

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50213/2022 (51) Int. Cl.: **H02H 1/04** (2006.01)
(22) Anmeldetag: 01.04.2022 **H01F 27/42** (2006.01)
(43) Veröffentlicht am: 15.05.2023 **G01R 15/18** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
EP 0882990 A2
WO 2008145694 A1
US 2005094344 A1
DE 19633856 C1

(71) Patentanmelder:
Sprecher Automation GmbH
4020 Linz (AT)

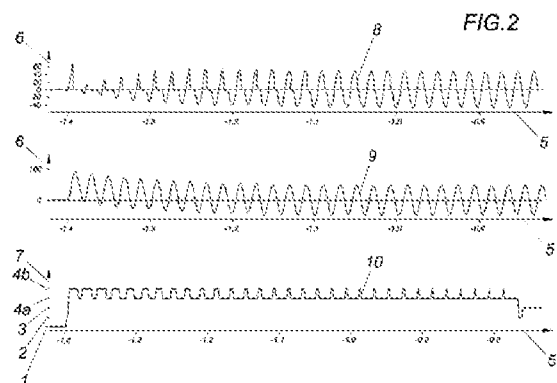
(72) Erfinder:
Tilmann Sult
12527 Berlin (DE)

(74) Vertreter:
Hübscher & Partner Patentanwälte GmbH
4020 Linz (AT)

(54) **Verfahren zur Sättigungsdetektion eines Stromwandlers**

(57) Es wird ein Verfahren zur Sättigungsdetektion eines Stromwandlers beschrieben, wobei das gewandelte Stromsignal zeitdiskret abgetastet und von einer Recheneinheit der Abtastwert je Zeitschritt in einem Messwertspeicher abgelegt, anhand mehrerer Abtastwerte die Modellparameter eines ein Wechsel- und ein exponentielles Gleichstromglied aufweisenden Signalmodells bestimmt und die Modellparameter in einem Parameterspeicher abgelegt werden. Um ein Verfahren der eingangs dargestellten Art so auszugestalten, dass trotz geringerem Ressourcenaufwand im Normalbetrieb die Fehleranfälligkeit einer Stromwandlersättigungsdetektion verringert wird, wird vorgeschlagen, dass in aufeinanderfolgenden Zeitschritten als Rechenparameter eine laufende Summe der Abtastwerte, der Effektivwert des Wechselstromglieds mit seinem Mittelwert und seiner Varianz, die Basis des exponentiellen Gleichstromglieds mit seinem Mittelwert und der Koeffizient des Gleichstromglieds mit seiner laufenden Summe bestimmt und ein Sättigungssignal ausgegeben wird, wenn der Mittelwert der Basis außerhalb eines Basisnormbereichs liegt, der Mittelwert des Effektivwerts über einem ersten

Nennstromgrenzwert liegt, die Varianz des Effektivwerts oberhalb einer Mindestvarianz liegt und das Vorzeichen des Abtastwerts mit dem Vorzeichen der laufenden Summe der Abtastwerte und der laufenden Summe der Koeffizienten des Gleichstromglieds übereinstimmt.



Zusammenfassung

Es wird ein Verfahren zur Sättigungsdetektion eines Stromwandlers beschrieben, wobei das gewandelte Stromsignal zeitdiskret abgetastet und von einer Recheneinheit der Abtastwert je Zeitschritt in einem Messwertspeicher abgelegt, anhand mehrerer Abtastwerte die Modellparameter eines ein Wechsel- und ein exponentielles Gleichstromglied aufweisenden Signalmodells bestimmt und die Modellparameter in einem Parameterspeicher abgelegt werden. Um ein Verfahren der eingangs dargestellten Art so auszugestalten, dass trotz geringerem Ressourcenaufwand im Normalbetrieb die Fehleranfälligkeit einer Stromwandlersättigungsdetektion verringert wird, wird vorgeschlagen, dass in aufeinanderfolgenden Zeitschritten als Rechenparameter eine laufende Summe der Abtastwerte, der Effektivwert des Wechselstromglieds mit seinem Mittelwert und seiner Varianz, die Basis des exponentiellen Gleichstromglieds mit seinem Mittelwert und der Koeffizient des Gleichstromglieds mit seiner laufenden Summe bestimmt und ein Sättigungssignal ausgegeben wird, wenn der Mittelwert der Basis außerhalb eines Basisnormbereichs liegt, der Mittelwert des Effektivwerts über einem ersten Nennstromgrenzwert liegt, die Varianz des Effektivwerts oberhalb einer Mindestvarianz liegt und das Vorzeichen des Abtastwerts mit dem Vorzeichen der laufenden Summe der Abtastwerte und der laufenden Summe der Koeffizienten des Gleichstromglieds übereinstimmt.

(Fig. 2)

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Sättigungsdetektion eines Stromwandlers wobei das gewandelte Stromsignal zeitdiskret abgetastet, von einer Recheneinheit der Abtastwert je Zeitschritt in einem Messwertspeicher abgelegt, anhand mehrerer Abtastwerte die Modellparameter eines ein Wechsel- und ein exponentielles Gleichstromglied aufweisenden Signalmodells bestimmt und die Modellparameter in einem Parameterspeicher abgelegt werden.

Wird ein Stromwandler mit zu hohem Eingangsstrom gespeist, geht das Material des Wandlerkerns in Sättigung und das Signal kann nicht mehr verzerrungsfrei in ein ausgehendes Stromsignal gewandelt werden. Aus dem Stand der Technik sind Verfahren bekannt, um eine solche Sättigung zu detektieren. Die WO2008145694A1 zeigt ein solches Verfahren, bei dem ein gewandeltes Stromsignal erfasst und überprüft wird, ob eine Störung durch Sättigung vorliegt. Ab Beginn der Sättigung werden aus den vorigen, ungestörten Messwerten Rechenparameter bestimmt und mit diesen ein ungesättigtes Extrapolationssignalmodell gebildet.

Nachteilig am Stand der Technik ist allerdings, dass zur Detektion einer Sättigung für jeden Zeitschritt zusätzlich ein aus einem zuvor berechneten, ungestörten Signalmodell extrapolierter, korrigierter Abtastwert errechnet werden muss, dessen Differenz mit dem momentanen Abtastwert mit einem weiteren Schwellenwert verglichen wird.

Der Erfindung liegt somit die Aufgabe zugrunde, trotz geringerem Ressourcenaufwand im Normalbetrieb die Fehleranfälligkeit einer Stromwandlersättigungsdetektion zu verringern.

Die Erfindung löst die gestellte Aufgabe dadurch, dass in aufeinanderfolgenden Zeitschritten als Rechenparameter eine laufende Summe der Abtastwerte, der Effektivwert des Wechselstromglieds mit seinem Mittelwert und seiner Varianz, die Basis des exponentiellen Gleichstromglieds mit seinem Mittelwert und der Koeffizient des Gleichstromglieds mit seiner laufenden Summe bestimmt und ein Sättigungssignal ausgegeben wird, wenn der Mittelwert der Basis des exponentiellen Gleichstromglieds außerhalb eines Basisnormbereichs liegt, der Mittelwert des Effektivwerts über einem ersten Nennstromgrenzwert liegt, die Varianz des Effektivwerts oberhalb einer Mindestvarianz liegt und das Vorzeichen des Abtastwerts mit dem Vorzeichen der laufenden Summe der Abtastwerte und der laufenden Summe der Koeffizienten des Gleichstromglieds übereinstimmt. Zuzufolge der erfindungsgemäßen Maßnahmen kann durch den Vergleich einfach zu bestimmender Rechenparameter mit entsprechenden Vorgabewerten rasch und zuverlässig der Eintritt einer Sättigung im Material des Stromwandlerkerns detektiert werden, ohne dass das abgetastete Stromsignal ressourcenintensiv extrapoliert werden müsste. Im Folgenden wird von einem üblichen Stromnetz mit einer Netzfrequenz von 50Hz ausgegangen, wobei das erfindungsgemäße Verfahren auch für andere Stromnetze bzw. Einsatzbereiche von Stromwandlern Anwendung finden kann. Die Abtastung des Stromsignals kann mit einer Frequenz von 1kHz erfolgen. Um den Ressourcenaufwand weiter zu reduzieren, können die Modellparameter nach einer vorgegebenen Anzahl von Zeitschritten aus dem Parameterspeicher gelöscht oder überschrieben werden. Darüber hinaus können auch die Rechenparameter für jeden Zeitschritt im Parameterspeicher abgelegt werden, sodass beispielsweise laufende Summen oder Mittelwerte effizient nur unter Berücksichtigung des letzten Zeitschritts ermittelt werden können. Als Signalmodell kann beispielsweise

$$x_n = A \sin(n\Delta) + B \cos(n\Delta) + C\alpha^n$$

verwendet werden, wobei $A \sin(n\Delta) + B \cos(n\Delta)$ das Wechselstromglied und $C\alpha^n$ das exponentielle Gleichstromglied bildet. Die Modellparameter sind somit im Wechselstromglied die Koeffizienten A und B und im Gleichstromglied der

Koeffizient C und die Basis α . n bezeichnet den Zeitschritt der Abtastung und Δ ist die Abtastschrittweite in Grad. Der Effektivwert des Wechselstromglieds ist durch

$$x_{eff} = \sqrt{\frac{A^2+B^2}{2}} \text{ gegeben.}$$

Versuche haben gezeigt, dass die Mindestvarianz für die Ausgabe eines Sättigungssignals beim 8,6-fachen der Varianz des Effektivwerts der vorangegangenen Zeitschritte liegen kann.

Empirische Untersuchungen haben gezeigt, dass der Basisnormbereich insbesondere für übliche Stromnetze zwischen 0,95 und 0,999, vorzugsweise 0,9 und 0,999 liegen kann. Dies entspricht einer Zeitkonstanten von ca. 20ms bis ca. 1s bzw. 9,5ms bis 1s, was typischen Netzkonstellationen einschließlich einem Puffer entspricht. Der erste Nennstromgrenzwert kann gemäß dieser Untersuchungen dem vierfachen des Nennstroms des Stromwandlers entsprechen. Die Mindestvarianz kann gemäß dieser Untersuchungen dem 8,6 - fachen der Varianz des Effektivwerts des Wechselstromglieds entsprechen.

Um den Ressourcenaufwand im laufenden Normalbetrieb weiter zu senken, können die Abtastwerte von der Recheneinheit auf eine transiente Signaländerung überwacht werden und die Modell- und Rechenparameter nur nach Eintritt einer transienten Signaländerung bestimmt werden. Diese Maßnahme geht auf die Überlegung zurück, dass eine Sättigung des Wandlerkernmaterials zu einem als Sättigungsstörung bezeichneten transienten Vorgang im ausgangseitigen Stromsignal führt. Für die Überwachung der Abtastwerte auf eine transiente Signaländerung kann beispielsweise ein Sprungdetektor eingesetzt werden.

Um trotz des Eintritts einer Sättigung im Wandlerkern mit geringem zusätzlichen Aufwand korrekte ausgangseitige Stromsignale ermitteln zu können, wird vorgeschlagen, dass ab Ausgabe des Sättigungssignals aus vor dem Beginn der Sättigung abgelegten Modellparametern jene Modellparameter ausgewählt werden, deren Effektivwert innerhalb einer Nennvarianz vom gemittelten Effektivwert des jeweiligen Zeitschritts liegt, von diesen Modellparametern der Mittelwert der Basis

des Gleichstromglieds bestimmt und aus den ausgewählten, auf einen Zeitschritt bezogenen Modellparametern unter Verwendung des Mittelwerts der Basis des Gleichstromglieds ein ungesättigtes Extrapolationssignalmodell bestimmt wird, mit Hilfe dessen korrigierte Abtastwerte ausgegeben werden. Aufgrund dessen können die bereits ermittelten Modellparameter weiterverwendet werden und müssen lediglich auf ihre Plausibilität geprüft werden. Sofern neben den Modellparametern auch die Rechenparameter im Parameterspeicher abgelegt werden, kann auch auf den bereits berechneten gemittelten Effektivwert des Wechselstromglieds des Signalmodells zurückgegriffen werden. Um trotz der zeitlichen Änderung des Stromsignals die ausgewählten Modellparameter zur Verbesserung der Modellqualität mitteln zu können, müssen die Modellparameter unterschiedlicher Zeitschritte auf einen Zeitschritt bezogen werden. Dies kann beispielsweise durch folgendes Verschieben um einen Zeitschritt erfolgen:

$$A' = A \cos(\Delta) - B \sin(\Delta)$$

$$B' = A \sin(\Delta) + B \cos(\Delta)$$

$$C' = C\alpha$$

Da sich α , also die Basis des exponentiellen Gleichstromglieds, bei jedem Zeitschritt aufgrund von Messungenauigkeiten bzw. Abweichungen zum Signalmodell ändert, wird daher der Mittelwert von α für obige Bestimmung von C' verwendet. Wurden alle Modellparameter unterschiedlicher Zeitschritte auf einen gemeinsamen Zeitschritt bezogen, kann für jeden der Modellparameter ein Mittelwert gebildet werden, wobei diese Mittelwerte in ein dem Signalmodell entsprechendes ungesättigtes Extrapolationssignalmodell eingesetzt werden. Empirische Untersuchungen haben gezeigt, dass die Nennvarianz dem Doppelten, vorzugsweise dem Fünffachen der Wurzel der Varianz des Effektivwerts entspricht. Für die Auswahl und Mittelwertbildung der Modellparameter für das Extrapolationssignalmodell können die abgespeicherten Modellparameter und

gegebenenfalls Rechenparameter der sechzehn Zeitschritte vor Ausgabe des Sättigungssignals herangezogen werden.

Aufgrund der Störungsanfälligkeit des Extrapolationssignalmodells können nur dann korrigierte Abtastwerte ausgegeben werden, wenn der berechnete Koeffizient des Gleichstromglieds des Extrapolationssignalmodells innerhalb eines Effektivnormbereichs liegt, der Effektivwert des Extrapolationssignalmodells größer als ein zweiter Nennstromgrenzwert ist, der korrigierte Abtastwerte größer oder gleich einem korrigierten Abtastgrenzwert ist und das Vorzeichen des korrigierten Abtastwerts dem Vorzeichen der laufenden Summe des Koeffizienten des Gleichstromglieds entspricht. Obwohl die zuvor festgelegten Vorgabewerte für die Detektion einer Sättigung ausreichen, können diese dennoch zu einem Extrapolationssignalmodell führen, das keine zuverlässigen korrigierten Abtastwerte liefert. Die Ausgabe korrigierter Abtastwerte kann daher unterdrückt werden, wenn das Extrapolationssignalmodell nicht empirisch bestimmten Vorgabewerten entspricht. So kann der Effektivnormbereich beispielsweise 5% bis 150% des gemittelten Effektivwerts des Wechselstromglieds des Extrapolationsmodells entsprechen. Der zweite Nennstromgrenzwert kann beispielsweise dem 3,6 – fachen des Nennstroms des Stromwandlers entsprechen. Der Abtastgrenzwert kann beispielsweise dem 0,9 – fachen des nicht korrigierten Abtastwerts des aktuellen Zeitschritts entsprechen. In einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird überprüft, wie stark die Modellparameter mit den Abtastwerten korrelieren. Dazu werden aus den Modellparametern nach dem Beginn der Sättigung weitere Modellparameter für Zeitschritte vor der Sättigung bestimmt und diese weiteren Modellparameter mit den Abtastwerten des jeweiligen Zeitschritts verglichen. Um mit den Modellparametern eines Zeitschritts die Modellparameter des diesem Zeitschritt vorhergehenden Zeitschritts zu bestimmen, kann wie folgt umgeformt werden:

$$A'' = A \cos(\Delta) + B \sin(\Delta)$$

$$B'' = -A \sin(\Delta) + B \cos(\Delta)$$

$$C'' = \frac{C}{\alpha}$$

Der vorherige modellierte Abtastwert ergibt sich dann zu

$$x'' = B'' + C''$$

Nun werden die absoluten Differenzen zwischen vorherigen modellierten Abtastwerten und den Abtastwerten des jeweiligen Zeitschritts bestimmt und gemittelt. Wenn dieser Mittelwert der Differenzen um weniger als das 0,2-fache des Effektivwerts vom Effektivwert abweicht, korrelieren die Modellparameter ausreichend stark mit den Abtastwerten. Ist dies nicht der Fall, wird so verfahren, als ob die Varianz des Effektivwerts nicht oberhalb der Mindestvarianz liegt und keine Sättigung vorliegen würde.

Da eine Sättigung des Wandlerkerns nur im Bereich der Maximalwerte der Amplituden des Stromsignals auftritt, kann früher auf tatsächliche Abtastwerte zurückgegriffen werden, wenn eine vorgegebene Zeitspanne nach dem Vorzeichenwechsel des korrigierten Abtastwerts das Sättigungssignal unterdrückt wird. Für übliche Stromnetze mit einer Netzfrequenz von 50Hz kann die vorgegebene Zeitspanne 2ms betragen. Das Sättigungssignal kann dabei so lange unterdrückt werden, solange bei positiver laufender Summe des Koeffizienten des Gleichstromglieds des Extrapolationssignalmodells der korrigierte Abtastwert kleiner wird und bei negativer laufender Summe des Koeffizienten des Gleichstromglieds des Extrapolationssignalmodells der korrigierte Abtastwert größer wird. Da es bei der Bestimmung des Zeitpunkts des Vorzeichenwechsels aufgrund etwaiger Unsicherheiten des Modells zu Ungenauigkeiten kommen kann, kann anhand der vorgegebenen Zeitspanne ermöglicht werden, dass das Sättigungssignal ausreichend lange unterdrückt wird. Weiters dient die vorgegebene Zeitspanne dazu, dass Nichtlinearitäten der Magnetisierung des Stromwandlers, die zum Zeitpunkt des Wechsels des Vorzeichens des korrigierten Abtastwertes auftreten, nicht berücksichtigt werden.

Um eine wiederkehrende Sättigung zu detektieren, kann bei Ausgabe des Sättigungssignals die Normdifferenz aus dem korrigierten Abtastwert und dem Abtastwert bestimmt und für nachfolgende Zeitschritte aus dem betragsmäßigen Verhältnis aus der um die Normdifferenz erhöhten Differenz aus dem korrigierten Abtastwert und dem Abtastwert des Zeitschritts zum Mittelwert des Effektivwerts des Signalmodells eine Kenngröße ermittelt und das Sättigungssignal ausgegeben werden, wenn die Kenngröße eine Kenngrößenschwelle übersteigt.

Ist die Kenngröße unterhalb der Kenngrößenschwelle, so kann die Normdifferenz aus dem korrigierten Abtastwert und dem nicht korrigierten Abtastwert des aktuellen Zeitschritts neu bestimmt werden. Die Kenngrößenschwelle kann 0,03 betragen.

In der Zeichnung ist der Erfindungsgegenstand beispielsweise dargestellt. Es zeigen

Fig. 1 ein schematisches Zustandsdiagramm zur Erläuterung des erfindungsgemäßen Verfahrens und

Fig. 2 den ausgangseitigen Stromverlauf anhand der erfassten, nicht korrigierten Abtastwerte, die ausgegebenen, korrigierten Abtastwerte und den aktuellen Zustand entsprechend dem Zustandsdiagramm der Fig. 1.

Ein erfindungsgemäßes Verfahren beginnt zunächst im Zustand keiner Sättigung 1, in dem laufend das gewandelte Stromsignal eines Stromwandlers zeitdiskret abgetastet wird. Sobald eine transiente Signaländerung detektiert wird, wechselt das Verfahren in den Zustand eines transienten Vorgangs 2 in dem eine vorgegebene Anzahl von Abtastwerten des gewandelten Stromsignals in einem Messwertspeicher abgelegt wird. Bei einem verwendeten Signalmodell mit vier Modellparametern kann die vorgegebene Anzahl vier betragen, damit die Modellparameter eindeutig bestimmt werden können.

Liegen alle erforderlichen Abtastwerte im Messwertspeicher vor, erfolgt im Zustand der Sättigungsdetektion 3 die Bestimmung von Rechenparametern, nämlich der laufenden Summe der Abtastwerte, dem Effektivwert des Wechselstromglieds mit seinem Mittelwert und seiner Varianz, der Basis des exponentiellen

Gleichstromglieds mit seinem Mittelwert und dem Koeffizienten des Gleichstromglieds mit seiner laufenden Summe. Für den Fall, dass der Mittelwert der Basis außerhalb eines Basisnormbereichs liegt, der Mittelwert des Effektivwerts über einem ersten Nennstromgrenzwert liegt, die Varianz des Effektivwerts oberhalb einer Mindestvarianz liegt und das Vorzeichen des Abtastwerts mit dem Vorzeichen der laufenden Summe der Abtastwerte und der laufenden Summe der Koeffizienten des Gleichstromglieds übereinstimmt, wird ein Sättigungssignal ausgegeben und ein erfindungsgemäßes Verfahren kann in den Zustand der Extrapolation 4 wechseln.

Sind die Bedingungen für die Ausgabe eines Sättigungssignals nicht erfüllt, aber liegt eine transiente Signaländerung weiterhin vor, so kann zurück in den Zustand des transienten Vorgangs 2 gewechselt werden. Wird auch keine transiente Signaländerung detektiert, so kann zurück in den Zustand keine Sättigung 1 gewechselt werden.

In einer bevorzugten Ausführungsform können die Rechenparameter bereits während des Zustands des transienten Vorgangs 2 bestimmt werden.

Im Zustand der Extrapolation 4 werden ab Ausgabe des Sättigungssignals aus vor dem Beginn der Sättigung abgelegten Modellparametern jene Modellparameter ausgewählt, deren Effektivwert innerhalb einer Nennvarianz vom gemittelten Effektivwert des jeweiligen Zeitschritts liegt und aus den ausgewählten, auf einen Zeitschritt bezogenen gemittelten Modellparametern ein ungesättigtes Extrapolationssignalmodell bestimmt, mit Hilfe dessen korrigierte Abtastwerte ausgegeben werden.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform können nur dann korrigierte Abtastwerte ausgegeben werden, wenn der berechnete Koeffizient des Gleichstromglieds des Extrapolationssignalmodells innerhalb eines Effektivnormbereichs liegt, der Effektivwert des Extrapolationssignalmodells größer als ein zweiter Nennstromgrenzwert ist, der korrigierte Abtastwerte größer oder gleich einem korrigierten Abtastgrenzwert ist und das Vorzeichen des korrigierten

Abtastwerts dem Vorzeichen der laufenden Summe des Koeffizienten des Gleichstromglieds entspricht.

Aus dem Zustand der Extrapolation 4 kann wieder in den Zustand des transienten Vorgangs 2 gewechselt werden, sofern innerhalb einer Periode des ausgangseitigen Stromsignals keine Sättigung mehr detektiert wird.

In der Fig. 2 ist in drei Diagrammen, die jeweils eine Zeitachse 5 in Sekunden und eine Wertachse 6 für die Stromstärke in Ampere sowie eine Wertachse 7 für den Zustand aufweisen, der zeitliche Verlauf einer Sättigung eines Stromwandlers dargestellt. Während die nicht korrigierten Abtastwerte 8 deutlich sättigungsbedingte Signalsprünge aufweisen, zeigen die korrigierten Abtastwerte 9 einen ungestörten sinusförmigen Stromverlauf. Der zeitliche Verlauf der Zustände 10 zeigt einen Wechsel zwischen dem Zustand keiner Sättigung 1, dem Zustand eines transienten Vorgangs 2, dem Zustand der Sättigungsdetektion 3 und dem Wechsel zwischen dem Zustand einer Extrapolation ohne Sättigung 4a und einer Extrapolation mit Sättigung 4b.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Sättigungsdetektion eines Stromwandlers wobei das gewandelte Stromsignal zeitdiskret abgetastet und von einer Recheneinheit der Abtastwert je Zeitschritt in einem Messwertspeicher abgelegt, anhand mehrerer Abtastwerte die Modellparameter eines ein Wechsel- und ein exponentielles Gleichstromglied aufweisenden Signalmodells bestimmt und die Modellparameter in einem Parameterspeicher abgelegt werden, dadurch gekennzeichnet, dass in aufeinanderfolgenden Zeitschritten als Rechenparameter eine laufende Summe der Abtastwerte, der Effektivwert des Wechselstromglieds mit seinem Mittelwert und seiner Varianz, die Basis des exponentiellen Gleichstromglieds mit seinem Mittelwert und der Koeffizient des Gleichstromglieds mit seiner laufenden Summe bestimmt und ein Sättigungssignal ausgegeben wird, wenn der Mittelwert der Basis außerhalb eines Basisnormbereichs liegt, der Mittelwert des Effektivwerts über einem ersten Nennstromgrenzwert liegt, die Varianz des Effektivwerts oberhalb einer Mindestvarianz liegt und das Vorzeichen des Abtastwerts mit dem Vorzeichen der laufenden Summe der Abtastwerte und der laufenden Summe der Koeffizienten des Gleichstromglieds übereinstimmt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Abtastwerte von der Recheneinheit auf eine transiente Signaländerung überwacht werden und die Modell- und Rechenparameter nur nach Eintritt einer transienten Signaländerung bestimmt werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass ab Ausgabe des Sättigungssignals aus vor dem Beginn der Sättigung abgelegten Modellparametern jene Modellparameter ausgewählt werden, deren Effektivwert innerhalb einer Nennvarianz vom gemittelten Effektivwert des jeweiligen Zeitschritts

liegt, von diesen Modellparametern der Mittelwert der Basis des Gleichstromglieds bestimmt und aus den ausgewählten, auf einen Zeitschritt bezogenen Modellparametern unter Verwendung des Mittelwerts der Basis des Gleichstromglieds ein ungesättigtes Extrapolationssignalmodell bestimmt wird, mit Hilfe dessen korrigierte Abtastwerte ausgegeben werden.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass nur dann korrigierte Abtastwerte ausgegeben werden, wenn der berechnete Koeffizient des Gleichstromglieds des Extrapolationssignalmodells innerhalb eines Effektivnormbereichs liegt, der Effektivwert des Extrapolationssignalmodells größer als ein zweiter Nennstromgrenzwert ist, der korrigierte Abtastwerte größer oder gleich einem korrigierten Abtastgrenzwert ist und das Vorzeichen des korrigierten Abtastwerts dem Vorzeichen der laufenden Summe des Koeffizienten des Gleichstromglieds entspricht.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass eine vorgegebene Zeitspanne nach dem Vorzeichenwechsel des korrigierten Abtastwerts das Sättigungssignal unterdrückt wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 5, wobei bei Ausgabe des Sättigungssignals die Normdifferenz aus dem korrigierten Abtastwert und dem Abtastwert bestimmt und für nachfolgende Zeitschritte aus dem betragsmäßigen Verhältnis aus der um die Normdifferenz erhöhten Differenz aus dem korrigierten Abtastwert und dem Abtastwert des Zeitschritts zum Mittelwert des Effektivwerts des Signalmodells eine Kenngröße ermittelt und das Sättigungssignal ausgegeben wird, wenn die Kenngröße eine Kenngrößenschwelle übersteigt.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass bei einem Unterschreiten der Kenngröße unter die Kenngrößenschwelle die Normdifferenz aus dem korrigierten Abtastwert und dem nicht korrigierten Abtastwert des aktuellen Zeitschritts neu bestimmt wird.

FIG.1

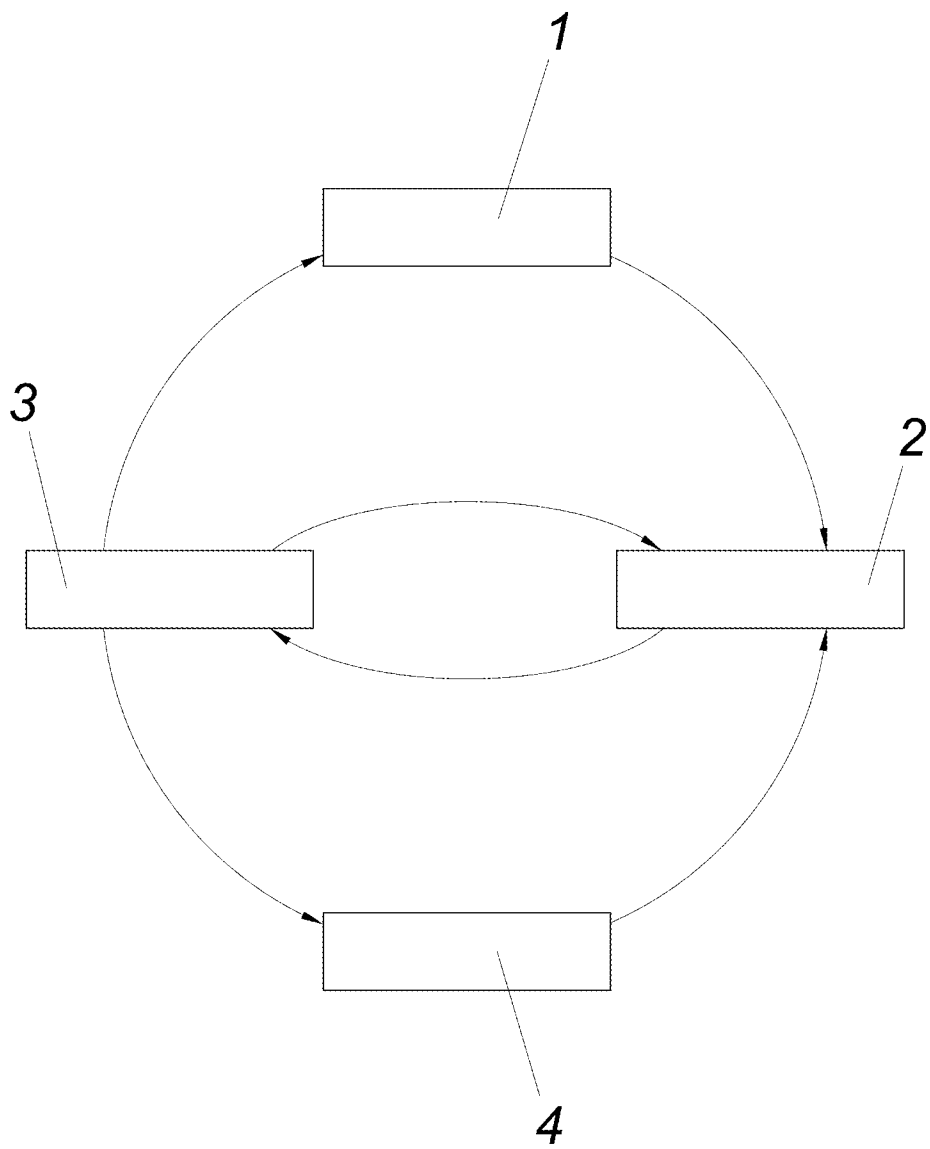


FIG. 2

