

# フェライトリアクトルの温度特性 の応用について

神 崎 勇 二\*

信州大学工学部 電気工学教室

(昭和33年10月18日受理)

## 1 緒 言

フェライトは主として通信機器・電子計算機等に利用されている。筆者は、フェライトリアクトルの温度特性を継電器に利用することについて研究し、二三の応用について良好な結果を得たので、その概要を述べる。

従来、熱動継電器の検出部には、物質の膨脹・収縮、電気抵抗の変化、熱起電力等が用いられてきた。

磁性体の透磁率の変化を用いた熱動継電器として、磁気回路の一部にキュリー点の低い磁性体を用いた電磁石の吸引力が温度によつて変化することを利用したものがあるが、ここに述べるものは、フェライト心を有するリアクトルのインピーダンス（インダクタンス）が温度によつて変化することを利用したものである。

フェライトの他に、キュリー点の低いものとして、サーマロイ、サーモバーム、メリブデンパーマロイ、モネルメタル等があるが、ここにフェライトを使用したのは、フェライトが入手容易、安価、常温における透磁率が比較的大きい等の利点を有するためである。

## 2 フェライトの温度特性

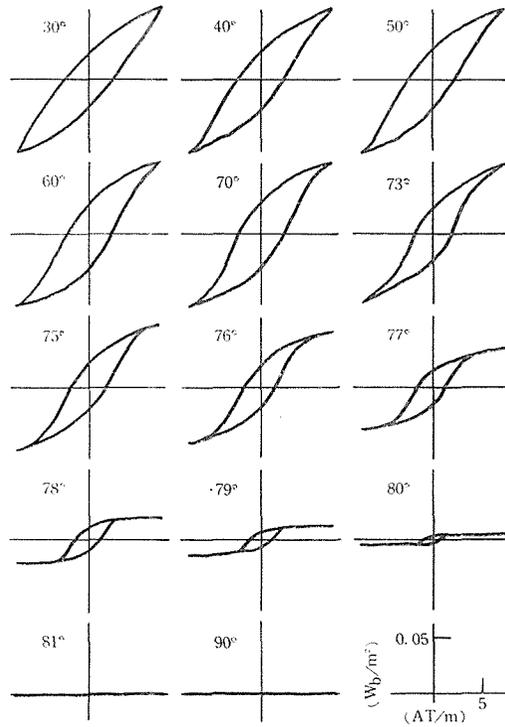
初めにフェライトの温度特性の一例を示す。試料は市販の  $M_n-Z_n$  系の環状磁心で、外径64.5mm、内径42.5mm、高さ12.2mm、キュリー点 $80^{\circ}C$ のものである。

第1図は、ヒステリシスループの温度による変化を示すオシログラムである。同じ磁心について、磁界の強さをパラメータとして、透磁率の温度による変化を示せば第2図のようになる。磁界の強さが小さいほど、キュリー点の少し下で透磁率の大きな変化が得られる。

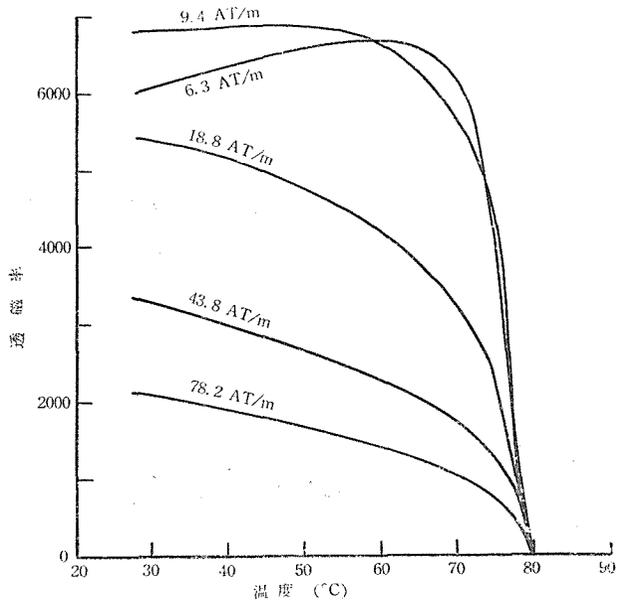
本文における3～5章の実験は、これと同じ磁心を用いて行つたものである。

---

\* 信州大学講師



第1図 ヒステリシスループの温度による変化



第2図 透磁率の温度による変化

### 3 フェライトリアクトルの温度特性およびその応用例

第2図に示すように、透磁率が温度によつて変化するので、フェライトを用いて温度によりインピーダンスの変化するリアクトルを作ることができる。そこで0.6mmのエナメル線を均一に1,100回巻いたリアクトル（インピーダンス $Z_F$ ）を作り、第3図に示すように一定インピーダンス $Z_S$ を通して電源 $E$ （60°C/s）に接続し、ピーカの中の油に浸し電熱器で加熱しながら温度とリアクトル電流 $I$ を測定した。

一定インピーダンス $Z_S$ を $10\Omega$ とし、電源電圧 $E$ をパラメータとした場合の温度と電流 $I$ の関係を第4図に示す。 $E$ が大きくなればリアクトルが飽和し、常温におけるインピーダンス $Z_F$ が小さくなる。キュリー点以上の温度においては $Z_F=4.1\Omega$ となり、リアクトルのインピーダンスは巻線の抵抗だけとなる。リアクトル電流 $I$ の大きな変化を得るには、リアクトルが飽和しない範囲でできるだけ $E$ を大きくとり、常温におけるインピーダンス $Z_F$ とリアクトル以外のインピーダンス $Z_S$ の比を大きくする必要がある。

電圧 $E$ をあまり大きくとれば、リアクトルの熱容量が大きくなって好ましくない。

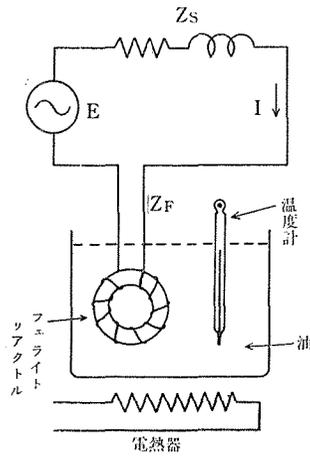
このような特性のリアクトルを用いた熱動継電器は、油に浸された機器、たとえば油入変圧器の保護、またはリアクトルを直接取付けることのできる機器あるいはその一部分、たとえば回転機械の軸受等の保護に使用できる。ここでは、油入変圧器の焼損防止装置として使用した例を示す。本装置の機構は、油入変圧器上部の油の中にリアクトルを浸し、リアクトルと直列にヒンジ形継電器を接続したもので、油の温度が上昇し、ある温度（ここでは約80°C）に達すれば変圧器二次側の負荷を遮断し、油の温度が下れば再び閉路するようになっていゝる。なお、ヒンジ形継電器だけでは動作が不安定なので水銀スイッチと組合せて使用した。また、継電器の励磁巻線に直接リアクトル電流の交流を通せば、励磁巻線のインピーダンスが非常に大きく（第3図の $Z_S$ を大きくしたことになる）吸引力が脈動し、かなりの騒音を発する。そこでこれらの欠点を無くすために、リアクトル電流を全波整流して継電器の励磁巻線に通した。第5図は、単相柱上変圧器（容量3KVA）を165%の過負荷にしたときの焼損防止装置の動作例を示す。油の温度の測定位置は、リアクトルとほぼ同じ位置である。

### 4 ヒータ付リアクトル

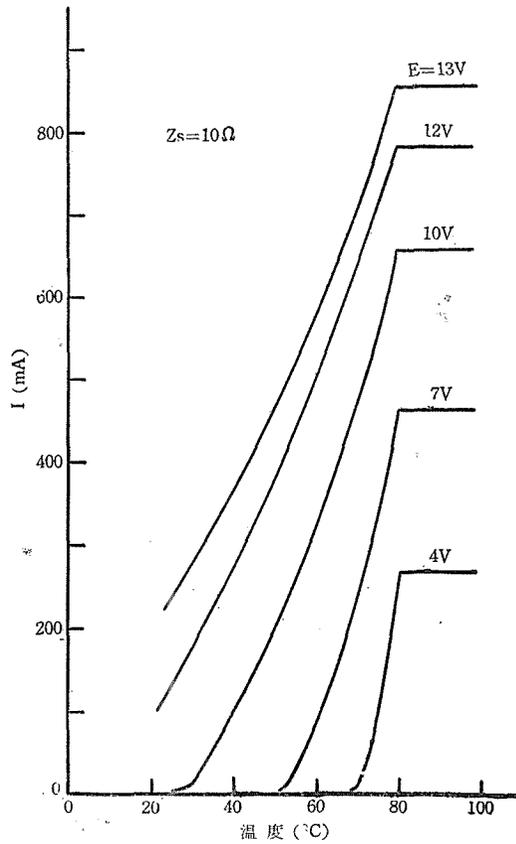
電気機器の負荷電流またはそれに比例した電流でリアクトルを加熱するようにしたものが、ヒーター付リアクトルである。構造は、ヒーターとして、フェライト心の上に直接ニクロム線が無誘導に巻き、その上にリアクトル巻線を巻いてある。

ヒーター抵抗 $36\Omega$ 、リアクトル巻線として0.6mmエナメル線を1,066回巻いたリアクトルについて、ヒータ電流 $I_H$ をパラメータとし、リアクトル電流 $I$ の時間に対する変化を示せば第6図のようになる。リアクトル巻線の回路は第3図と同じで、 $E=4V$ 、 $Z_S=10\Omega$ 、ヒータ電流が流れる前のリアクトルの温度は18°Cである。

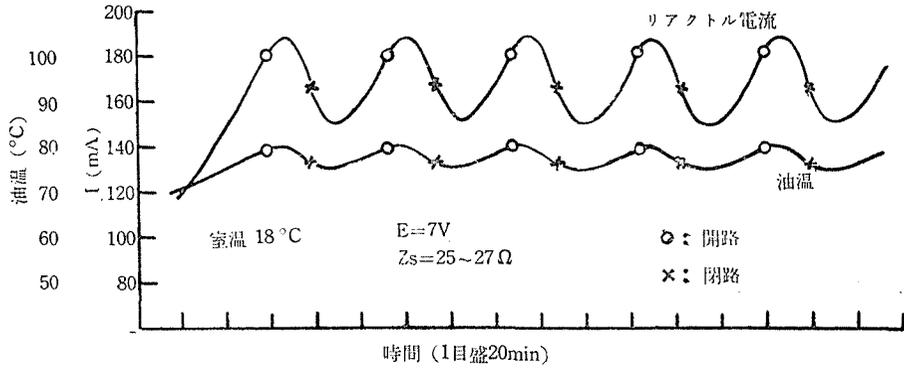
リアクトルの温度が飽和した状態における $I_H$ 対 $I$ の関係は第7図に示すようになる。



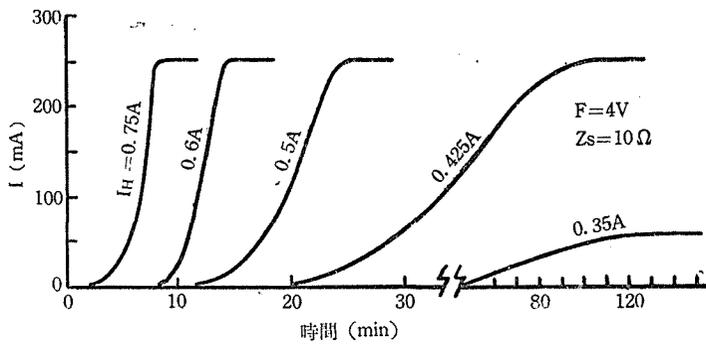
第3図 特性測定回路



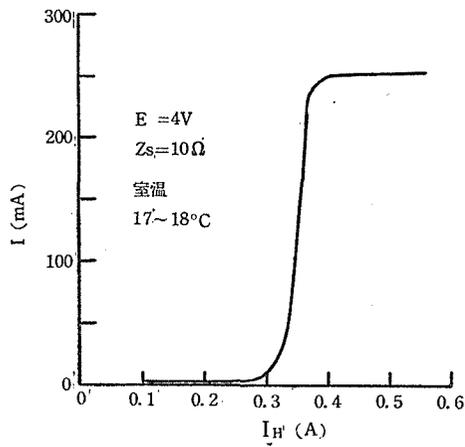
第4図 リアクトルの温度特性



第5図 変圧器焼損防止装置の動作例



第6図 I の時間に対する変化



第7図 飽和温度における  $I_H - I$  特性

ヒータ付リアクトルのもつとも簡単な応用として、リアクトル電流の変化そのものを利用した電流制限器がある。

その他、リアクトル電流変化の時定数を利用する遅延装置、保護しようとする電気機器と同じ熱時定数を有するリアクトルによつて、機器が温度上昇限度に達したときに継電器が動作するようにした過熱防止装置等の応用が考えられる。

## 5 鉄共振回路とその応用

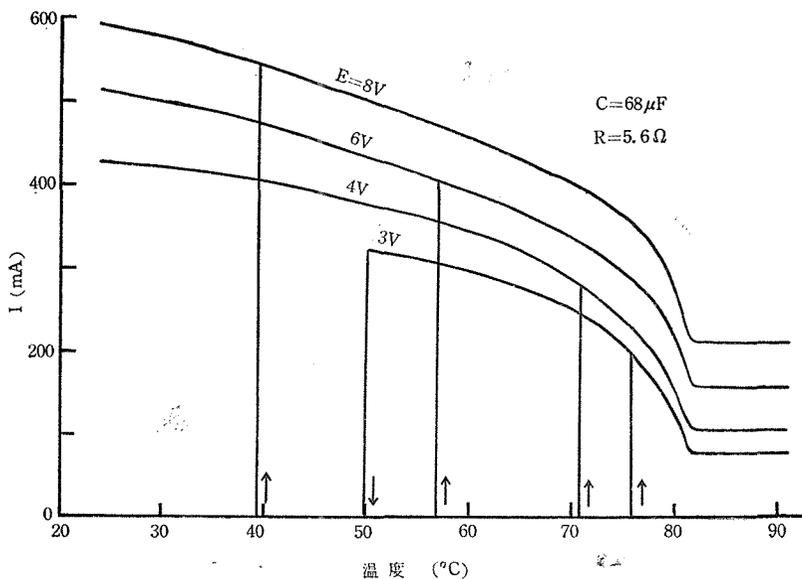
3, 4章におけるリアクトル電流の時間的変化はゆるやかであるので、継電器の動作は一般に急激に行われない。そこで、トグル機構、補助開閉器、水銀スイッチ等を用いて接触部の開閉容量を増してやる必要がある。

しかし、これらの使用は、自動復帰式であり、かつ動作時および復帰時の温度差を小さくするという点から望ましくない。

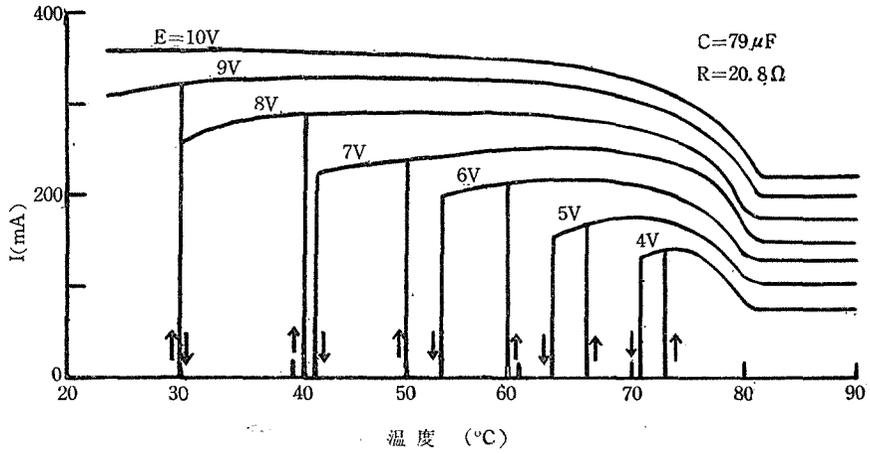
この欠点を無くすという意味で、電流の跳躍的に変化する回路として鉄共振回路を利用した。実験に用いた回路は、第3図においてリアクトル $Z_F$ 、インピーダンス $Z_S$ と直列にコンデンサ $C$ を接続した直列共振回路で、使用したリアクトルも同じもの（巻数1,100回）である。ただし、この場合の $Z_S$ は純抵抗 $R$ である。

電圧 $E$ をパラメータとして、温度に対するリアクトル電流 $I$ の変化の例を第8図、第9図に示す。上昇前の電流は小さく、横軸とほぼ一致している。

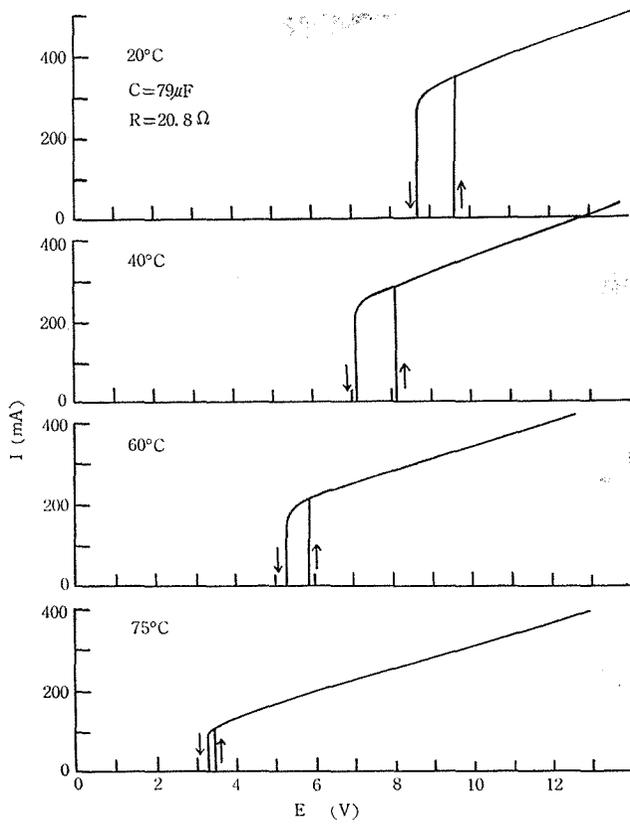
第9図の場合について、温度をパラメータとして、電圧 $E$ と電流 $I$ の関係の一例を示せば第10図のようになる。



第8図 鉄共振特性



第9図 鉄共振特性

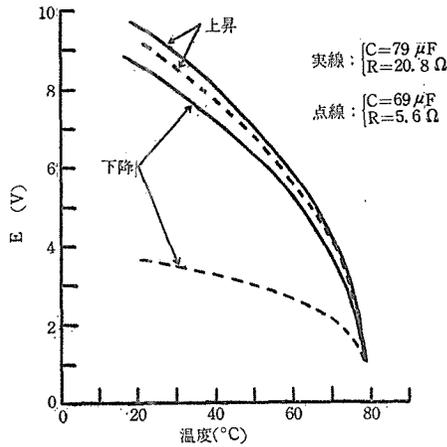


第10図 鉄共振特性

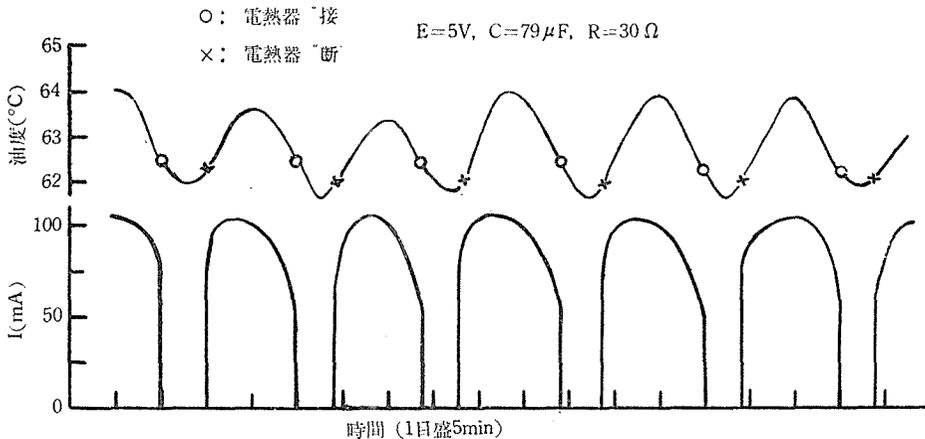
電流上昇または下降時における温度と電圧の関係を求めると、第11図のようになる。  
 以上の実験から次のことがいえる。

キュリー点に近い温度で動作させるには、電圧  $E$  を小さくしなければならない。また動作および復帰時の温度差は高い温度で小さく、かつ回路の抵抗  $R$  が大きいほど小さくなる。コンデンサ  $C$  の容量を大きくすれば電流は大きくなり、動作・復帰時の温度が高温側へ移動し、同時にそれらの温度差がわずかに小さくなる。

この鉄共振回路方式の応用として、恒温槽の自動温度調節の例を示す。リアクトル、コンデンサと直列に、全波整流器を通してヒンジ形継電器を接続し、ピーカ中の油温の昇降にしたがつて電熱器を開閉させる。この場合には、電流が跳躍的に変わるのでヒンジ形継電器だけで充分であり、水銀スイッチ等を使用する必要はない。また、継電器のばね張力、接極子の動作衝程の整定も非常に簡単になる。



第11図 跳躍時の電圧—温度特性



第12図 恒温槽制御例

ビーカの大きさ500cc，油量500cc，電熱器出力155Wとして実験した結果を第12図に示す。リアクトルは電熱器に近くなるようビーカの底におき，温度はビーカの中心部において測定した。第12図において，電熱器の“接”が“断”より高い温度にあるのは，温度測定位置が電熱器およびリアクトルより遠いためである。

鉄共振回路を用いれば，回路の状態は同じでも，周波数の変動によつて動作および復帰の温度が変りやすくなる。そこでこの恒温槽の回路について， $60 \pm 3^\circ\text{C/s}$ に対して調べた結果，第13図に示すように， $20\sim 30^\circ\text{C}$ 付近では“接”，“断”ともに周波数の上下につれて $6\sim 8^\circ\text{C}$ 上下し， $70^\circ\text{C}$ 付近では同じく約 $2^\circ\text{C}$ 上下することがわかつた。したがつて鉄共振回路は，キュリー点にくらべて低い温度では周波数変動の影響を受けやすく，かつ動作・復帰の温度差も大きいので，温度制御には利用できないと考えられる。

ヒータ付フェライトリアクトルについても鉄共振回路を利用できる。第4章と同じリアクトルを用い，ヒータ電流  $I_H$  をパラメータとして，時間に対するリアクトル電流  $I$  の変化を示せば第14図のようになる。

## 6 定電圧装置回路の応用<sup>(6)</sup>

前章では直列共振を使用したがつ，ここでは並列共振の応用として，鉄共振形定電圧装置の回路を用いた温度調節装置について述べる。第15図において， $V_1$ は電源電圧， $V_2$ は出力電圧である。

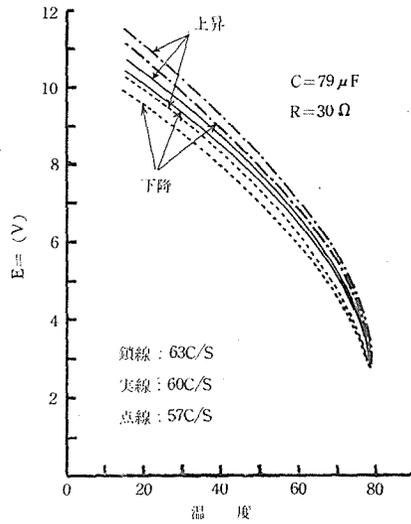
定電圧装置では，電源電圧  $V_1$  が変化しても出力電圧  $V_2$  が変化しないように働がつ，本装置では，炉の状態が変化しても炉の温度に変化を来さないよう出力端子に接続された電熱器の出力が変化する。即ち，共振回路のコンデンサと並列に接続されるリアクタンスとしてフェライトリアクトルを用い，これで炉の温度を検出し，出力電圧  $V_2$  を自動的に加減する。

その動作機構について述べると，炉の温度  $T_1$ ， $T_2$ ， $T_3$  ( $T_1 < T_2 < T_3$ ) におけるリアクトル電流  $I$  とリアクトル電圧  $V$  の関係は第16図の点線のようになる。一方，コンデンサ電流  $I_c$  と  $V$  の関係は温度に無関係で鎖線で示すように直線である。したがつて  $I$  と  $I_c$  の合成  $I_R$  は実線で示すようになる。

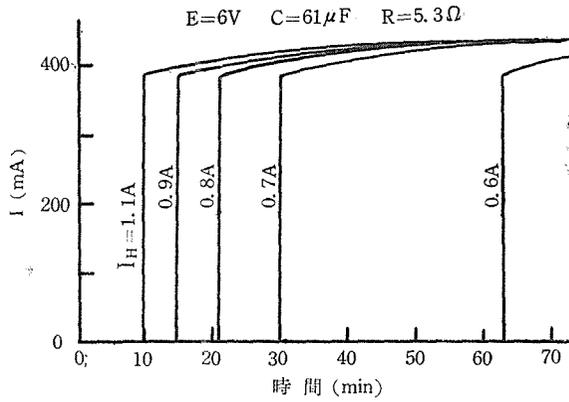
ここで，もし  $V$  を一定とすれば合成電流  $I_R$  は低温では進み電流，高温では遅れ電流となる。よつて，電源電圧  $V_1$  が一定であれば，低温では  $V_1 < V_2$  高温においては  $V_1 > V_2$  となり，炉の温度によつて出力電圧  $V_2$  は自動的に昇降する。即ち，炉の温度が高くなれば  $V_2$  は小さくなり電熱器の出力は減少し，炉の温度が低くなれば  $V_2$  は大きくなつて電熱器の出力は増大する。

また，第15図に示す回路は定電圧装置そのままの回路であるので，電源電圧  $V_1$  が変化しても出力電圧  $V_2$  は不変，即ち電熱器の出力は変らず，炉の温度には変化を来さないことになる。

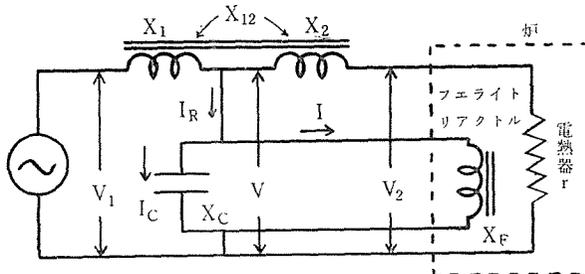
第15図において，リアクタンス  $X_2$  を除いた回路でも自動的に温度の調節ができるのももちろんである。この場合，電熱器出力の温度による変化は  $X_2$  のある場合に比して大き



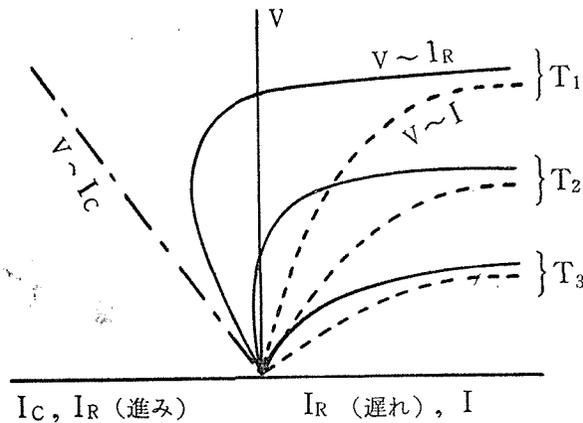
第13図 周波数変動の影響



第14図 I の時間に対する変化



第15図 定電圧装置形温度調節回路



第16図 温度によるV-I特性の変化

くなるが、定電圧装置としての働きはしなくなるので電源電圧  $V_1$  が変化すれば電熱器の出力が変化することになる。

ここでは、 $X_2$ を除いた回路についての実験結果を示す。

使用したフェライトリアクトルは、テレビジョンのフライバックトランス用  $M_n - Z_n$  系磁心で、その形状・寸法は第17図に示す通りである。これを二つ衝き合せて巻線を巻くのであるが、それだけではインダクタンスが小さいので、同じ磁心を二つ並列にして巻線を施した。巻線は0.65mmのホルマル線1,000回である。

このようなリアクトルを二個直列にして、

$$V_1=100V, r=67\Omega, C=50\mu F, X_1=48\sim 67\Omega \text{ (電流により変化)}$$

の条件の下で行った実験結果を第18図、第19図に示す。

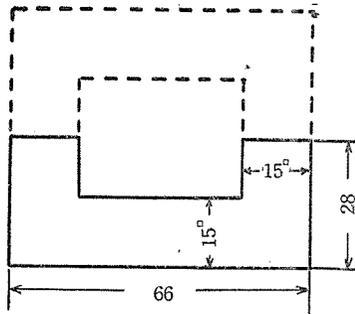
第18図は、炉内のリアクトル温度に対する電熱器の出力の変化を示し、第19図は、リアクトル温度および電熱器出力の時間に対する変化の一例を示す。このとき、リアクトルのインピーダンスは430 $\Omega$ から147 $\Omega$ の間を変化している。

## 7 結 言

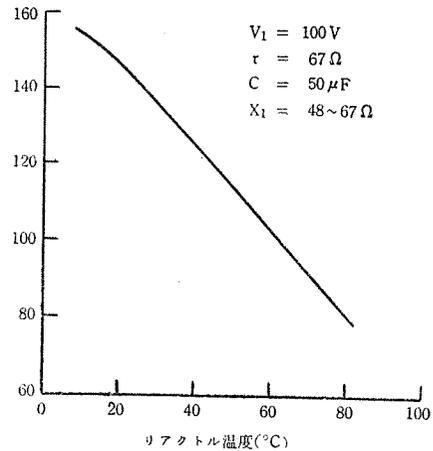
以上、フェライトリアクトルの温度特性の利用について提案し、熱動継電器等の二三の応用例を示した。

終りに、これらを総括すると、

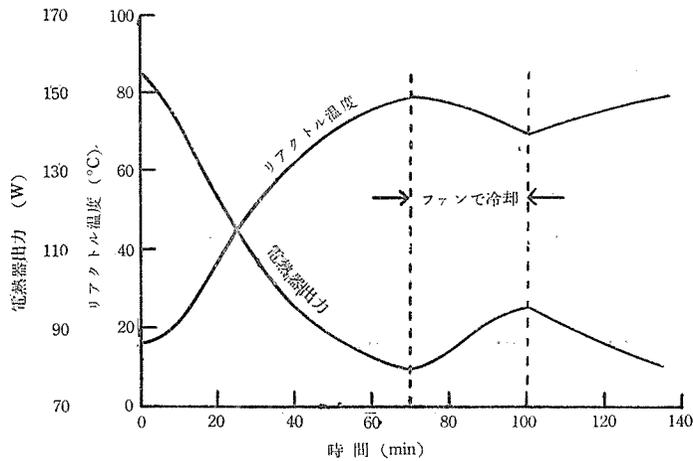
- (i) 温度検出要素であるフェライトリアクトルは、構造簡単、堅ろう、可動部を有しない。
- (ii) 温度によつてインダクタンスが変化する。この点は、従来の温度検出要素と異なる点である。
- (iii) フェライトリアクトルの容積・熱容量が大きい。しかし、この点は高周波を用いることによつて解決できる。



第17図 フェライト磁心の寸法



第18図 定電圧装置形温度調節装置の動作例



第19図 定電圧装置形温度調節装置の動作例

- (iv) 使用フェライトのキュリー点以上では、これらの継電器等は使用できない。  
 適当なキュリー点を有するフェライト磁心を選択せねばならない。
- (v) 周波数の変化が動作温度に影響を及ぼす。特に鉄共振回路を使用した場合。安定な交流電源を使用する必要がある。

本研究の一部は東京大学において行つたもので、御指導を賜はつた山村昌教授、同研究室の柴山進（現在東芝）、沼尻文哉（現在日立電線）の両氏に厚く御礼申し上げる。

また、種々御便宜を賜わつた宮入庄太助教授（現在東京工大）を始め、本学の諸先生方ならびに卒業研究として実験に協力された小泉陽、北島暉久、森山良知の諸氏に深く感謝する。

## 文 献

- (1) 木村：特許第41609号
- (2) ズッフィング：特許公報 昭32—3075
- (3) 神崎：特許公報 昭33—5769
- (4) 神崎：電気学会雑誌 78巻 833号（昭32.2）
- (5) 神崎，小泉：昭和33年電気四学会連合大会講演論文集 756

**Summary****On the Applications of Temperature Characteristics of Ferrite Reactors**

Yūji KŌZAKI

(Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering)

In this paper, the author is going to propose the use of temperature characteristics of ferrite reactor as a new temperature detector.

Curie point of ferrite lies between 60 and 600°C, and permeability of ferrite below the Curie point varies with temperature.

This temperature characteristics of ferrite can be made into use to control temperature and prevent burning in place of a bimetal, a thermocouple and a resistance wire. Results of some experiments and applications of the ferrite reactors are described in this paper.

## 正 誤 表

頁	図	誤	正
32	18	文字脱落	縦軸は電熱器出力(W)を表わす
72	5	図の歪み	