



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO
DIREZIONE GENERALE PER LA TUTELA DELLA PROPRIETÀ INDUSTRIALE
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI

UTBM

DOMANDA NUMERO	101983900001085
Data Deposito	13/10/1983
Data Pubblicazione	13/04/1985

Priorità	436.101
Nazione Priorità	US
Data Deposito Priorità	22-OCT-82

Titolo

RELE' ULTRARAPIDO PERFEZIONATO

DOCUMENTAZIONE RILEGATA

DESCRIZIONE dell'invenzione industriale dal titolo:

"RELE'ULTRARAPIDO PERFEZIONATO"

della WESTINGHOUSE CANADA INC., di nazionalità canadese, con sede a HAMILTON, Ontario (CANADA)

Inventore designato: ALLAN M. BIGNELL

Depositata il: 13 OTT. 1983

2 3 2 9 1 A / 83

RIASSUNTO

E' descritta un'apparecchiatura di protezione a relè per rilevare la direzione o distanza di un guasto dal punto di misura su una linea elettrica di trasmissione di potenza a c.a. utilizzando segnali di scostamento di tensione e di corrente. I segnali di scostamento rappresentano le variazioni indotte dal guasto rispetto ai valori di regime pre-guasto. Su un piano X-Y vengono rappresentate graficamente delle traiettorie usando il segnale di scostamento di tensione come coordinata dell'asse delle X e il segnale di scostamento di corrente differenziato moltiplicato per la reattanza della linea rispetto al punto di equilibrio come coordinata dell'asse delle Y. Dato l'uso del segnale di scostamento di corrente differenziato, le traiettorie sono linee rette. I limiti di soglia per determinare la distanza o la direzione del guasto sono rette variabili nel tempo di pendenza unitaria rappresentanti la tensione pre-guasto nel punto di guasto. Per un guasto esterno al punto di equilibrio, la

traiettoria è sfasata in ritardo rispetto al limite di soglia; per un guasto nel punto di equilibrio, la traiettoria è sempre uguale alla tensione nel punto di equilibrio; e per un guasto interno al punto di equilibrio, la traiettoria è sempre sfasata in anticipo rispetto al limite di soglia.

TESTO DELLA DESCRIZIONE

La presente invenzione si riferisce generalmente alle apparecchiature di protezione a relè per proteggere le linee di trasmissione di potenza elettrica a c.a., e più specificatamente ai relè ultrarapidi.

Le linee elettriche di trasmissione a c.a. trifase e gli impianti di generazione di potenza devono essere protetti dai guasti dell'isolamento e conseguenti cortocircuiti o cali della resistenza in parallelo che potrebbero provocare il collasso del sistema di generazione, gravi e costosi danni alle apparecchiature, e infortuni al personale. Per esempio, un tale guasto è provocato dalla scarica superficiale di una linea di trasmissione verso terra o fra i conduttori della linea di trasmissione, indotta da una scarica atmosferica. In tale condizione di guasto, le correnti di linea possono aumentare fino a più volte il valore normale provocando così la perdita di sincronismo dei generatori e danneggiando o distruggendo sia la linea di trasmissione che l'equi-

paggiamento allacciato.

Per evitare i danni all'equipaggiamento e il collasso dell'intero sistema di generazione, le apparecchiature guaste sulla linea di trasmissione principale devono essere disinserite dalla rete in 0,1 - 0,5 secondi. Il limite del tempo di disinserimento deve consentire l'intervento di grossi interruttori che interrompono fino a 80.000 A e il completamento delle operazioni di emergenza se questi dispositivi di protezione primari non funzionano debitamente. Per lasciare un tempo sufficiente all'interruzione del circuito, la posizione del guasto deve essere determinata in circa 8 - 20 ms. E' funzione dei relè di protezione, che continuamente controllano le tensioni e le correnti a c.a., il localizzare i guasti in linea e il dare inizio al disinserimento mediante l'intervento degli interruttori appropriati.

La direzione e distanza di un guasto rispetto a una posizione di misura su una linea di trasmissione sono usualmente determinate con l'ausilio di relè distanziometrici. Questi relè incorporano elementi elettromeccanici o elettronici che per funzionare correttamente richiedono segnali d'ingresso a frequenza industriale sostanzialmente sinusoidali. Quando si verifica un guasto sulla linea di trasmissione, vi è uno scostamento nei segnali di corrente e tensione a frequenza industriale e vengono pu-

re generate onde migranti transitorie. Poichè i segnali a frequenza industriale distorti dall'onda migrante non sono adatti per il rilevamento del relè distanziometrico, l'intervento del relè di protezione deve attendere lo smorzamento degli effetti distorcenti, ossia delle onde migranti. Questo smorzamento è un processo relativamente lento. In alternativa, possono essere usati filtri di frequenza per filtrare gli effetti delle onde migranti transitorie consentendo così alle componenti a frequenza industriale di essere valutate dal relè di protezione più tempestivamente. Valutando la variazione dei segnali a frequenza industriale dopo il guasto a confronto dei valori di regime stazionario prima del guasto, i relè distanziometrici possono assumere decisioni di sgancio indipendenti o di zona 1.

Un approccio della tecnica nota per assumere tali decisioni di sgancio di zona 1, descritto nel brevetto U.S.A. n. 4 287 547, rappresenta graficamente la traiettoria degli scostamenti di tensione e di corrente generati dal guasto in funzione del tempo su un piano degli scostamenti, con lo scostamento di tensione sull'asse delle X e lo scostamento di corrente sull'asse delle Y. Il tracciato definisce un'orbita ellittica con rotazione oraria indicante un guasto nella direzione in avanti. In ogni quadrante sono stabiliti i limiti di soglia di zona 1 e se la traiettoria interseca un limite in avanti, si sa che il

guasto è nella direzione in avanti e compreso entro la zona protetta. Questa decisione di sgancio in zona 1 è però complicata dal fatto che la posizione e forma dell'orbita ellittica è funzione sia dell'angolo d'inizio γ del guasto che dell'impedenza X_g della sorgente. Perciò, è estremamente difficile stabilire le soglie limite per gli sganci in zona 1.

La domanda di brevetto U.S.A. Serial No. 291 745 depositata l'11 agosto 1981, che è ceduta alla **richiedente** della presente **domanda**, risolve i problemi pratici associati al concetto della traiettoria ellittica, differenziando il segnale di scostamento di corrente ed usando questo segnale differenziato come coordinata dell'asse delle Y. In alternativa, può essere integrato il segnale di scostamento di tensione. Per assumere decisioni di sgancio indipendenti o di zona 1, la risposta dell'onda migrante viene soppressa, mediante filtraggio, dai segnali di scostamento. Anzichè un'ellisse avente un senso di rotazione dipendente dalla direzione del guasto, un guasto in avanti produce su questo piano degli scostamenti trasformato una traiettoria a linea retta, la linea retta intersecando l'origine fra il secondo e il quarto quadrante per un guasto diretto in avanti.

A differenza dell'orbita ellittica, in cui posizione e forma dipendono dall'angolo d'inizio γ del

guasto e dalla impedenza X_s della sorgente, le traiettorie in linea retta non sono influenzate dall'angolo d'inizio del guasto. Solo la pendenza della linea retta della traiettoria varia con l'impedenza della sorgente. Così, le soglie limite per rilevare un guasto in zona 1 non devono essere stabilite per il "caso peggiore", cioè per tener conto dell'intera gamma di valori possibili di X_s e di δ , come sarebbe richiesto per l'approccio a traiettoria ellittica della tecnica nota. Il relè di protezione per traiettoria a linea retta della tecnica nota può perciò essere tarato per una molto maggior percentuale della linea protetta, e rivela ed elimina più guasti di zona 1 meglio di un sistema utilizzante il concetto dell'orbita ellittica.

La presente invenzione rappresenta un importante perfezionamento rispetto alla domanda di brevetto sopra citata. Le soglie limite del relè della tecnica nota sono rappresentate da linee rette fisse stabilite in base alle previste ampiezze di picco del segnale di scostamento di corrente differenziato e del segnale di scostamento di tensione. La presente invenzione descrive un limite di soglia variabile per consentire un più rapido rilevamento del guasto. Cioè, il limite di soglia varia nel tempo in accordo con la traiettoria a linea retta, e perciò lo sgancio non deve attendere l'intersezione di una

linea retta fissa di soglia da parte di un valore di picco del segnale di scostamento di corrente differenziato o del segnale di scostamento di tensione.

E' descritto un relè di protezione per determinare la direzione di un guasto da un punto di misura di una linea di trasmissione d'energia elettrica alimentata da una sorgente di potenza a c. a., e per determinare se il guasto è entro una predeterminata distanza dal punto di misura. Il relè di protezione misura gli scostamenti di corrente e di tensione generati dal guasto rispetto ai valori di regime stazionario pre-guasto. Dopo il filtraggio per eliminare i transitori dovuti all'attività dell'onda migrante indotta dal guasto, il segnale di corrente viene differenziato (oppure il segnale di tensione viene integrato). I segnali variabili nel tempo dello scostamento di tensione e dello scostamento di corrente differenziato sono rappresentati graficamente su un piano X-Y usando i segnali di scostamento di tensione e di scostamento differenziato di corrente, rispettivamente, come coordinate X e Y. Viene stabilito un limite di soglia variabile nel tempo in due predeterminati quadranti del piano X-Y, e dei comparatori determinano quando la traiettoria variabile nel tempo interseca il limite di soglia variabile nel tempo, indicando così che il guasto è nella direzione in avanti ed entro la predeterminata

distanza dal relè. Dei limiti di soglia variabili nel tempo possono essere stabiliti anche negli altri due quadranti per rilevare guasti in direzione inversa. Questa determinazione provoca lo sgancio dell'interruttore appropriato per disinserire quella parte della linea di trasmissione d'energia elettrica a c. a.

L'invenzione potrà esser meglio compresa e i suoi ulteriori vantaggi e impieghi risulteranno più facilmente evidenti dalla seguente descrizione dettagliata delle forme di realizzazione dell'invenzione illustrate nei disegni acclusi, in cui:

la fig. 1 è un grafico del piano degli scostamenti trasformato illustrante una traiettoria a linea retta e i limiti di soglia a linea retta fissa del relè distanziometrico secondo la tecnica nota;

le fig. 2A, 2B, e 2C rappresentano rispettivamente i modelli pre-guasto, di guasto, e post-guasto di un sistema di potenza convenzionale;

la fig. 3 è una semplificazione del modello post-guasto di fig. 2C;

le fig. 4A, 4B e 4C sono grafici di una traiettoria a linea retta e del limite di soglia variabile nel tempo secondo la presente invenzione;

la fig. 5 è un diagramma vettoriale della linea di trasmissione delle fig. 2A, 2B e 2C;

le fig. 6A, 6B e 6C illustrano possibili relazioni fra la traiettoria e il limite di soglia;

la fig. 7 è uno schema circuitale parziale e uno schema a blocchi parziale di un sistema di relè di protezione per proteggere una linea di trasmissione di energia elettrica, in cui il relè di protezione è costruito secondo gli insegnamenti della presente invenzione; e

la fig. 8 è uno schema illustrante una forma di realizzazione esemplificativa del relè di protezione descritto in fig. 7.

Nella domanda di brevetto della tecnica nota sopra citato sono stabiliti, sul piano degli scostamenti trasformato, dei limiti di soglia fissi a linea retta in cui lo scostamento di tensione rispetto al tempo è rappresentato sull'asse delle X e la derivata dello scostamento di corrente rispetto al tempo è rappresentata sull'asse delle Y. La soglia fissa viene superata, indicando il manifestarsi di un guasto, solo quando un valore di picco dello scostamento di tensione o della derivata dello scostamento di corrente supera un limite di soglia. Cioè, i limiti di soglia rappresentano una linea di reattanza di guasto costante per il caso delle ampiezze di picco dello scostamento di tensione e della derivata dello scostamento di corrente. Usando i limiti di soglia fissi, il guasto non può essere rivelato fino a che non

si manifesti l'ampiezza di picco dello scostamento di tensione o della derivata dello scostamento di corrente. Nella domanda di brevetto della tecnica nota, il limite di soglia è definito dall'equazione:

$$\frac{d}{dt} \Delta i(t) = \frac{1}{X_f} \Delta v(t) + \frac{E}{X_f} \quad (1)$$

ove $\Delta i(t)$ è lo scostamento di corrente e $\Delta v(t)$ è lo scostamento di tensione dai valori pre-guasto; X_f è l'impedenza di linea rispetto al guasto (supposta essere pura reattanza), e E è la tensione di picco della sorgente. Limiti di soglia esemplificativi e una traiettoria del tipo definito dall'equazione (1) sono rappresentati in fig. 1.

Si noti che l'equazione (1) definisce i limiti di soglia fissi associati alla domanda di brevetto della tecnica nota. L'uso di soglie fisse equivale a tarare il relè in base ai valori di picco degli scostamenti di corrente e tensione. Per guasti manifestantisi vicino ai picchi di tensione la traiettoria interseca immediatamente una soglia fissa. Ma per guasti che avvengono in altri punti della forma d'onda vi è un ritardo fino a che la traiettoria non interseca una soglia fissa. Utilizzando soglie mobili la traiettoria interseca immediatamente la soglia per guasti che avvengono a qualsiasi angolo d'inizio. L'uso delle soglie mobili è l'essenza del-

la presente invenzione.

Per spiegare debitamente i principii di funzionamento della presente invenzione, nelle fig. 2A, 2B e 2C sono rappresentati dei modelli di linea di trasmissione. Un modello pre-guasto è raffigurato in fig. 2A, un modello di guasto in fig. 2B, e un modello post-guasto in fig. 2C. In fig. 2A le sorgenti $E_1(t)$ e $E_2(t)$ con impedenze di sorgente rispettivamente X_{s1} e X_{s2} forniscono potenza a una linea di trasmissione 16. La linea di trasmissione 16 comprende i relè 10 e 12, e le impedenze di linea di trasmissione mX_L e $(1-m)X_L$. Nel modello di guasto di fig. 2B, si assume che si sia verificato un guasto fra un punto 18 della linea di trasmissione 16 e un punto 20 sul conduttore neutro 22. Una sorgente $-v_{op}(t)$ è inserita fra i punti 18 e 20; come ben noto nella tecnica, la sorgente $-v_{op}(t)$ rappresenta l'opposto della tensione pre-guasto fra i punti 18 e 20. Nel modello post-guasto di fig. 2C è rappresentata una corrente di guasto $i_f(t)$.

Dal circuito post-guasto di fig. 2C si vede che:

$$\bar{V}_1 = \bar{I}_1 \cdot m\bar{X}_L$$

(I trattini indicano notazione vettoriale). In un tipico relè distanziometrico la corrente $\bar{I}_1$ vien fatta passare attraverso una immagine o impedenza compensatrice $\bar{Z}_R$ e la tensione risultante è sottratta dalla tensione di fase $\bar{V}_1$.

Questa grandezza derivata è chiamata tensione operativa. Se la reattanza di guasto $m\bar{X}_L$ è uguale all'impedenza immagine $\bar{Z}_R$, il guasto è nel punto di equilibrio e la tensione operativa è zero. Se il guasto è internamente o esternamente al punto d'equilibrio, la tensione operativa è positiva o negativa. Per determinare il segno della tensione operativa essa è confrontata in fase con la tensione $\bar{V}_1$ che è detta tensione polarizzante. Se le tensioni operativa e polarizzante sono sfasate di 180° il guasto è interno al punto d'equilibrio. Se le tensioni operativa e polarizzante sono in fase, il guasto è esterno al punto di equilibrio.

La stessa tecnica può ora essere applicata al modello di fig. 2B. Se si assume una resistenza di guasto zero, i circuiti alla sinistra e alla destra del guasto di fig. 2B sono disaccoppiati e possono essere considerati separatamente. Rispetto al relè 10, il modello di fig. 2B può essere rifatto come mostra la fig. 3. Data la somiglianza fra i modelli di fig. 2C e 3, la stessa tecnica può essere usata per determinare la distanza dal guasto. Vale la seguente equazione (i suffissi numerici sono stati tralasciati per generalizzare l'equazione).

$$\bar{V}_{op} = \Delta\bar{V} + \Delta\bar{I} \cdot m\bar{X}_L \quad (2)$$

L'equazione (2) è valida indipendentemente dall'angolo d'inizio del guasto e dalla reattanza della sorgente.

In valori istantanei:

$$v_{op}(t) = -\Delta v(t) + L_L \left(\frac{d}{dt} \Delta i(t) \right) \quad (3)$$

Riordinando si ottiene:

$$L_L \left(\frac{d}{dt} \Delta i(t) \right) = \Delta v(t) + v_{op}(t) \quad (4)$$

L'equazione (4) può essere confrontata con l'equazione generale di una retta, $y = mx + b$, in un normale sistema di coordinate cartesiane ove m è la pendenza e b è l'intercetta sull'asse delle y di $v_{op}(t)$ in un piano degli scostamenti trasformato in cui l'asse delle Y è rappresentato da $L_L \left(\frac{d}{dt} \Delta i(t) \right)$ e l'asse delle X è rappresentato da $\Delta v(t)$. Si noti che nella presente invenzione l'intercetta sull'asse delle Y ($v_{op}(t)$) varia in funzione del tempo mentre nella domanda di brevetto della tecnica precedente l'intercetta sull'asse delle Y è costante ($\frac{E}{X_f}$). Facendo la derivata dello scostamento di corrente e scalandolo di un termine L_R , ove L_R determina la taratura del relè, si ottiene un sistema di coordinate in cui su entrambi gli assi sono rappresentate tensioni in fase.

Questo criterio di usare la trasformata del piano degli scostamenti presenta vari vantaggi. Innanzitutto si noti che la dipendenza dall'angolo d'inizio del guasto o dall'asimmetria della corrente di guasto viene eliminata perchè la differenziazione blocca effettivamente tutte le componenti a c.c. Poichè entrambe le tensioni sono in fase, esse producono una traiettoria in linea ret-

ta. Ciò deriva dal fatto che le tensioni sono sinusoidali e raggiungono i loro picchi, zeri e valori intermedi nello stesso tempo. Poichè la stessa corrente $\Delta i(t)$ circola attraverso le reattanze X_S e mX_L , la pendenza di questa traiettoria in linea retta dipende da un certo rapporto fra le reattanze di guasto e di sorgente. (La descrizione della domanda di brevetto della tecnica precedente è qui incorporata per riferimento; per altri particolari sulla trasformata del piano degli scostamenti oltre a quelli qui inclusi, riferirsi alla domanda citata).

L'equazione (4) può essere considerata la retta di una reattanza di guasto costante, come specificato da L_L , sul piano trasformato. In qualunque istante si può perciò definire una soglia corrispondente al punto di equilibrio del relè, specificando una taratura L_R del relè. Si noti che in questo caso la soglia non è fissa ma invece è una linea retta di pendenza uno la cui intercetta sull'asse delle Y varia con $v_{op}(t)$. Così la soglia ora si sposta in modo simile alla traiettoria. Si può ricavare una relazione fra questa soglia e le traiettorie in linea retta. Se si verifica un guasto nel punto di equilibrio, è allora $L_L = L_R$ e ad ogni istante il punto della traiettoria giace direttamente sulla soglia. Se L_L è minore di L_R , il guasto è interno al punto di equili-

brio e il relè interviene. Se L_L è maggiore di L_R , il guasto è all'esterno del punto di equilibrio.

Il concetto del limite di soglia variabile nel tempo è illustrato nelle fig. 4A, 4B, 4C in cui è rappresentato un limite di soglia agli istanti t_1 e t_2 nel secondo quadrante del piano X-Y. Se il guasto è oltre il punto di equilibrio, la traiettoria del guasto è sempre in ritardo rispetto al limite di soglia. Per esempio, in fig. 4A la traiettoria è a un punto 34 all'istante t_1 e ad un punto 36 all'istante t_2 . La fig. 4B illustra la situazione in cui il guasto è situato nel punto di equilibrio. In questo caso, la traiettoria è sempre sul limite di soglia. Per esempio, in t_1 la traiettoria è a un punto 40 sul limite di soglia e in t_2 la traiettoria è a un punto 42 pure sul limite di soglia. In fig. 4C, il guasto è interno al punto di equilibrio e la traiettoria di guasto supera in ogni istante il limite di soglia. Per esempio, all'istante t_1 la traiettoria è in un punto 44 oltre il limite di soglia e all'istante t_2 la traiettoria è in un punto 46 anch'esso oltre il limite di soglia.

Per ottenere la soglia mobile illustrata nelle figure 4A, 4B e 4C è necessario determinare il valore $v_{op}(t)$ dell'equazione (4). Se si suppone che non vi sia un'alimentazione del carico pre-guasto (componente reale della potenza) è allora $V_{op} = V_{1p} = V_{2p}$ in fig. 2A. Se esiste

circolazione di corrente di carico, allora $\bar{V}_{op}$ è una tensione di ampiezza inferiore a $\bar{V}_{1P}$ e $\bar{V}_{2P}$ e sfasata in anticipo o in ritardo rispetto a $\bar{V}_{1P}$ a seconda della direzione della corrente di carico (supponendo che non vi sia trasferimento di potenza reattiva). In fig. 5, la tensione $\bar{V}_{1P}$ è in anticipo su $\bar{V}_{2P}$ di un angolo α provocando così la circolazione di una corrente di carico nella linea 2. Considerando un guasto a metà della linea di trasmissione 16, tale da ridurre al valore minimo l'ampiezza di $\bar{V}_{op}$, la differenza di ampiezza fra V_{1P} e V_{op} ne risulta elevata. Supponendo un angolo di 60° ai capi della linea di trasmissione 16, l'ampiezza di V_{op} è l'86,6% di V_{1P} . L'errore introdotto assumendo che l'ampiezza di V_{op} sia quella di V_{1P} appare lieve. Questa assunzione provoca solo un effetto di portata secondaria per il relè, che diviene meno significativo a misura che il punto del guasto si allontana dal centro della linea di trasmissione 16. Il problema della differenza di fase fra $\bar{V}_{1P}$ e $\bar{V}_{op}$ è però molto più grave.

Il concetto della soglia mobile richiede che la traiettoria e la soglia abbiano la stessa fase. Vedere le fig. 6A, 6B, e 6C. In fig. 6A, le due curve sono in fase e la curva corrispondente alla soglia è sempre più ampia di quella corrispondente alla traiettoria. Ciò è analogo all'essere la traiettoria sempre indietro

rispetto alla soglia, ove il termine indietro implica meno positiva nel semiperiodo positivo e meno negativa nel semiperiodo negativo. Il problema si manifesta quando la curva della traiettoria è in anticipo (o in ritardo) rispetto alla curva della soglia, come indicato in fig. 6B. In questo caso, le regioni di funzionamento scorretto, indicate con A e B, provocano indicazioni inesatte. Il problema è anche più grave quando il guasto si avvicina al punto d'equilibrio e la curva della traiettoria è quasi in fase e della stessa ampiezza della curva di soglia (vedere fig. 6C). In questa situazione le regioni di funzionamento scorretto sono quasi di 90° . E' interessante notare che 90° è il limite di questa possibile area di malfunzionamento e vi si avvicina quando la posizione del guasto si approssima al punto di equilibrio.

Per ovviare al problema illustrato nelle fig. 6A, 6B e 6C è necessario usare un temporizzatore a coincidenza. Il temporizzatore a coincidenza richiede che la traiettoria preceda la soglia per un tempo predeterminato prima che venga prodotto un segnale di sgancio.

Studiando le fig. 6A, 6B, e 6C, appare evidente che la regione di indicazione inesatta dipende dalla differenza di fase e ampiezza fra i due segnali. In generale, per sinusoidi di diverse ampiezze e fasi si pos-

sono scrivere le equazioni

$$f_1(\omega t) = A \sin \omega t \quad (5)$$

$$f_2(\omega t) = B \sin(\omega t + \alpha) \quad (6)$$

Risolvendo le equazioni (5) e (6) per l'angolo totale ϕ di indicazione inesatta:

$$\phi = \omega t = \tan^{-1} \left(\frac{B \sin \alpha}{A - B \cos \alpha} \right) \quad (6)$$

L'angolo ϕ corrisponde a un tempo T ove

$$T = \phi \times 360 / 16,67 \text{ msu} \quad (7)$$

L'equazione (7) definisce il tempo totale continuativo durante il quale si verifica l'indicazione inesatta. Perciò l'usare un tempo di coincidenza maggiore di T impedisce il malfunzionamento. Se non si vuole uno scavalcamento nel punto di equilibrio, occorre adottare un tempo di coincidenza di 90° o circa 4,17 ms.

Passando ora alla fig. 7, è ivi rappresentato un sistema a linea di trasmissione di energia elettrica trifase 48 protetto da un relè di protezione 50 costruito secondo gli insegnamenti della presente invenzione. Nella forma di realizzazione esemplificativa di fig. 5 ciascuna fase del sistema a linea di trasmissione di energia elettrica trifase 48 è mantenuta sotto controllo nei riguardi dei guasti da un relè di protezione simile al relè di protezione 50, e perciò solo il relè di protezione 50 è rappresentato e discusso in dettaglio.

Il sistema a linea di trasmissione di energia

elettrica trifase 48 comprende una sorgente di potenza 52 avente una frequenza, per esempio, di 50 Hz o 60 Hz. La sorgente di potenza 52 è connessa al sistema a linea di trasmissione d'energia elettrica trifase 48 attraverso un interruttore 54.

Il relè di protezione 50 è un relè ultrarapido capace di funzionare in un modo a confronto direzionale (che fornisce solo la direzione del guasto) e in un modo indipendente di zona 1. Nel modo a confronto direzionale, il relè è tarato in modo da sopravanzare il tratto di linea protetto. Inoltre, in questo modo è usato un leggero filtraggio (un filtro passa basso con frequenza di taglio di circa 1 kHz) solo per ridurre gli effetti delle armoniche ad alta frequenza dovute alle scariche atmosferiche o alle interferenze di circuiti adiacenti. Poichè il filtraggio è leggero, vi è poco ritardo e il relè opera più rapidamente, ma la precisione del sopravanzamento è scarsa. Nel modo a confronto direzionale, invece, la mancanza di precisione nel sopravanzamento ha poca importanza. Aumentando la quantità di filtraggio, la precisione d'intervento del relè migliora, ma il funzionamento è più lento. Perciò, un compromesso fra la quantità di filtraggio e la velocità di funzionamento dipende dalla particolare applicazione in cui il relè di protezione è usato. Il relè di protezione 50 uti-

lizza gli scostamenti di tensione e corrente rispetto al regime stazionario prodotti dal guasto per assumere la decisione di sgancio.

Un trasformatore amperometrico 56 è magneticamente accoppiato alla fase A del sistema a linea trifase di trasmissione d'energia elettrica 48 per produrre un segnale $i(t)$. Il segnale $i(t)$ è composto di due componenti: componenti a frequenza industriale, alla frequenza della sorgente di potenza 52, e componenti ad alta frequenza. Il segnale $i(t)$ è applicato a un filtro passa basso 58 del relè di protezione 50 per filtrare le componenti ad alta frequenza come sopra descritto. Un terminale d'uscita del filtro passa basso 58 è connesso a un terminale d'ingresso di un filtro passa banda 60. Il filtro passa banda 60 è un filtro passa banda a Q elevato che serve come "memoria" per fornire una misura della corrente di regime stazionario pre-guasto. Un segnale $i_p(t)$ rappresentante la corrente di regime pre-guasto è prodotto dal filtro passa banda 60.

Il terminale d'uscita del filtro passa basso 58 è connesso a un primo terminale d'ingresso di un amplificatore sommatore 62. Un secondo terminale d'ingresso dell'amplificatore sommatore 62 è sensibile a $i_p(t)$. L'amplificatore sommatore 62 produce un segnale d'uscita $\Delta i(t)$ rappresentante lo scostamento di corrente prodotto dal

guasto rispetto alla corrente di regime pre-guasto (cioè $\Delta i(t)$ è uguale al segnale d'uscita del filtro passa basso 58 meno $i_p(t)$). Il segnale $\Delta i(t)$ è differenziato con un guadagno X_R , che rappresenta la taratura del relè di protezione 50 o la reattanza del sistema a linea di trasmissione d'energia elettrica trifase 48 nel punto di equilibrio, in un differenziatore 64. Il segnale d'uscita del differenziatore 64 perciò rappresenta $-X_R \Delta i(t)$.

Un trasformatore voltmetrico 66 è collegato fra la fase A del sistema di trasmissione d'energia elettrica trifase 48 e massa per produrre un segnale di tensione $v(t)$. Il segnale $v(t)$ comprende componenti ad alta frequenza e a frequenza industriale. Per filtrare le componenti ad alta frequenza, il segnale $i(t)$ è applicato a un filtro passa basso 68. Come sopra discusso, la frequenza di taglio del filtro passa basso 68 dipende dall'applicazione del relè di protezione 50. Un terminale d'uscita del filtro passa basso 68 è collegato a un terminale d'ingresso di un filtro passa banda 70. Il filtro passa banda 70 è un filtro passa banda ad alto Q che serve come "memoria" per fornire una misura della tensione di regime pre-guasto. Il filtro passa banda 70 produce un segnale $v_p(t)$ rappresentante la tensione di regime pre-guasto.

Il terminale d'uscita del filtro passa basso

68 è applicato a un primo terminale d'ingresso di un amplificatore sommatore 72. Un secondo terminale d'ingresso dell'amplificatore sommatore 72 è sensibile a $v_p(t)$. Un segnale d'uscita dell'amplificatore sommatore 72 rappresenta lo scostamento di tensione $\Delta v(t)$. Come il segnale di scostamento di corrente $\Delta i(t)$, il segnale di scostamento di tensione $\Delta v(t)$ è la differenza fra le tensioni di regime post-guasto e pre-guasto ($v_p(t)$) della fase A del sistema a linea di trasmissione d'energia elettrica trifase 48. Poichè il segnale di scostamento di corrente differenziato è stato soggetto ad uno stadio addizionale di inversione di polarità dal differenziatore 64, il segnale $\Delta v(t)$ è applicato ad un invertitore 74 per preservare il rapporto di polarità originale fra il segnale di scostamento di corrente differenziato $-X_R \Delta i(t)$ e il segnale di scostamento di tensione $\Delta v(t)$. Un terminale d'uscita dell'invertitore 74 è connesso a un comparatore (non rappresentato in fig. 7) per rivelare i guasti di zona 1 in direzione inversa.

Anzichè differenziare il segnale di scostamento di corrente $\Delta i(t)$, è ugualmente soddisfacente integrare il segnale di scostamento di tensione $\Delta v(t)$. Perchè il relè di protezione 50 funzioni debitamente, è necessario che almeno uno dei segnali di scostamento venga trasformato in modo che l'ordine di differenziazione del segnale di

scostamento di corrente sia di un ordine più elevato del segnale di scostamento di tensione. In pratica, solo uno dei segnali di scostamento viene trasformato, ossia viene differenziato il segnale di scostamento di corrente oppure viene integrato il segnale di scostamento di tensione. Si noti che la differenziazione è considerata l'inverso dell'integrazione. Il segnale di scostamento di corrente può essere differenziato due volte e il segnale di tensione differenziato una volta, oppure il segnale di corrente può essere integrato una volta e il segnale di tensione integrato due volte. Anche se molte combinazioni sono possibili, ai fini della forma di realizzazione esemplificativa di fig. 7 il segnale di scostamento di corrente viene differenziato una volta, e il segnale di scostamento di tensione non è nè differenziato nè integrato. Inoltre, è preferibile differenziare il segnale di scostamento di corrente piuttosto che integrare il segnale di scostamento di tensione, perchè così facendo si elimina la componente a c.c. del segnale di scostamento di corrente e si semplifica il relè di protezione 50.

Il segnale $i_p(t)$ dal filtro passa banda 60 è applicato a un primo terminale di un generatore di soglia 76. Il segnale $v_p(t)$ dal filtro passa banda 70 viene applicato a un secondo terminale d'ingresso del

generatore di soglia 76. Il segnale $\Delta v(t)$ dall'amplificatore sommatore 72 è applicato a un terzo terminale d'ingresso del generatore di soglia 76. (Si noti che come detto in precedenza, il segnale $v_p(t)$ è usato per rappresentare la tensione nel punto del guasto, $v_{op}(t)$, perchè la differenza di ampiezza fra $v_p(t)$ e $v_{op}(t)$ non è sostanziale.) Il generatore di soglia 76 produce un segnale rappresentante la grandezza $(-\Delta v(t)) - v_{op}(t)$. (Vedere l'equazione (4)).

Il segnale $-\Delta v(t) - v_{op}(t)$ del generatore di soglia 76 è applicato a un primo terminale d'ingresso di un comparatore 78 e a un primo terminale d'ingresso di un comparatore 80. Il segnale $-X_R \Delta' i(t)$ è applicato a un secondo terminale d'ingresso dei comparatori 78 e 80. Il comparatore 78 confronta i due segnali al suo ingresso durante la metà positiva del periodo di tensione e il comparatore 80 confronta i due segnali al suo ingresso durante il semiperiodo negativo della tensione. Se il segnale $-X_R \Delta' i(t)$ supera il segnale $-\Delta v(t) - v_{op}(t)$ nel comparatore 78, un terminale d'uscita del comparatore 78 va ad 1. Se il segnale $-X_R \Delta' i(t)$ supera il segnale $-\Delta v(t) - v_{op}(t)$ nel comparatore 80, un suo terminale d'uscita va ad 1.

Il terminale d'uscita del comparatore 78 è connesso a un primo terminale d'ingresso di una porta logica

OR 82; e il terminale d'uscita del comparatore 80 è connesso a un secondo terminale d'ingresso della porta OR 82. Quando il terminale d'uscita del comparatore 78 o del comparatore 80 va ad 1, un terminale d'uscita della porta OR 82 va pure ad 1. Il terminale d'uscita della porta OR 82 è connesso a un terminale d'ingresso di un temporizzatore a coincidenza 83. Come detto sopra, il temporizzatore a coincidenza 83 assicura che la traiettoria preceda la soglia per un tempo predeterminato prima che sia prodotto un segnale di sgancio. Se il terminale d'ingresso del temporizzatore a coincidenza 83 è ad 1 per il tempo predeterminato, un suo terminale d'uscita va ad 1 e si blocca nello stato 1, producendo così il segnale di sgancio. In un'applicazione indipendente di zona 1 il terminale d'uscita del temporizzatore a coincidenza 83 è collegato a un terminale d'ingresso di una bobina di sgancio 84. La bobina di sgancio 84 sgancia l'interruttore 54 quando il suo terminale d'ingresso va ad 1. Se il relè di protezione 50 è usato in un modo di confronto direzionale, la bobina di sgancio 84 non è presente. Invece, il relè di protezione 50 comunica con un relè di protezione simile (non rappresentato in fig. 7) all'estremo opposto del sistema di linea di trasmissione di energia elettrica trifase 48 per determinare se il guasto si trova là.

La fig. 8 illustra una forma di realizzazione schematica esemplificativa del relè di protezione 50. Il segnale $i(t)$ del trasformatore amperometrico 56 (non rappresentato in fig. 8) è applicato ai capi della bobina primaria di un trasformatore d'isolamento 86. Un resistore 88 è collegato ai capi di una bobina secondaria del trasformatore d'isolamento 86. Un primo terminale del resistore 88 è collegato a massa e un secondo suo terminale è collegato a un terminale d'ingresso invertente di un amplificatore operazionale 92 attraverso un resistore 90. Un terminale d'ingresso non invertente dell'amplificatore operazionale 92 è collegato a massa attraverso un resistore 94. Un terminale d'uscita dell'amplificatore operazionale 92 è collegato al suo terminale d'ingresso invertente attraverso una combinazione in parallelo di un condensatore 96 e un resistore 98. Il trasformatore d'isolamento 86, l'amplificatore operazionale 92, e i resistori e condensatori ad essi associati costituiscono il filtro passa basso 58 del relè di protezione 50.

Il terminale d'uscita dell'amplificatore operazionale 92 è connesso a un terminale d'ingresso invertente di un amplificatore operazionale 104 mediante una combinazione in serie di un resistore 100 e di un condensatore 102. Un terminale 101 fra il resistore 100 e il condensatore 102 è collegato a un terminale d'uscita dell'ampli-

ficatore operazionale 104 e il suo terminale d'ingresso invertente. Un terminale d'ingresso non invertente dell'amplificatore operazionale 104 è collegato a massa attraverso un resistore 110. Il segnale al terminale d'uscita dell'amplificatore operazionale 104 è $i_p(t)$. L'amplificatore operazionale 104 e i resistori e condensatori ad esso associati costituiscono il filtro passa/banda 60.

Il terminale d'uscita dell'amplificatore operazionale 92 è collegato a un terminale d'ingresso invertente di un amplificatore operazionale 116 attraverso un resistore 112. Il terminale d'ingresso invertente dell'amplificatore operazionale 116 è pure connesso al terminale d'uscita dell'amplificatore operazionale 104 attraverso un resistore 114. Un terminale d'ingresso non invertente dell'amplificatore operazionale 116 è collegato a massa attraverso un resistore 120. Un terminale d'uscita dell'amplificatore operazionale 116 è collegato al suo terminale d'ingresso invertente attraverso un resistore variabile 118. Il resistore variabile 118 è regolato in modo da ottenere un guadagno dell'amplificatore operazionale 116 uguale alla taratura X_R del relè. Il segnale al terminale d'uscita dell'amplificatore operazionale 116 è $\Delta i(t)$. L'amplificatore sommatore 62 comprende l'amplificatore operazionale 116 e i resistori associati.

Il terminale d'uscita dell'amplificatore opera-

zionale 116 è connesso a un terminale d'ingresso invertente di un amplificatore operazionale 124 attraverso un condensatore 122. Un terminale d'uscita dell'amplificatore operazionale 124 è connesso al terminale d'ingresso invertente dello stesso attraverso un resistore 126. Un terminale d'ingresso non invertente dell'amplificatore operazionale 124 è collegato a massa attraverso un resistore 128. Il segnale al terminale d'uscita dell'amplificatore operazionale 124 è $-X_R \Delta i(t)$. L'amplificatore operazionale 124 e i resistori e condensatori ad esso associati costituiscono il differenziatore 64.

Passando ora ai circuiti di tensione illustrati in fig. 8, il segnale $v(t)$ del trasformatore voltmetrico 66 (non rappresentato in fig. 8) è applicato a un trasformatore d'isolamento 130. Un primo terminale di un avvolgimento secondario del trasformatore d'isolamento 130 è collegato a massa; un secondo suo terminale è collegato a un terminale d'ingresso invertente di un amplificatore operazionale 134 attraverso un resistore 132. Un terminale d'uscita dell'amplificatore operazionale 134 è collegato al terminale d'ingresso invertente dello stesso attraverso una combinazione in parallelo di un condensatore 136 e un resistore 138. Un terminale d'ingresso non invertente dell'amplificatore operazionale 134 è collegato a massa attraverso un resistore 140. Il tra-

sformatore d'isolamento 130, l'amplificatore operativo 134, e i resistori e condensatori ad essi associati costituiscono il filtro passa basso 68.

Il terminale d'uscita dell'amplificatore operativo 134 è collegato a un terminale 141 attraverso un resistore 142. Il terminale 141 è collegato a un ingresso invertente di un amplificatore operativo 144 attraverso un condensatore 150. Il terminale 141 è pure collegato a un terminale d'uscita dell'amplificatore operativo 144 attraverso un condensatore 146. Un resistore 148 è collegato fra il terminale d'uscita dell'amplificatore operativo 144 e il terminale d'ingresso invertente dello stesso. Un terminale d'ingresso non invertente dell'amplificatore operativo 144 è collegato a massa attraverso un resistore 152. Il segnale $v_p(t)$ è prodotto al terminale d'uscita dell'amplificatore operativo 144. L'amplificatore operativo 144 e i condensatori e resistori ad esso associati costituiscono il filtro passa/banda 70.

Il segnale $v_p(t)$ dell'amplificatore operativo 144 è applicato a un terminale d'ingresso invertente di un amplificatore operativo 158 attraverso un resistore 154. Il terminale d'uscita dell'amplificatore operativo 134 è pure connesso al terminale d'ingresso invertente dell'amplificatore operativo 158 attraverso

un resistore 162. Un terminale d'ingresso dell'amplificatore operazionale 158 è collegato al terminale d'ingresso invertente dello stesso attraverso un resistore 160. Un terminale d'ingresso non invertente dell'amplificatore operazionale 158 è collegato a massa attraverso un resistore 156. Il segnale al terminale d'uscita dell'amplificatore operazionale 158 è $\Delta v(t)$. L'amplificatore operazionale 158 e i resistori ad esso associati costituiscono l'amplificatore sommatore 72.

Il segnale $\Delta v(t)$ è applicato a un terminale d'ingresso invertente di un amplificatore operazionale 168 attraverso un resistore 164. Un terminale d'uscita dell'amplificatore operazionale 168 è collegato al terminale d'ingresso invertente dello stesso attraverso un resistore 170. Un terminale d'ingresso non invertente dell'amplificatore operazionale 168 è collegato a massa attraverso un resistore 172. L'amplificatore operazionale 168 e i resistori associati costituiscono l'invertitore 74.

Continuando con i particolari del generatore di soglia 76 illustrato in fig. 8, il segnale $v_p(t)$ è applicato a un terminale d'ingresso invertente di un amplificatore operazionale 206 attraverso un resistore 202. Il segnale $\Delta v(t)$ al terminale d'uscita dell'amplificatore operazionale 158 è pure collegato al terminale d'in-

gresso invertente dell'amplificatore operazionale 206 attraverso un resistore 200. Un terminale d'uscita dell'amplificatore operazionale 206 è collegato al terminale d'ingresso invertente dello stesso attraverso un resistore 204. Un terminale d'ingresso non invertente dell'amplificatore operazionale 206 è collegato a massa attraverso un resistore 208. Un segnale rappresentativo di $-\Delta v(t) - v_{op}(t)$ è presentato al terminale d'uscita dell'amplificatore operazionale 206. L'amplificatore operazionale 206, insieme con gli associati resistori, costituisce il generatore di soglia 76.

Il terminale d'uscita dell'amplificatore operazionale 206 è collegato a un terminale anodico di un diodo 210; un terminale catodico del diodo 210 è collegato a un terminale 208. Il terminale d'uscita dell'amplificatore operazionale 124 è collegato a un terminale anodico di un diodo 214; un terminale catodico del diodo 214 è collegato a un terminale 212. Il terminale 208 è collegato a un terminale d'ingresso invertente di un comparatore 220 attraverso un resistore 216. Il terminale 208 è pure collegato a massa attraverso un resistore 222. Il terminale 212 è collegato a un terminale d'ingresso non invertente dell'amplificatore operazionale 220 attraverso un resistore 218. Il terminale 212 è pure collegato a massa attraverso un resistore 224. Un terminale d'uscita del compara-

ratore 220 è connesso al primo terminale d'ingresso della porta OR 82. Il comparatore 220 e i resistori e diodi ad esso associati costituiscono il comparatore 78 rappresentato in fig. 8. Il terminale d'uscita del comparatore 220 va ad 1 se il segnale $(X_R \Delta'i(t))$ al suo terminale d'ingresso non invertente supera il segnale $-\Delta v(t) - v_{op}(t)$ al suo terminale invertente durante il semiperiodo positivo.

Il terminale d'uscita dell'amplificatore operazionale 124 è collegato a un terminale catodico di un diodo 228. Un terminale anodico del diodo 228 è collegato a un terminale d'ingresso invertente di un comparatore 226. Il terminale d'uscita dell'amplificatore operazionale 206 è collegato a un terminale catodico di un diodo 230. Un terminale anodico del diodo 230 è connesso a un terminale d'ingresso non invertente del comparatore 226. Il terminale d'ingresso invertente del comparatore 226 è collegato a massa attraverso un resistore 232. Il terminale d'ingresso non invertente del comparatore 226 è collegato a massa attraverso un resistore 234. Un terminale d'uscita del comparatore 226 è collegato al secondo terminale d'ingresso della porta OR 82. Durante il semiperiodo negativo, quando il segnale $(-X_R \Delta'i(t))$ al terminale d'ingresso invertente del comparatore 226 supera il segnale $-\Delta v(t) - v_{op}(t)$ al suo terminale d'ingres-

so non invertente, il terminale d'uscita del comparatore 226 va ad 1.

Quando il terminale d'uscita della porta OR 82 va ad 1, il terminale d'ingresso del temporizzatore a coincidenza 83 va ad 1. Se questo 1 persiste per il tempo predeterminato, come discusso in relazione alla fig. 7, il suo terminale d'uscita va ad 1, facendo sì che la bobina di sgancio 84 sganci l'interruttore 54.

Avendo ora discusso il relè di protezione 50 in dettaglio, i suoi vantaggi e perfezionamenti sono facilmente visibili. Modificando la scala dell'asse verticale del piano X-Y in modo che l'unità verticale sia $X_R \Delta'i(t)$ si può definire una soglia mobile di pendenza uno per tutte le tarature di relè. Inoltre, il relè di protezione 50 realizza una soglia variabile nel tempo secondo l'equazione $\Delta'i(t)X_R = \Delta v(t) + v_{op}(t)$. Il risultato di questi perfezionamenti è una significativa riduzione del tempo di rilevamento del guasto per il relè di protezione 50 poiché non è necessario attendere i valori di picco dello scostamento di tensione e dello scostamento differenziato di corrente per determinare la distanza o la direzione del guasto.

RIVENDICAZIONI

1. Relè di protezione per determinare la direzione di un guasto da un punto di misura di una linea di tra-

smissione di energia elettrica alimentata da una sorgente di potenza a c.a., tale relè di protezione comprendendo:

dei primi mezzi per fornire un segnale derivato dalla corrente in funzione del tempo, tale segnale derivato dalla corrente essendo rappresentativo dello scostamento di corrente generato dal guasto rispetto alla corrente di regime stazionario pre-guasto;

dei secondi mezzi per fornire un segnale derivato dalla tensione in funzione del tempo, tale segnale derivato dalla tensione essendo rappresentativo dello scostamento di tensione generato dal guasto rispetto alla tensione di regime stazionario pre-guasto;

dei mezzi filtranti per eliminare i transitori dovuti all'attività delle onde migranti da ciascuno dei segnali derivati dalla corrente e derivati dalla tensione, producendo così un segnale filtrato derivato dalla corrente e un segnale filtrato derivato dalla tensione;

dei terzi mezzi per trasformare almeno uno di tali segnali filtrati derivati dalla corrente e di tali segnali filtrati derivati dalla tensione in modo che la trasformazione faccia sì che l'ordine di differenziazione del segnale filtrato derivato dalla corrente sia di un ordine più elevato dell'ordine del segnale filtrato derivato dalla tensione, il segnale filtrato derivato dalla tensione e il segnale filtrato derivato dalla cor-

rente di ordine diverso essendo definiti rispettivamente primo e secondo segnale;

dei quarti mezzi per generare una traiettoria variabile nel tempo in un piano X-Y usando il primo e il secondo segnale rispettivamente come coordinate X e Y;

dei quinti mezzi per generare un limite di soglia variabile nel tempo in almeno due predeterminati quadranti del piano X-Y;

e dei sesti mezzi per determinare quando tale traiettoria variabile nel tempo supera il limite di soglia variabile nel tempo per un tempo predeterminato indicando così che il guasto è in una prima direzione rispetto al punto di misura.

2. Relè di protezione secondo la riv. 1 in cui i terzi mezzi comprendono dei mezzi per differenziare il segnale filtrato derivato dalla corrente.

3. Relè di protezione secondo la riv. 1, in cui i terzi mezzi comprendono dei mezzi per integrare il segnale filtrato derivato dalla tensione.

4. Relè di protezione secondo la riv. 1 in cui la coordinata dell'asse delle Y è il prodotto del secondo segnale per la reattanza della linea di trasmissione d'energia elettrica a una distanza predeterminata dal punto di misura.

5. Relè di protezione secondo la riv. 4 in cui

i due predeterminati quadranti comprendono il secondo e il terzo quadrante.

6. Relè di protezione secondo la riv. 5 in cui il limite di soglia variabile nel tempo ha pendenza unitaria e un'intercetta sull'asse delle Y nel secondo e quarto quadrante rappresentante la tensione variabile nel tempo pre-guasto nel guasto.

7. Relè di protezione secondo la riv. 6 in cui la tensione pre-guasto variabile nel tempo nel punto di misura rappresenta la tensione pre-guasto variabile nel tempo nel guasto.

8. Relè di protezione secondo la riv. 6 in cui la prima direzione è la direzione in avanti.

9. Relè di protezione secondo la riv. 1 in cui i primi mezzi generano i limiti di soglia variabili nel tempo in quattro quadranti del piano X-Y e in cui i sesti mezzi determinano quando la traiettoria variabile nel tempo supera i limiti di soglia variabili nel tempo per un tempo predeterminato indicando così che il guasto è in una prima o una seconda direzione rispetto al punto di misura.

10. Relè di protezione secondo la riv. 1 in cui i sesti mezzi comprendono un temporizzatore a coincidenza per determinare se la traiettoria variabile nel tempo supera il limite di soglia variabile nel tempo per il

tempo predeterminato.

11. Relè di protezione per determinare se un guasto di una linea di trasmissione d'energia elettrica alimentata da una sorgente di potenza a c.a. è compreso entro una predeterminata distanza da un punto di misura, tale relè di protezione comprendendo:

dei primi mezzi per fornire un segnale derivato dalla corrente in funzione del tempo, tale segnale derivato dalla corrente essendo rappresentativo dello scostamento della corrente generata dal guasto dalla corrente di regime stazionario pre-guasto;

dei secondi mezzi per fornire un segnale derivato dalla tensione in funzione del tempo, tale segnale derivato dalla tensione essendo rappresentativo dello scostamento della tensione generata dal guasto dalla tensione di regime stazionario pre-guasto;

dei mezzi di filtraggio per eliminare i transitori dovuti all'attività delle onde migranti da ciascuno dei segnali derivati dalla corrente e derivati dalla tensione, producendo così un segnale filtrato derivato dalla corrente e un segnale filtrato derivato dalla tensione;

dei terzi mezzi per trasformare almeno uno di tali segnale filtrato derivato dalla corrente e segnale filtrato derivato dalla tensione in modo che la trasformazione faccia sì che l'ordine di differenziazione del se-

gnale filtrato derivato dalla corrente sia di un ordine più elevato dell'ordine del segnale filtrato derivato dalla tensione, il segnale filtrato derivato dalla tensione e il segnale filtrato derivato dalla corrente, di diverso ordine, essendo definiti rispettivamente primo e secondo segnale;

dei quarti mezzi per generare una traiettoria variabile nel tempo in un piano X-Y usando tali primo e secondo segnale rispettivamente come coordinate X e Y;

dei quinti mezzi per generare un limite di soglia variabile nel tempo in almeno due predeterminati quadranti di tale piano X-Y;

e dei sesti mezzi per determinare quando tale traiettoria variabile nel tempo supera il limite di soglia variabile nel tempo per un tempo predeterminato indicando così che il guasto è entro una predeterminata distanza dal punto di misura.

12. Relè di protezione per determinare la direzione di un guasto, rispetto a un punto di misura su una linea di trasmissione d'energia elettrica alimentata da una sorgente di potenza a c.a., e per determinare se il guasto è entro una predeterminata distanza dal punto di misura, tale relè di protezione comprendendo:

dei primi mezzi per fornire un segnale derivato

dalla corrente in funzione del tempo, tale segnale derivato dalla corrente essendo rappresentativo dello scostamento della corrente generata dal guasto dalla corrente di regime stazionario pre-guasto;

dei secondi mezzi per fornire un segnale derivato dalla tensione in funzione del tempo, tale segnale derivato dalla tensione essendo rappresentativo dello scostamento della tensione generata dal guasto dalla tensione di regime stazionario pre-guasto;

dei mezzi di filtraggio per eliminare i transitori dovuti all'attività delle onde migranti da ciascuno dei segnali derivato dalla corrente e derivato dalla tensione, producendo così un segnale filtrato derivato dalla corrente e un segnale filtrato derivato dalla tensione;

dei mezzi di differenziazione per produrre un segnale differenziato in risposta al segnale filtrato derivato dalla corrente;

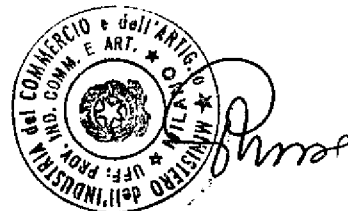
dei terzi mezzi per generare una traiettoria variabile nel tempo in un piano X-Y in cui il prodotto di tale segnale differenziato per la reattanza della linea di trasmissione d'energia elettrica alla distanza pre-determinata dal punto di misura è la coordinata Y, e in cui il segnale filtrato derivato dalla tensione è la coordinata X;

dei quarti mezzi per generare un primo limite di soglia variabile nel tempo nel secondo e quarto quadrante del piano X-Y in cui tale primo limite di soglia variabile nel tempo ha pendenza unitaria e un'intercetta sull'asse delle Y nel secondo e quarto quadrante rappresentante la tensione pre-guasto variabile nel tempo nel guasto, e per generare un secondo limite di soglia variabile nel tempo nel primo e terzo quadrante del piano X-Y in cui tale secondo limite di soglia variabile nel tempo ha pendenza unitaria negativa e un'intercetta sull'asse delle Y nel primo e terzo quadrante rappresentante il negativo della tensione pre-guasto variabile nel tempo nel guasto;

e dei quinti mezzi per determinare quando tale traiettoria variabile nel tempo supera il limite di soglia variabile nel tempo per un tempo predeterminato nel secondo o quarto quadrante del piano X-Y indicando così che il guasto è in direzione in avanti ed entro la predeterminata distanza dal punto di misura, e per determinare quando tale traiettoria variabile nel tempo supera tale limite di soglia variabile nel tempo per un tempo predeterminato nel primo o terzo quadrante del piano X-Y indicando così che il guasto è in direzione inversa ed è entro la predeterminata distanza dal punto di misura.

p. WESTINGHOUSE CANADA INC.


ALESSANDRO ZINI



Brevetto Numero

Serie No. (Serie del)

Serie No.	data di deposito	classe	sottoclasse	gruppo tipo unità
436.101	22.10.1982	361	80	212

Richiedente : ALLAN M. BIGNELL, Mississauga, Canada

Dati di continuazione - Verificati

Domanda internazionali PCT - Verificate

Priorità internazionale rivendicata ☐ si ☐ no

Condizioni soddisfatte secondo il paragrafo 119
del codice statunitense ☐ si ☐ no

Verificato e autenticato - Iniziali dell'esaminatore

Come de- positato	Stato o Paese	tavole di disegno	Rivendica- zioni tot.	Rivendicazioni indipendenti	Tassa di deposito ricevuta	No. pratica agente
	CA	5	12	3	\$ 300	50-728

Inviare la corrispondenza a: W.A. ELCHIK
WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION
R&D CENTER PATENT DEPT.
PITTSBURGH, PA. 15235

Titolo dell'invenzione:

"RELE' ULTRARAPIDO PERFEZIONATO"

La presente certifica che l'allegata è una copia fe-
dele ricavata dai registri dell'Ufficio Brevetti de-
gli Stati Uniti della domanda come è stata deposita-
ta originariamente e che è qui sopra identificata.

(Sigillo)

Per autorità

COMMISSARIO BREVETTI E MARCHI

Data: 4.8.1983

firma illeggibile

Ufficiale Autenticatore

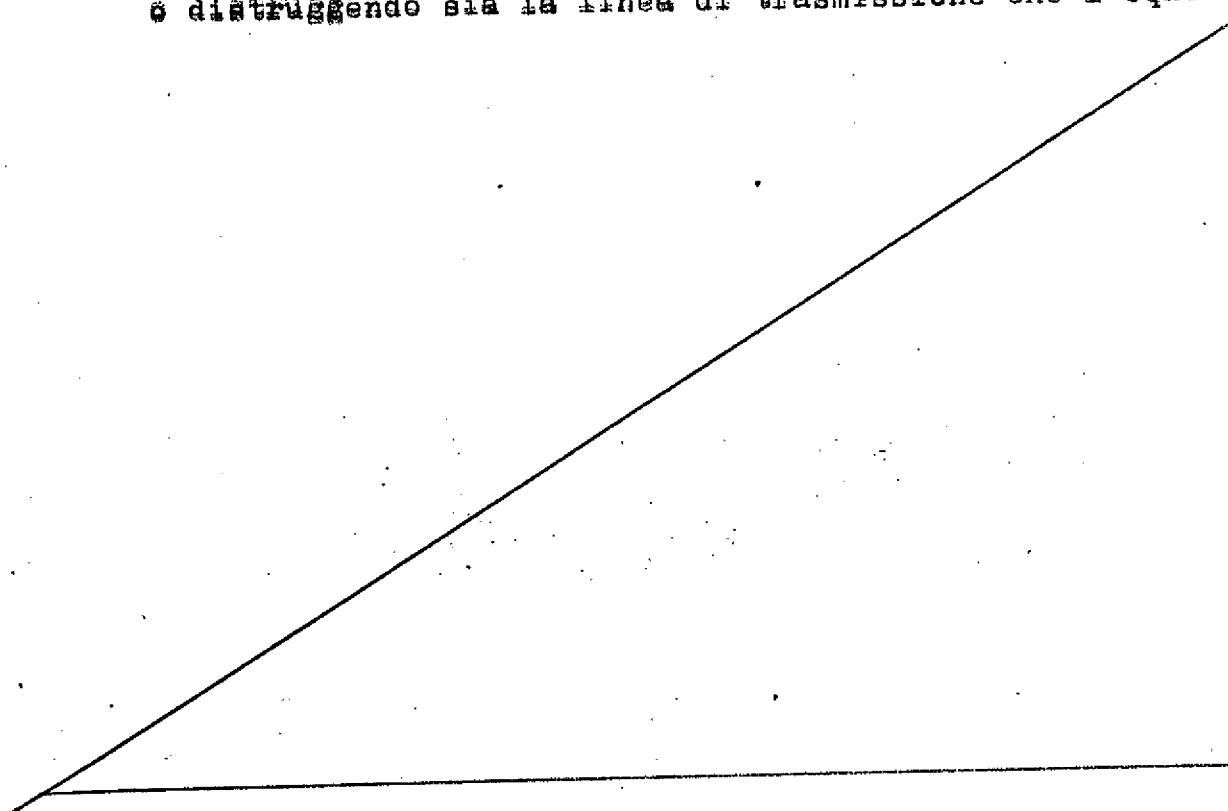
2

RELE' ULTRARAPIDO PERFEZIONATO
PRELIMINARI DELL'INVENZIONE

Campo dell'invenzione

La presente invenzione si riferisce generalmente alle apparecchiature di protezione a relè per proteggere le linee di trasmissione di potenza elettrica a c.a., e più specificatamente ai relè ultrarapidi.

Descrizione della tecnica nota
Le linee elettriche di trasmissione a c.a. trifase e gli impianti di generazione di potenza devono essere protetti dai guasti dell'isolamento e conseguenti cortocircuiti o cali della resistenza in parallelo che potrebbero provocare il collasso del sistema di generazione, gravi e costosi danni alle apparecchiature, e infortuni al personale. Per esempio, un tale guasto è provocato dalla scarica superficiale di una linea di trasmissione verso terra o fra i conduttori della linea di trasmissione, indotta da una scarica atmosferica. In tale condizione di guasto, le correnti di linea possono aumentare fino a più volte il valore normale provocando così la perdita di sincronismo dei generatori e danneggiando o distruggendo sia la linea di trasmissione che l'equi-



paggiamento allacciato.

Per evitare i danni all'equipaggiamento e il collasso dell'intero sistema di generazione, le apparecchiature guaste sulla linea di trasmissione principale devono essere disinserite dalla rete in 0,1 - 0,5 secondi. Il limite del tempo di disinserimento deve consentire l'intervento di grossi interruttori che interrompono fino a 80.000 A e il completamento delle operazioni di emergenza se questi dispositivi di protezione primari non funzionano debitamente. Per lasciare un tempo sufficiente all'interruzione del circuito, la posizione del guasto deve essere determinata in circa 8 - 20 ms. E' funzione dei relè di protezione, che continuamente controllano le tensioni e le correnti a c.a., il localizzare i guasti in linea e il dare inizio al disinserimento mediante l'intervento degli interruttori appropriati.

La direzione e distanza di un guasto rispetto a una posizione di misura su una linea di trasmissione sono usualmente determinate con l'ausilio di relè distanziometrici. Questi relè incorporano elementi elettromeccanici o elettronici che per funzionare correttamente richiedono segnali d'ingresso a frequenza industriale sostanzialmente sinusoidali. Quando si verifica un guasto sulla linea di trasmissione, vi è uno scostamento nei segnali di corrente e tensione a frequenza industriale e vengono pu-

re generate onde migranti transitorie. Poichè i segnali a frequenza industriale distorti dall'onda migrante non sono adatti per il rilevamento del relè distanziometrico, l'intervento del relè di protezione deve attendere lo smorzamento degli effetti distorcenti, ossia delle onde migranti. Questo smorzamento è un processo relativamente lento. In alternativa, possono essere usati filtri di frequenza per filtrare gli effetti delle onde migranti transitorie consentendo così alle componenti a frequenza industriale di essere valutate dal relè di protezione più tempestivamente. Valutando la variazione dei segnali a frequenza industriale dopo il guasto a confronto dei valori di regime stazionario prima del guasto, i relè distanziometrici possono assumere decisioni di sgancio indipendenti o di zona 1.

Un approccio della tecnica nota per assumere tali decisioni di sgancio di zona 1, descritto nel brevetto U.S.A. n. 4 287 547, rappresenta graficamente la traiettoria degli scostamenti di tensione e di corrente generati dal guasto in funzione del tempo su un piano degli scostamenti, con lo scostamento di tensione sull'asse delle X e lo scostamento di corrente sull'asse delle Y. Il tracciato definisce un'orbita ellittica con rotazione oraria indicante un guasto nella direzione in avanti. In ogni quadrante sono stabiliti i limiti di soglia di zona 1 e se la traiettoria interseca un limite in avanti, si sa che il

guasto è nella direzione in avanti e compreso entro la zona protetta. Questa decisione di sgancio in zona 1 è però complicata dal fatto che la posizione e forma dell'orbita ellittica è funzione sia dell'angolo d'inizio γ del guasto che dell'impedenza X_s della sorgente. Perciò, è estremamente difficile stabilire le soglie limite per gli sganci in zona 1.

La domanda di brevetto U.S.A. Serial No. 291 745 depositata l'11 agosto 1981, che è ceduta alla **richiedente** della presente **domanda**, risolve i problemi pratici associati al concetto della traiettoria ellittica, differenziando il segnale di scostamento di corrente ed usando questo segnale differenziato come coordinata dell'asse delle Y. In alternativa, può essere integrato il segnale di scostamento di tensione. Per assumere decisioni di sgancio indipendenti o di zona 1, la risposta dell'onda migrante viene soppressa, mediante filtraggio, dai segnali di scostamento. Anzichè un'ellisse avente un senso di rotazione dipendente dalla direzione del guasto, un guasto in avanti produce su questo piano degli scostamenti trasformato una traiettoria a linea retta, la linea retta intersecando l'origine fra il secondo e il quarto quadrante per un guasto diretto in avanti.

A differenza dell'orbita ellittica, in cui posizione e forma dipendono dall'angolo d'inizio γ del

guasto e dalla impedenza X_s della sorgente, le traiettorie in linea retta non sono influenzate dall'angolo d'inizio del guasto. Solo la pendenza della linea retta della traiettoria varia con l'impedenza della sorgente. Così, le soglie limite per rilevare un guasto in zona 1 non devono essere stabilite per il "caso peggiore", cioè per tener conto dell'intera gamma di valori possibili di X_s e di δ , come sarebbe richiesto per l'approccio a traiettoria ellittica della tecnica nota. Il relè di protezione per traiettoria a linea retta della tecnica nota può perciò essere tarato per una molto maggior percentuale della linea protetta, e rivela ed elimina più guasti di zona 1 meglio di un sistema utilizzante il concetto dell'orbita ellittica.

La presente invenzione rappresenta un importante perfezionamento rispetto alla domanda di brevetto sopra citata. Le soglie limite del relè della tecnica nota sono rappresentate da linee rette fisse stabilite in base alle previste ampiezze di picco del segnale di scostamento di corrente differenziato e del segnale di scostamento di tensione. La presente invenzione descrive un limite di soglia variabile per consentire un più rapido rilevamento del guasto. Cioè, il limite di soglia varia nel tempo in accordo con la traiettoria a linea retta, e perciò lo sgancio non deve attendere l'intersezione di una

linea retta fissa di soglia da parte di un valore di picco del segnale di scostamento di corrente differenziato o del segnale di scostamento di tensione.

RIASSUNTO DELL'INVENZIONE

È descritto un relè di protezione per determinare la direzione di un guasto da un punto di misura di una linea di trasmissione d'energia elettrica alimentata da una sorgente di potenza a c. a., e per determinare se il guasto è entro una predeterminata distanza dal punto di misura. Il relè di protezione misura gli scostamenti di corrente e di tensione generati dal guasto rispetto ai valori di regime stazionario pre-guasto. Dopo il filtraggio per eliminare i transitori dovuti all'attività dell'onda migrante indotta dal guasto, il segnale di corrente viene differenziato (oppure il segnale di tensione viene integrato). I segnali variabili nel tempo dello scostamento di tensione e dello scostamento di corrente differenziato sono rappresentati graficamente su un piano X-Y usando i segnali di scostamento di tensione e di scostamento differenziato di corrente, rispettivamente, come coordinate X e Y. Viene stabilito un limite di soglia variabile nel tempo in due predeterminati quadranti del piano X-Y, e dei comparatori determinano quando la traiettoria variabile nel tempo interseca il limite di soglia variabile nel tempo, indicando così che il guasto è nella direzione in avanti ed entro la predeterminata

distanza dal relè. Dei limiti di soglia variabili nel tempo possono essere stabiliti anche negli altri due quadranti per rilevare guasti in direzione inversa. Questa determinazione provoca lo sgancio dell'interuttore appropriato per disinserire quella parte della linea di trasmissione d'energia elettrica a c. a.

BREVE DESCRIZIONE DEI DISEGNI

L'invenzione potrà esser meglio compresa e i suoi ulteriori vantaggi e impieghi risulteranno più facilmente evidenti dalla seguente descrizione dettagliata delle forme di realizzazione dell'invenzione illustrate nei disegni acclusi, in cui:

la fig. 1 è un grafico del piano degli scostamenti trasformato illustrante una traiettoria a linea retta e i limiti di soglia a linea retta fissa del relè distanziometrico secondo la tecnica nota;

le fig. 2A, 2B, e 2C rappresentano rispettivamente i modelli pre-guasto, di guasto, e post-guasto di un sistema di potenza convenzionale;

la fig. 3 è una semplificazione del modello post-guasto di fig. 2C;

le fig. 4A, 4B e 4C sono grafici di una traiettoria a linea retta e del limite di soglia variabile nel tempo secondo la presente invenzione;

la fig. 5 è un diagramma vettoriale della linea di trasmissione delle fig. 2A, 2B e 2C;

le fig. 6A, 6B e 6C illustrano possibili relazioni fra la traiettoria e il limite di soglia;

la fig. 7 è uno schema circuitale parziale e uno schema a blocchi parziale di un sistema di relè di protezione per proteggere una linea di trasmissione di energia elettrica, in cui il relè di protezione è costruito secondo gli insegnamenti della presente invenzione; e

la fig. 8 è uno schema illustrante una forma di realizzazione esemplificativa del relè di protezione descritto in fig. 7.

DESCRIZIONE DELLA FORMA D'ESECUZIONE PREFERITA 1. PRINCIPI FONDAMENTALI

Nella domanda di brevetto della tecnica nota sopra citato sono stabiliti, sul piano degli scostamenti trasformato, dei limiti di soglia fissi a linea retta in cui lo scostamento di tensione rispetto al tempo è rappresentato sull'asse delle X e la derivata dello scostamento di corrente rispetto al tempo è rappresentata sull'asse delle Y. La soglia fissa viene superata, indicando il manifestarsi di un guasto, solo quando un valore di picco dello scostamento di tensione o della derivata dello scostamento di corrente supera un limite di soglia. Cioè, i limiti di soglia rappresentano una linea di reattanza di guasto costante per il caso delle ampiezze di picco dello scostamento di tensione e della derivata dello scostamento di corrente. Usando i limiti di soglia fissi, il guasto non può essere rivelato fino a che non

si manifesti l'ampiezza di picco dello scostamento di tensione o della derivata dello scostamento di corrente. Nella domanda di brevetto della tecnica nota, il limite di soglia è definito dall'equazione:

$$\frac{d}{dt} \Delta i(t) = \frac{1}{X_f} \Delta v(t) + \frac{E}{X_f} \quad (1)$$

ove $\Delta i(t)$ è lo scostamento di corrente e $\Delta v(t)$ è lo scostamento di tensione dai valori pre-guasto; X_f è l'impedenza di linea rispetto al guasto (supposta essere pura reattanza), e E è la tensione di picco della sorgente. Limiti di soglia esemplificativi e una traiettoria del tipo definito dall'equazione (1) sono rappresentati in fig. 1.

Si noti che l'equazione (1) definisce i limiti di soglia fissi associati alla domanda di brevetto della tecnica nota. L'uso di soglie fisse equivale a tarare il relè in base ai valori di picco degli scostamenti di corrente e tensione. Per guasti manifestantisi vicino ai picchi di tensione la traiettoria interseca immediatamente una soglia fissa. Ma per guasti che avvengono in altri punti della forma d'onda vi è un ritardo fino a che la traiettoria non interseca una soglia fissa. Utilizzando soglie mobili la traiettoria interseca immediatamente la soglia per guasti che avvengono a qualsiasi angolo d'inizio. L'uso delle soglie mobili è l'essenza del-

la presente invenzione.

Per spiegare debitamente i principi di funzionamento della presente invenzione, nelle fig. 2A, 2B e 2C sono rappresentati dei modelli di linea di trasmissione. Un modello pre-guasto è raffigurato in fig. 2A, un modello di guasto in fig. 2B, e un modello post-guasto in fig. 2C. In fig. 2A le sorgenti $E_1(t)$ e $E_2(t)$ con impedenze di sorgente rispettivamente X_{s1} e X_{s2} forniscono potenza a una linea di trasmissione 16. La linea di trasmissione 16 comprende i relè 10 e 12, e le impedenze di linea di trasmissione mX_L e $(1-m)X_L$. Nel modello di guasto di fig. 2B, si assume che si sia verificato un guasto fra un punto 18 della linea di trasmissione 16 e un punto 20 sul conduttore neutro 22. Una sorgente $-v_{op}(t)$ è inserita fra i punti 18 e 20; come ben noto nella tecnica, la sorgente $-v_{op}(t)$ rappresenta l'opposto della tensione pre-guasto fra i punti 18 e 20. Nel modello post-guasto di fig. 2C è rappresentata una corrente di guasto $i_f(t)$.

Dal circuito post-guasto di fig. 2C si vede che:

$$\bar{V}_1 = \bar{I}_1 \cdot m\bar{X}_L$$

(I trattini indicano notazione vettoriale). In un tipico relè distanziometrico la corrente I_1 vien fatta passare attraverso una immagine o impedenza compensatrice $\bar{Z}_R$ e la tensione risultante è sottratta dalla tensione di fase $\bar{V}_1$.

Questa grandezza derivata è chiamata tensione operativa. Se la reattanza di guasto $m\bar{X}_L$ è uguale all'impedenza immagine $\bar{Z}_R$, il guasto è nel punto di equilibrio e la tensione operativa è zero. Se il guasto è internamente o esternamente al punto d'equilibrio, la tensione operativa è positiva o negativa. Per determinare il segno della tensione operativa essa è confrontata in fase con la tensione $\bar{V}_1$ che è detta tensione polarizzante. Se le tensioni operativa e polarizzante sono sfasate di 180° il guasto è interno al punto d'equilibrio. Se le tensioni operativa e polarizzante sono in fase, il guasto è esterno al punto di equilibrio.

La stessa tecnica può ora essere applicata al modello di fig. 2B. Se si assume una resistenza di guasto zero, i circuiti alla sinistra e alla destra del guasto di fig. 2B sono disaccoppiati e possono essere considerati separatamente. Rispetto al relè 10, il modello di fig. 2B può essere rifatto come mostra la fig. 3. Data la somiglianza fra i modelli di fig. 2C e 3, la stessa tecnica può essere usata per determinare la distanza dal guasto. Vale la seguente equazione (i suffissi numerici sono stati tralasciati per generalizzare l'equazione).

$$\bar{V}_{op} = \Delta\bar{V} + \Delta\bar{I} \cdot m\bar{X}_L \quad (2)$$

L'equazione (2) è valida indipendentemente dall'angolo d'inizio del guasto e dalla reattanza della sorgente.

In valori istantanei:

$$v_{op}(t) = -\Delta v(t) + L_L \left(\frac{d}{dt} \Delta i(t) \right) \quad (3)$$

Riordinando si ottiene:

$$L_L \left(\frac{d}{dt} \Delta i(t) \right) = \Delta v(t) + v_{op}(t) \quad (4)$$

L'equazione (4) può essere confrontata con l'equazione generale di una retta, $y = mx + b$, in un normale sistema di coordinate cartesiane ove m è la pendenza e b è l'intercetta sull'asse delle y di $v_{op}(t)$ in un piano degli scostamenti trasformato in cui l'asse delle Y è rappresentato da $L_L \left(\frac{d}{dt} \Delta i(t) \right)$ e l'asse delle X è rappresentato da $\Delta v(t)$. Si noti che nella presente invenzione l'intercetta sull'asse delle Y ($v_{op}(t)$) varia in funzione del tempo mentre nella domanda di brevetto della tecnica precedente l'intercetta sull'asse delle Y è costante ($\frac{E}{X_f}$). Facendo la derivata dello scostamento di corrente e scalandolo di un termine L_R , ove L_R determina la taratura del relè, si ottiene un sistema di coordinate in cui su entrambi gli assi sono rappresentate tensioni in fase.

Questo criterio di usare la trasformata del piano degli scostamenti presenta vari vantaggi. Innanzitutto si noti che la dipendenza dall'angolo d'inizio del guasto o dall'asimmetria della corrente di guasto viene eliminata perchè la differenziazione blocca effettivamente tutte le componenti a c.c. Poichè entrambe le tensioni sono in fase, esse producono una traiettoria in linea ret-

ta. Ciò deriva dal fatto che le tensioni sono sinusoidali e raggiungono i loro picchi, zeri e valori intermedi nello stesso tempo. Poichè la stessa corrente $\Delta i(t)$ circola attraverso le reattanze X_s e mX_L , la pendenza di questa traiettoria in linea retta dipende da un certo rapporto fra le reattanze di guasto e di sorgente. (La descrizione della domanda di brevetto della tecnica precedente è qui incorporata per riferimento; per altri particolari sulla trasformata del piano degli scostamenti oltre a quelli qui inclusi, riferirsi alla domanda citata).

L'equazione (4) può essere considerata la retta di una reattanza di guasto costante, come specificato da L_L , sul piano trasformato. In qualunque istante si può perciò definire una soglia corrispondente al punto di equilibrio del relè, specificando una taratura L_R del relè. Si noti che in questo caso la soglia non è fissa ma invece è una linea retta di pendenza uno la cui intercetta sull'asse delle Y varia con $v_{op}(t)$. Così la soglia ora si sposta in modo simile alla traiettoria. Si può ricavare una relazione fra questa soglia e le traiettorie in linea retta. Se si verifica un guasto nel punto di equilibrio, è allora $L_L = L_R$ e ad ogni istante il punto della traiettoria giace direttamente sulla soglia. Se L_L è minore di L_R , il guasto è interno al punto di equili-

brio e il relè interviene. Se L_L è maggiore di L_R , il guasto è all'esterno del punto di equilibrio.

Il concetto del limite di soglia variabile nel tempo è illustrato nelle fig. 4A, 4B, 4C in cui è rappresentato un limite di soglia agli istanti t_1 e t_2 nel secondo quadrante del piano X-Y. Se il guasto è oltre il punto di equilibrio, la traiettoria del guasto è sempre in ritardo rispetto al limite di soglia. Per esempio, in fig. 4A la traiettoria è a un punto 34 all'istante t_1 e ad un punto 36 all'istante t_2 . La fig. 4B illustra la situazione in cui il guasto è situato nel punto di equilibrio. In questo caso, la traiettoria è sempre sul limite di soglia. Per esempio, in t_1 la traiettoria è a un punto 40 sul limite di soglia e in t_2 la traiettoria è a un punto 42 pure sul limite di soglia. In fig. 4C, il guasto è interno al punto di equilibrio e la traiettoria di guasto supera in ogni istante il limite di soglia. Per esempio, all'istante t_1 la traiettoria è in un punto 44 oltre il limite di soglia e all'istante t_2 la traiettoria è in un punto 46 anch'esso oltre il limite di soglia.

Per ottenere la soglia mobile illustrata nelle figure 4A, 4B e 4C è necessario determinare il valore $v_{op}(t)$ dell'equazione (4). Se si suppone che non vi sia un'alimentazione del carico pre-guasto (componente reale della potenza) è allora $V_{op} = V_{1p} = V_{2p}$ in fig. 2A. Se esiste

circolazione di corrente di carico, allora $\bar{V}_{op}$ è una tensione di ampiezza inferiore a $\bar{V}_{1P}$ e $\bar{V}_{2P}$ e sfasata in anticipo o in ritardo rispetto a $\bar{V}_{1P}$ a seconda della direzione della corrente di carico (supponendo che non vi sia trasferimento di potenza reattiva). In fig. 5, la tensione $\bar{V}_{1P}$ è in anticipo su $\bar{V}_{2P}$ di un angolo α provocando così la circolazione di una corrente di carico nella linea 2. Considerando un guasto a metà della linea di trasmissione 16, tale da ridurre al valore minimo l'ampiezza di $\bar{V}_{op}$, la differenza di ampiezza fra V_{1P} e V_{op} ne risulta elevata. Supponendo un angolo di 60° ai capi della linea di trasmissione 16, l'ampiezza di V_{op} è l'86,6% di V_{1P} . L'errore introdotto assumendo che l'ampiezza di V_{op} sia quella di V_{1P} appare lieve. Questa assunzione provoca solo un effetto di portata secondaria per il relè, che diviene meno significativo a misura che il punto del guasto si allontana dal centro della linea di trasmissione 16. Il problema della differenza di fase fra $\bar{V}_{1P}$ e $\bar{V}_{op}$ è però molto più grave.

Il concetto della soglia mobile richiede che la traiettoria e la soglia abbiano la stessa fase. Vedere le fig. 6A, 6B, e 6C. In fig. 6A, le due curve sono in fase e la curva corrispondente alla soglia è sempre più ampia di quella corrispondente alla traiettoria. Ciò è analogo all'essere la traiettoria sempre indietro

rispetto alla soglia, ove il termine indietro implica meno positiva nel semiperiodo positivo e meno negativa nel semiperiodo negativo. Il problema si manifesta quando la curva della traiettoria è in anticipo (o in ritardo) rispetto alla curva della soglia, come indicato in fig. 6B. In questo caso, le regioni di funzionamento scorretto, indicate con A e B, provocano indicazioni inesatte. Il problema è anche più grave quando il guasto si avvicina al punto d'equilibrio e la curva della traiettoria è quasi in fase e della stessa ampiezza della curva di soglia (vedere fig. 6C). In questa situazione le regioni di funzionamento scorretto sono quasi di 90° . E' interessante notare che 90° è il limite di questa possibile area di malfunzionamento e vi si avvicina quando la posizione del guasto si approssima al punto di equilibrio.

Per ovviare al problema illustrato nelle fig. 6A, 6B e 6C è necessario usare un temporizzatore a coincidenza. Il temporizzatore a coincidenza richiede che la traiettoria preceda la soglia per un tempo predeterminato prima che venga prodotto un segnale di sgancio.

Studiando le fig. 6A, 6B, e 6C, appare evidente che la regione di indicazione inesatta dipende dalla differenza di fase e ampiezza fra i due segnali. In generale, per sinusoidi di diverse ampiezze e fasi si pos-

sono scrivere le equazioni

$$f_1 (\omega t) = A \sin \omega t \quad (5)$$

$$f_2 (\omega t) = B \sin (\omega t + \alpha) \quad (6)$$

Risolvendo le equazioni (5) e (6) per l'angolo totale ϕ di indicazione inesatta:

$$\phi = \omega t = \tan^{-1} \left(\frac{B \sin \alpha}{A - B \cos \alpha} \right) \quad (6)$$

L'angolo ϕ corrisponde a un tempo T ove

$$T = \phi \times 360/16,67 \text{ msu} \quad (7)$$

L'equazione (7) definisce il tempo totale continuativo durante il quale si verifica l'indicazione inesatta. Perciò l'usare un tempo di coincidenza maggiore di T impedisce il malfunzionamento. Se non si vuole uno scavalco nel punto di equilibrio, occorre adottare un tempo di coincidenza di 90° o circa 4,17 ms.

2. DESCRIZIONE E FUNZIONAMENTO DELL'INVENZIONE

Passando ora alla fig. 7, è ivi rappresentato un sistema a linea di trasmissione di energia elettrica trifase 48 protetto da un relè di protezione 50 costruito secondo gli insegnamenti della presente invenzione. Nella forma di realizzazione esemplificativa di fig. 5 ciascuna fase del sistema a linea di trasmissione di energia elettrica trifase 48 è mantenuta sotto controllo nei riguardi dei guasti da un relè di protezione simile al relè di protezione 50, e perciò solo il relè di protezione 50 è rappresentato e discusso in dettaglio.

Il sistema a linea di trasmissione di energia

elettrica trifase 48 comprende una sorgente di potenza 52 avente una frequenza, per esempio, di 50 Hz o 60 Hz. La sorgente di potenza 52 è connessa al sistema a linea di trasmissione d'energia elettrica trifase 48 attraverso un interruttore 54.

Il relè di protezione 50 è un relè ultrarapido capace di funzionare in un modo a confronto direzionale (che fornisce solo la direzione del guasto) e in un modo indipendente di zona 1. Nel modo a confronto direzionale, il relè è tarato in modo da sopravanzare il tratto di linea protetto. Inoltre, in questo modo è usato un leggero filtraggio (un filtro passa basso con frequenza di taglio di circa 1 kHz) solo per ridurre gli effetti delle armoniche ad alta frequenza dovute alle scariche atmosferiche o alle interferenze di circuiti adiacenti. Poichè il filtraggio è leggero, vi è poco ritardo e il relè opera più rapidamente, ma la precisione del sopravanzamento è scarsa. Nel modo a confronto direzionale, invece, la mancanza di precisione nel sopravanzamento ha poca importanza. Aumentando la quantità di filtraggio, la precisione d'intervento del relè migliora, ma il funzionamento è più lento. Perciò, un compromesso fra la quantità di filtraggio e la velocità di funzionamento dipende dalla particolare applicazione in cui il relè di protezione è usato. Il relè di protezione 50 uti-

lizza gli scostamenti di tensione e corrente rispetto al regime stazionario prodotti dal guasto per assumere la decisione di sgancio.

Un trasformatore amperometrico 56 è magneticamente accoppiato alla fase A del sistema a linea trifase di trasmissione d'energia elettrica 48 per produrre un segnale $i(t)$. Il segnale $i(t)$ è composto di due componenti: componenti a frequenza industriale, alla frequenza della sorgente di potenza 52, e componenti ad alta frequenza. Il segnale $i(t)$ è applicato a un filtro passa basso 58 del relè di protezione 50 per filtrare le componenti ad alta frequenza come sopra descritto. Un terminale d'uscita del filtro passa basso 58 è connesso a un terminale d'ingresso di un filtro passa banda 60. Il filtro passa banda 60 è un filtro passa banda a Q elevato che serve come "memoria" per fornire una misura della corrente di regime stazionario pre-guasto. Un segnale $i_p(t)$ rappresentante la corrente di regime pre-guasto è prodotto dal filtro passa banda 60.

Il terminale d'uscita del filtro passa basso 58 è connesso a un primo terminale d'ingresso di un amplificatore sommatore 62. Un secondo terminale d'ingresso dell'amplificatore sommatore 62 è sensibile a $i_p(t)$. L'amplificatore sommatore 62 produce un segnale d'uscita $\Delta i(t)$ rappresentante lo scostamento di corrente prodotto dal

guasto rispetto alla corrente di regime pre-guasto (cioè $\Delta i(t)$ è uguale al segnale d'uscita del filtro passa basso 58 meno $i_p(t)$). Il segnale $\Delta i(t)$ è differenziato con un guadagno X_R , che rappresenta la taratura del relè di protezione 50 o la reattanza del sistema a linea di trasmissione d'energia elettrica trifase 48 nel punto di equilibrio, in un differenziatore 64. Il segnale d'uscita del differenziatore 64 perciò rappresenta $-X_R \Delta i(t)$.

Un trasformatore voltmetrico 66 è collegato fra la fase A del sistema di trasmissione d'energia elettrica trifase 48 e massa per produrre un segnale di tensione $v(t)$. Il segnale $v(t)$ comprende componenti ad alta frequenza e a frequenza industriale. Per filtrare le componenti ad alta frequenza, il segnale $i(t)$ è applicato a un filtro passa basso 68. Come sopra discusso, la frequenza di taglio del filtro passa basso 68 dipende dall'applicazione del relè di protezione 50. Un terminale d'uscita del filtro passa basso 68 è collegato a un terminale d'ingresso di un filtro passa banda 70. Il filtro passa banda 70 è un filtro passa banda ad alto Q che serve come "memoria" per fornire una misura della tensione di regime pre-guasto. Il filtro passa banda 70 produce un segnale $v_p(t)$ rappresentante la tensione di regime pre-guasto.

Il terminale d'uscita del filtro passa basso

68 è applicato a un primo terminale d'ingresso di un amplificatore sommatore 72. Un secondo terminale d'ingresso dell'amplificatore sommatore 72 è sensibile a $v_p(t)$. Un segnale d'uscita dell'amplificatore sommatore 72 rappresenta lo scostamento di tensione $\Delta v(t)$. Come il segnale di scostamento di corrente $\Delta i(t)$, il segnale di scostamento di tensione $\Delta v(t)$ è la differenza fra le tensioni di regime post-guasto e pre-guasto ($v_p(t)$) della fase A del sistema a linea di trasmissione d'energia elettrica trifase 48. Poichè il segnale di scostamento di corrente differenziato è stato soggetto ad uno stadio addizionale di inversione di polarità dal differenziatore 64, il segnale $\Delta v(t)$ è applicato ad un invertitore 74 per preservare il rapporto di polarità originale fra il segnale di scostamento di corrente differenziato $-X_R \Delta i(t)$ e il segnale di scostamento di tensione $\Delta v(t)$. Un terminale d'uscita dell'invertitore 74 è connesso a un comparatore (non rappresentato in fig. 7) per rivelare i guasti di zona 1 in direzione inversa.

Anzichè differenziare il segnale di scostamento di corrente $\Delta i(t)$, è ugualmente soddisfacente integrare il segnale di scostamento di tensione $\Delta v(t)$. Perchè il relè di protezione 50 funzioni debitamente, è necessario che almeno uno dei segnali di scostamento venga trasformato in modo che l'ordine di differenziazione del segnale di

scostamento di corrente sia di un ordine più elevato del segnale di scostamento di tensione. In pratica, solo uno dei segnali di scostamento viene trasformato, ossia viene differenziato il segnale di scostamento di corrente oppure viene integrato il segnale di scostamento di tensione. Si noti che la differenziazione è considerata l'inverso dell'integrazione. Il segnale di scostamento di corrente può essere differenziato due volte e il segnale di tensione differenziato una volta, oppure il segnale di corrente può essere integrato una volta e il segnale di tensione integrato due volte. Anche se molte combinazioni sono possibili, ai fini della forma di realizzazione esemplificativa di fig. 7 il segnale di scostamento di corrente viene differenziato una volta, e il segnale di scostamento di tensione non è nè differenziato nè integrato. Inoltre, è preferibile differenziare il segnale di scostamento di corrente piuttosto che integrare il segnale di scostamento di tensione, perchè così facendo si elimina la componente a c.c. del segnale di scostamento di corrente e si semplifica il relè di protezione 50.

Il segnale $i_p(t)$ dal filtro passa banda 60 è applicato a un primo terminale di un generatore di soglia 76. Il segnale $v_p(t)$ dal filtro passa banda 70 viene applicato a un secondo terminale d'ingresso del

generatore di soglia 76. Il segnale $\Delta v(t)$ dall'amplificatore sommatore 72 è applicato a un terzo terminale d'ingresso del generatore di soglia 76. (Si noti che come detto in precedenza, il segnale $v_p(t)$ è usato per rappresentare la tensione nel punto del guasto, $v_{op}(t)$, perchè la differenza di ampiezza fra $v_p(t)$ e $v_{op}(t)$ non è sostanziale.) Il generatore di soglia 76 produce un segnale rappresentante la grandezza $(-\Delta v(t)) - v_{op}(t)$. (Vedere l'equazione (4)).

Il segnale $-\Delta v(t) - v_{op}(t)$ del generatore di soglia 76 è applicato a un primo terminale d'ingresso di un comparatore 78 e a un primo terminale d'ingresso di un comparatore 80. Il segnale $-X_R \Delta' i(t)$ è applicato a un secondo terminale d'ingresso dei comparatori 78 e 80. Il comparatore 78 confronta i due segnali al suo ingresso durante la metà positiva del periodo di tensione e il comparatore 80 confronta i due segnali al suo ingresso durante il semiperiodo negativo della tensione. Se il segnale $-X_R \Delta' i(t)$ supera il segnale $-\Delta v(t) - v_{op}(t)$ nel comparatore 78, un terminale d'uscita del comparatore 78 va ad 1. Se il segnale $-X_R \Delta' i(t)$ supera il segnale $-\Delta v(t) - v_{op}(t)$ nel comparatore 80, un suo terminale d'uscita va ad 1.

Il terminale d'uscita del comparatore 78 è connesso a un primo terminale d'ingresso di una porta logica

OR 82; e il terminale d'uscita del comparatore 80 è connesso a un secondo terminale d'ingresso della porta OR 82. Quando il terminale d'uscita del comparatore 78 o del comparatore 80 va ad 1, un terminale d'uscita della porta OR 82 va pure ad 1. Il terminale d'uscita della porta OR 82 è connesso a un terminale d'ingresso di un temporizzatore a coincidenza 83. Come detto sopra, il temporizzatore a coincidenza 83 assicura che la traiettoria preceda la soglia per un tempo predeterminato prima che sia prodotto un segnale di sgancio. Se il terminale d'ingresso del temporizzatore a coincidenza 83 è ad 1 per il tempo predeterminato, un suo terminale d'uscita va ad 1 e si blocca nello stato 1, producendo così il segnale di sgancio. In un'applicazione indipendente di zona 1 il terminale d'uscita del temporizzatore a coincidenza 83 è collegato a un terminale d'ingresso di una bobina di sgancio 84. La bobina di sgancio 84 sgancia l'interruttore 54 quando il suo terminale d'ingresso va ad 1. Se il relè di protezione 50 è usato in un modo di confronto direzionale, la bobina di sgancio 84 non è presente. Invece, il relè di protezione 50 comunica con un relè di protezione simile (non rappresentato in fig. 7) all'estremo opposto del sistema di linea di trasmissione di energia elettrica trifase 48 per determinare se il guasto si trova là.

La fig. 8 illustra una forma di realizzazione schematica esemplificativa del relè di protezione 50. Il segnale $i(t)$ del trasformatore amperometrico 56 (non rappresentato in fig. 8) è applicato ai capi della bobina primaria di un trasformatore d'isolamento 86. Un resistore 88 è collegato ai capi di una bobina secondaria del trasformatore d'isolamento 86. Un primo terminale del resistore 88 è collegato a massa e un secondo suo terminale è collegato a un terminale d'ingresso invertente di un amplificatore operazionale 92 attraverso un resistore 90. Un terminale d'ingresso non invertente dell'amplificatore operazionale 92 è collegato a massa attraverso un resistore 94. Un terminale d'uscita dell'amplificatore operazionale 92 è collegato al suo terminale d'ingresso invertente attraverso una combinazione in parallelo di un condensatore 96 e un resistore 98. Il trasformatore d'isolamento 86, l'amplificatore operazionale 92, e i resistori e condensatori ad essi associati costituiscono il filtro passa basso 58 del relè di protezione 50.

Il terminale d'uscita dell'amplificatore operazionale 92 è connesso a un terminale d'ingresso invertente di un amplificatore operazionale 104 mediante una combinazione in serie di un resistore 100 e di un condensatore 102. Un terminale 101 fra il resistore 100 e il condensatore 102 è collegato a un terminale d'uscita dell'ampli-

ficatore operazionale 104 e il suo terminale d'ingresso invertente. Un terminale d'ingresso non invertente dell'amplificatore operazionale 104 è collegato a massa attraverso un resistore 110. Il segnale al terminale d'uscita dell'amplificatore operazionale 104 è $i_p(t)$. L'amplificatore operazionale 104 e i resistori e condensatori ad esso associati costituiscono il filtro passa/banda 60.

Il terminale d'uscita dell'amplificatore operazionale 92 è collegato a un terminale d'ingresso invertente di un amplificatore operazionale 116 attraverso un resistore 112. Il terminale d'ingresso invertente dell'amplificatore operazionale 116 è pure connesso al terminale d'uscita dell'amplificatore operazionale 104 attraverso un resistore 114. Un terminale d'ingresso non invertente dell'amplificatore operazionale 116 è collegato a massa attraverso un resistore 120. Un terminale d'uscita dell'amplificatore operazionale 116 è collegato al suo terminale d'ingresso invertente attraverso un resistore variabile 118. Il resistore variabile 118 è regolato in modo da ottenere un guadagno dell'amplificatore operazionale 116 uguale alla taratura X_R del relè. Il segnale al terminale d'uscita dell'amplificatore operazionale 116 è $\Delta i(t)$. L'amplificatore sommatore 62 comprende l'amplificatore operazionale 116 e i resistori associati.

Il terminale d'uscita dell'amplificatore opera-

zionale 116 è connesso a un terminale d'ingresso invertente di un amplificatore operazionale 124 attraverso un condensatore 122. Un terminale d'uscita dell'amplificatore operazionale 124 è connesso al terminale d'ingresso invertente dello stesso attraverso un resistore 126. Un terminale d'ingresso non invertente dell'amplificatore operazionale 124 è collegato a massa attraverso un resistore 128. Il segnale al terminale d'uscita dell'amplificatore operazionale 124 è $-X_R \Delta i(t)$. L'amplificatore operazionale 124 e i resistori e condensatori ad esso associati costituiscono il differenziatore 64.

Passando ora ai circuiti di tensione illustrati in fig. 8, il segnale $v(t)$ del trasformatore voltmetrico 66 (non rappresentato in fig. 8) è applicato a un trasformatore d'isolamento 130. Un primo terminale di un avvolgimento secondario del trasformatore d'isolamento 130 è collegato a massa; un secondo suo terminale è collegato a un terminale d'ingresso invertente di un amplificatore operazionale 134 attraverso un resistore 132. Un terminale d'uscita dell'amplificatore operazionale 134 è collegato al terminale d'ingresso invertente dello stesso attraverso una combinazione in parallelo di un condensatore 136 e un resistore 138. Un terminale d'ingresso non invertente dell'amplificatore operazionale 134 è collegato a massa attraverso un resistore 140. Il tra-

sformatore d'isolamento 130, l'amplificatore operativo 134, e i resistori e condensatori ad essi associati costituiscono il filtro passa basso 68.

Il terminale d'uscita dell'amplificatore operativo 134 è collegato a un terminale 141 attraverso un resistore 142. Il terminale 141 è collegato a un ingresso invertente di un amplificatore operativo 144 attraverso un condensatore 150. Il terminale 141 è pure collegato a un terminale d'uscita dell'amplificatore operativo 144 attraverso un condensatore 146. Un resistore 148 è collegato fra il terminale d'uscita dell'amplificatore operativo 144 e il terminale d'ingresso invertente dello stesso. Un terminale d'ingresso non invertente dell'amplificatore operativo 144 è collegato a massa attraverso un resistore 152. Il segnale $v_p(t)$ è prodotto al terminale d'uscita dell'amplificatore operativo 144. L'amplificatore operativo 144 e i condensatori e resistori ad esso associati costituiscono il filtro passabanda 70.

Il segnale $v_p(t)$ dell'amplificatore operativo 144 è applicato a un terminale d'ingresso invertente di un amplificatore operativo 158 attraverso un resistore 154. Il terminale d'uscita dell'amplificatore operativo 134 è pure connesso al terminale d'ingresso invertente dell'amplificatore operativo 158 attraverso

un resistore 162. Un terminale d'ingresso dell'amplificatore operazionale 158 è collegato al terminale d'ingresso invertente dello stesso attraverso un resistore 160. Un terminale d'ingresso non invertente dell'amplificatore operazionale 158 è collegato a massa attraverso un resistore 156. Il segnale al terminale d'uscita dell'amplificatore operazionale 158 è $\Delta v(t)$. L'amplificatore operazionale 158 e i resistori ad esso associati costituiscono l'amplificatore sommatore 72.

Il segnale $\Delta v(t)$ è applicato a un terminale d'ingresso invertente di un amplificatore operazionale 168 attraverso un resistore 164. Un terminale d'uscita dell'amplificatore operazionale 168 è collegato al terminale d'ingresso invertente dello stesso attraverso un resistore 170. Un terminale d'ingresso non invertente dell'amplificatore operazionale 168 è collegato a massa attraverso un resistore 172. L'amplificatore operazionale 168 e i resistori associati costituiscono l'invertitore 74.

Continuando con i particolari del generatore di soglia 76 illustrato in fig. 8, il segnale $v_p(t)$ è applicato a un terminale d'ingresso invertente di un amplificatore operazionale 206 attraverso un resistore 202. Il segnale $\Delta v(t)$ al terminale d'uscita dell'amplificatore operazionale 158 è pure collegato al terminale d'in-

gresso invertente dell'amplificatore operazionale 206 attraverso un resistore 200. Un terminale d'uscita dell'amplificatore operazionale 206 è collegato al terminale d'ingresso invertente dello stesso attraverso un resistore 204. Un terminale d'ingresso non invertente dell'amplificatore operazionale 206 è collegato a massa attraverso un resistore 208. Un segnale rappresentativo di $-\Delta v(t) - v_{op}(t)$ è presentato al terminale d'uscita dell'amplificatore operazionale 206. L'amplificatore operazionale 206, insieme con gli associati resistori, costituisce il generatore di soglia 76.

Il terminale d'uscita dell'amplificatore operazionale 206 è collegato a un terminale anodico di un diodo 210; un terminale catodico del diodo 210 è collegato a un terminale 208. Il terminale d'uscita dell'amplificatore operazionale 124 è collegato a un terminale anodico di un diodo 214; un terminale catodico del diodo 214 è collegato a un terminale 212. Il terminale 208 è collegato a un terminale d'ingresso invertente di un comparatore 220 attraverso un resistore 216. Il terminale 208 è pure collegato a massa attraverso un resistore 222. Il terminale 212 è collegato a un terminale d'ingresso non invertente dell'amplificatore operazionale 220 attraverso un resistore 218. Il terminale 212 è pure collegato a massa attraverso un resistore 224. Un terminale d'uscita del compara-

ratore 220 è connesso al primo terminale d'ingresso della porta OR 82. Il comparatore 220 e i resistori e diodi ad esso associati costituiscono il comparatore 78 rappresentato in fig. 8. Il terminale d'uscita del comparatore 220 va ad 1 se il segnale ($X_R \Delta'i(t)$) al suo terminale d'ingresso non invertente supera il segnale $-\Delta v(t) - v_{op}(t)$ al suo terminale invertente durante il semiperiodo positivo.

Il terminale d'uscita dell'amplificatore operazionale 124 è collegato a un terminale catodico di un diodo 228. Un terminale anodico del diodo 228 è collegato a un terminale d'ingresso invertente di un comparatore 226. Il terminale d'uscita dell'amplificatore operazionale 206 è collegato a un terminale catodico di un diodo 230. Un terminale anodico del diodo 230 è connesso a un terminale d'ingresso non invertente del comparatore 226. Il terminale d'ingresso invertente del comparatore 226 è collegato a massa attraverso un resistore 232. Il terminale d'ingresso non invertente del comparatore 226 è collegato a massa attraverso un resistore 234. Un terminale d'uscita del comparatore 226 è collegato al secondo terminale d'ingresso della porta OR 82. Durante il semiperiodo negativo, quando il segnale ($-X_R \Delta'i(t)$) al terminale d'ingresso invertente del comparatore 226 supera il segnale $-\Delta v(t) - v_{op}(t)$ al suo terminale d'ingres-

so non invertente, il terminale d'uscita del comparatore 226 va ad 1.

Quando il terminale d'uscita della porta OR 82 va ad 1, il terminale d'ingresso del temporizzatore a coincidenza 83 va ad 1. Se questo 1 persiste per il tempo predeterminato, come discusso in relazione alla fig. 7, il suo terminale d'uscita va ad 1, facendo sì che la bobina di sgancio 84 sganci l'interruttore 54.

Avendo ora discusso il relè di protezione 50 in dettaglio, i suoi vantaggi e perfezionamenti sono facilmente visibili. Modificando la scala dell'asse verticale del piano X-Y in modo che l'unità verticale sia $X_R \Delta'i(t)$ si può definire una soglia mobile di pendenza uno per tutte le tarature di relè. Inoltre, il relè di protezione 50 realizza una soglia variabile nel tempo secondo l'equazione $\Delta'i(t)X_R = \Delta v(t) + v_{op}(t)$. Il risultato di questi perfezionamenti è una significativa riduzione del tempo di rilevamento del guasto per il relè di protezione 50 poiché non è necessario attendere i valori di picco dello scostamento di tensione e dello scostamento differenziato di corrente per determinare la distanza o la direzione del guasto.

RIVENDICAZIONI

1. Relè di protezione per determinare la direzione di un guasto da un punto di misura di una linea di tra-

smissione di energia elettrica alimentata da una sorgente di potenza a c.a., tale relè di protezione comprendendo:

dei primi mezzi per fornire un segnale derivato dalla corrente in funzione del tempo, tale segnale derivato dalla corrente essendo rappresentativo dello scostamento di corrente generato dal guasto rispetto alla corrente di regime stazionario pre-guasto;

dei secondi mezzi per fornire un segnale derivato dalla tensione in funzione del tempo, tale segnale derivato dalla tensione essendo rappresentativo dello scostamento di tensione generato dal guasto rispetto alla tensione di regime stazionario pre-guasto;

dei mezzi filtranti per eliminare i transitori dovuti all'attività delle onde migranti da ciascuno dei segnali derivati dalla corrente e derivati dalla tensione, producendo così un segnale filtrato derivato dalla corrente e un segnale filtrato derivato dalla tensione;

dei terzi mezzi per trasformare almeno uno di tali segnali filtrati derivati dalla corrente e di tali segnali filtrati derivati dalla tensione in modo che la trasformazione faccia sì che l'ordine di differenziazione del segnale filtrato derivato dalla corrente sia di un ordine più elevato dell'ordine del segnale filtrato derivato dalla tensione, il segnale filtrato derivato dalla tensione e il segnale filtrato derivato dalla cor-

rente di ordine diverso essendo definiti rispettivamente primo e secondo segnale;

dei quarti mezzi per generare una traiettoria variabile nel tempo in un piano X-Y usando il primo e il secondo segnale rispettivamente come coordinate X e Y;

dei quinti mezzi per generare un limite di soglia variabile nel tempo in almeno due predeterminati quadranti del piano X-Y;

e dei sesti mezzi per determinare quando tale traiettoria variabile nel tempo supera il limite di soglia variabile nel tempo per un tempo predeterminato indicando così che il guasto è in una prima direzione rispetto al punto di misura.

2. Relè di protezione secondo la riv. 1 in cui i terzi mezzi comprendono dei mezzi per differenziare il segnale filtrato derivato dalla corrente.

3. Relè di protezione secondo la riv. 1, in cui i terzi mezzi comprendono dei mezzi per integrare il segnale filtrato derivato dalla tensione.

4. Relè di protezione secondo la riv. 1 in cui la coordinata dell'asse delle Y è il prodotto del secondo segnale per la reattanza della linea di trasmissione d'energia elettrica a una distanza predeterminata dal punto di misura.

5. Relè di protezione secondo la riv. 4 in cui

i due predeterminati quadranti comprendono il secondo e il terzo quadrante.

6. Relè di protezione secondo la riv. 5 in cui il limite di soglia variabile nel tempo ha pendenza unitaria e un'intercetta sull'asse delle Y nel secondo e quarto quadrante rappresentante la tensione variabile nel tempo pre-guasto nel guasto.

7. Relè di protezione secondo la riv. 6 in cui la tensione pre-guasto variabile nel tempo nel punto di misura rappresenta la tensione pre-guasto variabile nel tempo nel guasto.

8. Relè di protezione secondo la riv. 6 in cui la prima direzione è la direzione in avanti.

9. Relè di protezione secondo la riv. 1 in cui i primi mezzi generano i limiti di soglia variabili nel tempo in quattro quadranti del piano X-Y e in cui i sesti mezzi determinano quando la traiettoria variabile nel tempo supera i limiti di soglia variabili nel tempo per un tempo predeterminato indicando così che il guasto è in una prima o una seconda direzione rispetto al punto di misura.

10. Relè di protezione secondo la riv. 1 in cui i sesti mezzi comprendono un temporizzatore a coincidenza per determinare se la traiettoria variabile nel tempo supera il limite di soglia variabile nel tempo per il

tempo predeterminato.

11. Relè di protezione per determinare se un guasto di una linea di trasmissione d'energia elettrica alimentata da una sorgente di potenza a c.a. è compreso entro una predeterminata distanza da un punto di misura, tale relè di protezione comprendendo:

dei primi mezzi per fornire un segnale derivato dalla corrente in funzione del tempo, tale segnale derivato dalla corrente essendo rappresentativo dello scostamento della corrente generata dal guasto dalla corrente di regime stazionario pre-guasto;

dei secondi mezzi per fornire un segnale derivato dalla tensione in funzione del tempo, tale segnale derivato dalla tensione essendo rappresentativo dello scostamento della tensione generata dal guasto dalla tensione di regime stazionario pre-guasto;

dei mezzi di filtraggio per eliminare i transitori dovuti all'attività delle onde migranti da ciascuno dei segnali derivati dalla corrente e derivati dalla tensione, producendo così un segnale filtrato derivato dalla corrente e un segnale filtrato derivato dalla tensione;

dei terzi mezzi per trasformare almeno uno di tali segnale filtrato derivato dalla corrente e segnale filtrato derivato dalla tensione in modo che la trasformazione faccia sì che l'ordine di differenziazione del se-

gnale filtrato derivato dalla corrente sia di un ordine più elevato dell'ordine del segnale filtrato derivato dalla tensione, il segnale filtrato derivato dalla tensione e il segnale filtrato derivato dalla corrente, di diverso ordine, essendo definiti rispettivamente primo e secondo segnale;

dei quarti mezzi per generare una traiettoria variabile nel tempo in un piano X-Y usando tali primo e secondo segnale rispettivamente come coordinate X e Y;

dei quinti mezzi per generare un limite di soglia variabile nel tempo in almeno due predeterminati quadranti di tale piano X-Y;

e dei sesti mezzi per determinare quando tale traiettoria variabile nel tempo supera il limite di soglia variabile nel tempo per un tempo predeterminato indicando così che il guasto è entro una predeterminata distanza dal punto di misura.

12. Relè di protezione per determinare la direzione di un guasto, rispetto a un punto di misura su una linea di trasmissione d'energia elettrica alimentata da una sorgente di potenza a c.a., e per determinare se il guasto è entro una predeterminata distanza dal punto di misura, tale relè di protezione comprendendo:

dei primi mezzi per fornire un segnale derivato

dalla corrente in funzione del tempo, tale segnale derivato dalla corrente essendo rappresentativo dello scostamento della corrente generata dal guasto dalla corrente di regime stazionario pre-guasto;

dei secondi mezzi per fornire un segnale derivato dalla tensione in funzione del tempo, tale segnale derivato dalla tensione essendo rappresentativo dello scostamento della tensione generata dal guasto dalla tensione di regime stazionario pre-guasto;

dei mezzi di filtraggio per eliminare i transitori dovuti all'attività delle onde migranti da ciascuno dei segnali derivato dalla corrente e derivato dalla tensione, producendo così un segnale filtrato derivato dalla corrente e un segnale filtrato derivato dalla tensione;

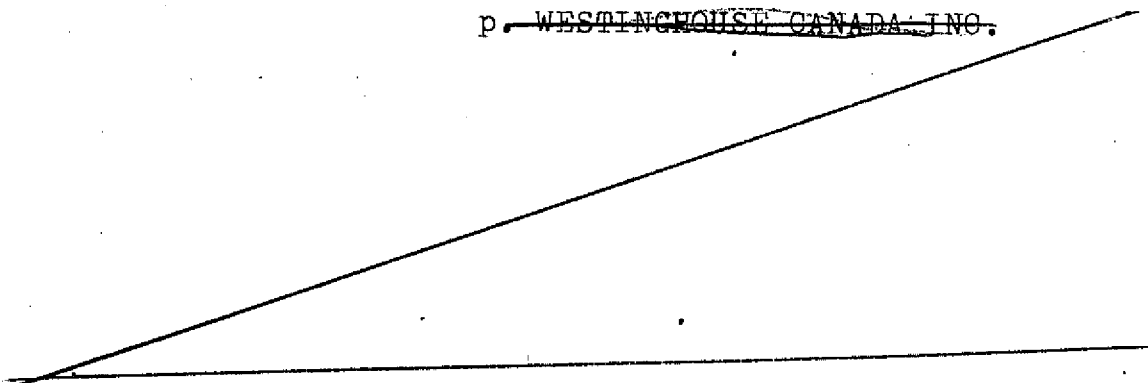
dei mezzi di differenziazione per produrre un segnale differenziato in risposta al segnale filtrato derivato dalla corrente;

dei terzi mezzi per generare una traiettoria variabile nel tempo in un piano X-Y in cui il prodotto di tale segnale differenziato per la reattanza della linea di trasmissione d'energia elettrica alla distanza pre-determinata dal punto di misura è la coordinata Y, e in cui il segnale filtrato derivato dalla tensione è la coordinata X;

dei quarti mezzi per generare un primo limite di soglia variabile nel tempo nel secondo e quarto quadrante del piano X-Y in cui tale primo limite di soglia variabile nel tempo ha pendenza unitaria e un'intercetta sull'asse delle Y nel secondo e quarto quadrante rappresentante la tensione pre-guasto variabile nel tempo nel guasto, e per generare un secondo limite di soglia variabile nel tempo nel primo e terzo quadrante del piano X-Y in cui tale secondo limite di soglia variabile nel tempo ha pendenza unitaria negativa e un'intercetta sull'asse delle Y nel primo e terzo quadrante rappresentante il negativo della tensione pre-guasto variabile nel tempo nel guasto;

e dei quinti mezzi per determinare quando tale traiettoria variabile nel tempo supera il limite di soglia variabile nel tempo per un tempo predeterminato nel secondo o quarto quadrante del piano X-Y indicando così che il guasto è in direzione in avanti ed entro la predeterminata distanza dal punto di misura, e per determinare quando tale traiettoria variabile nel tempo supera tale limite di soglia variabile nel tempo per un tempo predeterminato nel primo o terzo quadrante del piano X-Y indicando così che il guasto è in direzione inversa ed è entro la predeterminata distanza dal punto di misura.

p. ~~WESTINGHOUSE CANADA INC.~~



23291A/83

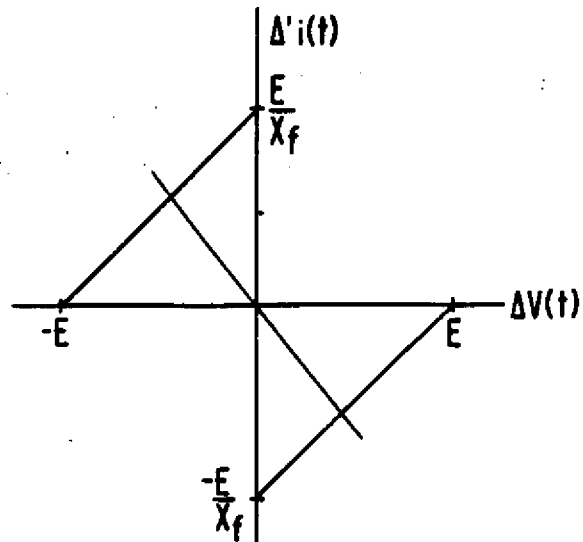


FIG. 1

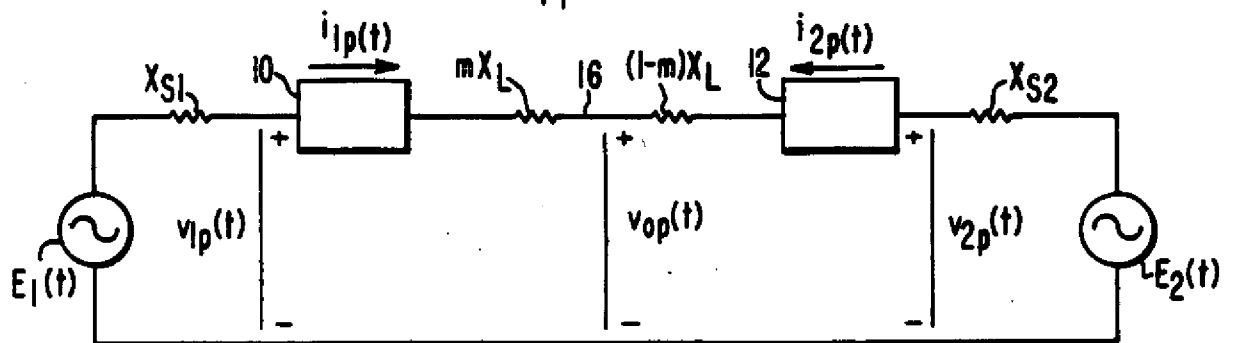


FIG. 2A

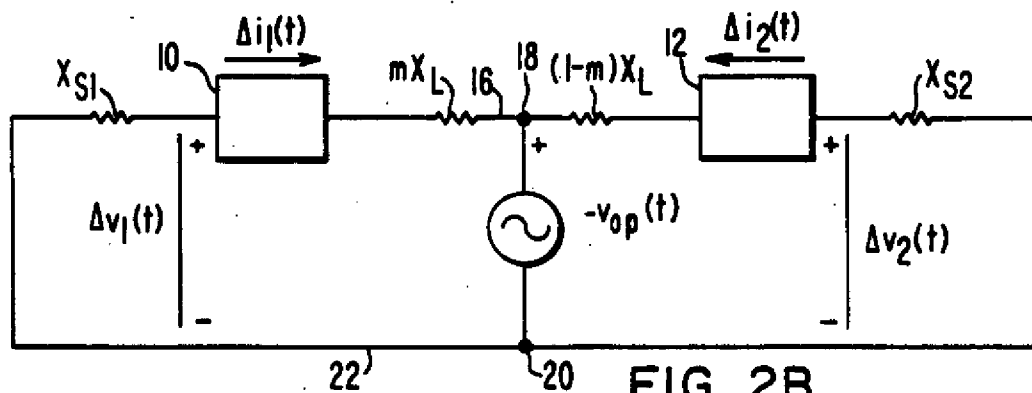


FIG. 2B

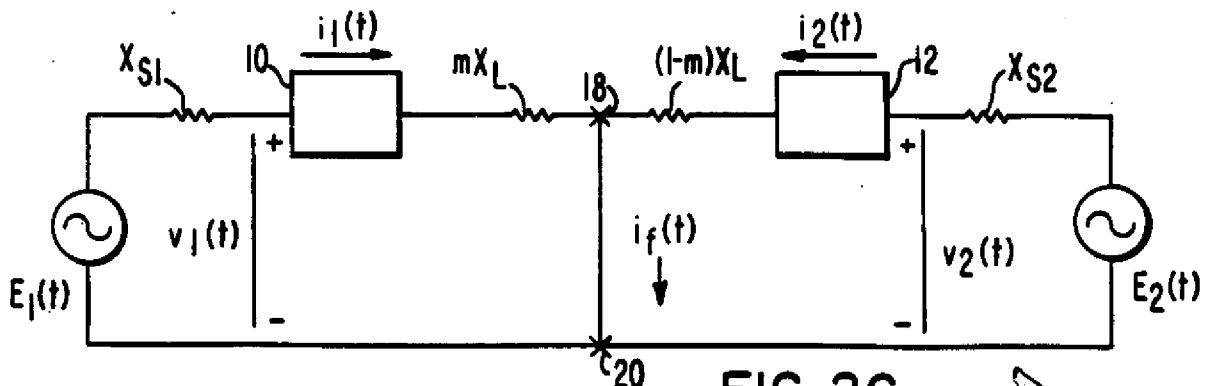
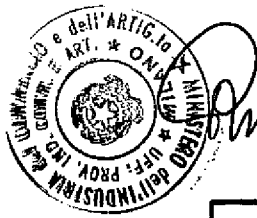


FIG. 2C

ing. ALESSANDRO ZINI



2 3 29 1 A / 83

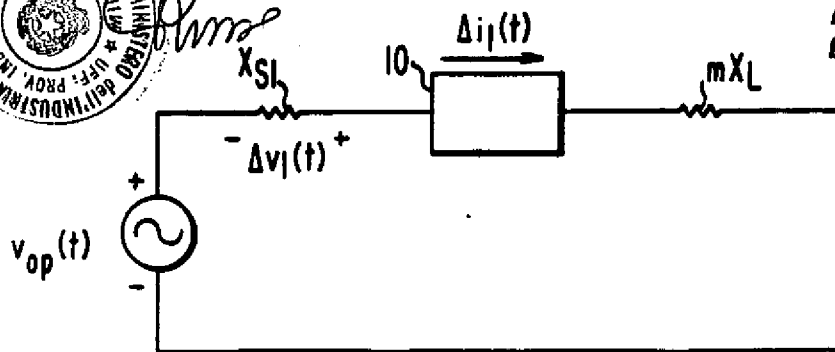


FIG. 3

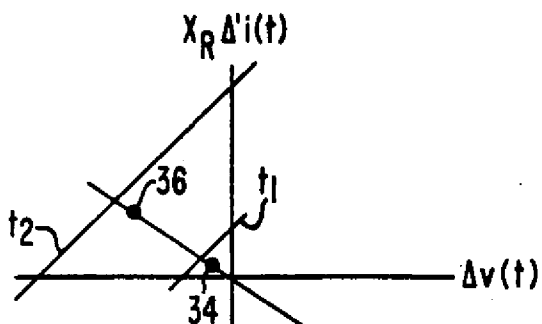


FIG. 4A

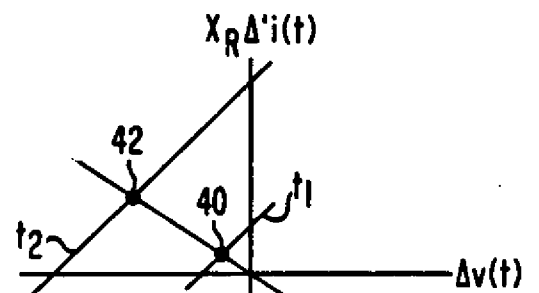


FIG. 4B

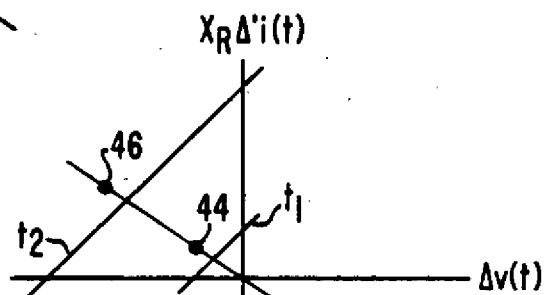


FIG. 4C

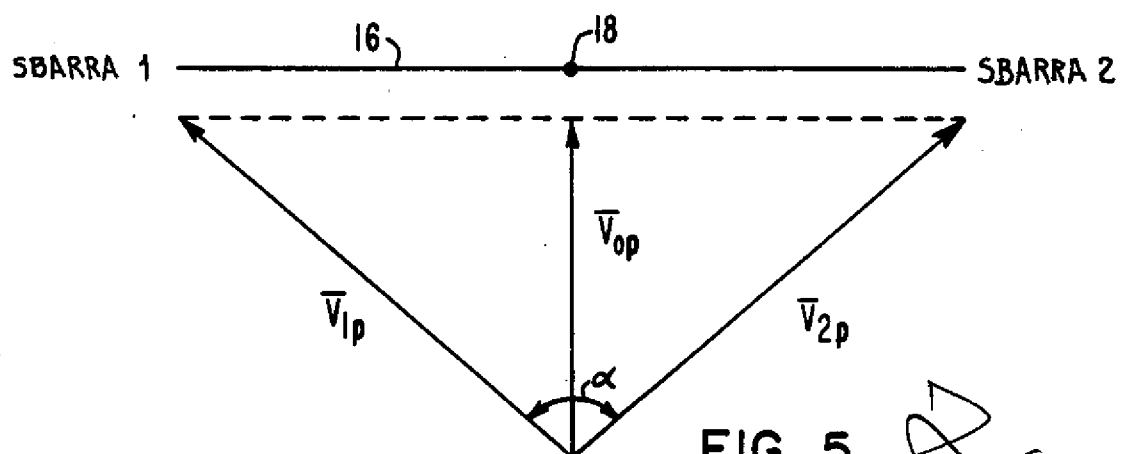


FIG. 5

ing. ALESSANDRO ZINI

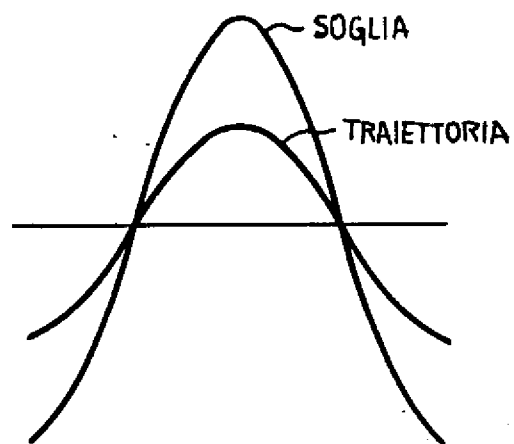
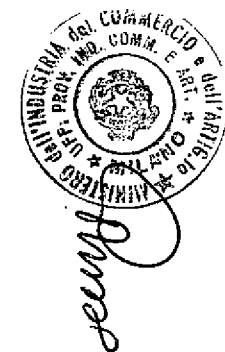


FIG. 6A

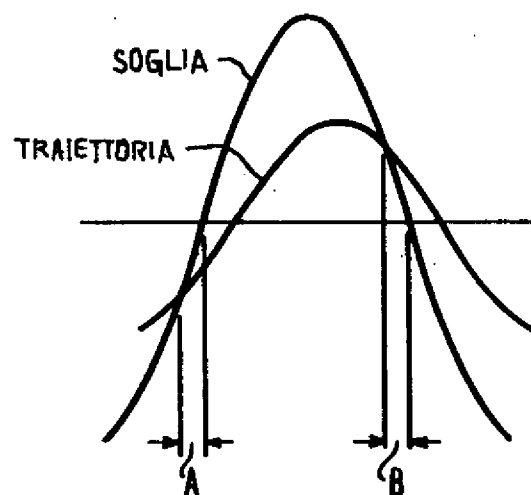


FIG. 6B

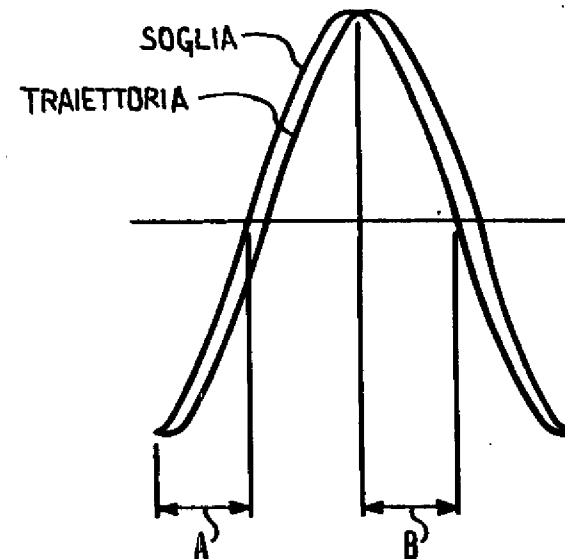
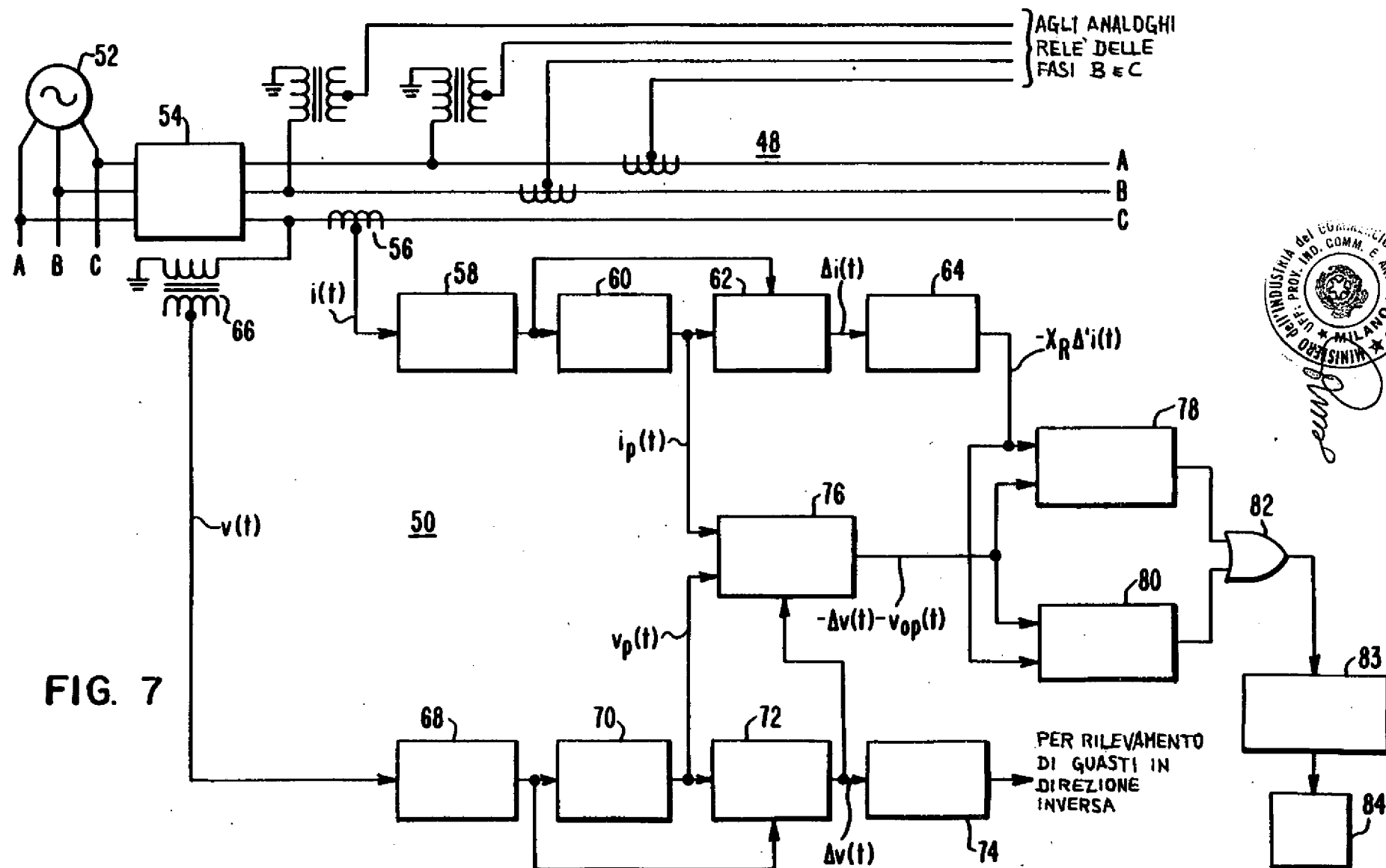


FIG. 6C

ing. ALESSANDRO ZINI



23291A/83



23291A/83

ing. ALESSANDRO ZINI

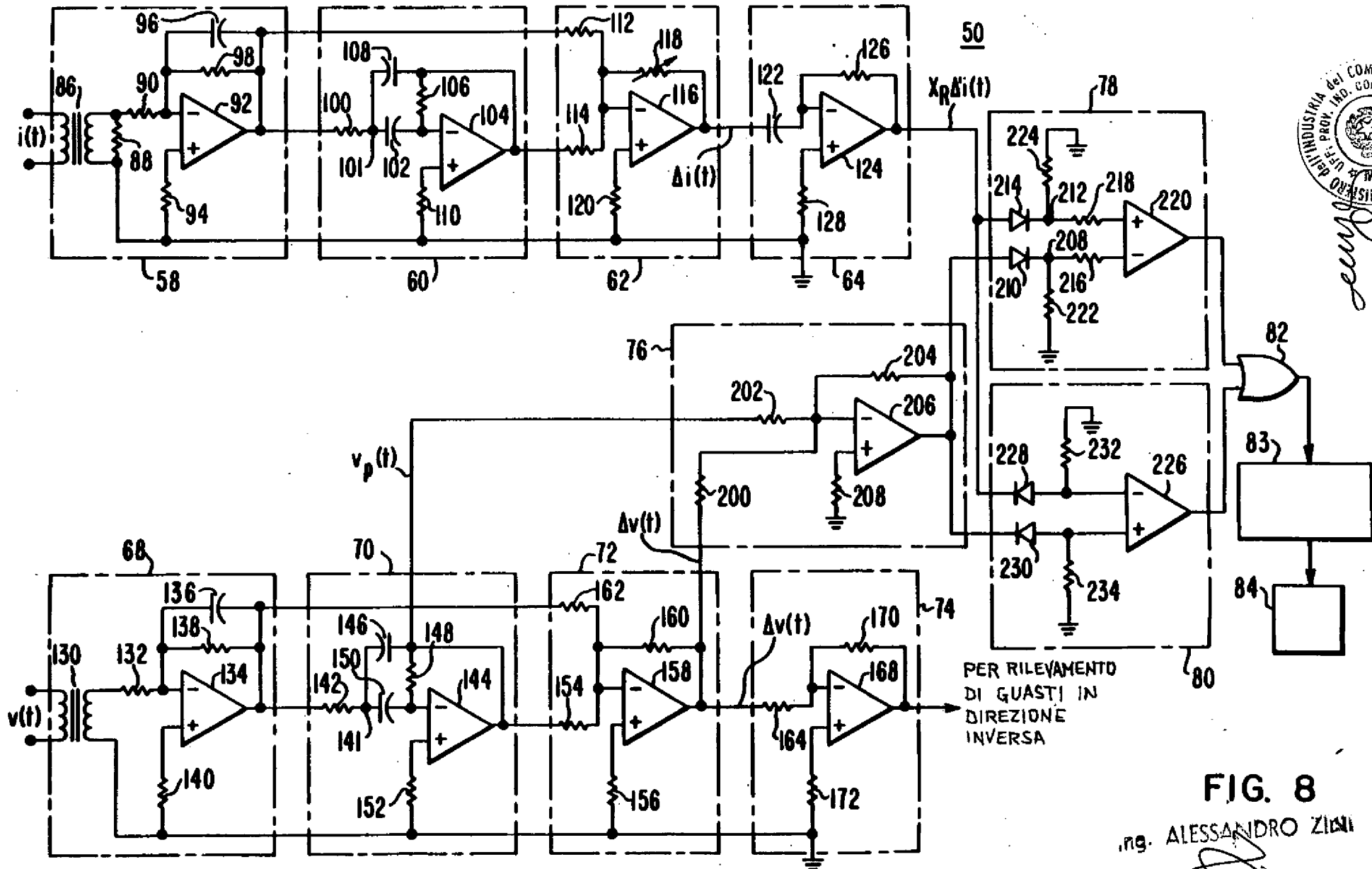


FIG. 8

ing. ALESSANDRO ZINI