



(12) **PATENT**

(19) NO

(11) **314964**

(13) B1

(51) Int Cl⁷

G 01 R 31/08, H 02 H 3/16

Patentstyret

(21) Søknadsnr	19983079	(86) Int. inng. dag og søknadsnummer	1997.10.03, PCT/FI97/00599
(22) Inng. dag	1998.07.02	(85) Videreføringsdag	1998.07.02
(24) Løpedag	1997.10.03	(30) Prioritet	1996.11.04, FI, 964431
(41) Alm. tilgj.	1998.08.27		
(45) Meddelt dato	2003.06.16		

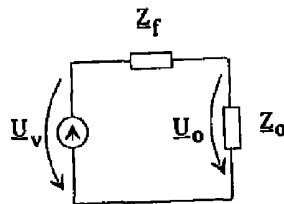
(71) Patenthaver	ABB OY, Strömbergintie 1, SF-00380 Helsingfors, FI
(72) Oppfinner	Matti Lehtonen, SF-02200 Esbo, FI
(74) Fullmektig	Oslo Patentkontor AS, 0306 Oslo

(54) Benevnelse **Detektering av en høymodulsfeil i et kraftnett**

(56) Anførte publikasjoner DE A1 4140556

(57) Sammendrag

Oppfinnelse vedrører detektering og lokalisering av høymotstandsjordfeil i et elektrisk kraftnett. Ved den foreliggende teknikk vil det ved en transformatorstasjon bli målt den nøytrale punktspenning (U_0) i vektorformat. I henhold til den foreliggende teknikk blir faseben-spenningene for nettet målt i vektorformat, null-sekvensspenningen som representerer nøytralpunkt-spenningen (U_0) blir formet som vektorsummen av de målte faseben-spenninger null-sekvensimpedansen (Z_0) blir beregnet ved hjelp av en nettverksmodell, hvorefter nullsekvensspenningen (U_0) blir sammenlignet i vektorformat med vektorene for nettverksfasebenspenningen (U_v) og med resultatanten av null-sekvensimpedansen (Z_0) for nettet, og fra disse beregnede variabler blir det avledet feilimpedanser (Z_f) for hvert faseben, hvorefter det feilbeheftede ben blir identifisert som det ben som har den største verdi av den reelle del av feilimpedansen (Z_f).



Den foreliggende oppfinnelse vedrører en fremgangsmåte i henhold til den innledende del av patentkrav 1, for detektering og lokalisering av en høy-motstands linje-jordfeil i et elektrisk kraftnett.

- 5 Vanligvis har behovet for jordfeildetektering blitt løst ved overvåkning av nullsekvensspenningen (det vil si nøytralpunktspenningen) for et elektrisk kraftnett. Ved denne løsning blir det avgitt en linje-til-feil-alarm når nøytralpunktspenningen overskrider en forhåndsbestemt grense.
- 10 Fra US patentskrift 4,729,052 er det kjent en fremgangsmåte basert på detektering av linje-jordfeil ved endring av jordsystemimpedansen forbundet med det nøytrale punkt for kraftsystemet, og deretter ved måling av effekten ved denne endring på nøytralpunktspenningen. Denne fremgangsmåte
- 15 kan benyttes for kompenserte nøytrale nett med en resonanskompenserende spole forbundet med nøytralpunktet.

I DE patentpublikasjon 41 40 556 er det tilkjennegitt et arrangement som er relevant i forhold til den foreliggende oppfinnelse. Nevnte arrangement tar sikte på, ved hjelp av

20 relébeskyttelsesorganer, å beskytte den feilbeheftede linje ved en jordfeilsbetingelse. Denne operasjon blir utført ved sammenligning av nøytralpunktspenningen i vektorformat med én av fase-til-fase-spenningene, én av komponentene i den positive sekvensspenning eller en hvilken

25 som helst annen referanse-spenning som ikke er påvirket av jordfeil. Således vil anvendelsesområdet ved dette arrangement ligge innenfor eksisterer strenge kriterier for utkobling, og den aktuelle feildetektering er basert på den absolutte verdi av nøytralpunktspenningen.

- 30 I forbindelse med konvensjonelle teknikker har mangel på en pålitelig, generell og tilstrekkelig følsom detekteringsteknikk for feilmotstander i størrelsesorden av 20 kohm og større vært et problem.

Det er en hensikt med den foreliggende oppfinnelse å rydde av veien ulempene ved de nevnte beskrevne teknikker og skaffe en fullstendig ny type teknikk for detektering og lokalisering av høymotstands jordfeil i et elektrisk kraft-
5 nett.

Hensikten med oppfinnelsen oppnår man ved detektering av jordfeilen ved sammenligning av nullsekvensspenningen (nøytralpunktspenningen), målt ved en nettransformatorstasjon i forhold til positivsekvenskomponenten for en fase-
10 sespenning, målt fra nettet og i forhold til den resulterende nullsekvensimpedans for nettet. Sammenligningen blir gjort i vektorformat, hvilket innebærer at man behandler spenningene som nullfaserefererte vektorer. Resultatet av sammenligningen blir et størrelsesestimat over feilresistansen. Resultantnullsekvensimpedansen, som benyttes ved
15 sammenligningen, kan være basert på en tilnærmet verdi fremskaffet fra en nettmodellsberegning. Således vil oppfinnelsen benytte seg av fasebenspenningmålinger som utføres rutinemessig ved transformatorstasjoner.

20 Hovedforskjellene ved den foreliggende oppfinnelse med hensyn til konvensjonelle arrangementer er som følger:

- Sammenligning blir utført i vektorformat både mot positiv-sekvensspenningskomponenten for det faseben som er mistenkt for å være feilbeheftet, og resultatnullsekvensimpedansen for nettet.
25

- Metoden indikerer det feilbeheftede faseben ved sammenligning av feilimpedanser beregnet individuelt for alle faseben for det trefasede system. Ved det feilbeheftede faseben er feilimpedansen resistiv,
30 mens ved de andre to faseben vil den beregnede reelle del av faseimpedansen være negativ, hvilket er en urealistisk situasjon.

- Fremgangsmåten gir et størrelsesestimat av feilresistansen, hvorfra nivået av feilstrømmen lett kan beregnes.

5 - Den beregnede feilstrøm kan sammenlignes med feilstrømmer som i virkeligheten blir målt fra nettet, hvorved det kan skaffes et bekreftende kriterium for feildetektering, så vel som en mer nøyaktig lokalisering av feilen i nettet.

10 Mer spesielt vil fremgangsmåten i henhold til den foreliggende oppfinnelse være karakterisert ved det som er angitt i den karakteriserende del av patentkrav 1.

Oppfinnelsen gir betydelige fordeler.

15 Ved hjelp av oppfinnelsen vil den konvensjonelle feildetekteringsprosedyre basert på overvåkning av den absolutte verdi av nullsekvensspenningen bli forbedret i vesentlig grad, fordi nøytraltspenningen nå blir målt i vektorformat og opptreden av en resistiv feil vil bli bekreftet ved sammenligning av nullsekvensspenningen som således oppnås i forhold til nullsekvensimpedansen for nettet. Så-
20 ledes vil området for feildetektering kunne utvides til vesentlig høyere feilresistansverdier.

25 En fordel ved den foreliggende oppfinnelse i relasjon til teknikken i følge US patentskrift 4,729,052 er at man ikke trenger ytterligere komponenter som skal tilkobles nøytraltspenningen for nettet, hvilket direkte vil danne en del av feilkretsen i nettet. En ytterligere fordel går ut på at også jordfeil i ikke-jordete og resistor-jordete nett nå kan detekteres.

30 Den foreliggende oppfinnelse skiller seg fra teknikken i følge DE patentpublikasjon 41 40 556 ved at nøytraltspenningen ikke bare blir sammenlignet med en variabel beregnet fra én av fasebenspenningene, men dessuten i

forhold til nullsekvensimpedansen for nettet, og fasevinkelkriteriet blir ikke anvendt tidligere enn på dette stadium. Det skal her forstås at fremgangsmåten omtalt i DE patentpublikasjon 41 40 556 heller ikke er anvendelig for
5 detektering av en jordfeil som opptrer via en stor jordfeilresistans. I et kompensert nett med kompensasjonsspolejordet nøytralpunkt vil beskrevne fremgangsmåter gi tilfeldige resultater allerede ved lave verdier av jordfeilresistans, fordi i et slikt nett ville fasevinkelen for
10 nullsekvensimpedansen kunne variere innenfor et meget stort område (dekkende nesten 180 °C) avhengig av avstemningsgraden av kompensasjonsspolen.

Bruken av den nye teknikk som er omtalt her, krever bare programmering av noen nye prosedyrer i lagringsorganet for
15 jordfeilovervåkningssystemet og justering av en enkel nettverksmodellprogrammodul i forhold til programvaren av nettverkets overvåknings/-styresystem.

Den nye teknikk trenger ingen nye transdusere, men i stedet kan man benytte for spenningsmålingen, for eksempel ved
20 transformatorstasjonen, den spenningstransformator som vanligvis er forbundet over to faseben som tjener til elektrisk kraftforsyning fra stasjonen.

I det følgende vil oppfinnelsen bli beskrevet i ytterligere detalj ved hjelp av eksemplifiserende utførelsesformer
25 og under henvisning til de vedføyde tegningsfigurer.

Figur 1 viser skjematisk ekvivalenskretsen for en nett-krets som skal overvåkes ved hjelp av fremgangsmåten i henhold til oppfinnelsen.

Figur 2a viser ekvivalentkretsen for nullsekvensimpedansen
30 i et ikke-jordet og resistor-jordet nett.

Figur 2b viser ekvivalentkretsen for nullsekvensimpedansen i et nett med en kapasitiv komponent for jordfeilstømmen fullstendig eller delvis kompensert.

5 Fremgangsmåten er anvendelig hva angår detektering og lokalisering av jordfeil i et elektrisk kraftnett, som opptrer via en høy feilresistans under slike betingelser der følsomhet for konvensjonell relébeskyttelse ikke greier å detektere feilen. Operasjonsområdet for fremgangsmåten dekker feilresistanser i størrelsesorden 5-150 kohm.

10 Selv om fremgangsmåten prinsipielt er innrettet for bruk i ikke-jordete og kompenserende-spoledede-jordete nett, så vil den også kunne funksjonere i nett som er jordet via en høy jord-system-resistans.

15 Fremgangsmåten er basert på analysen av spenninger målt ved en transformatorstasjon. Ved hjelp av måling av nøytralpunktspenningen for det elektriske kraftnett i vektorformat og deretter sammenligning av den målte verdi i forhold til positivsekvenskomponenten for hver fasebenspenning, vil man kunne detektere en høyresistans, enkeltfase-
20 jordfeil innenfor beskyttelsessonen for (mellomspenning) transformatorstasjonen som mater nettet. Videre vil nøytralpunktspenningsanalysen indikere størrelsen av feilresistansen, den tilsvarende verdi av feilstømmen og det faseben som er påvirket av jordfeilen, i tillegg til en
25 generell alarm for en jordfeil.

Under bruk av disse data vil analysen kunne fortsette for nullsekvensstrømmene i nettet, og disse blir deretter sammenlignet med spenningen ved det feilbeheftede faseben. Den nye fremgangsmåte skiller seg fra konvensjonell jordfeilbeskyttelse og tilhørende detektering ved at nå blir
30 ikke jordfeilstømmen sammenlignet i forhold til nøytralpunktspenningen, men i stedet i forhold til positivsekvenskomponenten for hver fasebenspenning, idet feilimpe-

dansen ved jordfeilpunktet derved er å betrakte som rent resistiv.

Ved hjelp av strømmålinger vil resultatet av nullsekvensspenningsanalysen kunne verifiseres, og mer nøyaktige data
 5 hva angår lokasjonen av feilen, vil kunne oppnås. Passende målepunkter for nettstrømmer kan være de utgående matere fra transformatorstasjonen, samt avgreningspunkter langs transmissjonslinjen og utkoblings/seksjonaliseringstasjoner.

10 Nullsekvensanalysen er basert på å løse komponentene i den ekvivalente krets som representerer jordfeilbetingelsene. Når spenninger og den resulterende nullsekvensimpedans er kjent, vil impedansen for den antatte feil kunne oppnås fra ligningen:

$$15 \quad \underline{Z}_f = \left(\frac{\underline{U}_v}{\underline{U}_0} - 1 \right) \underline{Z}_0$$

der

\underline{Z}_0 er nullsekvensimpedansen,

\underline{Z}_f er den beregnede feilimpedans,

\underline{U}_v er positivsekvenskomponenten for fasebenspenningen, og

20 \underline{U}_0 er den målte nøytralpunktspenning

Nullsekvensimpedansen \underline{Z}_0 blir beregnet ved hjelp av en nettverksmodell som simulerer det elektriske kraftnett fra en ekvivalentkrets vist på figurene 2a og 2b. En viktig parameter, som er påkrevd for modellen, er den totale lin-
 25 jelengde for det elektriske kraftnett og den tilhørende kapasitans over området for nettet. Sistnevnte parameter kan variere i henhold til den aktuelle konfigurasjon av nettet. På figur 2a illustrerer ekvivalentkretsen nullsek-

vensimpedansen Z_0 , ved et ikke-jordet eller et resistor-jordet nett, mens figur 2b viser henholdsvis de samme parametere i et resonansjordet eller kompensert nett. I tilfelle av det ikke-jordete nett, som vist på figur 2a, vil den dominerende komponent av ekvivalentkretsen være jordkapasitansen C_e for nettet. Disse elementer har en lettresistanskomponent R_e som representerer ca. 5-8 % av jordstrømmen (som beregnet fra den praktiske formel $R_e = 12,5-20 \cdot X_c$, der X_c er reaktansen for jordkapasitansen C_e). I et resonansjordet nett vil disse kretskomponenter dessuten ha reaktansen for kompensasjonsspølen L_e i parallell, som vist på figur 2b. Ekvivalentkretsen i følge figur 2a er også gyldig for resistans-jordete nett, hvorved lettresistansen R_e blir redusert i vesentlig grad.

De variabler som skal måles ved fremgangsmåten omfatter:

- trefasebenspenningene ved transformatorstasjonen, og

- nøytralpunktstrømmen og fase-til-fase-spenningen ved alle strømmålepunkter

Nøytralpunktspenningen U_0 blir beregnet fra fasebenspenningene som en vektorsum. Hver fasebenspenning U_v blir beregnet som positivsekvenskomponenten i et symmetrisk komponentsystem fra de målte verdier som er tatt ved tidspunktet ved beregningen. For å identifisere det feilbeholdede faseben, blir ligning (1) løst for tre vektorretninger:

- 1) U_v ved sin ikke-roterte vinkel

- 2) U_v dreid +120 elektriske grader

- 3) U_v dreid 240 elektriske grader

Hver beregningssyklus gir et estimat for Z_f . Av disse vil det feilbeheftede faseben bli selektert til å være det som gir høyest verdi for den reelle del av Z_f . Beregningen av de to intakte faseben vil nødvendigvis måtte gi en negativ
 5 reell del av feilimpedansen, fordi feilimpedansen Z_f i praksis er rent resistiv.

I henhold til dagens praksis blir en jordfeil betraktet som detektert under den forutsetning at i det faseben som representerer den største verdi av den reelle del av Z_f :

10 - vil den reelle del av Z_f i det minste være 4-foldig sammenlignet med den imaginære del av Z_f

Denne betingelse er ekvivalent til et kriterium som går ut på at fasevinkelen for feilimpedansen utgjør maksimalt ± 15 elektriske grader. Etter at feilresistansen er beregnet,
 15 kan ekvivalentkretsen i følge figur 1 også kunne benyttes til å fremskaffe feilstrømmen og tilhørende fasevinkel.

Som resultat vil nullsekvensspenningsanalysen gi følgende informasjon:

- indikasjon av det feilbeheftede faseben,
- 20 - størrelsesestimat av feilresistansen, og
- estimater for feilstrøm og tilhørende fasevinkel

Dersom feilreistansen er høy, vil dennes bidrag til nett-parametrene hyppig være vanskelig, på grunn av ikke-null nøytralpunktspenning under normale betingelser. En slik
 25 ikke-null nøytralpunktspenning under normale betingelser er hovedsakelig bevirket av kapasitansasymmetri ved nettet og den tilhørende verdi endrer seg bare sjelden. Således er det mulig å øke følsomheten ved den omtalte fremgangs-
 30 måte ved å erstatte nullsekvensspenningsmålingen i reell tid med en trendanalyse basert på overvåkning av en end-

ringsverdi definert som avviket ved nullsekvensspennings-
verdien i reell tid fra dennes gjennomsnittlige verdi be-
regnet for eksempel over de siste 10 minutter. Denne løs-
ningsmetode hever jordfeilindikeringssensitiviteten opptil
5 feilmotstander eller feilresistanser for ca. 100-150 kohm.
Disse angitte tall er basert på felttester som er utført
på ikke-jordete nett.

Etter at en generell jordfeilalarm er blitt utløst ved
hjelp av nullsekvensspenningsanalyseprogrammet, vil feil-
10 detekteringsresultatet kunne verifiseres og den tettere
beliggenhet av jordfeilen lokaliseres ved hjelp av analyse
av nullsekvensstrømmålingene. I denne forbindelse vil de
målte nullsekvensstrømmer ved transformatorstasjonen,
og/eller langs nettet, bli sammenlignet i vektorformat med
15 de nullsekvensstrømverdier som man oppnår fra nullsekvens-
spenningsanalysen, og som et resultat vil den seksjon av
nettet, som er under analyse, bli betraktet som å ha en
jordfeil dersom:

- den målte størrelse av nullsekvensstrømmen er, in-
20 nenfor en gitt margin, lik den verdi som er beregnet
i henhold til nevnte fremgangsmåte, og

- den målte fasevinkel for nullsekvensstrømmen er,
innenfor en gitt margin, lik den verdi som er bereg-
net i henhold til nevnte fremgangsmåte.

25 Den tillatte margin for fasevinkel kan være den samme som
angitt tidligere, eventuelt ± 15 elektriske grader. For
strømmen vil den tillatte margin ved sammenligningen kunne
avvikles noe, eventuelt til ca. ± 30 %.

På samme måte som med nullsekvensspenningsanalysen, vil
30 følsomheten ved fremgangsmåten i relasjon til høyresisten-
te jordfeil kunne økes ved erstatning av nullsekvensspen-
ningsmålingene i reell tid med en endringsverdivariabel

beregnet som avviket fra den aktuelle nullsekvensspenning fra den tilhørende langtidsgjennomsnittsverdi.

Det grunnleggende konsept ved oppfinnelsen er å sammenligne nøytraltspenningen \underline{U}_0 i forhold til positivsekvenskomponenten \underline{U}_v for hver fasebenspenning og dessuten i forhold den resulterende nullsekvensimpedans \underline{Z}_0 for nettet.

Fremgangsmåten gir også vesentlige endringer hva angår hvilket spenningskriterium som brukes for feildetektering i stedet for positivsekvenskomponenten for hver fasebenspenning. Passende alternativer er:

- 1) Spenningen ved det feilbeheftede faseben like forut for feilens opptreden
- 2) Positiv-økvens-spenningskomponenten for det feilbeheftede ben (under feilen)
- 3) Summen av positiv- og negativspenningskomponentene for det feilbeheftede faseben (under feilen).

I tillegg til disse alternativer kan nullsekvensspenningsmålingene i reell tid erstattes med en trendanalyse av nullsekvensspenningsavviket fra tilhørende langtidsgjennomsnittsverdi (beregnet for eksempel over de siste 10 minutter). Positiv- og negativsekvenskomponentene for hver fasebenspenning, samt nullsekvensspenningene kan beregnes fra de målte fase-til-nøytral-spenninger ved bruk av den etablerte og velkjente teori hva angår symmetriske komponenter.

Nullsekvensimpedansen for nettet kan beregnes tilnærmet ved hjelp av en nettverksmodell. Ved behov vil nettmodellen kunne kalibreres for jordkapasitanser C_g og lettresistanser R_g ved hjelp av jordfeiltester ved bruk av kjente feilresistansverdier.

P a t e n t k r a v

1. Fremgangsmåte for detektering og lokalisering av høy-
motstands jordfeil i et elektrisk kraftnett, ved hvilken
fremgangsmåte det ved en transformatorstasjon blir målt

5 - den nøytrale punktspenning (\underline{U}_0) i vektorformat,
k a r a k t e r i s e r t v e d a t

- fasebenspenningene i nettet blir målt i vektorformat,

- nullsekvensspenningsvektoren som representerer den
nøytrale punktspenning (\underline{U}_0), blir formet som vektorsummen
10 av de målte fasebenspenninger

- nullsekvensimpedansen (\underline{Z}_0) blir beregnet ved hjelp av en
nettverksmodell,

- nullsekvensspenningen (\underline{U}_0) blir sammenlignet i vektorfor-
mat med vektorene i nettets fasebenspenninger (\underline{U}_v) og den
15 resulterende nullsekvensimpedans (\underline{Z}_0) for nettet, og

- fra disse beregnede variabler blir det avledet feilimpe-
danser (\underline{Z}_f) for hvert faseben, hvorved det feilbeheftede
ben blir identifisert som det ben som har den største ver-
di av den reelle del av feilimpedansen (\underline{Z}_f).

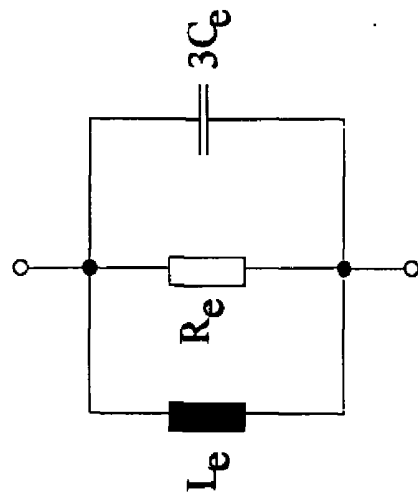
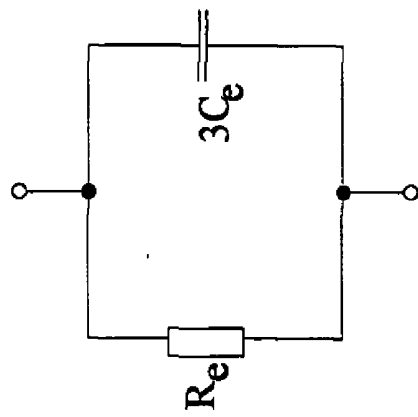
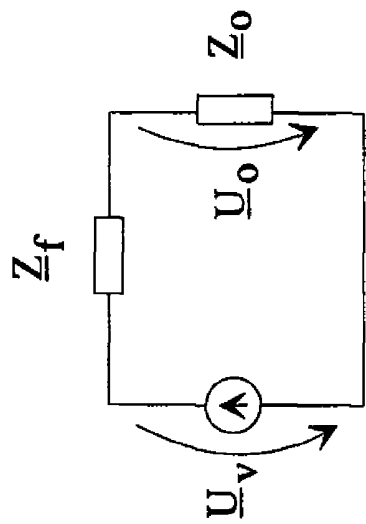
20 2. Fremgangsmåte som angitt i krav 1,
k a r a k t e r i s e r t v e d a t nullsekvensspen-
ningen (\underline{U}_0) blir sammenlignet i vektorformat i forhold til
vektorformatet av den positive komponent (\underline{U}_v) for hver fa-
sebenspenning og ytterligere i forhold til den resultere-
25 rende nullsekvensimpedans (\underline{Z}_0) for nettet.

3. Fremgangsmåte som angitt i krav 1,
k a r a k t e r i s e r t v e d a t nullsekvensspen-
ningen (\underline{U}_0) blir sammenlignet med spenningen (\underline{U}_v) for det
feilbeheftede faseben målt like før opptreden av feilen og

dessuten i forhold til den resulterende nullsekvensimpedans (\underline{Z}_0) for nettet.

4. Fremgangsmåte som angitt i krav 1,
k a r a k t e r i s e r t v e d at nullsekvensspen-
5 ningen (\underline{U}_0) blir sammenlignet med vektorsummen (\underline{U}_v) for den
positive og negative sekvensspenningskomponent for det
feilbeheftede faseben og dessuten i forhold til den resul-
terende nullsekvensimpedans (\underline{Z}_0) for nettet.

5. Fremgangsmåte som angitt i ett av kravene 1-4,
10 k a r a k t e r i s e r t v e d at den tidsreelle ver-
di av nullsekvensspenningen (\underline{U}_0) blir erstattet ved sammen-
ligningen med forskjellen i den reelle tidsverdi og lang-
tidsgjennomsnittsverdi for eksempel de gjennomsnittlige
verdier av nevnte beregnet over de siste 10 minutter.



1/1

Fig. 1

Fig. 2a

Fig. 2b