

(12) PATENT

(19) NO

(11) 338774

(13) B1

NORGE

(51) Int Cl.

G01R 31/08 (2006.01)

G01R 29/18 (2006.01)

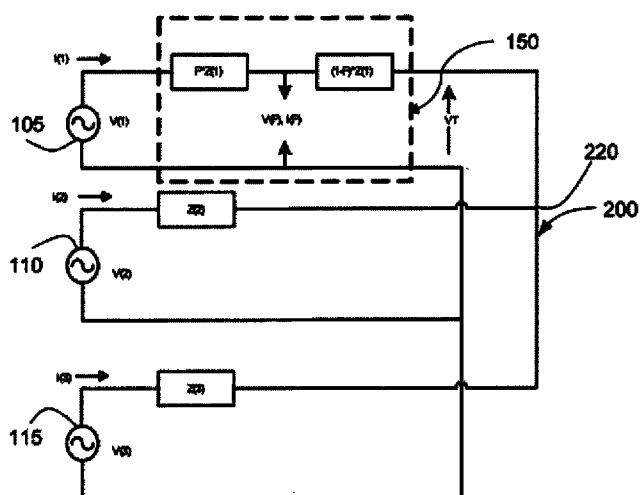
Patentstyret

(21)	Søknadsnr	20076599	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr	
(22)	Inng.dag	2007.12.20	(85)	Videreføringsdag	
(24)	Løpedag	2007.12.20	(30)	Prioritet	2006.12.22, US, 11/615,103
(41)	Alm.tilgj	2008.06.23			
(45)	Meddelt	2016.10.17			

(73)	Innehaver	General Electric Co, 1 River Road, US-NY12345 SCHENECTADY, USA
(72)	Oppfinner	William J Premerlani, 133 Woodhaven Drive, US-NY12302 SCOTIA, USA Bogdan Z Kasztenny, 31 Sir Brandiles Place, CA-ONL3P2Z4 MARKHAM, Canada Mark G Adamiak, 1423 Berwyn-Paoli Road, US-PA19301 PAOLI, USA
(74)	Fullmektig	Tandbergs Patentkontor AS, Postboks 1570 Viken, 0118 OSLO, Norge

(54)	Benevnelse	Flerendet feillokaliseringssystem
(56)	Anførte publikasjoner	JOE-AIR JIANG ET AL: "A New Protection Scheme for Fault Detection, Direction Discrimination, Classification, and Location in Transmission Lines", IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, IEEE SERVICE CENTER, NEW YORK, NY, US, vol. 18, no. 1, 1 January 2003 (2003-01-01), XP011078917, ISSN: 0885-8977, DOI: 10.1109/TPWRD.2003.809882 CALERO F: "Rebirth of negative-sequence quantities in protective relaying with microprocessor-based relays", PROTECTIVE RELAY ENGINEERS, 2004 57TH ANNUAL CONFERENCE FOR COLLEGE STATION, TEXAS, USA, PISCATAWAY, NJ, USA, IEEE, 1 January 2004 (2004-01-01), pages 190-219, XP010698085, ISBN: 978-0-7803-8432-3 WO 9811641 A2 US 4275429 A
(57)	Sammendrag	

Et system og en fremgangsmåte for å stedfeste feil på kraftsystemoverføringslinjer med flere tilkoplingspunkter ved anvendelse av synkroniserte vektormålinger for nøyaktig å bestemme feilbeliggenhet og feilimpedans uavhengig av feiltype, feilresistans og kopling til andre nærliggende kraftsystemoverføringslinjer.



Fagområde og bakgrunn for oppfinnelsen

Fagområdet for oppfinnelsen angår identifikasjon og stedfestelse av feil i elektriske kraftoverføringslinjer.

5 Evnen til å bestemme nøyaktig beliggenheten av feil i kraftsystemlinjer og å estimere den omtrentlige feilimpedans er viktig siden de muliggjør rask ekspedering ved mannskapet i feltet, samt raskere inspeksjon og kortere reparasjonstid som alle fører til raskere gjenoppbygging av den berørte overføringslinje. Samtidig er nøyaktig feilstedfestelse en teknisk utfordring hovedsakelig siden feilstedfestingsestimeringen er
10 gjort basert på svært begrenset mengde av informasjon som kun er samlet inn ved linjetilkoplingspunktene. Problemer som må løses omfatter modellering med endelig nøyaktighet av overføringslinjer, instrumentmålefeil, feil i estimeringen av linjeparametere og systemmodeller, kopling til nærliggende kraftsystemoverføringslinjer, ukjent og ofte ikke-lineære feilresistans, endelig varighet
15 av feil som resulterer i kortidsramme av tilgjengelige data.

Feilstedfestelse er vanligvis utført som et supplement til virkemåten for avstandsbaserte beskyttelsesreleer for kraftsystem. Den vanligste tilnærming benytter spenning og strømmålinger fra et enkelt linjetilkoplingspunkt for å estimere feilstedfestelsen ved anvendelse av ulike antakelser og approksimasjoner. Slike tilnær-
20 melser er relatert til enkelavsluttede fremgangsmåter og er ikke veldig nøyaktige. Mangelen på absolutt nøyaktighet er hovedsakelig et resultat av å ha flere ukjente enn likninger som kunne ha blitt utledet fra linjen og systemmodellen basert på målinger fra en ende av linjen. Som et resultat er antakelser gjort. Ulike antakelser gir ulike enkelavsluttede feilstedfestelsesfremgangsmåter. Når antakelsen er tilfredsstilt i en gitt
25 feilsituasjon er feilstedfestelsesresultatet nøyaktig. Hvis antakelsen ikke er tilfredsstilt vil en iboende, og noen ganger svært betydelig, feil i fremgangsmåten oppstå.

Feilstedfestelsessystemer som anvender informasjon fra mer enn ett linjetilkoplingspunkt er referert til som fleravsluttede feilposisjonsindikatorer. En fleravsluttet feilposisjonsindikator fjerner hovedsvakheten med en enkel avsluttet
30 tilnærming, men den krever at kommunikasjonskanaler omfordeler data fra geografisk spredde linjetilkoplingspunkter til en enkel beliggenhet hvor de aktuelle feilstedfestelsesberegninger utføres. Noen fleravsluttede feilstedfestelsesfremgangsmåter krever også synkronisering av dataene mellom linjetilkoplingspunktene. Disse to betingelser gjør de fleravsluttede feilstedfestelsesfremgangsmåter vanskelig å iverk-
35 sette. For eksempel beskriver US patent 6 256 592 et fleravsluttet system for stedfestelse av feil på en kraftlinje ved anvendelse av størrelsesverdien av den negative sekvensstrøm, og størrelse- og vinkelverdier av den negative sekvensimpedans ved tidspunktet når feilen oppstår. Størrelse- og vinkelinformasjon er overført mellom to tilkoplingspunkter av det fleravsluttede system slik at feilstedfestelsespunktet kan

bestemmes fra informasjonen. US patent 6 256 592 anvender den negative sekvensstrøminformasjon for å fremstille resultater i nær sanntid ved å redusere mengden av data som må overføres mellom tilkoplingspunkter. US patent 6 879 917 anvender positive eller negative sekvensstrømmer og spenninger for å stedfeste feil. De fleste feiltyper er behandlet av patentets negative sekvensfremgangsmåte. Trefasebalanserte feil fremstiller ikke noen negative sekvenssignaler, noe som gjør at den negative sekvensfremgangsmåte av US patent 6 879 917 er ubrukbar. Av denne grunn legger den nevnte patenterte fremgangsmåte til de positive sekvensbaserte likninger for å fjerne denne svakhet. Som et resultat må to sett av beregninger kjøres i parallell, eventuelt at en grov feiltypeidentifikasjon må utføres.

I dokumentet av JOE-AIR JIANG ET: "A New Protection Scheme for Fault Detection, Direction Discrimination, Classification, and Location in Transmission Lines", IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, IEEE SERVICE CENTER, NEW YORK, NY, US, vol. 18, no. 1, 1 January 2003 (2003-01-01), XP011078917, ISSN: 0885-8977, DOI: 10.1109/TPWRD.2003.809882, beskrives en adaptiv PMU-basert feildeteksjon/lokasjonsteknikk.

I dokumentet av CALERO F: "Rebirth of negative-sequence quantities in protective relaying with microprocessor-based relays", PROTECTIVE RELAY ENGINEERS, 2004 57TH ANNUAL CONFERENCE FOR COLLEGE STATION, TEXAS, USA, PISCATAWAY, NJ, USA, IEEE, 1 January 2004 (2004-01-01), pages 190-219, XP010698085, ISBN: 978-0-7803-8432-3, beskrives anvendelse av negative sekvensparametre tilsvarende positive sekvens impedans i beregningen av feillokasjoner.

Behovet for feiltypeidentifikasjon er en svakhet for sanntidssystemer med begrenset kommunikasjonsbåndvidde. Den fjerntliggende del av posisjonsindikatoren trenger å sende både negative og positive sekvensbaserte signaler, eventuelt at de to deler av posisjonsindikatoren må virke feilfritt hva angår feiltypeidentifikasjon. Hvis en del sender den negative sekvensbaserte informasjon, mens den andre del kombinerer den med den positive sekvensbaserte informasjon, vil betydelige feil i feilavstandsestimeringen oppstå.

En typisk enkel- eller fleravsluttet feilposisjonsindikator krever kunnskap om feiltypen, dvs. hvilke og hvor mange ledere som er involvert i feilen, kunnskap om den gjensidige kopling til nærliggende linjer beliggende på eller i nærheten av de samme høyspentmaster, og noen andre tilleggsinformasjoner. Disse ekstra faktorer er funnet ved atskilte prosedyrer, og dersom de er overbrakt til hovedfeilstedfestelsesprosedyren med feil vil de påvirke den samlede feilstedfestelsesnøyaktighet.

Et behov eksisterer fortsatt for andre fremgangsmåter som nøyaktig bestemmer feilbeliggenheten på en kraftoverføringslinje, noe som kan ytterligere redusere feil og for raskt å gi resultater etter en feil. For fleravsluttede systemer som virker i sann eller

nær sann tid, slik som posisjonsindikatorer integrert inn i beskyttelsesreleer, er det viktig å begrense båndviddekravene for kommunikasjon, og særlig mengden av informasjon som kreves sendt mellom ulike tilkoplingspunkter på overføringslinjen.

Kort beskrivelse av oppfinnelsen

5 I henhold til den foreliggende oppfinnelse er det tilveiebragt et deteksjonssystem for feilstedfestelse som angitt i krav 1 og en fremgangsmåte for å detektere feilbeliggenhet som angitt i krav 7.

Et deteksjonssystem for feilstedfestelse ifølge en realisering av oppfinnelsen anvender synkroniserte vektormålinger (eng: synchronized phasor measurements) av
10 entydig utviklede komposittstrømmer og spenninger fra alle ender av en kraftoverføringslinje, og fundamentale nettverkslikninger. Systemet er anvendbart til overføringslinjer med to eller flere tilkoplingspunkter. Ved anvendelse av kun de spesielt fremstilte komposittsignaler krever fremgangsmåten ikke kunnskap om feiltype, feilresistans, mengden av gjensidig kopling med nærliggende linjer eller
15 nullsekvensimpedansen av den gitte linje. Evnen til å overse den siste verdi gjør at fremgangsmåten er svært anvendbar for anvendelser på kabellinjer hvor nullsekvensimpedansen varierer og er vanskelig å håndtere.

I en videre realisering av oppfinnelsen er feilimpedansen estimert når feilen er stedfestet. I ytterligere enn en annen realisering av beliggenheten er systemet
20 kompensert for effektene av linjeladingsstrømmer.

De ulike nyhetstrekk som karakteriserer oppfinnelsen er vist til, med særegenheter i kravene som er vedlagt og danner en del av denne beskrivelse. For bedre å forstå oppfinnelsen, dets driftsfordeler og nytte som oppnås ved dets anvendelse, er henvisning gjort til de vedlagte tegninger og beskrivende materiale. De
25 vedlagte tegninger har som hensikt å vise eksempler på de mange utførelser av oppfinnelsen. Tegningene har ikke til hensikt å vise begrensningene på alle måter oppfinnelsen kan fremstilles og anvendes. Endringer på og tilføyelser til de ulike komponenter av oppfinnelsen kan selvfølgelig gjøres. Oppfinnelsen innehar også subkombinasjoner og subsystemer av de beskrevne elementer, og fremgangsmåter som
30 anvender dem.

Kort beskrivelse av tegningene

Fig. 1 er et skjematisk kretsdiagram av et feildeteksjonssystem med to tilkoplingspunkter ifølge en realisering av oppfinnelsen,

fig. 2 er et skjematisk kretsdiagram av et feildeteksjonssystem med tre
35 tilkoplingspunkter ifølge en annen realisering,

fig. 3 er et skjematisk kretsdiagram av en feilresistansmodell for to tilkoplingspunktkretser på fig. 1,

fig. 4 er et skjematisk kretsdiagram av en komposittsignalmodell av type ladningsstrømkompensasjon ifølge en videre realisering, og

fig. 5 er et modifisert skjematisk kretsdiagram av komposittsignalmodellen av type ladningsstrømkompensasjon på fig. 4.

Detaljert beskrivelse av oppfinnelsen

Det her realiserede feildeteksjonssystem av oppfinnelsen er basert på ideen at synkronisert spennings- og strømmålinger ved alle ender av overføringslinjen gjør det mulig å anvende nettverkslikninger direkte for å beregne feilbeliggenheten uten antakelser eller tilnærmelser kun ved anvendelse av komposittsignaler og forbundet nettverk. Komposittsignaler er frembrakt på en slik måte at det eksisterer uavhengig av feiltypen en forstyrrelse i komposittsignalene. Komposittspenningen ved feilen kan beregnes fra hver ende av linjen ved subtrahere fallet i linjen til feilen fra spenningen ved den enden ved anvendelse av komposittspenningene ved tilkoplingspunktene, komposittstrømmer og egnet impedans. Det finnes flere likninger i denne komposittsignalmodell enn det finnes ukjente. Det er derfor mulig å finne en løsning for feilbeliggenheten som vil stemme overens med feilspenningsestimatene som er gjort fra alle ender av linjen. Dette forenkler systemet og gjør det svært nøyaktig ved å fjerne både antakelser og modellparametere som kan ha iboende nøyaktighetsbegrensninger slik som nullsekvensimpedansen av linjen. Systemene og beregningene for to-ende- og tre-endesystemer er like og vil bli beskrevet videre her, først som oversikt og så ved henvisning til de vedlagte tegninger.

To-endesystemet iverksetter en algoritme for målinger separat på hvert tilkoplingspunkt. Hvert resultat er tilstrekkelig for å stedfeste feilen. Begge tilkoplingspunkter vil beregne eksakt den samme feilbeliggenhet siden de anvender eksakt de samme likninger anvendt på de samme data. Dette kan sammenfattes med at beregningene er symmetriske hva angår identiske likninger iverksatt på begge ender av linjen, og overflødig hva angår resultatene som blir igjen i det på forhånd kjente forhold. To-endesystemet kan følgelig sammenlikne resultatene av beregningene for å sikre nøyaktighet. I en videre realisering av to-endesystemet kan systemet konfigureres til å videre beregne feilresistans ved hvert tilkoplingspunkt fra feilbeliggenheten, samt lokale målinger, slik at hvert tilkoplingspunkt kan beregne et noe ulikt estimat. De to estimatverdier kan midles for å øke nøyaktighet.

Tre-tilkoplingssystemet iverksetter en algoritme ved hvert tilkoplingspunkt som har informasjon fra alle tre tilkoplingspunkter. I det tilfelle at én kommunikasjonskanal er nede kan dette være kun fra én av de tre tilkoplingspunkter. Systemalgoritmen har to deler, en del som bestemmer hvilket linjesegment som har feil, og en annen del som stedfester feilen på feilsegmentet. Slik som med to tilkoplingssystemet vil algoritmen beregne eksakt den samme feilbeliggenhet fra hvert tilkoplingspunkt. Imidlertid kan hvert tilkoplingspunkt rapportere en svakt forskjellig feilresistans. Nøyaktigheten av feilresistansberegningen kan økes ved å midle den bestemte verdi oppnådd fra hvert tilkoplingspunkt i et videre trinn.

Med henvisning nå til tegningene hvor like henvisningstall er anvendt for å indikere de samme eller beslektede elementer illustrerer fig. 1 et kompositt-signalnettverk 100 for en to-tilkoplingspunkt overføringslinje. En forstyrrelse i komposittsignalnettverket ved feilbeliggenheten mellom henholdsvis første og andre tilkoplingspunkt 105, 110, karakteriserer feilen 150. Feilbeligghetsalgoritmen av systemet trenger ikke eksplisitt å bestemme komposittspenningen av feilen 150. I stedet fjerner det feilspenningen $V(F)$ fra likningene for feilbeliggenhet ved i stedet å anvende annen informasjon.

Systemalgoritmen er basert på de følgende feilmålinger og innstillinger:

$I(1)$ = komposittstrømvektor (eng: composite current phasor) som flyter i linjen ved første tilkoplingspunkt 105

$I(2)$ = komposittstrømvektor som flyter i linjen ved andre tilkoplingspunkt 110

$V(1)$ = komposittspenningsvektor ved første tilkoplingspunkt 105,

$V(2)$ = komposittspenningsvektor ved andre tilkoplingspunkt 110

Z = kompleks linjeimpedans

L = linjelengde mellom første og andre tilkoplingspunkter 105, 110

Komposittsignalene må defineres først. Disse signaler er valgt med det formål å sørge for driftsmengde ulik null for enhver feiltype (symmetrisk, ubalansert, med jording eller isolert fra jord) slik at feiltypeidentifikasjon ikke er krevd før fremstilling av slik komposittdriftssignal. Et annet formål er å fremstille komposittsignalet på en slik måte at effekten av strømmene som flyter mot jord er fjernet. Dette medfører en økning i nøyaktighet med hensyn til gjensidig koplingseffekter med andre linjer. Et ytterligere formål er å fremstille situasjonen med en enkel strøm og spenning slik at minst mulig mengde av data er utvekslet mellom delene for feilbeliggenhetssystemet anordnet ved ulike tilkoplingspunkter av overføringslinjen.

Denne oppfinnelse anvender generalisert Clarke-transform for å representere spenninger og strømmer med den hensikt å stedfeste feil. Den tradisjonelle Clarke-transform virker for både instantan- og vektorverdier og anvender den følgende likning for én av dets komponenter:

$$V = (1/3)*(2*V_A - V_B - V_C) \quad (1)$$

Den ovennevnte likning har en svakhet ved at den nulles ut for BC-feil, og på grunn av dette tilfredsstiller den ikke betingelsen for å fremskaffe et signal som representerer feilen under alle omstendigheter. Likning (1) er derfor generalisert i denne oppfinnelse som følger:

$$V = (1/3)*(2*V_A - b*V_B - (b^*)*V_C) \quad (2)$$

Hvor b er et komplekst nummer som er gitt ved:

$$b = 1 + j \cdot \tan(\alpha) \quad (3a)$$

5 og b^* er en konjugert av b , eller matematisk:

$$b^* = 1 - j \cdot \tan(\alpha) \quad (3b)$$

10 hvor α er en vilkårlig vinkel. Merk at med $\alpha = 0$ blir den generaliserte Clarke-transform av denne oppfinnelse den tradisjonelle Clarke-transform. En spesiell iverksettelse av den beskrevne fremgangsmåte anvender $\alpha = \pi/4$, eller 45° . Imidlertid skal det bemerkes at mange vinkler tilfredsstiller betingelsene for å representere enhver type av feil og som ikke er sensitiv til jordingsstrømkoplingen. Det skal også bemerkes at mange andre kombinasjoner av fasesignalene (A, B, C) skaper 15 betingelsene for å representere enhver type av feil og som ikke er sensitiv til jordingsstrømkoplingen. Denne oppfinnelse gjør krav på en fremgangsmåte hvor et enkelt signal er fremstilt for å representere de tre målte signaler (A, B, C) for feilstedfestelsesformål på en slik måte at jordingsstrømmene ikke påvirker signalet, og at signalet er ikke-lik null for alle feiltyper. Derfor er likninger (1) til (3) kun 20 eksempler, og de fagfolk i feltet kan utlede flere alternativer av denne tilnærmelse.

Både fasestrømmer (IA, IB, IC) og spenninger (VA, VB, VC) ved alle punktene som er av interesse er konvertert til komposittsignalet slik som den generaliserte Clarke-transform ved anvendelse av den samme transformasjonsfremgangsmåte over hele nettverket av interesse. Denne konvertering skjer i anordningen 25 som stedfester feilene, og er utført matematisk på alle signaler når feilbeliggenhetsfremgangsmåten og likningene utledes.

I tilfelle av fasestrømmålinger som er kompensert for overføringslinjens ladningsstrøm er de kompenserte fasestrømvektorer anvendt når komposittstrømsignalene utledes, og de vil tilveiebringe et feilstedstedfestelsestimat som benytter 30 fullt ut fordelene med kompensasjonene. Ladningsstrømeffekter er beskrevet videre under.

Herfra henviser alle beregninger til komposittstrømmene og spenningene.

Det er ønsket å kjenne til feilbeliggenheten i enten fraksjonelle eller absolutte enheter:

35 F = fraksjonell feilbeliggenhet fra første tilkoplingspunkt 105

$D = F \cdot L$ avstand fra første til koplingspunkt 105 til feil 150 beliggenhet

Det skal bemerkes at det ovennevnte rette forhold mellom den fraksjonelle feilbeliggenhet og avstand til feil gjelder homogene linjer, dvs. linjer hvor impedansen er fordelt uniformt langs med lengden av linjen. For ikke-homogene linjer gjelder ikke

det rette forhold. Fremgangsmåten for denne beskrivelse kan imidlertid lett utvides på ikke-homogene linjer. For å forenkle forklaringen er tilfellet for homogene linjer betraktet i den følgende beskrivelse.

$$5 \quad \text{Den fraksjonelle feilbeliggenhet er gitt av: } F = \text{Real} \left[\frac{\frac{V(1) - V(2)}{Z} + I(2)}{I(1) + I(2)} \right] \quad (4)$$

Likning (4) benytter seg av fordelene med overflødighet av dataene. Det finnes flere likninger enn ukjente. Følgelig er en minste midlere kvadrattilpasning (eng: least mean squares fit) anvendt. Likningen er uavhengig av feilens fase, feiltype, feilresistans og null-sekvens-(jordstrøm)-kopling til en eventuell nærliggende overføringslinje.

Det er viktig å forstå verdien på den totale linjeimpedans av overføringslinjen Z anvendt i likning (4). Denne verdi er et kompleksforhold mellom komposittspenningen og komposittstrømmen som er målt ved en ende av linjen med den andre ende i løpet av feil. Merk at feiltypen ikke er relevant, og forholdet vil være det samme uansett feiltypen. I praksis er denne impedans lik den negative eller positive sekvensimpedans av linjen og er lett tilgjengelig.

Likning (4) kan beregnes ved enten eller både første og andre tilkoplingspunkter 105, 110, som fremskaffer eksakt den samme feilbeliggenhets-estimat unntatt når målt fra motsatte ender av linjen. Det vil bli forstått at rollene for de to tilkoplingspunkter 105, 110 er byttet om når tilkomplekspunktet hvor likning (1) er beregnet endres. De to F -verdier bør summere opp til å bli identisk lik 1.

Det kan vises at feilen som produseres av likning (1) som et resultat av måling og parameterfeil er lik halvparten av den verste relative sensorfeil slik som en CT-type innretningsfeil. Dette medfører 2,5-5 % for typiske CT- og feilbeliggenhets-instrumenteringsfeil.

To tilkoplingspunktalgoritmen beskrevet ovenfor er lett utvidet til en tre-tilkoplingspunktsystem 200, slik som vist på fig. 2. Situasjonen for et tre-tilkoplingspunktsystem 200 er illustrert for det tilfelle hvor feilen 150 er på linjen fra det første tilkoplingspunkt 105 til uttaket 220. Situasjonene for en feil 150 beliggende på en av de andre to linjesegmenter er ikke vist, men kan oppnås ved en syklisk permutasjon av linjeindekser.

De følgende målinger og parametere er antatt å være tilgjengelige:

$I(1), I(2), I(3) =$ komposittstrømvektorer som strømmer i første-, andre- og tredje linjesegmenter

$V(1), V(2), V(3)$ = komposittspenningsvektorer ved første tilkoplingspunkt 105, andre tilkoplingspunkt 110 og tredje tilkoplingspunkt 115

$Z(1), Z(2), Z(3)$ = komplekskomposittimpedans av første-, andre- og tredje linjesegmenter

$L(1), L(2), L(3)$ = linjelengder av første- andre- og tredje linjesegmenter

Målet er selvfølgelig å bestemme hvilket linjesegment som har feil 150, og avstanden av feilen 150 fra den tilsvarende linjetilkoplingspunkt 105, 110, 115. De følgende parametre er anvendt for å bestemme linjen med feil 150 og avstanden fra et gitt tilkoplingspunkt til feilen 150:

N = tilkoplingspunktindeks av det feilrammede linjesegment (=1, 2 eller 3)

F = fraksjonell feilbeliggenhet fra Nth tilkoplingspunkt 105, 110, 115

$D = F \cdot L(N)$ = avstand fra Nth tilkoplingspunkt 105, 110, 115 til feil-150-beliggenhet

Først er tre separate estimater av spenningen ved uttak 220 gjort, hvor betingelse uten feil mellom uttakspunktet og en gitt tilkoplingspunkt er antatt og hvor start er ved hver av de første, andre og tredje tilkoplingspunkter 105, 110, 115. Feilbeligghetsalgoritmen anvender derfor de følgende estimater av uttaksspenningen:

$$\begin{aligned} \mathbf{VT}(1) &= \mathbf{V}(1) - \mathbf{I}(1) \cdot \mathbf{Z}(1) \\ \mathbf{VT}(2) &= \mathbf{V}(2) - \mathbf{I}(2) \cdot \mathbf{Z}(2) \\ \mathbf{VT}(3) &= \mathbf{V}(3) - \mathbf{I}(3) \cdot \mathbf{Z}(3) \end{aligned} \quad (5)$$

hvor $\mathbf{VT}(1)$, $\mathbf{VT}(2)$ og $\mathbf{VT}(3)$ er uttaksspenningene som er beregnet fra hver av hhv. de første, andre og tredje tilkoplingspunkter 105, 110, 115.

Linjesegmentet som omfatter feilen 150 er deretter bestemt. Linjebestemmelsen kan gjøres ved å innse at spenningsfallene rundt en løkke gjennom de feilfrie linjesegmenter vil summeres opp til null. Restspenningsvektorer er beregnet for hver løkke. Løkken med den laveste restspenning omfatter de to feilfrie linjesegmenter. Med andre ord er kun ett linjesegment og de to feilfrie segmenter tillater de to tilkoplingspunkter å estimere den reelle uttaksspenning. Dersom et gitt par av tilkoplingspunkter bestemmer den samme uttaksspenning vil som konsekvens feilen være mellom uttaket og det tredje tilkoplingspunkt. De følgende likninger er anvendt for å beregne de kvadrerte størrelser av restspenningsvektorene i hver løkke som indikatorer:

$$R^2(1) = |\mathbf{VT}(2) - \mathbf{VT}(3)|^2$$

$$\begin{aligned} R^2(2) &= |\mathbf{VT}(3) - \mathbf{VT}(1)|^2 \\ R^2(3) &= |\mathbf{VT}(1) - \mathbf{VT}(2)|^2 \end{aligned} \quad (6)$$

hvor $R^2(1)$, $R^2(2)$ og $R^2(3)$ er de kvadrerte størrelser. Indeksen $N = 1, 2$ eller 3 av linjen som omfatter feil 150 er den samme som den minste restspenningsvektorindikator. I det tilfelle at alle av indikatorene $R^2(1)$, $R^2(2)$ og $R^2(3)$ er omtrentlig like hverandre er da feilen nær uttaket 220.

Når indeksen N av linjen som omfatter feil 150 er bestemt er feilen 150 stedfestet ved anvendelse av en formel utledet for to tilkoplingslinjer matet med data egnet for dette linjesegment. Hver formel oppnås fra enhver av de andre formler ved en syklisk permutasjon av indeksene N . Formlene for hver indeks eller linje er gitt under. Først er et beste stimulat av spenningsvektoren ved uttakspunktet 220 og feilstrømsfordingen fra uttaket 220 beregnet ved anvendelse av strømvektorer og uttaksspenningsestimatene beregnet i likning (5) ovenfor:

$$\begin{aligned} \text{hvis } (N = 1): \quad \mathbf{VT} &= \frac{\mathbf{VT}(2) + \mathbf{VT}(3)}{2}; \mathbf{IT} = \mathbf{I}(2) + \mathbf{I}(3); \mathbf{Z} = \mathbf{Z}(1); \\ \text{hvis } (N = 2): \quad \mathbf{VT} &= \frac{\mathbf{VT}(3) + \mathbf{VT}(1)}{2}; \mathbf{IT} = \mathbf{I}(3) + \mathbf{I}(1); \mathbf{Z} = \mathbf{Z}(2) \\ \text{hvis } (N = 3): \quad \mathbf{VT} &= \frac{\mathbf{VT}(1) + \mathbf{VT}(2)}{2}; \mathbf{IT} = \mathbf{I}(1) + \mathbf{I}(2); \mathbf{Z} = \mathbf{Z}(3) \end{aligned} \quad (7)$$

Den fraksjonelle feilbeliggenhet fra tilkoplingspunktenden 105 av linjesegmentet omfattende feil 150 er deretter beregnet fra tilkoplingspunktet 105, samt uttaksstrøm og spenningsvektorer. Uttakspunktet 220 virker eksakt som det andre tilkoplingspunkt i to-tilkoplingspunktalgoritmen. Følgelig:

$$\begin{aligned} \text{hvis } (N=1): F &= \text{Real} \left[\frac{\frac{\mathbf{V}(1) - \mathbf{VT}}{\mathbf{Z}} + \mathbf{IT}}{\mathbf{I}(1) + \mathbf{I}(2) + \mathbf{I}(3)} \right] \\ \text{hvis } (N=2): F &= \text{Real} \left[\frac{\frac{\mathbf{V}(2) - \mathbf{VT}}{\mathbf{Z}} + \mathbf{IT}}{\mathbf{I}(1) + \mathbf{I}(2) + \mathbf{I}(3)} \right] \\ \text{hvis } (N=3): F &= \text{Real} \left[\frac{\frac{\mathbf{V}(3) - \mathbf{VT}}{\mathbf{Z}} + \mathbf{IT}}{\mathbf{I}(1) + \mathbf{I}(2) + \mathbf{I}(3)} \right] \end{aligned} \quad (8)$$

Den virkelige avstand ned til den særskilte linje er deretter beregnet ved å multiplisere den fraksjonelle avstand med lengden av det rammede linjesegment:

$$D = F \cdot L(N) \quad (9)$$

5

Likning (8) kan iverksettes ved enhver eller alle av de tre tilkoplingspunkter 105, 110, 115 som har den nødvendige informasjon tilgjengelig. Alle tre resultater vil være identiske. Det skal bemerkes at noe aktsomhet må tas for det faktum at de tre tilkoplingspunkter 105, 110, 115 har ulike indekser innenfor hver tilkoplingspunkt i en "peer-to-peer" arkitektur slik som beskrevet i realiseringen på fig. 2. Det vil forstås at dersom alle tre kommunikasjonskanaler er i drift kan så alle tre tilkoplingspunkter beregne feil-150-beliggenheten, mens hvis kun to er i drift kan så kun ett tilkoplingspunkt 105, 110, 115 utføre beregningen - tilkoplingspunktet 105, 110, 115 er koplet til begge driftskanaler. Dersom kun én kanal er i drift så kan feil ikke detekteres eller stedfestes ved anvendelse av systemet 200. Det er klart at alle av de nødvendige målinger kan oppnås og beregninger kan utføres ved anvendelse av konvensjonelle målinger og/eller beregningsinnretninger som er koplet med eller er i kommunikasjon med overføringslinjekretsen og kommunikasjonsveier og er konfigurert ifølge realiseringene beskrevet her.

20

I en videre realisering kan feilresistansen beregnes ved å beregne fasen til jordingsspenningene av feilen 150 ved å starte ved tilkoplingsspenningene og å subtrahere spenningsfall av den kjente feilbeliggenhet 150.

25

Feilresistanser kan også beregnes ved anvendelse av systemene 100, 200. Når feilen 150 er stedfestet er det en enkel sak å estimere feilresistansen. Detaljene avhenger av feiltypen og antallet tilkoplingspunkter. Den følgende forklaring tar for seg to tilkoplingspunktlikninger. Tre tilkoplingspunktlikningene er lik og en vil forstå hvordan disse likninger oppnås fra to tilkoplingspunktforklaringen under.

30

For feil grunnet en enkel linje til jord er feilresistansen estimert ved å ta den reelle del av forholdet mellom feilspenningen og strømvektorene for den feilrammede fase. Spenningsvektoren er estimert ved å starte ved tilkoplingspunktenden 105, 110, 115 hvor fasespenningsvektorene er kjent og å subtrahere spenningsfallet ved feilen 150. Mulige effekter av den gjensidige kopling fra en nærliggende linje er tatt i betraktning. En feil i tilfelle av en fase A til jord er tatt i betraktning med henvisning til figurene 1 og 3. Likningene for feilene av type B til jord eller C til jord (ikke vist på fig. 3) er lik med det unntak at størrelsene fra de egnede faser er anvendt.

35

Først, beregn den gjensidige kopling for nullsekvens fra den nærliggende linje:

$$Z_{0M} = Z_0 \cdot (Z_{0M}/Z_0)$$

(Z_{0M}/Z_0) = koplingsforhold for 0-sekvens

(10)

Beregn så avstanden til feilen:

$$D = F \cdot L \quad (11)$$

Beregn delen for gjensidig kopling:

5

$$\text{hvis } (D < L_m) F_m = D/L_m \text{ ellers } F_m = 1 \quad (12)$$

Del $3I_{0M}$ av den nærliggende linje med 3 som følger:

$$10 \quad I_{0M} = 3I_{0M}/3 \quad (13)$$

Beregn nullsekvensstrømmen som strømmer inn i den lokale ende av overføringslinjen:

$$I_0(1) = (I_A(1) + I_B(1) + I_C(1))/3 \quad (14)$$

15

hvor indeksen 1 henviser til strømmålingene tatt fra det lokale tilkoplingspunktet 105, 110. Estimer så "fase-til-jord"-spenningen ved feilen 150:

$$V_A(F) = V_A(1) - F \cdot ((I_A(1) - I_0(1)) \cdot Z + I_0(1) \cdot Z_0) - F_m \cdot I_{0M} \cdot Z_{0M} \quad (15)$$

20

og beregn feilstrømmen:

$$I_A(F) = I_A(1) + I_A(2) \quad (16)$$

25 hvor indeksen 1 igjen henviser til strømmålingene tatt fra det lokale tilkoplingspunkt 105, 110, og indeks 2 henviser til strømmålingene tatt fra det fjerntliggende tilkoplingspunkt 110, 105. Til slutt beregn feilresistansen:

$$R_A(F) = \text{Real} \left(\frac{V_A(F)}{I_A(F)} \right) \quad (17)$$

30 "Fase-til-fase"-feilresistansen kan oppnås lettere som følger. Først, estimer "fase-til-fase"-spenningen ved feilen:

$$V_{AB}(F) = (V_A(1) - V_B(1)) - F \cdot (I_A(1) - I_B(1)) \cdot Z \quad (18)$$

35 hvor A og B angir fasen, og 1 er indeksen av det lokale tilkoplingspunkt 105, 110. Estimer så "fase-til-fase"-feilstrømmen:

$$\mathbf{I}_{AB}(F) = \frac{1}{2}(\mathbf{I}_A(1) + \mathbf{I}_A(2) - \mathbf{I}_B(1) - \mathbf{I}_B(2)) \quad (19)$$

Til slutt, beregn "fase-til-fase"-resistansen ved anvendelse av resultatene av likninger 18 og 19:

5

$$R_{AB}(F) = \text{Real}\left(\frac{\mathbf{V}_{AB}(F)}{\mathbf{I}_{AB}(F)}\right) \quad (20)$$

Det er klart at analyse av "fase-til-fase"-feil er enklere siden nullsekvenskopling ikke inngår.

10

For situasjonen med trefasefeil er en ekvivalent feilresistans rapportert som den reelle del av forholdet mellom komposittspenningen og strømmen ved feilen 150. I det tilfellet av en trefasefeil kan et bedre estimat av spenningen ved feilen 150 utføres ved å midle estimatene ved anvendelse av komposittspenninger og strømmer fra begge ender på følgende måte:

15

$$\mathbf{V}(F) = \frac{1}{2}(V(1) - F \cdot I(1) \cdot Z + V(2) - (1 - F) \cdot I(2) \cdot Z) \quad (21)$$

slik at feilresistansen blir så:

$$R(F) = \text{Real}\left(\frac{\mathbf{V}(F)}{\mathbf{I}(1) + \mathbf{I}(2)}\right) \quad (22)$$

Igjen med henvisning til fig.3 er "A-fase-til-B-fase"-jordingsfeilen tatt i betraktning ved å anvende kretsmodellen vist på fig. 3. Først, den gjensidige kopling med nullsekvens fra den nærliggende linje er beregnet:

25 RD 197212

$$\begin{aligned} \mathbf{Z}_{0M} &= \mathbf{Z}_0 \cdot (\mathbf{Z}_{0M}/\mathbf{Z}_0) \\ (\mathbf{Z}_{0M}/\mathbf{Z}_0) &= 0\text{-sekvenskopplingsforhold} \end{aligned} \quad (23)$$

30 Avstanden til feilen er beregnet som før:

$$D = F \cdot L \quad (24)$$

og beregn så delen med gjensidig kopling:

$$\text{hvis } (D < L_m) F_m = D/L_m \text{ ellers } F_m = 1 \quad (25)$$

Del deretter $3I_{OM}$ av den nærliggende linje med 3:

$$I_{OM} = 3I_{OM}/3 \quad (26)$$

og beregn nullsekvensstrømmen som strømmer inn i den lokale ende 105, 110 av overføringslinjen:

$$I_0(1) = (I_A(1) + I_B(1) + I_C(1))/3 \quad (27)$$

Estimer deretter "fase-til-jord"-spenningen ved feilen for hver av fasene A og B:

$$V_A(F) = V_A(1) - F \cdot ((I_A(1) - I_0(1)) \cdot Z + I_0(1) \cdot Z_0) - F_m \cdot I_{OM} \cdot Z_{OM} \quad (28)$$

$$V_B(F) = (V_B(1) - F \cdot ((I_B(1) - I_0(1)) \cdot Z + I_0(1) \cdot Z_0) - F_m \cdot I_{OM} \cdot Z_{OM} \quad (29)$$

og beregn feilstrømmen for hver av fasene A og B:

$$I_A(F) = I_A(1) + I_A(2) \quad (30)$$

$$I_B(F) = I_B(1) + I_B(2) \quad (31)$$

og anvende resultatene av likningene 28-31 for å bestemme "fase-til-fase"-resistansen:

$$R_\phi(F) = 2 \cdot \text{Real} \left(\frac{V_A(F) - V_B(F)}{I_A(F) - I_B(F)} \right) \quad (32)$$

for til slutt å kunne beregne jordingsresistansen av feilen 150:

$$R_g(F) = \frac{1}{2} \text{Real} \left(\frac{V_A(F) + V_B(F)}{I_A(F) + I_B(F)} \right) - \frac{R_\phi(F)}{4} \quad (33)$$

Resistansen av feilen 150 kan så beregnes på forskjellige måter som beskrevet ovenfor for å ta i betraktning feiltype og gjensidig kopling. Feilresistansinformasjonen kombinert med feilbeliggenheten gjør operatører av kraftoverføringslinjer i stand til mer effektivt å håndtere deres systemer. Som beskrevet ovenfor kan informasjonen oppnås fra ethvert tilkoplingspunkt som er koplet til det minste antall av andre

tilkoplingspunkter for å motta den nødvendige data for å bestemme feilbeliggenheten og/eller feilresistansen.

I en annen realisering av oppfinnelsen kan den flerendete feilbeliggenhetssystem omfatte ladningsstrømkompensasjon ved bestemmelsen av feilbeliggenheten for videre å øke nøyaktigheten av feilbeliggenhetssystemet. Siden feilbeliggenhetssystemet anvender kompasittsignalnettverket approksimerer modellkretsen vist på fig. 4 nettverket ganske bra. Modellen på fig. 4 er ekvivalent til å anta at den totale ladningsstrøm avhenger av den totale linjekapasitans og gjennomsnittet av spenningene ved $V(1)$, $V(2)$ ved begge ender av linjene. Den implisitte antakelse i denne strømkompensasjonsmodell er at spenningen på linjen varierer lineært langs linjen fra en ende til den andre. Dette er sant i løpet av normale (feilfrie) betingelser, men er ikke sann i løpet av betingelser med feil. Resultatet er følgelig at disse antakelser er brutt ved en feilbetingelse. Dette fungerer bra for feildeteksjon, men krever en videre undersøkelse av effekten av ladningsstrøm ved feilstedfesting.

I løpet av en feil er spenningsprofilen på linjen omtrentlig to rette linjer fra tilkoplingspunktene til feilen, noe som resulterer i modellen vist på fig. 5. Dersom en innretning er i drift på systemet i en ladningstrømkompensasjonssmodus blir komposittstrømvektorene på hver linje:

$$\hat{\mathbf{I}}(1) = \mathbf{I}(1) - j\omega \frac{C}{2} \mathbf{V}(1); \quad \hat{\mathbf{I}}(2) = \mathbf{I}(2) - j\omega \frac{C}{2} \mathbf{V}(2) \quad (34)$$

hvor C er kapasitansen som representerer komposittladningsstrømmen av linjen i løpet av en komposittspenningsspenning. I reelle situasjoner er denne kapasitans ekvivalent med såkalt positive eller negative sekvenskapasitanter på linjen.

Det er klart at det vil være passende å simpelthen anvende de kompenserte strømverdier av linjestrømmene i feilbeliggenhetsalgoritmene (6, 7 og 8) ovenfor. Heldigvis kan strømmene i likning (34) anvendes etter omforming av likningene med noen tilnærmelser som ignorerer ulikheter mellom modellen på fig. 4 og den på fig. 5.

Likningen for komposittspenningstallet fra det første tilkoplingspunktet 105 til feilen 150 som vist på fig. 5 er:

$$F \cdot \mathbf{I}(1) \cdot \mathbf{Z} = \mathbf{V}(1) \cdot \left(1 + F^2 \cdot j\omega \frac{C}{2} \cdot \mathbf{Z} \right) - \mathbf{V}(F) \quad (35)$$

og spenningsfallet fra det andre tilkoplingspunktet 110 til feilen 150 er:

$$(1-F) \cdot \mathbf{I}(2) \cdot \mathbf{Z} = \mathbf{V}(2) \cdot \left(1 + (1-F)^2 \cdot j\omega \frac{C}{2} \cdot \mathbf{Z} \right) - \mathbf{V}(F) \quad (36)$$

Likninger (35) og (36) bestemmer forholdene mellom spenninger og strømmer som videre kan anvendes for å bestemme nøyaktigheten av et estimat av feilbeliggenheten. Alternativt kan likningene anvendes for å bestemme en minste midlere kvadratesestimant av feilbeliggenhet. Imidlertid fører prosessen til et fjerdegradspolynom i F med ganske kompliserte koeffisienter. Det er derfor ikke produktivt å iverksette denne algoritme for å fremstille sanntid eller nær sanntidsløsninger siden den numeriske løsning som skulle ha vært anvendt i sann tid som det fjerdegrads polynom ikke på forhånd kan løses som generelt tilfelle. Siden en approksimasjon er uansett nødvendig er en mer produktiv og enklere tilnærming å anvende de kompenserte strømmer gitt ved likning 34 i beliggenhetsalgoritmene og å analysere den resulterende feil i feilstedfestelse. To-tilkoplingspunktbeliggenhetsalgoritmen som anvender kompenserte komposittstrømvektorer er følgende:

$$F = \text{Real} \left[\frac{\frac{\mathbf{V}(1) - \mathbf{V}(2)}{\mathbf{Z}} + \hat{\mathbf{I}}(2)}{\hat{\mathbf{I}}(1) + \hat{\mathbf{I}}(2)} \right] \quad (37)$$

mens de kompenserte strømvektorer er gitt ved likning (34).

Vi vil nå vise at den ovenfor forenklede løsning er tilstrekkelig nøyaktig. Komposittstrømvektorene kan uttrykkes som funksjon av spenningen ved feilen 150 og tilkoplingspunktene 105- og -110-spenningene ved å reorganisere likningene (35), (36).

Strømmen ved det første tilkoplingspunktet 105 er gitt ved:

$$\mathbf{I}(1) = \frac{\mathbf{V}(1) \cdot \left(1 + F^2 \cdot j\omega \frac{C}{2} \cdot \mathbf{Z} \right) - \mathbf{V}(F)}{F \cdot \mathbf{Z}} \quad (38)$$

og strømmen ved det andre tilkoplingspunktet 110 gitt ved:

$$\mathbf{I}(2) = \frac{\mathbf{V}(2) \cdot \left(1 + (1-F)^2 \cdot j\omega \frac{C}{2} \right) - \mathbf{V}(F)}{(1-F) \cdot \mathbf{Z}} \quad (39)$$

Det er klart at det vil være passende å uttrykke feilspenningen som funksjon av en forstyrrelse relativt til den åpne kretsspenning ved feilen 150 ved den følgende likning:

$$\mathbf{V}_\Delta = (1-F) \cdot \mathbf{V}(1) + F \cdot \mathbf{V}(2) - \mathbf{V}(F) \quad (40)$$

Substituering av likning (40) inn i likninger (38) og (39) frembringer de følgende ekvivalente uttrykk for de ukompenserte strømmer som funksjon av forstyrrelsespenningen:

5

$$\mathbf{I}(1) = \frac{\mathbf{V}(1) - \mathbf{V}(2)}{\mathbf{Z}} + F \cdot \mathbf{V}(1) \cdot j\omega \frac{C}{2} + \frac{\mathbf{V}_\Delta}{F \cdot \mathbf{Z}} \quad (41)$$

$$\mathbf{I}(2) = \frac{\mathbf{V}(2) - \mathbf{V}(1)}{\mathbf{Z}} + (1 - F) \cdot \mathbf{V}(2) \cdot j\omega \frac{C}{2} + \frac{\mathbf{V}_\Delta}{(1 - F) \cdot \mathbf{Z}} \quad (42)$$

10

Substituering av likninger (41) og (42) inn i likning (34) gir det følgende uttrykk for de kompenserte strømvektorer:

$$\hat{\mathbf{I}}(1) = \frac{\mathbf{V}(1) - \mathbf{V}(2)}{\mathbf{Z}} - (1 - F) \cdot \mathbf{V}(1) \cdot j\omega \frac{C}{2} + \frac{\mathbf{V}_\Delta}{F \cdot \mathbf{Z}} \quad (43)$$

$$\hat{\mathbf{I}}(2) = \frac{\mathbf{V}(2) - \mathbf{V}(1)}{\mathbf{Z}} - F \cdot \mathbf{V}(2) \cdot j\omega \frac{C}{2} + \frac{\mathbf{V}_\Delta}{(1 - F) \cdot \mathbf{Z}} \quad (44)$$

Likninger for (43) og (44) er så substituert inn i likning (47) som resulterer i følgende uttrykk for beregnet feilstedfestelse:

$$20 \quad \text{Real} \left[\frac{\frac{\mathbf{V}(1) - \mathbf{V}(2)}{\mathbf{Z}} + \hat{\mathbf{I}}(2)}{\hat{\mathbf{I}}(1) + \hat{\mathbf{I}}(2)} \right] = \quad (45)$$

$$F \cdot \text{Real} \left[\frac{\mathbf{V}_\Delta - F \cdot (1 - F) \cdot \mathbf{Z} \cdot \mathbf{V}(2) \cdot j\omega \frac{C}{2}}{\mathbf{V}_\Delta - F \cdot (1 - F)^2 \cdot \mathbf{Z} \cdot \mathbf{V}(1) \cdot j\omega \frac{C}{2} - F^2 \cdot (1 - F) \cdot \mathbf{Z} \cdot \mathbf{V}(2) \cdot j\omega \frac{C}{2}} \right]$$

25 Det er klart at beliggenhetsalgoritmen av likning (45) er eksakt når det ikke finnes noe ladningsstrøm. Videre tilveiebringer likning (45) svært bra nøyaktighet for

- feil som oppstår nær hver ende av linjen siden feilleddene går mot 0 når F går mot 0 eller 1. Samtidig frembringer likning (45) svært nøyaktige resultater når feil stedfestes også på andre posisjoner på linjen. Selv i det verste tilfellet, det vil si en feil nær midten av linjen, er feilen svært liten, noe som vil bli vist ved en følgende analyse. For
- 5 en feil som stedfestes nær midtpunktet på linjen frembringer likning (45) følgende tilnærmelse til den aktuelle feilstedfestelse:

$$Real \left[\frac{\frac{\mathbf{V}(1) - \mathbf{V}(2)}{\mathbf{Z}} + \hat{\mathbf{I}}(2)}{\hat{\mathbf{I}}(1) + \hat{\mathbf{I}}(2)} \right] \approx$$

$$F \cdot Real \left[\frac{\mathbf{V}_\Delta - \mathbf{Z} \cdot \mathbf{V}(2) \cdot j\omega \frac{C}{8}}{\mathbf{V}_\Delta - \mathbf{Z} \cdot \mathbf{V}(2) \cdot j\omega \frac{C}{8} - \mathbf{Z} \cdot (\mathbf{V}(1) - \mathbf{V}(2)) \cdot j\omega \frac{C}{16}} \right] \approx \quad (46)$$

10

$$F - \frac{1}{2} Real \left[\frac{\mathbf{Z} \cdot (\mathbf{V}(1) - \mathbf{V}(2)) \cdot j\omega \frac{C}{16}}{\mathbf{V}_\Delta - \mathbf{Z} \cdot \mathbf{V}(2) \cdot j\omega \frac{C}{8} - \mathbf{Z} \cdot (\mathbf{V}(1) - \mathbf{V}(2)) \cdot j\omega \frac{C}{16}} \right]$$

- En kort analyse viser hvorfor likninger (45) og (46) har små feil selv når feilen
- 15 150 stedfestes nær midtpunktet på overføringslinjen. Det følgende ledd i likning (46) representerer en restfeil:

$$feil \approx -\frac{1}{2} Real \left[\frac{\mathbf{Z} \cdot (\mathbf{V}(1) - \mathbf{V}(2)) \cdot j\omega \frac{C}{16}}{\mathbf{V}_\Delta - \mathbf{Z} \cdot \mathbf{V}(2) \cdot j\omega \frac{C}{8} - \mathbf{Z} \cdot (\mathbf{V}(1) - \mathbf{V}(2)) \cdot j\omega \frac{C}{16}} \right] \quad (47)$$

- 20 Den følgende faktor fremtrer på forskjellige steder i likning (47):

$$j \cdot \mathbf{Z} \cdot \omega \cdot C \quad (48)$$

Faktoren er omtrentlig forbundet med induktansen og kapasitansen av linjen ved: $j \cdot \mathbf{Z} \cdot \omega \cdot C \approx -\omega^2 \cdot L \cdot C$ (49)

25

Faktoren gitt ved likning (49) er kvadratet av forholdet av kraftsystems-frekvensen delt med resonanssekvensen på linjen, som også er kvadratet av forholdet av lengden av linjen delt med en bølgelengde ved kraftsystemfrekvens:

$$5 \quad \mathbf{Z} \cdot \omega \cdot \mathbf{C} \approx -\omega^2 \cdot \mathbf{L} \cdot \mathbf{C} \approx -\frac{\omega^2}{\omega_{\text{resonans}}^2} \approx -\frac{D^2}{D_{\lambda}^2} \quad (50)$$

Faktoren gitt ved likning (50) er ganske liten. Likning (47) kan derfor tilnærmes med:

$$10 \quad \text{feil} \approx \frac{1}{32} \cdot \frac{D^2}{D_{\text{resonans}}^2} \cdot \text{Real} \left[\frac{\mathbf{V}(1) - \mathbf{V}(2)}{\mathbf{V}_{\Delta}} \right] \quad (51)$$

Hver av faktorene i likning (51) er små, slik at selv for en feil nær midtpunktet på linjen er feilen i estimatet av feilbeliigheten liten.

Det følgende numeriske eksempel instruerer videre nøyaktigheten. Anta en 160 km linje betjent med en 30 grader spenningsvinkelforskjell mellom endene, med en
 15 enkel fasefeil nær midtpunktet på linjen. For enkel fasefeil nær midtpunktet av en linje kan det vises at forstyrrelsesspenningen ved feilen er tilnærmet lik 1/3 av systemspenningen. Avstanden for en full bølgelengde ved 60 Hz for typiske linjer er rundt 800 km. Størrelsen av spenningen over linjen er tilnærmelsesvis lik systemspenningen ganger den doble av sinusen av halvparten av vinkelen over linjen.
 20 Feilen for dette eksempel er følgende:

$$|\text{feil}| = \frac{1}{32} \cdot \left(\frac{160 \text{ km}}{800 \text{ km}} \right)^2 \cdot \frac{2 \cdot \sin(30^\circ / 2)}{1/3} \approx 0,002 \approx 0,2\% \quad (52)$$

Feilen forbundet med anvendelse av likning (37) med ladningsstrøm-kompenserte strømmer for 160 km lang linje er følgelig ubetydelig. Anvendelse av
 25 likning (51) kan også vise at restfeilen vil øke som kvadratet av lengden av linjen. Eksempelvis vil en økning av linjelengden i det foregående eksempel fra 160 km til 800 km øke feilen fra 0,2 % til 5 %, noe som gir en praktisk øvre grense på anvendeligheten av enkel ladningskompensasjon. Uansett er det kjent fra feltet at for svært lange overføringslinjer slik som de lengre enn 800 km må ladningsstrøm
 30 modelleres ved differensielle likninger som beskriver lange overføringslinjer.

Mens den foreliggende oppfinnelse har blitt beskrevet med henvisning til foretrukne realiseringer kan ulike endringer og erstatninger gjøres på disse realiseringer av de som normalt er fagfolk i feltet som er relevante for den foreliggende oppfinnelse uten å fjerne seg fra den tekniske ramme av den foreliggende oppfinnelse.

Anvendelsen og konfigurasjonen av feilbeliggenhetssystemet som beskrevet her og vist i vedlagte figurer er kun illustrative. Selv om kun noen få realiseringer av oppfinnelsen har blitt beskrevet i detalj i denne beskrivelse vil de fagfolk i feltet som bedømmer denne beskrivelse lett innse at mange endringer er mulige (f.eks. anvendelse
5 av polarversus rektangulære koordinater for å representere komplekse numre ved anvendelse av en form for komposittsignaler som er ulik den utvidede Clarke-transform, men som fortsatt gjenspeiler alle typer feil og som ikke er sensitiv til jordfeilstrømmer osv.) uten materielt å fjerne seg fra nyhetskunnskapene og fordelene med emnet fremsatt i de vedlagte krav. Alle slike endringer er følgelig ment å være
10 omfattet innenfor rammen av den foreliggende oppfinnelse som definert i de vedlagte krav. Rekkefølgen av enhver prosess- eller fremgangsmåtetritt kan varieres eller omordnes ifølge alternative realiseringer. I kravene er enhver middel-pluss-funksjonsklausul ment å dekke strukturene beskrevet her ved utføring av den fremsatte funksjon, ikke bare strukturelle ekvivalenter, men også ekvivalente strukturer. Andre
15 substitusjoner, modifikasjoner, endringer og utelatelser kan gjøres i utførelsen, driftsbetingelsene og organiseringen av de foretrukne realiseringer og andre eksempler på realiseringer uten å fjerne seg fra den egentlige mening av realiseringene av oppfinnelsen som uttrykt i de vedlagte krav. Den tekniske ramme av den foreliggende oppfinnelse omfatter derfor ikke bare de realiseringer som er beskrevet ovenfor, men
20 alle som faller inn i rammen av de vedlagte krav.

P a t e n t k r a v

5 1. Deteksjonssystem for feilstedfestelse for en kraftoverføringslinje med minst to tilkoplingspunkter (105, 110, 115) og minst to linjesegment og et uttak (220) felles for hvert av linjesegmentene, **karakterisert ved** at systemet omfatter:

10 første middel for å representere tre-fasespenninger og strømmer ved komposittstrøm- og komposittspenningssignaler ved hvert av tilkoplingspunktene (105,110,115), for å bestemme spenningen mellom uttak (220) og hvert tilkoplingspunkt (105 110 115) og for å bestemme restspennings- og reststrømverdier for hvert linjesegment;

15 andre middel for å bestemme hvilke av linjesegmentene av kraftoverføringslinjen som er et feilbeheftet linjesegment som omfatter en feil (150), ved anvendelse av komposittspenning og strømvektormålinger av komposittstrømsignalene og komposittspenningssignalene og restspenningen og reststrømverdiene;

20 tredje middel for å bestemme en fraksjonell feilstedfestelse fra ett tilkoplingspunkt (105,110,115) på det feilbeheftede linjesegment ved anvendelse av komposittspenningen og strømmålingene og restspenning- og reststrømverdier;

 fjerde middel for å bestemme beliggenheten av feilen på det feilbeheftede linjesegment ved anvendelse av den fraksjonelle feilstedfestelse og lengden av det feilbeheftede linjesegment hvor feilen (150) er beliggende.

25 2. Deteksjonssystem for feilstedfestelse ifølge krav 1, **karakterisert ved** at en enkel komposittspenning og strøm er anvendt for å representere komposittspenningen og strømmålinger ved ett av de minst to tilkoplingspunkter (105, 100).

30 3. Deteksjonssystem for feilstedfestelse ifølge ett av de foregående krav, **karakterisert ved** at komposittspenningen og strømsignaler er ulik null for enhver type feil.

 4. Deteksjonssystem for feilstedfestelse ifølge ett av de foregående krav, **karakterisert ved** at komposittspenningen og strømsignaler ikke er påvirket av jordings- eller null-sekvensstrømmene.

35 5. Deteksjonssystem for feilstedfestelse ifølge ett av de foregående krav, **karakterisert ved** at feilstedfestelsen kan bestemmes uten å kjenne til mengden av gjensidig kopling med de nærliggende linjesegmenter.

 6. Fremgangsmåte for å detektere feilbeliggenhet på en kraftoverføringslinje med minst to tilkoplingspunkter (105,110,115) og minst to linjesegment, og et uttak

(220) felles for hvert av linjesegmentene, **karakterisert ved** at fremgangsmåten omfatter:

å representere tre-fasespenninger og strømmer ved komposittstrøm- og komposittspenningssignaler ved hver av tilkoplingspunktene (105,110,115),

5 å bestemme spenningen mellom uttak (220) og hvert tilkoplingspunkt (105 110 115);

å bestemme reststrøm spenningsverdier for hvert linjesegment;

10 å bestemme hvilke av linjesegmentene av kraftoverføringslinjen som er et feilbeheftet linjesegment som omfatter en feil (150), ved anvendelse av komposittspenning og strømvektormålinger av komposittstrømmen og spennings-signalene og restspennings- og reststrømverdier;

å bestemme en fraksjonell feilstedfestelse fra ett tilkoplingspunkt på det feilbeheftede linjesegment ved anvendelse av komposittspenningen og strømmålinger og restspenning- og reststrømverdier;

15 å bestemme beliggenheten av feilen på det feilbeheftede linjesegment ved anvendelse av den fraksjonelle feilstedfestelse og lengde av det feilbeheftede linjesegment hvor feilen er beliggende.

20 7. Fremgangsmåte for å detektere feilbeliggenhet ifølge krav 6, **karakterisert ved** at en enkel komposittspenning og strøm er anvendt for å representere komposittspenningen og strømmålinger ved ett av de minst to tilkoplingspunkter (105, 110).

25 8. Fremgangsmåte for å detektere feilbeliggenhet ifølge krav 6 eller 7, **karakterisert ved** at komposittspenningen og strømsignaler er ulik null for enhver type feil (150).

9. Fremgangsmåte for å detektere feilbeliggenhet ifølge ett av krav 6-8, **karakterisert ved** at komposittspenningen og strømsignalene ikke er påvirket av jordings- eller null-sekvensstrømmene.

30 10. Fremgangsmåte for å detektere feilbeliggenhet ifølge ett av krav 6-9, **karakterisert ved** at bestemmelse av feilbeliggenheten er gjort uten å kjenne til mengden av gjensidig kopling med de nærliggende linjesegmenter.

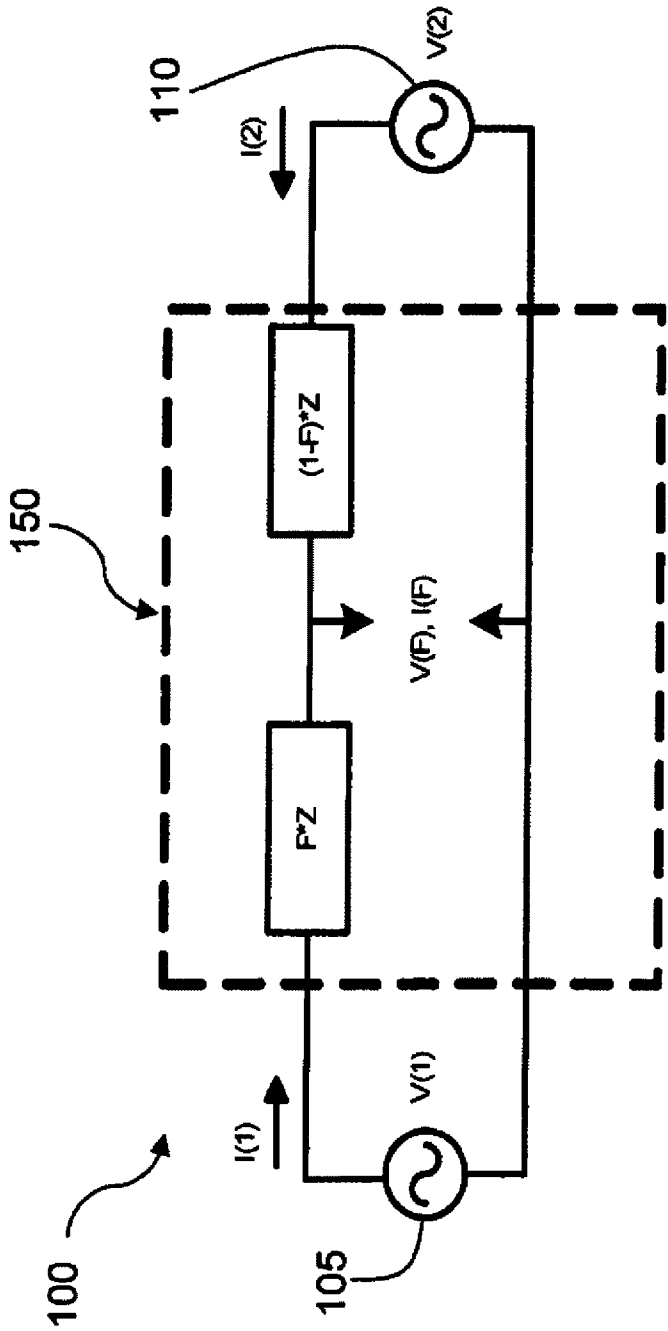


Fig. 1

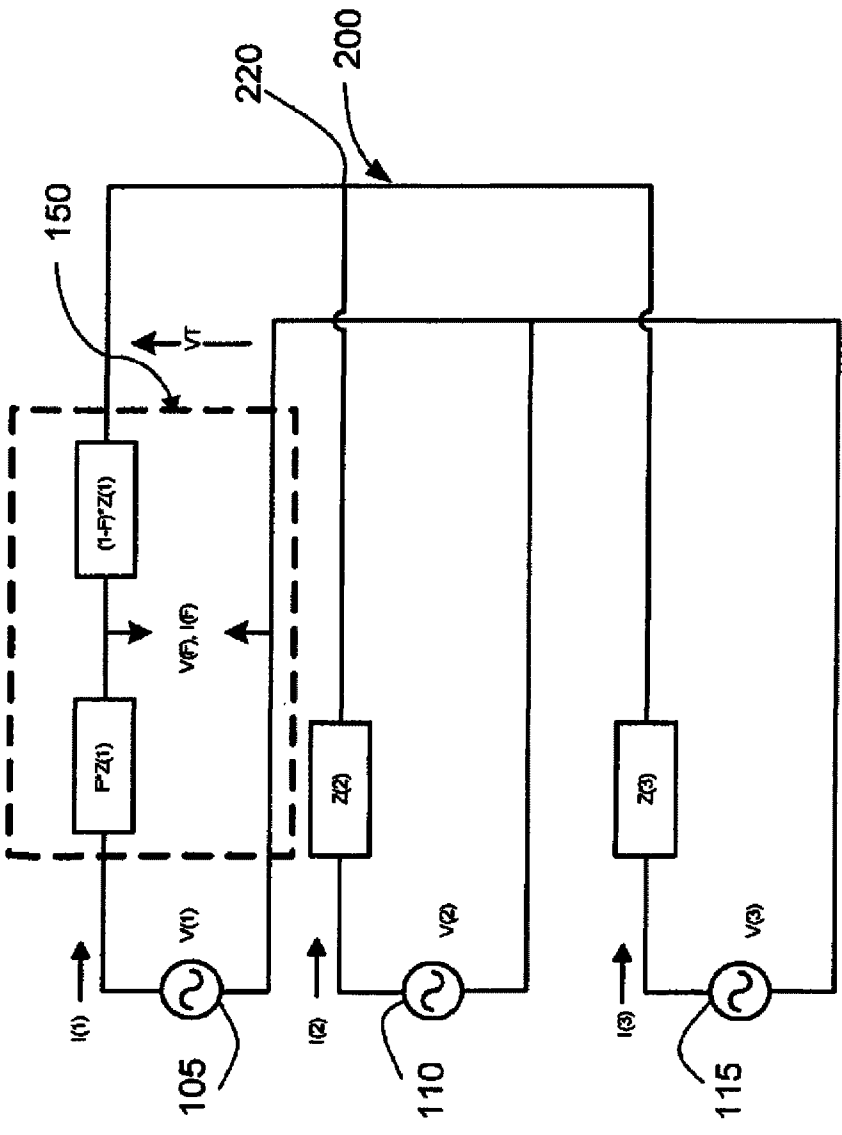


Fig. 2

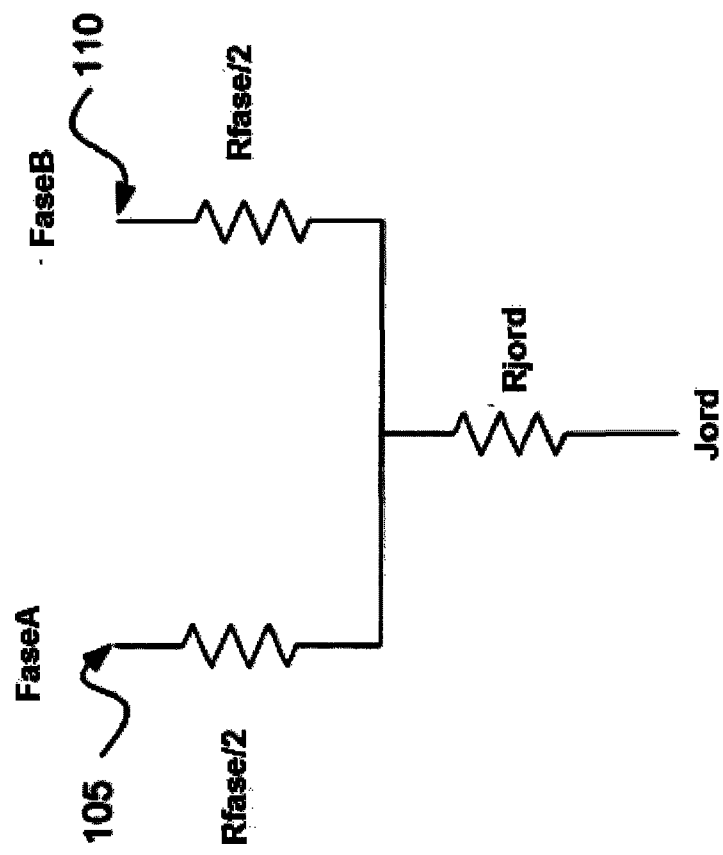


Fig. 3

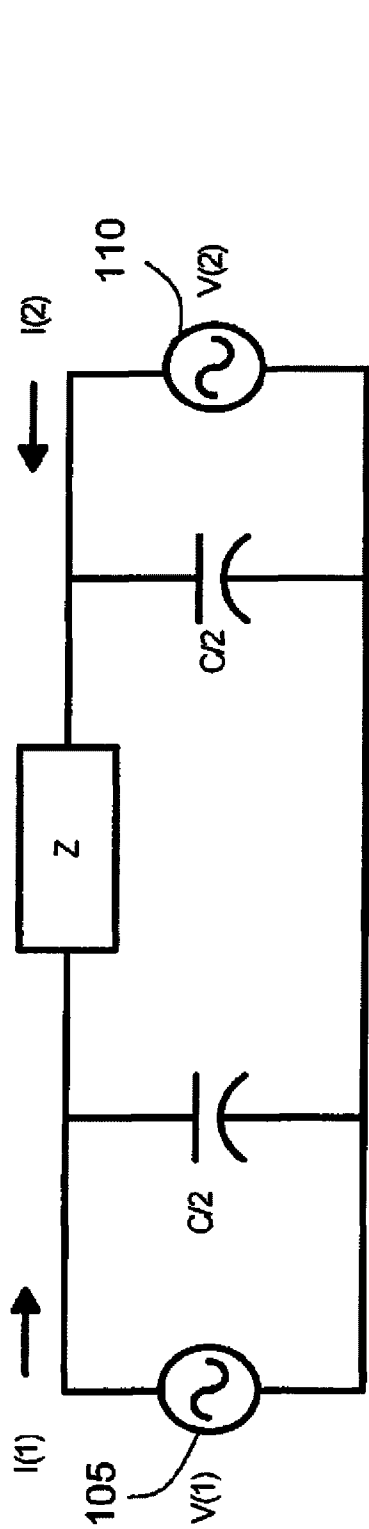


Fig. 4

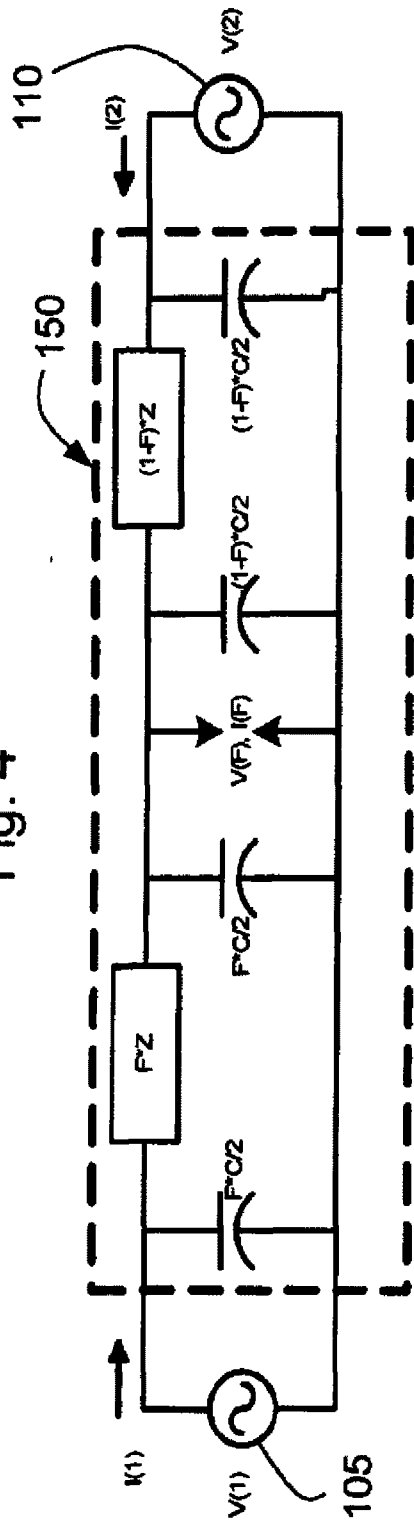


Fig. 5