

氏 名	お お うち たか お 大 内 隆 夫
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭和 5 0 年 4 月 9 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 2 項
最 終 学 歴	昭和 3 1 年 3 月 東北大学大学院工学研究科電気及通信工学専攻修士 課程修了
学位論文題目	角形ヒステリシス磁心を用いた回転速度の検出制御 素子に関する研究
論文審査委員	東北大学教授 穴山 武 東北大学教授 松尾 正之 東北大学教授 村上 孝一 東北大学教授 竹田 宏

## 論 文 内 容 要 旨

### 第 1 章 緒 言

回転速度・加速度等の検出方式はアナログ方式とデジタル方式の二つに分類することができる。回転速度のアナログ検出器として一般にタコメータが使用されているが、いずれの形のタコメータでも低速回転領域における検出感度、あるいは検出可能な低回転速度の限界などに問題があり、一台のタコメータで広範囲の速度変化を高精度で検出しようとするのは困難である。また、回転速度検出器と回転加速度検出器を併用するとすぐれた速度制御系を構成することができる。回転加速度検出器としてはこれまで二相誘導発電機形加速度形が一般に使用されているが、この加速度計は低回転加速度を検出することに難点を有している。

このため、これらの問題点を克服し精確な計測を行う目的をもつものとして近年デジタル形の回転速度計が使用されるようになってきた。しかし、このデジタル検出器を制御系の一つの素子として使用する場合には、回転速度に比例したパルス数を符号に変換し、あるいはこの符号をアナログ量に変換するために一方向性または二方向性半波、全波および交流出力を必要とし、この出力の電力増幅を行うなど、いくつかの変換機構が必要となる。ところで、非線形イングクタン素子として多用されている角形ヒステリシス磁心は安定した飽和値を有し、かつ電圧の積分作用や記憶機能があるためこの磁心を巧みに利用することにより、前述のデジタルーアナログ変換および電力増幅の両機能を1回の変換で同時に行うことができるというすぐれた利点を有している。

さらに、磁気増幅器およびサイリスタを電動機の世界速度制御に適用した例は非常に多いが、このような制御系では速度検出器としてタコメータが使用され、磁気増幅器やサイリスタはアナログ素子として使用されてきた。そのため低回転速度における回転速度検出器の感度が低く、低回転速度制御を行った場合十分な制御性を発揮することができなかった。

ところが、角形ヒステリシス磁心をデジタルーアナログ変換素子として使用すれば上記の欠点を取り除くことが可能で、角形ヒステリシス磁心で構成した光電形回転計の出力整形パルス電圧で磁気増幅器を制御し、適当な回路的考慮を払えば、回転数の変化に比例して磁気増幅器の平均出力電流が変化し、高感度の低回転速度検出が可能となる。

このような見地から著者は速応性があり、かつ高感度に低回転速度検出が可能な磁気増幅器の回路方式について種々の検討を行い、デジタル信号をアナログ量に変換するさいの精度および検出回路の出力特性の直線性等に検討を加え、直線性に最も大きな影響を与えるパルスリセット時にはね返り電圧を減少させる方式を採用し、高回転速度の高精度、高感度化をはかるとともに、これまで困難であった低回転速度を高感度に検出する方式を案出した。このほか、超低回転速度の検出機構を考案し、その検出可能な低回転速度の下限を明らかにするとともに、光電形回転加速度検出器の構成、低回転加速度の検出の可能性とその場合の速度検出器の下限を明らかにすることができた。これらの光電形回転速度検出器および光電形回転加速度検出器は制御系の要素として用いられることが多いので制御系の立場よりこれらの過渡特性などについても検討を加え、これを直流サーボモータの回転速度制御に適用しその実用性を確かめた。

## 第2章 磁心を使用した回転速度および回転加速度検出の基礎理論

一般的な回転速度のアナログ検出器についてその得失を論じ、デジタル検出器と比較しながらその問題点を指摘している。この問題を解決するため光電式ピックアップと角形ヒステリシス磁心により構成された光電形回転計の出力整形パルス電圧を直接磁気増幅器に加える方式を提案し、

本方式を用いれば低回転速度を高感度に検出できることを明らかにし、その基礎的動作原理について述べている。さらに、検出回路の直線性に影響を与える誤差の原因には、角形ヒステリシス磁心の材料固有の特性から生ずるものと、回路構成上から生ずるものがあることを指摘し、これらが検出回路の出力特性にいかなる影響を与えるかに就いて解析を行い検討を行っている。

また、検出回路の出力特性の直線性に最も大きな影響を与えるいわゆるはね返り電圧を減少させる方式について述べ、これにより回転速度検出器を全制御するのに必要な繰り返し周波数の上限をたかめることができる基礎的原理を明らかにした。

また、この検出方式の原理を拡張すれば回転加速度の検出が可能であることを確かめ、その検出方法の基礎的動作原理についても述べている。さらに、光電形回転速度および回転加速度検出器の伝達関数を導出し、そのブロック線図を求め、その過渡特性についても検討を行った。

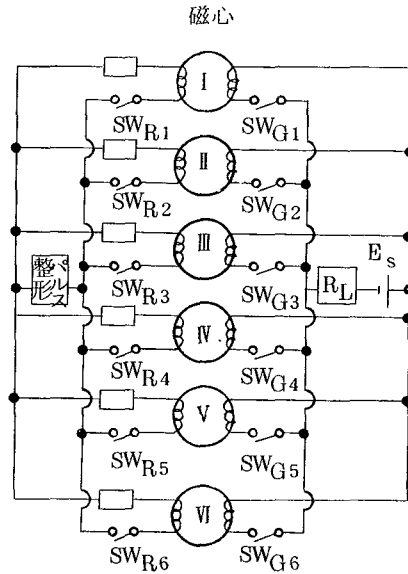
### 第3章 磁心を使用した光電形回転速度検出器の回路方式

前章で考察した光電形回転速度検出器の実際の回路方式について述べている。この検出器は、磁気増幅器やパルス幅変調器の回路構成に多少の変更を行うだけで容易に一方向性または二方向性半波、全波、交流出力が得られるため、直流サーボ系および交流サーボ系の帰還要素として直接使用できる特徴がある。また、一方向性および二方向性半波、全波出力で負荷が誘導負荷の場合においても補償回路を接続することにより抵抗負荷回路の動作と同一となるので、検出器制御特性において直線性の良いものがえられる特徴もある。ここではこれらの特徴を回路的立場より明らかにしている。

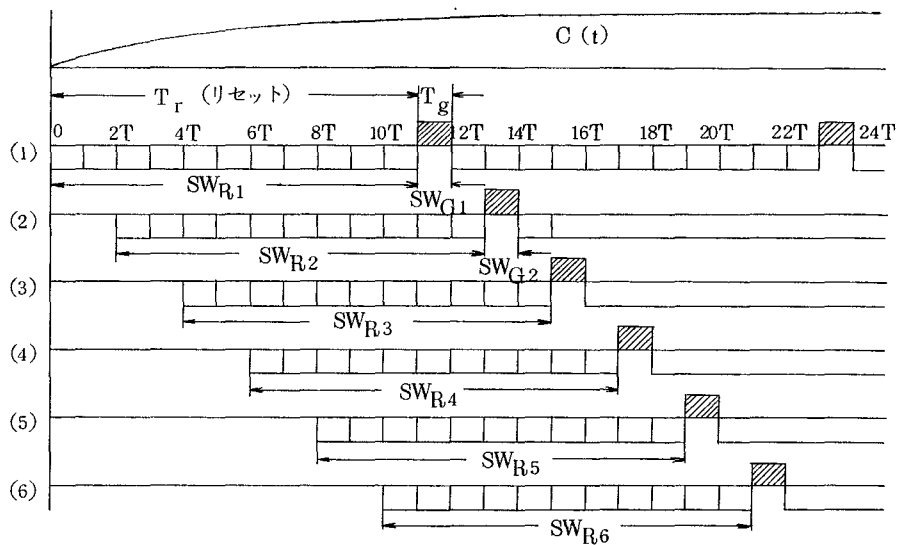
### 第4章 光電形回転速度検出器における検出回転速度の限界

第2章で考察した検討結果を基礎とし、整形パルス幅の減少に対する戻り磁束量の増減およびはね返り電圧の時間間隔の増減について実験的検討を加え、出力特性の直線性に大きく影響するはね返り電圧の減少をこころみ、この結果速度検出用磁気増幅器を全制御するのに必要な繰り返し周波数の上限の増大をはかる方法を明らかにした。その結果をもとにして検出できる回転速度の上限および下限を明確にし、その高精度・高感度を得る方法について述べている。また指定されたD-A変換精度で検出可能な回転速度範囲などを検討した。さらに超低回転速度の検出機構を提案した。第1図は磁心を6個使用して低回転速度を検出する基本動作を説明するための図である。第2図は第1図の各磁心の制御および出力回路のスイッチ $SW_R$ と $SW_G$ を駆動するためのタイムチャートを示す。いま磁心Iの制御回路のスイッチ $SW_{R1}$ は第2図のリセット期間 $T_r$ のみ閉じ整形パルス電圧でリセットされる。次のゲート期間 $T_g$ は商用周波数の半周期に等しくこの期間のみ出力回路のスイッチ $SW_{G1}$ を閉じるものとする。磁心Iはゲートされ、出力が現われ

る。磁心Ⅱ，Ⅲ，Ⅳ……も同様にして $T_r$ の期間次々に回転速度に比例した整形パルスでリセットされる。この時の出力は商用周波数の半波出力となる。このとき使用磁心数とリセット半周期には次の関係が成立する。



第1図 低回転速度検出器



第2図 低回転速度検出の基本的動作原理

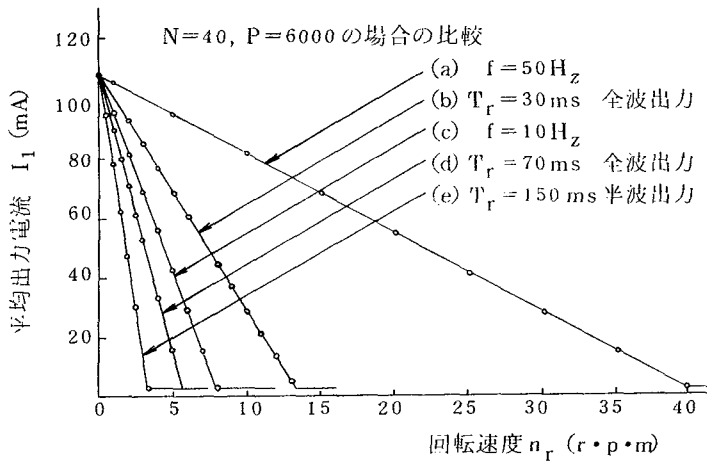
$$T_r = (2m + 1) \cdot T_g, \quad T_r + T_g = (2m + 2) \cdot T_g, \quad \text{磁心の個数 } (m + 1) \text{ 個,}$$

ただし,  $m=1, 2, 3, \dots$

毎分の回転数  $n_r$  は次式となる。

$$n_r = \frac{60}{PT_r} \times n$$

実用的立場より、一例として回転速度検出器を全制御するに必要なリセット期間に含まれる整形パルス数  $N=40$ 、1回転当り発生するパルス数  $P=6000$  の場合の回転速度検出器と超低回転速度検出器の被検出回転速度特性を比較するため、電源周波数  $f$  が商用周波数と  $10\text{Hz}$  の場合の回転速度検出器の制御特性、および超低回転速度検出器の  $T_r=30\text{ms}$  で全波出力（使用磁心4個）、 $T_r=70\text{ms}$  で全波出力、および  $T_r=150\text{ms}$  で半波出力（使用磁心8個）の場合の制御特性を示したものが第3図である。



第3図 被検出回転速度特性の比較

この図より磁心の数を増加させリセット期間  $T_r$  を増加させれば低回転速度を高感度に検出できる。また、超低回転速度検出器を直流サーボモータの低回転速度制御に適用することによりその実用性を確かめた。

## 第5章 磁心を使用した光電形回転加速度の検出機構

光電形回転加速度検出器の実際の回路方式とその動作機構について述べている。この方式では低回転速度で回転している場合の速度変化分を高感度に検出できると同時に、低回転加速度を高感度に検出できることを明らかにした。また、低回転加速度の検出可能な下限についても解析的

検討を加え、これが2（回転/秒<sup>2</sup>）であり、これ以上のものが検出できることを明らかにした。

## 第6章 磁心を使用した回転角度の検出機構

角形ヒステリシス磁心を使用した回転角度の検出機構について述べている。ここでは回転角度のデジタル化に符号板を使用し、この符号を角形ヒステリシス磁心を使用して一回の変換で容易にパルス幅に変換できる回転角度—パルス幅変換器の動作原理について述べている。また、角形ヒステリシス磁心の制御特性を基礎とする等価回路を用い、それぞれの磁心パルス幅変調器の出力パルス幅を解析し、さらに磁心の磁気特性の角形性の悪いために生ずるパルス幅の検出精度に対する影響を取り除くことにより精度を向上させた回路方式などの検討結果について述べている。

この検出器のケタ数の上限は2の零乗磁心の磁気特性の角形性が悪いために現われるパルス幅によって制限されるが、2の零乗磁心のこのパルス幅は20 $\mu$ Sであるため7ケタ（ $2^8 = 256$ ）までの検出器の製作が可能であることが容易に了解できる。

## 第7章 直流電動機速度制御系への適用とその検討

光電形回転速度検出器および光電形回転加速度検出器を直流サーボモータの回転速度制御に適用した場合の解析を行い、且つそれらが実用上きわめて有用であることを立証した。このような制御系は速度帰還量を増加させれば、この系の時定数がサンプリング周期に接近する場合も生ずるので、サンプル値制御理論を用いて解析を行わなければならない。この立場からここでは光電形回転速度検出器による速度帰還のみの速度制御系およびさらに光電形回転加速度検出器による加速度帰還を付加した速度制御系のステップ応答、ナイキスト線図による安定判別およびボード線図による周波数特性などを検討した。

この解析結果よりブロック線図などはかなりよく現象を説明しうることを確かめることができ、また速度帰還のみならずこの光電形回転加速度検出器を用いて加速度帰還を付加すれば、さらに制御系の安定性の増加することを明らかにすることができた。

## 第8章 結 論

角形ヒステリシス磁心を用いた回転速度の検出制御素子について総括的検討を加え、超低回転速度検出器を用いれば検出可能な回転速度の下限を使用磁心数に反比例して減少させることができることを述べ、磁心を用いた回転速度、回転加速度および回転角度検出器の検出可能な限界などを総括して示している。

## 審査結果の要旨

角形ヒステリシス磁心は、飽和特性、積分作用、記憶機能などの特徴的性質を持ち、D-A変換、A-D変換、遅延などアナログとデジタルの機能を兼ね備えた変換素子として多様な目的に使用されている。著者は、これらの角形ヒステリシス磁心の変換機能を巧みに利用することにより、従来比較的困難とされてきた低回転速度の検出と制御の問題を解決することを試み、角形ヒステリシス磁心をD-A変換器として用いた回転速度、回転加速度検出器を提案してその有用性を立証するなど幾多の知見を得ている。本論文はその成果をまとめたもので全文8章よりなる。

第1章は緒言である。

第2章では、回転速度の検出法につき、アナログ方式とデジタル方式の得失と問題点を検討し、デジタルとアナログを組合せた方式の重要性を指摘し、具体的方法として光電式ピックアップと角形ヒステリシス磁心とで構成した回転速度検出器を提案している。更に、この検出器に遅延機能を附加すれば回転加速度検出も可能であることを示し、これらの検出器の精度、過渡特性などを回路論的立場から考察している。

第3章では、第2章で提案した回転速度検出器の回路構成上の問題点を述べ、直流および交流出力を得るための回路構成法、誘導負荷に対する直線性の補償法などを検討している。

第4章では、回転速度検出器の特性と磁心特性および回路条件との関係を実験的に検討し、性能改善の方法を示すとともに、検出可能な回転速度の上限と下限を明らかにしている。これらの結果に基づき、超低回転速度を高感度で検出しよう方式を提案しているが、これは有用な知見である。

第5章では、回転加速度検出のための角形ヒステリシス磁心回路の構成法を述べ、その動作機構を等価回路を基にして検討するとともに、回転加速度の検出可能な下限についても解析的検討を加え、 $4\pi \text{ rad/s}^2$ 以上の加速度検出が可能であることを明らかにしている。

第6章では、角形ヒステリシス磁心を符号-パルス幅変換器として用いた回転角度検出器について、その動作原理を述べ、制御特性の解析結果を基にして精度向上の方法を検討し、具体的な回路方式を提案している。

第7章では、上述の回転速度および回転加速度検出器を用いて直流電動機速度制御系を構成し、制御理論に基づく解析結果と実験結果とを比較検討して、これらの検出器の制御素子としての有用性を立証している。

第8章は結論である。

以上要するに本論文は、角形ヒステリシス磁心の持つ多様な信号変換機能を活用した高精度の低回転速度、低加速度検出素子の可能性を検討してその有用性を確かめ、回転速度の検出制御方式に有用な知見を加えたもので、電気工学、計測制御工学に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。