

誘導電動機の巻線温度の連続測定

Continuous Measurement of Winding Temperature of Induction Motors

菅 原 徹* 鈴木 敏 孝*

Tôru Sugawara

Toshitaka Suzuki

小 村 英 和** 渡 辺 一 男**

Hidekazu Komura

Kazuo Watanabe

要 旨

誘導電動機の固定子の巻線温度を運転しながら連続的に測定、記録できる装置を開発した。

従来の抵抗法では運転中止後の巻線抵抗の放冷特性から運転中の温度を推測していたが、この方法では連続的に運転中の温度を測定することはできない。しかも、測定点のばらつきのため特性曲線の描き方で大きな誤差がでるし、手数がかかり非能率的である。

そのような欠点のない本測定装置の測定範囲は、電動機巻線の抵抗値で5~10Ω、温度上昇値100℃をフルスケールにしているが、その測定精度は±1℃であり、100±10Vの電源電圧変動および50(60)±2c/sの電源周波数の影響も問題ない。

ここでは、温度上昇直読原理、この装置の構成、巻線抵抗のばらつきを補正する校正回路の原理および実測結果について報告する。

1. 緒 言

周知のように、電動機の巻線温度上昇値は絶縁材料の耐熱温度によって制限される。巻線の温度上昇値が大きくなると、電動機の絶縁材料の寿命が短くなり、かつ電動機他の部分の機能を害するので、温度上昇の測定は重要な意味を持っている。しかし、従来の抵抗法⁽¹⁾では運転中止時の巻線温度から推測するのであるから、運転中の負荷および電源電圧の変動の影響などは測定が困難である。

それに対し、本装置は運転中の温度上昇を連続的に測定記録できるので、誘導電動機の特性を解明する新しい手段を提供し、電動機の改良に役立つと考える。

2. 巻線温度測定装置の原理および構成

2.1 抵 抗 法

従来使用されている抵抗法について簡単に説明する。この方法は巻線の抵抗の増加を測定して、巻線の温度上昇を下式によって算出する方法で、巻線の平均温度を与える。

$$t' = t_2 - t_a = \left(\frac{R_2}{R_1} - 1 \right) (T - t_1) + (t_1 - t_a) \quad (^\circ\text{C}) \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 R_1, R_2 : おのおの $t_1^\circ\text{C}$ および $t_2^\circ\text{C}$ における巻線抵抗 (Ω)

t_2 : 運転中止時の巻線温度 (°C)

t_1 : 冷状態において R_1 を測定したときの巻線温度 (°C)

t_a : 試験の最後における基準周囲温度 (°C)

t' : 巻線の温度上昇 (°C)

T : 定数、銅に対しては $T = 234.5$ (°C)

普通は、この式における R_2 の値だけは直接測定することができないので、運転を停止し、ある時間間隔ごとに巻線抵抗をブリッジで測定し、その放冷特性を電動機の運転を中止した時刻まで延長することにより求める。こうして求めた R_2 の値を(1)式に代入して巻線温度を推測するわけである。それゆえ、この方法では運転中の温度変化は測定できず、負荷および電源電圧の変動などの影響もわからない。また、実験者の測定技術、測定点のばらつきなどのため特

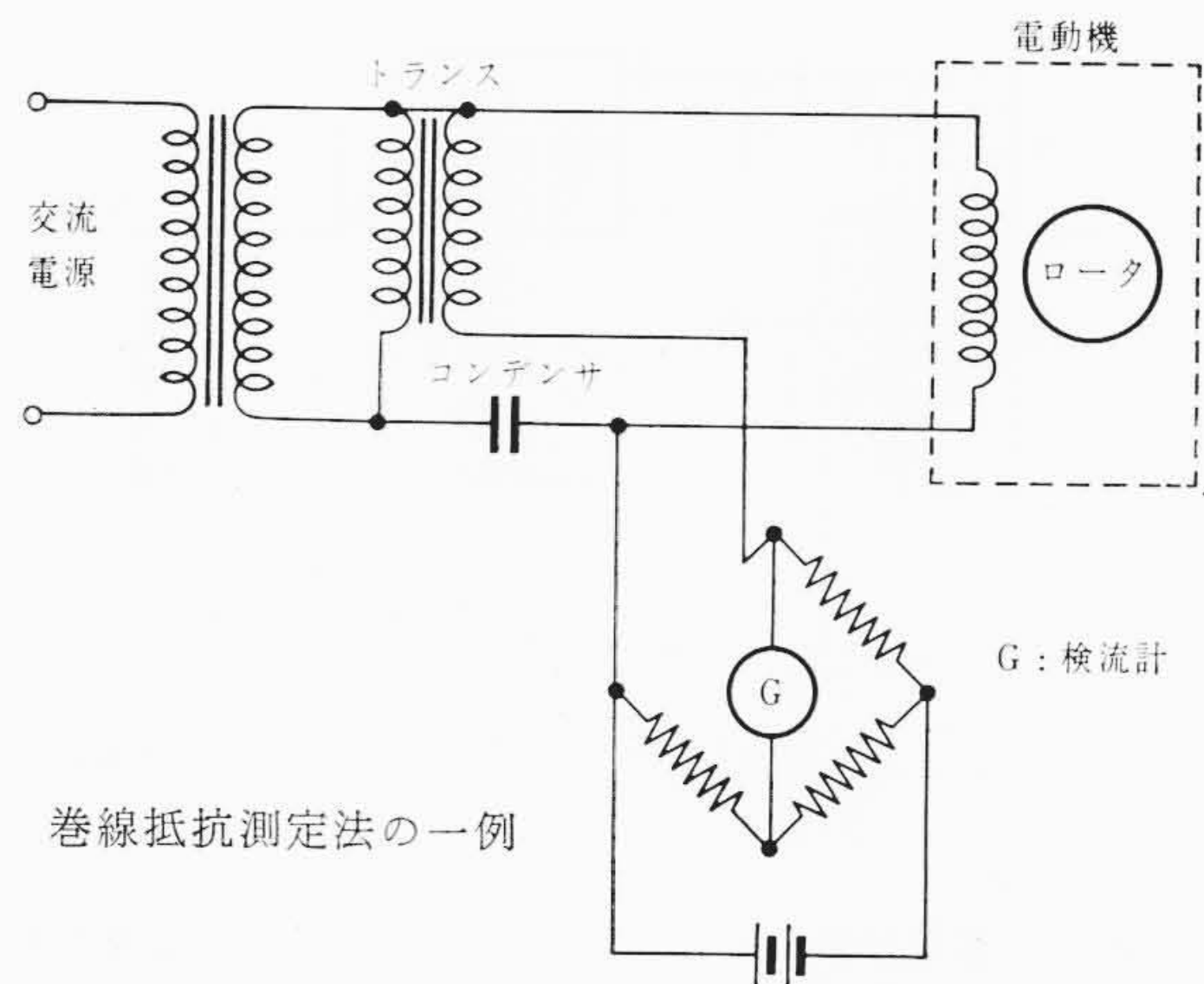


図1 巻線抵抗測定法の一例

性曲線の描き方で大きな誤差がでるし、そのうえ時間と手数がかって非能率的であるという欠点がある。

温度上昇値の測定法には抵抗法のほかに、巻線と密着させた抵抗温度計、熱電対、サーミスタおよびバイメタルなどを用いて測定する方法⁽²⁾もある。しかし、これらの方法は密着がむずかしく、量産の電動機を多数抜き取って測定するような場合には適さない。特に電動機が小形であったり、全閉形であると使用上きわめて不便であるから、上述の抵抗法が簡便で広く活用されているわけである。

2.2 巻線温度上昇値の連続測定原理

誘導電動機の巻線の直流抵抗を運転中に測定できれば、巻線の温度上昇値を求められることは(1)式から明らかである。しかし、運転中に測定する場合には電源からの交流分を測定回路内で、いかに消去するかが問題で、次の二つの方法が考えられる。

- (1) 巻線に交流と直流を重畳し、運転用電源とは別にさらに交流を印加し、交流分どうして消去させるようにする方式。
- (2) 巻線に交流と直流を重畳し、フィルタを使用して、交直分離する方式。

前者の方式の一例⁽³⁾を図1に示す。これは電動機駆動用の電源と別にトランスで交流電圧を供給して、直流ブリッジには交流分が流れないようにしてある。そして直流ブリッジで巻線抵抗の変化を測定し、温度上昇値を求めるものである。

* 日立製作所日立研究所

** 日立製作所多賀工場

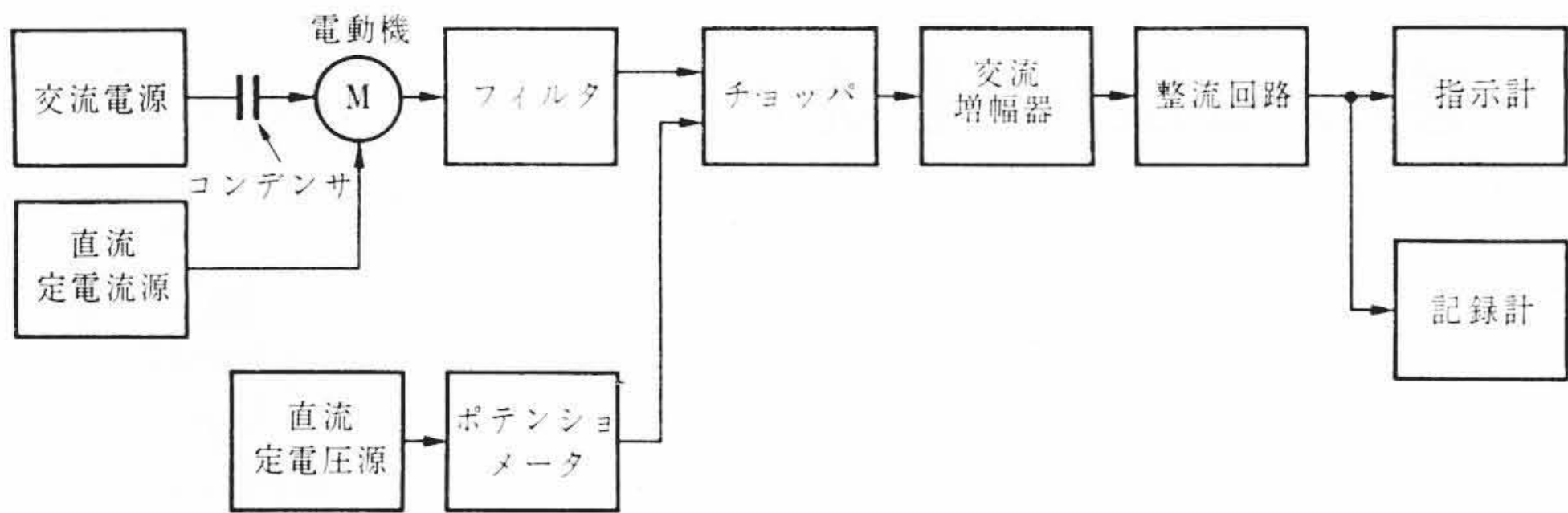


図 2 測定装置のブロック線図

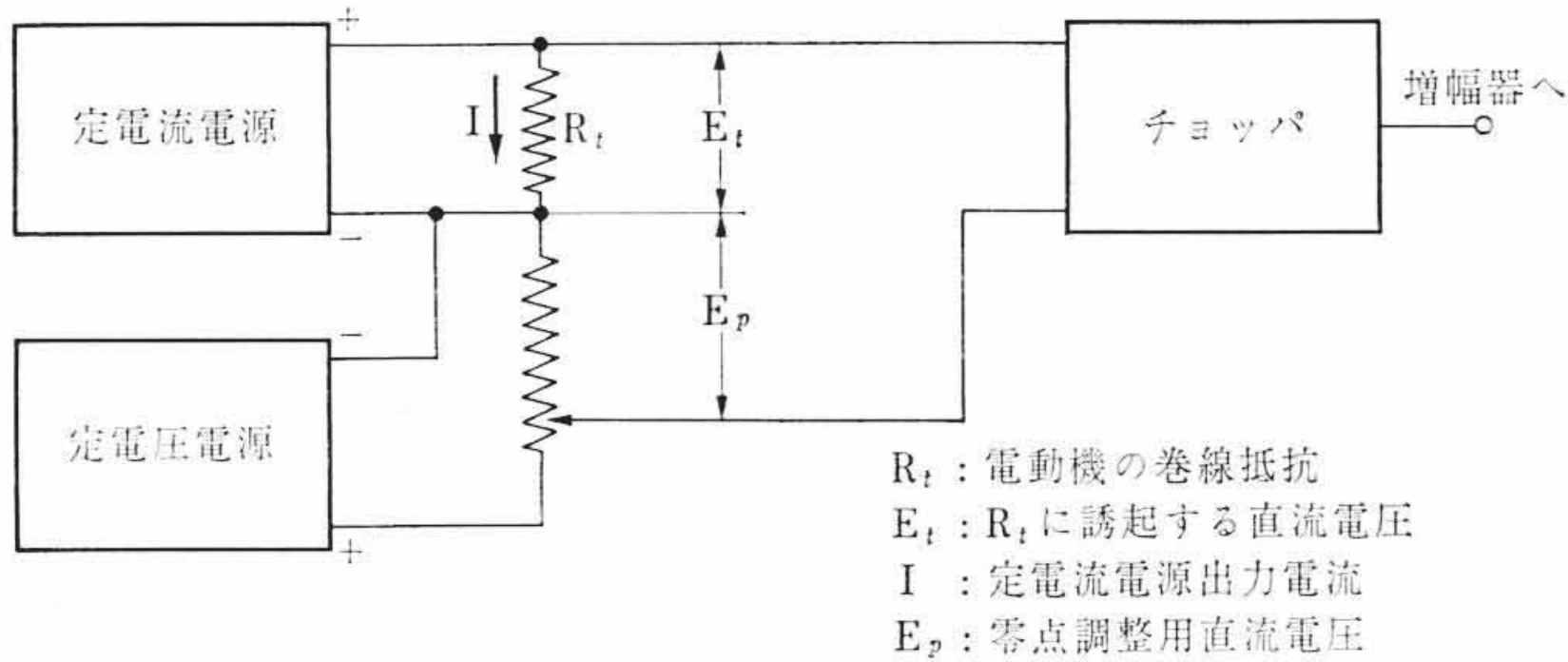


図 3 温度上昇直読原理

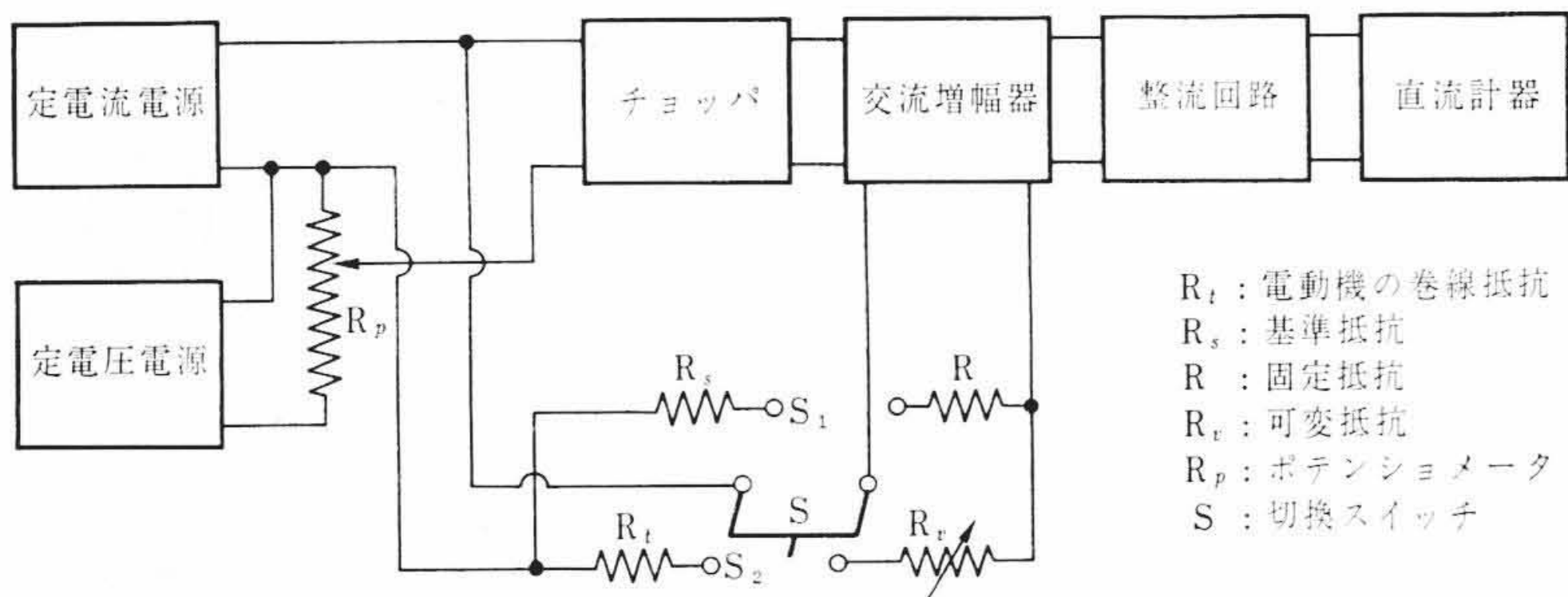


図 4 校正回路付き温度上昇測定回路

われわれの装置は後者の方式である。図 2 にその構成⁽⁴⁾を示す。電動機の固定子巻線に直流定電流を重畳し、交流分はフィルタで減衰させ、巻線抵抗による直流電圧降下を測定する。しかし、巻線には微小の直流しか流せないで、直流電圧を交流に変換し、増幅したのちに整流して、普通の直流計器で指示および記録させている。特に温度上昇値を直読するために、直流定電圧源とポテンシオメータからなる回路を付加した。その原理を図 3 により説明する。

まず、巻線抵抗値と周囲温度 $t^{\circ}\text{C}$ には次式の関係がある。

$$R_t = R_0 (1 + \alpha t) \quad (2)$$

ここに、 R_t, R_0 : おのおの $t^{\circ}\text{C}$ および 0°C における巻線抵抗値 (Ω)

α : 抵抗の温度係数 ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)

ここで、 R_t に誘起する直流電圧 E_t を打消して、チョップへの入力電圧が零になるようにポテンシオメータの出力電圧 E_p を調整すると、次式が成り立つ。

$$E_t = E_p = IR_0 (1 + \alpha t) \quad (\text{mV}) \quad (3)$$

ここに、 I : 定電流回路の出力電流 (mA)

この状態において電動機を運転し、巻線の温度が $t'^{\circ}\text{C}$ 上昇したとすると、チョップへの入力電圧は次式で表わせる。

$$E(t+t') - E_p = IR_0 \alpha t' \quad (\text{mV}) \quad (4)$$

ここに、 $E(t+t')$: $(t+t')^{\circ}\text{C}$ において巻線に誘起する直流電圧 (mV)

この式における I, R_0 および α は定数であるから、温度上昇値 t' が直読できることがわかる。

2.3 校正回路の原理

前述したとおり、温度上昇値を直読できることは判明した。しかし、ここにもう一つ問題がある。それは一台の電動機のみ温度上昇を測定するのであれば、(4)式における R_0 の値は一定であるから、問題はないが、多数の電動機を測定する場合には R_0 の値にばらつきがあることである。このばらつきのため、電動機が異なれば同じ温度上昇に対しても、指示が異なることがある。

また、(2)式から R_0 を求めるには周囲温度 t の値を代入する必要がある。それゆえ、直流計器の指示から温度上昇値を算出するには、巻線抵抗のばらつきおよび周囲温度で補正しなければならない。

本装置に付加した校正回路⁽⁴⁾は巻線抵抗のばらつきや周囲温度に関係なく、同じ温度上昇値に対しては計器の指示も同じになるようにするものである。その構成を図 4 に示す。校正回路といっても 0°C における抵抗値のすでに判明している基準抵抗、増幅器の増幅度を変化するための可変抵抗および切換スイッチからなる簡単な回路である。ただし、基準抵抗の抵抗温度係数は電動機と同じ銅線を巻いて測定すべき巻線抵抗のそれと同一にし、本校正回路を使用する場合には、基準抵抗と巻線抵抗の温度を同一にする必要がある。以下校正原理を説明する。

図 4 において最初ポテンシオメータ R_p を零にしておき、スイッチ S を S_1 に倒して基準抵抗を測定する場合には、次式が成り立つ。

$$V_s = A_0 IR_0 (1 + \alpha t) \quad (5)$$

ここに、 V_s : 周囲温度 $t^{\circ}\text{C}$ で基準抵抗測定時の直流出力電圧

A_0 : フィルタから整流出力までの増幅度 (固定)

R_0 : 基準抵抗 R_s の 0°C における抵抗値 (Ω)

次にスイッチ S を S_2 に倒して被測抵抗を測定する。このとき可変抵抗 R_v を変化させ、直流出力が (5) 式の V_s と同じになると

$$V_t = A_v IR_0 (1 + \alpha t) = V_s \quad (6)$$

となる。

ここに、 V_t : $t^{\circ}\text{C}$ なる巻線抵抗 R_t 測定時の直流出力電圧

A_v : フィルタから整流出力までの増幅度 (可変)

(5), (6) 式から増幅度と 0°C における抵抗値とは次式の関係になる。

$$A_v R_0 = A_0 R_c \quad (\text{一定}) \quad (7)$$

すなわち、 R_0 のばらつきは A_v を変えることにより補正できる。

ここでポテンシオメータを動かして (3) 式に等しい逆電圧を印加して直流出力を零にする。この状態で、電動機を運転して、巻線温度が $t'^{\circ}\text{C}$ 上昇したとすると、直流出力は次式で示される。

$$V(t+t') - E_p A_v = A_v IR_0 \alpha t' \quad (8)$$

ここに、 $V(t+t')$: 被測抵抗 R_t が $(t+t')^{\circ}\text{C}$ のときの直流出力電圧

したがって、(7) 式と (8) 式から明らかなように、この校正回路を使用することにより巻線抵抗のばらつきおよび周囲温度に関係なく、同じ温度上昇値に対しては同じ直流出力を得ることができる。

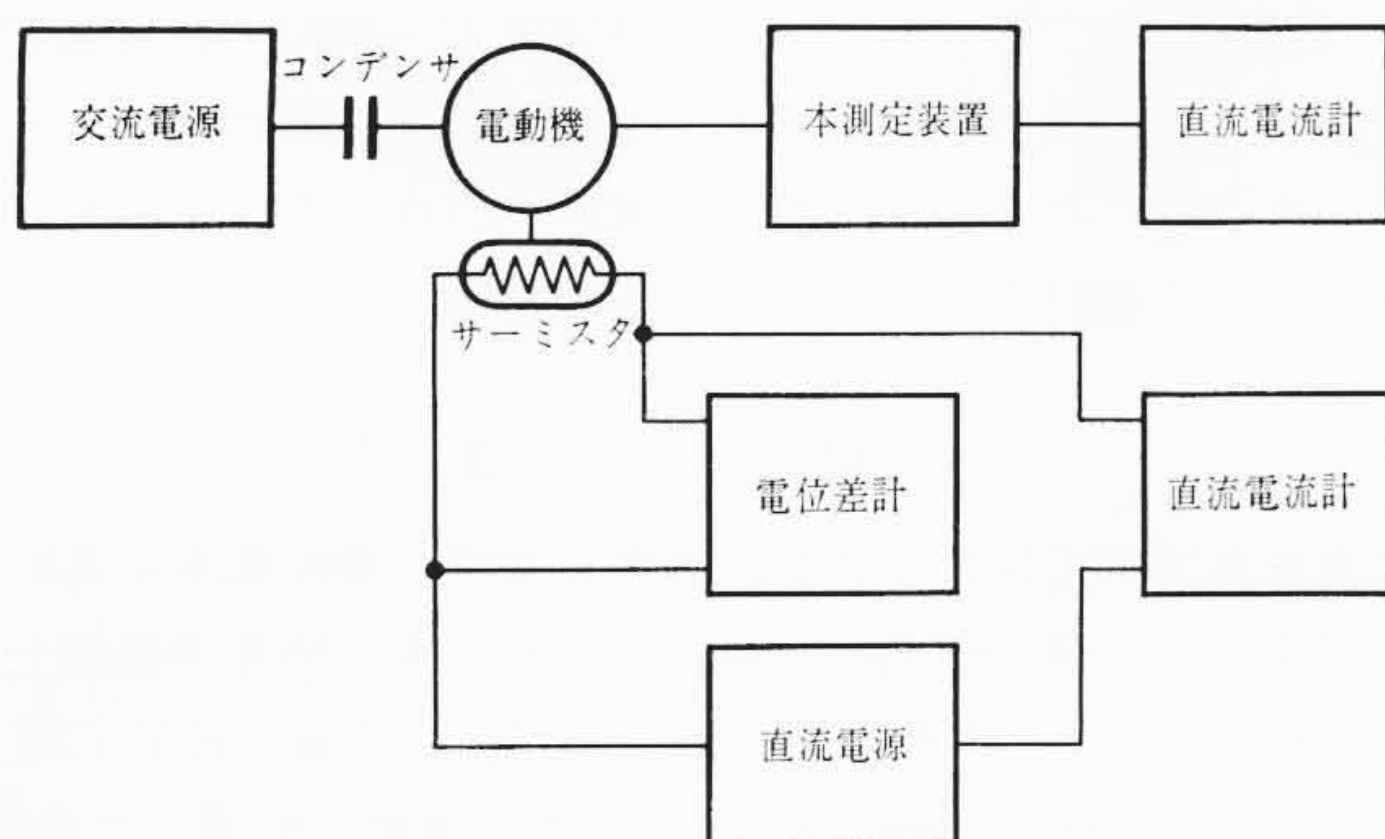


図5 巻線温度-装置指示値特性の測定方法

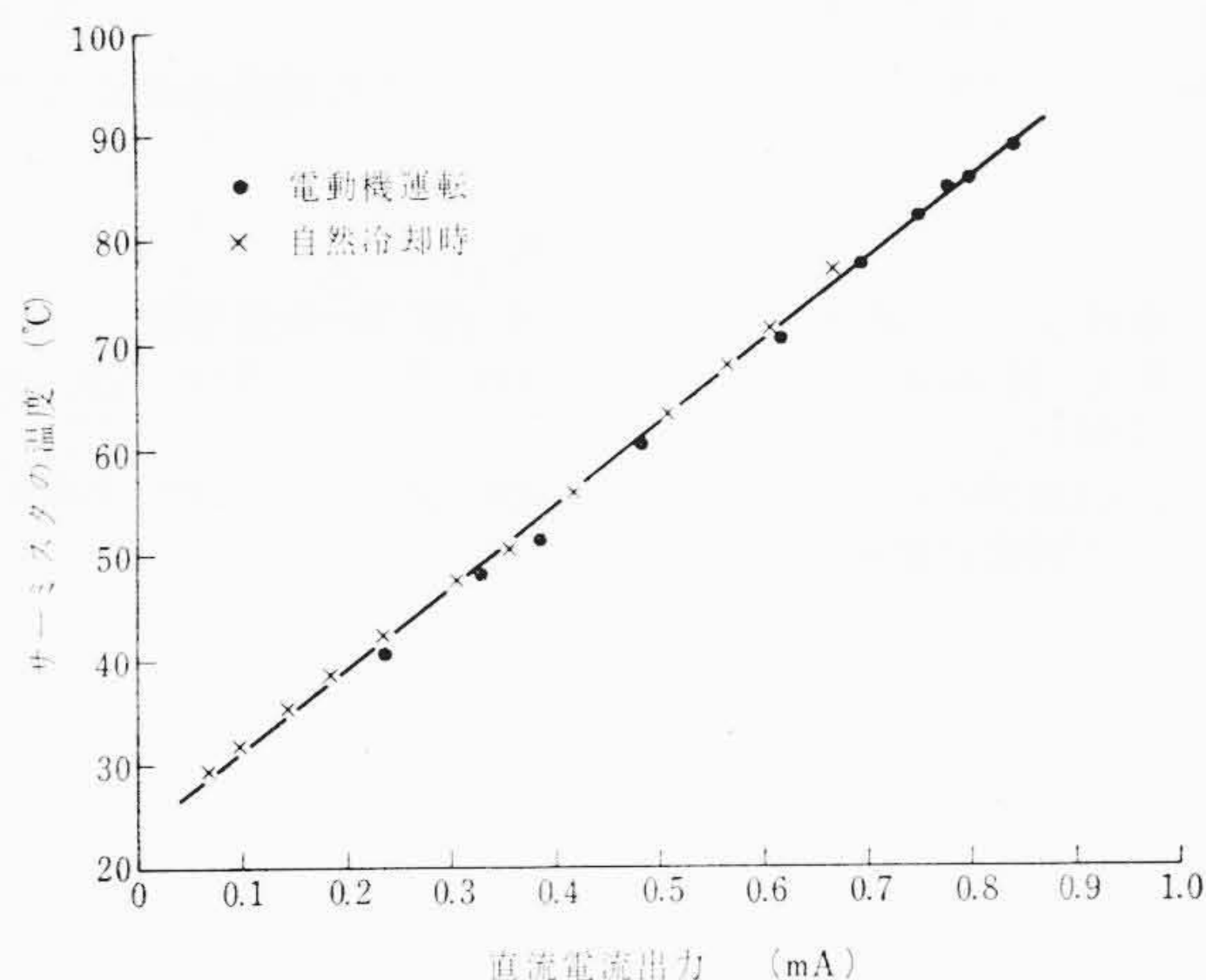


図6 巻線温度-装置指示特性

3. 実験結果および検討

3.1 測定原理の確認

前述の原理のように温度上昇を直読できるかどうか、確認する実験を図5に示す回路で行なった。巻線中にサーミスタを埋込んだ誘導電動機の巻線温度を、そのサーミスタで測定し、本装置の指示値と比較した。その実験結果を図6に示す。サーミスタの温度と本装置の指示値とは明らかに直線関係であり、この装置にて運転中の巻線の温度上昇を測定できることがわかる。運転中と放冷中とで、温度で約2°C差があるが、サーミスタは巻線中の一点の温度を示しているのに対して、本装置の指示は巻線全体の平均温度を指示していることなどが原因と考えられる。さらに、恒温槽内に電動機と等価の巻線抵抗を入れ、恒温槽内の温度を上下して、確認実験した。その結果、本装置の指示値、温度計で測定した値および巻線の抵抗値を(1)式に代入して求めた温度上昇値はよく一致した。

以上の実験から、本装置を使用して運転中の誘導電動機の巻線温度上昇を測定できることが判明した。実際に本装置を利用して運転中および放冷特性を測定した結果の一例を図7に示す。

3.2 直流電流の重畳および直流遮断用コンデンサの影響

一般に交流電源で運転している誘導電動機の固定子に直流を重畳すると、この直流はブレーキ作用を生ずる。それゆえ、微小直流電流を印加したときの電動機の特性を測定した。しかし、交流電流の5%にも満たない直流電流を重畳しても入力電流、入力電圧、出力および回転数などは全然変化せず、わずかに力率が変化しただけであった。さらに、この直流による発熱量はオーミックロスのみ考えても、交流による発熱量に比較すると全く問題にならない。

つぎに、本装置を使用するときは、巻線に重畳する直流が交流電源などに流入するのを遮断するために、図2に示すようにコンデン

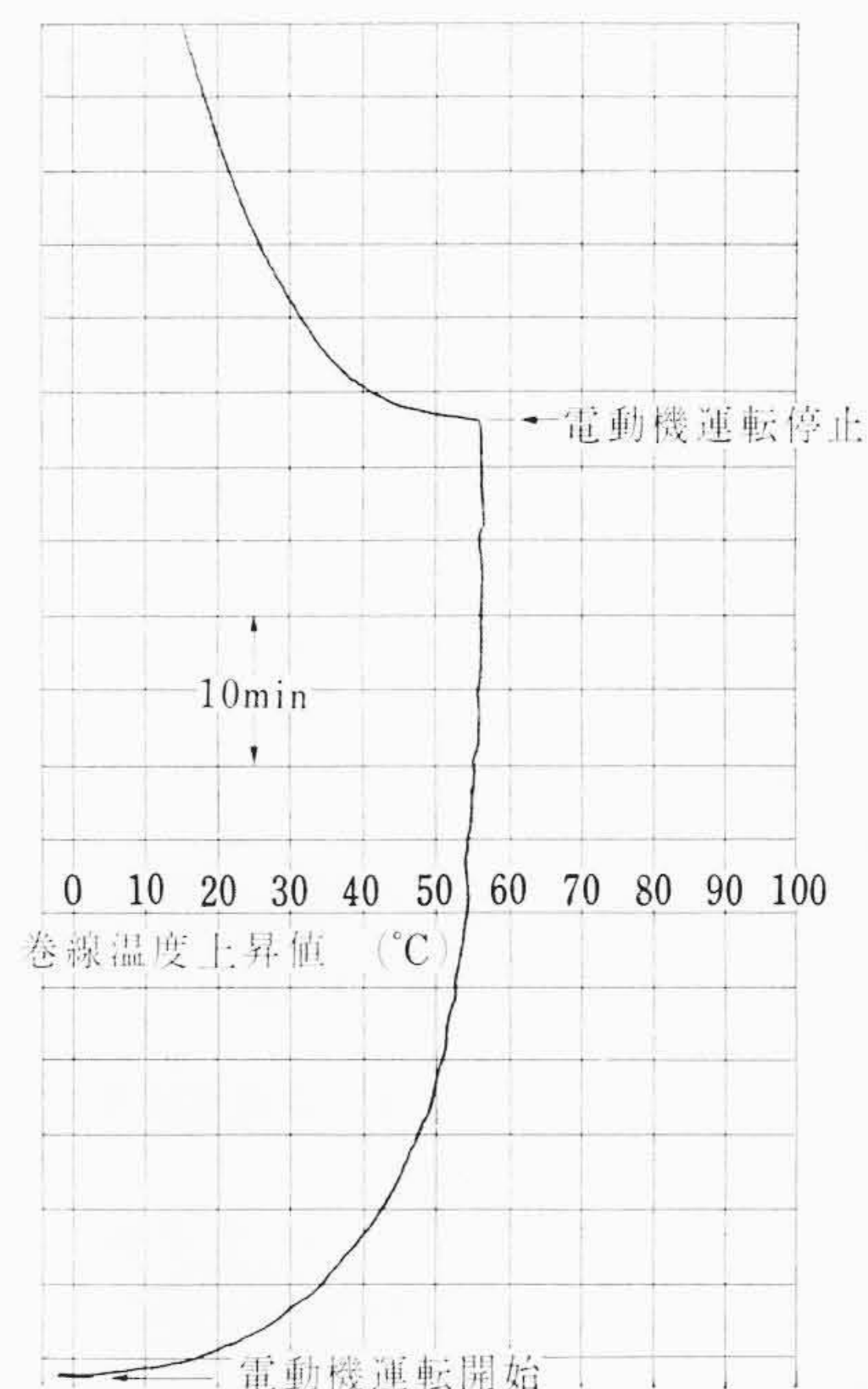


図7 電動機巻線の温度特性

サをそう入するので、このコンデンサの影響について述べる。電動機は誘導性リアクタンスであるので、直列にコンデンサを接続すると共振をおこすこともある。この共振状態ではコンデンサそう入前の状態と大幅に異なり、巻線の温度上昇値も通常の運転状態のときとは異なることになる。これでは正確な温度測定にならない。それゆえ、この直流遮断用コンデンサの静電容量を共振を起こす値より大幅に大きくして、そう入による影響をなくす必要がある。

なお、このコンデンサによる交流電圧降下を小にするためにも容量は大きいほどよい。

実際に実験した場合に、上述の共振状態を経験した。すなわち、静電容量値が小さいときに、電動機の回転が円滑でなくなり、共振状態になった。そこで、さらにコンデンサを付加すると通常の運転状態に復帰した。

以上の実験結果から、微小の直流電流を重畳しても、ほとんど電動機の特性には影響を及ぼさないといえるが、直流遮断用コンデンサの静電容量値をできるだけ大きくして、共振および電圧降下の影響を避ける必要がある。そうすれば、本装置にて通常運転の巻線温度上昇を正確に測定できることが判明した。

3.3 本装置の電氣的諸特性

本装置の測定範囲は巻線の抵抗値で5~10Ω、温度上昇値100°Cをフルスケールにするように設計しているが、最後に本装置自体の電氣的諸特性について述べる。実験は電動機巻線の代わりに等価の可変抵抗を接続し、諸条件を変更しながら本装置の指示変化を測定したものである。

まず、直線性および電源電圧変動の影響の実験結果を図8に示す。同期整流回路を使用しているので、その直線性は非常に良く、フルスケールの±0.5%以下である。電源電圧変動の影響を受けやすいのは定電流および定電圧回路であるが、100±10Vに対して全体の指示変動はフルスケールの1%以下に押えてある。

つぎに、電源周波数の影響であるが、これは全然問題なく50c/sと60c/sで指示変動は零であった。短時間、電動機の巻線温度上昇を測定するのであれば、普通は周囲温度はそんなに変化しないから問題にならないが、本装置はトランジスタ化してあるので、測定したところ、0~40°Cで2%以下の指示変動であり、これも問題にならない。

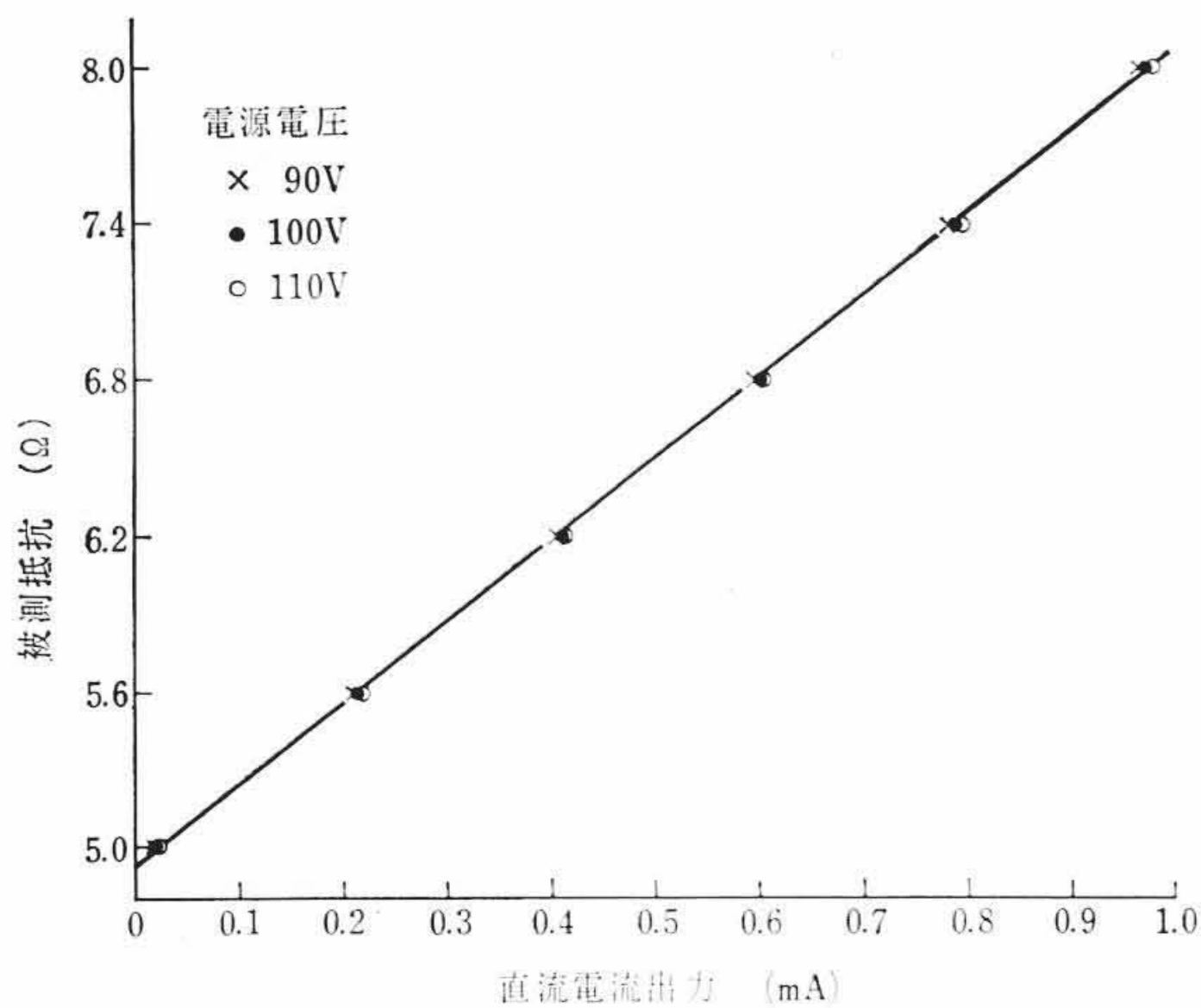


図 8 測定装置の直線性および電源電圧変動の影響

最後に応答特性であるが、本装置において応答速度を遅らす部分はフィルタである。交流分を減衰させるこのフィルタのため現状では、最終値の 99% の指示に到達するに要する時間は約 3 秒である。

以上の実験結果により、本装置を使用すると運転中の誘導電動機の巻線温度上昇を $\pm 1^{\circ}\text{C}$ の精度で、しかも連続的に測定できることが判明したので、今後さらに他の交流機器への応用および測定範囲の拡大について検討を進めていく心算である。

4. 結 言

この巻線温度測定装置により、誘導電動機の巻線温度を運転中に連続して測定、記録できることがわかった。測定精度は温度上昇値 100°C をフルスケールにすれば、 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ であり、 $100 \pm 10\text{V}$ の電源電圧変動および $50(60) \pm 2\text{c/s}$ の電源周波数の変動の影響も問題ない。それゆえ、今後、本装置を使用し、有益な測定資料を提供し、電動機の改良に役立てたいと考える。

終わりに、本報告に関して種々ご指導いただいた、日立製作所、岐部博士、北川博士、古屋氏、岩淵氏、その他関係各位にお礼申し上げる。

参 考 文 献

- (1) 中村辰二：電気機械試験法 36 (昭 36-共立出版)
- (2) R.C. Moore：Allis Chalmers Engg. Rev. 29, 24~27 (1964)
- (3) J. Campbell：Machine Design. 35, 184 (Oct. 1963)
- (4) 実用新案出願中

Vol. 27

日 立 造 船 技 報

No. 4

目 次

- ・高級耐塩酸合金「HZ合金CL」の鋳物
- ・発熱自硬性鋳型の開発
- ・両矢羽根木外板の強さ
- ・タンクマウント形うず巻式潤滑油ポンプ
- ・進水時尾道水道対岸付近の潮位変化

- ・平歯車負荷能力についての検討
- ・粉粒体輸送用円筒および円すいスクリーン軸のつくりあい重量
- ・電子計算機による連続トラスの設計

……本誌に関する照会は下記に願います……

日立造船株式会社技術研究所
大阪市此花区桜島北之町 60