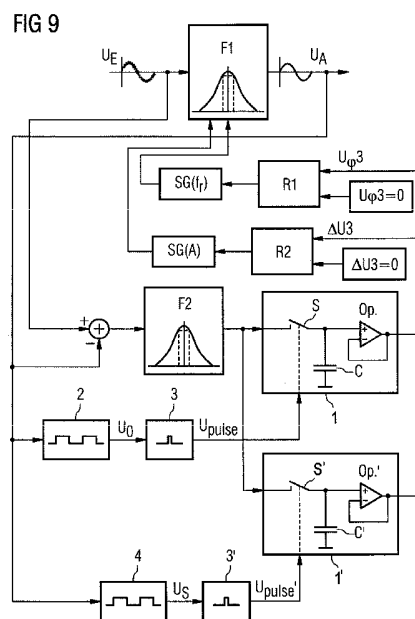


(51) Int. Cl. : **H02J 3/01** (2006.01)  
**H03H 17/00** (2006.01)  
**G05F 1/12** (2006.01)

(72) Erfinder:  
HALLAK JALAL  
WIEN (AT)

(57) Verfahren zur Rekonstruktion eines störungsreduzierten Spannungssignals, das in seiner Frequenz, Amplitude und Phasenlage einer sinusförmigen, in Frequenz, Amplitude und/oder Phasenlage störungsbehafteten Eingangsspannung ( $U_E$ ) entspricht. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass die Eingangsspannung ( $U_E$ ) einem ersten Bandpassfilter ( $F_1$ ) mit regelbarer Resonanzfrequenz ( $f_r$ ) und mit regelbarer Verstärkung  $A$  zugeführt wird, dessen Ausgangsspannung ( $U_A$ ) das störungsreduzierte Spannungssignal darstellt, wobei durch Bestimmung der abgetasteten Differenzspannung ( $U_{\phi 3}$ ) von Ausgangsspannung ( $U_A$ ) und Eingangsspannung ( $U_E$ ) in den Nulldurchgängen der Ausgangsspannung ( $U_A$ ) jeweils eine Stellgröße ( $SG(f_r)$ ) für einen ersten Regler ( $R_1$ ) ermittelt wird, der die Resonanzfrequenz ( $f_r$ ) des ersten Bandpassfilter ( $F_1$ ) so regelt, dass die Differenzspannung ( $U_{\phi 3}$ ) in den Nulldurchgängen verschwindet, sowie durch Bestimmung der abgetasteten Differenzspannung ( $\Delta U_3$ ) von Ausgangsspannung ( $U_A$ ) und Eingangsspannung ( $U_E$ ) in den Scheitelpunkten der Ausgangsspannung ( $U_A$ ) jeweils eine Stellgröße ( $SG(A)$ ) für einen zweiten Regler ( $R_2$ ) ermittelt wird, der die Verstärkung ( $A$ ) des ersten Bandpassfilter ( $F_1$ ) so regelt, dass die Differenzspannung ( $\Delta U_3$ ) in den Scheitelpunkten verschwindet.



## Beschreibung

### VERFAHREN ZUR REKONSTRUKTION EINES STÖRUNGSREDUZIERTEN PERIODISCHEN SPANNUNGSSIGNALS

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Rekonstruktion eines störungsreduzierten periodischen Spannungssignals, das in seiner Frequenz, Amplitude und/oder Phasenlage einer sinusförmigen, in Frequenz, Amplitude und Phasenlage störungsbehafteten Eingangsspannung entspricht. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Eingangsspannung aus einer sinusförmigen Grundschiwingung, sowie überlagerten Störungen in Frequenz, Amplitude und Phasenlage der Grundschiwingung besteht. Ein solches Verfahren kommt etwa dann zur Anwendung, wenn eine Schaltungsanordnung zu einer sinusförmigen Eingangsspannung synchron betrieben werden soll. Hierzu orientiert man sich zumeist an den Nulldurchgängen der sinusförmigen Eingangsspannung. Ein mögliches Einsatzgebiet ist etwa bei alternativen Stromerzeugungssystemen wie etwa Brennstoffzellenanlagen, Photovoltaikanlagen, oder Windkraftanlagen gegeben, bei denen netzgeführte Stromrichter aller Art, etwa Wechselrichter, zum Wechselspannungsnetz eines Stromversorgers netzkonform betrieben werden müssen.

**[0002]** In Anwendungen dieser Art ist man in der Regel mit störungsbehafteten Eingangsspannungen konfrontiert, so weisen etwa Netzspannungen letztgenannter Wechselspannungsnetze Störungen in Frequenz, Amplitude und/oder Phasenlage, sowie Oberwellen auf. Werden nun etwa für einen zur Netzspannung synchronen Betrieb einer Schaltungsanordnung die Nulldurchgänge der Eingangsspannung, in diesem Fall also der Netzspannung, herangezogen, so können z.B. durch überlagerte Oberwellen Nulldurchgänge detektiert werden, die nicht jenen der eigentlichen Grundschiwingung entsprechen. Daraus kann ein fehlerhafter Betrieb der netzsynchronen Schaltungsanordnung resultieren, der letztendlich auch zu Fehlabschaltungen der netzsynchronen Schaltung führen kann.

**[0003]** In herkömmlicher Weise werden etwa hochfrequente Störungen einer Eingangsspannung, wie etwa Oberwellen, durch Tiefpassfilter beseitigt. Eine derartige Anwendung eines Tiefpassfilters ist beispielsweise aus der US 4 872 127 A bekannt. In der US 5 237 492 A wird ein Tiefpassfilter verwendet, um einen infolge einer taktenden Stromübertragung entstandenen Rippel eines gemessenen Stromes zu beseitigen. Mit der Kompensation von Rippel in Schaltnetzteilen beschäftigt sich auch die Druckschrift TEDESCHI, E. et al.: Repetitive Ripple Estimation in Multi-sampling Digitally Controlled dc-dc Converters, 32nd Annual Conference on IEEE Industrial Electronics, Nov. 2006.

**[0004]** Die Verwendung von Tiefpassfiltern ist auch aus der JP 10-201079 A bekannt. Hier werden Tiefpassfilter auf Abtastsignale eines gemessenen Gleichstromes und einer gemessenen Gleichspannung angewendet.

**[0005]** Tiefpassfilter bewirken aber eine Phasenverschiebung der Ausgangsspannung des Tiefpassfilters im Vergleich zur Eingangsspannung, die wiederum aufgrund unbekannter Störungen in Frequenz und Phasenlage der Eingangsspannung nicht einfach korrigiert werden kann. Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass nicht auf ein Referenzsignal eines externen Signalgebers zurück gegriffen werden kann, um etwa die Eingangsspannung dem Referenzsignal anzupassen. Stattdessen soll die rekonstruierte Ausgangsspannung in ihrer Frequenz, Amplitude und Phasenlage der Grundschiwingung der Eingangsspannung entsprechen, und nicht einem generierten Referenzsignal eines externen Signalgebers.

**[0006]** Es ist daher das Ziel der Erfindung, aus einer störungsbehafteten Eingangsspannung eine störungsreduzierte Ausgangsspannung zu rekonstruieren, die in ihrer Frequenz, Phasenlage und Amplitude der Grundschiwingung der Eingangsspannung entspricht. Dabei soll auf externe Signalgeber verzichtet werden, aber dennoch ein möglichst einfacher Schaltungsaufbau gegeben sein.

**[0007]** Dieses Ziel wird durch die erfindungsgemäßen Merkmale erreicht. Die Erfindung bezieht sich dabei auf Verfahren zur Rekonstruktion eines störungsreduzierten Spannungssignals, das

in seiner Frequenz, Amplitude und Phasenlage einer sinusförmigen, in Frequenz, Amplitude und/oder Phasenlage störungsbehafteten Eingangsspannung entspricht. Dabei ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass die Eingangsspannung einem ersten Bandpassfilter mit regelbarer Resonanzfrequenz zugeführt wird, dessen Ausgangsspannung das störungsreduzierte Spannungssignal darstellt, wobei durch Bestimmung der abgetasteten Differenzspannung von Ausgangsspannung und Eingangsspannung in den Nulldurchgängen von der positiven zur negativen Halbwelle der Ausgangsspannung jeweils eine Stellgröße mithilfe eines ersten Reglers ermittelt wird, der die Resonanzfrequenz des ersten Bandpassfilter so regelt, dass die Differenzspannung in den Nulldurchgängen verschwindet. Das erfindungsgemäße Verfahren bedient sich hierbei der Eigenschaft von Bandpassfilter, dass die Ausgangsspannung des Bandpassfilter bei Abweichungen der Frequenz der Eingangsspannung von der Resonanzfrequenz des Bandpassfilter eine Phasenverschiebung erfährt, wie noch näher ausgeführt werden wird. Die Resonanzfrequenz des ersten Bandpassfilter ist zunächst so eingestellt, dass sie der Frequenz der Eingangsspannung entspricht. Weist die Eingangsspannung nun eine Störung ihrer Frequenz auf, z.B. eine Abweichung von der vorgesehenen Netzfrequenz, sodass sie nicht mehr der Resonanzfrequenz des ersten Bandpassfilter entspricht, tritt eine Phasenverschiebung der Ausgangsspannung im Vergleich zur Eingangsspannung auf. Diese Phasenverschiebung wird erfindungsgemäß dazu verwendet, die Störung in der Frequenz der Eingangsspannung zu detektieren, nämlich durch Bestimmung der Differenzspannung von Ausgangsspannung und Eingangsspannung in den Nulldurchgängen von der positiven zur negativen Halbwelle der Ausgangsspannung, die nun ungleich Null sein wird. Die Resonanzfrequenz des ersten Bandpassfilters wird daraufhin erfindungsgemäß so geregelt, dass sie wieder der Frequenz der Eingangsspannung entspricht, also die Differenzspannung von Ausgangsspannung und Eingangsspannung in den Nulldurchgängen der Ausgangsspannung wieder verschwindet. Die Sollfrequenz der Regelung entspricht somit immer der Frequenz der Eingangsspannung, und eine Variation der Frequenz der Eingangsspannung bildet sich auch in der Frequenz der Ausgangsspannung ab. Das Ausgangssignal ist aber nach Passieren des Bandpassfilters etwa von seinen Oberwellen befreit, sodass eine zuverlässige Bestimmung der Nulldurchgänge und der Frequenz möglich ist, die genau den Nulldurchgängen und der Frequenz der Grundschiwingung der Eingangsspannung entsprechen. In diesem Sinne ist auch im Folgenden von „störungsreduzierten Spannungssignalen“ die Rede. Anhand einer solcherart rekonstruierten Ausgangsspannung ist aber ein netzsynchroner Betrieb einer nachfolgenden Schaltungsanordnung möglich.

**[0008]** Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens kann weiters vorgesehen sein, dass die Bestimmung der abgetasteten Differenzspannung von Ausgangsspannung und Eingangsspannung in den Nulldurchgängen von der positiven zur negativen und von der negativen zur positiven Halbwelle der Ausgangsspannung mithilfe eines ersten Abtast-Halte-Glieds erfolgt, dessen Schaltelement durch ein Schaltsignal in den Nulldurchgängen von der positiven zur negativen und von der negativen zur positiven Halbwelle der Ausgangsspannung kurzzeitig betätigt wird, und dem die einem zweiten Bandpassfilter unterworfenen Differenzspannung von Ausgangsspannung und Eingangsspannung zugeführt wird. Abtast-Halte-Glieder sind etwa aus Phasendetektoren wohlbekannt, und bestehen aus einem Schaltelement und einem Kondensator. Bei Schließen des Schaltelements wird der momentane Spannungswert auf dem Kondensator gespeichert und bleibt durch einen als Buffer wirkenden Impedanzwandler bis zum nächsten Abtastvorgang unverändert. Falls das Schaltelement durch ein Schaltsignal in den Nulldurchgängen von der positiven zur negativen und von der negativen zur positiven Halbwelle der Ausgangsspannung betätigt wird, wird somit die Differenzspannung von Ausgangsspannung und Eingangsspannung in den Nulldurchgängen der Ausgangsspannung ermittelt. Hierzu wird die Differenzspannung von Ausgangsspannung und Eingangsspannung zuvor noch einem zweiten Bandpassfilter unterworfen, da diese Differenzspannung noch alle Störungen und Oberwellen der Eingangsspannung enthält. Der so ermittelte Spannungswert bildet die Stellgröße für den ersten Regler der Resonanzfrequenz des ersten Bandpassfilter.

**[0009]** Ausgehend vom Schaltsignal in den Nulldurchgängen bestimmt sich die Polarität des

ermittelten Spannungswerts abhängig davon, ob die Frequenz der Eingangsspannung größer oder kleiner als die Resonanzfrequenz des ersten Bandpassfilters ist.

**[0010]** Für den Fall, dass die Frequenz der Eingangsspannung größer als die Resonanzfrequenz des ersten Bandpassfilters, und das Schaltsignal einem Nulldurchgang von der positiven zur negativen Halbwelle der Ausgangsspannung zugeordnet ist, wird ein negativer Spannungswert ermittelt. Ist das Schaltsignal einem Nulldurchgang von der negativen zur positiven Halbwelle der Ausgangsspannung zugeordnet, ist der ermittelte Spannungswert positiv.

**[0011]** Für den Fall, dass die Frequenz der Eingangsspannung kleiner als die Resonanzfrequenz des ersten Bandpassfilters ist, vertauscht sich die Polarität des ermittelten Spannungswerts entsprechend (vgl. Fig. 3 und 4).

**[0012]** Das Vorzeichen der Stellgröße am Ausgang des ersten Reglers wird der Polarität des ermittelten Spannungswertes angepasst.

**[0013]** Aufgrund der nachfolgenden Regelung spielen eventuelle Phasenverschiebungen des Ausgangssignals des zweiten Bandpassfilters keine große Rolle. Die Resonanzfrequenz des zweiten Bandpassfilter wird somit so gewählt sein, dass sie eine um die Frequenz der zu rekonstruierenden Eingangsspannung geeignet gewählte Bandbreite aufweist. Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform kann für den zweiten Bandpassfilter aber auch vorgesehen sein, dass die Resonanzfrequenz des zweiten Bandpassfilters durch die Stellgröße für die Resonanzfrequenz des ersten Bandpassfilters gesteuert wird. Da aber, wie erwähnt, die Phasenverschiebung des Ausgangssignals des zweiten Bandpassfilter keine Auswirkung auf die erfindungsgemäße Regelung hat, handelt es sich hier um eine Steuerung, und nicht um eine Regelung.

**[0014]** Wegen der Verstärkungstoleranz des ersten Bandpassfilters wird die rekonstruierte Ausgangsspannung des ersten Bandpassfilter in der Regel eine im Vergleich zur Eingangsspannung veränderte Amplitude aufweisen. Daher ist gemäß einer bevorzugten Ausführungsform vorgesehen, dass durch Bestimmung der abgetasteten Differenzspannung von Ausgangsspannung und Eingangsspannung in den Scheitelpunkten der Ausgangsspannung eine Stellgröße für einen zweiten Regler ermittelt wird, der die Verstärkung des ersten Bandpassfilters so regelt, dass die Differenzspannung in den Scheitelpunkten der Ausgangsspannung verschwindet. Dadurch kann erreicht werden, dass die rekonstruierte Ausgangsspannung in ihrer Amplitude der Eingangsspannung entspricht. Zur Ermittlung der Stellgröße des zweiten Reglers kann wiederum vorgesehen sein, dass die Bestimmung der abgetasteten Differenzspannung von Ausgangsspannung und Eingangsspannung in den positiven oder in den negativen Scheitelpunkten der Ausgangsspannung mithilfe eines zweiten Abtast-Halte-Glieds erfolgt, dessen Schaltelement durch ein Schaltsignal in den positiven oder in den negativen Scheitelpunkten der Ausgangsspannung betätigt wird, und dem die einem dritten Bandpassfilter unterworfenen Differenzspannung von Ausgangsspannung und Eingangsspannung zugeführt wird. Aufgrund der nachfolgenden Regelung spielen eventuelle Phasenverschiebungen des Ausgangssignals des dritten Bandpassfilters wiederum keine große Rolle. Die Resonanzfrequenz des dritten Bandpassfilter kann daher so gewählt sein, dass sie eine um die Frequenz der zu rekonstruierenden Eingangsspannung geeignet gewählte Bandbreite aufweist.

**[0015]** Die Polarität des ermittelten Spannungswertes hängt vom Vorzeichen der Differenzspannung zwischen Ausgangs- und Eingangsspannung während des Auftretens des Schaltsignals in den Scheitelpunkten ab.

**[0016]** Für den Fall, dass das Vorzeichen der Differenzspannung positiv ist, ist auch der ermittelte Spannungswert positiv, wenn das Schaltsignal einem positiven Scheitelpunkt des Ausgangssignals des ersten Filters zugeordnet ist. Der ermittelte Spannungswert ist jedoch negativ, wenn das Schaltsignal einem negativen Scheitelpunkt des Ausgangssignals des ersten Filters zugeordnet ist.

**[0017]** Für den Fall, dass das Vorzeichen der Differenzspannung negativ ist, vertauscht sich die Polarität des ermittelten Spannungswertes entsprechend (vgl. Fig. 7 und 8).

**[0018]** Das Vorzeichen der Stellgröße am Ausgang des ersten Reglers wird deshalb an die

Polarität des ermittelten Spannungswertes angepasst.

**[0019]** In einer kombinierten Ausführungsform kann schließlich vorgesehen sein, dass die Bestimmung der abgetasteten Differenzspannung von Ausgangsspannung und Eingangsspannung in den Nulldurchgängen der Ausgangsspannung mithilfe eines ersten Abtast-Halte-Glieds erfolgt, dessen Schaltelement durch ein Schaltsignal in den Nulldurchgängen der Ausgangsspannung betätigt wird, und dem die einem zweiten Bandpassfilter unterworfenen Differenzspannung von Ausgangsspannung und Eingangsspannung zugeführt wird, und wobei die Bestimmung der abgetasteten Differenzspannung von Ausgangsspannung und Eingangsspannung in den Scheitelpunkten der Ausgangsspannung mithilfe eines zweiten Abtast-Halte-Glieds erfolgt, dessen Schaltelement durch ein Schaltsignal in den Scheitelpunkten der Ausgangsspannung betätigt wird, und dem die dem zweiten Bandpassfilter unterworfenen Differenzspannung von Ausgangsspannung und Eingangsspannung zugeführt wird.

**[0020]** Die Erfindung wird im Folgenden anhand bevorzugter Ausführungsformen mithilfe der beiliegenden Figuren näher erläutert. Es zeigen hierbei die

**[0021]** Fig. 1 eine Darstellung zur Erläuterung der Problematik einer fehlerhaften Nulldurchgangserkennung bei einer gestörten Eingangsspannung,

**[0022]** Fig. 2 eine Darstellung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Regelung der Resonanzfrequenz des ersten Bandpassfilter,

**[0023]** Fig. 3 eine Darstellung der Signalformen im erfindungsgemäßen Verfahren, wenn die Frequenz der Eingangsspannung größer ist als die Resonanzfrequenz des ersten Bandpassfilter,

**[0024]** Fig. 4 eine Darstellung der Signalformen im erfindungsgemäßen Verfahren, wenn die Frequenz der Eingangsspannung kleiner ist als die Resonanzfrequenz des ersten Bandpassfilter,

**[0025]** Fig. 5 eine Darstellung der Signalformen im erfindungsgemäßen Verfahren, wenn die Frequenz der Eingangsspannung der Resonanzfrequenz des ersten Bandpassfilter entspricht,

**[0026]** Fig. 6 eine Darstellung einer Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Regelung der Amplitude der rekonstruierten Ausgangsspannung mithilfe des ersten Bandpassfilter,

**[0027]** Fig. 7 eine Darstellung der Signalformen bei der Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens gemäß Fig. 6, wenn die Amplitude der Eingangsspannung größer ist als die Amplitude der Ausgangsspannung, und

**[0028]** Fig. 8 eine Darstellung der Signalformen bei der Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens gemäß Fig. 6, wenn die Amplitude der Eingangsspannung kleiner ist als die Amplitude der Ausgangsspannung,

**[0029]** Fig. 9 eine Darstellung einer Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur gleichzeitigen Regelung der Resonanzfrequenz und der Amplitude der rekonstruierten Ausgangsspannung mithilfe eines ersten Bandpassfilter und eines zweiten Bandpassfilter.

**[0030]** In der Fig. 1 wird zunächst die Problematik einer fehlerhaften Nulldurchgangserkennung bei einer gestörten Eingangsspannung  $U_E$ , bei der es sich etwa um die Netzspannung eines Stromversorgers handelt, zu der eine nachfolgende Schaltungsanordnung netzsynchron zu betreiben ist, erläutert. Eine störungsfreie Eingangsspannung besteht zunächst lediglich aus einer Grundschiwingung  $U_G$  (siehe oberste Funktion der Fig. 1), bei der die Nulldurchgangserkennung kein Problem darstellt. Bei einer gestörten Eingangsspannung  $U_E$  allerdings, die in dem gezeigten Beispiel etwa mit Oberwellen überlagert ist, kann es zu einer fehlerhaften Nulldurchgangserkennung kommen, da aufgrund der Störungen die Nulllinie früher oder später im Vergleich zur Grundschiwingung  $U_G$  überschritten wird (siehe untere Funktion der Fig. 1). Zur

Filterung der hochfrequenten Störungen der Eingangsspannung  $U_E$  könnte etwa ein Tiefpassfilter verwendet werden, der aber eine Phasenverschiebung der Ausgangsspannung  $U_A$  des Tiefpassfilters im Vergleich zur Eingangsspannung bewirkt, die wiederum aufgrund unbekannter Störungen in Frequenz und Phasenlage der Eingangsspannung  $U_E$  nicht einfach korrigiert werden kann.

**[0031]** Daher wird ein erfindungsgemäßes Verfahren vorgeschlagen, das anhand der Fig. 2 erläutert wird. Die Fig. 2 zeigt zunächst ein erstes Bandpassfilter F1, dem eine störungsbehaftete Eingangsspannung  $U_E$  zugeführt wird. Das erste Bandpassfilter F1 weist eine regelbare Resonanzfrequenz  $f_r$  auf, wobei die Resonanzfrequenz  $f_r$  etwa bei einer Netzspannung mit 50 Hz als Eingangsspannung  $U_E$  im Bereich von 45 Hz bis 55 Hz regelbar ist. Am Ausgang des ersten Bandpassfilter F1 ist die Ausgangsspannung  $U_A$  dargestellt, die in Folge der Wirkung des ersten Bandpassfilter F1 von hochfrequenten Anteilen befreit und somit störungsreduziert ist.

**[0032]** Wie bereits erwähnt wurde, bedient sich das erfindungsgemäße Verfahren nun der Eigenschaft von Bandpassfilter, dass die Ausgangsspannung  $U_A$  des ersten Bandpassfilter F1 bei Abweichungen der Frequenz der Eingangsspannung  $U_E$  von der Resonanzfrequenz  $f_r$  des ersten Bandpassfilter F1 eine Phasenverschiebung erfährt, die sich wie folgt verhält:

$$\varphi = \arctan[Q \cdot (1 - \Omega^2) / \Omega],$$

**[0033]** wobei  $\varphi$  die Phasenverschiebung ist,  $Q$  die Güte des ersten Bandpassfilter F1, und  $\Omega$  der Quotient aus Frequenz der Eingangsspannung  $U_E$  und der Resonanzfrequenz  $f_r$  des ersten Bandpassfilter F1.

**[0034]** Die Resonanzfrequenz  $f_r$  des ersten Bandpassfilter F1 ist dabei zunächst so eingestellt, dass sie der Frequenz der Eingangsspannung  $U_E$  entspricht. Weist die Eingangsspannung  $U_E$  nun eine Störung ihrer Frequenz (z.B. Abweichung von der Netzfrequenz) auf, sodass sie nicht mehr der Resonanzfrequenz  $f_r$  des ersten Bandpassfilter F1 entspricht, tritt eine Phasenverschiebung  $\varphi$  der Ausgangsspannung  $U_A$  im Vergleich zur Eingangsspannung  $U_E$  auf. Diese Phasenverschiebung  $\varphi$  wird erfindungsgemäß dazu verwendet, die Störung in der Frequenz der Eingangsspannung  $U_E$  zu detektieren, nämlich durch Bestimmung der abgetasteten Differenzspannung  $U_{\varphi 3}$  von Ausgangsspannung  $U_A$  und der Eingangsspannung  $U_E$  in den Nulldurchgängen der Ausgangsspannung  $U_A$ , die nun ungleich Null sein wird. Hierzu wird zunächst die Differenzspannung  $U_{\varphi 1}$  von Ausgangsspannung  $U_A$  und Eingangsspannung  $U_E$  ermittelt.

**[0035]** Die Bestimmung der abgetasteten Differenzspannung  $U_{\varphi 3}$  von Ausgangsspannung  $U_A$  und Eingangsspannung  $U_E$  in den Nulldurchgängen der Ausgangsspannung  $U_A$  erfolgt etwa mithilfe eines ersten Abtast-Halte-Glieds 1, dessen Schaltelement S durch ein Schaltsignal  $U_{\text{Pulse}}$  in den Nulldurchgängen der Ausgangsspannung  $U_A$  betätigt wird, und dem die einem zweiten Bandpassfilter F2 unterworfenen Differenzspannung  $U_{\varphi 2}$  von Ausgangsspannung  $U_A$  und Eingangsspannung  $U_E$  zugeführt wird.

**[0036]** Abtast-Halte-Glieder 1 sind etwa aus Phasendetektoren wohlbekannt, und bestehen aus einem Schaltelement S und einem Kondensator C. Des Weiteren weist sie gemäß Fig. 2 einen als Buffer ausgebildeten Impedanzwandler Op auf. Bei Schließen des Schaltelements S wird der momentane Spannungswert der dem zweiten Bandpassfilter F2 unterworfenen Differenzspannung  $U_{\varphi 2}$  auf dem Kondensator C gespeichert und bleibt durch den als Buffer ausgebildeten Impedanzwandler Op bis zum nächsten Abtastvorgang unverändert.

**[0037]** Zur Betätigung des Schaltelements S ist ein Schaltsignal  $U_{\text{Pulse}}$  erforderlich, das etwa mithilfe einer Nulldurchgangserkennung 2 und einem Mono-Flip-Flop 3, das z.B. Pulse mit einer Dauer, die von dem Kondensator C und von dem Typ des Abtast-Halte-Glieds 1 abhängig ist, liefert, ermittelt werden kann.

**[0038]** Da das Schaltelement S durch das Schaltsignal  $U_{\text{Pulse}}$  in den Nulldurchgängen der Ausgangsspannung  $U_A$  betätigt wird, wird somit die abgetastete Differenzspannung  $U_{\varphi 3}$  von Ausgangsspannung  $U_A$  und Eingangsspannung  $U_E$  in den Nulldurchgängen der Ausgangsspannung

$U_A$  ermittelt. Der so ermittelte Spannungswert wird zur Ermittlung der Stellgröße  $SG(f_r)$  für den ersten Regler R1 der Resonanzfrequenz  $f_r$  des ersten Bandpassfilter F1 verwendet, indem er mit dem Sollwert  $U_{\phi 3}=0$  verglichen wird.

**[0039]** Die Resonanzfrequenz  $f_{r2}$  des zweiten Bandpassfilter F2 wird so gewählt sein, dass sie eine um die Frequenz der zu rekonstruierenden Eingangsspannung  $U_E$  geeignet gewählte Bandbreite B aufweist, also etwa eine Bandbreite von 10 Hz bei einer Resonanzfrequenz von 50 Hz im Falle einer Netzspannung als Eingangsspannung  $U_E$ . Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform kann für den zweiten Bandpassfilter F2 aber auch vorgesehen sein, dass die Resonanzfrequenz  $f_{r2}$  des zweiten Bandpassfilters F2 durch die Stellgröße  $SG(f_r)$  für die Resonanzfrequenz  $f_r$  des ersten Bandpassfilters F1 gesteuert wird. Da aber, wie erwähnt, die Phasenverschiebung des Ausgangssignals  $U_{\phi 2}$  des zweiten Bandpassfilter F2 keine Auswirkung auf die erfindungsgemäße Regelung hat, spielen eventuelle Phasenverschiebungen des Ausgangssignals  $U_{\phi 2}$  des zweiten Bandpassfilters F2 keine große Rolle.

**[0040]** Die Resonanzfrequenz  $f_r$  des ersten Bandpassfilters F1 wird daraufhin erfindungsgemäß so geregelt, dass sie wieder der Frequenz der Eingangsspannung  $U_E$  entspricht, also die abgetastete Differenzspannung  $U_{\phi 3}$  von Ausgangsspannung  $U_A$  und Eingangsspannung  $U_E$  in den Nulldurchgängen der Ausgangsspannung  $U_A$  wieder verschwindet.

**[0041]** Die Fig. 3 zeigt eine Darstellung der Signalformen für

**[0042]** -) die Eingangsspannung  $U_E$ ,

**[0043]** -) die Ausgangsspannung  $U_A$  nach dem ersten Bandpassfilter F1,

**[0044]** -) das Signal  $U$  nach der Nulldurchgangserkennung 2,

**[0045]** -) das Schaltsignal  $U_{\text{Pulse}}$  nach dem Mono-Flip-Flop 3,

**[0046]** -) die Differenzspannung  $U_{\phi 1}$  von Ausgangsspannung  $U_A$  und Eingangsspannung  $U_E$ ,

**[0047]** -) die dem zweiten Bandpassfilter F2 unterworfenen Differenzspannung  $U_{\phi 2}$ , und

**[0048]** -) die abgetastete Differenzspannung  $U_{\phi 3}$  von Ausgangsspannung  $U_A$  und Eingangsspannung  $U_E$  in den Nulldurchgängen der Ausgangsspannung  $U_A$ ,

**[0049]** und zwar für jenen Fall, in dem die Frequenz der Eingangsspannung  $U_E$  größer ist als die Resonanzfrequenz  $f_r$  des ersten Bandpassfilter F1. Die Ausgangsspannung  $U_A$  nach dem ersten Bandpassfilter F1 weist zunächst eine Phasenverschiebung  $\phi$  auf. Der Nulldurchgangserkennung 2 wird, wie auch der Fig. 2 entnommen werden kann, die Ausgangsspannung  $U_A$  zugeführt, sodass die Nulldurchgänge der Ausgangsspannung  $U_A$  noch nicht jenen der Eingangsspannung  $U_E$  entsprechen. Anhand der Nulldurchgänge der Ausgangsspannung  $U_A$  wird das Schaltsignal  $U_{\text{Pulse}}$  ermittelt. Des Weiteren ist ersichtlich, dass die Differenzspannung  $U_{\phi 1}$  von Ausgangsspannung  $U_A$  und Eingangsspannung  $U_E$  noch alle Störungen bzw. Oberwellen der Eingangsspannung  $U_E$  enthält, wobei die hochfrequenten Störungen nach Passieren des zweiten Bandpassfilter F2 entfernt werden, und sich die dem zweiten Bandpassfilter F2 unterworfenen Differenzspannung  $U_{\phi 2}$  ergibt. Durch das Abtast-Halte-Glied 1 wird die Differenzspannung  $U_{\phi 3}$  von Ausgangsspannung  $U_A$  und Eingangsspannung  $U_E$  in den Nulldurchgängen von der positiven zur negativen Halbwelle der Ausgangsspannung  $U_A$  ermittelt, die in der Fig. 3 als  $-U_m$  eingezeichnet ist. Der so ermittelte Spannungswert  $-U_m$  wird in weiterer Folge zur Ermittlung der Stellgröße  $SG(f_r)$  für den ersten Regler R1 der Resonanzfrequenz  $f_r$  des ersten Bandpassfilter F1 verwendet, indem er mit dem Sollwert  $U_{\phi 3}=0$  verglichen wird.

**[0050]** Die Fig. 4 zeigt eine zur Fig. 3 analoge Darstellung der Signalformen im erfindungsgemäßen Verfahren, wenn die Frequenz der Eingangsspannung  $U_E$  kleiner ist als die Resonanzfrequenz  $f_r$  des ersten Bandpassfilter F1. Dabei wird durch das Abtast-Halte-Glied 1 der Wert  $+u_m$  (vgl. Fig. 4) der Differenzspannung  $U_{\phi 3}$  zwischen Ausgangsspannung  $U_A$  und Eingangsspannung  $U_E$  in den Nulldurchgängen von der positiven zur negativen Halbwelle der Ausgangsspannung  $U_A$  ermittelt. Fig. 5 zeigt den Fall, dass die Frequenz der Eingangsspannung  $U_E$  der Resonanzfrequenz  $f_r$  des ersten Bandpassfilter F1 entspricht. Im letzteren Fall zeigt sich, dass

die Differenzspannung  $U_{\phi 3}$  von Ausgangsspannung  $U_A$  und Eingangsspannung  $U_E$  in den Nulldurchgängen der Ausgangsspannung  $U_A$  verschwindet, und somit auch keine Stellgröße  $SG(f_r)$  für den ersten Regler R1 der Resonanzfrequenz  $f_r$  des ersten Bandpassfilter F1 ermittelt wird. Wie bereits erwähnt, wird der Abtastvorgang in den Nulldurchgängen von der negativen zur positiven Halbwelle der Ausgangsspannung  $U_A$  durchgeführt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass das Vorzeichen der Stellgröße am Ausgang des ersten Reglers an die Polarität des ermittelten Spannungswertes  $U_{\phi 3}$  angepasst wird.

**[0051]** In der Fig. 6 ist schließlich eine Darstellung einer Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Regelung der Amplitude der rekonstruierten Ausgangsspannung  $U_A$  zum Ausgleich der Verstärkertoleranz des ersten Bandpassfilters gezeigt. Wie bereits erwähnt wurde, wird die rekonstruierte Ausgangsspannung  $U_A$  des ersten Bandpassfilter F1 in der Regel eine im Vergleich zur Eingangsspannung  $U_E$  veränderte Amplitude aufweisen. Daher ist gemäß einer bevorzugten Ausführungsform vorgesehen, dass durch Bestimmung der abgetasteten Differenzspannung  $\Delta U_3$  von Ausgangsspannung  $U_A$  und Eingangsspannung  $U_E$  in den positiven Scheitelpunkten der Ausgangsspannung  $U_A$  eine Stellgröße  $SG(A)$  mithilfe eines zweiten Reglers R2 ermittelt wird, der die Verstärkung des ersten Bandpassfilters F1 so regelt, dass die abgetastete Differenzspannung  $\Delta U_3$  in den positiven Scheitelpunkten der Ausgangsspannung  $U_A$  verschwindet. Dadurch kann erreicht werden, dass die rekonstruierte Ausgangsspannung  $U_A$  in ihrer Amplitude der Eingangsspannung  $U_E$  entspricht. Hierzu wird zunächst die Differenzspannung  $\Delta U_1$  von Ausgangsspannung  $U_A$  und Eingangsspannung  $U_E$  ermittelt.

**[0052]** Die Bestimmung der abgetasteten Differenzspannung  $\Delta U_3$  von Ausgangsspannung  $U_A$  und Eingangsspannung  $U_E$  in den positiven Scheitelpunkten der Ausgangsspannung  $U_A$  erfolgt etwa mithilfe eines zweiten Abtast-Halte-Glieds 1', dessen Schaltelement S durch ein Schaltsignal  $U_{Pulse}'$  in den Scheitelpunkten der Ausgangsspannung  $U_A$  betätigt wird, und dem die einem dritten Bandpassfilter F3 unterworfenen Differenzspannung  $\Delta U_2$  von Ausgangsspannung  $U_A$  und Eingangsspannung  $U_E$  zugeführt wird.

**[0053]** Zur Betätigung des Schaltelements S' ist ein Schaltsignal  $U_{Pulse}'$  erforderlich, das etwa mithilfe einer Scheitelwerterkennung 4 und einem Mono-Flip-Flop 3', das z.B. Pulse mit einer Dauer, abhängig vom Kondensator C' und vom Typ des Abtast-Halte-Gliedes 1', liefert, ermittelt werden kann. Da das Schaltelement S' durch das Schaltsignal  $U_{Pulse}'$  in den positiven Scheitelpunkten der Ausgangsspannung  $U_A$  betätigt wird, wird somit die Differenzspannung  $\Delta U_3$  von Ausgangsspannung  $U_A$  und Eingangsspannung  $U_E$  in den positiven Scheitelpunkten der Ausgangsspannung  $U_A$  ermittelt. Der so ermittelte Spannungswert wird zur Ermittlung der Stellgröße  $SG(A)$  mithilfe des zweiten Reglers R2 für die Verstärkung des ersten Bandpassfilter F1 verwendet, indem er mit dem Sollwert  $\Delta U_3=0$  verglichen wird.

**[0054]** Die Resonanzfrequenz  $f_{r3}$  des dritten Bandpassfilter F3 wird wiederum so gewählt sein, dass sie eine um die Frequenz der zu rekonstruierenden Eingangsspannung  $U_E$  geeignet gewählte Bandbreite B aufweist, also etwa eine Bandbreite von 10 Hz bei einer Resonanzfrequenz von 50 Hz im Falle einer Netzspannung als Eingangsspannung  $U_E$ .

**[0055]** Die Fig. 7 zeigt eine Darstellung der Signalformen bei der Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens gemäß Fig. 6, wenn die Amplitude der Eingangsspannung  $U_E$  größer ist als die Amplitude der Ausgangsspannung  $U_A$ . Hierbei sind folgende Signalformen ersichtlich:

**[0056]** -) die Eingangsspannung  $U_E$ ,

**[0057]** -) die Ausgangsspannung  $U_A$  nach dem ersten Bandpassfilter F1,

**[0058]** -) das Signal  $U_S$  nach der Scheitelwerterkennung 4,

**[0059]** -) das Schaltsignal  $U_{Pulse}'$  nach dem Mono-Flip-Flop 3',

**[0060]** -) die Differenzspannung  $\Delta U_1$  von Ausgangsspannung  $U_A$  und Eingangsspannung  $U_E$ ,

**[0061]** -) die dem zweiten Bandpassfilter F2 unterworfenen Differenzspannung  $\Delta U_2$ , und

**[0062]** -) die abgetasteten Differenzspannung  $\Delta U_3$  von Ausgangsspannung  $U_A$  und Eingangs-

spannung  $U_E$  in den positiven Scheitelwerten der Ausgangsspannung  $U_A$ .

**[0063]** Die Ausgangsspannung  $U_A$  nach dem ersten Bandpassfilter F1 weist zunächst eine im Vergleich zur Eingangsspannung  $U_E$  unterschiedliche Amplitude auf. Der Scheitelwerterkennung 4 wird, wie auch der Fig. 6 entnommen werden kann, die Ausgangsspannung  $U_A$  zugeführt, wobei die Scheitelwerte der Ausgangsspannung  $U_A$  noch nicht jenen der Eingangsspannung  $U_E$  entsprechen. Anhand der Lage der positiven Scheitelwerte bei der Ausgangsspannung  $U_A$  wird das Schaltsignal  $U_{\text{Pulse}}$  ermittelt. Des Weiteren ist ersichtlich, dass die Differenzspannung  $\Delta U1$  von Ausgangsspannung  $U_A$  und Eingangsspannung  $U_E$  noch alle Störungen bzw. Oberwellen der Eingangsspannung  $U_E$  enthält, wobei die hochfrequenten Störungen nach Passieren des dritten Bandpassfilter F3 entfernt werden, und sich die dem dritten Bandpassfilter F3 unterworfenen Differenzspannung  $\Delta U2$  ergibt. Durch das Abtast-Halte-Glied 1' wird die Differenzspannung  $\Delta U3$  von Ausgangsspannung  $U_A$  und Eingangsspannung  $U_E$  in den positiven Scheitelwerten der Ausgangsspannung  $U_A$  ermittelt. Der so ermittelte abgetastete Spannungswert  $\Delta U3$  wird in weiterer Folge zur Ermittlung der Stellgröße  $SG(A)$  für den zweiten Regler R2 für die Verstärkung des ersten Bandpassfilter F1 verwendet, indem er mit dem Sollwert  $\Delta U3=0$  verglichen wird.

**[0064]** Die Fig. 8 zeigt schließlich eine Darstellung der Signalformen bei der Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens gemäß Fig. 6, wenn die Amplitude der Eingangsspannung  $U_E$  kleiner ist als die Amplitude der Ausgangsspannung  $U_A$ .

**[0065]** Wie bereits erwähnt, kann der Abtastvorgang auch in den negativen Scheitelwerten der Ausgangsspannung  $U_A$  durchgeführt werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass das Vorzeichen der Stellgröße am Ausgang des zweiten Reglers an die Polarität des ermittelten Spannungswertes  $\Delta U3$  angepasst werden muss.

**[0066]** Fig. 9 zeigt eine Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Regelung der Resonanzfrequenz  $f_r$  des ersten Bandpassfilters. Dabei ist ein zweiter Bandpassfilter F2 vorgesehen, welcher sowohl mit einem ersten Abtast-Halte-Glied 1 als auch einem zweiten Abtast-Halte-Glied 1' verbunden ist. Das erste Abtast-Halte-Glied 1 liefert die Differenzspannung  $U_{\phi 3}$  zwischen Ausgangsspannung  $U_A$  und Eingangsspannung  $U_E$  beim Nulldurchgang an den ersten Regler R1. Das zweite Abtast-Halte-Glied 1' liefert die Differenzspannung  $\Delta U3$  zwischen Ausgangsspannung  $U_A$  und Eingangsspannung  $U_E$  beim Scheitelpunkt an einen zweiten Regler R2.

**[0067]** Somit wird mithilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens aus einer störungsbehafteten Eingangsspannung  $U_E$  eine störungsreduzierte Ausgangsspannung  $U_A$  rekonstruiert, die in ihrer Frequenz, Phasenlage und Amplitude der Grundschiwingung  $U_G$  der Eingangsspannung  $U_E$  entspricht. Dabei wird auf externe Signalgeber verzichtet, aber dennoch ein möglichst einfacher Schaltungsaufbau erreicht.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Rekonstruktion eines störungsreduzierten Spannungssignals, das in seiner Frequenz, Amplitude und Phasenlage einer sinusförmigen, in Frequenz, Amplitude und/oder Phasenlage störungsbehafteten Eingangsspannung ( $U_E$ ) entspricht, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Eingangsspannung ( $U_E$ ) einem ersten Bandpassfilter (F1) mit regelbarer Resonanzfrequenz ( $f_r$ ) zugeführt wird, dessen Ausgangsspannung ( $U_A$ ) das störungsreduzierte Spannungssignal darstellt, wobei durch Bestimmung der abgetasteten Differenzspannung ( $U_{\phi 3}$ ) von Ausgangsspannung ( $U_A$ ) und Eingangsspannung ( $U_E$ ) in den Nulldurchgängen der Ausgangsspannung ( $U_A$ ) jeweils eine Stellgröße ( $SG(f_r)$ ) für einen ersten Regler (R1) ermittelt wird, der die Resonanzfrequenz ( $f_r$ ) des ersten Bandpassfilter (F1) so regelt, dass die abgetastete Differenzspannung ( $U_{\phi 3}$ ) in den Nulldurchgängen verschwindet.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Bestimmung der abgetasteten Differenzspannung ( $U_{\phi 3}$ ) von Ausgangsspannung ( $U_A$ ) und Eingangsspannung ( $U_E$ ) in den Nulldurchgängen der Ausgangsspannung ( $U_A$ ) mithilfe eines ersten Abtast-Halte-Glieds (1) erfolgt, dessen Schaltelement (S) durch ein Schaltsignal ( $U_{\text{Pulse}}$ ) in den Nulldurchgängen der Ausgangsspannung ( $U_A$ ) betätigt wird, und dem die einem zweiten Bandpassfilter (F2) unterworfenen Differenzspannung ( $U_{\phi 2}$ ) von Ausgangsspannung ( $U_A$ ) und Eingangsspannung ( $U_E$ ) zugeführt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Resonanzfrequenz ( $f_{r2}$ ) des zweiten Bandpassfilters (F2) durch die Stellgröße ( $SG(f_r)$ ) für die Resonanzfrequenz ( $f_r$ ) des ersten Bandpassfilters (F1) gesteuert wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass durch Bestimmung der abgetasteten Differenzspannung ( $\Delta U3$ ) von Ausgangsspannung ( $U_A$ ) und Eingangsspannung ( $U_E$ ) in den Scheitelpunkten der Ausgangsspannung ( $U_A$ ) eine Stellgröße ( $SG(A)$ ) für einen zweiten Regler (R2) ermittelt wird, der die Verstärkung des ersten Bandpassfilters (F1) so regelt, dass die abgetastete Differenzspannung ( $\Delta U3$ ) in den Scheitelpunkten der Ausgangsspannung ( $U_A$ ) verschwindet.
5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Bestimmung der abgetasteten Differenzspannung ( $\Delta U3$ ) von Ausgangsspannung ( $U_A$ ) und Eingangsspannung ( $U_E$ ) in den Scheitelpunkten der Ausgangsspannung ( $U_A$ ) mithilfe eines zweiten Abtast-Halte-Glieds (1') erfolgt, dessen Schaltelement (S') durch ein Schaltsignal ( $U_{\text{Pulse}}$ ) in den Scheitelpunkten der Ausgangsspannung ( $U_A$ ) betätigt wird, und dem die einem dritten Bandpassfilter (F3) unterworfenen Differenzspannung ( $\Delta U2$ ) von Ausgangsspannung ( $U_A$ ) und Eingangsspannung ( $U_E$ ) zugeführt wird.
6. Verfahren nach Anspruch 1 und 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Bestimmung der abgetasteten Differenzspannung ( $U_{\phi 3}$ ) von Ausgangsspannung ( $U_A$ ) und Eingangsspannung ( $U_E$ ) in den Nulldurchgängen der Ausgangsspannung ( $U_A$ ) mithilfe eines ersten Abtast-Halte-Glieds (1) erfolgt, dessen Schaltelement (S) durch ein Schaltsignal ( $U_{\text{Pulse}}$ ) in den Nulldurchgängen der Ausgangsspannung ( $U_A$ ) betätigt wird, und dem die einem zweiten Bandpassfilter (F2) unterworfenen Differenzspannung ( $U_{\phi 2}$ ) von Ausgangsspannung ( $U_A$ ) und Eingangsspannung ( $U_E$ ) zugeführt wird, und wobei die Bestimmung der abgetasteten Differenzspannung ( $\Delta U3$ ) von Ausgangsspannung ( $U_A$ ) und Eingangsspannung ( $U_E$ ) in den Scheitelpunkten der Ausgangsspannung ( $U_A$ ) mithilfe eines zweiten Abtast-Halte-Glieds (1') erfolgt, dessen Schaltelement (S') durch ein Schaltsignal ( $U_{\text{Pulse}}$ ) in den Scheitelpunkten der Ausgangsspannung ( $U_A$ ) betätigt wird, und dem die dem zweiten Bandpassfilter (F2) unterworfenen Differenzspannung ( $\Delta U2$ ) von Ausgangsspannung ( $U_A$ ) und Eingangsspannung ( $U_E$ ) zugeführt wird.

Hierzu 9 Blatt Zeichnungen

FIG 1

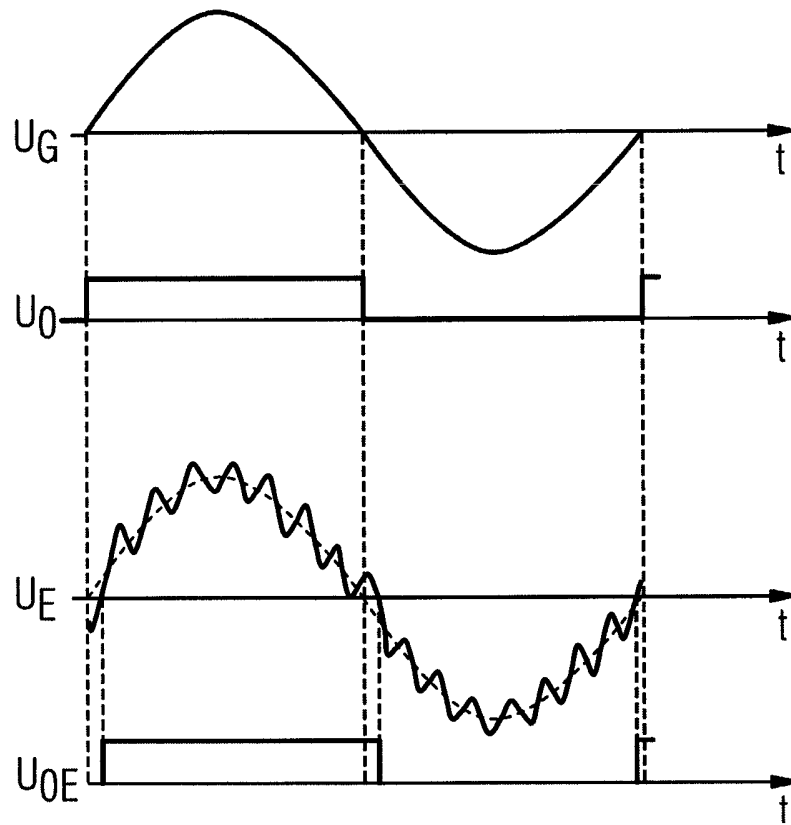


Fig. 2

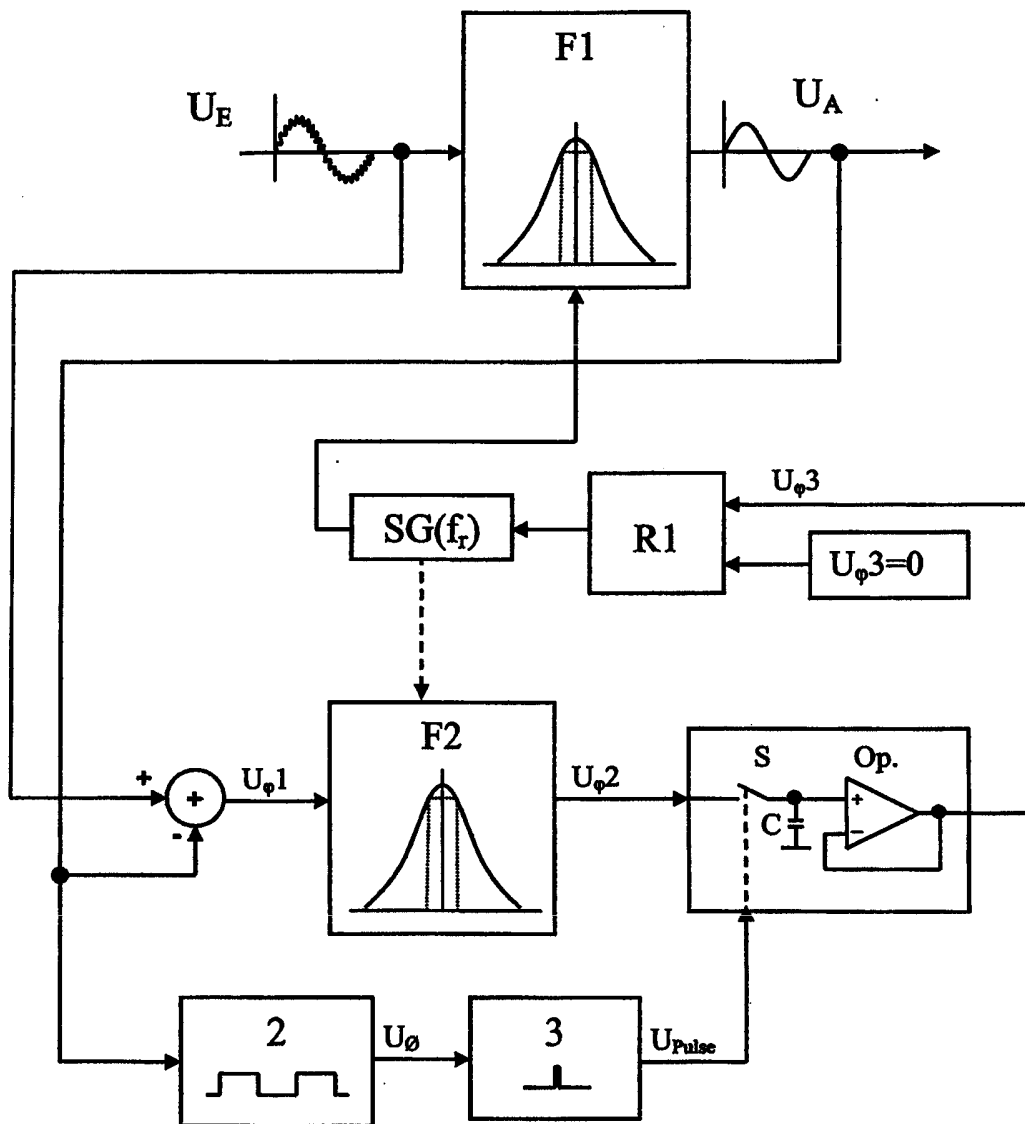


FIG 3

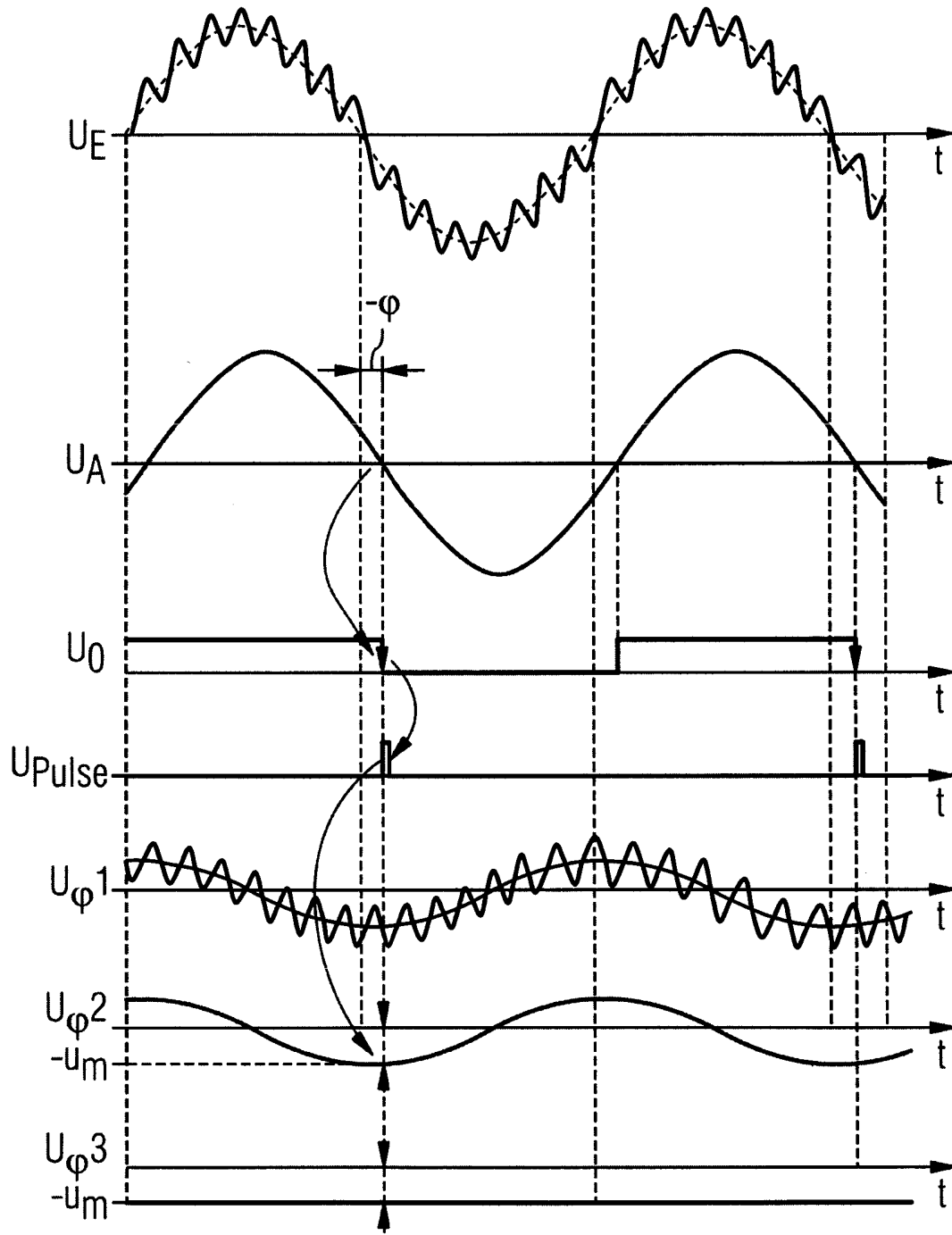


FIG 4

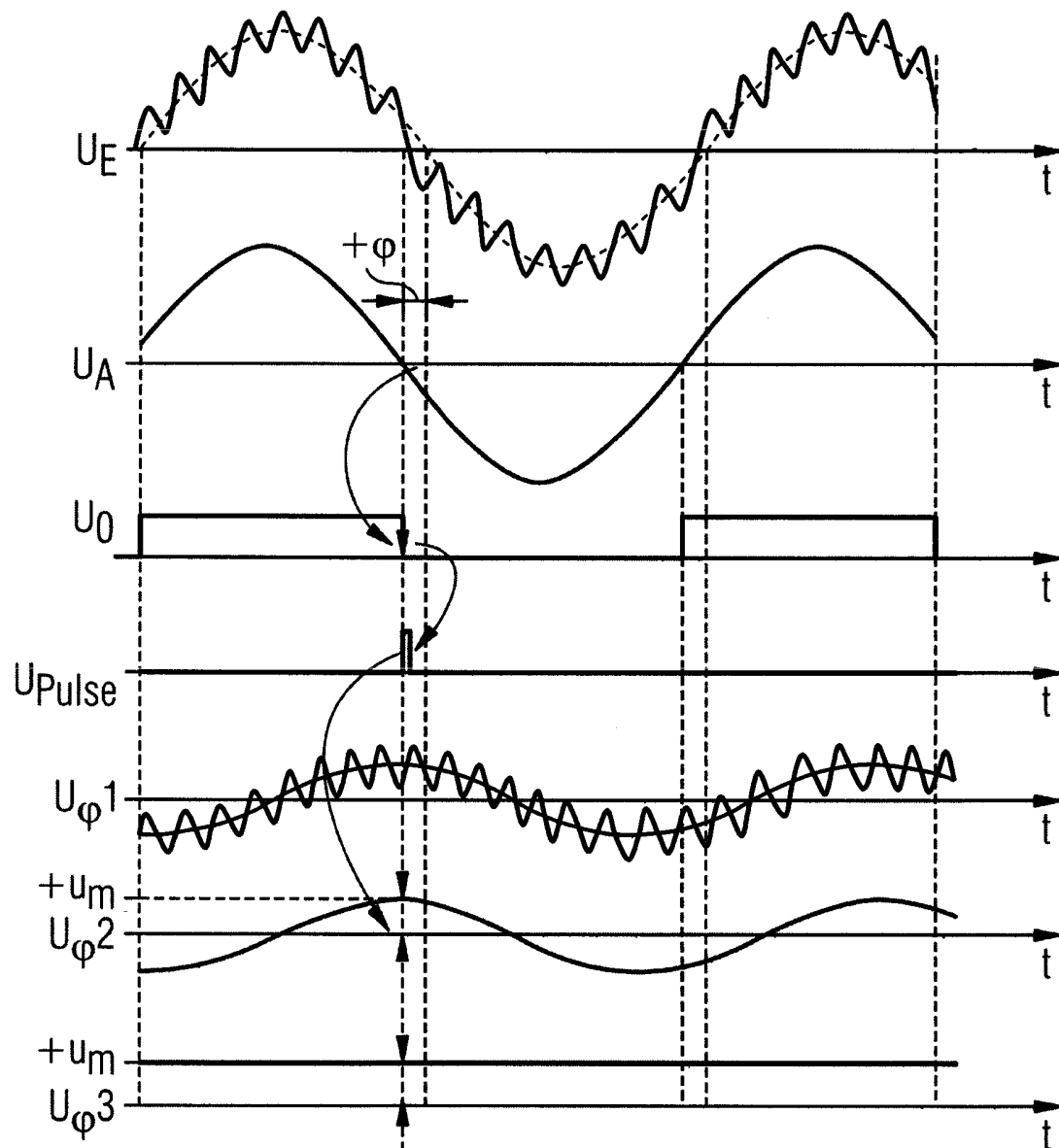


FIG 5

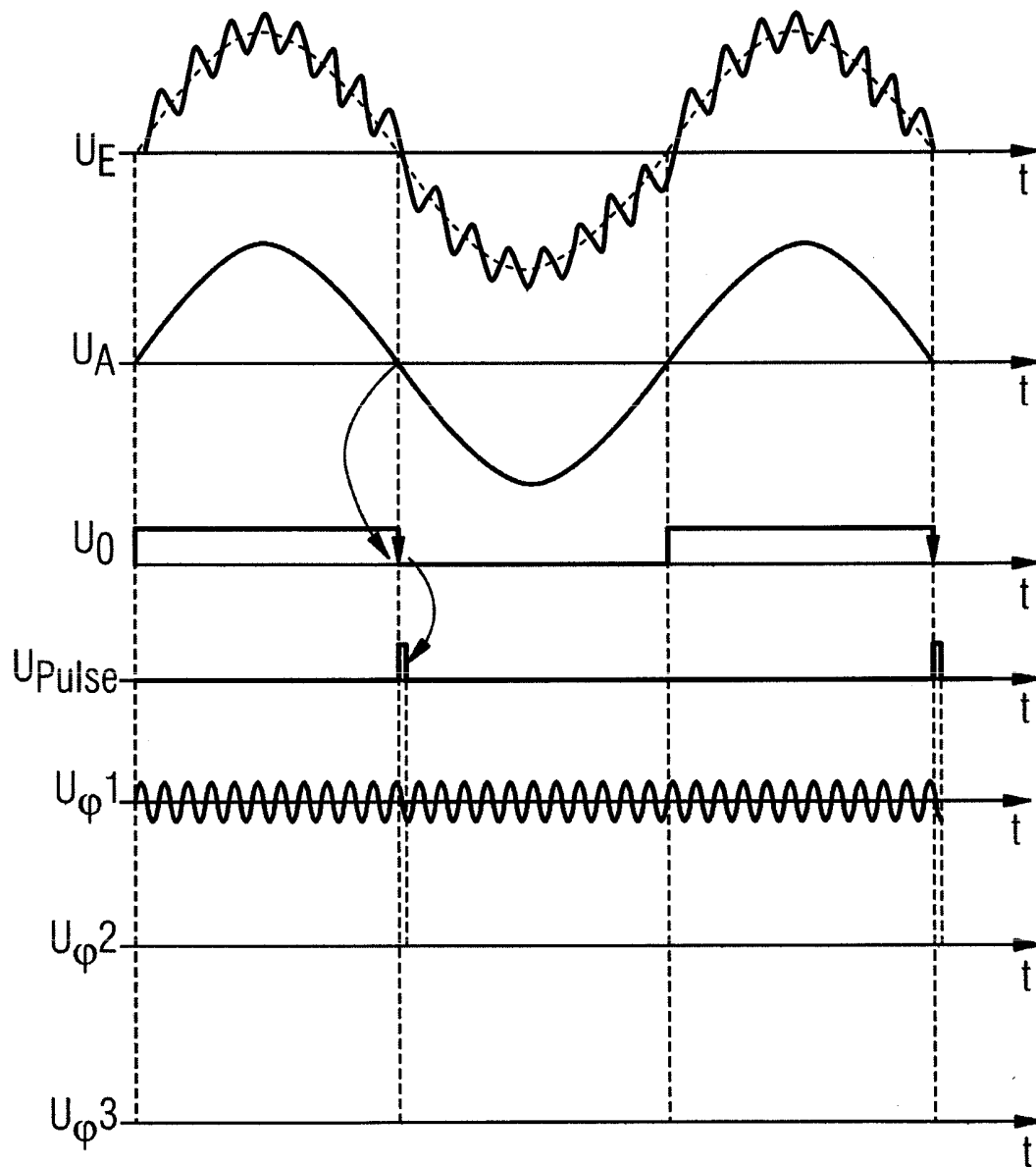


Fig. 6

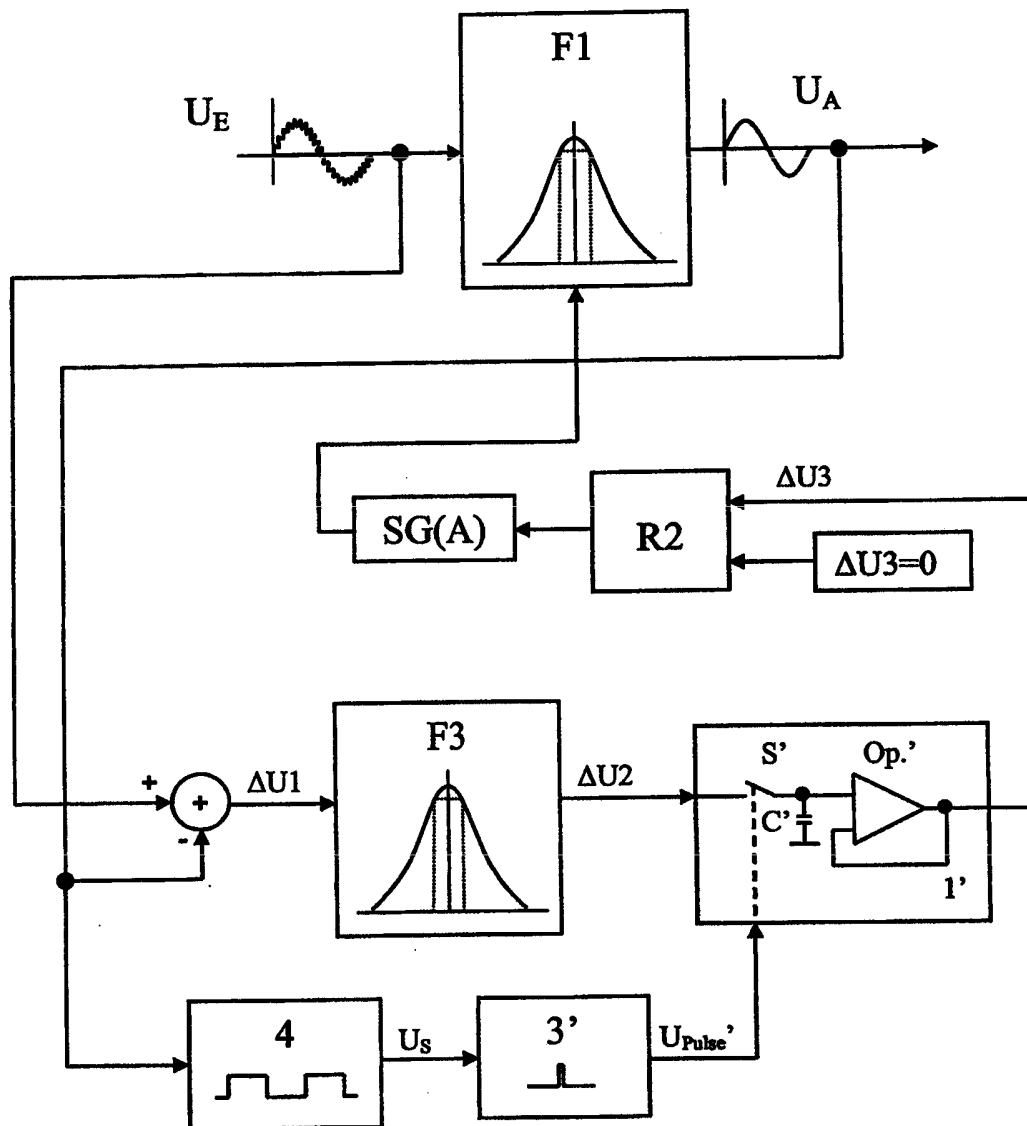


FIG 7

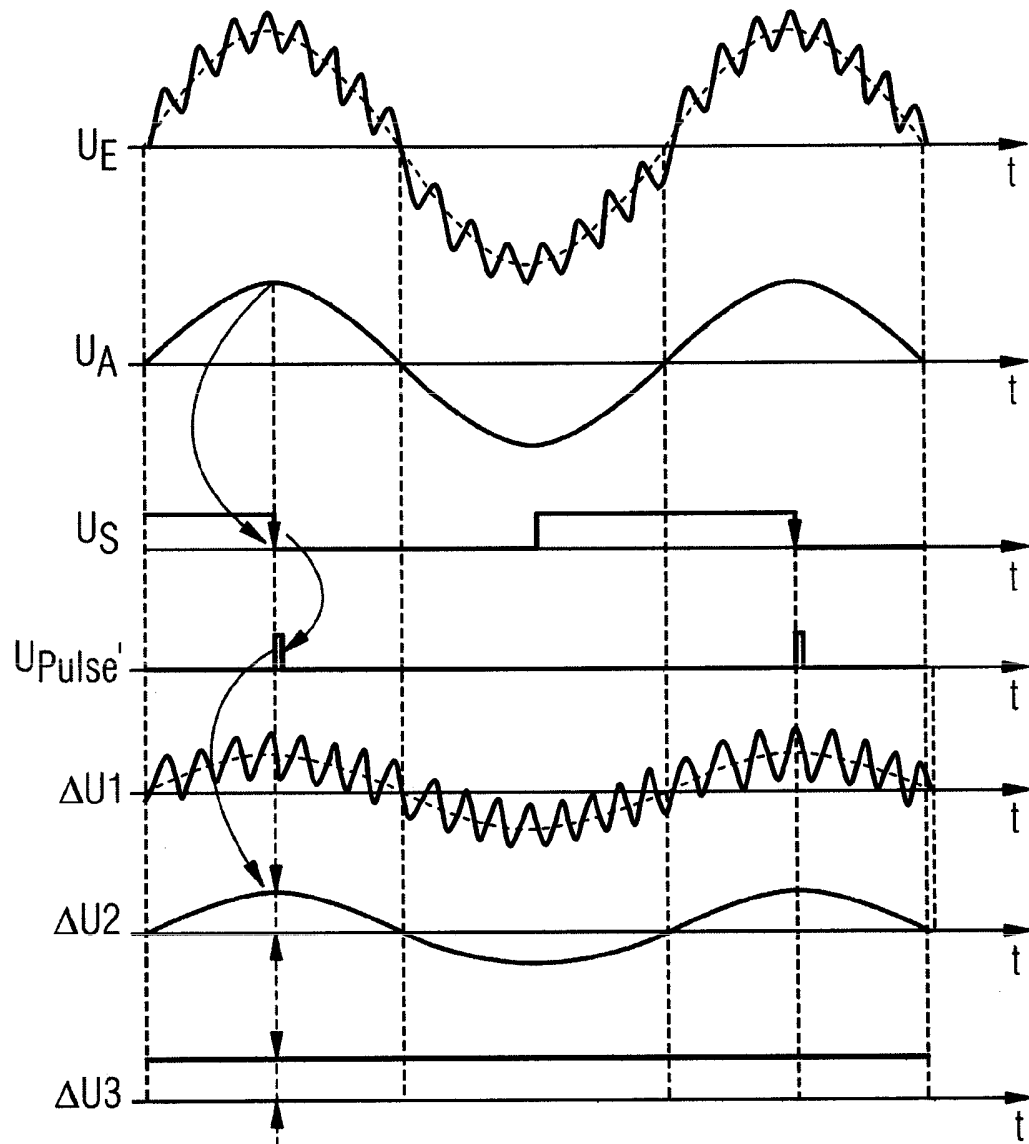


FIG 8

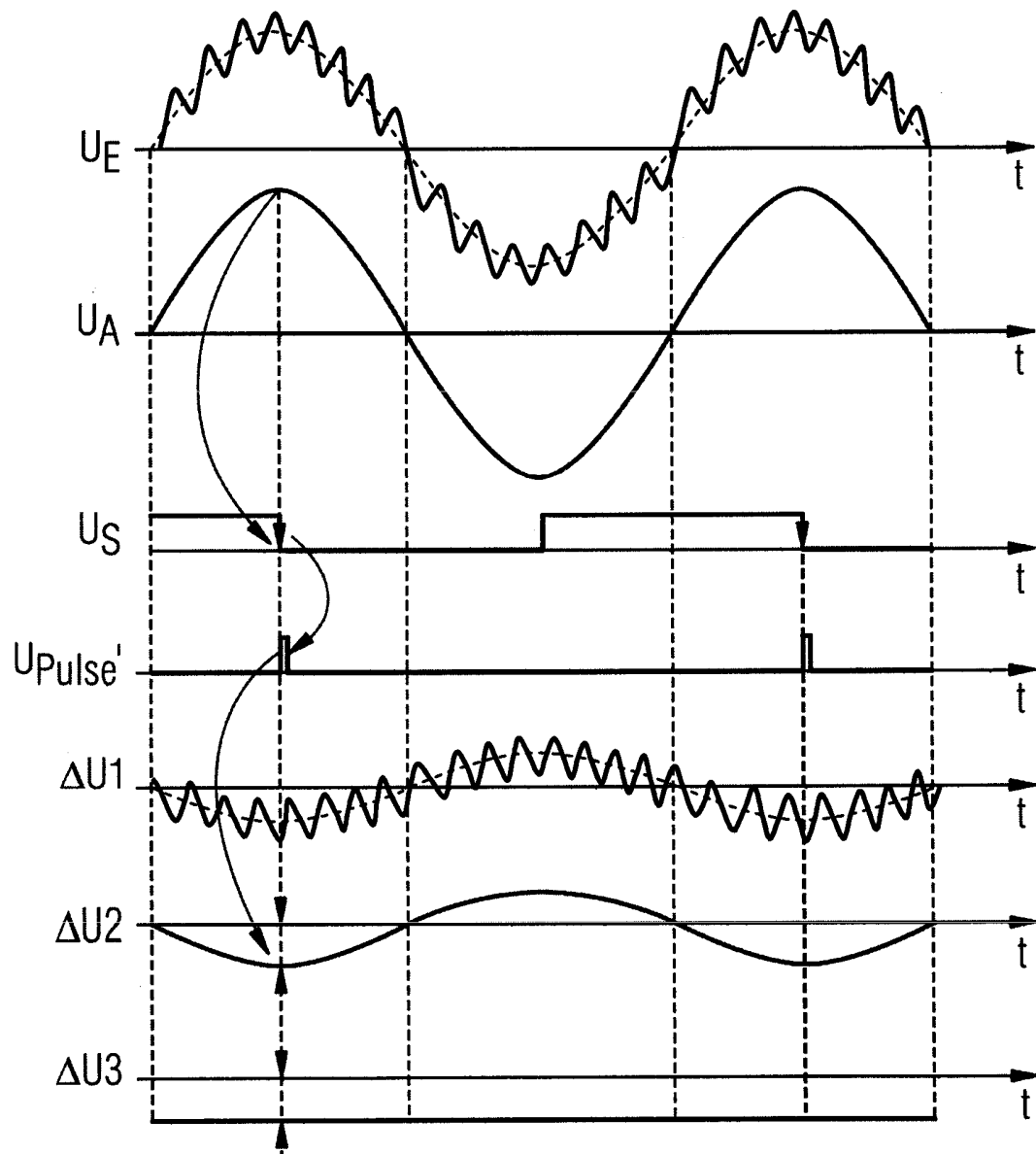


FIG 9

