(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) Veröffentlichungsnummer: **0 090 212**
B1

(12) # EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag der Patentschrift: **13.01.88**

(51) Int. Cl.⁴: **G 05 B 13/02**, G 05 F 1/66

(21) Anmeldenummer: **83102274.4**

(22) Anmeldetag: **06.03.83**

(54) **Vorrichtung zum selbsttätigen Einstellen des optimalen Arbeitspunktes einer Gleichspannungsquelle.**

(30) Priorität: **31.03.82 DE 3212022**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung: **05.10.83 Patentblatt 83/40**

(45) Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung: **13.01.88 Patentblatt 88/2**

(84) Benannte Vertragsstaaten: **AT DE FR GB IT NL**

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A-0 029 743
DE-A-1 513 195
FR-A-2 175 653
US-A-3 384 806
US-A-4 143 314

Buch von H.S. Tsien "Technische Kybernetik" (1957), Verlag Berliner Union, S. 214-218

(73) Patentinhaber: **Siemens Aktiengesellschaft Berlin und München, Wittelsbacherplatz 2, D-8000 München 2 (DE)**

(72) Erfinder: **Assbeck, Franz, Dipl.- Ing., Gebbertstrasse 77, D-8520 Erlangen (DE)**
Erfinder: **Fleckenstein, Volker, Dipl.- Ing., Hermann- Strebel- Strasse 48, D-8500 Nürnberg (DE)**

EP 0 090 212 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

LIBER, STOCKHOLM 1988

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum selbsttätigen Einstellen des optimalen Arbeitspunktes einer mit einem Innenwiderstand behafteten Gleichspannungsquelle, insbesondere eines Solargenerators. Eine solche Vorrichtung ist bereits aus der EP-A-0 029 743 bekannt.

Eine derartige Gleichspannungsquelle kann z. B. ein Akkumulator, ein Thermoelement, eine Brennstoffzelle oder insbesondere ein Solargenerator sein. Abgesehen davon, daß die von diesen Gleichspannungsquellen abgegebene Leistung von nicht-elektrischen Parametern, wie der Umgebungstemperatur, der Innentemperatur, dem Ladezustand bei Akkumulatoren bzw. der eingestrahlten Leistung bei Solargeneratoren abhängig ist, ist diesen Gleichspannungsquellen gemeinsam, daß zwischen ihren beiden elektrischen Zustandsgrößen (Ausgangsspannung und Ausgangsstrom) ein bestimmter physikalischer Zusammenhang besteht, der im Ersatzschaltbild meist durch einen Innenwiderstand beschrieben wird. Wird daher durch einen Gleichstromsteller, einen Spannungswandler oder einen anderen Anpaßwandler diesen Gleichspannungsquellen elektrische Leistung entnommen, die einer nachgeschalteten Last zugeführt wird, so bricht die an sich erreichbare maximale Ausgangsspannung umso stärker ein, je mehr Strom über den Spannungswandler entnommen wird. Wird umgekehrt der Spannungswandler so gesteuert oder geregelt, daß eine bestimmte Ausgangsspannung der Gleichspannungsquelle aufrecht erhalten wird, so ist damit der entnehmbare Strom festgelegt. Die Spannungsquelle besitzt nur einen einzigen elektrischen Freiheitsgrad, der als Arbeitspunkt der Spannungsquelle bzw. des Anpaßwandlers vorgegeben werden kann. Die Leistungsabgabe einer derartigen Spannungsquelle ist dabei durch eine Funktion des entsprechenden Freiheitsgrades, d. h. des Arbeitspunktes, gegeben, die im allgemeinen bei einem bestimmten Wert, der hinsichtlich der Ausnutzung der Spannungsquelle den optimalen Arbeitspunkt darstellt ("Maximum power point", "MPP"), ihr Maximum an. Vor allem bei Spannungsquellen, deren Primärenergie kostenlos (z. B. Solarenergie) oder im Vergleich zum Installationsaufwand praktisch kostenlos ist, ist es für eine optimale Ausnutzung der Anlage wünschenswert, die Anlage praktisch stets auf Vollast laufen zu lassen, d.h. stets beim MPP zu arbeiten, um möglichst viel elektrische Energie aus der Gleichspannungsquelle in eine Last, z. B. einen Energiespeicher, einzuspeisen.

Als Last kommen - in Verbindung mit einem Gleichstromsteller oder einem anderen Gleichspannungsübertrager- Gleichstromverbraucher (z. B. das Bordnetz eines Fahrzeuges) infrage. Dabei kann der Gleichspannungsübertrager auch als Laderegler für einen Akkumulator dienen und dem Akkumulator ein steuerbarer Wechselrichter nachgeschaltet sein, der z. B. die Sammelschiene eines "Inselnetzes", d. h. einer abgelegenen, nicht von einem "öffentlichen Versorgungsnetz gespeisten Gruppe von Verbrauchern, speist. Wird anstelle eines Gleichspannungsübertragers ein steuerbarer Wechselrichter (allgemein: ein steuerbarer Leistungsübertrager) verwendet, um die von der Gleichspannungsquelle aufgenommene Primärenergie in eine andere elektrische Energie auf steuerbare Weise umzuwandeln, so kommen als Verbraucher auch Wechselstromverbraucher wie etwa Förderpumpen infrage, die zur weiteren Energieumwandlung, beispielsweise die Förderarbeit eines Mediums, dienen können.

Aus DE-A-29 03 559 ist es bereits bekannt, die Leistungsaufnahme einer Last mittels eines an einen Solargenerator angeschlossenen Gleichspannungswandlers zu steuern, wobei dem Gleichspannungswandler eine Stellspannung zugeführt wird, durch die die Ausgangsspannung des Solargenerators auf dem zum optimalen Arbeitspunkt gehörigen optimalen Spannungswert gesteuert werden soll. Dementsprechend wird die Stellspannung aus der Regelabweichung der Generatorausgangsspannung von einer Referenzspannung gebildet, wobei die Referenzspannung von einer baugleichen, aber unbelasteten Solarzelle geliefert wird, um die Einflüsse nicht-elektrischer Umweltgrößen zu berücksichtigen. Der Einfluß einer Arbeitspunktveränderung infolge des aus der (auch als "Panel" bezeichneten) Gleichspannungsquelle fließenden Stromes mit seiner abfallenden Kennlinie kann durch die künstliche, durch die unbelastete Meßzelle gebildete Referenzspannung jedoch nicht ausreichend berücksichtigt werden. Ferner führen Exemplarstreuungen infolge der Fertigungstoleranzen zu Fehleinstellungen des Arbeitspunktes.

Bei dieser bekannten Vorrichtung ist außerdem bei einer teilweisen Abschattung oder Verschmutzung des Solargenerators oder der die Referenzspannung liefernden unbelasteten Meßzelle das Auffinden des optimalen Arbeitspunktes überhaupt nicht mehr möglich.

Der Oberbegriff des Anspruchs 1 trägt diesem Stand der Technik Rechnung.

Auch nach der EP-A1-0 029 743 wird die vom Panel an einen Verbraucher abgegebene Leistung durch Steuerung speziell eines Wechselrichters so eingestellt, daß diese maximal wird. Hierzu belastet ein sogenannter "Maximum Power Tracker" in festen Zeitabständen den Verbraucherstromkreis mit einem Störstrom ΔI und wertet die sich einstellende Panelausgangsspannungsänderung ΔU aus. Der "Maximum Power Point" selbst ist definiert als der Punkt auf der Panel-U/I-Kennlinie mit der Steigung minus eins, die in eine aus der Panelausgangsspannung selbst abgeleitete Referenzspannung abgebildet wird. Ein Vergleich

der sich auf Grund der Störstromaufschaltung ergebenden differentiellen Spannungsänderung $d\Delta U/d\Delta I$ mit der Referenzspannung ermöglicht das Verschieben des Arbeitspunktes in Richtung "Maximum Power Point".

Dem Panel wird bedingt durch den Störstrom Leistung entzogen, die nicht dem Verbraucher zur Verfügung steht. Ferner muß u. U. durch Nachjustieren der Referenzspannung sichergestellt werden, daß diese ein Maß für den Kennlinienpunkt mit der Steigung minus eins bleibt.

Nach DE-A-1 513 195, die dem Dokument US-A-3 384 806 entspricht, wird zur Optimierung des Panelarbeitspunktes dem Panelausgangsstrom ein sinusförmiges Suchsignal überlagert. In einem Demodulator wird die Phasenlage der ersten Ableitung der Panelausgangsleistung relativ zum Suchstrom ausgewertet und festgestellt, ob der momentane Arbeitspunkt sich links oder rechts vom "Maximum Power Point" befindet. Das Tastverhältnis eines als steuerbarer Leistungsübertrager eingesetzten Transistors wird durch das Demodulatorausgangssignal so eingestellt, daß sich der Panelarbeitspunkt in Richtung "Maximum Power Point" verschiebt.

Ein in FR-A-2 175 653 dargestelltes Verfahren benutzt noch kompliziertere Zusammenhänge, um den "Maximum Power Point" zu definieren und einzustellen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine weitere Vorrichtung zur selbsttätigen Einstellung des optimalen Arbeitspunktes einer Gleichspannungsquelle, insbesondere eines Solargenerators, anzugeben. Die erfindungsgemäße Vorrichtung ermöglicht neben vollkommen in Analogtechnik ausgeführten praktischen Ausführungen auch solche Ausführungsformen, bei denen insbesondere im Steuerungsteil auch digitale und/oder programmgesteuerte Bauelemente einsetzbar sind.

Die Aufgabe wird gelöst durch eine Vorrichtung gemäß Anspruch 1. Vorteilhafte Ausführungsformen sind in den Unteransprüchen angegeben.

Ausgangspunkt ist demnach eine Gleichspannungsquelle, insbesondere ein Solargenerator, der ein steuerbarer Leistungsübertrager zur Speisung eines Verbrauchers nachgeschaltet ist. Der Übertrager wird so gesteuert oder geregelt, daß seine Leistungsaufnahme, d. h. die vom Panel abgegebene elektrische Leistung, maximal ist. Hierzu wird für eine den Arbeitspunkt des Panels bestimmende Zustandsgröße, d.h. die Panelspannung oder den Panelstrom, ein entsprechender Sollwert vorgegeben. Diesem Sollwert wird in bestimmten Zeitabständen ein Zusatzwert im Sinn einer Störgröße vorübergehend aufgeschaltet und die dadurch hervorgerufene differentielle Änderung der Panelleistung wird erfaßt. Nach beendeter Aufschaltung des Zusatzwertes (Wegnahme der Störgröße) wird der Sollwert korrigiert, d. h. bleibend geändert, wobei das Vorzeichen dieser Sollwertänderung gleich dem Vorzeichen des Zusatzwertes gewählt wird, wenn während der Aufschaltung eine positive differentielle Änderung der Panelleistung festgestellt wurde, d. h. die durch die Aufschaltung hervorgerufene zeitliche Ableitung des Leistungsmeßwertes positiv ist. Hat die Aufschaltung des Zusatzsollwertes jedoch zu einer negativen differentiellen Änderung der abgegebenen Panelleistung geführt, so ist der Korrektursinn (das Vorzeichen der Sollwertänderung) entgegengesetzt dem Vorzeichen des Zusatzsollwertes zu wählen. Es erfolgt also eine Sollwertkorrektur, die stets zu einem Arbeitspunkt mit höherer Panelleistung führt, bis der MPP überschritten ist. Von da ab bewirken die weiteren Korrekturen, daß der Arbeitspunkt um den MPP pendelt. Die durch diese Pendelungen bedingten Schwankungen können umso geringer gehalten werden, je kleiner die Korrekturschritte und die Störgrößenamplitude (Zusatzsollwert) gewählt werden können. Gemäß der Erfindung wird nicht die Änderung ΔP der Panelleistung P selbst ausgewertet, sondern deren zeitliche Ableitung $\frac{d\Delta P}{dt}$, so daß bereits kleine Störgrößenamplituden genügen, um eine exakte qualitative Aussage über Zu- oder Abnahme der Panelleistung zu machen.

Die Störgrößenamplituden können dabei so gering gewählt werden, daß sie nur noch 1 %, vorzugsweise weniger als 1 %. Änderung in der Panelleistung bewirken, also die eigentliche Panelregelung praktisch nicht mehr stören.

Würde man andererseits die Leistungsistwerte selbst vor und während der Störgrößenaufschaltung miteinander vergleichen, so wären bei der Genauigkeit der üblichen Meß- und Auswerteeinrichtungen die Differenzen dieser Leistungsistwerte nicht mehr mit der gewünschten Zuverlässigkeit erfaßbar.

Bei einer besonders einfachen Vorrichtung werden Betrag und Vorzeichen des Zusatzsollwertes für alle Aufschaltungen gleich und fest vorgegeben. Der Betrag der Sollwertänderung selbst kann in Abhängigkeit von der jeweiligen, durch die Aufschaltung des Zusatzsollwerts bedingten Änderung der Panelleistung bestimmt werden, wodurch bei großen Abweichungen zwischen dem maximum power point und dem jeweiligen Arbeitspunkt der Arbeitspunkt zunächst rasch an den MPP angenähert wird. Das Verfahren läßt sich aber noch einfacher durchführen, wenn der Betrag der Sollwertänderungen für alle Sollwertänderungen gleich und fest vorgegeben wird, insbesondere kann der Betrag der Sollwertänderungen kleiner als der Betrag des Zusatzsollwertes gewählt werden.

Bevorzugt wird die Änderung der abgegebenen Panelleistung durch differentielles Auswerten der eingeschwungenen Zustände der Panelleistung vor und nach Aufschalten des Zusatzsollwertes festgestellt. Hierzu kann der (beispielsweise geringfügig geglättete) Leistungsistwert, der im

stationären Zustand vor einer Störgrößenaufschaltung erfaßt wird, unmittelbar vor Beginn der Störgrößenaufschaltung in einen Speicher gegeben werden, der diesen zwischengespeicherten Istwert solange an den Eingang eines Differenziergliedes legt, bis sich bei aufgeschalteter Störgröße wieder ein stationärer Leistungsistwert einstellt, der dann dem Eingang des Differenziergliedes anstelle des zwischengespeicherten Leistungsistwertes aufgeschaltet wird. Dadurch entsteht eine sprunghafte Änderung ΔP am Eingang des Differenziergliedes, das selbst bei sehr kleinem ΔP ein großes Ausgangssignal $d\,\Delta\,P/dt$ erzeugt.

Da z. B. bei geringer Beleuchtungsintensität eines Solargenerators eine Sollwertänderung nur noch zu entsprechend kleineren, schwer auswertbaren Änderungen der Panelleistung führt, kann ein unveränderlicher Sollwert vorgegeben werden, sobald die Leistungsabgabe einen eingestellten Minimalwert unterschreitet.

Anhand von vier Figuren und einem Ausführungsbeispiel wird die Erfindung näher erläutert.

Figur 1 zeigt den Verlauf der Strom-Spannungskennlinie eines Solargenerators sowie die Abhängigkeit der Panelleistung von dem Freiheitsgrad der Anordnung. In Figur 2 ist eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens und in Figur 3 der wichtigste Teil einer Auswerteschaltung zum Erfassen der stationären Leistungsänderung dargestellt, Figur 4 zeigt die Ansteuerung der einzelnen Schaltglieder der Vorrichtung.

In Figur 1 ist der Zusammenhang zwischen der Ausgangsspannung U (Panelspannung) eines Solargenerators und dem entnommenen Strom I (Panelstrom) aufgetragen. Ferner ist die Solarleistung P, d. h. das Produkt aus Panelspannung und Panelstrom, gezeigt. Die Solarleistung P weist ein ausgeprägtes Maximum P_{opt} auf, dem auf dem U/I-Zustandsdiagramm die Werte U_{opt} und I_{opt} der beiden elektrischen Zustandsgrößen U und I entsprechen. Die gezeigten Diagramme, die selbst für verschiedene Panels des gleichen Types noch etwas voneinander abweichen, sind bei einer Einstrahlung von 930 W/m², einer Umgebungstemperatur von 24° C und einer Paneltemperatur von 36° C gemessen. Werden diese äußeren, nicht-elektrischen Parameter verändert, so ergeben sich andere Diagramme. Mit der Erfindung wird jeweils der optimale Arbeitspunkt, der durch U_{opt} und I_{opt} gegeben ist, selbsttätig eingestellt.

Im folgenden wird der Fall betrachtet, daß gemäß Fig. 2 ein Solargenerator 1 über einen elektrischen Leistungsübertrager 2 einen Verbraucher 3 speist. Im gegebenen Fall ist der Leistungsübertrager als Gleichstromsteller ausgebildet und dient als Laderegler einer Batterie 3. Die Klemmenspannung der Batterie ändert sich während einer Störgrößenaufschaltung nur ganz geringfügig, so daß die der Batterie zugeführte elektrische Leistung, die über den Gleichstromsteller dem Solargenerator entnommen wird, praktisch proportional dem Ladestrom der Batterie ist, welcher an der Meßzelle 4 gemessen werden kann. Die Eingangsspannung der Batterie dient ferner dazu, über ein Netzgerät 5 die Betriebsspannung für das Steuergerät 6 des Gleichstromstellers sowie die weiteren Regeleinrichtungen zu liefern.

Ziel der erfindungsgemäßen Regelung ist es, die Zustandsgröße U (in diesem Fall also die Panelspannung) als Führungsgroße der Anordnung auf den optimalen Arbeitspunkt U_{opt} einzuregeln, was durch Veränderung des Puls-Pausen-Verhältnisses des im Gleichstromsteller 2 enthaltenen Schalters geschieht. Dadurch wird der über den Steller 2 fließende Strom als Stellgröße des Systems so verändert, wie es dem anbestrebten Arbeitspunkt entspricht.

Vorteilhaft liefert der Sollwertbildner (7) einen Grund-Sollwert $\bar{U}_o$ und einen Korrektursollwert U_{korr}, die zu dem Sollwert $U_o = \bar{U}_o + U_{korr}$ zusammengesetzt werden. Es sei zunächst angenommen, daß die Vorrichtung bei einem vom optimalen Arbeitspunkt (maximum power point MPP) abweichenden Arbeitspunkt arbeitet, der durch die Spannung $\bar{U}_o$ gegeben und an einer Einstelleinrichtung 7a im Sollwertbildner fest eingestellt ist. Die Anordnung kann gesteuert betrieben werden, es kann aber auch eine Regelung vorgesehen sein. So kann z. B. an einem Vergleichsglied 8 die Regelabweichung zwischen dem Sollwert U_o und einem mittels eines entsprechenden Meßgliedes 9 abgegriffenen Istwertes U_1 für die Panelspannung gebildet werden, um die Steuergröße der Steuereinrichtung 6 des Stellers 2 zu erhalten.

Eine Zeitstufe 10 erzeugt nun eine Störgröße (Zusatzsollwert $\Delta U'$), die als Störspannungsstoß dem am Sollwertbildner eingestellten Sollwert U_o vorübergehend aufgeschaltet wird, z. B. am Vergleichsglied 8. Ist das Vorzeichen des Zusatzsollwertes $\Delta U'$ negativ, so führt es in dem in Figur 1 gezeigten Fall $U_0 < U_{opt}$ zu einer Abnahme der von Solargenerator abgebebenen Panelleistung P. Das Vorzeichen dieser Leistungsänderung $\Delta P'$, die durch die Differenz der zum eingestellten Arbeitspunkt U_0 gegebenen Panelleistung P_0 und der durch die Störgrößen-Aufschaltung $\Delta U'$ bewirkten Panelleistung gebeben ist, zeigt somit an, in welcher Richtung U_0 verändert werden muß, um zu einer Annäherung an U_{opt} zu kommen. Eine Auswerteschaltung 11, die die zeitliche Ableitung der vor und während der Störgrößenaufschaltung abgegebenen Panelleistung auswertet, stellt daher die durch die Aufschaltung hervorgerufene Änderung der Leistungsabgabe des Solargenerators fest.

In Abhängigkeit von dem Vorzeichen der von der Auswerteschaltung festgestellten Leistungsänderung wird dann der vom Sollwertbildner gelieferte Sollwert U_0 verändert. Zu diesem Zweck enthält der Sollwertbildner 7

vorteilhaft einen Integrator 7b, dem zur Spannungsbegrenzung zwei antiparallele Zenerdioden parallel geschaltet sind. Zum Nachstellen des Sollwertes kann vorgesehen sein, daß die Auswerteschaltung 11 an ihrem Ausgang einen Grenzwertmelder 12 enthält, der das Vorzeichen der Leistungeänderung in Form eines digitalen Signals liefert und in einen Speicher, z. B. eine Flip-Flop-Schaltung 13, eingibt. Der Speicherausgang ist so beschaltet, daß entsprechend dem gespeicherten Signal eine positive oder negative Spannung ΔU_0 (entsprechend einer Zunahme oder Abnahme der Leistung) konstanten Betrages bereitgestellt ist. Nach Beendigung der Aufschaltung des Zusatzsollwertes $\Delta U'$ schließt die Zeitstufe 10 einen Schalter 14 zwischen den Speicher 13 und dem Integrator 7, so daß nun dem Integrator kurzfristig die vom Speicher bereitgestellte Spannung als Eingangsspannung mit einem dem Vorzeichen der differentiellen Leistungsänderung entsprechenden Vorzeichen aufgeschaltet ist. Der Integrator summiert diese kurzfristigen Spannungsstöße ΔU_0, so daß die Integratorausgangsspannung $U_{korr} = \Sigma\Delta U_0$ als Korrekturgröße des Grund-Sollwerts $\tilde{U}_0$ entsprechend nachgeführt wird.

Der Sollwert U_0 wird somit nach jeder Aufschaltung um einen konstanten, fest vorgegebenen Korrekturbetrag ΔU_0 geändert. Nach einer endlichen Zahl von derartigen Korrekturschritten, die jeweils aus einer vorübergehenden Aufschaltung des Zusatzsollwertes $\Delta U'$ und einer anschließenden bleibenden Sollwertänderung um ΔU_0 bestehen, wird damit der Maximum Power Point MPP erreicht und bei allen weiteren Aufschaltungen kann der Arbeitspunkt nur noch geringfügig um diesen optimalen Arbeitspunkt pendeln.

Vorzeichen und Betrag des Zusatzsollwertes $\Delta U'$ ist im gegebenen Fall durch die Zeitstufe 10 fest vorgegeben. Wegen der sehr empfindlichen differentiellen Erfassung der Leistungsänderung kann $\Delta U'$ so gewählt werden, daß die durch die Störgrößenaufschaltung bedingte Änderung der Ausgangsspannung U 1 ‰ bis maximal 1 %, der Spannung U_{opt} im MPP beträgt. Die Sollwertänderung ΔU_0 ist durch die Schließzeit des Schalters 14 festgelegt und wird vorteilhaft so gewählt, daß ΔU_0 etwas kleiner als $\Delta U'$ ist.

Die Zeitstufe 10 steuert ferner eine aus zwei Schaltern 16a und 16b bestehende Schaltvorrichtung innerhalb der Auswerteschaltung 11. Im gebebenen Fall ist für die Auswerteschaltung 11 ein Strommeßglied zur Erfassung der Leistungsabgabe der Gleichspannungsquelle ausreichend, da die Klemmenspannung des Verbrauchers also die Batterie-Eingangsspannung, bei Auf- und Abschalten der Störgröße praktisch konstant bleibt und eine vom Ladezustand der Batterie abhängige langsame Änderung der Klemmenspannung für die differentielle Leistungsänderung ohne Bedeutung ist. In anderen Fällen muß zur Erfassung der Leistung bzw. deren differentieller Änderung Strom und Spannung erfaßt und miteinander multipliziert werden.

Der Schalter 16a, der unmittelbar vor oder wenigstens mit Beginn der Aufschaltung des Zusatzsollwertes geöffnet wird, verbindet das Meßglied 4 (bzw. ein nachgeschaltetes Istwert-Glättungsglied 17 mit kleiner Zeitkonstante) mit einem Speiche 18a, in dem dann der vor der Aufschaltung gemessene, zu einem eingeschwungenen Zustand des Panels gehörende Wert der Leistungsabgabe gespeichert ist. Noch vor dem Ende der Aufschaltung wird, sobald die Anordnung auf einen neuen, zu $U_0 + \Delta U'$ gehörenden stationären Wert eingeschwungen ist, der Schalter 16a wieder geschlossen und der Speicher 18a enthält den neuen stationären Meßwert. Dem Speicher ist ein Differenzierglied 18c nachgeschaltet, wobei Speicher und Differenzierglied zu einer gemeinsamen Differenziereinrichtung 18, die in Fig 3 dargestellt ist, zusammengefaßt sein können.

Speicher 18a und Schalter 16a wirken so zusammen, daß am Eingang des Differenziergliedes 18c vor dem Öffnen des Schalters der jeweilige Leistungsmeßwert, bei geöffnetem Schalter der unmittelbar vor der Störgrößenaufschaltung gemessene und abgespeicherte Meßwert und nach dem Schließen des Schalters wieder der gemessene, jetzt zu $U_0 + \Delta U'$ gehörende Meßwert zugeführt sind. Da diese Meßwerte jeweils bei eingeschwungenen Zuständen gewonnen sind, erfaßt das Differenzierglied 18c also nur die störgrößenbedingte Änderung der stationären Leistung P_{stat}, d. h. deren Änderung ΔP_{stat}. Diese kann z. B. durch Mittel 18b gebildet werden und liegt nach dem erneuten Schließen des Schalters 16a als Spannungsstoß an und wird differenziert. Am Ausgang des Differenziergliedes 18c liegt also die differentielle Änderung der stationären Leistungsabgabe der Gleichspannung an.

Gemäß Figur 3 wirkt der einem Operationsverstärker 30 vorgeschaltete Kondensator 31 als Speicher, der sich beim Schließen des hochisolierenden Schalters 16a entsprechend dem angelegten Eingangssignal auflädt und diese Ladung praktisch unverändert bis zum Wiederschließen des Schalters 16a beibehält. Der Operationsverstärker 30 ist über die Kapazität 31 und den Widerstand 34 als Differenzierer und über die RC-Beschaltung 33, 34 als zusätzliche Glättung ausgelegt. Der Schalter 16b, der über ein Steuersignal S1 gemeinsam mit dem Schalter 16a angesteuert und betätigt wird, verhindert, daß während der Öffnungszeit von 16a Ströme aus der Differenziereinrichtung 18 in ein nachgeschaltetes Glättungsglied 18d fließen. Dieses Glättungsglied 18d kann z. B. aus einem passiven Tiefpaß und einem aktiven Glättungsglied bestehen und dazu dienen, einen überlagerten Wechselspannungsanteil der Differenziererausgangsspannung, der von Oberschwingungen des Leistungsistwertes

herrürt, zu glätten.

Der bereits erwähnte Grenzwertmelder 12 erfaßt das Vorzeichen dieser (geglätteten) Leistungsänderung und führt über die bereits beschriebene Aufschaltung mittels der Elemente 13 und 14 zum Nachstellen des Korrektur-Sollwertes U_{korr} bzw. des Sollwertes U_0 um die Spannung ΔU_0.

Ferner ist ein weiterer Grenzwertmelder 19 vorgesehen, der den Istwert der abgegebenen Leistung auf Unterschreiten eines Minimalwertes überprüft, einen Überbrückungsschalter 20 am Integrator 7 schließt und damit die Mittel zum Nachstellen des Sollwertes U_0 außer Eingriff bringt, sobald die abgegebene Leistung des Solargenerators so gering ist, daß eine einwandfreie Erfassung in der Auswerteschaltung 11 nicht mehr möglich ist.

Das Wechselspiel zwischen Aufschaltung des Zusatzsollwertes $\Delta U'$ und Nachstellen des Sollwertes geschieht in Arbeitszyklen, die von der Zeitsteuerschaltung 10 vorgegeben werden. Die Dauer eines derartigen Zyklus kann z. B. 2 Sekunden betragen und durch einen entsprechenden Oszillator mit nachgeschaltetem Zähler in 256 Zeitschritte unterteilt werden.

Sind Störungen der Leistungserfassung durch den Arbeitstakt des Stellers 2 zu befürchten, so kann der Oszillator 21 auf den Stellertakt abgestimmt werden. Mit den Oszillatorimpulsen werden nacheinander die Adressen eines Speichers 22 angesteuert, in dem für jeden Zeitschritt die entsprechenden Ansteuerimpulse für die Nachführregelung abgespeichert sind. Figur 4 zeigt einen beispielhaften Verlauf der entsprechenden Steuersignale in Abhängigkeit von den Zeitschritten n.

Bei Beginn eines Zyklus' wird die zunächst geschlossene Schalteinrichtung 16a, 16b geöffnet (Steuersignal S1) und unmittelbar darauf der Zusatzsollwert $\Delta U'$ der Additionsstelle 8 aufgeschaltet (Spannung S2). Ist das Panel entsprechend dem neuen Spannungssollwert $U_0 + \Delta U'$ auf einen stationären Leistungsistwert eingeschwungen, wird - bei beibehaltener Aufschaltung von $\Delta U'$ - die Schalteinrichtung 16a geschlossen. Die Eingangsspannung des Differenziergliedes 18c springt dadurch auf den neuen Leistungsistwert und es entsteht ein Impuls am Differenziererausgang und dem Glättungsglied 18d, dessen Vorzeichen vom Schwellwertglied 12 ausgewertet ist. Wenn die Spannung des Glättungsgliedes etwa auf ihren Höchstwert angewachsen ist, wird mit dem Steuersignal S3 der Speicher 13 kurzzeitig geöffnet und das anstehende Ausgangssignal des Schwellwertgliedes 12 für die Dauer eines Zyklus' gespeichert. Anschließend wird die Störgrößenaufschaltung $\Delta U'$ beendet und es beginnt die Korrektur des Sollwertes U_{korr}. Dazu wird für eine fest vorgegebene Korrekturzeit der Ausgang des Speichers auf den Integrator 7b gegeben, dessen Ausgangsspannung U_{korr} sich dadurch um die zum Signal S4 gehörende Spannungszeitfläche ΔU_0 ändert.

Die hier gezeigte Steuerung des Gleichstromstellers wirkt über die Puls-Pause-Steuerung primär auf den übertragenen Strom, wobei sich die Spannung entsprechend dem Lastwiderstand einstellt. Selbstverständlich können auch andere Leistungswandler verwendet werden.

Die Vorrichtung ermöglicht es somit, den Arbeitspunkt jeweils auf den optimalen Arbeitspunkt nachzuführen, wobei alle Verschiebungen des optimalen Arbeitspunktes selbsttätig berücksichtigt werden.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zum selbsttätigen Einstellen des optimalen Arbeitspunktes einer mit einem Innenwiderstand behafteten Gleichspannungsquelle (1), insbesondere eines Solargenerators, mit

a) einem der Gleichspannungsquelle (1) nachgeschalteten Energieübertrager mit Steuereinrichtung (6), welcher ein Sollwert (U_0) für die Ausgangsspannung (U_1) der Gleichspannungsquelle (1) vorgegeben ist,

b) einem Meßglied (4) zum Erfassen einer Größe, die der von der Gleichspannungsquelle (1) an den Verbraucher (5, 3), insbesondere eine Batterie, abgegebenen Leistung (P) entspricht,

c) einem Sollwertbildner (7) für den Sollwert (U_0),

d) einer Aufschaltvorrichtung, welche vorübergehend den Arbeitspunkt der Gleichspannungsquelle (1) durch Aufschaltung einer Störgröße ($\Delta U'$) auf den Energieübertrager (2) verändert (S2),

e) einer Auswerteschaltung (11) mit Differenziereinrichtung (18), welche das Vorzeichen der durch die Aufschaltung hervorgerufenen Änderung der von der Gleichspannungsquelle (1) abgegebenen Leistung feststellt, und mit Nachstellmitteln (13, 14), welche abhängig von dem Vorzeichen den Sollwertbildner (7) nachstellen (S4),

gekennzeichnet durch

f) einen Speicher (18a) in der Differenziereinrichtung (18), der mit Beginn einer Aufschaltung den am Meßglied (4) anstehenden Wert (P) abtastet und speichert (S1),

g) einen Schalter (16a) am Eingang der Auswerteschaltung (11), der mit Beginn einer Aufschaltung die Auswerteschaltung vom Meßglied (4) abkoppelt und vor dem Ende der Aufschaltung wieder ankoppelt (S1),

h) Mittel (18b), welche in der Differenziereinrichtung (18), vor dem Ende einer Aufschaltung die hervorgerufene Leistungsänderung (ΔP) ermitteln und einem Differenzierglied (18c) zuführen ($\frac{d\Delta P}{dt}$),

i) einen Vorzeichenspeicher (13) in den Nachstellmitteln (13, 14), in den das über einen Komparator (12) detektierende Vorzeichen der zeitlichen Ableitung der Leistungsänderung (sign

($\frac{d\Delta P}{dt}$)) mit dem Ende einer Aufschaltung hinterlegt wird (S_3), und

k) eine Zeitstufe (10) als Aufschaltvorrichtung, welche Steuersignale (S1, S3) für den Speicher (18a), den Schalter (16a) und den Vorzeichenspeicher (13) zeitkoordiniert abgibt.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Zeitstufe (10) dem Sollwert (U_0) für die Steuereinrichtung (6) als Störgröße einen Zusatzsollwert ($\Delta U'$) vorgegebener Größe für eine vorbestimmte Zeitdauer aufschaltet (8).

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Zeitstufe (10) einen von einem Taktgeber (21) angesteuerten Speicher (22) enthält, in dem die zur Aufschaltung der Störgröße und der anschließenden Nachstellung des Sollwertbildners notwendigen Steuersignale (S1 bis S4) in speicherprogrammierter Form hinterlegt sind.

4. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Meßglied (4) zwischen Energieübertrager (2) und Verbraucher (5, 3) in den Stromkreis eingeschaltet ist.

5. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet , daß ein Grenzwertmelder (19) die Nachstellmittel (13, 14) außer Eingriff bringt (Schalter 20), wenn ein Minimalwert der Leistungsabgabe unterschritten ist.

6. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet , daß der Sollwertbildner (7) den Sollwert (U_0) als Summe eines Grund-Sollwertes (U_0) und eines Korrektur-Sollwertes (U_{korr}) bildet, zur Bildung des Grund-Sollwertes eine Einstelleinrichtung (7a) und zur Bildung des Korrektur-Sollwertes einen Integrator (7b) enthält, dem nach jeder Aufschaltung der Zusatzgröße kurzzeitig (Fig 4, Signal S4) eine vorgegebene Eingangsspannung (ΔU_0) mit dem im Vorzeichenspeicher (13) hinterlegten Vorzeichen aufgeschaltet wird.

Claims

1. A device for automatically adjusting the optimum operating point of a d.c. voltage source (1) having an internal resistance, in particular a solar generator, comprising:

a) an energy transmitter connected to the output of the d.c. voltage source (1), comprising a control device (6) and provided with a theoretical value (U_0) for the output voltage (U_1) of the d.c. voltage source (1),

b) a measuring component (4) which measures a quantity which corresponds to the power (P) emitted from the d.c. voltage source (1) to the load (5, 3), in particular a battery,

c) a theoretical value forming device (7) for the theoretical value (U_0),

d) a superimposition device which temporarily changes the operating point of the d.c. voltage source (1) by superimposing a disturbance variable ($\Delta U'$) onto the energy transmitter (2),

e) an analysis circuit (11) which comprises a differentiator device (18) and which determines the sign of the change in the power emitted from the d.c. voltage source (1) produced as a result of the superimposition and which comprises adjusting means (13, 14) which adjust (S4) the theoretical value forming device (7) in dependence upon the sign,

characterised by

f) a store (18a) provided in the differentiator device (18) which, at the start of a superimposition, samples and stores (S1) the value (P) occurring across the measuring component (4),

g) a switch (16a) provided at the input of the analysis circuit (11) which decouples the analysis circuit from the measuring component (4) at the start of a superimposition, and recouples (S1) the analysis circuit before the end of the superimposition,

h) means (18b) in the differentiator device (18) which determine the change in power (ΔP) thus produced before the end of a superimposition and supply this to a differentiator element (18c) [$\frac{d\Delta P}{dt}$],

i) a sign store (13) arranged in the adjusting means (13, 14) into which the sign of the time coefficient of the change in power (sign [$\frac{d\Delta P}{dt}$]) detected via a comparator (12) is input (S_3) at the end of a superimposition and

k) a time stage (10) as superimposing device which emits control signals (S1, S3) for the store (18a), the switch (16a) and the sign store (13) in time-coordinated fashion.

2. A device as claimed in Claim 1, characterised in that by way of disturbance variable the time stage (10) superimposes (8) an additional theoretical value ($\Delta U'$) of a determinate magnitude upon the theoretical value (U_0) for a predetermined period of time.

3. A device as claimed in Claims 1 or 2, characterised in that the time stage (10) contains a store (22) driven by a clock generator (21) and in which the control signals (S1 to S4) required to superimpose the disturbance variable and subsequently adjust the theoretical value forming device are stored in a store-programmed form.

4. A device as claimed in one of the preceding Claims, characterised in that the measuring component (4) is connected into the circuit between the energy transmitter (2) and the load (5, 3).

5. A device as claimed in one of the preceding Claims, characterised in that a limit value alarm (19) de-actuates (switch 20) the adjusting means (13, 14) when a minimum power output value is undershot.

6. A device as claimed in one of the preceding Claims, characterised in that the theoretical value forming device (7) forms the theoretical value (U_0) as the sum of a fundamental theoretical

value (U_0) and a correcting theoretical value (U_{korr}), for the formation of the fundamental theoretical value, contains a setting-up device (7a) and for the formation of the correcting theoretical value contains an integrator (7b), upon which a predetermined input voltage (ΔU_0) with the sign stored in the sign store (13) is temporarily superimposed following each superimposition of the additional value (Fig. 4, Signal S4).

Revendications

1. Dispositif pour le réglage automatique du point optimal de fonctionnement d'une source de tension continue (1) présentant une résistance interne, notamment une pile solaire, comportant

a) un transformateur d'énergie branché en aval de la source de tension continue (1) et comportant un dispositif de commande (6) auquel est envoyée une chaleur de consigne (U_0) pour la tension de sortie (U_1) de la source de tension continue (1),

b) un organe de mesure (4) servant à détecter une grandeur qui correspond à la puissance (P) délivrée par la source de tension continue (1) à l'appareil d'utilisation (5, 3), notamment une batterie,

c) un dispositif (7) de formation de la valeur de consigne (U_0),

d) un dispositif l'intervention qui modifie de façon transitoire le point de fonctionnement de la source de tension continue (1) par application d'une grandeur perturbatrice (U') au transformateur d'énergie (2),

e) un circuit d'évaluation (11) comportant un dispositif différentiateur (18) qui détermine le signe de la variation, provoquée par l'intervention, de l'énergie délivrée par la source de tension continue (1), et des moyens de réglage (13, 14), qui règlent (SK), en fonction du signe, le dispositif (7) de formation de la valeur de consigne,

caractérisé par

f) une mémoire (18a) située dans le dispositif différentiateur (18) et qui au début d'une intervention, explore et mémorise (S1) la valeur (P) présente au niveau de l'organe de mesure (4),

g) un interrupteur (16a) monté à l'entrée du circuit d'évaluation (11) et qui, au début d'une intervention, découple le circuit d'évaluation par rapport au circuit de mesure (4) au début d'une intervention et l'accouple à nouveau (S1) avant la fin de l'intervention,

h) des moyens (18b), qui déterminent, dans le dispositif différentiateur (18) et avant la fin d'une intervention la variation provoquée de puissance (ΔP) et l'envoient ($\frac{d\Delta P}{dt}$) à un circuit différentiateur (18c),

i) une mémoire de signes (13) située dans les dispositifs de réglage (13, 14) et dans laquelle le signe, détecté par un comparateur (12), de la dérivée dans le temps de la variation de puissance (signe ($\frac{d\Delta P}{dt}$)) est introduit (S_3) à la fin d'une intervention, et

k) un dispositif de commande temporelle (10) qui sert de dispositif d'intervention et délivre, d'une manière coordonnée dans le temps, des signaux de commande (S1, S3) pour la mémoire (18a), l'interrupteur (16a) et la mémoire de signes (13).

2. Dispositif suivant la revendication 1, caractérisé par le fait que le dispositif de commande temporelle (10) ajoute (en 8), en tant que grandeur perturbatrice, à la valeur de consigne (U_0) pour le dispositif de commande (6), une valeur de consigne additionnelle prédéterminée ($\Delta U'$) pendant un intervalle de temps prédéterminé.

3. Dispositif suivant la revendication 1 ou 2, caractérisé par le fait que le dispositif de commande temporelle (10) contient une mémoire (22), qui est commandée par un générateur de cadence (21) et dans laquelle les signaux de commande (S1 à S4), qui sont nécessaires pour réaliser l'intervention de la grandeur perturbatrice et le réglage ultérieur du dispositif de formation de la valeur de consigne, sont mémorisés sous forme programmée en mémoire.

4. Dispositif suivant l'une des revendications précédentes, caractérisé par le fait que l'organe de mesure (4) est branché dans le circuit entre le transformateur d'énergie (2) et l'appareil d'utilisation (5, 3).

5. Dispositif suivant l'une des revendications précédentes, caractérisé par le fait qu'un transmetteur de valeur limite (19) débranche (interrupteur 20) les moyens de réglage (13, 14) lorsque la puissance délivrée tombe au-dessous d'une valeur minimale.

6. Dispositif suivant l'une des revendications précédentes, caractérisé par le fait que le dispositif (7) de formation de la valeur de consigne forme la valeur de consigne (U_0) en tant que somme d'une valeur de consigne de base (U_0) et d'une valeur de consigne de correction (U_{korr}), et contient, pour la formation de la valeur de consigne de base, un dispositif de réglage (7a) et pour la formation de la valeur de consigne de correction, un intégrateur (7b) auquel est envoyé pendant un bref intervalle de temps (figure 4, signal S4), après chaque intervention de la grandeur additionnelle, une tension d'entrée prédéterminée (ΔU_0) possédant le signe mémorisé dans la mémoire de signes (13).

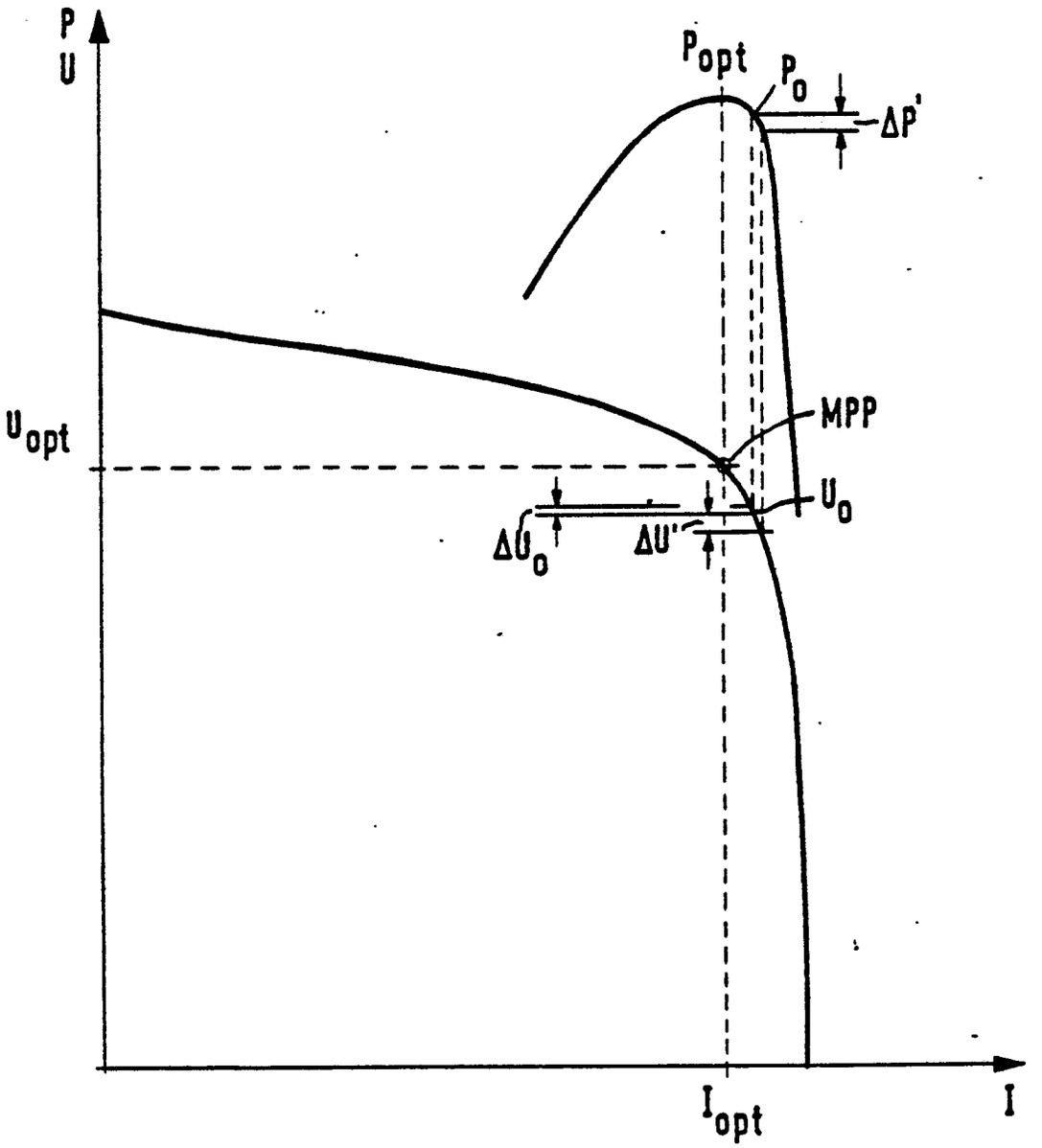


FIG 1

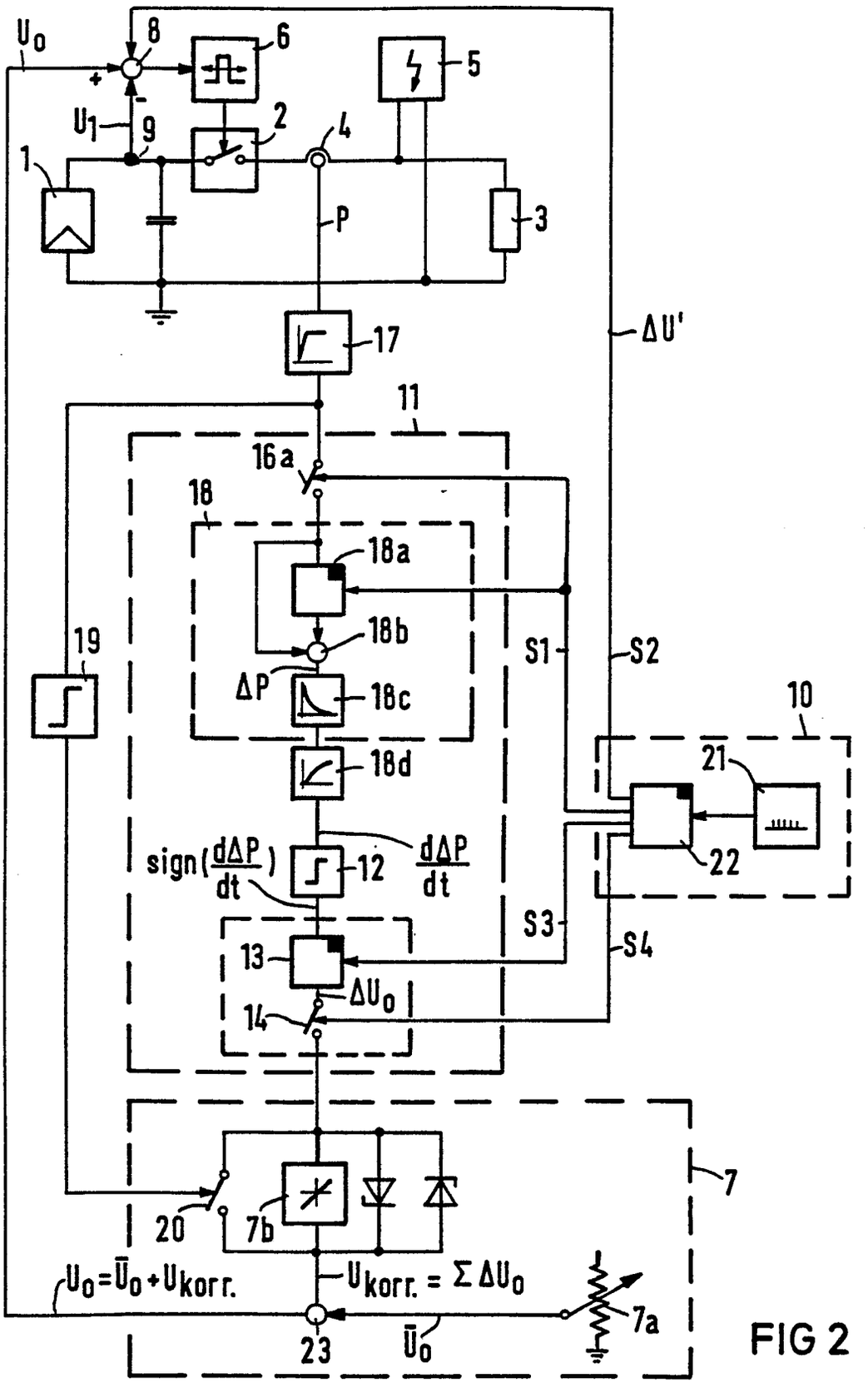

U0
8
6
5
U1
9
2
4
1
P
3
17
ΔU'
11
16a
18
18a
18b
19
S1
S2
ΔP
18c
10
18d
21
sign(dΔP/dt)
12
dΔP/dt
22
S3
S4
13
ΔU0
14
7
20
7b
U0=Ū0+Ukorr.
Ukorr. = ΣΔU0
7a
23
Ū0

FIG 2

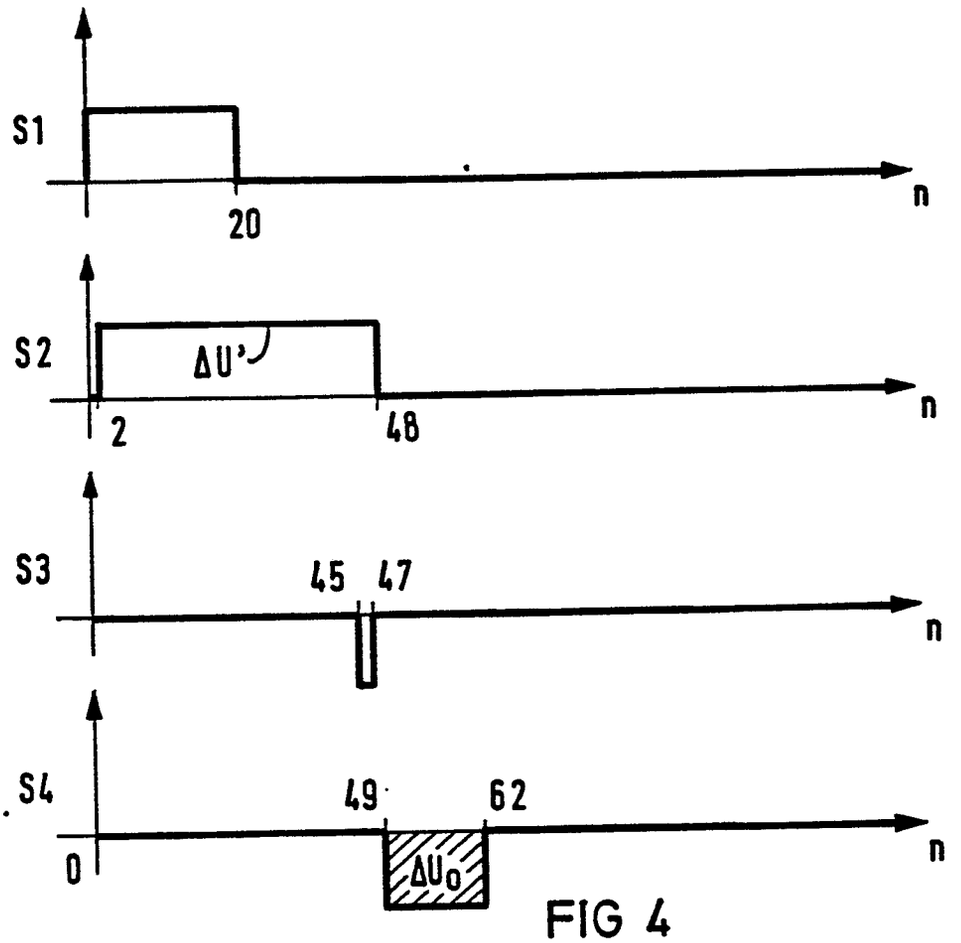


FIG 4

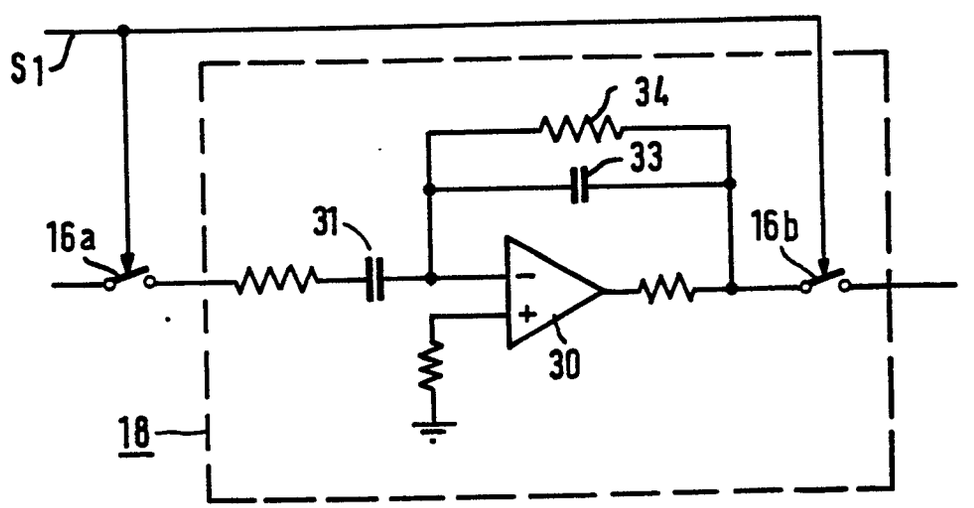


FIG 3