

SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 698 128 B1

(51) Int. Cl.: H03K 3/53 (2006.01)

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 00338/05

(22) Anmeldedatum: 25.02.2005

(30) Priorität: 27.02.2004
DE 10 2004 0 10 692.4

(24) Patent erteilt: 29.05.2009

(45) Patentschrift veröffentlicht: 29.05.2009

(73) Inhaber:
Teseq Holding AG c/o Hans-Rudolf Wild, Dammstrasse 19
6300 Zug (CH)

(72) Erfinder:
Alexander Rosha, 97877 Wertheim (DE)

(74) Vertreter:
Patentanwälte Schaad, Balass, Menzl & Partner AG,
Dufourstrasse 101
8034 Zürich (CH)

(54) Verfahren, Vorrichtung und Schaltungsanordnung zur Nachbildung von Leitungstransienten mittels lastgekoppelter Signalerzeugung.

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren, eine Vorrichtung und eine Schaltungsanordnung zur Nachbildung von Leitungstransienten mittels lastgekoppelter Signalerzeugung.

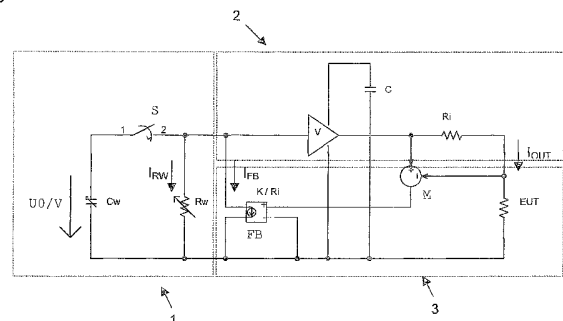
Dazu weist eine erfindungsgemässe Vorrichtung zur Erzeugung pulsformiger Spannungssignale ein Mittel zur leistungslosen Generierung eines Pulssignals, ein mit dem Pulssignal beaufschlagtes Leistungsteil, ein mit dem Ausgang des Leistungsteils beaufschlagtes Mittel zur Rückkopplung auf das Mittel zur leistungslosen Pulssignalgenerierung sowie ein Mittel zum Anschluss einer Last auf.

Die erfindungsgemässe Variante eines Pulsgenerators erzeugt ein Referenzsignal für den Puls elektronisch leistungslos und steuert den Leistungsteil, der das gewünschte Pulssignal an seinem Ausgang bereitstellt. Dabei wird über eine Rückkopplung des Ausgangsstroms der Vorrichtung auf die Referenzsignalgenerierung die Signalform der Pulse lastabhängig variiert.

Das erfindungsgemässe Verfahren zur Erzeugung pulsformiger Spannungssignale, umfasst die folgenden Schritte: Die leistungslose Erzeugung eines Pulssignals durch ein Mittel zur Pulssignalgenerierung, die Verstärkung des Pulssignals durch ein Leistungsteil sowie die lastabhängige Variation der Pulsbreite des Pulssignals durch eine Rückkopplung auf das Mittel zur leistungslosen Pulssignalgenerierung.

Die erfindungsgemässe Schaltungsanordnung zur Simulation pulsformiger Spannungssignale weist ein Mittel zur leistungs-

ungslosen Generierung eines Pulssignals auf, welches mit einer Reihenschaltung eines Leistungsteils, eines durch den Ausgangsstrom des Leistungsteils gesteuerten Mittels zur Rückkopplung und eines Mittels zum Anschluss einer Last parallel geschaltet ist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren, eine Vorrichtung und eine Schaltungsanordnung zur Nachbildung von Leitungstransienten mittels lastgekoppelter Signalerzeugung mit den im Oberbegriff der Ansprüche 1, 12 und 18 und genannten Merkmalen.

[0002] Die Zahl der elektrischen oder elektronischen Produkte im täglichen Umfeld nimmt stetig zu. Jedes dieser Produkte hat jedoch unerwünschte Eigenschaften. Es werden ungewollt elektromagnetische Störungen ausgesendet und es besteht die Möglichkeit der Beeinträchtigung der Funktion oder gar der Beschädigung des Geräts durch von aussen einwirkende elektromagnetische Störungen.

[0003] Die Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) ist die Fähigkeit einer elektrischen Einrichtung, in ihrer elektromagnetischen Umgebung zufriedenstellend zu funktionieren, ohne diese Umgebung, zu der auch andere Einrichtungen gehören, unzulässig zu beeinflussen. Die EMV ist ein wesentliches Qualitätsmerkmal eines jeden Produktes. Elektromagnetische Beeinflussungen können zu Funktionsstörungen von elektrischen Geräten und Systemen, z.B. Auto, Bahn, Flugzeug und Schiff, führen.

[0004] Leitungstransienten sind pulsformige Überspannungen, die bei Schaltvorgängen vor allem auf Versorgungsnetzen wie Niederspannungsnetzen oder Kraftfahrzeug-Bordnetzen vorkommen. Es ist daher Bestandteil jeder EMV-Prüfung eines Gerätes, welches an derartigen Versorgungsnetzen betrieben wird, die Unempfindlichkeit gegenüber Transienten nachzuweisen. Transiente Überspannungen sind gekennzeichnet durch die Form des Spannungsverlaufes, die Spitzenspannung, die Anstiegszeit, den Quellwiderstand sowie die Breite des Spannungspulses. In einer Vielzahl von EMV-Normen ist eine breitgefächerte Vielfalt von derartigen Störpulsen definiert. Im Bereich des Niederspannungsnetzes sind die in EN 61000-4-x (x=1, 2, ...) beschriebenen Prüfungen für viele Geräteklassen vorgeschrieben, im Automobilbereich stellt ISO7637 eine grundlegende Norm dar. In den Normen unterscheidet man im Wesentlichen Burst, Surge und Load dump Pulse, die alle durch einen exponentiellen Verlauf gekennzeichnet sind.

[0005] Die einschlägigen Normen verlangen vor der Durchführung eines EMV-Tests die Kalibrierung der Pulse. Die Grössen Anstiegszeit, Pulsbreite, Spitzenspannung werden mittels Oszilloskop am unbelasteten Pulsgenerator direkt gemessen. Der Energiegehalt des Pulses kann nicht direkt bestimmt werden. Er wird durch die Normen in Form der Angabe der Pulsbreite bei angepasster Last (Innenwiderstand = Lastwiderstand) angegeben. Der Energieinhalt wird also indirekt kalibriert, indem die Pulsbreite bei angepasster Last vermessen wird.

[0006] Neben vielen internationalen und nationalen Standards (ISO, SAE, JASO), die sich mit elektrischen Störungen auf Leitungen befassen und als Grundlage für Prüfvorschriften von Herstellern verwendet werden können, verfassen diese, insbesondere in der Automobilindustrie, oft eigene Prüfspezifikationen, die in vielen Bereichen von den existierenden Standards abweichen. Die Änderungen machen es erforderlich, die Störungserzeugung flexibel zu gestalten.

[0007] Aus dem Stand der Technik ist die Verwendung von passiven Netzwerken zur Erzeugung von Störpulsen für EMV-Tests bekannt. Die Pulserzeugung basiert auf der gesteuerten Auf- und/oder Entladung eines Kondensators. Der Kondensator wird dabei über einen Widerstand entladen. Es entsteht am Ausgang bzw. am sogenannten «Equipment under Test» (EUT) ein exponentieller Spannungsverlauf entsprechend des Entladevorgangs des Kondensators.

[0008] Abhängig vom EUT ergibt sich für jeden Lastfall eine unterschiedliche Zeitkonstante bzw. Pulsbreite und daraus die Dimensionierung der Kondensator- und Widerstandskomponenten des Netzwerks.

[0009] Dieses Grundprinzip ist für alle Typen von exponentiellen Pulsen anwendbar. Durch dezidierte Schaltertechnik können Anstiegszeiten bis hinunter in den Bereich von Nanosekunden und sehr grosse Spitzenspannungen erzielt werden.

[0010] Das Verfahren weist jedoch eine Reihe von Nachteilen in der technischen Realisierung auf, so zum Beispiel den Nachteil der mangelnden Flexibilität. Ein solches Netzwerk ist sehr unflexibel, da eine Pulsdefinition zu genau einer Dimensionierung von C_w , R_w , R_i zwingt, es gibt keinen Freiheitsgrad. Die verschiedenen EMV-Normen definieren aber eine Vielfalt von Pulsen mit unterschiedlichen Parametern. Aus wirtschaftlichen Gründen muss ein Pulsgenerator in der Lage sein, ein ganzes Spektrum von Pulsen eines Typs abzudecken. Das Pulsnetzwerk muss also umschaltbar sein, was einen erheblichen Aufwand mit sich bringt.

[0011] Weiter werden an die Bauteile hohe Anforderungen gestellt. Es werden vor allem für Surge- und Loaddump-Pulse Bauteile mit besonderen Eigenschaften benötigt. Kondensatoren mit grosser Spannungsfestigkeit und gleichzeitig kleinem ESR (electrical series resistance). Die Widerstände müssen ebenfalls spannungsfest sein und eine erhebliche Pulsbelastbarkeit haben, womit sie ziemlich gross und teuer werden.

[0012] Ferner widerspricht der Zwang zur Verwendung von Leistungsbauteilen den Toleranzanforderungen der Pulse. Um eine Genauigkeit der Pulsparameter von 5% bei Bauteiltoleranzen von bis 20% zu erzielen ist eine aufwendige Justage der Pulsnetzwerke nötig. Ausserdem unterliegen Parameter von Leistungsbaulementen einer beträchtlichen zeitlichen sowie Temperaturdrift.

[0013] Ein weiterer Nachteil ist die Signalintegrität. Das flexible Pulsnetzwerk aus Leistungsbaulementen und vielen Relais dehnt den Entladekreis aus C_w und R_w räumlich aus, womit parasitäre Induktivität im Kreis nicht mehr vernachlässigbar ist und ggf. zu Resonanzeffekten führt.

[0014] Aus allen angeführten Nachteilen ergibt sich der Nachteil, dass mit steigendem Energieinhalt der Pulse und steigender Flexibilitätsanforderung die Lösung unwirtschaftlich und sehr teuer wird. Dieser Nachteil wirkt sich vor allem bei der Realisierung von Load-Dump-Generatoren aus.

[0015] Ferner ist im Stand der Technik neben den passiven Netzwerken die arbiträre Signalgenerierung mit Pulsverstärkern bekannt. Ein arbiträrer Signalgenerator spielt einen exponentiellen Spannungsverlauf mit der gewünschten Abtastrate ab. Dieses Pulssignal wird von einem Impulsverstärker verstärkt. Der durch die Normen festgelegte Ausgangswiderstand R_i ist dem Verstärker nachgeschaltet.

[0016] Dieses Prinzip wird zurzeit zur Erzeugung von Load-Dump-Pulsen benutzt, könnte auch für Surge Pulse sinnvoll eingesetzt werden. Es gilt dann einen Verstärker zu entwerfen, der Anstiegszeiten auf Spannungen von 200 V bis in den Kilovoltbereich von kleiner einer Mikrosekunde realisiert.

[0017] Solche Lösungen sind sehr flexibel, weil eine digitale Signalgenerierung verwendet werden kann. Es ist überdies möglich, von der exponentiellen Form abweichende Pulsformen zu erzeugen, wie z.B. geklippte Pulsformen oder Rechteckpulse.

[0018] Die Genauigkeit der Signalgenerierung und des Verstärkungsfaktors wird durch präzise DA-Konverter und Analogtechnik bestimmt. Die Toleranzen der Energiespeicher, hier eines Pufferkondensators, spielen keine Rolle.

[0019] Ein weiterer Vorteil ist die Signalintegrität. Die Anordnung des Leistungskreises kann sehr kompakt aufgebaut werden, Einflüsse parasitärer Induktivitäten sind nicht zu befürchten. Eventuelle Schwingneigung des Verstärkers bei kapazitiven Lasten wird durch den geforderten Ausgangswiderstand von vornherein bedämpft.

[0020] Hinsichtlich der Pulsbelastbarkeit ist lediglich die Endstufe und der Ausgangswiderstand zu optimieren. Es gibt eine grosse Auswahl geeigneter Transistoren; die entstehende Abwärme kann über einen zentralen Kühlkörper abgeleitet werden.

[0021] In der Vergangenheit definierten die Normen die Parameter der Pulse lediglich für den unbelasteten Fall, d.h. es gab keine implizite Angabe über die Energie des Pulses. Neuere Normen definieren allerdings angelehnt an die Funktionsweise des ersten Verfahrens mit passiven Netzwerken eine maximale Pulsenergie über die Pulsbreite bei angepasster Last. Die Pulsbreite unter Last ist hier von der Last abhängig, was empirisch in der Realität so bestätigt ist.

[0022] Der Nachteil des Verfahrens mit arbiträrer Signalgenerierung liegt darin, dass die Pulsbreite bedingt durch die nicht vorhandene Rückwirkung des Ausgangs auf die Signalgenerierung starr bleibt. Damit liegt die abgegebene Pulsenergie immer höher als bei Anwendung eines Pulses nach dem Verfahren mit passiven Netzwerken, und das kann beim Test desselben Prüflings mit Generatoren beider Art zu unterschiedlichen Ergebnissen führen.

[0023] Ferner kann einer Kalibriervorschrift, die eine reduzierte Pulsbreite unter Last fordert, nicht entsprochen werden.

[0024] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein Verfahren, eine Vorrichtung und eine Schaltungsanordnung anzugeben, welche es erlauben, Pulse lastabhängig mit hoher Flexibilität bei geringen Kosten zu generieren.

[0025] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäss gelöst durch die Merkmale im kennzeichnenden Teil der Ansprüche 1, 12 und 18 im Zusammenwirken mit den Merkmalen im Oberbegriff. Zweckmässige Ausgestaltungen der Erfindung sind in abhängigen Ansprüchen enthalten.

[0026] Dazu weist eine erfindungsgemässe Vorrichtung zur Erzeugung pulsförmiger Spannungssignale ein Mittel zur leistungslosen Generierung eines Pulssignals, ein mit dem Pulssignal beaufschlagtes Leistungsteil, ein mit dem Ausgang des Leistungsteils beaufschlagtes Mittel zur Rückkopplung auf das Mittel zur leistungslosen Pulssignalgenerierung sowie ein Mittel zum Anschluss einer Last auf.

[0027] Die erfindungsgemässe Variante eines Pulsgenerators erzeugt ein Referenzsignal für den Puls elektronisch leistungslos und steuert den Leistungsteil, der das gewünschte Pulssignal an seinem Ausgang bereitstellt. Dabei wird über eine Rückkopplung des Ausgangsstroms der Vorrichtung auf die Referenzsignalgenerierung die Signalform der Pulse lastabhängig variiert.

[0028] Ein besonderer Vorteil der erfindungsgemässen Vorrichtung ist, dass die Generierung des Pulssignals leistungslos und in Abhängigkeit von der Last erfolgt.

[0029] Vorteilhafterweise kann das Mittel zur leistungslosen Pulssignalgenerierung durch sowohl einen analogen als auch einen digital abgebildeten Widerstands-Kondensator-Entladekreis realisiert sein, was eine hohe Flexibilität bei der Realisierung ermöglicht.

[0030] Der analoge Entladekreis besteht dabei aus einem Widerstand und einem Kondensator, die über einen Schalter miteinander verbunden sind, wobei der Entladekreis leistungslos realisiert ist. Im digitalen Fall ist das Mittel zur leistungslosen Pulssignalgenerierung ein in einer Recheneinheit realisierter digitaler Widerstands-Kondensator-Entladekreis mit nachgeschaltetem Digital-Analog-Wandler. Der digitale Entladekreis wird durch Ausführung von Differenzgleichungen entsprechend den Differentialgleichungen des analogen Widerstand-Kondensator-Entladekreises in der Recheneinheit realisiert. Das Leistungsteil ist in einer Ausgestaltung durch einen Leistungsverstärker mit einem Pufferkondensator und einem Innenwiderstand realisiert. Das erfindungsgemässe Mittel zur Rückkopplung umfasst in einer Ausgestaltung ein

Mittel zur Messung des Ausgangsstroms des Verstärkers und eine durch den Ausgangsstrom des Verstärkers gesteuerte Stromquelle mit einem Übersetzungsfaktor. In einer anderen Ausgestaltung zusammen mit dem digitalen Entladekreis umfasst es ein Mittel zur Messung des Ausgangsstroms des Verstärkers, Mittel zur Verbindung mit einer Last und einen Stromsensor.

[0031] Ein Vorteil ist dabei, dass die Genauigkeit der Signalgenerierung und des Verstärkungsfaktors durch präzise analoge Bauteile bestimmt wird. Da die Pulssignalgenerierung aus Widerständen, Kondensatoren und der gesteuerten Stromquelle leistungslos nur die Steuerspannung für den Pulsverstärker bereitstellt, kann sie mit elektronischen Mitteln präzise, sehr flexibel und billig realisiert werden.

[0032] Eine weiterer Vorteil ergibt sich aus der leistungslosen Formung des Pulssignals: Die elektronische Schaltung zur Herstellung des Pulsreferenzsignals kann sehr kompakt aufgebaut werden.

[0033] Vorteilhafterweise ist hinsichtlich der Pulsbelastbarkeit lediglich die Endstufe des Pulsverstärkers und dessen Ausgangswiderstand zu optimieren, jedoch nicht die pulsformende Schaltung wie im Stand der Technik im Falle des passiven Netzwerks.

[0034] Das Mittel zur Messung des Ausgangsstroms des Verstärkers kann flexibel durch einen Stromsensor oder einen Differenzverstärker der Spannung über dem Innenwiderstand des Verstärkers realisiert sein.

[0035] Zur flexiblen lastabhängigen Variation ist das Mittel zur Verbindung mit einer Last durch Ausgangsklemmen realisiert. Der Pulsgenerator verfügt über Klemmen zum Anschluss des Prüflings, der Last, die abhängig von ihrer Beschaffenheit die Pulsbreite beeinflusst.

[0036] Das erfindungsgemässe Verfahren zur Erzeugung pulsförmiger Spannungssignale umfasst die folgenden Schritte: Die leistungslose Erzeugung eines Pulssignals durch ein Mittel zur Pulssignalerzeugung, die Verstärkung des Pulssignals durch ein Leistungsteil sowie die lastabhängige Variation der Pulsbreite des Pulssignals durch eine Rückkopplung auf das Mittel zur leistungslosen Pulssignalerzeugung.

[0037] Die lastabhängige Variation der Pulsbreite des Pulssignals durch eine Rückkopplung auf das Mittel zur leistungslosen Pulssignalerzeugung erfolgt dabei durch folgende Schritte: Beaufschlagen einer Last mit einem Strom aus dem Ausgang des Verstärkers, Steuerung einer gesteuerten Stromquelle durch ein Mittel zur Messung des Ausgangsstroms des Verstärkers in Abhängigkeit von einer Last, Rückkopplung des Stroms der gesteuerten Stromquelle in Abhängigkeit von der Last auf das Mittel zur leistungslosen Pulssignalgenerierung sowie zusätzliche Entladung des Kondensators des Mittels zur leistungslosen Generierung eines Pulssignals durch den Strom der gesteuerten Stromquelle. Bei Fehlen der Last wird die durch den Widerstand und den Kondensator des Entladekreises festgelegte Leerlaufpulsbreite erzeugt.

[0038] Die erfindungsgemässe Schaltungsanordnung zur Simulation pulsförmiger Spannungssignale weist ein Mittel zur leistungslosen Generierung eines Pulssignals auf, welches mit einer Reihenschaltung eines Leistungsteils, eines durch den Ausgangsstrom des Leistungsteils gesteuerten Mittels zur Rückkopplung und eines Mittels zum Anschluss einer Last parallel geschaltet ist.

[0039] Die Erfindung wird nachstehend anhand einiger Ausführungsbeispiele näher erläutert. Es zeigt:

Fig. 1 Pulsgenerator mittels passivem Netzwerk;

Fig. 2 Pulsgenerator mittels arbiträrer Signalgenerierung mit Pulsverstärker;

Fig. 3 Blockschaltbild des erfindungsgemässen Pulsgenerators;

Fig. 4 Pulsgenerator mittels lastgekoppelter analoger Signalerzeugung und Verstärker;

Fig. 5 Pulsgenerator mittels lastgekoppelter digitaler Signalerzeugung und Pulsverstärker.

A) Pulsgenerator mittels passivem Netzwerk

[0040] Fig. 1 zeigt einen Pulsgenerator mittels passivem Netzwerk des Standes der Technik. Die Pulse können und werden durch die Entladung eines Kondensators C_w in ein pulsformendes passives Netzwerk generiert. Im einfachsten Fall besteht dieses Netzwerk aus dem Entladewiderstand R_w und dem Innenwiderstand R_i . Der Innenwiderstand R_i liegt in Reihe mit dem Prüfling (EUT = Equipment under Test) parallel zum Entladewiderstand. Zunächst wird der Kondensator C_w auf die gewünschte Spitzenspannung geladen. Zum Schiessen des Pulses wird ein Schalter S geschossen, der Kondensator C_w wird über den Widerstand R_w entladen und es ergibt sich am Ausgang bzw. am sogenannten «Equipment under Test» (EUT) ein exponentieller Spannungsverlauf entsprechend des Entladevorgangs des Kondensators C_w .

[0041] Ein solches Netzwerk erster Ordnung wird mathematisch durch eine Differentialgleichung erster Ordnung beschrieben. Für jeden Lastfall, d.h. abhängig vom EUT, ergibt sich eine unterschiedliche Zeitkonstante bzw. Pulsbreite. Aus den beiden durch die Kalibrierung festgelegten Lastfällen ergibt sich die Dimensionierung der Komponenten C_w , R_w und R_i . R_i ist durch die jeweilige Norm definiert, C_w und R_w ergeben sich durch Auflösen des Gleichungssystems für die zwei definierten Zeitkonstanten τ_0 und τ_{Last} :

$$(1) \quad \#_0 = Cw \cdot Rw,$$

$$(2) \quad \#_{\text{Last}} = Cw \cdot Rw \parallel (Ri + EUT),$$

wobei Ri meist = EUT ist.

[0042] Ein solches Netzwerk ist aber sehr unflexibel, da eine Pulsdefinition zu genau einer Dimensionierung von Cw , Rw , Ri zwingt, es gibt keinen Freiheitsgrad.

B) Pulsgenerator mittels arbiträrer Signalgenerierung mit Pulsverstärker

[0043] Fig. 2 zeigt einen Pulsgenerator mittels arbiträrer Signalgenerierung mit Pulsverstärker des Standes der Technik. Ein arbiträrer Signalgenerator wird mit dem aus den Parametern des Pulses errechneten exponentiellen Spannungsverlauf geladen und spielt die digital gespeicherte Pulsform mit der gewünschten Abtastrate und Auflösung ab. Dieses digital synthetisierte Pulssignal speist den nachgeschalteten Impulsverstärker V, der für eine begrenzte Zeitdauer grosse Spannung und grossen Strom an seinem Ausgang bereitstellen kann. Die notwendige Energie ist in einem beträchtlichen Pufferkondensator C gespeichert und wird vor dem Schiessen des Pulses durch eine Hochspannungsquelle (hier nicht gezeigt) geladen. Der durch die Normen festgelegte Ausgangswiderstand Ri ist dem Verstärker V nachgeschaltet. Der Ausgangswiderstand liegt in Reihe mit dem EUT. Die Reihenschaltung beider wird mit der vom Verstärker erzeugten Pulsspannung beaufschlagt.

C) Pulsgenerator mittels lastgekoppelter Signalerzeugung und Pulsverstärker

[0044] Die erfindungsgemässe Variante eines Pulsgenerators erzeugt ein Referenzsignal für den Puls elektronisch leistungslos und steuert einen Leistungsverstärker, der das gewünschte Pulssignal an seinem Ausgang bereitstellt. Dabei wird über eine Rückkopplung des Ausgangsstroms der Vorrichtung auf die Referenzsignalgenerierung die Signalform der Pulse lastabhängig variiert.

[0045] Fig. 3 zeigt ein Blockschaltbild eines erfindungsgemässen Pulsgenerators zur Simulation pulsförmiger Spannungssignale. Die Vorrichtung umfasst ein Mittel zur Generierung eines Pulssignals 1, ein mit dem Pulssignal beaufschlagtes Leistungsteil 2, ein Mittel zur leistungslosen Lastrückkopplung 3 und ein Mittel zum Anschluss einer Last 4. Die dünnen Linien repräsentieren Signalverbindungen und die fett eingezeichnete Linie einen Energiepfad. Die Lastrückkopplung 3 erfolgt leistungslos, daher wird die vom Leistungsteil 2 bereitgestellte Energie durch die Lastrückkopplung hindurch der Last beaufschlagt. Die Verbindung 1a repräsentiert den Referenzsignalausgang, die Verbindung 1b den Rückkopplungseingang.

[0046] Die Ausgestaltungen der Mittel werden im Folgenden näher beschrieben.

C1) Pulsgenerator mittels lastgekoppelter analoger Signalerzeugung und Pulsverstärker

[0047] Fig. 4 zeigt einen erfindungsgemässen Pulsgenerator mittels lastgekoppelter analoger Signalerzeugung mit einem Pulsverstärker. Das Pulssignal wird als Referenzsignal für den Pulsverstärker durch einen RC-Entladekreis mit parallel geschalteter, durch den Ausgangsstrom des Pulsverstärkers gesteuerter Stromquelle generiert. Dieser besteht aus dem Kondensator Cw und dem Entladewiderstand Rw , die mit dem Schalter S im Kreis verbunden sind. Parallel zu Rw ist die stromgesteuerte Stromquelle mit dem Übersetzungsfaktor k geschaltet. Das Referenzsignal, welches vom Pulsverstärker um Faktor v spannungsverstärkt wird, wird am Widerstand Rw abgegriffen. Der Ausgang des Pulsverstärkers ist über den Innenwiderstand Ri mit den Ausgangsklemmen des Pulsgenerators verbunden, an die der Prüfling (EUT) angeschlossen wird. Der Stromsensor zur Messung des Ausgangsstromes kann als Strommesseinrichtung oder einfach als Differenzverstärker der Spannung über Ri realisiert werden.

[0048] Zum Schiessen des Pulses wird der Kondensator Cw auf die gewünschte Pulsspitzenspannung, geteilt durch die Spannungsverstärkung v , geladen und der Schalter S geschlossen. Der Kondensator Cw wird dann durch Rw sowie durch die vom Generatorausgangsstrom gesteuerte Stromquelle entladen und es ergibt sich am Ausgang bzw. am EUT der gewünschte exponentielle Spannungsverlauf.

[0049] Wird der Ausgang nicht belastet, so ist der Strom der Stromquelle = 0 und es ergibt sich die durch Rw und Cw festgelegte Leerlaufpulsbreite. Fliesst ein Strom aus dem Ausgang I_{out} des Pulsgenerators in einen angeschlossenen Prüfling, entlädt dieser Strom über die stromgesteuerte Stromquelle den Kondensator Cw zusätzlich, so dass sich die Pulsbreite gegenüber der Leerlaufpulsbreite reduziert. Auf diese Weise wird die aus Verfahren A) bekannte und seitens einiger Normen vorgeschriebene Lastrückwirkung auf die Pulsbreite nachgebildet. Macht man den Faktor K der vom Ausgangsstrom gesteuerten Stromquelle variierbar, so ist die Rückwirkung bei fester Leerlaufpulsbreite einstellbar. Damit wird der Energieinhalt des Pulses, gleichbedeutend mit der Pulsbreite unter Last, parametrierbar.

[0050] Das erfindungsgemässe Verfahren und die Vorrichtung vereinigt die Vorteile und klammert die Nachteile der beiden Verfahren des Standes der Technik aus. Das Pulssignal wird als Referenzsignal für den Pulsverstärker durch einen RC-Entladekreis wie bei Verwendung eines passiven Netzwerks generiert. Diese geschieht jedoch leistungslos auf dem Spannungsniveau analoger Schaltungstechnik. Es kommen Präzisionsbauteile zum Einsatz, mittels kleiner Relais oder

Analogschaltern kann der Wert von R_w und C_w beliebig variiert werden, womit ein weiterer Bereich von Pulsbreiten nahezu stufenlos programmiert werden kann. Das Referenzsignal wird durch den Pulsverstärker wie bei der arbiträren Signalgenerierung mit Pulsverstärker um den Faktor V spannungsverstärkt. Der Pufferkondensator stellt reichlich Energie auch für niederohmige EUTs zur Verfügung.

[0051] Das Mittel zur leistungslosen Pulssignalgenerierung 1 ist in dieser Ausgestaltung durch den analogen Widerstands-Kondensator-Entladekreis ausgebildet. Er besteht aus dem Widerstand R_w und dem Kondensator C_w , die über einen Schalter S miteinander verbunden sind, wobei der Entladekreis leistungslos realisiert ist.

[0052] Das Leistungsteil 2 ist durch einen Leistungsverstärker V mit einem Pufferkondensator C und einem Innenwiderstand R_i realisiert.

[0053] Das Mittel zur Rückkopplung 3 umfasst ein Mittel zur Messung des Ausgangsstroms des Verstärkers M und eine durch den Ausgangsstrom I_{out} des Verstärkers V gesteuerte Stromquelle FB mit einem Übersetzungsfaktor K . Das Mittel zur Messung des Ausgangsstroms des Verstärkers M ist ein Stromsensor oder ein Differenzverstärker der Spannung über dem Innenwiderstand R_i des Verstärkers V . Das Mittel zur Rückkopplung 3 dient daher zur Erfassung des Stroms aus dem Verstärker in Abhängigkeit von der Last und seiner Rückkopplung auf die Pulssignalgenerierung.

[0054] Das Mittel zur Verbindung mit einer Last 4 kann vorteilhafterweise durch Ausgangsklemmen ausgebildet sein. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel wurde die Last EUT in die Schaltung integriert.

[0055] Im Folgenden wird mathematisch gezeigt, dass das erfindungsgemässe Verfahren die Pulsenergie kongruent nachbildet:

$$(3) \quad C_w \cdot dU_{Cw} / dt + I_{Rw} + I_{FB} = 0,$$

$$(3a) \quad I_{Rw} = U_{Cw} / R_w,$$

$$(3b) \quad I_{FB} = U_{Cw} \cdot v / (R_i + EUT) \cdot k,$$

$$(4) \quad \# dU_{Cw}/dt = - U_{Cw} \# (1/C_w \# (1/R_w + v \cdot k / (R_i + EUT))).$$

[0056] Diese DGL hat die Lösung, Anfangswert $U_{Cw}(t=0) = U_{Cw0}$:

$$(5) \quad U_{Cw}(t) = U_{Cw0} \cdot \exp(-t/\#) \text{ mit}$$

$$(6) \quad \# = C_w \cdot (R_w \parallel ((R_i + EUT) / v \cdot k)),$$

wobei gilt $A \parallel B = A \cdot B / (A+B)$ (Parallelschaltung zweier Widerstände).

[0057] Die Ausgangsspannung des Pulsenergiegenerators ergibt sich zu:

$$(7) \quad U_{EUT}(t) = EUT / (R_i + EUT) \cdot v \cdot U_{Cw0} \cdot \exp(-t/\#).$$

[0058] Es ergeben sich für die zwei Fälle Leerlauf ($EUT \rightarrow \infty$) und angepasste Last ($EUT = R_i$) folgende Zeitkonstanten:

$$(8) \quad \#_0 = C_w \cdot R_w,$$

$$(9) \quad \#_{Last} = C_w \cdot (R_w \parallel (2 \cdot R_i / v \cdot k)).$$

[0059] Man erkennt in Gleichung (8) und (9), dass die Pulsbreite unter Last durch den Faktor k bei unveränderter Leerlaufpulsbreite eingestellt werden kann. Grundsätzlich ergibt sich das Verhalten eines linearen Systems erster Ordnung wie im Verfahren mit passivem Netzwerk. Das Gleichungssystem aus (8) und (9) ergibt die Dimensionierung von R_w und C_w mit dem Vorteil, dass eine der drei Unbekannten (C_w , R_w ; k) frei wählbar ist.

[0060] Gegenüber der passiven Realisierung des Pulsenergiegenerators unter A) bringt das Verfahren und die Vorrichtung alle unter B) schon angeführten Vorteile:

[0061] Vorteil Toleranzen / Alterung / Drift: Die Genauigkeit der Signalgenerierung und des Verstärkungsfaktors wird durch präzise analoge Bauteile bestimmt. Da die Pulssignalgenerierung aus R_w , C_w und der gesteuerten Stromquelle leistungslos nur die Steuerspannung für den Pulsverstärker bereitstellt, kann sie mit elektronischen Mitteln präzise, sehr flexibel und billig realisiert werden. Es kommen Präzisionsbauteile zum Einsatz. Mittels kleiner Relais oder Analogschalter kann der Wert von R_w , C_w und k beliebig variiert werden, womit ein weiterer Bereich von Pulsbreiten im Leerlauf sowie unter Last nahezu stufenlos programmiert werden kann.

[0062] Die Toleranzen der Energiespeicher in C1) und C2), hier des Pufferkondensators, spielen keine Rolle. Im Falle von A) müssen der Energiespeicher C_w und auch R_w als Leistungsbauteile mit grossen Toleranzen, Alterungs- und Temperaturdrift behaftet, ausgeführt sein. Das ist ungünstig, da sie auch für die Pulsform bestimmend sind.

[0063] Vorteil Signalintegrität: Die elektronische Schaltung zur Herstellung des Pulsreferenzsignals kann, da leistungslos, sehr kompakt aufgebaut werden. Einflüsse parasitärer Induktivitäten bei ausgedehnten, wie sie in A) vorkommen, weil aus umschaltbaren Leistungsbauteilen aufgebaut, werden vermieden.

[0064] Vorteil Anforderungen an die Bauteile: Hinsichtlich der Pulsbelastbarkeit ist lediglich die Endstufe des Pulsverstärkers und der Ausgangswiderstand R_i zu optimieren, jedoch nicht die pulsformende Schaltung wie unter A). Hinsichtlich geeigneter Transistoren gibt es eine grosse Auswahl; die entstehende Abwärme kann über einen zentralen Kühlkörper abgeleitet werden.

[0065] Vorteil Wirtschaftlichkeit: Ein so konzipierter Generator bietet deutliche Vorteile in der Beschaffung der nötigen Bauteile, ist relativ einfach aufgebaut und gut zu produzieren, einfach zu warten und vor allem erfordert er keinen Justageaufwand.

C2) Pulsgenerator mittels lastgekoppelter digitaler Signalerzeugung und Pulsverstärker

[0066] Fig. 5 zeigt einen erfindungsgemässen Pulsgenerator mittels lastgekoppelter digitaler Signalerzeugung und Pulsverstärker. Diese Ableitung des Verfahrens mit analoger Signalerzeugung bildet den Entladekreis durch die Differenzengleichung, die sich aus Gleichung (3) ergibt, digital ab.

[0067] Der Pulsgenerator besteht aus einer Recheneinheit DSP mit einem angeschlossenen Digital-Analog-Converter DAC und einem Analog-Digital-Converter ADC, einem Pulsverstärker, einem Innenwiderstand R_i sowie einem Stromsensor zur Erfassung des Generatorausgangsstromes. Der DAC ist an den Eingang des Pulsverstärkers mit der Spannungsverstärkung v angeschlossen, erzeugt das analoge Pulssignal, welches vom Pulsverstärker um Faktor v spannungsverstärkt wird. Der Ausgang des Pulsverstärkers ist über den Innenwiderstand R_i mit den Ausgangsklemmen des Pulsgenerators verbunden, an die der Prüfling EUT angeschlossen wird. Der Ausgangsstrom des Generators wird durch den Stromsensor mit der Empfindlichkeit k erfasst, welcher an den ADC angeschlossen ist. Der Stromsensor kann als Strommesseinrichtung oder einfach als Differenzverstärker der Spannung über R_i realisiert werden. Der ADC stellt den aktuell fliessenden Strom in digitalisierter Form der Recheneinheit zur Verfügung.

[0068] Das Mittel zur leistungslosen Pulssignalgenerierung 1 umfasst in diesem Ausführungsbeispiel einen in einer Recheneinheit DSP realisierten digitalen Widerstands-Kondensator-Entladekreis und einen Digital-Analog-Wandler DAC. Der digitale Entladekreis ist durch Ausführung von Differenzengleichungen entsprechend der Differentialgleichungen des analogen Widerstand-Kondensator-Entladekreises in der Recheneinheit DSP realisiert. Das Mittel zur Rückkopplung 3 umfasst ein Mittel zur Messung des Ausgangsstroms des Verstärkers M und einen Stromsensor mit einer Empfindlichkeit K .

[0069] Die Recheneinheit gibt den initialen Wert an den DAC zur Erzeugung der Spitzenspannung. Nach der Zykluszeit T wird der nächste Wert, der sich aus der Differenzengleichung unter Einbeziehung der Lastrückwirkung, also des im Generatorausgang aktuell fliessenden Stromes, in Echtzeit berechnet, an den DAC geschickt. Ein Zyklus der Pulsgenerierung besteht also aus den Schritten aktuellen Stromwert erfassen, nächsten Pulsspannungswert aus vorgehendem Pulsspannungswert und aktuellem Stromwert berechnen und an den DAC ausgeben und warten bis zum nächsten Zyklus. Der Abbruch der Iteration erfolgt bei Unterschreitung eines bestimmten Spannungspegels des Pulses oder nach einer definierten Zeit. Die Form des Pulses ist von vornherein nicht fest, sondern entsteht lastabhängig erst während der Laufzeit der Pulsgenerierung. Die Rechenvorschriften für den ersten und die folgenden Abtastwerte lauten:

$$(10a) \quad U_{cw}(0) = U_0/v \quad \text{erster Wert}$$

$$(10b) \quad U_{cw}(n) = A \cdot U_{cw}(n-1) - B \cdot I_{fb}(n-1) \quad n = 1..n_{\max}$$

[0070] A und B sind Konstanten, die sich aus den Parametern des Pulses berechnen. Diese Parameter können der jeweiligen Norm direkt entnommen werden: Spitzenspannung U_0 , Pulsbreite T_0 , Pulsbreite bei angepasster Last T_{Last} und Ausgangswiderstand R_i .

[0071] Die Systemkonstanten sind durch den Aufbau bestimmt:

$$(11) \quad A = T_0 / (T_0 + 2.3 \cdot T_s),$$

$$(12) \quad B = A \cdot U_{\text{DAC}} / U_{\text{dac}} \cdot 2 / (k \cdot v) \cdot (T_0 / T_{\text{Last}} - 1) / (T_0 / 2.3) \cdot T_s,$$

wobei U_{ADC} die Spannung eines Digits des ADC, U_{DAC} die Spannung eines Digits des DAC und T_s die Zykluszeit ist.

[0072] Die Vorrichtung, das Verfahren und die Schaltungsanordnung stellen ein Höchstmass an Flexibilität bereit. Es können im Bereich der Auflösung der Umsetzer beliebige Pulse per Parameter generiert werden. Auf die bei der erfindungs-

gemässen analogen Umsetzung benötigte Analogelektronik zur Formung des Pulssignals kann vollständig verzichtet werden. Der Bauteileaufwand schrumpft auf ein Minimum und damit steigt die Produktions- und Servicefreundlichkeit.

[0073] Ohne den Umweg über eine wie auch immer geartete pulsformende analoge Schaltung kann durch dieses Verfahren ein beliebiger Puls entsprechend der Pulsspezifikation nur durch Eingabe der Parameter des Pulses direkt synthetisiert werden.

[0074] Die Erfahrung zeigt, dass sich die Normen in ihrer Gesamtheit häufig Änderungen hervorbringen. Die so gewonnene Flexibilität stellt vor allem einen zentralen Faktor im Kampf um die Gunst der Kunden von EMV-Testgeräten dar.

[0075] Die Erfindung beschränkt sich nicht auf die hier dargestellten Ausführungsbeispiele. Vielmehr ist es möglich, durch Kombination und Modifikation der genannten Mittel und Merkmale weitere Ausführungsvarianten zu realisieren, ohne den Rahmen der Erfindung, wie in den Patentansprüchen definiert, zu verlassen.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Erzeugung pulsförmiger Spannungssignale, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung
 - ein Mittel zur leistungslosen Generierung eines Pulssignals (1),
 - ein mit dem Pulssignal beaufschlagtes Leistungsteil (2),
 - ein mit dem Ausgang des Leistungsteils (2) beaufschlagtes Mittel zur Rückkopplung (3) auf das Mittel zur leistungslosen Pulssignalgenerierung (1) und
 - ein Mittel zum Anschluss einer Last (4) aufweist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Mittel zur leistungslosen Pulssignalgenerierung (1) ein analoger Widerstands-Kondensator-Entladekreis ist.
3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der analoge Entladekreis aus einem Widerstand (R_w) und einem Kondensator (C_w) besteht, die über einen Schalter (S) miteinander verbunden sind, wobei der Entladekreis leistungslos realisiert ist.
4. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Leistungsteil (2) durch einen Leistungsverstärker (V) mit einem Pufferkondensator (C) und einem Innenwiderstand (R_i) realisiert ist.
5. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Mittel zur leistungslosen Pulssignalgenerierung (1) aus einem in einer Recheneinheit (DSP) realisierten digitalen Widerstands-Kondensator-Entladekreis und einem Digital-Analog-Wandler (DAC) besteht.
6. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass der digitale Entladekreis durch Ausführung von Differenzgleichungen entsprechend der Differentialgleichungen des analogen Widerstand-Kondensator-Entladekreises in der Recheneinheit (DSP) realisiert ist.
7. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Mittel zur Rückkopplung (3) ein Mittel zur Messung des Ausgangsstroms des Verstärkers (M) und eine durch den Ausgangsstrom (I_{out}) des Verstärkers (V) gesteuerte Stromquelle (FB) mit einem Übersetzungsfaktor (K) umfasst.
8. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Mittel zur Rückkopplung (3) ein Mittel zur Messung des Ausgangsstroms des Verstärkers (M) und einen Stromsensor mit einer Empfindlichkeit (K) umfasst.
9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass das Mittel zur Messung des Ausgangsstroms des Verstärkers (M) ein Stromsensor ist.
10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass das Mittel zur Messung des Ausgangsstroms des Verstärkers (M) ein Differenzverstärker der Spannung über dem Innenwiderstand (R_i) des Verstärkers (V) ist.
11. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Mittel zur Verbindung mit einer Last (4) durch Ausgangsklemmen realisiert ist.
12. Verfahren zur Erzeugung pulsförmiger Spannungssignale, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:
 - leistungslose Erzeugung eines Pulssignals durch ein Mittel zur Pulssignalerzeugung (1);
 - Verstärkung des Pulssignals durch ein Leistungsteil (2);
 - lastabhängige Variation der Pulsbreite des Pulssignals durch eine Rückkopplung (3) auf das Mittel zur leistungslosen Pulssignalerzeugung (1).
13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die leistungslose Erzeugung eines Pulssignals folgende Schritte umfasst:
 - Laden des Kondensators (C_w) auf eine gewünschte Pulsspitzenspannung; Schliessen des Schalters (S);
 - Entladung des Kondensators (C_w) über den Widerstand (R_w).
14. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Verstärkung des Pulssignals folgende Schritte umfasst:

- Beaufschlagen des Verstärkers (V) mit dem Pulssignal;
 - Verstärken des Pulssignals um einen Faktor (v).
15. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Verstärkung des Pulssignals folgende Schritte umfasst:
 - Aufladung eines Pufferkondensators (C) über eine externe Hochspannungsquelle vor Schliessen des Schalters S;
 - Verstärken des Pulssignals um einen Faktor (v) mittels des Pufferkondensators (C) nach Schliessen des Schalters S;
 - Bereitstellen eines Verstärkerausgangsstromes (i_{out} der bei angeschlossener Last am Ausgang über den Innenwiderstand (R_i) fliesst.
 16. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die lastabhängige Variation der Pulsbreite des Pulssignals durch eine Rückkopplung (3) auf das Mittel zur leistungslosen Pulssignalerzeugung (1) folgende Schritte umfasst:
 - Beaufschlagen der Last (EUT) mit einem Strom aus dem Ausgang des Verstärkers;
 - Steuerung einer gesteuerten Stromquelle (FB) über ein Mittel zur Messung des Ausgangsstroms des Verstärkers (M) in Abhängigkeit von einer Last (EUT);
 - Rückkopplung des Stroms (I_{FB}) der gesteuerten Stromquelle (FB) in Abhängigkeit von der Last (EUT) auf das Mittel zur leistungslosen Pulssignalgenerierung (1);
 - zusätzliche Entladung des Kondensators (Cw) des Mittels zur leistungslosen Generierung eines Pulssignals (1) durch den Strom (I_{FB}) der gesteuerten Stromquelle (FB).
 17. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 oder 16, dadurch gekennzeichnet, dass bei Fehlen der Last (EUT) die durch den Widerstand (R_w) und den Kondensator (Cw) festgelegte Leerlaufpulsbreite erzeugt wird.
 18. Schaltungsanordnung zur Erzeugung pulsförmiger Spannungssignale für eine Vorrichtung gemäss einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass ein Mittel zur leistungslosen Generierung eines Pulssignals (1) mit einer Reihenschaltung eines Leistungsteils (2), eines durch den Ausgangsstrom des Leistungsteils (2) gesteuerten Mittels zur Rückkopplung (3) und eines Mittels zum Anschluss einer Last (4) parallel geschaltet ist.
 19. Schaltungsanordnung zur Erzeugung pulsförmiger Spannungssignale nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass das Mittel zur leistungslosen Generierung eines Pulssignals (1) ein Widerstands-Kondensator-Entladekreis mit einem Kondensator (Cw), einem Widerstand (R_w) und einem Schalter (S) ist.
 20. Schaltungsanordnung nach Anspruch 18 oder 19, dadurch gekennzeichnet, dass das Leistungsteil (2) aus einem Verstärker (V) mit einem Pufferkondensator (C) und einem Innenwiderstand (R_i) realisiert ist.
 21. Schaltungsanordnung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass die Rückkopplung (3) aus einem Mittel zur Messung des Ausgangsstroms des Verstärkers (M) und einer über das Mittel zur Messung des Ausgangsstroms des Verstärkers (M) gesteuerten Stromquelle besteht, wobei das Mittel zur Rückkopplung (3) dem Mittel zur leistungslosen Pulssignalgenerierung (1) parallel geschaltet ist.

Fig. 1:

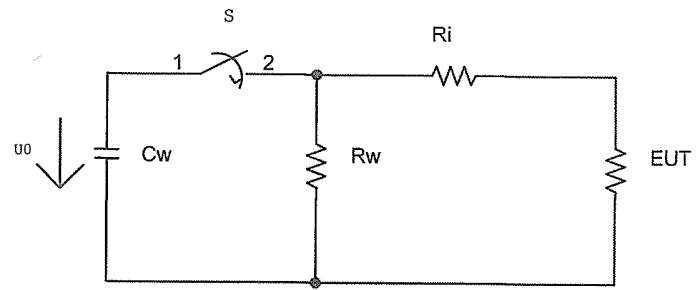


Fig. 2:

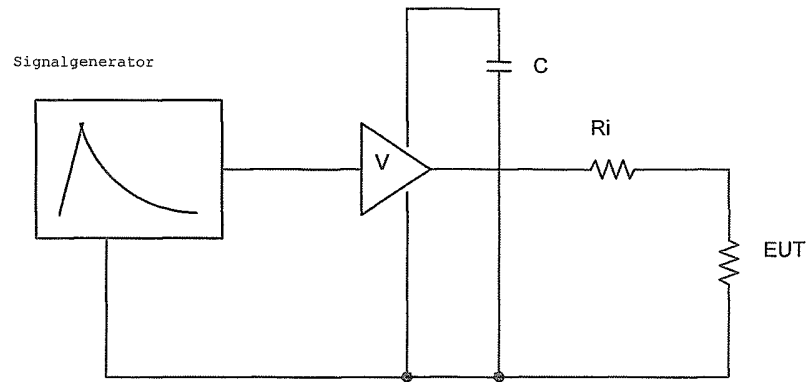


Fig. 3:

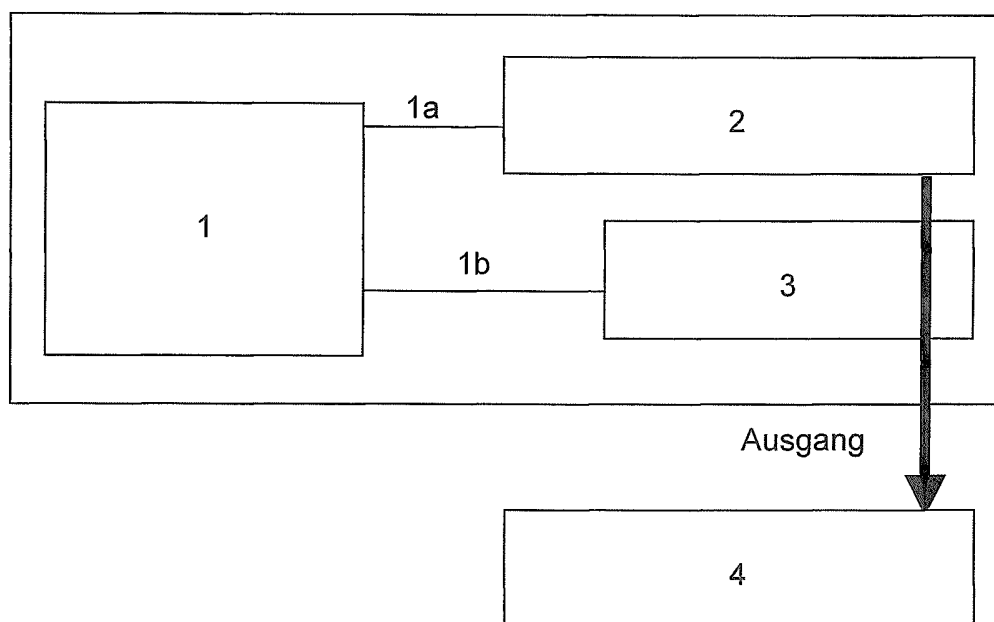


Fig. 4:

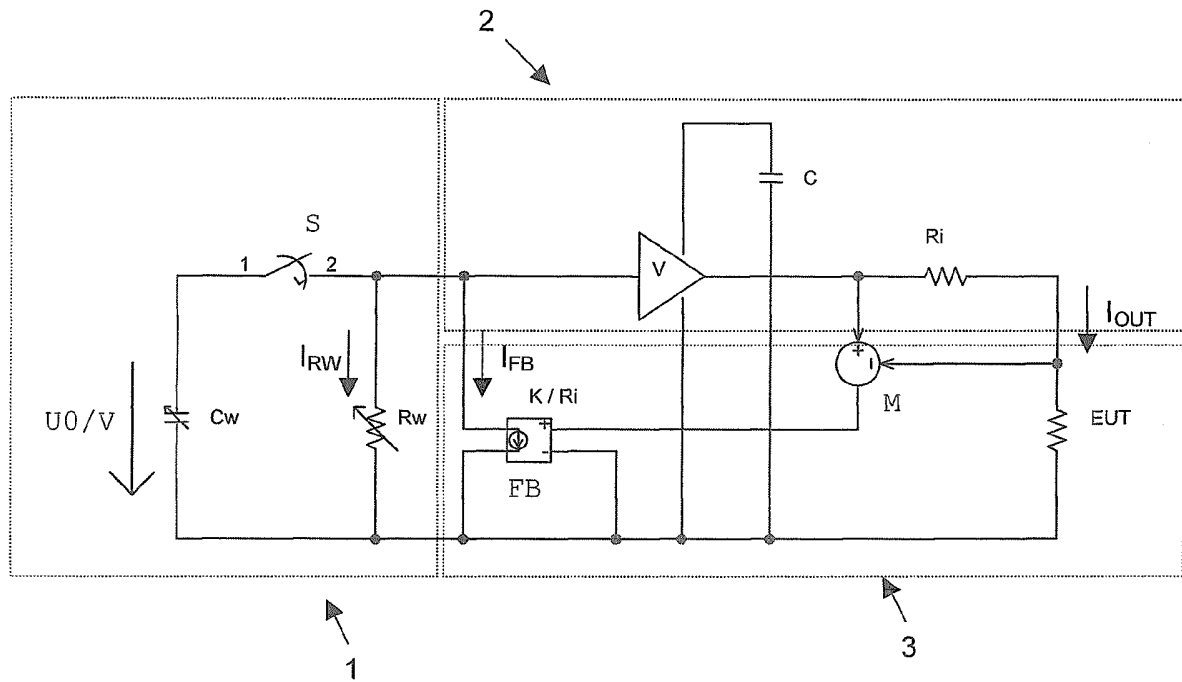


Fig. 5:

