

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4800371号
(P4800371)

(45) 発行日 平成23年10月26日(2011.10.26)

(24) 登録日 平成23年8月12日(2011.8.12)

(51) Int.Cl.

F 1

GO 1 R	15/09	(2006.01)
GO 1 D	3/02	(2006.01)
GO 1 R	15/00	(2006.01)
GO 1 R	19/00	(2006.01)

GO 1 R	15/08
GO 1 R	15/10
GO 1 R	19/00

A
C
B

請求項の数 3 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2008-292867 (P2008-292867)	(73) 特許権者	394001526
(22) 出願日	平成20年11月15日 (2008.11.15)	小澤 富士男	
(65) 公開番号	特開2010-85384 (P2010-85384A)	静岡県駿東郡清水町徳倉 1323-8	
(43) 公開日	平成22年4月15日 (2010.4.15)	(72) 発明者	小澤 富士男
審査請求日	平成22年11月29日 (2010.11.29)	静岡県駿東郡清水町徳倉 1323-8	
(31) 優先権主張番号	特願2008-197092 (P2008-197092)	審査官	堀 圭史
(32) 優先日	平成20年7月30日 (2008.7.30)	(56) 参考文献	特開2007-315980 (JP, A)
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		特開平6-265582 (JP, A)
(31) 優先権主張番号	特願2008-224322 (P2008-224322)		特開2006-300677 (JP, A)
(32) 優先日	平成20年9月2日 (2008.9.2)		
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		

早期審査対象出願

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】レンジ切り替え回路

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

誤差増幅動作可能な第1の演算増幅器を有し、さらにI/V変換抵抗を負帰還抵抗としてI/V変換可能とした第2の演算増幅器と、電流オン/オフ用半導体スイッチと、レンジオン/オフ用半導体スイッチを含む第1種類のI/V変換部を有して、前記電流オン/オフ用半導体スイッチの一方の端子を当該電流/電圧変換回路の測定対象電流の入力部と前記第1の演算増幅器の反転入力端子に接続し、もう一方の端子を前記第2の演算増幅器の反転入力端子に接続し、前記レンジオン/オフ用半導体スイッチにより前記第2の演算増幅器の非反転入力端子の接続先を前記第1の演算増幅器の出力かグランド電位かを選択可能にし、前記I/V変換抵抗に流れる電流のオン/オフ制御が可能で、前記第2の演算増幅器の出力電圧とその非反転入力端子電圧の電位差が前記I/V変換抵抗に流れる電流値に比例した電圧になる事を特徴とする電流/電圧変換回路。

【請求項 2】

請求項1による電流/電圧変換回路において、前記第1種類のI/V変換部を複数レンジ分並列に設け、各I/V変換部毎にI/V変換抵抗に流れる電流のオン/オフ制御が可能で、各I/V変換部毎の第2の演算増幅器の出力電圧とその非反転入力端子電圧の電位差がそのI/V変換抵抗に流れる電流値に比例した電圧になる事を特徴とする電流/電圧変換回路。

【請求項 3】

請求項2の電流/電圧変換回路において、任意レンジの前記第1種類のI/V変換部内

において当該電流／電圧変換回路の測定対象電流の入力部と電流オン／オフ用半導体スイッチの間か、又は電流オン／オフ用半導体スイッチと当該 I／V 変換部の第 2の演算増幅器の反転入力端子の間に抵抗を入れるか、又は前記抵抗を入れると共にレンジオン／オフ用半導体スイッチに不感帯を設けた事を特徴とする電流／電圧変換回路。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は半導体スイッチの漏れ電流や、演算増幅器やバッファアンプ等のバイアス電流に起因する測定誤差の少ない電流／電圧変換回路に関するものである。

【背景技術】

【0002】

電流の大きさ、又は電流に関連した電気量や電力量等のような物理量を測定する場合、電流を電圧に変換する為に I／V 変換抵抗を用いる。従来は対象とする電流の大きさに応じて抵抗値の異なる数種類の I／V 変換抵抗を、スイッチ又はリレー又は半導体等のスイッチで切り替えて測定していた。これは一般的にはレンジ切り替えと呼ばれる。

【0003】

図 23 はその一例としてのレンジ数 2 の場合の基本的な電流／電圧変換回路であり、I／V 変換抵抗 3、4 を並列にして半導体スイッチ 23、25 でレンジ切り替えを行なう。

一般的にはダイナミックレンジが大きく、且つ高速に変化する電流についてはレンジ切り替えは困難であり、測定対象電流が小さく半導体スイッチの漏れ電流の影響が誤差要因となる場合は実用にならず、それ故に特許文献 1 や特許文献 2、あるいはそれらの基本原理である特許文献 3 等で対策を講じた回路で実現可能となつた。

【0004】

図 14 は特許文献 1 で開示されている代表的な電流／電圧変換回路のレンジ数 3 の場合の構成図である。小さい電流レンジからそれぞれレンジ 1、レンジ 2、レンジ 3 とする。レンジ 1 が最小レンジである。

I／V 変換抵抗 3、4、5 はそれぞれレンジ 1、2、3 用であり、抵抗値を R1、R2、R3 としてこれらを直列接続し、レンジ 1 以外の I／V 変換抵抗には電流バイパス回路を設ける。

レンジ 2 の電流バイパス回路はレンジ切り替え回路 90 中のスイッチ 91 によりその出力部である電流駆動回路 92 の駆動信号をレンジオフ時はダイオードスイッチ 6 の I／V 変換抵抗 4 側の端子電圧に、レンジオン時は不感帯回路 93 を経由した誤差増幅器としての演算増幅器 1 の電圧出力 V1 側に切り替え、ダイオードスイッチ 6 を介して電流駆動回路 92 で I／V 変換抵抗 4、5 を駆動する。

レンジ 3 についても同様である。動作の詳細は特許文献 1 による。

以下本書ではこれを「抵抗直列電流／電圧変換回路 1」と呼ぶ。

【0005】

図 15 は特許文献 2 で開示されている主な電流／電圧変換回路のレンジ数 3 の場合の構成図である。

各レンジの I／V 変換抵抗 3、4、5 を直列接続し、最小レンジ以外の各 I／V 変換抵抗には電流バイパス回路を設ける。

レンジ 2 の電流バイパス回路はレンジ切り替え回路 100 中の電流駆動回路 104 の駆動信号を、加算器 103 によるリミット回路 102 を介した I／V 変換抵抗 4 側のダイオードスイッチ 6 の端子電圧と不感帯回路 101 を介した誤差増幅器としての演算増幅器 1 の電圧出力 V1 との加算値とし、ダイオードスイッチ 6 を介して電流駆動回路 104 で I／V 変換抵抗 4、5 を駆動し、その動作は自動レンジ切り替えになるというものである。

レンジ 3 の電流バイパス回路についても同様である。動作の詳細は特許文献 2 による。

以下本書ではこれを「抵抗直列電流／電圧変換回路 2」と呼ぶ。

【0006】

以上の抵抗直列電流／電圧変換回路 1 と抵抗直列電流／電圧変換回路 2 は要約するとレ

10

20

30

40

50

ンジオフ時はダイオードスイッチの両端を同電位にしてその漏れ電流を無くし、レンジオン時は演算増幅器の出力信号で電流バイパス回路を駆動するものであり、図16はこれをレンジ数2の場合で集約して表現した構成図である。

【0007】

また、特許文献3における電流／電圧変換回路は測定対象電流をダイオードスイッチにより、I／V変換抵抗の両端で直接バイパスさせるものであり、抵抗直列電流／電圧変換回路1及び抵抗直列電流／電圧変換回路2の基本原理となるものである。

以下、これらをまとめて「抵抗直列電流／電圧変換回路」と呼ぶ。

【0008】

レンジ数2の場合と同様のレンジ切り替え回路を追加する事により容易にレンジ数3以上に拡張可能である事は特許文献1、特許文献2、及び特許文献3で開示されているので、説明の明快化の為に本書では必要時以外はレンジ数を2又は3とし、最小レンジからレンジ1、レンジ2、レンジ3としそのフルスケールの電流値を各々I1FS、I2FS、I3FSとする。

10

【0009】

負帰還を施した誤差増幅器としての演算増幅器1がリニアに動作する領域では図16の様に非反転入力端子をグランド（回路動作基準電位）に接続すると、その反転入力端子の電位は入力電流Iの大きさに関わらず常に非反転入力端子電位に等しくなるようにその出力電圧V1が制御されるので、電流入力端子電圧eはほぼ0Vになる。以下本書では説明の明快化の為にeを0Vとして扱う。

20

【0010】

図16において電流を電圧に変換するI／V変換抵抗3、4は抵抗値が各々R1、R2とし、その大きさはR1 > R2であり、R1がレンジ1、R2がレンジ2に対応するものとする。

【0011】

レンジ切り替え回路80はレンジ2オン時のバイパス回路を駆動する。

本書ではバイパス電流の方向を、電流駆動回路からI／V変換抵抗に向かう場合を電流吐き出し方向、I／V変換抵抗から電流駆動回路に向かう場合を電流吸い込み方向とする。

【0012】

30

レンジ制御部81は演算増幅器1の出力電圧V1とR2の下端電圧V2から図16中に示したI-V21のグラフの様な電圧出力V21を生成する。

バッファアンプ10はR2の下端電圧V2をバッファリングするもので必要に応じて設ける。

【0013】

図16の回路動作の概要は以下の通りである。

演算回路2は電圧信号のA／D変換、電流算出、レンジオン／オフ制御信号の制御等を行なうもので、演算増幅器、差動増幅器、コンパレータ、A／D変換器等のハードウェアを組み合わせて機能を実現したり、それらとマイクロコンピュータシステムを組み合わせてハードウェアとソフトウェアで機能を実現する等公知の技術によっても実現方法は千差万別であるが、本発明では所要機能が得られるのであれば方法は問わないので総称として演算回路で示す。その中の差動増幅器もハードウェアによる差動増幅回路についてもA／D変換後のデータをソフトウェアで減算して差分を取っても良い。

40

【0014】

入力電流IがI1FS以下の場合は演算回路2はレンジ2オン／オフ制御信号をオフとし、レンジ制御部81は電流駆動回路82の出力電圧V21をR2下端の電圧V2と同じ値にするのでダイオードスイッチ6の両端の電位差は0Vで、ダイオードスイッチはオフ状態になって電流を流さないので電流I21は0Aになる。

【0015】

これに伴い入力電流Iは全てR1とR2を流れ、I = I1、であり、演算回路2により

50

R 1 下端の電圧 V 1 を測定し、

$$I = V 1 / (R 1 + R 2) \quad \dots (1)$$

の演算で入力電流 I の値を求める。

【 0 0 1 6 】

入力電流 I が I 1 F S を越えると演算回路 2 はレンジ 2 オン / オフ制御信号をオンにし、負帰還動作により演算増幅器 1 は、

$$I = I 1 + I 2 1 \quad \dots (2)$$

となる様に出力電圧 V 1 を増減させ、これに伴い電流駆動回路 8 2 の出力電圧が増減し、ダイオードスイッチ 6 がオンになり、バイパス電流 I 2 1 を駆動する。

演算回路 2 でその時の R 2 下端の電圧 V 2 を測定し、

$$I = V 2 / R 2 \quad \dots (3)$$

の演算で入力電流 I の値を求める。

【 0 0 1 7 】

以上記した様に、ダイオードスイッチ 6 は電流駆動回路 8 2 と R 2 下端間の電流のオン / オフスイッチの機能を果たす。ここで、電流駆動回路 8 2 は単なるオン / オフスイッチ動作ではなく、入出力の関係が折れ線的な増幅器としての動作をする事は大きな特徴であり、アナログスイッチではオン / オフができない様な比較的大きな電流をレンジ切り替えして測定する場合には特に有利である。

【 0 0 1 8 】

しかし、図 1 6 ではレンジ数が増えるとバッファアンプ 1 0 相当のバッファアンプ又はバッファアンプが無い場合は入力電流経路と演算回路 2 との接続点が増え、これらのバイアス電流が測定対象の入力電流に加算されるので、微小電流を測定する場合には測定誤差要因になるという欠点と、回路規模が大きくなるという欠点が有った。

【特許文献 1】特願 2 0 0 3 - 4 0 0 9 2 8

【特許文献 2】特願 2 0 0 6 - 1 4 7 5 0 9

【特許文献 3】特願 2 0 0 0 - 2 6 8 0 6 5

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 1 9 】

解決しようとする課題は半導体スイッチの漏れ電流や、演算増幅器やバッファアンプ等のバイアス電流に起因する測定誤差の少ない電流 / 電圧変換回路を得ようとするものである。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 2 0 】

請求項 1 に関わる電流 / 電圧変換回路は、誤差増幅用演算増幅器と I / V 変換抵抗を負帰還抵抗とする I / V 変換用演算増幅器を設け、電流オン / オフ用の半導体スイッチの一方の端子を誤差増幅用演算増幅器の反転入力端子に、もう一方の端子を I / V 変換用演算増幅器の反転入力端子に各々接続し、I / V 変換用演算増幅器の非反転入力端子の接続先をレンジオン / オフ用の半導体スイッチにより誤差増幅用演算増幅器の出力かグランドかを選択できる様にし、電流オン / オフ用の半導体スイッチとレンジオン / オフ用の半導体スイッチの両方又は何れか一方をオン / オフさせる事により、半導体スイッチの漏れ電流が少なく I / V 変換抵抗に流れる電流のオン / オフ制御が可能で、I / V 変換用演算増幅器の出力電圧とその非反転入力端子電圧の電位差が I / V 変換抵抗に流れる電流値に比例した電圧になる事を特徴とするものである。

【 0 0 2 1 】

請求項 2 に関わる多重化電流 / 電圧変換回路と呼ぶ電流 / 電圧変換回路は、請求項 1 による電流 / 電圧変換回路の各レンジ毎の I / V 変換に関わる回路を所要レンジ数分並列に設け、これと誤差増幅用演算増幅器を組み合わせて半導体スイッチの漏れ電流少なく任意のレンジをオン / オフ制御可能とした事を特徴とするものである。

【 0 0 2 2 】

10

20

30

40

50

請求項 3 に関わる多重化電流 / 電圧変換回路は、請求項 2 の多重化電流 / 電圧変換回路において、電流オン / オフ用の半導体スイッチと I / V 変換用演算増幅器の反転入力端子の間に抵抗を入れ、より大きな効果が必要な場合はレンジオン / オフ用の半導体スイッチと誤差増幅用演算増幅器の出力端子の間に不感帯回路を設けて誤差増幅用演算増幅器の出力電圧範囲を広くした事を特徴とするものである。

【0023】

(抹消)

【発明の効果】

【0024】

本発明のレンジ切り替え回路により、従来困難であったナノアンペアレベル、ピコアンペアレベル等の微小さな電流に対しても半導体スイッチの漏れ電流やバッファアンプ等のバイアス電流に起因する測定誤差を低減した電流 / 電圧変換回路を実現できる効果を得られる。

10

【発明を実施するための最良の形態】

【0025】

最初に本書で使用するの用語の定義を示す。

本書では電圧の単位は [V] 、電流の単位は [A] 、抵抗の単位は [] であるものとし、説明の明快化の為に文脈上単位が明らかな場合はその記載を省く場合がある。

また、入力電流 I の方向により回路各部の電圧、電流は符号が異なるのみで回路上は正負同様に動作するので、以下の説明における電圧、電流の値は特にことわらない場合は正の値又は絶対値で説明するものとする。

20

【0026】

また、抵抗に関して説明図中で符号と抵抗値 R_n を並記している場合がある。判り易くする為に誤解を招かない範囲で、抵抗を特定する場合に符号でなく抵抗値 R_n で呼ぶ場合がある。

【0027】

また、請求項 2 で示した I / V 変換抵抗を負帰還抵抗とする I / V 変換用演算増幅器とレンジオン / オフ用半導体スイッチと電流オン / オフ用の半導体スイッチを組み合わせた回路を所要レンジ数分並列に設け、これと演算増幅器を組み合わせてレンジ切り替えを可能とした電流 / 電圧変換回路を「多重化電流 / 電圧変換回路」と呼ぶ。

30

【0028】

なお、図 20 は不感帯回路の入出力の関係を示したもので、図 21、図 22 は公知の不感帯回路例である。

以降の説明の為に不感帯設定電圧の絶対値を正負同一値とした場合の不感帯回路を次式で定義する。

$$V_{out} = d b (V_{in} - E_{db}) \quad \dots \quad (4)$$

但し、 V_{in} は入力電圧、 E_{db} は不感帯設定電圧、 V_{out} は不感帯出力電圧であり

、

$$V_{in} < -E_{db} \text{ の時} \quad V_{out} = V_{in} + E_{db}$$

$$-E_{db} \leq V_{in} < +E_{db} \text{ の時} \quad V_{out} = 0$$

$$+E_{db} \leq V_{in} \text{ の時} \quad V_{out} = V_{in} - E_{db}$$

40

とする。

【0029】

上記の説明からも明らかな様に、不感帯回路はその入力電圧の大きさでオン / オフするので外部からのオン / オフ制御信号は不要であり、本書の各図面中のスイッチ回路に不感帯回路を適用する場合はそのオン / オフ制御信号は無きものとする。

【0030】

また、図 24 は一般的ダイオードの電圧 - 電流特性例であり、順方向電圧 V_F が数百 mV 以下では電流がほぼ 0 A のオフ状態になり、順方向電圧 V_F がそれ以上では電流が急激に大きくなりダイオードがオン状態になる。

50

図25は双方向並列接続したダイオードイッチの電圧-電流特性例であり、図24のスイッチ特性のV FとIを正負双方向にした特性になる。

【0031】

本発明では上記のダイオードの電流スイッチ特性を用いる。

その様なダイオード相当の電圧-電流特性を有する素子にはダイオード接続したトランジスタやダイオード接続したFET、パリスタ、又はツェナーダイオード等があるが、説明の明快化の為に本書ではそれらも含めて「ダイオードスイッチ」で表記し図面中ではダイオード記号で表わす。

【0032】

なお、以上の説明からも明らかな様に、「ダイオードスイッチ」はその両端子電圧の大きさでオン/オフするので外部からのオン/オフ制御信号は不要であり、本書の各図面中のスイッチ回路に「ダイオードスイッチ」を適用する場合はそのオン/オフ制御信号は無きものとする。

【0033】

また本書ではこれらダイオードスイッチ以外に、スイッチ素子として電界効果トランジスタ(以下FETと称す)やフォトモスリレーを用いる事ができるので、これらを総称として「FETスイッチ」と呼ぶものとする。

その他にアナログ回路のオン/オフ用スイッチとして一般的なアナログスイッチがあり、本発明でもスイッチとして使用できる場合が多くある。

従って、回路中で単にスイッチ機能があれば良く、ダイオードスイッチ、FETスイッチ、一般的なアナログスイッチの何れでも使用可能な場合は総称として「半導体スイッチ」と呼ぶものとする。

【0034】

また、本書では図面間で部品や回路ブロックが同一の場合は同一符号又はA、B等のサフィックス付きの同一符号で示し、何れかの図面でその説明を行なつたら他の図面説明では同一のものとして説明を繰り返さないものとする。

さらに、以下で記述する実施例はあくまでも「例」であり、同等機能を実現する方法にはそれらから組み合わせの変更や応用、派生、類推される種々のバリエーションが容易に考えられるが、発明が指す原理に基づく限りはそれらは全て本発明の範囲に含まれるものとする。

以上を前提に以下に発明実施の最良形態を実施例で示す。

【実施例1】

【0035】

図2は本発明の請求項1の多重化電流/電圧変換回路のレンジ数1の基本回路例であり、そのレンジをレンジ1と呼ぶものとする。

電流オン/オフ用の半導体スイッチ23は演算回路2の出力であるレンジオン/オフ制御信号でオン/オフ制御されるもので、アナログスイッチ、フォトモスリレー、FET、トランジスタ、ダイオードスイッチ、メカニカルリレー等入力電流をオン/オフできれば一般的なスイッチ素子で良い。

【0036】

抵抗14とスイッチ15はレンジ1がオフ時に演算増幅器1の負帰還ループがオーブンになって出力が飽和するのを避ける為のもので、レンジ1オフ時にスイッチ15をオンにして入力電流Iを抵抗14に流れる様にして演算増幅器1を正常に負帰還動作させるものであり、他にレンジが追加されて常に何れかのレンジがオンになる場合は抵抗14とスイッチ15は無くても良い。レンジ数が1の場合にはレンジ1がオン時にはスイッチ15をオフにするものとする。

これにより、演算増幅器1は入力電流Iの大きさに関わらず常にその反転入力端子が0Vになる様にその出力電圧V0が制御される。以降の説明ではこれを前提とする。

なお、抵抗14とスイッチ15操作は本来の電流/電圧変換機能には直接関わらないのでここでの説明では省く。

10

20

30

40

50

【0037】

レンジオン／オフ用のスイッチ回路120は演算回路2の出力であるレンジオン／オフ制御信号でオン／オフ制御されるもので、アナログスイッチ、フォトモスリレー、FET、トランジスタ、ダイオードスイッチ、メカニカルリレー等アナログ信号をオン／オフできれば一般的なスイッチ素子で良い。

抵抗33はスイッチ回路120がオフ時に演算増幅器12の非反転入力端子をグランドにプルダウンする。

【0038】

図17はスイッチ回路120の別の回路例であり、121は公知の不感带回路であり、122は反転増幅器である。

本例では図17の回路内の抵抗の抵抗値は全て等しいものとし、これに伴い全ての反転増幅器のゲインは-1とする。

V_{cont} に接続されたオン／オフ制御信号を0Vにすると入力 V_{in} はそのまま V_{out} に出力される。

オン／オフ制御信号を V_{in} の見込まれる最大値より大きな電圧 V_{dis} に設定して置き、これを V_{cont} に入力すると不感带回路121の不感帯設定電圧として働き V_{out} は0Vになる。

以上から図17は V_{cont} の電圧でオン／オフ制御されるスイッチ動作をする事が判る。本スイッチによると、スイッチ動作が緩やかになり、負帰還回路の応答が追従できない事による各演算増幅器出力のスパイクノイズが減る効果がある。

なお、 V_{dis} は一定値（固定値）で良く、コンパレータやインバータ等との適合性が良いのは利点である。

【0039】

図2のI/V変換抵抗3は抵抗値R1のI/V変換用抵抗であり、演算増幅器12と共にI/V変換回路を構成する。

バッファアンプ10はI/V変換用の演算増幅器12の非反転入力端子電圧をバッファリングして演算回路2に渡す為のもので、必須ではなく接続先の入力インピーダンスを鑑みて必要に応じて設ければ良い。

【0040】

以下に図2の回路動作を説明する。

I/V変換用の演算増幅器12はその負帰還動作により反転入力端子の電位が非反転入力端子電位 V_{12} と等しくなる様に出力電圧 V_{11} を制御する。

従ってレンジオン／オフ用スイッチ回路120と電流オン／オフ用半導体スイッチ23をオフにすると V_{12} は抵抗33によりグランドにプルダウンされて0Vになり、反転入力端子電位も0Vになる。ここで演算増幅器1の反転入力端子の電位は常に0Vになる様に制御されるので結果的に電流オン／オフ用半導体スイッチ23の両端子間電圧は0Vで漏れ電流が極めて小さいオフ状態になり、I/V変換抵抗3に流れる電流は0A、即ちレンジ1はオフ状態になる。

【0041】

レンジオン／オフ用スイッチ回路120と電流オン／オフ用半導体スイッチ23をオンにすると V_{12} は V_0 からスイッチ回路120の電圧降下分を差し引いた電圧 V_{12} になり、I/V変換用の演算増幅器12の反転入力端子の電位も同電位になる。

結果として電流オン／オフ用半導体スイッチ23の両端電位差は V_{12} となりI/V変換用の演算増幅器12によりI/V変換抵抗3を経由して入力電流Iが駆動されるので、レンジ1はオン状態になる。

【0042】

この時、I/V変換抵抗3に流れる電流値Iはその両端電位差をR1で除算すれば求められるが、I/V変換用の演算増幅器12の反転入力端子電位と非反転入力端子電位 V_{12} が等しいので、その出力 V_{11} と非反転入力端子電位 V_{12} を用いて演算回路2により電位差 V_1 を求めR1で除算すれば電流値Iが求められる。即ち、

10

20

30

40

50

$$I = (V_{11} - V_{12}) / R_1 \\ = V_{11} / R_1 \quad \dots (5)$$

になる。

【0043】

本回路の特徴は電流のオン／オフ制御が可能であり、 I / V 変換用の演算増幅器 12 の出力電圧とその非反転入力端子電圧の電位差 V_1 が I / V 変換抵抗 3 に流れる電流値に比例した電圧になり、入力電流 I の経路に電流オン／オフ用半導体スイッチ 23 以外にバッファアンプや演算回路等のバイアス電流を要する回路素子を接続する必要が無いので、それらに起因する測定誤差が生じない事である。

即ち、本電流／電圧変換回路は大きな電流に対するレンジ切り替えだけでなく、比較的微小な電流に対しても有効である。 10

【実施例 2】

【0044】

図 3 は本発明の請求項 1 の多重化電流／電圧変換回路のレンジ数 1 の別の基本回路例である。

これは図 2 の電流オン／オフ用半導体スイッチ 23 をダイオードスイッチ 6 に置き換えたものであり、レンジ切り替え動作は実施例 1 と同様であるので説明は省く。

レンジオン／オフ用スイッチ回路 120 をオフにすると V_{12} が 0 V になり、ダイオードスイッチ両端電位も 0 V になって漏れ電流が少ないオフ状態になり、そのオン／オフ制御が不要になる利点がある。 20

【実施例 3】

【0045】

図 4 は本発明の請求項 1 の多重化電流／電圧変換回路のレンジ数 1 のさらに別の基本回路例である。

誤差増幅器 1 の出力を基準として電流／電圧変換用の演算増幅器 12 の出力との差分を取る様にしている。

レンジ切り替え動作は実施例 1 と同様であるので説明は省く。

【0046】

レンジオン／オフ用スイッチ回路 120 がオンの場合、そのオン抵抗値が抵抗 33 の抵抗値 R_2 より充分小さく無視可能の場合は $V_0 = V_{12}$ になるので本回路でも (5) 式により電流値を求める事ができる。 30

これはレンジ数が増えてもバッファアンプ 10 が 1 個で済むので回路を少なくできる利点がある。

【実施例 4】

【0047】

図 5 は本発明の請求項 1 の多重化電流／電圧変換回路の基本回路のレンジ数 1 のさらに別の実施例である。

図 2 に於ける電流／電圧変換用の演算増幅器 12 の出力 V_{11} と非反転入力端子電位 V_{12} の差分を取るのを止め、直接 V_{11} で電流値 I を算出するものである。

レンジ切り替え動作は実施例 1 と同様であるので説明は省く。 40

【0048】

電流オン／オフ用半導体スイッチ 23 が FET スイッチの様にオン抵抗が充分小さく入力電流 I による電圧降下がほぼ 0 V になる場合は、電流／電圧変換用の演算増幅器 12 の反転入力端子電位 V_{12} は 0 V と見なせ、

$$I = (V_{11} - V_{12}) / R_1 \\ V_{11} / R_1 \quad \dots (6)$$

によりその出力電圧 V_{11} から直接電流値 I を算出する事が可能になる。

これは回路を少なくできる利点がある。

【実施例 5】

【0049】

10

20

30

40

50

図6は本発明の請求項1の電流／電圧変換回路の回路例である。

回路は図3と同様であるが、電流／電圧変換回路を電流吐き出し用と電流吸い込み用にそれぞれ設けている。

レンジ切り替え動作は実施例1と同様であるので説明は省く。

入力電流値Iは実施例1と同様にして

$$I = V_1 P / R_1 + V_1 N / R_1 \quad \dots \quad (7)$$

で求められる。

なお、通常はダイオードスイッチ6、6Aの何れかがオフになるので(7)式のV1P、V1Nの少なくとも一方は0Vになる。

【0050】

レンジオン／オフ用のスイッチ回路130はオフ時にダイオードスイッチ6、6Aに逆バイアス電圧印加を可能としたものであり、演算回路2の出力であるレンジオン／オフ制御信号でオン／オフ制御されるもので、アナログスイッチ、フォトモスリレー、FET、トランジスタ、メカニカルリレー等アナログ信号をオン／オフできれば一般的なスイッチ素子で良く、これと逆バイアス電圧設定用定電圧源で構成する。

参考例としてスイッチ回路130の別の回路例を図18に示す。

【0051】

ダイオードスイッチ6、6A周辺回路のオフセット電圧による漏れ電流を防ぐ為に逆バイアス電圧を印加したい場合、見込まれる最大のオフセット電圧を打ち消せるだけの逆バイアス電圧-E1、+E2をスイッチ回路130に設定すると、スイッチ回路130がオフ時にはI/V変換用演算増幅器12、12Aの非反転入力端子に逆バイアス電圧が印加され、反転入力端子も同電位になるように制御されるので、結果としてダイオードスイッチ6、6Aが所要の電圧に逆バイアスされる事になる。

【0052】

信号電流経路にバイアス電流を要す回路素子を接続する必要が無く、簡単な回路で逆バイアス電圧を印加してダイオードスイッチ周辺回路のオフセット電圧による漏れ電流を防ぐ事ができる事が本回路の特徴であり利点である。

上記回路は抵抗直列電流／電圧変換回路にも適用可能であり、図1はその一例である。

【実施例6】

【0053】

図7は本発明の請求項2の多重化電流／電圧変換回路の回路例である。

本回路は図2の回路をレンジ数2に拡張したものでレンジ1、レンジ2とする。同様にして任意のレンジ数に拡張可能である。

レンジ切り替え動作は図2と同様なので、動作説明は省く。

入力電流Iは各レンジの電流値の合計で求められる。本例では

$$I = V_1 / R_1 + V_2 / R_2 \quad \dots \quad (8)$$

である。

なお、何れか1つのレンジのみオンにする場合は(8)式のV1、V2の内オフにするレンジについては0Vになる。

【0054】

抵抗14とスイッチ15はレンジ1、レンジ2共にオフ時に演算増幅器1の負帰還ループがオープンになって出力が飽和するのを避ける為のもので、測定機能には関わらないので無くても良い。

入力保護回路16は過大入力や全レンジオフ時の電流入力をバイパスする為の保護回路であり、測定機能には関わらないので必須ではない。

【0055】

各レンジはそのレンジオン／オフ制御信号を用いて演算回路2で任意にオン／オフ制御できるので、I/V変換信号であるV1、V2又はV1、V2から演算で求めた電流値を用いて自動レンジ切り替えを行なう等の事ができる。

例として入力電流増大時110%FS(フルスケール)で上位レンジに移行、入力電流

10

20

30

40

50

減少時 9 % F S で下位レンジに移行する場合のレンジ切り替えの手順を図 3 0 、図 3 1 のフローチャートに示す。

図 3 0 はレンジ切り替え時に一端両レンジ共にオンにするオーバーラップ時間を設ける場合であり、図 3 1 はオーバーラップ時間が不要の場合であり、何れにするかは適用する際に適宜選択すれば良い。

【0056】

本回路はレンジ数の拡張が容易、且つ任意のレンジオン／オフが容易であり、入力電流の経路にバイアス電流を要す回路素子を接続する必要が無い事が本回路の特徴であり利点である。

【実施例 7】

10

【0057】

図 8 は本発明の請求項 2 の多重化電流／電圧変換回路の別の回路例であり、図 7 の電流／電圧変換回路に抵抗値 R 0 の I / V 変換抵抗 17 を追加したものである。

I / V 変換抵抗 17 を演算增幅器 1 に直結する事により容易に 1 レンジ追加でき、そのレンジの電流値は V 0 / R 0 で求められる。

レンジ切り替え動作は図 7 と同様なので、動作説明は省く。

【実施例 8】

【0058】

図 9 は本発明の請求項 2 の多重化電流／電圧変換回路のさらに別の回路例であり、誤差增幅器 1 の出力を基準として各レンジ毎に差分を取る場合の多重化電流／電圧変換回路の実施例である。

20

レンジ切り替え動作は実施例 6 と同様なので動作説明は省く。

レンジオン／オフ用スイッチ回路 120 のオン抵抗値が抵抗 33 の抵抗値 R 3 より充分小さく無視可能の場合は V 0 V 12 になり、レンジオン／オフ用スイッチ回路 120 A のオン抵抗値が抵抗 34 の抵抗値 R 4 より充分小さく無視可能の場合は V 0 V 22 になるので本回路でも (8) 式により電流値を求める事ができる。

【実施例 9】

【0059】

図 10 は本発明の請求項 2 の多重化電流／電圧変換回路のさらに別の回路例であり、差分演算不要とした多重化電流／電圧変換回路の実施例である。

30

電流オン／オフ用半導体スイッチ 23 が FET スイッチの様にオン抵抗が充分小さく電流 I 1 による電圧降下がほぼ 0 V になる場合は、電流／電圧変換用の演算增幅器 12 の反転入力端子電位は V 12 0 V と見なせ、電流オン／オフ用半導体スイッチ 25 が FET スイッチの様にオン抵抗が充分小さく電流 I 2 による電圧降下がほぼ 0 V になる場合は、電流／電圧変換用の演算增幅器 13 の反転入力端子電位は V 22 0 V と見なせるので、演算增幅器 12 の出力電圧を V 11 、演算增幅器 13 の出力電圧を V 21 とすると

$$\begin{aligned} I &= (V 11 - V 12) / R 1 + (V 21 - V 22) / R 2 \\ &= V 11 / R 1 + V 21 / R 2 \quad \dots (9) \end{aligned}$$

により直接電流値 I を算出する事が可能になり、これは回路を少なくできる利点がある。

なお、何れか 1 つのレンジのみオンにする場合は (9) 式の V 11 、 V 21 の内オフにするレンジについては 0 V になる。

40

【実施例 10】

【0060】

図 11 は、本発明の請求項 3 の多重化電流／電圧変換回路の回路例であり、図 7 の回路において電流オン／オフ用スイッチにダイオードスイッチ 6 、 7 を用い、抵抗値 R 11 、 R 21 の抵抗 18 、 19 を入れたものであり、演算增幅器 1 とスイッチ回路 120 、 120 A 間に不感帯回路を設けない場合である。

R 11 、 R 21 が無く何れか 1 レンジのみオンにするものとして最小レンジから順次オンにする場合の入力電流 I と演算增幅器 1 の出力電圧 V 0 の関係は大凡図 26 の様になり、 V 0 の最大値はほぼダイオードスイッチ 6 、 7 の両端電圧と同程度で非線形で且つ温度

50

依存性が高く、最大でも通常 $\pm 0.8 \sim 1.2$ V とバラツキが大きく、演算増幅器 1 の出力電圧 V_0 をレンジ切り替え等の演算条件にするのは困難である。

但し、図 26 はレンジ数を n に拡張した場合を示している。

【0061】

一方、図 11 の様に抵抗 R_{11} 、 R_{21} を入れ、演算増幅器 1 とスイッチ回路 120、120A間に不感帯回路を設けない場合の、何れか 1 レンジのみオンにするものとして最小レンジから順次オンにする場合の入力電流 I と演算増幅器 1 の出力電圧 V_0 の関係は大凡図 27 の様になる。但し、図 27 はレンジ数を n に拡張した場合を示している。

レンジ 1 のみオンの場合は、 I/V 変換用演算増幅器 12 の反転入力端子電位 V_{12} は非反転入力端子電位と等しいので V_0 になる。従って、ダイオードスイッチの両端子間電圧を V_{F1} とすると、

$$\begin{aligned} V_0 &= V_{12} \\ &= V_{F1} + R_{11} \cdot I \quad \cdots (10) \end{aligned}$$

となり、 R_{11} を適当に設定して $R_{11} \cdot I$ に対して V_{F1} を相対的に小さくすれば V_0 と入力電流 I の関係が安定した比例関係になり、他のレンジについても同様であるので V_0 を演算回路 2 の演算条件に使用可能になる事が特徴であり利点である。

なお、以上の動作はダイオードスイッチ 6 と R_{11} 、あるいはダイオードスイッチ 7 と R_{21} の位置を各々入れ替えても全く同じである。

【実施例 11】

【0062】

図 12 は本発明の請求項 3 の多重化電流 / 電圧変換回路の別の回路例であり、図 11 の回路の演算増幅器 1 と I/V 変換用演算増幅器 12、13 の非反転入力端子の間に不感帯を有するスイッチ回路 140、140Aを設けたものである。140、140Aのスイッチ回路例を図 19 に示す。

図 19 の 141 は公知の不感帯回路であり、143、144 は不感帯設定電圧用の定電圧源、142 は反転増幅器である。

【0063】

不感帯回路 141 の不感帯設定電圧 $+E_{db}$ 、 $-E_{db}$ は定電圧源 143、144 で設定する。

本例では回路内の抵抗の抵抗値は全て等しいものとし、これに伴い全ての反転増幅器のゲインは -1 とする。

【0064】

反転増幅器 142 はそのレンジオン / オフディセーブル制御入力 V_{cont} を反転させる。

これによりレンジオン / オフディセーブル制御入力 V_{cont} は不感帯回路 141 の不感帯設定電圧に加算され、その設定電圧を V_{cont} で変更する事ができる様になる。

ここで、 V_{cont} を 0V にすると不感帯回路 141 には何も影響を及ぼさないのでスイッチ回路はイネーブル状態になる。

【0065】

V_{cont} を見込まれる ($V_{in} - E_{db}$) より大きな電圧 V_{dis} に設定すると不感帯回路 141 の出力は 0V になり、スイッチ回路はディセーブル状態になる。

140 の回路機能を

$$V_{out} = db(V_{in}, E_{db}, V_{cont}) \quad \cdots (11)$$

で示すものとする。

但し、 $V_{cont} = 0V$ 時は (4) 式を用いて

$$V_{out} = db(V_{in}, E_{db}) \quad \cdots (12)$$

$V_{cont} = V_{dis}$ 時は、

$$V_{out} = 0V \quad \cdots (13)$$

とする。

【0066】

10

20

30

40

50

ここで図12の最小レンジ1の不感帯設定電圧 E_{db1} を0Vとし、レンジ2の不感帯設定電圧はレンジ1オン時の入力電流がフルスケール値 I_{1FS} 時の V_0 の値に等しい E_{db2} 、レンジが増える毎に不感帯設定電圧はその1レンジ小さいレンジオン時の入力電流がフルスケール値となる時の V_0 に等しくなる様に設定するものとする。

【0067】

その場合 R_{11} 、 R_{21} が無ければレンジ2の不感帯設定電圧 E_{db2} はダイオードスイッチ6の両端電位差の最大値 V_{F1} とすれば良く

$$E_{db2} = V_{F1}$$

とし、レンジ3以降も同様にして

$$E_{db3} = E_{db2} + V_{F2} \quad \dots (14)$$

10

とし、その条件で何れか1レンジのみオンにするものとして最小レンジから順次オンにする場合の入力電流 I と演算増幅器1の出力電圧 V_0 の関係は大凡図28の様になり、レンジ毎の V_0 の変化幅はほぼダイオードスイッチの両端電圧であり、非線形且つ温度依存性が高く、最大でも通常 $\pm 0.8 \sim 1.2$ Vとバラツキが大きく、 V_0 をレンジ切り替え等の演算条件にするのは困難である。

但し、図28はレンジ数をnに拡張した場合を示している。

【0068】

一方、図12の様に抵抗 R_{11} 、 R_{21} を入れ、スイッチ回路140、140Aに不感帯回路を設けた場合には、上記の原則に従って不感帯設定電圧を設定すると、

$$E_{db1} = 0V \quad \dots (15)$$

$$E_{db2} = E_{db1} + R_{11} \cdot I_{1FS} + V_{F1} \quad \dots (16)$$

$$E_{db3} = E_{db2} + R_{21} \cdot I_{2FS} + V_{F2} \quad \dots (17)$$

20

となる。この時何れか1レンジのみオンにするものとして最小レンジから順次オンにする場合の入力電流 I と演算増幅器1の出力電圧 V_0 の関係は大凡図29の様に折れ線的な単調増加の関係になる。

但し、図29はレンジ数をnに拡張した場合を示している。

【0069】

レンジ1のみオンの場合は、 I/V 変換用演算増幅器12の反転入力端子電位は非反転入力端子電位と等しく V_{12} になるので、ダイオードスイッチ6の両端電位差を V_{F1} とすると、

$$\begin{aligned} V_0 &= V_{12} + E_{db1} \\ &= V_{F1} + R_{11} \cdot I + E_{db1} \quad \dots (18) \end{aligned}$$

30

となり、 R_{11} を適当に設定して $R_{11} \cdot I$ に対して V_{F1} を相対的に小さくすれば V_0 と入力電流 I の関係が E_{db1} をオフセットとした安定した比例関係になり、他のレンジについても同様であるので V_0 を演算回路2の演算条件に使用可能になる事が特徴であり利点である。

【実施例12】

【0070】

図13は本発明の別の電流/電圧変換回路の回路例であり、多重化電流/電圧変換回路と抵抗直列電流/電圧変換回路を組み合わせたものである。

抵抗3は抵抗値 R_1 のレンジ1用の I/V 変換抵抗であり、抵抗153は抵抗値 R_2 のレンジ2用の I/V 変換抵抗であり、抵抗154は抵抗値 R_3 のレンジ3用の I/V 変換抵抗であり、レンジ1を請求項2による多重化電流/電圧変換回路とし、レンジ2、レンジ3を公知の抵抗直列電流/電圧変換回路150で構成したものである。

【0071】

抵抗直列電流/電圧変換回路150の I/V 変換抵抗の電位差を求める場合の比較基準電位は通常であれば演算増幅器152の反転入力端子の電位とするが、本回路例ではそれと同電位である非反転入力端子からバッファアンプ151を介して演算回路2に入力する

40

50

事により、バッファアンプ 151 のバイアス電流による測定精度悪化を排除している。

各レンジのオン / オフ制御は演算回路 2 でレンジ 1 オン / オフ制御信号、レンジ 2、3 オン / オフ制御信号、レンジ 3 オン / オフ制御信号を制御する事により行なう。

ダイオードスイッチ 6、7 は FET スイッチとしても良い。

【0072】

多重化電流 / 電圧変換回路と抵抗直列電流 / 電圧変換回路の動作については先に説明した通りである。以下ではそれらを組み合わせた場合の回路動作の概要を示す。

本回路を使用する際は演算増幅器 1 の負帰還ループをオープンにしない為にスイッチ回路 120、120A は共にオフする期間が無い様に制御するものとする。

【0073】

演算増幅器 152 の出力はその反転入力端子の電位がスイッチ回路 120A の出力電圧が印加された非反転入力端子に等しくなる様に制御される。

従ってレンジ 2、3 オン / オフ制御信号がオフ時は演算増幅器 152 の非反転入力端子の電位は 0V であり、反転入力端子も 0V になってダイオードスイッチ 7 の両端子間電圧も 0V になり抵抗直列電流 / 電圧変換回路 150 はオフになる。

【0074】

レンジ 2、3 オン / オフ制御信号をオンにするとダイオードスイッチ 7 の右側端子電位は V0 からスイッチ 120A の両端子間電圧を引いた値になって、抵抗直列電流 / 電圧変換回路 150 はオンになり、レンジ 3 オン / オフ制御信号がオフであればレンジ 2 が有効、オフであればレンジ 3 が有効になる。

レンジ 1 とレンジ 2 又はレンジ 3 は何れか一方のみオンでも共にオンでも良く、電流値 I はレンジ 3 オフ時は

$$I = V1 / R1 + V2 / (R2 + R3) \quad \dots (19)$$

レンジ 3 オン時は

$$I = V1 / R1 + V3 / R3 \quad \dots (20)$$

の演算で求める事ができる。

【0075】

本回路ではレンジ 2、3 オン / オフ制御信号をオフにすると抵抗直列電流 / 電圧変換回路 150 がオフになりダイオードスイッチ 7 でレンジ 1 と切り離されるので抵抗直列電流 / 電圧変換回路 150 側のバッファアンプや演算回路 2 内の使用素子のバイアス電流等に起因する誤差要因が小電流レンジであるレンジ 1 側に影響し難くなる利点がある。

なお、本回路例と同様の構成でレンジ数は任意に増やす事が可能である。

【0076】

以上の様にバッファアンプや演算回路等のバイアス電流の測定値への影響が無視できない小電流レンジは請求項 2 又は請求項 3 の多重化電流 / 電圧変換回路で構成し、そうでないレンジについては公知の抵抗直列電流 / 電圧変換回路で構成する事により、大きなレンジ数でも比較的少ない回路で使用素子の漏れ電流やバイアス電流による影響が少なく精度が高い任意のレンジオン / オフ制御可能な電流 / 電圧変換回路を得られるのが本回路例の特徴であり利点である。

【産業上の利用可能性】

【0077】

本発明の多重化電流 / 電圧変換回路によると半導体スイッチの漏れ電流や、演算増幅器やバッファアンプ等のバイアス電流に起因する測定誤差の少ない電流 / 電圧変換回路を得る事ができる。

【図面の簡単な説明】

【0078】

【図 1】逆バイアス付き電流駆動回路を有する抵抗直列電流 / 電圧変換回路の実施例である。

【図 2】本発明の多重化電流 / 電圧変換回路の基本回路例である。

【図 3】本発明のダイオードスイッチを用いた多重化電流 / 電圧変換回路の基本回路であ

10

20

30

40

50

る

【図4】誤差増幅器の出力を基準として電流／電圧変換用演算増幅器出力との差分を取る場合の多重化電流／電圧変換回路の基本回路である。

【図5】電流／電圧変換用演算増幅器出力を直接電流検出信号とする場合の多重化電流／電圧変換回路の基本回路である。

【図6】本発明のダイオードスイッチに逆バイアス電圧印加可能とした多重化電流／電圧変換回路の基本回路例である。

【図7】本発明の多重化電流／電圧変換回路例である。

【図8】本発明の誤差増幅用演算増幅器にI／V変換抵抗R0を接続した多重化電流／電圧変換回路例である。

10

【図9】本発明の誤差増幅器の出力を基準として各レンジ毎に差分を取る場合の多重化電流／電圧変換回路例である。

【図10】本発明の差分演算不要とした多重化電流／電圧変換回路例である。

【図11】本発明のダイオードスイッチに抵抗を接続した多重化電流／電圧変換回路例である。

【図12】本発明のダイオードスイッチの直列抵抗と不感帶回路を用いた多重化電流／電圧変換回路例である。

【図13】本発明の多重化電流／電圧変換回路と抵抗直列電流／電圧変換回路を組み合わせた電流／電圧変換回路例である。

20

【図14】開示済みのスイッチを用いた抵抗直列電流／電圧変換回路1の構成図である。

【図15】開示済みの不感帶回路とリミット回路を用いた抵抗直列電流／電圧変換回路2の構成図である。

【図16】開示済みの抵抗直列電流／電圧変換回路1と抵抗直列電流／電圧変換回路2を集約表現した構成図である。

【図17】レンジ切り替え回路のスイッチ部の回路例である。

【図18】逆バイアス印加回路例である。

【図19】スイッチ回路例である。

【図20】不感帶回路の入出力特性図である。

【図21】ツエナーダイオードによる不感帶回路例である。

【図22】公知の不感帶回路例である。

30

【図23】公知のレンジ切り替え可能な電流／電圧変換回路である。

【図24】一般的ダイオードの電圧-電流特性の概略図である。

【図25】双方向並列接続したダイオードスイッチの電圧-電流特性例である。

【図26】抵抗、不感帶無しのレンジ切り替え回路による多重化電流／電圧変換回路の1レンジのみオン制御時の入力電流-演算増幅器出力電圧関係図である。

【図27】抵抗有り、不感帶無しのレンジ切り替え回路による多重化電流／電圧変換回路の1レンジのみオン制御時の入力電流-演算増幅器出力電圧関係図である。

【図28】抵抗無し、不感帶有りのレンジ切り替え回路による多重化電流／電圧変換回路の1レンジのみオン制御時の入力電流-演算増幅器出力電圧関係図である。

【図29】抵抗、不感帶有りのレンジ切り替え回路による多重化電流／電圧変換回路の1レンジのみオン制御時の入力電流-演算増幅器出力電圧関係図である。

40

【図30】レンジオン遅延時間を考慮したレンジ切り替え制御手順例のフローチャートである。

【図31】レンジオン遅延時間を考慮しないレンジ切り替え制御手順例のフローチャートである。

【符号の説明】

【0079】

1、12、12A、13

演算増幅器

2

演算回路

3、3A、4、5、17、153、154

I／V変換抵抗

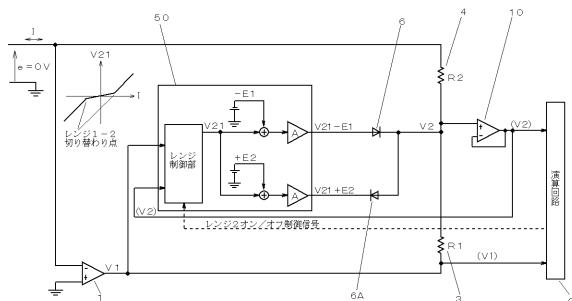
50

6、6A、7
 8、9、10、10A、11、151、152
 14、18、19、33、33A、34
 15、91、91A
 16
 20、20A、21、22
 23、24、25、26
 27、28
 52、53、82、92A、104、104A
 50、80、90、90A、100、100A
 51、81
 32、54、55
 56、57、131、132、143、144
 93、93A、101、101A、121、141
 102、102A
 103、103A
 122、133、142
 120、120A、130、140、140A
 150

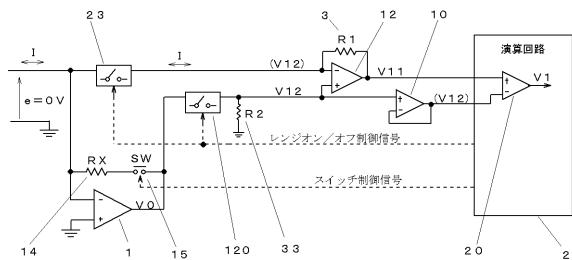
ダイオードスイッチ
 バッファアンプ
 抵抗
 スイッチ
 入力保護回路
 差動増幅器
 半導体スイッチ
 インバータ
 電流駆動回路
 レンジ切り替え回路
 レンジ制御部
 電流ブースタ
 定電圧源
 不感帶回路
 リミット回路
 加算器
 反転増幅器
 スイッチ回路
 抵抗直列電流 / 電圧変換回路

10

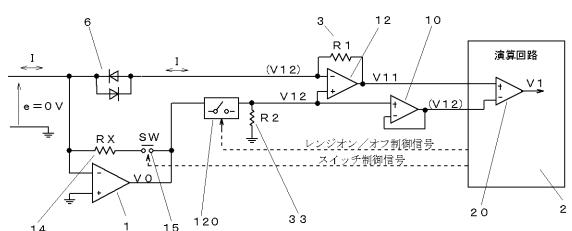
【図1】



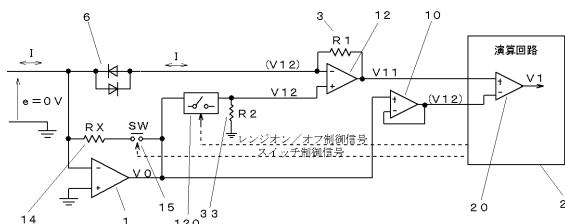
【図2】



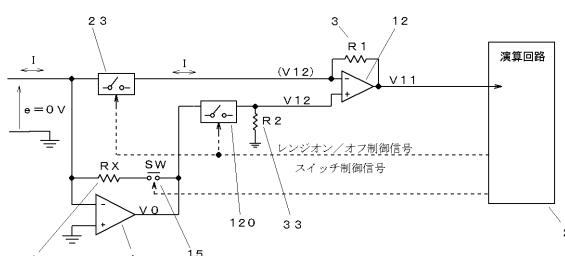
【図3】



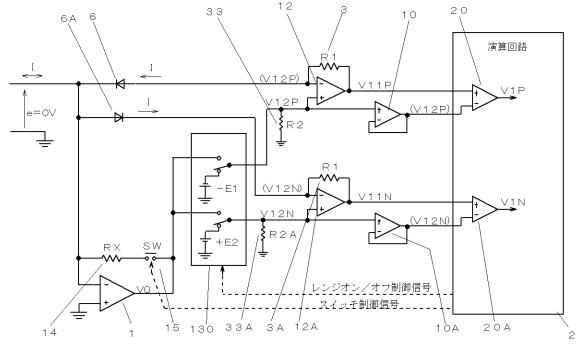
【図4】



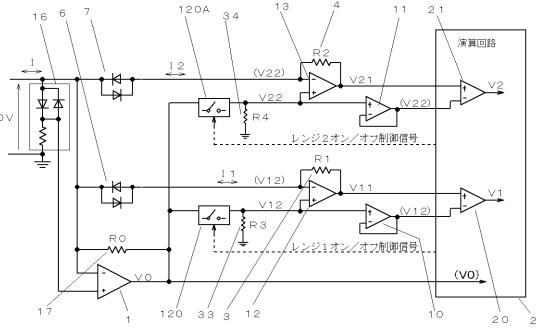
【図5】



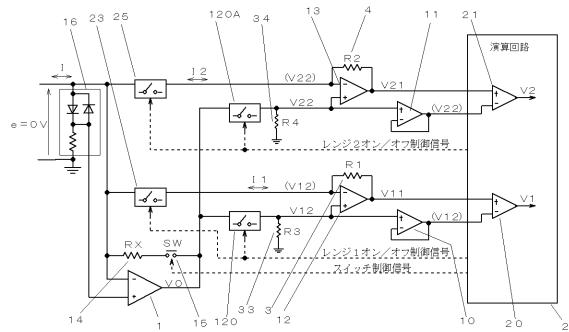
【図6】



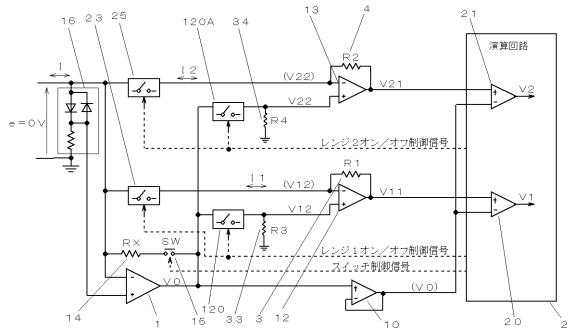
【図8】



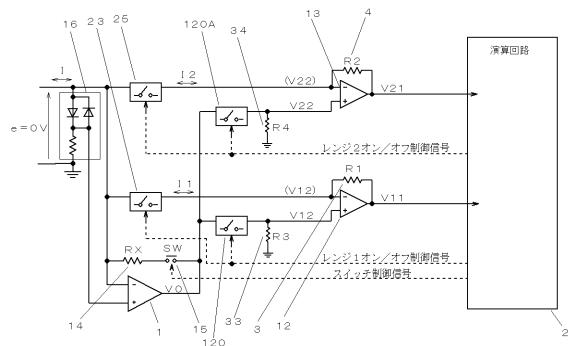
【図7】



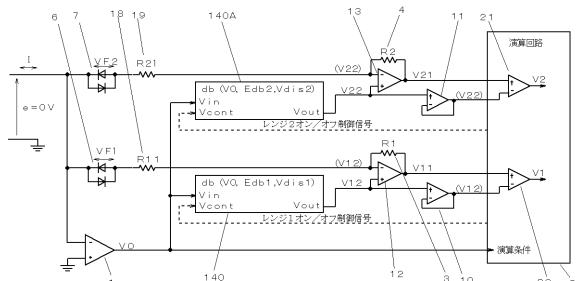
【図9】



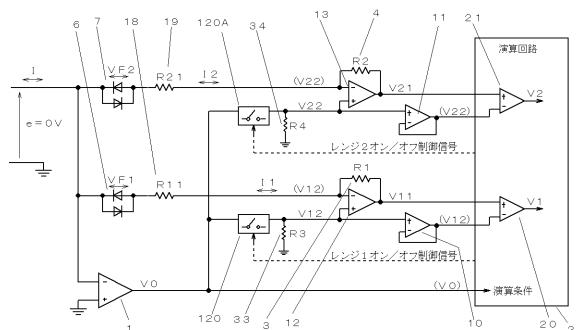
【図10】



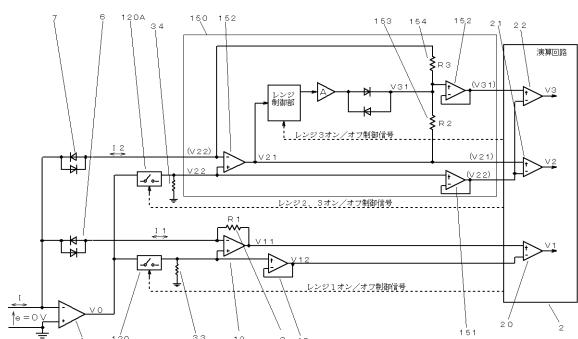
【図12】



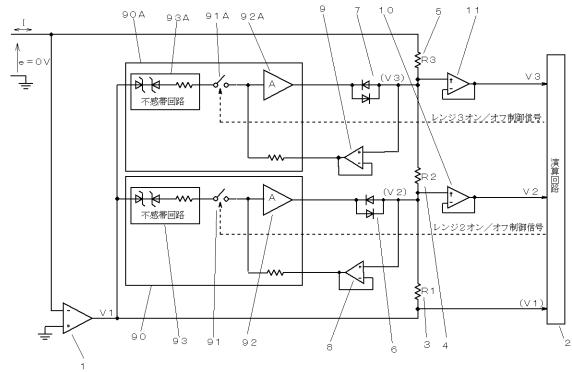
【図11】



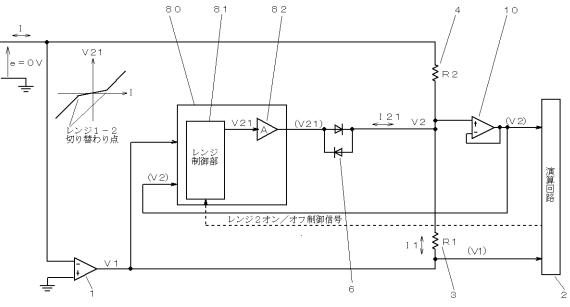
【図13】



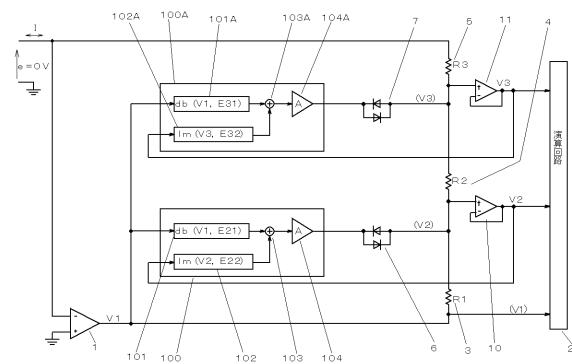
【図14】



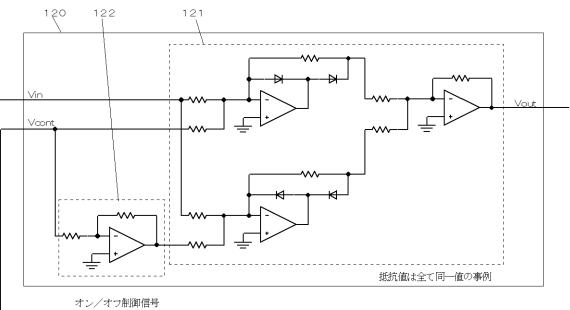
【図16】



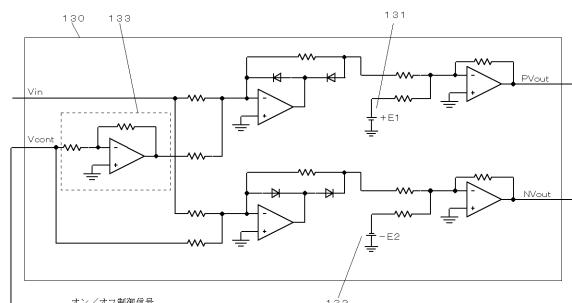
【図15】



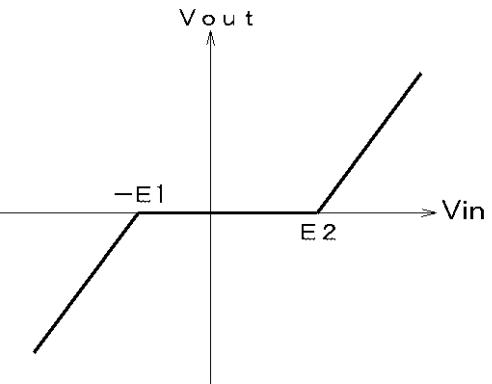
【図17】



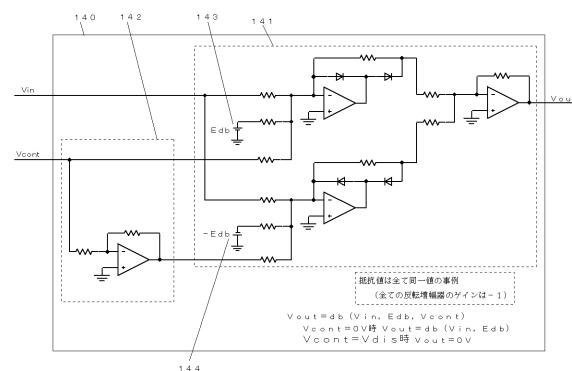
【図18】



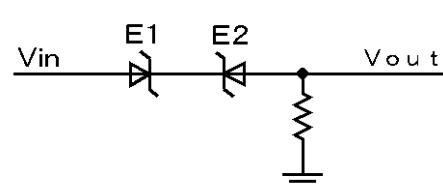
【図20】



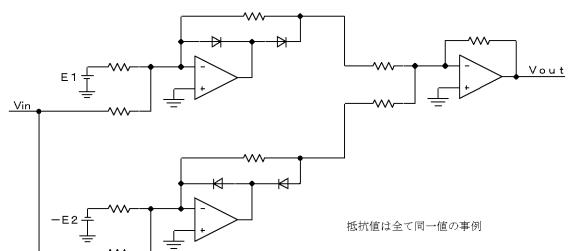
【図19】



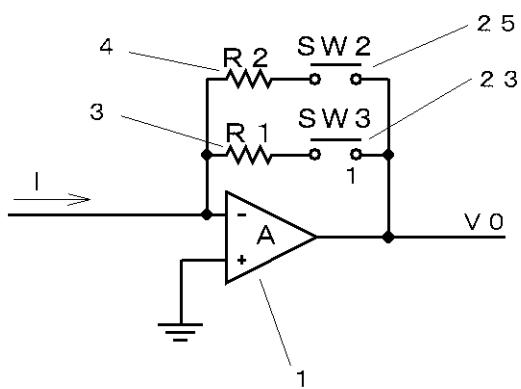
【図21】



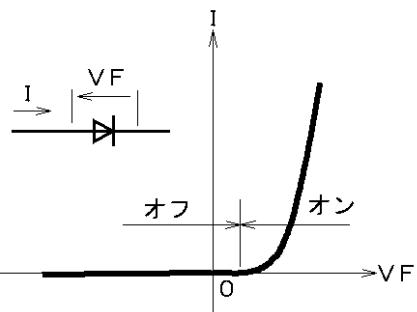
【図22】



【図23】

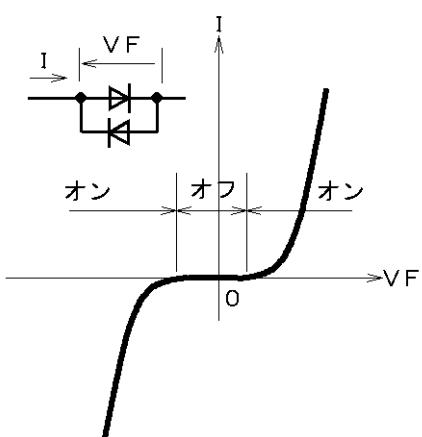


【図24】



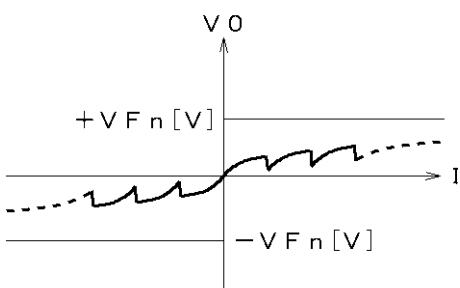
ダイオードのI-VF特性例

【図25】

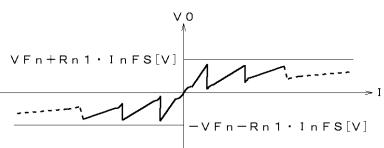


双方向並列接続したダイオードスイッチのI-VF特性例

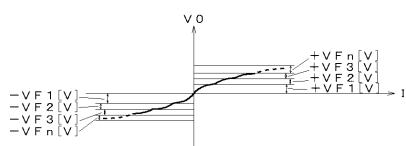
【図26】



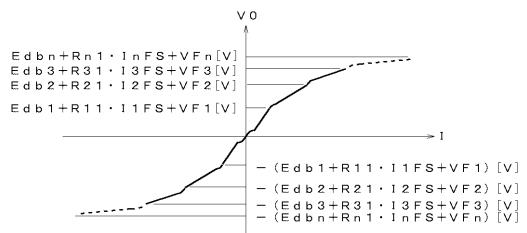
【図27】



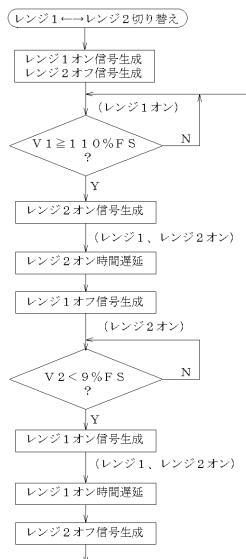
【図28】



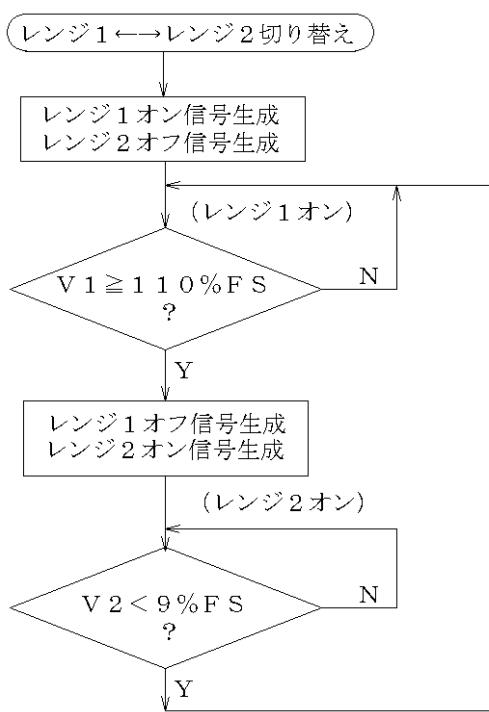
【図29】



【図30】



【図31】



フロントページの続き

(58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)

G 01 R 15 / 00 - 22 / 10
G 01 R 35 / 00 - 06
G 01 D 3 / 00 - 10