

氏 名	関 享 士 郎
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭和 62 年 12 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 35 年 3 月 岩手大学工学部専攻科電気工学専攻修了
学位論文題目	感温フェライト磁心を用いた温度の計測・制御に関する研究
論文審査委員	東北大学教授 村上 孝一 東北大学教授 高木 相 東北大学教授 荒井 賢一 東北大学助教授 松木 英敏

論 文 内 容 要 旨

感温磁心は、室温あるいは比較的低い温度領域にキュリー温度を有し、飽和磁束密度、保磁力、透磁率、インダクタンスなど各種の磁気特性が著しい温度依存性を示すため、キュリー温度を安定な温度基準値として利用できること、キュリー温度の上下で磁気特性が零と有限値を示し、その変化比は無窮大であること、熱応答速度の増大のため、感温磁心の容積を小さくしても励磁速度の増加により所望の感温出力が得られること、永久磁石との併用により駆動電源を必要とせず所望の温度領域でトルクの発生が可能であること、および熱入力に対する変化比として、飽和磁束密度、保磁力、透磁率、ヒステリシス損などいずれでも単独あるいは組み合わせて利用できるため、応用範囲が広いことなどの優れた特徴を有し、その応用分野は温度の計測、制御、エネルギー変換、パワーエレクトロニクス、情報、照明工学、電力系統、半導体デバイスなど多岐にわたり、すでに一部は実用に供されている。

しかし、従来の研究は感温磁心の飽和磁束密度、透磁率などの個々の磁気特性の温度変化を単に現象的にとらえ、感温磁心の基礎的な磁気特性および抵抗率や電気抵抗などの電気的特性の利用の方法などについて統一的な検討は行われていない。

このため、使用目的に応じた望ましい温度対磁気的および電気的特性を有する感温磁心の開発および使用方式と分類、各応用分野における感温磁心と他種センサとの特性比較と評価方法の確立など、実際に感温磁心を応用する場合に問題となる基礎的事項について十分な説明がなされていない。

本研究は感温フェライト磁心（以下、感温磁心と呼ぶ）の基礎特性の一つである温度対磁気特性を系統的に把握し、これより熱入力による磁心の制御動作について検討を行い、さらに感温磁心の半導性と電気伝導現象について言及し、感温磁心を温度の計測・制御などの分野に応用する場合に必要な事項を明確にしたものである。

第1章 緒 言

第1章においては、感温磁心の開発とその応用に関する研究の歴史的な経過を述べ、感温磁心が温度の計測・制御、エネルギー変換、電力系統、情報伝送、パワーエレクトロニクス、照明工学、半導体デバイスなどの分野において、過電流保護継電器、温度・周波数変換器、テレメータ、温度スイッチ、温度計、電動機制御、高周波点灯装置などとして活用できることを記述している。

さらに、感温磁心の半導性による非直線性電気伝導現象に触れ、次いで、感温磁心の応用に際して重要となる基礎的な事項を明確にし本研究の意図するところを述べたものである。

第2章 感温磁心の静特性⁽¹⁾

本章においては、まず感温磁心の静特性について統一的な検討を行うために、キュリー温度の異なるいくつかのMn-Cu系、およびMn-Zn系フェライト磁心について、飽和磁束密度、保磁力、透磁率、インダクタンス、ヒステリシス損失、抵抗率、電気抵抗などの温度依存性や半導性による非直線性電気伝導現象についてのデータを統一的にまとめ、これらにより、磁性材料の磁気特性や電気的特性の評価ならびに、改良の可能性などについて計測制御やエネルギー変換の立場より考察を行っている。

次いで、これらの実験、および考察より、感温磁心のヒステリシスループの形状、飽和磁束密度、保磁力、ヒステリシス損失、透磁率、インダクタンスなど各種の特性は、動作温度範囲において、著しく温度に依存して変動することや、感温磁心特有の負性抵抗特性の発生過程などを明らかにした。

したがって、感温磁心を利用する場合には、温度対磁気特性や電気的特性に応じて、磁心磁束や電気抵抗を出力に変換する回路方式、励磁方式、伝送方式などについて統一的な検討を加える必要があることがわかった。

第3章 感温磁心の非定常熱伝導における磁気特性

第3章においては、感温磁心を温度センサとして使用する場合、重要な項目である熱応答特性を調べるために、Mn-Cu系感温磁心の非定常熱伝導における磁気特性、すなわち動特性について統一的な検討を加え、開閉素子や制御素子としての適応性、有用性を評価した。

このため、理論的見地より、1次元の熱伝導を基礎にして、2次元非定常熱伝導に関する諸方程式の誘導を行い、これらの方程式より、熱入力、磁心のキュリー温度、熱容量、熱伝導率、磁束密度、誘起電圧など多くの要素の相互関係を把握し、起動時における磁心内部の温度分布の様子、磁束密度の時間的変化の過程、誘起電圧の発生機構などを解明した。

さらに、感温磁心を直流、および交流で励磁して熱入力を急変させた場合の磁気特性を実験的に求めて、理論的考察と比較したところ、両者は良く一致しており、本解析手法が適切であることが確かめられた。

第4章 感温磁心とサーミスタとの性能比較⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾

本章においては、共に金属酸化物の複合焼結体、すなわちセラミックスである感温磁心とサーミスタを定常現象における電気回路と磁気回路の相似性により対比して評価したところ、感温磁心はサーミスタに比べ、起動特性がすぐれていること、自己発熱が無いこと、キュリー温度の上下の磁心インダクタンスが零と有限値を示し、その変化比は無限大であることなどの点で優位が認められた。

次いで、両センサで構成された温度計、発振器、温度・周波数変換器、温度スイッチを揚げ、それらについて細部にわたる比較を行って、計測制御素子としての適応性を考察した。

また、感温磁心の抵抗率が温度依存性を有し、サーミスタに類似した半導体特性を示すことに着目し、従来サーミスタが使用されている分野に感温磁心を半導体デバイスとして活用できることを明らかにした。

次章以下では、前述の感温磁心の静特性と動特性に基づいて勘案された代表的な応用例をいくつか揚げ、それらの動作原理、動作特性、設計法、実験データなどの詳細な検討結果を紹介し、感温磁心の特性が、温度の計測・制御、エネルギー変換器、パワーエレクトロニクス、照明工学の分野にどのように活用されているかについて述べた。

第5章 感温磁心を用いた温度テレメータ⁽⁴⁾

本章においては、感温磁心を発振器の共振回路のインダクタンスとして用いることにより、温度の変化を高周波に変換して、海洋、原子炉、および石油タンクなど、厳しい環境の温度を計測するための近距離用温度テレメータの一方式について述べている。

従来のテレメータシステムは、構成が複雑で大型であり、操作が煩雑で、設備投資とメンテナンスに多大の経費を必要とするため、特定の事業所や研究所などに設置される以外、用途が限定されて一般的であるとは言えないが、本方式は環境管理、安全管理の分野において、簡略なシステムで、多数の測定点の温度を定時、および随時観測するのに適していることを確かめた。

第6章 感温磁心とSCRで構成した温度スイッチ

本章においては、半導体スイッチ回路の動作時に発生する高調波電圧によりトラブルを受ける電子機器を保護するため、感温磁心を用いてSCRを零電圧スイッチングさせて、ノイズの発生を防ぎ、信頼性の高い温度スイッチの開発を行うための基礎事項について述べている。

このため、スイッチ回路の動作を電圧励磁法と電流励磁法とによって解析を行い設計に必要な基礎事項を検討した結果、電圧励磁法は温度センサを設計する上で適当な方法であり、一方電流励磁法はSCRを零電圧スイッチングさせる場合、電圧と電流の位相関係を解明するのに有利な方法で

あることが明らかにした。

感温磁心と、永久磁石、およびリードスイッチを組み合わせた装置は、温度スイッチとして既に実用されているが、電流容量が小さいため、用途が限定されている。これに対し本スイッチは、SCRを用いているため、簡単な回路で、大容量、かつ高精度の温度制御が行えるものとして着目されている。

第7章 感温磁心温度計⁽⁵⁾

本章においては、永久磁石磁気回路の一部に感温磁心を挿入して、回路内に設置した鉄片、またはコイルに温度の変化に応じたトルクを生じさせて、これを指針に伝えて、温度をアナログで表示する指示計器について述べている。

温度センサとして使用されているサーミスタや測温抵抗体は、温度計の分野において、それぞれサーミスタ温度計や抵抗温度計として実用されているが、これらの計器において、サーミスタなどは電気回路の一部を構成しており、指示部は直流電源で駆動されるため、温度センサのジュール熱による誤差を生ずるおそれがある。

本計器は大別して、トルクを発生する可動部の構造により、可動鉄片形と可動コイル形がある。前者は永久磁石から供給される磁気エネルギーによって鉄片を動かすため、外部エネルギーを必要としない利点があり、後者は、コイルの電流と永久磁石による磁界とによって、トルクを発生してコイルを駆動する方式であり、パネル用、マルチメータとして利用することが考えられる。

感温磁心温度計は、センサと指示部が一体化しているため、構造が極めて簡単であり、サーミスタ温度計のような自己発熱作用が無いため、指示が安定であることが確認された。

第8章 感温磁心で磁路の一部を構成した小型電動機⁽⁶⁾⁽⁷⁾

本章においては、感温磁心で磁路の一部を構成した小型電動機を試作し、速度特性、トルク特性などの基礎的事項について理論的、および実験的考察を行った。

通常の電動機の固定子、および回転子を構成している材料は、温度変化に基づく電氣的、および磁氣的特性の変動が少ないものが使用されており、一般に温度に起因する電動機特性の変動は、実際の運転においては無視できる程小さいが、感温直流、および交流電動機はいずれも、電動機温度の上昇、下降に伴い従来の電動機では見られない運転特性が得られた。

これらの電動機に組み込まれた感温磁心は温度センサと磁束制御の両機能により、速度やトルク特性に著しい温度依存性を与えるため、この特性を利用して高温の気体や液体を排熱する冷却用、および一定の温度を保持する燃料ポンプの駆動用電動機として、冷暖房システムへ利用されることを示唆した。

第9章 感温磁心による蛍光ランプの高周波点灯⁽⁸⁾⁽⁹⁾

本章においては、照明工学の分野に感温磁心の活用を検討したもので、感温磁心とトランジスタで構成した温度・周波数変換器、すなわちインバータにより蛍光ランプを高周波で点灯し、ランプ光束を温度の変化にかかわらず一定に保持する装置について述べている。

蛍光ランプの発光効率は、管内の水銀蒸気圧に関係があり、この水銀蒸気圧は温度依存性を有しているため、ランプ光束は温度によって大幅に変動し、周囲温度が25℃付近の時、最も大きく、温度がこれより上昇、または下降しても光速は低下し、明るさが減少する特性を示すが、ここではランプ光束が温度依存性の外に、周波数依存性を持つことに着目し、蛍光ランプを可変高周波により点灯し、光速の温度依存性を自動的に補償する方法を検討した。

本装置は、商用周波数点灯時よりも、ランプの発光効率がよく、ちらつきが少なく、かつ安定器が小形であるなどの利点があり、一般照明やバイオテクノロジーなど、人工光源を必要とする分野に広く利用されることが期待される。

第10章 結 言

緒言においては本研究で解明された事項について述べている。

(1) 現在、入手可能なMn-Cu系フェライト磁心、およびMn-Zn系フェライト磁心について、飽和磁束密度、透磁率、インダクタンス、保磁力、ヒステリシス損失、抵抗率、電気抵抗などの特性を統一的に把握するとともに、感温磁心の半導性による非直線性電気伝導現象を確認した。

(2) 感温磁心の非定常熱伝導に際しては、必ず時間遅れが生じ、それに伴って、磁心の内部の温度が不均一となり、磁束密度に差が生じるが、この温度変化の様子は、磁心に誘起される電圧となって表われるので、2次元の非定常熱伝導の考え方を導入して、起動時における磁心内部の温度分布の様子、磁束密度の時間的変化の過程、誘起電圧の発生機構などを解析し、それらの相互関係を明らかにした。

(3) 感温磁心とサーミスタを定常現象における磁気回路と電気回路の相似性により対比し、これらの応用例について細部にわたる比較を行ったところ、感温磁心はサーミスタに比べ、いくつかの点で優位が認められた。

更に、感温磁心の抵抗率が温度依存性を有し、サーミスタに類似した半導体特性を示すことに着目し、感温磁心の電氣的、および磁氣的機能性を併用した複合センサとしての活用を示唆した。

(4) 感温磁心を発振器の共振回路のインダクタンスとして用いることにより、温度の変化を高周波に変換して遠隔地に伝送し、海洋、原子炉、および石油タンクなど、厳しい環境の温度をデジタルで表示する近距離用温度テレメータを製作した。

(5) 感温磁心とSCRを組み合わせた温度スイッチを設計する場合、入力電圧、電流、パルス電圧、感温磁心の形状、飽和磁束密度、巻数、温度など、多くの要素の相互関係を知る必要があり、このためスイッチの動作を電圧励磁法と電流励磁法とによって解析を行い設計に必要な基礎事項を呈示することができた。

(6) 感温磁心を永久磁石磁気回路の一部に挿入して、回路内に設置した鉄片、またコイルに温度の変化に応じたトルクを生じさせて、これを指針に伝えて、温度をアナログで表示する感温磁心温度計は、センサと指示部が一体化しているため、構造が極めて簡略であり、サーミスタ温度計のような自己発熱作用が無く、指示が安定であることが確認された。

(7) 感温磁心で、固定子や回転子の磁路の一部を構成した電動機は温度の変化に応じて、従来の

電動機では見られない運転特性を示し、温度の上昇により、直流機と交流機のトルクや速度特性が著しい温度依存性を示すことが確認された。

(8) 感温磁心を用いた蛍光ランプの高周波点灯装置は、ランプ光束の温度依存性を補償する機能を有するとともに、商用周波数点灯時よりも、ランプの発光効率が上昇し、ちらつきが減少し、かつ安定器が小計にできるなどの利点が認められた。

以上、本研究で得られた結果を要約して記述した。

発表論文

- (1) 関, 志田, 村上: 非線形電気伝導を伴う多機能感温磁性半導体の特性, 電気学会論文誌A, Vol. 107, No.3 (1987-3)
- (2) K. Seki, H. Osada, J. Shida and K. Murakami: Investigation of Multi-Ability Temperature-Sensitive Magnetic Semiconductor with Non Linear Negative Resistance, IEEE Trans. Magn., Vol. MAG-23 (Sept. 1987 予定)
- (3) 関, 長田, 志田, 村上: 感温磁性半導体の双方向特性とその応用, 電子情報通信学会論文誌 (1987-6 採録決定)
- (4) K. Seki, J. Shida and K. Murakami: A New Temperature Telemeter with Temperature-Sensitive Magnetic Cores, IEEE Trans. Magn., Vol. MAG-14, No. 5 (Sept. 1978)
- (5) K. Seki, J. Shida and K. Murakami: Indicating Thermometers Using a Temperature-Sensitive Magnetic Core, IEEE Trans. Magn., Vol. MAG-16, No. 5 (Sept. 1980)
- (6) 関, 志田, 村上: 感温磁心で磁路の一部を構成した小型電動機の特性, 計測自動制御学会論文集, Vol. 18, No. 8 (1982-8)
- (7) K. Seki, J. Shida, H. Matsuki and K. Murakami: Temperature-Speed Characteristics of New Motors Utilizing Temperature-Sensitive Magnetic Cores, IEEE Trans. Magn., Vol. MAG-18, No. 6 (Nov. 1982)
- (8) K. Seki, J. Shida, H. Matsuki and K. Murakami: High Frequency Fluorescent Lamp Lighting Using Temperature-Sensitive Magnetic Cores, Journal of Light & Visual Environment, Vol. 10, No. 1 (1986)
- (9) 関, 志田, 村上: 感温インバータによる蛍光ランプの温度依存性改善法, 計測自動制御学会論文集, Vol. 23, No. 6 (1987-6)

審査結果の要旨

キュリー温度が比較的低く、その磁気特性が著しい温度依存性を示す感温磁心は、計測、制御、情報の分野で新しい工業需要を起しつつあるが、これまでの研究開発の動向を見ると、感温磁心の基礎的な特性の解明、使用目的に応じた材料の開発および使用方式の確立等、実際に感温磁心を応用する場合に必要な事項に関して十分な検討がなされていない。本論文は、これらの諸問題について一連の研究を行い、必要事項を明確にすると共に、これらの成果を用いて更に新しい応用開発を行ったもので、全編10章よりなる。

第1章は緒論である。

第2章では、キュリー温度の異なるMn-Cu系とMn-Zn系フェライト磁心について、磁気特性の温度依存性及び非直線電気伝導現象に関する詳細な実験を行い、感温磁心を計測、制御に応用する場合に役立つ有用な成果を導いている。

第3章では、感温磁心の非定常熱伝導における磁気特性について理論的解明を行い、次いで、磁心を励磁し熱入力を急変させた場合の動特性を実測し、理論と実験の一致を確かめている。これは優れた知見である。

第4章では、感温磁心とサーミスタとの性能を比較し、感温磁心の方が自己発熱が少なく、温度基準値が正確で感度が優れている事などを実証している。

第5章では、感温磁心を発振器のインダクタンスに使用し、温度変化を周波数変化として検出する正確な温度のテレメータを開発した例につき、実験と理論の両面より述べている。

第6章では、感温磁心とSCRで温度制御素子を構成した例をあげ、ノイズ発生の少ない高精度の温度制御が可能となった事を述べている。

第7章では、永久磁石回路の一部に感温磁心を挿入し、温度を直接指示する正確で電源不要の温度計を製作した事を述べている。感温磁心の優れた応用といえる。

第8章では、小型電動機の磁路に感温磁心を挿入し、速度、トルク特性に温度依存性を与え、冷暖房システムに利用出来る新しい特殊電動機を開発した例について述べている。

第9章では、感温磁心を蛍光ランプの点灯回路に利用し、ランプ光束が温度の昇降にかかわらず一定に保持できる装置を製作した例を述べている。これは人光源を必要とする分野に新しい応用を開拓できるものである。

第10章は結言である。

以上要するに本論文は、感温磁性材料の基礎と応用に関する新しい知見を加え、計測、制御技術の分野に多くの進展をもたらしたものであり、電気工学の発展に資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。