

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7239863号  
(P7239863)

(45)発行日 令和5年3月15日(2023.3.15)

(24)登録日 令和5年3月7日(2023.3.7)

(51)国際特許分類	F I	
H 0 3 M 1/10 (2006.01)	H 0 3 M 1/10	A
H 0 3 M 1/34 (2006.01)	H 0 3 M 1/34	
G 0 1 R 19/00 (2006.01)	G 0 1 R 19/00	N
G 0 1 R 35/00 (2006.01)	G 0 1 R 35/00	E
G 0 1 R 19/257(2006.01)	G 0 1 R 19/257	
請求項の数 7 (全36頁)		

(21)出願番号	特願2021-553954(P2021-553954)	(73)特許権者	000004226 日本電信電話株式会社 東京都千代田区大手町一丁目5番1号
(86)(22)出願日	令和1年10月30日(2019.10.30)	(74)代理人	100083806 弁理士 三好 秀和
(86)国際出願番号	PCT/JP2019/042542	(74)代理人	100129230 弁理士 工藤 理恵
(87)国際公開番号	WO2021/084645	(72)発明者	美濃谷 直志 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内
(87)国際公開日	令和3年5月6日(2021.5.6)	(72)発明者	松永 賢一 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内
審査請求日	令和4年3月15日(2022.3.15)	審査官	渡井 高広
最終頁に続く			

(54)【発明の名称】 自己校正機能付きA Dコンバータ

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

校正のための測定器を必要としない自己校正機能付きA Dコンバータであって、  
基準電圧を生成する基準電圧部と、  
積算電圧の変化量の単位である2つ以上の単位電圧を有し、変換時においては入力電圧を初期値とした前記積算電圧が前記基準電圧を越えるまで前記2つ以上の単位電圧の何れか一つの単位電圧を積算する積算変換部と、  
校正時に前記2つ以上の単位電圧と比較器のオフセット電圧を校正する校正制御部と、  
変換時に前記比較器のオフセット電圧の極性を判定した後に、入力電圧をデジタル値に変換する変換制御部とを有する制御部と  
を備える自己校正機能付きA Dコンバータ。

【請求項2】

前記積算変換部は、  
前記単位電圧を保持する容量に、変換時は入力電圧を接続させ、校正時は前記基準電圧又は接地電圧を接続させる切替部と、  
変換時は容量に入力電圧を保持させた後に、該保持させた電圧に前記2つ以上の単位電圧の何れか一つを積算して積算電圧を生成し、校正時は前記容量に前記基準電圧又は接地電圧を保持させた後に、該保持させた電圧に前記2つ以上の単位電圧の何れか一つを積算した積算電圧を生成する積算部と、  
前記基準電圧を一方の出力端に出力し前記積算電圧を他方の出力端に出力する場合と、

前記基準電圧を他方の出力端に出力し前記積算電圧を一方の出力端に出力する場合とを切り替えるクロス・バースイッチと、

前記一方の出力端と負入力端を接続し、前記他方の出力端と正入力端を接続させ前記正入力端の電圧が前記負入力端の電圧を越えた場合に比較信号を出力する前記比較器とを備えることを特徴とする請求項 1 に記載の自己校正機能付き A D コンバータ。

【請求項 3】

前記校正制御部は、

容量に前記基準電圧に相当する単位電圧をプリチャージした後に、前記比較器の出力が反転するまでの前記単位電圧の積算回数を計測するオフセット計測処理部と、

前記入力電圧が前記基準電圧より大きい場合に、前記積算回数に所定回数を加算した過剰積算回数で正の単位電圧を加算して積算電圧を生成した後に該積算電圧が前記基準電圧より小さくまるまで負の単位電圧で減算して前記比較器の出力が反転するまでの積算回数である正負相関積算回数を計測する正負単位電圧相関計測処理部と、

前記単位電圧をリセットした後に、前記正の単位電圧を積算して前記比較器の出力が反転するまでの前記単位電圧の積算回数である単位電圧積算回数を計測する単位電圧計測処理部と

を備えることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の自己校正機能付き A D コンバータ。

【請求項 4】

前記積算部は、

前記単位電圧の中で絶対値の最も大きな粗調整正単位電圧と、

該粗調整正単位電圧よりも絶対値の小さな微調整正単位電圧と、

前記容量に、入力電圧とベース電圧部が生成する所定のベース電圧との差分の電圧を充電する差分演算部と

を備え、

前記校正制御部は、

前記粗調整正単位電圧を積算した積算電圧が前記基準電圧と前記比較器のオフセット電圧との和の電圧を越えたら、該積算電圧を更に前記微調整正単位電圧で積算する差分電圧計測処理部を

備えることを特徴とする請求項 2 に記載の自己校正機能付き A D コンバータ。

【請求項 5】

前記積算変換部は、

前記単位電圧を保持する容量に、変換時は入力電圧を接続させ、校正時は前記基準電圧又は接地電圧を接続させる切替部と、

変換時は前記容量に入力電圧を保持させた後に、前記容量を大きさの異なる複数の電流の何れかで充電して積算電圧を生成する正電流源と、前記容量の前記正電流源と反対側の端に、所定のベース電圧を生成するベース電圧部、又は接地電圧に接続された抵抗部を接続させる差分演算部とを備える積算部と、

前記基準電圧を一方の出力端に出力し、前記積算電圧を他方の出力端に出力する場合と、前記基準電圧を他方の出力端に出力し、前記積算電圧を一方の出力端に出力する場合とを切り替えるクロス・バースイッチと、

前記一方の出力端と負入力端を接続し、前記他方の出力端と正入力端を接続させ前記正入力端の電圧が前記負入力端の電圧を越えた場合に比較信号を出力する比較器と

を備え、

前記校正制御部は、

絶対値の大きな正の電流で生成した単位電圧である粗調整正単位電圧で積算した積算電圧が前記基準電圧と前記比較器のオフセット電圧の和を越えたら、前記積算電圧を前記粗調整正単位電圧よりも絶対値の小さな微調整正単位電圧で積算する単位電圧相関計測処理部を

備えることを特徴とする請求項 1 に記載の自己校正機能付き A D コンバータ。

【請求項 6】

10

20

30

40

50

校正のための測定器を必要としない自己校正機能付き A D コンバータであって、  
基準電圧を生成する基準電圧部と、

積算電圧の変化量の単位である 2 つ以上の単位電圧を有し、変換時においては入力電圧を初期値とした前記積算電圧が所定のしきい値電圧を越えるまで前記 2 つ以上の単位電圧の何れか一つの単位電圧を積算する積算変換部と、

校正時に前記 2 つ以上の単位電圧と比較器のオフセット電圧を校正する校正制御部と、  
変換時に前記比較器のオフセット電圧の極性を判定した後に、入力電圧をデジタル値に変換する変換制御部とを有する制御部と

を備える自己校正機能付き A D コンバータ。

【請求項 7】

10

前記積算変換部は、

前記単位電圧を保持する容量に、変換時は入力電圧を接続させ、校正時は基準電圧又は接地電圧を接続させる切替部と、

変換時は、前記容量に入力電圧を保持させた後に、該保持させた電圧に前記 2 つ以上の単位電圧の何れか一つを積算して積算電圧を生成し、校正時は、前記容量に前記基準電圧又は接地電圧を保持させた後に、該保持させた電圧に前記 2 つ以上の単位電圧の何れか一つを積算して積算電圧を生成する積算部と、

前記しきい値電圧を生成するしきい値電圧部と、

前記しきい値電圧を負入力端に前記積算電圧を正入力端にそれぞれ接続させ、前記積算電圧が前記しきい値電圧を越えた場合に比較信号を出力する前記比較器と

20

を備えることを特徴とする請求項 6 に記載の自己校正機能付き A D コンバータ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、校正のための測定器を必要としない自己校正機能付き A D コンバータに関する。

【背景技術】

【0002】

A D コンバータは周知のように既知の電圧を出力する D A コンバータと比較器で構成され、D A コンバータの出力値を順次変化させ比較器の出力が低出力電圧から高出力電圧に変化する最小の D A コンバータの出力値を設定した時のデジタル値を A D コンバータの変換値として使用する（非特許文献 1）。D A コンバータのオフセットや線形性の経時変化による変動が A D コンバータの経時変化につながる。

30

【0003】

代表的な D A コンバータには R - 2 R ラダー回路、抵抗ストリング回路（非特許文献 2）、P W M 回路（非特許文献 3）がある。R - 2 R ラダー回路では、比較的少ない抵抗素子数で高分解能・高精度な可変信号源を構成可能である。しかし、設定コードに対する出力の精度を高めるためには M S B 側に高い精度の抵抗が必要である。

【0004】

抵抗ストリング回路は低消費電力で単調増加性が高いが、設定コードに対する出力の線形性が抵抗素子の均一性とレイアウトに依存するため、レイアウト設計と製造の試行錯誤が必要である。

40

【0005】

P W M 回路では、R - 2 R ラダー回路や抵抗ストリング回路のように抵抗素子列が不要でデジタル回路のみで製造できるため性能が安定しているという利点はあるが、出力に現れるリップルノイズ除去のための高次の低域通過フィルタに周波数精度の高い設計と製造が必要なる。

【0006】

R - 2 R ラダー回路と抵抗ストリング回路に関しては、製造の最終段階での抵抗素子の調整や設定コードと出力の関係の補正により、線形性や精度を向上させることが可能であ

50

る。しかし、この場合ではR - 2 R ラダー回路と抵抗ストリング回路の出力を確認しながら調整や補正を行うため、回路の外部に基準となる測定器が必要となる。

【 0 0 0 7 】

また、比較器のオフセット電圧、及びD A コンバータの単位電圧とその線形性は、時間が経過すれば変化する。よって、長期間にわたって変換精度を維持するためには、定期的な校正が不可欠である（非特許文献2）。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【 0 0 0 8 】

【文献】A/D変換の概要と仕組み ミームス(MEMEs)のサポートページ〔平成31年5月16日検索〕、インターネット（URL: [http://memes.sakura.ne.jp/memes/?page\\_id=1120](http://memes.sakura.ne.jp/memes/?page_id=1120)）

10

DACの精度を改善するためのトリミング (1/3) EDN Japan〔平成31年5月16日検索〕、インターネット（URL: <http://ednjp.com/edn/articles/1611/08/news012.html>）

裏ワザ！PWMを使って疑似D/Aコンバータを実現〔平成31年5月16日検索〕、インターネット(<https://service.macnica.co.jp/library/107577>)

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 9 】

しかしながら、比較器のオフセット電圧、及びD A コンバータの単位電圧の調整には、A D コンバータの外部に基準となる測定器が必要である。例えば遠隔地に配置されたA D コンバータを校正するためには、測定器を携えて出かけるなければならない。よって、遠隔地にある複数のA D コンバータを校正するのは、困難であるという課題がある。

20

【 0 0 1 0 】

本発明は、この課題に鑑みてなされたものであり、校正のための測定器が不要な自己校正機能付きA D コンバータを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 1 】

本発明の一態様に係る自己校正機能付きA D コンバータは、校正のための測定器を必要としない自己校正機能付きA D コンバータであって、基準電圧を生成する基準電圧部と、積算電圧の変化量の単位である2つ以上の単位電圧を有し、変換時には入力電圧を初期値とした前記積算電圧が前記基準電圧を越えるまで前記2つ以上の単位電圧の何れか一つを積算する積算変換部と、校正時に前記2つ以上の単位電圧と比較器のオフセット電圧を校正する校正制御部と、変換時に前記比較器のオフセット電圧の極性を判定した後に、入力電圧をデジタル値に変換する変換制御部とを有する制御部とを備えるを備えることを要旨とする。

30

【発明の効果】

【 0 0 1 2 】

本発明によれば、校正のために外部に測定器が不要な自己校正機能付きA D コンバータを提供することができる。

40

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 3 】

【図1】本発明の第1実施形態に係る自己校正機能付きA D コンバータの構成例を示す機能ブロック図である。

【図2】図1に示す積算部の等価回路を示す図である。

【図3】図1に示す変換制御部の処理手順を示すフローチャートである。

【図4】図1に示すオフセット計測処理部の処理手順を示すフローチャートである。

【図5】図1に示す正負単位電圧相関計測処理部の処理手順を示すフローチャートである。

【図6】図1に示す単位電圧測処理部の処理手順を示すフローチャートである。

50

【図 7】図 1 に示す積算部を変形した自己校正機能付き A D コンバータの構成例を示す機能ブロック図である。

【図 8】図 7 に示す差分演算部の変換時の等価回路を示す図である。

【図 9】図 7 に示す差分演算部の校正時の等価回路を示す図である。

【図 10】図 7 に示す変換制御部の処理手順を示すフローチャートである。

【図 11】図 7 に示す積算部が生成する積算電圧と積算回数の関係例を模式的に示す図である。

【図 12】図 7 に示す差分電圧計測処理部の処理手順を示すフローチャートである。

【図 13】本発明の第 2 実施形態に係る自己校正機能付き A D コンバータの構成例を示す機能ブロック図である。

【図 14】図 13 に示す変換制御部の処理手順を示すフローチャートである。

【図 15】図 13 に示す積算部が生成する積算電圧と積算回数の関係例を模式的に示す図である。

【図 16】図 13 に示す単位電圧相関計測処理部の処理手順を示すフローチャートである。

【図 17】図 13 に示す第 2 実施形態に係る自己校正機能付き A D コンバータの変形例の構成例を示す機能ブロック図である。

【図 18】図 13 に示す第 2 実施形態に係る自己校正機能付き A D コンバータの変形例の構成例を示す機能ブロック図である。

【図 19】図 18 に示す変換制御部の処理手順を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0014】

以下、本発明の実施形態について図面を用いて説明する。複数の図面中同一のものには同じ参照符号を付し、説明は繰り返さない。

【0015】

〔第 1 実施形態〕

図 1 は本発明の第 1 実施形態に係る自己校正機能付き A D コンバータの構成例を示すブロック図である。図 1 に示す自己校正機能付き A D コンバータ 100（以降 A D コンバータ）は、校正のための測定器を必要としない自己校正機能付き A D コンバータである。

【0016】

本 A D コンバータ 100 は、基準電圧部 10、制御部 20、及び積算変換部 30 を備える。積算変換部 30 は、切替部 31、積算部 32、及び比較器 34 を含む。

【0017】

積算部 32 において入力電圧を初期値として単位電圧を積算し生成した積算電圧と基準電圧  $V_{ref}$  を比較器 34 により比較して入力電圧をデジタル値に変換する。積算電圧の変化量の単位である単位電圧を少なくとも 2 種有しており、校正時には少なくとも 2 種の積算単位と比較器 34 のオフセット電圧を校正する。電流源と容量  $C_0$  で積算部 32 を構成しており、積算電圧を増加させる時では正電流源 320 を使用し、積算電圧を減少させる時では負電流源 321 を使用する。

【0018】

比較器 34 を構成する回路素子の特性のバラツキに起因して、比較器 34 のオフセット電圧は比較器 34 の入力電圧に依存して変化することがある。このため、入力電圧を保持して比較器 34 で保持した入力電圧と積算部 32 の積算電圧を比較して A D 変換する処理方法では、入力電圧の大きさで比較器 34 のオフセット電圧が変化することを考慮した校正処理が必要となり校正処理の回数が増えることが予想される。また、電流を流す出力端子の電圧に関わらず一定の電流を流す理想的な電流源の動作は、実際の電流源では実現されず電流が一定となる電流源の出力端子の電圧は制限される。このため積算部 32 の電圧範囲もこの電流源の特性により制限れる。これは A D コンバータの入力電圧範囲を制限する。一般的にトランジスタで電流源を構成した場合、グラウンドに向かって電流を出力する正電流源においては、電流源の出力端子の電圧が電源電圧からトランジスタのしきい値電圧分低い電圧より高い時では正電流源は理想の動作から外れる。高電位から電流を引き

10

20

30

40

50

抜く負電流源では電流源の出力端子の電圧がトランジスタのしきい値電圧とグランド間では電流源は理想の動作から外れる。

【 0 0 1 9 】

本実施形態では入力電圧を初期値として積算部 3 2 で単位電圧を積算した積算電圧と入力電圧の大きさに関わらず一定である基準電圧  $V_{ref}$  を比較することにより、基準電圧  $V_{ref}$  での比較器 3 4 のオフセット電圧のみを校正すればよい処理としている。また、入力電圧が基準電圧  $V_{ref}$  より小さい場合には正電流源 3 2 0 を使用し、基準電圧  $V_{ref}$  より大きい場合には負電流源 3 2 1 を使用して、積算電圧が基準電圧  $V_{ref}$  になるまで積算して A D 変換処理を行う。この処理により電流源の出力端子の電圧の制限に依存せずに入力電圧の範囲を電源電圧からグランドまでとできる。

10

【 0 0 2 0 】

なお、単位電圧は、正電流源 3 2 0 で生成した正の単位電圧、又は負の電流源 3 2 1 で生成した負の単位電圧の 2 つの例を示すが、単位電圧の数は 2 つ以上の複数で有っても構わない。

【 0 0 2 1 】

本実施形態の A D コンバータ 1 0 0 は、校正のための測定器を必要としない A D コンバータであって、基準電圧  $V_{ref}$  を生成する基準電圧部 1 0 と、積算電圧の変化量の単位である 2 つ以上の単位電圧を有し、変換時においては入力電圧を初期値とした積算電圧が基準電圧  $V_{ref}$  を越えるまで 2 つ以上の単位電圧の何れか一つを積算する積算変換部 3 0 と、校正時に 2 つ以上の単位電圧と比較器 3 4 のオフセット電圧を校正する校正制御部 2 1 と、変換時に比較器 3 4 のオフセット電圧の極性を判定した後に、入力電圧をデジタル値に変換する変換制御部 2 2 とを有する制御部 2 0 とを備える。

20

【 0 0 2 2 】

積算変換部 3 0 は、単位電圧を保持する容量  $C_o$  に、変換時は入力電圧を接続させ、校正時は基準電圧  $V_{ref}$  又は接地電圧を接続させる切替部 3 1 と、変換時は容量  $C_o$  に入力電圧を保持させた後に、該保持させた電圧に 2 つ以上の単位電圧の何れか一つを積算して積算電圧を生成し、校正時は容量  $C_o$  に基準電圧  $V_{ref}$  又は接地電圧を保持させた後に、該保持させた電圧に 2 つ以上の単位電圧の何れか一つを積算した積算電圧を生成する積算部 3 2 と、基準電圧  $V_{ref}$  を一方の出力端に出力し積算電圧を他方の出力端に出力する場合と、基準電圧  $V_{ref}$  を他方の出力端に出力し積算電圧を一方の出力端に出力する場合とを切り替えるクロス・パースイッチ 3 3 と、一方の出力端と負入力端を接続し、他方の出力端と正入力端を接続させ正入力端の電圧が負入力端の電圧を越えた場合に比較信号を出力する比較器 3 4 とを備える。

30

【 0 0 2 3 】

積算部 3 2 は、蓄積した電荷により積算電圧を発生させる容量  $C_o$  と、入力電圧が基準電圧  $V_{ref}$  より低い場合に積算電圧を増加させる時に使用する正電流源 3 2 0 と、入力電圧が基準電圧  $V_{ref}$  より高い場合に積算電圧を減少させる時に使用する負電流源 3 2 1 と、容量  $C_o$  と正電流源 3 2 0 を接続・切断する SW1 と、容量  $C_o$  と負電流源を接続・切断する SW2 と、容量  $C_o$  に初期値を与える時に接続する SW3 とを有する。

【 0 0 2 4 】

制御部 2 0 からの動作制御信号により切替部 3 1、クロス・パースイッチ 3 3、SW1、SW2 と SW3 を制御する。

40

【 0 0 2 5 】

本実施形態での積算動作について説明する。積算は所定の時間単位の整数倍の時間の中で正電流源 3 2 0 (または負電流源 3 2 1) から容量  $C_o$  に電荷を供給(または除去)することで実施される。図 2 ( a ) にクロス・パースイッチの  $s_{11}$  と  $s_{13}$  および  $s_{12}$  と  $s_{14}$  を接続し正電流源 3 2 0 と容量  $C_o$  を接続した場合の等価回路モデルを示す。本等価回路では容量  $C_o$  の電流源側に接続されている電極をプラス (+) とし、グランド側をマイナス (-) としている。比較器 3 4 のオフセット電圧を  $V_{ofc}$  としている。正電流源 3 2 0 で積算する時では SW2 と SW3 を切断状態にして SW1 を所定の時間  $t$  のあいだ接続状態にした後 SW

50

1を切断状態にすることを繰り返す。これをkp回繰返した時の正電流源320から供給される電荷は $I_p k_p t$ となる。比較器34の正の入力側に存在する寄生容量Cp1を考慮すると、積算電圧は以下の式で表される。

【0026】

【数1】

$$V_o = \frac{I_p}{C_o + C_{p1}} \Delta t k_p \quad (1)$$

【0027】

負電流源321で積算する場合には、SW1、SW3を切断状態にして所定の時間tのあいだSW2を接続状態にした後切断状態にすることを繰り返す。クロス・バースイッチ33のs11とs13およびs12とs14を接続し負電流源321と容量Coを接続した時の等価回路を図2(b)に示す。SW2を接続状態にすることをkn回繰返した時では、負電流源321と容量Coを接続する前の電荷 $(C_o + C_{p1})V_{o,0}$ から負電流源321によって $I_n k_n t$  ( $I_n < 0$ )の電荷が除去されるため、積算電圧は以下の式で表される。

【0028】

【数2】

$$V_o = V_{o,0} - \frac{I_n}{C_o + C_{p1}} \Delta t k_n \quad (2)$$

【0029】

したがって、正電流源320に接続した時の単位電圧 $t I_p / (C_o + C_{p1})$ と負電流源321に接続した時の単位電圧 $t I_n / (C_o + C_{p1})$ が分かれば、正電流源320に接続した回数kpと負電流源321に接続した回数knから積算電圧は算出できる。本実施形態では $I_p$ 、 $I_n$ として、正電流源320への接続時の単位電圧を正の単位電圧と記述し、負電流源への接続時を負の単位電圧と記述する。また、以下の説明では比較器のオフセット電圧を負( $V_{ofc} < 0$ )として説明する。

【0030】

本実施形態の変換時では、変換制御部22で変換制御処理を実行する。変換制御部の処理フローを図3に示す。オフセット極性判定ステップS1では、切替部31のa10とc10を接続しSW3を接続した状態で比較信号を制御部20でモニタしクロス・バースイッチ33の接続を決定する。比較信号が低電位電圧の場合ではクロス・バースイッチ33のs11とs13およびs12とs14を接続し、比較信号が高電位電圧の場合ではクロス・バースイッチ33のs11とs14およびs12とs13を接続する。

【0031】

入力電圧比較ステップS2では、切替部31のa10とb10を接続しSW3を接続して入力電圧と基準電圧Vrefを比較する。積算回数計測ステップS3では、入力電圧比較ステップS2の比較結果に基づいて正電流源320または負電流源321の使用を決定した後、SW3を切断し比較信号の状態変化をモニタすることで積算電圧が基準電圧Vrefとなるまでに要した変換積算回数kvを計測する。記憶ステップS4では変換積算回数kvを記憶する。

【0032】

校正時は、制御部20に含まれる構成制御部21が作用する。構成制御部21は、容量Coに基準電圧Vrefに相当する単位電圧をプリチャージした後に、比較器34の出力が反転するまでの単位電圧の積算回数を計測するオフセット計測処理部210と、入力電圧が基準電圧Vrefより大きい場合に、積算回数に所定回数を加算した過剰積算回数で正の単位電圧を加算して積算電圧を生成した後に該積算電圧が基準電圧Vrefより小さくまるまで負の単位電圧で減算して比較器34の出力が反転するまでの積算回数である正負相関積算回数を計測する正負単位電圧相関計測処理部211と、単位電圧をリセットした後に、正の単位電圧を積算して比較器34の出力が反転するまでの単位電圧の積算回数である単位電圧積算回数を計測する単位電圧計測処理部212とを備える。なお、校正時のクロス・バー

10

20

30

40

50

スイッチ 3 3 の接続は、変換制御部 2 2 で決定した接続状態を維持する。

【 0 0 3 3 】

図 4 にオフセット計測処理部の処理フローを示す。基準電圧プリチャージステップ S 1 1 では切替部 3 1 の a10 と c10 を接続した状態で SW3 を接続・切断して容量 Co に基準電圧 Vref に相当する電荷をプリチャージする。オフセット計測ステップ S 1 2 では、比較信号の状態変化をモニタすることで積算電圧が基準電圧を超えるまで積算し、はじめて基準電圧を超える積算回数より 1 回少ない積算回数であるオフセット積算回数 ko を計測する。記憶ステップ S 1 3 では ko を記憶する。正電流源 3 2 0 を使用した時の正単位電圧を VGp、比較器 3 4 のオフセット電圧を Vofc、基準電圧 Vref とすると、積算電圧と基準電圧 Vref には以下の方程式が成立する。

10

【 0 0 3 4 】

【数 3】

$$V_{ref} - V_{ofc} = VGp(ko + \delta ko) + V_{ref} \quad (3)$$

【 0 0 3 5 】

式 ( 3 ) の右辺の VGp ko は基準電圧 Vref およびオフセット電圧の和と比較信号が状態変化する直前の積算電圧の差を表し、 ko は 0 以上 1 未満の実数である。

【 0 0 3 6 】

正負単位電圧相関計測処理は、入力電圧が基準電圧より大きい場合に実施する。図 5 に正負単位電圧相関計測処理部の処理フローを示す。基準電圧 Vref プリチャージステップ S 2 0 で容量 Co に基準電圧 Vref に相当する電荷をプリチャージした後、オフセット積算回数 ko に所定の積算回数 ke を加算した積算回数で積算する過剰積算ステップ S 2 1 を実施する。次に負積算計測ステップ S 2 2 において、比較信号の状態変化をモニタすることで積算電圧が基準電圧 Vref より小さくなるまで負単位電圧 VGn で積算する。この処理により、負積算計測ステップ S 2 2 において積算電圧がはじめて基準電圧 Vref より小さくなる積算回数より 1 回少ない積算回数である正負相関積算回数 kp を計測する。記憶ステップ S 2 3 では kp を記憶する。正負単位電圧相関計測処理において積算電圧と基準電圧には以下の方程式が成立する。

20

【 0 0 3 7 】

【数 4】

$$V_{ref} - V_{ofc} = VGp(ko + ke) - VGn(kp + \delta kp) + V_{ref} \quad (4)$$

30

【 0 0 3 8 】

式 ( 4 ) の右辺の VGn kp は基準電圧 Vref およびオフセット電圧の和と比較信号が状態変化する直前の積算電圧の差を表し、 kp は 0 以上 1 未満の実数である。

【 0 0 3 9 】

図 6 に単位電圧計測処理部の処理フローを示す。リセットステップ S 3 0 において容量 Co の蓄積電荷をリセットする。この後、単位電圧計測ステップ S 3 1 において、比較信号の状態変化をモニタすることで積算電圧が基準電圧 Vref を超えるまで正の単位電圧で積算する。この処理により積算電圧がはじめて基準電圧より大きくなる積算回数より 1 回少ない積算回数である単位電圧積算回数 ki を計測する。記憶ステップ S 3 2 では ko を記憶する。単位電圧計測処理において積算電圧と基準電圧には以下の方程式が成立する。

40

【 0 0 4 0 】

【数 5】

$$V_{ref} - V_{ofc} = VGp(ki + \delta ki) \quad (5)$$

【 0 0 4 1 】

50

式(5)の右辺のVGp kiは基準電圧Vrefおよびオフセット電圧の和と比較信号が状態変化する直前の積算電圧の差を表し、kiは0以上1未満の実数である。

【0042】

解析を容易にするためにko+ ko=Ko、kp+ kp=Kp、ki+ ki=Kiとし、式(3)と式(5)の差をとることにより以下のVGpの式を得る。

【0043】

【数6】

$$VGpKo + Vref = VGpKi$$

$$VGp = \frac{Vref}{Ki - Ko} \quad (6)$$

10

【0044】

式(6)を式(3)に代入することにより以下のVofcの式を得る。

【0045】

【数7】

$$Vofc = \frac{Ko}{Ki - Ko} Vref \quad (7)$$

【0046】

20

また、式(3)と式(4)からVGnの式を得る。

【0047】

【数8】

$$VGpKo = VGp(ko + ke) - VGnKp$$

$$VGn = \frac{ko + ke - Ko}{Kp(Ki - Ko)} Vref \quad (8)$$

【0048】

VGp、VGn、Vofcに含まれる ki、 kp、 koは0以上1未満の実数であるが、具体的な値は不明である。この ki、 kp、 koの不確かさのためVGp、VGn、Vofcのとり得る値は範囲を持つ。VGp、VGn、Vofcの校正值は、VGp、VGn、Vofcの範囲の中央値により決定する。式(6)を ki、 koで偏微分すると以下の式を得る。

【0049】

【数9】

$$\frac{\partial VGp}{\partial (\delta ki)} = -\frac{Vref}{(Ki - Ko)^2} < 0 \quad (9)$$

$$\frac{\partial VGp}{\partial (\delta ko)} = \frac{Vref}{(Ki - Ko)^2} > 0 \quad (10)$$

40

【0050】

式(9)、式(10)より、VGpは kiに対しては単調減少であり、 koに対しては単調増加である。したがって、VGpの範囲は以下の式で表される。

【0051】

【数10】

$$\frac{Vref}{ki - ko + 1} < VGp < \frac{Vref}{ki - ko - 1} \quad (11)$$

【0052】

50

式(11)よりVGpの中央値である校正値VGpcは以下のように得られる。

【0053】

【数11】

$$VGpc = \frac{Vref}{2} \left\{ \frac{1}{ki-ko+1} + \frac{1}{ki-ko-1} \right\} \quad (12)$$

【0054】

式(7)を ki、 koで偏微分すると以下の式を得る。

【0055】

【数12】

$$\frac{\partial Vofc}{\partial (\delta ki)} = -\frac{Ko Vref}{(Ki-Ko)^2} < 0 \quad (13)$$

$$\frac{\partial Vofc}{\partial (\delta ko)} = \frac{1}{Ki-Ko} Vref + \frac{Ko Vref}{(Ki-Ko)^2} = \frac{Ki Vref}{(Ki-Ko)^2} > 0 \quad (14)$$

【0056】

式(13)、式(14)より、Vofcは kiに対しては単調減少であり、 koに対しては単調増加である。したがって、Vofcの範囲は以下の式で表される。

【0057】

【数13】

$$\frac{ko Vref}{ki-ko+1} < VGp < \frac{(ko+1)Vref}{ki-ko-1} \quad (15)$$

【0058】

式(15)よりVofcの中央値である校正値Vofccは以下のように得られる。

【0059】

【数14】

$$Vofcc = \frac{Vref}{2} \left\{ \frac{ko}{ki-ko+1} + \frac{ko+1}{ki-ko-1} \right\} \quad (16)$$

【0060】

式(8)を ki、 kp、 koで偏微分すると以下の式を得る。

【0061】

【数15】

$$\frac{\partial VGn}{\partial (\delta ki)} = -\frac{(ko+ke-Ko)Vref}{Kp(Ki-Ko)^2} < 0 \quad (17)$$

$$\frac{\partial VGp}{\partial (\delta ko)} = \frac{-Vref}{Kp(Ki-Ko)} + \frac{(ko+ke-Ko)Vref}{Kp(Ki-Ko)^2} = \frac{(-Ki+ko+ke)Vref}{Kp(Ki-Ko)^2} < 0 \quad (18)$$

$$\frac{\partial VGn}{\partial (\delta kp)} = -\frac{(ko+ke-Ko)Vref}{(Ki-Ko)Kp^2} < 0 \quad (19)$$

【0062】

式(17)、式(18)、式(19)より、VGnは ki、 kp、 koに対しては単調減少である。したがって、VGnの範囲は以下の式で表される。

【0063】

【数16】

10

20

30

40

50

$$\frac{ke-1}{(kp+1)(ki-ko)} Vref < VGn < \frac{ke}{kp(ki-ko)} Vref \quad (20)$$

【0064】

式(20)よりVGnの中央値である校正值VGncは以下のように得られる。

【0065】

【数17】

$$VGnc = \frac{Vref}{2} \left\{ \frac{ke-1}{(kp+1)(ki-ko)} + \frac{ke}{kp(ki-ko)} \right\} \quad (21)$$

10

【0066】

以上の説明で示したように校正状態におけるオフセット計測処理、正負単位電圧相関計測処理、単位電圧計測処理により、単位電圧VGp、VGnおよび比較器34のオフセット電圧Vofccの校正值であるVGpc、VGnc、Vofccを得ることができる。

【0067】

図3で示した変換制御部22の処理フローにより、入力電圧VinがVref-Vofcc Vinの場合のVinと変換積算回数kvの関係は以下の式で表される。

【0068】

【数18】

$$Vref - Vofcc = VGpc(kv + \delta kv) + Vin \quad (22)$$

20

【0069】

式(22)でVGpc kvは基準電圧Vrefおよびオフセット電圧の和と比較信号が状態化する直前の積算電圧の差を表し、kvは0以上1未満の実数である。このkvの不確かさのためVinのとり得る値は範囲を持つ。Vinの変換値はVinの範囲の中央値により決定する。Vinの範囲は式(23)となりVinの変換値Vincは式(24)で表される。

【0070】

【数19】

$$Vref - Vofcc - VGpc (kv + 1) < Vin < Vref - Vofcc - VGpc kv \quad (23)$$

$$Vinc = Vref - Vofcc - VGpc(kv + 0.5) \quad (24)$$

30

【0071】

また、入力電圧VinがVref-Vofcc Vinの場合のVinと変換積算回数kvの関係は以下の式で表される。

【0072】

【数20】

$$Vref - Vofcc = -VGnc(kv + \delta kv) + Vin \quad (25)$$

40

【0073】

式(25)でVGnc kvは基準電圧Vrefおよびオフセット電圧の和と比較信号が状態化する直前の積算電圧の差を表し、kvは0以上1未満の実数である。このkvの不確かさのためVinのとり得る値は範囲を持つ。Vinの変換値はVinの範囲の中央値により決定する。Vinの範囲は式(26)となりVinの変換値Vincは式(27)で表される。

【0074】

【数21】

$$Vref - Vofcc + VGnc kv < Vin < Vref - Vofcc + VGnc(kv + 1) \quad (26)$$

$$Vinc = Vref - Vofcc + VGnc(kv + 0.5) \quad (27)$$

50

## 【 0 0 7 5 】

図 3 で示した変換制御部 2 2 の処理により、校正状態で得た校正値  $V_{Gpc}$ 、 $V_{Gnc}$ 、 $V_{ofc}$  を用いて入力電圧の変換値  $V_{inc}$  を得ることができる。

## 【 0 0 7 6 】

上述では  $V_{ofc} = 0$  の場合で説明したが、 $V_{ofc} \neq 0$  の場合では変換制御部 2 2 によりクロス・バースイッチ 3 3 の  $s11$  と  $s14$  および  $s12$  と  $s13$  を接続した状態となる。この接続により、比較器 3 4 の入力では基準電圧  $V_{ref}$  とオフセット電圧の和と積算電圧を比較することとなるため、 $V_{ofc} \neq 0$  であっても上述と同じ変換時と校正時で校正した変換値  $V_{inc}$  を求めることができる。

## 【 0 0 7 7 】

以上の説明で示した実施形態により、比較器 3 4 のオフセットや積算単位を構成する容量  $C_0$  等が経時変化により変動しても、比較器 3 4 のオフセットと D/A コンバータのアナログ値出力部である積算部 3 2 の校正が可能であり長期安定性の高い A/D コンバータ 1 0 0 を提供できる。

## 【 0 0 7 8 】

(変形例 1)

図 7 は、第 1 実施形態の積算部 3 2 を変形した A/D コンバータ 2 0 0 の機能ブロック図を示す図である。図 7 に示す変形例 1 の A/D コンバータ 2 0 0 は、A/D コンバータ 1 0 0 に対して積算部 5 2 と構成制御部 4 1 を備える点で異なる。

## 【 0 0 7 9 】

積算部 5 2 は、入力電圧が基準電圧  $V_{ref}$  より大きい場合に入力電圧とベース電圧の差を初期値として保持する処理により、入力電圧の範囲を電源電圧からグランドまでとできる。積算部 5 2 は、蓄積した電荷により積算電圧を発生させる容量  $C_0$  と、ベース電圧  $V_{bs}$  を出力するベース電圧部 5 2 1 と、入力電圧とベース電圧  $V_{bs}$  の差を容量  $C_0$  に保持する時に接続を切替える差分演算部 5 2 0 と、積算電圧を増加させる時に使用する正電流源 3 2 0 と、積算電圧を減少させる時に使用する負電流源 3 2 1 と、容量  $C_0$  と正電流源 3 2 0 を接続・切断する SW1 と、容量  $C_0$  と負電流源 3 2 1 を接続・切断する SW2 と、容量  $C_0$  に初期値を与える時に接続する SW3 とを有する。また、積算部 5 2 での正電流源 3 2 0 の電流の大きさは負電流源 3 2 1 の電流の大きさより大きく、正電流源 3 2 0 と負電流源 3 2 1 を使用した時の単位電圧をそれぞれ粗調整正単位電圧と微調整負単位電圧と記述する。

## 【 0 0 8 0 】

図 8 に変換時において、入力電圧  $V_{in}$  とベース電圧  $V_{bs}$  の差をとる時の等価回路を示す。 $C_p$  は配線、クロス・バースイッチ 3 3 と比較器 3 4 入力の寄生容量を表す。入力電圧が基準電圧  $V_{ref}$  より大きい場合では、変換時において切替部 3 1 の  $a10$  と  $b10$  を接続し SW3 を接続した時に差分演算部 5 2 0 の  $a20$  と  $c20$  を接続する。この時等価回路は図 8 (a) となる。次に SW3 を切断した後、差分演算部 5 2 0 の  $a20$  と  $b20$  を接続する (図 8 (b))。図 8 (a) と (b) で容量  $C_0$  と  $C_p$  に蓄積されている電荷は保存されるため以下の式 (28) が成立し、積算開始前の初期値の電圧  $V_{o,0}$  は式 (29) で表される。

## 【 0 0 8 1 】

## 【数 2 2】

$$C_p V_{in} + C_0 (V_{in} - V_{bs}) = C_p V_{o,0} + C_0 V_{o,0} \quad (28)$$

$$V_{o,0} = V_{in} - \frac{C_0}{C_0 + C_p} V_{bs} \quad (29)$$

## 【 0 0 8 2 】

$V_{bs}$  を適切に設定することにより、入力電圧  $V_{in}$  が正電流源 3 2 0 の出力端子の電圧範囲外でも、 $V_{o,0}$  を正電流源 3 2 0 の出力端子の電圧範囲内にすることができる。しかし、実際の  $V_{in}$  と  $V_{o,0}$  の差分電圧は  $V_{bs} C_0 / (C_0 + C_p)$  となり寄生容量により予測できないため、校正が必要となる。本実施形態では校正時において図 9 に示す処理により  $V_{bs} C_0 / (C_0 + C$

10

20

30

40

50

p)を校正する。

【 0 0 8 3 】

差分電圧Vbs Co/(Co+Cp)の校正では、切替部 3 1 のa10とd10を接続しSW3を接続する。このとき差分演算部 5 2 0 はa20とb20を接続する(図 9 ( a ) )。次にSW3を切断した後差分演算部 5 2 0 のa20とc20を接続する(図 9 ( b ) )。図 9 ( a ) と ( b ) の前後で容量CoとCpに蓄積されている電荷には電荷保存則が成立するため式 ( 3 0 ) が成立し、Vo,0は式 ( 3 1 ) で表されるように、差分電圧と等しくなる。

【 0 0 8 4 】

【数 2 3】

$$C_p \cdot 0 + C_o \cdot 0 = C_p \cdot V_{o,0} + C_o \cdot (V_{o,0} - V_{bs}) \tag{30}$$

10

$$V_{o,0} = \frac{C_o}{C_o + C_p} V_{bs} \tag{31}$$

【 0 0 8 5 】

この後で積算電圧が基準電圧Vrefと等しくなるまでの積算回数を計測することにより差分電圧を校正できる。

【 0 0 8 6 】

本積算部 5 2 での変換状態で実施される変換制御部 2 2 の処理フローを図 1 0 に示す。オフセット極性判定ステップ S 4 0 と入力電圧比較ステップ S 4 1 は図 1 の実施形態と同じであるため説明を割愛する。入力電圧比較ステップ S 4 1 において入力電圧が基準電圧より大きいと判定した場合は、差分演算ステップ S 4 2 に遷移する。差分演算ステップ S 4 2 では図 8 で説明した処理を実施し積算部 5 2 の初期値を入力電圧から差分電圧を差し引いた電圧とする。入力電圧比較ステップ S 4 1 において入力電圧が基準電圧Vrefより小さいと判定した場合は、入力電圧が積算部 5 2 の初期値となる。

20

【 0 0 8 7 】

増減積算回数計測ステップ S 4 3 では、はじめに粗調整正単位電圧VGpで積算し積算電圧が基準電圧Vrefと比較器 3 4 のオフセット電圧の和を超えたら微調整負単位電圧VGnで積算する。図 1 1 に積算電圧と積算回数の関係を示す。kvc+1回目の粗調整正単位電圧での積算で基準電圧とオフセット電圧の和 積算電圧となったとすると、kvcを粗調整積算回数と定義する。また、微調整負単位電圧で積算を開始してからkvf+1回目で基準電圧Vrefとオフセット電圧の和 積算電圧となったとすると、kvfを微調整積算回数と定義する。記憶ステップ S 4 4 ではkvcとkvfを記憶する。入力電圧VinがVref-Vofc Vinの場合のVinと粗調整積算回数kvcおよび微調整積算回数kvfの関係は以下の式で表される。

30

【 0 0 8 8 】

【数 2 4】

$$V_{ref} - V_{ofc} = (k_{vc} + 1)V_{Gp} - (k_{vf} + \delta k_v)V_{Gn} + V_{in} \tag{32}$$

【 0 0 8 9 】

式 ( 3 2 ) でVGn kvは基準電圧Vrefおよびオフセット電圧の和と比較信号が状態化する直前の積算電圧の差を表し、 kvは 0 以上 1 未満の実数である。

40

【 0 0 9 0 】

また、入力電圧VinがVref-Vofc Vinの場合のVinとkvcおよびkvfの関係は以下の式で表される。

【 0 0 9 1 】

【数 2 5】

$$V_{ref} - V_{ofc} = (k_{vc} + 1)V_{Gp} - (k_{vf} + \delta k_v)V_{Gn} + V_{in} - V_s \tag{33}$$

【 0 0 9 2 】

50

校正時においては、オフセット計測処理、正負単位電圧相関計測処理、差分電圧計測処理、単位電圧計測処理を、それぞれオフセット計測処理部 2 1 0、正負単位電圧相関計測処理部 2 1 1、差分電圧計測処理部 4 1 0、単位電圧計測処理部 2 1 2 で実施する。クロス・バースイッチ 3 3 の接続に関しては変換制御部 2 2 で決定した接続状態を維持する。オフセット計測処理は、図 4 での処理フローのオフセット計測ステップにおいて、はじめに粗調整正単位電圧で積算し積算電圧が基準電圧  $V_{ref}$  と比較器 3 4 のオフセット電圧の和を超えたら微調整負単位電圧で積算することが、図 1 の実施形態でのオフセット計測処理と異なる。  $ko2+1$  回目の粗調整正単位電圧での積算で基準電圧  $V_{ref}$  とオフセット電圧の和積算電圧となったとすると、  $ko2$  を粗調整オフセット積算回数と定義する。また、微調整負単位電圧で積算を開始してから  $ko1+1$  回目で基準電圧  $V_{ref}$  とオフセット電圧の和積算電圧となったとすると、  $ko1$  を微調整オフセット積算回数と定義する。基準電圧  $V_{ref}$  およびオフセット電圧の和と積算電圧には以下の方程式が成立する。

【 0 0 9 3 】

【数 2 6】

$$V_{ref} - V_{ofc} = (ko2 + 1)V_{Gp} - (ko1 + \delta ko)V_{Gn} + V_{ref} \quad (3 4)$$

【 0 0 9 4 】

正負単位電圧相関計測処理は、積算回数計測ステップ S 3 が増減積算回数計測ステップ S 4 3 になること以外は図 1 の実施形態での処理と同じであるため説明を割愛する。図 1 の実施形態では、入力電圧が基準電圧  $V_{ref}$  より大きい場合に正負単位電圧相関計測処理を実施したが、図 7 の積算部 5 2 を使用した場合には入力電圧の大きさに関わらず実施する。積算電圧と基準電圧  $V_{ref}$  の関係式は式 ( 4 ) の  $ko$  を  $ko2$  とした以下の式となる。

【 0 0 9 5 】

【数 2 7】

$$V_{ref} - V_{ofc} = (ko2 + ke)V_{Gp} - (kp + \delta kp)V_{Gn} + V_{ref} \quad (3 5)$$

【 0 0 9 6 】

差分電圧計測処理部での処理フローを図 1 2 に示す。差分電圧チャージステップ S 5 0 では式 ( 3 0 ) と式 ( 3 1 ) の説明で記述した処理を実施する。増減積算回数計測ステップ S 5 1 は、変換制御部 2 2 の処理フローでの増減積算回数計測ステップ S 4 3 と同じである。  $ks2+1$  回目の粗調整正単位電圧での積算で基準電圧  $V_{ref}$  とオフセット電圧の和積算電圧となったとすると、  $ks2$  を粗調整差分電圧積算回数と定義する。また、微調整負単位電圧で積算を開始してから  $ks1+1$  回目で基準電圧  $V_{ref}$  とオフセット電圧の和積算電圧となったとすると、  $ks1$  を微調整差分電圧積算回数と定義する。基準電圧  $V_{ref}$  およびオフセット電圧の和、差分電圧  $V_s$  と積算電圧には以下の式 ( 3 6 ) が成立する。ここで  $V_s$  は式 ( 3 1 ) と等価である。

【 0 0 9 7 】

【数 2 8】

$$V_{ref} - V_{ofc} = (ks2 + 1)V_{Gp} - (ks1 + \delta ks)V_{Gn} + V_s \quad (3 6)$$

$$V_s = \frac{C_o}{C_o + C_p} V_{bs}$$

【 0 0 9 8 】

記憶ステップ S 5 2 では  $ks2$  と  $ks1$  を記憶する。差分電圧計測処理は入力電圧が基準電圧より低い場合は実施しなくてもよい。

【 0 0 9 9 】

単位電圧計測処理は、積算回数計測ステップが増減積算回数計測ステップになること以

10

20

30

40

50

外は図1の実施形態での処理と同じである。ki2+1回目の粗調整正単位電圧での積算で基準電圧Vrefとオフセット電圧の和 積算電圧となったとすると、ki2を粗調整単位電圧積算回数と定義する。また、微調整負単位電圧で積算を開始してからki1+1回目で基準電圧Vrefとオフセット電圧の和 積算電圧となったとすると、ki1を微調整単位電圧積算回数と定義する。基準電圧Vrefおよびオフセット電圧の和、積算電圧には以下の式(37)が成立する。

【0100】

【数29】

$$V_{ref} - V_{ofc} = (k_{i2} + 1)V_{Gp} - (k_{i1} + \delta k_i)V_{Gn} \quad (37)$$

10

【0101】

表記を簡単にするためにkvf+ kv=Kv、ko1+ ko=Ko、kp+ kp=Kp、ki1+ ki=Ki、ks1+ ks=Ksとし、式(34)と式(35)の差をとることにより以下の式を得る。

【0102】

【数30】

$$0 = (k_{o2} + 1)V_{Gp} - K_o V_{Gn} - (k_{o2} + k_e)V_{Gp} + K_p V_{Gn}$$

$$V_{Gp} = \frac{K_p - K_o}{k_e - 1} V_{Gn} \quad (38)$$

20

【0103】

式(35)と式(32)の差をとり式(36)を代入することでVGnとVGpの式を得る。

【0104】

【数31】

$$0 = (k_{i2} + 1)V_{Gp} - K_i V_{Gn} - (k_{o2} + 1)V_{Gp} + K_o V_{Gn} + V_{ref}$$

$$V_{Gn} = \frac{V_{ref}}{(k_{i2} - k_{o2}) \frac{K_p - K_o}{k_e - 1} - K_i + K_o} \quad (39)$$

$$V_{Gp} = \frac{\frac{K_p - K_o}{k_e - 1}}{(k_{i2} - k_{o2}) \frac{K_p - K_o}{k_e - 1} - K_i + K_o} V_{ref} \quad (40)$$

30

【0105】

Vref-Vofc Vinの場合では、式(37)と式(32)の差をとり式(39)と式(40)を代入すると以下の式を得る。

【0106】

【数32】

$$0 = (k_{i2} - k_{vc})V_{Gp} - (K_i - K_v)V_{Gn} - V_{in}$$

$$V_{in} = (k_{i2} - k_{vc}) \frac{\frac{K_p - K_o}{k_e - 1}}{(k_{i2} - k_{o2}) \frac{K_p - K_o}{k_e - 1} - K_i + K_o} V_{ref} - (K_i - K_v) \frac{V_{ref}}{(k_{i2} - k_{o2}) \frac{K_p - K_o}{k_e - 1} - K_i + K_o}$$

$$V_{in} = \frac{(k_{i2} - k_{vc}) \frac{K_p - K_o}{k_e - 1} - (K_i - K_v)}{(k_{i2} - k_{o2}) \frac{K_p - K_o}{k_e - 1} - K_i + K_o} V_{ref} \quad (41)$$

40

【0107】

式(41)に含まれる kv、 ki、 kp、 koは0以上1未満の実数であるが、具体的な値は不明である。この kv、 ki、 kp、 koの不確かさのためVinのとり得る値は範囲を持つ。Vinの校正値は、Vinの範囲の中央値により決定する。式(41)を kv、 k

50

i、  $k_o$ 、  $k_p$  で偏微分すると以下の式を得る。

【 0 1 0 8 】

【 数 3 3 】

$$\frac{\partial V_{in}}{\partial (\delta k_v)} = \frac{V_{ref}}{(k_i2 - k_o2) \frac{k_p - k_o}{k_e - 1} - K_i + K_o} > 0 \quad (42)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial V_{in}}{\partial (\delta k_i)} &= \frac{-V_{ref}}{(k_i2 - k_o2) \frac{k_p - k_o}{k_e - 1} - K_i + K_o} - \frac{\{(k_i2 - k_v c) \frac{k_p - k_o}{k_e - 1} - (K_i - K_v)\}(-1)}{\{(k_i2 - k_o2) \frac{k_p - k_o}{k_e - 1} - K_i + K_o\}^2} V_{ref} \\ &= \frac{-\{(k_i2 - k_o2) \frac{k_p - k_o}{k_e - 1} - K_i + K_o\} + \{(k_i2 - k_v c) \frac{k_p - k_o}{k_e - 1} - (K_i - K_v)\}}{\{(k_i2 - k_o2) \frac{k_p - k_o}{k_e - 1} - K_i + K_o\}^2} V_{ref} \\ &= \frac{-(k_v c - k_o2) \frac{k_p - k_o}{k_e - 1} + K_v + K_o}{\{(k_i2 - k_o2) \frac{k_p - k_o}{k_e - 1} - K_i + K_o\}^2} V_{ref} < 0 \end{aligned} \quad (43)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial V_{in}}{\partial (\delta k_p)} &= \frac{1}{k_e - 1} \frac{(k_i2 - k_v c) V_{ref}}{(k_i2 - k_o2) \frac{k_p - k_o}{k_e - 1} - K_i + K_o} - \frac{1}{k_e - 1} \frac{\{(k_i2 - k_v c) \frac{k_p - k_o}{k_e - 1} - (K_i - K_v)\}(k_i2 - k_o2)}{\{(k_i2 - k_o2) \frac{k_p - k_o}{k_e - 1} - K_i + K_o\}^2} V_{ref} \\ &= \frac{\{(k_i2 - k_o2) \frac{k_p - k_o}{k_e - 1} - K_i + K_o\}(k_i2 - k_v c) - \{(k_i2 - k_v c) \frac{k_p - k_o}{k_e - 1} - (K_i - K_v)\}(k_i2 - k_o2)}{(k_e - 1) \{(k_i2 - k_o2) \frac{k_p - k_o}{k_e - 1} - K_i + K_o\}^2} V_{ref} \\ &= \frac{-(K_i - K_o)(k_i2 - k_v c) + (K_i - K_v)(k_i2 - k_o2)}{(k_e - 1) \{(k_i2 - k_o2) \frac{k_p - k_o}{k_e - 1} - K_i + K_o\}^2} V_{ref} \end{aligned} \quad (44)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial V_{in}}{\partial (\delta k_o)} &= \frac{1}{k_e - 1} \frac{-(k_i2 - k_v c)}{(k_i2 - k_o2) \frac{k_p - k_o}{k_e - 1} - K_i + K_o} V_{ref} - \\ &\frac{1}{k_e - 1} \frac{\{(k_i2 - k_v c) \frac{k_p - k_o}{k_e - 1} - (K_i - K_v)\} \{- (k_i2 - k_o2) + 1\}}{\{(k_i2 - k_o2) \frac{k_p - k_o}{k_e - 1} - K_i + K_o\}^2} V_{ref} \\ &= \frac{-\{(k_i2 - k_o2) \frac{k_p - k_o}{k_e - 1} - K_i + K_o\} \{(k_i2 - k_v c)\} + \{(k_i2 - k_v c) \frac{k_p - k_o}{k_e - 1} - (K_i - K_v)\} \{(k_i2 - k_o2) - 1\}}{(k_e - 1) \{(k_i2 - k_o2) \frac{k_p - k_o}{k_e - 1} - K_i + K_o\}^2} V_{ref} \\ &= \frac{-\{(k_i2 - k_v c) \frac{k_p - k_o}{k_e - 1} - (K_i - K_v)\}}{(k_e - 1) \{(k_i2 - k_o2) \frac{k_p - k_o}{k_e - 1} - K_i + K_o\}^2} V_{ref} < 0 \end{aligned} \quad (45)$$

【 0 1 0 9 】

式(42)、式(43)、式(45)より、 $V_{in}$ は  $k_i$ と  $k_o$ に対して単調減少であり、 $k_v$ に対して単調増加である。式(44)より  $(K_i - K_o)(k_i2 - k_v c) - (K_i - K_v)(k_i2 - k_o2)$  の場合では  $V_{in}$ は  $k_p$ に対して単調増加である。このため  $V_{in}$ の範囲は以下の式で表される。

【 0 1 1 0 】

【 数 3 4 】

$$\frac{(k_i2 - k_v c) \frac{k_p - k_o - 1}{k_e - 1} - (k_i - k_v + 1)}{(k_i2 - k_o2) \frac{k_p - k_o - 1}{k_e - 1} - k_i + k_o} V_{ref} < V_{in} < \frac{(k_i2 - k_v c) \frac{k_p - k_o + 1}{k_e - 1} - (k_i - k_v - 1)}{(k_i2 - k_o2) \frac{k_p - k_o + 1}{k_e - 1} - k_i + k_o} V_{ref} \quad (46)$$

【 0 1 1 1 】

式(46)より  $V_{in}$ の中央値である校正値  $V_{inc}$ は以下のように得られる。

【 0 1 1 2 】

【 数 3 5 】

$$V_{inc} = \frac{V_{ref}}{2} \left\{ \frac{(k_i2 - k_v c) \frac{k_p - k_o - 1}{k_e - 1} - (k_i - k_v + 1)}{(k_i2 - k_o2) \frac{k_p - k_o - 1}{k_e - 1} - k_i + k_o} + \frac{(k_i2 - k_v c) \frac{k_p - k_o + 1}{k_e - 1} - (k_i - k_v - 1)}{(k_i2 - k_o2) \frac{k_p - k_o + 1}{k_e - 1} - k_i + k_o} \right\} \quad (47)$$

10

20

30

40

50

【 0 1 1 3 】

(Ki-Ko)(ki2-kvc) (Ki-Kv)(ki2-ko2)の場合ではVinは kpに対して単調減少であるためVinの範囲は以下の式で表される。

【 0 1 1 4 】

【数 3 6】

$$\frac{(ki2-kvc)\frac{kp-ko}{ke-1}-(ki-kv+1)}{(ki2-ko2)\frac{kp-ko}{ke-1}-ki+ko}Vref < Vin < \frac{(ki2-kvc)\frac{kp-ko}{ke-1}-(ki-kv-1)}{(ki2-ko2)\frac{kp-ko}{ke-1}-ki+ko}Vref \quad (48)$$

【 0 1 1 5 】

式(46)よりVinの中央値である校正値Vincは以下のように得られる。

【 0 1 1 6 】

【数 3 7】

$$Vinc = \frac{Vref}{2} \left\{ \frac{(ki2-kvc)\frac{kp-ko}{ke-1}-(ki-kv+1)}{(ki2-ko2)\frac{kp-ko}{ke-1}-ki+ko} + \frac{(ki2-kvc)\frac{kp-ko}{ke-1}-(ki-kv-1)}{(ki2-ko2)\frac{kp-ko}{ke-1}-ki+ko} \right\} \quad (49)$$

【 0 1 1 7 】

Vref-Vofc Vinの場合では、式(37)と式(36)の差をとり以下の式を得る。

【 0 1 1 8 】

【数 3 8】

$$0 = (ki2 - ks2)VGp - (Ki - Ks)VGn - Vs \quad (50)$$

【 0 1 1 9 】

式(37)と式(33)の差をとり以下の式を得る。

【 0 1 2 0 】

【数 3 9】

$$0 = (ki2 - kvc)VGp - (Ki - Kv)VGn - Vin + Vs$$

$$Vin = (ki2 - kvc)VGp - (Ki - Kv)VGn + Vs \quad (51)$$

【 0 1 2 1 】

式(50)と式(51)の和をとり式(39)と式(40)を代入すると以下の式を得る。

【 0 1 2 2 】

【数 4 0】

$$Vin = (2ki2 - kvc - ks2)VGp - (2Ki - Kv - Ks)VGn$$

$$Vin = (2ki2 - kvc - ks2) \frac{\frac{kp-ko}{ke-1}}{(ki2-ko2)\frac{kp-ko}{ke-1}-ki+ko} Vref - (2Ki - Kv -$$

$$Ks) \frac{Vref}{(ki2-ko2)\frac{kp-ko}{ke-1}-ki+ko}$$

$$Vin = \frac{(2ki2-kvc-ks2)\frac{kp-ko}{ke-1}-(2Ki-Kv-Ks)}{(ki2-ko2)\frac{kp-ko}{ke-1}-ki+ko} Vref \quad (52)$$

【 0 1 2 3 】

式(52)を kv、 ki、 ko、 kp、 ksで偏微分すると以下の式を得る。

【 0 1 2 4 】

10

20

30

40

50

## 【数 4 1】

$$\frac{\partial V_{in}}{\partial (\delta kv)} = \frac{V_{ref}}{(ki2-ko2)\frac{Kp-Ko}{ke-1}-Ki+Ko} > 0 \quad (53)$$

$$\frac{\partial V_{in}}{\partial (\delta ks)} = \frac{V_{ref}}{(ki2-ko2)\frac{Kp-Ko}{ke-1}-Ki+Ko} > 0 \quad (54)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial V_{in}}{\partial (\delta ki)} &= \frac{-2V_{ref}}{(ki2-ko2)\frac{Kp-Ko}{ke-1}-Ki+Ko} - \frac{\{(2ki2-kvc-ks2)\frac{Kp-Ko}{ke-1}-(2Ki-Kv-Ks)\}(-1)}{\{(ki2-ko2)\frac{Kp-Ko}{ke-1}-Ki+Ko\}^2} V_{ref} \\ &= \frac{-2(ki2-ko2)\frac{Kp-Ko}{ke-1}+2Ki-2Ko+\{(2ki2-kvc-ks2)\frac{Kp-Ko}{ke-1}-(2Ki-Kv-Ks)\}}{\{(ki2-ko2)\frac{Kp-Ko}{ke-1}-Ki+Ko\}^2} V_{ref} \\ &= \frac{(2ko2-kvc-ks2)\frac{Kp-Ko}{ke-1}+Kv+Ks-2Ko}{\{(ki2-ko2)\frac{Kp-Ko}{ke-1}-Ki+Ko\}^2} V_{ref} < 0 \end{aligned} \quad (55)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial V_{in}}{\partial (\delta kp)} &= \frac{1}{ke-1} \frac{(2ki2-kvc-ks2)V_{ref}}{(ki2-ko2)\frac{Kp-Ko}{ke-1}-Ki+Ko} - \frac{(ki2-ko2)\{(2ki2-kvc-ks2)\frac{Kp-Ko}{ke-1}-(2Ki-Kv-Ks)\}}{\{(ki2-ko2)\frac{Kp-Ko}{ke-1}-Ki+Ko\}^2} V_{ref} \\ &= \frac{(2ki2-kvc-ks2)\{(ki2-ko2)\frac{Kp-Ko}{ke-1}-Ki+Ko\}-(ki2-ko2)\{(2ki2-kvc-ks2)\frac{Kp-Ko}{ke-1}-(2Ki-Kv-Ks)\}}{(ke-1)\{(ki2-ko2)\frac{Kp-Ko}{ke-1}-Ki+Ko\}^2} V_{ref} \\ &= \frac{(2ki2-kvc-ks2)\{-Ki+Ko\}+(ki2-ko2)(2Ki-Kv-Ks)}{(ke-1)\{(ki2-ko2)\frac{Kp-Ko}{ke-1}-Ki+Ko\}^2} V_{ref} \\ &= \frac{ki2(2Ko-Kv-Ks)+(kvc+ks2)(Ki-Ko)-ko2(2Ki-Kv-Ks)}{(ke-1)\{(ki2-ko2)\frac{Kp-Ko}{ke-1}-Ki+Ko\}^2} V_{ref} \end{aligned} \quad (56)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial V_{in}}{\partial (\delta ko)} &= \frac{1}{ke-1} \frac{-(2ki2-kvc-ks2)V_{ref}}{(ki2-ko2)\frac{Kp-Ko}{ke-1}-Ki+Ko} - \frac{-(ki2-ko2)+1\{(2ki2-kvc-ks2)\frac{Kp-Ko}{ke-1}-(2Ki-Kv-Ks)\}}{\{(ki2-ko2)\frac{Kp-Ko}{ke-1}-Ki+Ko\}^2} V_{ref} \\ &= \frac{-(2ki2-kvc-ks2)\{(ki2-ko2)\frac{Kp-Ko}{ke-1}-Ki+Ko\}+(ki2-ko2-1)\{(2ki2-kvc-ks2)\frac{Kp-Ko}{ke-1}-(2Ki-Kv-Ks)\}}{(ke-1)\{(ki2-ko2)\frac{Kp-Ko}{ke-1}-Ki+Ko\}^2} V_{ref} \\ &= \frac{-\{(2ki2-kvc-ks2)\frac{Kp-Ko}{ke-1}-(2Ki-Kv-Ks)\}+(2ki2-kvc-ks2)(Ki-Ko)+(ki2-ko2-1)(2Ki-Kv-Ks)}{(ke-1)\{(ki2-ko2)\frac{Kp-Ko}{ke-1}-Ki+Ko\}^2} V_{ref} < 0 \end{aligned} \quad (57)$$

## 【0 1 2 5】

式(53)、式(54)、式(55)、式(57)より、 $V_{in}$ は  $ki$ と  $ko$ に対して単調減少であり、 $kv$ と  $ks$ に対して単調増加である。 $V_{in}/(kp)$  0の場合では $V_{in}$ は  $kp$ に対して単調増加であるため $V_{in}$ の範囲は以下の式で表される。

## 【0 1 2 6】

## 【数 4 2】

$$\begin{aligned} \frac{(2ki2-kvc-ks2)\frac{kp-ko-1}{ke-1}-(2ki-kv-ks+2)}{(ki2-ko2)\frac{kp-ko-1}{ke-1}-ki+ko} V_{ref} < V_{in} < \\ \frac{(2ki2-kvc-ks2)\frac{kp-ko+1}{ke-1}-(2ki-kv-ks-2)}{(ki2-ko2)\frac{kp-ko+1}{ke-1}-ki+ko} V_{ref} \end{aligned} \quad (58)$$

## 【0 1 2 7】

式(58)より $V_{in}$ の中央値である校正値 $V_{inc}$ は以下のように得られる。

10

20

30

40

50

【 0 1 2 8 】

【数 4 3】

$$V_{inc} = \frac{V_{ref}}{2} \left\{ \frac{(2ki2-kvc-ks2) \frac{kp-ko-1}{ke-1} - (2ki-kv-ks+2)}{(ki2-ko2) \frac{kp-ko-1}{ke-1} - ki+ko} + \frac{(2ki2-kvc-ks2) \frac{kp-ko+1}{ke-1} - (2ki-kv-ks-2)}{(ki2-ko2) \frac{kp-ko+1}{ke-1} - ki+ko} \right\} \quad (59)$$

【 0 1 2 9 】

$V_{in} / (k_p) = 0$  の場合では  $V_{in}$  は  $k_p$  に対して単調減少であるため  $V_{in}$  の範囲は以下の式で表される。

【 0 1 3 0 】

【数 4 4】

$$\frac{(2ki2-kvc-ks2) \frac{kp-ko}{ke-1} - (2ki-kv-ks+2)}{(ki2-ko2) \frac{kp-ko}{ke-1} - ki+ko} V_{ref} < V_{in} < \frac{(2ki2-kvc-ks2) \frac{kp-ko}{ke-1} - (2ki-kv-ks-2)}{(ki2-ko2) \frac{kp-ko}{ke-1} - ki+ko} V_{ref} \quad (60)$$

【 0 1 3 1 】

式 (60) より  $V_{in}$  の中央値である校正値  $V_{inc}$  は以下のように得られる。

【 0 1 3 2 】

【数 4 5】

$$V_{inc} = \frac{V_{ref}}{2} \left\{ \frac{(2ki2-kvc-ks2) \frac{kp-ko}{ke-1} - (2ki-kv-ks+2)}{(ki2-ko2) \frac{kp-ko}{ke-1} - ki+ko} + \frac{(2ki2-kvc-ks2) \frac{kp-ko}{ke-1} - (2ki-kv-ks-2)}{(ki2-ko2) \frac{kp-ko}{ke-1} - ki+ko} \right\} \quad (61)$$

【 0 1 3 3 】

以上説明したように、変形例 1 の A/D コンバータ 200 は、積算部 52 を含む積算変換部 50 と、差分電圧計測処理部 410 を含む校正制御部 41 とを備える。

【 0 1 3 4 】

積算部 52 は、単位電圧の中で絶対値の最も大きな粗調整正単位電圧  $V_{Gp2}$  と、該粗調整正単位電圧  $V_{Gp2}$  よりも絶対値の小さな微調整正単位電圧  $V_{Gp1}$  と、容量  $C_o$  に、入力電圧とベース電圧部 521 が生成する所定のベース電圧との差分の電圧を充電する差分演算部 520 とを備える。

【 0 1 3 5 】

校正制御部 41 は、粗調整正単位電圧  $V_{Gp2}$  を積算した積算電圧が基準電圧  $V_{ref}$  と比較器 34 のオフセット電圧との和の電圧を越えたら、該積算電圧を更に微調整正単位電圧  $V_{Gp1}$  で積算する差分電圧計測処理部 410 を備える。

【 0 1 3 6 】

これにより、比較器 34 のオフセットや積算単位を構成する容量  $C_o$  等が経時変化により変動しても、校正時と変換時で得た積算回数を用いて入力電圧の変換値  $V_{inc}$  が得られ長期安定性の高い A/D コンバータを提供できる。

【 0 1 3 7 】

〔第 2 実施形態〕

図 13 は、本発明の第 2 実施形態に係る A/D コンバータ 300 の構成例を示す機能ブロック図である。図 13 に示す A/D コンバータ 300 は、負電流源 321 を具備しない積算変換部 70 を備える点で第 1 の実施例と異なる。図 13 は、1 種の電流値 (正電流源 320) で 2 種の単位電圧を生成しているが、2 種以上の電流値で生成した 2 種以上の単位電圧を積算するようにしても良い。

【 0 1 3 8 】

10

20

30

40

50

積算変換部70は、入力電圧が基準電圧より大きい場合に入力電圧とベース電圧の差を初期値として保持する処理により入力電圧の範囲を電源電圧からグランドまでとでき、容量Coとグランド間に抵抗部720を設けることにより正電流源320のみで粗調整と微調整を可能にしている。

【0139】

積算部72は、蓄積した電荷により積算電圧を発生させる容量Coと、ベース電圧Vbsを出力するベース電圧部521と、入力電圧とベース電圧の差を容量Coに保持する時に接続を切替える差分演算部520と、容量Coの電流源に接続される端子とは別の端子をグランドに接続する時に容量Coとグランド間に接続する抵抗部720と、粗調整正単位電圧と微調整正単位電圧を発生させる正電流源320と、容量Coと正電流源320を接続・切断するSW1と、容量Coに初期値を与える時に接続するSW3とを有する。

10

【0140】

入力電圧Vinとベース電圧Vbsの差をとる時の動作は図7に示した積算部52と同じなため説明を割愛する。

【0141】

積算部72で変換時において実施される変換制御部22の処理フローを図14に示す。図7に示した積算部52の第1の変形例での変換制御部22の処理フロー(図10)とは、粗調・微調切替積算回数計測ステップS63を用いるところが異なる。粗調・微調切替積算回数計測ステップS63では、はじめに粗調整正単位電圧VGp2で積算した後、微調整正単位電圧VGp1で積算する。粗調整正単位電圧VGp2と微調整正単位電圧VGp1での正電流源の電流値をそれぞれI2、I1とする。図15(a)と(b)に本積算部72での積算電圧および電流値と積算回数kの関係を示す。VGp2で積算している時では、正電流源320からI2の電流が容量Coだけでなく抵抗部にも流れる。抵抗部の抵抗をRgとするとI2の電流が流れている瞬間では積算電圧にRg I2の電圧が重畳している。I2の電流が流れなくなった時では抵抗部720で生じる電圧がゼロになるため、積算電圧は式(1)に従う。本積算部72では、正電流源320からVGp2を生じさせる電流が流れているときの積算電圧に抵抗部720で生じる電圧が重畳しているときの電圧が基準電圧Vrefとオフセット電圧の和を超えたら、VGp1を生じさせる電流に正電流源320の電流を切替える。kvc回目のVGp2での積算で基準電圧Vrefとオフセット電圧の和 積算電圧となったとすると、kvcを粗調整積算回数と定義する。また、VGp1で積算を開始してからkvf+1回目で基準電圧Vrefとオフセット電圧の和 積算電圧となったとすると、kvfを微調整積算回数と定義する。記憶ステップS64ではkvcとkvfを記憶する。入力電圧VinがVref-Vofc Vinの場合のVinと粗調整積算回数kvcおよび微調整積算回数kvfの関係は以下の式で表される。

20

30

【0142】

【数46】

$$V_{ref} - V_{ofc} = k_{vc} V_{Gp2} + (k_{vf} + \delta k_{v}) V_{Gp1} + V_{in} \quad (62)$$

【0143】

式(62)でVGp1 kvは基準電圧およびオフセット電圧の和と比較信号が状態変化する直前の積算電圧Vrefの差を表し、 kvは0以上1未満の実数である。

40

【0144】

また、入力電圧VinがVref-Vofc Vinの場合のVinとkvcおよびkvfの関係は以下の式で表される。

【0145】

【数47】

$$V_{ref} - V_{ofc} = k_{vc} V_{Gp2} + (k_{vf} + \delta k_{v}) V_{Gp1} + V_{in} - V_s \quad (63)$$

【0146】

校正時では、オフセット計測処理、単位電圧相関計測処理、差分電圧計測処理、単位電

50

圧計測処理を、それぞれオフセット計測処理部、単位電圧相関計測処理部、差分電圧計測処理部、単位電圧計測処理部で実施する。オフセット計測処理で図7の積算部52の第1の変形例との異なる個所は、増減積算回数計測ステップが粗調・微調切替積算回数計測ステップとなることである。ko2回目のVGp2での積算で基準電圧とオフセット電圧の和積算電圧となったとすると、ko2を粗調整オフセット積算回数と定義し、VGp1で積算を開始してからko1+1回目で基準電圧とオフセット電圧の和積算電圧となったとすると、ko1を微調整オフセット積算回数と定義する。積算電圧と基準電圧の関係式は以下で表される。

【0147】

【数48】

$$V_{ref} - V_{ofc} = ko2 \cdot VGp2 + (ko1 + \delta ko)VGp1 + V_{ref} \quad (64)$$

10

【0148】

単位電圧相関計測処理の処理フローを図16に示す。基準電圧プリチャージステップS70は、図1の実施形態や図7の積算部52の第1の変形例と同じなため説明を割愛する。予備積算ステップS71ではオフセット計測処理で得られた粗調整オフセット積算回数ko2より1回少ない積算回数でVGp2を用いて積算する。この後、微調整積算回数ステップS72で基準電圧Vrefとオフセット電圧の和積算電圧となるまでVGp1で積算する。kp+1回目のVGp1での積算で基準電圧Vrefとオフセット電圧の和積算電圧となったとすると、kpを正相関積算回数と定義する。積算電圧と基準電圧Vrefの関係式は以下で表される。

20

【0149】

【数49】

$$V_{ref} - V_{ofc} = (ko2 - 1)VGp2 + (kp + \delta kp)VGp1 + V_{ref} \quad (65)$$

【0150】

差分電圧計測処理と単位電圧計測処理で図7の積算部52の第1の変形例との異なる個所は、増減積算回数計測ステップが粗調・微調切替積算回数計測ステップとなることである。差分電圧計測処理において、ks2回目の粗調整正単位電圧での積算で基準電圧Vrefとオフセット電圧の和積算電圧となったとすると、ks2を粗調整差分電圧積算回数と定義し、微調整正単位電圧で積算を開始してからks1+1回目で基準電圧Vrefとオフセット電圧の和積算電圧となったとすると、ks1を微調整差分電圧積算回数と定義する。

30

【0151】

単位電圧計測処理において、ki2回目の粗調整正単位電圧での積算で基準電圧Vrefとオフセット電圧の和積算電圧となったとすると、ki2を粗調整単位電圧積算回数と定義し、微調整正単位電圧で積算を開始してからki1+1回目で基準電圧Vrefとオフセット電圧の和積算電圧となったとすると、ki1を微調整単位電圧積算回数と定義する。それぞれ、基準電圧Vrefと積算電圧の関係は以下の式で表される。

【0152】

【数50】

$$V_{ref} - V_{ofc} = ks2 \cdot VGp2 + (ks1 + \delta ks)VGp1 + V_s \quad (66)$$

$$V_{ref} - V_{ofc} = ki2 \cdot VGp2 + (ki1 + \delta ki)VGp1 \quad (67)$$

40

【0153】

差分電圧計測処理は入力電圧が基準電圧より低い場合は実施しなくてもよい。

【0154】

表記を簡単にするためにkvf+ kv=Kv、ko1+ ko=Ko、kp+ kp=Kp、ki1+ ki=Ki、ks1+ ks=Ksとし、式(64)と式(65)の差をとることにより以下の式を得る。

50

【 0 1 5 5 】

【数 5 1】

$$0 = VGp2 + (Ko - Kp)VGp1$$

$$VGp2 = (Kp - Ko)VGp1 \quad (68)$$

【 0 1 5 6 】

式(65)と式(63)の差をとり式(66)を代入すると以下の式を得る。

【 0 1 5 7 】

【数 5 2】

$$0 = (ki2 - ko2) (Kp - Ko)VGp1 + (Ki - Ko)VGp1 - Vref$$

$$VGp1 = \frac{1}{(ki2 - ko2) (Kp - Ko) + (Ki - Ko)} Vref \quad (69)$$

【 0 1 5 8 】

$Vref - Vofc$   $Vin$ の場合では、式(67)と式(62)の差をとり式(68)、式(69)を代入すると以下の式を得る。

【 0 1 5 9 】

【数 5 3】

$$0 = (ki2 - kvc) VGp2 + (Ki - Kv)VGp1 - Vin$$

$$Vin = \frac{(ki2 - kvc) (Kp - Ko) + (Ki - Kv)}{(ki2 - ko2) (Kp - Ko) + (Ki - Ko)} Vref \quad (70)$$

【 0 1 6 0 】

式(70)に含まれる  $kv$ 、 $ki$ 、 $kp$ 、 $ko$ は0以上1未満の実数であるが、具体的な値は不明である。この  $kv$ 、 $ki$ 、 $kp$ 、 $ko$ の不確かさのため  $Vin$ のとり得る値は範囲を持つ。 $Vin$ の校正値は、 $Vin$ の範囲の中央値により決定する。式(70)を  $kv$ 、 $ki$ 、 $ko$ 、 $kp$ で偏微分すると以下の式を得る。

【 0 1 6 1 】

【数 5 4】

10

20

30

40

50

$$\frac{\partial V_{in}}{\partial (\delta kv)} = \frac{-1}{(ki2-ko2) (Kp-Ko)+(Ki-Ko)} V_{ref} < 0 \quad (71)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial V_{in}}{\partial (\delta ki)} &= \frac{1}{(ki2-ko2) (Kp-Ko)+(Ki-Ko)} V_{ref} - \frac{\{(ki2-kvc) (Kp-Ko)+(Ki-Kv)\}}{\{(ki2-ko2) (Kp-Ko)+(Ki-Ko)\}^2} V_{ref} \\ &= \frac{(ki2-ko2) (Kp-Ko)+(Ki-Ko)-\{(ki2-kvc) (Kp-Ko)+(Ki-Kv)\}}{\{(ki2-ko2) (Kp-Ko)+(Ki-Ko)\}^2} V_{ref} \\ &= \frac{(kvc-ko2) (Kp-Ko)+(Kv-Ko)}{\{(ki2-ko2) (Kp-Ko)+(Ki-Ko)\}^2} V_{ref} > 0 \end{aligned} \quad (72)$$

10

$$\begin{aligned} \frac{\partial V_{in}}{\partial (\delta kp)} &= \frac{(ki2-kvc)}{(ki2-ko2) (Kp-Ko)+(Ki-Ko)} V_{ref} - \frac{\{(ki2-kvc) (Kp-Ko)+(Ki-Kv)\}(ki2-ko2)}{\{(ki2-ko2) (Kp-Ko)+(Ki-Ko)\}^2} V_{ref} \\ &= \frac{\{(ki2-ko2) (Kp-Ko)+(Ki-Ko)\}(ki2-kvc)-\{(ki2-kvc) (Kp-Ko)+(Ki-Kv)\}(ki2-ko2)}{\{(ki2-ko2) (Kp-Ko)+(Ki-Ko)\}^2} V_{ref} \\ &= \frac{(Ki-Ko)(ki2-kvc)-(Ki-Kv)(ki2-ko2)}{\{(ki2-ko2) (Kp-Ko)+(Ki-Ko)\}^2} V_{ref} \\ &= \frac{(Kv-Ko)ki2-kvc(Ki-Ko)-ko2(Ki-Kv)}{\{(ki2-ko2) (Kp-Ko)+(Ki-Ko)\}^2} V_{ref} \end{aligned} \quad (73)$$

20

$$\begin{aligned} \frac{\partial V_{in}}{\partial (\delta ko)} &= \frac{-(ki2-kvc)}{(ki2-ko2) (Kp-Ko)+(Ki-Ko)} V_{ref} - \frac{\{(ki2-kvc) (Kp-Ko)+(Ki-Kv)\}(-ki2+ko2-1)}{\{(ki2-ko2) (Kp-Ko)+(Ki-Ko)\}^2} V_{ref} \\ &= \frac{-\{(ki2-ko2) (Kp-Ko)+(Ki-Ko)\}(ki2-kvc)+\{(ki2-kvc) (Kp-Ko)+(Ki-Kv)\}(ki2-ko2+1)}{\{(ki2-ko2) (Kp-Ko)+(Ki-Ko)\}^2} V_{ref} \\ &= \frac{(ki2-kvc) (Kp-Ko)+(Ki-Kv)-(Ki-Ko)(ki2-kvc)+(Ki-Kv)(ki2-ko2)}{\{(ki2-ko2) (Kp-Ko)+(Ki-Ko)\}^2} V_{ref} \\ &= \frac{(ki2-kvc) (Kp-Ki)+(Ki-Kv)(ki2-ko2+1)}{\{(ki2-ko2) (Kp-Ko)+(Ki-Ko)\}^2} V_{ref} > 0 \end{aligned} \quad (74)$$

30

【0162】

式(71)、式(72)、式(74)より、 $V_{in}$ は  $kv$ に対して単調減少であり、 $ki$ と  $ko$ に対して単調増加である。 $V_{in}/(kp) = 0$ の場合では $V_{in}$ は  $kp$ に対して単調増加であるため $V_{in}$ の範囲は以下の式で表される。

【0163】

【数55】

$$\frac{(ki2-kvc) (kp-ko)+(ki-kv-1)}{(ki2-ko2) (kp-ko)+(ki-ko)} V_{ref} < V_{in} < \frac{(ki2-kvc) (kp-ko)+(ki-kv+1)}{(ki2-ko2) (kp-ko)+(ki-ko)} V_{ref} \quad (75)$$

【0164】

40

式(75)より $V_{in}$ の中央値である校正値 $V_{inc}$ は以下のように得られる。

【0165】

【数56】

$$V_{in} = \frac{V_{ref}}{2} \left\{ \frac{(ki2-kvc) (kp-ko)+(ki-kv-1)}{(ki2-ko2) (kp-ko)+(ki-ko)} + \frac{(ki2-kvc) (kp-ko)+(ki-kv+1)}{(ki2-ko2) (kp-ko)+(ki-ko)} \right\} \quad (76)$$

【0166】

$V_{in}/(kp) = 0$ の場合では $V_{in}$ は  $kp$ に対して単調減少であるため $V_{in}$ の範囲は以下の式で表される。

【0167】

50

【数 5 7】

$$\frac{(ki2-kvc)(kp-ko+1)+(ki-kv-1)}{(ki2-ko2)(kp-ko+1)+(ki-ko)}V_{ref} < V_{in} < \frac{(ki2-kvc)(kp-ko-1)+(ki-kv+1)}{(ki2-ko2)(kp-ko-1)+(ki-ko)}V_{ref} \quad (77)$$

【0 1 6 8】

式(75)より $V_{in}$ の中央値である校正値 $V_{inc}$ は以下のように得られる。

【0 1 6 9】

【数 5 8】

$$V_{in} = \frac{V_{ref}}{2} \left\{ \frac{(ki2-kvc)(kp-ko+1)+(ki-kv-1)}{(ki2-ko2)(kp-ko+1)+(ki-ko)} + \frac{(ki2-kvc)(kp-ko-1)+(ki-kv+1)}{(ki2-ko2)(kp-ko-1)+(ki-ko)} \right\} \quad (78) \quad 10$$

【0 1 7 0】

$V_{ref}-V_{ofc}$   $V_{in}$ の場合では、式(67)と式(63)の差をとると以下の式を得る。

【0 1 7 1】

【数 5 9】

$$0 = (ki2 - kvc) VGp2 + (Ki - Kv)VGp1 - V_{in} + V_s \quad (79)$$

【0 1 7 2】

また、式(67)と式(66)の差を取ると以下の式を得る。

【0 1 7 3】

【数 6 0】

$$0 = (ki2 - ks2) VGp2 + (Ki - Ks)VGp1 - V_s \quad (80) \quad 20$$

【0 1 7 4】

式(79)と式(80)の和をとって式(68)、式(69)を代入すると以下の式を得る。

【0 1 7 5】

【数 6 1】

$$0 = (2ki2 - kvc - ks2) VGp2 + (2Ki - Kv - Ks)VGp1 - V_{in}$$

$$V_{in} = (2ki2 - kvc - ks2) VGp2 + (2Ki - Kv - Ks)VGp1$$

$$V_{in} = \frac{(2ki2-kvc-ks2)(Kp-Ko)+(2Ki-Kv-Ks)}{(ki2-ko2)(Kp-Ko)+(Ki-Ko)}V_{ref} \quad (81) \quad 30$$

【0 1 7 6】

式(81)を  $ks$ 、  $kv$ 、  $ki$ 、  $ko$ 、  $kp$ で偏微分すると以下の式を得る。

【0 1 7 7】

【数 6 2】

$$\frac{\partial V_{in}}{\partial (\delta k_s)} = \frac{-1}{(k_i2 - k_o2)(K_p - K_o) + (K_i - K_o)} V_{ref} < 0 \quad (82)$$

$$\frac{\partial V_{in}}{\partial (\delta k_v)} = \frac{-1}{(k_i2 - k_o2)(K_p - K_o) + (K_i - K_o)} V_{ref} < 0 \quad (83)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial V_{in}}{\partial (\delta k_i)} &= \frac{2}{(k_i2 - k_o2)(K_p - K_o) + (K_i - K_o)} V_{ref} - \frac{(2k_i2 - k_{vc} - k_s2)(K_p - K_o) + (2K_i - K_v - K_s)}{\{(k_i2 - k_o2)(K_p - K_o) + (K_i - K_o)\}^2} V_{ref} \\ &= \frac{2\{(k_i2 - k_o2)(K_p - K_o) + (K_i - K_o)\} - \{(2k_i2 - k_{vc} - k_s2)(K_p - K_o) + (2K_i - K_v - K_s)\}}{\{(k_i2 - k_o2)(K_p - K_o) + (K_i - K_o)\}^2} V_{ref} \\ &= \frac{(k_{vc} + k_s2 - 2k_o2)(K_p - K_o) + (K_v + K_s - 2K_o)}{\{(k_i2 - k_o2)(K_p - K_o) + (K_i - K_o)\}^2} V_{ref} > 0 \end{aligned} \quad (84)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial V_{in}}{\partial (\delta k_p)} &= \frac{(2k_i2 - k_{vc} - k_s2)}{(k_i2 - k_o2)(K_p - K_o) + (K_i - K_o)} V_{ref} - \\ &\frac{\{(2k_i2 - k_{vc} - k_s2)(K_p - K_o) + (2K_i - K_v - K_s)\}(k_i2 - k_o2)}{\{(k_i2 - k_o2)(K_p - K_o) + (K_i - K_o)\}^2} V_{ref} \\ &= \\ &\frac{\{(k_i2 - k_o2)(K_p - K_o) + (K_i - K_o)\}(2k_i2 - k_{vc} - k_s2) - \{(2k_i2 - k_{vc} - k_s2)(K_p - K_o) + (2K_i - K_v - K_s)\}(k_i2 - k_o2)}{\{(k_i2 - k_o2)(K_p - K_o) + (K_i - K_o)\}^2} V_{ref} \\ &= \frac{(K_i - K_o)(2k_i2 - k_{vc} - k_s2) - (2K_i - K_v - K_s)(k_i2 - k_o2)}{\{(k_i2 - k_o2)(K_p - K_o) + (K_i - K_o)\}^2} V_{ref} \end{aligned} \quad (85)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial V_{in}}{\partial (\delta k_o)} &= \frac{-(2k_i2 - k_{vc} - k_s2)}{(k_i2 - k_o2)(K_p - K_o) + (K_i - K_o)} V_{ref} - \\ &\frac{\{(2k_i2 - k_{vc} - k_s2)(K_p - K_o) + (2K_i - K_v - K_s)\}(-k_i2 + k_o2 - 1)}{\{(k_i2 - k_o2)(K_p - K_o) + (K_i - K_o)\}^2} V_{ref} \\ &= \\ &\frac{-\{(k_i2 - k_o2)(K_p - K_o) + (K_i - K_o)\}(2k_i2 - k_{vc} - k_s2) + \{(2k_i2 - k_{vc} - k_s2)(K_p - K_o) + (2K_i - K_v - K_s)\}(k_i2 - k_o2 + 1)}{\{(k_i2 - k_o2)(K_p - K_o) + (K_i - K_o)\}^2} V_{ref} \\ &= \frac{(2k_i2 - k_{vc} - k_s2)(K_p - K_o) + (2K_i - K_v - K_s) - (K_i - K_o)(2k_i2 - k_{vc} - k_s2) + (2K_i - K_v - K_s)(k_i2 - k_o2)}{\{(k_i2 - k_o2)(K_p - K_o) + (K_i - K_o)\}^2} V_{ref} \\ &= \frac{(2k_i2 - k_{vc} - k_s2)(K_p - K_i) + (2K_i - K_v - K_s) + (2K_i - K_v - K_s)(k_i2 - k_o2)}{\{(k_i2 - k_o2)(K_p - K_o) + (K_i - K_o)\}^2} V_{ref} > 0 \end{aligned} \quad (86)$$

【 0 1 7 8 】

式(82)、式(83)、式(84)、式(86)より、 $V_{in}$ は  $k_v$ と  $k_s$ に対して単調減少であり、 $k_i$ と  $k_o$ に対して単調増加である。 $V_{in}/(k_p) = 0$ の場合では $V_{in}$ は  $k_p$ に対して単調増加であるため $V_{in}$ の範囲は以下の式で表される。

【 0 1 7 9 】

【 数 6 3 】

$$\begin{aligned} \frac{(2k_i2 - k_{vc} - k_s2)(K_p - K_o) + (2K_i - K_v - K_s - 2)}{(k_i2 - k_o2)(K_p - K_o) + (K_i - K_o)} V_{ref} &< V_{in} < \\ \frac{(2k_i2 - k_{vc} - k_s2)(K_p - K_o) + (2K_i - K_v - K_s + 2)}{(k_i2 - k_o2)(K_p - K_o) + (K_i - K_o)} V_{ref} \end{aligned} \quad (87)$$

【 0 1 8 0 】

式 ( 8 7 ) より  $V_{in}$  の中央値である校正値  $V_{inc}$  は以下のように得られる。

【 0 1 8 1 】

【 数 6 4 】

$$V_{in} = \frac{V_{ref}}{2} \left\{ \frac{(2k_{i2}-k_{vc}-k_{s2})(K_p-K_o)+(2K_i-K_v-K_s-2)}{(k_{i2}-k_{o2})(K_p-K_o)+(K_i-K_o)} + \frac{(2k_{i2}-k_{vc}-k_{s2})(K_p-K_o)+(2K_i-K_v-K_s+2)}{(k_{i2}-k_{o2})(K_p-K_o)+(K_i-K_o)} \right\} \quad (88)$$

【 0 1 8 2 】

$V_{in}/(k_p) = 0$  の場合では  $V_{in}$  は  $k_p$  に対して単調減少であるため  $V_{in}$  の範囲は以下の式で表される。

【 0 1 8 3 】

【 数 6 5 】

$$\frac{(2k_{i2}-k_{vc}-k_{s2})(K_p-K_o+1)+(2K_i-K_v-K_s-2)}{(k_{i2}-k_{o2})(K_p-K_o+1)+(K_i-K_o)} V_{ref} < V_{in} < \frac{(2k_{i2}-k_{vc}-k_{s2})(K_p-K_o-1)+(2K_i-K_v-K_s+2)}{(k_{i2}-k_{o2})(K_p-K_o-1)+(K_i-K_o)} V_{ref} \quad (89)$$

【 0 1 8 4 】

式 ( 8 7 ) より  $V_{in}$  の中央値である校正値  $V_{inc}$  は以下のように得られる。

【 0 1 8 5 】

【 数 6 6 】

$$V_{inc} = \frac{V_{ref}}{2} \left\{ \frac{(2k_{i2}-k_{vc}-k_{s2})(K_p-K_o+1)+(2K_i-K_v-K_s-2)}{(k_{i2}-k_{o2})(K_p-K_o+1)+(K_i-K_o)} + \frac{(2k_{i2}-k_{vc}-k_{s2})(K_p-K_o-1)+(2K_i-K_v-K_s+2)}{(k_{i2}-k_{o2})(K_p-K_o-1)+(K_i-K_o)} \right\} \quad (90)$$

【 0 1 8 6 】

以上説明したように、第 2 実施形態に係る A/D コンバータ 300 は、積算部 72 を含む積算変換部 70 と、単位電圧相関計測処理部 610 を含む校正制御部 61 とを備える。

【 0 1 8 7 】

積算変換部 70 は、単位電圧を保持する容量  $C_o$  に、変換時は入力電圧を接続させ、校正時は基準電圧  $V_{ref}$  又は接地電圧を接続させる切替部 31 と、変換時は容量  $C_o$  に入力電圧を保持させた後に、容量  $C_o$  を大きさの異なる複数の電流の何れかで充電して積算電圧を生成する正電流源 320 と、容量  $C_o$  の正電流源 320 と反対側の端に、所定のベース電圧を生成するベース電圧部 521、又は接地電圧に接続された抵抗部 720 を接続させる差分演算部 520 とを備える積算部 72 と、基準電圧  $V_{ref}$  を一方の出力端に出力し、積算電圧を他方の出力端に出力する場合と、基準電圧  $V_{ref}$  を他方の出力端に出力し、積算電圧を一方の出力端に出力する場合とを切り替えるクロス・バースイッチ 33 と、一方の出力端と負入力端を接続し、他方の出力端と正入力端を接続させ正入力端の電圧が負入力端の電圧を越えた場合に比較信号を出力する比較器 34 とを備える。

【 0 1 8 8 】

校正制御部 61 は、絶対値の大きな正の電流で生成した単位電圧である粗調整正単位電圧で積算した積算電圧が基準電圧  $V_{ref}$  と比較器 34 のオフセット電圧の和を越えたら、積算電圧を粗調整正単位電圧よりも絶対値の小さな微調整正単位電圧で積算する単位電圧相関計測処理部 610 を備える。

【 0 1 8 9 】

10

20

30

40

50

これにより、比較器 3 4 のオフセットや積算単位を構成する容量 Co 等が経時変化により変動しても、校正時と変換時で得た積算回数を用いて入力電圧の変換値 Vinc が得られ長期安定性の高い A D コンバータを提供できる。

【 0 1 9 0 】

上述の本積算部 7 2 の動作では 1 回の積算で正電流源 3 2 0 の電流の出力と停止を行ったが、比較器 3 4 で基準電圧 Vref とオフセット電圧の和 積算電圧となるまで正電流源 3 2 0 の電流を継続して出力する処理でもよい。また、粗調整単位電圧の場合ではオフセット電圧の和 積算電圧となるまで正電流源 3 2 0 の電流を継続して出力し、微調整単位電圧の場合では 1 回の積算で正電流源 3 2 0 の電流の出力と停止の処理を行ってもよい。さらには、微調整単位電圧の場合ではオフセット電圧の和 積算電圧となるまで正電流源 3 2 0 の電流を継続して出力し、粗調整単位電圧の場合では 1 回の積算で正電流源 3 2 0 の電流の出力と停止の処理を行ってもよい。

10

【 0 1 9 1 】

( 変形例 2 )

図 1 7 は、本発明の第 2 実施形態に係る A D コンバータ 3 0 0 を変形した変形例 2 の機能ブロック図を示す図である。図 1 7 に示す A D コンバータ 4 0 0 は、積算変換部 8 0 を備える点で A D コンバータ 3 0 0 と異なる。積算変換部 8 0 はしきい値電圧部 8 0 1 を備える。

【 0 1 9 2 】

図 1 3 のブロック図では比較器 3 4 で基準電圧と積算電圧を比較したが、本実施例では任意のしきい値電圧およびオフセット電圧の和と積算電圧を比較する。この処理のため積算変換部 8 0 にしきい値電圧部 8 0 1 を設けている。しきい値電圧部 8 0 1 以外の積算変換部 8 0 の構成は第 2 実施形態 ( 図 1 3 ) と同じである。

20

【 0 1 9 3 】

制御部 6 0 の処理も第 2 実施形態と同様に、変換時では変換制御部 6 0 で変換制御処理を実施し、校正時ではオフセット計測処理、単位電圧相関計測処理、差分電圧計測処理、単位電圧計測処理を、それぞれオフセット計測処理部 2 1 0、単位電圧相関計測処理部 6 1 0、差分電圧計測処理部 4 1 0、単位電圧計測処理部 2 1 2 で実施する。

【 0 1 9 4 】

変換制御処理において得られる積算電圧と基準電圧 Vref の関係式は、比較器 3 4 でしきい値電圧 Vt およびオフセット電圧の和と積算電圧を比較するため以下の式となる。

30

【 0 1 9 5 】

【 数 6 7 】

$$Vt - Vofc = kvc \ VGp2 + (kvf + \delta kv)VGp1 + Vin \quad ( 9 \ 1 )$$

$$Vt - Vofc = kvc \ VGp2 + (kvf + \delta kv)VGp1 + Vin - Vs \quad ( 9 \ 2 )$$

【 0 1 9 6 】

式 ( 9 1 ) が Vt-Vofc Vin の場合の関係式であり、式 ( 9 2 ) が Vt-Vofc Vin の場合の関係式である。

40

【 0 1 9 7 】

オフセット計測処理、単位電圧相関計測処理、差分電圧計測処理、単位電圧計測処理において積算電圧と基準電圧 Vref の関係式はそれぞれ以下の式となる。

【 0 1 9 8 】

【 数 6 8 】

$$Vt - Vofc = ko2 \ VGp2 + (ko1 + \delta ko)VGp1 + Vref \quad ( 9 \ 3 )$$

$$Vt - Vofc = (ko2 - 1)VGp2 + (kp + \delta kp)VGp1 + Vref \quad ( 9 \ 4 )$$

$$Vt - Vofc = ks2 \ VGp2 + (ks1 + \delta ks)VGp1 + Vs \quad ( 9 \ 5 )$$

$$Vt - Vofc = ki2 \ VGp2 + (ki1 + \delta ki)VGp1 \quad ( 9 \ 6 )$$

50

【 0 1 9 9 】

差分電圧計測処理は入力電圧が基準電圧より低い場合は実施しなくてもよい。

【 0 2 0 0 】

表記を簡単にするために  $k_{vf} + k_v = K_v$ 、 $k_{o1} + k_o = K_o$ 、 $k_p + k_{p1} = K_p$ 、 $k_{i1} + k_i = K_i$ 、 $k_{s1} + k_s = K_s$  とし、式 ( 9 3 ) と式 ( 9 4 ) の差をとることにより以下の式を得る。

【 0 2 0 1 】

【数 6 9 】

$$0 = V_{Gp2} + (K_o - K_p)V_{Gp1}$$

$$V_{Gp2} = (K_p - K_o)V_{Gp1} \quad (97)$$

10

【 0 2 0 2 】

式 ( 9 6 ) と式 ( 9 3 ) の差をとって式 ( 9 7 ) を代入すると以下の式を得る。

【 0 2 0 3 】

【数 7 0 】

$$0 = (k_{i2} - k_{o2}) V_{Gp2} + (K_i - K_o)V_{Gp1} - V_{ref}$$

$$V_{Gp1} = \frac{1}{(k_{i2} - k_{o2})(K_p - K_o) + (K_i - K_o)} V_{ref} \quad (98)$$

20

【 0 2 0 4 】

$V_t - V_{ofc}$   $V_{in}$  の場合では、式 ( 9 6 ) と式 ( 9 1 ) の差をとり、式 ( 9 7 ) および式 ( 9 8 ) を代入すると以下の式を得る。

【 0 2 0 5 】

【数 7 1 】

$$0 = (k_{i2} - k_{vc}) V_{Gp2} + (K_i - K_v)V_{Gp1} - V_{in}$$

$$V_{in} = \frac{(k_{i2} - k_{vc})(K_p - K_o) + (K_i - K_v)}{(k_{i2} - k_{o2})(K_p - K_o) + (K_i - K_o)} V_{ref} \quad (99)$$

30

【 0 2 0 6 】

$V_t - V_{ofc}$   $V_{in}$  の場合では、式 ( 9 6 ) および式 ( 9 2 ) の差と式 ( 9 6 ) および式 ( 9 5 ) の差との和をとり、式 ( 9 7 ) および式 ( 9 8 ) を代入すると以下の式を得る。

【 0 2 0 7 】

【数 7 2 】

$$0 = \{(k_{i2} - k_{vc}) V_{Gp2} + (K_i - K_v)V_{Gp1} - V_{in} + V_s\} + \{(k_{i2} - k_{s2}) V_{Gp2} + (K_i - K_s)V_{Gp1} - V_s\}$$

$$V_{in} = (2k_{i2} - k_{vc} - k_{s2}) V_{Gp2} + (2K_i - K_v - K_s)V_{Gp1}$$

$$V_{in} = \frac{(2k_{i2} - k_{vc} - k_{s2})(K_p - K_o) + (2K_i - K_v - K_s)}{(k_{i2} - k_{o2})(K_p - K_o) + (K_i - K_o)} V_{ref} \quad (100)$$

40

【 0 2 0 8 】

式 ( 9 9 ) は式 ( 7 0 ) と、式 ( 1 0 0 ) は式 ( 8 1 ) 同じであるため、本実施形態においても第 2 実施形態と同様の演算により  $V_{in}$  の範囲の中央値である入力電圧の変換値  $V_{inc}$  を得ることができる。

【 0 2 0 9 】

以上説明したように、変形例 2 の A/D コンバータ 4 0 0 は、しきい値電圧部 8 0 1 を含む積算変換部 8 0 を備える。

【 0 2 1 0 】

50

A Dコンバータ400は、校正のための測定器を必要としない自己校正機能付きA Dコンバータであって、基準電圧を生成する基準電圧部10と、積算電圧の変化量の単位である2つ以上の単位電圧を有し、変換時においては入力電圧を初期値とした積算電圧が所定のしきい値電圧を越えるまで2つ以上の単位電圧の何れか一つの単位電圧を積算する積算変換部80と、校正時に2つ以上の単位電圧と比較器34のオフセット電圧を校正する校正制御部61と、変換時に比較器34のオフセット電圧の極性を判定した後に、入力電圧をデジタル値に変換する変換制御部22とを有する制御部60とを備える。

【0211】

これにより、比較器34のオフセットや積算単位を構成する容量 $C_0$ 等が経時変化により変動しても、校正時と変換時で得た積算回数を用いて入力電圧の変換値 $V_{inc}$ が得られ長期安定性の高いA Dコンバータを提供できる。

10

【0212】

(変形例3)

図18は、本発明の第2実施形態を変形した変形例3の機能ブロック図を示す図である。

【0213】

本変形例3では、しきい値電圧 $V_t$ および基準電圧 $V_{ref}$ の差としきい値電圧 $V_t$ および差分電圧 $V_s$ の差を比較器34のオフセット電圧 $V_{ofc}$ より十分大きく設定した場合でかつ積算部72を使用した場合に適用できる。

【0214】

第2実施形態(図13)および変形例2(図17)では粗調整単位電圧の符号が正であるため、積算の初期値は積算の終点であるしきい値電圧とオフセット電圧の和や差より低い必要がある。式(91)から式(96)では左辺の $V_t - V_{ofc}$ より低い電圧を初期値とする必要がある。したがって、 $V_t - V_{ofc} > V_{ref}$ かつ $V_t - V_{ofc} > V_s$ となるように、すなわち $V_t - V_{ref} > V_{ofc}$ かつ $V_t - V_s > V_{ofc}$ となるように $V_t$ 、 $V_{ref}$ 、 $V_s$ を設定すればよい。

20

【0215】

本変形例3ではオフセットの極性を判定する処理が不要なため、変換時は変換制御部22が変換制御処理を実施する。変換制御部22の処理フローは図19に示すように、図3に示すフローから極性判定ステップS1を除いたフローとなる。校正時の処理は、図17のブロック図での説明と同じなため割愛する。

【0216】

以上説明したように、変形例3のA Dコンバータ500は、しきい値電圧部801を含む積算変換部90を備える。

30

【0217】

積算変換部90は、単位電圧を保持する容量 $C_0$ に、変換時は入力電圧を接続させ、校正時は基準電圧 $V_{ref}$ 又は接地電圧を接続させる切替部31と、変換時は、容量 $C_0$ に入力電圧を保持させた後に、該保持させた電圧に2つ以上の単位電圧の何れか一つを積算して積算電圧を生成し、校正時は、容量 $C_0$ に基準電圧又は接地電圧を保持させた後に、該保持させた電圧に2つ以上の単位電圧の何れか一つを積算して積算電圧を生成する積算部72と、しきい値電圧を生成するしきい値電圧部801と、しきい値電圧を負入力端に積算電圧を正入力端にそれぞれ接続させ、積算電圧がしきい値電圧を越えた場合に比較信号を出力する比較器34とを備える。

40

【0218】

変形例3によれば、比較器34のオフセットや積算単位を構成する容量 $C_0$ 等が経時変化により変動しても、校正時と変換時で得た積算回数を用いて入力電圧の変換値 $V_{inc}$ が得られ長期安定性の高いA Dコンバータを提供できる。

【符号の説明】

【0219】

10：基準電圧部

20, 40, 60：制御部

21, 41：校正制御部

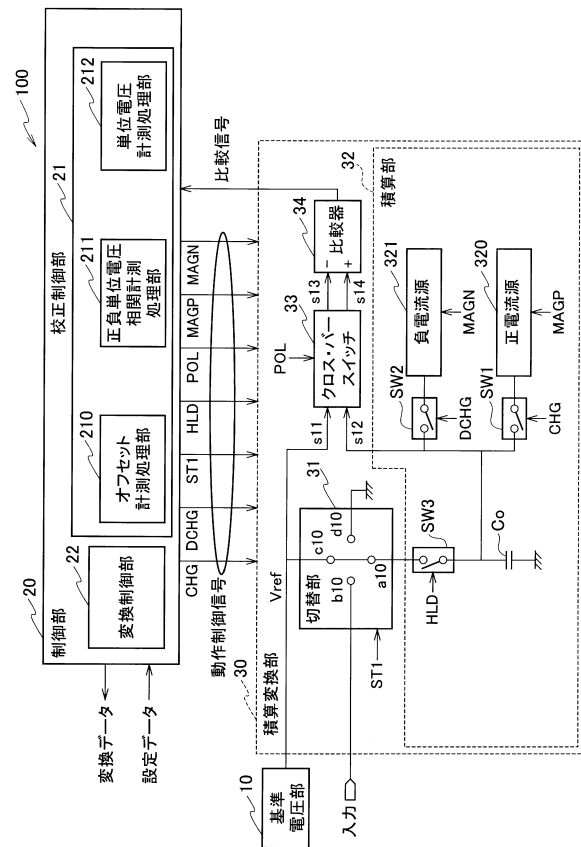
50

- 2 2 : 変換制御部
- 3 0 , 5 0 : 積算変換部
- 3 1 : 切替部
- 3 2 , 5 2 , 7 2 : 積算部
- 3 3 : クロス・バースイッチ
- 3 4 : 比較器
- 1 0 0 , 2 0 0 , 3 0 0 , 4 0 0 , 5 0 0 : 自己校正機能付き A D コンバータ
- 2 1 0 : オフセット計測処理部
- 2 1 1 : 正負単位電圧相関計測処理部
- 2 1 2 : 単位電圧計測処理部
- 3 2 0 : 正電流源
- 3 2 1 : 負電流源
- 4 1 0 : 差分電圧計測処理部
- 5 2 0 : 差分演算部
- 5 2 1 : ベース電圧部
- 6 1 0 : 単位電圧相関計測処理部
- 7 2 0 : 抵抗部
- 8 0 1 : しきい値電圧部

10

【図面】

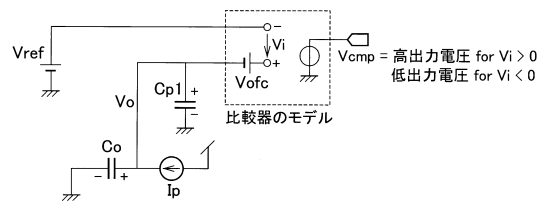
【図 1】



【図 2】

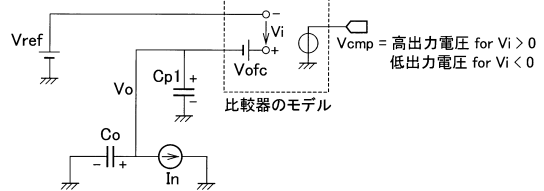
20

(a) 正電流源を接続した場合



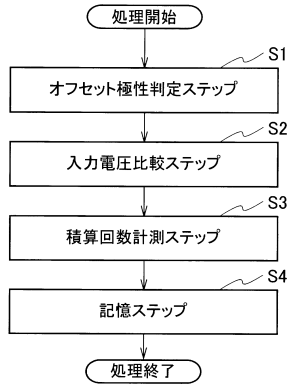
30

(b) 負電流源を接続した場合

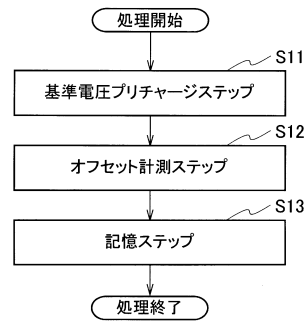


40

【 図 3 】

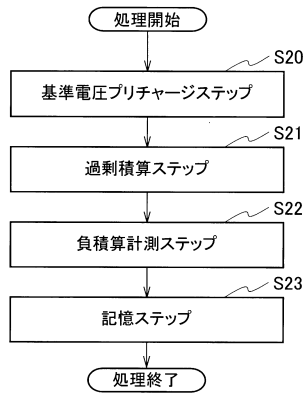


【 図 4 】

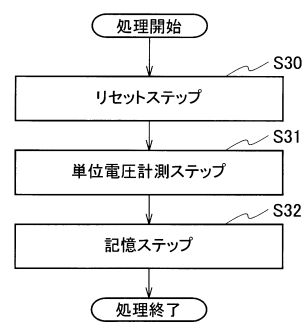


10

【 図 5 】



【 図 6 】



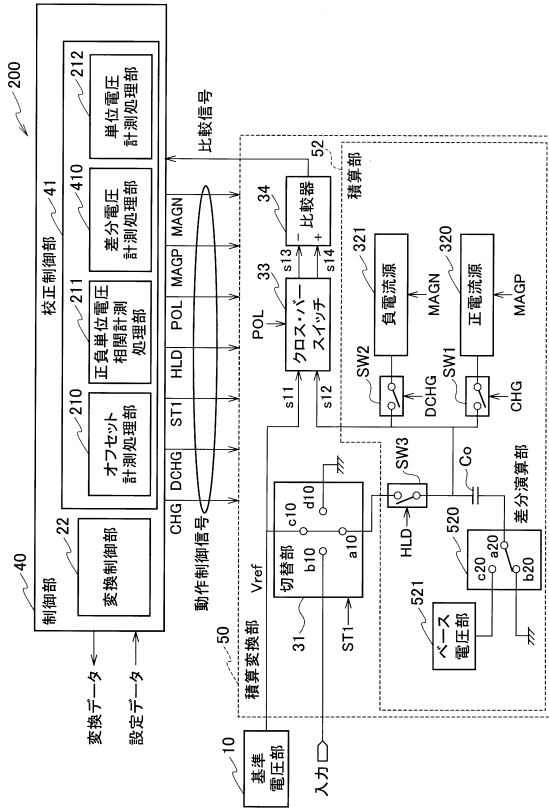
20

30

40

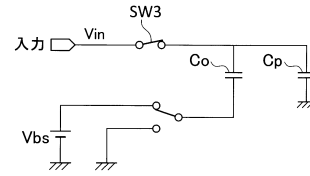
50

【図7】



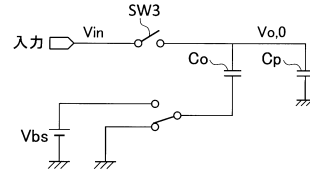
【図8】

(a) SW3接続時



10

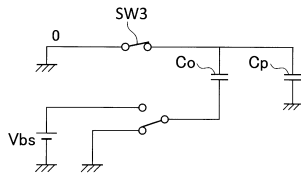
(b) SW3切断時



20

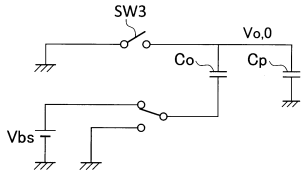
【図9】

(a) SW3接続時



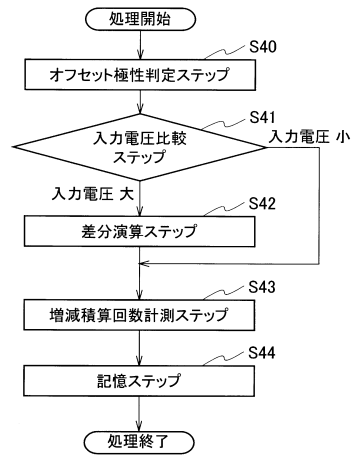
30

(b) SW3切断時



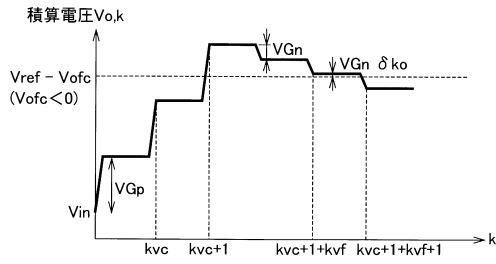
40

【図10】

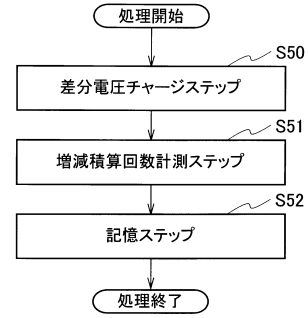


50

【図 1 1】

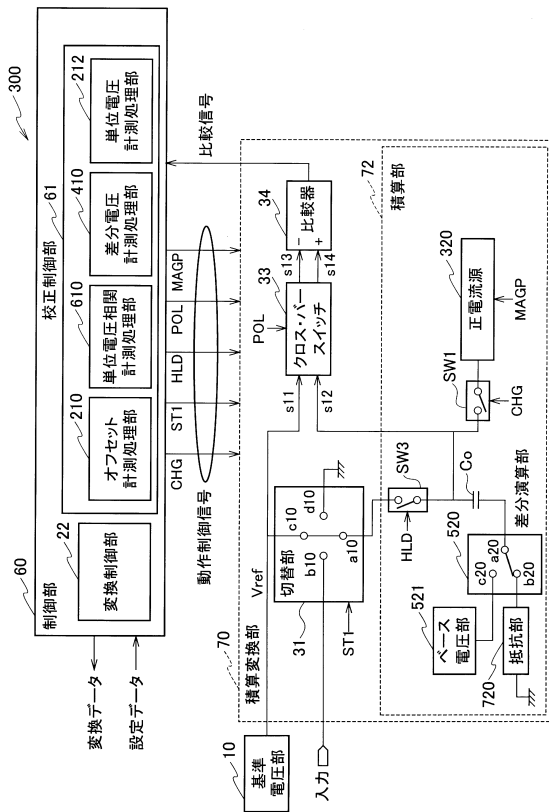


【図 1 2】

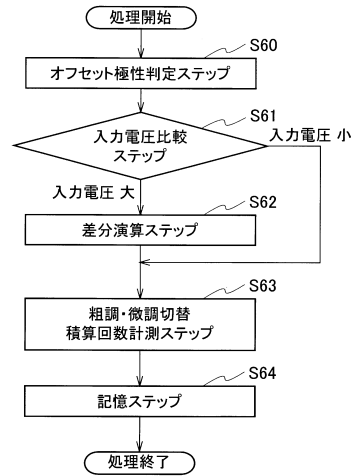


10

【図 1 3】



【図 1 4】



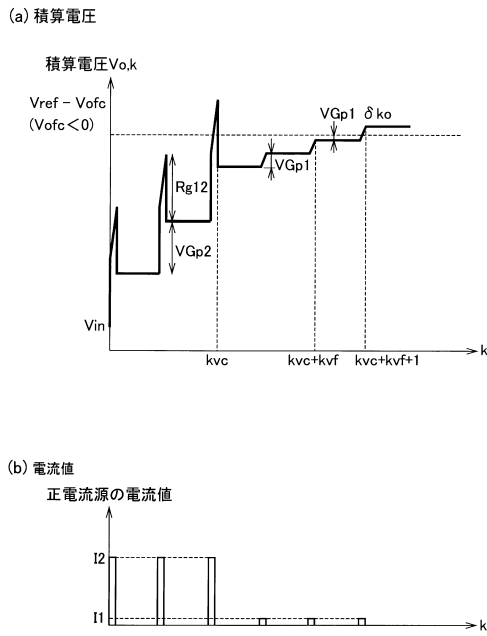
20

30

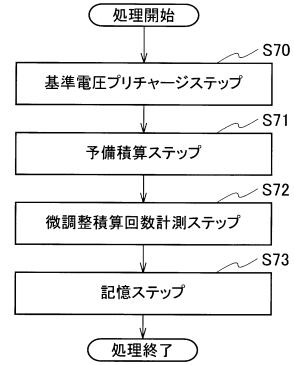
40

50

【図15】



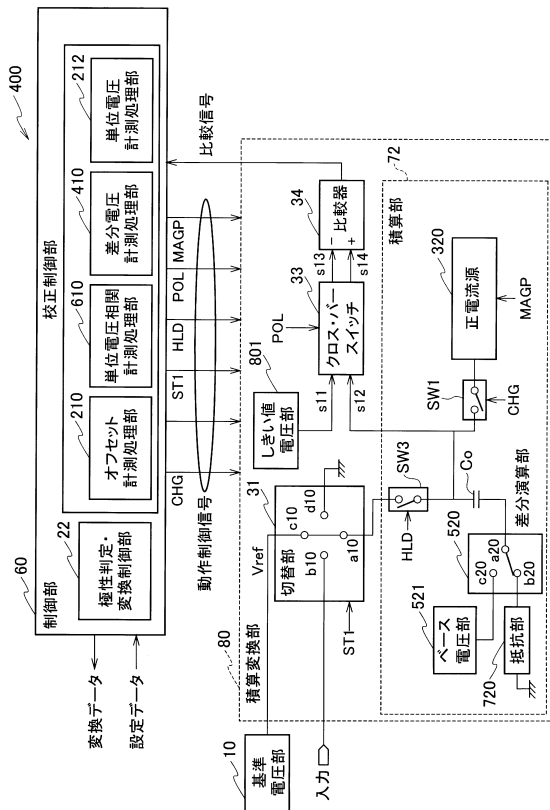
【図16】



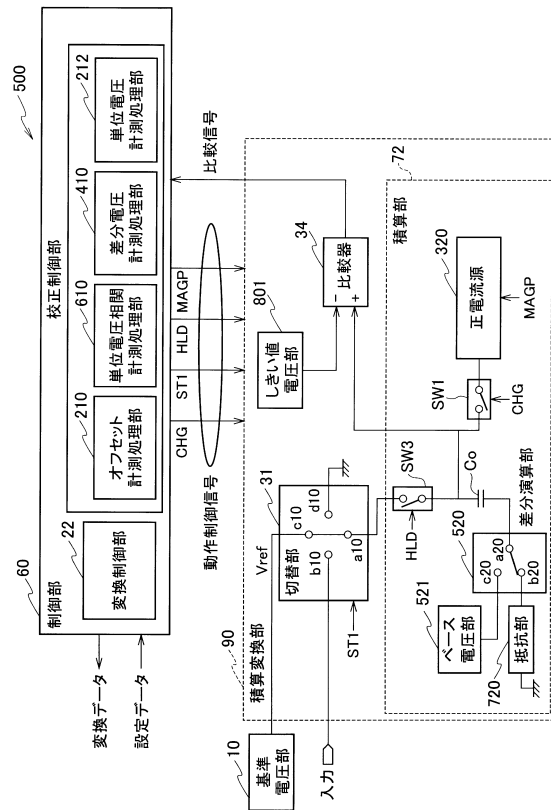
10

20

【図17】



【図18】

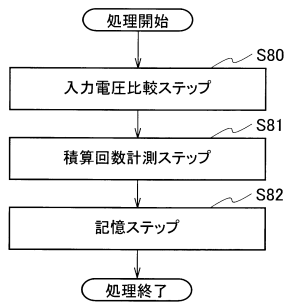


30

40

50

【図 19】



10

20

30

40

50

---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開昭59-191930(JP,A)  
特開昭60-74820(JP,A)  
特開平5-346441(JP,A)  
特開2013-191988(JP,A)  
特開2003-78365(JP,A)

- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)  
H03M 1/10  
H03M 1/34  
G01R 19/00  
G01R 35/00  
G01R 19/257