

Helge Hummervoll

Beskyttelse av strømtransformatorer

Bacheloroppgave i Elkraft
Veileder: Tor Arne Folkestad
Medveileder: Kjetil Birkedal
Mai 2022

Helge Hummervoll

Beskyttelse av strømtransformatorer

Bacheloroppgave i Elkraft
Veileder: Tor Arne Folkestad
Medveileder: Kjetil Birkedal
Mai 2022

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for informasjonsteknologi og elektroteknikk
Institutt for elkraftteknikk

Oppgavens tittel:	Dato: 19.mai.2022		
Beskyttelse av strømtransformatorer	Antall sider: 80		
	Masteroppgave:	Bacheloroppgave	X
Navn: Helge Hummervoll			
Veileder: Tor Arne Folkestad			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/ veiledere: Kjetil Birkedal			

Sammendrag:

Formålet med denne oppgaven er å undersøke om ConocoPhillips bør installere overspenningsbeskyttelse for strømtransformatorer i nye og eksisterende anlegg. Det er i tillegg tatt vurderinger av de ulike type beskyttelsene som finnes på markedet og hvor det vil være størst behov for å installere beskyttelse.

Strømtransformatorer og tilhørende beskyttelse har blitt undersøkt ut fra tilgjengelig litteratur. Oppgaven er derfor hovedsakelig basert på litteratursøk. Oppgaven er i tillegg basert på forfatterens egne erfaringer med hvordan vedlikehold av denne type elektriske anlegg utføres.

Oppgaven anbefaler installasjon av overspenningsbeskyttelses for strømtransformatorer i nye og eksisterende anlegg hvor sekundærspenningen kan overstige 3500Vpk. Det anbefales bruk av overspenningsbeskyttelse basert på silisiumkarbid varistorer produsert av Metrosil. Behovet for overspenningsbeskyttelse vil være størst i deler av lavspenningsanlegg med tilhørende strømtransformatorer for beskyttelsesformål.

Stikkord:

Strømtransformator
Overspenningsbeskyttelse
Varistor


Helge Hummervoll
Helge Hummervoll

Abstract

The purpose of this thesis is to investigate if ConocoPhillips should install surge protection for current transformers in new and existing installations. In addition, evaluations have been made of the different types of protection available on the market and where the need of protection will be greatest.

Current transformers and their protections have been examined based on available literature. The thesis is therefor mainly based on literature search. The thesis is also based on the author's own experience with how maintenance of electric systems are done.

The thesis recommends the installation of surge protection of current transformers in new and existing systems where the secondary voltage can exceed 3500Vpk. Surge protection based on silicon carbide varistors manufactured by Metrosil is recommended. The need of overvoltage protection will be greatest in parts of low voltage systems with associated current transformers for protection purposes.

Forord

Denne rapporten er utarbeidet som en del av en avsluttende bacheloroppgave ved NTNU Gjøvik, Institutt for elkraftteknikk. Rapporten er skrevet våren 2022 og omhandler strømtransformatorer, og hvordan disse kan beskyttes mot overspenninger på sekundærsiden.

Oppgaven er skrevet for arbeidsgiveren min, ConocoPhillips. Her jobber jeg til daglig som elektriker i Nordsjøen. Informasjon om anlegg og hvordan disse vedlikeholdes er derfor basert på observasjoner i felt, egne erfaringer og styringssystemet til ConocoPhillips.

Jeg ønsker å takke Tor Arne Folkestad, veileder ved NTNU Gjøvik, og Kjetil Birkedal, kontaktperson i ConocoPhillips, for god veiledning og hjelp med oppgaven.

Helge Hummervoll, 19.mai 2022

Innholdsfortegnelse

1	Innledning.....	1
1.1	Bakgrunn og problembeskrivelse.....	1
1.2	Mål.....	1
1.3	Begrensing av oppgave.....	2
2	Metodevalg.....	3
3	Teori.....	4
3.1	Strømtransformator.....	4
3.1.1	Oppbygging.....	4
3.1.2	Magnetfelt.....	4
3.1.3	Indusert spenning.....	5
3.1.4	Belastning.....	6
3.1.5	Strømforhold.....	7
3.1.6	Knekkpunktspenning.....	7
3.1.7	Åpen krets på sekundærsiden.....	8
3.1.8	Størrrelse til sekundærspenningen.....	10
3.1.9	Spesifisering av strømtransformatorer.....	11
3.1.10	Forskjellige typer strømtransformatorer.....	12
3.2	Beskyttelse av strømtransformatorens sekundærside.....	13
3.2.1	Mekaniske løsninger.....	13
3.2.2	Variabel motstand – Varistor.....	17
3.2.3	Elektronisk overspenningsvern.....	26
4	Arbeid med strømtransformatorer.....	29
5	Forskrifter og standarder.....	30
5.1	NEK IEC 61892-3.....	30
5.2	NEK IEC 61869-1.....	31
5.3	NEK IEC 61869-2.....	32

5.3.1	Strømtransformatorer for måling	32
5.3.2	Strømtransformatorer for beskyttelse	33
5.4	NORSOK E-001 og TCD 4574E.....	34
5.5	NEK 400	35
5.6	IEEE C57.13	36
6	Beskrivelse av anlegg til ConocoPhillips	37
6.1	ConocoPhillips	37
6.2	Høyspenning.....	38
6.2.1	Strømtransformator (T1).....	41
6.2.2	Måletrafoskilleklemmer (X1).....	42
6.2.3	Testblokk for relèvern (F22)	42
6.2.4	Relèvern (F14)	43
6.2.5	Transduser (U11).....	43
6.3	Lavspenning.....	44
6.3.1	Hovedbrytere for lavspenning med internt relèvern	45
6.3.2	Hovedbrytere for lavspenning med eksternt relèvern.....	49
6.3.3	Starterskuff for kraftkrevende forbrukere	51
6.3.4	Starterskuff for mindre forbrukere	55
6.4	Vedlikehold.....	57
6.4.1	Høyspenningsavganger	57
6.4.2	Lavspenning hovedbrytere	58
6.4.3	Lavspenning starterskuffer.....	62
7	Diskusjon	64
7.1	Overspenningsbeskyttelse	64
7.1.1	Tyritt sekundærbeskyttelse.....	64
7.1.2	Silisiumkarbid varistor	65
7.1.3	Elektronisk overspenningsvern	66
7.2	Regelverk.....	67

7.3	Anlegg til ConocoPhillips	68
7.3.1	Arbeid og vedlikehold.....	68
7.3.2	Spenning sekundærsiden.	68
7.3.3	Høyspenning.....	69
7.3.4	Hovedbrytere.....	70
7.3.5	Starterskuffer i lavspenningsnettet.....	70
8	Konklusjon	72
9	Videre arbeid.....	74

Figurliste

Figur 3-1: Oppbygging til en strømtransformator.....	4
Figur 3-2: Ekvivalentskjema for en strømtransformator med ringkjerne. [3].....	6
Figur 3-3: Magnetiseringskarakteristikk til en strømtransformator.	8
Figur 3-4: Spenning på sekundærside av strømtransformator ved åpen krets og ingen beskyttelse. [9]	9
Figur 3-5: Magnetiseringskarakteristikk til forskjellige strømtransformatorer.	10
Figur 3-6: Snittbilde av måletrafoskilleklemmer.	14
Figur 3-7: Koblingsskjema for testing av relèvern.	14
Figur 3-8: ESSAILEC designet av ABB, er en hurtigkobling for testing av vern.	15
Figur 3-9: Virkemåte til ESSAILEC hurtigkobling.....	15
Figur 3-10: Koblingsskjema for strømmåling ved bruk av hurtigkoblinger.	16
Figur 3-11: Koblingsskjema for testing av relèvern ved bruk av hurtigkoblinger.	16
Figur 3-12: Strøm-spenningskarakteristikk for motstand og to ulike typer varistorer. [13]	17
Figur 3-13: Oppkobling av tyritt sekundærbeskyttelse.....	18
Figur 3-14: Tyritt sekundærbeskyttelse. Bildet til venstre viser hvordan en slik komponent ser ut, og bildet til høyre er snitt tegning som viser oppbyggingen. [7]	18
Figur 3-15: Spenning på sekundærside av strømtransformator ved åpen krets og ingen beskyttelse. [7] ...	19
Figur 3-16: Feilmargin mellom primær og sekundærstrøm ved bruk av tyritt sekundærbeskyttelse ved høye strømmer. [7].....	20
Figur 3-17: Tid for at termisk bryter skal aktiveres, som funksjon av primærstrøm. Grafen tar utgangspunkt i at sekundærsiden er tilkoblet last.....	21
Figur 3-18: En-pol overspenningsbeskyttelse til strømtransformatorer, CTPU, designet av Metrosoil. [13]	22
Figur 3-19: Tre-pol overspenningsbeskyttelse til strømtransformatorer, CTPU, designet av Metrosil.....	23
Figur 3-20: Koblingsskjema til CTPU med ekstra NO-kontaktsett.....	23
Figur 3-21: Strøm og spenning under åpen sekundærkrets og CTPU installert.	25
Figur 3-22: Varme-syklus til silisiumkarbid varistor enhet under åpen sekundærkrets.	25
Figur 3-23: OCP «Open Circuit Protector», er et elektronisk overspenningsvern designet av General Electric. [16].....	26
Figur 3-24: Liste over typer OCP og deres egenskaper.	27
Figur 3-25: Bestilling av OCP.	27
Figur 3-26: Koblingsskjema for elektronisk overspenningsbeskyttelse.	28
Figur 6-1: Høyspenningstavle illustrasjon.	38
Figur 6-2: Hovedstrømskjema til høyspenningsavgang som forsyner en 6,6/0,69kV transformator.	39
Figur 6-3: Snittegning av høyspenningsavgang.....	40
Figur 6-4: Oppbygging til strømtransformator produsert av Ritz Instrument.	41

Figur 6-5: Rekkeklemmer i strømtransformatorens sekundærside som blir brukt i Ekofisk-området.	42
Figur 6-6: Testblokk ESSAILEC for strøminjeksjon, designet av ABB.	42
Figur 6-7: Relèvern produsert av Schneider Electric, type Sepam Series 80.	43
Figur 6-8: Transduser for strømvlesning inn til kontrollrom//kontrollsystem.	43
Figur 6-9: Bilde av hvordan en typisk hovedtavle for lavspenning ser ut. [25]	44
Figur 6-10: Hovedstrømskjema til hovedbryter som forsyner 690V hovedtavle.	45
Figur 6-11: Merlin Gerin masterpact 690V hovedbryter/effektbryter med innebygd relèvern.	46
Figur 6-12: Strømtransformator av typen LGK designet av Garre, laget for samleskinner.	47
Figur 6-13: Rekkeklemmer i strømtransformatorens sekundærside som blir brukt i Ekofisk-området.	48
Figur 6-14: Hovedstrømskjema til hovedbryter som forsyner 690V hovedtavle.	49
Figur 6-15: Siprotec relèvern produsert av Siemens. [29]	50
Figur 6-16: Starterskuff for kraftkrevende forbrukere.	51
Figur 6-17: Hovedstrømskjema for en 10kW/690V motor.	52
Figur 6-18: Strømtransformator for kraftkrevende starterskuffer.	53
Figur 6-19: Elektronisk motorvern av typen Allen Bradley CEFB1.	54
Figur 6-20: Tilkoblinger på Allan Bradley CEFB1-12.	54
Figur 6-21: Starterskuff for mindre forbrukere.	55
Figur 6-22: Hovedstrømskjema for en 0,55kW/690V motor.	56
Figur 6-23: Brytervogn for høyspenning og forlengelseskabel (1) til styrestrøm.	57
Figur 6-24: Ulike testkabler og kortslutning av disse.	58
Figur 6-25: Ulike posisjoner til hovedbryter av type Merlin Gerin [25]	59
Figur 6-26: Omicron CMC 356 relèverntester. [28]	60
Figur 6-27: Testapparat og kabel av typen Merlin Gerin 34547 ME Portable Test Kit.	61
Figur 6-28: Testkabel og tilkoblinger ved strøminjeksjon, for typen Merlin Gerin 34547 ME Portable Test Kit. [29].....	61
Figur 6-29: Forlengerkabel til styrestrøm for starterskuffer.	62
Figur 6-30: Megger Sverker 650 Relèverntester. [30]	63
Figur 7-1: Thyrite Protector designet av General Electric. [26].....	64
Figur 7-2: CTPU kan leveres ferdigmontert i skap. Skapet kan leveres i ulike størrelser.	66
Figur 7-3: Magnetiseringskarakteristikk til forskjellige strømtransformatorer.	69

1 Innledning

1.1 Bakgrunn og problembeskrivelse

Tradisjonelt er det to måter å måle strømtrekk på: direkte og indirekte måling.

Direktemåling blir normalt brukt for strømmer til og med 63A 1-fas og 80A 3-fas [1].

Skal det måles strømmer over dette, brukes normalt strømtransformatorer.

Strømtransformatoren vil transformere laststrømmen ned til et akseptabelt nivå, slik at strømvlesning kan gjøres på en sikker måte. Det er imidlertid det tilkoblede måleinstrumentet som avgjør hvor stor strøm som kan påtrykkes direkte.

Strømtransformatorer benyttes altså når måleinstrumentet ikke er designet for å bli påtrykket laststrømmen direkte. Hensikten med strømvlesning er å verne anlegg og/eller overvåke strømforbruk.

Strømtransformatorer anses som svært pålitelige og driftssikre under normal drift. Dersom strømtransformatoren sin sekundærside blir åpnet, samtidig som det går strøm gjennom primærviklingen, vil det imidlertid kunne induseres farlig høye spenninger på sekundærsiden av strømtransformatoren. Disse spenningene kan bli opp mot 10kVpk. I tillegg til å kunne ødelegge selve strømtransformatoren, vil disse spenningene også utgjøre fare for personell, tilkoblet utstyr og brann. Dette er et kjent problem både i offshore- og på landindustri.

Det finnes både mekaniske og elektriske løsninger for dette ute i markedet. I industrien i Norge brukes det hovedsakelig mekaniske løsninger. Dette vil imidlertid ikke være tilstrekkelig dersom feil oppstår eller en serviceperson åpner sekundærsiden ved et uhell.

1.2 Mål

Målet med oppgaven er å undersøke om ConocoPhillips bør installere elektrisk beskyttelse av strømtransformatorer i nye og eksisterende anlegg. Det er i tillegg utført vurderinger av de ulike type elektriske beskyttelsene og hvor det vil være størst behov for å installere dette.

1.3 Begrensning av oppgave

Siden oppgaven er tidsbegrenset, må også oppgaven begrenses. Følgende begrensninger er satt i oppgaven:

- Strømtransformatorer og tilhørende beskyttelse har blitt beskrevet ut fra tilgjengelig litteratur. Det er ikke utført testing eller simulering på disse komponentene.
- Strømtransformatorer for differensialbeskyttelse er ikke undersøkt.
- Anlegget til ConocoPhillips er undersøkt. Det er kun gjort undersøkelser på utvalgt utstyr, og videre antatt at mye er likt på tilsvarende utstyr.
- Overspenninger på strømtransformatorens sekundærside kan også unngås ved bruk av nye type måleteknikker, eksempelvis optisk måling og bruk av Rogowski-spole. Dette er ikke undersøkt i oppgaven.

2 Metodevalg

I denne oppgaven er det brukt litteratursøk som metode. Informasjonen er hovedsakelig hentet fra internett gjennom NTNUs online-bibliotek, nettsider til leverandører og diverse andre nettsider. Regelverk er hentet ut fra Standard Norge sin hjemmeside.

I tillegg til teori og regelverk, beskriver oppgaven også en del praktiske ting rundt hvordan ConocoPhillips utfører arbeidsoppgaver. Forfatter jobber som elektriker hos ConocoPhillips, og arbeidsoperasjoner er derfor hovedsakelig basert på egne erfaringer og informasjon fra styringssystem. Anleggsbeskrivelsene er gjort basert på intern dokumentasjon og observasjoner i felt.

3 Teori

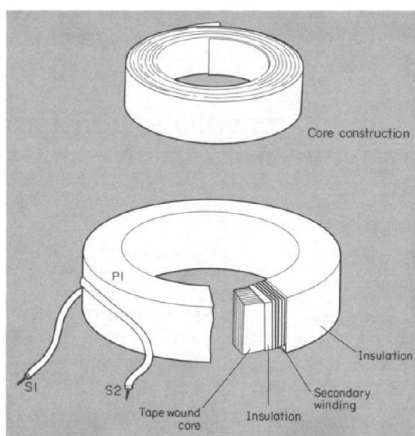
Dette kapitlet beskriver teorien som brukes i oppgaven.

3.1 Strømtransformator

Strømtransformator er en type måletransformator som brukes for måling av strøm. Man ønsker å måle strømtrekk for å kunne verne og/eller overvåke strømforbruk i elektriske anlegg. Strømmåling kan enten gjøres ved at man kobler laststrømmen direkte inn i måleinstrument, eller at man går via en måletransformator. Dersom måleinstrumentet ikke er designet for å tåle laststrømmen direkte, må det benyttes en strømtransformator. Transformatoren vil da transformere laststrømmen ned til et lavere nivå.

3.1.1 Oppbygging

En strømtransformator består av en primærvikling, en jernkjerne og en (eller flere) sekundærvikling(er). Normalt er strømtransformatorer designet slik at primærviklingen er gitt ved at en leder går gjennom en jernring (jernkjernen). Oppbygningen til en typisk strømtransformator er vist i Figur 3-1. Her er P1 jernkjernen og S1 og S2 tilkoblingene på sekundærsiden til strømtransformatoren.



Figur 3-1: Oppbygging til en strømtransformator. [1]

3.1.2 Magnetfelt

Dersom det går en elektrisk strøm gjennom en leder, settes det opp et magnetfelt rundt lederen. Det er dette magnetfeltet som strømtransformatoren benytter. Ved å se på Amperes lov, som er en av de fire Maxwells ligninger, ser man at dersom et magnetisk felt integreres rundt en lukket sløyfe, vil verdien av integralet være lik strømmen.

Amperes lov er gitt ved ligning 3-1 [2]:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 * I \quad 3-1$$

Hvor:

- $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l}$ er integralet av magnetfeltet rundt en lukket sløyfe
- I er den totale elektriske strømmen som kurven omslutter
- μ_0 er en magnetisk konstant, avhengig av material

Magnetfeltet til lederen setter igjen opp en magnetisk fluks i jernkjernen til strømtransformatoren. [3]

3.1.3 Indusert spenning

Den gjennomsnittlig induserte spenningen på sekundærsiden av strømtransformatoren, bygger på samme prinsipp som for en vanlig transformator. [1] Induksjon av elektromotorisk spenning er derfor et viktig prinsipp.

Faradays induksjonslov beskriver sammenheng mellom elektromotorisk spenning og magnetisk fluks (Φ). Faradays induksjonslov er gitt av ligning 3-2. [4]

$$\varepsilon = - \frac{d\Phi_B}{dt} \quad 3-2$$

Hvor:

- ε er elektromotorisk spenning (ems) i en strømsløyfe
- $\frac{d\Phi_B}{dt}$ er endring/derivert av magnetisk fluks gjennom overflaten avgrenset av strømsløyfen med hensyn på tid

Siden en strømtransformator har et omsetningsforhold, må dette også tas med ved utregning av spenning på sekundærsiden. Ligning for spenning på sekundærsiden av en transformator er gitt ved ligning 3-3. [5] Ligningen ser bort fra impedans i viklingene og magnetiske tap, og er derfor tenkt for en ideell transformator.

$$V_S = -N_S \cdot \frac{d\Phi_B}{dt} \quad 3-3$$

Hvor:

- V_S er induert elektromotorisk spenning (ems) på sekundærsiden
- N_S er antall viklinger på sekundærsiden
- $\frac{d\Phi_B}{dt}$ er endring/derivert av magnetisk fluks med hensyn på tid

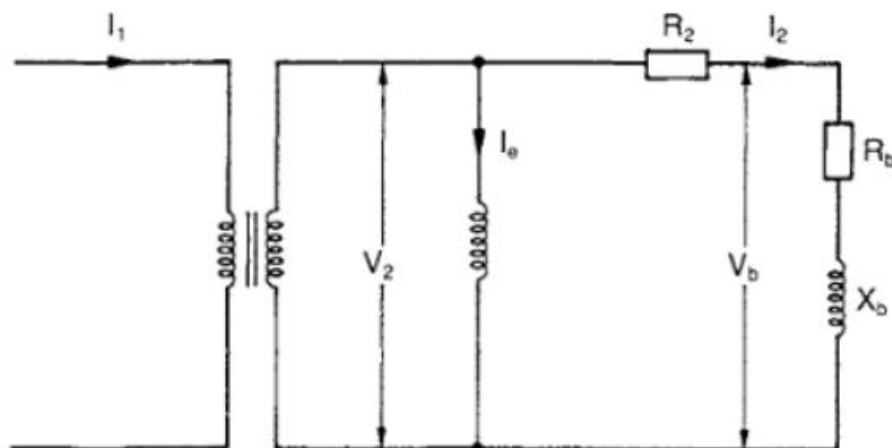
Oppsummert vil det si at den induerte spenningen på sekundærsiden av en strømtransformator bestemmes av omsetningsforhold og endring i magnetisk fluks. Forholdet mellom magnetisk fluks og strøm er gitt ved Amperes lov.

3.1.4 Belastning

Belastningen til en strømtransformator oppgis enten i VA eller som en impedans. Denne belastningen vil typisk være et vern eller et amperemeter. Belastningene til strømtransformatorene kobles alltid i serie, slik Figur 3-2 viser. Her er belastningen gitt som R_b og X_b .

Høyere impedans vil føre til en høyere belastning. Dette er motsatt av hvordan man normalt tenker på belastning i elektriske kretser. Dette medfører at dersom sekundærsiden til strømtransformatoren blir kortsluttet, anses kretsen som ubelastet. [1]

Figur 3-2 viser ekvivalentskjema for en strømtransformator med ringkjerne.



Figur 3-2: Ekvivalentskjema for en strømtransformator med ringkjerne. [1]

Hvor:

- I_1 er primærstrøm/laststrøm
- I_2 er sekundærstrøm
- V_2 er spenning på sekundærsiden

- R_2 er resistans i sekundærviklingen
- I_e er magnetiseringsstrømmen
- V_b er spenning over belastningen
- R_b er resistansen som strømtrafoen er tilkoblet (belastning til strømtrafoen)
- X_b er reaktansen som strømtrafoen er tilkoblet (belastning til strømtrafoen)

3.1.5 Strømforhold

Det er omsetningsforholdet på transformatoren som avgjør forholdet mellom primærstrøm og sekundærstrøm. Som en standard gir disse ut en strøm på 1A eller 5A på sekundærsiden, gitt nominell strøm på primærsiden. [6] Eksempelvis vil en strømtransformator med strømforhold 1000:5 gi ut 5A på sekundærsiden ved 1000A på primærsiden.

Forholdet mellom strømtrekket i primær- og sekundærsiden er gitt ved ligning 3-4 [1]:

$$I_1 \cdot N_1 = (I_2 + I_e) N_2 \quad 3-4$$

Hvor:

- I_1 er strøm på primærsiden
- N_1 er antall viklinger på primærsiden
- I_2 er strømmen på sekundærsiden
- N_2 er antall viklinger på sekundærsiden
- I_e er magnetiseringsstrømmen

I praksis vil I_e være svært liten i forhold til I_2 , og denne kan derfor neglisjere under utregninger. [1] I enkelte detaljerte utregninger bør derimot ta denne med.

Forenklet forhold mellom strømtrekk i primær og sekundærside er dermed gitt ved ligning 3-5 [1]:

$$I_1 \cdot N_1 = I_2 \cdot N_2 \quad 3-5$$

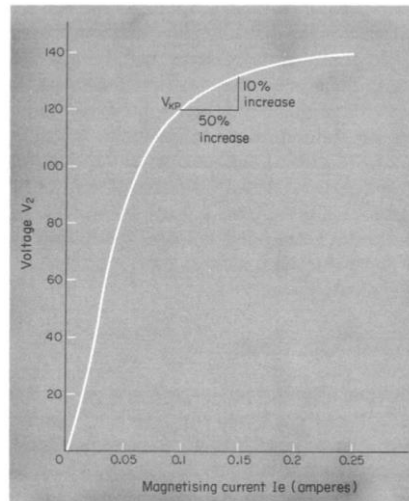
3.1.6 Knekkpunktspenning

Dersom primærstrømmen (I_1) blir veldig høy, vil man komme til et punkt hvor det ikke lenger blir en tilnærmet lineær sammenheng mellom primær og sekundærstrøm. Dette punktet kaller vi for knekkpunktspenning, på engelsk kalt «knee point voltage».

Definisjonen, i henhold til IEC 61869, til knekkpunktspenning er gitt ved at en 10%

økning i spenningen V_2 gir en 50% økning i magnetiseringsstrømmen I_e . [7] Dersom man kommer over denne knekkpunktspenningen, sier man at strømtransformatoren har gått i metning. Figur 3-3 illustrerer dette.

En annen måte å komme til knekkpunktspenningen, er ved å ha høy impedans på sekundærsiden av transformatoren. Dette beskrives nærmere i delkapittel 3.1.7 «Åpen krets på sekundærsiden».



Figur 3-3: Magnetiseringskarakteristikk til en strømtransformator. [1]

Som Figur 3-3 viser, vil magnetiseringsstrømmen økes raskt dersom man kommer over knekkpunktspenningen. Strømtransformatorer med høye knekkpunktspenninger kan indusere spenningstransienter på sekundærsiden på over 10kV. [8]

3.1.7 Åpen krets på sekundærsiden

Dersom en strømtransformator sin sekundærside blir åpnet, samtidig som det går strøm gjennom primærviklingen, vil det bli induisert høye spenninger på transformatorens sekundærside. Disse spenningene kan bli flere kilovolt. [9]

Spenningen på sekundærsiden er gitt ved ligning 3-6 [1]:

$$V_2 = I_2 \cdot (R_2 + R_b + jX_b) \quad 3-6$$

Hvor:

- I_2 er sekundærstrøm
- V_2 er sekundærspenning
- R_2 er resistans i sekundærviklingen
- R_b er resistansen som strømtrafoen er tilkoblet (belastning til strømtrafoen)

- X_b er reaktansen som strømtrafoen er tilkoblet (belastning til strømtrafoen)

Ut fra ligningen, ser man at en økning i impedansen $R_b + jX_b$ fører til en økende verdi av spenningen V_2 . Dersom impedansen blir veldig høy, vil spenningen V_2 kunne komme langt over knekkpunktspenning. [1] Dette fører igjen til at magnetiseringsstrømmen I_e øker betraktelig. For å opprettholde balanse i strømtransformatoren, må derfor I_2 reduseres. [1] Dette kan man se ut fra ligning 3-4, $I_1 \cdot N_1 = (I_2 + I_e) N_2$. Den høyeste magnetiseringsstrømmen oppnås ved åpen sekundærkrets, altså ved $I_2=0A$.

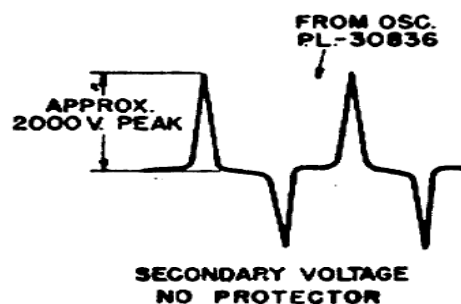
Strømforhold ved åpen krets på sekundærsiden er gitt ved ligning 3-7:

$$I_1 \cdot N_1 = I_e \cdot N_2 \quad 3-7$$

Alt strøm på primærviklingen vil nå bli brukt som magnetiseringsstrøm. Ut fra Figur 3-3, vil ikke denne økningen i magnetiseringsstrøm føre til en veldig stor økning i gjennomsnittlig spenning V_2 alene. Men i tillegg til høy magnetiseringsstrøm, vil også fluksen endres ekstremt raskt. [1]

Ved åpen sekundærkrets kreves det lite strøm gjennom primærviklingen for å få strømtransformatoren i metning. [1] Dette fører til at det blir et kort intervall hver halvsyklus når strømmen går gjennom nullpunktet og opp til metningsverdi i positiv og negativ retning. [9] Det er altså disse ekstremt raske hastighetsendringene av fluks som forårsaker høye spenninger, disse vil være rundt 100 ganger raskere enn ved normaldrift. [1] Den raske endringen i fluks, sammen med høy magnetiseringsstrøm, vil derfor kunne føre til spenninger på sekundærsiden som er rundt 100 ganger høyere enn knekkpunktspenningen. [1].

Denne høye spenningen vil kunne føre til brann og skade på utstyr og personell. Selve strømtransformatoren kan også bli skadet eller ødelagt. [8] Figur 3-4 viser hvordan spenningene på sekundærsiden av transformatoren typisk vil se ut.



Figur 3-4: Spenning på sekundærside av strømtransformator ved åpen krets og ingen beskyttelse. [9]

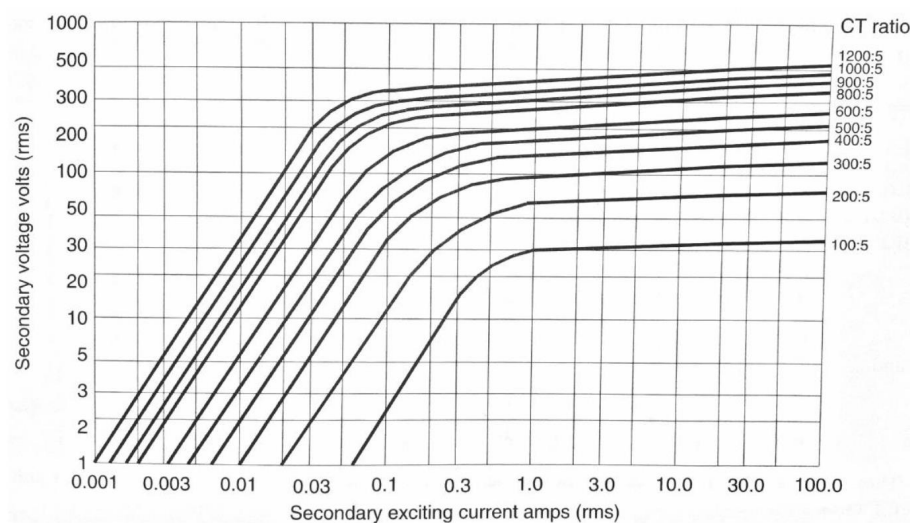
3.1.8 Størrelse til sekundærspenningen

Størrelsen til spenningen på strømtransformatorens sekundærside, under åpen krets og strøm gjennom primærviklingen, vil være en funksjon av strømtransformatorens magnetiske egenskaper, frekvens og omsetningsforhold [9]:

- Høyere driftsfrekvens vil indusere høyere spenninger. [7] Dette er fordi den induerte spenningen vil øke ved økende endring i fluks. Jo høyere frekvens, jo høyere endring i fluks. Dette er beskrevet i kapittel 3.1.7 «Åpen krets på sekundærsiden».
- Høyere omsetningsforhold vil føre til høyere induerte spenninger. Eksempelvis vil en strømtransformator med omsetningsforhold 100/1A produsere høyere induerte spenninger enn en strømtransformator med omsetningsforhold 100/5A. [9]
- Med magnetiske egenskaper menes typisk arealet til jernkjernen. Større jernkjerner vil kunne produsere høyere induerte spenninger.

Som beskrevet i kapittel 3.1.7 «Åpen krets på sekundærsiden», vil overspenningen være på rundt 100 ganger høyere enn knekkpunktspenningen til den aktuelle strømtransformatoren. Knekkpunktspenningen kan derfor være en god måte å kartlegge hvilke typer strømtransformatorer som vil produsere høye overspenningene. Høyere knekkpunktspenning vil føre til høyere overspenning.

Knekkpunktspenningen er den spenningen som ved en 10% økning i spenningen V_2 gir en 50% økning i magnetiseringsstrømmen I_e . [6] Dersom spenningen kommer over denne knekkpunktspenningen, sier man at strømtransformatoren har gått i metning. Figur 3-5 viser typiske magnetiseringskarakteristikker for ulike typer strømtransformatorer.



Figur 3-5: Magnetiseringskarakteristikk til forskjellige strømtransformatorer. [10]

Ut fra denne tabellen er det tydelig at knekkspenningen øker ved økende omsetningsforhold, og følgelig vil størrelsen til sekundærspenningen også være høyere.

3.1.9 Spesifisering av strømtransformatorer

En strømtransformator må ha riktige elektriske egenskaper for å kunne fungere slik den er tiltenkt. Det er derfor viktig at personer som jobber med strømtransformatorer har et forhold til hva de ulike definisjonene betyr. Her er noen av de vanligste definisjonene:

[11]

- **Nøyaktighets last**, på engelsk «accuracy load». Dette er lasten som nøyaktighetsbetingelsene baseres på.
- **Nominell nøyaktighetsbelastning**, på engelsk «rated accuracy power». Dette er den tilsynelatende effekten (VA) til sekundærsiden gitt nominell sekundærstrøm og nøyaktighetslast. Standardverdier for belastning er: 2.5, 5, 7.5, 10, 15 og 30 VA.
- **Nøyaktighetsklasse**, på engelsk «accuracy class». Nøyaktighetsklassene spesifiserer maks feilmargin til strømtransformatorene. Nøyaktighetsklassene 5P og 10P er svært vanlige. Disse gir en nøyaktighet på henholdsvis 5% og 10%.
- **Spesiell nøyaktighetsklasse**. Det finnes også en spesiell type nøyaktighetsklasse, klasse X eller PX. Denne klassen er ofte brukt for veldig krevende beskyttelser, eksempelvis differensialbeskyttelse. Klasse X gir bedre nøyaktighet i målinger, sammenlignet med nøyaktighetsklasser 5P og 10P. [11] Denne klassen er alltid definert i henhold til den faktiske lasten til strømtransformatoren og dens interne tap.
- **Reel nøyaktighetsfaktor**, på engelsk «real accuracy factor». Dette er forholdet mellom overstrøm (gitt nominell belastning) og overstrøm gitt ikke nominell belastning. Denne faktoren er gitt som F_p eller K_r .
- **Nøyaktighetsgrense**, på engelsk «accuracy limit factor». Nøyaktighetsgrense er forholdet mellom nominell overstrøm og nominell strøm. Eksempelvis 10 ganger nominell strøm. Dette er gitt som forkortelsen AFL eller K_n . Nøyaktighetsgrensene står alltid i sammenheng med nøyaktighetsklassen, eksempelvis 5P20. Dette betyr at strømtransformatoren ikke vil ha mer enn 5% feilmargin gitt 20 ganger nominell strøm. Nøyaktighetsgrens er gitt ved standardverdier: 5, 10, 15, 20 og 30.
- **Sikkerhetsfaktor**, på engelsk «Instrument Safety Factor» (SF). Definisjonen gitt i IEC 61892-2 er at sikkerhetsfaktor er forholdet mellom nominell primærstrøm instrumentgrensens og nominell primærstrøm. [6] Hensikten med sikkerhetsfaktor er å

begrense strømmen i sekundærviklingen ved høye strømmer gjennom primærviklingen. Dette er for at tilkoblet utstyr på strømtransformatorens sekundærside ikke skal ta skade av for høye strømmer. Sikkerheten til tilkoblede apparat vil være høyere, jo lavere sikkerhetsfaktoren er. [6] Eksempelvis vil en sikkerhetsfaktor på 5 føre til at strømtransformatoren går i metning ved 5 ganger nominell primærstrøm. Typisk måletransformator, må derfor ha begrenset jernkjerne, slik at strømtransformatoren går i metning tidlig.

- **Overstrømbegrensing**, på engelsk «over current limiting factor». Dette har samme hensikt som sikkerhetsfaktor. Ulike leverandører opererer med ulik benevning.

3.1.10 Forskjellige typer strømtransformatorer

Strømtransformatorer er primært brukt for måling og beskyttelsesformål. De kommer i forskjellige størrelser, fasonger og spesifikasjoner. Strømtransformatorer deles gjerne inn i tre kategorier: [11]

- **Strømtransformatorer for beskyttelsesformål.** Denne type strømtransformator må ikke gå i metning for tidlig. Dersom strømtransformatoren går i metning, risikerer man at relèvernet ikke fanger opp de høye strømmene. Strømtransformatorer for beskyttelsesformål må derfor ha en høy nøyaktighetsgrense (AFL) for å kunne løse ut ved høye feilstrømmer.
- **Strømtransformatorer for måling.** Hovedhensikten med denne type strømtransformator er å gi en nøyaktig avlesning rundt nominell merkestrøm. Nøyaktighetsklassen, altså hvor nøyaktig målingene er, vil derfor være en viktig parameter for slike transformatorer. I tillegg vil sikkerhetsfaktoren/overstrømbegrensing også være viktig, for å ikke skade tilkoblet utstyr under feilsituasjoner.
- **Strømtransformatorer for spesielle tilfeller.** Denne type strømtransformator er en type strømtransformator for beskyttelsesformål som typisk brukes ved differensialbeskyttelse. Nøyaktighetsklassen for denne type strømtransformator er definert som klasse X eller PX. Differensialbeskyttelse er vanlig for generatorer, motorer og transformatorer.

3.2 Beskyttelse av strømtransformatorens sekundærside

Det har blitt utviklet flere løsninger for å beskytte seg mot overspenning på sekundærsiden av strømtransformatorer gjennom tiden. Eksempelvis vakuumsrør, begrenset jernkjerne-design og filter på sekundærsiden. Disse løsningene setter imidlertid begrensninger på ytelse, pålitelighet, fleksibilitet og er gjerne mer komplisert enn nødvendig. [9]

I dagens marked er det mest vanlige å bruke mekaniske løsninger til å forhindre overspenninger. En mekanisk løsning vil imidlertid ikke være tilstrekkelig dersom feil oppstår eller en serviceperson åpner sekundærsiden ved et uhell.

I de tilfellene en mekanisk løsning ikke vil være tilstrekkelig, kan overspenningsbeskyttelse monteres. Det finnes to hovedtyper av overspenningsvern som er utviklet for strømtransformatorer – variabel motstand og elektronisk overspenningsvern. [12] Begge er designet for å begrense spenningen på strømtransformatorens sekundærside.

3.2.1 Mekaniske løsninger

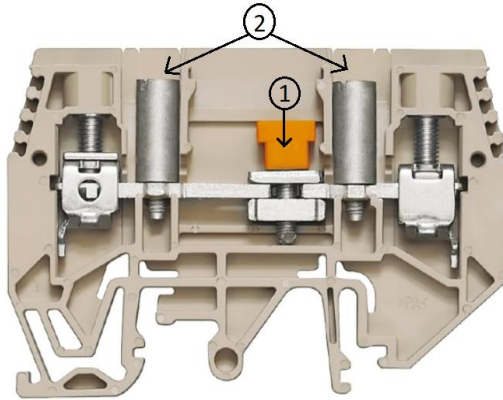
Utstyr som tilkobles sekundærsiden av strømtransformatorer er konstruert på en måte som skal unngå at kretsen blir utilsiktet åpnet. Eksempel på dette kan være relèvern som har relèspolen i selve kontaktpluggen på vernet. På denne måten kan relèvernet byttes, uten å risikere å åpne sekundærsiden til strømtransformatorene. [12]

Det finnes også egne termineringsblokker og måletrafoskilleklemmer som gjør det enkelt å kortslutte strømtransformatorene og lage brudd til strøminjeksjon. Dette er veldig gunstig i situasjoner ved testing av vern og måling.

3.2.1.1 Måletrafoskilleklemmer

Måletrafoskilleklemmer er spesielt designet for bruk i strømtrafo-sekundærkretser. Hensikten med rekkeklemmene er at de vil gjøre det mulig å lage brudd mellom strømtransformatoren og vernet, uten å fysisk måtte koble bort ledninger fra rekkeklemmen. Måten dette gjøres er ved å løsne skrukoblingen i midten av rekkeklemmen, og dra skruen til en av sidene. Dette vil lage brudd i rekkeklemmen.

Figur 3-6 viser snittbilde av hvordan en måletrafoskilleklemme er designet.

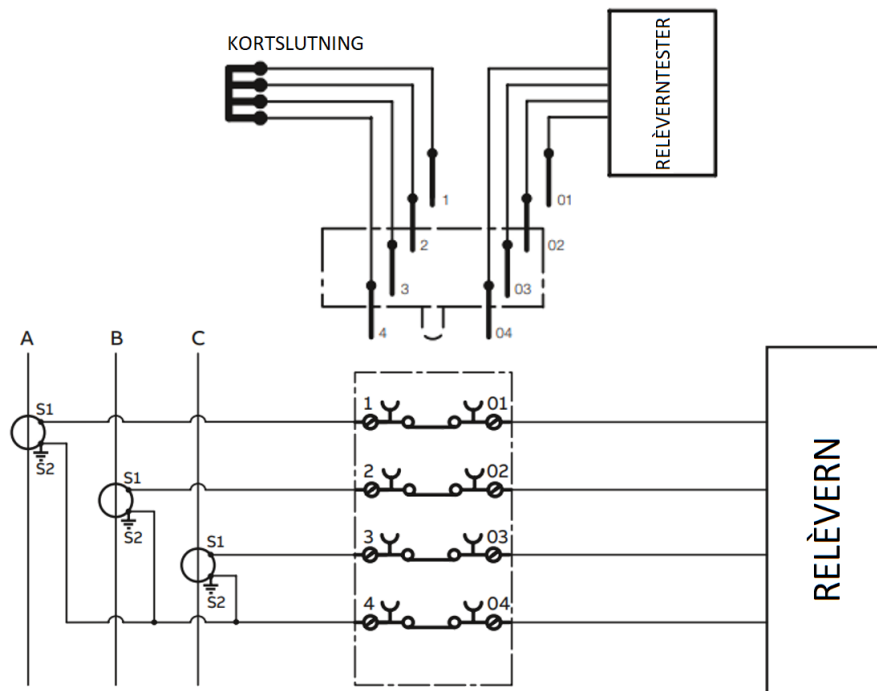


Figur 3-6: Snittbilde av måletrafoskilleklemmer.

Hvor:

- 1 er skrue for å lage brudd i rekkeklemmen
- 2 er tilkoblingspunkt for bananplugg

Tilkoblingspunktene for bananplugg gjør det enkelt å kortslutte sekundærsiden ved service og testing av vern. Etter at strømtransformatorens sekundærside er kortsluttet og skilt fra vernet, vil man kunne koble provisoriske ledning med bananplugg til en relèverntester. Figur 3-7 viser hvordan en slik oppkobling kan gjøres.



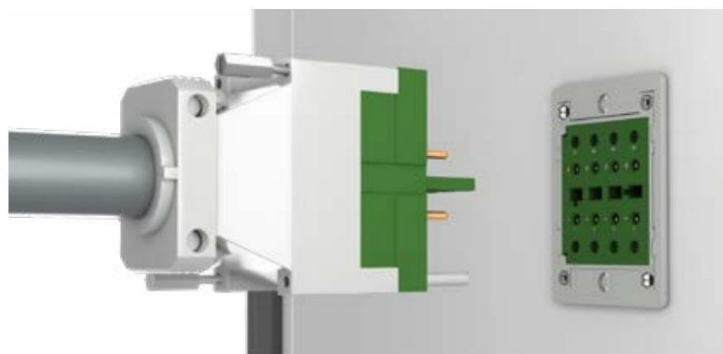
Figur 3-7: Koblingskjema for testing av relèvern.

3.2.1.2 Testblokk for test av relèvern og måling

Testblokker er utviklet for å trygt og enkelt kunne utføre testing av relèvern og målinger av strømtrekk, uten å måtte gjøre omkoblinger via rekkeklemmer. Dette er derfor en tryggere måte sammenlignet med tradisjonelle måletrafoskilleklemmer.

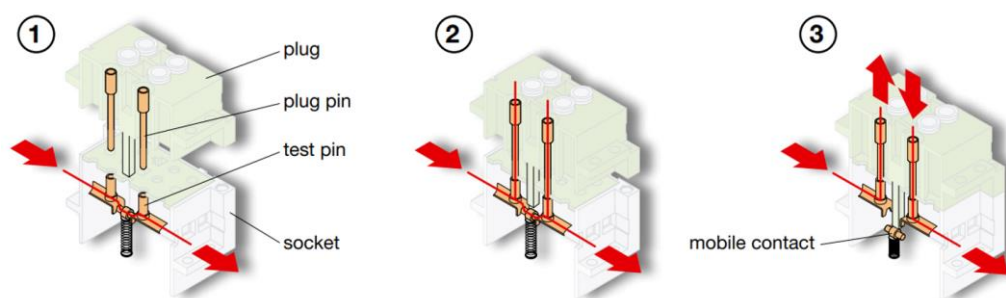
I tillegg til testblokker for strømtrekk, finnes det også egne testblokker som er designet for spenningstransformatorer, summasjonstransformatorer og tilbakemeldinger fra brytere. Ulike typer testblokker har ulik farge og tilkoblinger for å unngå feilkoblinger.

Eksempel på en slik testblokk er ESSAILEC designet av ABB. Figur 3-8 viser hvordan testblokk og tilkobling til testapparat ser ut. [13]



Figur 3-8: ESSAILEC designet av ABB, er en hurtigkobling for testing av vern.

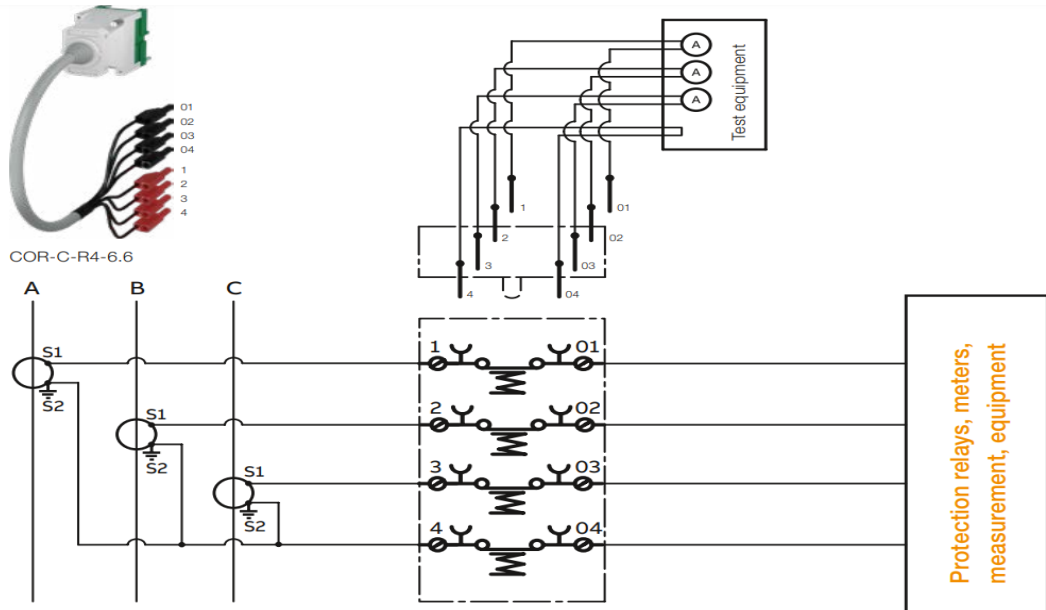
Virkemåten til testblokken er avhengig av hvilket formål den er designet for. Figur 3-9 viser virkemåten til testblokk designet for strømtransformatorer. [13]



Figur 3-9: Virkemåte til ESSAILEC hurtigkobling.

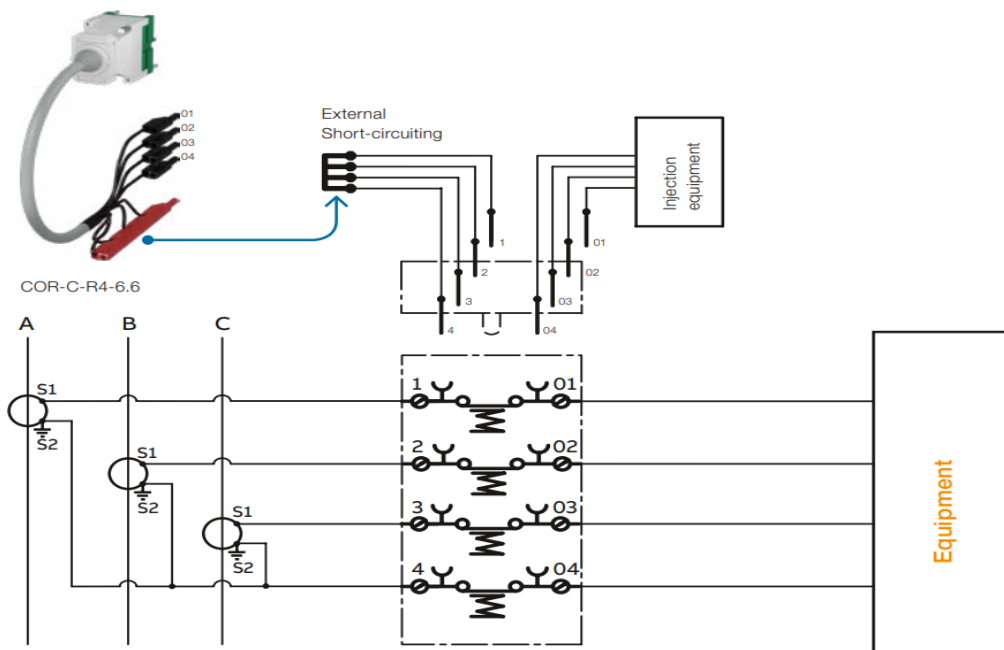
Før testledning tilkobles, vil alt strøm gå gjennom testblokken (1). Når testledningen blir tilkoblet, vil pinnene i testledningen få kontakt med testblokken sine tilkoblinger, samtidig som kortslutningen i testblokken blir opprettholdt (2). Når testledningen er helt innkoblet, vil den fjærbelastede bryteren i testblokken åpnes. Nå vil alt strøm gå via stikkontakten. (3) [13]

Ved bruk av slik type stikkontakt er det imidlertid viktig at testutstyret er koblet opp i forkant, og at det er riktig koblet. Figur 3-10 viser hvordan oppkoblingen skal gjøres ved strømavlesning. [13]



Figur 3-10: Koblingsskjema for strømavlesning ved bruk av hurtigkoblinger.

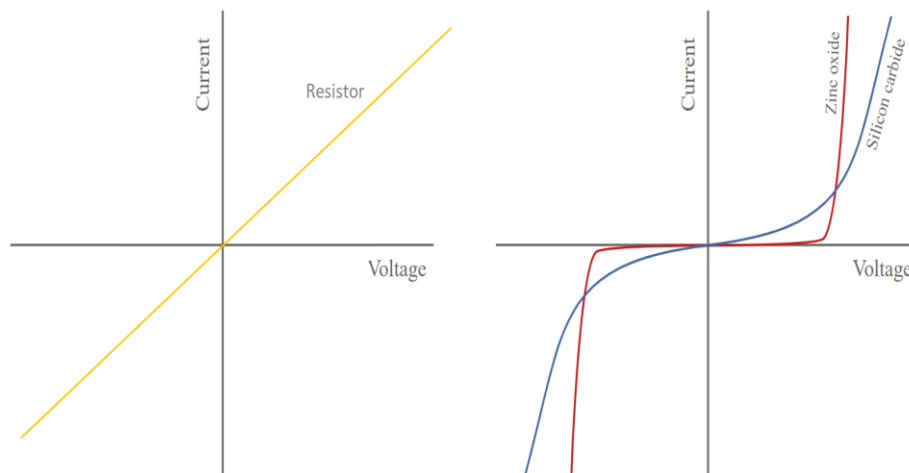
Figur 3-11 viser hvordan oppkobling skal gjøres ved testing av relèvern. Kortslutningen kan gjøres enten slik koblingsskjemaet viser, eller ved å lage kortslutningen internt i stikkkontakten. [13]



Figur 3-11: Koblingsskjema for testing av relèvern ved bruk av hurtigkoblinger.

3.2.2 Variabel motstand – Varistor

En variabel motstand, eller varistor, bygger på prinsippet at den skal lede nok strøm til å begrense spenningen over kretsen. Varistor er i hovedtrekk en motstand som har ulineær spenning-strøm karakteristikk. I motsetning til en standard lineær motstand, vil karakteristikken til en varistor føre til at man får veldig lav motstand ved høye spenninger og ekstremt høy motstand ved lave spenninger. Figur 3-12 viser typisk strøm-spenningskarakteristikk for en vanlig motstand og varistor.



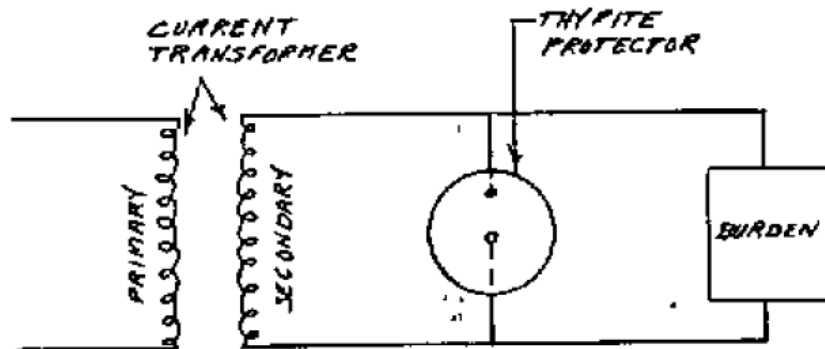
Figur 3-12: Strøm-spenningskarakteristikk for motstand og to ulike typer varistorer. [14]

Den mest kjente typen varistorer er metalloksid varistor, forkortet MOV. MOV kom på markedet rundt 1970-tallet, og er den typen varistor som er mest brukt i dag. MOV har imidlertid dårlig evne til å avlede effekt, som igjen fører til at disse fort kan bli ødelagt ved repetitive spenningstransienter. [15] Under en åpen sekundærkrets, vil det bli veldig mange repeterende spenningstransienter, som igjen fører til at MOV ikke er egnet som beskyttelse til strømtransformatorer. Det finnes imidlertid andre typer varistorer som er laget for dette formålet.

3.2.2.1 Tyritt sekundærbeskyttelse

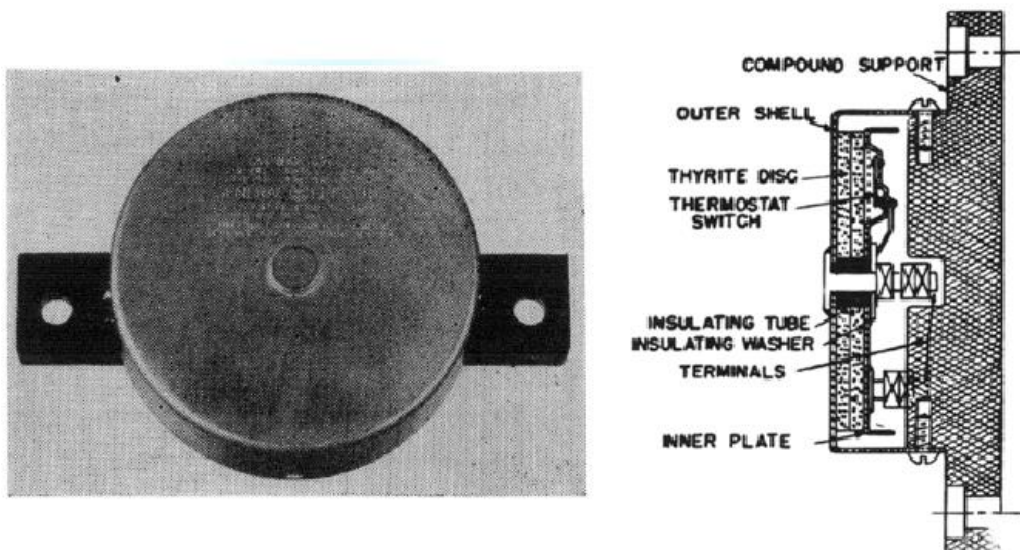
Tyritt sekundærbeskyttelse, engelsk kalt «Thyrite secondary protector», er en overspenningsbeskyttelse som er designet for å bli montert på sekundærsiden av strømtransformatorer. Motstandskarakteristikken til tyritt er ulineær, slik at den får lav motstand ved høye spenninger og høy motstand ved lave spenninger. På denne måten vil man få tilstrekkelig kontroll mot overspenninger, samtidig som man unngår for stor feil på

strømvlesningene. [9] Figur 3-13 viser hvordan tyritt sekundærbeskyttelsen skal kobles opp.



Figur 3-13: Oppkobling av tyritt sekundærbeskyttelse. [16]

Komponenten består av en eller flere tyritt diskene som er fastklemt mellom to metalldisker. Metalldiskene gir veldig god mekanisk beskyttelse til tyritt diskene. Figur 3-14 viser hvordan en tyritt sekundærbeskyttelse ser ut. [9]

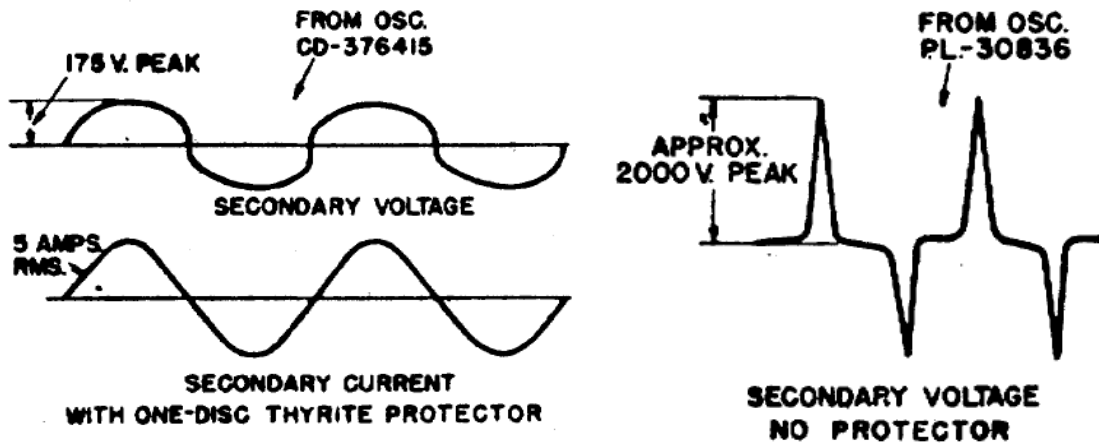


Figur 3-14: Tyritt sekundærbeskyttelse. Bildet til venstre viser hvordan en slik komponent ser ut, og bildet til høyre er snitt tegning som viser oppbyggingen.

Det finnes to utgaver av denne type overspenningsbeskytter. En med en enkel disk og en med to diskene i serie. [9] Enheten med to diskene i serie er designet for å fungere i de fleste tilfeller, og er typisk installert i kretser brukt for vern, men også kretser brukt for måling. Enheten med en disk er designet for kretser som vil ha svært lave sekundære overspenninger og der man i tillegg kan akseptere lavere nøyaktighet ved høye strømmer på primærsiden. Enheter med en disk er derfor kun tiltenkt å bli brukt i kretser med måling.

Figur 3-15 viser hvordan spenning og strøm vil oppføre seg dersom en strømtransformator sin sekundærside blir åpnet, samtidig som det går strøm gjennom primærviklingen.

Figuren til venstre viser hvordan strøm og spenning vil være med tyritt sekundærbeskyttelse montert, og bildet til høyre viser hvordan spenningen vil være uten beskyttelse.



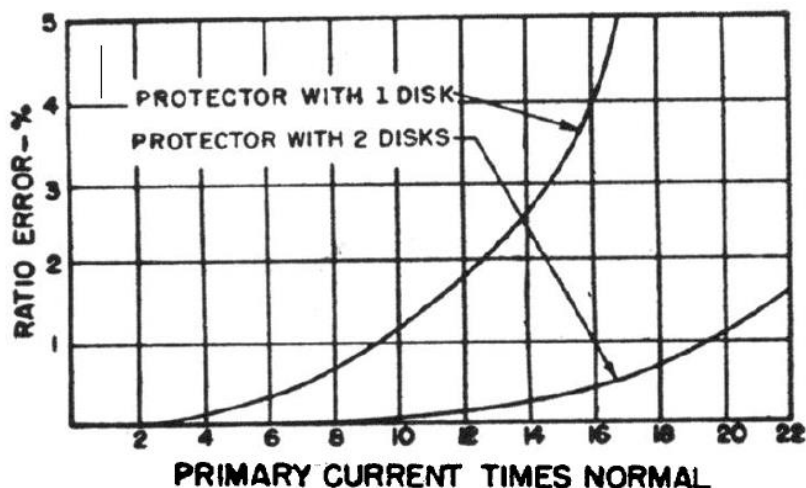
Figur 3-15: Spenning på sekundærside av strømtransformator ved åpen krets og ingen beskyttelse. [9]

Tabell 3-1 viser hvilket spenningsnivå tyritt beskytteren vil begrense sekundærspenningen til. Tabellen tar utgangspunkt i nominell strøm gjennom primærvikling og åpen sekundærkrets. [9]

Tabell 3-1: Spenning på sekundærsiden vil bli begrenset ved brukt av tyritt sekundærbeskyttelse.

	Rms Volts	Peak Volts
One-disk unit	135	175
Two-disk unit	270	350

Ved å montere inn overspenningsbeskyttelse på strømtransformatorens sekundærside, vil det bli introdusert en feilkilde i strømavlesningen. Feilmarginen vil øke ved økende strøm gjennom strømtransformatorens primærside. Figur 3-16 viser feilmargin i omsetningsforholdet, altså forholdet mellom primær og sekundærstrøm til strømtransformatoren, ved forskjellige strømmer på primærsiden. Grafen tar utgangspunkt i at det er tilkoblet belastning på strømtransformatorens sekundærside. [9]



Figur 3-16: Feilmargin mellom primær og sekundærstrøm ved bruk av tyriitt sekundærbeskyttelse ved høye strømmmer. [9]

Ut fra tabell 3-16, kan det leses at vesentlig feilmargin oppnås rundt 15 ganger merkestrøm ved bruk av enhet med en disk. Så store feilmarginer kan være uakseptabelt dersom strømtransformatoren er tilkoblet vern. [9] Derfor anbefales normalt enheter med to disker for bruk i slike sammenhenger.

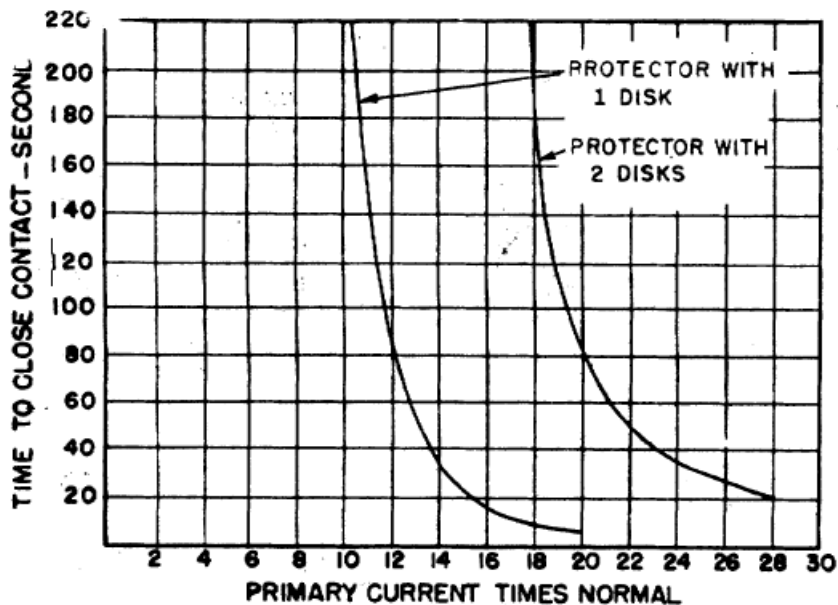
En overspenning vil produsere mye energi. For å unngå for høy temperatur på overspenningsbeskytteren, er det derfor montert en termisk bryter som kortslutter det aktive elementet i overspenningsbeskytteren når temperaturen er rundt 100 grader celsius. [9] Den termiske bryteren resetter seg selv automatisk dersom temperaturen går under et gitt nivå. Tabell 3-2 viser tiden tyriitt beskyttelsen bruker på å aktivere den termiske bryteren, og tiden den bruker på å resettes. Tabellen tar utgangspunkt i nominell strøm i primærvikling og åpen sekundærside til strømtransformatoren.

Tabell 3-2: Tid for lukking og resetting av termisk bryter, gitt nominell strøm i primærvikling og åpen sekundærside til strømtransformator. [9]

	Time to Close Contacts	Time to Reset
One-disk unit	10 seconds . . .	8 minutes
Two-disk unit	14 seconds . . .	11 minutes

Videre er det viktig at den termiske bryteren ikke opererer under normal drift, da dette vil kortslutte sekundærsiden til strømtransformatore. Ved å kortslutte sekundærsiden til strømtransformatoren, vil ikke vern og/eller måleinstrument lenger få avlesning. Figur 3-

17 viser imidlertid at dette ikke er noe problem. Det skal veldig høye strømmer på strømtransformatorens primærside for å kunne aktivere den termiske bryteren. Eksempelvis kreves det 20 ganger nominell strøm i 80 sekunder til før den termiske bryteren blir aktivert, ved bruk av tyritt sekundærbeskytter med to diskere i serie. Et eventuelt vern til ha løst ut lenge før denne tiden.



Figur 3-17: Tid for at termisk bryter skal aktiveres, som funksjon av primærstrøm. Grafen tar utgangspunkt i at sekundærsiden er tilkoblet last. [9]

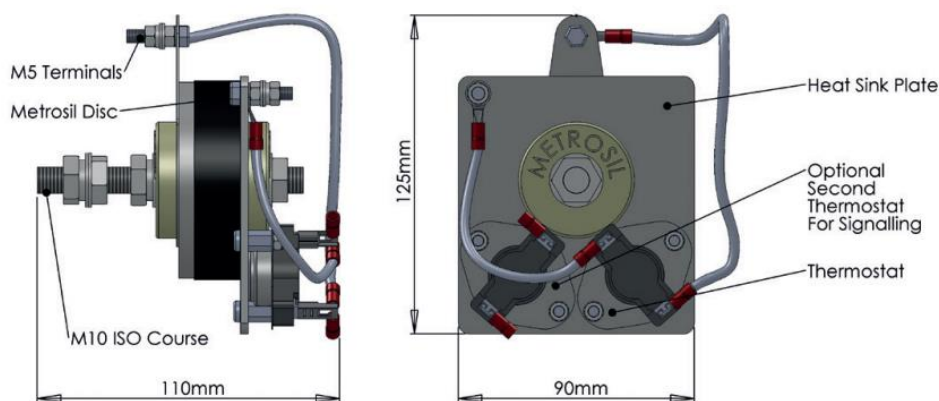
Tyritt sekundærbeskyttelse er en enkel, pålitelig og billig overspenningsbeskyttelse. Den er liten i størrelse og kan monteres direkte på strømtransformatorens struktur. Oppsummert kan man si at denne type overspenningsbeskyttelse har man følgende fordeler: [9]

- Karakteristikken vil ikke endres over tid eller etter at den har blitt utsatt for overspenning.
- Effektiv overspenningsbeskyttelse, uavhengig av årsak til overspenning.
- Ingen tidsforsinkelser.
- Neglisjerbar påvirkning på nøyaktighet innenfor normalt driftsområde.
- Svekker ikke sikkerheten under feilsituasjoner. [17]
- Enkelt og kompakt design. Dette gjør den aktuell for installasjon i nye og eksisterende anlegg.
- Aktivt element er fullstendig mekanisk lukket. Dette gjør den godt mekanisk beskyttet.

3.2.2.2 Silisiumkarbid varistor

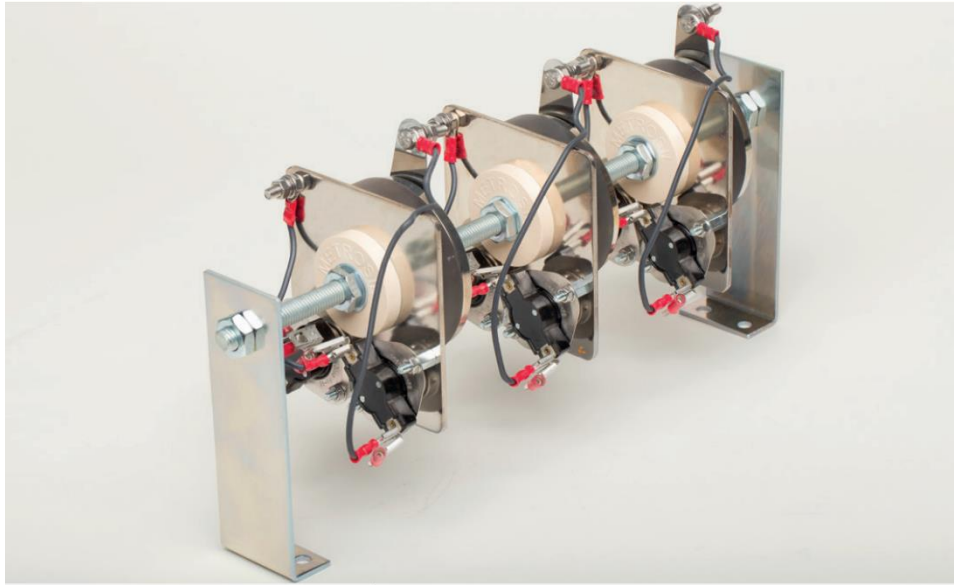
Silisiumkarbid varistoren kom på markedet på 1920-tallet, men er fremdeles i bruk i dagens overspenningsmarked. Denne type varistor blir hovedsakelig brukt i anlegg med høye effekter, da disse er bedre designet for å tåle høye energier (opp til megajoule). [18] Dette gjør denne type varistor godt egnet til bruk i beskyttelse av sekundærsiden til strømtransformatorer.

Figur 3-18 viser hvordan en overspenningsbeskyttelse laget med silisiumkarbid varistorer vil se ut. Denne type overspenningsbeskyttelse er utviklet av Metrosil, og forkortes CTPU (Current Transformer Protection Unit). CTPU leveres i to varianter, en-pol og tre-pol. [19]



Figur 3-18: En-pol overspenningsbeskyttelse til strømtransformatorer, CTPU, designet av Metrosil. [19]

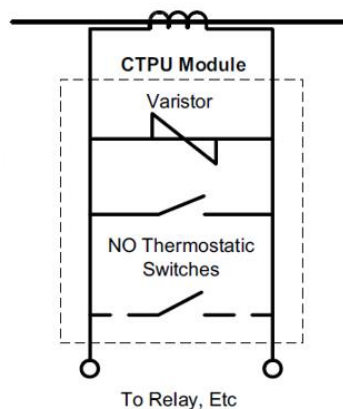
Enheten består av en varistor montert på en varmeavledende plate med en termostatisk bryter. [20] Det utvikles mye energi/varme under en åpen krets på sekundærsiden. Den termiske bryteren vil derfor kortslutte over varistoren for å beskytte denne mot overoppheting. Bryteren vil legge seg ut igjen automatisk, når temperaturen til varistoren er lav nok. Denne syklusen vil repetere seg selv, helt til feilen er utbedret. [20] En ekstra termisk bryter kan installeres som et tilvalg. Denne bryteren vil kunne bli brukt som fjernindikasjon ved aktivering av varistoren. Figur 3-19 viser hvordan en tre-polt variant av CTPU vil se ut.



Figur 3-19: Tre-pol overspenningsbeskyttelse til strømtransformatorer, CTPU, designet av Metrosil. [19]

Under normale driftssituasjoner, inkludert kortslutningsstrømmer/feilstrømmer i strømmettet, vil varistoren fungere som en passiv komponent. Varistoren vil derfor ikke skape unøyaktigheter i målingene til relè og/eller måleinstrument. [19] Dersom spenningen kommer over et gitt nivå, vil varistoren fungere som en aktiv komponent og begrense spenningen. [19] Så høye spenninger vil kun oppnås ved åpen krets/feilsituasjoner.

Enheten skal kobles i parallell med lasten, slik Figur 3-20 viser. For å beskytte mest mulig kabling, bør den tilkobles nærmest mulig strømtransformatoren.



Figur 3-20: Koblingsskjema til CTPU med ekstra NO-kontaktsett. [19]

CTPU type overspenningsbeskyttelse leveres i seks standard typer: A, B, C, 3166, 3140 og 3134. [19] I tillegg kan de produseres etter kundens ønske. Metrosil har laget egne brukerveiledninger på hvordan kunder kan bestille inn riktig CTPU til sitt anlegg.

Hvor høye spenningstopper som kan forventes, vil være avhengig av type CTPU og hvilken nominell sekundærstrøm tilhørende strømtransformator har. Tabell 3-3 viser typiske verdier som kan forventes under åpen krets og strøm gjennom primærsiden. Verdiene varierer fra 81-2856V_{pk}. Dette vil være lave nok nivå for å kunne beskytte strømtransformatorene fra skade, da disse skal være designet og testet for å tåle spenninger på 3kV RMS i normalt 60 sekunder. [21]

Tabell 3-3: Typisk spenningsverdier under åpen sekundærkrets og med CTPU tilkoblet. [19]

Secondary Load Current (Arms)	Metrosil CTPU Specification					
	A	B	C	3166	3140	3134
5	140	420	845	1134		
1	95	286	574	758	1648	2856
0.5	81	242	486	638	1386	2402

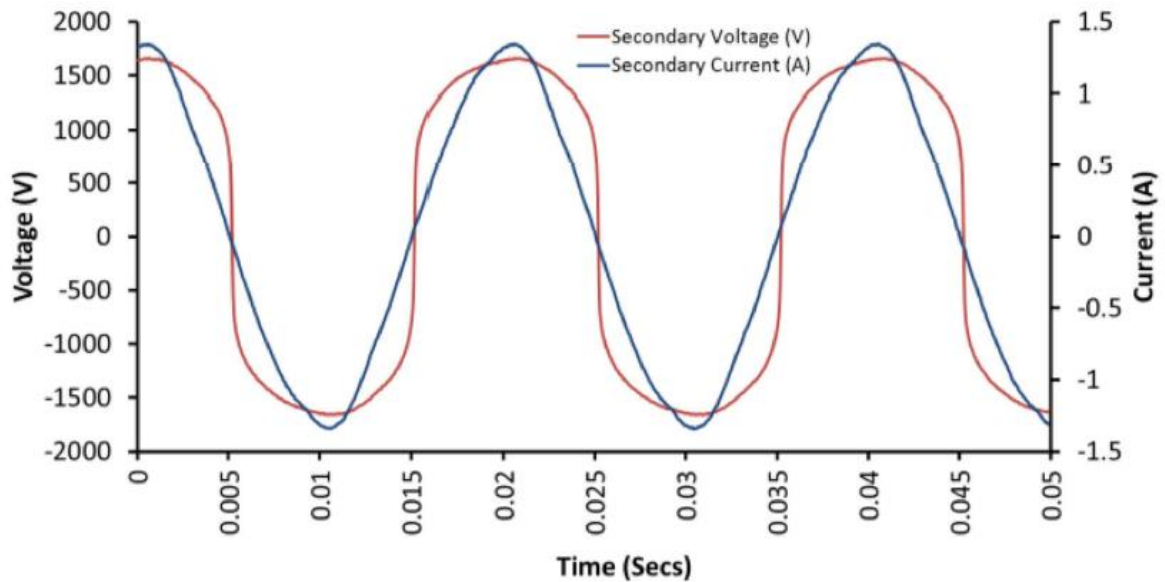
Tabell 3-4 viser hvordan ulike typer silisiumkarbid varistorer oppfører seg under en test-situasjon med åpen sekundærkrets og 1A strøm gjennom sekundærviklingen.

Tabell 3-4: Oppførsel til silisiumkarbid varistor under åpen sekundærside og 1A strøm gjennom sekundærviklingen. [8]

Silicon Carbide Varistor device	Secondary current I_{rms} , A	Clamping voltage, V_{pk} , kV	Switch time, s	Temp CTPU, °C
1	0.96	2038	33.1	134
2	1.08	1978	34.5	137
3	0.98	2248	35.4	147
4	1.01	1897	39.8	157
5	0.90	2026	37.0	145
6	0.95	2011	36.8	140
7	1.00	1858	40.9	133
8	0.99	1811	37.9	135
mean	0.98	1983	36.9	141
max	1.08	2248	40.9	157

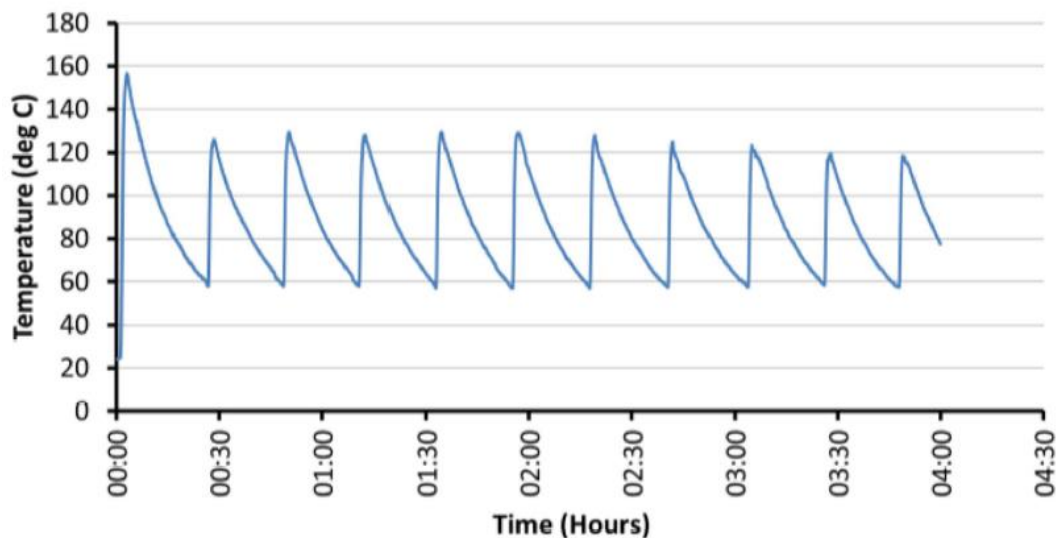
Ut fra tabell 3-4, ser vi at spenningen på sekundærsiden av strømtransformatoren er begrenset til under 2,25kV_{pk}, og at det tar rundt 30-40 sekunder før den termiske bryteren blir aktivert. Temperaturen vil kunne komme opp i rundt 130-150°C. Disse spenningsnivåene vil altså være lave nok til å beskytte strømtransformatoren under åpen sekundærkrets. CTPU beskytter imidlertid ikke tilkoblede relè eller strømtransformatorer dersom overspenningen skyldes høye sekundære feilstrømmer. [19]

Figur 3-21 viser hvordan spenning og strøm vil oppføre seg under en åpen sekundær-krets situasjon med CTPU installert. Som figuren viser, vil spenningsnivåene ligge under 2kVpk og de vil ikke være rene sinus-kurver. [8]



Figur 3-21: Strøm og spenning under åpen sekundærkrets og CTPU installert.

Figur 3-22 viser hvordan temperaturen til CTPU vil være under åpen sekundærkrets. Det tar relativt kort tid å varme den opp, rundt 37 sekunder. Nedkjølingen tar derimot ganske lang tid, rundt 30 minutter. Når den varmeavledende platen er kjølt ned til rundt 60°C, vil den termiske bryteren åpne igjen. Grafen er laget ut fra en omgivelsestemperatur på 17°C. [8]



Figur 3-22: Varme-syklus til silisiumkarbid varistor enhet under åpen sekundærkrets.

Oppsummert har silisiumkarbid varistor følgende fordeler: [8]

- En pålitelig overspenningsbeskyttelse som kan brukes der spenningene på sekundærsiden kan overstige 2kVpk.
- Godt egnet i anlegg med høye effekter.
- Vil ikke påvirke driften av systemet.
- Overspenningsbeskyttelsen vil ikke bli skadet eller endre karakteristikk etter å ha blitt utsatt for varmesykluser/åpen krets.
- Kan brukes i anlegg med omgivelsestemperaturer opp til 40°C.
- Påvirker ikke andre elektriske komponenter. Sender ikke ut radiostøy.

3.2.3 Elektronisk overspenningsvern

Elektronisk overspenningsvern overvåker sinuskurven kontinuerlig og kortslutter sekundærsiden ved bruk av tyristorer. [12] Figur 3-23 viser et elektronisk overspenningsvern designet av General Electric. Modellen som vises heter «Open Circuit Protectors» og forkortes OCP. OCP bruker tyristorer laget av silikon.



Figur 3-23: OCP «Open Circuit Protector», er et elektronisk overspenningsvern designet av General Electric. [22]

Dersom den sekundære spenningen overstiger tennspenningen til overspenningsbeskyttelsen, vil tyristoren kortslutte sekundærsiden til strømtransformatoren. Dette vil føre til at spenningen vil bli redusert til rundt 2 volt på under ¼ syklus. [22] Når spenningen går gjennom nullpunktet til sinuskurven, vil kortslutningen gitt av tyristoren oppheves. Denne prosessen repeteres hver halvbølge av sinussignalet.

Tennspenningen til OCP er mellom 200-1500Vpk, avhengig av hvilken type OCP som blir brukt. Figur 3-24 viser de forskjellige typer OCP som er tilgjengelig.

1 Element Open Circuit Protection

Model Number	Recommended CT Relaying Class	Clamping Peak Voltage Limit (V peak nom)	Standard Relay Burden (Ω)
1-OCP-100	Thru C100	200	1
1-OCP-200	C200	400	2
1-OCP-400	C400	800	4
* 1-OCP-800	C800	1,500	8

* Not U.L. listed, Single Element Only

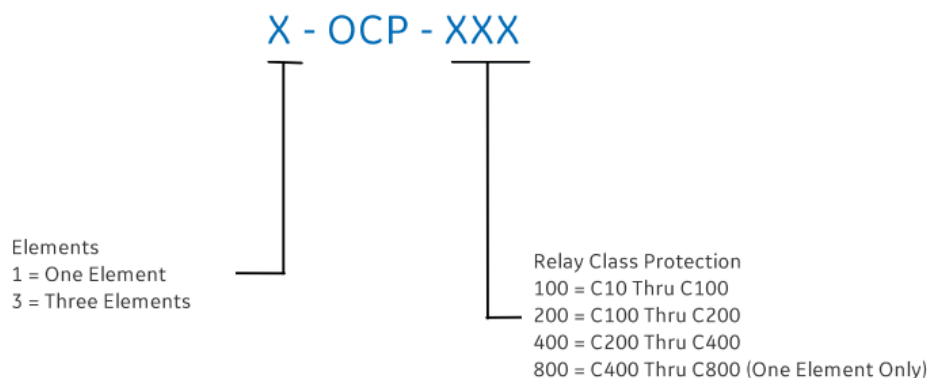
3 Element Open Circuit Protection

Model Number	Recommended CT Relaying Class	Clamping Peak Voltage Limit (V peak nom)	Standard Relay Burden (Ω)
3-OCP-100	Thru C100	200	1
3-OCP-200	C200	400	2
3-OCP-400	C400	800	4

Figur 3-24: Liste over typer OCP og deres egenskaper.

OCP bruker relè-nøyaktighetsklasser for å angi hvilken type strømtransformator som de kan benyttes på. Denne type nøyaktighetsklasse er ikke lik den standard nøyaktighetsklassen, type 5P, 10P osv. Regelverket som brukes på norsk sokkel omtaler ikke denne typen nøyaktighetsklasse. Regelverk og standarder blir beskrevet i kapittel 5.

Figur 3-25 viser hvordan riktig OCP kan bestilles. Problemet, som nevnt tidligere, er at denne type nøyaktighetsklasse ikke vil være den samme som for mange typer strømtransformatorer som brukes i Norge. Dette kan føre til problemer ved bestilling av riktig type beskyttelse til ulike strømtransformatorer.

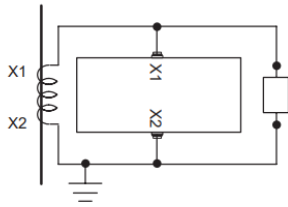


Figur 3-25: Bestilling av OCP.

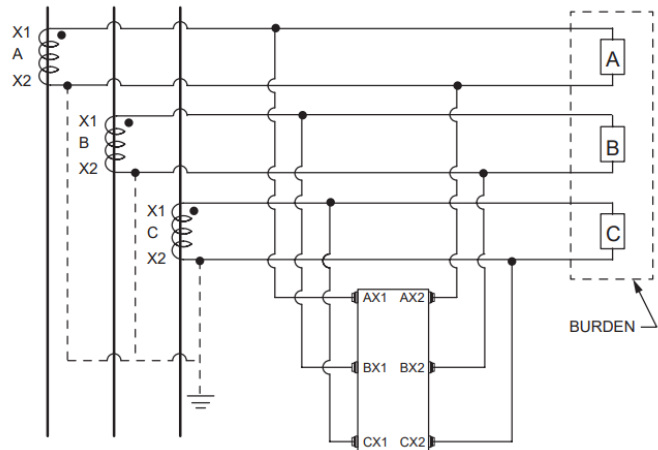
OCP overspenningsbeskyttelse leveres som enfase og trefase. Begge typer overspenningsbeskyttelse kobles i parallell med lasten til strømtransformatoren. Plasseringen til overspenningsbeskyttelsen er ikke viktig. Den kan tilkobles termineringene på relèvern, strømtransformator eller andre plasser i kretsen. Den bør likevel plasseres nærmest mulig strømtransformatoren, for å beskytte mest mulig kabel.

Figur 3-26 viser koblingsskjema for enfase og trefase.

**TYPICAL
1 ELEMENT CONNECTION DIAGRAM
1-OCP-XXX**



**TYPICAL
3 ELEMENT CONNECTION DIAGRAM
3-OCP-XXX**



Figur 3-26: Koblingskjema for elektronisk overspenningsbeskyttelse.

Lekkasjestrømmer fra en slik overspenningsbeskyttelse vil ikke påvirke nøyaktighet eller skape forstyrrelser i målingene. [22]

4 Arbeid med strømtransformatorer

Elektrisk arbeid blir hovedsakelig utført på «frakoblet anlegg» i henhold til Forskrift om sikkerhet ved arbeid i og drift av elektriske anlegg (FSE) §14. Denne arbeidsmetoden innebærer to barrierer:

- Sikkerhetsbarriere 1: Frakobling og spenningsprøving.
- Sikkerhetsbarriere 2: Sikring mot innkobling.

Dette er standard fremgangsmåte for elektrisk arbeid, og noe som elektrofagpersoner kjenner godt til. Ved måling av spenning på strømtransformatorer derimot, vil det måles svært lave spenninger, selv med spenningsatt krets. Spenningsmåling vil derfor ikke alltid være tilstrekkelig.

Ligning 4-1 viser hvilken spenning som kan forventes ut fra en 300/5A 10VA 5P20 strømtransformator. Dette er samme type strømtransformator som er omtalt i kapittel 6.2.1 «Strømtransformator (T1)».

$$V_2 = \frac{S}{I_2} = \frac{10VA}{5A} = 2V \quad 4-1$$

Hvor:

- I_2 er sekundærstrøm
- V_2 er sekundærspenning
- S er tilsynelatende effekt til strømtransformatoren

Som ligningen viser, vil en strømtransformator av denne typen gi ut omkring 2V dersom det går nominell strøm gjennom primærviklingen. Dette er altså svært lave spenninger, som vil kunne skape farlige situasjoner. Arbeid på slike kretser innebærer derfor en risiko for å jobbe på uisolerte anlegg.

5 Forskrifter og standarder

Forskrifter og standarder er viktige for å sikre at elektriske installasjoner blir bygd på en forsvarlig måte. En forskrift vil typisk være utarbeidet av et departement, og er et lovpålagt dokument. Forskrifter inneholder lite tekniske informasjon, og det er derfor nødvendig med mer detaljerte tekniske beskrivelser av hvordan kravene i forskrifter kan oppfylles. Disse tekniske beskrivelsene blir gitt via standarder. Ved å følge en standard skal dette sikre at produkt, anlegg og installasjon er i henhold til forskrift.

For petroleumsvirksomheten er det standarden «NEK IEC 61892: Flyttbare og stasjonære innretninger til sjøs – Elektriske installasjoner» som er gjeldende. Standarden består av en serie med syv deler, men det er kun IEC 61892-3 som omhandler strømtransformatorer.

Serien består av følgende deler:

- IEC 61892-1 – Generelle krav og betingelser
- IEC 61892-2 – System utførelse
- IEC 61892-3 – Utstyr
- IEC 61892-4 – Kabel
- IEC 61892-5 – Mobile enheter
- IEC 61892-6 – Installasjon
- IEC 61892-7 – Tilleggskrav for installasjon i Ex-område

Dette kapitlet skal videre diskutere standarder som er gjeldende for strømtransformatorer.

5.1 NEK IEC 61892-3

Denne delen av IEC 61892 gjelder for elektrisk utstyr i mobile og faste offshoreenheter. Den er gjeldende for alle installasjoner, enten permanente, midlertidige, transportable eller håndholdte, for AC installasjoner og DC installasjoner uten noen spenningsnivåbegrensning. [23]

For strømtransformatorer står følgende (oversatt til norsk) [23]:

4.14.5 Spenning og strømtransformatorer

Sekundærsiden til spennings og strømtransformatorer skal jordes

7.7.7 Transformatorer for instrumentering, beskyttelse og kontrollkretser

Strøm- og spenningstransformatorer som skal brukes til måleformål skal minimum ha nøyaktighetsklasse 1 som angitt i henholdsvis IEC 61869-2 og IEC 61869-3.

Strømtransformatorer som brukes til verneinnretninger skal være egnet for overstrømsområdet som forventes.

Strømtransformatorer for instrumentering, beskyttelse og kontroll skal ha sine sekundærviklinger koblet til jord.

Det står altså lite om strømtransformatorer i IEC 61892-serien. Nøyaktighetsklasse 1 for måletransformatorer forteller hvor nøyaktige målingene skal være. At strømtransformatorer for beskyttelsesformål skal være egnet for overstrømsområdet innebærer at strømtransformatoren ikke må gå i metning ved store strømmer.

Som utdraget fra IEC 61892-3 viser, har denne normativ referanse til IEC 61869-2 og IEC 61869-3.

5.2 NEK IEC 61869-1

NEK IEC 61869-1 er en internasjonal standard som gjelder for nyproduserte instrument/måletransformatorer med analog eller digital utgang for bruk i sammenheng med elektriske måleinstrumenter eller elektrisk beskyttelse-enheter med nominell frekvens 15 Hz til 100 Hz. [21] Tabell 5-1 viser innholdet til standarden IEC 61869.

Tabell 5-1: Innhold i standard NEK IEC 61869

PRODUCT FAMILY STANDARDS	PRODUCT STANDARD	PRODUCTS	OLD STANDARD	
61869-1 GENERAL REQUIREMENTS FOR INSTRUMENT TRANSFORMERS	61869-2	CURRENT TRANSFORMERS	60044-1	
	61869-3	INDUCTIVE VOLTAGE TRANSFORMERS	60044-2	
	61869-4	COMBINED TRANSFORMERS	60044-3	
	61869-5	CAPACITIVE VOLTAGE TRANSFORMERS	60044-5	
	61869-6	CURRENT TRANSFORMERS FOR TRANSIENT PERFORMANCE	60044-6	
	61869-9 ADDITIONAL REQUIREMENTS AND DIGITAL INTERFACE FOR ELECTRONIC INSTRUMENT TRANSFORMERS	61869-7	ELECTRONIC VOLTAGE TRANSFORMERS	60044-7
		61869-8	ELECTRONIC CURRENT TRANSFORMERS	60044-8
		61869-10	LOW-POWER STAND-ALONE CURRENT SENSORS	

Som Tabell 5-1 viser, består IEC 61869 av en serie med standarder. IEC 61869-1 beskriver kun generelle krav for instrumenteringstransformatorer. For å finne spesifikke krav til et utstyr, må den respektive standarden leses. For induktive strømtransformatorer gjelder standarden IEC 61869-2. Det er denne type strømtransformatorer som oppgaven har undersøkt, og det er derfor kun denne standarden som blir diskutert. IEC 61869-5, Elektroniske Strømtransformatorer, utgår derfor.

Mye av det som omtales i IEC 61869-1 er ikke direkte relevant til oppgaven. Men en ting som kan være greit å merke seg, er at standarden beskriver hvilke spenningsnivå instrumenteringstransformatorene skal tåle på sekundærsiden:

5.3.5 Insulation requirements for secondary terminals

The rated power-frequency withstand voltage for secondary insulation shall be 3kV.

Oversatt til norsk, vil dette si at sekundærsiden til måletransformatorer skal tåle 3kV RMS i en gitt tid. Denne tiden vil typisk være 60 sekunder, da det er dette som er testkriteriet i henhold til IEC 61969-1.

5.3 NEK IEC 61869-2

NEK IEC 61869-2 er en standard som omhandler produksjon av induktive strømtransformatorer for måling og/eller vernutstyr med frekvens fra 15 Hz til 100 Hz. Standarden ble utgitt i 2012, og erstattet da NEK IEC 60044-1. [6]

Standarden deler strømtransformatorer inn i to hovedgrupper: strømtransformatorer for måling og strømtransformatorer for beskyttelsesformål.

5.3.1 Strømtransformatorer for måling

Følgende står skrevet om nøyaktighetsklasser om strømtransformatorer for måling [6] (oversatt til norsk):

5.6.201.1 Nøyaktighetsklassebetegnelse av strømtransformatorer for måling

Strømtransformatorer for måling har er oppgitt nøyaktighetsklasse angitt med den høyeste tillat feilprosent i omsetningsforholdet ved nominell primærstrøm og nominell utgang

Strømtransformatorer for måling har følgende standardverdier for nøyaktighetsklasser: 0,1 – 0,2 – 0,2S – 0,5 – 0,5s – 1 – 3 – 5. Grensene for disse klassene er gitt i tabell 5-2, 5-3 og 5-4.

Tabell 5-2: Feilgrenser for strømtransformatorer for måling

Accuracy class	Ratio error				Phase displacement							
	± %				± Minutes				± Centiradians			
	at current (% of rated)				at current (% of rated)				at current (% of rated)			
	5	20	100	120	5	20	100	120	5	20	100	120
0,1	0,4	0,2	0,1	0,1	15	8	5	5	0,45	0,24	0,15	0,15
0,2	0,75	0,35	0,2	0,2	30	15	10	10	0,9	0,45	0,3	0,3
0,5	1,5	0,75	0,5	0,5	90	45	30	30	2,7	1,35	0,9	0,9
1	3,0	1,5	1,0	1,0	180	90	60	60	5,4	2,7	1,8	1,8

Tabell 5-3: Feilgrenser for strømtransformatorer for måling, klasse 0,2S og 0,5S

Accuracy class	Ratio error					Phase displacement									
	± %					± Minutes					± Centiradians				
	at current (% of rated)					at current (% of rated)					at current (% of rated)				
	1	5	20	100	120	1	5	20	100	120	1	5	20	100	120
0,2 S	0,75	0,35	0,2	0,2	0,2	30	15	10	10	10	0,9	0,45	0,3	0,3	0,3
0,5 S	1,5	0,75	0,5	0,5	0,5	90	45	30	30	30	2,7	1,35	0,9	0,9	0,9

Tabell 5-4: Feilgrenser for strømtransformatorer for måling, klasse 3 og 5.

Class	Ratio error	
	± %	
	at current (% of rated)	
	50	120
3	3	3
5	5	5

Sikkerhetsfaktor er et viktig begrep for strømtransformatorer for måling. Begrepet er definert i kapittel 3.1.9 «Spesifisering av strømtransformatorer». Standardverdiene for disse er FS5 og FS10.

5.3.2 Strømtransformatorer for beskyttelse

Det er tre forskjellige tilnærminger for å definere strømtransformatorer for beskyttelsesformål, se tabell 5-5. I praksis kan hver av de tre definisjonene resultere i samme fysiske utforming.

Tabell 5-5: Karakterisering av beskyttelsesklasser

Designation	Limit for remanent flux	Explanation
P PR	no ^{a)} yes	Defining a current transformer to meet the composite error requirements of a short-circuit current under symmetrical steady state conditions
PX PXR	no ^{a), b)} yes ^{b)}	Defining a current transformer by specifying its magnetizing characteristic
TPX TPY TPZ	no ^{a)} yes yes	Defining a current transformer to meet the transient error requirements under the conditions of an asymmetrical short-circuit current
^{a)} Although there is no limit of remanent flux, air gaps are allowed, e.g. in split core current transformers. ^{b)} To distinguish between PX and PXR, the remanent flux criteria is used.		

Denne oppgaven omhandler kun beskyttelsesklasse P, da det er kun dette som brukes i anleggene denne oppgaven diskuterer.

Standardverdiene for nøyaktighetsgrensene til klasse P er: 5, 10, 15, 20 og 30.

Nøyaktighetsgrense er definert i kapittel 3.1.9 «Spesifisering av strømtransformatorer».

Nøyaktighetsklasse og nøyaktighetsgrenser står alltid i sammenheng ved P-klasse strømtransformatorer. Standardverdiene for nøyaktighetsklassene er 5P og 10P. Tabell 5-6 viser feilmarginene for disse nøyaktighetsklassene.

Tabell 5-6: Feilmarginer for strømtransformatorer for beskyttelse, klasse P og PR.

Accuracy class	Ratio error at rated primary current ± %	Phase displacement at rated primary current		Composite error at rated accuracy limit primary current %
		± Minutes	± Centiradians	
5P and 5PR 10P and 10PR	1 3	60 –	1,8 –	5 10

5.4 NORSOK E-001 og TCD 4574E

NORSOK ble startet i 1993 og er en forkortelse for NORsk Søkkel Konkurransesepisjon.. Ett av resultatene av dette ble Norsok-standardene. Dette var nye industristandarder som skulle gi felles standarder for de ulike aktørene på norsk sokkel. NORSOK E-001 omhandler krav til design og installasjon av feltinstrumentering og utstyr. NORSOK E-001 inneholder lite spesifikk informasjon om strømtransformatorer. [24] Følgende står om strømtransformatorer: [24]

Strømtransformatorer for måling skal ha 5A eller 1A sekundærstrøm

I tillegg til NORSOK E-001, har ConocoPhillips også egne selskapsinterne tilleggskrav. Disse er gitt via selskapsinterne TCDer, som står for «Technical Controlling Documents». NORSOK E-001 og TCD 4574E – Electrical Systems skal leses som et dokument.

Følgende står om strømtransformatorer i TCD 4574E- Electrical Systems [25]:

I systemer med strømtransformatorer, bør sekundærsiden til strømtransformatoren holdes innenfor panelet så mye som mulig. Klemliste for strømtransformatorens sekundærside skal merkes CT1 i stedet for X1, for å gjøre elektriker oppmerksom på faren ved åpen krets.

5.5 NEK 400

NORSOK-E001 refererer til NEK 400 for boligmoduler på offshore installasjoner.

Typiske områder vil være bad, sauna og nødhospital. Velger derfor å skrive om hva NEK 400 sier om strømtransformatorer:

557.5.3.1 Strømtransformator

Når et måleinstrument er koblet til hovedkretsen via en strømtransformator, skal:

- *sekundærsiden av strømtransformatoren være ujordet unntatt hvor målingen kun kan utføres med en forbindelse til jord, og*
- *det ikke benyttes vern som bryter kretsen på sekundærsiden av strømtransformatoren, og*
 - *ledere på sekundærsiden av strømtransformatoren være isolert for den høyeste spenningen på spenningsførende deler eller være montert slik at deres isolasjon ikke kan komme i kontakt med andre spenningsførende deler, for eksempel i kontakt med skinner, og*
- *det anordnes med klemmer for midlertidige måling.*

For å redusere lederimpedansens påvirkning på måleresultatet bør strømtransformatorens nominelle strøm på sekundærsiden fortrinnsvis være 1 A.

Kravene ovenfor gjelder ikke for summasjonsstrømtransformatorer hvor farlige spenninger ikke vil opptre, for eksempel utstyr for lokalisering av isolasjonsfeil i samsvar med NEK EN 61557-9.

Det står altså en del om strømtransformatorer i denne standarden. Videre står det også at strømtransformatorens sekundærside skal være jord- og kortslutningssikkert forlagt:

432.3 Beskyttelse mot kortslutningsstrømmer

Kursens ledere skal være jord- og kortslutningssikkert forlagt.

Eksempler på kurser hvor denne beskyttelsesmetoden er anvendbar er:

...

- *kurs på sekundærsiden av strømtransformatorer.,*

5.6 IEEE C57.13

IEEE C57.13-2016 «Standard Requirements for Instrument Transformers» er en standard som blant annet beskriver sikkerhetsegenskaper for strøm- og induktive spenningstransformatorer. Sikkerhetstiltak blir også tatt opp.

Ingen av de tidligere nevnte standardene har normativ referanse til denne standarden.

Bakgrunnen til at denne blir tatt med i oppgaven, er at denne inneholder spesifikk informasjon rundt beskyttelse av strømtransformatorer under åpen sekundærkrets. Ifølge Metrosil, er følgende et utdrag fra IEC C57.13 kapittel 6.7.1 [Vedlegg A]:

... Strømtransformatorer bør aldri brukes med sekundærkretsen åpen, fordi dette kan føre til farlige spenningstopper ...

... Når spenninger ved åpen krets kan overstige 3500Vpk, bør sekundærviklingsklemmene være utstyrt med spenningsbegrensende enheter (varistorer)

6 Beskrivelse av anlegg til

ConocoPhillips

Dette kapitlet vil gi en presentasjon av ConocoPhillips, deler av deres elektriske anlegg samt en beskrivelse av hvilken type arbeid som blir utført i anleggene.

6.1 ConocoPhillips

ConocoPhillips er i dag operatør for tre felt i Ekofisk-området, som ligger i den sørlige delen av Nordsjøen. Området består i dag av feltene Ekofisk, Eldfisk og Embla. Ekofisk-feltet ble oppdaget høsten 1969, og er Norges første oljefelt som ble satt i produksjon. Siden produksjonsstarten i 1971 har Ekofisk-området bidratt til stor verdiskapning med en samlet produksjon på over seks milliarder fat oljeekvivalenter. Dette tilsvarer verdier for rundt 2600 milliarder kroner (tall fra 2020), hvorav rundt 1200 milliarder er skatter og avgifter. [26] "Ekofisk forandret Philips og Ekofisk forandret Norge", er det sagt.

Generering og distribusjon av elektrisk kraft er viktig for å opprettholde sikker og pålitelig drift av plattformene. Hovedkraftproduksjonen i Ekofisk-området kommer fra to gassdrevet 13,8kV hovedgeneratorer på 27,5 MVA hver og en dampdrevet 6,6kV hovedgenerator på 12,9MVA. I tillegg er det mange mindre dieseldrevne og gassdrevet generatorer som kan startes ved behov. Alle plattformer i Ekofisk-området opererer med 60Hz nettfrekvens.

Strømnettet kan grovt deles inn i to forskjellige trinn: høyspenning og lavspenning.

Oppgaven skal i dette kapitlet undersøke hvordan det elektriske anlegget til ConocoPhillips er bygget opp og hvordan det vedlikeholdes. På bakgrunn av at dette er en bacheloroppgave, må utstyret som skal undersøkes begrenses. Velger derfor å undersøke utvalgte deler av høyspenning og lavspenningsnettet, og videre anta at mye er likt på tilsvarende tavler/utstyr i de elektriske anleggene.

6.2 Høyspenning

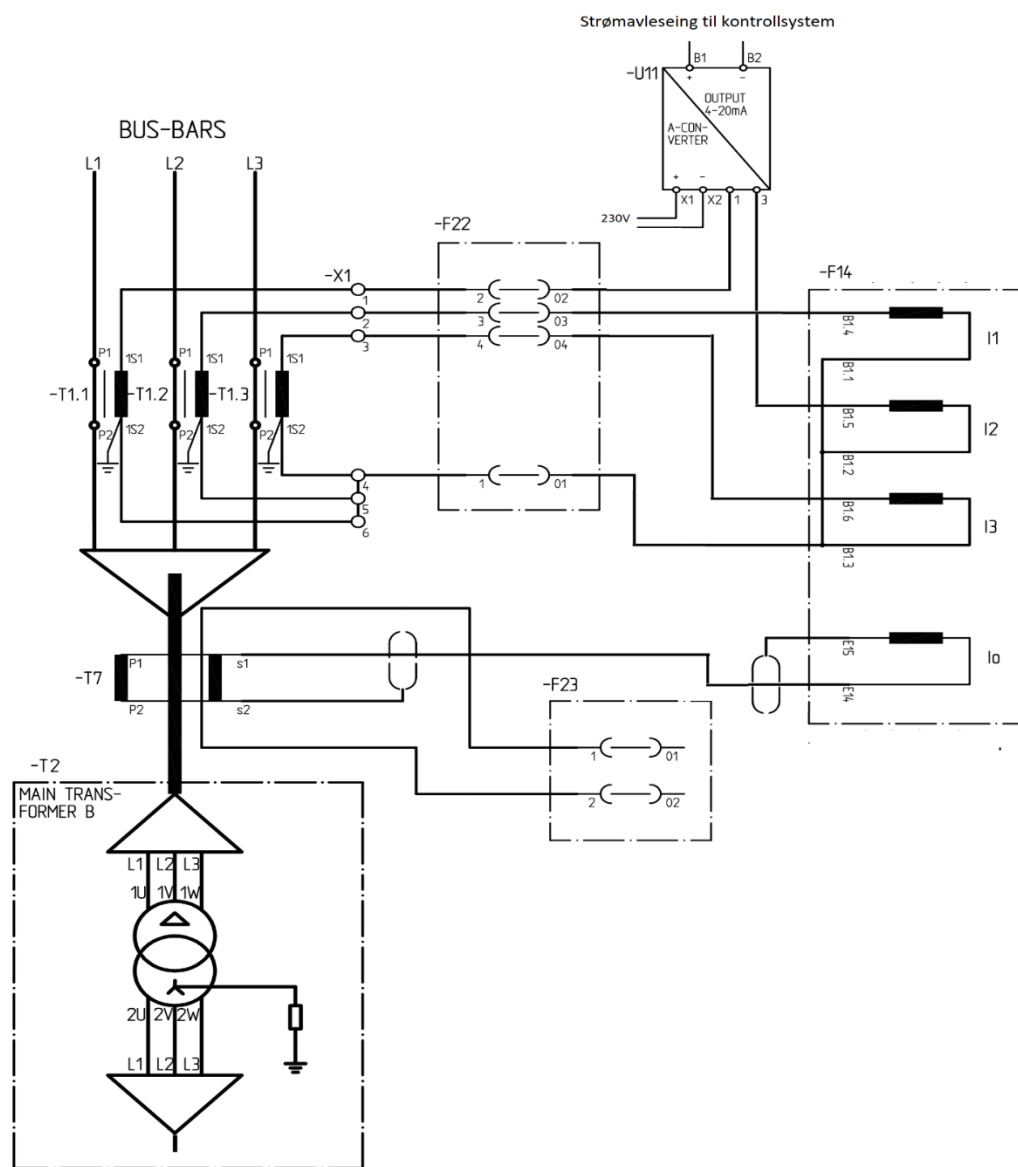
Spenningsnivåene på høyspenningsnettet i Ekofisk-området ligger på 33kV, 13,8kV, 6,6kV, 6kV og 2,4kV. Type spenningsnivå avhenger av plattform og hvor i anlegget den aktuelle tavlen befinner seg. En høyspenningstavle består typisk av brytere som forsyner kraftkrevende forbrukere, transformatorer og/eller brytere mellom andre høyspenningstavler.

Figur 6-1 viser hvordan en typisk høyspenningstavle er utformet. Brytervognene kan dras ut av tavlen for inspeksjon og service.



Figur 6-1: Høyspenningstavle illustrasjon.

Dette delkapittelet skal undersøke oppbygging til en 6,6kV bryteravgang som forsyner en 6,6/0,69kV transformator. Figur 6-2 viser et forenklet hovedstrømskjema for en slik avgang:

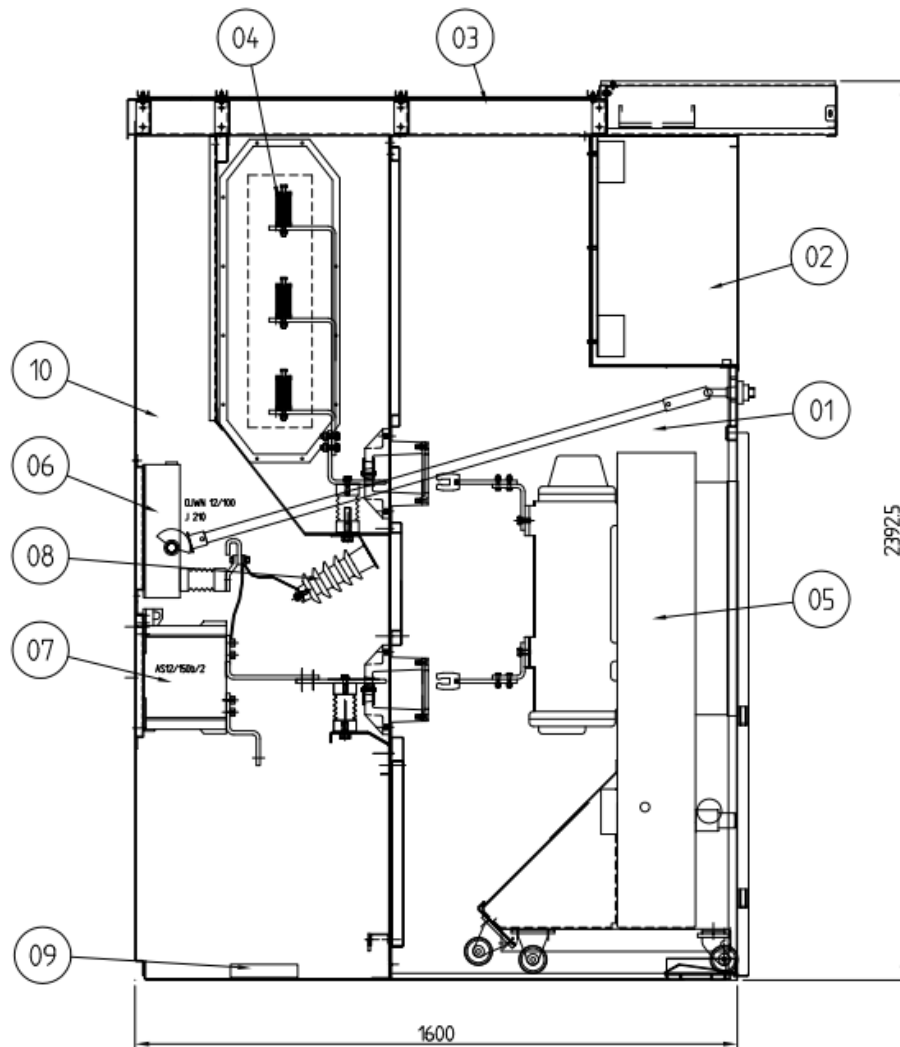


Figur 6-2: Hovedstrømskjema til høyspenningsavgang som forsyner en 6,6/0,69kV transformator.

Hvor:

- $T2$ er hoved transformator på 6,6/0,69kV
- $T1$ er strømtransformatorene
- $T7$ er summasjonstransformator for jordfeil
- $F22$ er testblokk for testing av relèvern
- $F23$ er testblokk for testing av jordfeilvern
- $F14$ er relèvern
- $U11$ er en transduser som omformer strømtrekk til et 4-20mA signal
- $X1$ er måletrafoskilleklemmer

Figur 6-3 viser en snittegning av en høyspenningsavgang. Dette gir et bilde på hvordan tilkomst for vedlikehold og reparasjon er til de ulike delene. Ut fra bildene skal det være mulig å bytte en defekt strømtransformator uten å måtte isolere hele høyspenningstavlen.



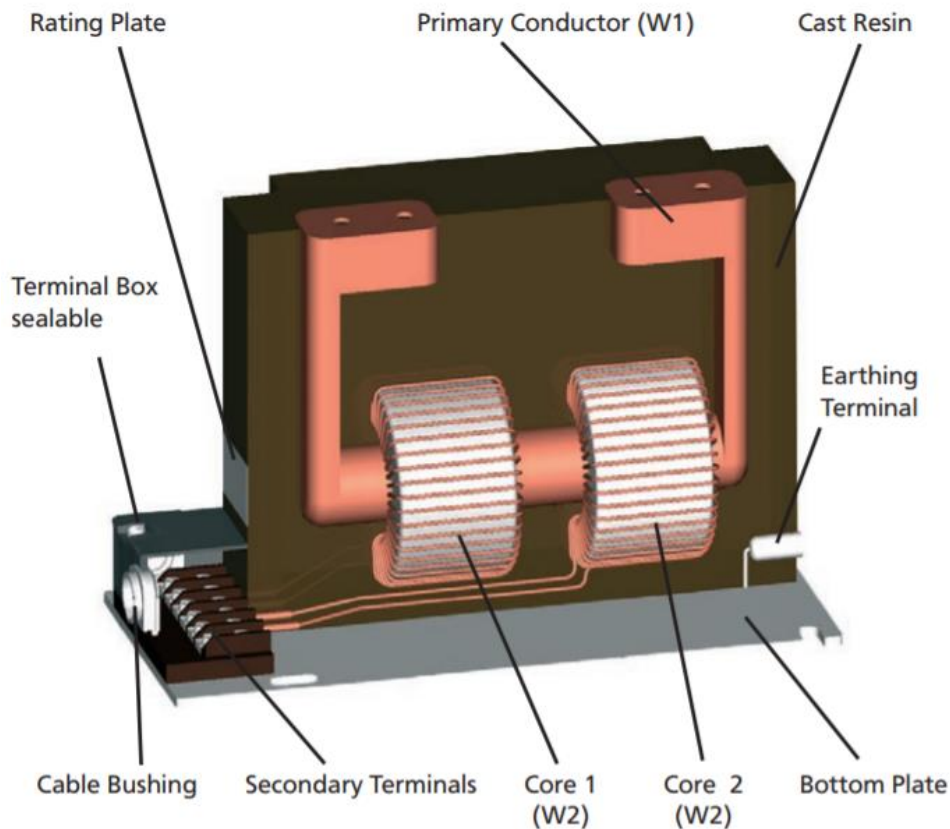
Figur 6-3: Snittegning av høyspenningsavgang.

Hvor:

- 02 er skap for styrestrøms
- 04 er samleskinnen på høyspenningstavlen
- 05 er brytervogn
- 06 er jordingsbryter
- 07 er strømtransformator
- 08 er spenningsindikator
- 09 er kabelgjennomføring

6.2.1 Strømtransformator (T1)

Det er tre strømtransformatorer i denne høyspenningsavgangen, en på hver fase. Strømtransformatorene som er brukt er av typen AS12/150 b/2, produsert av Ritz Instrument. Figur 6-4 viser oppbygningen og design til denne type strømtransformator. [27]



Figur 6-4: Oppbygging til strømtransformator produsert av Ritz Instrument.

De elektriske dataene er på 300/5A 10VA 5P20. Strømforsholdet på 300/5A innebærer at 300A på primærsiden gir 5A på sekundærsiden. 5P20 beskriver nøyaktighetsklassen og nøyaktighetsgrensene. Dette betyr at strømtransformatoren ikke vil ha mer enn 5% feilmargin gitt 20 ganger nominell strøm, gitt at sekundærsiden er tilkoblet en last på 10VA. Bokstaven P indikerer at dette er en strømtransformator som er ment for beskyttelsesformål. [27]

6.2.2 Måletrafoskilleklemmer (X1)

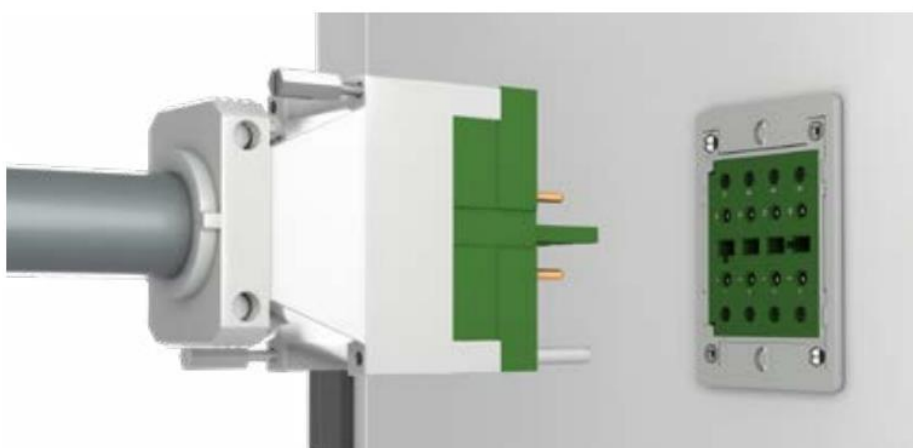
Rekkeklemmer tilhørende strømtransformatorens sekundærside er vist i Figur 6-5. Funksjonen til denne er beskrevet i kapittel 3.2.1.1 «Måletrafoskilleklemmer».



Figur 6-5: Rekkeklemmer i strømtransformatorens sekundærside som blir brukt i Ekofisk-området.

6.2.3 Testblokk for relèvern (F22)

Høyspenningsavganger i Ekofisk-området er utstyrt med testblokker for strøminjeksjon på fremsiden av tavlen. Dette gjør det mulig å utføre tester på relèvern og utføre målinger av strømtrekk, uten å måtte gjøre omkoblinger via rekkeklemmer. Virkemåten er beskrevet i kapittel 3.2.1.2 «Testblokk for test av relèvern og måling». Figur 6-6 viser eksempel på hvordan en slik testblokk kan se ut.



Figur 6-6: Testblokk ESSAILEC for strøminjeksjon, designet av ABB.

6.2.4 Relèvern (F14)

Relèvernet i denne høyspenningsavgangen er produsert av Schneider Electric og er av typen Sepam Series 80, slik Figur 6-7 viser. Hensikten med et relèvern er å verne det elektriske anlegget dersom feilsituasjoner oppstår. Det vil være ulike vernfunksjoner i ulike deler av det elektriske anlegget. Typiske vernfunksjoner vil være overstrøm, underspenning og jordfeil.



Figur 6-7: Relèvern produsert av Schneider Electric, type Sepam Series 80.

6.2.5 Transduser (U11)

Enkelte høyspenning og lavspenningsavganger har transdusere koblet inn. Hensikten med disse er å kunne gi strøm, spenning og/eller effektavlesning inn til et kontrollrom/kontrollsystem ved å sende et 4-20mA signal inn til en node/PLS. Transdusere for strømvlesning krever en ekstern 230V strømtilførsel, som Figur 6-8 viser.

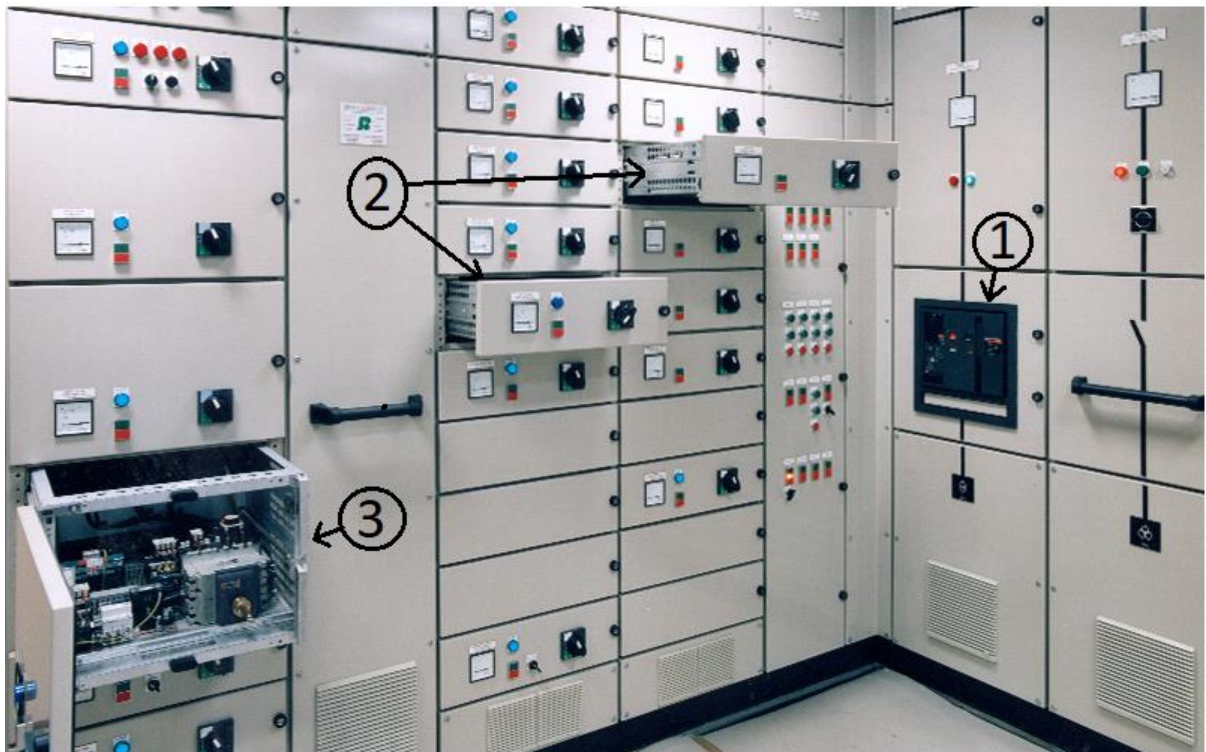


Figur 6-8: Transduser for strømvlesning inn til kontrollrom//kontrollsystem.

6.3 Lavspenning

Spenningsnivåene på lavspenningsnettet i Ekofisk-området ligger på 690V, 480V, 400V og 230V. Type spenningsnivå som er brukt avhenger av plattform og hvor i anlegget den aktuelle tavlen befinner seg. 480V hovedtavler er typisk brukt på eldre plattformer. Alle plattformer i Ekofisk-området opererer med 60Hz nettfrekvens.

Figur 6-9 viser hvordan en typisk hovedtavle for lavspenning er utformet. Normalt vil spenningsnivået på slike tavler ligge på 690V eller 480V.



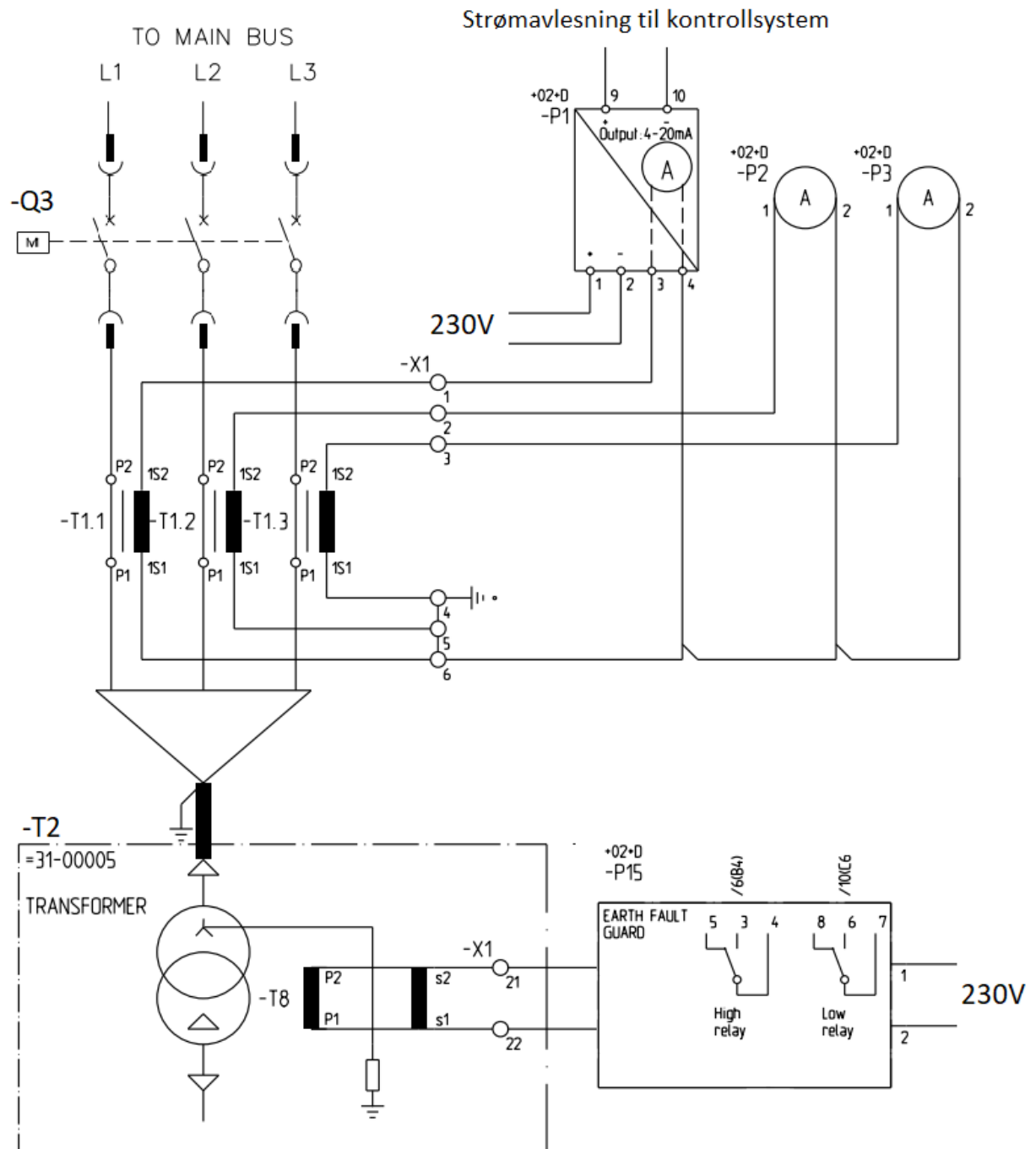
Figur 6-9: Bilde av hvordan en typisk hovedtavle for lavspenning ser ut. [28]

En hovedtavle for lavspenning består typisk av en eller flere hovedbrytere (1), mindre forbrukere på tavlen (2) og starterskuffer for kraftkrevende forbrukere og/eller forsyninger til undertavler (3). Hovedbrytere (1) kommer i to utgaver, med innebygd relèvern og med eksternt relèvern. Det finnes også hovedbrytere som ikke har vernfunksjon eksternt eller internt.

Hovedbrytere for lavspenningsnettet vil typisk være tilførsel eller avgang fra/til transformatorer, generatorer og/eller linkbrytere mellom andre tavler. Hovedbrytere brukt offshore er normalt effektbrytere som kan bryte strøm i drift og under feilsituasjoner.

6.3.1 Hovedbrytere for lavspenning med internt relèvern

Dette delkapittelet skal undersøke oppbygging til en 690V hovedbryter med internt relèvern. Den aktuelle bryteren er tilførsel til en hovedtavle og er forsynt fra sekundærsiden fra en 6,6/0,69kV trafo, den samme transformatoren som er beskrevet i kapittel 6.2 «Høyspenning». Figur 6-10 viser hovedstrømskjema til en slik avgang:



Figur 6-10: Hovedstrømskjema til hovedbryter som forsyner 690V hovedtavle.

Hvor:

- *Q3* er effektbryter med internt relèvern
- *T2* er hovedtransformator på 6,6/0,69kV
- *T1* er eksterne strømtransformatorer for måling
- *T8* er summasjonstransformator for jordfeil
- *P1* er analogt amperemeter med ekstra utgang 4-20mA for fjernavlesning
- *P2 og P3* er analogt amperemeter
- *X1* er måletrafoskilleklemmer

6.3.1.1 Effektbryter med internt relèvern

Figur 6-11 viser hvordan en effektbryter med internt relèvern (1) vil se ut. For å utføre testing av relèvernet blir en spesialkabel tilkoblet i testpunktet (2), dette blir nærmere forklart i kapittel 6.4.2.2 «Hovedbryter med internt relèvern».



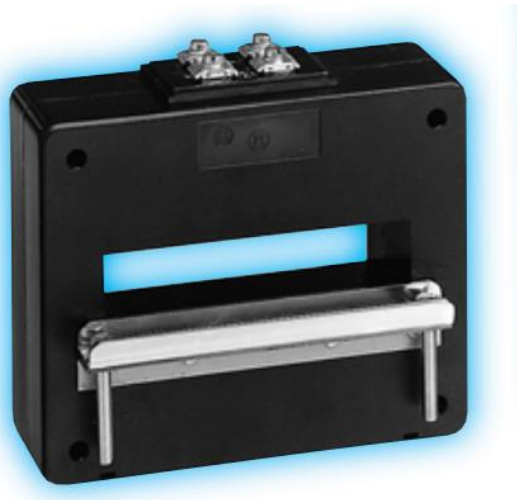
Figur 6-11: Merlin Gerin masterpact 690V hovedbryter/effektbryter med innebygd relèvern.

Denne type effektbryter vil ha strømtransformatorer innebygd i selve bryteren. I tillegg til innebygde strømtransformatorer, vil det også være egne strømtransformatorer for strømvlesning (T1).

6.3.1.2 Eksterne strømtransformatorer (T1)

Det er tre strømtransformatorer for måling til denne hovedbryteren, en på hver fase. Disse tre kommer i tillegg til de innebygde strømtransformatorene som er i selve effektbryteren. Hensikten med de eksterne strømtransformatorene, er å gi strømavlesning lokalt og inn til kontrollsystem.

Strømtransformatorene som er brukt er av typen LGK-110-2CLGK-HG, produsert av Garre. 2GLGK står for to stykk klemmer til å feste strømtransformatoren på samleskinnen. HG står for at strømtransformatorens sekundærside har et deksel for mekanisk beskyttelse. [29] Formen på disse er firkantet, slik at de passer til samleskinner. Dersom en slik type strømtransformator må byttes ut, må normalt hele tavlen isoleres. Figur 6-12 viser hvordan en type LGK strømtransformator ser ut.



Figur 6-12: Strømtransformator av typen LGK designet av Garre, laget for samleskinner. [29]

De elektriske dataene er på 3000/5A 50VA CL:0,5. Strømforholdet på 3000/5A innebærer at 3000A på primærsiden gir 5A på sekundærsiden. CL:0,5 står for nøyaktighetsklassen. Denne innebærer at høyeste tillatt feilprosent er på 0,5% gitt nominell primærstrøm og nominell utgang. Ut fra dataene er dette en strømtransformator for måleformål. [6] Kravet for offshore installasjoner er minimum nøyaktighetsklasse 1. [23]

6.3.1.3 Måletrafoskilleklemmer (X1)

Rekkeklemmer tilhørende strømtransformatorens sekundærside er vist i Figur 6-13.

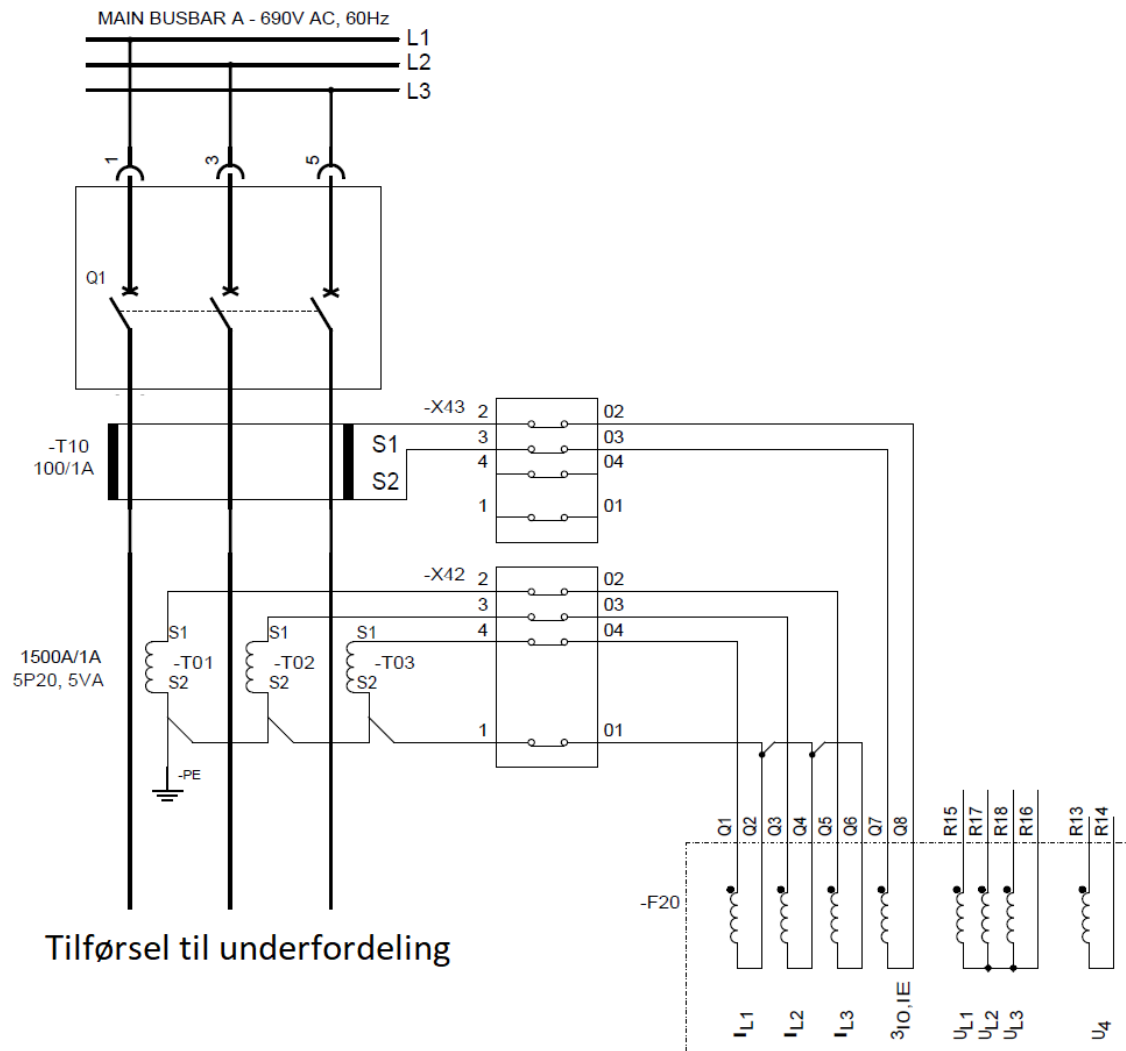
Funksjonen til denne er beskrevet i kapittel 3.2.1.1 «Måletrafoskilleklemmer».



Figur 6-13: Rekkeklemmer i strømtransformatorens sekundærside som blir brukt i Ekofisk-området.

6.3.2 Hovedbrytere for lavspenning med eksternt relèvern

Dette delkapittelet skal undersøke oppbygging til en 690V hovedbryter med eksternt relèvern. Den aktuelle bryteren er tilførsel til en underfordeling. Figur 6-14 viser forenklet hovedstrømskjema til en slik avgang.



Figur 6-14: Hovedstrømskjema til hovedbryter som forsyner 690V hovedtavle.

Hvor:

- $Q1$ er effektbryter
- $T1$ er strømtansformatorer for beskyttelsesformål
- $T10$ er summasjonstransformator for jordfeil
- $X43$ er testblokk for testing av relèvern
- $X42$ er testblokk for testing av jordfeilvern
- $F20$ er relèvern

6.3.2.1 Strømtransformator (T1)

Det er tre strømtransformatorer i denne lavspenningsavgangen, en på hver fase. De elektriske dataene er på 1500/1A 5VA 5P20. Strømforholdet på 1500/1A innebærer at 1500A på primærsiden gir 1A på sekundærsiden. 5P20 beskriver nøyaktighetsklassen og nøyaktighetsgrensene. Dette betyr at strømtransformatoren ikke vil ha mer enn 5% feilmargen gitt 20 ganger nominell strøm, gitt at sekundærsiden er tilkoblet en last på 10VA. Bokstaven P indikerer at dette er en strømtransformator som er ment for beskyttelsesformål. [27]

Omsetningsforholdet på denne type strømtransformatorer vil være mye høyere, sammenlignet med strømtransformatorer som gir ut 5A nominell sekundærstrøm. Denne type strømtransformatorer vil derfor kunne produsere veldig høye spenninger på sekundærsiden av strømtransformatoren.

6.3.2.2 Testblokker (X42 og X43)

Testblokkene er av samme type som beskrevet i kapittel 3.2.1.2 «Testblokk for test av relèvern og måling».

6.3.2.3 Relèvern (F20)

Relèvernet til denne hovedbryteren er produsert av Siemens og er av typen Siprotec slik Figur 6-15 viser. Hensikten med et relèvern er å verne det elektriske anlegget dersom feilsituasjoner oppstår. Det vil være ulike vernfunksjoner i ulike deler av det elektriske anlegget. Typiske vernfunksjoner vil være overstrøm, underspenning og jordfeil.



Figur 6-15: Siprotec relèvern produsert av Siemens. [30]

6.3.3 Starterskuff for kraftkrevende forbrukere

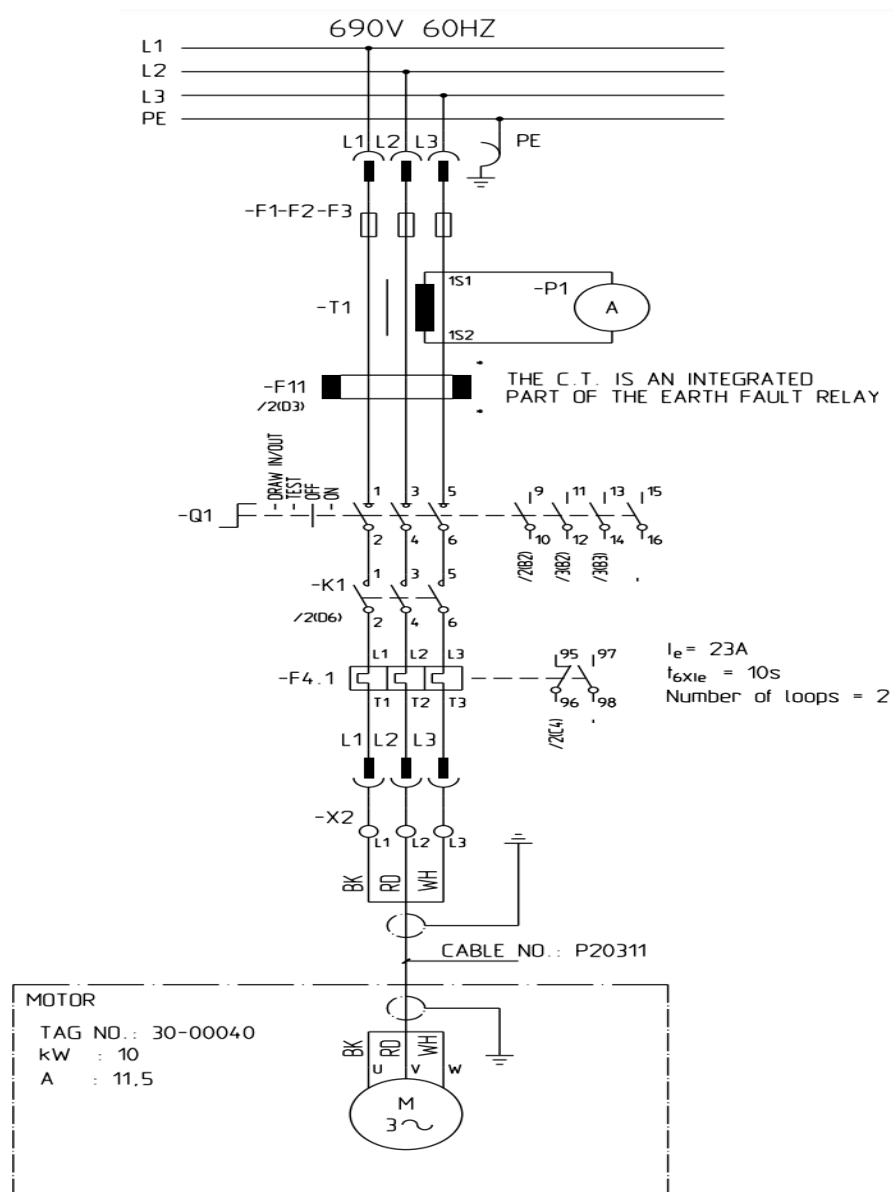
Starterskuffer for kraftkrevende forbruke vil typisk være større motorer, varmeelement, styreskap, stikkontakter med mer. Dette delkapittelet skal undersøke oppbygging til en starterskuffe som forsyner en 10kW/690V motor.

Figur 6-16 viser hvordan en slik starterskuff ser ut. Disse kan enkelt dras ut fra tavlen, slik at feilsøking og vedlikehold kan utføres uten at den står montert i tavlen.



Figur 6-16: Starterskuff for kraftkrevende forbrukere.

Figur 6-17 viser hovedstrømskjema for en slik starterskuffe.



Figur 6-17: Hovedstrømskjema for en 10kW/690V motor.

Hvor:

- *F1, F2 og F3* er høyeffektsikringer
- *T1* er strømtransformator
- *P1* er amperemeter montert i front av starterskuff
- *F11* er jordfeilrelè
- *Q1* er hovedbryter
- *K1* er hovedkontaktor
- *F4* er elektronisk motorvern

6.3.3.1 Strømtransformatorer (T1)

Det er en strømtransformatorer i denne starterskuffen. Hensikten med denne er å gi strømavlesning til amperemeteret (P1) i front av starterskuffen. Strømtransformatorene som er brukt er av typen HF3A, produsert av Eaton. Figur 6-18 viser bilde av strømtransformatoren. Primærsiden er snurret rundt tre ganger for å gi større utslag på amperemeteret i front.

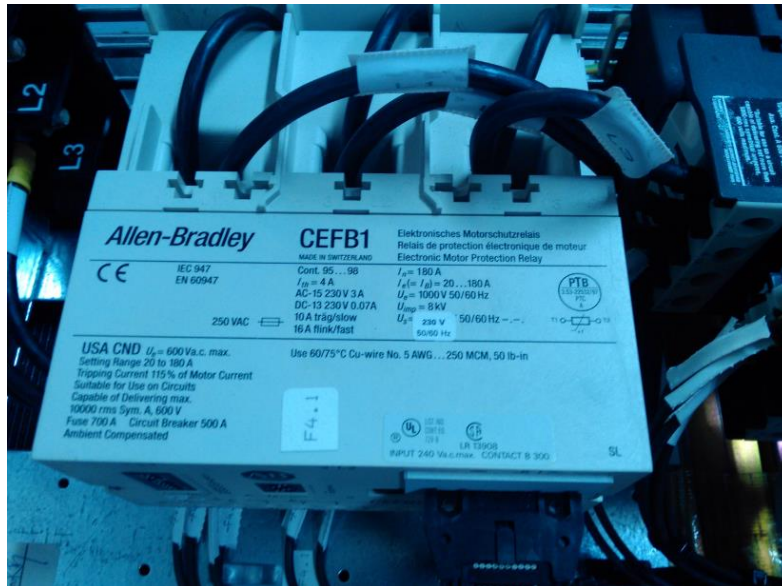


Figur 6-18: Strømtransformator for kraftkrevende starterskuffer.

De elektriske dataene er på 100/5A 1,5-3-5VA CI 0,5-1-3 og FS 10-5-5. Måten dataene er beskrevet på, forteller oss at dette er en strømtransformator for måling. Strømforholdet på 100/5A innebærer at 100A på primærsiden gir 5A på sekundærsiden. Videre vil CI og FS merkingen avhenge av hvilken belastning (VA) strømtransformatorens sekundærside har. Ved en tilkoblet belastning på 3VA, vil nøyaktighetsklassen CI i dette tilfellet være på 1 og sikkerhetsfaktoren FS være på 5. Nøyaktighetsklassen (CI) innebærer at strømtransformatoren har en maks feilmargin på 1%. Sikkerhetsfaktoren FS5 innebærer at strømtransformatoren vil gå i metning ved 5 ganger nominell strøm for å beskytte tilkoblet utstyr på strømtransformatorens sekundærside.

6.3.3.2 Elektronisk motorvern (F4)

Motorvernet i denne starterskuffen er av typen Allen Bradley CEFB1-12. Denne type motorvern har ikke direkte tilkobling av laststrømmen. Strømavlesningen blir derfor gjort indirekte via tre stykk innebygde strømtransformatorer. Figur 6-19 viser hvordan motorvernet ser ut. I denne starterskuffen er lederne for hovedstrøm snurret to runder rundt jernkjernen til strømtransformatorens primærside. Dette blir også indikert i hovedstrømskjemaet, Figur 6-17.



Figur 6-19: Elektronisk motorvern av typen Allen Bradley CEFB1.

Siden strømtransformatorene er innebygd i selve motorvernet, vil det ikke være fare for at sekundærsiden til disse strømtransformatorene kan bli åpnet. Eneste mulighet for dette er om selve motorvernet skulle bli mekanisk skadet, noe som er lite sannsynlig.

Figur 6-20 viser tilkoblingene til motorvernet. Klemmene A1 og A2 er tilførsel 230V, klemmene 95-98 er kontaktsett, klemmene T1 og T2 er for temperaturovervåking av motor og flatkabelen er for fjernbetjent resett og feilavlesning.

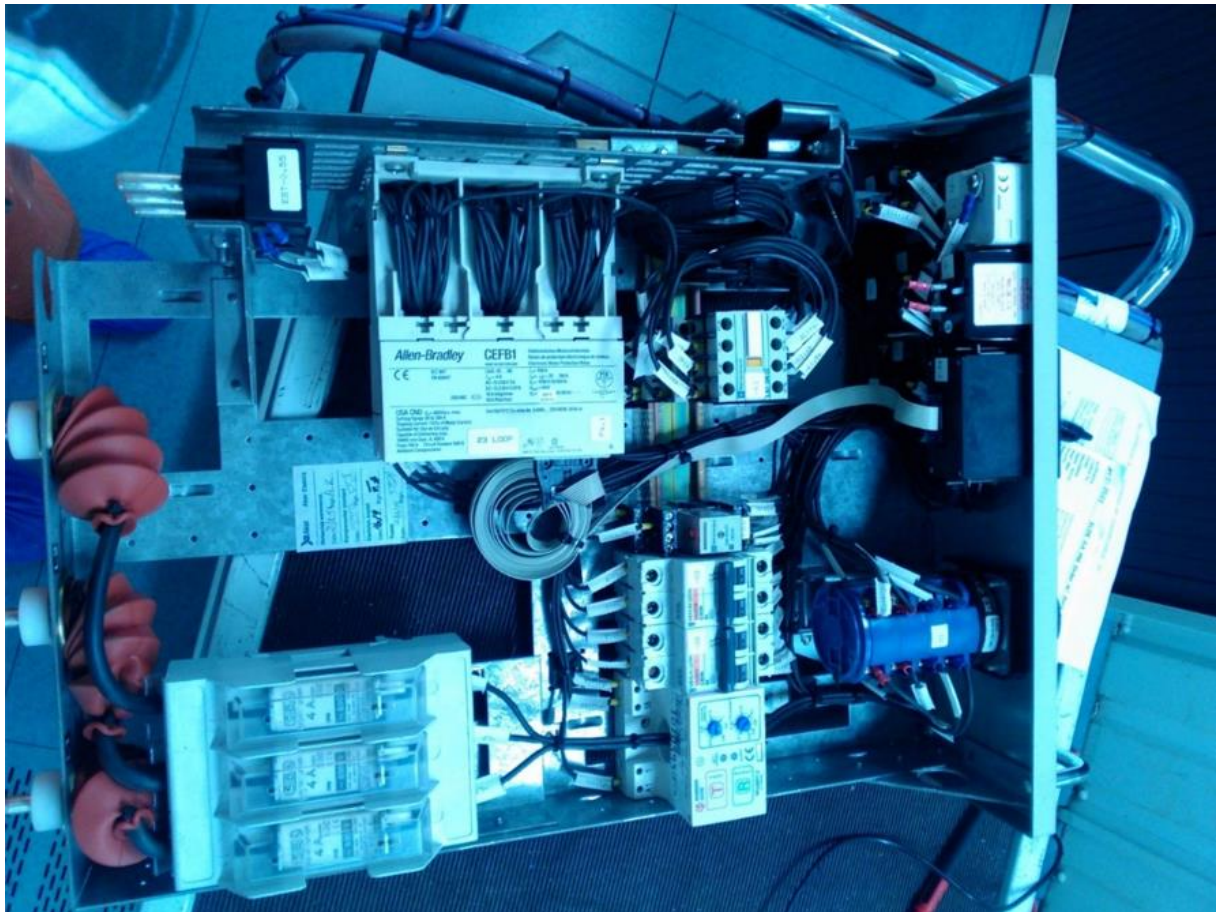


Figur 6-20: Tilkoblinger på Allan Bradley CEFB1-12.

6.3.4 Starterskuff for mindre forbrukere

Starterskuffer for mindre forbrukere vil typisk være små motorer og små varmeelementer. Dette delkapittelet skal undersøke oppbygging til en starterskuffe som forsyner en 0,55kW/690V motor.

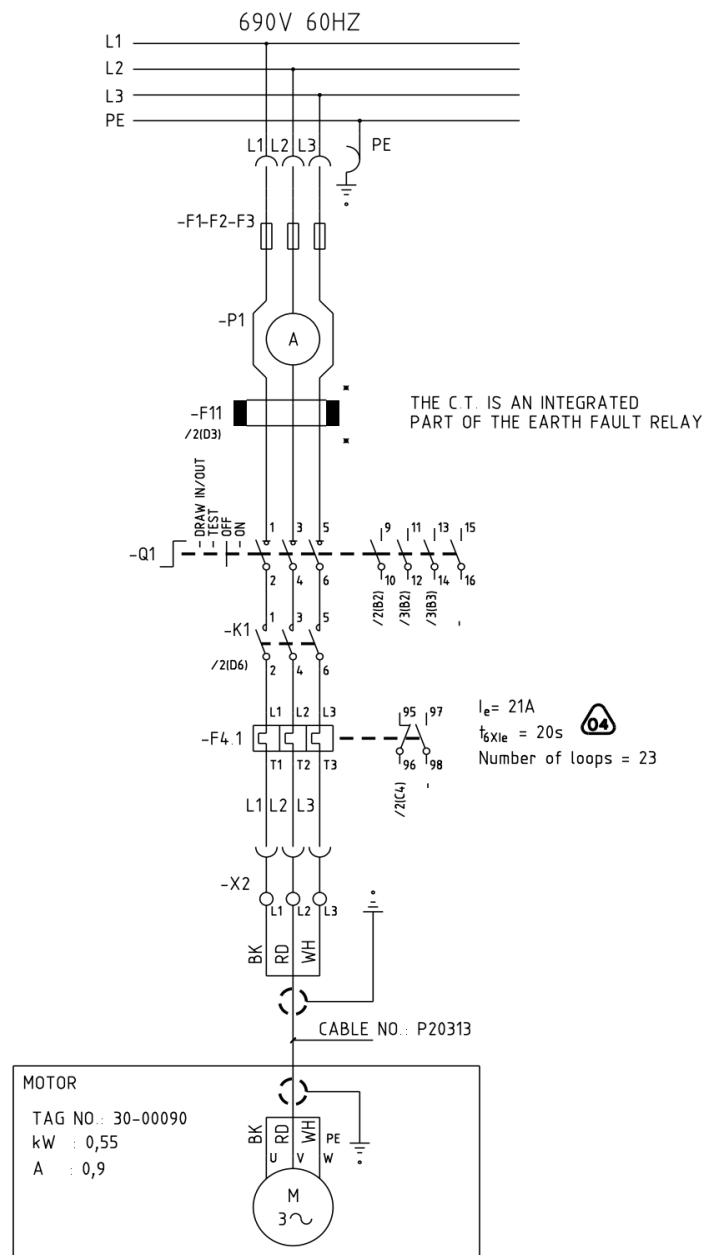
Figur 6-21 viser hvordan en slik starterskuff ser ut. Disse kan enkelt dras ut fra tavlen, slik at feilsøking og vedlikehold kan utføres uten at den står montert i tavlen.



Figur 6-21: Starterskuff for mindre forbrukere.

Som bildet viser, er lederne for hovedstrøm surret mange ganger rundt jernkjernen til strømtransformatorens primærside. Dette er for å kunne få nok strøm til at vernet reagerer.

Figur 6-22 viser hovedstrømskjema for en slik starterskuffe.



Figur 6-22: Hovedstrømskjema for en 0,55kW/690V motor.

Hvor:

- *F1, F2 og F3* er høyeffektsikringer
- *P1* er amperemeter montert i front av starterskuff
- *F11* er jordfeilrelè
- *Q1* er hovedbryter
- *K1* er hovedkontaktor
- *F4* er elektronisk motorvern

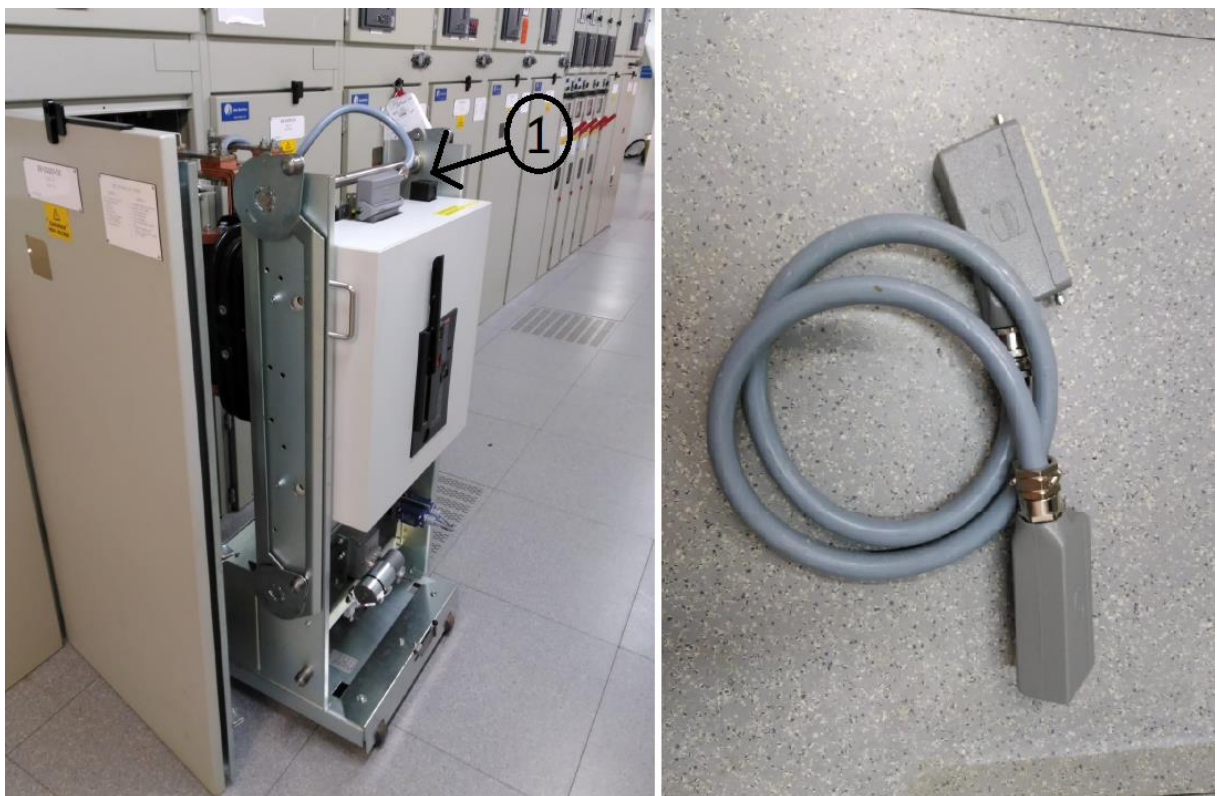
Det er brukt samme type komponenter i denne starterskuffen som for starterskuff for kraftkrevende forbrukere, beskrevet i kapittel 6.3.3 «*Starterskuff for kraftkrevende forbrukere*». Eneste forskjellen er at denne starterskuffen ikke har strømtransformatoren T1. Årsaken til dette er at laststrømmen er så lav, at amperemeteret P1 kan påtrykkes laststrømmen direkte.

6.4 Vedlikehold

Vedlikehold av elektriske anlegg er viktig for å opprettholde sikker drift. Dette kapittelet skal beskrive hvilken type vedlikehold som gjøres i de ulike anleggsdelene. Fokusområdet skal være vedlikehold der strømtransformatorer er direkte eller indirekte involvert.

6.4.1 Høyspenningsavganger

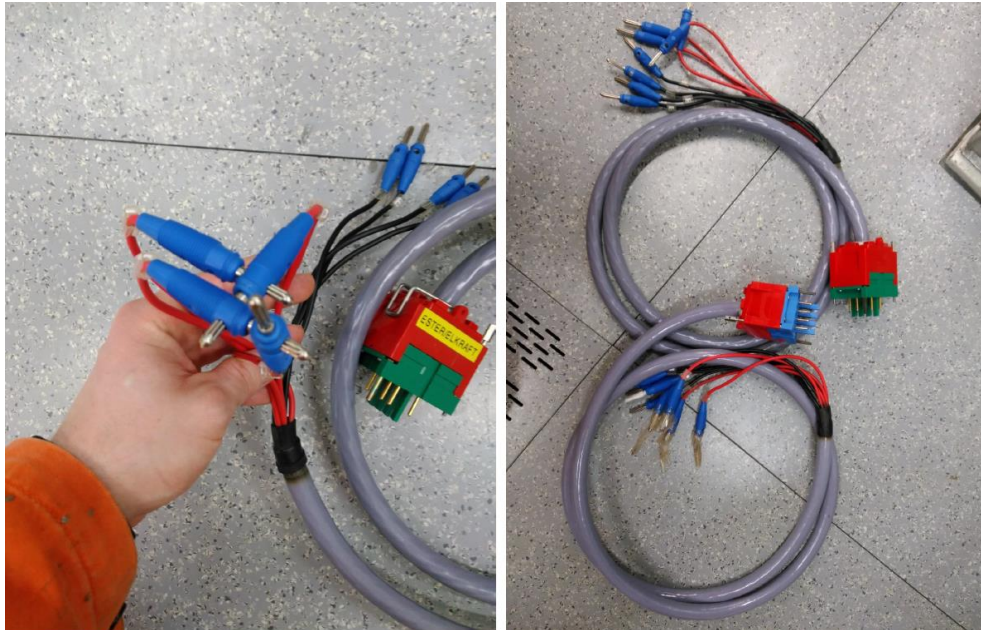
Vedlikehold av høyspenningsavganger utføres med brytervognen ute av tavlen. Når brytervognen er ute av tavlen må styrestrøm tilkobles ved hjelp av en forlengerkabel. Figur 6-23 viser forlengerkabel og brytervogn.



Figur 6-23: Brytervogn for høyspenning og forlengeskabel (1) til styrestrøm.

Det er ønskelig at brytervogn og relèvern blir testet samtidig. Dette er for å sikre at det ikke er noen feil med kommunikasjonen mellom disse. For å oppnå dette, må en

relèverntester kobles opp mot relèvernet. På høyspenningsavganger gjøres dette ved å koble inn stikkontakt i testblokker, slik kapittel 3.2.1.2 «*Testblokk for test av relèvern og måling*» beskriver. Figur 6-24 viser typiske testkabler. Kortslutning av strømtransformatorer kan enkelt gjøres ved å koble bananpluggene sammen, slik figuren viser.



Figur 6-24: Ulike testkabler og kortslutning av disse.

Ved å koble opp brytervognen og relèvernet som beskrevet ovenfor vil man nå kunne simulere at anlegget er i drift, selv om høyspenningen ikke er tilkoblet brytervognen. Man kan dermed lukke og åpne bryteren ved hjelp av relèvern/kontrollrom når bryteren står utenfor tavlen. Hvilke tester som blir utført på relèvernet avhenger av hvilke vernfunksjoner som er installert. Selve brytervognen blir blant annet inspisert, rengjort og smurt etter produsentens anbefalinger.

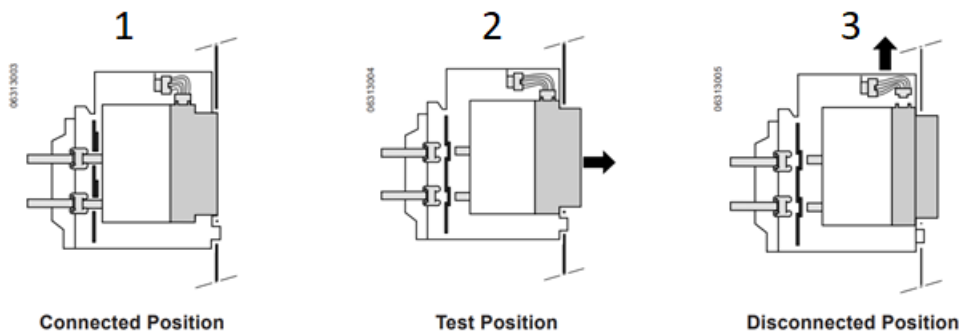
Denne type vedlikehold av brytervogn og relèvern krever ikke fysisk kobling på rekkeklemmer eller bruk av bananplugger i styrestrømskapet til høyspenningsavgangen. Når stikkontakt for relèverntesteren blir fjernet, er anlegget tilbake i drift. Det er altså ingen fare for at noen har koblet feil, glemte å fjerne noen ledninger eller glemte å stramme til skruer osv.

6.4.2 Lavspenning hovedbrytere

For å utføre vedlikehold på hovedbrytere for lavspenning er det ikke tilrettelagt eller nødvendig å ta bryteren ut på gulvet slik som for høyspenning. Denne type brytere er

utstyrt med en sveiv som gjør det mulig å sveive ut og inn selve brytervognen samtidig som den står i tavlen. Brytervognen har tre forskjellige trinn, slik Figur 6-25 viser [31]:

- 1) Brytervognen helt inne. Nå vil både hovedstrøm og styrestrøm være tilkoblet.
- 2) Brytervognen i mellomposisjon. Nå vil hovedstrøm være frakoblet, men styrestrøm være tilkoblet.
- 3) Brytervognen helt ute vil både hovedstrøm og styrestrøm være frakoblet.



Figur 6-25: Ulike posisjoner til hovedbryter av type Merlin Gerin

Under testing av relèvern settes brytervognen normalt i mellomposisjon. Hvordan tilkobling av relèvern blir utført er avhengig av om hovedbryteren har innebygd eller eksternt relèvern.

6.4.2.1 Hovedbryter med eksternt relèvern

Hovedbrytere med eksternt relèvern må kobles opp ved bruk av provisoriske ledere med bananplugg eller ved bruk av stikkontakt som kobles i testblokker. Ulike anlegg vil ha ulike løsninger.

Ved bruk av måletrafoskilleklemmer, må bananplugg brukes som beskrevet i kapittel 3.2.1.1 «Måletrafoskilleklemmer». Bruk av testblokker blir beskrevet i kapittel 3.2.1.2 «Testblokk for test av relèvern». Vernet blir videre koblet opp mot en relèverntester. Disse kommer i flere varianter og fra ulike leverandører. Figur 6-26 viser et eksempel på hvordan en slik kan se ut.



Figur 6-26: Omicron CMC 356 relèverntester. [32]

Ved å koble opp brytervogn og relèvernet som beskrevet ovenfor, vil man nå kunne simulere at anlegget er i drift, selv om hovedstrøm ikke er tilkoblet. Bryteren kan dermed lukkes og åpnes ved hjelp av relèvern/kontrollrom. Hvilke tester som blir utført på relèvernet avhenger av hvilke vernfunksjoner som er installert. Selve brytervognen blir blant annet inspisert, rengjort og smurt etter produsentens anbefalinger.

Dersom avgangen er utstyrt med måleskilletrafoklemmer, krever denne type vedlikehold/testing fysiske koblinger og bruk av provisoriske ledere i styrestrømskap for hovedbryter. Dette innebærer en risiko for å gjøre feil under kobling og/eller at anlegget ikke blir riktig tilbakestillt. Dersom eksempelvis en skrue ikke blir strammet, en rekkeklemme ikke lukket, leder glemt igjen eller lignende, vil man kunne risikere idriftsetting av anlegget med brudd i strømtransformatorens sekundærside eller lignende.

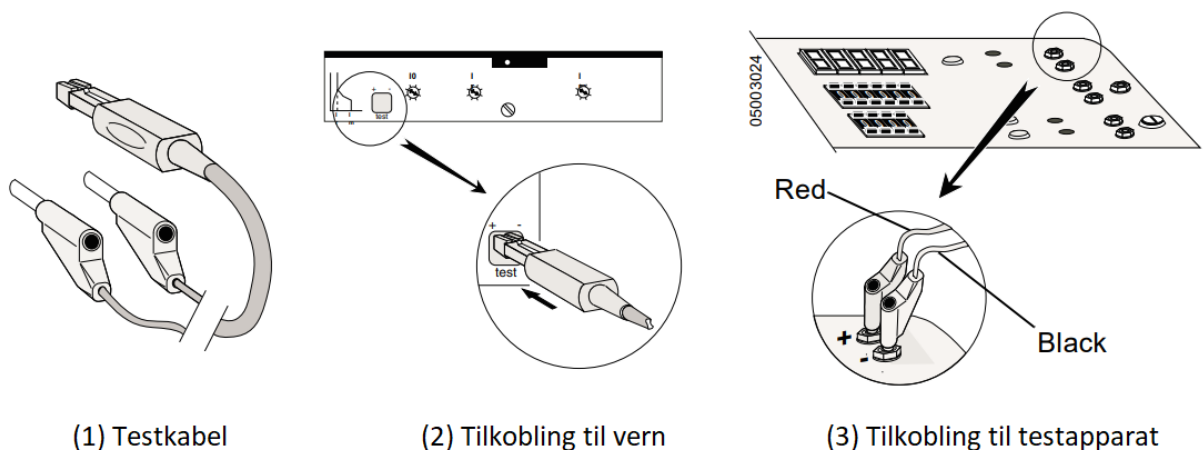
6.4.2.2 Hovedbryter med internt relèvern

For hovedbrytere med internt relèvern, brukes det spesialkabler og spesialutstyr som leveres av leverandøren av bryteren. Det finnes mange leverandører av slike brytere, eksempelvis Schneider Electric, Merlin Gerin (nå Schneider Electric), Siemens og ABB. Ulike leverandører vil ha ulik løsning på hvordan testing av relèvern gjøres og hvordan testkabel/utstyr kobles til. Figur 6-27 viser testapparat (1) og testkabler tilhørende Merlin Gerin Masterpact bryter. Testkabel (2) og tilbakemeldingskabel (3) er det mest brukte kablene.



Figur 6-27: Testapparat og kabel av typen Merlin Gerin 34547 ME Portable Test Kit.

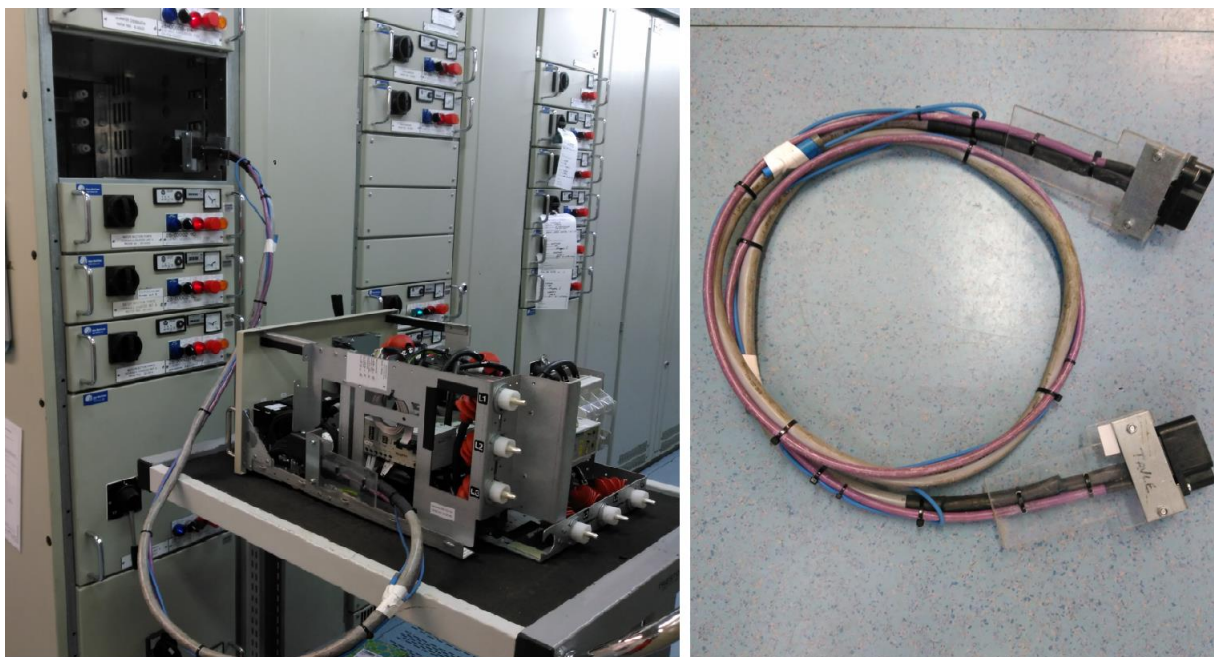
Figur 6-28 viser hvordan testkabel kobles opp. Etter tilkobling vil man kunne injisere strøm direkte inn i vernet for testing. Hvilke tester som blir utført på relèvernet avhenger av hvilke vernfunksjoner som er installert. Denne type testing vil ikke innebære noe fare for feil tilbakestilling, da det ikke kreves fysisk kobling på selve bryteren/strømtransformatoren.



Figur 6-28: Testkabel og tilkoblinger ved strøminjeksjon, for typen Merlin Gerin 34547 ME Portable Test Kit. [33]

6.4.3 Lavspenning starterskuffer

All type vedlikehold som blir utført på starterskuffer for lavspenning, innebærer at utstyret må stoppes og at starterskuffen må tas ut på en arbeidsbenk. For at starterskuffen skal kunne testes, må styrestrømmen tilkobles. Dette gjøres ved bruk av egen forlengerkabel, som er laget for dette formålet. Figur 6-29 viser forlengerkabel for styrestrøm.



Figur 6-29: Forlengerkabel til styrestrøm for starterskuffer.

Starterskuffer for lavspenning har normalt følgende vedlikehold:

- Test av jordfeilrèle
- Test av vern

Test av jordfeilrèle innebærer ingen risiko i forbindelse med strømtransformatorer. Testen blir utført ved at 230V styrestrøm blir tilkoblet. Jordfeilrèleet blir testet ved å trykke inn testknapp på jordfeilrèle.

Test av vern blir utført ved at starterskuffen først blir tilkoblet 230V styrestrøm. For å kunne teste vern for utløserstrøm og utløsertid, brukes en relèvernstester. En relèvernstester kan være i mange forskjellige størrelser, men vil typisk være utformet slik Figur 6-30 viser.



Figur 6-30: Megger Sverker 650 Relèvernstester. [34]

Relèvernstesteren injiserer strøm gjennom motorvern. Videre blir det sjekket at motorvern løser ut i henhold til utløsertid og strøm. Test av vern for lavspenning starterskuffer innebærer ingen fare forbundet med strømtransformatorer.

7 Diskusjon

7.1 Overspenningsbeskyttelse

Overspenningsbeskyttelse av strømtransformatorer er ikke utbredt på norsk sokkel. Regelverket som gjelder her ute, stiller heller ikke noe direkte krav om overspenningsbeskyttelse. Likevel finnes det gode grunner til å installere denne type beskyttelse i enkelte deler av nettet.

7.1.1 Tyritt sekundærbeskyttelse

Tyritt sekundærbeskyttelse er en enkel og pålitelig overspenningsbeskyttelse. Den er liten i størrelse og kan monteres direkte på strømtransformatorens struktur. Den vil begrense spenningsnivået til rundt 175-350Vpk, avhengig av type. Under en åpen sekundærkrets vil det ta rundt 10-14 sekunder før den termiske bryteren vil kortslutte. Karakteristikken vil ikke endres over tid, eller etter at den har blitt utsatt for overspenning. Den har neglisjerbar påvirkning på nøyaktighet innenfor normalt driftsområde og svekker ikke sikkerheten under feilsituasjoner.

General Electric produserer denne type overspenningsbeskyttelse. Ut fra søk på internett, er det mulig å kjøpe inn denne komponenten. Prisen ligger på rundt 260 dollar. Typen som ligger for salg, ser imidlertid annerledes ut enn den typen som er blitt beskrevet i kapittel 3.2.2.1 «Tyritt sekundærbeskyttelse». I tillegg er det svært begrenset med informasjon rundt denne komponenten fra General Electric. Dersom denne komponenten skal brukes, bør det hente inn mer informasjon rundt denne spesifikke typen. Figur 7-1 viser hvordan komponenten som ligger for salg ser ut.



Figur 7-1: Thyrite Protector designet av General Electric. [35]

En ulempe med denne overspenningsbeskyttelsen, er at det ikke er mulighet for å kjøpe med ekstra termisk bryter som vil kunne gi fjernindikasjon på at overspenningsbeskyttelsen er aktivert. I store elektriske anlegg vil dette kunne være viktig. Uten dette kan man risikere at feilen blir stående veldig lenge, uten at noen oppdager det.

7.1.2 Silisiumkarbid varistor

CTPU er en type overspenningsbeskyttelse som er laget med silisiumkarbid varistorer. Denne type overspenningsbeskyttelse er designet for å tåle høye energier, noe som gjør den godt egnet som beskyttelse av strømtransformatorer. Overspenningsbeskyttelsen vil ikke bli skadet eller endre karakteristikk etter å ha blitt utsatt for varmesyklus/åpen krets. Den vil heller ikke påvirke driften av systemet. Spenningstoppene under feilsituasjoner vil bli begrenset til 81-2856Vpk, avhengig av hvilken type CTPU som velges og hvilken nominell sekundærstrøm tilhørende strømtransformator har. Tiden før den termiske bryteren legger inn vil ta rundt 30-40 sekunder, men vil variere ut fra type. Dette vil være lave nok nivå for å kunne beskytte strømtransformatoren fra skade, da disse skal være designet og testet for å tåle spenningstransienter på 3kV RMS i normalt 60 sekunder. [21]

CTPU blir produsert av Metrosil. De selger seks standard typer av CTPU. I tillegg kan de produsere egne varistorer basert på kundens ønske. Prisen for en CTPU disk vil være rundt £190 GBP [Vedlegg A]. Metrosil har laget egne brukerveiledninger på bestilling av CTPU. Dette vil være til stor hjelp for kunder som ønsker å bestille inn slike komponenter.

En av ulempene ved denne komponenten er at temperaturene blir veldig høye under feilsituasjoner, rundt 130-150°C. I tillegg kan spenningstoppene bli svært høye, opp til 2856Vpk. Ved bruk av slike komponent, bør det derfor tenkes på avskjerming og tildekking av komponentene. Metrosil har derfor laget egne skap for dette formålet. CTPU kan bestilles ferdigmontert i slike skap. Figur 7-2 viser hvordan et slikt skap kan se ut.



Figur 7-2: CTPU kan leveres ferdigmontert i skap. Skapet kan leveres i ulike størrelser. [19]

Skapet blir levert med polykarbonat plate mellom dør og komponent. Dette gjør at døren kan åpnes, selv under en feilsituasjon, uten at det er fare for personell kommer i kontakt med farlige spenninger. Skapene leveres i IP66 og kan produseres i material etter ønske fra kunde, eksempelvis rustfritt stål og glassfiber. [Vedlegg A]. Det vil også være mulig å kjøpe med ekstra termisk bryter for fjernindikasjon.

7.1.3 Elektronisk overspenningsvern

Elektronisk overspenningsvern bruker tyristorer for å senke spenningen ved feilsituasjoner. General Electric produserer en slik type overspenningsvern som heter «Open Circuit Protections», forkortes OCP. Tennspenningen til denne vil være mellom 200-1500Vpk, avhengig av type. Lekkasjestrømmer fra en slik overspenningsbeskyttelse vil ikke påvirke nøyaktighet eller skape forstyrrelser i målingene.

Ved bestilling av OCP, tar General Electric utgangspunkt i relè-nøyaktighetsklasse, engelsk «Relay Class Protection». Dette er ikke den samme nøyaktighetsklassifisering som brukes av IEC, og som igjen brukes på strømtransformatorer i Norge. Å bestille riktig OCP i forhold til hvilken strømtransformator som benyttes kan derfor være et problem.

7.2 Regelverk

Regelverkene som gjelder på norsk sokkel, inneholder ingen spesifikk informasjon om overspenningsbeskyttelse av strømtransformatorer. Likevel finnes det regelverk som omtaler dette. Nedenfor er en forenklet oppsummering av de ulike regelverkene som er beskrevet i denne oppgaven, med fokus på strømtransformatorer:

- **IEC 61969-1.** Denne beskriver generelle krav til produksjon av måletransformatorer. Noe som kan være verdt å merke seg, er at kravet til isolasjon på sekundærsiden av strømtransformatorer, er at isolasjonen skal tåle spenninger på 3kV RMS i en gitt tid. Denne tiden vil typisk være 60 sekunder. For enkelte strømtransformatorer kan spenningene ved åpen sekundærkrets komme opp i 10kVpk (tilsvarer rundt 7kV RMS).
- **IEC 61869-2.** Denne beskriver krav til produksjon av induktive strømtransformatorer. Standarden inneholder mye informasjon om hvordan de ulike dataene skal bli definert, ut fra hvilket formål strømtransformatoren har. Data tilhørende strømtransformatorer blir standardisert i denne standarden.
- **NORSOK E-001 og TCD 4574E.** NORSOK E-001 inneholder kun informasjon om hvilken sekundærstrøm som strømtransformatorer skal ha. TCD 4574E inneholder noen selskapsinterne krav som gjelder for ConocoPhillips.
- **NEK 400.** NEK 400 er den standarden som inneholder mest informasjon rundt strømtransformatorer. Denne gjelder imidlertid kun i boliginstallasjoner på norsk sokkel. Standarden inneholder ikke informasjon rundt overspenningsbeskyttelse av strømtransformatorer. Beskyttelsesmetoden, slik jeg leser det, skal være jord- og kortslutningssikker forlegning.
- **IEEE C57.13.** Denne standarden inneholder informasjon rundt beskyttelse av strømtransformatorens sekundærside. Standarden sier at det bør installeres overspenningsbegrensende enheter, dersom spenningene kan komme opp i 3500Vpk under åpen krets. Standarden har imidlertid ingen normative referanser fra noen av de andre standardene som er beskrevet i oppgaven.

7.3 Anlegg til ConocoPhillips

7.3.1 Arbeid og vedlikehold

Vedlikehold, som ConocoPhillips utfører på sine elektriske anlegg, vil ikke være direkte mot strømtransformatorer. Strømtransformatorene vil likevel bli indirekte involvert, siden testing av relèvern innebærer omkobling av strømtransformatorens sekundærkrets. Denne omkoblingen vil igjen kunne føre til farlige situasjoner, siden det innebærer risiko for å gjøre feil under kobling og/eller at anlegget ikke blir riktig tilbakestillt.

Testing av relèvern utføres kun i kretser med strømtransformatorer for beskyttelsesformål. Hvordan testene utføres, vil være avhengig av hvilken anleggsdel som skal testes og type utstyr. Anlegg som er tilrettelagt med testplugg vil ha lavere risiko for feilkoblinger sammenlignet med anlegg uten.

Selv om vedlikehold hovedsakelig blir utført på strømtransformatorer for beskyttelsesformål, kan farlige situasjoner oppstå med alle typer strømtransformatorer. Dette skyldes at spenningene på sekundærsiden normalt vil være veldig lave. Dette kan da gi en oppfatning om at kretsen er spenningsløs, selv om den ikke er det. Arbeid på slike kretser innebærer derfor en risiko for at man jobber på uisolert anlegg.

7.3.2 Spenning sekundærsiden.

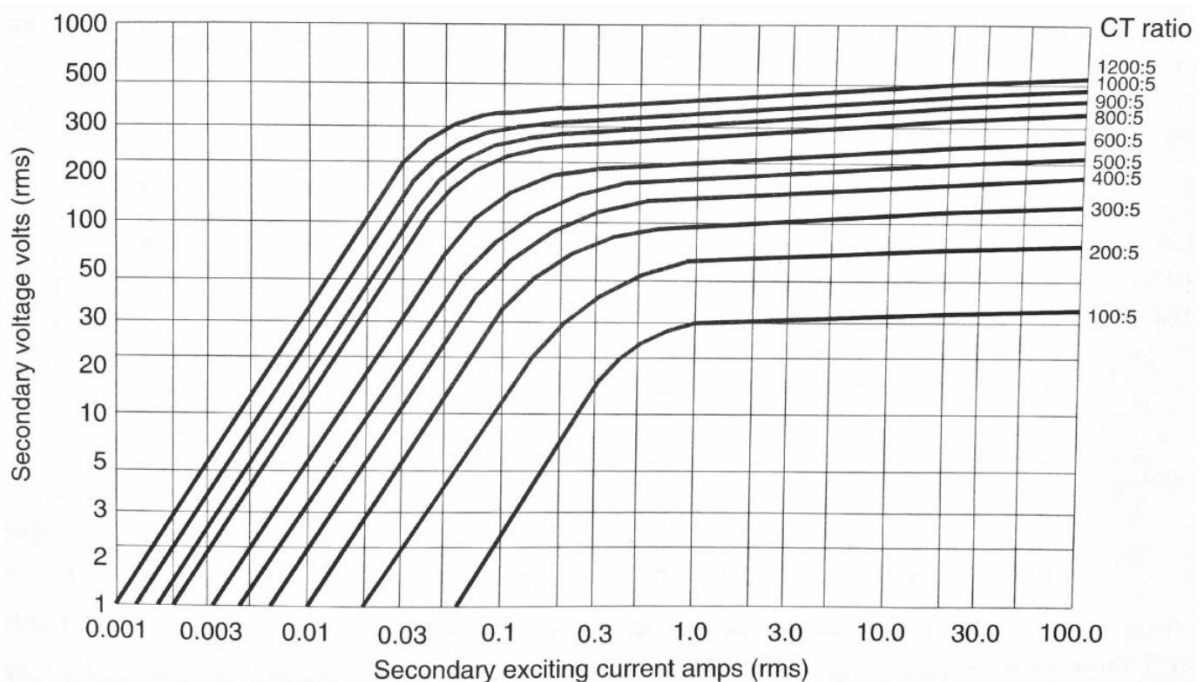
Størrelsen til spenningen på strømtransformatorens sekundærside, under åpen krets og strøm gjennom primærviklingen, vil øke ved økende omsetningsforhold, driftsfrekvens og areal til jernkjernen:

- Omsetningsforholdet i lavspenningsnettet vil normalt være høyere, siden det går høyere strømmer i lavspenningsnettet sammenlignet med høyspenningsnettet. Strømtransformatorer med 1A sekundærstrøm vil ha mye større omsetningsforhold sammenlignet med samme transformator med 5A sekundærstrøm.
- Jernkjernen til strømtransformatorer for beskyttelsesformål vil normalt være større sammenlignet med strømtransformatorer for måling. Dette skyldes at strømtransformatorer for beskyttelsesformål ikke må gå i metning under store feilstrømmer. Strømtransformatorer for måling vil på sin side ofte ha begrenset jernkjerne for å beskytte tilkoblet utstyr under store feilstrømmer.
- Driftsfrekvensen hos ConocoPhillips er på 60 Hz.

Strømtransformatorer for beskyttelsesformål i lavspenningsnettet vil derfor normalt være den typen som vil kunne produsere høyest spenninger under åpen krets.

Strømtransformatorer med 1A sekundærstrøm vil være farligere enn 5A.

Størrelsen til overspenningene vil være på rundt 100 ganger høyere enn knekkpunktspenningen til den aktuelle strømtransformatoren. Knekkpunktspenningen kan derfor være en god måte å kartlegge cirka størrelse overspenningen. Ut fra figur 7-3, fra kapittel 3.1.8 «Størrelse til sekundærspenningen», kan man lese av cirka-verdier til knekkpunktspenningen.



Figur 7-3: Magnetiseringskarakteristikk til forskjellige strømtransformatorer.

Eksempelvis vil en 200:5A strømtransformator ha en knekkpunktspenning på rundt 50V RMS. Dette vil da gi en sekundærkrets på rundt 5000V RMS. Dette er veldig grove utregninger, men gir et bilde på at det ikke kreves store strømtransformatorer for å produsere høye sekundærspenninger.

7.3.3 Høyspenning

Strømtransformatorene tilhørende høyspenningsavganger vil normalt forsyne eksterne relèvern. Strømtransformatorene vil derfor være av en type som er designet for beskyttelsesformål. I høyspenningsavgangen som er blitt undersøkt i denne oppgaven, er de elektriske dataene 300/5A 10VA 5P20. Knekkpunktspenningen på, ut fra Figur 7-3, vil være på rundt 50-100V.

Alle høyspenningsavganger hos ConocoPhillips er utstyrt med testplugg. Denne type løsning sørger for at det ikke kreves omkoblinger når det utføres vedlikehold/testing på brytere og vern. Dette vil være en tryggere løsning sammenlignet med tradisjonelle måletrafoskilleklemmer.

Dersom strømtransformatoren skulle bli defekt, vil det i noen høyspenningsavganger være mulighet til å bytte ut strømtransformatoren uten å stenge ned hele tavlen.

7.3.4 Hovedbrytere

Hovedbrytere kommer i to utgaver, med innebygd relèvern og med eksternt relèvern. Hovedbrytere med eksternt relèvern vil ha ett sett med strømtransformatorer for beskyttelsesformål. Hovedbrytere med internt relèvern vil normalt ha to sett med strømtransformatorer. Det ene settet med strømtransformatorer vil være for beskyttelsesformål, og vil være innebygd i selve effektbryteren. Det andre settet med strømtransformatorer vil være for måling og vil være plassert rundt kabel/samleskinner som går inn/ut fra hovedbryteren.

Testing av effektbrytere med eksterne relèvern vil normalt kreve oppkobling via måletrafoskilleklemmer. Denne type rekkeklemmer innebærer større risiko for feil, da dette krever omkobling under testing. Testing av effektbrytere med interne relèvern utføres med spesialverktøy fra leverandør. Ulike leverandører vil ha ulike løsninger. Hovedbryteren som denne oppgaven har undersøkt vil ikke kreve noen omkobling, da den er utstyrt med en type testplugg.

Hovedbrytere med internt relèvern vil normalt ha kabling mellom strømtransformatorer internt på effektbryteren. Dette vil minske faren for at feilsituasjoner kan oppstå. Med eksterne relèvern vil kablingen måtte gå fra strømtransformatoren, via styrestrømskap og til relèvern. Mer koblingspunkter og kabling/ledninger gir større risiko.

Å bytte ut strømtransformatorer i hovedtavler for lavspenning vil normalt kreve at hele tavlen blir isolert. Dette kan bli veldig dyrt på offshore installasjoner, siden hovedtavler normalt må være i drift for å kunne ha normal drift på plattformer.

7.3.5 Starterskuffer i lavspenningsnettet

Forbrukere på hovedtavler for lavspenning består typisk av mindre forbrukere på tavlen og starterskuffer for kraftkrevende forbrukere. I tillegg vil tavlen ha en eller flere hovedbrytere.

Starterskuffer for mindre forbrukere vil ikke være utstyrt med strømtransformatorer for måling, siden strømmene er lave nok til direktemåling. Vernfunksjon blir ivaretatt av et elektronisk motorvern. Disse har innebygd strømtransformatorer, og utgjør derfor ikke fare for at sekundærsiden skal åpnes. Eneste mulighet for dette er om selve motorvernet skulle bli mekanisk skadet, noe som er lite sannsynlig.

Starterskuffer for kraftkrevende forbrukere vil være utstyrt med en strømtransformator for måling. Strømtransformatoren vil da normalt forsyne et amperemeter som skal indikere strømtrekk i front. Strømtransformatorene for måling vil ikke ha store omsetningsforhold. Starterskuffen som har blitt undersøkt i denne oppgaven har dataene 100/5A. Vernfunksjon blir ivaretatt ved bruk av elektronisk motorvern. Strømtransformatorene er innebygd i vernet, og vil ikke utgjøre fare for åpen sekundærkrets.

Vedlikehold som blir utført på slike avganger innebærer ingen risiko for åpen sekundærkrets til strømtransformatorer. Alt av kabling er og inne i selve skuffen. Det er derfor liten fare for åpen sekundærkrets i forbindelse med arbeid eller vedlikehold.

8 Konklusjon

ConocoPhillips har ingen elektrisk beskyttelse av strømtransformatorer i sine elektriske anlegg. Det er i dag kun mekaniske løsninger. Det er derfor hovedsakelig menneskelige faktorer som forhindrer at en ulykke med strømtransformatorer kan skje.

Oppgaven anbefaler ConocoPhillips å montere inn overspenningsbeskyttelse for strømtransformatorer i nye og eksisterende anlegg hvor sekundærspenningen kan overstige 3500Vpk. Dette vil hovedsakelig gjelde hovedbrytere for lavspenning og høyspenningsavganger. Overspenningsbeskyttelse vil gi økt person og anleggssikkerhet. Overspenningsbeskyttelsen bør plasseres nærmest mulig strømtransformatorens sekundærside, slik at det dekker mest mulig kabling. Det anbefales ikke å installere overspenningsbeskyttelse for starterskuffer i lavspenningsanlegg.

Behovet for overspenningsbeskyttelse vil være størst i lavspenningsanlegg med tilhørende strømtransformatorer for beskyttelsesformål. Det er normalt slike anlegg som vil kunne indusere høyest spenninger under åpen krets. I tillegg er det ikke alltid tilrettelagt med testplugg i slike tavler, da dette hovedsakelig er installert i høyspenningsanlegg. Det er altså både høyest risiko for feil og farepotensiale i slike anlegg. Anlegg med lange kabler/ledere bør også prioriteres. Mer kabling vil gi økt risiko for feil/hendelser.

Økonomisk vil det kunne være lønnsomt å installere overspenningsbeskyttelse. En hendelse med brann i tavlerom vil kunne føre til store økonomiske tap. Spenningene som blir indusert under feilsituasjoner vil normalt komme langt over spenningsgrense som strømtransformatoren er designet for. Det er derfor stor sannsynlighet for at komponenter blir defekte under slike hendelser. Bytting av strømtransformatorer og/eller tilhørende komponenter vil kunne føre til tavler ute av drift i lengre tid.

Regelverket som blir brukt på norsk sokkel inneholder ikke direkte krav eller retningslinjer for bruk av overspenningsbeskyttelse av strømtransformatorer. Det finnes imidlertid en standard som omhandler dette, IEEE C57.1. Oppgaven mener derfor at denne bør legges til grunn for ConocoPhillips, dersom denne type overspenningsbeskyttelse blir installert. Standarden gir spesifikke retningslinjer rundt bruk av slik overspenningsbeskyttelse.

Oppgaven anbefaler bruk av overspenningsbeskyttelsen basert på silisiumkarbid varistorer, CTPU, produsert av Metrosil. Metrosil har laget gode brukerveiledninger for

hvordan kunde kan kjøpe inn riktig type CTPU i forhold til anlegget den skal installeres i. Det er også mulighet for å produsere varistorer som er spesiallaget etter kundens ønske. CTPU kan også leveres med ekstra termiske brytere og leveres ferdigmontert i godkjente skap.

Det bør også vurderes å installere testplugger i lavspenningsanlegg som ikke har dette. Testplugger gir mye mindre risiko for at feil kan oppstå, sammenlignet med tradisjonelle måletrafoskilleklemmer.

9 Videre arbeid

Det bør lages et overslag på hva det vil koste å installere overspenningsbeskyttelse i eksisterende og nye anlegg. I tillegg bør det lages en oversikt over hvor det vil være aktuelt å installere en slik beskyttelse. Hvordan installasjon og vedlikehold skal gjøres i praksis bør også undersøkes.

Installasjon av nye elektriske komponenter i eksisterende anlegg bør ikke gjøres uten en grundig risikovurdering. Det er derfor viktig å være kritisk til om dette kan påvirke eksisterende anlegg negativt. Oppgaven har ikke funnet noen negative påvirkninger, men det kan være sider ved dette som ikke er tenkt på.

Strømtransformatorer for differensialbeskyttelse bør også undersøkes.

Bibliografi

- [1] T. Davies, Protection of industrial power systems, Oxford: Newnes, 1996.
- [2] Wikipedia, «wikipedia.org,» 6 November 2021. [Internett]. Available: https://no.wikipedia.org/wiki/Amp%C3%A8res_sirkulasjonslov. [Funnet 26 April 2022].
- [3] Wikipedia, «wikipedia.org,» 1 Mars 2022. [Internett]. Available: https://no.wikipedia.org/wiki/Amp%C3%A8res_sirkulasjonslov. [Funnet 26 April 2022].
- [4] J. E. Hyom, Primary Theory of Electromagnetics, Dordrecht: Springer Netherlands: Imprint: Springer, 2013.
- [5] H. H. Skilling, Electromechanics : a first course in electromechanical energy conversion, New York: Wiley, 1962.
- [6] NEK/NK38, «Instrument transformers - Part 2: Additional requirements for current transformers,» i *NEK IEC 61869-2:2012*, Standard Norge, 2012, p. 148.
- [7] D. Ristanovic, T. Tadlock og G. Bhatt, «Comparative Analysis of ANSI and IEC Current Transformers in Protection Applications,» i *Record of Conference Papers - Annual Petroleum and Chemical Industry*, 2018.
- [8] J. Robertson, «Comparison of CT secondary open-circuit protection system technologies,» *Journal of engineering*, p. 7, 4 May 2018.
- [9] R. H. Kaufmann og G. Camilli, «Overvoltage Protection of Current-Transformer Secondary Windings and Associated Circuits,» i *American Institute of Electrical Engineers, Vol.62(7), p.467-472*, IEEE, 1943, p. 6.
- [10] S. H. Horowitz, Power system relaying 3rd ed., Cichester: John Wiley, 2008.
- [11] F. Paola, «studiecd.dk,» 1 Februar 2000. [Internett]. Available: https://www.studiecd.dk/cahiers_techniques/Current_transformer_specifications.pdf. [Funnet 18 Februar 2022].
- [12] B. Baldwind, «www.powellind.com,» 10 April 1996. [Internett]. Available:

file:///C:/Users/User/Downloads/01.4TB.072%20Open%20Circuit%20Protectors%20for%20Current%20Transformers%20(1).pdf. [Funnet 23 Februar 2022].

- [13] T. Connectivity, «te.com,» TE Connectivity, 01 Januar 2018. [Internett]. Available: https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=showdoc&DocId=Catalog+Section%7F1-1773959-3%7F1118%7Fpdf%7FEnglish%7FENG_CS_1-1773959-3_1118.pdf. [Funnet 17 Februar 2022].
- [14] I. Poole, «<https://www.electronics-notes.com/>,» [Internett]. Available: https://www.electronics-notes.com/articles/electronic_components/resistors/metal-oxide-varistor-mov.php. [Funnet 4 April 2022].
- [15] H. S. Keith, *Power electronics design: a practitioner's buide*, Burlington, MA: Elsevier/Newnes, 2005.
- [16] G. Electric, «<https://npeinc.com/>,» [Internett]. Available: <https://npeinc.com/manuals/General%20Electric/BOOK28/GEI-16015A%20THYRITE%20SECONDARY%20PROTECTOR.pdf>. [Funnet 25 Mars 2022].
- [17] G. Camili og L. V. Bewley, «Surge Protectors for Current Transformers,» *American Institute of Elctrical Engineers, 1936-03 Vol.53(3)*, p. 7, March 1936.
- [18] L. F. Garcia, F. Azough, G. Parson, A. Quadling, B. Wang og R. Freer, «Optimising the performance of SiC-based varistors through composition and microstrcture control,» *Journal of the European Ceramic Society, 2022-02, Vol42*, p. 8, 19 Oktober 2021.
- [19] Metrosil, «Metrosil,» 1 Januar 2018. [Internett]. Available: https://metrosil.com/wp-content/uploads/2019/03/Metrosil_Current_Transformer_Protection_Units_CTPU_Data_Sheet.pdf. [Funnet 28 Mars 2022].
- [20] J. Robertson, «Use of Silicon Carbide Varistors in Prevention of Overvoltages in Electrical T&D Protection Systems,» i *10th IET International Conference on Developments in Power System Protection (DPSP 2010). Managing the Change*, Manchester, 2010.
- [21] NEK/NK38, «NEK IEC 61869-1:2007,» i *Instrument transformers - Part 1: General requirements*, 2007, p. 138.

- [22] G. Electric, «gegridsolutions.com,» 2018. [Internett]. Available: <https://www.gegridsolutions.com/products/specs/ocp.pdf>. [Funnet 25 Februar 2022].
- [23] IEC, «NEK IEC 61892-3:2019,» i *Mobile and fixed offshore units - Electrical installations - Part 3: Equipment*, 2019, p. 112.
- [24] SN/K 114/EG E, «NORSOK E-001:2016,» 2016, p. 88.
- [25] ConocoPhillips, «TCD 4574E- Electrical Systems,» ConocoPhillips, 2022.
- [26] ConocoPhillips, «1,» ConocoPhillips, 17 Desember 2021. [Internett]. Available: <https://www.conocophillips.no/nn/presserom/nyheter-og-media/story/tre-milliarder-fat-olje-fra-ekofisk/>. [Funnet 3 Mars 2022].
- [27] R. Instrument, «ritz-international.com,» 01 Januar 2014. [Internett]. Available: https://ritz-international.com/wp-content/uploads/2015/12/RITZ-Medium_Voltage_Instrument_Transformers_Standard_ENG_2014_01.pdf. [Funnet 12 Februar 2022].
- [28] S. SWITCHGEAR, «sim-switchgear.com,» [Internett]. Available: <https://sim-switchgear.com/low-voltage-switchgear/>. [Funnet 25 Mars 2022].
- [29] G. TRANSFORMERE, «noratel.com,» 1 September 1998. [Internett]. Available: <https://www.noratel.com/fileadmin/content/products/current/bar-primary/Garre2.pdf>. [Funnet 1 April 2022].
- [30] Siemens, «siemens.com,» [Internett]. Available: <https://new.siemens.com/global/en/products/energy/energy-automation-and-smart-grid/protection-relays-and-control/siprotec-4/overcurrent-and-motor-protection/multifunction-protection-with-synchronization-siprotec-7sj64.html>. [Funnet 26 April 2022].
- [31] S. D. Company, «stevenengineering.com,» 1 November 1998. [Internett]. Available: https://stevenengineering.com/Tech_Support/PDFs/45CBUNIV.pdf. [Funnet 4 April 2022].
- [32] Omicron, «omicronenergy.com,» [Internett]. Available: <https://www.omicronenergy.com/en/products/cmc-356/>. [Funnet 26 April 2022].

- [33] Schneider Electric, «techcorp-service.com,» 2001. [Internett]. Available: <https://www.techcorp-services.com.au/wp-content/uploads/2019/05/Masterpact-ME-Test-Kit.pdf>. [Funnet 2 April 2022].
- [34] IKM, «ikmwebshop.no,» IKM, [Internett]. Available: <https://www.ikmwebshop.no/sverker-650-releverntester-230v> . [Funnet 4 Mars 2022].
- [35] N. Switchgear, «GE THYRITE PROTECTOR UNUSED SURPLUS FOR CURRENT TRANSFORMER SECONDARY,» [Internett]. Available: https://nationalswitchgear.com/Products/GE-THYRITE-PROTECTOR-UNUSED-SURPLUS__001-980.aspx. [Funnet 5 April 2022].

Vedlegg A - E-post fra Metrosil

Hello,

I am looking into protection of current transformers secondary in offshore platforms for my school assignment. In which part of the grid is the CTPU normal to install? By that I mean high voltage switchgears, mediumvoltage, low voltage switchgears etc.

Best Regards

Helge Hummervoll

Hello Helge,

Thank you for your interest in Metrosil Current Transformer Protection Units:

<https://metrosil.com/products/current-transformers/>

Metrosil CT Protection devices are generally installed everywhere access to CT's is difficult or critical, such as HV GIS CT's, they are certainly not limited to this however.

You will find Metrosil CTPU devices anywhere the CT Secondary can reach dangerous crest voltages under fault conditions (when the secondary winding is left in an open circuit condition, while the primary is still energised)

On electrical networks under non fault conditions the secondary winding of CT's are generally very low voltage, and should be kept that way.

Under fault conditions, depending upon the CT primary and turns ratio, large voltages can develop, which could breakdown the CT insulation and potentially cause a fire.

There is an IEEE publication for Instrument Transformers IEEE C57.13, in this publication Section 6.7.1 makes it a mandatory requirement for the secondary winding to be protected under certain conditions.

Below is a direct quote from this standard...

...Current transformers should never be operated with the secondary circuit open because hazardous crest voltages may result...

And goes on to say *...When the open circuit voltage exceeds 3500 V peak, the secondary winding terminals should be provided with voltage limiting devices (varistors).*

The standard also mentions spark gap protection, while these devices might be acceptable in some applications, we usually find they emit too much electromagnetic noise, and can start to fail or seriously effect protection under repetitive fault conditions.

For these reasons Metrosil CTPU varistors are used where the IEEE practice mandates it and also where critical network protection is required.

I hope this is useful for your project.

Kind Regards

Dominic

Hello Dominic,

Thank you. What voltage level will CTPU limit to?

And the CTPU enclosures, is that because the CTPU will get very hot?

Best Regards

Helge Hummervoll

Hello Helge,

See this [Metrosil CTPU Datasheet](#), the limit or clamping voltage (when referred to a varistor) standard range is shown in table 4 on page 3.

