

(12) Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 1331/2002 (51) Int. Cl.<sup>7</sup>: G01R 31/08  
(22) Anmeldetag: 2002-09-05  
(42) Beginn der Patentdauer: 2005-09-15  
(45) Ausgabetag: 2006-05-15

(30) Priorität:  
05.09.2001 DE 10143595 beansprucht.  
(56) Entgegenhaltungen:  
DE 4413649A1 EP 0933643A1  
DE 19609595A1 WO 1995/14322A1

(73) Patentinhaber:  
EDC GMBH  
D-90768 FÜRTH (DE).

(54) **ENTFERNUNGSBESTIMMUNG EINES EINPOLIGEN ERDSCHLUSSES AUF EINER STICHLLEITUNG**

(57) Verfahren zur Bestimmung eines erdschlussbehafteten Abganges und zur Bestimmung der Entfernung eines einpoligen Erdschlusses auf einer Stichleitung in einem Drehstromnetz mit nur einer Messstelle gekennzeichnet durch die folgenden Schritte:

- Messen der drei Phasenspannungen und der drei Leiterströme an einer Messstelle A1;
- Berechnung der symmetrischen Komponenten für einen Zeitpunkt  $t_1$ ;
- Änderung der Nullimpedanz;
- Erneutes Messen der drei Phasenspannungen und der drei Leiterströme an der Messstelle A1;
- Berechnung der symmetrischen Komponenten für einen Zeitpunkt  $t_2$ ;
- Aufstellen der Gleichungen entsprechend dem Bild 4;
- Lösen der Gleichungen getrennt nach Real- und Imaginärteil mit dem Ergebnis der Fehlerentfernung  $x$  und des Übergangswiderstandes  $R_f$ .

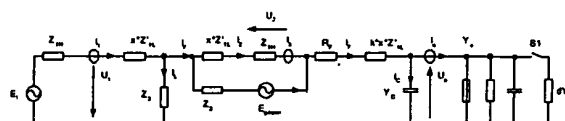


Fig. 4

Die vorliegende Erfindung betrifft die Erdschluß - Ortung an Stickleitungen in Drehstromnetzen durch Messung der Leiterströme und Phasenspannung nur an einer Messstelle. Dabei wird angenommen, dass die Leitungsparameter im symmetrischen Komponentensystem bekannt sind.

5

Derzeit ist die Bestimmung der Fehlerentfernung an einer Stickleitung sehr schwierig. Meist werden die Stiche zu Ringen geschaltet und durch Auftrennen an anderen Stellen eine Eingrenzung des fehlerhaften Segmentes durchgeführt. In vielen Fällen ist eine Bildung eines Ringes gar nicht möglich. Die Erdschlusssuche ist jedenfalls sehr aufwendig. Wenn die Fehlerentfernung rasch ermittelt werden kann, kann die Suchzeit stark verkürzt werden. Damit werden die eventuelle Schäden an der Fehlerstelle, die Wahrscheinlichkeit für einen Doppelerdschluss und die Gefahr für Personen stark reduziert.

10

Eines der größten Probleme bei der Suche des Fehlers am Stich ist, dass die Bestimmung des Übergangswiderstandes an der Fehlerstelle kaum oder nicht möglich ist. Außerdem ist der Leitungswiderstand von der Messstelle bis zur Fehlerstelle üblicherweise um eine Größenordnung kleiner als der Übergangswiderstand.

15

Um den Übergangswiderstand aus der Betrachtung zu eliminieren werden meist Messungen von zwei Seiten aus durchgeführt wie z.B. in der EP 0933643, die ein Verfahren zur Bestimmung eines fehlerbehafteten Knotens in einem Drehstromnetz mit zwei Messstellen, zwischen denen Leitungsabschnitte liegen, offenbart. Allerdings sind, wie bereits oben erwähnt, nicht immer zwei Messstellen verfügbar, bzw. auch die Schaltung zu Ringen dauert lange bzw. ist gar nicht möglich.

20

25

Die meisten bekannten Verfahren benötigen für die Bestimmung der Entfernung die Information vor Eintritt des Erdschlusses. Dadurch ist eine Wiederholung der Messung während des Erdschlusses nicht mehr möglich. Vor allem ist eine Wiederholung der Messung nicht möglich, wenn zur genaueren Eingrenzung der Fehlerstelle eine Umschaltung des Netzes erfolgt, da dann die Referenzwerte vor Eintritt des Erdschlusses nicht mehr zutreffen. Auch eine Änderung des Belastungszustandes bewirkt, dass die Referenzwerte nicht mehr gültig sind.

30

Die bekannten Verfahren zu der Bestimmung der Fehlerentfernung von einer Messstelle aus setzen einerseits niederohmige Übergangswiderstände von einigen Ohm und andererseits symmetrische Belastungen voraus, damit die Einflüsse des Gegensystems vernachlässigbar werden. Beide Situation sind aber in der Praxis kaum anzutreffen.

35

Aus der DE 44 13 649 C2 ist ein Messverfahren zur Ortung von Dauererdschlüssen bekannt, bei dem die Stromänderungen, die durch Zu- oder Abschalten einer Kapazität zu der Sekundärwicklung einer Erdschluss-Löschspule hervorgerufen wird, erfasst werden.

40

Die Aufgabe der Erfindung ist es ein Verfahren zur jederzeit wiederholbaren Messung der Entfernung von einer Messstelle bis zum Erdschluss bei einpoligen Erdschlüssen auf Stickleitungen in einem Drehstromnetz zu schaffen. Die Messung soll auch für hochohmige Fehler im Bereich von kOhm mit etwas reduzierter Genauigkeit möglich sein.

45

Erfindungsgemäß ist ein Verfahren zur Bestimmung eines erdschlussbehafteten Abganges und zur Bestimmung der Entfernung eines einpoligen Erdschlusses auf einer Stickleitung in einem Drehstromnetz mit nur einer Messstelle gekennzeichnet durch die folgenden Schritte:

50

- Messen der drei Phasenspannungen und der drei Leiterströme an einer Messstelle A1;
- Berechnung der symmetrischen Komponenten für einen Zeitpunkt t1;
- Änderung der Nullimpedanz;
- Erneutes Messen der drei Phasenspannungen und der drei Leiterströme an der Messstelle A1;

55

- Berechnung der symmetrischen Komponenten für einen Zeitpunkt  $t_2$ ;
- Aufstellen der Gleichungen entsprechend dem Bild 4;
- Lösen der Gleichungen getrennt nach Real- und Imaginärteil mit dem Ergebnis der Fehlerentfernung  $x$  und des Übergangswiderstandes  $R_f$ .

5

Das Relais wird mit der Änderung der Impedanz  $dZ_p$  synchronisiert, wobei dies nach bekannte Verfahren wie z.B. drahtgebunden, per LWL, per Telefon, per GSM oder per Funk erfolgen kann. Das Relais wird dabei auf die beiden definierten Zustände  $t_1$  und  $t_2$  synchronisiert.

10

Im folgenden wird die Erfindung anhand von Schaltbildern beispielhaft näher beschrieben. Dabei zeigen:

Bild 1 ein Drehstromnetz mit zwei Abgängen;

Bild 2 das Ergebnis einer Umformung des Netzes von Bild 1;

15

Bild 3 eine Betrachtung der Fehlerentfernung vom Umspannwerk aus;

Bild 4 Ersatzschaltung für die Bestimmung der Fehlerentfernung.

20

Im Bild 1 ist ein Drehstromnetz mit zwei Abgänge dargestellt. Die Einspeisung erfolgt über einen Transformator. Die Änderung der Nullimpedanz  $dZ_p$  kann über den Sternpunkt des Einspeisetransformators oder mit Hilfe eines Sternpunktbildners erfolgen. Ebenso kann eine Änderung der Nullimpedanz durch eine andere bekannte dreiphasige Anschaltung erfolgen.

25

Die Änderung der Nullimpedanz kann z.B. durch Zuschalten eines Widerstandes oder einer Kapazität direkt am Sternpunkt oder mit Hilfe eines Transformators erfolgen. Eine Änderung der Nullimpedanz ist auch durch eine Verstimmung der Erdschlusslöschspule möglich oder durch eine aktive Einspeisung mit Hilfe einer „Stromeinspeisung“.

30

Die Darstellung erfolgte für ein gelöschtes Netz, das Verfahren ist aber auch für andere Sternpunktbehandlungen gültig, wie z.B. isoliertes Netz, hochohmig geerdete Netze, niederohmig geerdete Netze. Sollte in diesem Fall kein Sternpunkt verfügbar sein kann die Änderung der Nullimpedanz auch alternativ nach einem der bekannten Verfahren erfolgen wie z.B. Zuschalten eines Unsymmetriekondensators in einer Phase, Zuschalten einer Induktivität in einer Phase.

35

Das Verfahren dient zur Entfernungsbestimmung eines nieder- oder hochohmigen Erdschlusses bis in den Bereich von einigen  $k\Omega$  an einer Stickleitung. In der Darstellung ist der Erdschluss im Abgang A dargestellt. Der Einbauort des Relais kann im Abgang im Umspannwerk (Relais A1, Relais B) oder auch entlang der Leitung (Relais A2) installiert werden. Ein im Umspannwerk installiertes Relais ermittelt die Entfernung "Distanz A1x" bis zur Fehlerstelle. Ein am Stich installiertes Relais bestimmt hingegen die Entfernung "Distanz A2x" bis zur Fehlerstelle.

40

In den weiteren Betrachtungen wird der Abgang A betrachtet, wobei das Restnetz im Abgang B zusammengefasst wird. Das Verfahren ist aber auch für nur eine Stickleitung geeignet.

45

Im Bild 2 ist das Ergebnis der Umformung des oben beschriebene Netzes mit Hilfe der "Symmetrischen Komponenten" dargestellt. Die Umformung erfolgt nach den bekannten Regeln und wird hier nicht beschrieben. Im Bild ist die Kopplung der Systeme durch den Erdschluss und den Übergangswiderstand  $R_f$  bereits eingezeichnet.

50

Für die weitem Betrachtungen im Bild 3 wird die Fehlerentfernung vom Umspannwerk aus betrachtet. Hierzu werden die Leitungsabschnitte A1 und A2 zusammengefasst. Um den relevanten Stromverlauf anschaulicher darzustellen werden die Komponentensysteme ineinander geschachtelt dargestellt. Außerdem werden die folgenden Annahmen getroffen:

55

- Im Abgang werden die Kapazitäten gegen Erde im Mit- und Gegensystem vernachlässigt, da für die Entfernungsbestimmung die Längsimpedanzen der Leitungen wesentlich sind.

- Die Entfernung vom Relais bis zur Fehlerstelle ist die Unbekannte  $x$ . Die Längsimpedanzen werden mit Hilfe der Leitungsbeträge  $Z'$  berücksichtigt. Die Daten für die Leitungsbeträge  $Z'$  sowie die verlegten Leitungslängen sind entsprechend den Installationen üblicherweise in den Betriebsmitteldatenbanken bzw. den üblichen Aufzeichnungen verfügbar.
- 5 ➤ Durch die übliche Symmetrie der Leitungen sind die Längsimpedanzen im Mit- und Gegensystem identisch angenommen.
- Das Restnetz wird als Kapazität vor der Messung berücksichtigt.
- Die verteilten Nullkapazitäten werden zu einer Kapazität  $C_0$  zusammengefasst.

10 Im Relais werden die drei Spannungen  $U_{1e}$ ,  $U_{2e}$  und  $U_{3e}$  gegen Erde und die drei Leiterströme  $I_{L1}$ ,  $I_{L2}$  und  $I_{L3}$  gemessen. Aus diesen können nach den bekannten Verfahren die symmetrischen Komponenten  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_0$  sowie  $I_1$ ,  $I_2$ , und  $I_0$  berechnet werden. Die Nullspannung  $U_0$  und der Nullstrom  $I_0$  können alternativ auch mit Hilfe der bekannten Verfahren auch direkt gemessen werden.

15

Das neue Verfahren beruht darauf, den Störeinfluss des Kreisstromes im Gegensystem, verursacht durch  $E_{\text{gegen}}$  zu beseitigen.  $E_{\text{gegen}}$  entsteht, sobald eine betriebsmäßige übliche unsymmetrische Belastung des Netzes erfolgt. Außerdem wird der Störeinfluss des Laststrom hinter der Fehlerstelle durch die Impedanz  $Z_3$  berücksichtigt.

20

Im Bild 4 ist die Ersatzschaltung zum Aufstellen der Gleichungen für die beiden Zeitpunkte  $t_1$  und  $t_2$  aufgeführt. Die Zeitpunkte  $t_1$  und  $t_2$  liegen nur einige Sekunden auseinander, da die Einschwingvorgänge im Bereich von einigen Perioden abgeklungen sind.

25 Der Vorteil des Verfahrens sind:

- Die Messung kann jederzeit wiederholt und auf Plausibilität überprüft werden.
- Die Messung kann auch nach Netzumschaltungen zur Fehlereingrenzung durchgeführt werden.
- 30 • Es können auch über mehrere Messungen statistische Mittelwerte durchgeführt werden, um kleine Störeinflüsse durch Laständerungen zu reduzieren.
- Der störende Einfluß der Gegenspannung  $E_{\text{gegen}}$  wird kompensiert.
- Der störende Einfluß des Laststromes wird kompensiert.
- Die Parallelschaltung des unbekanntes Restnetzes und der normalerweise unbekanntes Größe der Quellimpedanz des Trafos, die außerdem abhängig von der Stufenstellung des Transformators ist, wird bei der Berechnung berücksichtigt.

35

Für eine Entfernungsbestimmung sind die unbekanntes Größen  $C_0$ ,  $R_F$  und  $x$  zu bestimmen.

40 Die Parallelschaltung  $Z_{1H} = Z_{1Tr} // C_{1Rest}$  kann entweder aus der differentiellen Messungen des Mitsystems oder aus der differentiellen Messungen des Gegensystems nach der folgenden Formel ermittelt werden.

$$Z_{1H} = \frac{dU_1}{dI_1} = \frac{dU_2}{dI_2} \quad (1)$$

45

Mit den differentiellen Werten:  $dU_1 = U_{1(t_2)} - U_{1(t_1)}$ , bzw  $dI_1 = I_{1(t_2)} - I_{1(t_1)}$ .

50 Entsprechend Bild 4 können die folgenden drei Gleichungen aufgestellt werden, wobei die zu berechnenden Komponenten nach Real- und Imaginärteil aufgeteilt werden:

$$U_1 = x * (Z'_{1L_R} + i * Z'_{1L_I}) * I_1 + (Z_{3L_R} + i * Z_{3L_I}) * (I_1 - (I_{f_R} + i * I_{f_I})) \quad (2)$$

$$\begin{aligned} (I_{f_R} + i * I_{f_I}) - I_2 * (Z_{3R} + i * Z_{3I}) + (E_{gR} + i * E_{gI}) = \\ = (x * (Z'_{1L_R} + i * Z'_{1L_I}) + (Z_{1HR} + i * Z_{1HI})) * I_2 \end{aligned} \quad (3)$$

55

$$\begin{aligned}
 (I_{f,R} + i * I_{f,I}) * (R_f + X * (Z'_{1L,R} + i * Z'_{1L,I}) * k) + (X * (Z'_{1L,R} + i * Z'_{1L,I}) \\
 + (Z_{1H,R} + i * Z_{1H,I})) * I_2 - U_0 = \\
 = (Z_{3,R} + i * Z_{3,I}) * (I_1 - (I_{f,R} + i * I_{f,I}))
 \end{aligned} \tag{4}$$

5 Legende:

	$U_1, I_1, U_2, I_2, U_0$	Symmetrische Komponenten
	$_{R}$	Real - Teil
	$_{I}$	Imaginär -Teil
10	$X$	Fehlerentfernung gemessen ab Relaiseinbauort
	$K$	Verhältnis von Mitimpedanz zu Nullimpedanz der Leitung
	$R_f$	Widerstand der Fehlerstelle
	$Z'_{1L}$	Impedanzbelag der Leitung im Mitsystem
	$Z_3$	Impedanz der Leitung von der Fehlerstelle bis zur Last + Impedanz der Last
15	$Z_{1H}$	Ersatzimpedanz bestehend aus der Transformator - Nullimpedanz und der Kapazität des Restnetzes gegen Erde

Wesentlich ist, daß der Übergangswiderstand  $R_f$  an der Fehlerstelle als ohmscher Widerstand betrachtet werden kann.

20 Werden die Gleichungen (2) bis (4) getrennt nach Realteil und Imaginärteil betrachtet, so erhält man sechs Gleichungen. Erfolgt die Messung für zwei unterschiedliche Nullimpedanzen zum Zeitpunkt  $t_1$  und  $t_2$ , so erhält man zwölf Gleichungen für zwölf Unbekannte. Diese können nun mit den bekannten Verfahren der Algebra symbolisch oder numerisch gelöst werden.

25 Als Ergebnis der Berechnung erhält man:

	$X$	Entfernung bis zur Fehlerstelle
	$R_f$	Widerstand der Fehlerstelle
30	$E_{q,R} + i * E_{q,I}$	Gegenspannung
	$Z_{3,R} + i * Z_{3,I}$	Impedanz der Leitung von der Fehlerstelle bis zur Last + Impedanz der Last
	$I_{f,R,1} + i * I_{f,I,1}$	Strom über die Fehlerstelle zum Zeitpunkt $t_1$
	$I_{f,R,2} + i * I_{f,I,2}$	Strom über die Fehlerstelle zum Zeitpunkt $t_2$
35	$Z_{1H,R} + i * Z_{1H,I}$	Ersatzimpedanz bestehend aus der Transformator - Nullimpedanz und der Kapazität des Restnetzes gegen Erde

Aus diesen Werten kann zusätzlich der kapazitive Anteil des Nullstromes berechnet werden:

$$I_C = I_0 - I_F \tag{5}$$

40

## Patentansprüche:

- 45 1. Verfahren zur Bestimmung eines erdschlussbehafteten Abganges und zur Bestimmung der Entfernung eines einpoligen Erdschlusses auf einer Stickleitung in einem Drehstromnetz mit nur einer Messstelle *gekennzeichnet durch* die folgenden Schritte:
- Messen der drei Phasenspannungen und der drei Leiterströme an einer Messstelle A1;
  - Berechnung der symmetrischen Komponenten der drei Phasenspannungen und der drei Leiterströme für einen Zeitpunkt  $t_1$ ;
  - 50 - Änderung der Nullimpedanz;
  - Erneutes Messen der drei Phasenspannungen und der drei Leiterströme an der Messstelle A1;
  - Berechnung der symmetrischen Komponenten für einen Zeitpunkt  $t_2$ ;
  - Ermitteln der Fehlerentfernung  $x$  und des Übergangswiderstandes  $R_f$  durch Lösen der Gleichungen (2) bis (4) getrennt nach Real- und Imaginärteil:
- 55

$$U_1 = x * (Z'_{1L_R} + i * Z'_{1L_I}) * I_1 + (Z_{3L_R} + i * Z_{3L_I}) * (I_1 - (I_{f_R} + i * I_{f_I})) \quad (2)$$

$$\begin{aligned} (I_{f_R} + i * I_{f_I}) * I_2 * (Z_{3_R} + i * Z_{3_I}) + (E_{g_R} + i * E_{g_I}) &= \\ = (x * (Z'_{1L_R} + i * Z'_{1L_I}) + (Z_{1H_R} + i * Z_{1H_I})) * I_2 & \end{aligned} \quad (3)$$

5

$$\begin{aligned} (I_{f_R} + i * I_{f_I}) * (R_f + x * (Z'_{1L_R} + i * Z'_{1L_I}) * k) + (x * (Z'_{1L_R} + i * Z'_{1L_I}) \\ + (Z_{1H_R} + i * Z_{1H_I})) * I_2 - U_o &= \\ = (Z_{3_R} + i * Z_{3_I}) * (I_1 - (I_{f_R} + i * I_{f_I})) & \end{aligned} \quad (4)$$

- 10 2. Verfahren nach Anspruch 1,  
*dadurch gekennzeichnet,*  
dass die Änderung der Nullimpedanz im Sternpunkt des Speise-Transformators oder eines Sternpunktbildners erfolgt.
- 15 3. Verfahren nach Anspruch 1,  
*dadurch gekennzeichnet,*  
dass die Änderung der Nullimpedanz durch Verstimmung einer Erdschlusslöschspule, Zuschaltung eines Widerstandes, Zuschaltung einer Kapazität oder mit Hilfe einer „Stromeinspeisung“ erfolgt.
- 20 4. Verfahren nach einer der vorhergehenden Ansprüche,  
*dadurch gekennzeichnet,*  
dass mit den gewonnenen Daten der Berechnung der Fehlerentfernung, des Übergangswiderstandes  $R_F$ , und des Stromes  $I_F$  über die Fehlerstelle die Berechnung des kapazitiven Stromes des erdschlussbehafteten Abganges erfolgt.
- 25

### Hiezu 3 Blatt Zeichnungen

30

35

40

45

50

55

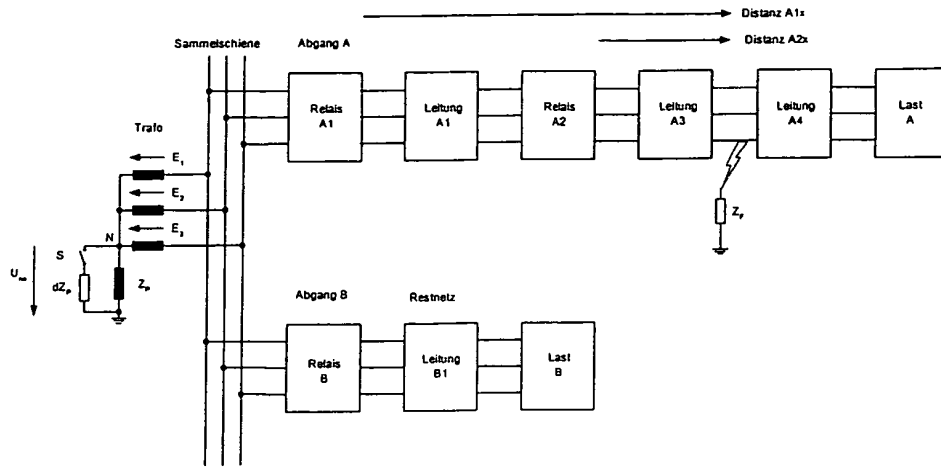


Fig. 1



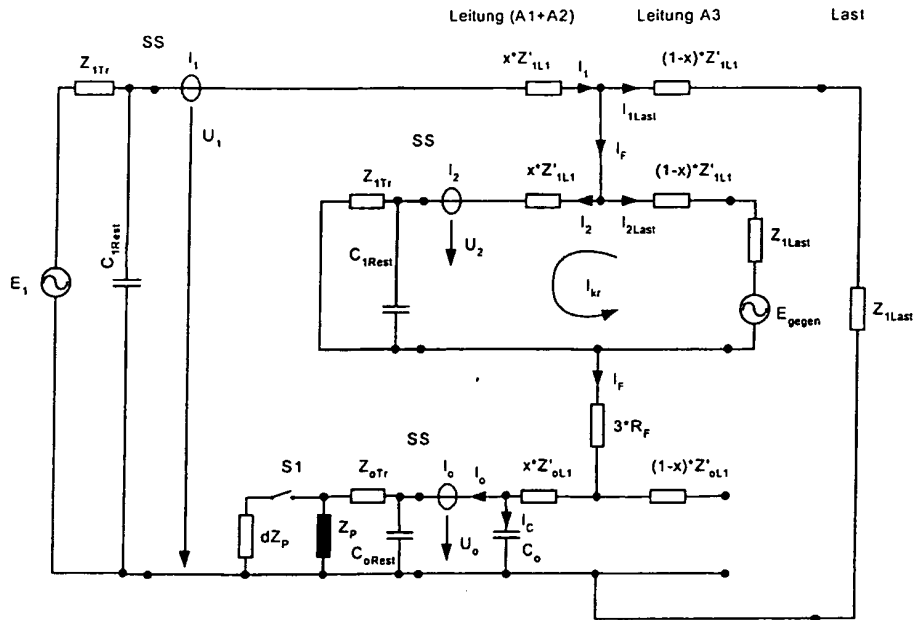


Fig. 3

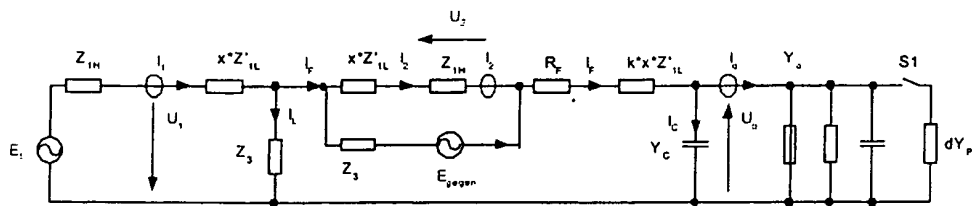


Fig. 4