

新形トランジスタ制御マイクロモータの特性

Characteristics of New Type Transistor-Controlled DC Micromotor

This article gives general aspects of various sorts of contactless speed regulation circuits of DC micromotors, introducing a newly developed bridge type speed regulation circuit on an analytical basis. Factors influencing its speed regulation characteristics and the compensation methods are also introduced. This new circuit allows to change set motor speeds freely, holds speed variation to a minimum under varying service conditions involving ambient temperature, load torque, source voltage, etc., and ensures small speed drift. By the adoption of this circuit multispeed motors have come to ensure high efficiency.

大西和夫* Kazuo Ônishi
 高橋 正* Tadashi Takahashi
 石崎公祥** Kôshô Ishizaki

1 緒 言

カセットテープレコーダ、カーステレオなどの駆動に使用されている超小形直流電動機(以下マイクロモータと称す)は、その用途上安定した定速性が要求される。従来最も多く使用されてきた遠心力による機械式接点ガバナは、初期特性はすぐれているが、接点の摩耗、接触不良などの原因によって回転数が不安定になりやすく耐久性に欠け、また電流の断続による電気雑音も大きいという欠点がある。この対策として、ガバナの無接点化が要求され、近年トランジスタを用いた無接点速度制御方式が採り入れられつつある。

マイクロモータの速度制御回路は速度検出の方法によって種々のものが考えられるが、一般にタコジェネレータ(以下T.G.と略す)を用いるものと、T.G.を用いないものに大別される。前者についてはすでに発表した⁽¹⁾概観するにとどめ、ここではT.G.を用いずブリッジ回路によって電動機の逆起電力を検出する方式の新形無接点速度制御回路について述べる。

2 マイクロモータの無接点速度制御方式の概要

マイクロモータは出力1W前後の永久磁石励磁の直流電動機であるため、その速度制御は電機子電流の調節によって行なわれる。以下に各種無接点方式の概要を述べる。

図1および図2は速度検出にT.G.を用い、その出力の電圧あるいは周波数を一定に保つように制御する方式の原理を示すブロック線図である。図1のT.G.は交流発電機の出力を整流して回転数に比例した直流を得るものが普通であるが、電圧リップルがあると回転むらを生じやすいのが欠点である。図2の周波数を検出するタイプは電圧リップルや永久磁石の温度特性の影響を受けないので、性能的に最もすぐれた方式であるが、周波数の検出および基準設定機構がやや複雑となり高価である。

図3は速度検出に電動機の逆起電力を利用する方式の原理を示すもので、T.G.を用いないため無接点速度制御回路の中では最も安価になる。ただし、この場合は磁石の温度特性、ブラシの接触状態など電動機の微妙な特性が速度検出精度に

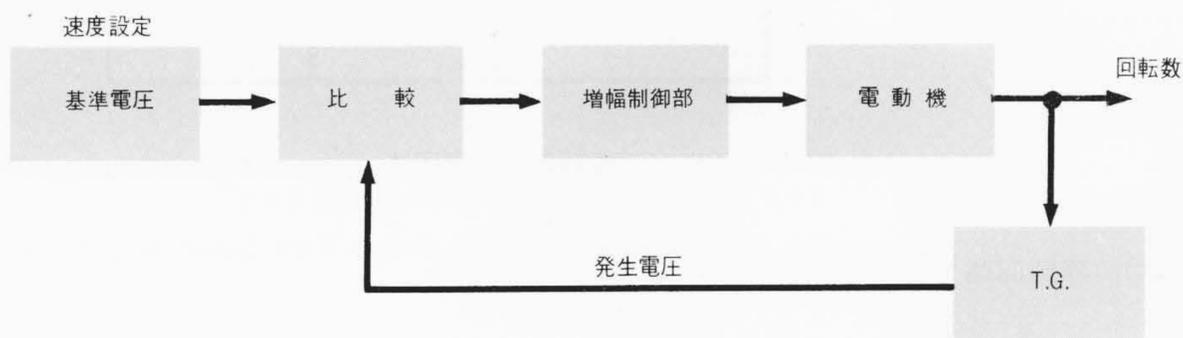


図1 T.G.電圧検出形速度制御方式
 T.G.の出力電圧を所定値に保つことによって速度を制御する方式である。
 Fig. 1 T.G.Voltage Detect Type Speed Regulation System

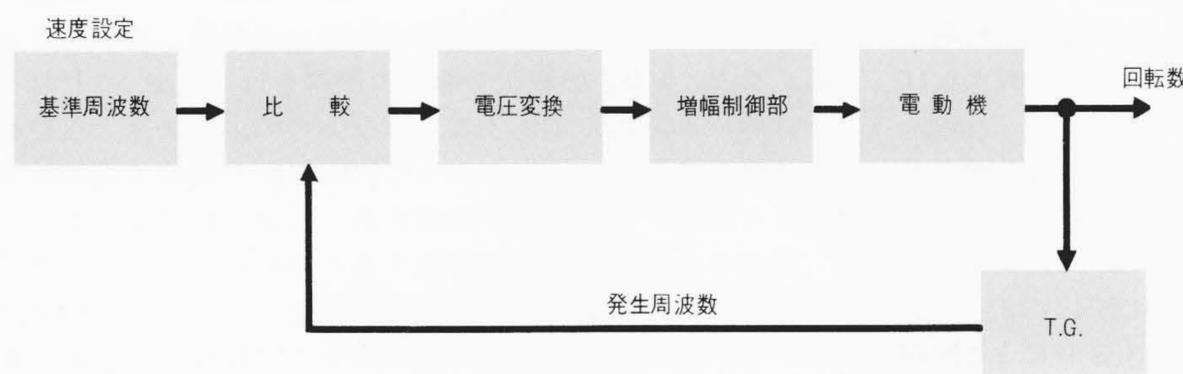


図2 T.G.周波数検出形速度制御方式
 交流T.G.の周波数を所定値に保つことによって速度を制御する方式である。
 Fig. 2 T.G.Frequency Detect Type Speed Regulation System

* 日立製作所日立研究所 ** 日立製作所多賀工場

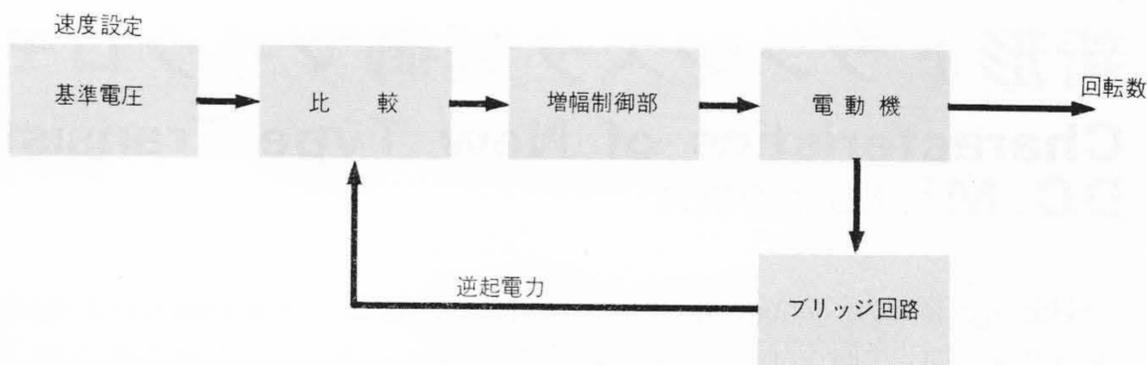


図3 逆起電力検出形速度制御方式 電動機の逆起電力を所定値に保つことによって速度を制御する方式である。

Fig. 3 Counter EMF Detect Type Speed Regulation System

影響するので、電動機は性能の十分安定したものを吟味して用いねばならない。以下に、このブリッジ式速度検出を用いた速度制御回路について詳述する。

3 ブリッジ式速度制御回路

3.1 ブリッジ式逆起電力検出回路

直流電動機の逆起電力は、ブリッジ回路を利用して検出することができる。図4(a)はそのブリッジ結線を示したものである。直流電動機は等価的に逆起電力 E に相当する電池と電機子抵抗 R_a の直列回路で置き換えることができる。これを入れると図4(b)の等価回路が得られる。

このとき、ブリッジ検出端子 A, B 間の電圧は次式となる。

$$V_Z = V_A - V_B = \frac{R_a}{R_a + R_b} E + \left(\frac{R_d}{R_c + R_d} - \frac{R_b}{R_a + R_b} \right) V \dots\dots(1)$$

ここでブリッジが平衡しているときには、

$$\frac{R_a}{R_b} = \frac{R_c}{R_d} \dots\dots(2)$$

が成立するため、(1)式の第2項はゼロとなる。したがって、

$$V_Z = \frac{R_a}{R_a + R_b} E \dots\dots(3)$$

すなわち、ブリッジの検出端電圧は電動機の逆起電力 E に比例する。

一方、永久磁石励磁のように磁束が一定のときには、逆起電力 E は回転数 N に比例する。

$$E = k_E N \dots\dots(4)$$

この関係を入れると(3)式は、

$$V_Z = \frac{R_a}{R_a + R_b} k_E N = k_Z N \dots\dots(5)$$

となり、 V_Z が回転数に比例することがわかる。

また、ブリッジの内部抵抗 R_Z は、

$$R_Z = \frac{R_a R_b}{R_a + R_b} + \frac{R_c R_d}{R_c + R_d} \dots\dots(6)$$

となる。これより図4(a)のブリッジ回路は(c)の等価回路で表わすことができる。

3.2 ブリッジ式無接点ガバナ回路

このように図4のブリッジ検出端電圧は電動機の回転数に比例するので、この電圧が常に一定になるように制御すれば電動機の回転数も一定に保たれるようになる。

図5は、この原理を用いた在来の実用回路の一例を示すものである。同図では、ダイオード D_1, D_2 の電圧 V_D とトランジスタ Tr_1 のベースエミッタ間電圧 V_{EB} の差 $2V_D - V_{EB} \cong V_D$ が基準電圧となり、これとブリッジ端電圧 V_Z を比較してフィードバック制御が行なわれる。なお、 R_2 は電源電圧変化による回転数変化を補償するための抵抗、 C は起動用コンデンサである。

図5の回路は構成素子数が少なく安価であるが、反面次のような欠点を持っている。まず起動電流は、コンデンサ C の

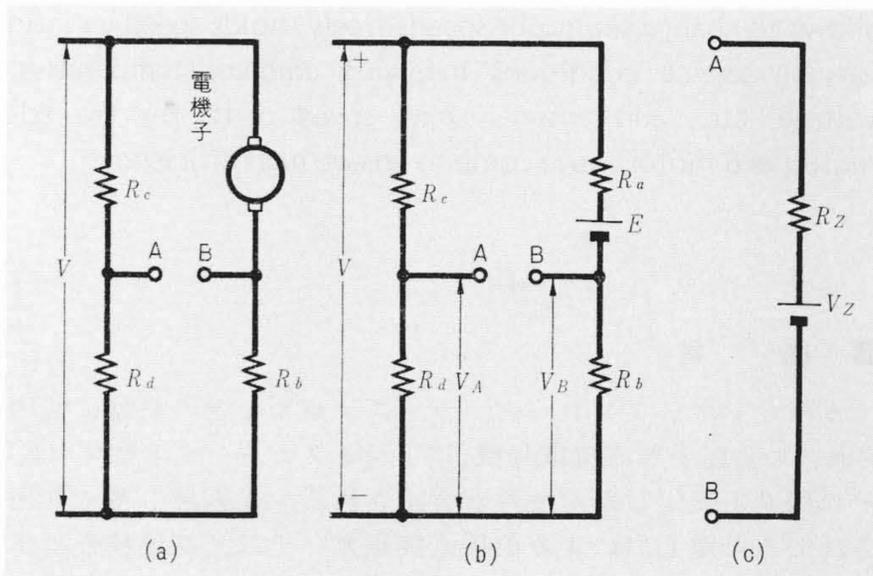


図4 ブリッジ式逆起電力検出回路 電機子を一边とするブリッジによって電動機の逆起電力を検出する回路である。(a)は原回路、(b), (c)はその等価回路を示している。

Fig. 4 Bridge Circuit for Counter EMF Detect

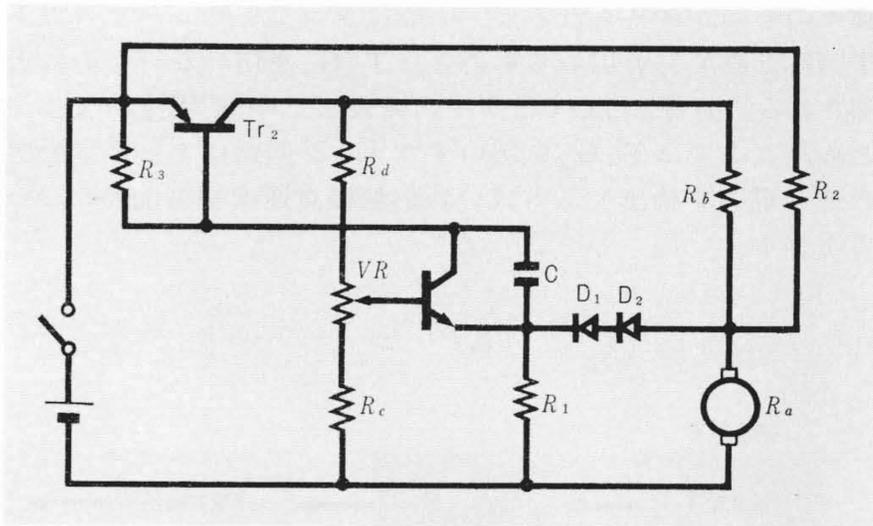


図5 ブリッジ式制御の在来回路 ブリッジ式逆起電力検出を利用したマイクロモータの速度制御のための在来回路である。

Fig. 5 Classical Circuit of Bridge Type Speed Regulation

充電電流を増幅して流すので、交流を整流平滑して直流を得る場合のように電圧上昇の速度が低いと起動しないことがある。また、 VR を加減して速度の微調を行なうが、これはブリッジのバランスをくずすことになるので、あまり大きい範囲の調節ができない。したがって、わずかの調節で定格速度が得られるように各素子の精度を高くしなければならない。

図6は、図5の欠点を解消するために新しく開発した回路である。この回路において、基準電圧はトランジスタ Tr_1 とダイオード D および抵抗 R_1 の電圧降下の代数和になるが、 R_1 の値を変化させることによって基準電圧を変更できるので、ブリッジのバランスをくずすことなく速度調節を行なうことができる。また、トランジスタを順次反転動作するように構成

してあるので、起動時には電圧上昇率に無関係に比較トランジスタ Tr_1 のベース電流が供給されるため起動不良は生じない。 R_3 は電圧特性補償用抵抗であり、 C と R_8 は高周波発振防止の目的でそう入されている。

4 回路動作の検討

4.1 基準電圧と制御回転数の解析

図6の速度制御回路の静的動作について解析する。

まず、ブリッジの検出電圧と比較される基準電圧は、トランジスタ Tr_1 の V_{EB} と抵抗 R_1 の電圧降下 V_R およびダイオード D の順電圧 V_D の代数和となる。 R_1 に流れる電流は Tr_1 のベース電流 i_{B1} と R_2 に流れる電流 i_2 の和であるが、 R_2 の両端の電圧は Tr_1 の V_{EB} で規制されるので、これに流れる電流は、 $i_2 = V_{EB}/R_2$ となる。ここで、 $V_{EB}/R_2 \gg i_{B1}$ となるように R_2 の値を選ぶことにより、

$$V_R = V_{EB} R_1 / R_2 \dots\dots\dots (7)$$

となる。したがって、基準電圧 V_S は、

$$V_S = V_{EB} + \frac{R_1}{R_2} V_{EB} - V_D \dots\dots\dots (8)$$

となるが、一般に $V_{EB} \cong V_D$ であるから、これを考慮するとさらに簡単になる。

$$V_S = V_R = V_{EB} R_1 / R_2 = k_S V_{EB} \dots\dots\dots (9)$$

すなわち、基準電圧 V_S はトランジスタ Tr_1 のエミッタベース間電圧と抵抗 R_1 、 R_2 の比によって決まることがわかる。図5の場合、基準電圧が V_D 一定であるのに対し、この回路では自由に変更できる利点がある。

次に電動機の制御回転数を求めるために、電動機の電流と回転数の関係を調べる。⁽²⁾ 電流と消費トルクの間には、一般に次の関係がある。

$$k_T i_m = T + k_D N \dots\dots\dots (10)$$

ここに、 k_T : トルク定数、 i_m : 電機子電流
 N : 電動機回転数、 T : 電動機トルクの一定項
 $k_D N$: 電動機トルクの回転数比例分

これより、

$$N = \frac{k_T}{k_D} i_m - \frac{T}{k_D} = k_i (i_m - I_F) \dots\dots\dots (11)$$

ここに、 $k_i = k_T / k_D$ 、 $I_F = T / k_T$ である。

また、トランジスタ $Tr_1 \sim Tr_3$ 間の総合電流増幅率を A とすると、終段トランジスタ Tr_3 の電流である i_m は初段トランジスタ Tr_1 のベース電流 i_{B1} が最小のとき最大となるので、次の形になる。 I_0 は i_m の最大電流である。

$$i_m = I_0 - A i_{B1} \dots\dots\dots (12)$$

ベース電流 i_{B1} は、ブリッジの検出端に接続される初段トランジスタ回路の等価抵抗を R_E とすると次式で表わされる。

$$i_{B1} = \frac{V_Z - V_S}{R_Z + R_E} \dots\dots\dots (13)$$

R_E は R_1 およびトランジスタ、ダイオードの特性による抵抗である。

(5)式と(9)式を(13)式に代入し、(12)式を考慮すると、(11)式は次のようになる。

$$N = k_i \left(I_0 - A \frac{k_Z N - k_S V_{EB} - I_F}{R_Z + R_E} \right)$$

これより N を求めると、

$$N = \frac{k_S V_{EB} + (I_0 - I_F)(R_Z + R_E) / A}{k_Z + (R_Z + R_E) / (A k_i)} \dots\dots\dots (14)$$

ここで、 A はトランジスタ3段の増幅率であり、非常に大きい値なので、 $1/A \cong 0$ と考えると、次式のように簡単になる。

$$N = \frac{k_S}{k_Z} V_{EB} = \frac{R_1}{R_2} \cdot \frac{R_a + R_b}{R_b} \cdot \frac{V_{EB}}{k_E} \dots\dots\dots (15)$$

(15)式から、回転数は抵抗 R_1 または R_2 によって自由に変化できることがわかる。この場合、 R_1 、 R_2 を変化させても、ブリッジの平衡に影響しないことはもちろんである。

4.2 温度特性の検討

この制御回路で注意しなければならないのは、周囲温度による制御回転数の変化である。次に、この回転数の温度特性に及ぼす各要素の影響とその補償法について考察する。

4.2.1 ブリッジ検出電圧の温度特性

ブリッジ検出電圧 V_Z は(5)式で与えられる。(5)式の係数の中の k_E は直流機の公式により次式で表わされる。

$$k_E = \frac{P}{a} \frac{k_w Z \Phi}{60} \times 10^{-8} \quad (\text{V/rpm}) \dots\dots\dots (16)$$

ここに、 P : 極数、 a : 並列回路数、 Z : 電機子導体数、 k_w : 巻線係数、 Φ : 毎極磁束 (M_x)

P 、 a 、 Z は定数で温度特性を持たないが、 Φ は磁石の磁束であるから、温度によって変化する。アルニコ系磁石の場合は温度係数が $0.02\%/^{\circ}\text{C}$ 程度なのであまり問題ないが、フェライト磁石ではこれが約 $0.2\%/^{\circ}\text{C}$ と大きいので、この補償を必要がある。この補償は、回路全体としてあとで総合的に考えることにする。

次に抵抗比 $R_b / (R_a + R_b)$ について考える。 R_a は電動機の巻線抵抗で、これは一般に銅線であるから温度係数は、 $0.4\%/^{\circ}\text{C}$ にもなる。これに対して R_b にカーボン抵抗を用いた場合、この温度特性が $-0.02\%/^{\circ}\text{C}$ 前後で銅と一けた以上も差があるうえに極性も異なるので、上記の抵抗比は温度によって大きく変化し、 V_Z は回転数に比例しなくなる。また、 R_c 、 R_d にはカーボン抵抗が用いられるので、(2)式のブリッジ平衡条件もくずれる結果となる。ブリッジの平衡がくずれると、検出電圧が正確に回転数に比例しないだけでなく、電源電圧や負荷電流による影響を受けるようになる。このため、電動機の負荷あるいは電源電圧に対する特性が温度によって変動し、著しい場合には正常な制御が行なわれずハンチングなどを発生することがある。

これらの欠点を避けるために、われわれは直列抵抗 R_b に電機子巻線と同じ銅線のコイルを用いて、 R_a と R_b の温度特性を等しくしている。

4.2.2 基準電圧の温度特性

基準電圧は(8)式で与えられる。(8)式において、トランジスタの V_{EB} とダイオードの V_D はいずれも pn ジャンクションの順

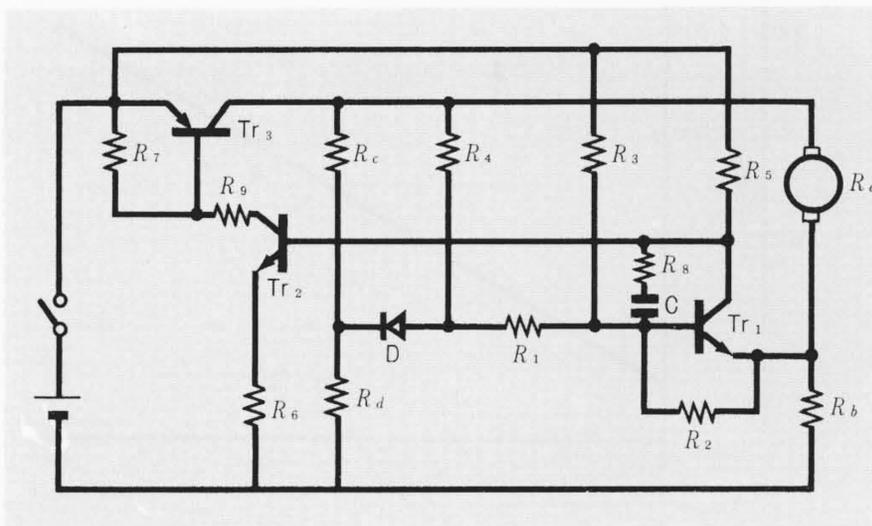


図6 新形ブリッジ式速度制御回路 新しく開発したブリッジ式速度制御回路である。起動性、温度特性、速度調節性、効率などの面ですぐれている。
 Fig. 6 New Bridge Type Speed Regulation Circuit

電圧降下であるから、いずれもほぼ $2 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ の温度特性を持っている。使用温度範囲における各電圧の変化を Δ を付けて表わすと、(8)式より次式が成立する。

$$\Delta V_S = (1 + R_1/R_2) \Delta V_{EB} - \Delta V_D \dots\dots\dots(17)$$

この場合は、この電圧変化を単独にゼロにするのではなく、前項の回転数検出の温度特性と合わせて総合的に温度補償を考えるのが適当である。フェライト磁石を使った電動機では、検出ブリッジ回路の温度特性は約 $2\%/^\circ\text{C}$ であるから、基準電圧の温度特性をこれに一致させれば、全体として温度補償が行なわれ温度による回転数変化がなくなる。

(17)式の場合の変化率は、

$$\frac{\Delta V_S}{V_S} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \frac{\Delta V_{EB}}{V_S} - \frac{\Delta V_D}{V_S} \dots\dots\dots(18)$$

となる。この変化率は素子の選択によってある程度調節できるので、磁石の温度特性に実用上一致させることができる。

アルニコ磁石を使用した場合は、変化率を一けた小さくする必要があるので、その一方法として図7のように初段トランジスタのベースエミッタ回路にゲルマニウムダイオードをそう入するのが有効である。この場合はダイオードと直列の抵抗値を変化させることにより微細な温度特性の調節ができる。

4.3 電圧補償

電源電圧が変化すると、制御回転数にも若干の変動を生ずる。この電圧特性に対する影響は、抵抗 R_1 と R_3 の効果が最も大きい。図8は、 R_1 、 R_3 による電圧特性変化の一例を示すものである。同図で電圧特性は定格電圧の前後 7 V と 4.5 V における回転数の差の定格回転数に対する比で示した。これより、 R_1 、 R_3 の値は適正な値を選ばねばならない。

4.4 負荷特性

負荷による回転数変化特性(負荷特性)に大きい影響を持つ素子はブリッジを構成する抵抗である。図9は、 R_c および R_d による負荷特性変化を示すものである。同図で負荷特性は、負荷トルク $4 \text{ g}\cdot\text{cm}$ と $8 \text{ g}\cdot\text{cm}$ における回転数の差の定格回転数に対する比で表わされている。この場合、 R_d を 15% 以上変化させると、ハンチングを生じ正常な制御が行なわれなくなる。これより、ブリッジ辺の4個の抵抗が最悪の方向に変化した場合を考えると、各素子はその $1/4$ のばらつきに押えるべきである。

5 速度制御特性

図6の新形速度制御回路を、フェライト磁石励磁のマイクロモータに適用した場合の主要制御特性を図10~図13に示した。

定格値は電圧 6 V 、回転数 $2,200 \text{ rpm}$ 、負荷 $6 \text{ g}\cdot\text{cm}$ である。図13のドリフト特性は、電源投入直後の回転数変化を示すものである。また図14は、本制御回路付マイクロモータの外観を示すものである。

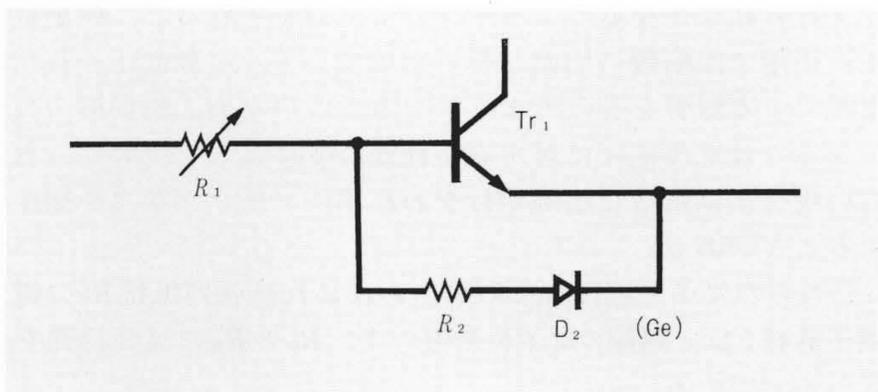


図7 ダイオードによる温度補償 ダイオードを用いた速度設定の温度補償回路である。

Fig. 7 Temperature Compensation by Diode

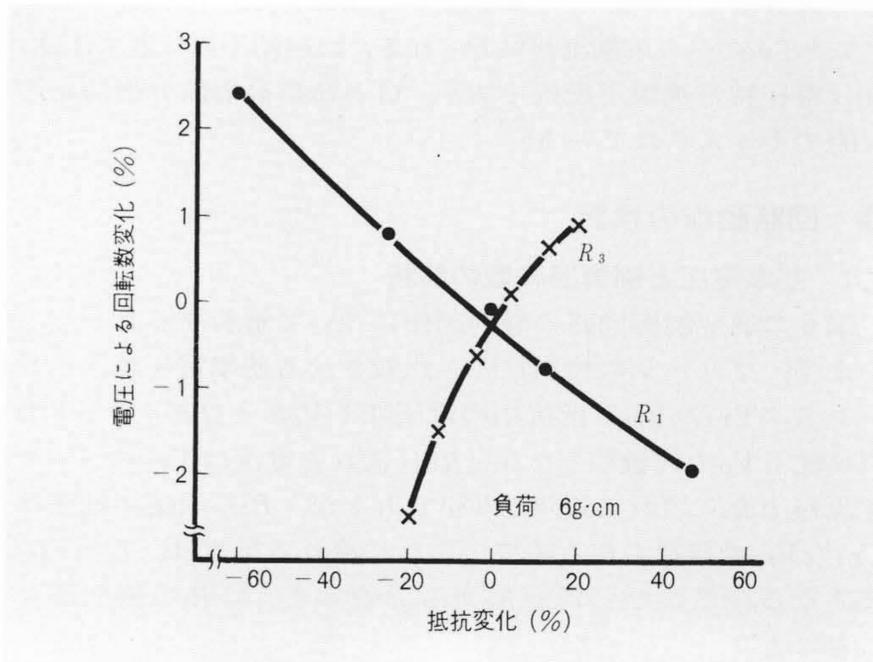


図8 電圧特性に対する抵抗値の影響 抵抗 R_1 、 R_3 の値を変化したときの電源電圧対回転数変化特性に与える影響を示したものである。

Fig. 8 Influence of Resistor Value on Voltage Characteristics

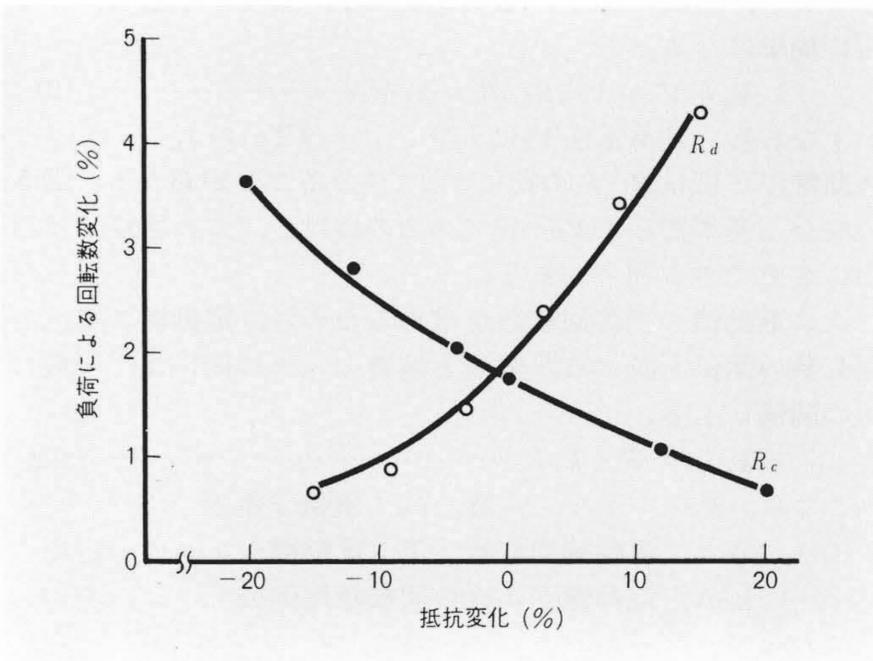


図9 負荷特性に対する抵抗値の影響 抵抗 R_c 、 R_d の値を変化したときの負荷特性に与える影響を示したものである。

Fig. 9 Influence of Resistor Value on Load Characteristics

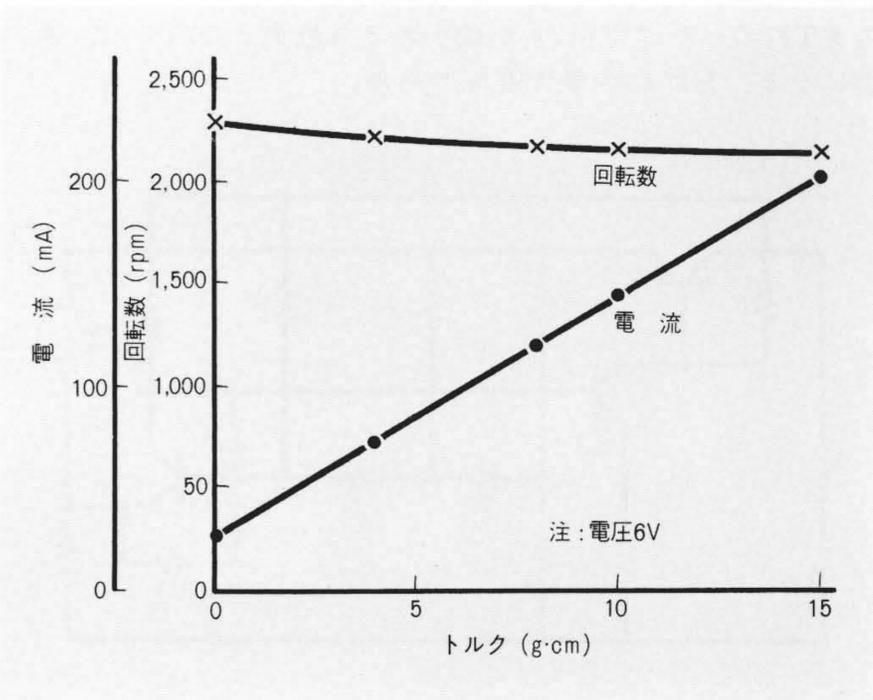


図10 負荷特性 新形速度制御回路の負荷特性の一例である。

Fig. 10 Load Characteristics

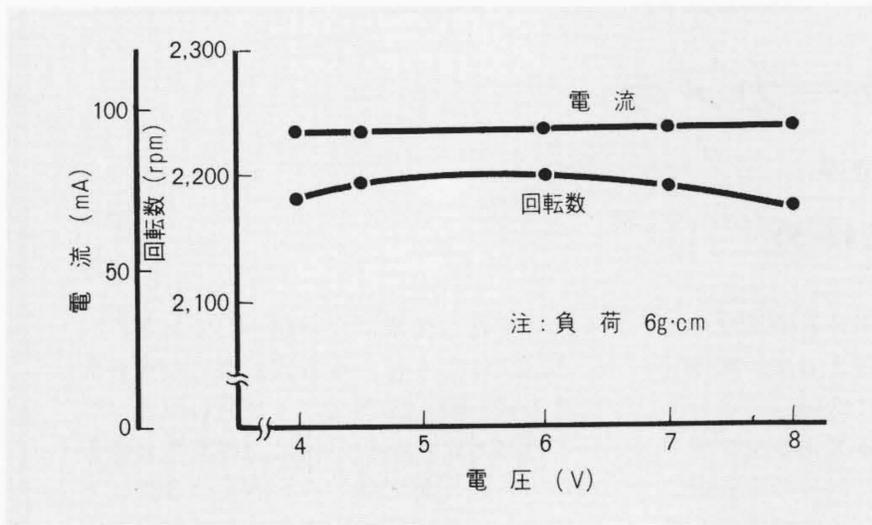


図11 電圧特性 新形速度制御回路の電圧特性の一例である。

Fig. 11 Voltage Characteristics

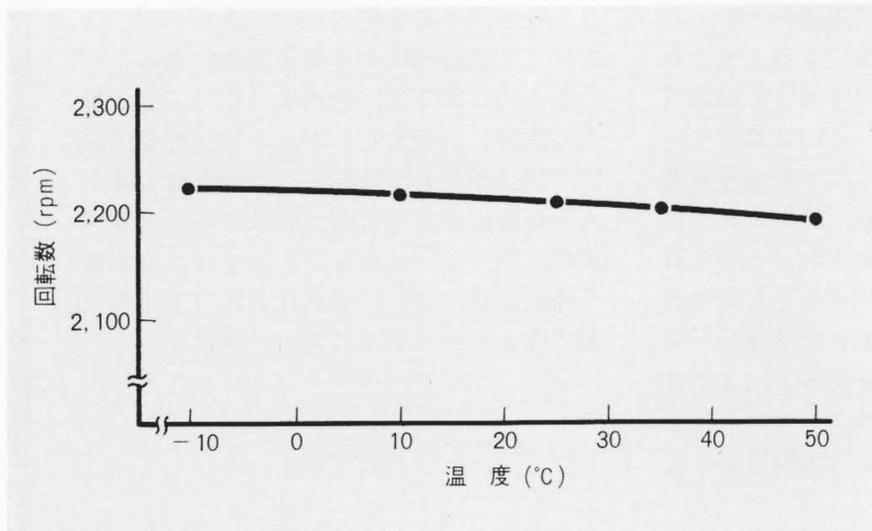


図12 温度特性 新形速度制御回路の温度特性の一例である。

Fig. 12 Temperature Characteristics

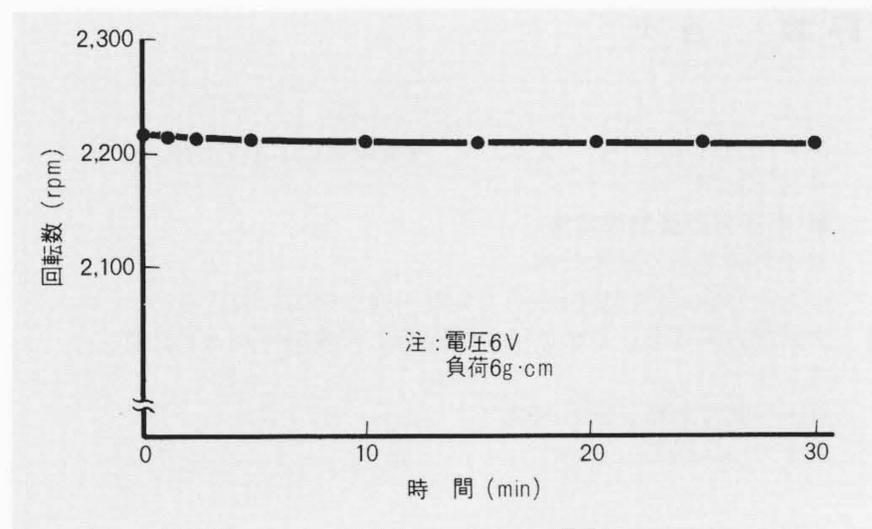


図13 ドリフト特性 新形速度制御回路の回転数ドリフト特性である。

Fig. 13 Speed Drift Characteristics

本制御回路の最も大きい特長は、設定速度を他の特性に影響を与えることなく自由に変更できることである。図15はこの特長を生かした多速度電動機の特長である。また、(15)式よりわかるように、直列抵抗 R_b の値を R_1 、 R_2 に関連させて小さくすることができるので、 R_b による電圧降下が小さく、回路の効率が高くなる。さらに、この回路では基準電圧を低くとることができるので、3V以下の低い電源電圧に対しても十分よく動作する回路を作ることができる。

6 結 言

ブリッジ回路によって電機子逆起電力を検出するタイプの

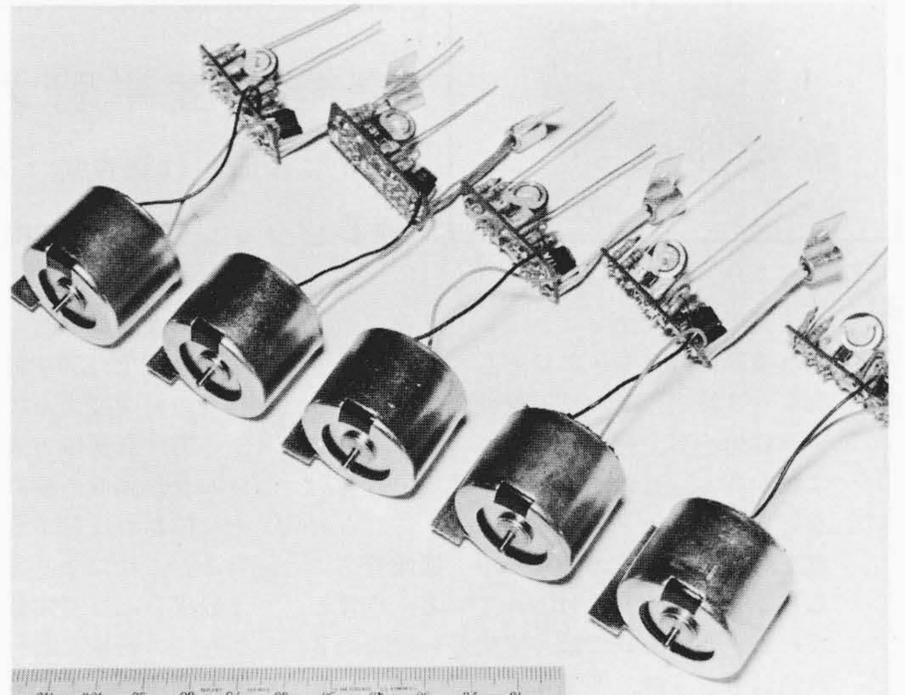


図14 ブリッジ式速度制御マイクロモータ 新形ブリッジ式速度制御回路を付けたマイクロモータの外観である。

Fig. 14 Micromotors with Bridge Type Speed Regulation Circuit

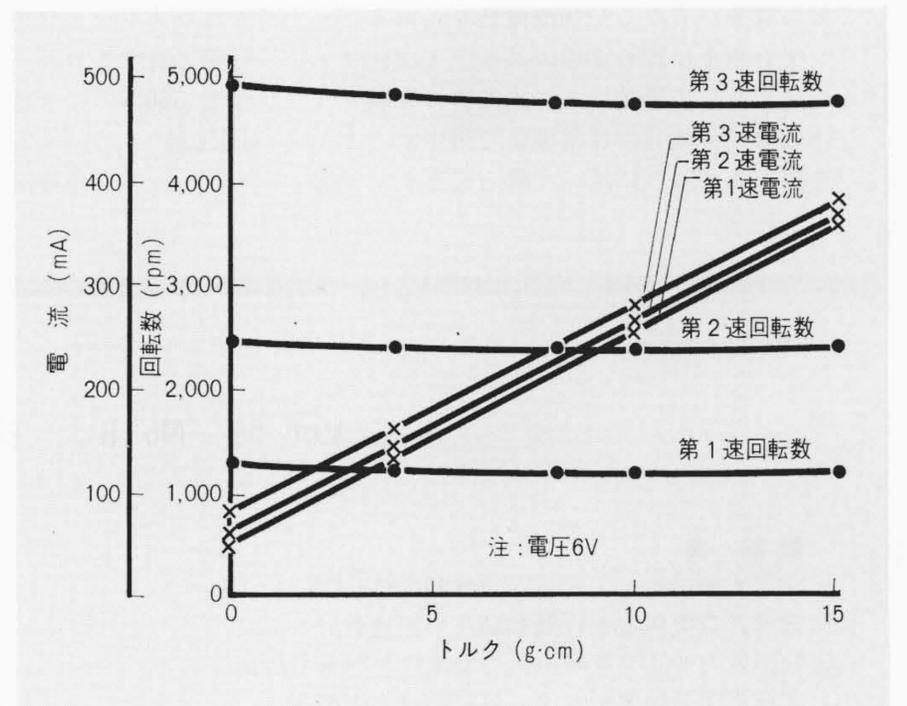


図15 多速度電動機の負荷特性 新形速度制御回路による1:2:4の多速度電動機の特長の一例である。

Fig. 15 Load Characteristics of Multispeed Motor

新形マイクロモータ用速度制御回路について、簡単な解析を行ない制御特性に与える各因子の影響とその補償法について考察した。今回開発した新方式は、簡単な回路で任意に設定速度を変更できるのが特徴であって、温度、負荷および電圧に対する回転数変化が極小であるだけでなく、高効率で、容易に多速化できるなどの利点を持っている。

参考文献

- (1) 関, 大西, 高橋: 「カーステレオ用トランジスタ制御マイクロモートル」, 日立評論51, 1032(昭44-11)
- (2) Masumi, Bo, "Speed Control of Small DC Motor by Series Transistor with Positive Feedback", Memories of the Fac. of Eng. Kobe Univ., No.16, 79(1970)



高解像度単管カラーカメラ

日立製作所 江藤良純 日比正男

テレビジョン 26-5, 381 (昭47-5)

放送用カラーテレビジョンカメラにおいては被写体の3原色に対応して各撮像管を有する3管式カメラが一般的であるが、カメラ自体小形、軽量化しにくく、保守調整に難がある。したがって、産業用、教育用などのカラーカメラにおいては、これらの点を解決するものとして単一撮像管によるカラーカメラが注目されている。単管カラーカメラの方式には、光信号の段階で3原色信号を変調、多重化し、撮像後、分離復調を行なう方式が多い。筆者らはこれらの方式の中から同時信号が得やすい周波数分離方式に着目し、従来方式より解像度を向上しうる新しい方式を提案し、試作カメラによる性能確認を行なった。

周波数分離方式は光信号において緑、赤、青の成分が異なる空間周波数を占めるようシアンおよび黄の2種のストライプ色フィルタを介して撮像する。撮像管は変調を受けた赤、青成分の側帯波まで再生することを要求されるのに比べ、得られるテレビ信

号の解像度は分離の際に用いる低域フィルタの帯域で250本程度に押えられ、撮像管自身の解像度よりはるかに低い。

一方、新撮像方式によるストライプ色フィルタは画像の垂直方向に対して走査線ごとに位相が反転するような角度で傾斜している。これにより変調を受けた赤、青成分と緑成分とは周波数インターリーブするので、これらの帯域を共有させても画像の垂直相関を利用し一水平走査時間遅延線を用いた楕(くし)形フィルタで分離できる。すなわち、得られるテレビ信号の解像度を撮像管の解像度と等しくできる。これは換言すれば単管カメラで問題となるにせ色信号を軽減できることをも意味する。試作カメラにおいては、金属干渉膜をホトエッチして得られたストライプ色フィルタを光電変換面近傍に有するカラービジコンを開発し、解像度350本、にせ色信号を従来方式より5dB改善したテレビ信号を得た。カメラはカメラヘッド、色復調器部の二体構造より成

り、いずれも従来にない超小形である。

本論文はさらに、本方式も含めた周波数分離方式一般のS/N比および色再現性について考察した。解析の結果、周波数分離方式においては輝度信号のS/N比は3管式と同等だが、色信号のS/N比は変調度100%の理想撮像管を用いても3管式より9dB低い。また、周波数分離方式では色フィルタが縦続的に配置されるために、3管式のように各原色の撮像特性が独立とならず、3管式より色飽和度が下がる傾向にある。

本方式はS/N比、色再現については3管式の性能には至らないが、小形、軽量で保守、調整が容易な特長をもつ周波数分離方式の解像度をさらに向上させている。本方式のカラーテレビジョンカメラは、日立電子株式会社において製品化され、工場監視、海中探索などの用途に実用化されている。

Vol. 55 No. 8 日立評論 目次

■ 論文

汎用生産工程シミュレータMAFLOSの開発
電子計算機による自動制御系の最適設計
四国電力株式会社坂出火力発電所納計算機制御システム
北海道開発局豊平峡ダム自動監視制御装置
高炉プロセスにおける計算制御
日立新シリーズ高圧かご形インパクトF種三相誘導電動機
センジマーミルの計算制御
センジマーミルの最近の動向
圧力容器用極厚2¼Cr-1Mo鋼の材質とその溶接継手性能

前方張力付加押出法によるアルミ被覆鋼線(EFT-AS線)の特性と応用

■ 原子力計装制御特集

原子力発電所の計装制御
中国電力株式会社島根原子力発電所向け制御計装設備
中国電力株式会社島根原子力発電所1号機納プロセス計算機システム
原子炉異常診断装置の開発
原子力用伝送器

Vol. 35 No. 7 日立 目次

グラフ/北に伸びる2筋の道
解説/電力を見直そう
製品ルポ/ガン治療薬を追求する——微生物化学研究所をたずねて
製品ルポ/スケートは楽し——後樂園アイスパレス
科学ルポ/新段階に入るプラズマ研究
インタビュー/“すばらしい世界旅行”ウラ話 牛山純一氏

今月の豆知識/4チャンネル、CAI
家電コーナー/節約お洗濯プラスソフト仕上げ
新製品紹介/カセットレコーダー、カラーテレビ、ステレオ、パルヒーター
美術館めぐり/寧楽美術館
海外だより/「有情」「非情」こもごものタイ国

発行所 日立評論社

取次店 株式会社 オーム社書店

東京都千代田区丸の内一丁目5番1号

東京都千代田区神田錦町3丁目1番地

郵便番号 100

郵便番号 101

振替口座 東京 20018番