

(19) 日本国特許庁 ( J P )

(12) 特 許 公 報 ( B 2 )

(11) 特許出願公告番号

特公平8-16692

(24) (44) 公告日 平成 8 年 (1996) 2 月 21 日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 R 33/035	Z A A	9307-2G		
H 0 1 L 39/22	Z A A D			

請求項の数 4 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願平2-262018	(71) 出願人	999999999 ダイキン工業株式会社 大阪府大阪市北区中崎西 2 丁目 4 番 12 号 梅田センタービル
(22) 出願日	平成 2 年 (1990) 9 月 30 日	(72) 発明者	上田 智章 滋賀県草津市岡本町字大谷 1000 番地の 2 ダイキン工業株式会社滋賀製作所内
(65) 公開番号	特開平4-140681	(72) 発明者	柳田 靖人 滋賀県草津市岡本町字大谷 1000 番地の 2 ダイキン工業株式会社滋賀製作所内
(43) 公開日	平成 4 年 (1992) 5 月 14 日	(72) 発明者	田中 正浩 滋賀県草津市岡本町字大谷 1000 番地の 2 ダイキン工業株式会社滋賀製作所内
		(74) 代理人	弁理士 津川 友士
		審査官	下中 義之

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁束ロック方法およびその装置

1

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 臨界温度以下に冷却された容器 (1a) (1c) (1e) 内に収容された SQUID (2) に対して入力コイル (2b) により導かれる磁束の変化量を補償すべくフィードバック・コイル (2c) に対してフィードバック信号を供給することにより SQUID (2) の超伝導ループ (2a) に供給される磁束を一定量に維持する磁束ロック方法において、所定のバイアスが供給されている SQUID (2) の超伝導ループ (2a) の両端から取り出した信号と、SQUID (2) の電圧 - 磁束特性が単調変化する単調変化領域の所定の点に対応する信号との大小関係を判別して時系列的に保持し、最新の大小関係判別結果に基づいてフィードバック・コイル (2c) にフィードバック信号を供給するに当って、同種の大小関係判別結果が連続する場合にフィードバック信号の変化幅を増加させ、異

2

種の大小関係判別結果が交互に生じている場合にフィードバック信号の変化幅を減少させることを特徴とする磁束ロック方法。

【請求項 2】 臨界温度以下に冷却された容器 (1a) (1c) (1e) 内に収容された SQUID (2) に対して入力コイル (2b) により導かれる磁束の変化量を補償すべくフィードバック・コイル (2c) に対してフィードバック信号を供給することにより SQUID (2) の超伝導ループ (2a) に供給される磁束を一定量に維持する磁束ロック装置において、所定のバイアスが供給されている SQUID (2) の超伝導ループ (2a) の両端から取り出した信号と、SQUID の電圧 - 磁束特性が単調変化する単調変化領域の所定の点に対応する信号との大小関係を判別する大小判別手段 (4d) と、大小判別結果を時系列的に保持する判別結果保持手段 (4n) と、同種の大小判別結果を連

続いて判別結果保持手段(4n)に保持している場合にフィードバック信号の変化幅を増加させ、異種の大小関係判別結果を交互に判別結果保持手段(4n)に保持している場合にフィードバック信号の変化幅を減少させる変化幅制御手段(4q)と、最新の大小判別結果に基づいて、フィードバック信号の変化幅の極性を、前記超伝導ループ(2a)の両端から取り出した信号と前記所定の点に対応する信号との差を小さくすることができる極性に設定すべく制御する極性制御手段(4r)とを含むことを特徴とする磁束ロック装置。

【請求項3】 臨界温度以下に冷却された容器(1a)(1c)(1e)内に収容されたSQUID(2)に対して入力コイル(2b)により導かれる磁束の変化量を補償すべくフィードバック・コイル(2c)に対して予測フィードバック量に磁束変調をかけたフィードバック信号を供給することによりSQUID(2)の超伝導ループ(2a)に供給される磁束を一定量に維持する磁束ロック方法において、所定のバイアスが供給されているSQUID(2)の超伝導ループ(2a)の両端から磁束変調に同期して、磁束変調の最大および最小のピーク点におけるSQUID(2)の出力電圧信号をそれぞれ交互に取り出して保持し、交互に保持した信号同士の大小関係を判別して時系列的に保持し、最新の大小関係判別結果に基づいて予測フィードバック量を変化させてフィードバック・コイル(2c)にフィードバック信号を供給するに当って、同種の大小関係判別結果が連続する場合に予測フィードバック量の変化幅を増加させ、異種の大小関係判別結果が交互に生じている場合に予測フィードバック信号の変化量を減少させることを特徴とする磁束ロック方法。

【請求項4】 臨界温度以下に冷却された容器(1a)(1c)(1e)内に収容されたSQUID(2)に対して入力コイル(2b)により導かれる磁束の変化量を補償すべくフィードバック・コイル(2c)に対し予測フィードバック量に磁束変調をかけたフィードバック信号を供給することによりSQUID(2)の超伝導ループ(2a)に供給される磁束を一定量に維持する磁束ロック装置において、所定のバイアスが供給されているSQUID(2)の超伝導ループ(2a)の両端から磁束変調に同期して、磁束変調の最大および最小のピーク点におけるSQUID(2)の出力電圧信号をそれぞれ交互に取り出して保持する1対の信号保持手段(4t1)(4t2)と、1対の信号保持手段(4t1)(4t2)に保持されている信号同士の大小関係を判別する大小判別手段(4d)と、大小判別結果を時系列的に保持する判別結果保持手段(4n)と、同種の大小関係判別結果を連続して判別結果保持手段(4n)に保持している場合にフィードバック信号の変化幅を増加させ、異種の大小関係判別結果を交互に判別結果保持手段(4n)に保持している場合にフィードバック信号の変化幅を減少させる変化幅制御手段(4p)(4q)と、最新の大小判別結果に基づいて、予測フィードバック量の変化の極性

を、1対の信号保持手段(4t1)(4t2)に保持されている信号同士の差を小さくすることができる極性に設定すべく制御する極性制御手段(4r)とを含むことを特徴とする磁束ロック装置。

#### 【発明の詳細な説明】

<産業上の利用分野>

この発明は磁束ロック方法およびその装置に関し、さらに詳細に言えば、冷凍機を用いて臨界温度以下に冷却された容器内にSQUIDを収容して動作させる場合において、入力コイルにより超伝導ループに導かれる磁束の変化を補償すべくフィードバック・コイルにフィードバック信号を供給するための磁束ロック装置に関する。

<従来の技術、および発明が解決しようとする課題>

従来から非常に高感度の磁束検出を行なうことができるという特質に着目して、種々の分野でSQUID(Superconducting Quantum Interference Device、超伝導量子干渉素子)が応用されている。また、SQUIDには、ジョセフソン接合(以下、JJと略称する)を1つだけ有するrf-SQUIDと、JJを2つ有するdc-SQUIDとがあり、従来はrf-SQUIDが一般的に用いられていたが、最近では薄膜製造技術が進歩して特性が揃った2つのJJが得られるようになってきたので、磁束検出感度が高いdc-SQUIDが広く用いられるようになってきた。

第12図は従来のdc-SQUID磁束計の構成を示す電気回路図であり、超伝導ループ(71)の所定箇所(72)に2つのJJ(72)が形成されるとともに、定電流源(73)により2つのJJ(72)を挟んで超伝導ループ(71)にバイアス電流を供給している。そして、測定対象の磁束を検出するためのピックアップ・コイル(74)と接続された入力コイル(73)を超伝導ループ(71)に近接させて設けている。さらに、2つのJJ(72)を挟んで超伝導ループ(71)の出力電圧を変圧する電圧変圧トランス(75)の出力電圧を増幅器(76)により増幅し、発振器(77)から出力される被変調信号に基づいて同期検波器(78)により復調し、積分器(79)により復調信号を積分し、外部磁束に比例した電圧として外部に出力している。また、積分器(79)からの出力信号と発振器(77)からの被変調信号とを加算器(80)により加算し、電圧-電流変換器(81)によりフィードバック電流に変換してモジュレーション・コイル(82)に供給し、ピックアップ・コイル(74)で検出した外部磁束を打ち消すようにしている。

このように磁束ロック・ループ(以下、FLLと略称する)にdc-SQUIDを組み込めば、磁束-電圧変換係数が鎖交磁束の大きさによって周期的に変化することに起因してそのままでは超伝導ループの鎖交磁束を計測できないという不都合を解消でき、交換率が最大の点に磁束を保持し続けることにより鎖交磁束の計測を可能にすることができる。即ち、ピックアップ・コイル(74)および入力コイル(73)を介して超伝導ループ(71)に外部が

ら加えられる磁束と同じ大きさでかつ逆向きの磁束をモジュール・コイル(82)を介してフィードバックすることにより外部磁束をキャンセルし、モジュール・コイル(82)に供給されるフィードバック電流をモニタすることにより外部磁束を計測できる。

しかし、このFLLにおいては、回路規模が大きく、かつ高価な電子部品を使用する必要があり、FLLのコンパクト化、多チャンネル化の要求を満足することが著しく困難である。また、ゲイン調整、位相調整等の調整作業が必要であり、しかもこれら調整作業にはかなりの時間がかかるので、作業性が悪くなるとともに、稼働効率が低下するという不都合がある。特に、多チャンネル化した場合、チャンネル数に比例して調整作業所要時間が長くなり、実用上達成できる多チャンネル化が制約されてしまうという不都合がある。さらに、生体磁気計測に適用する場合には、多チャンネルの測定磁気をコンピュータに取り込んで摘出部位の位置推定等の処理を行わなければならない関係上、FLLから出力されるアナログ値を多チャンネル分、並列に長時間、高速にコンピュータに取り込まなければならず、データ量が著しく大きくなってしまいうのみならず、分解能が高い高価なアナログ - デジタル変換器(以下、A/Dコンバータと称する)を使用しなければならず、この結果、コンピュータに大きな負荷がかかるので多チャンネル化が制約を受けるのみならず、全体として高価なシステムになってしまうという不都合がある。

#### < 発明の目的 >

この発明は上記の問題点に鑑みてなされたものであり、多チャンネル化に簡単に対処でき、しかもデータ量を大幅に少なくできる新規な磁束ロック装置を提供することを目的としている。

#### < 課題を解決するための手段 >

上記の目的を達成するための、第1の発明の磁束ロック方法は、所定のバイアスが供給されているSQUIDの超伝導ループの両端から取り出した信号とSQUIDの電圧 - 磁束特性が単調変化する単調変領域の所定の点に対応する信号との大小関係を判別して時系列的に保持し、最新の大小関係判別結果に基づいてフィードバック・コイルにフィードバック信号を供給するに当って、大小関係同種の大小関係判別結果が連続する場合にフィードバック信号の変化幅を増加させ、異種の大小関係判別結果が交互に生じている場合にフィードバック信号の変化幅を減少させる方法である。

第2の発明の磁束ロック装置は、所定のバイアスが供給されているSQUIDの超伝導ループの両端から取り出した信号とSQUIDの電圧 - 磁束特性が単調変化する単調変領域の所定の点に対応する信号との大小関係を判別する大小判別手段と、大小判別結果を時系列的に保持する判別結果保持手段と、同種の大小関係判別結果を連続して判別結果保持手段に保持している場合にフィードバ

ク信号の変化幅を増加させ、異種の大小関係判別結果を交互に判別結果保持手段に保持している場合にフィードバック信号の変化幅を減少させる変化幅制御手段と、大小判別結果に基づいてフィードバック信号の変化幅の極性を、前記超伝導ループの両端から取り出した信号と前記所定の点に対応する信号との差を小さくすることができる極性に設定すべく制御する極性制御手段とを含んでいる。

第3の発明の磁束ロック方法は、所定のバイアスが供給されているSQUIDの超伝導ループの両端から磁束変調に同期して、磁束変調の最大および最小のピーク点におけるSQUIDの出力電圧信号をそれぞれ交互に取り出して保持し、交互に保持した信号同士の大小関係を判別して時系列的に保持し、最新の大小関係判別結果に基づいて予測フィードバック量を変化させてフィードバック・コイルにフィードバック信号を供給するに当って、同種の大小関係判別結果が連続する場合に予測フィードバック量の変化幅を増加させ、異種の大小関係判別結果が交互に生じている場合に予測フィードバック信号の変化量を減少させる方法である。

第4の発明の磁束ロック装置は、所定のバイアスが供給されているSQUIDの超伝導ループの両端から磁束変調に同期して、磁束変調の最大および最小のピーク点におけるSQUIDの出力電圧信号をそれぞれ交互に取り出して保持する1対の信号保持手段と、1対の信号保持手段に保持されている信号同士の大小関係を判別する大小判別手段と、大小判別結果を時系列的に保持する判別結果保持手段と、同種の大小関係判別結果を連続して判別結果保持手段に保持している場合に予測フィードバック量の変化幅を増加させ、異種の大小関係判別結果を交互に判別結果保持手段に保持している場合に予測フィードバック信号の変化量を減少させる変化幅制御手段と、大小判別結果に基づいて予測フィードバック量の変化の極性を、1対の信号保持手段に保持されている信号同士の差を小さくすることができる極性に設定すべく制御する極性制御手段とを含んでいる。

#### < 作用 >

第1の発明の磁束ロック方法であれば、臨界温度以下に冷却された容器内に収容されたSQUIDに対して入力コイルにより導かれる磁束の変化量を補償すべくフィードバック・コイルに対してフィードバック信号を供給することによりSQUIDの超伝導ループに供給される磁束を一定量に維持する場合において、所定のバイアスが供給されているSQUIDの超伝導ループの両端から取り出した信号とSQUIDの電圧 - 磁束特性が単調変化する単調変領域の所定の点に対応する信号との大小関係を判別して時系列的に保持するのであるから、FLLから取り込むデータ量を大幅に低減でき、この結果、簡単に多チャンネル化に対処でき、しかも最新の大小関係判別結果に基づいてフィードバック・コイルにフィードバック信号を供給す

るに当って、同種の大小関係判別結果が連続する場合にフィードバック信号の変化幅を増加させ、異種の大小関係判別結果が交互に生じている場合にフィードバック信号の変化幅を減少させるのであるから、磁束ロック点を大きく外れている場合にフィードバック信号の変化幅を大きくし、磁束ロック点に近づいた場合にフィードバック信号の変化幅を小さくして、高速化および高精度化を達成できる。しかも、変化幅を増加させて高速化を達成しなければならない場合と変化幅を減少させて高精度化を達成しなければならない場合とを簡単に識別できる。

したがって、FLLのデジタル化を簡単に達成でき、デジタル化に伴う自動調整化、ノイズ除去等を簡単に達成できる。さらに、デジタル化され、かつ圧縮されたデータを記録しておけば、磁束ロック制御と同じ方法を適用することにより元のデータの再生を簡単に達成できる。

また、所定の単調変化点に対応する信号を変化させれば、各時点におけるSQUIDからの出力電圧を検出できるので、素子の特性を測定することができる。

第2の発明の磁束ロック装置であれば、臨界温度以下に冷却された容器内に収容されたSQUIDに対して入力コイルにより導かれる磁束の変化量を補償すべくフィードバック・コイルに対してフィードバック信号を供給することによりSQUIDの超伝導ループに供給される磁束を一定量に維持する場合において、所定のバイアスが供給されているSQUIDの超伝導ループの両端から取り出した信号とSQUIDの電圧 - 磁束特性が単調変化する単調変化領域の所定の点に対応する信号との大小関係を大小判別手段により判別し、大小判別結果を判別結果保持手段に時系列的に保持する。そして、変化幅制御手段により同種の大小関係判別結果が連続する場合にフィードバック信号の変化幅を増加させ、異種の大小関係判別結果が交互に生じている場合にフィードバック信号の変化幅を減少させ、極性制御手段により大小判別結果に基づいてフィードバック信号の変化幅の極性を、前記超伝導ループの両端から取り出した信号と前記所定の点に対応する信号との差を小さくすることができる極性に設定すべく制御することにより、磁束ロック点からのずれ量に対応するフィードバック信号をフィードバック・コイルに供給できる。

したがって、FLLから取り出される信号がデータ量が著しく少ない大小判別結果のみになり、この結果、簡単に多チャンネル化に対処でき、しかも磁束ロック点から大きく外れている場合にフィードバック信号の変化幅を大きくし、磁束ロック点に近づいた場合にフィードバック信号の変化幅を小さくして、高速化および高精度化を達成できる。

第3の発明の磁束ロック方法であれば、臨界温度以下に冷却された容器内に収容されたSQUIDに対して入力コイルにより導かれる磁束の変化量を補償すべくフィード

バック・コイルに対して予測フィードバック量に磁束変調をかけたフィードバック信号を供給することによりSQUIDの超伝導ループに供給される磁束を一定量に維持する場合において、所定のバイアスが供給されているSQUIDの超伝導ループの両端から磁束変調に同期して、磁束変調の最大および最小のピーク点におけるSQUIDの出力電圧信号をそれぞれ交互に取り出して保持し、交互に保持した信号同士の大小関係を判別して時系列的に保持するのであるから、FLLから取り込むデータ量を大幅に低減でき、この結果、簡単に多チャンネル化に対処でき、しかも最新の大小関係判別結果に基づいて予測フィードバック量を変化させてフィードバック・コイルにフィードバック信号を供給するに当って、同種の大小関係判別結果が連続する場合に予測フィードバック量の変化幅を増加させ、異種の大小関係判別結果が交互に生じている場合に予測フィードバック信号の変化量を減少させるのであるから、磁束ロック点から大きく外れている場合にフィードバック信号の変化幅を大きくし、磁束ロック点に近づいた場合にフィードバック信号の変化幅を小さくして、高速化および高精度化を達成できる。また、電圧ドリフトの影響を受けない高精度の磁束ロックを達成できる。

第4の発明の磁束ロック装置であれば、臨界温度以下に冷却された容器内に収容されたSQUIDに対して入力コイルにより導かれる磁束の変化量を補償すべくフィードバック・コイルに対して予測フィードバック量に磁束変調をかけたフィードバック信号を供給することによりSQUIDの超伝導ループに供給される磁束を一定量に維持する場合において、所定のバイアスが供給されているSQUIDの超伝導ループの両端から磁束変調に同期して、1対の信号保持手段により磁束変調の最大および最小のピーク点におけるSQUIDの出力電圧信号をそれぞれ交互に取り出して保持し、1対の信号保持手段に保持されている信号同士の大小関係を大小判別手段により判別し、大小判別結果を判別結果保持手段により時系列的に保持する。そして、判別結果の履歴を考慮し、同種の大小関係判別結果が連続する場合に予測フィードバック量の変化幅を増加させ、異種の大小関係判別結果が交互に生じている場合に予測フィードバック信号の変化量を減少させ、大小判別結果に基づいて極性制御手段により予測フィードバック量の変化の極性を、1対の信号保持手段に保持されている信号同士の差を小さくすることができる極性に設定すべく制御することにより、磁束ロック点からのずれ量に対応する予測フィードバック量に磁束変調をかけたフィードバック信号をフィードバック・コイルに供給できる。

したがって、FLLから取り出される信号がデータ量が著しく少ない大小判別結果のみになり、この結果、簡単に多チャンネル化に対処でき、しかも磁束ロック点から大きく外れている場合に予測フィードバック量の変化幅を

大きくし、磁束ロック点に近づいた場合に予測フィードバック量の変化幅を小さくして、高速化および高精度化を達成できる。さらに、電圧ドリフトの影響を受けない高精度の磁束ロックを達成できる。

<実施例>

以下、実施例を示す添付図面によって詳細に説明する。

第4図はSQUIDを用いる磁束測定装置に適用される冷凍容器の構成を概略的に示す縦断面図であり、真空容器(1a)の内部に300Kの冷凍機(1b)を収容し、冷凍機(1b)に輻射シールド(1c)を支承させている。そして、輻射シールド(1c)で包囲される空間内に70Kの冷凍機(1d)を収容し、冷凍機(1d)にも輻射シールド(1e)を支承させている。さらに、輻射シールド(1e)で包囲される空間内に4.2Kの冷凍機(1f)を収容し、冷凍機(1f)にSQUID(2)を支承させている。そして、SQUID(2)と真空容器(1a)外の測定装置(4)とを接続する信号線(3)が設けられている。

第3図はこの発明の磁束ロック方法が適用される磁束ロック装置の構成を示す電気回路図であり、SQUID(2)の超伝導ループ(2a)に対して、バイアス電流源としてのデジタル-アナログ変換器(以下、D/Aコンバータと略称する)(4a)および電圧-電流変換器(以下、V/Iコンバータと略称する)(4b)によりバイアス電流を供給している。そして、超伝導ループ(2a)の両端の電圧をプリアンプ(4c)に印加して増幅し、コンパレータ(4d)の一方の入力端子に供給する。このコンパレータ(4d)の他方の入力端子には、D/Aコンバータ(4e)により、SQUIDの電圧-磁束特性が単調変化する単調変化領域の所定の点(以下、単調変化点と称する)に対応する所定の基準電圧が供給される。このコンパレータ(4d)からの出力信号は判別結果SGとしてCPU(4f)に供給される。また、CPU(4f)からデータ・バス(4g)を通して上記D/Aコンバータ(4a)(4e)に対して所定のデジタル信号が供給されているとともに、フィードバック用のD/Aコンバータ(4h)に対して磁束ロックを行なうための予測フィードバック量Fが供給され、D/Aコンバータ(4h)から出力されるアナログ信号がV/Iコンバータ(4j)によりフィードバック電流に変換されてフィードバック・コイル(2c)に供給されている。尚、(4k)はメモリであり、(4m)はインターフェース回路であり、(2b)はピックアップ・コイル(2d)により検出された磁束を効率よく超伝導ループ(2a)に導くための入力コイルである。

第1図はこの発明の磁束ロック方法の一実施例を示すフローチャートであり、ステップ①において予測フィードバック量F、予測フィードバック量Fの変化量d、変化量dの符号SGを初期化する。具体的には、例えば、Fとして初期値を設定し、d,SGとしてそれぞれ1を設定する。そして、ステップ②において、SQUID(2)の

超伝導ループの両端から取り出した信号とSQUID(2)の電圧-磁束特性の所定の単調変化点に対応する信号との大小関係を判別して判別結果SGを得る。具体的には、超伝導ループの両端から取り出した信号の方が大きい場合にSG = -1となり、他の場合にSG = 1となる。その後、ステップ③において判別結果SGと符号SGとが等しいか否かを判別し、等しい場合にはステップ④において変化量dを1だけ増加させる。逆に判別結果SGと符号SGとが等しくない場合には、ステップ⑤において変化量dを1だけ減少させ、ステップ⑥において変化量dが0より小さいか否かを判別し、変化量dが0より小さいと判別された場合にはステップ⑦において変化量dを0に設定する。そして、ステップ④またはステップ⑦の処理が行なわれた場合、またはステップ⑥において変化量dが0以上であると判別された場合には、ステップ⑧において前回の予測フィードバック量Fに判別結果SGを考慮して変化量dを加算することにより新たな予測フィードバック量F(= F + d × SG)を得、ステップ⑨において判別結果SGで符号SGを置換し、再びステップ②の処理を行なう。

したがって、第2図に示すように、同じ判別結果が連続する場合には予測フィードバック量Fの変化量dを増加させることにより磁束ロック点に対する高速追従性を達成でき、磁束ロック点にある程度追従した場合、即ち、判別結果が交互に反転する場合には、予測フィードバック量Fの変化量dを減少させることにより高精度の追従性を達成できる。

<実施例2>

第5図はこの発明の磁束ロック装置の一実施例を示す電気回路図であり、SQUID(2)の超伝導ループ(2a)に対して、バイアス電流源としてのデジタル-アナログ変換器(以下、D/Aコンバータと略称する)(4a)および電圧-電流変換器(以下、V/Iコンバータと略称する)(4b)によりバイアス電流を供給している。そして、超伝導ループ(2a)の両端の電圧をプリアンプ(4c)に印加して増幅し、コンパレータ(4d)の一方の入力端子に供給する。このコンパレータ(4d)の他方の入力端子には、D/Aコンバータ(4e)により、SQUIDの電圧-磁束特性の所定の単調変化点に対応する所定の基準電圧が供給される。このコンパレータ(4d)から出力される判別結果SGは判別結果保持部(4n)に供給され、時系列的に保持される。さらに、判別結果保持部(4n)に時系列的に保持されている判別結果SGを読み出して判別結果の履歴を識別する履歴識別部(4p)からの履歴識別結果を入力として変化量制御部(4q)により予測フィードバック量Fの変化量dを増減させるとともに、最新の判別結果SGに基づいて極性制御部(4r)により変化量dの極性を設定し、先の予測フィードバック量F、増減された変化量dおよび設定された極性に基づいて予測フィードバック量算出部(4s)により新たな予測フィードバック

ク量Fを算出し、D/Aコンバータ(4h)およびV/Iコンバータ(4j)を通してフィードバック・コイル(2c)にフィードバック電流として供給している。

上記の構成の磁束ロック装置の動作は次のとおりである。

まず、D/Aコンバータ(4a)およびV/Iコンバータ(4b)により供給されるバイアス電流を所定値に設定しておくとともに、D/Aコンバータ(4e)によりコンパレータ(4d)に与えられる基準電圧を、第6図に示すように、磁束-電圧特性の単調変化部の所定点に対応する値に設定しておく。

この状態において入力コイル(2b)により超伝導ループ(2a)に導かれる磁束が変化すれば、超伝導ループ(2a)の両端の電圧が変化するので、プリアンプ(4c)により増幅した後、コンパレータ(4d)により基準電圧との大小関係を判別し、判別結果SGを得る。そして、得られた判別結果SGを時系列的に判別結果保持部(4n)に保持する。新たな判別結果SGが得られ、判別結果保持部(4n)に保持される毎に履歴識別部(4p)により判別結果SGの履歴を識別する。具体的には、磁束ロック点に対するずれ量が大きい場合には同一種類の判別結果SGが連続し、ずれ量が小さい場合には異なる種類の判別結果SGが交互に得られるのであるから、何れの分類に属する履歴であるかを識別する。その後は、識別された履歴に対応させて変化量制御部(4q)により予測フィードバック量Fの変化量dを増減させ、最新の判別結果SGに基づいて極性制御部(4r)により変化量dの極性を設定し、先の予測フィードバック量F、増減された変化量dおよび設定された極性に基づいて予測フィードバック量算出部(4s)により新たな予測フィードバック量F(=F±d)を算出し、D/Aコンバータ(4h)およびV/Iコンバータ(4j)を通してフィードバック・コイル(2c)にフィードバック電流として供給する。なお、上記変化量dは、同一種類の判別結果が連続する場合に大きくされ、逆に異なる種類の判別結果が交互に得られる場合に小さく設定される。また、上記極性は、プリアンプ(4c)による増幅信号と基準電圧との差が小さくなるように設定される。

したがって、ずれ量が大きく、余り精度を考慮する必要がない期間は変化量dを増加させることにより高い追従性を達成でき、ずれ量が小さくなって精度を考慮しなければならない期間は変化量dを減少させることにより高い磁束ロック精度を達成できる。具体的には、例えば、予測フィードバック量算出部(4s)により算出される予測フィードバック量Fの精度が16ビットであり、外部磁場の変動周期が100Hzである場合には、高い精度を維持するために1ビットずつ予測フィードバック量Fを変化させようとするれば、最悪の場合に毎秒 $2^{16} \times 2 \times 100$ ステップ(ここでステップとはプログラム・リストにおけるステップではなく、予測フィードバック量Fを単位

量だけ変化させるステップである)の処理を行わなければならない、1ステップ当り約(1/13)μsecの処理時間しか許容されないことになるので、各電子部品、CPU等として高速動作可能なものを使用しなければならない。逆に、予測フィードバック量Fの変化量を大きくすれば上記の不都合を解消できるが、磁束ロック精度が大幅に低下することになる。上記実施例は、磁束ロック点とのずれ量が大きい場合に予測フィードバック量Fの変化量dを大きくして追従性を高め、ある程度磁束ロック点に近づいた場合に予測フィードバック量Fの変化量dを小さくして磁束ロック精度を高めることができ、各電子部品、CPU等として余り高速動作しないものを採用することができる。

具体的には、予測フィードバック量Fの変化量dを1に設定した場合には、第7図(A)に示すように変動磁束に全く追従できなかったが、この実施例においては、第7図(B)に示すように、変動磁束に対してかなり高い追従性を示し、しかもかなり高精度の磁束計測を達成できた。

#### 20 <実施例3>

第9図はこの発明の磁束ロック方法の他の実施例が適用される磁束ロック装置の構成を示す電気回路図であり、第3図の磁束ロック装置と異なる点は、プリアンプ(4c)からの出力電圧を交互に保持する1対のサンプル・アンド・ホールド回路(4t1)(4t2)を設け、両サンプル・アンド・ホールド回路(4t1)(4t2)に保持されている出力電圧値をコンパレータ(4d)の各入力端子に供給する点、予測フィードバック量Fに対して磁束変動変化分mを加減した値をフィードバック信号として出力させるべくCPU(4f)からD/Aコンバータ(4h)にデジタル信号を供給する点、およびCPU(4f)からサンプル・アンド・ホールド回路(4t1)(4t2)に対して磁束変動と同期して選択的に動作すべきことを指示する制御信号を供給する点のみである。したがって、この実施例の場合には、第10図に示すように、予測フィードバック量Fを中心として±mだけ磁束変動した場合にプリアンプ(4c)を通して取り出される出力電圧(第10図中二点鎖線参照)を交互にサンプル・アンド・ホールド回路で保持し、両サンプル・アンド・ホールド回路の保持内容の大小関係判別結果SGに基づいて磁束ロック点からのずれ方向を検出できる。そして、磁束ロック点からのずれ量が大きいか否かについては同種の大小関係判別結果SGが連続しているか、異なる種類の大小関係判別結果SGが得られているかに基づいて識別できるので、ずれ量が大きい場合には予測フィードバック量Fの変化量dを大きくして外部磁束に対するフィードバック量の追従性を高め、ずれ量が小さい場合には予測フィードバック量Fの変化量dを小さくして外部磁束に対するフィードバック量の精度を高めることができる。この結果、磁束ロックの追従性と精度とを両立させることができる。

第8図はこの発明の磁束ロック方法の他の実施例を示すフローチャートであり、第1図のフローチャートと異なる点は、ステップ①において磁束変調変化分  $m$  の初期設定をも行なう点、新たな予測フィードバック量  $F$  ( $= F + d \times SG$ ) を得た後、判別結果  $SG$  で符号  $SG$  を置換するまでの間に、磁束変調変化分  $m$  の極性を反転させるステップ、新たな予測フィードバック量  $F$  を基準として磁束変調変化分に基づく磁束変調を施して D/A コンバータ (4h) に供給するステップ、および交互に何れかのサンプル・アンド・ホールド回路にプリアンプ (4c) からの出力電圧を保持させるステップを設けた点のみである。

したがって、この実施例の場合には、第10図に示すように、予測フィードバック量  $F$  を中心として  $\pm m$  だけ磁束変調した場合にプリアンプ (4c) を通して取り出される出力電圧 (第10図中二点鎖線参照) を交互にサンプル・アンド・ホールド回路で保持し、両サンプル・アンド・ホールド回路の保持内容の大小関係判別結果  $SG$  に基づいて磁束ロック点からのずれ方向を検出できる。そして、磁束ロック点からのずれ量が大きいか否かについては判別結果  $SG$  の履歴に基づいて識別できるので、ずれ量が大きい場合には予測フィードバック量  $F$  の変化量  $d$  を大きくして外部磁束に対するフィードバック量の追従性を高め、ずれ量が小さい場合には予測フィードバック量  $F$  の変化量  $d$  を小さくして外部磁束に対するフィードバック量の精度を高めることができる。この結果、磁束ロックの追従性と精度とを両立させることができる。

#### <実施例4>

第11図はこの発明の磁束ロック装置の他の実施例を示す電気回路図であり、第5図に示す電気回路図と異なる点は、D/A コンバータ (4e) を省略してプリアンプ (4c) からの出力電圧を交互に保持する1対のサンプル・アンド・ホールド回路 (4t1) (4t2) を設け、両サンプル・アンド・ホールド回路 (4t1) (4t2) に保持されている出力電圧値をコンパレータ (4d) の各入力端子に供給する点、予測フィードバック量算出部 (4s) により算出された新たな予測フィードバック量  $F$  に対して磁束変調変化分  $m$  を加減算する磁束変調部 (4u) を設けた点および磁束変調に同期してサンプル・アンド・ホールド回路 (4t1) (4t2) を選択的に動作させる制御信号を磁束変調部 (4u) から出力する点のみである。なお、この実施例において、極性制御部 (4r) は、1対のサンプル・アンド・ホールド回路 (4t1) (4t2) の最新の内容の差を小さくすべく予測フィードバック量の変化の極性を制御する。

したがって、この実施例においては、SQUID の  $-V$  特性のピークをロック点とした場合におけるロック点からのずれ方向を1対のサンプル・アンド・ホールド回路 (4t1) (4t2) の内容の大小判別により簡単に検出でき、しかもずれ量が大きいか否かを判別結果  $SG$  の履歴に

より簡単に判別できる。そして、これら判別結果に基づいて、上記実施例と同様に予測フィードバック量  $F$  の変化量  $d$  を増減させることにより、磁束ロックの追従性と精度とを両立させることができる。また、この実施例においては、 $-V$  特性が電圧ドリフトを生じても、電圧ドリフトの影響を受けることなく良好な磁束ロックを達成できる。

尚、この発明は上記の実施例に限定されるものではなく、例えば、実施例1、実施例2をSQUIDの  $-V$  特性の左右のスロープで磁束ロックするように2チャンネル分設けることにより、電圧ドリフトに影響されない磁束ロックを達成することが可能であり、さらに、複数のSQUIDを同時動作させるべく多チャンネル化することが可能であるほか、上記初期設定およびバイアス電流の設定を自動化することが可能であり、その他、この発明の要旨を変更しない範囲内において種々の設計変更を施すことが可能である。

#### <発明の効果>

以上のように第1の発明は、FLLから取り出される信号がデータ量が著しく少ない大小判別結果のみになり、この結果、簡単に多チャンネル化に対処でき、さらに、磁束ロック点から大きく外れている場合にフィードバック信号の変化幅を大きくし、磁束ロック点に近づいた場合にフィードバック信号の変化幅を小さくして、高速化および高精度化を達成でき、しかも変化幅を増加させて高速性を達成しなければならない場合と変化幅を減少させて高精度化を達成しなければならない場合とを簡単に識別できるという特有の効果奏する。

第2の発明も、FLLから取り出される信号がデータ量が著しく少ない大小判別結果のみになり、この結果、簡単に多チャンネル化に対処でき、しかも磁束ロック点から大きく外れている場合にフィードバック信号の変化幅を大きくし、磁束ロック点に近づいた場合にフィードバック信号の変化幅を小さくして、高速化および高精度化を達成でき、しかも変化幅を増加させて高速性を達成しなければならない場合と変化幅を減少させて高精度化を達成しなければならない場合とを簡単に識別できる。

第3の発明は、FLLから取り出される信号がデータ量が著しく少ない大小判別結果のみになり、この結果、簡単に多チャンネル化に対処でき、しかも磁束ロック点から大きく外れている場合に予測フィードバック量の変化幅を大きくし、磁束ロック点に近づいた場合に予測フィードバック量の変化幅を小さくして、高速化および高精度化を達成でき、しかも変化幅を増加させて高速性を達成しなければならない場合と変化幅を減少させて高精度化を達成しなければならない場合とを簡単に識別でき、さらに、電圧ドリフトの影響を受けない高精度の磁束ロックを達成できるという特有の効果奏する。

第4の発明も、FLLから取り出される信号がデータ量が著しく少ない大小判別結果のみになり、この結果、簡

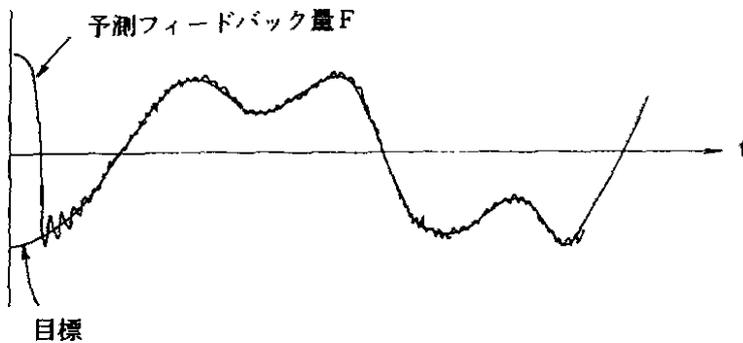
単に多チャンネル化に対処でき、しかも磁束ロック点から大きく外れている場合に予測フィードバック量の変化幅を大きくし、磁束ロック点に近づいた場合に予測フィードバック量の変化幅を小さくして、高速化および高精度化を達成でき、しかも変化幅を増加させて高速性を達成しなければならない場合と変化幅を減少させて高精度化を達成しなければならない場合とを簡単に識別でき、さらに、電圧ドリフトの影響を受けない高精度の磁束ロックを達成できるという特有の効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

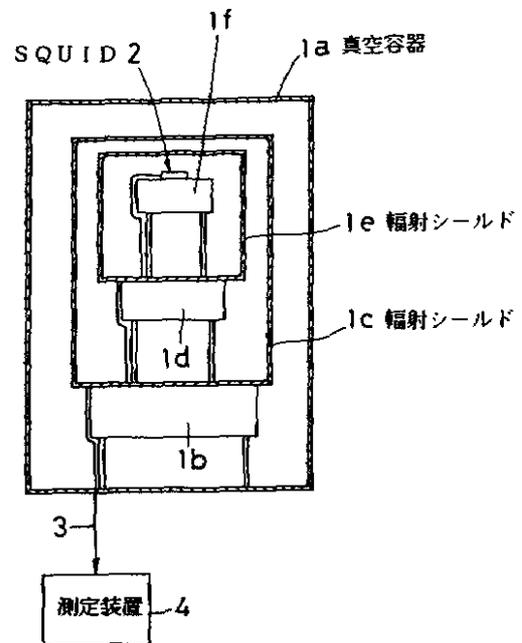
- 第1図はこの発明の磁束ロック方法の一実施例を示すフローチャート、
- 第2図は磁束ロックの追従性および精度を説明する概略図、
- 第3図はこの発明の磁束ロック方法が適用される磁束ロック装置の構成を示す電気回路図、
- 第4図はSQUIDを用いる磁束測定装置に適用される冷凍容器の構成を概略的に示す縦断面図、
- 第5図はこの発明の磁束ロック装置の一実施例を示す電気回路図、
- 第6図は基準電圧値を説明する図、
- 第7図(A)は変化量dを1に固定した場合の磁束計測\*

- \* 結果を示す図、
- 第7図(B)は変化量dを変化させた場合の磁束計測結果を示す図、
- 第8図はこの発明の磁束ロック方法の他の実施例を示すフローチャート、
- 第9図はこの発明の磁束ロック方法の他の実施例が適用される磁束ロック装置の構成を示す電気回路図、
- 第10図は磁束変調信号とSQUIDからの出力電圧との関係を説明する図、
- 10 第11図はこの発明の磁束ロック装置の他の実施例を示す電気回路図、
- 第12図は従来のdc-SQUID磁束計の構成を示す電気回路図。
- (1a).....真空容器、(1c)(1e).....輻射シールド、
- (2).....SQUID、(2a).....超伝導ループ、
- (2b).....入力コイル、
- (2c).....フィードバック・コイル、
- (4d).....コンパレータ、(4n).....判別結果保持部、
- (4p).....履歴識別部、(4q).....変化量制御部、
- 20 (4r).....極性制御部、
- (4t1)(4t2).....サンプル・アンド・ホールド回路

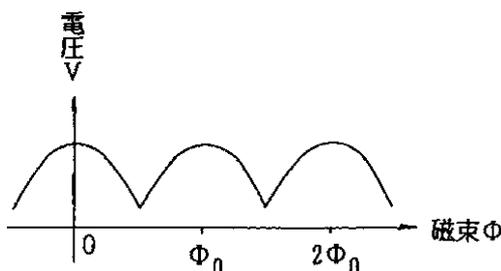
【第2図】



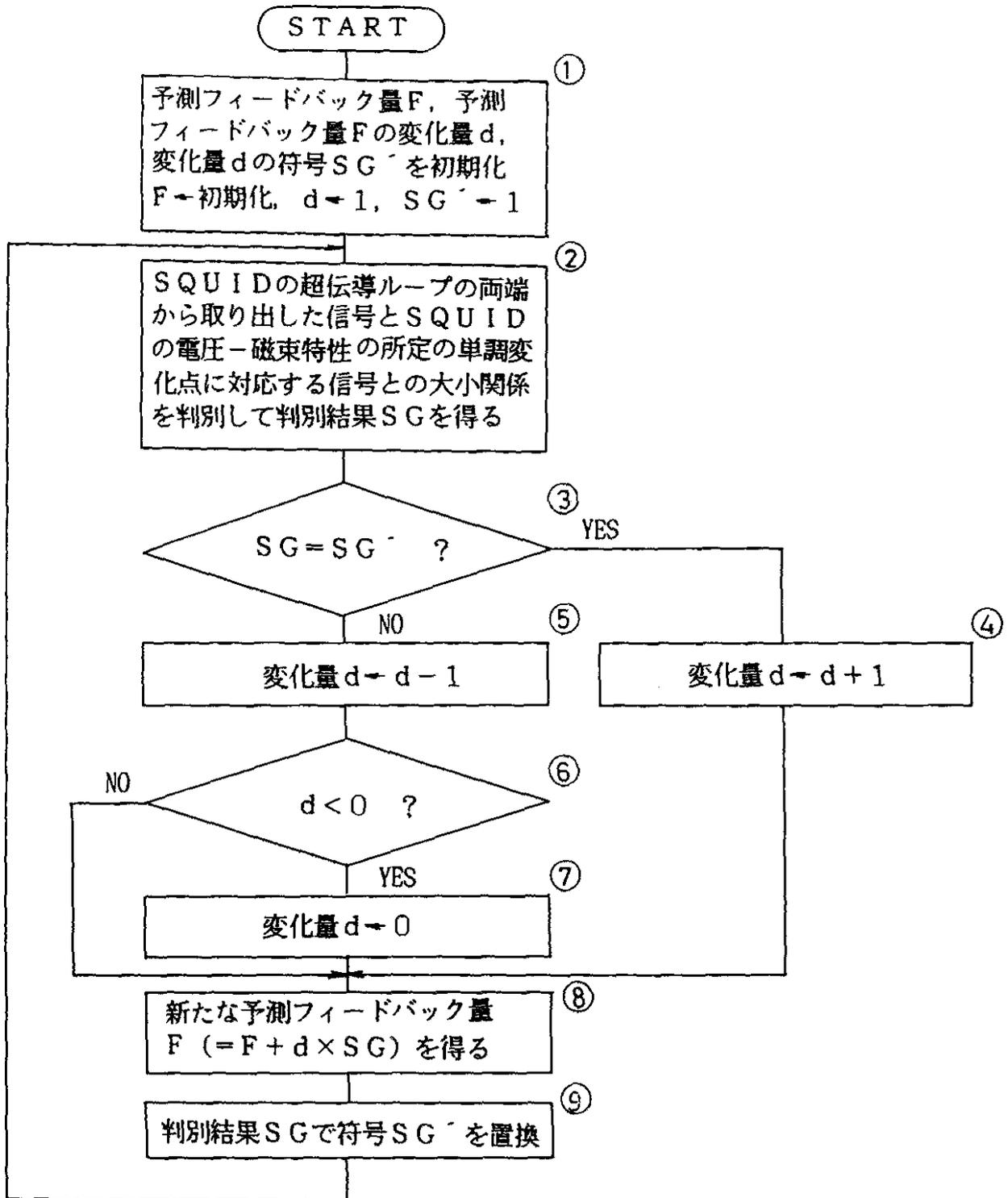
【第4図】



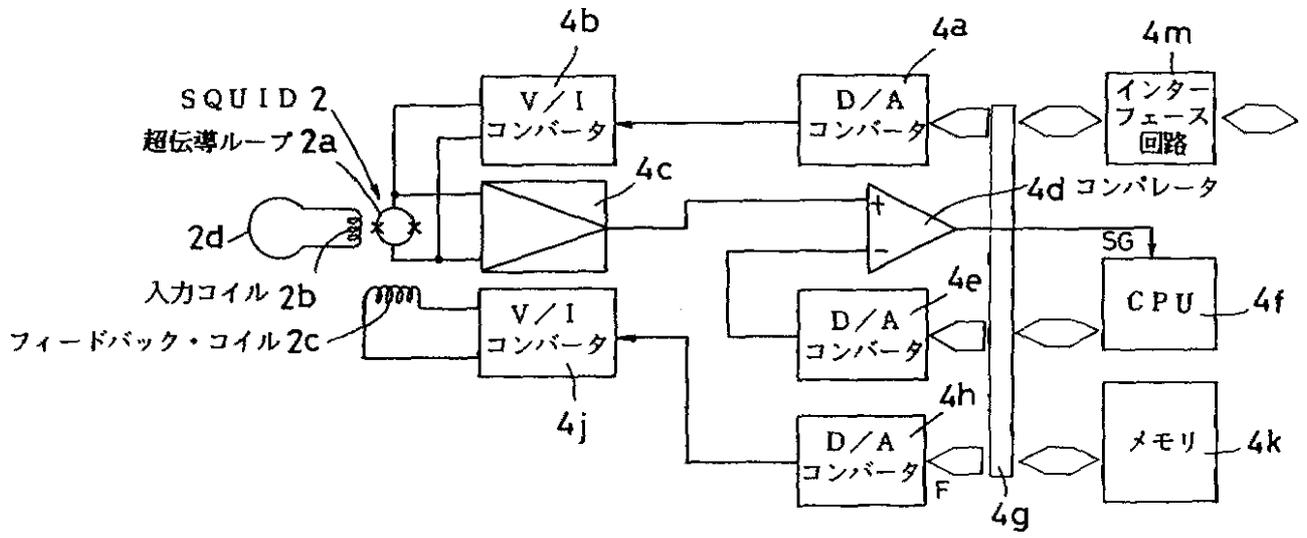
【第6図】



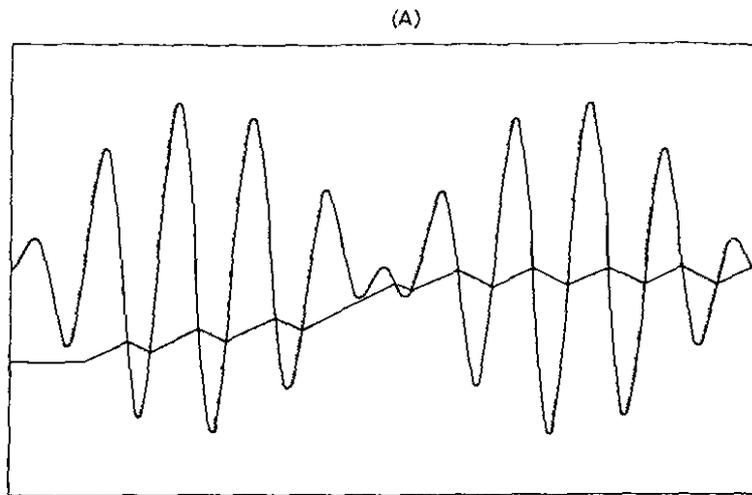
【第1図】



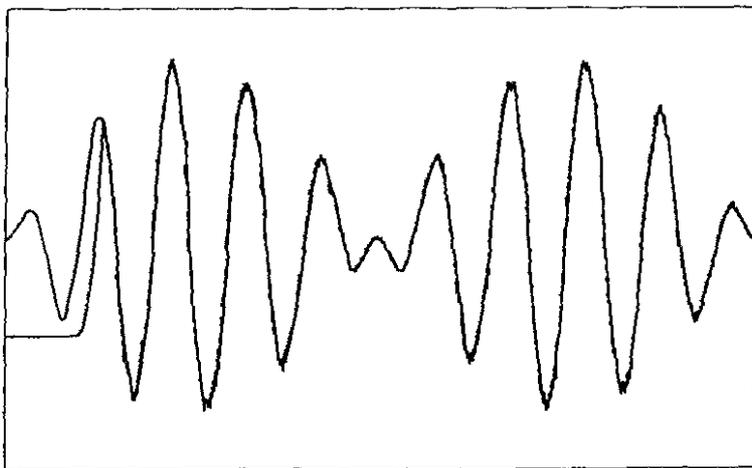
【第3図】



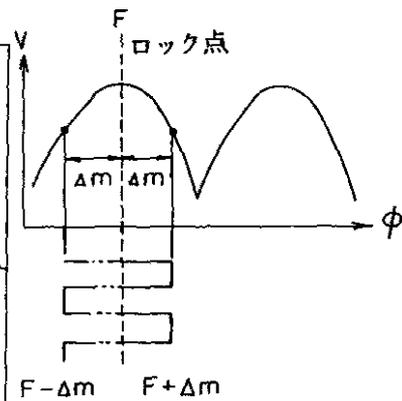
【第7図】



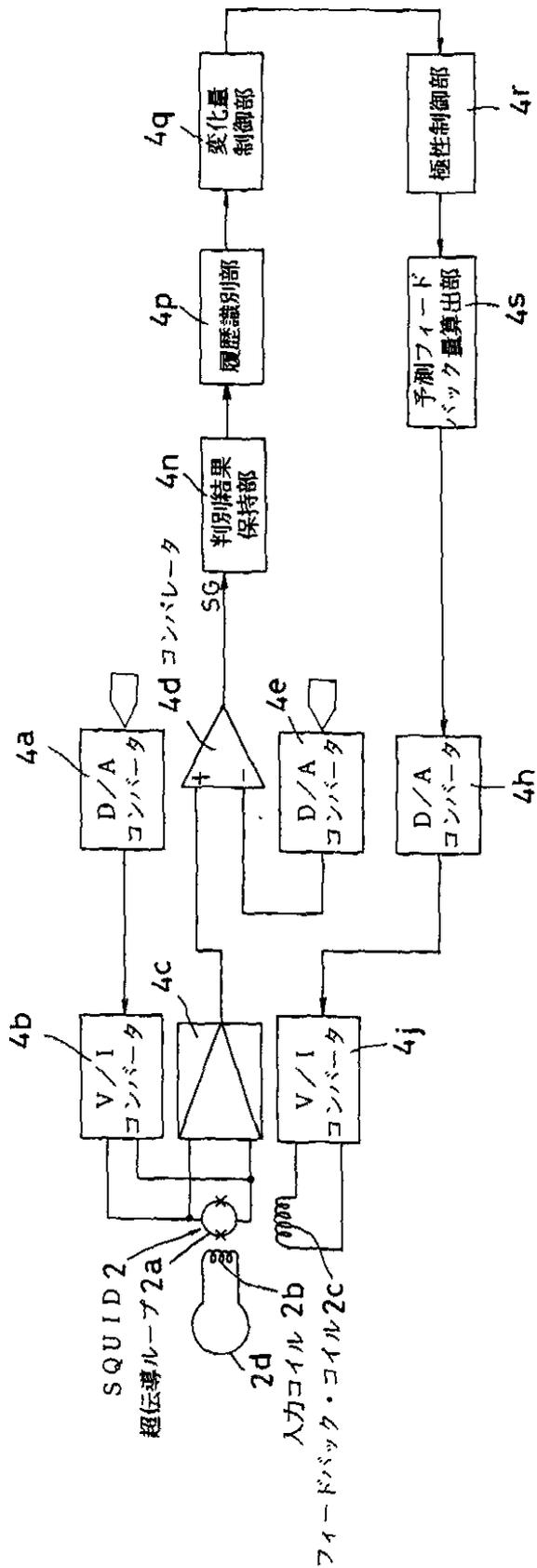
(B)



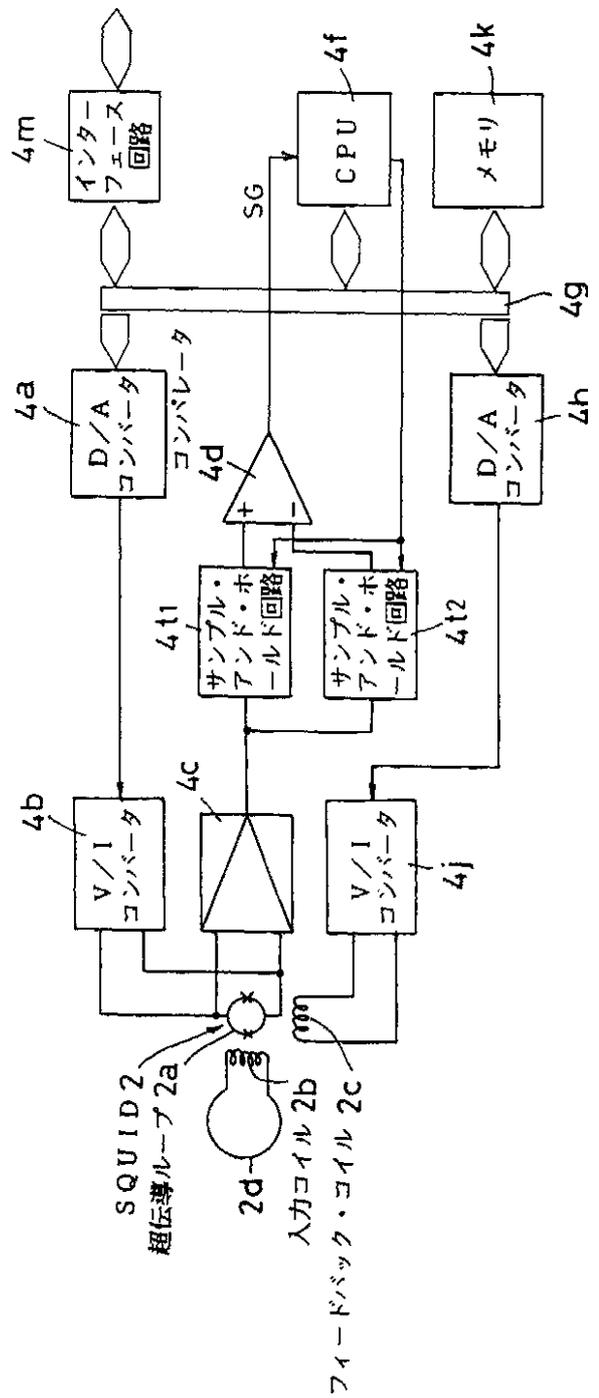
【第10図】



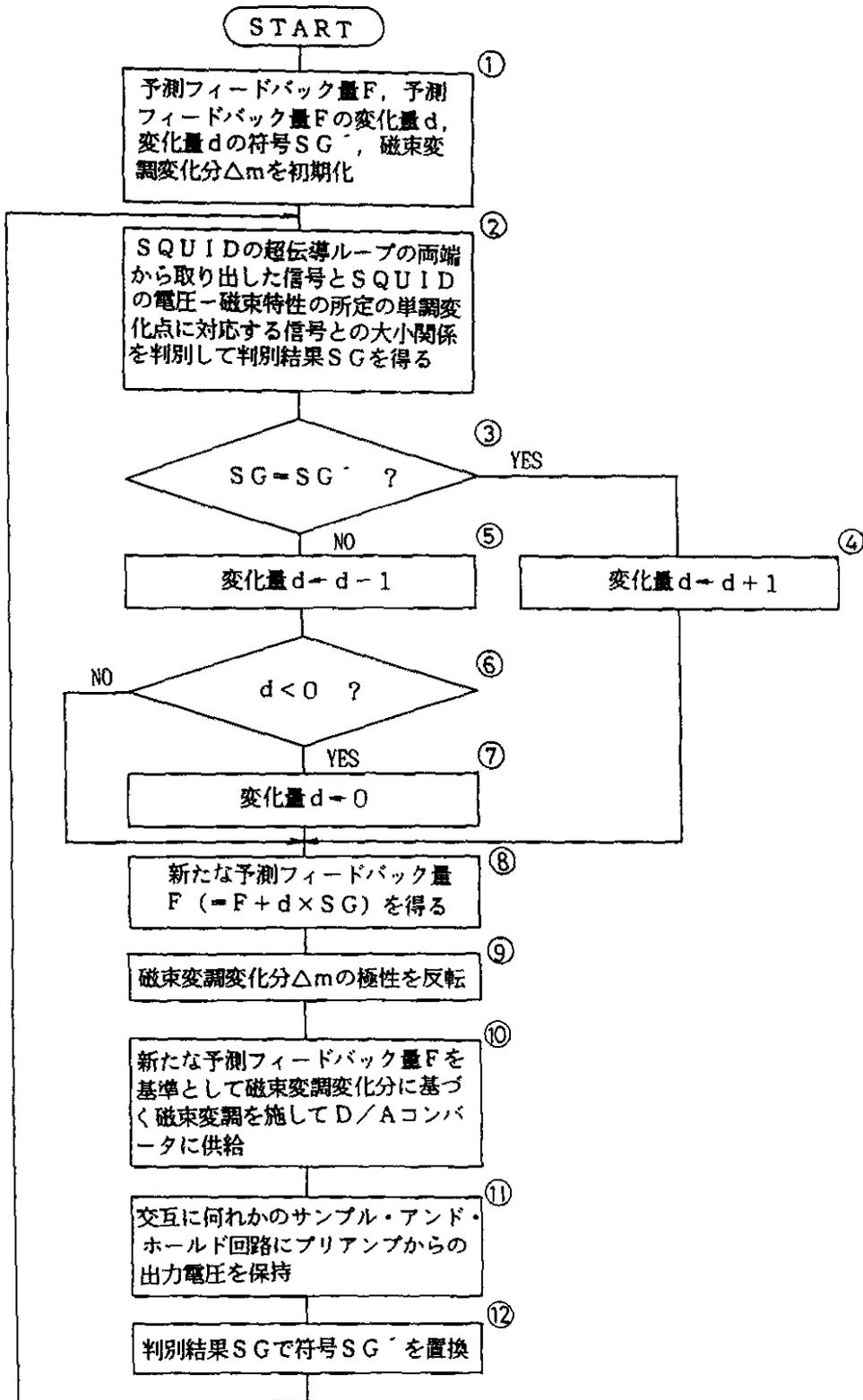
【第5図】



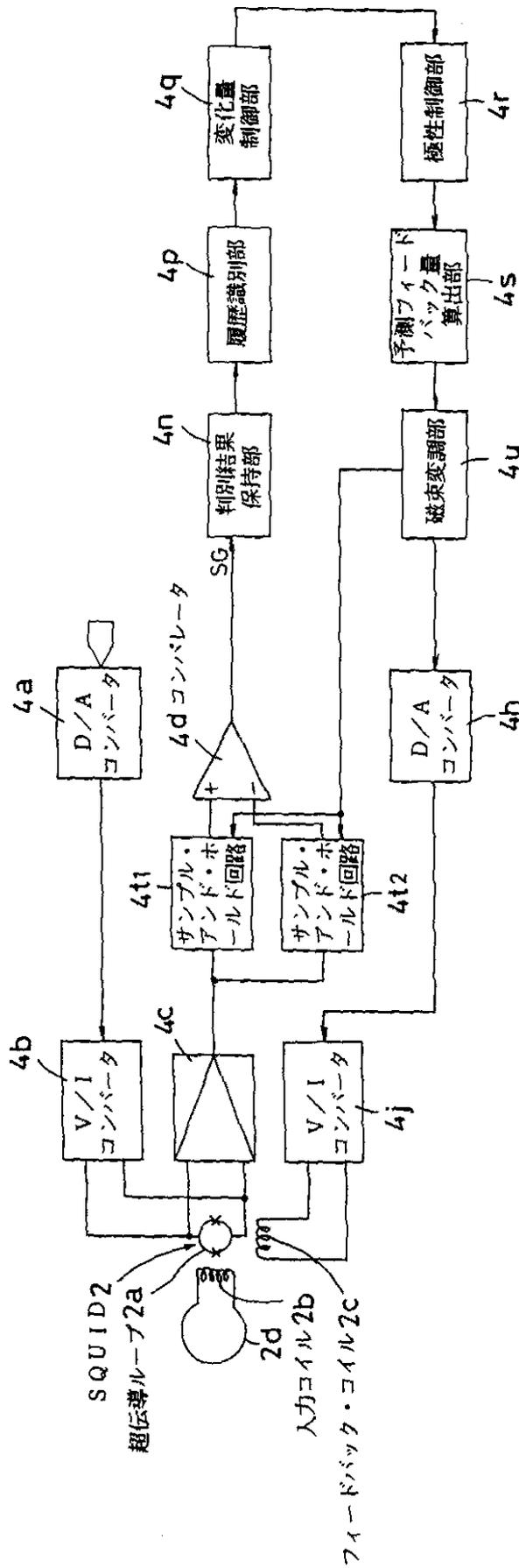
【第9図】



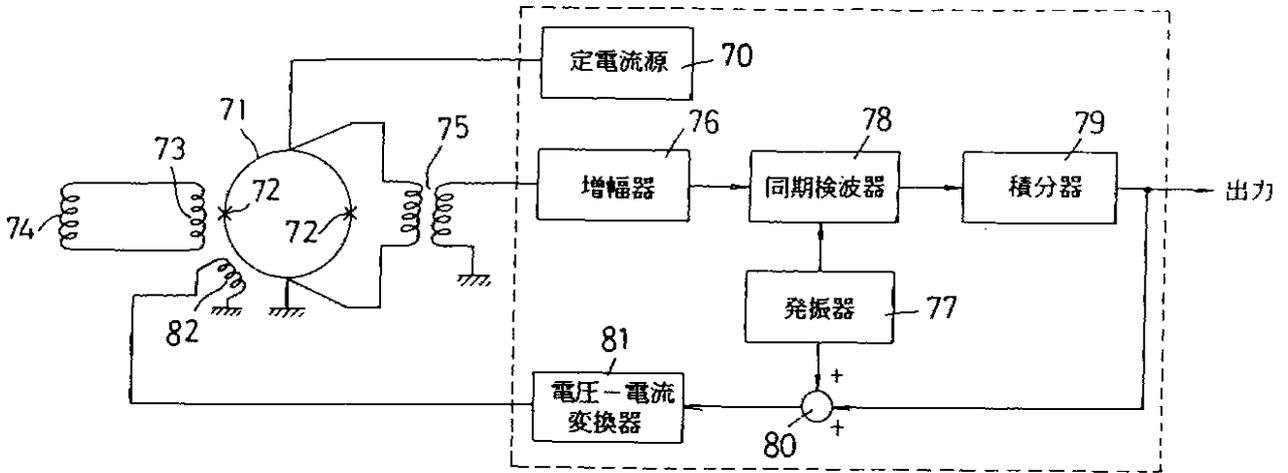
【第8図】



【第11図】



【第12図】



フロントページの続き

(56)参考文献 D.Drung, et al.: App  
l. Phys. Lett. 57(4), 23J  
uly 1990, PP. 406 - 408