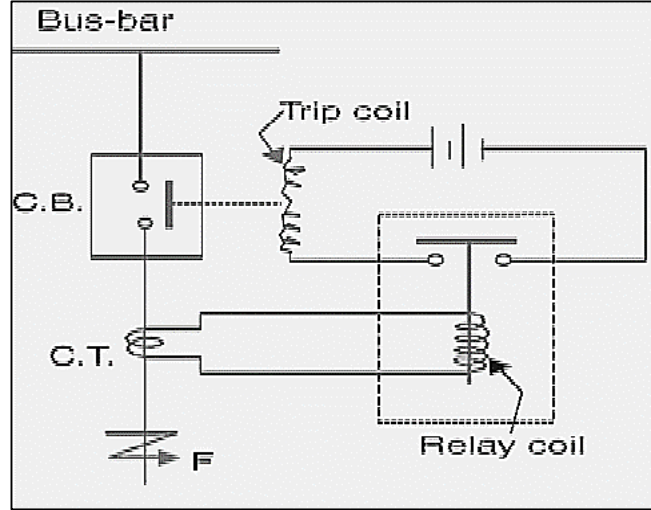


Fig. 3.2 Protective Relay

Ref: [Principles of Power System, Mehta V. K ; Rohit Mehta, S.Chand and Co.,Page no.498](#)

प्रोटेक्टिव्ह रिले हे असे उपकरण आहे जे फॉल्ट शोधते आणि फॉल्ट पूर्ण घटकाला सिस्टीमच्या उर्वरित भागापासून वेगळे करण्यासाठी सर्किट ब्रेकरचे कार्य सुरू करते. रिले विद्युत सर्किट्समधील असामान्य परिस्थिती सतत इलेक्ट्रिकल क्वांटिटीज (electrical quantities) मोजून शोधतात, ज्या सामान्य आणि फॉल्ट परिस्थितीत भिन्न असतात. फॉल्ट परिस्थितीत बदलू शकणाऱ्या इलेक्ट्रिकल क्वांटिटीजमध्ये व्होल्टेज, करंट, फ्रिक्वेन्सी आणि फेज ॲंगलचा समावेश आहे. यापैकी एक किंवा अधिक क्वांटिटीजमधील बदलांद्वारे, फॉल्ट्स त्यांचे अस्तित्व, प्रकार आणि स्थान प्रोटेक्टिव्ह रिलेना सूचित करतात. फॉल्ट शोधल्यानंतर, रिले ब्रेकरच्या ट्रिप सर्किटला बंद करण्यासाठी कार्य करतो. याचा परिणाम ब्रेकर उघडण्यात आणि फॉल्ट पूर्ण सर्किटला डिस्कनेक्ट करण्यात होतो.

विशिष्ट रिले सर्किट आकृती 3.2 मध्ये दर्शविले आहे. हे आकृती साधेपणासाठी 3-फेज सिस्टीमच्या एका फेजचे प्रतिनिधित्व करते. रिले सर्किट जोडणीचे तीन भागांमध्ये विभाजन केले जाऊ शकते, ते असे:

a) पहिला भाग करंट ट्रान्सफॉर्मरची (C.T.) प्रायमरी वाइंडिंग आहे, जी प्रोटेक्ट करावयाच्या लाईनच्या सिरीजमध्ये जोडलेली असते.

b) दुसरा भाग C.T. ची सेकंडरी वाइंडिंग आणि रिले ऑपरेटिंग कॉइलचा बनलेला असतो.

c) तिसरा भाग ट्रिपिंग सर्किट आहे जो एसी (a.c.) किंवा डीसी (d.c.) असू शकतो. यात सप्लायचा स्रोत, सर्किट ब्रेकरची ट्रिप कॉइल आणि रिलेचे स्टेशनरी कॉन्टॅक्ट्स असतात.

जेव्हा ट्रान्समिशन लाईनवरील बिंदू 'F' वर शॉर्ट सर्किट होतो, तेव्हा लाईनमधून वाहणारा करंट मोठ्या प्रमाणात वाढतो. यामुळे रिले कॉइलमधून मोठ्या प्रमाणात करंट वाहतो, ज्यामुळे रिले त्याचे कॉन्टॅक्ट्स बंद करून ऑपरेट होतो. यामुळे ब्रेकरचे ट्रिप सर्किट बंद होते, ज्यामुळे सर्किट ब्रेकर उघडतो आणि फॉल्ट पूर्ण विभागाला सिस्टीमच्या उर्वरित भागापासून वेगळे करतो. अशा प्रकारे, रिले सर्किट उपकरणांच्या नुकसानीपासून सुरक्षा आणि सिस्टीमच्या निरोगी भागाचे सामान्य कामकाज सुनिश्चित करतो.

2. रिले टाईम (Relay Time): "रिले टाईम" म्हणजे इनपुट सिग्नलमध्ये ट्रिगर किंवा बदल झाल्यानंतर, रिलेने एखादी विशिष्ट क्रिया करण्यासाठी, जसे की कॉन्टॅक्ट्स उघडणे किंवा बंद करणे, यासाठी लागणारा वेळ. यामध्ये ऑपरेट

होण्यासाठी लागणारा वेळ, रिसेट होण्यासाठी लागणारा वेळ किंवा एखाद्या क्रियेला विलंब देण्यासाठी लागणारा वेळ यांचा समावेश असू शकतो.

3. पिक-अप करंट (Pick-up Current): हा रिले कॉइलमधील तो किमान करंट आहे, ज्यावर रिले ऑपरेट होण्यास सुरुवात करतो. जोपर्यंत रिलेमधील करंट पिक-अप मूल्यापेक्षा कमी असतो, तोपर्यंत रिले ऑपरेट होत नाही आणि त्याच्याद्वारे नियंत्रित ब्रेकर बंद स्थितीत राहतो. तथापि, जेव्हा रिले कॉइल करंट पिक-अप मूल्याइतका किंवा त्याहून अधिक असतो, तेव्हा रिले ट्रिप कॉइलला ऊर्जा देण्यासाठी होतो, ज्यामुळे सर्किट ब्रेकर उघडतो.

4. रिसेट करंट (Reset Current): "रिसेट करंट" म्हणजे असा करंट स्तर ज्यावर प्रोटेक्टिव्ह उपकरण, जसे की रिले फॉल्ट दूर झाल्यानंतर त्याच्या सामान्य, नॉन-ऑपरेटिंग स्थितीत परत येते. हा असा बिंदू आहे जिथे प्रोटेक्टिव्ह उपकरण यापुढे फॉल्ट स्थिती शोधत नाही आणि सर्किटला पुन्हा एंजेज करू शकते.

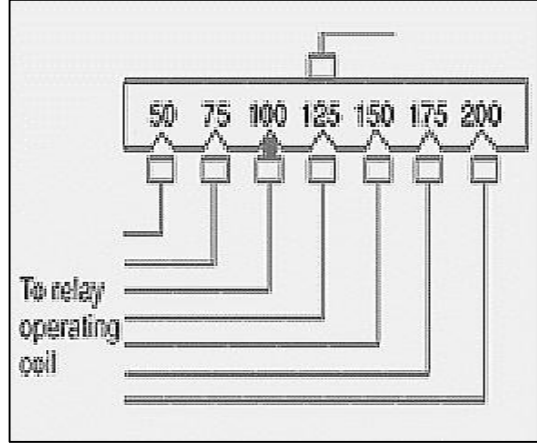


Fig. 3.3 Current Setting

Ref: [Principles of Power System, Mehta V. K ; Rohit Mehta, S.Chand and Co.,Page no.505](#)

5. करंट सेटिंग (Current Setting): पिक-अप करंट कोणत्याही आवश्यक मूल्यामध्ये समायोजित करणे अनेकदा इष्ट असते. यालाच करंट सेटिंग असे म्हणतात आणि हे सामान्यतः रिलेच्या ऑपरेटिंग कॉइलवरील टॅपिंगचा वापर करून साध्य केले जाते. टॅप्स आकृती 3.3 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे प्लग ब्रिजवर आणलेले असतात. प्लग ब्रिज रिले कॉइलवरील टर्न्सची संख्या बदलण्याची परवानगी देतो. यामुळे डिस्कवरील टॉर्क बदलतो आणि परिणामी रिलेच्या ऑपरेशनची वेळ बदलते. प्रत्येक टॅपकडे नियुक्त केलेली मूल्ये करंट ट्रान्सफॉर्मरच्या (C.T.) पूर्ण-लोड रेटिंगच्या टक्केवारीमध्ये व्यक्त केली जातात, ज्या C.T. शी रिले संबंधित असतो. ही मूल्ये अशी स्थिती दर्शवतात ज्याच्या वर डिस्क फिरण्यास सुरुवात करते आणि शेवटी ट्रिप सर्किट बंद करते.

पिक-अप करंट (Pick-up current) = C.T. चा रेटेड सेकंडरी करंट (Rated secondary current of C.T.) * करंट सेटिंग (Current setting)

उदाहरणार्थ, समजा की ओव्हरकरंट रिले, ज्याची करंट सेटिंग 125% आहे, तो 400/5 च्या करंट ट्रान्सफॉर्मरद्वारे एका सप्लाय सर्किटला जोडलेला आहे. C.T. चा रेटेड सेकंडरी करंट 5 ॲम्पिअर्स आहे.

म्हणून, पिक-अप व्हॅल्यू 5 A पेक्षा 25% जास्त असेल, म्हणजे $5 * 1.25 = 6.25$ A. याचा अर्थ असा की, वरील करंट सेटिंगसह, रिले प्रत्यक्षात 6.25 A इतक्या किंवा त्याहून अधिक रिले कॉइल करंटसाठी ऑपरेट होईल.

ओव्हरकरंट रिलेसाठी करंट प्लग सेटिंग सामान्यतः 50% ते 200% पर्यंत 25% च्या स्टेप्समध्ये असतात आणि अर्थ लीकेज रिलेसाठी 10% ते 70% पर्यंत 10% च्या स्टेप्समध्ये असतात. आवश्यक असलेली करंट सेटिंग ब्रिज प्रकारच्या सॉकेटमधील जॉ दरम्यान (jaws) आवश्यक टॅप व्हॅल्यूवर प्लग टाकून प्राप्त केली जाते.

6. प्लग-सेटिंग मल्टिप्लायर (Plug Setting Multiplier- P.S.M.): हा रिले कॉइलमधील फॉल्ट करंटचे पिक-अप करंटशी असलेले गुणोत्तर आहे, म्हणजे:

$P.S.M. = (\text{रिले कॉइलमधील फॉल्ट करंट}) / (\text{पिक-अप करंट})$

$= \text{रिले कॉइलमधील फॉल्ट करंट} / \text{C.T. चा रेटेड सेकंडरी करंट}$

उदाहरणार्थ, समजा एक रिले 400/5 करंट ट्रान्सफॉर्मरला जोडलेला आहे आणि 150% वर सेट केलेला आहे. 2400 A च्या प्रायमरी फॉल्ट करंटसह, प्लग-सेटिंग मल्टिप्लायरच गणना खालीलप्रमाणे केली जाऊ शकते:

पिक-अप व्हॅल्यू (Pick-up value) = C.T. चा रेटेड सेकंडरी करंट (Rated secondary current of C.T.) * करंट सेटिंग (Current setting) = $5 * 1.5 = 7.5 \text{ A}$

रिले कॉइलमधील फॉल्ट करंट (Fault current in relay coil) = $2400 * (5/400) = 30 \text{ A}$

PSM = $(30/7.5) = 4$

7. टाइम-सेटिंग मल्टिप्लायर (Time-Setting Multiplier - TMS)

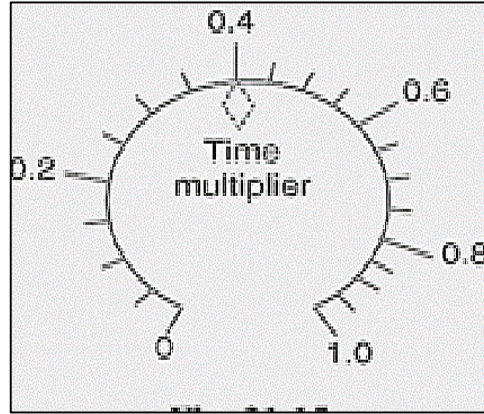


Fig No. 3.4 Time Setting Multiplier

Ref: [Principles of Power System, Mehta V. K ; Rohit Mehta, S.Chand and Co.,Page no.506](#)

रिलेला सामान्यतः त्याच्या कार्याची वेळ समायोजित करण्यासाठी नियंत्रण प्रदान केले जाते. हे समायोजन टाइम-सेटिंग मल्टिप्लायर म्हणून ओळखले जाते. टाइम-सेटिंग डायल 0 ते 1 पर्यंत 0.05 सेकंदांच्या स्टेप्समध्ये कॅलिब्रेट केलेला असतो (आकृती 3.4 पहा). ही आकडेवारी टाइम/P.S.M. कर्कमधून मिळवलेल्या वेळेला वास्तविक ऑपरेटिंग वेळेत रूपांतरित करण्यासाठी वापरले जाणारे मल्टिप्लायर्स आहेत. अशा प्रकारे, जर टाइम सेटिंग 0.1 असेल आणि टाइम/P.S.M. कर्कमधून मिळालेला वेळ 3 सेकंद असेल, तर वास्तविक रिले ऑपरेटिंग वेळ (actual relay operating time) = $3 * 0.1 = 0.3$ सेकंद.

उदाहरणार्थ, एका इंडक्शन रिलेमध्ये, कार्याची वेळ डिस्कच्या रिसेट स्थितीपासून तिच्या पिकअप स्थितीपर्यंतच्या प्रवासाचे प्रमाण समायोजित करून नियंत्रित केली जाते. हे एका हलवता येणाऱ्या बॅकस्टॉपच्या (movable backstop) स्थितीच्या समायोजनाद्वारे साध्य केले जाते, जो डिस्कचा प्रवास नियंत्रित करतो आणि त्यामुळे फॉल्ट करंटच्या दिलेल्या मूल्यांसाठी रिले त्याचे कॉन्टॅक्ट्स बंद करेल त्या वेळेत बदल करतो. एक तथाकथित "टाइम डायल" समान रीतीने विभाजित स्केलसह हे समायोजन प्रदान करतो. ऑपरेशनची वास्तविक वेळ टाइम सेटिंग मल्टिप्लायरला रिलेच्या टाइम/P.S.M. कर्कमधून मिळालेल्या वेळेने गुणून मोजली जाते.

3.3 इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक डिस्क रिले, थर्मल रिले, ओव्हर व्होल्टेज रिले, ओव्हर करंट, अर्थ फॉल्ट रिले: कार्यप्रणाली आणि त्याची वैशिष्ट्ये (Electromagnetic disc relay, Thermal relay, over voltage relay, Over current, Earth fault relay: Operation and its characteristics.)

3.3.1 इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक डिस्क रिले (Electromagnetic Disc Relay)

i) या रचनेत E-आकाराचा इलेक्ट्रोमॅग्नेट आणि U-आकाराचा इलेक्ट्रोमॅग्नेट असतो, ज्यांच्यामध्ये एक डिस्क फिरण्यासाठी मोकळी असते. इलेक्ट्रोमॅग्नेटद्वारे निर्माण झालेल्या फ्लक्समधील फेज डिस्प्लेसमेंट दोन मॅग्नेटद्वारे निर्माण झालेल्या फ्लक्समुळे प्राप्त होते, ज्यांचे दोन सर्किट्ससाठी भिन्न रेझिस्टन्स आणि इंडक्टन्स आहेत.

ii) E-आकाराच्या इलेक्ट्रोमॅग्नेटमध्ये दोन वाइंडिंग असतात: प्रायमरी आणि सेकंडरी. प्रायमरी करंट रिले करंट I₁ वाहून नेतो, तर सेकंडरी वाइंडिंग U-आकाराच्या इलेक्ट्रोमॅग्नेटवर असते.

iii) प्रायमरी वाइंडिंग रिले करंट I₁ वाहून नेते, तर सेकंडरी करंट सेकंडरीमध्ये emf प्रेरित करतो आणि त्यामुळे त्यात करंट I₂ फिरतो. E-आकाराच्या मॅग्नेटमध्ये फ्लक्स Φ_1 प्रेरित होतो, आणि U-आकाराच्या मॅग्नेटमध्ये फ्लक्स Φ प्रेरित होतो. वरच्या आणि खालच्या मॅग्नेटिकमध्ये प्रेरित झालेले हे फ्लक्स अँगल θ ने फेजमध्ये भिन्न असतात, ज्यामुळे डिस्कवर $\Phi_1 \Phi \sin \theta$ च्या प्रमाणात एक ड्रायव्हिंग टॉर्क विकसित होईल.

iv) रिलेचे सर्वात महत्वाचे वैशिष्ट्य म्हणजे त्याचे कार्य सेकंडरी वाइंडिंग सर्किट उघडून किंवा बंद करून नियंत्रित केले जाऊ शकते. जर सेकंडरी वाइंडिंग उघडली गेली, तर कोणताही टॉर्क विकसित होणार नाही आणि त्यामुळे रिले निष्क्रिय केला जाऊ शकतो.

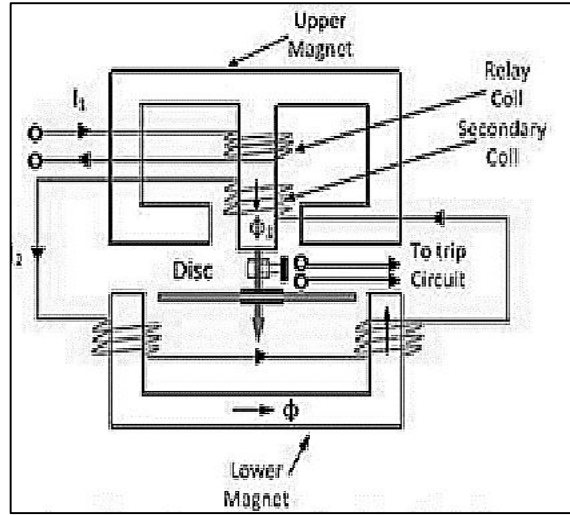


Fig . 3.5 Electromagnetic disc relay

Ref: [Principles of Power System, Mehta V. K ; Rohit Mehta, S.Chand and Co.,Page no.509](#)

3.3.2 थर्मल रिले (Thermal Relay)

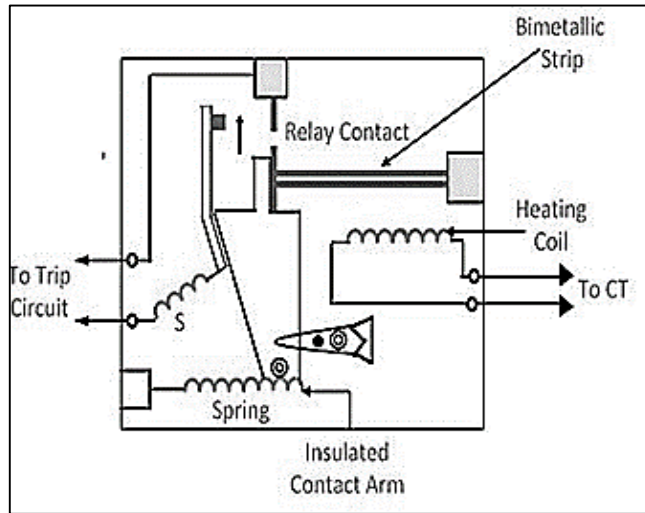


Fig. 3.6 Thermal relay

Ref: <https://circuitglobe.com/thermal-relay.html>

थर्मल रिले हे असे उपकरण म्हणून परिभाषित केले जाते जे बायमेटलिक स्ट्रिपमधील धातूच्या असमान प्रसरण दरांचा वापर करून ओव्हरकरंट परिस्थिती शोधते. थर्मल रिले बायमेटलिक स्ट्रिपला गरम करून कार्य करते, ज्यामुळे ती वाकते आणि नॉर्मली ओपन कॉन्टॅक्ट्स बंद करते, सर्किट ब्रेकरला ट्रिगर करते. यात धातूनी बनलेली बायमेटलिक स्ट्रिप असते ज्यांचे प्रसरणांक (coefficients of expansion) भिन्न असतात, एक हीटिंग कॉइल आणि कॉन्टॅक्ट्स असतात. थर्मल रिले ओव्हरलोड प्रोटेक्शनासाठी वापरले जातात, विशेषतः इलेक्ट्रिक मोटर्समध्ये, जिथे ते कमी-मुदतीच्या ओव्हरलोडमुळे ट्रिपिंग टाळतात. प्रसरणांक हा सामग्रीचा एक मूलभूत गुणधर्म आहे. वेगवेगळ्या धातूंमध्ये रेषीय प्रसरणाचे (linear expansion) दर भिन्न असतात. बायमेटलिक स्ट्रिप गरम झाल्यावर वाकते कारण दोन धातूंचे प्रसरण दर भिन्न असतात. थर्मल रिलेचे कार्य तत्त्व : थर्मल रिले धातूच्या वरील-नमूद केलेल्या गुणधर्मावर अवलंबून कार्य करते. थर्मल रिलेचे मूलभूत कार्य तत्त्व असे आहे की, जेव्हा सिस्टीमचा ओव्हरकरंट वाहून नेणाऱ्या हीटिंग कॉइलद्वारे बायमेटलिक स्ट्रिप गरम होते, तेव्हा ती वाकते आणि नॉर्मली ओपन कॉन्टॅक्ट्स बंद करते. थर्मल रिलेची रचना खूप सोपी आहे. स्ट्रिप वाकते, NO कॉन्टॅक्ट बंद होतो ज्यामुळे शेवटी सर्किट ब्रेकरची ट्रिप कॉइल ऊर्जावान होते.

उष्णता प्रभाव (heating effect) तात्काळ नसतो. ज्युलच्या उष्णता नियमानुसार (Joule's law of heating), निर्माण झालेल्या उष्णतेचे प्रमाण (amount of heat generated) हे:

$$\text{Heat Generated} = I^2 \times R \times t$$

येथे, I थर्मल रिलेच्या हीटिंग कॉइलमधून वाहणारा ओव्हरकरंट दर्शवतो. R हीटिंग कॉइलचा विद्युत रेझिस्टन्स आहे, t हीटिंग कॉइलमधून करंट I वाहण्यासाठी लागणारा वेळ आहे. म्हणून, वरील समीकरणावरून हे स्पष्ट होते की, कॉइलद्वारे

निर्माण होणारी उष्णता ज्या वेळेस ओव्हरकरंट कॉइलमधून वाहतो त्या वेळेच्या थेट प्रमाणात असते. त्यामुळे थर्मल रिलेच्या ऑपरेशनमध्ये बराच काळ विलंब होतो.

3.3.3 ओव्हर व्होल्टेज रिले (Over Voltage Relay)

ओव्हरव्होल्टेज रिले हे इलेक्ट्रिकल सिस्टीममध्ये असामान्य उच्च व्होल्टेज पातळीच्या शक्यतांपासून प्रोटेक्शन देण्यासाठी आवश्यक असलेले रक्षक आहेत. ते व्होल्टेजसारख्या घटकांचे सतत निरीक्षण करतात आणि धोकादायक सिस्टीम बिघाड टाळण्यासाठी त्यांच्या सुस्थापित यंत्रणांवर जसे की ट्रिपिंग सर्किट ब्रेकर्सवर अवलंबून असतात. रिले ओव्हरव्होल्टेज घटनांमुळे ट्रिप सिग्नल निर्माण करण्याचे साधन प्रदान करू शकतात, ज्यामध्ये उपकरणाच्या फॉल्टेड सेक्शनला वेगळे करण्यासाठी डाउनस्ट्रीम प्रोटेक्शन ट्रिप्स पाठवले जातात. हे इलेक्ट्रिकल सिस्टीमचे नुकसान टाळते, अशा प्रकारे सिस्टीमच्या उपकरणांची सुरक्षितता आणि अखंडित वीजपुरवठा वितरीत करण्यात तिची रिलायबल ता सुनिश्चित करते. बहुतेकदा, लाइटनिंग, स्विचिंग आणि ट्रान्झिएंट इंटरफेरन्समुळे होणाऱ्या व्होल्टेज सर्जेसमुळे प्रभावित होणारे उपकरण ओव्हरकरंट रिलेवर अवलंबून असतात.

3.3.4 ओव्हरकरंट रिले (Overcurrent Relay)

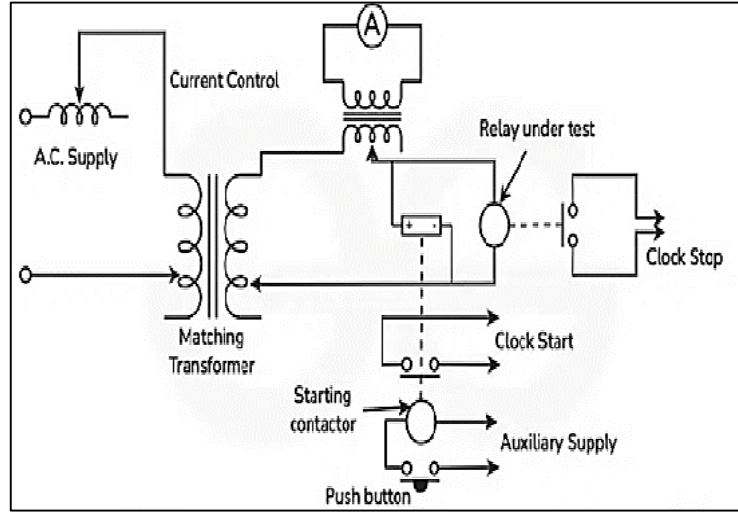


Fig. 3.7 (Overcurrent Relay)

Ref: <https://electricalworkbook.com/overcurrent-relay/>

ओव्हरकरंट रिले सिस्टीमला जास्त करंट करंटपासून प्रोटेक्शन देण्यासाठी जबाबदार आहे. हे इलेक्ट्रिकल उपकरणे आणि सिस्टीमला ओव्हरलोडिंग, शॉर्ट सर्किट्स आणि इतर असामान्य परिस्थितींमुळे होणाऱ्या नुकसानापासून प्रोटेक्शन प्रदान करते. जर करंट ठराविक वेळेसाठी थ्रेशोल्ड व्हॅल्यूपेक्षा वाढला, तर रिले ट्रिप सिग्नल पाठवेल जो सर्किटला खंडित करेल. यामुळे सर्किट निश्चित सीमांसह फॉल्ट पूर्ण भागापासून वेगळे होईल. हे निष्क्रियतेचे कमी कालावधी, ओव्हरबर्डन आणि ग्राउंड-आधारित बिघाड यासह विविध प्रकारच्या बिघाडांना ओळखू शकतात. त्यांचा उपकरणाची स्थिरता राखण्यात आणि त्याला बिघाड अनुभवण्यापासून रोखण्यात महत्त्वपूर्ण प्रभाव पडतो.

3.3.5 अर्थ फॉल्ट रिले (Earth Fault Relay)

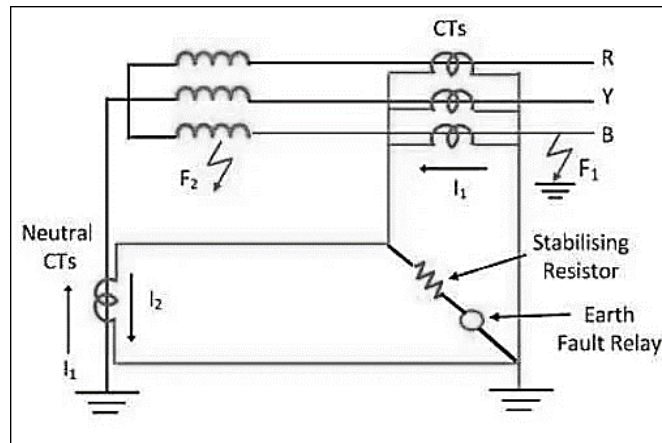


Fig No. 3.8 Earth Fault Relay

Ref: <https://smartshop.lk-ea.com/blog-articles/post/earth-fault-protection-types>

अर्थ फॉल्ट रिले हे इलेक्ट्रिकल सिस्टीममध्ये फॉल्ट्सपासून प्रोटेक्शन देण्यासाठी वापरले जाते, ज्यात पृथ्वीपासून इलेक्ट्रिक सर्किटपर्यंत तुटलेली किंवा जोडलेली स्थिती असते. हे फॉल्ट शोधल्यावर सर्किट खंडित करते, ज्यामुळे उपकरणांचे नुकसान, विजेचे धक्के आणि आग लागणे या समस्यांना सामोरे जाते. अर्थ फॉल्ट रिलेमध्ये निवडक सेटिंग्जची रचना असते. तसेच, या ऑपरेशनचे एक महत्त्वपूर्ण कार्य विशेषतः असे केले जाते की, इलेक्ट्रिक ग्रिडच्या इतर कार्यान्वित भागांमध्ये होणारा व्यत्यय कमीतकमी होईल. हे अर्थ फॉल्ट रिले त्यांच्या कार्यप्रणालीमध्ये आणि त्यामुळे ऍप्लिकेशनमध्ये अनेक प्रकारचे असतात. काही रिले सिस्टीमच्या न्यूट्रल कंडक्टरमध्ये वाहणाऱ्या रेसिड्युअल करंटवर आधारित असतात; तर इतर कमी फॉल्ट करंटला ग्राउंडकडे शोधण्यावर आधारित असतात, आणि शेवटचा प्रकार मोठ्या फॉल्ट करंटवर आधारित असतो जो कमी रेझिस्टन्ससह ग्राउंडकडे वाहतो.

3.4 स्टॅटिक, डिजिटल रिले (मायक्रोप्रोसेसर आधारित): ब्लॉक डायग्राम, कार्यप्रणाली, फायदे आणि मर्यादा. न्यूमेरिकल रिले: परिचय (Static, Digital Relay (Microprocessor based): Block diagram, working, advantages and limitations. Numerical relay: Introduction)

3.4.1 स्टॅटिक रिले (Static Relay)

स्टॅटिक रिलेचा ब्लॉक डायग्राम खाली दर्शविला आहे. या ब्लॉक डायग्राममधील स्टॅटिक रिलेच्या घटकांमध्ये मुख्यतः रेक्टिफायर, ॲम्प्लिफायर, ओ/पी युनिट आणि रिले मेजरिंग सर्किटचा समावेश आहे. येथे, रिलेच्या मेजरिंग सर्किटमध्ये लेव्हल डिटेक्टर, लॉजिक गेट आणि ॲम्प्लिट्यूड व फेजसारख्या कंपॅरेटर्सचा समावेश आहे.

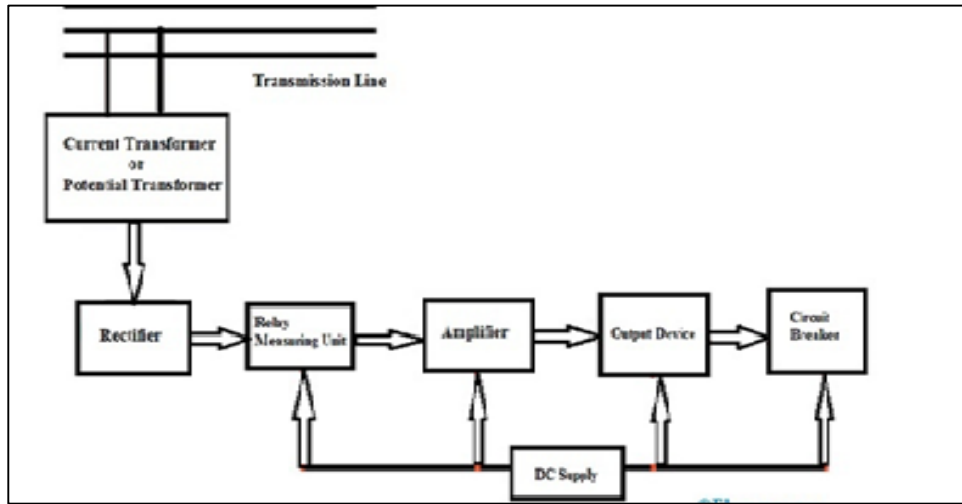


Fig No. 3.9 Static Relay

Ref: <https://circuitglobe.com/static-relay.html>

वरील ब्लॉक डायग्राममध्ये, ट्रान्समिशन लाईन थेट करंट ट्रान्सफॉर्मरला (CT) किंवा पोटेंशियल ट्रान्सफॉर्मरला (PT) जोडलेली असते, जेणेकरून ट्रान्समिशन लाईन (transmission line) CT/PT ला इनपुट प्रदान करते. करंट ट्रान्सफॉर्मरचे आउटपुट रेक्टिफायरला इनपुट म्हणून दिले जाते, जो इनपुट AC सिग्नलला DC सिग्नलमध्ये रूपांतरित करतो. हा DC सिग्नल रिलेच्या मेजरिंग युनिटला दिला जातो. मेजरिंग युनिट रिले स्टॅटिक रिले सिस्टीममधील सर्वात महत्वाचे कार्य करते, जे लेव्हल डिटेक्टरद्वारे इनपुट सिग्नलची पातळी शोधून आणि लॉजिक गेट ऑपरेशन्स करण्यासाठी कंपॅरेटर्सद्वारे सिग्नलची मॉग्निच्यूड आणि फेजचे मूल्यांकन करते. या रिलेमध्ये दोन प्रकारचे कंपॅरेटर्स वापरले जातात: ॲम्प्लिट्यूड आणि फेज कंपॅरेटर्स. ॲम्प्लिट्यूड कंपॅरेटर्सचे मुख्य कार्य इनपुट सिग्नलची मॉग्निच्यूड तुलना करणे आहे, तर फेज कंपॅरेटर्स इनपुट क्वांटिटिच्या फेजमधील बदलाची तुलना करण्यासाठी वापरला जातो. रिलेच्या मेजरिंग युनिटचे आउटपुट ॲम्प्लिफायरला दिले जाते, जे सिग्नलची मॉग्निच्यूड वाढवते आणि ते ओ/पी डिव्हाइसला (o/p device) प्रसारित करते. त्यामुळे हे डिव्हाइस ट्रिप कॉइलला बळकट करेल, जेणेकरून ते सर्किट ब्रेकर ट्रिप करेल. ॲम्प्लिफायरच्या ऑपरेशनसाठी, रिलेच्या मेजरिंग युनिटला आणि ओ/पी डिव्हाइसला (o/p device) अतिरिक्त DC सप्लायची आवश्यकता असते. त्यामुळे हा स्टॅटिक रिलेचा मुख्य तोटा आहे.

● स्टॅटिक रिलेचे वर्किंग प्रिन्सिपल (Static Relay Working Principle)

स्टॅटिक रिलेच्या कार्यप्रणालीमध्ये, सर्वप्रथम करंट ट्रान्सफॉर्मर (CT) किंवा पोटेंशियल ट्रान्सफॉर्मर (PT) ट्रान्समिशन लाईनकडून इनपुट व्होल्टेज/करंट सिग्नल घेतो आणि तो रेक्टिफायरला देतो. त्यानंतर, हा रेक्टिफायर AC सिग्नलला DC मध्ये बदलतो आणि हा DC सिग्नल रिलेच्या (relay) मेजरिंग युनिटला दिला जातो. आता, हे मेजरिंग युनिट इनपुट सिग्नलची

पातळी ओळखते, त्यानंतर ते मेजरिंग युनिटमधील उपलब्ध कंपॅरेटरसह सिग्नलच्या मॅग्निच्यूड आणि फेजची तुलना करते. हा कंपॅरेटर इनपुट सिग्नल फॉल्ट पूर्ण आहे की नाही हे सुनिश्चित करण्यासाठी त्याची तुलना करतो. त्यानंतर, हा ॲम्प्लिफायर सिग्नलची मॅग्निच्यूड वाढवतो आणि ट्रिप कॉइलला सक्रिय करण्यासाठी तो ओ/पी डिव्हाइसला (o/p device) पाठवतो, जेणेकरून सर्किट ब्रेकर ट्रिप होईल.

• स्टॅटिक रिलेचे फायदे (Advantages of Static Relays)

- हे रिले खूप जलद प्रतिसाद देतात, ज्यात रिलायबल, अचूकता, दीर्घ आयुष्य असते आणि ते शॉकप्रूफ असतात.
- हे रिले खूप कमी पॉवर वापरतात.
- यात कोणतीही थर्मल स्टोरेज समस्या नसते.
- या प्रकारचे रिले इनपुट सिग्नलला ॲम्प्लिफाय करतात, ज्यामुळे त्यांची संवेदनशीलता वाढते.
- अनावश्यक ट्रिपिंगची शक्यता कमी असते.
- या रिलेमध्ये शॉकला जास्तीत जास्त रेझिस्टन्स असतो, त्यामुळे ते भूकंपप्रवण प्रदेशात सहज कार्य करू शकतात.
- त्यांना कमी देखभाल लागते.
- त्यांचा प्रतिसाद वेळ खूप जलद असतो.
- या प्रकारचे रिले शॉक आणि व्हायब्रेशनसला रेझिस्टन्स देतात.
- त्यांचा रिसेटिंग वेळ खूप जलद असतो.
- ते अत्यंत दीर्घकाळासाठी कार्य करतात.
- ते खूप कमी पॉवर वापरतात आणि सेकंडरी DC सप्लायमधून (secondary dc supply) पॉवर घेतात

• स्टॅटिक रिलेचे तोटे (Disadvantages of Static Relays)

- या रिलेमध्ये वापरलेले घटक इलेक्ट्रोस्टॅटिक डिस्चार्जला अत्यंत संवेदनशील असतात, ज्याचा अर्थ चार्ज केलेल्या वस्तूंमध्ये अनपेक्षित इलेक्ट्रॉन करंट होतो. त्यामुळे, घटकांवर विशेष देखभाल आवश्यक आहे जेणेकरून इलेक्ट्रोस्टॅटिक डिस्चार्जचा परिणाम होणार नाही.
- या रिलेवर उच्च व्होल्टेज सर्जसचा सहज परिणाम होतो. त्यामुळे, व्होल्टेज स्पाइक्समुळे होणारे नुकसान टाळण्यासाठी खबरदारी घेणे आवश्यक आहे.
- रिलेच कार्य मुख्यत्वे सर्किटमध्ये वापरलेल्या घटकांवर अवलंबून असते.
- या रिलेमध्ये ओव्हरलोडिंग क्षमता कमी असते.
- इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक रिलेच्या तुलनेत हा रिले अत्यंत महाग असतो.
- या रिलेची रचना आसपासच्या इंटरफेरन्समुळे सहज प्रभावित होते.
- हे व्होल्टेज ट्रान्झिएंट्सना संवेदनशील असतात.
- या रिलेमध्ये वापरल्या जाणाऱ्या सेमीकंडक्टर उपकरणांची वैशिष्ट्ये जसे की डायोड, ट्रान्झिस्टर इत्यादी, तापमान आणि कालांतराने बदलतात.
- या रिलेची रिलायबिलिटी मुख्यत्वे अनेक लहान घटकांवर आणि त्यांच्या जोडणीवर अवलंबून असते.
- इलेक्ट्रोमेकॅनिकल रिलेच्या तुलनेत या रिलेमध्ये कमी शॉर्ट-टाइम ओव्हरलोड क्षमता असते.
- घटकांच्या कालांतराने या रिलेच्या ऑपरेशनवर सहज परिणाम होऊ शकतो.
- या रिलेच्या ऑपरेशनचा वेग घटकांच्या मेकॅनिकल इनर्शियामुळे मर्यादित असतो.
- हे व्यावसायिक कारणांसाठी लागू नाहीत.

3.4.2 डिजिटल रिले (मायक्रोप्रोसेसर आधारित) (Digital Relay (Microprocessor based))

लार्ज स्केल इंटीग्रेटेड (LSI) तंत्रज्ञानातील जलद विकासामुळे, अत्याधुनिक आणि जलद मायक्रोप्रोसेसर आता उपलब्ध आहेत. आधुनिक जटिल मोठ्या पॉवर सिस्टीम नेटवर्कच्या जलद वाढीमुळे, जलद, अचूक आणि रिलायबल प्रोटेक्टिव्ह योजना आवश्यक आहेत. मायक्रोप्रोसेसर आधारित डिजिटल रिले योजना पॉवर सिस्टीम प्रोटेक्शनासाठी अधिकाधिक लोकप्रिय होत आहेत कारण त्या आकर्षक कॉम्पॅक्टनेस आणि लवचिकता देतात. त्या रिले युनिट्सच्या प्रकारांची संख्या कमी करतात. ऑप-ॲम्प्स, ॲनालॉग मल्टीप्लेक्सर, ॲनालॉग-डिजिटल (A/D) कन्व्हर्टर, व्होल्टेज कंपॅरेटर्स आणि पॅसिव्ह एलिमेंट्स वापरून एक इंटरफेस विकसित केला गेला आहे, जो विविध प्रकारच्या रिलेची वैशिष्ट्ये प्रदान करतो, जसे की डेफिनेट टाइम रिले, इन्व्हर्स-टाइम ओव्हरकरंट रिले, फेज कंपॅरेटर्स आणि रिक्वर्स पॉवर रिले इत्यादी.

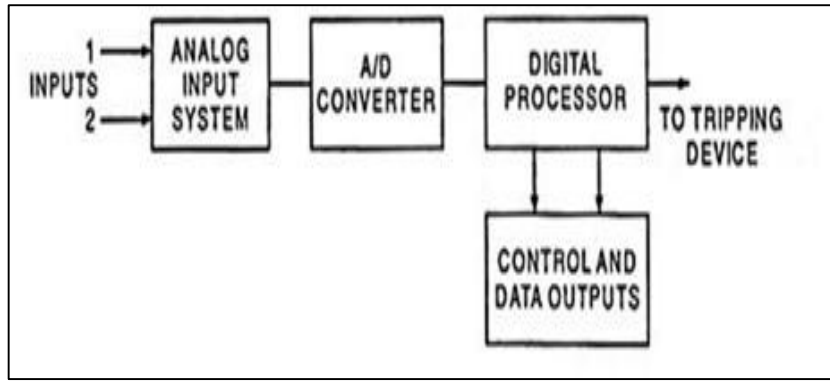


Fig No. 3.10 Digital Relay (Microprocessor based)

Ref: <https://www.eeeguide.com/microprocessor-based-digital-relay-block-diagram/>

पॉवर सिस्टीममधून CTs आणि PTs द्वारे प्राप्त होणाऱ्या थ्री-फेज AC क्वांटिटीजना एकाच वेळी किंवा क्रमाने ठराविक वेळेच्या अंतराने (प्रति सायकल 4 ते 32 सॅम्पल्स) सॅम्पल केले जाते. त्यानंतर, त्या A/D कन्व्हर्टरद्वारे डिजिटल स्वरूपात रूपांतरित केल्या जातात आणि डिजिटल प्रोसेसरकडे हस्तांतरित केल्या जातात. डिजिटल सिग्नल्स कोडेड स्केअर पल्सेसच्या (coded square pulses) स्वरूपात असतात, जे डिस्क्रीट डेटा दर्शवतात. हे सिग्नल्स बायनरी स्वरूपात असतात. मायक्रोप्रोसेसर/डिजिटल प्रोसेसर, शिफारस केलेल्या मूल्यांसह सेट केल्याप्रमाणे, डायनॅमिक इनपुटची तुलना करतो आणि त्यानुसार आउटपुट डिवाइसला ट्रिप/अलार्म सिग्नल निर्माण करण्याचा निर्णय घेतो.

• मायक्रोप्रोसेसर आधारित डिजिटल रिलेचे फायदे (Advantages of Microprocessor Based Digital Relay):

मायक्रोप्रोसेसर आधारित डिजिटल रिलेचे अनेक फायदे आहेत. CTs आणि PTs वर त्यांचा खूप कमी बर्डन असतो. मर्यादित आउटपुट असलेल्या एअर-गॅप वापरून सॅचुरेशन टाळता येते. ते सिग्नल्सवर खूप कार्यक्षमतेने, अचूकपणे आणि शक्य तितक्या जलद गतीने प्रक्रिया करू शकतात आणि ते प्रदर्शित करू शकतात. त्यांच्या प्रोग्रामेबल वैशिष्ट्यांमुळे, ते इलेक्ट्रिकल पॉवर सिस्टीमच्या प्रोटेक्शनात मोठ्या प्रमाणावर वापरले जाऊ शकतात. शिवाय, एक मायक्रोप्रोसेसर युनिट अनेक सिस्टीमचे रिलेइंग कार्य करण्यास सक्षम असू शकते.

मायक्रोप्रोसेसर रिले अभियंत्यांसाठी अधिक रिलायबल आणि सुरक्षित आहेत कारण ते चुकीची ट्रिप होण्यापूर्वी किंवा ट्रिप होण्यास अपयश येण्यापूर्वी वापरकर्त्याला बिघाडाबद्दल सतर्क करू शकतात. तथापि, मायक्रोप्रोसेसरना बाह्य प्रभावांपासून योग्यरित्या संरक्षित केले पाहिजे आणि ज्या सिस्टीममधून त्यांना त्यांचे कंट्रोल व्होल्टेज मिळते, त्याचे अर्थिंग खूप चांगले असावे.

• मायक्रोप्रोसेसर आधारित डिजिटल रिलेच्या मर्यादा (Limitation of Microprocessor Based Digital Relay):

किंमत (Cost): मायक्रोप्रोसेसर-आधारित रिलेची प्रारंभिक किंमत जुन्या इलेक्ट्रोमेकॅनिकल किंवा स्टॅटिक रिलेच्या प्रकारापेक्षा जास्त असते. हे त्यांच्या कार्यासाठी आवश्यक असलेल्या प्रगत तंत्रज्ञान आणि घटकांमुळे होते.

a) जटिलता : डिजिटल रिलेमधील गुंतागुंतीचे सॉफ्टवेअर आणि हार्डवेअरमुळे त्यांना टूबलशूट करणे आणि त्यांची देखभाल करणे जटिल होऊ शकते. योग्यरित्या व्यवस्थापित न केल्यास यामुळे देखभालीचा खर्च वाढू शकतो आणि डाउनटाइम होऊ शकतो.

b) सॉफ्टवेअर आणि हार्डवेअर भेद्यता (Software and Hardware Vulnerabilities): डिजिटल रिले सॉफ्टवेअर आणि हार्डवेअरवर अवलंबून असतात, जे त्रुटी, बग्स आणि सायबर हल्ल्यांना बळी पडू शकतात. या भेद्यतांमुळे अनपेक्षित ट्रिपिंग, चुकीची फॉल्ट डिटेक्शन किंवा सिस्टीमची अस्थिरता देखील होऊ शकते.

c) पॉवर अवलंबित्व : मायक्रोप्रोसेसर-आधारित रिलेना कार्य करण्यासाठी बाह्य पॉवर स्रोतांची आवश्यकता असते, ज्यामुळे ते पॉवर आउटेजला असुरक्षित बनू शकतात. काही प्रकरणांमध्ये, त्यांच्याकडे बॅकअप पॉवर सप्लाय असू शकतात, परंतु ते देखील निकामी होण्याची शक्यता असते.

d) देखभाल आणि कॅलिब्रेशन : डिजिटल रिलेना अचूक आणि रिलायबल ऑपरेशन सुनिश्चित करण्यासाठी अनेकदा नियमित देखभाल, कॅलिब्रेशन आणि फर्मवेअर अद्यतने आवश्यक असतात. यामुळे एकूण ऑपरेशनल खर्च आणि जटिलता वाढू शकते.

e) सायबरसुरक्षितता जोखीम :डिजिटल रिलेची नेटवर्क कनेक्टिव्हिटी आणि डेटा प्रोसेसिंग क्षमता त्यांना सायबर हल्ल्यांचे लक्ष्य बनवू शकतात. या रिलेना सायबर धोक्यापासून प्रोटेक्शन देण्यासाठी विशेष सुरक्षा उपाय आणि कौशल्य आवश्यक आहे.

f) इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक कंपॅटिबिलिटी (EMC) : जरी डिजिटल तंत्रज्ञान सामान्यतः अॅनालॉगपेक्षा अधिक आवाज-संरक्षित असले तरी, बाह्य इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक फील्ड्सच्या हस्तक्षेपाला टाळण्यासाठी मायक्रोप्रोसेसर-आधारित रिलेना EMC विचारात घेऊन डिझाइन करणे आवश्यक आहे.

g) मर्यादित प्रोसेसिंग क्षमता : डिजिटल रिलेमध्ये वापरल्या जाणाऱ्या मायक्रोप्रोसेसरमध्ये न्यूमेरिकल रिलेच्या तुलनेत मर्यादित प्रोसेसिंग पॉवर आणि मेमरी असू शकते, ज्यामुळे त्यांची कार्यक्षमता आणि प्रोसेसिंग गती मर्यादित होऊ शकते.

h) अनपेक्षित ट्रिपिंगची शक्यता : जरी सामान्यतः रिलायबल असले तरी, डिजिटल रिलेमध्ये दुर्मिळ प्रकरणांमध्ये सॉफ्टवेअर बग्स, हार्डवेअर निकामी किंवा इतर अनपेक्षित समस्यांमुळे अनपेक्षित ट्रिपिंग अनुभव येऊ शकते.

3.4.2 न्यूमेरिकल रिले (Numerical Relay):

इंट्रोडक्शन:

न्यूमेरिकल रिले हे स्टॅटिक आणि इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक रिलेचे विकसित स्वरूप आहेत. ते मुळात एक उपकरण आहे जे इलेक्ट्रिकल नेटवर्कमधील विद्युत पॅरामीटर्स मोजण्यासाठी वापरले जाते आणि त्यांना न्यूमेरिकल डेटामध्ये रूपांतरित करते, जो इलेक्ट्रिकल नेटवर्कला ट्रिप करण्याचा निर्णय घेण्यासाठी गणितीय आणि लॉजिकल विश्लेषणातून जातो.

न्यूमेरिकल रिलेचा मुख्य उद्देश इलेक्ट्रिकल नेटवर्कला अनपेक्षित फॉल्ट करंटपासून प्रोटेक्शन देणे आहे. न्यूमेरिकल रिलेना त्यांच्या बहुमुखी वैशिष्ट्यांमुळे प्राधान्य दिले जाते. एकच न्यूमेरिकल रिले करंट, व्होल्टेज, फ्रिक्वेंसी, ऑनसेट टाइम, ऑफसेट टाइम इत्यादी अनेक पॅरामीटर्सचे निरीक्षण करू शकतो. आणि तोच रिले ओव्हर करंट, ओव्हर फ्लक्सिंग, डिफरंट करंट आणि इतर अनेक फॉल्ट्सचे विश्लेषण आणि निरीक्षण करण्यासाठी वापरला जाऊ शकतो.

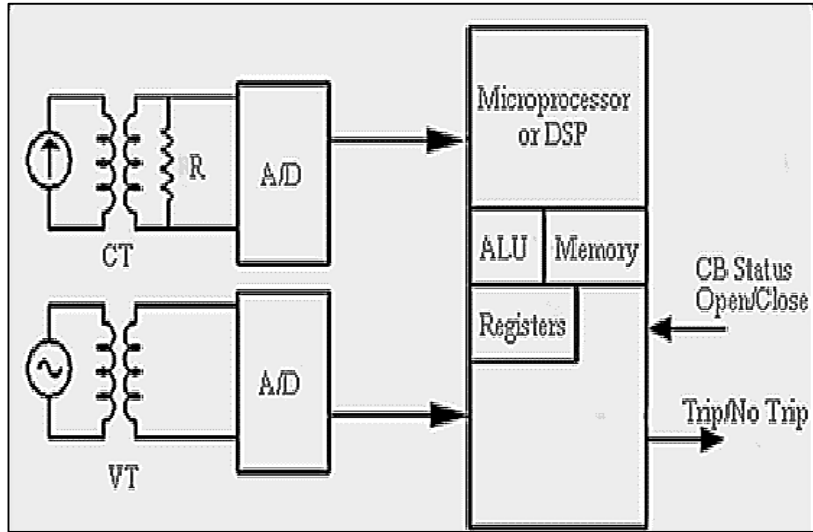


Fig No. 3.11 Numerical Relay

Ref: https://archive.nptel.ac.in/content/storage2/courses/108101039/Module-1/Lec-1/Sec-1.1/1.1.1_7.html

3.5 डिस्टन्स रिलेइंग - प्रिन्सिपल (Principle)

• डिस्टन्स किंवा इम्पेडन्स रिलेचे वर्किंग प्रिन्सिपल : (Working Principle of Distance or Impedance Relay):

इम्पेडन्स रिलेचे कार्य सरळ आहे. ते पोटेंशियल ट्रान्सफॉर्मरमधून एक व्होल्टेज एलिमेंट आणि करंट ट्रान्सफॉर्मरमधून एक करंट एलिमेंट वापरते. रिलेची क्रिया रिस्टोरिंग टॉर्क आणि डिफ्लेक्टिंग टॉर्क यांच्यातील संतुलनावर अवलंबून असते.

• **नॉर्मल विरुद्ध फॉल्ट कंडीशन (Normal vs. Fault Conditions) :** सामान्य परिस्थितीत, रिस्टोरिंग टॉर्क डिफ्लेक्टिंग टॉर्कपेक्षा जास्त असतो, ज्यामुळे रिले निष्क्रिय राहतो. फॉल्टच्या दरम्यान, वाढलेला करंट आणि कमी झालेले व्होल्टेज हे संतुलन बदलतात, ज्यामुळे रिले त्याचे कॉन्टॅक्ट्स बंद करून सक्रिय होतो. अशा प्रकारे, रिलेचे कार्य इम्पेडन्सद्वारे, म्हणजेच व्होल्टेज ते करंट गुणोत्तराद्वारे निर्धारित केले जाते.

• **एक्टिवेशन थ्रेशोल्ड (Activation Threshold):** व्होल्टेज ते करंट गुणोत्तर किंवा इम्पेडन्स, पूर्वनिर्धारित मूल्यापेक्षा कमी झाल्यास इम्पेडन्स रिले सक्रिय होतो. हे सामान्यतः ट्रान्समिशन लाईनवरील विशिष्ट, पूर्वनिर्धारित अंतरामध्ये फॉल्ट दर्शवते, कारण लाईन इम्पेडन्स तिच्या लांबीच्या प्रमाणात असतो.

1.2 डाईरेक्शनल रिले (Directional relay) : गरज आणि कार्यप्रणाली ब्लॉक डायग्रामसह (Need and operation with block diagram.)

• गरज (Need):

इलेक्ट्रिकल सिस्टीममध्ये पॉवर फ्लोची दिशा निश्चित करण्यासाठी आवश्यक आहेत, ज्यामुळे ट्रान्समिशन लाईन्स आणि उपकरणांचे सिलेक्टिव्ह प्रोटेक्शन शक्य होते. ते फॉल्ट करंटची दिशा ओळखण्यासाठी करंट आणि व्होल्टेजमधील फेज अँगलची तुलना करून कार्य करतात.

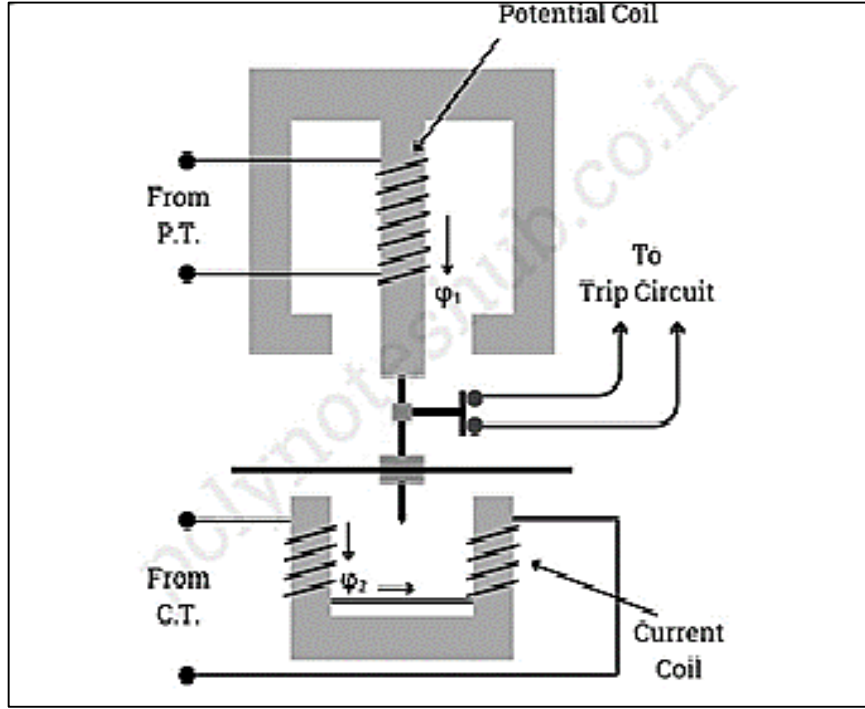


Fig No. 3.12 Directional Relay

Ref: <https://electricallab.in/power-system-protection-and-switchgear-lab/directional-over-current-relay/>

• ऑपरेशन (Operation)

रिले CTs आणि PTs कडून अनुक्रमे करंट आणि व्होल्टेज सिग्नलचे सतत निरीक्षण करतो. हे ट्रान्सफॉर्मर रिले हाताळू शकेल अशा वाजवी स्तरापर्यंत करंट आणि व्होल्टेजची पातळी कमी करतात. रिले करंट आणि व्होल्टेज सिग्नलच्या फेज अँगलची तुलना करतो. करंट आणि व्होल्टेजमधील फेज कनेक्शन तपासून, रिले इलेक्ट्रिकल सर्किटमधील पॉवर फ्लोची दिशा निर्धारित करू शकतो. विशिष्ट पॅरामीटर्स आणि लॉजिकवर आधारित, रिले करंट फ्लो इच्छित किंवा विरुद्ध दिशेने आहे हे ठरवतो. जर स्थापित मूल्यांनुसार करंट फॉरवर्ड दिशेने वाहत असेल, तर ते सामान्य ऑपरेशन दर्शवते. तथापि, जर करंट विरुद्ध दिशेने वाहत असेल किंवा पूर्वनिर्धारित थ्रेशोल्डपेक्षा जास्त असेल, ज्यामुळे बिघाड सूचित होतो, तर रिले प्रतिबंधात्मक कार्यवाही करतो. जेव्हा डाईरेक्शनल रिले फॉल्ट किंवा अबनॉर्मल स्थिती शोधतो, तेव्हा तो सिस्टीमच्या फॉल्ट पूर्ण घटकाशी जोडलेल्या सर्किट ब्रेकरला ट्रिप सिग्नल पाठवतो. हे पाऊल समस्याग्रस्त भागाला सिस्टीमच्या उर्वरित भागापासून वेगळे करते, ज्यामुळे उपकरणांचे नुकसान टाळता येते आणि इलेक्ट्रिकल नेटवर्कची स्थिरता आणि सुरक्षितता सुनिश्चित होते.

3.7 करंट आणि व्होल्टेज डिफरेंशियल रिले: कार्यप्रणाली (Current and Voltage differential relay: Operation)

• करंट डिफरेंशियल रिले (Current differential Relay)

हा रिले ट्रान्सफॉर्मरसारख्या प्रोटेक्टीव्ह उपकरणात प्रवेश करणाऱ्या आणि बाहेर पडणाऱ्या करंटची तुलना करतो. तो या करंटमधील कोणताही फरक शोधतो, जो इंटर्नल फॉल्ट दर्शवतो. सामान्यतः, आत येणारे आणि बाहेर जाणारे करंट समान असतात, त्यामुळे रिले ऑपरेट होत नाही. तथापि, इंटर्नल फॉल्टच्या दरम्यान, हे करंट अनइकल होतात. रिले हा करंट फरक शोधतो आणि फॉल्ट पूर्ण उपकरणाला वेगळे करण्यासाठी सर्किट ब्रेकरला ट्रिप करतो.

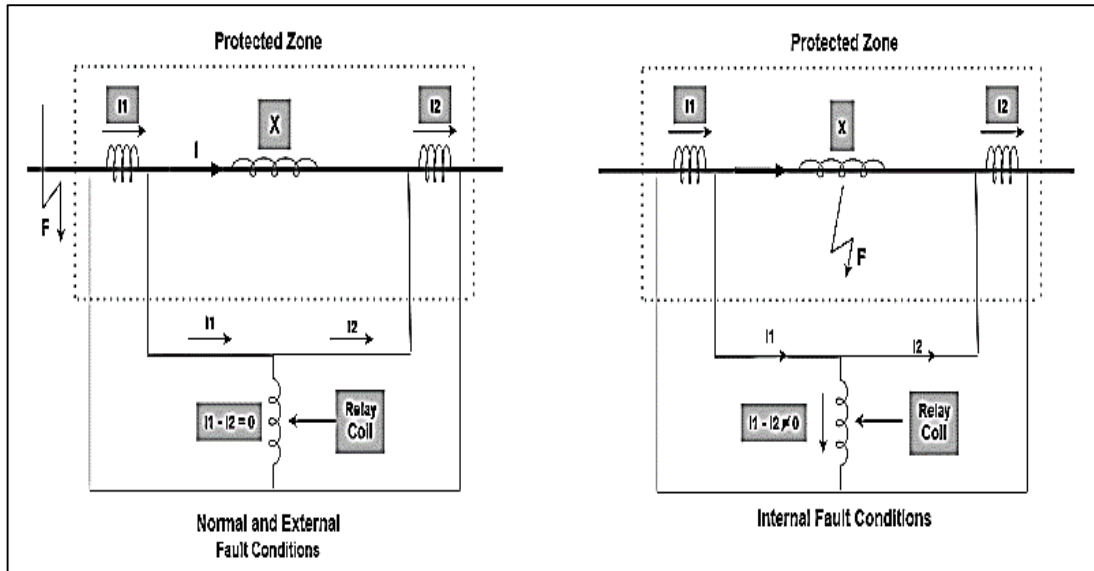


Fig No. 3.13 Current differential Relay

Ref: <https://www.electricaldeck.com/2021/09/differential-relay-and-its-types>

• व्होल्टेज बॅलन्स डिफरेंशियल रिले (Voltage Balance Differential Relay)

हा प्रकार जनरेटर वाइंडिंगसारख्या प्रोटेक्टीव्ह उपकरणाच्या दोन्ही बाजूंच्या व्होल्टेजची तुलना करतो. हे व्होल्टेज मूल्यात भिन्न आहेत की एकमेकांशी फेजच्या बाहेर आहेत हे तपासते. रिलेमध्ये दोन करंट ट्रान्सफॉर्मर वाइंडिंगला जोडलेले असतात. नॉर्मल परिस्थितीत दोन्ही CTs द्वारे मोजलेले व्होल्टेज समान असतात, त्यामुळे रिलेच्या ऑपरेटिंग कॉइलमधून कोणताही करंट वाहत नाही. परंतु फॉल्टच्या दरम्यान व्होल्टेज भिन्न होतात. हा व्होल्टेज फरक रिलेच्या ऑपरेटिंग कॉइलमध्ये करंट निर्माण करतो, ज्यामुळे ते ट्रिप होते.

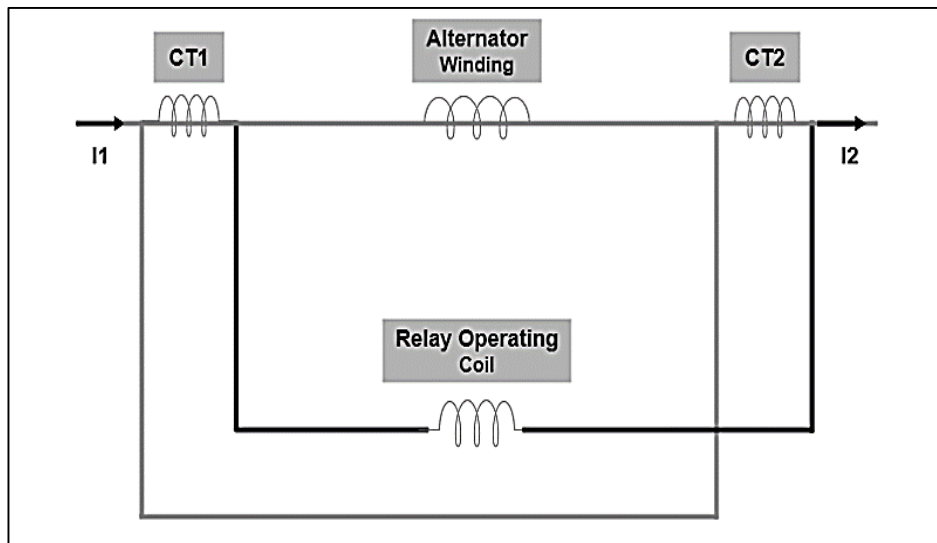


Fig No. 3.14 Voltage Balance Differential Relay

Ref: <https://www.elprocus.com/differential-relay/>

स्वाध्याय (Exercise)

1. प्रोटेक्टिव्ह रिले शी संबंधित संज्ञा स्पष्ट करा
2. पॉवर सिस्टीममधील दिलेल्या डेटाच्या आधारे रिले टाइम कॅलक्युलेट करा.
3. दिलेल्या प्रोटेक्टिव्ह रिलेच्या कार्यप्रणालीचे डायग्रामसह स्पष्टीकरण करा.
4. इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक डिस्क रिले, थर्मल रिले, ओव्हर व्होल्टेज रिले, ओव्हर करंट, अर्थ फॉल्ट रिले: वर्किंग आणि त्याची वैशिष्ट्ये स्पष्ट करा
5. डाईरेक्शनल रिले गरज आणि वर्किंग ब्लॉक डायग्रामसह स्पष्ट करा
6. आवश्यक ऍप्लिकेशनसाठी योग्य प्रोटेक्टिव्ह रिलेची निवड करा आणि त्याचे समर्थन करा.

संदर्भ पाठ्यपुस्तके (Reference Books):

1. Rao.Sunil S. Switchgear and Protection Khanna Publishers, New Delhi, 2015 ISBN: 978-93-87394-72-8
2. Gupta. J. B. Switchgear and Protection S. K. Kataria and Sons, New Delhi, 2015 ISBN: 978-93-5014-372-8.
3. Singh, R. P. PHI Learning, New Delhi, 2015 ISBN: 978-81-203-3660-5.

माहिती संकेतस्थळ (Information Websites):

1. <https://nptel.ac.in/courses/108101039>
2. <https://www.electricaltechnology.org/>
3. <https://www.elecspace.com>

युनिट - 4

अल्टरनेटर, मोटर्स, ट्रान्सफॉर्मर, बसबार आणि ट्रान्समिशन लाईन्सचे प्रोटेक्शन (Protection of Alternators, Motors, Transformers, Busbars and Transmission lines)

विषय निष्पत्ती (Course Outcomes) (CO)

जनरेटर, मोटर्स, ट्रान्सफॉर्मर, बसबार आणि ट्रान्समिशन लाईन्स साठी योग्य प्रोटेक्शन योजना

(Use suitable protection schemes for alternators, motors, transformers, busbars and transmission lines)

विषय निष्पत्ती बरोबर जुळणारी थिअरी लर्निंग निष्पत्ती (Theory Learning Outcomes (TLO)

Aligned to Course Outcomes (CO))

4.1 दिलेल्या मशीनमधील फॉल्ट्सची (faults) कारणे आणि उपाययोजना (remedies) वर्णन करा.

(Describe the causes and remedies of the given faults in the specified machine)

4.2 दिलेल्या मशीनच्या प्रोटेक्शन योजना (protection schemes) आकृत्यांसह (sketches) स्पष्ट करा.

(Explain with sketches the given protection schemes of the specified machine)

4.3 दिलेल्या अल्टरनेटरच्या संरक्षित वाइंडिंगची (winding protected) टक्केवारी (percentage) काढा.

(Calculate percentage of winding protected for the specified alternator)

4.4 दिलेल्या ट्रान्सफॉर्मर प्रोटेक्शन योजनेचे (transformer protection scheme) सीटी रेशिओ (CT ratio) काढा.

(Calculate CT ratio of the specified transformer protection scheme)

4.5 बसबार (busbar) आणि ट्रान्समिशन लाईनमधील (transmission line) दिलेल्या फॉल्ट्सची (faults) कारणे आणि उपाययोजना (remedies) स्पष्ट करा.

(Explain the causes and remedies of the given faults in the busbar and transmission line)

4.1 अल्टरनेटरमध्ये (Alternator) उद्भवणारे ऍबनॉर्मलीटीस (Abnormalities) आणि फॉल्ट्स (Faults)

● Abnormalities and Faults occurring in alternator

a) प्राईम-मूवरचा फेल्युअर (Failure of Prime-Mover)

b) फील्डचा फेल्युअर (Failure of Field)

c) ओव्हरकरंट (Overcurrent)

d) ओव्हरव्होल्टेज (Overvoltage)

e) ओव्हरस्पीड (Overspeed)

f) अनबॅलन्स्ड लोडिंग (Unbalanced Loading)

g) स्टेटर वाइंडिंग फॉल्ट्स (Stator Winding Faults)

4.2 डिफरेंशियल, ओव्हरकरंट, अर्थ फॉल्ट प्रोटेक्शन : योजना (Differential, Overcurrent, Earth fault Protection: Schemes)

4.2.1 अल्टरनेटर : डिफरेंशियल प्रोटेक्शन (Alternator : Differential Protection)

स्टेटर वाइंडिंगमधील फॉल्ट्सच्या प्रोटेक्शनासाठी सर्वात सामान्यपणे वापरली जाणारी प्रणाली सर्क्युलेटिंग-करंट प्रिन्सिपलवर आधारित आहे. या प्रोटेक्शन योजनेत, संरक्षित भागाच्या दोन टोकांवरील करंटची तुलना केली जाते. सामान्य ऑपरेटिंग कंडिशनमध्ये, हे करंट समान असतात; परंतु संरक्षित भागात फॉल्ट झाल्यास ते असमान होऊ शकतात. फॉल्ट कंडिशनमध्ये करंटातील फरक रिलेच्या ऑपरेटिंग कॉइलमधून जाईल अशी व्यवस्था केली जाते. त्यानंतर, रिले त्याचे कॉन्टॅक्ट्स बंद करतो, ज्यामुळे संरक्षित भाग सिस्टीमपासून वेगळा होतो. या प्रकारच्या प्रोटेक्शनला मेर्झ-प्राइस सर्क्युलेटिंग करंट स्कीम (Merz-Price circulating current scheme) असेही म्हणतात.

स्कीमॅटिक अरेंजमेंट (Schematic arrangement): आकृती 4.1 थ्री-फेज जनरेटरसाठी करंट डिफरेंशियल प्रोटेक्शनची स्कीमॅटिक अरेंजमेंट दर्शवते. स्टेटर वाइंडिंगच्या प्रत्येक फेजच्या दोन्ही बाजूंना एकसारख्या करंट ट्रान्सफॉर्मर जोड्या CT1 आणि CT2 बसवल्या जातात. करंट ट्रान्सफॉर्मरच्या प्रत्येक संचाची सेकंडरी स्टारमध्ये जोडलेली असते; दोन न्यूट्रल पॉइंट्स आणि दोन स्टार गुप्सचे संबंधित टर्मिनल्स फोर-कोर पायलट केबलच्या सहाय्याने

एकमेकांना जोडलेले असतात. अशा प्रकारे, करंट ट्रान्सफॉर्मरच्या प्रत्येक जोडीमध्ये आणि संबंधित पायलटमध्ये करंट (currents) सर्क्युलेट होण्यासाठी एक स्वतंत्र मार्ग असतो.

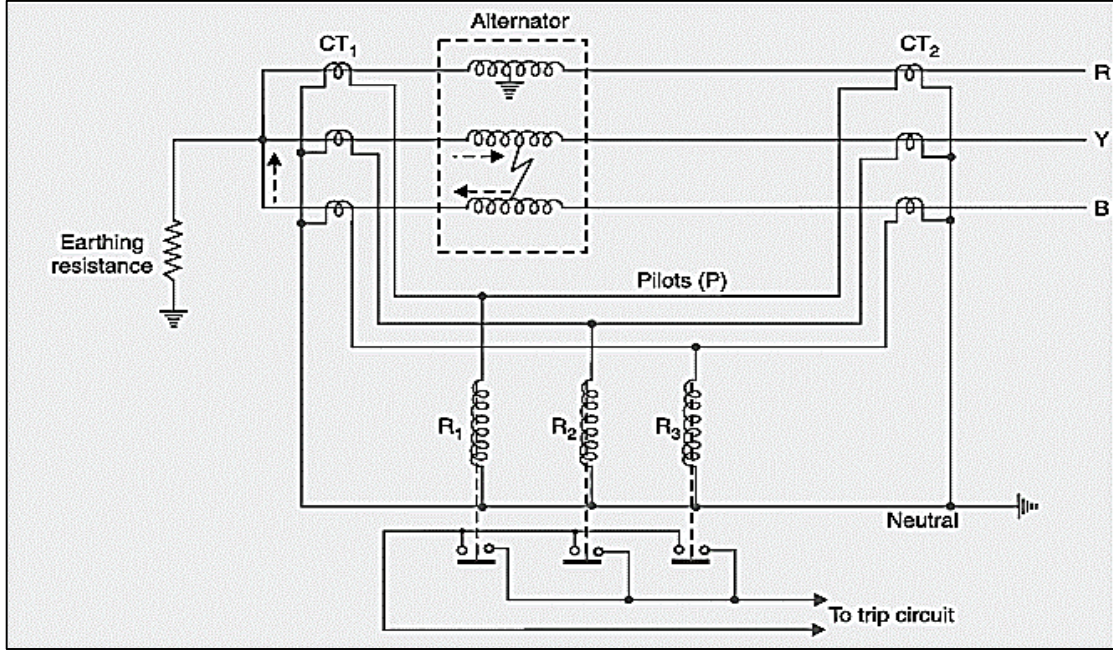


Fig. 4.1 Differential Protection

Ref: [Principles of Power System, Mehta V. K ; Rohit Mehta, S.Chand and Co.,Page no.524](#)

रिले कॉइल्स स्टारमध्ये जोडलेले असतात; त्यांचा न्यूट्रल पॉइंट करंट-ट्रान्सफॉर्मरच्या कॉमन न्यूट्रलला जोडलेला असतो आणि बाहेरील टोके इतर तीन पायलट्सपैकी प्रत्येकाला जोडलेली असतात. प्रत्येक करंट ट्रान्सफॉर्मरवरील बर्डन (भार) समान असावे यासाठी, रिलेज तीन पायलट वायर्सच्या इन्फोटेन्शियल पॉइंट्सना जोडलेले असतात आणि हे इन्फोटेन्शियल पॉइंट्स नैसर्गिकरित्या पायलट वायर्सच्या मध्यभागी स्थित असतील. रिलेज सामान्यतः इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक प्रकाराचे असतात आणि त्यांची मांडणी इन्स्टंटनियस अक्शनसाठी (तत्काळ कार्यान्वित होण्यासाठी) केलेली असते, कारण फॉल्ट (बिघाड) शक्य तितक्या लवकर दूर केला गेला पाहिजे.

ऑपरेशन :- आकृती 4.1 (पाहिल्यावर हे स्पष्ट होते की **रिलेज** प्रत्येक **सर्क्युलेटिंग पाथच्या शंटमध्ये** जोडलेले आहेत. यामुळे, आकृती 4.1 मधील सर्किट आकृती 4.2 मध्ये अधिक सोप्या स्वरूपात दाखवता येते.

सामान्य ऑपरेटिंग कंडिशनमध्ये, प्रत्येक वाइंडिंगच्या दोन्ही टोकांवरील करंट समान असतो. परिणामी, कोणत्याही फेजमध्ये जोडलेल्या दोन CTs च्या सेकंडरीजमधील करंट देखील समान असतो. त्यामुळे, पायलट वायर्समध्ये बॅलन्सड सर्क्युलेटिंग करंट करंटित होतो आणि रिलेजच्या ऑपरेटिंग कॉइल्समधून (R1, R2 आणि R3) कोणताही करंट वाहत नाही.

परंतु, जेव्हा अर्थ-फॉल्ट किंवा फेज-टू-फेज फॉल्ट होतो, तेव्हा ही संतुलित स्थिती बिघडते. अशा वेळी, रिले सर्किटमधून वाहणारा डिफरेंशियल करंट रिलेला कार्यान्वित करतो, ज्यामुळे सर्किट ब्रेकर ट्रिप होतो आणि संबंधित भागाला सिस्टीमपासून वेगळे करतो.

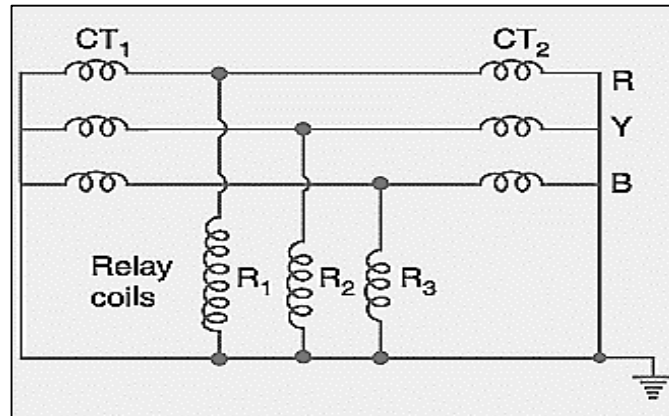


Fig. 4.2

Ref: [Principles of Power System, Mehta V. K ; Rohit Mehta, S.Chand and Co., Page no.525](#)

4.2.2 अल्टरनेटर: ओव्हरकरंट प्रोटेक्शन स्कीम (Alternator: Overcurrent Protection Scheme)

हे प्रामुख्याने वाइंडिंग इन्सुलेशनच्या आंशिक बिघाडामुळे किंवा सप्लाय सिस्टीमवरील ओव्हरलोडमुळे घडते. अल्टरनेटरसाठी ओव्हरकरंट प्रोटेक्शन अनावश्यक मानले जाते, याची काही कारणे खालीलप्रमाणे:

- आधुनिक प्रवृत्तीनुसार, अल्टरनेटर खूप उच्च इंटर्नल इम्पेडन्स मूल्यांसह डिझाइन केले जातात, जेणेकरून ते गंभीर ओव्हरहीटिंगशिवाय त्यांच्या टर्मिनल्सवर पूर्ण शॉर्ट-सर्किटला पुरेसा वेळ सहन करू शकतील. ओव्हरलोड झाल्यास, अल्टरनेटर मॅन्युअली डिस्कनेक्ट करता येतात.
- अल्टरनेटरचे ओव्हरलोड प्रोटेक्शन वापरण्याचा तोटा हा आहे की, असे प्रोटेक्शन प्लांटबाहेरील काही तात्पुरत्या अडचणींमुळे अल्टरनेटरला पॉवर प्लांट बसमधून डिस्कनेक्ट करू शकते आणि त्यामुळे इलेक्ट्रिक सेवेच्या सातत्यामध्ये अडथळा निर्माण होऊ शकतो.

4.2.3 अल्टरनेटर: अर्थ फॉल्ट प्रोटेक्शन स्कीम (Alternator: Earth Fault Protection Scheme)

लहान आकाराच्या अल्टरनेटरमध्ये, थ्री-फेज वाइंडिंगचे न्यूट्रल एंड्स अनेकदा आतून एकाच टर्मिनलला जोडलेले असतात. त्यामुळे, वर वर्णन केलेले मेई-प्राइस सर्क्युलेंटिंग करंट प्रिन्सिपल वापरणे शक्य होत नाही, कारण प्रत्येक फेज वाइंडिंगच्या न्यूट्रल कनेक्शनमध्ये आवश्यक करंट ट्रान्सफॉर्मर बसवण्यासाठी कोणतीही सुविधा नसते. अशा परिस्थितीत, केवळ बॅलन्सड अर्थ-फॉल्ट प्रोटेक्शन स्कीमचा वापर करून अर्थ-फॉल्ट्सपासून प्रोटेक्शन प्रदान करणे पुरेसे मानले जाते. ही स्कीम फेज-टू-फेज फॉल्ट्सपासून प्रोटेक्शन देत नाही, जोपर्यंत ते अर्थ-फॉल्ट्समध्ये विकसित होत नाहीत, जसे की त्यापैकी बहुतेक होतीलच.

स्कीमॅटिक अरेंजमेंट (Schematic Arrangement): आकृती 4.3 थ्री-फेज अल्टरनेटरसाठी बॅलन्सड अर्थ-फॉल्ट प्रोटेक्शनची योजनाबद्ध मांडणी दर्शवते. यात तीन लाईन करंट ट्रान्सफॉर्मर असतात, प्रत्येक फेजमध्ये एक बसवलेला असतो, ज्यांचे सेकंडरीज अल्टरनेटरच्या स्टार पॉईंटला अर्थला जोडणाऱ्या कंडक्टरमधील एकाच करंट ट्रान्सफॉर्मरच्या सेकंडरीला समांतर जोडलेले असतात. ट्रान्सफॉर्मरच्या सेकंडरीजला एक रिले जोडलेला असतो. अर्थ फॉल्ट्सपासून प्रोटेक्शन न्यूट्रल आणि लाईन करंट ट्रान्सफॉर्मरच्या दरम्यानच्या क्षेत्रापुरते मर्यादित असते.

ऑपरेशन ऑफ अर्थ फॉल्ट प्रोटेक्शन (Operation of Earth Fault Protection) :-

सामान्य ऑपरेटिंग कंडिशनमध्ये, अल्टरनेटरच्या लीड्समधून वाहणारे करंट आणि त्यामुळे लाईन करंट ट्रान्सफॉर्मरच्या सेकंडरीजमधून वाहणारे करंट यांची बेरीज शून्य होते. त्यामुळे रिलेमधून कोणताही करंट वाहत नाही. तसेच या परिस्थितीत, न्यूट्रल वायरमधील करंट शून्य असतो आणि न्यूट्रल करंट ट्रान्सफॉर्मरची सेकंडरी रिलेला कोणताही करंट सप्लाय करत नाही.

जर संरक्षित झोनच्या बाहेर, F₂ येथे अर्थ-फॉल्ट निर्माण झाला, तर अल्टरनेटरच्या टर्मिनल्सवरील करंटची बेरीज न्यूट्रल कनेक्शनमधील करंटएवढी असते. त्यामुळे रिलेमधून कोणताही करंट वाहत नाही.

जेव्हा F₁ येथे किंवा संरक्षित झोनमध्ये अर्थ-फॉल्ट होतो, तेव्हा हे करंट समान राहत नाहीत. अशा परिस्थितीत, डिफरेंशियल करंट रिलेच्या ऑपरेटिंग कॉइलमधून करंटित होतो. त्यानंतर रिले त्याचे कॉन्टॅक्ट्स बंद करतो, ज्यामुळे अल्टरनेटर सिस्टीमपासून डिस्कनेक्ट होतो.

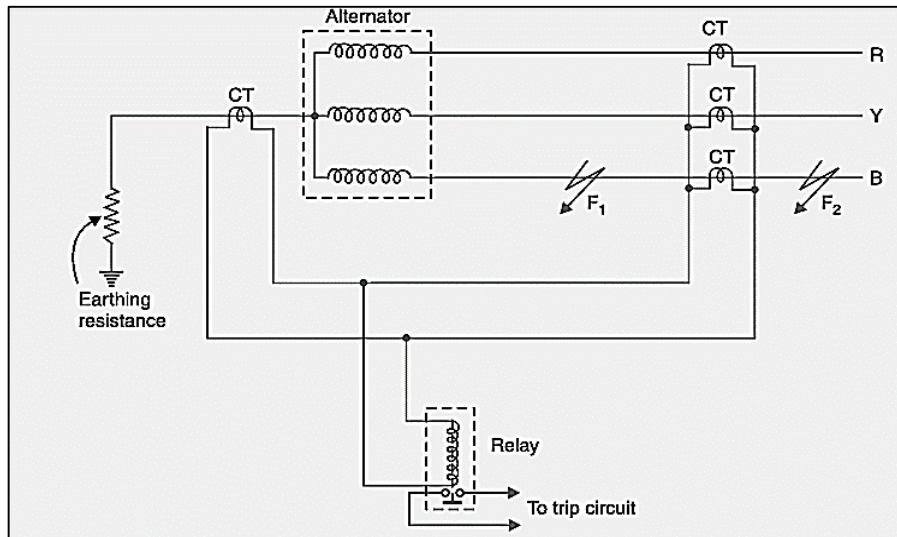


Fig 4.3 Earth fault protection

Ref: [Principles of Power System, Mehta V. K ; Rohit Mehta, S.Chand and Co., Page no.528](#)

4.3 रिव्हर्स पॉवर प्रोटेक्शन : स्कीम (Reverse power protection: Scheme)

सिंक्रोनस अल्टरनेटर सामान्य ऑपरेटिंग कंडिशनमध्ये सिस्टीमला अॅक्टिव्ह पॉवर पुरवण्याची अपेक्षा असते. जर टर्बाइन म्हणजेच प्राईम-मूव्हर फेल झाला, तर सिस्टीमशी जोडलेला अल्टरनेटर सिंक्रोनस मोटरप्रमाणे काम करत राहील आणि सिस्टीममधून अॅक्टिव्ह पॉवर खेचेल. प्राईम-मूव्हरच्या नुकसानीमुळे होणारा हा पॉवर फ्लोचा रिव्हर्सल, रिव्हर्स पॉवर रिलेद्वारे शोधला जाऊ शकतो.

अल्टरनेटरच्या मोटरिंगचे परिणाम आणि पॉवर सिस्टीममधून खेचल्या जाणाऱ्या पॉवरची पातळी प्राईम-मूव्हरच्या प्रकारावर अवलंबून असेल, कारण या परिस्थितीत प्राईम-मूव्हर सिंक्रोनस मोटरसाठी लोड म्हणून काम करतो. स्टीम टर्बाइनसाठी, मोटरिंग पॉवर अल्टरनेटरच्या रेटेड पॉवरच्या सुमारे 0.5-3% असते. प्राईम-मूव्हरच्या बिघाडामुळे, टर्बाइनच्या मोटरिंगमुळे टर्बाइन ब्लेडमध्ये विंडेज लॉस जास्त होईल, कारण त्यांना थंड करण्यासाठी स्टीम उपलब्ध नसते. त्यामुळे टर्बाइनचे नुकसान होऊ शकते.

न्यूमेरिकल रिलेचा रिव्हर्स पॉवर एलिमेंट खालील सूत्राचा वापर करून त्याच्या करंट आणि व्होल्टेज इनपुटवर आधारित थ्री-फेज अॅक्टिव्ह पॉवरची गणना करतो:

$$P = V_a I_a \cos \phi_a + V_b I_b \cos \phi_b + V_c I_c \cos \phi_c$$

आकृती 4.4 न्यूमेरिकल रिलेमध्ये असे कनेक्शन केलेले आहे की फॉरवर्ड करंट म्हणजे अल्टरनेटरकडून बसबारकडे वाहणारा करंट. यास फॉरवर्ड डायरेक्शनमध्ये पॉझिटिव्ह अॅक्टिव्ह पॉवर वाहणारी स्थिती मानली जाते. जेव्हा अल्टरनेटर मोटरिंग मोडमध्ये ऑपरेट करत असतो, तेव्हा मशीन पॉवर सिस्टीमकडून अॅक्टिव्ह पॉवर वापरत असते आणि जर ही अॅक्टिव्ह पॉवर सेट केलेल्या व्हॅल्यूच्या पुढे गेली, तर सेट केलेल्या टाइम डिले नंतर रिलेस ब्रेकर ट्रिप करण्यासाठी ऑपरेट होईल.

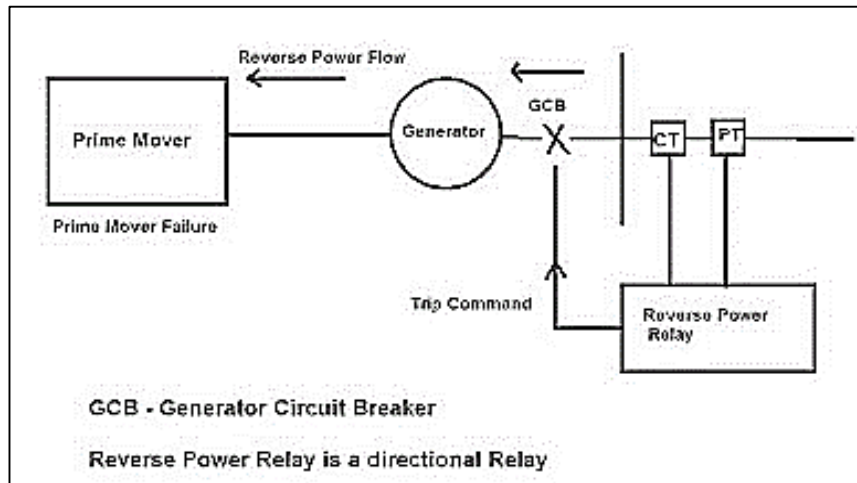


Fig. 4.4

Ref: <https://electricalbaba.com/reverse-power-protection-of-generator/>

साधारणपणे रिव्हर्स पॉवर सेटिंग ही मोटरिंग पॉवरच्या 50% पेक्षा कमी ठेवलेली असते. उदाहरणार्थ, जर स्टीम टर्बाईनची मोटरिंग पॉवर 4% असेल, तर रिव्हर्स पॉवर सेटिंग 2% पेक्षा कमी ठेवली जाते. हे देखील लक्षात घेणे आवश्यक आहे की, रिव्हर्स पॉवर प्रोटेक्शनला सुमारे 5 सेकंदाचा टाइम डिले दिलेला असतो, जेणेकरून सिस्टीममध्ये होणाऱ्या डिस्टर्बन्सेसमुळे किंवा सिंक्रोनायझेशननंतर होणाऱ्या स्प्युरियस ऑपरेशनपासून बचाव करता येईल.

4.4 ट्रान्सफॉर्मरमध्ये निर्माण होणाऱ्या ऍबनॉर्मलीटीस आणि फॉल्ट (Abnormalities and Faults occurring in transformer)

ट्रान्सफॉर्मरमध्ये इंटरनल आणि एक्स्टर्नल कारणांमुळे विविध प्रकारच्या असामान्यता आणि फॉल्ट निर्माण होऊ शकतात.

4.4.1 इंटरनल फॉल्ट (Internal Faults):

- इन्सुलेशन फेल्युअर:- ही एक सामान्य समस्या आहे, जी प्रामुख्याने विद्युत ताण (Electrical Stress), ओव्हरहीटिंग किंवा आर्द्रता प्रवेशामुळे (Moisture Ingress) होते. यामुळे शॉर्ट सर्किट किंवा आगीचा धोका निर्माण होतो.
- कोअर फॉल्ट :- ट्रान्सफॉर्मरच्या कोअरचे नुकसान — जसे की इन्सुलेशनचे झिजणे किंवा क्रॅक्स — वेळेत लक्ष न दिल्यास भविष्यात समस्या निर्माण करू शकते.

- वाइंडिंग फॉल्ट :- वाइंडिंग किंवा टर्न्समध्ये शॉर्ट सर्किट होणे किंवा वायर तुटणे यामध्ये येते. हे यांत्रिक ताण किंवा विद्युत दोषांमुळे होऊ शकते.
- टॅप चेंजर समस्या:- व्होल्टेज नियंत्रित करणाऱ्या टॅप चेंजरमध्ये फॉल्ट निर्माण झाल्यास, चुकीचे व्होल्टेज रेग्युलेशन होते आणि उष्णता निर्माण होते.

4.2.2 एक्स्टर्नल फॉल्ट (External Faults):

- शॉर्ट सर्किट:- बाह्य शॉर्ट सर्किटमुळे ट्रान्सफॉर्मरमधून अतिजास्त करंट वाहतो, ज्यामुळे उष्णता निर्माण होते आणि नुकसान होऊ शकते.
- ओव्हरलोडिंग:- ट्रान्सफॉर्मरला त्याच्या क्षमतेपेक्षा जास्त भार दिल्यास उष्णता निर्माण होते व इन्सुलेशन खराब होते.
- लाइटनिंग आणि सर्जस:- विजेचा प्रहार किंवा व्होल्टेज सर्जमुळे ट्रान्सफॉर्मरच्या इन्सुलेशनचे मोठ्या प्रमाणावर नुकसान होऊ शकते.
- कूलिंग सिस्टम बिघाड:- ऑईल पंप, फॅन्स, रेडिएटर्स इत्यादी कूलिंग सिस्टम नीट कार्यरत नसल्यास ट्रान्सफॉर्मर गरम होतो.
- मोईस्चर:- ट्रान्सफॉर्मरच्या तेलामध्ये आर्द्रता असल्यास इन्सुलेशन खराब होतो आणि फॉल्ट निर्माण होतात.
- ऑइल कन्टामिनेशन :- दूषित तेलामुळे इन्सुलेशनवर वाईट परिणाम होतो आणि फॉल्ट निर्माण होतात.
- इनरश करंट्स:- ट्रान्सफॉर्मर सुरू करताना होणारा अचानक करंट वाइंडिंगवर ताण निर्माण करतो.

4.5 डिफरेंशियल, ओव्हरकरंट, अर्थ फॉल्ट, ओव्हरहीटिंग प्रोटेक्शन (Differential, over current, earth fault, over heating protection)

4.5.1 ट्रान्सफॉर्मर मधील डिफरेंशियल प्रोटेक्शन स्कीम (Differential Protection of Transformer)

जास्तीत जास्त थू फॉल्ट करंटच्या वेळी, लहान टक्केवारीतील असंतुलनामुळे निर्माण होणारे स्पिल आउटपुट महत्त्वपूर्ण असू शकते. त्यामुळे, ट्रान्सफॉर्मरच्या डिफरेंशियल प्रोटेक्शनला अशा प्रमाणात प्रोपोर्शनल बायस प्रदान केले पाहिजे जे कमाल रेशिओ डेव्हिएशनपेक्षा जास्त प्रभावी असेल.

डिफरेंशियल प्रोटेक्शन योजना मुख्यतः फेज-टू-फेज फॉल्ट आणि फेज-टू-अर्थ फॉल्ट्सपासून प्रोटेक्शनासाठी वापरल्या जातात. पॉवर ट्रान्सफॉर्मर्ससाठी वापरले जाणारे डिफरेंशियल प्रोटेक्शन मेई-प्राइस सक्च्युलेटिंग करंट प्रिन्सिपलवर आधारित आहे. अशा प्रकारचे प्रोटेक्शन सामान्यतः 2 MVA पेक्षा जास्त रेटिंगच्या ट्रान्सफॉर्मर्ससाठी वापरले जाते.

कनेक्शन: पॉवर ट्रान्सफॉर्मर एका बाजूला स्टार-कनेक्टेड आहे आणि दुसऱ्या बाजूला डेल्टा-कनेक्टेड आहे. स्टार-कनेक्टेड बाजूकडील सीटी (CT) डेल्टा-कनेक्टेड आहेत आणि डेल्टा-कनेक्टेड बाजूकडील सीटी स्टार-कनेक्टेड आहेत. करंट ट्रान्सफॉर्मरच्या स्टार कनेक्शनचा आणि पॉवर ट्रान्सफॉर्मरच्या स्टार कनेक्शनचा न्यूट्रल आकृती 4.5 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे ग्राउंड केलेला आहे.

रेस्ट्रायनिंग कॉइल करंट ट्रान्सफॉर्मरच्या सेकंडरी वाइंडिंगमध्ये जोडलेली आहे. रेस्ट्रायनिंग कॉइल सिस्टीमवर होणाऱ्या संवेदनशील अॅक्टिव्हिटीवर नियंत्रण ठेवते. ऑपरेटिंग कॉइल रीस्ट्रैनिंग कॉइलच्या टॅपिंग पॉइंट आणि करंट ट्रान्सफॉर्मरच्या सेकंडरी वाइंडिंगच्या स्टार पॉइंटच्या दरम्यान ठेवलेली आहे.

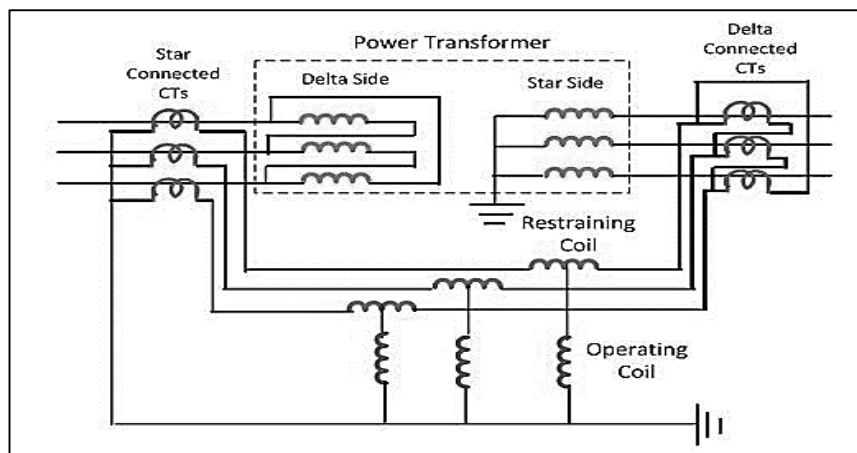


Fig. 4.5 Differential protection for Power Transformers

Ref: <https://circuitglobe.com/differential-protection-of-a-transformer.html>

वर्किंग: साधारणपणे, पॉवर ट्रान्सफॉर्मरच्या दोन्ही बाजूंनी करंट संतुलित असल्याने, ऑपरेटिंग कॉइलमधून कोणताही करंट वाहत नाही. जेव्हा पॉवर ट्रान्सफॉर्मरच्या वाइंडिंगमध्ये अंतर्गत बिघाड होतो, तेव्हा हे संतुलन बिघडते आणि डिफरेंशियल रिलेच्या कॉइल्समधून ट्रान्सफॉर्मरच्या दोन्ही बाजूंच्या करंटमधील फरकामुळे वाहू लागतो. अशाप्रकारे, रिले पॉवर ट्रान्सफॉर्मरच्या दोन्ही बाजूंचे मुख्य सर्किट ब्रेकर करतो.

4.5.2 ट्रान्सफॉर्मरचे ओव्हर करंट प्रोटेक्शन (Over Current Protection of Transformer)

ओव्हर करंट प्रोटेक्शन हे विद्युत ट्रान्सफॉर्मरचे एक साथे बॅकअप प्रोटेक्शन आहे. हे बाह्य शॉर्ट सर्किट आणि ओव्हरलोड प्रोटेक्शन देण्यासाठी वापरले जाते. हे अतिकरंट इन्व्हर्स डेफिनिट मिनिमम टाइम (IDMT) किंवा डेफिनिट टाइम (DMT) प्रकारचे रिले असू शकतात. साधारणपणे IDMT रिले ट्रान्सफॉर्मरच्या इन-फीड बाजूला जोडलेले असतात. अतिकरंट रिले बाह्य शॉर्ट सर्किट, अतिभार आणि ट्रान्सफॉर्मरमधील आंतरिक बिघाड यांच्यात फरक करू शकत नाहीत. इन-फीड बाजूला अतिकरंट प्रोटेक्शनाचा वापर करून दिलेले बॅकअप प्रोटेक्शन यापैकी कोणत्याही बिघाडासाठी सक्रिय होईल.

बॅकअप प्रोटेक्शन सहसा ट्रान्सफॉर्मरच्या इन-फीड बाजूला स्थापित केले जाते, परंतु त्याने प्राथमिक आणि द्वितीयक दोन्ही सर्किट ब्रेकर्सना ट्रिप केले पाहिजे.

4.5.3 ट्रान्सफॉर्मरचे अर्थ फॉल्ट प्रोटेक्शन (Earth Fault Protection of Transformer)

अर्थ-फॉल्टमध्ये साधारणपणे वाइंडिंग इन्सुलेशनचा काही भाग अर्थला बिघडतो. यामुळे निर्माण होणारा लीकेज करंट शॉर्ट-सर्किट करंटपेक्षा खूप कमी असतो. अर्थ-फॉल्ट बराच काळ टिकू शकतो आणि तो पूर्णपणे शॉर्ट-सर्किटमध्ये रूपांतरित होईपर्यंत आणि सिस्टीममधून काढला जाण्यापूर्वी लक्षणीय नुकसान करू शकतो. अशा परिस्थितीत, अर्थ-फॉल्ट किंवा लीकेज सुरुवातीच्या टप्प्यातच डिस्कनेक्ट केले जाईल याची खात्री करण्यासाठी अर्थ-फॉल्ट रिले वापरणे फायदेशीर ठरते. अर्थ-फॉल्ट रिले हे मूलतः कमी सेटिंगचे ओव्हरकरंट रिले असते आणि अर्थ-फॉल्ट किंवा लीकेज होताच ते कार्यरत होते. ट्रान्सफॉर्मरमधील अर्थ-फॉल्टपासून प्रोटेक्शनाची एक पद्धत म्हणजे आकृती 4.6 मध्ये दाखवलेले कोअर-बॅलन्स लीकेज प्रोटेक्शन.

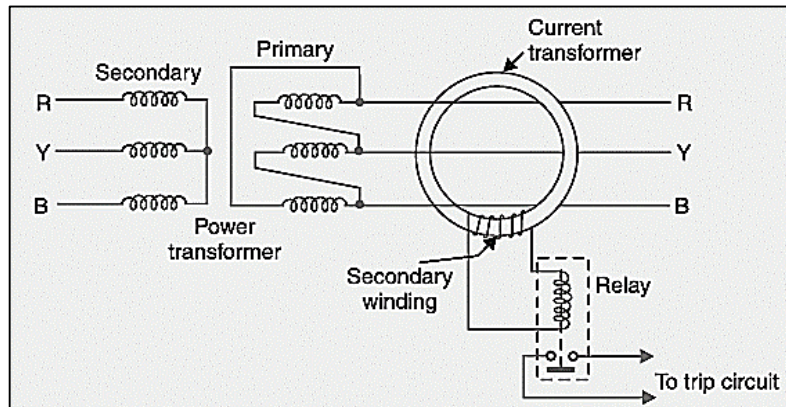


Fig.4.6 Earth Fault Protection of Transformer

Ref: [Principles of Power System, Mehta V. K ; Rohit Mehta, S.Chand and Co., Page no.535](#)

वर्किंग: पॉवर ट्रान्सफॉर्मरच्या प्राथमिक वाइंडिंगच्या तीन लीड्स एका करंट ट्रान्सफॉर्मरच्या गाभ्यातून जातात, ज्याला एकच सेकंडरी वाइंडिंग असते. एका रिलेची ऑपरेटिंग कॉइल या सेकंडरीला जोडलेली असते.

सामान्य परिस्थितीत (म्हणजे, अर्थ-फॉल्ट नसताना), तीन फेज करंटची वेक्टर बेरीज शून्य असते आणि करंट ट्रान्सफॉर्मरच्या गाभ्यात कोणताही परिणामी फ्लक्स नसतो, मग लोड कितीही असंतुलित असो. परिणामी, रिलेमधून कोणताही करंट वाहत नाही आणि तो निष्क्रिय राहतो.

मात्र, अर्थ-फॉल्ट झाल्यास, तीन फेज करंटची वेक्टर बेरीज शून्य राहत नाही. परिणामी करंट सी.टी.च्या (C.T.) गाभ्यामध्ये फ्लक्स निर्माण करतो, जो सेकंडरी वाइंडिंगमध्ये ई.एम.एफ. (e.m.f.) प्रेरित करतो. यामुळे रिलेला ऊर्जा मिळते आणि तो सर्किट ब्रेकरला ट्रिप करून बिघाड झालेला ट्रान्सफॉर्मर सिस्टीममधून वेगळा करतो.

4.5.4 ट्रान्सफॉर्मरचे हेटिंग प्रोटेक्शन (Over Heating Protection of Transformer):-

मोठ्या ट्रान्सफॉर्मर्सचे थर्मल ओव्हर-हीटिंग प्रोटेक्शन (Thermal Over-Heating Protection of Large Transformers): थर्मोकोपल्स किंवा रेझिस्टर तापमान डिटेक्टर प्रत्येक वळणाजवळ ठेवतात. हे ब्रिज सर्किटशी जोडलेले आहेत. जेव्हा तापमान सुरक्षित मूल्यापेक्षा जास्त वाढते तेव्हा अलार्मचा आवाज येतो. उपाययोजना न केल्यास, विशिष्ट तापमानानंतर सर्किट ब्रेकर ट्रिप केला जातो. तेलाच्या तापमानासाठी काही विशिष्ट सेटिंग्ज खालीलप्रमाणे आहेत:

चाहते चालू करा: 60 डिग्री सेल्सियस.

अलार्म: 95 ° से.

सहल: 120 डिग्री सेल्सियस.

ऑईल टेम्परेचर इंडिकेटर थर्मामीटर (Oil Temperature Indicator Thermometer): तेल थर्मामीटर, जे सर्व तेलाने भरलेल्या ट्रान्सफॉर्मर्समध्ये सामान्य आहे, असामान्य उच्च तेलाच्या तपमानाचा दूरस्थ चेतावणी देण्यासाठी अलार्म संपर्कांनी सुसज्ज असताना अर्धवट प्रभावी प्रोटेक्शनात्मक डिव्हाइस मानले जाऊ शकते. त्याचे स्थान असे आहे की ते ट्रान्सफॉर्मर्समध्ये अस्तित्वात असलेल्या हॉट-टेस्ट फ्लुइडचे नैसर्गिकरित्या परीक्षण करते. नेमप्लेट केव्हीए रेटिंग वाढविण्यासाठी स्वयंचलित एअर ब्लास्टसह सुसज्ज ट्रान्सफॉर्मर्सवरील फॅन मोटर्स सुरू करण्यासाठी समान थर्मामीटरचा वापर केला जातो.

● **हॉट स्पॉट थर्मामीटर (वाइंडिंग टेंपरेचर डिव्हाइस) (Hot Spot Thermometer (Winding Temperature Device)):** थर्मामीटर बल्ब वळणाजवळील खिशात स्थित आहे. बल्ब गरम फिरणाऱ्या तेलाने वेढलेले आहे. सीटी दुय्यम ओलांडून जोडलेल्या एका लहान हीटरद्वारे बल्ब देखील गरम केला जातो. त्याद्वारे बल्बला दिलेली उष्णता लोड करंटचे कार्य तसेच वळण जवळ तेलाचे तापमान आहे. डिव्हाइस ट्रान्सफॉर्मर विंडिंगच्या हीटिंग वक्रसह जुळले आहे.

4.6 डिफरेंशियल प्रोटेक्शनच्या लिमिटेशन (Limitations of Differential Protection)

ट्रान्सफॉर्मरसाठीच्या डिफरेंशियल प्रोटेक्शन स्कीम्स त्यांच्या अंतर्गत बिघाड शोधण्याच्या प्रभावीपणामुळे मोठ्या प्रमाणावर वापरल्या जातात. तथापि, त्यांना अनेक मर्यादा आहेत:

- a) **एक्सटर्नल फॉल्ट्ससाठी संवेदनशीलता (Sensitivity to External Faults):** डिफरेंशियल प्रोटेक्शन प्रामुख्याने अंतर्गत बिघाड शोधण्यासाठी डिझाइन केलेले आहे. जोपर्यंत फॉल्ट करंट लक्षणीयरीत्या जास्त नसतो, तोपर्यंत ते एक्सटर्नल फॉल्ट्सना प्रभावीपणे प्रतिसाद देऊ शकत नाही, ज्यामुळे प्रोटेक्शनात (protection) संभाव्य त्रुटी येऊ शकतात.
- b) **सीटी सॅचुरेशन (CT Saturation):** डिफरेंशियल प्रोटेक्शनमध्ये वापरले जाणारे करंट ट्रान्सफॉर्मर (CTs) उच्च फॉल्ट परिस्थितीत सॅचुरेट होऊ शकतात, ज्यामुळे चुकीचे डिफरेंशियल करंट मोजमाप होते. यामुळे ट्रिपिंगमध्ये विलंब होऊ शकतो किंवा ते चुकवू शकते.
- c) **फेज डिस्प्लेसमेंट (Phase Displacement):** एकाधिक वाइंडिंग असलेल्या ट्रान्सफॉर्मर्समध्ये किंवा वेगवेगळ्या कॉन्फिगरेशनमध्ये (उदा. डेल्टा किंवा वाय) जोडलेल्या ट्रान्सफॉर्मर्समध्ये, फेज अँगलमधील फरकामुळे समस्या निर्माण होऊ शकतात. चुकीची सेटिंग्ज किंवा मिसअलाइनमेंट योग्य कार्यामध्ये अडथळा आणू शकते.
- d) **हार्मोनिक्स आणि इनरश करंट (Harmonics and Inrush Current):** ट्रान्सफॉर्मर इनरश (inrush) दरम्यान किंवा हार्मोनिक्स उपस्थित असताना, डिफरेंशियल रिले या परिस्थितीला फॉल्ट म्हणून चुकीचे समजू शकते, ज्यामुळे अनावश्यक ट्रिपिंग होऊ शकते. इनरश आणि फॉल्ट करंटमध्ये फरक करण्यासाठी विशेष अलोरिदम आवश्यक असू शकतात.
- e) **रिले मालऑपरेशन (Relay Maloperation):** जर डिफरेंशियल रिले योग्यरित्या कॅलिब्रेट नसेल, तर तो अनावश्यकपणे ट्रिप होऊ शकतो (फॉल्स पॉझिटिव्ह) किंवा फॉल्ट दरम्यान ट्रिप होण्यास अयशस्वी होऊ शकतो (फॉल्स निगेटिव्ह).
- f) **सीटी रेशो मिसमॅच (CT Ratio Mismatches):** जर ट्रान्सफॉर्मरच्या प्राथमिक आणि सेकंडरी बाजूंच्या CTs मध्ये भिन्न रेशो असतील किंवा ते चुकीचे रेट केलेले असतील, तर यामुळे चुकीच्या डिफरेंशियल करंट कॅल्क्युलेशन होऊ शकतात.
- g) **ग्राउंड फॉल्ट्स (Ground Faults):** पारंपरिक डिफरेंशियल प्रोटेक्शन ग्राउंड फॉल्ट्स प्रभावीपणे शोधू शकत नाही, जोपर्यंत अतिरिक्त ग्राउंड फॉल्ट प्रोटेक्शन लागू केले जात नाही.
- h) **कम्युनिकेशन फेल्युअर (Communication Failures):** काही आधुनिक डिफरेंशियल प्रोटेक्शन स्कीम्समध्ये ज्या रिलेमध्ये (जसे की डिस्टन्स प्रोटेक्शनमध्ये) कम्युनिकेशनवर अवलंबून असतात, कोणतीही कम्युनिकेशन फेल्युअर प्रोटेक्शन स्कीमला हानी पोहोचवू शकते.
- i) **खर्च आणि क्लिष्टता (Cost and Complexity):** डिफरेंशियल प्रोटेक्शन सिस्टीम्स साध्या प्रोटेक्शन स्कीम्सच्या तुलनेत अधिक महाग आणि क्लिष्ट असू शकतात, जे सर्व ऍप्लिकेशन्समध्ये योग्य ठरत नाही.
- j) **देखभाल आवश्यकता (Maintenance Requirements):** डिफरेंशियल प्रोटेक्शन सिस्टीम्सना योग्य कार्यासाठी नियमित चाचणी आणि देखभालीची आवश्यकता असते, ज्यामुळे ऑपरेशनल ओव्हरहेड वाढू शकते.

4.7 बकोल्झ रिले: कन्स्ट्रक्शन, ऑपरेशन (Buchholz relay: Construction, Operation)

बकोल्झ रिले हा एक गॅस-अॅक्ट्युएटेड रिले आहे, जो तेल-बुडवलेल्या ट्रान्सफॉर्मरमध्ये सर्व प्रकारच्या फॉल्ट्सपासून प्रोटेक्शनासाठी स्थापित केला जातो. याच्या शोधक बकोल्झ यांच्या नावावरून हे नाव देण्यात आले आहे. ट्रान्सफॉर्मरमध्ये उद्भवणाऱ्या प्रारंभिक (म्हणजे, हळू-हळू विकसित होणाऱ्या) फॉल्ट्सच्या बाबतीत अलार्म देण्यासाठी आणि गंभीर अंतर्गत फॉल्ट्सच्या परिस्थितीत ट्रान्सफॉर्मरला सप्लायमधून डिस्कनेक्ट करण्यासाठी याचा वापर केला जातो. हे सामान्यतः कन्झर्व्हेटरला मुख्य टँकशी जोडणाऱ्या पाईपमध्ये आकृती ४.७ मध्ये दाखवल्याप्रमाणे स्थापित केले जाते. 750 kVA पेक्षा जास्त रेटिंग असलेल्या सर्व ऑइल-इमर्स्ड ट्रान्सफॉर्मरवर बकोल्झ रिले वापरणे ही एक सार्वत्रिक पद्धत आहे.

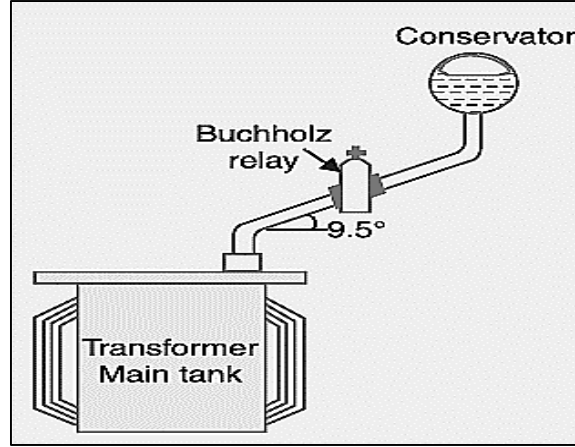


Fig 4.7 Buchholz relay

Ref: [Principles of Power System, Mehta V. K ; Rohit Mehta, S.Chand and Co., Page no.533](#)

- **कन्स्ट्रक्शन :-** आकृती 4.8 मध्ये बकोल्झ रिलेची रचनात्मक माहिती (constructional details) दर्शविली आहे. हे मुख्य टँक आणि कन्झर्व्हेटर दरम्यानच्या जोडणी पाईपमध्ये ठेवलेल्या घुमट-आकाराच्या पात्राच्या स्वरूपात असते. या उपकरणामध्ये दोन घटक असतात. वरचा घटक एका फ्लोटला जोडलेल्या मर्क्युरी प्रकारच्या स्विचचा बनलेला असतो. खालच्या घटकामध्ये एक मर्क्युरी स्विच असतो, जो एका हिंग्ड प्रकारच्या फ्लॅपवर बसवलेला असतो. हा फ्लॅप ट्रान्सफॉर्मरमधून कन्झर्व्हेटरकडे तेलाच्या करंटाच्या थेट मार्गावर असतो. वरचा घटक प्रारंभिक फॉल्ट्सदरम्यान अलार्म सर्किट बंद करतो, तर खालचा घटक गंभीर अंतर्गत फॉल्ट्सच्या बाबतीत सर्किट ब्रेकरला ट्रिप करण्यासाठी व्यवस्थापित केलेला असतो.

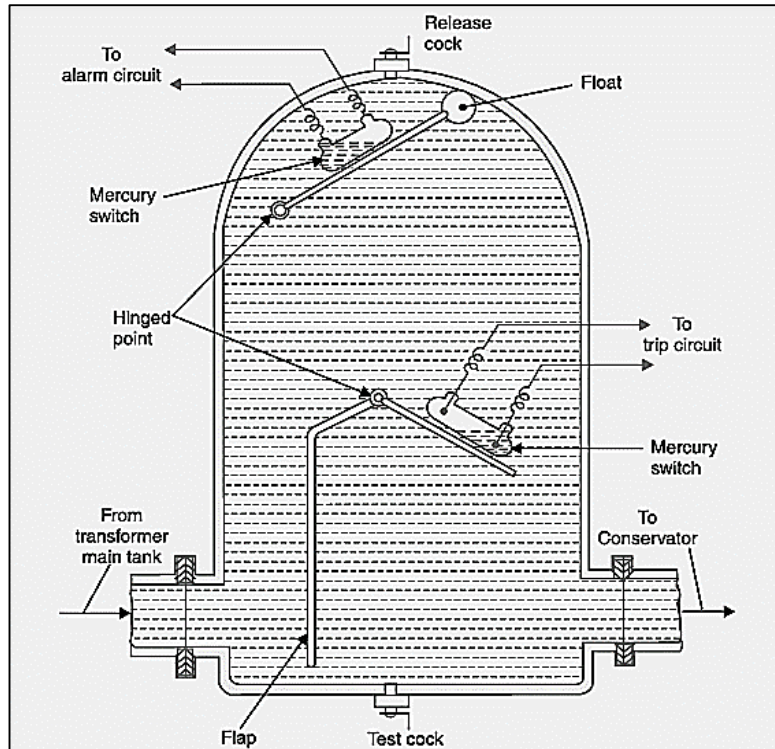


Fig 4.8 Construction of Buchholz relay

Ref: [Principles of Power System, Mehta V. K ; Rohit Mehta, S.Chand and Co., Page no.534](#)

● **ऑपरेशन:** बकोल्झ रिलेचे (Buchholz relay) कार्य खालीलप्रमाणे आहे:

- ट्रान्सफॉर्मरमध्ये प्रारंभिक फॉल्ट्स झाल्यास, फॉल्टमुळे निर्माण होणारी उष्णता मुख्य टँकमधील (main tank) काही ट्रान्सफॉर्मर तेलाचे विघटन करते. या विघटन उत्पादनांमध्ये 70% पेक्षा जास्त हायड्रोजन गॅस असतो. हायड्रोजन गॅस हलका असल्याने कन्झर्व्हेटरमध्ये जाण्याचा प्रयत्न करतो आणि या प्रक्रियेत तो रिले चेंबरच्या वरच्या भागात अडकतो. जेव्हा पूर्वनिर्धारित प्रमाणात गॅस जमा होतो, तेव्हा तो फ्लोटवर (float) पुरेसा दाब टाकतो ज्यामुळे तो तिरपा होतो आणि त्याला जोडलेल्या मर्क्युरी स्विचचे संपर्क बंद होतात. यामुळे अलार्म सर्किट पूर्ण होते आणि अलार्म वाजतो.
- जर ट्रान्सफॉर्मरमध्ये गंभीर फॉल्ट झाला, तर मुख्य टँकमध्ये मोठ्या प्रमाणात गॅस (gas) तयार होतो. मुख्य टँकमधील तेल बकोल्झ रिलेमार्गे कन्झर्व्हेटरकडे वेगाने धावते आणि असे करताना फ्लॉपला तिरपे करून मर्क्युरी स्विचचे संपर्क बंद करते. यामुळे ट्रिप सर्किट पूर्ण होते, ज्यामुळे ट्रान्सफॉर्मरला नियंत्रित करणारा सर्किट ब्रेकर उघडतो.

● **फायदे (Advantages)**

- हे ट्रान्सफॉर्मर प्रोटेक्शनाचे सर्वात सोपे स्वरूप आहे.
- हे प्रारंभिक फॉल्ट्स इतक्या लवकर शोधते की इतर प्रकारच्या प्रोटेक्शनाने ते शक्य नसते.

● **तोटे (Disadvantages)**

- याचा वापर केवळ कन्झर्व्हेटर टँक्सने सुसज्ज असलेल्या ऑइल इमर्स्ड ट्रान्सफॉर्मरसोबतच केला जाऊ शकतो.
- हे उपकरण केवळ ट्रान्सफॉर्मरमधील तेलाच्या पातळीखालील फॉल्ट्स शोधू शकते. त्यामुळे, कनेक्टिंग केबल्ससाठी स्वतंत्र प्रोटेक्शनाची आवश्यकता असते.

4.8 मोटर: ऍबनॉर्मलीटीस आणि फॉल्ट्स, शॉर्ट सर्किट प्रोटेक्शन, ओव्हरलोड प्रोटेक्शन, सिंगल फेज प्रिव्हेंटर (Motor: Abnormalities and Faults, Short circuit protection, Overload protection, Single phase preventer)

4.8.1 ऍबनॉर्मलीटीस आणि फॉल्ट (Abnormalities and Faults)

● **एक्सटर्नल फॉल्ट्स (External Faults):**

हे असे फॉल्ट्स आहेत जे पॉवर सप्लाय नेटवर्कमधून किंवा मोटरला जोडलेल्या लोडमधून उद्भवतात. एक्सटर्नल फॉल्ट्सची काही उदाहरणे खालीलप्रमाणे आहेत:

- अन्बॅलन्स सप्लाय व्होल्टेजेस (Unbalanced Supply Voltages): हे तेव्हा घडते जेव्हा थ्री-फेज व्होल्टेजेस परिमाण किंवा फेज अँगलमध्ये समान नसतात. यामुळे मोटरमध्ये निगेटिव्ह सिक्वेन्स करंट्स निर्माण होऊ शकतात, ज्यामुळे अतिरिक्त नुकसान, गरम होणे आणि टॉर्क फ्लशिंग्स होतात.
- अंडर-व्होल्टेज (Under-voltage): हे तेव्हा घडते जेव्हा सप्लाय व्होल्टेज मोटरच्या रेट केलेल्या मूल्यापेक्षा कमी होते. यामुळे टॉर्क कमी होतो, करंट वाढतो आणि मोटर जास्त गरम होते.
- रिव्हर्स-फेज सिक्वेन्स (Reverse-phase sequence): हे तेव्हा घडते जेव्हा सप्लाय फेजचा क्रम उलट होतो. यामुळे मोटरचे रिव्हर्स रोटेशन होऊ शकते, ज्यामुळे लोडला किंवा स्वतः मोटरला नुकसान होऊ शकते.
- लॉस ऑफ सिंक्रोनिझम (Loss of Synchronism): हे तेव्हा घडते जेव्हा सिंक्रोनस मोटर सप्लाय फ्रिक्वेन्सीसोबतचा तिचा चुंबकीय लॉक गमावते. यामुळे अत्यधिक स्लिप, हटिंग आणि मोटरची अस्थिरता होऊ शकते.

● **इंटरनल फॉल्ट्स (Internal Faults):**

हे असे फॉल्ट्स आहेत जे मोटरमधून किंवा चालवल्या जाणाऱ्या प्लांटमधून उद्भवतात. इंटरनल फॉल्ट्सची काही उदाहरणे खालीलप्रमाणे आहेत:

- बेअरिंग फेल्युअर (Bearing Failure): हे तेव्हा घडते जेव्हा मोटर शाफ्टला आधार देणारी बेअरिंग्स घर्षण, वंगण समस्या किंवा यांत्रिक ताणामुळे झिजतात किंवा जाम होतात. यामुळे आवाज, कंपन, शाफ्ट मिसअलाइनमेंट आणि मोटरचे स्टॉलिंग होऊ शकते.
- ओव्हरहीटिंग (Overheating): हे तेव्हा घडते जेव्हा मोटरचे तापमान ओव्हरलोडिंग, अपुरे कूलिंग वातावरणीय परिस्थिती किंवा इन्सुलेशन बिघाडामुळे त्याच्या थर्मल मर्यादेपेक्षा जास्त होते. यामुळे इन्सुलेशनचा न्हास, वाईडिंगचे नुकसान आणि मोटरची कार्यक्षमता कमी होते.
- वाईडिंग फेल्युअर (Winding Failure): हे तेव्हा घडते जेव्हा मोटरच्या वाईडिंगमध्ये (windings) इन्सुलेशन बिघाड (insulation breakdown), यांत्रिक ताण (mechanical stress) किंवा एक्सटर्नल फॉल्ट्समुळे (external faults) शॉर्ट-

सर्किट (short-circuited) किंवा ओपन-सर्किट (open-circuit) होते. यामुळे स्पाक्स (sparks), धूर (smoke), आग (fire) आणि मोटरमध्ये टॉर्कचा अभाव (loss of torque) होऊ शकतो.

d) अर्थ फॉल्ट (Earth Fault): हे तेव्हा घडते जेव्हा मोटरचा फेज कंडक्टर सर्किटच्या किंवा उपकरणाच्या ग्राउंड केलेल्या भागाच्या संपर्कात येतो. यामुळे उच्च फॉल्ट करंट्स, इन्सुलेशन आणि उपकरणांचे नुकसान, आणि संभाव्य शॉकचा धोका निर्माण होऊ शकतो.

4.8.2 शॉर्ट सर्किट प्रोटेक्शन (Short Circuit Protection)

मोटर, कनेक्टिंग फीडर आणि स्टार्टरच्या शॉर्ट सर्किट प्रोटेक्शनसाठी काळजीपूर्वक अभ्यास करणे आवश्यक आहे. मोटर प्रोटेक्शनासाठी वापरले जाणारे ओव्हरलोड प्रोटेक्टिव्ह डिवाइस (OLPD - Over Load Protective Device) आणि शॉर्ट सर्किट प्रोटेक्टिव्ह डिवाइस (SCPD - Short Circuit Protective Devices) चांगले समन्वित असावेत.

1.5 ते 10 पट रेटेड करंटच्या दरम्यानच्या करंटच्या रेंजला सामान्यतः ओव्हरलोड रेंज म्हटले जाते. AC-3 ड्युटीसाठी मोटर स्विचिंग डिवाइस या रेंजमधील ओव्हरलोड करंट्स यशस्वीरित्या मेक आणि ब्रेक करू शकते. 10 पट रेटेड करंटपेक्षा जास्त असलेले फॉल्ट करंट्स शॉर्ट सर्किट करंट्स मानले जाऊ शकतात आणि हे शॉर्ट सर्किट प्रोटेक्टिंग डिवाइसेसने (SCPD) कव्हर केले पाहिजेत.

SCPD खालीलपैकी एका स्वरूपात असू शकते:

- एचआरसी फ्यूज
- शॉर्ट सर्किट रिलीज जो सर्किट ब्रेकर उघडतो.
- इंस्टंटनियस हाय सेट ओव्हरकरंट रिले जो सर्किट-ब्रेकरला ट्रिप (करतो).

शॉर्ट सर्किट प्रोटेक्टिव्ह डिवाइसेसची योग्य निवड करून, शॉर्ट सर्किट झाल्यास मोटर आणि स्टार्टरचे अनावश्यक नुकसान टाळणे शक्य आहे. एचआरसी फ्यूजद्वारे सर्किट-ब्रेकरचे बॅक-अप प्रोटेक्शन आता एक स्वीकृत पद्धत आहे. हे कमी ब्रेकिंग क्षमतेच्या किफायतशीर सर्किट ब्रेकरचा वापर करण्यास सक्षम करते.

4.8.3 ओव्हरलोड प्रोटेक्शन (Overload Protection)

ओव्हरलोड प्रोटेक्टिव्ह डिवाइसेसचे खालीलप्रमाणे गट करता येतात:

- मोटर करंटला प्रतिसाद देणारे: उदा. बायमेटल रिले, युटेक्टिक अलॉय रिले, इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक रिले, स्टॅटिक रिले. हे रिले मुख्य कॉन्टॅक्टरचे कंट्रोल सर्किट उघडतात किंवा सर्किट-ब्रेकरला ट्रिप करतात.
- वाइंडिंगच्या तापमानाला प्रतिसाद देणारे: उदा. स्लॉटमध्ये बसवलेले रेझिस्टर डिवाइसेस, थर्मोस्टॅट्स, थर्मिस्टर्स इत्यादी. अशी उपकरणे स्लॉटमध्ये बसवलेली असतात आणि वाइंडिंगच्या तापमानावर लक्ष ठेवण्याचे व स्विचिंग डिवाइसला ट्रिप करण्याचे काम करतात.

करंट सेन्सिंग ओव्हरलोड प्रोटेक्टिंग डिवाइसेस खालील असामान्य परिस्थिती ओळखू शकतात:

- ओव्हरलोड्स, अंडरव्होल्टेज
- सिंगल फेजिंग
- लॉकड रोटार, स्टॉलिंग
- हेवी स्टार्टिंग
- कंटिन्युअस ओव्हरलोड्स
- हेवी ब्रेकिंग

तथापि, खालील परिस्थिती केवळ एम्बेडेड थर्मल डिवाइसेसद्वारे ओळखता येतात:

- उच्च अॅम्बिएंट तापमानामुळे तापमानातील वाढ.
- कूलिंग फेल्युअरमुळे तापमानातील वाढ.
- इतर कारणांमुळे तापमानातील वाढ.

थर्मल-ओव्हरलोड प्रोटेक्शनचा उद्देश मोटरच्या इन्सुलेशनला अत्यधिक थर्मल स्ट्रेसपासून वाचवणे हा आहे. पूर्ण लोडच्या वेळी, मोटर वाइंडिंगचे तापमान जवळजवळ कमाल अनुज्ञेय युनिटपर्यंत पोहोचते (जे इन्सुलेशन क्लासवर अवलंबून असते). असामान्य परिस्थितीत, तापमान सुरक्षित मर्यादपेक्षा वाढते आणि इन्सुलेशनचे आयुष्य कमी होते.

मध्यम ओव्हरलोडच्या वेळी स्टेटर वाइंडिंगचे तापमान वेळेनुसार एक्सपोजेन्शियली वाढते.

तापमान वाढीचा दर हा लॉसेस आणि स्टेटरच्या थर्मल टाइम कॉन्स्टंटने निश्चित होतो. मोटरमधून सभोवतालच्या हवेत होणारी उष्णता हानी अॅम्बिएंट तापमान, व्हेंटिलेशन आणि डिझाइनच्या पैलूवर अवलंबून असते.

तापमान वाढीच्या मर्यादेपर्यंत पोहोचण्यासाठी लागणारा वेळ आणि करंट विरुद्ध टाइम कर्व्हा आकार मशीनवरील लोडवर वलंबून असतो. कोणत्याही मशीनसाठी, कोल्ड कंडिशन आणि 'वॉर्म' कंडिशनसाठी थर्मल विथस्टँड कर्व्ह काढता येतात. 'रेलिका' प्रकारचा थर्मल रिले मोटरच्या थर्मल फॅसिमिलेस कार्य करतो, म्हणजे अशा रिलेचे वैशिष्ट्य हे मोटर हीटिंग कर्व्हची अंदाजित रेलिका असते.

रिले अॅम्बिएंट तापमान बदलासाठी भरपाई करतो, जेणेकरून तो मोटरला कोल्ड स्टार्ट आणि हॉट स्टार्ट दोन्ही परिस्थितीत वाचवू शकेल.

4.8.4 सिंगल फेज प्रिव्हेंटर (Single Phase Preventer)

जर सप्लाय लाईनपैकी एक लाईन ओपन सर्किटमुळे किंवा स्विचमधील चुकीच्या कॉन्टॅक्टमुळे डिस्कनेक्ट झाली, तरीही मोटर चालू राहते. तेव्हा उरलेल्या वाइंडिंगजना पॉवर सप्लाय होतो. यामुळे इतर फेजमधील करंट त्याच्या सामान्य मूल्याच्या सुमारे 3 पट वाढतो. याला सिंगल फेजिंग म्हणतात, ज्यामुळे असंतुलित स्टेटर करंट्स निर्माण होतात.

या असंतुलित करंटमध्ये उपस्थित असलेला निगेटिव्ह सिक्वेन्स कंपोनेंट मुख्य फ्लक्सच्या विरुद्ध दिशेने फिरणारा चुंबकीय फ्लक्स तयार करतो. यामुळे रोटरमध्ये दुप्पट फ्रिक्वेन्सीचे करंट्स प्रेरित होतात, ज्यामुळे तो गरम होतो. अशा प्रकारे, जर योग्य खबरदारी घेतली नाही, तर सिंगल फेजिंगमुळे मोटरला मोठे नुकसान होऊ शकते. फेज ओव्हरकरंट रिले हळू प्रतिक्रिया देत असल्याने, ते सिंगल फेजिंगपासून तात्काळ प्रोटेक्शन देऊ शकत नाहीत.

लहान मोटर्ससाठी सिंगल फेजिंगपासून स्वतंत्र प्रोटेक्शन सामान्यतः दिले जात नाही, कारण थर्मल रिले सिंगल फेजिंगमुळे उरलेल्या फेजमधील वाढलेला करंट ओळखतात आणि पुरेसे प्रोटेक्शन देतात.

मोठ्या इंडक्शन मोटर्सच्या बाबतीत स्वतंत्र सिंगल फेजिंग प्रोटेक्शन सर्किट आवश्यक असते, कारण अगदी लहान असंतुलन देखील मोटर वाइंडिंग आणि रोटरला नुकसान पोहोचवू शकते. सिंगल फेजिंग प्रिव्हेंटर आकृती ४.९ मध्ये दर्शविले आहे.

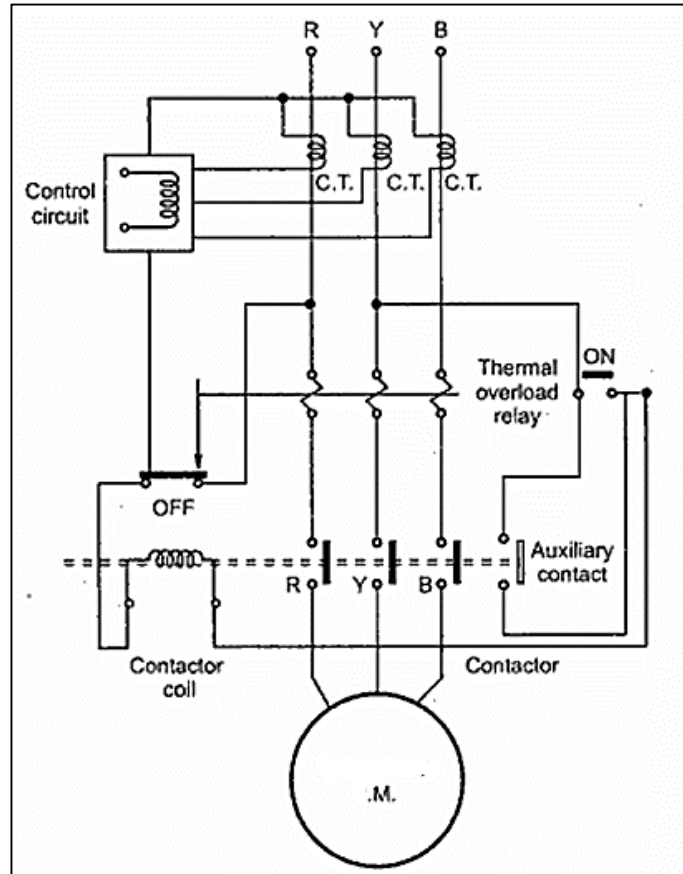


Fig. 4.9 Single Phase Preventer

Ref: <https://yourelectrichome.blogspot.com/2011/09/single-phase-preventer.html>

आकृतीमध्ये दाखवल्याप्रमाणे, यात प्रत्येक फेजमध्ये जोडलेले सी.टी. (C.T.s) असतात. कंट्रोल सर्किटचे आउटपुट लेव्हल डिटेक्टरला दिले जाते, जो असंतुलनाचे प्रमाण ओळखतो. कंट्रोल सर्किटमधून मिळालेल्या या आउटपुटनुसार, जेव्हा निगेटिव्ह सिक्वेन्स करंट त्याच्या पूर्वनिर्धारित मर्यादेपेक्षा जास्त होतो, तेव्हा स्टार्टरला किंवा सर्किट ब्रेकरला ट्रिपिंग कमांड दिली जाते.

4.9 बसबार: फॉल्ट्स, बसबार प्रोटेक्शन, डिफरेंशियल आणि फॉल्ट बस प्रोटेक्शन (Busbar: Faults, Busbar Protection, Differential and Fault Bus Protection)

4.9.1 बसबार: फॉल्ट्स (Busbar: Faults)

- इन्सुलेटर फेल्युअर (Insulator Failure): सपोर्ट इन्सुलेटर निकामी होऊ शकतात, ज्यामुळे अर्थ फॉल्ट किंवा फ्लॅशओव्हर्स होऊ शकतात.
- फ्लॅशओव्हर्स (Flashovers): ओव्हरव्होल्टेजेस, विशेषत: प्रदूषित वातावरणात, इन्सुलेटरमधून फ्लॅशओव्हर्स होऊ शकतात.
- परदेशी वस्तू (Foreign Objects): परदेशी वस्तूंचा अपघाती प्रवेश फॉल्ट निर्माण करू शकतो.
- यांत्रिक नुकसान (Mechanical Damage): भूकंप किंवा इतर यांत्रिक शक्तींमुळे बसबारला किंवा त्याच्या सपोर्ट्सना नुकसान होऊ शकते.
- ऑपरेशनल एरर्स (Operational Errors): स्विचगियरच्या देखभाल किंवा ऑपरेशनदरम्यान झालेल्या चुकांमुळे फॉल्ट निर्माण होऊ शकतात.
- उपकरण फेल्युअर (Equipment Failure): जोडलेल्या उपकरणांमधील बिघाड, जसे की सर्किट ब्रेकर, बसबार फॉल्ट्स देखील सुरू करू शकतात.
- लूज कनेक्शन्स किंवा डेटरिओरेशन (Loose Connections or Deterioration): बोल्ट सैल झाल्यामुळे किंवा वेल्ड तुटल्यामुळे जॉइंट्स किंवा कनेक्शन्समध्ये बिघाड होऊ शकतो.
- ट्रॅकिंग (Tracking): इन्सुलेटरवरील कार्बनचे साठे एक करंटकीय मार्ग तयार करू शकतात, ज्यामुळे ट्रॅकिंग आणि संभाव्य फॉल्ट्स होऊ शकतात.

4.9.2 प्रोटेक्शन, डिफरेंशियल आणि फॉल्ट बस प्रोटेक्शन (Busbar Protection, Differential and Fault Bus Protection)

जनरेटिंग स्टेशन्स आणि सब-स्टेशन्समध्ये असलेले बसबार येणाऱ्या आणि जाणाऱ्या सर्किट्समध्ये महत्वाचा दुवा साधतात. जर बसबारवर फॉल्ट आला, तर फॉल्ट झालेल्या बसबारला वेगळे करण्यासाठी काही जलद-क्रियाशील स्वयंचलित प्रोटेक्शन दिले नसल्यास मोठे नुकसान आणि सप्लायमध्ये व्यत्यय येईल. प्रोटेक्शनाच्या उद्देशाने बसबार झोनमध्ये केवळ बसबारच नव्हे, तर आयसोलेटिंग स्विचेस, सर्किट ब्रेकर्स आणि संबंधित कनेक्शन्सचाही समावेश होतो. बसबार प्रोटेक्शनासाठी सामान्यतः वापरल्या जाणाऱ्या दोन प्रमुख योजना खालीलप्रमाणे आहेत:

a) डिफरेंशियल प्रोटेक्शन (Differential Protection)

b) फॉल्ट बस प्रोटेक्शन (Fault Bus Protection)

a) डिफरेंशियल प्रोटेक्शन (Differential Protection):-

बसबार प्रोटेक्शनाची मूलभूत पद्धत म्हणजे डिफरेंशियल स्कीम, ज्यात बसमध्ये प्रवेश करणारे आणि बाहेर पडणारे करंट्स एकत्रित केले जातात. सामान्य लोड परिस्थितीत, या करंटची बेरीज शून्य असते. जेव्हा फॉल्ट येतो, तेव्हा फॉल्ट करंट हे संतुलन बिघडवतो आणि रिलेला कार्यान्वित करण्यासाठी डिफरेंशियल करंट निर्माण करतो.

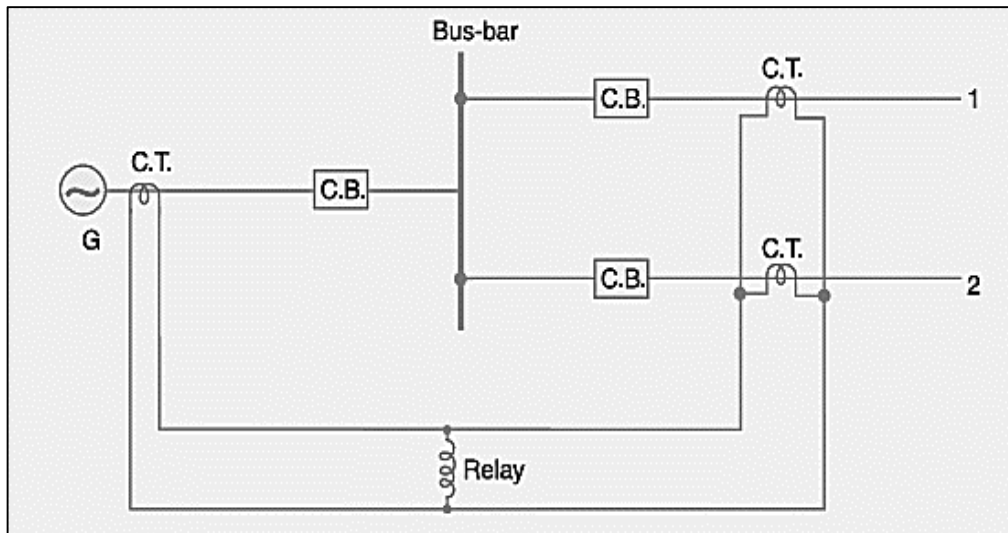


Fig. 4.10 Differential Protection

Ref: [Principles of Power System, Mehta V. K ; Rohit Mehta, S.Chand and Co., Page no.542](#)

आकृती 4.10 मध्ये स्टेशन बसबारसाठी करंट डिफरेंशियल स्कीमचा सिंगल लाईन डायग्राम दाखवला आहे. बसबारला जनरेटरद्वारे सप्लाय दिला जातो आणि तो दोन लाईन्सना लोड पुरवतो. जनरेटर लीडमधील, लाईन 1 मधील आणि लाईन 2 मधील करंट ट्रान्सफॉर्मरचे सेकंडरीज सर्व समांतर जोडलेले आहेत. प्रोटेक्टिव्ह रिले या समांतर जोडणीवर जोडलेला आहे.

या स्कीममध्ये सर्व सीटी (CTs) वेगवेगळ्या सर्किट्सच्या क्षमतेची पर्वा न करता, समान रेशोचे असावेत. सामान्य लोड परिस्थितीत किंवा एक्सटर्नल फॉल्ट परिस्थितीत, बसमध्ये प्रवेश करणाऱ्या करंटची बेरीज त्यातून बाहेर पडणाऱ्या करंटएवढी असते आणि रिलेमधून कोणताही करंट वाहत नाही. जर संरक्षित झोनमध्ये फॉल्ट आला, तर बसमध्ये प्रवेश करणारे करंट बाहेर पडणाऱ्या करंटएवढे राहणार नाहीत. या करंटमधील फरक रिलेमधून वाहील आणि जनरेटरचा, सर्किट ब्रेकरचा आणि प्रत्येक लाईनच्या सर्किट ब्रेकरचा (संपर्क खंडित करेल).

b) फॉल्ट बस प्रोटेक्शन (Fault Bus Protection)

स्टेशन अशा प्रकारे डिझाइन करणे शक्य आहे की, त्यात होणारे बहुतेक फॉल्ट्स (faults) हे अर्थ-फॉल्ट्स असतील. हे बस स्ट्रक्चरमध्ये प्रत्येक कंडक्टरच्या संपूर्ण लांबीभोवती अर्थ केलेल्या मेटल बॅरिअरची (ज्याला फॉल्ट बस म्हणून ओळखले जाते) तरतूद करून साध्य करता येते. या व्यवस्थेमुळे, कोणताही संभाव्य फॉल्ट कंडक्टर आणि अर्थ केलेल्या मेटल भागामध्ये कनेक्शन झाल्यामुळेच होईल. अर्थ-फॉल्ट करंटचा करंट निर्देशित करून, फॉल्ट्स शोधणे आणि त्यांचे स्थान निश्चित करणे शक्य होते. या प्रकारच्या प्रोटेक्शनला फॉल्ट बस प्रोटेक्शन असे म्हणतात.

आकृती 4.11 मध्ये फॉल्ट बस प्रोटेक्शनची योजनाबद्ध दाखवली आहे. मेटल सपोर्टिंग स्ट्रक्चर किंवा फॉल्ट बस करंट ट्रान्सफॉर्मरद्वारे अर्थ केलेले असते. या सीटीच्या (CT) सेकंडरीला एक रिले जोडलेला असतो. सामान्य ऑपरेशन परिस्थितीत, फॉल्ट बसमधून ग्राउंडकडे कोणताही करंट वाहत नाही आणि रिले निष्क्रिय राहतो. कंडक्टर आणि अर्थ केलेल्या सपोर्टिंग स्ट्रक्चरमध्ये कनेक्शन असलेला फॉल्ट झाल्यास, फॉल्ट बसमधून ग्राउंडकडे करंटचा करंट होईल, ज्यामुळे रिले कार्यरत होईल. रिलेच्या ऑपरेशनमुळे उपकरणांना बसशी जोडणारे सर्व ब्रेकर्स ट्रिप होतील.

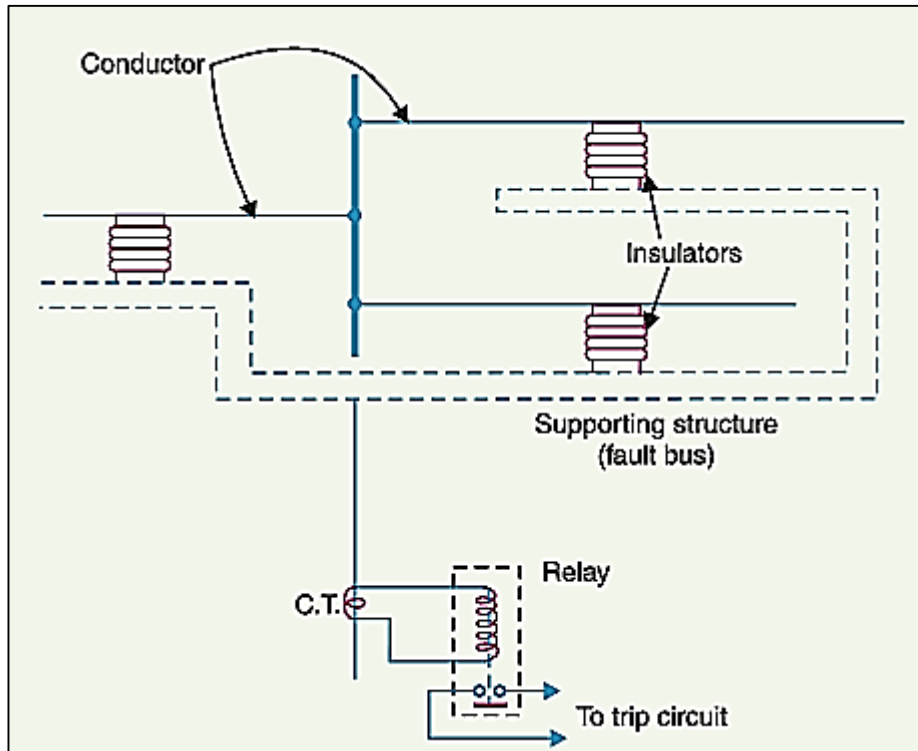


Fig 4.11 Fault Bus Protection

Ref: [Principles of Power System, Mehta V. K ; Rohit Mehta, S.Chand and Co., Page no.543](#)

4.10 ट्रान्समिशन लाईन: फॉल्ट्स, ओव्हर करंट, डिस्टन्स आणि पायलट वायर प्रोटेक्शन (Transmission Line: Faults, Over current, Distance and Pilot wire protection)

4.10.1 ट्रान्समिशन लाईन (Transmission Line): फॉल्ट्स (Faults)

- ओपन-सर्किट फॉल्ट्स (सिरीज फॉल्ट्स): हे ट्रान्समिशन लाईनमधील कंडक्टर तुटल्यास किंवा डिस्कनेक्ट झाल्यास घडतात, ज्यामुळे करंट करंटामध्ये अडथळा येतो.

- शॉर्ट-सर्किट फॉल्ट्स (शंट फॉल्ट्स -): हे कंडक्टर (फेज-टू-फेज किंवा फेज-टू-ग्राउंड - phase-to-ground) दरम्यान कमी-रेझिस्टन्स कनेक्शन असताना घडतात, ज्यामुळे जास्त करंट करंटासाठी मार्ग तयार होतो.
- सिमेट्रिकल फॉल्ट्स: हे फॉल्ट्स ट्रान्समिशन लाईनच्या तिन्ही फेजेसना समान रीतीने प्रभावित करतात. लाईन-टू-लाईन-टू-लाईन (LLL) आणि लाईन-टू-लाईन-टू-लाईन-टू-ग्राउंड (LLLG) फॉल्ट्स ही यांची उदाहरणे आहेत.
- असिमेट्रिकल फॉल्ट्स : हे फॉल्ट्स ट्रान्समिशन लाईनच्या फेजेसना वेगवेगळ्या प्रकारे प्रभावित करतात. सिंगल लाईन-टू-ग्राउंड (SLG), लाईन-टू-लाईन (LL) आणि लाईन-टू-लाईन-टू-ग्राउंड (LLG) फॉल्ट्स हे सामान्य प्रकार आहेत.

4.10.2 टाइम-ग्रेडेड ओव्हरकरंट प्रोटेक्शन (Time-Graded Overcurrent Protection)

ओव्हरकरंट प्रोटेक्शनच्या या स्कीममध्ये टाइम डिस्क्रिमिनेशनचा समावेश केलेला असतो. दुसऱ्या शब्दांत सांगायचे झाल्यास, रिलेची टाइम सेटिंग अशा प्रकारे ग्रेड केलेली असते की, फॉल्ट झाल्यास, सिस्टीमचा सर्वात लहान संभाव्य भाग वेगळा केला जातो. आपण काही महत्वाच्या केसेसची चर्चा करू.

- **रेडियल फीडर (Radial Feeder):** रेडियल सिस्टीमचे मुख्य वैशिष्ट्य हे आहे की पॉवर केवळ एका दिशेने, जनरेटर किंवा सप्लाय एंडपासून लोडकडे वाहू शकते. याचा तोटा असा आहे की, फॉल्ट झाल्यास रिसिक्लिंग एंडला सप्लायची निरंतरता राखता येत नाही. रेडियल फीडरचे टाइम-ग्रेडेड प्रोटेक्शन

a) डेफिनेट टाइम रिले (definite time relays) आणि

b) इन्व्हर्स टाइम रिले (inverse time relays) वापरून साध्य करता येते.

डेफिनेट टाइम रिलेचा वापर करून (Using definite time relays)

आकृती 4.12 मध्ये डेफिनेट टाइम रिले वापरून रेडियल फीडरचे ओव्हरकरंट प्रोटेक्शन दाखवले आहे. प्रत्येक रिलेच्या ऑपरेशनचा वेळ निश्चित असतो आणि तो ऑपरेटिंग करंटवर अवलंबून नसतो.

उदाहरणार्थ, रिले D चा ऑपरेटिंग टाइम 0.5 सेकंद आहे, तर इतर रिलेसाठी टाइम डिले क्रमशः 0.5 सेकंदांनी वाढवला जातो. जर DE सेक्शनमध्ये फॉल्ट आला, तर तो 0.5 सेकंदात रिले आणि सर्किट ब्रेकर द्वारे (D) येथे क्लिअर केला जाईल, कारण इतर सर्व रिलेचा ऑपरेटिंग टाइम जास्त आहे. अशा प्रकारे सिस्टीमचा (system) फक्त DE सेक्शन वेगळा केला जाईल. जर (D) येथील रिले ट्रिप होण्यास अयशस्वी झाला, तर (C) येथील रिले 0.5 सेकंदाच्या टाइम डिलेनंतर म्हणजेच फॉल्ट झाल्यापासून 1 सेकंदानंतर कार्य करेल.

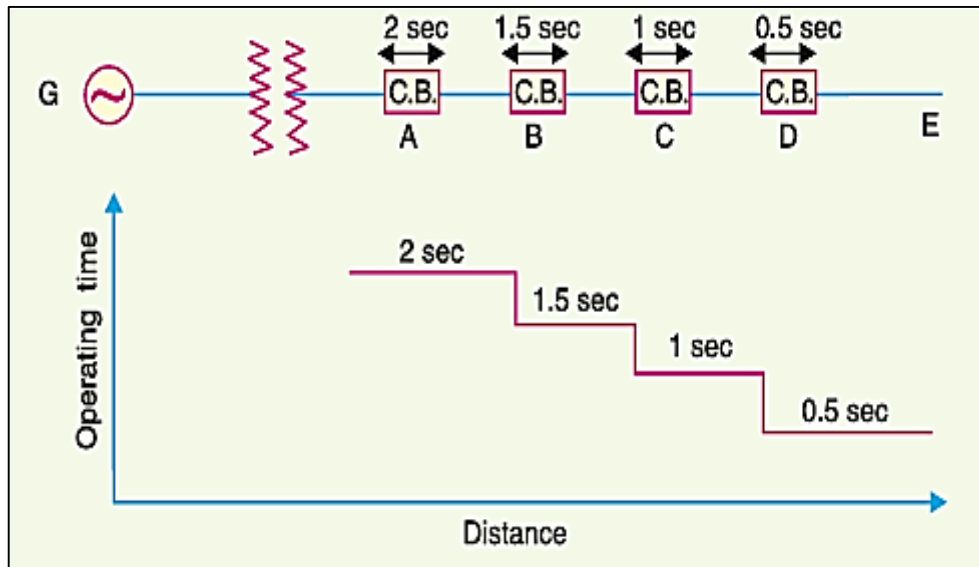


Fig. 4.12 Definite time relay

Ref: [Principles of Power System, Mehta V. K ; Rohit Mehta, S.Chand and Co., Page no.544](#)

इन्व्हर्स टाइम रिलेचा वापर करून (Using inverse time relays)

आकृती 4.13 मध्ये इन्व्हर्स टाइम रिले वापरून रेडियल फीडरचे ओव्हरकरंट प्रोटेक्शन दाखवले आहे, ज्यामध्ये ऑपरेटिंग टाइम ऑपरेटिंग करंटच्या व्यस्त प्रमाणात असतो. या व्यवस्थेमुळे, जनरेटिंग स्टेशनपासून सर्किट ब्रेकर जेवढा दूर असेल, तेवढा त्याच्या रिलेचा ऑपरेटिंग टाइम कमी असतो.

A, B आणि C येथील तीन रिलेमध्ये इन्व्हर्स-टाइम कॅरॅक्टरिस्टिक्स असल्याचे मानले जाते. BC सेक्शनमधील फॉल्टमुळे असे रिले टाइम मिळतील जे A येथील ब्रेकरच्या आधी B येथील ब्रेकरला ट्रिप होण्याची परवानगी देतील.

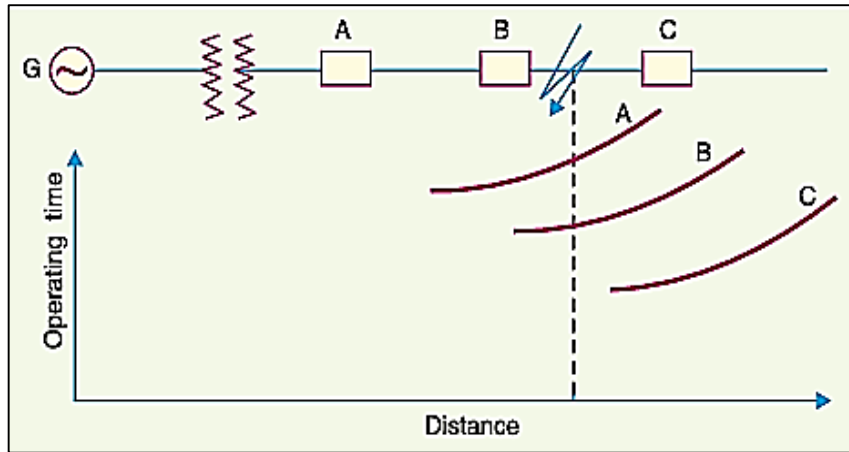


Fig 4.13 inverse time relays

Ref: [Principles of Power System, Mehta V. K ; Rohit Mehta, S.Chand and Co., Page no.544](#)

4.10.3 पॅरलल फीडर्स (Parallel Feeders)

जिथे सप्लायची निरंतरता विशेषतः आवश्यक असते, तिथे दोन पॅरलल फीडर्स स्थापित केले जाऊ शकतात. जर एका फीडरवर फॉल्ट आला, तर त्याला सिस्टीममधून डिस्कनेक्ट करता येते आणि दुसऱ्या फीडरमधून सप्लायची निरंतरता राखता येते.

पॅरलल फीडर्सचे प्रोटेक्शन केवळ नॉन-डायरेक्शनल ओव्हरकुरंट रिलेने केले जाऊ शकत नाही. डायरेक्शनल रिलेचाही वापर करणे आणि सिलेक्टिव्ह ट्रिपिंगसाठी रिलेच्या टाइम सेटिंगला ग्रेड करणे आवश्यक आहे.

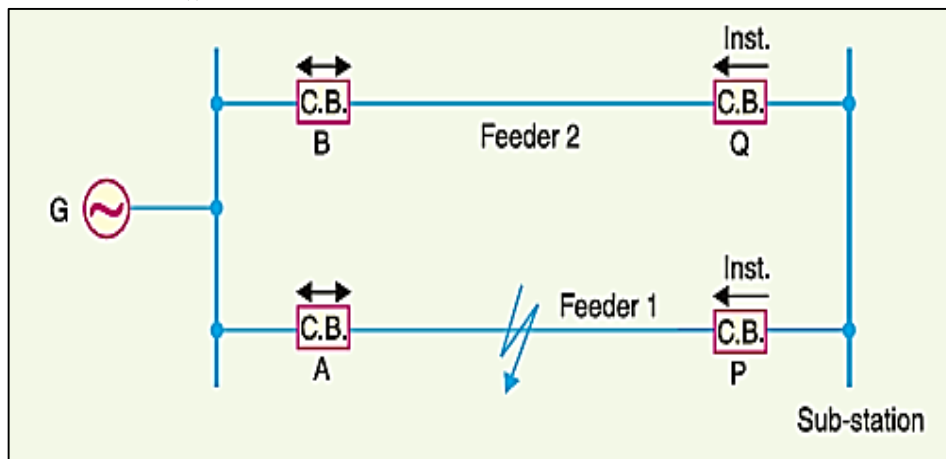


Fig 4.14 Parallel Feeders

Ref: [Principles of Power System, Mehta V. K ; Rohit Mehta, S.Chand and Co., Page no.545](#)

आकृती 4.14 मध्ये असे सिस्टीम दाखवले आहे जिथे जनरेटिंग स्टेशन आणि सब-स्टेशनदरम्यान दोन फीडर्स समांतर जोडलेले आहेत. या सिस्टीमच्या प्रोटेक्शनासाठी खालील गोष्टी आवश्यक आहेत:

- प्रत्येक फीडरला जनरेटरच्या टोकाला एक नॉन-डायरेक्शनल ओव्हरकुरंट रिले असावा. या रिलेमध्ये इन्व्हर्स-टाइम कॅरेक्टरिस्टिक असावी.
- प्रत्येक फीडरला सब-स्टेशनच्या टोकाला एक रिव्हर्स पॉवर किंवा डायरेक्शनल रिले असावा. हे रिले इन्स्टंटॅनियस प्रकारचे असावेत आणि पॉवर उलट दिशेने म्हणजेच P आणि Q येथील बाणाच्या दिशेने वाहत असेल तरच कार्यान्वित व्हावेत.

4.10.4 रिंग मेन सिस्टीम (Ring Main System)

या सिस्टीममध्ये विविध पॉवर स्टेशन्स किंवा सब-स्टेशन्स पर्यायी मार्गांनी एकमेकांशी जोडलेले असतात, ज्यामुळे एक बंद रिंग तयार होते. रिंगच्या कोणत्याही सेक्शनला नुकसान झाल्यास, दुरुस्तीसाठी तो सेक्शन डिस्कनेक्ट केला जाऊ शकतो आणि पॉवर रिंगच्या दोन्ही टोकांकडून सप्लाय केली जाईल, ज्यामुळे सप्लायची निरंतरता राखली जाईल.

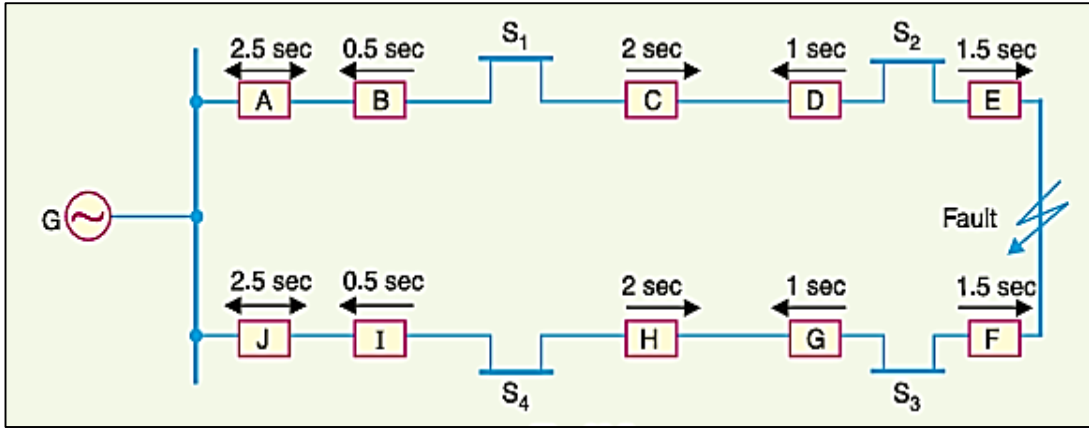


Fig 4.15 Ring Main System

Ref: [Principles of Power System, Mehta V. K ; Rohit Mehta, S.Chand and Co., Page no.546](#)

आकृती 4.15 मध्ये एका सामान्य रिंग मेन सिस्टीमचा सिंगल लाईन डायग्राम दाखवला आहे, ज्यात एक जनरेटर G चार सब-स्टेशन्सना (sub-stations) S1, S2, S3 आणि S4 सप्लाय देत आहे. या व्यवस्थेमध्ये, फॉल्ट परिस्थितीत पॉवर दोन्ही दिशांनी वाहू शकते. त्यामुळे, रिंगभोवती दोन्ही दिशांनी ग्रेड करणे आणि डायरेक्शनल रिले वापरणे आवश्यक आहे.

4.10.5 डिस्टन्स प्रोटेक्शन (Distance Protection)

टाइम-ग्रेडेड आणि पायलट-वायर सिस्टीम दोन्ही खूप लांब हाय व्होल्टेज ट्रान्समिशन लाईन्सच्या प्रोटेक्शनासाठी योग्य नाहीत. पहिल्यामुळे जनरेटिंग स्टेशनच्या टोकाला फॉल्ट क्लिअरन्समध्ये अनावश्यकपणे मोठा टाइम डिले होतो, जेव्हा चार किंवा पाचपेक्षा जास्त सेक्शन्स असतात. तसेच, पायलट-वायर सिस्टीम आवश्यक असलेल्या पायलट वायर्सच्या जास्त लांबीमुळे खूप महाग होते.

यामुळे डिस्टन्स प्रोटेक्शनचा विकास झाला, ज्यामध्ये रिलेची क्रिया रिले स्थापित केलेल्या ठिकाणापासून आणि फॉल्टच्या ठिकाणामधील अंतरावर (किंवा इम्पेडन्सवर) अवलंबून असते. ही सिस्टीम पायलट वायर्सचा वापर न करता डिस्क्रिमिनेशन प्रोटेक्शन प्रदान करते.

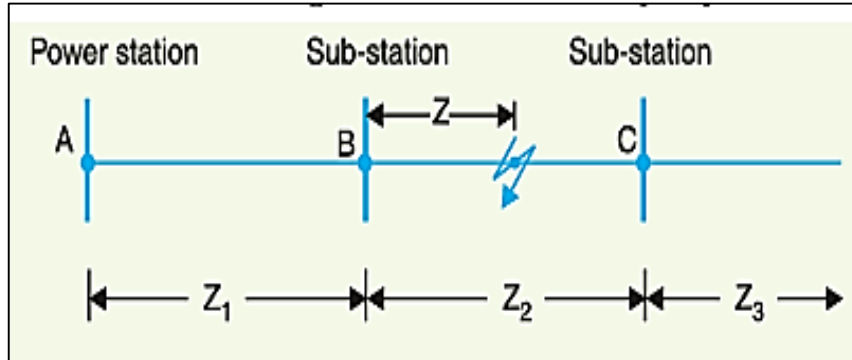


Fig 4.16 Distance Protection

Ref: [Principles of Power System, Mehta V. K ; Rohit Mehta, S.Chand and Co., Page no.550](#)

आकृती 4.16 मध्ये एक साधी सिस्टीम दाखवली आहे, ज्यात लाईन्स अशा प्रकारे सिरीजमध्ये जोडलेल्या आहेत की पॉवर फक्त डावीकडून उजवीकडे वाहू शकते. A, B आणि C येथील रिले अनुक्रमे Z1, Z2 आणि Z3 पेक्षा कमी इम्पेडन्ससाठी कार्य करण्यासाठी सेट केलेले आहेत.

समजा, सब-स्टेशन्स B आणि C दरम्यान फॉल्ट येतो, तेव्हा पॉवर स्टेशन आणि सब-स्टेशन A व B येथील फॉल्ट इम्पेडन्स अनुक्रमे $Z_1 + Z$ आणि Z असेल. हे स्पष्ट आहे की, दाखवलेल्या भागासाठी, फक्त B येथील रिले कार्य करेल. त्याचप्रमाणे, जर AB सेक्शनमध्ये फॉल्ट आला, तर फक्त A येथील रिले कार्य करेल. अशा प्रकारे, ऑपरेशनच्या सर्व परिस्थितींसाठी तात्काळ प्रोटेक्शन मिळू शकते.

प्रत्यक्षात, रिले एलिमेंट्स आणि इन्स्ट्रुमेंट ट्रान्सफॉर्मर्समधील अचूकतेअभावी लाईनच्या पूर्ण लांबीसाठी तात्काळ प्रोटेक्शन मिळवणे शक्य नाही. त्यामुळे, A येथील रिले [आकृती 4.16 पहा] AB अंतराच्या 99% वरील फॉल्टमध्ये आणि AB अंतराच्या 101% वरील फॉल्टमध्ये फरक करण्यात फारसा विश्वसनीय असणार नाही. आकृती 4.17 मध्ये दाखवलेल्या 'थ्री-झोन' डिस्टन्स प्रोटेक्शनचा वापर करून ही अडचण दूर केली जाते.

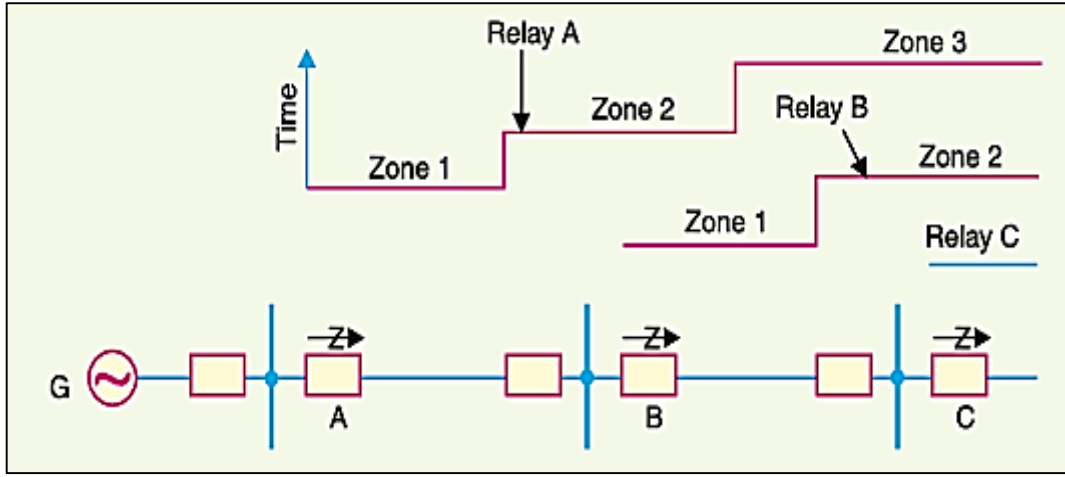


Fig 4.17

Ref: [Principles of Power System, Mehta V. K ; Rohit Mehta, S.Chand and Co., Page no.550](#)

या प्रोटेक्शन योजनेत प्रत्येक टर्मिनलवर तीन डिस्टन्स एलिमेंट्स वापरले जातात. झोन 1 एलिमेंट लाईनच्या पहिल्या 90% भागाचे प्रोटेक्शन करतो आणि या भागातील फॉल्ट्ससाठी तात्काळ ट्रिप होण्यासाठी याची रचना केलेली असते.

झोन 2 एलिमेंट लाईनच्या उर्वरित 10% भागातील फॉल्ट्ससाठी आणि पुढील लाईन सेक्शनमधील फॉल्ट्ससाठी ट्रिप होतो, परंतु जर फॉल्ट पुढील सेक्शनमध्ये असेल तर लाईन ट्रिप होऊ नये यासाठी थोडा टाइम डिले समाविष्ट केलेला असतो. झोन 3 एलिमेंट पुढील सेक्शनमधील फॉल्ट त्याच्या ब्रेकरने क्लिअर न केल्यास बॅक-अप प्रोटेक्शन प्रदान करतो.

4.10.6 डिफरेंशियल पायलट-वायर प्रोटेक्शन (Differential Pilot-Wire Protection)

डिफरेंशियल पायलट-वायर प्रोटेक्शन या तत्त्वावर आधारित आहे की, सामान्य परिस्थितीत, लाईनच्या एका टोकातून प्रवेश करणारा करंट दुसऱ्या टोकातून बाहेर पडणाऱ्या करंटएवढा असतो. दोन्ही टोकांच्या दरम्यान फॉल्ट येताच, ही स्थिती कायम राहत नाही आणि येणाऱ्या व बाहेर पडणाऱ्या करंटमधील फरक एका रिलेमधून वाहण्याची व्यवस्था केली जाते, जो फॉल्ट झालेली लाईन वेगळी करण्यासाठी सर्किट ब्रेकरला कार्यान्वित करतो. लाईन्ससाठी अनेक डिफरेंशियल प्रोटेक्शन स्कीम्स वापरात आहेत. तथापि, खालील फक्त दोन स्कीम्सची चर्चा केली जाईल:

a) मर्झ-प्राईस व्होल्टेज बॅलन्स सिस्टीम (Merz-Price voltage balance system)

b) ट्रान्सले स्कीम (Translay scheme)

a) मर्झ-प्राईस व्होल्टेज बॅलन्स सिस्टीम (Merz-Price voltage balance system)

आकृती 4.18 मध्ये 3-फेज लाईनच्या प्रोटेक्शनासाठी मर्झ-प्राईस व्होल्टेज बॅलन्स सिस्टीमचा सिंगल लाईन डायग्राम दाखवला आहे. लाईनच्या दोन्ही टोकांना प्रत्येक फेजमध्ये एकसारखे करंट ट्रान्सफॉर्मर (current transformers) बसवलेले असतात. प्रत्येक लाईनमधील सीटीची (CTs) जोडी रिलेसह अशा प्रकारे सिरीजमध्ये जोडलेली असते की, सामान्य परिस्थितीत, त्यांचे सेकंडरी व्होल्टेज समान आणि विरुद्ध दिशेने असतात, म्हणजे ते एकमेकांना संतुलित करतात.

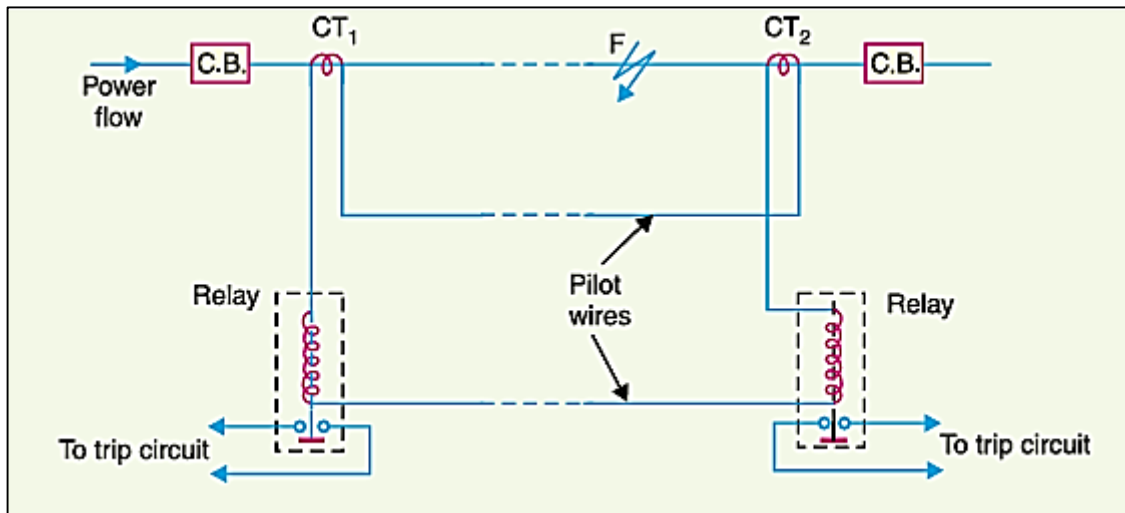


Fig 4.18 Merz-Price voltage balance system

Ref: [Principles of Power System, Mehta V. K ; Rohit Mehta, S.Chand and Co., Page no.547](#)

• फायदे (Advantages)

- ही सिस्टीम रिंग मेन्स तसेच पॅरलल फीडर्ससाठीही वापरली जाऊ शकते.
- ही सिस्टीम ग्राउंड फॉल्ट्ससाठी तात्काळ प्रोटेक्शन प्रदान करते. यामुळे हे फॉल्ट्स इतर फेजमध्ये समाविष्ट होण्याची शक्यता कमी होते.
- ही सिस्टीम तात्काळ रिलेइंग प्रदान करते, ज्यामुळे आर्किंग फॉल्ट्समुळे ओव्हरहेड कंडक्टर्सना होणारे नुकसान कमी होते.

• तोटे (Disadvantages)

- करंट ट्रान्सफॉर्मर्सचे अचूक जुळणे खूप आवश्यक आहे.
- जर पायलट-वायर सर्किटमध्ये बिघाड झाला, तर सिस्टीम कार्य करणार नाही.
- आवश्यक असलेल्या पायलट वायर्सच्या जास्त लांबीमुळे ही सिस्टीम खूप महाग आहे.
- लांब लाईन्सच्या बाबतीत, पायलट-वायर कॅपेसिटन्स प्रभावांमुळे निर्माण होणारा चार्जिंग करंट सामान्य परिस्थितीतही रिले कार्यान्वित करण्यासाठी पुरेसा असू शकतो.
- करंट ट्रान्सफॉर्मर्सच्या जुळणीतील रचनात्मक अडचणींमुळे ही सिस्टीम 33 kV पेक्षा जास्त लाईन व्होल्टेजसाठी वापरली जाऊ शकत नाही.

b) ट्रान्सले स्कीम (Translay Scheme)

3-फेज लाईनच्या प्रोटेक्शनासाठी ट्रान्सले स्कीम आकृती 4.19 मध्ये दाखवली आहे. या स्कीममध्ये वापरलेले रिले मूलतः ओव्हरकरंट इंडक्शन टाईप रिले आहेत.

प्रत्येक रिलेमध्ये दोन इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक एलिमेंट्स असतात. वरचा एलिमेंट एक वाइंडिंग (11 किंवा 11a) धारण करतो, जे संरक्षित केल्या जाणाऱ्या लाईनच्या फेजमध्ये जोडलेल्या लाईन सीटीच्या (line CTs) सेकंडरीमधून समेशन ट्रान्सफॉर्मर म्हणून ऊर्जा घेते. वरचा एलिमेंट एक सेकंडरी वाइंडिंगही (12 किंवा 12a) धारण करतो, जो खालच्या मॅग्नेटवरील ऑपरेटिंग वाइंडिंगसह (13 किंवा 13a) सिरीजमध्ये जोडलेला असतो. सेकंडरी वाइंडिंग 12, 12a आणि ऑपरेटिंग वाइंडिंग 13, 13a सिरीजमध्ये अशा प्रकारे जोडलेले असतात की, त्यांच्यामध्ये प्रेरित व्होल्टेज एकमेकांच्या विरुद्ध असतात.

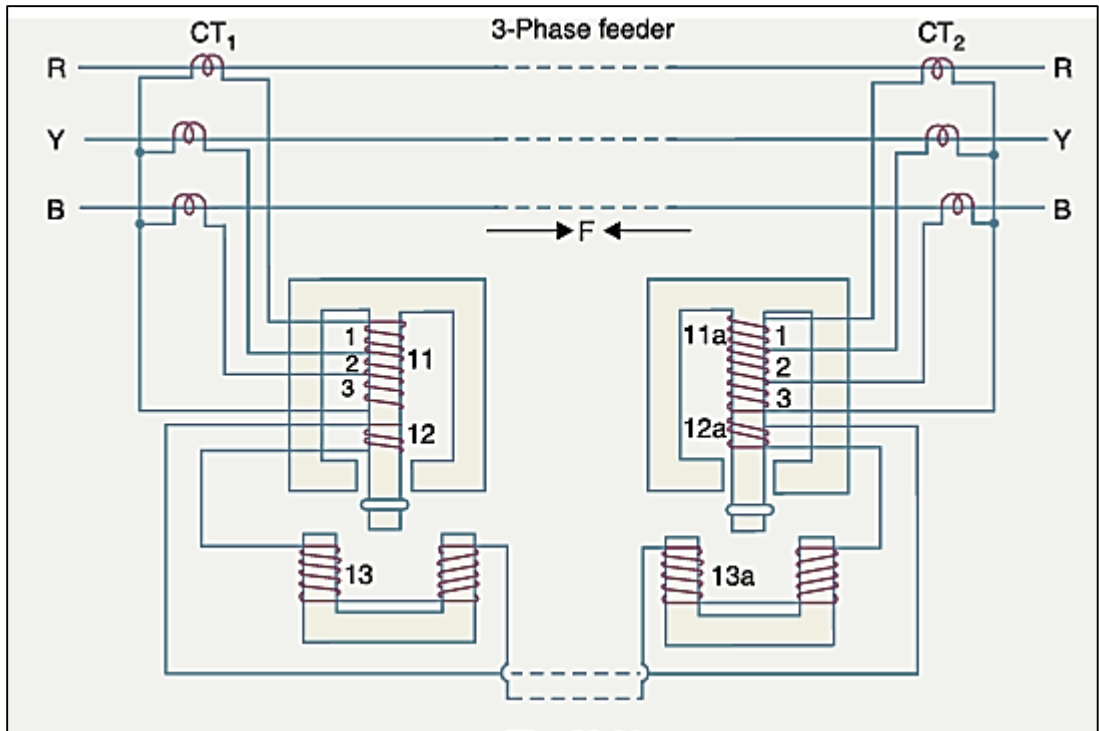


Fig. 4.19 Translay Scheme

Ref: [Principles of Power System, Mehta V. K ; Rohit Mehta, S.Chand and Co., Page no.549](#)

• ऑपरेशन (Operation)

जेव्हा फीडर सुरक्षित असतो, तेव्हा त्याच्या दोन्ही टोकांवरील करंट समान असतात, त्यामुळे सीटीच्या (CTs) दोन्ही सेटमधील सेकंडरी करंट्सही समान असतात. परिणामी, रिले प्राइमरी वाइंडिंग 11 आणि 11a मधून वाहणारे करंट समान

असतील आणि ते सेकंडरी वाइंडिंग 12 आणि 12a मध्ये समान व्होल्टेज प्रेरित करतील. ही वाइंडिंग एकमेकांच्या विरुद्ध जोडलेली असल्यामुळे, त्यांच्यामधून किंवा ऑपरेटिंग वाइंडिंग 13 आणि 13a मधून कोणताही करंट वाहत नाही. संरक्षित लाईनवर फॉल्ट आल्यास, लाईनच्या एका टोकावरील लाईन करंट दुसऱ्या टोकापेक्षा जास्त असेल. याचा परिणाम असा होतो की सेकंडरी वाइंडिंग 12 आणि 12a मध्ये प्रेरित होणारे व्होल्टेज भिन्न असतील आणि ऑपरेटिंग कॉइल्स 13, 13a आणि पायलट सर्किटमधून करंट वाहू लागेल. या परिस्थितीत, प्रत्येक रिलेचे (relay) दोन्ही वरचे आणि खालचे एलिमेंट्स ऊर्जावान होतात आणि प्रत्येक रिले डिस्कवर एक फॉरवर्ड टॉर्क कार्य करतो. रिलेच्या कार्यामुळे लाईनच्या दोन्ही टोकांवरील सर्किट ब्रेकर्स उघडतील.

• फायदे (Advantages)

- ही सिस्टीम किफायतशीर आहे कारण 3-फेज लाईनच्या प्रोटेक्शनासाठी फक्त दोन पायलट वायर्सची आवश्यकता असते.
- सामान्य डिझाइनचे करंट ट्रान्सफॉर्मर्स वापरले जाऊ शकतात.
- पायलट वायर कॅपेसिटन्स करंट्समुळे रिलेच्या कार्यावर परिणाम होत नाही.

स्वाध्याय (Exercise)

- मोटरमध्ये होणारे चार असामान्य बदल सांगा.
- बसबारसाठी डिफरेंशियल प्रोटेक्शन योजनेचे स्वच्छ आकृतीसह स्पष्टीकरण द्या.
- ट्रान्समिशन लाईनला लागू केलेल्या पायलट वायर प्रोटेक्शन योजनेचे स्वच्छ आकृतीसह स्पष्टीकरण द्या.
- स्वच्छ आणि नामांकित आकृतीसह बुचोल्झ रिलेची रचना आणि कार्यपद्धतीचे वर्णन करा.
- सिंगल फेजिंग प्रिव्हेन्टरचे स्वच्छ आकृतीसह कार्य स्पष्ट करा.
- अल्टरनेटरसाठी वापरल्या जाणाऱ्या "डिफरेंशियल प्रोटेक्शन स्कीम" चे स्वच्छ आणि नामांकित आकृतीसह स्पष्टीकरण द्या.
- अल्टरनेटरमध्ये उद्भवू शकणारे कोणतेही चार फॉल्ट सांगा.
- स्वच्छ लाईन डायग्रामसह अल्टरनेटरच्या ओव्हरकरंट आणि अर्थ फॉल्ट प्रोटेक्शनचे कार्य सांगा.
- स्वच्छ आकृतीच्या मदतीने, ट्रान्समिशन लाईनसाठी डिस्टन्स प्रोटेक्शन स्कीमचे कार्य स्पष्ट करा.
- 3-फेज अल्टरनेटरच्या रिक्वर्ड पॉवर प्रोटेक्शनचे स्पष्टीकरण द्या.

संदर्भ पाठ्यपुस्तके (Reference Books):

- Principles of Power System, Mehta V. K ; Rohit Mehta, S.Chand and Co., New Delhi., 2016 ISBN: 978-93-5501-077-3
- Switchgear and Protection, Rao.Sunil S., Khanna Publishers, New Delhi, 2015 ISBN: 978-93-87394-72-8
- Switchgear and Protection, Gupta. J. B., S. K. Kataria and Sons, New Delhi, 2015 ISBN: 978-93-5014-372-8.

माहिती संकेतस्थळ (Information Websites):

- <https://nptel.ac.in/courses/108101039>
- <https://new.abb.com>

