

DSO - Drift, Styring og Overvågning af elforsyningen

Del 1.

Kapacitiv spændingsmåling

Af

Peter Johansen,
www.jomitek.dk

Denne artikelserie omhandler emnet DSO, primært for mellemspændingsnettet. Artiklerne gennemgår måleteknikker og fjernkontrol.

Første del omhandler mest spændingsmåling, anden del strømmåling og tredje del fjernkontrol og DSO strategier.

DSO præcision

Når det gælder driftmålinger på distributionsnettet, er der ikke behov for den store præcision som ved afregningsmålinger. Analoge målinger med 2-5% nøjagtighed er rigeligt til at kunne beslutte service og omlægninger i nettet.

Denne mere beskedne præcision åbner mulighed for at nye målemetoder og ukalibrerede installationer.

Fasemåling

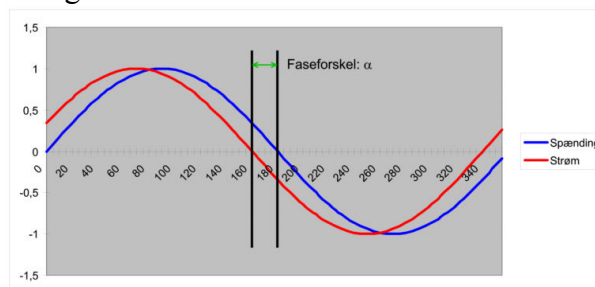
Skal man måle hvad vej energien løber mellem 2 punkter i et højspændingsnet, må man kende strømmens og spændingens fase i forhold til hinanden. Energiretningen er særligt interessant i kortslutningssituationer i net med flere forsyningskilder. En retningsvisende kortslutningsindikering kan pege mod et fejlsted med det samme. Måling af reaktiv effekt kræver ligeledes at man kender faseforholdene mellem strøm og spænding.

Den reaktive effekt er :

$$Q = U \times I \times \sin(\alpha),$$

hvor α er vinklen mellem strømmen og spændingen

Se figur 1

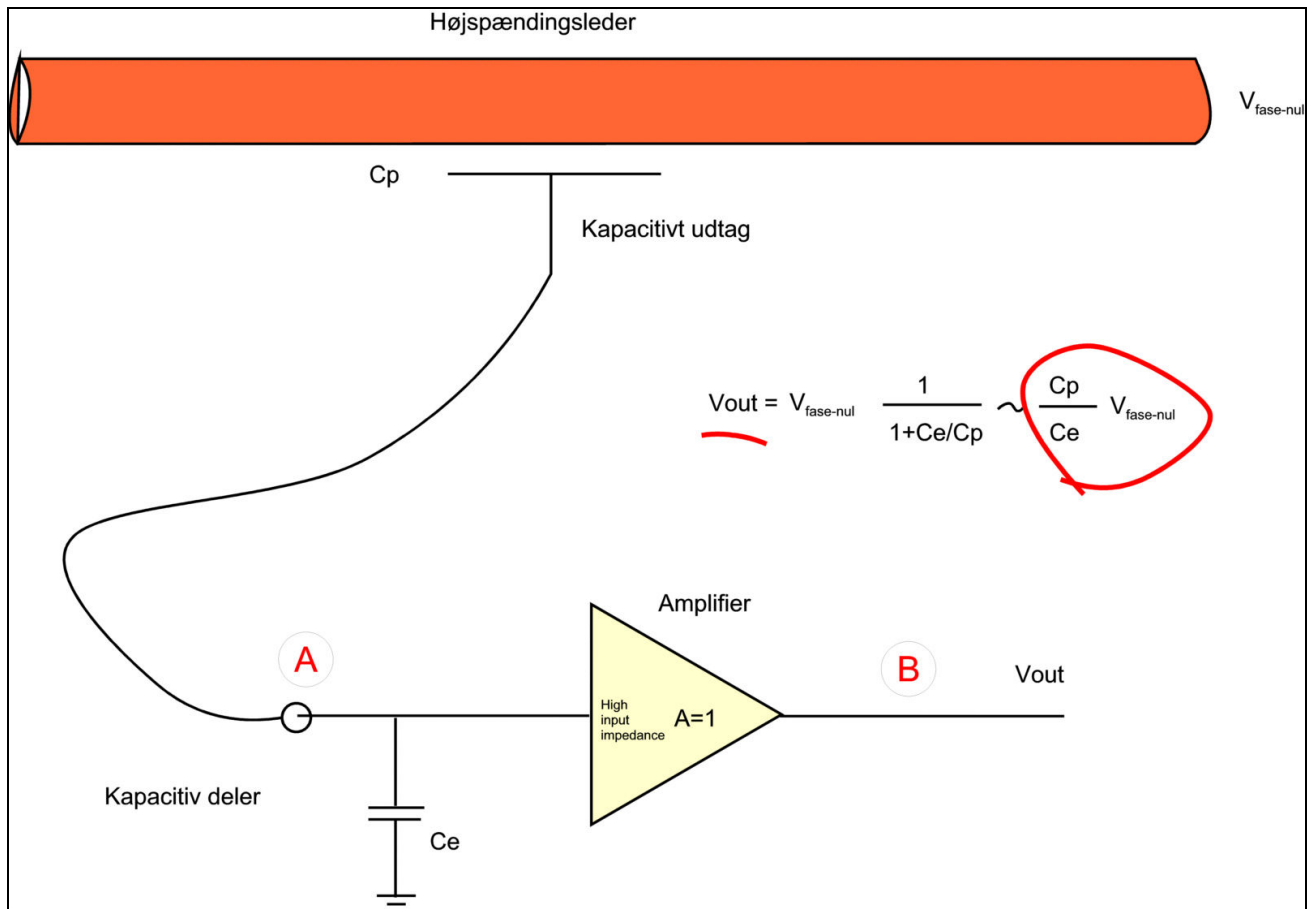


Figur 1

Det er derfor vigtigt, at man kan måle og sammenligne fasedrejningen mellem strøm og spænding.

Spænding måler man traditionelt med en spændingstransformer. Ja det er jo den vante metode.

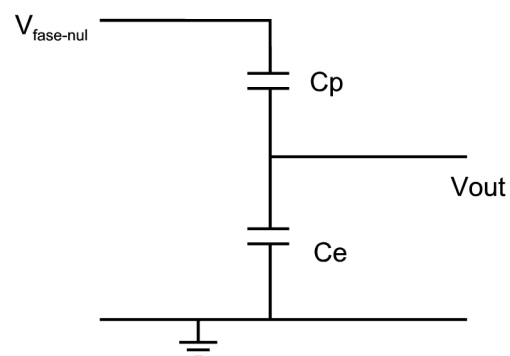
Kapacitiv spændingsmåling



Figur 2

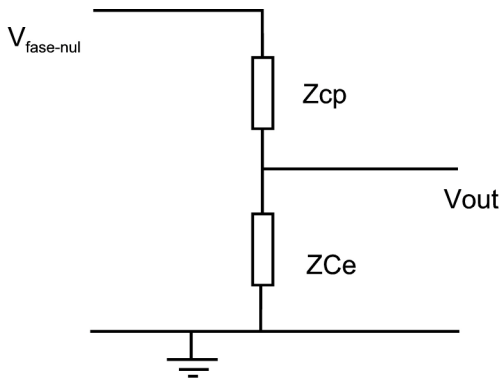
En isoleret metalplade i nærheden af en højspændingsleder vil få et spændingsniveau som højspændingslederen. Den vil virke som en kondensator, hvor den ene side er højspændingslederen og den anden side er den uforbundne metalplade.

Hvis nu man forbinder denne 'kondensator' med en traditionel kondensator til jord, har man en forbindelse som på fig 3.



Figur 3

En kondensator er en impedans. Dens modstand er afhængig af frekvensen. Dens modstand er udtrykt ved formlen $Z = 1 / (2 \times \text{PI} \times f \times C)$, hvor f er frekvensen og C er kapaciteten.



Figur 4

Fig 4 udtrykker fig 3 som impedanser. Nu har vi en spændingsdeler. Spændingsdeleren har en udgangsspænding:

$$V_{out} = V_{fase-nul} \frac{1}{1 + Z_{cp}/Z_{Ce}}$$

$$Z_c = \frac{1}{2 \pi f C}$$

Figur 5

Erstatter vi Z-impedanserne med de capacitive impedanser bliver udregningen:

$$V_{out} = V_{fase-nul} \frac{1}{1 + C_e/C_p} \sim \frac{C_p}{C_e} V_{fase-nul}$$

Figur 6

Bemærk at der i formelen nu ikke er en frekvens. Spændingsdeleren er dermed helt uafhængig af frekvensen.

Frekvensen

Jamen har vi da ikke altid 50Hz eller deromkring at arbejde med? Jo – men ikke når vi ser på fejlsituationer eller på koblingssituationer. Når der sker indkoblinger og udkoblinger vil vi se at den pæne 50Hz kurve vil få nogle 'hak' og 'kanter' og spring. Måleteknisk vil vi gerne have alle disse informationer med, og det får vi netop med denne capacitive spændingsdeler, da den ikke ødelægger målesignalet på nogen måde. En traditionel måletransformer eller sekundærsiden af en højspændingstransformer

fjerner altid de højere frekvenser fra målingen.

Faseforhold

En anden vigtig egenskab ved den capacitive spændingsdeler er faseforholdene. Ved den rene capacitive deling får vi heller ingen faseforskydning, heller ikke ved andre frekvenser end 50Hz.

Herved er den capacitive spændingsmåler også transformerne langt overlegen.

Konklusionen er derfor, at den capacitive spændingsdeler giver et 100% korrekt billede af det der sker på højspændingsfaselederen.

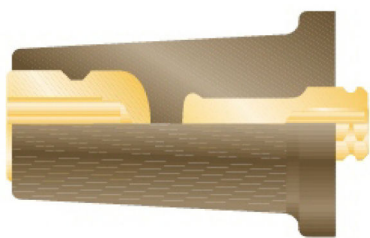
Praktiske kapaciteter

Distributionsnettets spændinger på 10-36kV stiller som altid visse isolationstekniske krav. Vi har et antal forskellige muligheder for praktiske capacitive udtag. En oplagt type er de udtag på vinkelstik som oprindeligt var tiltænkt en spændingstest.



Figur 7

Det capacitive udtag er opbygget af typisk 2 messingstykker som vist på fig 8. Man kan regne lidt på kapaciteten ud fra formelen: $C = \epsilon \times A / a$, hvor A er arealet af pladerne og a er afstanden mellem pladerne.

**Figur 8**

Typisk er kapaciteten for vinkelstikkene på 2,0pF. Det er jo en meget lille kapacitet, men jorder vi denne kapacitet med 2nF får vi et spændingsdeling på ca 1000 gange. En faselederspænding på 10kV / kvadratrod(2) = 7072V bliver neddelte til ca 7V og dermed en spænding vi let kan håndtere i måle-PLC'en.

Sikkerhedsforhold

En kapacitet på 2pF kan kun indeholde en meget lille elektrisk ladning $Q (= C \times U)$. Denne elektriske ladning udgør end ikke en personmæssig risiko. Alligevel kan vi jo godt tænke os om, da et kapacitivt udtag, der ikke er jordet gennem vores målekapacitet vil have fasespændingen direkte på udtaget (dog uden nogen særlig ladning). Utilsluttede udtag skal derfor altid jordes.

Elektriske feltforhold

Nogle fabrikater af vinkelstik godkender, at jordingen af det kapacitive udtag finder sted uden en jordet kappe, mens andre er mere tøvende. Derfor anbefales en skærmet tilslutning som vist på fig 9.

**Figur 9**

Gennemføring med kapacitet

Et andet udmærket sted at placere den kapacitive plade mod faselederen er i den støbte gennemføring, hvor faselederen monteres på den udvendige side og bryderen tilsluttes den indvendige side. Se figur 10

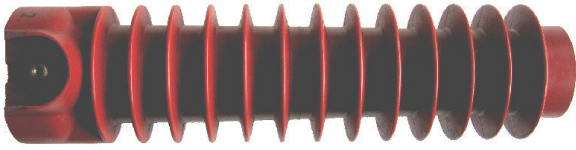
**Figur 10, Gennemføring med indbygget kapacitet (Fab. ABB) foto fra lab.test**

Kapacitive isolatorer

Det kan i nogle tilfælde ikke lade sig gøre at få adgang til vinkelstikudtag. Derfor må vi anvende isolatorer med en indbygget kapacitet sådan at disse kan kobles direkte på

en åben faseleder på enten bryderen eller på transformerens højspændingsside.

Næste artikel vil omhandle fasekorrekte strømmålinger.



Figur 11

Kapaciteten i disse isolatorer er som regel noget større end for vinkelstikkene, nemlig 50-100pF.

Det giver nogle større ladninger at håndtere, men en passende ekstra sikkerhedsjording gør dette alternativt fint brugbart.

De kapacitive isolatorer er oftest opbygget af en keramisk kapacitet, der kan udvise en smule ulinearitet, men til almindelige DSO formål er det uden betydning.

Nye målemuligheder

Den capacitive målemetode giver nye muligheder for at måle de harmoniske f.eks. op til den 50ende harmoniske, dvs 2.500Hz. Med passende kalibrering kan der måles med en meget stor præcision.

Ved måling af partielle udladninger (PD) er denne målemetode også velegnet, fordi de mest interessante frekvenser strækker sig op til flere hundrede kHz.



Figur 12, Måleforstærker for måling ved høje frekvenser

DSO - Drift, Styring og Overvågning af elforsyningen

Del 2.

Strømmåling

Af

Peter Johansen,
www.jomitek.dk

Dette er anden artikel i artikelserien om emnet DSO, primært for mellemspændingsnettet. Artiklerne gennemgår måleteknikker og fjernkontrol.

Første del omhandlede mest spændingsmåling, anden del omhandler strømmåling og tredje del fjernkontrol og DSO strategier.

DSO præcision

Når det gælder driftmålinger på distributionsnettet, er der ikke behov for den store præcision som ved afregningsmålinger. Analoge målinger med 2-5% nøjagtighed er rigeligt til at kunne beslutte service og omlægninger i nettet.

Denne mere beskedne præcision åbner mulighed for at nye målemetoder og ukalibrerede installationer.

Fasemåling

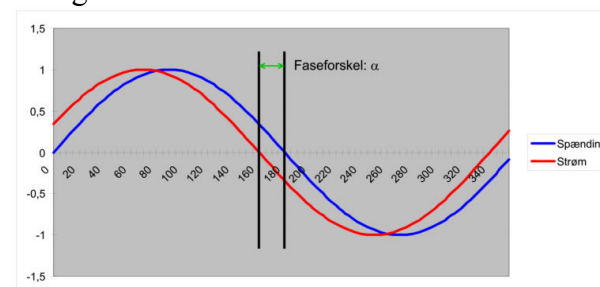
Skal man måle hvad vej energien løber mellem 2 punkter i et højspændingsnet, må man kende strømmens og spændingens fase i forhold til hinanden. Energiretningen er særligt interessant i kortslutningssituationer i net med flere forsyningskilder. En retningsvisende kortslutningsindikering kan pege mod et fejlsted med det samme. Måling af reaktiv effekt kræver ligeledes at man kender faseforholdene mellem strøm og spænding.

Den reaktive effekt er :

$$Q = U \times I \times \sin(\alpha),$$

hvor α er vinklen mellem strømmen og spændingen

Se figur 1



Figur 13

Det er derfor vigtigt, at man kan måle og sammenligne fase drejningen mellem strøm og spænding.

En præcis information om spændingens fase opnås bedst med en kapacitiv spændingsmåling som omtalt i den tidligere artikel.

Strøm måler man traditionelt med en strømtransformer. Ja det er jo den vante metode.

Strømmålemetoder

Med en traditionel strømmåletransformer f.eks. med et omsætningsforhold på 100A:1A eller 1000A:1A giver en præcis amplitudemåling ved 50Hz.

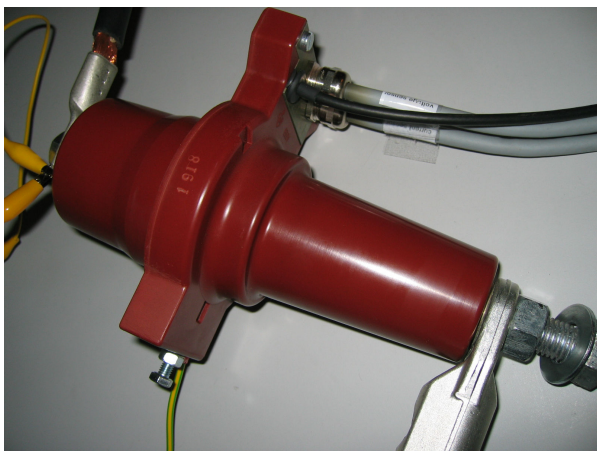
Faseinformationen er noget mere tvivlsom, da der normalt sker en fase drejning i transformeren.

Måletransformere

Der findes dog udmærkede måletransformere, hvor primærviklingen er faselederen. Sekundærviklingen er en Rugowskispole. Disse måletransformere udviser oven i købet en forholdsvis flad frekvenskarakteristik op til

flere kHz. Det er dog ikke almindeligt at kunne få data ud af fabrikanterne for andre frekvenser end 50/60 Hz. Ved en nærmere laboratorietest af disse måletransformere ses, at måleresultaterne er afhængige af, at faselederen er placeret i centrum af transformerspølen. Derudover er frekvenskarakteristikken meget varierende afhængigt af belastningsimpedansen. Netop frekvenskarakteristikken interesserer os, fordi den får betydning for målesignalet ved strømtransienter. Transienterne indeholder typisk et bredt spektrum af frekvenser. Hvis følsomheden for transformeren stiger ved højere frekvenser – hvilket ofte er tilfældet – risikerer man at tro, at der f.eks. er en strøm over et kortslutningsniveau og man risikerer en fejlalarm.

Et eksempel på en integreret strømmåletransformer finder man i den på figur 14 viste gennemføring (Fab. ABB).



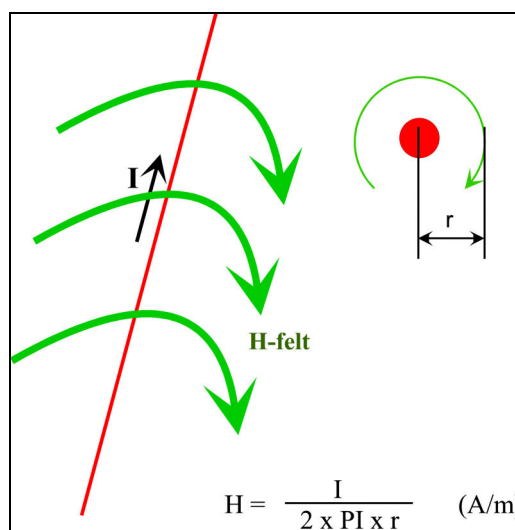
Figur 14, Kombisensor med udtag for spænding og strøm, Lab. foto.

Nyere strømmålemetoder

Alle strømmåletransformatorer har en vis fysisk størrelse og skal kobles enten i serie med faselederen eller sættes omkring faselederen. Det kan være upraktisk og dyrt af flere årsager. Det er derfor værd at se nærmere på sensorer, der måler på det magnetfelt som en løbende strøm altid vil generere.

H-felt målinger.

Omkring enhver strømførende leder opstår der et magnetfelt som vist på figur 15.



Figur 15

Som det ses af formelen i figur 15 er H-feltet i en given afstand fra centrum af faselederen proportionalt med den strøm, der løber i faselederen. Denne ligefremme proportionalitet sikrer, at det man måler er et ægte udtryk for strømmen inklusiv frekvens- og faseforhold.

H-felter kan måles med halvledersensorer.

Der har også været prøvet med optiske sensorer, men de er relativt følsomme overfor rystelser og kræver kalibrering.

Halvledersensorer er meget følsomme og kan placeres i en passende afstand fra faselederen. Halvledersensorerne er i princippet med jordpotentiale, så de skal blot placeres med en passende isolationsafstand.

H-felter er meget vanskelige at stoppe. Selv skærme af aluminium eller kobber eller jern, stopper ikke feltet nævneværdigt. Der kan dog opstå cirkulationsstrømme i skærmmaterialer, der kan påvirke målbart, hvis der er tale om mange millimeter tykke skærmmaterialer.

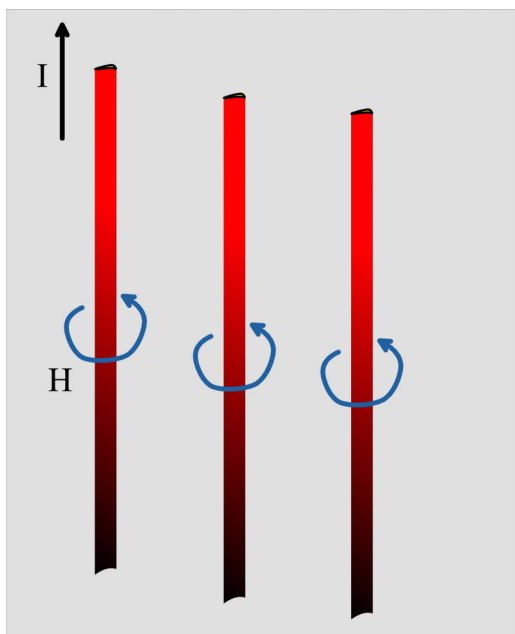
Skærmede kabler

Om der måles på skærmede eller uskærmede kabler er således ligegyldigt for måling af faselederstrømmen. Netop i fejlsituation kan

man risikere, at der løber en strøm i kabelskærmen. En skærmstrøm vil også generere et H-felt og hvis der f.eks. løber den samme strøm frem i faselederen og retur i skærmen, vil det resulterende H-felt blive 0 ! Derfor skal det altid vurderes om der skal foretages en aflastende jording inden sensoren eller om der skal opbygges en returjording forbi sensoren, men det er som regel til at overse.

3-fase målinger

Mange kabler afsluttes med alle 3 faseledere i nærheden af hinanden. Det medfører, at H-felterne fra de enkelte strømveje bliver blandet sammen. Se figur 16.



Figur 16, H-felt fra 3 faseledere

Reyroll

De gamle Reyroll anlæg er et godt eksempel på en anlægstype, hvor det kun er halvledersensorer, der er velegnede til at måle strømmene i de enkelte faseledere, da kabelafslutningen er en stor fedtfyldt kappe, der ikke er tilgængelig. Men udefra kan man måle de H-felter som fasestrømmene medfører. Felterne bliver sammenblandet og noget fasevredet, men det retter den

indbyggede microprocessor op på med en passende matematik. Nøjagtigheden er for denne type sensor 3-5% på amplituden og indenfor 5 grader for fasen, hvilket er fint til DSO formål.



Figur 17, Reyroll med strømsensor

Montørkrav

Sensorer må ikke sidde i vejen for almindeligt kabelarbejde og kalibrering er et fy-ord. Det er meldingen fra flere selskabers montører og installatører.

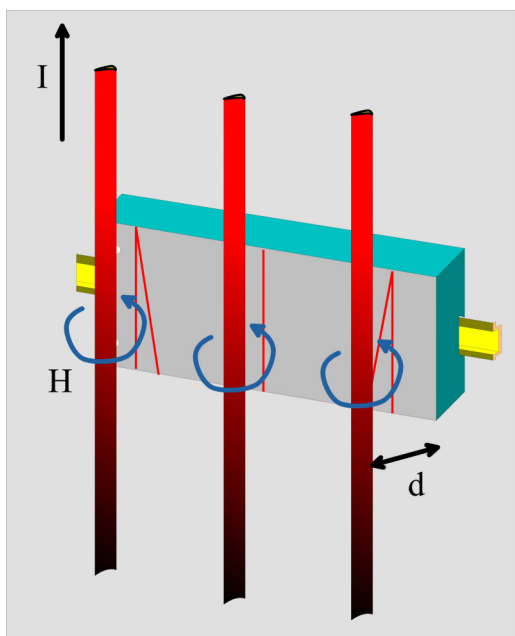
Særligt i kompaktanlæg er der ikke plads til ret meget måleudstyr, men løsningen er alligevel nærliggende – nemlig en halvlederbaseret sensor placeret bag kablerne og i en afstand, der opfylder alle afstandskrav og krybestrømskrav uanset om det er en skærmet eller en uskærmet installation.

Den ultimative sensor

Sensoren skal kunne klare det hele – måle strøm, måle spænding, beregne effekt, beregne kvar, indikere energiretning og give alarm ved kortslutning og ikke mindst kunne angive retningen for en kortslutning og som kronen på værket skal det hele sendes hjem til det centrale overvågningssystem.

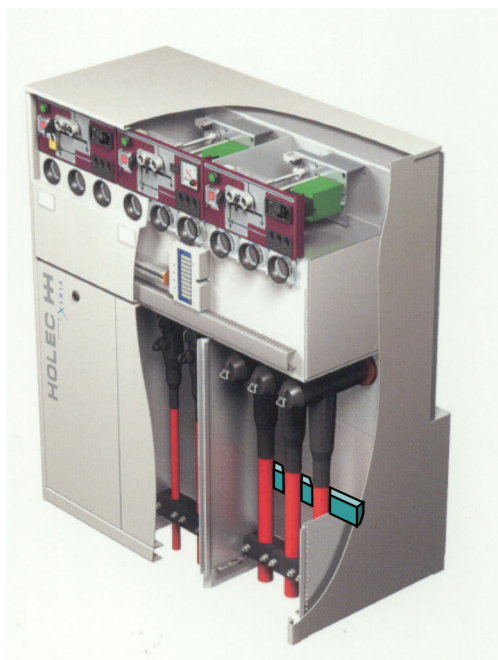
Firmaerne ABB i Norge og Eaton/Holec i Holland har stillet deres kompaktanlæg til rådighed for dansk udvikling af sensoren og resultaterne er forbavsende gode set i lyset af

de noget indviklede feltforhold inde i et kompaktanlæg.



Figur 18

En ting ligger heldigvis helt fast i et kompaktanlæg, nemlig afstanden mellem bagpladen i feltet og den lodrette kabelføring som vist på fig 18.

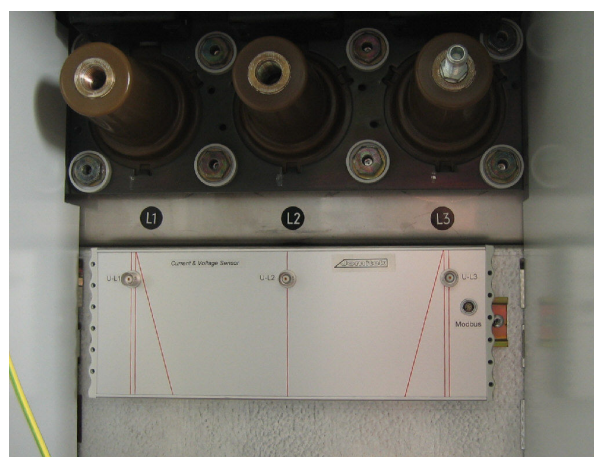


Figur 19, Xiria anlæg med skitseret sensorplacering

Matematik

Resten er ren matematik – måske ikke den simpleste matematik – men det er jo lige meget, bare udstyret virker og er stabilt overfor alle både tænkelige og utænkelige driftssituationer.

Ikke mindst stabilitet overfor kortslutningsalarmer er vigtig. Det er besluttet at en kortslutning skal være tilstede i mindst 2 50Hz perioder, før sensoren må give alarm. Hermed undgås alarmer som kunne komme som en følge af koblinger i nettet.



Figur 20, sensorboks i ABB SafePlus felt

Den næste og foreløbig sidste artikel i denne serie fortæller om, hvordan de digitale signaler håndteres og hvordan kommunikationen med den centrale overvågning finder sted.