



Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ PATENTSCHRIFT A5

⑪

647 079

⑳ Gesuchsnummer: 7986/79

㉔ Anmeldungsdatum: 04.09.1979

③① Priorität(en): 13.11.1978 JP 53-139583

㉔ Patent erteilt: 28.12.1984

④⑤ Patentschrift
veröffentlicht: 28.12.1984

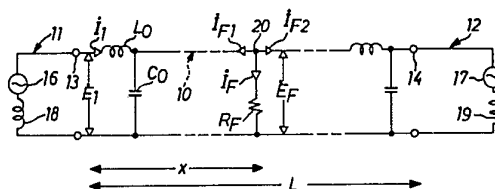
⑦③ Inhaber:
Tokyo Denryoku Kabushiki Kaisha,
Chiyoda-ku/Tokyo-to (JP)

⑦② Erfinder:
Takagi, Toshio, Chiyoda-ku/Tokyo-to (JP)
Yamakoshi, Yukinari, Chiyoda-ku/Tokyo-to (JP)

⑦④ Vertreter:
E. Blum & Co., Zürich

⑤④ Anlage zur Fehlerortsbestimmung in einer elektrischen Uebertragungsleitung.

⑤⑦ An einem Ende (11) einer Starkstromübertragungsleitung (10) überwacht die Fehlererkennungsanlage die aus einem Fehler resultierenden Änderungen der Spannung und des Stromes, die durch die Leitung übertragen werden, und berechnet den Abstand zwischen dem Ende und dem Ort (20) des Fehlers mit Hilfe der Änderungen und der von der Leitung abhängigen Leitungsparameter, wie zum Beispiel die Wellenimpedanz und das Fortpflanzungsmass, um mit Hilfe der üblichen Netzfrequenz und ohne Beeinflussung der Fehlerimpedanz den Fehler mit einer genügenden Genauigkeit zu lokalisieren. Das System kann die Fehlerimpedanz aus dem Abstand und den Rückwärtsimpedanzen berechnen, welche am Ende (11) und am gegenüberliegenden Ende (12) der Leitung rückwärts zum Ort des Fehlers gesehen werden.



PATENTANSPRÜCHE

1. Anlage zur Fehlerortsbestimmung in einer elektrischen Übertragungsleitung mit gegebenen Leitungskonstanten, wobei aus am einen Ende der Übertragungsleitung periodisch gemessenen, im störungsfreien Betrieb im wesentlichen fest bleibenden, und je einen Nominalwert definierenden Spannungs- und Stromwerten, beim Auftreten eines Fehlers der Abstand zwischen dem Ende der Übertragungsleitung und dem Fehlerort bestimmbar ist, gekennzeichnet durch eine am Ende der Übertragungsleitung angeordnete Abtastschaltung (25) zur aufeinanderfolgenden Aufnahme von Spannungs- und Stromwerten in bestimmten Intervallen, eine erste Rechenschaltung (26), die aus einer bestimmten Anzahl von abgetasteten Spannungs- und Stromwerten in vorgegebenen Zeitabständen eine erste und eine zweite Vektorgrösse ($\vec{E}$, $\vec{I}$) berechnet, welche im störungsfreien Betrieb je dem Nominalwert der Spannung bzw. des Stromes entsprechen, und als erstes und zweites Vektorsignal (VE , VI) in den genannten Zeitabständen aufeinanderfolgend in einem ersten Speicher (27) gespeichert werden, eine Überwachungsschaltung (28) zur Überwachung der gespeicherten ersten und zweiten Vektorsignale (VE , VI) auf das Eintreten eines Fehlers und damit verbundener Ausgabe eines Fehlersignals, einen zweiten Speicher (30) zur Speicherung der Leitungskonstanten sowie eine zweite Rechenschaltung (31), die auf das Fehlersignal anspricht und aus den gespeicherten ersten und zweiten Vektorsignalen, wie sie vor sowie nach dem Fehlereintritt bestimmt wurden und aus den Leitungskonstanten nach vorgegebenem Rechenprogramm den Abstand zwischen Leitungsende und Fehlerort bestimmt.

2. Anlage nach Anspruch 1, wobei die Leitungskonstanten durch eine Wellenimpedanz und ein Fortpflanzungsmass gegeben sind, dadurch gekennzeichnet, dass der zweite Speicher (30) je einen Speicherteil für ein Wellenimpedanzsignal und ein Fortpflanzungsmasssignal besitzt, und dass die zweite Rechenschaltung (31) eine Auswerterschaltung (33) aufweist, die auf das Fehlersignal anspricht und aus den fortlaufend gespeicherten ersten und zweiten Vektorsignalen zwei Vektorsignalpaare (AV , AI , PV , PI) bestimmt, von denen das erste Paar die vor dem Fehlereintritt und das zweite die zu einem Zeitpunkt bei oder nach dem Fehlereintritt auftretenden Vektorgrössen darstellen sowie eine Registerschaltung (34) zum Speichern der beiden Vektorsignalpaare, einen Speicherteil (35) zur Speicherung eines Rechenprogramms zur Ausgabe einer Befehlsfolge beim Auftreten des Fehlersignals und eine Arithmetikvorrichtung (36) besitzt, die in Abhängigkeit von der Befehlsfolge aus den gespeicherten Leitungskonstanten und den gespeicherten Vektorsignalpaaren den Abstand zwischen Leitungsende und Fehlerort berechnet.

3. Anlage nach Anspruch 2, wobei das Rechenprogramm einen ersten Programmteil aufweist, der einen ersten Formelsatz enthält und einen zweiten Programmteil, der einen zweiten Formelsatz enthält, dadurch gekennzeichnet, dass der Speicherteil (35) einen Speicherbereich für den ersten Programmteil aufweist zur Ausgabe entsprechender erster Befehlssignale beim Auftreten des Fehlersignals und einen Speicherbereich für den zweiten Programmteil zur Ausgabe entsprechender zweiter Befehlssignale nach Ausgabe der ersten, wobei die Arithmetikvorrichtung (36) auf die beiden Vektorsignalpaare der Registerschaltung (34) und die ersten Befehlssignale anspricht, um gemäss dem ersten Formelsatz vier Variable (α , β , γ , δ) zu berechnen und vier diesen Variablen jeweils entsprechende Ergebnissignale zu erzeugen, und danach auf die Ergebnissignale, das Wellenimpedanzsignal, das Fortpflanzungsmasssignal und die zweiten Befehlssignale anspricht, um entsprechend dem zweiten Formelsatz einen Näherungswert des Abstandes zwischen Leitungsende und Fehlerort zu berechnen und ein Abstandssignal zu erzeugen.

4. Anlage nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Formelsatz aus den Formeln:

$$\alpha = E_r(E_r - E_{0r}) + E_i(E_i - E_{0i}),$$

$$\beta = I_r(I_r - I_{0r}) + I_i(I_i - I_{0i}),$$

$$\gamma = E_r(I_i - I_{0i}) - E_i(I_r - I_{0r}) \text{ und}$$

$$\delta = I_r(E_i - E_{0i}) - I_i(E_r - E_{0r}),$$

gebildet ist, wo α , β , γ und δ die vier Variablen sind, und wobei E_{0r} und E_{0i} die Real- und Imaginärteile der ersten Vektorgrösse des ersten Vektorsignalpaares, I_{0r} und I_{0i} die Real- und Imaginärteile der zweiten Vektorgrösse des ersten Vektorsignalpaares, E_r und E_i die Real- und Imaginärteile der ersten Vektorgrösse des zweiten Vektorsignalpaares, und I_r und I_i die Real- und Imaginärteile der zweiten Vektorgrösse des zweiten Vektorsignalpaares sind; und dass der zweite Formelsatz die Formel

$$x = (\tan^{-1}[(\delta - \gamma) / (\beta Z_0 - \alpha / Z_0)] - \sin^{-1}[(\gamma + \delta) / ((\beta Z_0 - \alpha / Z_0)^2 + [\delta - \gamma]^2)^{1/2}]) \div (2\mu),$$

aufweist, wo x der Näherungswert; Z_0 die Wellenimpedanz; und μ das Fortpflanzungsmass ist.

5. Anlage nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Rechenschaltung (31) ferner eine manuell zu betätigende Schaltung (45) zur Erzeugung eines Abstandssignals (IS) aufweist, das einem vorgewählten Abstand in der Übertragungsleitung von einem Ende entspricht und einen Festwertspeicher (46) zur Speicherung eines Toleranzschwellwertes, wobei der Speicherteil (35) einen ersten Speicherteil aufweist zur Speicherung eines Steuerprogramms, das einem Formelsatz entspricht und einen zweiten Speicherteil zur Speicherung eines Rechenprogramms, wobei im zweiten Speicherteil ein erstes Teilprogramm, das eine Rekursionsformel zur Erzeugung einer ersten Folge von Steuersignalen definiert und ein zweites, mit dem ersten Teilprogramm verschachteltes zweites Teilprogramm zur Erzeugung einer zweiten Folge von Steuersignalen gespeichert sind, dass die Arithmetikvorrichtung (36) auf die beiden Vektorsignalpaare der Registerschaltung (34) und das Steuerprogramm anspricht, um gemäss dem Formelsatz vier Variable (α , β , γ , δ) zu berechnen und vier diesen Variablen entsprechende Ergebnissignale auszugeben und danach auf Grund dieser Ergebnissignale, der Leitungskonstanten, des Abstandssignals (IS) und der ersten Folge von Steuersignalen entsprechend der Rekursionsformel eine Folge von Abstandswerten in der Übertragungsleitung vom einen Ende aus zu berechnen, wobei die zweite Folge von Steuersignalen zur Überwachung der jeweils berechneten Abstandswerte bezüglich des Toleranzschwellwerts bestimmt ist, und wobei die Arithmetikvorrichtung in Abhängigkeit der Folge von Abstandswerten, dem Toleranzschwellwert und der zweiten Folge von Steuersignalen, einen Abstandswert ausgibt, falls der Toleranzschwellwert unterschritten ist.

6. Anlage nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Formelsatz aus den Formeln

$$\alpha = E_r(E_r - E_{0r}) + E_i(E_i - E_{0i}),$$

$$(\beta = I_r(I_r - I_{0r}) + I_i(I_i - I_{0i}),$$

$$\gamma = E_r(I_i - I_{0i}) - E_i(I_r - I_{0r}) \text{ und}$$

$$\delta = I_r(E_i - E_{0i}) - I_i(E_r - E_{0r}),$$

besteht, wo α , β , γ und δ die vier Variablen sind, wobei E_{0r} und E_{0i} die Real- und Imaginärteile der ersten Vektorgröße des ersten Vektorsignalpaares, I_{0r} und I_{0i} die Real- und Imaginärteile der zweiten Vektorgröße des ersten Vektorsignalpaares, E_r und E_i die Real- und Imaginärteile der ersten Vektorgröße des zweiten Vektorsignalpaares, und I_r und I_i die Real- und Imaginärteile der zweiten Vektorgröße des zweiten Vektorsignalpaares sind; und dass die Rekursionsformel ist:

$$x_n = x_{n-1} - F(x_{n-1}) / F'(x_{n-1}),$$

wo x_n ($n = 1, 2, 3, \dots$) der resultierende Abstand; x_0 der vorgeählte Abstand; und $F'(x)$ eine Ableitung $dF(x)/dx$ ist; und $F(x)$ eine Funktion ist, die definiert ist als:

$$F(x) = (\beta Z_0 - \alpha / Z_0) \sin \mu x \cdot \cos \mu x + \gamma \cdot \cos^2 \mu x + \delta \cdot \sin^2 \mu x,$$

wo wiederum x der Abstand; Z_0 die Wellenimpedanz und μ das Fortpflanzungsmass ist.

7. Anlage nach Anspruch 1, wobei die Übertragungsleitung nur zwei Enden besitzt und eine erste und eine zweite vorgegebene Rückwärtsimpedanz aufweist, rückwärts vom Ort des Fehlers aus betrachtet, und zur Erkennung des Fehlers zusätzlich eine am Fehlerort auftretende Fehlerimpedanz berechnet wird, gekennzeichnet durch

einen dritten Speicher zur Speicherung des berechneten Abstands;

einen vierten Speicher zur Speicherung eines ersten und eines zweiten je der ersten und der zweiten Rückwärtsimpedanz entsprechenden Rückwärtsimpedanzsignals und

eine dritte Rechenschaltung, die auf das Fehlersignal, die gespeicherten beiden Vektorsignalpaare, die Leitungskonstanten, das gespeicherte Abstandssignal und die ersten und zweiten Rückwärtsimpedanzsignale anspricht, um die Fehlerimpedanz zu berechnen und das Fehlerimpedanzsignal zu erzeugen.

8. Anlage nach Anspruch 7, wobei die Übertragungsleitung eine Gesamtlänge L zwischen den Enden aufweist, und die Leitungskonstanten durch eine Wellenimpedanz Z_0 und ein Fortpflanzungsmass μ gegeben sind, dadurch gekennzeichnet, dass der zweite Speicher ein erstes Speicherteil zur Speicherung eines der Wellenimpedanz entsprechenden Wellenimpedanzsignals und ein zweites Speicherteil zur Speicherung eines dem Fortpflanzungsmass entsprechenden Fortpflanzungsmasssignals aufweist und

dass die dritte Rechenschaltung eine Auswerterschaltung besitzt, die auf das Fehlersignal und die gespeicherten ersten und zweiten Vektorsignale anspricht, um ein erstes und ein zweites Vektorsignalpaar zu erzeugen, wobei das erste, durch $E_{0r} + jE_{0i}$ und $I_{0r} + jI_{0i}$ bezeichnete Vektorsignalpaar die vor dem Fehlereintritt und das zweite, durch $E_r + jE_i$ und $I_r + jI_i$ bezeichnete Vektorsignalpaar zu einem Zeitpunkt die bei oder nach dem Fehlereintritt bestimmten Vektorgrossen darstellen, wobei j die imaginäre Einheit ist,

sowie eine Registerschaltung zum Speichern der beiden Vektorsignalpaare;

einen zusätzlichen Speicher zum Speichern eines die Gesamtlänge darstellenden Gesamtlängesignals,

einen Programmspeicher zum Speichern eines ersten Steuerprogramms, das eine erste Formel definiert, um beim Auftreten des Fehlersignals eine erste Folge von Anweisungssignalen zu erzeugen, und eines zweiten Steuerprogramms, das eine zweite Formel definiert, die als zweite, auf die erste nachfolgende Anweisungssignalfolge erzeugt wird; und

eine Arithmetikvorrichtung, die auf das gespeicherte Abstandssignal, die ersten und die zweiten Rückwärtsimpe-

danzsignale, das Gesamtlängesignal und die erste Folge der Anweisungssignale anspricht, um nach der ersten Formel ein Impedanzverhältnis $K(x)$ zu berechnen und ein dem Impedanzverhältnis entsprechendes Impedanzverhältnissignal zu erzeugen, wobei das Impedanzverhältnis $K(x)$ das Verhältnis der Summe der ersten Rückwärtsimpedanz und einer Leitungsimpedanz zwischen dem ersten Ende und dem Fehlerort zur Summe der zweiten Rückwärtsimpedanz und einer anderen Leitungsimpedanz zwischen dem Fehlerort und dem zweiten Ende ist;

wobei die Arithmetikvorrichtung ferner auf das Impedanzverhältnissignal, das Wellenimpedanzsignal, das Fortpflanzungsmasssignal, die in der Registerschaltung gespeicherten Vektorsignalpaare und auf die zweite Anweisungssignalfolge anspricht, um die Fehlerimpedanz R_F und das Fehlerimpedanzsignal nach der zweiten Formel

$$R_F = - [E_r \cos \mu x + Z_0 I_r \sin \mu x + j(E_i \cos \mu x + Z_0 I_i \sin \mu x)]$$

$$\div ([1 + K(x)]$$

$$\times [(E_{0i} - E_i) / Z_0] \sin \mu x - (I_r - I_{0r}) \cos \mu x$$

$$+ j[(E_r - E_{0r}) / Z_0] \sin \mu x - [I_i - I_{0i}] \cos \mu x]$$

zu berechnen.

Die Erfindung betrifft eine Anlage zur Fehlerortsbestimmung in einer elektrischen Übertragungsleitung mit gegebenen Leitungskonstanten, wobei aus am einen Ende der Übertragungsleitung periodisch gemessenen, im störungsfreien Betrieb im wesentlich fest bleibenden und, je einen Nominalwert definierenden Spannungs- und Stromwerten, beim Auftreten eines Fehlers der Abstand zwischen dem Ende der Übertragungsleitung und dem Fehlerort bestimmbar ist.

Es ist eine Fehlerortungsanlage bekannt, die den Abstand zwischen einem der Enden der Übertragungsleitung und dem Fehlerort berechnet. Bei einer solchen konventionellen Fehlerortungsanlage wird von Stosswellen Gebrauch gemacht, die unvermeidlich am Fehlerort entstehen, wenn der Fehler auftritt. Die Stosswellen werden an beiden Enden empfangen. Aus der Zeitdifferenz zwischen den beiden Empfangszeitpunkten wird der Abstand gerechnet. Eine andere, konventionelle Fehlerortungsanlage liefert, beim Auftreten des Fehlers, vom einen bestimmten Ende aus eine Impulsfolge an die Übertragungsleitung und empfängt die aus dem Fehlerort zurückreflektierten Impulse. In dieser Anlage wird das Zeitintervall zwischen einem Zeitpunkt, zu dem die Impulse an dem bestimmten Ende erzeugt werden, und einem anderen Zeitpunkt gemessen, zu dem die reflektierten Impulse empfangen werden, um den Abstand zu berechnen. Auf diese Weise wird der Abstand bei den konventionellen Anlagen durch die Verwendung der Stosswellen und der Impulse berechnet. Die Stosswellen und die Impulse werden jedoch während der Fortpflanzung durch die Übertragungsleitung verformt und abgeschwächt. Zudem variieren die Stosswellen und die reflektierten Impulse beträchtlich in ihrer Wellenform je nach dem aufgetretenen Fehler. Deswegen ist es schwierig, mit den konventionellen Fehlerortungsanlagen den Fehlerort genau zu bestimmen.

Es ist ferner zum Unterhalt möglich, eine Übertragungsleitung in eine Mehrzahl von Strecken zu unterteilen und ein Distanzrelaissystem anzuwenden, das an einem Ende der Übertragungsleitung ein Distanzrelais aufweist. Mit dem Distanzrelais wird der Fehler in einer der Strecken geortet,

indem Spannungen und Ströme mit Netzfrequenz gemessen werden. Es ist aber mit diesem System unmöglich, den Abstand zwischen dem Fehlerort und dem Ende zu berechnen. Dies ist deswegen unmöglich, weil die Berechnung durch den Fehlerwiderstand nachteilig beeinflusst wird, der am Fehlerort unvermeidlich auftritt. Zudem ist es unmöglich, den Fehlerwiderstand zu berechnen. Deswegen ist es mit diesem System schwierig, die Lage und die Ursachen dieses Fehlers zu analysieren.

Die Aufgabe der Erfindung ist es, eine Anlage zur genauen Bestimmung eines Fehlerortes in einer Übertragungsleitung zu schaffen, welche die erwähnten Nachteile vermeidet.

Eine weitere Aufgabe der Erfindung besteht darin, eine Anlage der beschriebenen Art zu schaffen, deren Ergebnis nicht vom am Fehlerort auftretenden elektrischen Widerstand beeinflusst ist.

Diese Aufgabe wird durch die im Patentanspruch 1 definierte Erfindung gelöst.

Im folgenden werden Ausführungsbeispiele anhand der beiliegenden Zeichnung beschrieben. Es zeigen: Fig. 1 eine Ersatzschaltung einer Übertragungsleitung nach dem Auftreten eines Fehlers;

Fig. 2 eine Ersatzschaltung der Übertragungsleitung vor dem Auftreten des Fehlers;

Fig. 3 eine Ersatzschaltung der Übertragungsleitung mit den aus dem Fehler resultierenden Änderungen;

Fig. 4 ein Blockdiagramm einer Anlage gemäss einer ersten Ausführung der Erfindung;

Fig. 5 ein Flussdiagramm zur allgemeinen Beschreibung der Funktionsweise der Anlage gemäss der ersten Ausführung;

Fig. 6 ein Blockdiagramm eines Teils einer Anlage gemäss einer zweiten Ausführung der Erfindung und

Fig. 7 ein Flussdiagramm, das dem in Fig. 5 gezeigten Flussdiagramm ähnlich ist, zur Beschreibung der Funktionsweise der Anlage gemäss der zweiten Ausführung.

Mit Hilfe der Fig. 1 bis 3 wird zuerst zum besseren Verständnis der Erfindung das mathematische Prinzip beschrieben, auf dem die Erfindung basiert. In diesen Figuren ist die Ersatzschaltung einer Übertragungsleitung 10 als ein verteiltes, konstantes Netzwerk gezeichnet, das zwei Stromleiter einer einphasigen elektrischen Leitung aufweist. Es sollte hier angemerkt werden, dass die Erfindung ohne weiteres auf eine

Übertragungsleitung zur drei- oder mehrphasigen Leistungsübertragung angewendet werden kann. Die Leistung jeder Phase weist die übliche Netzfrequenz auf und ist durch die Spannung, den Strom und ihre Phasendifferenz bestimmt.

Die Übertragungsleitung 10 weist ein erstes und ein zweites Ende 11 und 12, die in Fig. 1 und 2 durch ein erstes und zweites Klemmenpaar 13 und 14 dargestellt sind, einen ersten und einen zweiten elektromotorischen Kraftgenerator 16 und 17, und eine erste und eine zweite Induktivität 18 und 19 auf. In Fig. 3 sind das erste und zweite Ende 11 und 12 durch das erste und das zweite Klemmenpaar 13 und 14 dargestellt, welche Enden aus einem Grund, der erst während der Beschreibung erklärt wird, nur mit der ersten und der zweiten Induktivität 18 und 19 abgeschlossen sind. Jedes, das erste und das zweite Ende 11 und 12 kann ein Kraftwerk, eine Nebenstation oder dergleichen sein. In den Fig. wird vorausgesetzt, dass ein Fehler an einem Ort 20 der Übertragungsleitung 10 zwischen dem ersten und dem zweiten Ende 11 und 12 auftritt oder aufgetreten ist. Die Länge des Abstandes zwischen dem ersten und dem zweiten Ende 11 und 12 wird als eine Länge L und der Abstand zwischen dem ersten Ende 11 und dem Fehlerort 20 als Abstand x bezeichnet.

Es ist unter diesen Umständen leicht verständlich, dass je ein erstes und ein zweites Vierpolnetzwerk zwischen dem ersten Klemmenpaar 13 und dem Fehlerort 20 und zwischen dem Fehlerort 20 und dem zweiten Klemmenpaar 14 gebildet werden. Im weiteren wird hauptsächlich das erste Vierpolnetzwerk beschrieben, weil das zweite Vierpolnetzwerk dem ersten Vierpolnetzwerk entspricht.

Es kann hier erwähnt werden, dass die in Fig. 1 und 2 gezeichneten Schaltungen jeweils die Zustände der Übertragungsleitung 10 nach und vor dem Auftreten des Fehlers beschreiben, während eine in Fig. 3 gezeichnete Schaltung die Übertragungsleitung 10 nur mit den Grössen zeigt, die in Folge des Fehlerauftretens verändert werden. Entsprechend dem Überlagerungsprinzip ist es möglich, die in Fig. 1 gezeichnete Schaltung durch die Überlagerung der in Fig. 2 und 3 gezeichneten Schaltungen zu bilden. Dies ist behilflich zur Einleitung der später beschriebenen Gleichungen.

Anhand Fig. 1 wird das erste Vierpolnetzwerk durch Vierpolparameter $\dot{A}(x)$, $\dot{B}(x)$, $\dot{C}(x)$ und $\dot{D}(x)$ beschrieben, wobei jedes der Parameter eine Funktion des Abstands x ist. Diese Vierpolparameter sind durch eine Matrixgleichung gegeben:

$$\begin{pmatrix} \dot{A}(x) & \dot{B}(x) \\ \dot{C}(x) & \dot{D}(x) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cosh \dot{\gamma} x & \dot{Z}_0 \sinh \dot{\gamma} x \\ (1/\dot{Z}_0) \sinh \dot{\gamma} x & \cosh \dot{\gamma} x \end{pmatrix} \quad (1)$$

wo $\dot{\gamma}$ das Fortpflanzungsmass der Übertragungsleitung 10 ist; und $\dot{Z}_0$ die Wellenimpedanz der Leitung ist. Wie bereits bekannt, sind das Fortpflanzungsmass $\dot{\gamma}$ und die Wellenimpedanz $\dot{Z}_0$ gegeben durch:

$$\dot{\gamma} = \sqrt{(j\omega L_0 + R_0) \cdot (j\omega C_0 + G_0)} \quad (2)$$

und

$$\dot{Z}_0 = \sqrt{(j\omega L_0 + R_0) / (j\omega C_0 + G_0)}, \quad (3)$$

wo L_0 die Leitungsinduktivität pro Längeneinheit der Übertragungsleitung 10 ist; R_0 der Leitungswiderstand pro Längeneinheit ist; C_0 die Leitungskapazität pro Längeneinheit ist; G_0 der Leitungsleitwert pro Längeneinheit ist und ω die Kreisfrequenz ist, die nicht unbedingt der üblichen Netzfrequenz entsprechen muss. Mit Hilfe der Gleichung (1) berechnen sich eine am Fehlerort 20 auftretende Spannung $\dot{E}_F$ und ein Strom $\dot{I}_{Fb}$, der in einer ersten Richtung von dem Fehlerort 20 zu dem ersten Ende 11 fliesst, wenn der Fehler auftritt, durch:

$$\begin{pmatrix} \dot{E}_F \\ \dot{I}_{F1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \dot{A}(x) & -\dot{B}(x) \\ \dot{C}(x) & -\dot{D}(x) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{E}_1 \\ \dot{I}_1 \end{pmatrix}, \quad (4)$$

wo $\dot{E}_1$ die am ersten Ende 11 gemessene Spannung nach dem Auftreten des Fehlers ist und $\dot{I}_1$ ein Strom ist, der in einer zweiten Richtung vom ersten Ende 11 zum Fehlerort 20 fließt. Die Spannung $\dot{E}_1$ und der Strom $\dot{I}_1$ können als eine erste und eine zweite nachhergehende Vektorgröße bezeichnet werden.

Man sieht beim Vergleich der Fig. 2 mit Fig. 1, dass in

$$\begin{pmatrix} \dot{E}_{F0} \\ \dot{I}_{F0} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \dot{A}(x) & -\dot{B}(x) \\ \dot{C}(x) & -\dot{D}(x) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{E}_0 \\ \dot{I}_0 \end{pmatrix}, \quad (5)$$

wo $\dot{E}_0$ eine am ersten Ende 11 vor dem Auftreten des Fehlers vorkommende Spannung ist; und $\dot{I}_0$ ein Strom ist, der in der zweiten Richtung vom ersten Ende 11 zum Punkt 20 im normalen Zustand vor dem Auftreten des Fehlers fließt. Die Spannung $\dot{E}_0$ und der Strom $\dot{I}_0$ können jeweils als eine erste und eine zweite vorhergehende Vektorgröße bezeichnet werden.

Beim Vergleich der Fig. 3 mit Fig. 1 und 2, sind zusätzlich der Fehlerwiderstand R_F und eine anderer Generator 21 am Fehlerort 20 gezeigt. Ein Fehlerstrom $\dot{I}_F$ fließt durch den Fehlerwiderstand R_F , so dass:

$$\dot{I}_F' = -(\dot{I}_{F1}' + \dot{I}_{F2}'), \quad (6)$$

$$\begin{pmatrix} \dot{E}_{F'} \\ \dot{I}_{F1}' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \dot{A}(x) & -\dot{B}(x) \\ \dot{C}(x) & -\dot{D}(x) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{E}_1' \\ \dot{I}_1' \end{pmatrix}, \quad (8)$$

wo $\dot{E}_1'$ der Änderung der Spannung $\dot{E}_1$ (Fig. 1) am ersten Ende 11 entspricht, die durch das Auftreten des Fehlers verursacht wird; und $\dot{I}_1'$ eine ähnliche Änderung des Stromes $\dot{I}_1$ am ersten Ende 11 ist. Entsprechend dem Überlagerungsprinzip sind die Spannung und der Strom $\dot{E}_1$ und $\dot{I}_1$ am ersten Ende 11 und die Spannung $\dot{E}_F$ am Fehlerpunkt 20 gegeben durch:

$$\dot{E}_1 = \dot{E}_0 + \dot{E}_F, \quad (9)$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}_F, \quad (10)$$

und

$$\dot{E}_F = \dot{E}_{F0} + \dot{E}_{F'}, \quad (11)$$

wo

$$\dot{E}_F = \dot{I}_F \cdot R_F \quad (12)$$

Bezeichnen wir nun eine erste und eine zweite Impedanz $\dot{Z}_{F1}'$ und $\dot{Z}_{F2}'$, wobei das erste und das zweite Ende 11 und 12

Fig. 2 ein am Fehlerort 20 auftretender Fehlerwiderstand oder Fehlerimpedanz R_F (Fig. 1) entfernt wurde, um die Übertragungsleitung 10 in einem normalen Zustand vor dem Auftreten des Fehlers zu zeigen. Eine am Fehlerort 20 im normalen Zustand auftretende Spannung $\dot{E}_{F0}$ und ein Strom $\dot{I}_{F0}$, der in der Richtung vom Punkt 20 zum ersten Ende 11 fließt, sind gegeben durch:

in einen ersten und einen zweiten Fehlerstrom $\dot{I}_{F1}'$ und $\dot{I}_{F2}'$, verteilt ist, die jeweils zum ersten und zweiten Ende 11 und 12 gerichtet sind. In den Fig. 1 und 3 ist der Strom $\dot{I}_F$ gegen den ersten und den zweiten Fehlerstrom $\dot{I}_{F1}'$ und $\dot{I}_{F2}'$ entgegengerichtet und ist:

$$\dot{I}_F' = \dot{I}_F. \quad (7)$$

Wenn eine Spannung am Fehlerpunkt 20 in Fig. 3 durch $\dot{E}_{F'}$ bezeichnet ist, sind die Spannung $\dot{E}_{F'}$ und der erste Fehlerstrom $\dot{I}_{F1}'$ gegeben durch:

vom Fehlerpunkt 20 aus jeweils gesehen werden. Die erste und die zweite Impedanz $\dot{Z}_{F1}'$ und $\dot{Z}_{F2}'$ sind:

$$\dot{Z}_{F1}' = [\dot{Z}_A + \dot{Z}_1] \quad (13)$$

und

$$\dot{Z}_{F2}' = [\dot{Z}_B + \dot{Z}_2] \quad (14)$$

wo $\dot{Z}_A$ und $\dot{Z}_B$ jeweils Leitungsimpedanzen zwischen dem ersten Ende 11 und dem Fehlerpunkt 20 und zwischen dem Fehlerpunkt 20 und dem zweiten Ende 12 sind; und $\dot{Z}_1$ und $\dot{Z}_2$ eine erste und eine zweite Rückwärtsimpedanz sind, wenn die Übertragungsleitung 10 am ersten und am zweiten Ende 11 und 12 rückwärts relativ zum Fehlerpunkt 20 gesehen wird. Es ist möglich, die Leitungsimpedanzen $\dot{Z}_A$ und $\dot{Z}_B$ mit Hilfe der Gesamtlänge L der Übertragungsleitung und des Abstandes x zu berechnen. Wie es später klar wird, ist ein Verhältnis $K(x)$ der ersten Impedanz $\dot{Z}_{F1}'$ zu der zweiten Impedanz $\dot{Z}_{F2}'$ durch eine reelle Zahl als eine Funktion von x ungefähr gegeben und ist gleich einem Verhältnis des zweiten Fehlerstroms

$\dot{I}_{F2'}$ zu dem ersten Fehlerstrom $\dot{I}_{F1'}$. Mit der Verwendung des Verhältnisses $K(x)$ wird die Gleichung (6) umgeschrieben in:

$$\dot{I}_F = -[1 + K(x)] \cdot \dot{I}_{F1'} \quad (15)$$

Die Spannungen $\dot{E}_1$ und $\dot{E}_0$ und die Ströme $\dot{I}_1$ und $\dot{I}_0$ der Gleichungen (9) und (10) sind am ersten Ende 11 messbar. Die Leitungskonstanten wie das Fortpflanzungsmass μ und die Wellenimpedanz $\dot{Z}_0$ sind von der Übertragungsleitung 10 abhängig. Dazu sind die erste und die zweite Rückwärtsimpedanz $\dot{Z}_1$ und $\dot{Z}_2$ auch messbar oder an den jeweiligen Enden bestimmbar, auch wenn solche Impedanzen $\dot{Z}_1$ und $\dot{Z}_2$, die in den Gleichungen (13) und (14) verwendet werden, von dem Generator, dem Transformator und/oder von den Lasten (nicht gezeigt) abhängig sind, die an das erste und an das zweite Ende 11 und 12 angeschlossen sind. Damit der Abstand x zwischen dem ersten Ende 11 und dem Fehlerpunkt 20 berechnet wird, wird der Abstand x nachfolgend an die Spannungen $\dot{E}_1$, $\dot{E}_0$, die Ströme $\dot{I}_1$, $\dot{I}_0$, und die Leitungskonstanten bezogen.

Aus der Gleichung (4) ist die Spannung $\dot{E}_F$ am Fehlerpunkt 20 nach dem Erscheinen des Fehlers gegeben durch:

$$\dot{E}_F = \dot{A}(x)\dot{E}_1 - \dot{B}(x)\dot{I}_1 \quad (16)$$

Aus den Gleichungen (12) und (15) ergibt sich:

$$\dot{E}_F = \dot{I}_F R_F = -[1 + K(x)]\dot{I}_{F1'} R_F \quad (17)$$

Aus der Gleichung (8) ist der Strom $\dot{I}_{F1'}$:

$$\dot{I}_{F1'} = \dot{C}(x)\dot{E}_1 - \dot{D}(x)\dot{I}_1 \quad (18)$$

Mit der Verwendung der Gleichungen (9) und (10) wird die Gleichung (18) umgeschrieben in:

$$\dot{I}_{F1'} = \dot{C}(x)(\dot{E}_1 - \dot{E}_0) - \dot{D}(x)(\dot{I}_1 - \dot{I}_0) \quad (19)$$

Die Gleichung (19) in die Gleichung (17) eingesetzt:

$$\dot{E}_F = -[1 + K(x)]R_F \times [\dot{C}(x)(\dot{E}_1 - \dot{E}_0) - \dot{D}(x)(\dot{I}_1 - \dot{I}_0)] \quad (20)$$

Das Dividieren der Gleichung (20) durch die Gleichung (19) ergibt:

$$\begin{aligned} \dot{E}_F / \dot{I}_{F1'} &= -[1 + K(x)]R_F \\ &= [\dot{A}(x)\dot{E}_1 - \dot{B}(x)\dot{I}_1] / [\dot{C}(x)(\dot{E}_1 - \dot{E}_0) - \dot{D}(x)(\dot{I}_1 - \dot{I}_0)] \quad (21) \end{aligned}$$

Es wird oft im Stand der Technik darauf hingewiesen, dass eine Impedanz und eine Admittanz der Übertragungsleitung 10 hauptsächlich durch die Induktivitäts- und Kapazitätsgrößen bestimmt oder dominiert wird, währenddem Widerstand- und Leitwertgrößen praktisch vernachlässigbar sind, was beim Vergleich der Impedanz- und der Admittanzgrößen zum Vorschein kommt. Bei den heutigen Starkstromübertragungssystemen sind die Reaktanzgrößen die dominanten Faktoren der Rückwärtsimpedanzen $\dot{Z}_1$ und $\dot{Z}_2$, eher als es die Widerstandsgrößen sind. In anderen Worten, können die Rückwärtsimpedanzen $\dot{Z}_1$ und $\dot{Z}_2$ als reine Reaktanzgrößen betrachtet werden. Diese Tatsache erlaubt, dass die erste und die zweite Impedanz $\dot{Z}_{F1'}$ und $\dot{Z}_{F2'}$ der Gleichungen (13) und (14) auch durch die Reaktanzgrößen allein approximiert werden. Anders ausgedrückt, weisen die Impedanzen $\dot{Z}_{F1'}$ und $\dot{Z}_{F2'}$ selten eine Phasendifferenz auf. Dadurch wird das Verhältnis $K(x)$ nur durch einen Realteil ohne Imaginärteil ausgedrückt. Ausserdem kann der Fehlerwiderstand R_F

als ein reiner Widerstand bezeichnet werden, weil er gewöhnlich ein Lichtbogenwiderstand ist.

Aus der obigen Beschreibung ist ersichtlich, dass die rechte Seite der Gleichung (21) aus einer reellen Zahl allein besteht, weil sowohl der Faktor $[1 + K(x)]$ als auch der Widerstand R_F reelle Zahlen sind. Mit der obigen Annahme wird die Gleichung (21) auf den Abstand x aufgelöst. Zu diesem Zweck wird jede der jeweiligen Spannungen und Ströme $\dot{E}_F$, $\dot{I}_{F1'}$, $\dot{E}_1$, $\dot{E}_0$ und $\dot{I}_0$ der Vektorgrossen aus einer komplexen Zahl bezeichnet durch:

$$\left. \begin{aligned} \dot{E}_F &= E_{Fr'} + jE_{Fi'}, \\ \dot{I}_{F1'} &= I_{F1r'} + jI_{F1i'}, \\ \dot{E}_1 &= E_r + jE_i, \\ \dot{I}_1 &= I_r + jI_i, \\ \dot{E}_0 &= E_{0r} + jE_{0i'}, \\ \dot{I}_0 &= I_{0r} + jI_{0i'} \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

wo j die komplexe Einheit ist. Solange die Widerstands- und die Leitwertgrößen der Leitungskonstanten wie oben erwähnt vernachlässigbar sind, werden das Fortpflanzungsmass μ und die Wellenimpedanz $\dot{Z}_0$ der Gleichungen (2) und (3) vereinfacht in:

$$\mu \doteq \omega \sqrt{L_0 C_0} \quad (23)$$

und

$$\dot{Z}_0 \doteq \sqrt{L_0 / C_0} \quad (24)$$

In Folge dessen werden die Vierpolparameter $\dot{A}(x)$, $\dot{B}(x)$, $\dot{C}(x)$ und $\dot{D}(x)$ umgeschrieben in:

$$\left. \begin{aligned} \dot{A}(x) &= \cos \mu x, \\ \dot{B}(x) &= jZ_0 \sin \mu x, \\ \dot{C}(x) &= j(1/Z_0) \sin \mu x, \\ \dot{D}(x) &= \cos \mu x. \end{aligned} \right\} \quad (25)$$

Das Einsetzen der Gleichungen 22 und 23 in die Gleichungen (16) und (19) ergibt:

$$\begin{aligned} \dot{E}_F &= E_{Fr} + jE_{Fi} \\ &= (E_r \cos \mu x + Z_0 I_r \sin \mu x) + j(E_i \cos \mu x - Z_0 I_i \sin \mu x) \quad (26) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_{F1'} &= I_{F1r'} + jI_{F1i'} \\ &= [(E_{0i} - E_i) / Z_0] \sin \mu x - (I_r - I_{0r} \cos \mu x) \\ &\quad + j[(E_r - E_{0r} / Z_0) \sin \mu x - (I_i - I_{0i} \cos \mu x)] \quad (27) \end{aligned}$$

Wie bereits oben beschrieben ist der Imaginärteil der Gleichung 21 etwa gleich Null. Das Verhältnis zwischen den reellen und den imaginären Teilen der Gleichungen 24 und 25 kann damit geschrieben werden:

$$\dot{E}_{Fi} \cdot \dot{I}_{F1r'} - \dot{E}_{Fr} \cdot \dot{I}_{F1i'} = 0. \quad (28)$$

Das Einsetzen der Gleichungen 24 und 25 in die Gleichung 26 ergibt:

$$(\beta Z_0 - \alpha / Z_0) \sin \mu x \cdot \cos \mu x + \gamma \cos^2 \mu x + \delta \sin^2 \mu x = 0, \quad (27)$$

wobei α , β , γ und δ als vier Variablen ausgedrückt werden:

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= E_r(E_r - E_{0r} + E_i(E_i - E_{0i})), \\ \beta &= I_r(I_r - I_{0r}) + I_i(I_i - I_{0i}), \\ \gamma &= E_r(I_i - I_{0i}) - E_i(I_r - I_{0r}), \\ \delta &= I_r(E_i - E_{0i}) - I_i(E_r - E_{0r}). \end{aligned} \right\} \quad (28)$$

Die Gleichung 27 wird weiter umgeschrieben in:

$$(\beta Z_0 - \alpha / Z_0) \sin 2\mu x - (\delta - \gamma) \cos 2\mu x + (\gamma + \delta) = 0. \quad (29)$$

Aus der Gleichung 28 ist der Abstand x gegeben durch:

$$x = (\tan^{-1}[(\delta - \gamma) / (\beta Z_0 - \alpha / Z_0)] - \sin^{-1}[(\gamma + \delta) / ((\beta Z_0 - \alpha / Z_0)^2 + [\delta - \gamma]^2)^{1/2}]) / 2\mu. \quad (30)$$

Zur Vereinfachung der Beschreibung werden ein Satz von vier Gleichungen 28 und die einzelne Gleichung 30 jeweils als eine erste Formel und eine zweite Formel bezeichnet. Es ist leicht einzusehen, dass die zweite Formel 30 vom Fehlerwiderstand R_F und auch vom Verhältnis $K(x)$ befreit ist, das die Funktion von x ist. Damit ist gemeint, dass der Abstand x mit der Verwendung der zweiten Formel 30 unabhängig vom Fehlerwiderstand R_F und dem Verhältnis $K(x)$ berechnet wird.

Es ist leicht zu verstehen, dass ein Faktor $[1 + K(x)]$, der in der Gleichung 15 auftritt, durch die Einsetzung des oben berechneten Abstandes x in die Gleichung 21 berechnet wird. Mit den Gleichungen 13 und 14 wird das Verhältnis $K(x)$ berechnet, wenn der Abstand x und die erste und die zweite Rückwärtsimpedanz Z_1 und Z_2 im voraus bekannt sind. Deswegen ist der Fehlerwiderstand R_F gegeben durch:

$$\begin{aligned} R_F &= -[E_r \cos \mu x + Z_0 I_r \sin \mu x + j(E_i \cos \mu x - Z_0 I_i \sin \mu x)] \\ &\quad \div [(1 + K(x))] \\ &\quad \times [(E_{0i} - E_i) / Z_0 \sin \mu x - (I_i - I_{0r}) \cos \mu x \\ &\quad + j[(E_r - E_{0r}) / Z_0 \sin \mu x - (I_r - I_{0i}) \cos \mu x]]. \end{aligned} \quad (31)$$

Der Fehlerwiderstand R_F ist zur Analyse der Bedingungen und der Ursache des Fehlers geeignet.

Es ist möglich, den Abstand x durch die Verwendung der Gleichung 27 mit einer entsprechenden Näherungsmethode, zum Beispiel mit der Newton-Raphson-Methode, zu berechnen. Zur Anwendung der Newton-Raphson-Methode lassen wir die linke Seite der Gleichung 27 eine Funktion $F(x)$ sein. Ein provisorischer Abstand x_0 wird aus einem Startwert für den Abstand x zwischen dem ersten und dem zweiten Ende 11 und 12, nämlich, zwischen Null und der Totallänge L bestimmt. Wenn der provisorische Abstand x_0 nicht mit dem wahren Fehlerpunkt übereinstimmt, wird die Funktion $F(x)$ nicht gleich Null sein. Damit die Funktion $F(x)$ zur Null konvergiert, wird eine Rekursionsformel definiert durch:

$$x_n = x_{n-1} - F(x_{n-1}) / F'(x_{n-1}), \quad (32)$$

wo x_n ($n = 1, 2, 3, \dots$) einer Folge von resultierenden Abständen entspricht, die nachfolgend durch die Formel 32 berechnet wurden; und $F'(x)$ eine Ableitung $dF(x)/dx$ ist. Nach der Rekursionsformel 32 ist es im Stand der Technik bekannt, dass jeder der resultierenden Abstände x_n sich dem wahren Fehlerort nähert, wenn er mit dem vorher berechneten Abstand x_{n-1} verglichen wird. Die Rekursive Formel 32 wird fortlaufend berechnet, bis die Differenz zwischen dem vorherigen Abstand x_{n-1} und dem resultierenden Abstand x_n kleiner als ein vorbestimmter Toleranzschwellwert ist. Wenn die Differenz innerhalb des Toleranzschwellwertes ist, kann der resultierende Abstand x_n etwa gleich dem richtigen Fehlerabstand x betrachtet werden. Der Fehlerwiderstand R_F wird mit Hilfe des berechneten Abstands auf die vorher beschriebene Weise mit Hilfe der Gleichung 31 berechnet.

Anhand der Fig. 4 und 5 wird ein Fehlererkennungssystem gemäss der ersten Ausführung dieser Erfindung zur Berechnung des Abstandes x und des Fehlerwiderstandes R_F gemäss der Gleichungen 30 und 31 beschrieben. Entsprechende Teile und Konstanten werden durch gleiche Bezugsziffern wie in Fig. 1 bis 3 bezeichnet. Die Übertragungsleitung 10 hat von ihr abhängige Leitungskonstanten, wie zum Beispiel ein Fortpflanzungsmass μ und eine Wellenimpedanz Z_0 , und ist zur Übertragung der elektrischen Leistung mit der üblichen Netzfrequenz vorgesehen. Jede der Spannungen und der Ströme der Leitung weisen einen Nominalwert auf, zum Beispiel ein Effektivwert oder ein Spitzenwert, der im Wesentlichen konstant ist, bis der Fehler auftritt. Das gezeigte Fehlererkennungssystem weist eine Abtastschaltung 25 auf, die an die Übertragungsleitung 10 am ersten Ende 11 gekoppelt wird. Durch die Abtastschaltung 25 wird jede Spannung und jeder Strom innerhalb eines vorgewählten Intervalls, zum Beispiel 5 Millisekunden, in eine Folge von Spannungs- und Strom-Abtastwerten abgetastet. Eine erste Rechenschaltung 26 spricht an die Folgen der Spannungs- und Strom-Abtastwerte an und berechnet eine erste und eine zweite Wechselgrösse, die je dem Nominalwert der Spannung und des Stroms entsprechen, wie es in einer ersten Stufe S_1 (Fig. 5) gezeigt ist. Die erste Rechenschaltung 26 berechnet praktisch die erste und die zweite Grösse zu jedem der vorbestimmten Zeitpunkte der Berechnung, die um einen vorbestimmten Zeitintervall zum Beispiel 20 Millisekunden beabstandet sind. Zwischen den aufeinanderfolgenden Zeitpunkten der Berechnung wird eine vorbestimmte Anzahl der aufeinanderfolgenden Spannungs- und Strom-Abtastwerte an die erste Rechenschaltung 26 geliefert. Die erste Rechenschaltung kann eine arithmetische Einheit eines Rechners sein und ein erstes und ein zweites Vektorsignal $\vec{E}$ und $\vec{I}$ erzeugen, die den ersten und den zweiten Vektorgrössen jeweils entsprechen und zu jedem Zeitpunkt der Berechnung erzeugt werden. Als erste Rechenschaltung 26 kann ein System verwendet werden, das in der US-PS 4 075 697 offenbart wurde und dem Anmelder dieser Erfindung zugeschrieben ist. Das erste und das zweite Vektorsignal $\vec{E}$ und $\vec{I}$ werden nachfolgend als ein Paar einem ersten Datenspeicher 27 zugeführt. Der Datenspeicher 27 speichert eine vorgeschriebene Anzahl jedes des ersten und des zweiten Vektorsignals $\vec{E}$ und $\vec{I}$ zum Zeitpunkt der Berechnung, um fortlaufend je ein Paar eines ersten und eines zweiten gespeicherten Signals V_E und V_I zu erzeugen und das erste und das zweite Vektorsignal $\vec{E}$ und $\vec{I}$ jeweils zum Zeitpunkt der Berechnung zu speichern. Die vorbestimmte Zahl sollte mindestens gleich zwei sein. Es ist möglich, auf die Zeitpunkte der Berechnung Bezug zu nehmen, indem diese zum Abrufen des Speichers 27 verwendet werden. Der Datenspeicher 27 kann aus einer Schieberregisterschaltung bestehen, die eine Mehrzahl von Stufen für jedes der ersten und der zweiten Vektorsignale $\vec{E}$ und $\vec{I}$ aufweist.

Die ersten und die zweiten gespeicherten Signale VE und VI werden nachfolgend in Paaren an eine in Fig. 4 gezeichnete Überwachungsschaltung 28 übermittelt, welche die Änderungen der ersten und der zweiten Vektorgrossen überwacht, die den ersten und den zweiten gespeicherten Signalen VE und VI entsprechen. Dieser Ablauf wird durch eine zweite Stufe S_2 (Fig. 5) ausgeführt. Die Überwachungsschaltung 28 überwacht fortlaufend die ersten und die zweiten Vektorgrossen, so lange der Fehler in der Übertragung nicht eintritt, wie es sich aus der ersten und der zweiten Stufe S_1 und S_2 ersehen lässt. Wenn der Fehler eintritt, erzeugt die Überwachungsschaltung 28 ein Fehlersignal FS, das das Auftreten des Fehlers anzeigt. Das Fehlersignal FS wird an den ersten Speicher 27 geliefert, um diesen zu unterbrechen.

Die in Fig. 4 gezeichnete Fehlerkennungsanlage weist im weiteren einen zweiten Speicher 30 zur Speicherung der Leitungskonstanten auf, die in diesem Beispiel aus dem Fortpflanzungsmass μ und der Wellenimpedanz Z_0 bestehen. Der zweite Speicher 30 weist ein erstes Teil zur Speicherung eines Wellenimpedanzsignals IM, das der ersten Wellenimpedanz Z_0 entspricht, und ein zweites Teil zur Speicherung eines Fortpflanzungssignals PS auf, das dem Fortpflanzungsmass μ entspricht. Der zweite Speicher 30 kann aus einem Hauptspeicher eines Computers, einem an das Fehlererkennungssystem wahlweise angeschlossenen ROM-Speicher oder dergleichen bestehen.

Die Fehlerkennungsanlage weist im weiteren eine zweite Rechenschaltung 31 auf, die an den ersten Speicher 27, an die Überwachungsschaltung 28 und an den zweiten Speicher 30 angeschlossen ist. Die zweite Rechenschaltung 31 kann der Zentralprozessor des Computers sein, der als erste Rechenschaltung 26, erster Speicher 27 und Überwachungsschaltung 28 verwendet wird. Die zweite Rechenschaltung 31 wird durch das Fehlersignal FS nach dem Auftreten eines Fehlers aktiviert und erzeugt ein Abstandssignal DS, das den Abstand x darstellt, wie es in einer dritten Stufe S_3 (Fig. 5) gezeigt ist, und ferner ein Widerstandssignal RS, das den Fehlerwiderstand R_F darstellt, wie es durch eine vierte Stufe S_4 (Fig. 5) gezeigt ist.

Im einzelnen weist die zweite Rechenschaltung 31 eine erste Schaltung 33 auf, die durch das Fehlersignal FS aktiviert wird und danach an das erste und das zweite Wechselsignal VE und VI, die im ersten Speicher 27 gespeichert sind, anspricht. Das erste und das zweite gespeicherte Signal VE und VI repräsentieren die jeweiligen ersten und zweiten Vektorgrossen, die am ersten Zeitpunkt der Berechnung vor dem Erscheinen des Fehlers berechnet wurden, wobei der Fehler durch die erste und die zweite Vektorgrosse dargestellt wird, die zum zweiten Zeitpunkt der Berechnung gleichzeitig mit oder nach dem Eintreten des Fehlers berechnet werden. Die erste Schaltung 33 erzeugt ein erstes und ein zweites Vektorsignal AV und AI, die die erste und die zweite Vektorgrosse repräsentieren, welche zum ersten Zeitpunkt der Berechnung berechnet wurden und als $\vec{E}_0$ und $\vec{I}_0$ in der Gleichung 5 bezeichnet sind. Die erste Schaltung 33 erzeugt ein erstes und ein zweites nachfolgendes Signal PV und VI, welche die erste und die zweite Vektorgrosse repräsentieren, die zum zweiten Zeitpunkt der Berechnung berechnet werden und $\vec{E}_1$ und $\vec{I}_1$ in der Gleichung 4 bezeichnet sind. Die erste Schaltung 33 kann eine Gatterschaltung sein. Die ersten und die zweiten vorhergehenden und nachfolgenden Signale AV und AI und PV und PI werden an eine Registerschaltung 34 geliefert, um in dieser gespeichert zu werden.

Die zweite Rechenschaltung 31 weist weitere einen Steuerspeicher 35 zur Speicherung eines Computerprogramms auf, das eine vorbestimmte Berechnung bestimmt, um eine Folge Befehlssignale in Antwort auf das Fehleranzeigesignal FS zu erzeugen. Besonders weist das Computerprogramm ein

erstes die erste Formel 28 definiertes Programm und ein zweites die zweite Formel 30 definiertes Programm auf. Das erste aus einer Folge ersten Anweisungen bestehendes Programm wird durch das Fehleranzeigesignal FS gestartet und durch das zweite aus einer Folge zweiter Anweisungen bestehende Programm gefolgt.

Der Steuerspeicher erzeugt damit eine erste und eine zweite Anweisungssignalfolge CF und CS, die der ersten und der zweiten Anweisungsfolge jeweils entsprechen. Wie es im folgenden ersichtlich wird, werden die ersten und die zweiten Anweisungssignale aus Steuersignalen C an solche Teile der zweiten Rechenschaltung 31 geliefert, die dadurch gesteuert werden.

Die zweite Rechenschaltung 31 weist weiter eine Arithmetikvorrichtung 36 zur Ausführung der Rechnung als Antwort an die erste und die zweite Anweisungsfolge CF und CS auf. Die Arithmetikvorrichtung 36 kann zusätzlich zu einer Arithmetikeinheit ein Betriebsregister aufweisen. In Antwort auf die ersten Anweisungssignale CF wird die Arithmetikvorrichtung 36 anfänglich mit den ersten und den zweiten vorhergehenden und nachfolgenden Signalen AV und AI und PV und PI beliefert, um die vier Variablen α , β , γ , δ entsprechend der ersten Formel (28) zu verrechnen. Die vier Variablen α , β , γ und δ sind aus vier resultierenden Signalen in einer zugehörigen Speicherschaltung gespeichert, die entweder aus dem Betriebsregister oder aus dem zweiten Speicher 30 gebildet werden. Danach wird das zweite Programm die Arithmetikvorrichtung 36 steuern.

Unter Steuerung der zweiten Anweisungssignale empfängt die Arithmetikvorrichtung 36 die resultierenden Signale aus dem zugehörigen Speicher, das Wellenimpedanzsignal IM und das Fortpflanzungsmasssignal PS aus dem zweiten Speicher 30 und berechnet einen Näherungswert des Abstandes x entsprechend der zweiten Formel (30), um den gerade berechneten Abstand x aus einem Abstandssignal DS zu erzeugen. Das Abstandssignal DS wird an den zweiten Speicher 30 oder an eine Anzeigevorrichtung 42 wie eine Kathodenstrahlröhre geliefert. Der oben erwähnte Ablauf ist durch die dritte Stufe S_3 (Fig. 5) bestimmt.

Die dritte Stufe S_3 kann durch eine fünfte Stufe S_5 gefolgt werden, die mit einer gestrichelten Linie in Fig. 5 gezeichnet ist. Die fünfte Stufe S_5 ist zur Ermittlung vorgesehen, ob die Übertragungsleitung 10 mit Hinweis auf den berechneten Abstand x abgetrennt oder unterbrochen werden soll. Zum Beispiel wenn der Abstand x die Gesamtlänge L übersteigt, muss die Übertragungsleitung 10 nicht zwischen dem ersten und dem zweiten Ende 11 und 12 abgetrennt oder unterbrochen werden. In anderen Worten, die Übertragungsleitung 10 kann zwischen dem ersten und dem zweiten Ende 11 und 12 nur dann abgetrennt oder unterbrochen werden, wenn der Abstand x kleiner als die Gesamtlänge L ist. Wenn die Abtrennung verlangt wird, erzeugt die zweite Rechenschaltung 31 ein Abtrennungssignal IT, das die Abtrennung der Übertragungsleitung verlangt, wie es durch eine sechste Stufe S_6 (Fig. 5) gezeigt ist. Das Abtrennungssignal IT wird an einen Schaltungsunterbrecher 39 (Fig. 4) geliefert. Die fünfte und die sechste Stufe S_5 und S_6 können durch Verwendung eines zusätzlichen Programms ausgeführt werden, das im Steuerspeicher 35 gespeichert ist. Dies zeigt die Tatsache, dass dieses System als eine Schutzvorrichtung für die Übertragungsleitung 10 dient.

Mit Hinweis auf die Fig. 4 und 5 ist gezeigt, die Anlage die die Berechnung des Fehlerwiderstandes R_F erlaubt entsprechend der Gleichung 31 nach der Berechnung des Abstandes x , wie es durch die vierte Stufe S_4 (Fig. 5) gezeigt ist. Zu diesem Zweck sollten die erste und die zweite Rückwärtsimpedanz Z_1 und Z_2 zusammen mit der Gesamtlänge L der Übertragungsleitung 10 vorher berechnet werden. Damit

kann betrachtet werden, dass die Übertragungsleitung 10 kein anderes Ende als das erste und das zweite Ende 11 und 12 aufweist. In diesem Beispiel lassen wir die Annahme zu, dass die erste und die zweite Rückwärtsimpedanz $\hat{Z}_1$ und $\hat{Z}_2$ und die Gesamtlänge L alle in dem zweiten Speicher 30 gespeichert sind. In anderen Worten, der zweite Speicher 30 weist im weiteren ein drittes Teil zur Speicherung eines der Gesamtlänge L entsprechenden Gesamtlängesignal TL und ein viertes und ein fünftes Teil zur Speicherung eines ersten und eines zweiten jeweils der ersten und der zweiten Rückwärtsimpedanz $\hat{Z}_1$ und $\hat{Z}_2$ entsprechenden Rückwärtsimpedanzsignal FB und SB auf. Für das Gesamtlängesignal TL , das erste und das zweite Rückwärtsimpedanzsignal FB und SB kann auch ein anderer Speicher vorgesehen sein, der vom zweiten Speicher 30 unabhängig ist.

Damit der Fehlerwiderstand R_F berechnet werden kann, ist ein drittes Programm notwendig, das die Berechnung der Gleichung 31 bestimmt. Dafür weist die Steuerspeicher 35 im weiteren ein drittes Teil zur Speicherung des dritten Programms auf, um eine Folge der dritten Anweisungssignale CT zu erzeugen, die dem zweiten Programm folgen. Das Arithmetikteil 36 dient auch zur Berechnung des Fehlerwiderstands R_F in Antwort an die dritten Anweisungssignale CT . Das Arithmetikteil 36 berechnet zuerst die Leitungsimpedanzen $\hat{Z}_A$ und $\hat{Z}_B$ in Bezug auf die Gesamtlänge L und den Abstand x und danach das Impedanzverhältnis $K(x)$ entsprechend den Gleichungen 13 und 14 und mit Verwendung des gespeicherten Abstandssignal DS der ersten und der zweiten Rückwärtsimpedanzsignale FB und SB , um ein dem Impedanzverhältnis $K(x)$ entsprechendes Impedanzverhältnissignal zu erzeugen (nicht gezeigt), das in der Arithmetikvorrichtung 36 gespeichert wird. In Antwort auf die zweite Folge der dritten Anweisungssignale CT berechnet die Arithmetikvorrichtung 36 den Fehlerwiderstand R_F entsprechend der Gleichung 31 mit Verwendung des gespeicherten Impedanzsignals und empfängt das Wellenimpedanzsignal IM , das Fortpflanzungsmasssignal PS und die ersten und die zweiten vorhergehenden und nachfolgenden Signale AV und AI und PV und PI , die an die Arithmetikvorrichtung übermittelt werden. Der Fehlerwiderstand R_F wird aus einem Fehlerwiderstandssignal FD an die Anzeigevorrichtung übermittelt. Dieser Ablauf ist durch die fünfte Stufe S_5 in Fig. 5 gezeichnet. Wie bereits erwähnt, dient der Fehlerwiderstand R_F zur Analyse des Fehlers.

Anhand der Fig. 4 in Verbindung mit Fig. 6 ist entsprechend einer zweiten Ausführung dieser Erfindung ein Fehlererkennungssystem zur Berechnung des Abstands x nach der bereits erwähnten Newton-Raphson-Methode dargestellt. In diesem Beispiel weist das System eine manuell betätigbare Schaltung 45 und einen ROM-Speicher 46 zusätzlich zu den in Fig. 4 gezeichneten Teilen auf. Mit Hilfe der manuell betätigbaren Schaltung 45 ist es möglich, einen anfänglichen oder provisorischen Abstand x_0 vom ersten Ende 11 in Richtung zum zweiten Ende 12 entlang der Übertragungsleitung 10 manuell und wahlweise zu setzen. Die manuell betätigbare Schaltung 45 erzeugt den anfänglichen Abstand x_0 als ein Anfangsabstandssignal IS . Der ROM-Speicher 46 ist zur Speicherung eines Toleranzschwellwertsignals TH vorgesehen, das den in Verbindung mit der Newton-Raphson-Methode beschriebene Toleranzschwellwert repräsentiert.

Vor der Berechnung der Rekursionsformel 32 sollte die erste Formel 28 berechnet werden, weil die Funktion $F(x)$ die vier Variablen α , β , γ , δ aufweist, wie es in der Gleichung 27 gezeigt ist. Zu diesem Zweck wird ein Computerprogramm im Steuerspeicher 35 gespeichert, das dem ersten in Verbindung mit der ersten Ausführung des Systems beschriebenen Programm ähnlich ist, um die erste Formel 28 zu bestimmen und eine Folge Anweisungssignale in Antwort auf ein aus der

Überwachungsschaltung 28 übermittelten Fehleranzeigesignal FS zu erzeugen. In dem Steuerspeicher 35 ist weiter ein der Rekursionsformel 32 entsprechendes erstes Computerprogramm, um eine der Anweisungssignalfolge nachfolgende erste Serie Anweisungssignale zu erzeugen, und ein zweites das erste Computerprogramm folgende Computerprogramm gespeichert, um einen zweite Folge der Anweisungssignale zu erzeugen. Das zweite Computerprogramm ist zur Überwachung der Differenz zwischen zwei nachfolgenden, resultierenden Abständen x_n mit Bezug auf den Toleranzschwellwert, welcher durch das Signal TH repräsentiert sind, vorgesehen, um das erste Computerprogramm wiederum zu starten und die Berechnung der Rekursionsformel 32 zu unterbrechen, wenn die Differenz grösser als und gleich oder kleiner als der Schwellwert ist. In diesem Beispiel wird das zweite Computerprogramm von einem anderen Computerprogramm gefolgt, das die Formel 31 definiert, um den Fehlerwiderstand R_F wie in der ersten Ausführung zu berechnen.

Mit Bezug auf Fig. 7 wird beschrieben, wie die Überwachungsschaltung 28 das Fehleranzeigesignal FS beim Auftreten des Fehlers in Zusammenarbeit mit der ersten Rechenschaltung 26 und dem ersten Speicher 27 erzeugt, entsprechend der ersten und der zweiten Stufe S_{11} und S_{12} . Die Stufen S_{11} und S_{12} sind den Stufen S_1 und S_2 der Fig. 5 jeweils ähnlich. Wie es im System entsprechend der ersten Ausführung der Fall war, erzeugt die erste Schaltung 33 die ersten und die zweiten vorhergehenden und nachfolgenden Signale AV und AI und PV und PI in Antwort auf das Fehleranzeigesignal FS und das erste und das zweite gespeicherte Signal VE und VI . Die ersten und die zweiten vorhergehenden und nachfolgenden Signale werden mit Hilfe der Halteschaltung 34 an die Arithmetikvorrichtung 36 geliefert.

Das Arithmetikteil 36 wird in Zusammenhang mit dem Steuerprogramm in Betrieb gesetzt, wenn es mit den ersten und den zweiten vorhergehenden und nachfolgenden Signalen beliefert wird. Dafür berechnet die Arithmetikvorrichtung 36 die vier Variablen α , β , γ und δ entsprechend der Formel 28 in Antwort auf die Anweisungssignalfolge, um die vier Signale zu erzeugen, welche jeweils den vier gerade berechneten Variablen entsprechen, wie es durch eine dritte Stufe S_{13} (Fig. 7) gezeigt ist. Die vier Variablen können entweder im Arithmetikteil 36 oder im zweiten Speicher 30 gespeichert werden. Nach der Berechnung der vier Variablen rechnet das Arithmetikteil 36 entsprechend der Rekursionsformel 32 unter der Steuerung des ersten Computerprogramms. Besonders wird die Arithmetikvorrichtung 36, entsprechend mit der ersten Folge der Anweisungssignale, mit den vier resultierenden Signalen, mit dem Fortpflanzungsmasssignal PS , mit dem Wellenimpedanzsignal IM , und so weiter beliefert, um ein resultierendes Abstandssignal (nicht gezeigt) eines resultierenden Abstands zu erzeugen. Das resultierende Abstandssignal kann in einer zugehörigen Speicherschaltung, z.B. im zweiten Speicher 30 oder in einem Betriebsregister die Arithmetikvorrichtung 36, gespeichert werden. Dieser Ablauf ist durch eine vierte Stufe S_{14} in Fig. 7 gezeichnet.

Nachfolgend wird das zweite Computerprogramm aus dem Steuerspeicher 35 an die Arithmetikvorrichtung 36 ausgelesen, um diese zu steuern. In Antwort auf die zweite Folge der Anweisungssignale wird die Arithmetikvorrichtung 36 mit dem resultierenden Signal und dem Toleranzschwellwert TH aus dem ROM-Speicher 46 beliefert. Die Arithmetikvorrichtung 36 erzeugt das Distanzsignal DS als ein Ausgangssignal, wenn die Differenz kleiner als der Toleranzschwellwert ist. Im anderen Fall wird ein Sprungsignal an das erste Computerprogramm zurück ausgegeben, wie es durch eine fünfte Stufe S_{15} (Fig. 7) gezeigt ist. Dies zeigt die Tatsache, dass die dritte bis fünfte Stufe S_{13} – S_{15} wiederholt ausgeführt werden, bis die Differenz kleiner als der Toleranzschwellwert ist. Der

Abstand x wird durch den resultierenden Abstand bestimmt, wie es durch eine sechste Stufe S_{16} in Fig. 7 gezeigt ist.

Wie im Falle des mit Hilfe der Fig. 4 und 5 beschriebenen Systems wird das zweite Computerprogramm von einem anderen Computerprogramm zur Berechnung des Fehlwiderstands R_F nach der Gleichung 31 gefolgt, wie es durch eine siebente Stufe S_{17} (Fig. 7) gezeigt ist. Im anderen Falle wird die sechste Stufe S_{16} von einer achten Stufe S_{18} gefolgt, zur Erkennung ob die Übertragungsleitung 10 mit Hinweis auf den Abstand x abgetrennt wird. Als Resultat wird ein Abtrennungssignal IT an den Schaltungsunterbrecher 39 geliefert, wenn die Übertragungsleitung 10 abgetrennt oder unterbrochen werden soll.

Was eine wirkliche Übertragungsleitung mit einem Fortpflanzungsmass μ von 1068 rad/km, einer Wellenimpedanz Z_0 von 308,96 Ohm und einer Gesamtlänge von 44 km betrifft, werden Resultate der Berechnung der Gleichungen 30 und 31 entsprechend der Ausführung dieser Erfindung im folgenden als Beispiel angegeben. Die Übertragungsleitung wurde mit einer Spannung und mit einem Strom von 50 Hz mit Effektiv-

werten von $115,72 - jx33,01$ kV und $0,75 + jx1,236$ kA jeweils beliefert, wie es am Ende in einem Normalzustand gemessen wurde. Das Auftreten eines Fehlers wurde an einem vom Ende 4 km entfernten Ort mit einem 5 Ohm Widerstand simuliert. Zu diesem Zeitpunkt verblieb die Spannung im Normalzustand, währenddem der Strom zu $18,885 - jx9,296$ kA wechselte. Unter diesen Umständen wurden die mit Hilfe der Gleichungen 30 und 31 berechneten Resultate 3,98 km und 6,20 Ohm. Diese Resultate sind für praktische Zwecke befriedigend.

Auch wenn diese Erfindung in Verbindung mit einem Paar vorteilhaften Ausführungen beschrieben wurde, ist es für einen Fachmann möglich, die Erfindung in verschiedenen Varianten praktisch auszuführen. Zum Beispiel kann die Abtastschaltung 25 allein am Ende 11 vorgesehen sein. In diesem Falle werden die Spannungs- und Stromabtastwerte von der Abtastschaltung 25 mittels eines Datenübertragungssystems an die erste Rechenschaltung 26 geliefert, welche entfernt vom Ende 11 angeordnet ist. Dies ermöglicht eine zentrale Steuerung der Übertragungsleitung 10.

Fig. 1

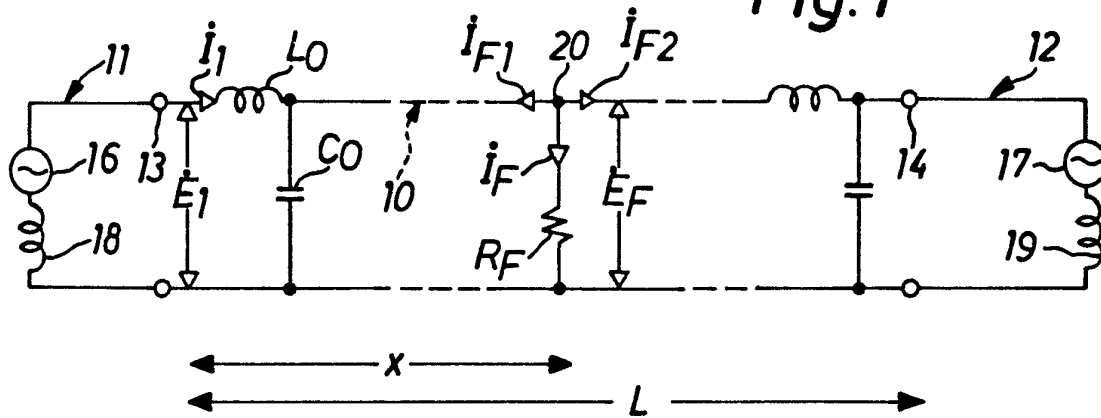


Fig. 2

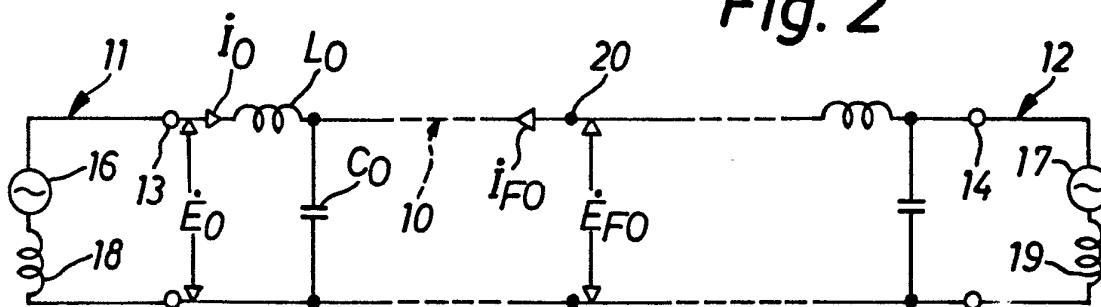


Fig. 3

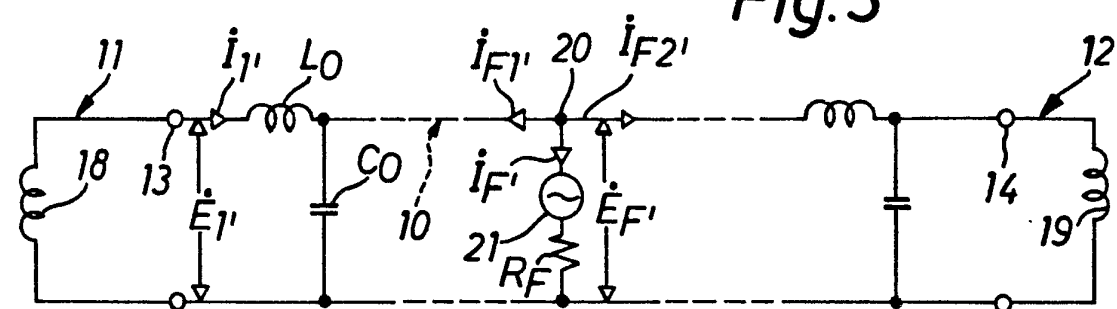
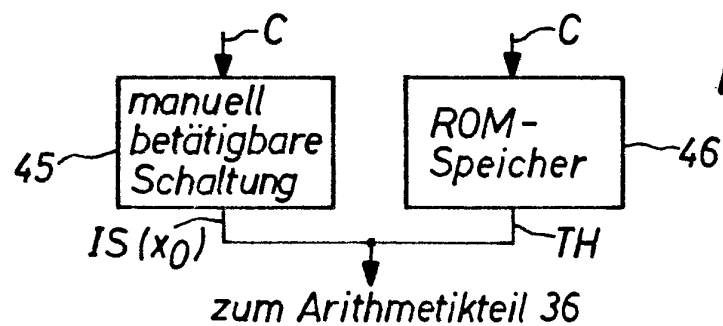


Fig. 6



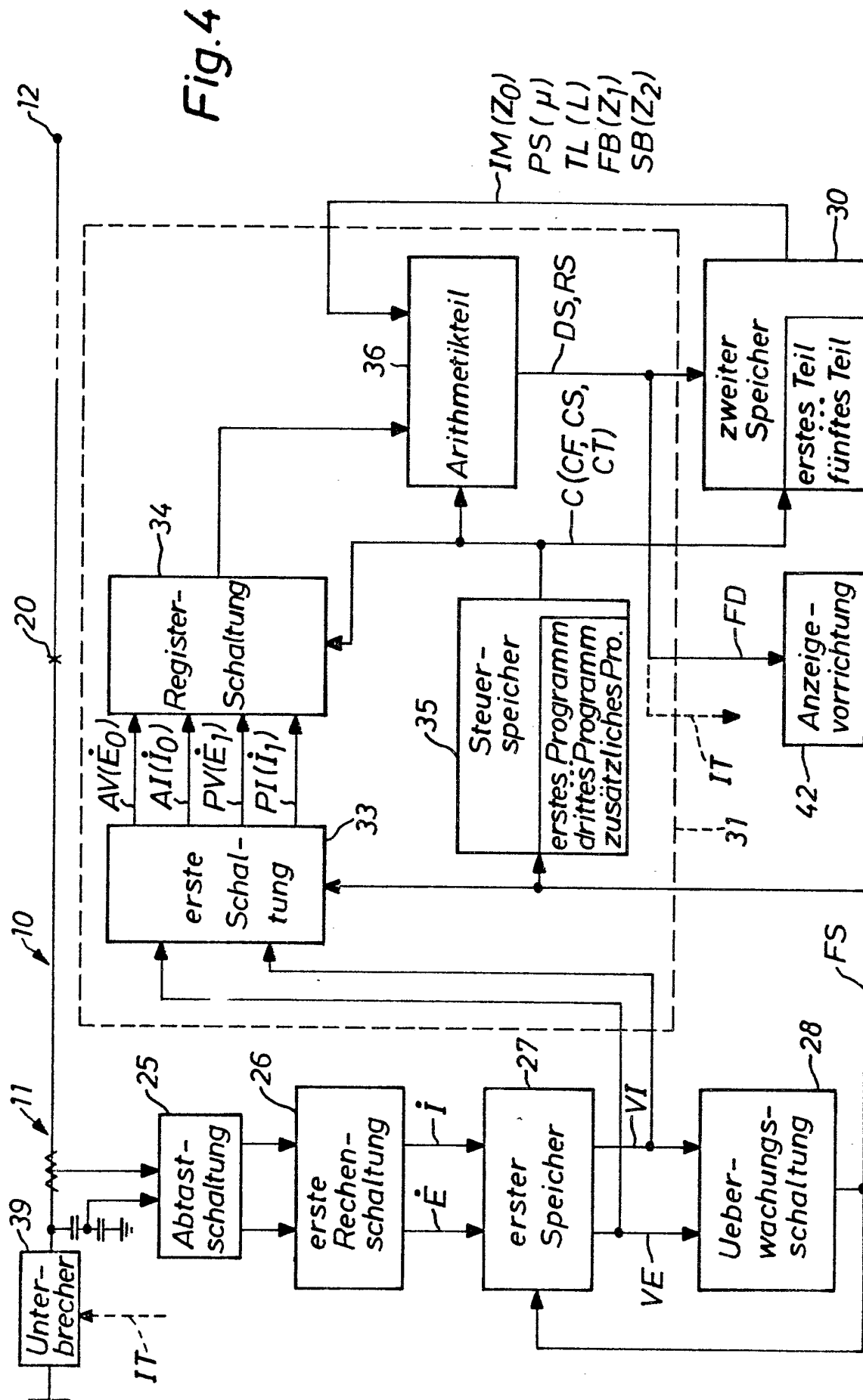


Fig. 5

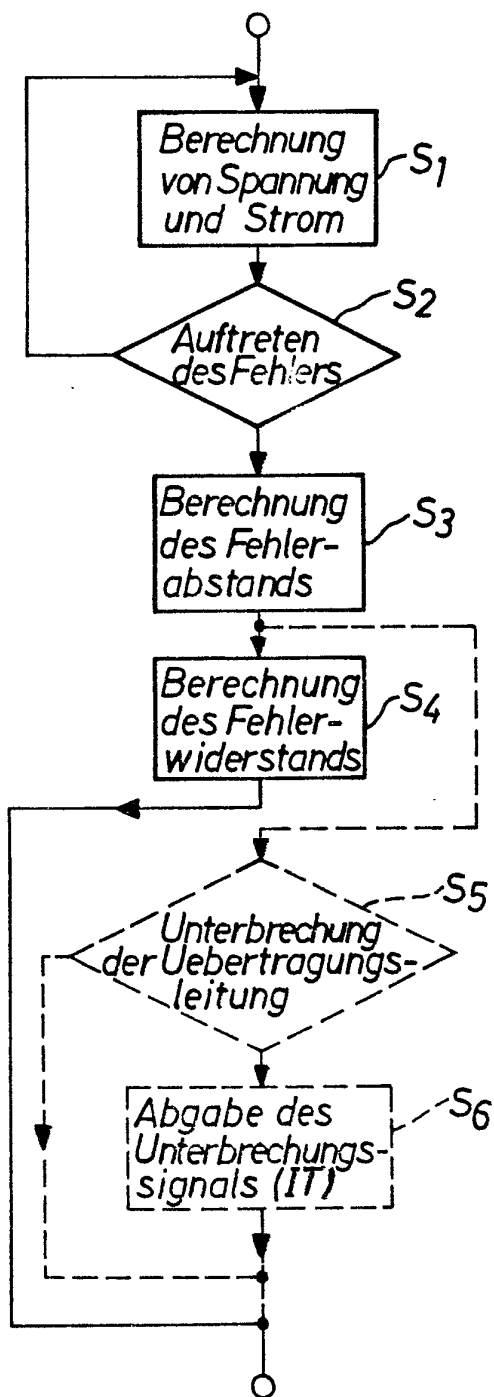


Fig. 7

