

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2012-247233

(P2012-247233A)

(43) 公開日 平成24年12月13日(2012.12.13)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
G01R 15/09 (2006.01)	G01R 15/08 A	2G025
G01R 19/00 (2006.01)	G01R 19/00 B	2G035
H03F 3/34 (2006.01)	H03F 3/34 Z	5J500
H03F 1/34 (2006.01)	H03F 1/34	
H03F 3/68 (2006.01)	H03F 3/68 Z	

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 33 頁)

(21) 出願番号 特願2011-117504 (P2011-117504)
 (22) 出願日 平成23年5月26日 (2011.5.26)

(71) 出願人 394001526
 小澤 富士男
 静岡県駿東郡清水町徳倉 1 3 2 3 - 8
 (72) 発明者 小澤 富士男
 静岡県駿東郡清水町徳倉 1 3 2 3 - 8

F ターム (参考) 2G025 BA05

2G035 AA17 AB00 AC02 AD04 AD08
 AD10 AD11 AD20 AD23 AD28
 AD47 AD54 AD56 AD65
 5J500 AA01 AA42 AA51 AC32 AC36
 AC37 AC41 AC61 AC92 AF04
 AF15 AF17 AF18 AH19 AH20
 AH25 AH39 AK01 AK17 AK20
 AK22 AK26 AK27 AK34 AM13
 AS15 AT01 ND02 NH03 NH07
 NH11 NH15 NH22 NM02

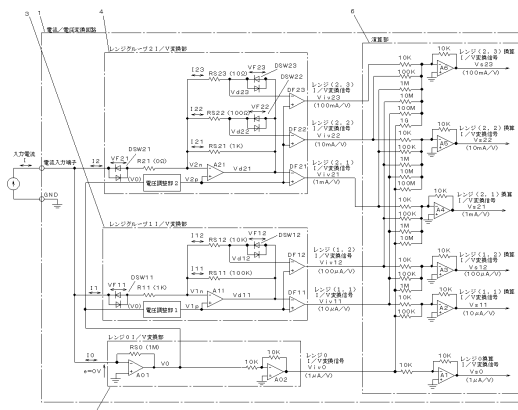
(54) 【発明の名称】 電流／電圧変換回路

(57) 【要約】

【課題】低ノイズ電流、多レンジ、高速応答、低回路電源電圧、バイポーラ動作、小規模回路の要件を満足する自動レンジ切り替え可能な電流／電圧変換回路及び集積回路、及びそれらを用いた電子回路基板又は電子機器を得る。

【解決手段】電流入力端子とグランド端子間に入力される入力電流に対し、レンジを複数レンジグループに分けて I / V 変換する為に、第 1 の演算増幅器と各レンジグループ毎の I / V 変換部を設け、各 I / V 変換部毎に I / V 変換用演算増幅器を設けてレンジグループ内の自動レンジ切り替えを行なうと同時に、レンジグループ間でも自動レンジ切り替え動作を行なう様にして、全体として低ノイズ電流、多レンジ、高速応答、低回路電源電圧、バイポーラ動作、小規模回路の要件を満足する自動レンジ切り替え可能な電流／電圧変換回路を実現する。

【選択図】図 1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

レンジグループ 1、レンジグループ 2、・・・(中略)、レンジグループ N (N は 2 以上の自然数) の各レンジグループに含まれるレンジ数を M 1、M 2、・・・(中略)、M N (M N は 1 以上の自然数) として、

電流入力端子とグランド端子間に入力される入力電流に対し、

レンジグループ 1 のレンジ (1, 1) ~ レンジ (1, M 1) の M 1 個、

レンジグループ 2 のレンジ (2, 1) ~ レンジ (2, M 2) の M 2 個、

・・・(中略)、

レンジグループ N のレンジ (N, 1) ~ レンジ (N, M N) の M N 個、

の合計 M 1 + M 2 + ... (中略) + M N 個のレンジを含み、

各レンジ毎に I / V 変換抵抗を有し、

前記入力電流の増加に対応してレンジ (1, 1) ~ レンジ (N, M) の各レンジが順次段階的にオンになるようにした電流 / 電圧変換回路において、

第 1 の演算増幅器を設け、その非反転入力端子をグランド電位に接続し、その反転入力端子を前記電流入力端子に接続し、

該第 1 の演算増幅器の反転入力端子と出力端子間に I / V 変換抵抗を接続してその出力電圧を該 I / V 変換抵抗に流れる電流の I / V 変換信号とする事も可能であり、

各レンジグループ毎に I / V 変換用演算増幅器と電圧調整部を有し、

各レンジグループの I / V 変換抵抗については、

当該レンジグループ内で最小レンジの I / V 変換抵抗を該 I / V 変換用演算増幅器の反転入力端子と出力端子間に接続し、

それ以外の I / V 変換抵抗にはそのオン / オフスイッチになる様に所定のオン電圧を持つダイオードスイッチを組み合わせて、各々該 I / V 変換用演算増幅器の反転入力端子と出力端子間に接続し、

該 I / V 変換用演算増幅器の出力電圧増加に対応して当該レンジグループ内のレンジが順次段階的にオンになる様にし、

各 I / V 変換抵抗の両端子間の電位差を各レンジの I / V 変換信号とし、

各レンジグループの I / V 変換用演算増幅器については、

当該 I / V 変換用演算増幅器の反転入力端子を電流オン / オフ用ダイオードスイッチと電流制限抵抗の何れか一方又は両方を介して前記電流入力端子に接続し、

当該 I / V 変換用演算増幅器の非反転入力端子を当該レンジグループの前記電圧調整部を介して前記第 1 の演算増幅器の出力端子に接続し、

前記入力電流の増加に対応して下位レンジグループから上位レンジグループ迄順次段階的にオンになる様にし、

自動レンジ切り替えを行なう事を特徴とする電流 / 電圧変換回路。

【請求項 2】

請求項 1 の電流 / 電圧変換回路に於いて、少なくとも 1 つのレンジグループの電圧調整部に、

不感帯回路又はリミット回路の何れか一方又は両方を有する事を特徴とする電流 / 電圧変換回路。

【請求項 3】

請求項 1 又は請求項 2 の電流 / 電圧変換回路の少なくとも 1 つのレンジグループの電圧調整部に於いて、

ダイオードスイッチの不感帯幅を演算増幅器により増幅又は減衰させて任意の不感帯幅を得られるようにした不感帯回路を有する事を特徴とする電流 / 電圧変換回路。

【請求項 4】

請求項 1 又は請求項 2 又は請求項 3 の電流 / 電圧変換回路の少なくとも 1 つのレンジグループの電圧調整部に於いて、

該レンジグループの次レンジグループの何れかのレンジの I / V 変換信号で該電圧調整部

10

20

30

40

50

の出力を抑制させる様にした事を特徴とする電流 / 電圧変換回路。

【請求項 5】

請求項 1 又は請求項 2 又は請求項 3 又は請求項 4 の電流 / 電圧変換回路の何れかの部分を内蔵し、

その他の部分は外付け可能とする端子を有する事を特徴とする集積回路装置。

【請求項 6】

請求項 1 又は請求項 2 又は請求項 3 又は請求項 4 又は請求項 5 に記載の電流 / 電圧変換回路又は集積回路装置を含む事を特徴とする電子回路基板又は電子機器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

本願発明は電子回路の電流測定や、電流出力を有するセンサの電流信号検出等に応用可能な低ノイズ電流、多レンジ、高速応答、低回路電源電圧、バイポーラ動作、小規模回路の要件を満足する自動レンジ切り替え可能な電流 / 電圧変換回路及び集積回路、及びそれらを用いた電子回路基板又は電子機器に関するものである。

【背景技術】

【0002】

最初に本書で使用するの用語の定義を示し、公知回路の概要を示す。

本書では電圧の単位は [V]、電流の単位は [A]、抵抗の単位は [Ω] 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。

20

【0003】

又、入力電流 I の方向により回路各部の電圧、電流は符号（極性）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。

なお、一般的にはこの入力電流 I の流れ込み、流れ出しに対して極性を付けて扱うので、両方向で動作する事を両極性動作、即ちバイポーラ動作と言う。

【0004】

又、説明を判り易くする為に図中で抵抗を R S n 又は R n 等で表記している。誤解を招かない範囲で、抵抗を特定する為の呼称と抵抗値を兼ねているものとする。

【0005】

30

I / V 変換は I / V 変換抵抗 R S [Ω] に流れる電流 I i n [A] の両端電圧 V i v [V] を得る事により行なう。

この時、

$$I_{in} = V_{iv} / R_S \quad \cdots (1)$$

である。

以下本書では、この時の電流と電圧の比率を I / V 変換比と呼ぶ。

一例として I / V 変換抵抗が 1 M Ω の場合は、1 μ A に対して 1 V に変換されるので I / V 変換比は 1 μ A / V である。I / V 変換抵抗の逆数とも言えるものである。

【0006】

40

又、図 4 4 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 m V 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。

換言すると、ダイオードの内部抵抗は順方向電圧 V F が数百 m V 以下では極めて大きく、順方向電圧 V F がそれ以上ではダイオードの内部抵抗が極めて小さくなると言える。

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図 4 5 の様に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 F E T が一般的に知られている。

図示していない P N P トランジスタ、P c h J F E T、P c h M O S F E T でも同様にダイオード接続が可能である事が公知である。

【0007】

図 4 6 はダイオードを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

50

、図 4 4 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。

本願発明ではこ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スイッチ相当の電圧 - 電流特性は前記の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 を双方向並列接続しても得られる。

【 0 0 0 8 】

又、図 4 7 に示す双方向直列接続したツェナーダイオードや、双方向直列接続バリスタでも同様である。

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図 4 8 で表わす。

【 0 0 0 9 】

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」はその両端子間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るという利点がある。

本書ではダイオードスイッチがオンになる時の両端子間電圧をオン電圧と呼ぶものとする。

又、ダイオードスイッチのオン電圧を高くする場合は図 4 9 の様にダイオードスイッチを必要段数シリーズに接続するものとする。

【 0 0 1 0 】

但し、図 4 4、図 4 6 から判る様にダイオードスイッチの特性は非線形であり、シリコンダイオード、ショットキーバリアダイオード、ツェナーダイオード、トランジスタ、FET 等デバイス種類、流れる電流の大きさ、温度、周辺回路等の条件でそのオン電圧が変化するので回路特性をリニアな計算式にそのまま適用する事はできず、実際の回路設計では実験やシミュレーション等で回路定数を決定する様な事が必要になって来る。

しかし、本書ではその動作原理を示す為のものであるので、ダイオードスイッチのオン電圧や内部抵抗値は特別にことわらない場合はモデル化した固定値を用いるものとする。

【 0 0 1 1 】

又、本願発明では不感帯回路を用いる。

図 5 0 は不感帯回路の入出力の関係を示したもので、図 5 1、図 5 2、図 5 3 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。

$$V_{out} = db(V_{in}, E_{db}) \quad \dots (2)$$

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

$$\begin{array}{ll} V_{in} < -E_{db} \text{ の時} & V_{out} = V_{in} + E_{db} \\ -E_{db} < V_{in} < +E_{db} \text{ の時} & V_{out} = 0 \\ +E_{db} < V_{in} \text{ の時} & V_{out} = V_{in} - E_{db} \end{array}$$

とする。

【 0 0 1 2 】

又、本願発明ではリミット回路を用いる。

図 5 4 は反転型リミット回路の入出力の関係を示したもので、図 5 5 は公知の演算増幅器を用いた反転型のリミット回路例である。

その出力をインバータで反転させれば非反転型のリミッタ回路を容易に得る事ができる。

【 0 0 1 3 】

又、一般的にリミット回路でリミット値が一定であるものをハードリミット、リミット値が漸増するものをソフトリミットと呼ぶ。図 5 6 にその入出力特性を示す。

その様な回路はダイオードやツェナーダイオードでも容易に得られ、さらに演算増幅器と組み合わせて得られる事も知られている。図 5 7、図 5 8、図 5 9、図 6 0 に回路例を示す。

10

20

30

40

50

本願発明では同様のリミット回路を用いるが、上記で説明したものとして各部での説明は省く。

【0014】

以降の説明の為にリミット設定電圧の絶対値を正負同一値とした場合のリミット回路を次式で定義する。

$$V_{out} = \lim(V_{in}, E_{lm}) \quad \dots (3)$$

但し、 V_{in} は入力電圧、 E_{lm} はリミット設定電圧、 V_{out} はリミット回路出力電圧であり、

$$V_{in} < -E_{lm} \text{ の場合、} \quad V_{out} = -E_{lm}$$

$$-E_{lm} < V_{in} < +E_{lm} \text{ の場合、} \quad V_{out} = V_{in}$$

$$+E_{lm} < V_{in} \text{ の場合、} \quad V_{out} = +E_{lm}$$

とする。

【0015】

又、本書の説明中で2点間の電位差を求める場合がある。

一般的には図61等の差動増幅器が用いられる。

あるいは図62の様に高入力インピーダンスの差動増幅器を1つの集積回路にまとめた計測アンプと呼ばれる素子も一般的になっている。

2点間の電位差を求めるには2点の電圧を各々A/D変換してディジタル回路演算又はマイクロコンピュータのソフトウェア演算で電位差を求める事もできる。

本願発明では上記何れの方法でも良く、方法の限定は不要であるので、あくまでも電位差を求めるという意味合いで代表して図62の表示方法を用いるものとする。

【0016】

又、本書では説明の中で演算増幅器の最大出力電圧を用いる場合がある。

一般的な演算増幅器ではその出力電圧範囲は電源電圧に対して2～3V狭い範囲である。

一方近年ではレイル・ツー・レイル出力演算増幅器等と呼ばれる演算増幅器が一般的になって来た。

これはその出力電圧範囲がほぼ電源電圧範囲に等しいものである。

本書では説明を明快にする為に、演算増幅器の出力電圧幅に関連する説明においてはレイル・ツー・レイル出力を前提とし、出力電圧は電源電圧範囲迄可能であるものとする。

【0017】

又、本書ではレンジグループ1, ..., レンジグループN (Nは2以上の自然数)の各レンジグループに含まれるレンジ数 $M_1, M_2, \dots, M_N$ (M_N はレンジグループ内レンジ番号とし1以上の自然数)として、本願発明のレンジ切り替えのオン/オフの順番は入力電流の絶対値が0Aから大きくなるに伴い、

レンジ(1, 1)、レンジ(1, 2)、... (中略)、レンジ(1, M_1)、レンジ(2, 1)、レンジ(2, 2)、... (中略)、レンジ($N-1, M(N-1)$)、レンジ(N, M)の順番で順次オンになるものとして扱う。

即ちレンジグループ及びレンジグループ内レンジ番号が若い程入力電流が小さい値でオンになるものとする。

【0018】

ここで、レンジが「オフ」とは、当該レンジのI/V変換抵抗に直列に設けたダイオードスイッチやアナログスイッチ等のスイッチ要素をオフにしてI/V変換抵抗に電流が流れない状態にする事であり、前記スイッチ要素をオンにしてI/V変換抵抗に電流が流せる状態になる事をレンジが「オン」であるものと定義する。

【0019】

複数レンジの切り替えに於いて、レンジがオンになるレンジ間の相対的順番に関して説明する場合に、入力電流が小さい段階でオンになるレンジを「小レンジ」、「下位レンジ」、入力電流が大きくなるに伴い後からオンになるレンジを「大レンジ」、「上位レンジ」

」「次レンジ」の様に「大小」「上下」「前後」の概念を込めて呼ぶ。

【 0 0 2 0 】

一例としてレンジ (3 , 1) に対してレンジ (2 , M 2) は「小レンジ」、「下位レンジ」であり、レンジ (3 , 2) は「大レンジ」、「上段レンジ」、「次レンジ」である。

さらに、レンジ 0 は「最小レンジ」あるいは「最下位レンジ」であり、レンジ (N , M N) は「最大レンジ」、「最上位レンジ」である。

レンジグループについても同様とし、レンジグループ 1 は「最小レンジグループ」、「最下位レンジグループ」であり、レンジグループ N は「最大レンジグループ」、「最上位レンジグループ」である。

【 0 0 2 1 】

10

但し、一般的にはレンジ切り替えは小電流レンジが「下位レンジ」であり、大電流レンジになるに従って「上位レンジ」になるが、本願発明の回路動作原理によるとレンジ切り替えの順番とレンジの対応する電流の相対的な大きさは一致させる必要は無い。

換言すると、本願発明においてはレンジ又はレンジグループの「大小」「上下」「前後」はあくまでもレンジオン/オフの相対的順番についての定義であり、対象電流の大小の順番を必ずしも一致させる必要は無い。

【 0 0 2 2 】

ここで、当該レンジの I / V 変換抵抗に流れる電流が「設定値」に達したら次のレンジをオンにするものとし、その電流「設定値」を「フルスケール電流値」と定義し、前記 N 、 M N を用いて以下の記号で示す。

20

【 0 0 2 3 】

レンジ 0 に対して I F S 0 、

レンジ (1 , 1) に対して I F S (1 , 1) 、

レンジ (1 , 2) に対して I F S (1 , 2) 、

・・・ (中略)

レンジ (1 , M 1 - 1) に対して I F S (1 , M 1 - 1) 、

レンジ (1 , M 1) に対して I F S (1 , M 1) 、

レンジ (2 , 1) に対して I F S (2 , 1) 、

レンジ (2 , 2) に対して I F S (2 , 2) 、

・・・ (中略)

30

レンジ (N , M N - 1) に対して I F S (N , M N - 1) 、

レンジ (N , M N) に対して I F S (N , M N) 。

【 0 0 2 4 】

なお、当該レンジがフルスケール電流値に達したらそれ以上電流が流れないというのではなく、そのレンジグループの I / V 変換用演算増幅器の非反転入力端子電圧がさらに増大すれば当該 I / V 変換抵抗に流れる電流も準じて増大する事になる。

【 0 0 2 5 】

以下に従来の電流 / 電圧変換回路に關しての概要を記す。

電流の大きさ、又は電流に關連した電気量や電力量等の様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。

40

又、入力インピーダンスを低くする必要がある場合は演算増幅器を組み合わせる用いる。

【 0 0 2 6 】

I / V 変換の精度を高める為には信号対ノイズ比 (以下 S / N 比と称す) を大きくする必要があり、その手段として対象とする電流の大きさ (レンジ) に応じて抵抗値の異なる複数の I / V 変換抵抗を、スイッチ又はリレー又は半導体スイッチ等で切り替えて測定するのが一般的であり、これをレンジ切り替えと呼ぶ。

【 0 0 2 7 】

図 3 8 はその一例としてのレンジ数 3 の場合の演算増幅器を用いた基本的な電流 / 電圧変換回路であり、 I / V 変換抵抗 R S 1 ~ 3 を並列にして半導体スイッチ S W 1 ~ 3 で何

50

れか 1 つの I/V 変換抵抗を選択してレンジ切り替えを行なう。

あるいは $SW1 \sim SW3$ を順次オンにし、 I/V 変換抵抗 $RS1 \sim RS3$ を順次並列させる方法が有り、本願発明は後者である。

このような演算増幅器を用いたレンジ切り替えによる電流/電圧変換回路に必要な要件は以下の通りである。

【0028】

(A) 低ノイズ電流

抵抗やダイオードの熱雑音、回路部品の温度ドリフト、演算増幅器のオープンループゲインの有限性に伴う偏差の様に回路が本来的に持つノイズ以外に、演算増幅器やその他の回路素子のバイアス電流、トランジスタ、FET、フォトカプラ等のスイッチ回路の漏れ電流等、回路構成に伴うノイズ要因が有り、これを可能な限り小さくする必要がある。

10

【0029】

図 39 にそれらのノイズ電流の影響例を示す。

同図に示す様に太線で示した電流入力端子からオン状態の I/V 変換抵抗 $RS1$ 迄の入力電流経路に接続された演算増幅器 $A1$ 、 $A2$ 、スイッチ素子 $SW1$ 、 $SW2$ が有るとそのバイアス電流 $Ib1$ 、 $Ib2$ や漏れ電流 $I11$ 、 $I12$ が入力電流 I に重畳して I/V 変換抵抗 $RS1$ に流れ込み、誤差電圧となる。

演算増幅器 $A1$ は必須であるのでバイアス電流の小さい素子を用いる事で対策する。

その他のノイズ電流に対する対策は、入力電流経路にはできるだけノイズ電流を発生する素子を使用しない回路構成にするのが効果的である。

20

【0030】

(B) 多レンジ

入力電流値の範囲が広く、電流/電圧変換回路のダイナミックレンジを大きくするには S/N 比を高くする為にレンジ数を大きくするのが効果的である。

【0031】

(C) 高速応答

レンジ間をまたがり高速に変化する入力電流に対しては、レンジ切り替えを高速に行なう必要がある。

【0032】

(D) 低回路電源電圧

30

図 40、図 41 に演算増幅器による電流/電圧変換回路の入力電流経路を示す。

図 40 で示す様に入力電流が流れ込む方向の場合は負電源から入力電流と同じ値の電流を供給し、図 41 で示す様に入力電流が流れ出す方向の場合は正電源から入力電流と同じ値の電流を供給する必要がある。

従って、同回路で低消費電力化を計るには消費電流は入力電流以下にはできないので、回路の電源電圧を低くするのが効果的である事が判る。

【0033】

又、演算増幅器には入力電流と同じ値の電流を駆動する能力が必要であり、演算増幅器の駆動能力が不足する場合は図 42 に示す様にバッファアンプを設ける必要がある。

バッファアンプの電力損失を抑えて小形化するには電源電圧を下げるのが効果的である。

40

。即ち、電流/電圧変換回路ではできるだけ回路の電源電圧を低くするべきである。

【0034】

なお、本書の以下の説明では必要に応じてバッファアンプを設ける事を前提とし、図面や文中ではバッファアンプには言及せず演算増幅器のみを示すものとする。

さらに、本書の以下の説明図中では演算増幅器や差動増幅器の電源端子と供給電源は必要時を除いて記載しないものとする。

【0035】

(E) バイポーラ動作

ダイナミックレンジを広くする為にログアンプを使用する方法が有る。

50

しかし、バイポーラでないので入力電流方向が流れ出し、又は流れ込みの一方にしか対応できない。

一般的には電流測定のように I/V 変換を要する場合は入力電流方向に制限の無いバイポーラ動作を要求される場合が多い。

従って電流 / 電圧変換回路においてバイポーラ動作する事は重要な要件である。

【0036】

(F) 小規模回路

信頼性、精度、コスト、スペース等様々な点で回路はできるだけ部品点数少なく単純で小規模である事が望ましい。

【0037】

一般的には前記の全ての要件を満たす電流 / 電圧変換回路を得るのは困難であり、その内何れかを満足するものとして特許文献 1 ~ 特許文献 5 で開示されている方法が発明されて来た。

これらは何れも部品点数を増やさずにバイポーラ動作可能である。

【0038】

図 3 2、図 3 3 は特許文献 1 で開示されている電流 / 電圧変換回路のレンジ数 3 の場合の代表的な実施例であり、動作の詳細は各々の文献によるものとする。

これらは高速応答、バイポーラ動作、小規模回路の要件を満足する。

一方、何れの場合も電流 / 電圧変換対象の入力電流が小さくなるにつれて入力電流バイパス用のスイッチング素子のオフ時の漏れ電流 I_l や I/V 変換抵抗に繋がる回路素子のバイアス電流 I_b 等が測定精度上無視できなくなるという低ノイズ電流化に欠点があった。

【0039】

又、上記の漏れ電流 I_l を防ぐ為にはダイオードスイッチの直列段数を増やす、ツェナーダイオード電圧やバリスタ電圧を上げる等して、スイッチング素子のオフ電圧を上げる必要が有るが、その場合には最大入力電流に対して電流 / 電圧変換回路全体の電圧降下、即ち図 3 2 に於ける V_1 、図 3 3 に於ける V_0 が大きくなり、演算増幅器等の電源電圧を高くする必要が有った。

即ち、多レンジ化と低回路電源電圧化は相反する要件になっている。

【0040】

図 3 4 は特許文献 2、図 3 5 は特許文献 3 で開示されている電流 / 電圧変換回路のレンジ数 3 の場合の代表的な実施例であり、動作の詳細は各文献によるものとする。

特に図 3 5 の方法は高速応答性は良い。

他方、これらの回路ではレンジ数が増えるとバッファアンプ等のバイアス電流が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短所と、回路規模が大きくなるという短所があった。

即ち、多レンジ化と低ノイズ電流化、低回路電源電圧化、小規模回路化は相反する要件になっている。

【0041】

図 3 6 は特許文献 4 で開示されている電流 / 電圧変換回路のレンジ数 3 の場合の代表的な実施例であり、動作の詳細は該文献によるものとする。

該電流 / 電圧変換回路は回路素子のバイアス電流による誤差を無くしたものであるが、自動レンジ切り替えの制御に演算回路を介するので高速応答性が充分でない。

本願発明を概観すると、特許文献 4 で開示されている電流 / 電圧変換回路の基本動作を応用してその短所を改良したものと言える。

【0042】

図 3 7 は特許文献 5 で開示されている電流 / 電圧変換回路のレンジ数 3 の場合の代表的な実施例であり、動作の詳細は該文献によるものとする。

該電流 / 電圧変換回路は回路素子のバイアス電流による誤差を無くしたものであり、回路は比較的シンプルであるが、レンジ毎に絶縁電源を用意する必要が有った。

10

20

30

40

50

即ち多レンジ化、小規模回路化に難点があった。

【0043】

【特許文献1】特願2000-268065

【特許文献2】特願2003-400928

【特許文献3】特願2006-147509

【特許文献4】特願2008-292867

【特許文献5】特願2009-247710

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0044】

10

解決しようとする課題は低ノイズ電流、多レンジ、高速応答、低回路電源電圧、バイポーラ動作、小規模回路の要件を満足させる自動レンジ切り替え可能な電流/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】

【0045】

本願発明の電流/電圧変換回路は、電流入力端子とグランド間に入力される入力電流を複数レンジに分けてI/V変換するものであり、レンジグループを

レンジグループ1、レンジグループ2、・・・(中略)、レンジグループN(Nは2以上の自然数)の各レンジグループに含まれるレンジ数をM1、M2、・・・(中略)、MN(MNは1以上の自然数)として、

20

電流入力端子とグランド端子間に入力される入力電流に対し、レンジグループ1のレンジ(1,1)～レンジ(1,M1)のM1個、レンジグループ2のレンジ(2,1)～レンジ(2,M2)のM2個、・・・(中略)、レンジグループNのレンジ(N,1)～レンジ(N,MN)のMN個、の合計M1+M2+・・・(中略)+MN個のレンジを含み、別途常時オンのレンジ0を設ける事も容易である。

各レンジ毎にI/V変換抵抗を設ける。

【0046】

以下では説明を統一的にする為にレンジ0を設けるものとし、レンジ0を設けない場合は、そのI/V変換抵抗値が無大でそのI/V変換信号は常に0であるものとし、レンジグループ1の電流オン/オフ用ダイオードスイッチを無くし、レンジ(1,1)を常時オンにして第1の演算増幅器の常時オンの負帰還抵抗と見なすものとする。

30

【0047】

レンジ(1,1)～レンジ(N,MN)の各レンジについて、入力電流の増加に対応してレンジ(1,1)～レンジ(N,MN)の各レンジが順次段階的にオンになり、各レンジのI/V変換抵抗が順次並列に接続されて行くものとする。

【0048】

誤差増幅用として第1の演算増幅器を設け、その反転入力端子を電流入力端子に接続し、非反転入力端子をグランドに接続する。

40

これにより該第1の演算増幅器は以下に説明するI/V変換抵抗による負帰還により入力電流値に応じて出力電圧を変化させて常に反転入力端子がバーチャルショートによりグランド電位(0V)になる様に制御される。

レンジ0用のI/V変換抵抗を該第1の演算増幅器の反転入力端子と出力端子間に接続して、出力電圧をレンジ0のI/V変換信号とする。

【0049】

I/V変換部を各レンジグループ毎に設け、各々1個のI/V変換用演算増幅器と電圧調整部を設ける。

各レンジグループのI/V変換抵抗については、当該レンジグループ内で最小レンジのI/V変換抵抗を該I/V変換用演算増幅器の反転入力端子と出力端子間に接続し、それ

50

以外の I / V 変換抵抗にはそのオン / オフができる様に所定のオン電圧を持つダイオードスイッチを組み合わせ、各々該 I / V 変換用演算増幅器の反転入力端子と出力端子間に接続する。

【 0 0 5 0 】

これにより当該レンジグループの I / V 変換用演算増幅器の出力電圧増加に対応して当該レンジグループ内のレンジが順次段階的にオンになり、自動レンジ切り替え動作をする。

この時、各 I / V 変換抵抗の両端子間の電位差を各レンジの I / V 変換信号とする。

【 0 0 5 1 】

各レンジグループの I / V 変換用演算増幅器については、
当該 I / V 変換用演算増幅器の反転入力端子を電流オン / オフ用ダイオードスイッチと電流制限抵抗の何れか一方又は両方を介して前記電流入力端子に接続し、
当該 I / V 変換用演算増幅器の非反転入力端子を当該レンジグループの前記電圧調整部を介して前記第 1 の演算増幅器の出力端子に接続し、
前記入力電流の増加に対応して下位レンジグループから上位レンジグループ迄順次段階的にオンになる様にする。

10

【 0 0 5 2 】

但し、レンジ 0 が不要（レンジ 0 用 I / V 変換抵抗が無限大）の場合はレンジグループ 1 については電流オン / オフ用ダイオードスイッチは無くても良い。

さらに、最大レンジグループについては電流制限抵抗は 0 Ω （短絡）で良く、即ち、回路に入れなくても良い。

20

【 0 0 5 3 】

各 I / V 変換抵抗の両端子間電圧が各レンジの I / V 変換信号になるので、これをその I / V 変換抵抗値で除算するとその I / V 変換抵抗に流れた電流値になる。

従って、全レンジの I / V 変換抵抗に流れる電流値を合計すれば入力電流値が求められる事になる。

【 0 0 5 4 】

レンジグループ 1 についてはレンジ 0 の電流がフルスケール電流値 I F S 0 に達した時の前記第 1 の演算増幅器の出力に対してレンジグループ 1 の電流オン / オフ用ダイオードスイッチがオンになる電圧にレンジグループ 1 の電圧調整部で調整されて出力される様にしておく。

30

レンジ 0 の I / V 変換抵抗が無限大の場合はレンジグループ 1 のレンジ（1，1）は常時オンで良く、電流オン / オフ用ダイオードスイッチは不要で I F S 0 は 0 A として扱える。

【 0 0 5 5 】

レンジグループ 2 以上のレンジグループについては、直前のレンジグループの最大レンジがフルスケール電流値に達した時の前記第 1 の演算増幅器の出力に対して当該レンジグループの電流オン / オフ用ダイオードスイッチがオンになる様に当該レンジグループの電圧調整部の出力が調整される様にしておく。

【 0 0 5 6 】

各レンジグループの各々の電流制限抵抗により当該レンジグループの上限電流を設定する。

40

最上位レンジグループについては電流制限抵抗は無くても良く、説明を統一して扱う為に電流制限抵抗を 0 Ω として扱う。

【 0 0 5 7 】

上記した電流 / 電圧変換回路は入力電流に対応した第 1 の演算増幅器の出力電圧に基づく高速の自動レンジ切り替えが可能であり、低ノイズ電流化、高速応答、バイポーラ動作、小規模回路化の要件を満足させる事を特徴とするものである。

【 0 0 5 8 】

又、本願発明の電流 / 電圧変換回路の少なくとも 1 つのレンジグループの電圧調整部に

50

不感帯回路又はリミット回路を用いると、当該レンジグループに対応する前記第 1 の演算増幅器の出力電圧範囲を狭くでき、より多レンジ化、高速応答化、低回路電源電圧化が計れる。

【0059】

又、本願発明の電流 / 電圧変換回路のレンジグループの電圧調整部の不感帯回路としてダイオードスイッチの不感帯幅を演算増幅器により増幅又は減衰させて任意の不感帯幅を得る様にすることができる。

これを少なくとも 1 つ以上のレンジグループの電圧調整部に用いる事により、レンジ切り替えを行なう前記第 1 の演算増幅器の出力電圧を任意の電圧に設定でき、より高速応答化、低回路電源電圧化が計れる。

10

【0060】

さらに、少なくとも 1 つのレンジグループの電圧調整部に於いて、当該レンジグループの次レンジグループの何れかのレンジの I / V 変換信号で当該電圧調整部の出力を抑制させる様にし、その上位レンジがオンになったら下位である当該レンジグループの入力電流を減少させ、その分を上位レンジグループに流して、上位レンジグループに流れる電流を相対的に多くする事で、より一層 I / V 変換信号の S / N 比を高められる。

【0061】

さらに、本願発明の電流 / 電圧変換回路の一部を内蔵し、その他の回路は外付け可能にする端子を設けた集積回路にする事により容易、且つコンパクトに本願発明の電流 / 電圧変換回路が製作可能になる。

20

【0062】

さらに本願発明の電流 / 電圧変換回路又は集積回路を用いれば、電流 / 電圧変換回路を要する種々の高機能の電子回路基板又は電子機器が製作可能になる。

【発明の効果】

【0063】

本願発明により低ノイズ電流、多レンジ、高速応答、低回路電源電圧、バイポーラ動作、小規模回路の要件を満足する自動レンジ切り替え可能な電流 / 電圧変換回路及び集積回路、及びそれらを用いた電子回路基板又は電子機器を実現できる効果を得る事ができる

【発明を実施するための最良の形態】

【0064】

30

以下に発明実施の最良形態を実施例で示す。

但し、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、発明が示す原理に基づく限りはそれらは全て本願発明の範囲に含まれるものとする。

【0065】

又、I / V 変換抵抗やその他の抵抗値を具体的数値で示しているが、あくまでも説明を判り易くする為のものであり、当業者であれば別の値での実施も容易であり、それらは全て本願発明の範囲に含まれるものとする。

【実施例 1】

40

【0066】

図 1 は本願発明の請求項 1 の電流 / 電圧変換回路のレンジ 0 有り、 $N = 2$ 、 $M1 = 2$ 、 $M2 = 3$ 、即ちレンジグループ数 2、レンジグループ 1 のレンジ数 2、レンジグループ 2 のレンジ数 3、合計レンジ数 6 の実施例である。

電流 / 電圧変換回路 1 は主としてレンジ 0 I / V 変換部 2、レンジグループ 1 I / V 変換部 3、レンジグループ 2 I / V 変換部 4、及び演算部 6 で構成される。

【0067】

説明の為に、レンジ 0 の I / V 変換抵抗 $RS0$ を $1\text{M}\Omega$ 、レンジ (1, 1) の I / V 変換抵抗 $RS11$ を $100\text{K}\Omega$ 、レンジ (1, 2) の I / V 変換抵抗 $RS12$ を $10\text{K}\Omega$ 、

50

レンジ (2 , 1) の I / V 変換抵抗 $RS21$ を $1\text{ K}\Omega$ 、
 レンジ (2 , 2) の I / V 変換抵抗 $RS22$ を 100Ω 、
 レンジ (2 , 3) の I / V 変換抵抗 $RS23$ を 10Ω 、とする。

回路接続は請求項 1 に従ったものである。

【 0068 】

各レンジのフルスケール電流値について、

レンジ 0 の $IFS0$ を $1\mu\text{A}$ 、

レンジ (1 , 1) の $IFS(1, 1)$ を $10\mu\text{A}$ 、

レンジ (1 , 2) の $IFS(1, 2)$ を $100\mu\text{A}$ 、

レンジ (2 , 1) の $IFS(2, 1)$ を 1mA 、

レンジ (2 , 2) の $IFS(2, 2)$ を 10mA 、

レンジ (2 , 3) の $IFS(2, 3)$ を 100mA 、

とする。

【 0069 】

レンジ 0 I / V 変換部 2 は演算増幅器 $A01$ を第 1 の演算増幅器とし誤差増幅とレンジ 0 用の I / V 変換に用いており、その反転入力端子は入力電流の大きさに無関係にバーチャルショートにより常に 0V になる様に出力 $V0$ が制御される。

これに伴い、電流入力端子電圧もバーチャルショートにより常に 0V になる。即ち入力インピーダンスがほぼ 0Ω になるという事である。

【 0070 】

ゲイン - 1 の演算増幅器 $A02$ はレンジ 0 I / V 変換信号 $Viv0$ の極性を他レンジの I / V 変換信号と揃える為のものである。

$RS0$ に流れる電流 $I0$ は

$$I0 = Viv0 / RS0 \quad \cdots (4)$$

で算出できる。

【 0071 】

レンジグループ 1 I / V 変換部 3 は I / V 変換用演算増幅器 $A11$ を有し、その非反転入力端子は電圧調整部 1 を介して第 1 の演算増幅器 $A01$ の出力端子に接続される。

I / V 変換用演算増幅器 $A11$ の反転入力端子は電流制限抵抗 $R11$ ($1\text{ K}\Omega$) と電流オン / オフ用ダイオードスイッチ $DSW11$ を介して電流入力端子に接続される。 $R11$ と $DSW11$ の位置は入れ替えても良い。

$DSW11$ は例えば 2 個のシリコンダイオードを双方向並列接続して $VF11$ が 0.5V でオンになるものとする。

$DSW12$ は例えば 2 個のシリコンダイオードを双方向並列接続したものを 2 組直列にする等でその両端子間電圧が 1V 以上になったらオンになる様にしておく。

【 0072 】

ダイオードスイッチ $DSW11$ 、 $DSW12$ は双方向並列の段数を増やすか、ツェナーダイオードのツェナー電圧を変える等の方法で回路条件に応じて適宜変えれば良いものである。

【 0073 】

I / V 変換抵抗 $RS11$ ($100\text{ K}\Omega$) を I / V 変換用演算増幅器 $A11$ の反転入力端子と出力端子間に接続する。

I / V 変換抵抗 $RS12$ ($10\text{ K}\Omega$) の一方を I / V 変換用演算増幅器 $A11$ の反転入力端子に接続し、もう一方の端子をダイオードスイッチ $DSW12$ を介して I / V 変換用演算増幅器 $A11$ の出力端子に接続する。

【 0074 】

I / V 変換用演算増幅器 $A11$ はその反転入力端子電圧 $V1n$ と非反転入力端子電圧 $V1p$ が常に等しくなる様にその出力電圧 $Vd11$ が制御される。

ここで電圧調整部 1 によりレンジ 0 の I / V 変換抵抗 $RS0$ に流れる電流 $I0$ が $IFS0$ ($1\mu\text{A}$) 未満の $V0$ に対しては $V1p$ が $DSW11$ のオン電圧 0.5V より小さく、

10

20

30

40

50

I 0 が I F S 0 以上になったら V 1 p が 0 . 5 V 以上になる様に電圧調整される様にして
おけば D S W 1 1 は V 0 で自動的にオン / オフ制御される事になる。

【 0 0 7 5 】

D S W 1 1 がオンになると I 1 1 が流れるがこれが I F S (1 , 1) 即ち 1 0 μ A 未満
であれば V 1 n と V d 1 1 の電位差が 1 V 未満で D S W 1 2 はオフであり I 1 2 は 0 A で
ある。

入力電流が増加して V 0 が増加すると V 1 p が増加し、これに伴って V d 1 1 が増加し
て D S W 1 2 の端子間電圧 V F 1 2 がそのオン電圧を超えると D S W 1 2 がオンになり I
1 2 が流れる。

入力電流が減少すると逆の動作で D S W 1 2 はオフになる。

10

【 0 0 7 6 】

以上からレンジ (1 , 1) 、レンジ (1 , 2) は入力電流の大きさに応じて自動レンジ
切り替えが行なわれる事が判る。

なお、D S W 1 1 オフ時は I 1 1 は 0 A なので I / V 変換用演算増幅器 A 1 1 の出力電
圧も V 1 n 、即ち V 1 p と等しくなる。

【 0 0 7 7 】

レンジグループ 2 I / V 変換部 4 についてもレンジグループ 1 I / V 変換部 3 と同様の
方針で回路を構成する。

なお、レンジグループ 2 では I / V 変換用演算増幅器 A 2 1 には 1 m A ~ 1 0 0 m A の
電流駆動能力を得る為にパワーアンプが必要であるが、前述した従来回路と異なり、3 レ
ンジ分共通で 1 個設ければ良く、本願発明は小規模回路化に有利である事が判る。

20

【 0 0 7 8 】

I 1 2 が増加して I F S (1 , 2) である 1 0 0 μ A を超えるとレンジグループ 2 I /
V 変換部のダイオードスイッチ D S W 2 1 がオンになり以降レンジグループ 1 と同様に自
動レンジ切り替えが行なわれる。その動作原理はレンジグループ 1 と同じなので説明は割
愛する。

【 0 0 7 9 】

ここで差動増幅器 D F 1 1 で V d 1 1 と V 1 p の電位差 V i v 1 1 を求めると D S W 1
1 のオン / オフに関わらず R S 1 1 の電流 I 1 1 は次式で求める事ができる。

$$\begin{aligned} I 1 1 &= (V 1 n - V d 1 1) / R S 1 1 \\ &= (V 1 p - V d 1 1) / R S 1 1 \\ &= V i v 1 1 / R S 1 1 \quad \cdot \cdot \cdot (5) \end{aligned}$$

30

【 0 0 8 0 】

同様に I 1 2 についても次式で求められる。

$$\begin{aligned} I 1 2 &= (V 1 n - V d 1 2) / R S 1 2 \\ &= (V 1 p - V d 1 2) / R S 1 2 \\ &= V i v 1 2 / R S 1 2 \quad \cdot \cdot \cdot (6) \end{aligned}$$

【 0 0 8 1 】

同様にレンジグループ 2 の各レンジの電流は次式で求められる。

$$\begin{aligned} I 2 1 &= V i v 2 1 / R S 2 1 \quad \cdot \cdot \cdot (7) \\ I 2 2 &= V i v 2 2 / R S 2 2 \quad \cdot \cdot \cdot (8) \\ I 2 3 &= V i v 2 3 / R S 2 3 \quad \cdot \cdot \cdot (9) \end{aligned}$$

40

【 0 0 8 2 】

電流制限抵抗 R 1 1 はレンジ (1 , 2) の I 1 2 の電流が I F S (1 , 2) を超えたら
それ以上の電流が流れるのを制限する為のものである。

この値により同じ入力電流でも、レンジ (1 , 2) と次のレンジ (2 , 1) に流れる
電流の割合が変わる。

【 0 0 8 3 】

後述する様に S / N 比を大きくするには上位レンジの電流が大きい方が良く、その為に
電流制限抵抗 R 1 1 が有効に働く。

50

但し、電流制限抵抗 R_{11} が大きくなるに伴い電流 $I_{FS}(1, 2)$ を流す為の V_{1p} 、及びその信号源である演算増幅器 A_{01} の出力電圧 V_0 が大きくなるので先述した様に高い電源電圧が必要になる、 V_0 の変化幅が大きくなり動作速度が低下する等の不利が生ずる。

最上位レンジグループでは電流制限抵抗 R_{21} は不要であるので 0Ω としている。

【0084】

他方電流制限抵抗には以下の様な別の機能も果たす。

回路の諸条件により、レンジ切り替わり点において、

レンジ(2, 1)オン→ I_{21} 増大、 I_{12} 低下→演算増幅器 A_{01} の V_0 低下→ V_{2p} 低下→レンジグループ2オフ→ I_{12} 増大→レンジ(2, 1)オン、のサイクルでレンジ切り替えのハンチングが発生する場合がある。

10

【0085】

これは入力電流値が一定の状態に於いてレンジ切り替えが行なわれると、等価的な演算増幅器 A_{01} の負帰還抵抗が急激に増減する事によるもので、電流制限抵抗によりその増減幅が抑えられ、レンジ切り替えのハンチングを防止できる。

その様な場合は最上位レンジグループの電流制限抵抗も必要になる。

【0086】

この様なレンジ切り替え時のハンチングはレンジグループが増えれば各レンジグループのレンジ切り替わり点で発生し得る。

従って、各レンジグループの I/V 変換部の電流制限抵抗は当該レンジグループの最大レンジに流れる電流がそのフルスケール電流値を大きく超えず、且つレンジ切り替えに伴うハンチングが発生しない程度に大きく、演算増幅器 A_{01} の出力電圧 V_0 を不必要に大きくしない程度に小さくなる様な適切な値に設定すれば良い。

20

【0087】

図1の回路の電圧調整部1、電圧調整部2の最も簡単な構成例を図6に示す。

これは入力電圧 V_0 を抵抗 R_1 と R_2 と分圧して出力するものであり、前記の自動レンジ切り替え動作をさせるには電圧調整部1と電圧調整部2の分圧比を変える、換言すればそれぞれのゲインを変えるものである。

【0088】

一例として電圧調整部1、電圧調整部2のゲインを各々0.5、0.25とした場合の入力電流 I と V_0 、 V_{1p} 、 V_{2p} の関係を図7に示す。

30

これによると、 V_0 が V_{Fon} の2倍(1.0V)になると V_{1p} が V_{Fon} (0.5V) に達してレンジグループ1がオンになる。

さらに、 V_0 が V_{Fon} の4倍(2.0V)になると V_{2p} が V_{Fon} (0.5V) に達してレンジグループ2がオンになる。

レンジグループ数が増える毎にそのレンジゲインの電圧調整部のゲインを0.125、0.0625・・・の様に抵抗分圧比を順次小さくすれば良い。

【0089】

上記のレンジグループの自動オン/オフ制御の他に、電圧調整部に必要な要件は、電流入力端子電圧に対する全てのレンジグループの I/V 変換用演算増幅器の非反転入力端子の相対的な電圧大小関係が等しいという事である。

40

【0090】

一例として図1に於いて、電流オン/オフ用ダイオードスイッチ DSW_{11} 、 DSW_{21} の左側(電流入力端子側)の電位(通常は0V)に対して DSW_{11} の右側端子電位が高く、 DSW_{21} の右側端子電位が低い場合があると、 DSW_{11} の右側端子から DSW_{21} の右側端子に回り込み電流が生ずる。

これは不要な電流でありノイズ電流となる。各レンジグループにバイアス電流やリーク電流があるとこれも回り込んでレンジグループが互いに影響を及ぼし合う事になる。

【0091】

これを防止するには、電流入力端子の電位に対する各電流オン/オフ用ダイオードスイ

50

ッチの右側電位の相対的な大小関係が同じであれば良く、その為にはI/V変換用演算増幅器の反転入力端子と同電位の非反転入力端子の電位も同じ相対的電位関係になる必要が有る。

本願発明の電圧調整部は全てこの要件を満足する様に構成されるものである。

【0092】

図1の回路に於いて差動増幅器DF12とDF22、DF23の反転入力端子のバイアス電流はノイズ電流に成り得るものである。

しかし、上述した様にダイオードスイッチDSW11、DSW21の右側端子電位が電流入力端子に対する相対的な大小関係が同じである事により異レンジグループに流れ出す事は防止される。

従って、当該レンジグループ内でバイアス電流が精度に影響しない様にすれば良い。

即ち電流レンジの大きさと差動増幅器のバイアス電流を比較して、無視できない場合は当該レンジグループのレンジ数を1とするか、少ないレンジ数にすれば良い。

【0093】

以上の説明から本願発明によれば、

入力電流経路にバイアス電流や漏れ電流が入る要因が少なく、低ノイズ電流化が計れる。

レンジグループ内の複数レンジ化により多レンジ化が計れる。

演算回路によらずV0の大きさにより直接レンジ切り替えするので高速応答可能。

回路から明らかな様に入力電流方向により制限される回路箇所は無く、バイポーラ動作可能である。

1レンジ当たりの回路が単純、且つ部品点数の多いバッファアンプを要するレンジは1つのレンジグループにまとめる事ができるので小規模回路化が計れる。

等、多くの利点が同時に得られ、これは従来方法には無い大きな特徴である。

【0094】

ここでレンジグループ1のI/V変換部について見ると、I/V変換用演算増幅器A11の出力電圧はそのI/V変換抵抗RS11とRS12に流れる電流I11とI12、即ちその合計I1を駆動できれば良い。

具体的にレンジ(1,2)にI12が流れた場合のI/V変換用演算増幅器A11の出力電圧Vd11は

$$V_{d11} = V_{1n} + R_{S12} \cdot I_{12} + V_{F12} \quad \dots (10)$$

である。

【0095】

同様にレンジ(2,3)にI23が流れた場合のI/V変換用演算増幅器A21の出力電圧Vd21は

$$V_{d21} = V_{2n} + R_{S23} \cdot I_{23} + V_{F23} \quad \dots (11)$$

である。

【0096】

一方I/V変換用演算増幅器A11の反転入力端子の電圧V1nは電流オン/オフ用ダイオードスイッチDSW11の両端子間電圧VF11と電流制限抵抗R11と入力電流I1による電圧降下の合計値であれば良い。

同時にV1nは非反転入力端子V1pと等しく、その信号源は第1の演算増幅器A01である。

【0097】

即ち、次式が成り立つ。

$$\begin{aligned} V_{1n} &= V_{1p} \\ &= V_{F11} + R_{11} \cdot I_1 \quad \dots (12) \end{aligned}$$

レンジグループ2のI/V変換部についても同様であり、次式が成り立つ。

$$\begin{aligned} V_{2n} &= V_{2p} \\ &= V_{F21} + R_{21} \cdot I_2 \quad \dots (13) \end{aligned}$$

10

20

30

40

50

【 0 0 9 8 】

これらの式を比較すると第 1 の演算増幅器 A 0 1 の所要出力電圧幅と各レンジグループのレンジ数とは無関係であり、レンジグループ 1 の I / V 変換用演算増幅器 A 1 1 の所要出力電圧幅と、レンジグループ 2 の I / V 変換用演算増幅器 A 2 1 のと所要出力電圧幅とは無関係である事が判る。

【 0 0 9 9 】

換言すれば本願発明の電流 / 電圧変換回路では、レンジ数が増えてもレンジグループを増やせば第 1 の演算増幅器の出力電圧幅や各レンジグループの I / V 変換用演算増幅器の出力電圧範囲を大きく広げる必要は無い。

即ち、本願発明の電流 / 電圧変換回路に於いて、低い回路電源電圧でレンジ数を大きくする事ができるのは大きな特徴であり、利点である。

10

【 0 1 0 0 】

なお、図 1 の回路ではレンジ切り替えの一般的方法に合わせて各 I / V 変換抵抗 R S 0 ~ R S 2 3 を 1 M Ω ~ 1 0 Ω まで順次 1 0 倍宛増やしているが、レンジ切り替え動作の観点からは、原理的に各 I / V 変換抵抗は任意の大きさと良く、レンジ順番に従って抵抗値を漸減させる必要も無い。

即ち本願発明のレンジ切り替えの動作原理は各 I / V 変換抵抗値とは無関係である事は特記すべき点である。

【 0 1 0 1 】

以上説明したレンジ 0、レンジグループ 1 I / V 変換部、レンジグループ 2 I / V 変換部で各レンジ毎の I / V 変換信号を得る事ができ、本願発明の目的を達せられる。

20

得られた I / V 変換信号は演算部 6 で任意に処理すれば良く、どう利用するかは本回路を適用する装置の目的により多様であるが、以下に応用例を示す。

【 0 1 0 2 】

図 1 の演算部 6 では各レンジ毎に当該レンジとそれより下位レンジの I / V 変換信号をその I / V 変換比を鑑みて反転増幅器による加算回路で合算している。

これは入力電流に対して当該レンジに換算した I / V 変換信号と言えるものである。

なお、要求精度に応じて合算する信号は少なくしても良い。

例えば、要求精度が 1 % であればレンジ (3 , 3) 換算 I / V 変換信号 V i v 3 3 はレンジ (2 , 1) からレンジ (2 , 3) の 3 レンジ分を合算すれば足りる。

30

【 0 1 0 3 】

各レンジ毎に換算された信号の内、I / V 変換信号として有効なのはオンになっているレンジの内最大レンジの信号及び、オフ状態にあるそれより大きいレンジの信号であるが、S / N 比を大きくする為にはオンになっているレンジの内最大レンジの信号を有効とすべきである。

【 0 1 0 4 】

その一方法としてウィンドコンパレータとデコーダを用いて各レンジ換算 I / V 変換信号から有効レンジ指定信号を生成する方法が有る。

説明を単純化する為にレンジ 0、レンジ 1 1、レンジ 2 1 だけの電流 / 電圧変換回路の場合の有効レンジ指定信号作成回路例を図 8 に示す。

40

本方法はソフトウェアを介さずハードウェアで処理するので高速性が要求される場合に有効である。

【 0 1 0 5 】

別の処理方法として図 9 の様に各レンジ毎の I / V 変換信号をマルチプレクサで選択しながら A / D 変換しマイクロコンピュータとソフトウェアを用いて有効レンジを判定する方法が有る。

本方法は処理速度が比較的遅くても良い場合に有効である。

【 0 1 0 6 】

さらに別の処理方法として図 1 0 の様に各レンジ毎の I / V 変換信号を直接 A / D 変換しマイクロコンピュータとソフトウェアを用いて有効レンジを判定する方法が有る。

50

本方法は処理速度が比較的速いが A / D 変換器を複数要し、コストが高くなる。

【 0 1 0 7 】

なお、高速性が必要な場合は、図 9、図 10 のマイクロコンピュータを P L D や F P G A に置き換える方法も有る。

【 実施例 2 】

【 0 1 0 8 】

図 2 は図 1 のレンジグループ 2 I / V 変換部 4 を変更した実施例であり、その他の部分は全く図 1 と同一とする。

図 1 からの変更点はダイオードスイッチ D S W 2 3 右側端子をダイオードスイッチ D S W 2 2 の左側端子に接続して D S W 2 2 の不感帯幅を共用した点である。

これにより D S W 2 3 の不感帯幅は自身の不感帯幅と D S W 2 2 の不感帯幅の合計値になる。

【 0 1 0 9 】

これにより各ダイオードスイッチのオン電圧設定がし易くなる、同一のダイオードを用いる等で部品の統一化が計れる等の利点が得られる。

同一レンジグループ内のレンジ数が増えても同様に直前レンジのダイオードスイッチの不感帯を共用する様に接続可能である。

回路の動作は実施例 1 と全く同じであるので説明は割愛する。

【 実施例 3 】

【 0 1 1 0 】

図 3 は図 1 のレンジグループ 2 I / V 変換部 4 を変更した実施例であり、その他の部分は全く図 1 と同様とする。

図 1 からの変更点は以下である。

ダイオードスイッチ D S W 2 2 と I / V 変換抵抗 R S 2 2 の位置を入れ替え、I / V 変換信号 V i v 2 2 の極性が V i v 2 1 と同じになる様に R S 2 2 の両端子を差動増幅器に接続した。

ダイオードスイッチ D S W 2 3 と I / V 変換抵抗 R S 2 3 の位置を入れ替え、I / V 変換信号 V i v 2 3 の極性が V i v 2 1 と同じになる様に R S 2 2 の両端子を差動増幅器に接続した。

レンジグループ 1 I / V 変換部 3 についても同様な変更が可能である。

【 0 1 1 1 】

変更による大きな利点は特に無いが、実際の回路を製作する上では部品配置、配線容易性で利点がある場合が有り得る。

但し、差動増幅器を使用する場合は、その同相入力信号電圧がダイオードスイッチの両端子間電圧分大きくなる点は不利である。

回路の動作は実施例 1 と全く同じなので説明は割愛する。

なお、図 3 の位置関係でも図 2 の様に D S W 2 2 の不感帯を共用する接続にする事は可能である。

【 実施例 4 】

【 0 1 1 2 】

図 4 は本願発明の請求項 1 の電流 / 電圧変換回路のレンジ 0 無し、 $N = 3$ 、 $M 1 = 1$ 、 $M 2 = 1$ 、 $M 3 = 1$ 、即ちレンジグループ数 3、レンジグループ 1 のレンジ数 1、レンジグループ 2 のレンジ数 1、レンジグループ 3 のレンジ数 1、合計レンジ数 3 の場合の実施例である。

【 0 1 1 3 】

主な図 1 の実施例との相違点は以下である。

レンジ 0 の R S 0 が無い。即ち、演算増幅器 A 0 1 を I / V 変換機能を持たない誤差増幅器としている。

レンジグループ 1 I / V 変換部 3 の電流オン / オフ用ダイオードスイッチを設けない。

これによりレンジ (1 , 1) を常時オンにし、電流入力端子をオープンにした時に演算

10

20

30

40

50

増幅器 A 0 1 の負帰還抵抗が無くなって不安定状態になるのを防ぐ事ができる。

【 0 1 1 4 】

レンジグループ 1 I / V 変換部 3 の電圧調整部 1 の V 0 に対するゲインは 1 で良い。即ち V 0 を直接 I / V 変換用演算増幅器 A 1 1 の非反転入力端子に接続しても良い。

あるいは後述のリミット回路を設けるとさらに良い。

【 0 1 1 5 】

レンジグループ 2 I / V 変換部 4 のダイオードスイッチ D S W 2 1 と電流制限抵抗 R 2 1 の位置を入れ替えている。

レンジグループ 3 I / V 変換部 5 のダイオードスイッチ D S W 3 1 と電流制限抵抗 R 3 1 の位置を入れ替えている。

これによりダイオードスイッチと電流制限抵抗の相対的位置関係は回路動作に関わりが無い事を示している。

回路動作は図 1 の実施例と同様なので割愛する。

【 0 1 1 6 】

本実施例は図 1 の基本回路に対する機能同等で変形可能である事を示すが、レンジグループ毎の I / V 変換部を集積回路化する場合に各レンジグループを共通化しや易いという利点がある。

【 実施例 5 】

【 0 1 1 7 】

図 5 は本願発明の請求項 1 の電流 / 電圧変換回路のレンジ 0 有り、N = 2、M 1 = 1、M 2 = 1、即ちレンジグループ数 2、レンジグループ 1 のレンジ数 1、レンジグループ 2 のレンジ数 1、合計レンジ数 3 にさらにレンジ 4 追加をした場合の実施例である。

【 0 1 1 8 】

図 5 において、R S 4 (1 K) はレンジ (2 , 1) の次のレンジの I / V 変換抵抗とする。

ダイオードスイッチ D S W 4 1 を介して電流入力端子と I / V 変換抵抗 R S 4 を接続し、R S 4 の他方の端子をグランドに接続する。

【 0 1 1 9 】

レンジグループ 2 I / V 変換部 4 の I / V 変換用演算増幅器 A 2 1 が飽和せず電流 I 2 1 を駆動している状態では誤差増幅器としてのレンジ 0 の演算増幅器 A 0 1 の反転入力端子電圧 e はバーチャルショートにより 0 V になる様に制御される。

【 0 1 2 0 】

入力電流 I 2 1 がさらに大きくなり、演算増幅器 A 2 1 の駆動能力を超えるとバーチャルショート状態が壊れて演算増幅器 A 0 1 の反転入力端子電圧 e が上昇する。

これがダイオードスイッチ D S W 4 1 のオン電圧を超えると I / V 変換抵抗 R S 4 に電流が流れ、I / V 変換抵抗 R S 4 の D S W 4 1 側端子に電圧が発生する。

これをインピーダンス変換用の演算増幅器 A 4 1 で取り出せば 1 m A / V の I / V 変換信号 V i v 4 として使用できる。

【 0 1 2 1 】

一般的に演算増幅器 A 0 1 の入力保護回路としてその反転入力端子とグランド間にダイオードスイッチを入れるが、レンジ 4 I / V 変換回路はその保護回路を兼ねる事ができる利点がある。

【 実施例 6 】

【 0 1 2 2 】

先に説明した図 6 の抵抗分圧の方法の場合はレンジグループ数が 1 増える毎にそのレンジグループがオンになる V 0 は 4 V、8 V、16 V の様に倍々で増大するので電源電圧が ± 15 V の場合で最大レンジグループ数は 4 程度、± 5 V の場合は 3 程度であり、より多いレンジグループが必要な場合には対応できない。

さらに、後段のレンジでは第 1 の演算増幅器の出力 V 0 をゲイン 0 . 5、0 . 25、0 . 125 . . . の様に減衰させて動作させるのでゲインを下げた分 V 0 の応答も遅くなる

10

20

30

40

50

。

【 0 1 2 3 】

これは高速応答を要求される場合には不利な点である。

図 1 1 は本願発明の請求項 2 の電流 / 電圧変換回路の電圧調整部の実施例であり、上記の問題に対応したものである。

【 0 1 2 4 】

図 1 1 は電圧調整部を E d b N の不感帯を有する不感帯回路で構成する事を示している。

。

その実回路例として不感帯をダイオードスイッチ D S W 1 とプルダウン抵抗 R 1 で構成したものを図 1 2 に示す。ダイオードスイッチによる不感帯回路の詳細については既に記した通りである。

10

【 0 1 2 5 】

これを図 1 や図 4 の電流 / 電圧変換回路の電圧調整部に適用する場合を、電圧調整部のみを取り出して図 1 3 に示す。

図 1 3 の場合は各レンジグループの電流オン / オフ用ダイオードスイッチのオン電圧に対応させて電圧調整部のダイオードスイッチ D S W 1 の不感帯設定電圧 E d b 1、E d b 2、E d b 3 を設定する。

【 0 1 2 6 】

図 1 4 は前段の不感帯回路出力を次段の不感帯回路入力に接続する事により不感帯設定電圧 E d b を共通化できる様にしたものである。

20

但し何れの場合も、図 4 の回路においてはレンジグループ 1 の電圧調整部には不感帯回路は不要である。

【 0 1 2 7 】

本回路による入力電流と各部の電圧との関係を図 1 5 に示す。

図中 E d b 1 はレンジグループ 1 電圧調整部の不感帯回路の不感帯設定電圧であり、I d b 1 は E d b 1 に対応して V 1 p が出力され始める時の入力電流値を示す。

【 0 1 2 8 】

同様に E d b 2 はレンジグループ 2 電圧調整部の不感帯回路の不感帯設定電圧であり、I d b 2 は E d b 2 に対応して V 2 p が出力され始める時の入力電流値を示す。

【 0 1 2 9 】

30

本回路によると第 1 の演算増幅器 A 0 1 の出力 V 0 を 1 以下のゲインで減衰させる必要が無いので図 6 の抵抗分圧の方法に比較して V 0 の電圧範囲は小さくなり、同じ電源電圧であればレンジグループ数を多くする事ができ、応答速度も高くなる。

【 0 1 3 0 】

不感帯回路はレンジグループ毎に適用可能であるので請求項 2 では少なくとも 1 つのレンジグループに適用するとしているが、適用レンジグループ数が多い程効果が大きく、全レンジグループに適用するのが最も効果が高い。

因に、1 レンジグループ当たりの V 0 の変化幅を 1 V とした場合、電源電圧が ± 1.5 V の場合で最大レンジグループ数は 1.5 程度、 ± 5 V では 5 程度であり、容易に多レンジ化が可能になる。

40

換言すれば低い電源電圧でも多レンジ化が可能になる。

【 0 1 3 1 】

以上の説明から、本願発明によれば、実施例 1 に記載した低ノイズ電流化、多レンジ化、高速応答、バイポーラ動作、小規模回路化の利点に加えて、低回路電源電圧化が計れる利点が得られ、これは従来方法には無い大きな特徴である。

【 実施例 7 】

【 0 1 3 2 】

図 1 6 は本願発明の請求項 2 の電流 / 電圧変換回路の電圧調整部の別の実施例であり、E d b N の不感帯設定電圧を有する不感帯回路と、E l m N のリミット電圧を有するリミット回路で構成する事を示している。

50

その実回路例として図 17 に、不感帯回路をダイオードスイッチ $D S W 1$ とプルダウン抵抗 $R 1$ で構成し、ソフトリミッタを抵抗 $R 3$ とダイオードスイッチ $D S W 2$ 、不感帯回路とリミット回路を分離する為の抵抗 $R 2$ で構成したものを示す。

ダイオードスイッチによるリミット回路の詳細については既に記した通りである。

【0133】

これを図 1 や図 4 の電流 / 電圧変換回路の電圧調整部に適用する場合の一例を、電圧調整部のみを取り出して図 18 に示す。

本例では不感帯回路の信号電圧 $V 0 X 1$, $V 0 X 2$ を次レンジグループに渡すのでレンジグループ 1 の不感帯幅は $E d b$ 、レンジグループ 2 の不感帯幅は $2 E d b$ 、レンジグループ 3 の不感帯幅は $3 E d b$ になり、回路がシンプルになる利点がある。

10

【0134】

本回路による入力電流と各部の電圧との関係を図 19 に示す。

図中 $E d b 1$ はレンジグループ 1 電圧調整部の不感帯回路の不感帯設定電圧であり、 $I d b 1$ は $E d b 1$ に対応して $V 1 p$ が出力され始める時の入力電流値を示す。

【0135】

同様に $E d b 2$ はレンジグループ 2 電圧調整部の不感帯回路の不感帯設定電圧であり、 $I d b 2$ は $E d b 2$ に対応して $V 2 p$ が出力され始める時の入力電流値を示す。

又、図中 $E l m 1$ はレンジグループ 1 電圧調整部のリミット回路のリミット電圧であり、 $E l m 2$ はレンジグループ 2 電圧調整部のリミット回路のリミット電圧である。

【0136】

20

図 19 から判る様に一旦オンになったレンジグループの I / V 変換用演算増幅器の非反転入力端子電圧 $V 1 p$ 、 $V 2 p$ はリミット電圧で制限されるので、当該レンジグループに於いて最大レンジのフルスケール以上の電流入力が抑えられて次レンジグループへの移行がされ易くなる。

換言すると、入力電流が各レンジに分流する中で最大レンジの電流の割合がリミット回路が無い場合に比して高まるのでその分 S / N 比が高くなる。

これがリミット回路を用いる利点であり、本回路の特徴である。

【実施例 8】

【0137】

本願発明の電流 / 電圧変換回路に於ける入力電流の変化に対するレンジ切り替えの応答特性に関して述べる。

30

図 20 に第 1 の演算増幅器の出力 $V 0$ と電圧調整部の不感帯幅の関係を示す。

図中実線で示す $V 0 X$ はレンジグループ 1 の電圧調整部の不感帯回路の不感帯設定電圧が $E d b X$ の場合の第 1 の演算増幅器の出力である。

【0138】

図中実線で示す $V 1 p X$ はレンジグループ 1 の電圧調整部の不感帯回路の不感帯設定電圧が $E d b X$ の場合のレンジグループ 1 の I / V 変換用演算増幅器の非反転入力端子電圧であり、 $I d b X$ は $E d b X$ に対応して $V 1 p X$ が出力され始める時の入力電流値である。

【0139】

40

図中破線で示す $V 0 Y$ はレンジグループ 1 の電圧調整部の不感帯回路の不感帯設定電圧が $E d b Y$ の場合の第 1 の演算増幅器の出力である。

図中破線で示す $V 1 p Y$ はレンジグループ 1 の電圧調整部の不感帯回路の不感帯設定電圧が $E d b Y$ の場合のレンジグループ 1 の I / V 変換用演算増幅器の非反転入力端子電圧であり、 $I d b Y$ は $E d b Y$ に対応して $V 1 p Y$ が出力され始める時の入力電流値である。

なお、 $E d b X < E d b Y$ としている。

【0140】

図 20 で判る様に入力電流 $I 1$ に対して、 $E d b X$ の場合には $V 0 X$ は $V 1 X$ であり、 $E d b Y$ の場合には $V 0 Y$ は $V 1 Y$ であり、 $V 1 Y$ は $V 1 X$ より大きい。

50

これは、入力電流が 0 から I_1 に変化すると第 1 の演算増幅器の出力 V_0 は 0 から $V_1 X$ 又は $V_1 Y$ に変化する事を示す。

即ち、入力電流が 0 から I_1 に変化する時間を Δt [S e c] とすると、

$$V_1 X / \Delta t < V_1 Y / \Delta t \quad \cdots (14)$$

であり、不感帯設定電圧が小さい程第 1 の演算増幅器の出力 V_0 の立ち上がりが小さくて済む事を示す。

これは演算増幅器の周波数特性、スルーレイトの特性の点で応答性能が高くなり有利である事が判る。

【0141】

即ち、請求項 2 の不感帯回路を用いる電流 / 電圧変換回路に於いて、入力電流変化に対する応答性能を高めるには不感帯設定電圧を必要最小限に低くするのが有利である。

10

【0142】

不感帯回路として図 5 3 の公知の演算増幅器による不感帯回路も使用可能であり、不感帯設定電圧は任意に設定可能である。

しかし不感帯設定電圧の生成回路を含め、部品点数が多いので実回路には適用し難い。

前記のダイオードやツェナーダイオードによるダイオードスイッチによる不感帯回路は部品点数が少ない利点が多いが設定電圧はダイオードで 0.5 ~ 0.6 V、ツェナーダイオードでは一般的に入手できるのはツェナー電圧が 1.8 V、2.0 V、2.2 V . . . と段階的であり、自由に設定する事ができない。

【0143】

20

特に本願発明の電流 / 電圧変換回路では不感帯電圧の最適値が 1.0 V 程度となる場合が多い。

これを解決する本願発明の請求項 3 の基本回路を図 2 1 に示す。

同回路はダイオードスイッチ DSW_1 とブルダウン抵抗 R_1 の不感帯設定電圧 E_{db} から任意の不感帯電圧を生成するものである。

【0144】

具体的には、前記不感帯回路の前後に G_1 、 G_2 の増幅器を設け、 $G_1 \cdot G_2 = 1$ になる様にゲインを設定しておくものとする。

V_{IN} に G_1 を掛けると不感帯回路により後段の増幅器入力 V_X は

$$V_X = db(V_{IN} \cdot G_1, E_{db})$$

30

になる。

【0145】

V_X を後段増幅器に入力するとその出力 V_{OUT} は

$$\begin{aligned} V_{OUT} &= db(V_{IN} \cdot G_1, E_{db}) \cdot G_2 \\ &= db(V_{IN} \cdot G_1 \cdot G_2, E_{db} \cdot G_2) \\ &= db(V_{IN}, E_{db} \cdot G_2) \end{aligned}$$

になる。

【0146】

これは図 2 1 の不感帯回路によると E_{db} を元にして G_2 倍の任意の不感帯電圧を生成できる事を示す。

40

具体的回路例として図 2 2 に 2 個の演算増幅器 A_1 、 A_1 とダイオードスイッチ DSW_1 による不感帯設定部による不感帯回路を示す。

又、図 2 3 によると図 2 2 にリミット電圧 E_{lm} のリミット回路を容易に付加する事ができる。

【0147】

又、ゲイン G_1 が 1 以下の場合は演算増幅器でなく抵抗分圧でも実現でき、入出力の極性を合わせる為に後段のゲイン G_2 を非反転増幅器にした場合の不感帯回路を図 2 4 に示す。

あるいは図 2 5 の様に演算増幅器 1 個の反転出力型でリミット電圧 E_{lm} のリミッタ付きの不感帯回路を構成する事もできる。

50

【0148】

さらに又、ゲイン $G_1 > 1 > G_2$ とすれば高い基準不感帯から低い不感帯を生成する事も可能である。

図26は演算増幅器で $G_1 = 5$ とし、 R_1 と R_2 による分圧で $G_2 = 0.2$ とし、ツェナー電圧 $3.0V$ のツェナーダイオードから不感帯幅 $0.6V$ を生成する回路例である。

【0149】

請求項3は以上の構成による不感帯回路を用いて請求項1又は請求項2における電流/電圧変換回路の少なくとも1つのレンジグループの電圧調整部に動作上最適な不感帯を持つ様にした電流/電圧変換回路である。

これによると前述した様に、入力電流変化に対する応答性能が高まるという特徴を得られる。

10

不感帯を持たせる全てのレンジグループの電圧調整部に該不感帯回路を適用すれば全レンジグループに最適な不感帯を設定でき、一層応答性能を高める事ができる。

【0150】

なお、先の説明では $G_1 \cdot G_2 = 1$ とし全体のゲインを1とする様に説明したが、必ずしも全体ゲインを1とする必要は無く、1以外になる様に G_1 、 G_2 を設定しても良い。

例えば全体ゲインを1以上にすればその分第1の演算増幅器の出力 V_0 は小さくて済み、応答は速くなる。

但し、回路全体として見ると発振し易くなるので、無闇にゲインを大きくする事はできないので適用には注意が必要である。

20

【実施例9】

【0151】

図27は本願発明の請求項4の実施例である。

請求項1～請求項3による電流/電圧変換回路に於いて、何れかの電圧調整部の入力部に演算増幅器を用いた場合、これを加算回路として応用するものである。

【0152】

図27の例ではレンジグループ2のレンジ(2, 1)がオンになるとそのI/V変換信号 $V_{i\ v\ 2\ 1}$ でレンジグループ1 I/V変換部の電圧調整部1の出力電圧 $V_{1\ p}$ を抑制する。

これにより、レンジ(2, 1)がオンになるとレンジグループ1の電圧調整部1の出力 $V_{1\ p}$ が低下し、レンジグループ1のI/V変換回路の電流が減り、その分の電流がレンジグループ2に流れる。

30

【0153】

レンジグループ2についてもレンジ(3, 1)のI/V変換信号 $V_{i\ v\ 3\ 1}$ で電圧調整部2の出力 $V_{2\ p}$ を抑制する。

これにより、レンジ(3, 1)がオンになるとレンジグループ2の電圧調整部2の出力 $V_{2\ p}$ が低下し、レンジグループ2のI/V変換回路の電流が減り、その分の電流がレンジグループ3に流れる。

なお、次レンジのI/V変換信号で減算した結果 V_0 と逆極性の $V_{1\ p}$ 、 $V_{2\ p}$ が出力されない様に、適切にゲインを下げて減算する必要ある事に注意する必要がある。

40

【0154】

これにより後段のレンジの電流が大きくなるのでS/N比が良くなる

即ち、請求項4の発明によりS/N比が良い電流/電圧変換回路を得られる。

【実施例10】

【0155】

図28は本願発明の請求項5の実施例である。

本回路例の集積回路装置では1レンジグループに必要な演算増幅器と差動増幅器を内蔵し、I/V変換抵抗や電流制限抵抗、I/V変換信号加算回路の抵抗類を集積回路装置外部に外付け可能としたものである。

本願発明によると電流/電圧変換回路を小形、容易に製作可能になる。

50

【実施例 11】

【0156】

図 29 は本願発明の請求項 6 の実施例であり、図 28 の集積回路装置の適用例としてレンジ数 3 の電流 / 電圧変換回路を図 29 に示す。

前述した請求項 1 ~ 請求項 5 による電流 / 電圧変換回路又は集積回路を用いる事により電流 / 電圧変換を必要とする従来実現できなかった性能を持つ種々の電子回路基板や電子機器が製作可能になる。

【0157】

具体例として回路電流を測定する電流計、クーロンメータ、電圧発生器、電流発生器、バッテリー充放電装置、メッキ装置、IC 試験装置や、電流信号を出力とするセンサを用いるフォトダイオードインターフェイス、照度計、光度計、水素炎イオン検出器、電気伝導度測定装置等が有る。

【0158】

以下に本願発明の請求項に掲げていない関連する技術とその効果を付記する。

(a) 任意レンジグループの I / V 変換部の I / V 変換用演算増幅器の非反転入力端子を電圧調整部に無関係にグランドレベルにするスイッチを設ける事により、強制的に I / V 変換動作をイネーブル - ディセーブル制御可能とする事を特徴とする電流 / 電圧変換回路。

【0159】

これにより、レンジグループを I / V 変換動作及びレンジ切り替え動作から除外する事が可能になる。

図 30 にレンジグループ 1 にイネーブル - ディセーブル制御用スイッチを設けた回路例を示す。

本例ではスイッチ SW をオープンにすると V1p が 0 V になるので DSW1 が常にオフになって、レンジグループ 1 の I / V 変換動作はディセーブルになる。

リーク電流によるノイズ電流を発生し易いスイッチ又はアナログスイッチを電流経路に入れずに済むのは大きな利点である。

【0160】

(b) 任意レンジグループの I / V 変換部の I / V 変換用演算増幅器の非反転入力端子と差動増幅器の入力端子に位相補正回路を入れて、入力電流に対する差動増幅器の 2 つの入力信号の位相を合わせてそれらの差分である I / V 変換信号の誤差を少なくする事を特徴とした電流 / 電圧変換回路。

【0161】

図 31 にレンジグループ 1 の差動増幅器 DF11 に位相補償回路を入れた実施例を示す。

図 31 において入力電流 (図示無し) の変化に対する電圧調整部 1 の出力信号 V1p に応答して I / V 変換用演算増幅器 A1 の Vd11 が変化する。

その為、差動増幅器の反転入力端子の信号 Vd11 と電圧調整部 1 の出力信号 V1p では通常 V1p の方が応答が速い。

【0162】

位相補償回路が無い場合はその位相差に伴いその差電圧 Vi v 11 には誤差が入る。

位相補償回路として RX2、CX2 による適切な遅延を入れて応答時間を揃える事により I / V 変換信号の精度を高める事が可能になる。

【0163】

(c) (b) と同様に各レンジの I / V 変換信号の位相補償回路を入れて (図示無し)、各レンジ毎の I / V 変換信号応答時間を揃えれば、それらを加算して求める入力電流値の精度を高める事が可能になる。

【0164】

(d) 前記第 1 の演算増幅器、各レンジグループの I / V 変換用演算増幅器の各々について、個別に必要最小限の電源電圧を用いる事により低消費電力化を計る事を特徴とする電

10

20

30

40

50

流 / 電圧変換回路。

【 0 1 6 5 】

本願発明の特徴はレンジ数が多くても複数のレンジグループに分けて各々独立に演算増幅器及び誤差増幅器を動作させる事ができる。

これに伴い、各部で必要最小限の電源電圧を用いる事が可能であり、消費電力を削減できる。

特に I / V 変換対象電流が大きい回路の電源電圧を下げるとその効果が大きい。

【産業上の利用可能性】

【 0 1 6 6 】

本願発明の電流 / 電圧変換回路によると、低ノイズ電流、多レンジ、高速応答、低回路電源電圧、バイポーラ動作、小規模回路の要件を満足する自動レンジ切り替え可能な電流 / 電圧変換回路及び集積回路、及びそれらを用いた高性能の電子回路基板又は電子機器を得る事ができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 1 6 7 】

【図 1】本願発明の請求項 1 に関わる電流 / 電圧変換回路の実施例である。

【図 2】本願発明の請求項 1 に関わる電流 / 電圧変換回路の実施例である。

【図 3】本願発明の請求項 1 に関わる電流 / 電圧変換回路の実施例である。

【図 4】本願発明の請求項 1 に関わる電流 / 電圧変換回路の実施例である。

【図 5】本願発明の請求項 1 に関わる電流 / 電圧変換回路の実施例である。

【図 6】抵抗分圧による電圧調整部の回路例である。

【図 7】抵抗分圧による電圧調整部による入力電流と各部の電圧との関係図である。

【図 8】有効レンジ指定信号作成回路例である。

【図 9】マルチプレクサと A / D 変換器とマイクロコンピュータシステムによる処理例である。

【図 10】レンジ毎の A / D 変換器とマイクロコンピュータシステムによる処理例である。

【図 11】不感帯回路による電圧調整部の一例である。

【図 12】ダイオードスイッチを使用した不感帯回路による電圧調整部の一例である。

【図 13】ダイオードスイッチを使用した不感帯回路による電圧調整部の並列接続例である。

【図 14】ダイオードスイッチを使用した不感帯回路による電圧調整部の直列接続例である。

【図 15】不感帯回路による電圧調整部による入力電流と各部の電圧との関係図である。

【図 16】不感帯回路とリミット回路による電圧調整部の回路例である。

【図 17】ダイオードスイッチを使用した不感帯回路による電圧調整部の回路例である。

【図 18】ダイオードスイッチを使用した不感帯回路とリミット回路による電圧調整部の直列接続例である。

【図 19】不感帯回路とリミット回路による電圧調整部による入力電流と各部の電圧との関係図である。

【図 20】第 1 の演算増幅器の出力 V_0 と電圧調整部の不感帯幅の関係図である。

【図 21】不感帯幅を任意に作成可能な不感帯回路である。

【図 22】演算増幅器 2 個とダイオードスイッチによる不感帯回路の回路例である。

【図 23】演算増幅器 2 個とダイオードスイッチによるリミッタ付き不感帯回路の回路例である。

【図 24】演算増幅器 1 個とダイオードスイッチによる非反転出力型不感帯回路の回路例である。

【図 25】演算増幅器 1 個とダイオードスイッチによるリミッタ付き反転出力型不感帯回路の回路例である。

【図 26】演算増幅器 1 個とツェナーダイオードによる非反転出力型不感帯回路の回路例

10

20

30

40

50

である。

【図 27】次レンジグループの I / V 変換信号で電圧調整部の出力を抑制する回路例である。

【図 28】集積回路の回路例である。

【図 29】集積回路の応用例である。

【図 30】レンジグループのイネーブル - ディセーブル制御例である。

【図 31】差動増幅器の位相補正回路追加例である。

【図 32】特許文献 1 で開示済みの電流 / 電圧変換回路の実施例である。

【図 33】特許文献 1 で開示済みの電流 / 電圧変換回路の実施例である。

【図 34】特許文献 2 で開示済みの電流 / 電圧変換回路の実施例である。

10

【図 35】特許文献 3 で開示済みの電流 / 電圧変換回路の実施例である。

【図 36】特許文献 4 で開示済みの電流 / 電圧変換回路の実施例である。

【図 37】特許文献 5 で開示済みの電流 / 電圧変換回路の実施例である。

【図 38】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 39】ノイズ電流の影響例である。

【図 40】電流が流れ込む場合の演算増幅器による電流 / 電圧変換回路の電流経路である。

【図 41】電流が流れ出す場合の演算増幅器による電流 / 電圧変換回路の電流経路である。

【図 42】演算増幅器にバッファアンプを付加した電流 / 電圧変換回路である。

20

【図 43】I / V 変換信号用差動増幅器の位相補正回路例である。

【図 44】一般的ダイオードの電圧 - 電流特性の概略図である。

【図 45】トランジスタ、FET のダイオード接続例である。

【図 46】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 47】双方向直列接続したツェナーダイオードによるダイオードスイッチである。

【図 48】ダイオードスイッチの表記方法である。

【図 49】多段接続したダイオードスイッチである。

【図 50】不感帯回路の入出力特性図である。

【図 51】ダイオードによる不感帯回路例である。

【図 52】ツェナーダイオードによる不感帯回路例である。

30

【図 53】公知の演算増幅器を用いた不感帯回路例である。

【図 54】リミット回路の入出力特性図である。

【図 55】公知の演算増幅器を用いたリミット回路例である。

【図 56】ハードリミット回路とソフトリミット回路の入出力特性図である。

【図 57】ダイオード又はツェナーダイオードによるハードリミット回路例である。

【図 58】ダイオード又はツェナーダイオードによるソフトリミット回路例である。

【図 59】ダイオード又はツェナーダイオードと演算増幅器によるハードリミット回路例である。

【図 60】ダイオード又はツェナーダイオードと演算増幅器によるソフトリミット回路例である。

40

【図 61】一般的な差動増幅回路である。

【図 62】本書の説明で使用する差動増幅回路の図である。

【符号の説明】

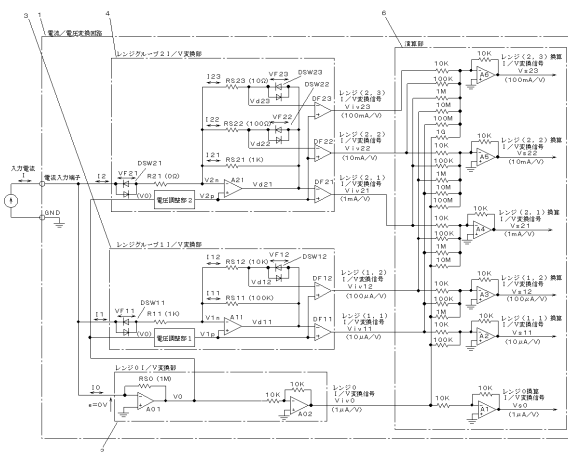
【0168】

- 1 電流 / 電圧変換回路
- 2 レンジ 0 I / V 変換部
- 3 レンジグループ 1 I / V 変換部
- 4 レンジグループ 2 I / V 変換部
- 5 レンジグループ 3 I / V 変換部
- 6 演算部

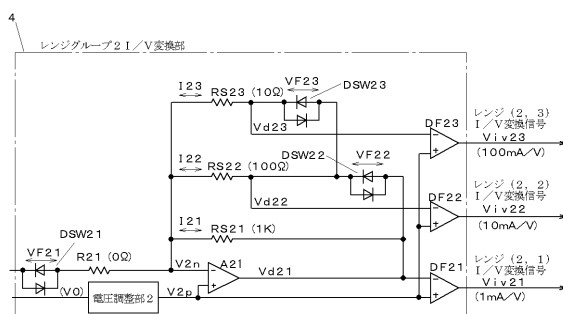
50

8 集積回路
9 装置
10 レンジ4 I/V変換部

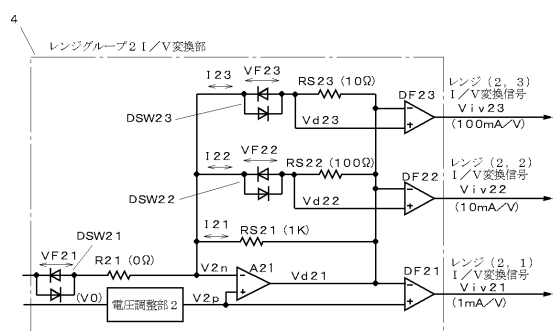
【図1】



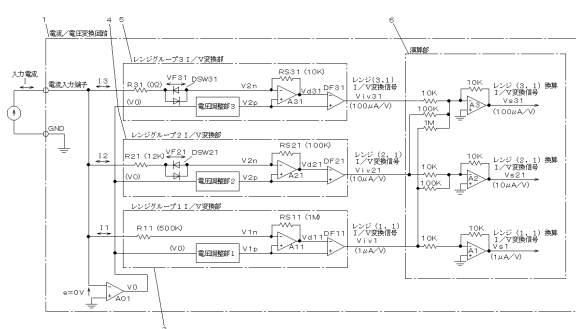
【図2】



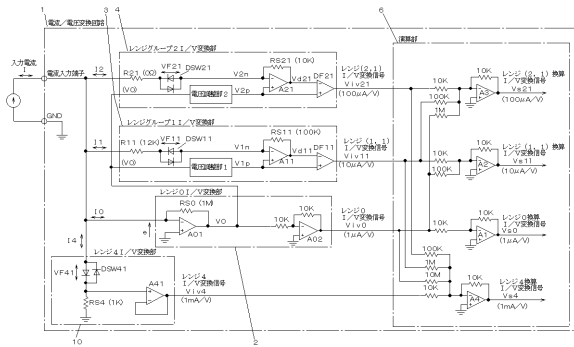
【図3】



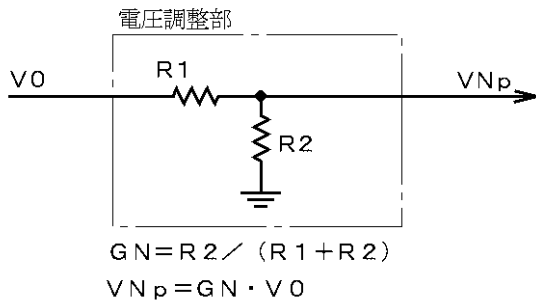
【図4】



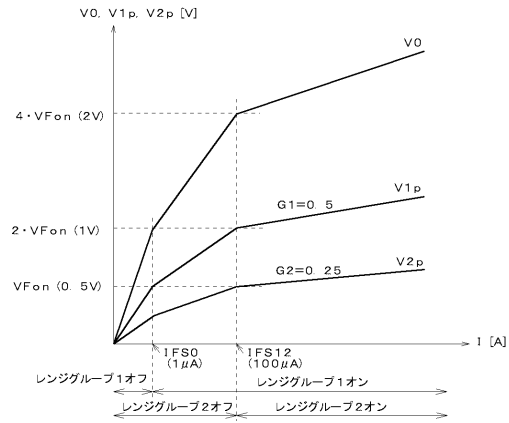
【図 5】



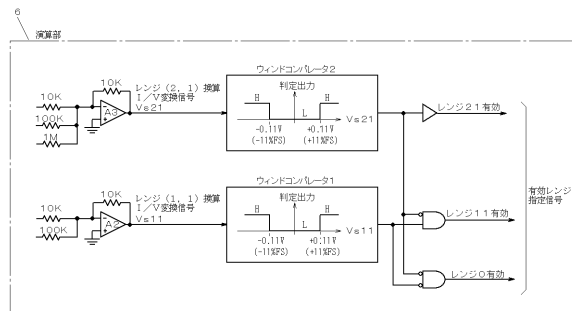
【図 6】



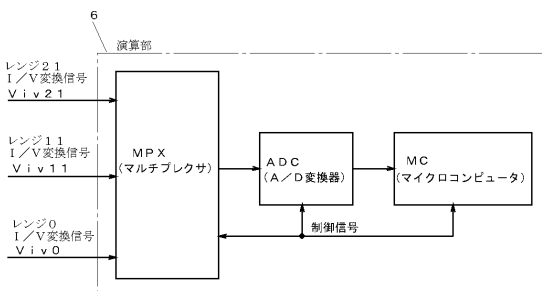
【図 7】



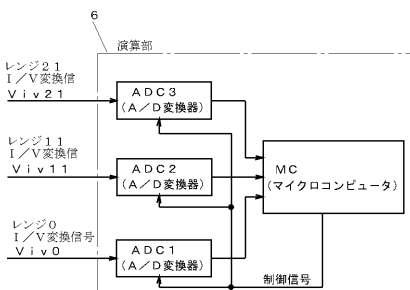
【図 8】



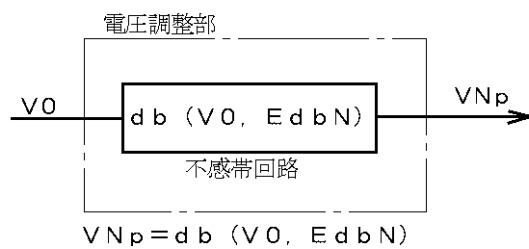
【図 9】



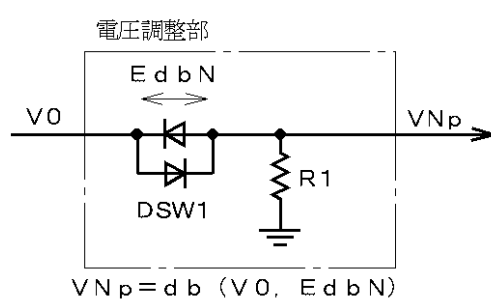
【図 10】



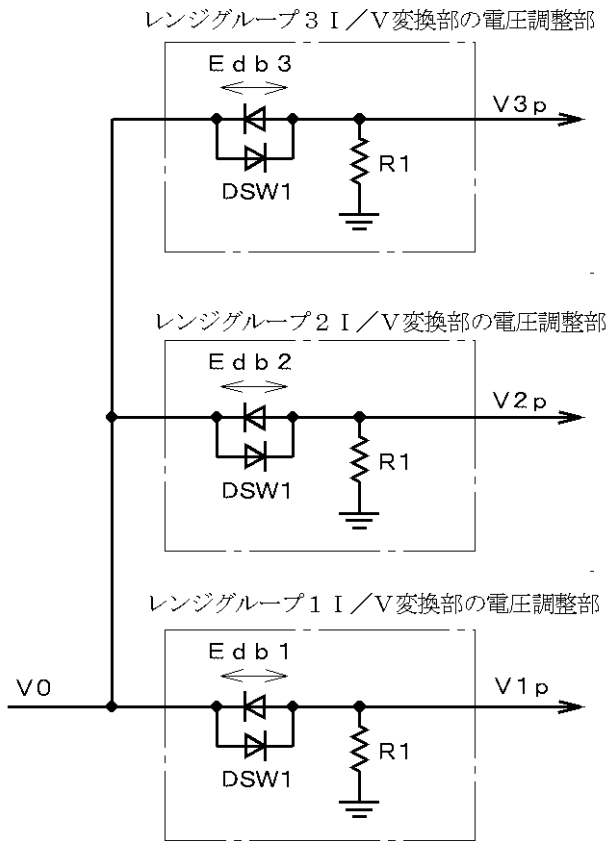
【図 11】



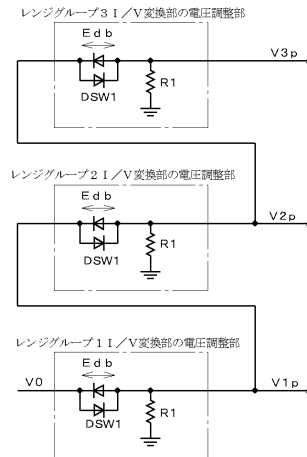
【図 12】



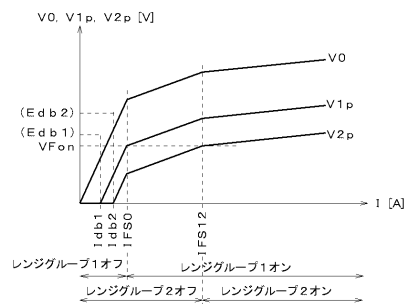
【図 13】



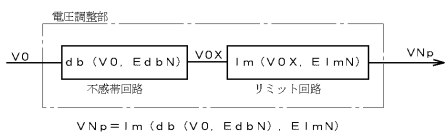
【図 14】



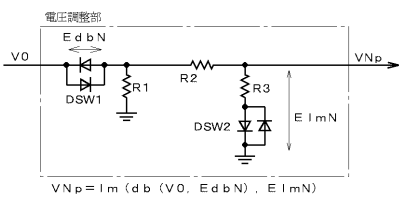
【図 15】



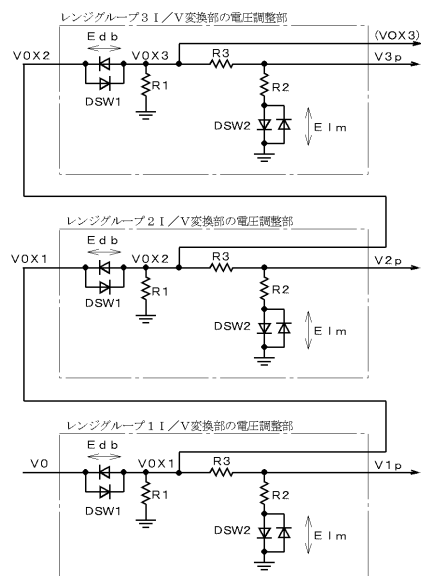
【図 16】



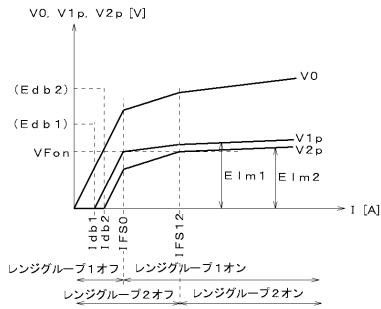
【図 17】



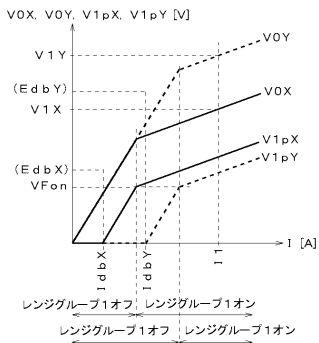
【図 18】



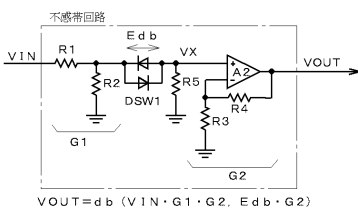
【図 19】



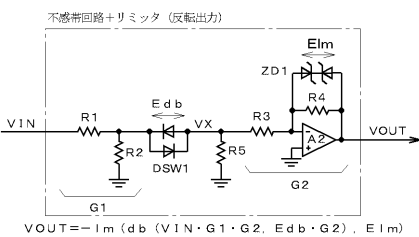
【図 20】



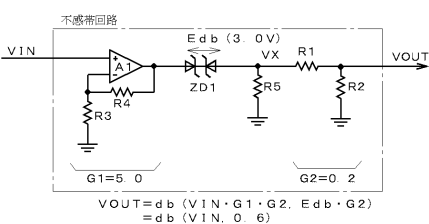
【図 24】



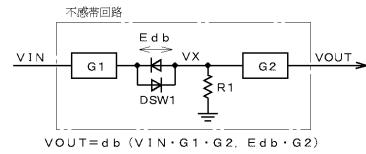
【図 25】



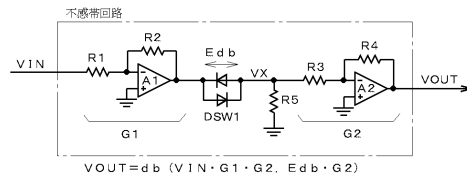
【図 26】



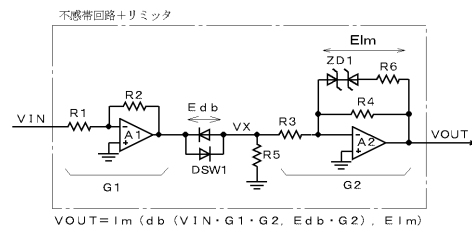
【図 21】



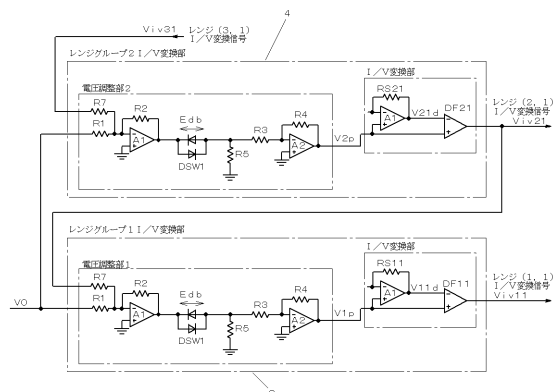
【図 22】



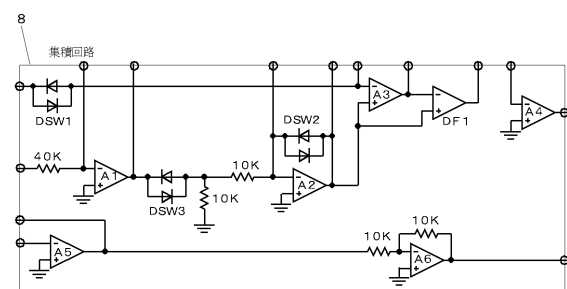
【図 23】



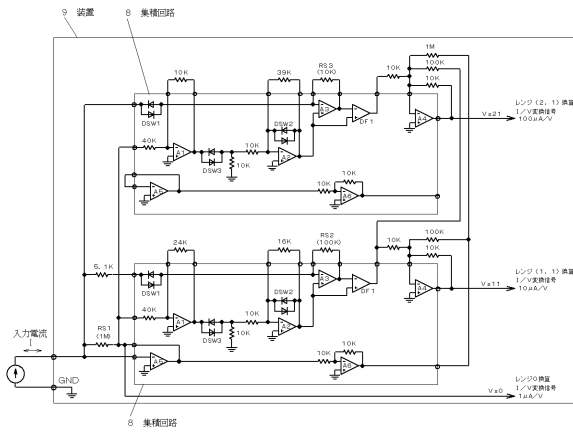
【図 27】



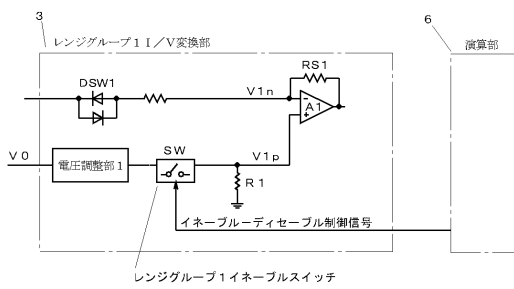
【図 28】



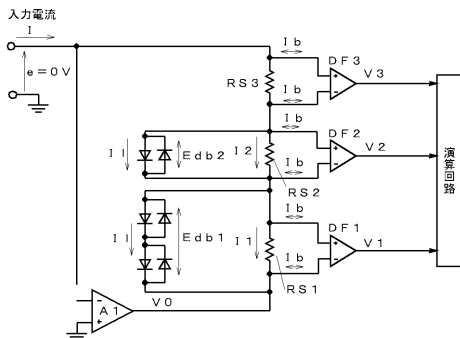
【図 29】



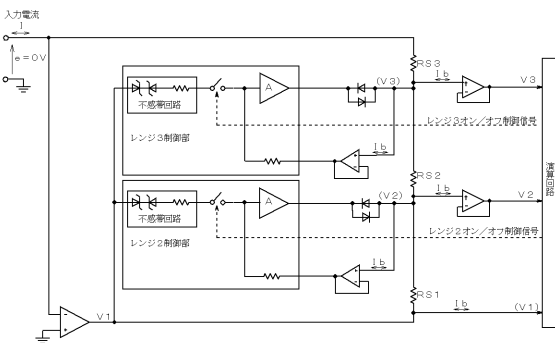
【図 30】



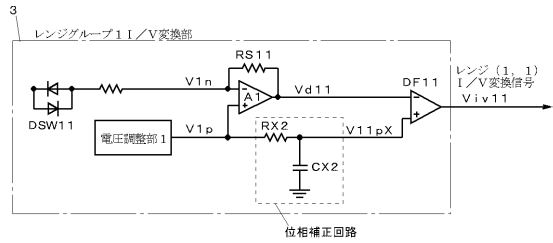
【図 33】



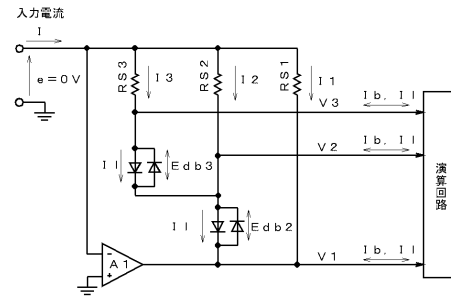
【図 34】



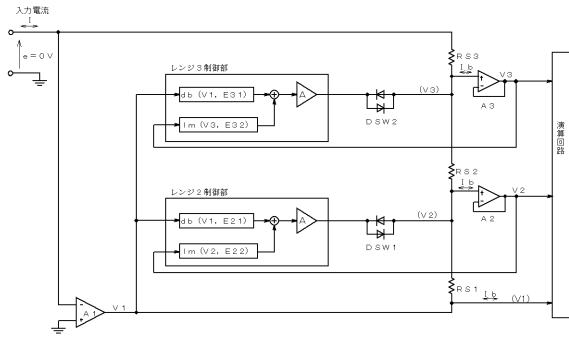
【図 31】



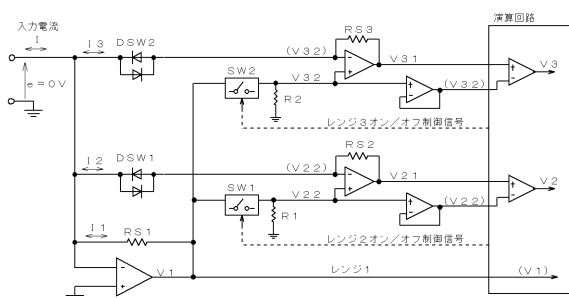
【図 32】



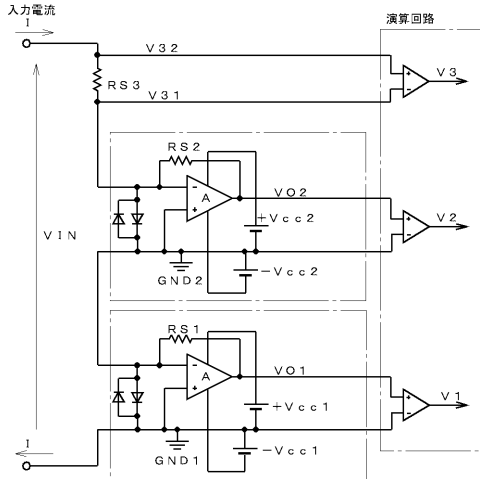
【図 35】



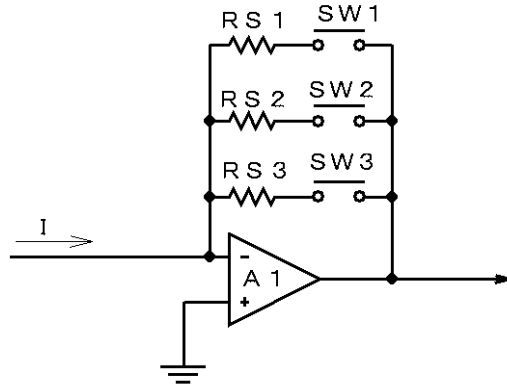
【図 36】



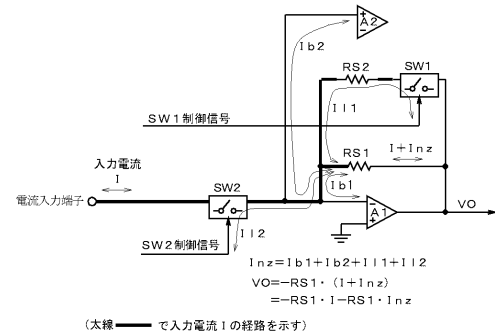
【図 37】



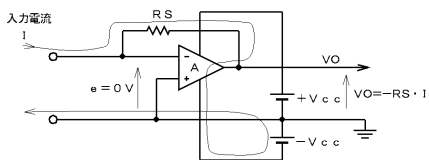
【図 38】



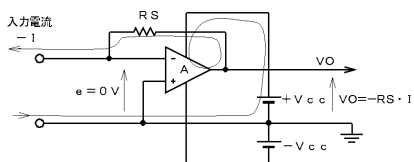
【図 39】



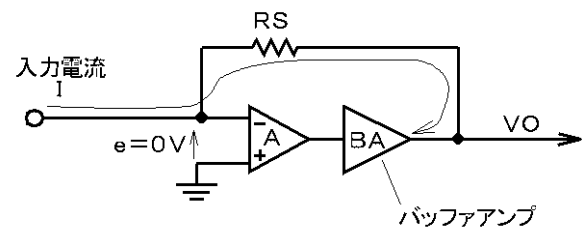
【図 40】



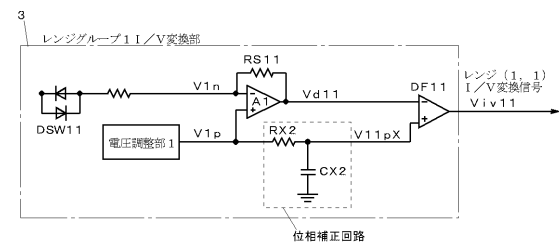
【図 41】



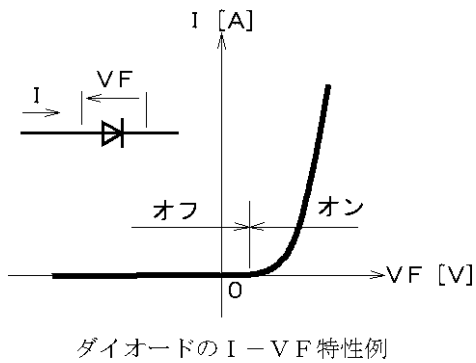
【図 42】



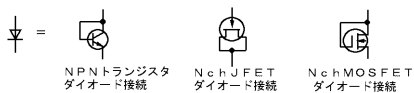
【図 43】



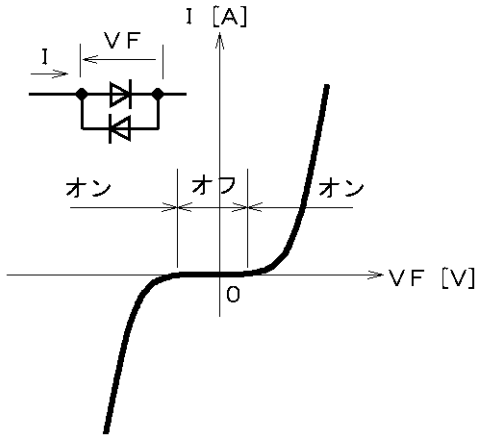
【図 44】



【図 45】

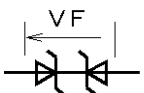


【図 4 6】

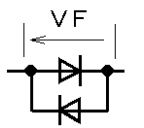


双方向並列接続したダイオードスイッチの $I-VF$ 特性例

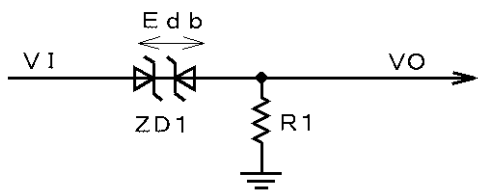
【図 4 7】



【図 4 8】

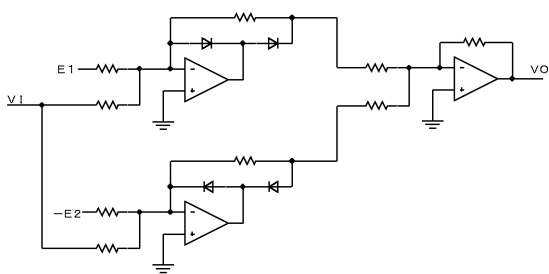


【図 5 2】

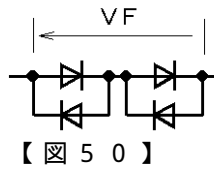


$$V_{out} = db(VI, Edb)$$

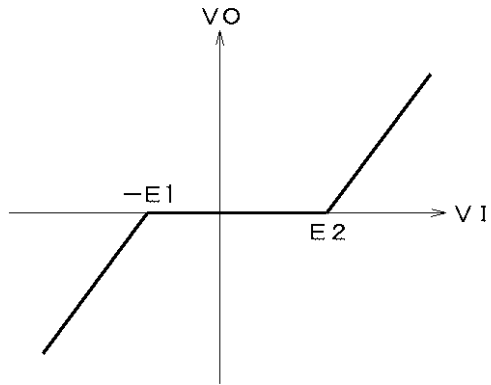
【図 5 3】



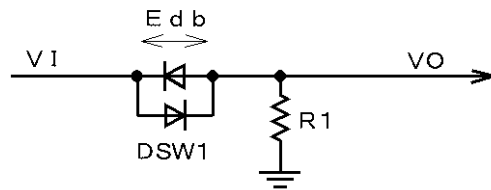
【図 4 9】



【図 5 0】

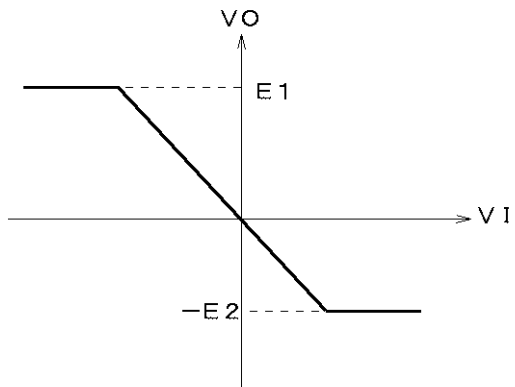


【図 5 1】

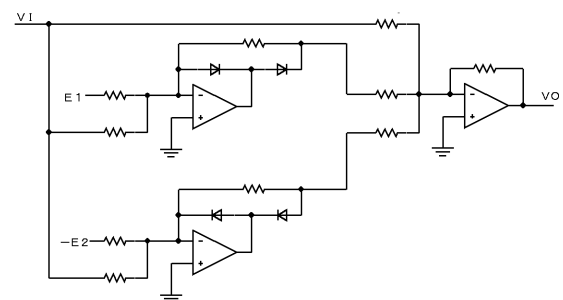


$$V_{out} = db(VI, Edb)$$

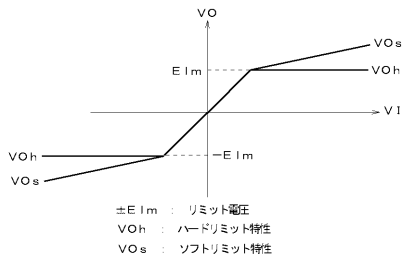
【図 5 4】



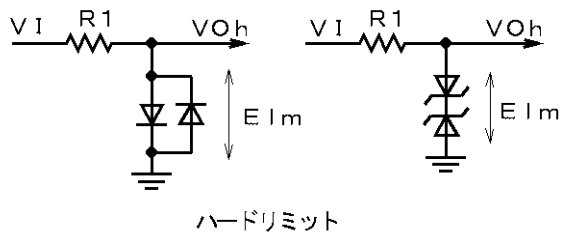
【図 5 5】



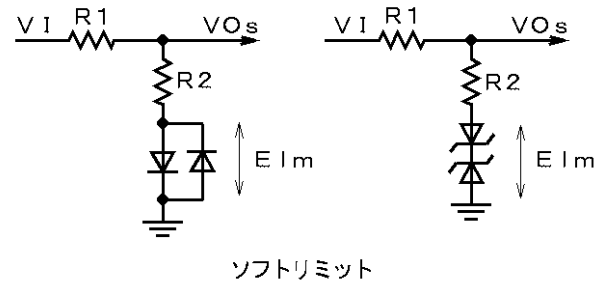
【図 5 6】



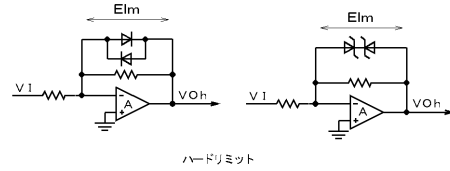
【図 5 7】



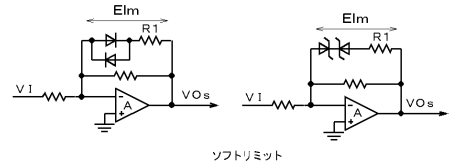
【図 5 8】



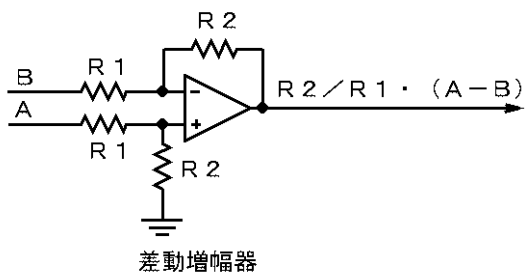
【図 5 9】



【図 6 0】



【図 6 1】



【図 6 2】

