



19



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

11 CH 693 598 A5

51 Int. Cl.⁷: G 01 R 027/16
H 02 M 007/04

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

12 PATENTSCHRIFT A5

21 Gesuchsnummer: 01351/96

22 Anmeldungsdatum: 31.05.1996

30 Priorität: 21.06.1995 DE 195 22 496.5

24 Patent erteilt: 31.10.2003

45 Patentschrift
veröffentlicht: 31.10.2003

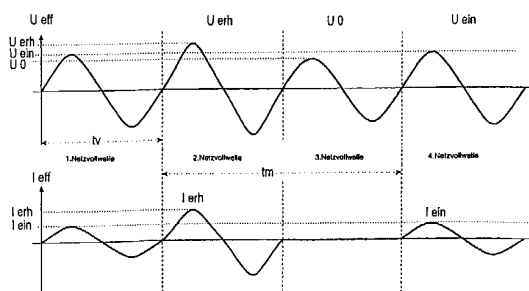
73 Inhaber:
Siemens Aktiengesellschaft, Wittelsbacherplatz 2
80333 München (DE)

72 Erfinder:
Andreas Gössler, Filzenstrasse 1
83059 Kolbenmoor (DE)
Harald Zöllinger, Pfarrhofgasse 18
82205 Gilching (DE)

74 Vertreter:
Siemens Schweiz AG, Albisriederstrasse 245
8047 Zürich (CH)

54 Verfahren zur Messung der Netzimpedanz bei netzgekoppelten Wechselrichtern.

57 Die Wechselrichter sind von einem Mikrorechner gesteuert. Erfindungsgemäss erfolgt mit der Energieeinspeisung in das EVU-Netz eine kurzzeitige Spannungsüberhöhung (ΔU) am Einspeisepunkt. Aus der Messung der verursachten Spannungsüberhöhung (ΔU) gegenüber der Netz-Leerlaufspannung (U_0) und dem dabei erzielten Stromfluss (I_{erh}) ins Netz wird die Netzimpedanz ($|Z|$) gemäss folgender Beziehung berechnet:
 $|Z| = (\Delta U / I_{erh}) - |Z_{off}|$,
mit $\Delta U = U_{erh} - U_0$
und $|Z_{off}| = \text{Impedanzoffset als konstante Grösse.}$



Beschreibung

Verfahren zur Messung der Netzimpedanz bei netzgekoppelten Wechselrichtern.

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Messung der Netzimpedanz bei netzgekoppelten Wechselrichtern bzw. Umrichtern, welche von einem Mikrorechner gesteuert sind.

Aus der DE-AS 1 035 760 ist ein Gerät zur Bestimmung der Kurzschluss-Stromstärke in elektrischen Leitungsnetzen bekannt, bei dem ein Netzbelastungswiderstand für eine kurzzeitige Netzspannungsabsenkung dient und bei dem die Differenzspannung aus der Netzspannung bei Ein- und Abschaltung des Widerstandes ein Kriterium für die gesuchte Grösse ist. Ein Synchronschalter schaltet den Widerstand mit einer von den Netzperioden abhängigen Häufigkeit abwechselnd zu und ab. Der Ein- und Abschaltzeitpunkt wird jeweils in einen Nulldurchgang der Spannung gelegt. Die Differenz der Spannungen bei ein- und abgeschaltetem Widerstand gelangt zur Anzeige. Der Belastungswiderstand kann wahlweise ein ohmscher oder ein Blindwiderstand sein.

Wechselrichter wandeln eingangsseitig verfügbare Gleichstromleistung in ausgangsseitige Wechselstromleistung um. Netzgekoppelte Wechselrichter arbeiten dabei wechselstromseitig phasensynchron zum öffentlichen Netz des Energieversorgungsunternehmens und speisen die gleichstromseitig verfügbare Leistung in dieses Netz ein. Um bei einer Netzabschaltung eine Erhaltung des Netzes, d.h. einen Selbstlauf oder eine Inselbildung durch den speisenden Wechselrichter zu verhindern, ist vorschriftsmässig eine parallele Einrichtung zur Netzüberwachung mit jeweils zugeordnetem Schaltorgan, abgekürzt geschrieben ENS, vorgesehen. Diese Netzüberwachung, bestehend aus Netzfrequenz-, Netzspannungs- und Netzimpedanzmessung hat die Aufgabe, bei unzulässigen Messwerten den Wechselrichter vom Netz zu trennen. Damit wird erreicht, dass personengefährdende Netzzustände vermieden werden.

In der DE 3 513 247 A1 oder in der DE 2 449 016 C2 ist ein Verfahren beschrieben, welches den Schleifenwiderstand des Netzes durch eine kurzzeitige, gezielte Belastung des Netzes durch einen Lastwiderstand und einer eng gekoppelten Messung der Leerlaufnetzspannung misst. Aus dem Belastungsstrom und der Netzspannung zum Belastungszeitpunkt wird die Netzimpedanz berechnet.

Ein anderes Verfahren erzeugt durch Parallelschaltung einer Kapazität zum Wechselstromnetz an den Nulldurchgängen einen Blindstrom. Daraus resultiert ein Spannungsabfall an der Netzimpedanz, wodurch der Nulldurchgang, bezogen auf das unbelastete Netz zeitverschoben stattfindet. Aus dieser Zeitverschiebung wird dann die Netzimpedanz bestimmt.

Diese Verfahren benötigen als eigenständiges System eigene und somit zusätzliche Bauelemente. Dies hat den Nachteil, dass derartige Verfahren bei Verwendung mit netzgekoppelten Wechselrichtern zusätzliche Kosten verursachen.

Aufgabe der Erfindung ist es, unter Ausnutzung des Wechselrichterprinzips und ohne zusätzliche

Hardware-Komponenten ein Verfahren für eine Netzimpedanzmessung anzugeben, ohne dabei das Netz zu belasten.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäss mit einem eingangs genannten Verfahren dadurch gelöst, dass mit einer Energieeinspeisung an einem Einspeisepunkt in ein EVU-Netz eine kurzzeitige Netzspannungsüberhöhung ΔU am Einspeisepunkt erfolgt und dass aus der Messung der verursachten Netzspannungsüberhöhung ΔU auf eine erhöhte Spannung U_{erh} gegenüber der Netz-Leerlaufspannung U_0 und dem dabei erzielten Netzstrom I_{erh} als Stromfluss ins EVU-Netz die Netzimpedanz $|Z|$ gemäss folgender Beziehung:

$|Z| = (\Delta U / I_{erh}) - |Z_{offs}|$,
mit $\Delta U = U_{erh} - U_0$
und $|Z_{offs}|$ = Impedanzoffset als konstante Grösse, berechnet wird.

Erfindungsgemäss wird für das Messverfahren das Wechselrichterprinzip genutzt. Die Einspeisung von Wechselstromleistung in das Netz des Energieversorgungsunternehmens (EVU-Netz) wird durch Überhöhung der Netzspannung am Koppelpunkt (Einspeisepunkt) durch den Wechselrichter erzielt. Dabei ist es zunächst unerheblich, auf welche Weise diese Überhöhung vom Wechselrichter erzeugt wird. Um einen bestimmten Wechselstrom in das Netz einzuprägen, ist abhängig von der Netzimpedanz eine bestimmte Wechselspannungsüberhöhung notwendig. Die zu überwachende Netzimpedanz ergibt sich aus der bereits oben angegebenen Beziehung. Der Impedanzoffset $|Z_{offs}|$ repräsentiert eventuelle im Wechselrichter vorhandene Impedanzen, wie Netzfilter, Sicherungsautomaten, Zuleitungs- und Übergangswiderstände. Dieser Offsetwert kann als konstante Grösse bei der Impedanzberechnung im Mikrorechner direkt berücksichtigt werden. Aus Gründen der Fertigungstoleranz und bei vorhandener Einstellschnittstelle sollte eine Veränderung dieses Offsets möglich sein.

Das erfindungsgemässe Messverfahren hat den Vorteil, dass die Netzimpedanzmessung kostengünstig ist, weil keine zusätzlichen Bauteile erforderlich sind. Darüber hinaus wird das EVU-Netz nicht belastet, da die zur Messung benötigte Energie gleichstromseitig entnommen wird. Das erfindungsgemässe Verfahren kommt dabei ohne externe Schnittstellen als reine Firmware unmittelbar in der Wechselrichtersteuerung, d.h. mit dem dort verwendeten Mikrorechner, aus. Ferner ist das erfindungsgemässe Verfahren in vorteilhafter Weise vollkommen unempfindlich gegen Netzstörungen am Sinusnulldurchgang (mehrfach Nulldurchgänge) hervorgerufen etwa durch Thyristorsteller oder andere getakte einspeisende Wechselrichter in der Nähe des Einspeisepunktes.

Das eigentliche Problem besteht in der Bestimmung der effektiven Wechselspannungs- und Wechselstromwerte. Da sich die Netzleerlaufspannung permanent entsprechend der Netzlast verändert, kann diese nicht vor Beginn des Einspeisebetriebes des Wechselrichters einmalig gemessen werden, sondern muss laufend neu ermittelt werden. Dazu ist in vorteilhafter Weise das erfindungsgemässe Verfahren derartig weitergebildet, dass in der Ablaufsteuerung des Wechselrichters ein wiederkehrender

Impedanzmesszyklus implementiert ist, der die Erkennung von unzulässigen Netzimpedanzwerten innerhalb von einer vorgegebenen bzw. vorgeschriebenen Zeit (max. 5 s) sicherstellt. Dieser Zyklus wird vor und während des laufenden Einspeisebetriebs des Wechselrichters ausgeführt und setzt sich aus den Teilen Netzbeeinflussung und gleichzeitiger Netzmessung zusammen.

Die Netzbeeinflussung besteht aus einer überhöhten Spannungs-Vollwelle und einer nicht überhöhten Netzspannungs-Vollwelle, das ist die Netzleerlaufspannung. Die überhöhte Vollwelle wird vom Wechselrichter wie im normalen Einspeisebetrieb erzeugt. Die nicht überhöhte Vollwelle entsteht durch einfaches Unterbinden der Einspeisung, sodass nur die Netzleerlaufspannung ansteht.

Bei der Netzmessung wird die überhöhte Wechselspannung in der ersten überhöhten Netzhalbwelle gemessen. Gleichzeitig wird der Wechselstrom gemessen. Die nicht überhöhte Netzleerlaufspannung wird in der ersten nicht überhöhten Netzhalbwelle gemessen. Eine Erfassung des Stroms kann entfallen, da durch die fehlende Überhöhung kein Speisestrom erzeugt wird. Bei allen Messungen wird durch eine hohe Signal-Abtastrate ein TRMS-Wert (TRMS = True Root Mean Square, echter durch Quadrierung, Mittelung und Wurzelziehung gebildeter Wert) ermittelt, um möglichst viele Oberwellenanteile der Signale einzubinden.

In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird, während der Zyklus abläuft, an einem Triggerausgang des Haupt-Mikrorechners ein Signal abgegeben, welches dazu verwendet wird, in einem zweiten, parallel vorgesehenen Überwachungsrechner ebenfalls eine Netzmessung auszulösen. In diesem Überwachungsrechner ist ein Watchdogmechanismus realisiert, der bei Ausbleiben des Triggersignals für eine bestimmte Mindestzeit (Timeout) von sich aus eine Netztrennung über das nur ihm zugeordnete Netztrennrelais vornimmt.

Um eine Spannungsüberhöhung in dem vom Wechselrichter gespeisten Netz vornehmen zu können, muss DC-gleichstromseitig eine bestimmte Leistung zur Verfügung stehen, damit eine ausreichende Wechselspannungsüberhöhung und somit auch ein ausreichendes Nutzsignal erzeugt werden kann.

Erfindungsgemäss wird dies dadurch erreicht, dass die gleichstromseitig in jedem Wechselrichter ohnehin vorhandenen Puffer-Kondensatoren verwendet werden. Diese haben die Aufgabe, im normalen Wechselrichterbetrieb eine möglichst konstante Leistung aus der Gleichstromquelle (z.B. Batterie, Generator usw.) zu entnehmen. Diesen Puffer-Kondensatoren wird kurzzeitig Energie entnommen, um leistungsabhängig eine zusätzliche einmalige Wechselspannungsüberhöhung zu ermöglichen. Die für eine Vollwelle aus den Kondensatoren entnommene Energie wird in der anschliessenden «Ruhephase» von der Gleichstromquelle nachgeliefert.

Die Anzahl der Impedanzzyklen innerhalb der Zeitspanne von maximal 5 s, sowie die Anzahl der überhöhten und nicht überhöhten Vollwellen kann je nach verfügbarer Gleichstromleistung und Puffer-Kondensator-Kapazität variiert werden. Zu beachten ist jedoch, dass der Wechselrichter-Wirkungsgrad bei

Erhöhung der Messzyklenzahl oder Verlängerung der Einspeisepause abnimmt. Die Reihenfolge Netz-Überhöhung und anschliessende Absenkung im Verfahrensteil Netzbeeinflussung hat sich als zweckmässig erwiesen. Sie kann auch umgekehrt werden, wobei jedoch eventuelle auftretende Magnetisierungseinflüsse des Wechselrichter-Transformators zu beachten sind.

Da der Netz-Impedanzwert direkt im Mikrorechner bereitsteht, kann dieser zu Netzanalyse Zwecken weiterverwendet werden. Bereits vorhandene Ausschnittstellen (Display, parallele oder serielle Schnittstellen, Analogausgabe usw.) können verwendet werden. Bei bereits vorhandenen Schnittstellen ist hierfür ebenfalls kein zusätzlicher Hardware-Aufwand nötig.

Im Folgenden wird anhand der Zeichnung das erfindungsgemässe Verfahren beschrieben. Dabei zeigen:

Fig. 1 einen Impedanzmesszyklus während der laufenden Netzeinspeisung durch den Wechselrichter und

Fig. 2 einen Impedanzmesszyklus vor Beginn der laufenden Netzeinspeisung durch den Wechselrichter oder bei wenig verfügbarer Gleichstromleistung.

In Fig. 1 ist ein Impedanzmesszyklus während der laufenden Netzeinspeisung durch den Wechselrichter dargestellt. Über der Zeitachse t sind oben der Verlauf der Netzspannung U_{eff} am Einspeisepunkt des Wechselrichters und unten der Verlauf des effektiven Stroms I vom Wechselrichter ins Netz aufgetragen. In der ersten und allen davor liegenden Netzvollwellen befindet sich der Wechselrichter durch eine geringfügige Anhebung der Spannung U_{ein} im Speisebetrieb, was einen entsprechenden Stromfluss I zur Folge hat. In der zweiten Netzvollwelle hebt der Wechselrichter sprunghaft das bisherige Spannungsniveau nochmals an, wobei die dafür nötige Energie aus den gleichstromseitig ohnehin vorhandenen Pufferkondensatoren entnommen wird. Die Messung der Effektivwerte der erhöhten Netzspannung U_{eff} und dem ebenfalls nochmals gestiegenen Speisestrom I folgt in der ersten Halbwellen dieser Vollwelle, da abhängig von der Pufferkondensator-Kapazität die Überhöhung hier am grössten ist.

In der dritten Netzvollwelle unterbleibt die Spannungsüberhöhung sprunghaft, d.h. dass lediglich die Netzleerlaufspannung U_0 vorhanden ist, was auch am fehlenden Speisestrom I ins Netz ($I = 0$) erkennbar ist. In der ersten Halbwellen dieser Vollwelle wird der Effektivwert der Leerlaufnetzspannung U_0 gemessen. In der vierten Netzvollwelle befindet sich der Wechselrichter wieder im Speisebetrieb, $U_{eff} = U_{ein}$. Dieser Zustand bleibt bestehen, bis durch die Ablaufsteuerung seitens des Mikrorechners ein neuer Messzyklus angestossen wird.

In der Fig. 2 ist ein Impedanzmesszyklus vor Beginn der laufenden Netzeinspeisung durch den Wechselrichter oder bei sehr wenig verfügbarer Gleichstromleistung dargestellt. Über der Zeitachse t sind oben der Verlauf der Netzspannung U_{eff} am Einspeisepunkt des Wechselrichters und unten der Verlauf des Stroms I_{eff} vom Wechselrichter ins Netz

aufgetragen. In der ersten und allen davor liegenden Netzvollwellen befindet sich der Wechselrichter nicht im Speisebetrieb. In der zweiten Netzvollwelle hebt der Wechselrichter sprunghaft das Leerlauf-Netzspannungsniveau U_0 auf U_{erh} an, wobei die dafür benötigte Energie aus den gleichstromseitig ohnehin vorhandenen Pufferkondensatoren entnommen wird. Die Messung der Effektivwerte der erhöhten Netzspannung U_{erh} und dem erzielten Speisestrom I_{erh} erfolgt in der ersten Halbwelle dieser Vollwelle, da abhängig von der Pufferkondensator-Kapazität die Überhöhung hier am grössten ist.

In der dritten Netzvollwelle unterbleibt die Spannungsüberhöhung wieder sprunghaft, was auch am fehlenden Speisestrom ins Netz erkennbar ist. In der ersten Halbwelle dieser Vollwelle wird der Effektivwert der Leerlaufnetzspannung U_0 gemessen. Ab der vierten Netzvollwelle verbleibt der Wechselrichter im nichtspeisenden Betrieb, bis durch die Ablaufsteuerung seitens des Mikrorechners ein neuer Messzyklus angestossen wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Messung der Netzimpedanz bei netzgekoppelten Wechselrichtern bzw. Umrichtern, welche von einem Mikrorechner gesteuert sind, dadurch gekennzeichnet, dass mit einer Energieeinspeisung an einem Einspeisepunkt in ein EVU-Netz eine kurzzeitige Netzspannungsüberhöhung ΔU am Einspeisepunkt erfolgt und dass aus der Messung der verursachten Netzspannungsüberhöhung ΔU auf eine erhöhte Spannung U_{erh} gegenüber der Netz Leerlaufspannung U_0 und dem dabei erzielten Netzstrom I_{erh} als Stromfluss ins EVU-Netz die Netzimpedanz $|Z|$ gemäss folgender Beziehung:

$$|Z| = (\Delta U / I_{erh}) - |Z_{offs}|,$$

mit $\Delta U = U_{erh} - U_0$ und

$|Z_{offs}|$ = Impedanzoffset als konstante Grösse, berechnet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass durch einen in einer Ablaufsteuerung des Mikrorechners des Wechselrichters implementierten, in Abständen wiederkehrenden Impedanzmessvorgang die von der Netzbelastung abhängige, sich permanent ändernde Netzleerlaufspannung U_0 ermittelt wird, wobei für eine Netzvollwelle eine Netz-Spannungsüberhöhung ΔU durch eine gezielte Energieeinspeisung ins EVU-Netz erfolgt und wobei innerhalb dieser Überhöhungszeit durch eine ausreichend hohe Messwertabtastung TRMS-Werte für die erhöhte Spannung U_{erh} und den Netzstrom I_{erh} bestimmt werden, wobei ferner für eine darauf folgende Netzvollwelle keine Netz-Spannungsüberhöhung durch Unterbindung des Energieeinspeisebetriebs erfolgt und innerhalb dieser Netzvollwelle durch hohe Messwertabtastung ein TRMS-Wert für die Netz-Leerlaufspannung U_0 bestimmt wird, um die Netzimpedanz $|Z|$ zu berechnen.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass während dieser beiden Netzvollwellen ein Triggersignal zu einem vorgesehenen Überwachungsrechner bereitgestellt wird, der seinerseits redundant eine Netzimpedanzmessung ausführt und aus der Wiederkehr dieses Triggersignals eine

Watchdogfunktion realisiert, die bei Ausbleiben des Messzyklus, also bei einem so genannten Timeout, eine Netztrennung vornimmt.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass gleichstromseitig in jedem Wechselrichter ohnehin vorhandene Pufferkondensatoren als kurzzeitige Energiequelle verwendet werden, wobei durch eine ausreichend grosse Messpause, die zur Aufladung der Kondensatoren vorgesehen ist, auch bei geringer gleichstromseitig verfügbarer Energie eine ausreichende Netz-Spannungsüberhöhung erzielt wird.

FIG 1

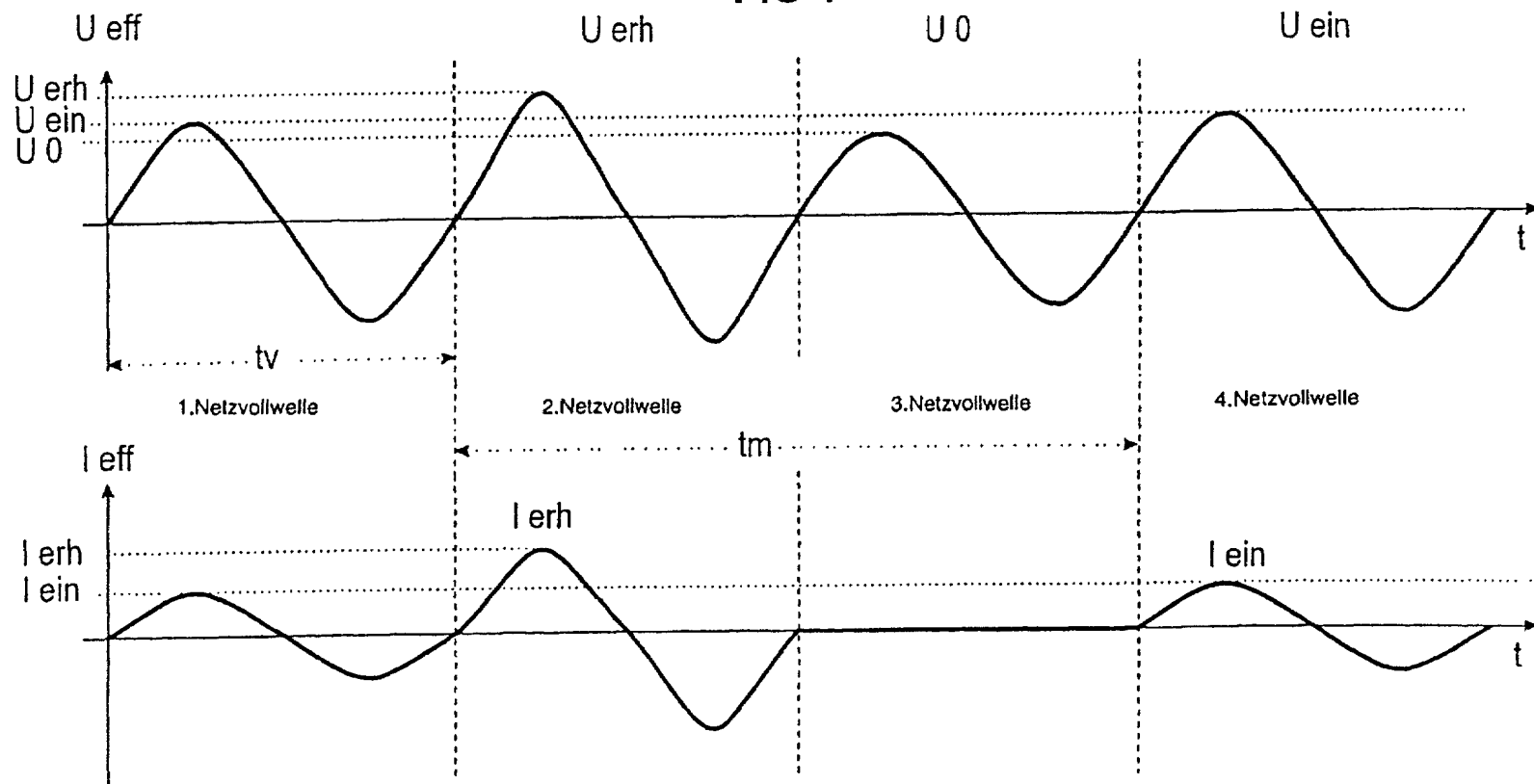


FIG 2

