

氏名(本籍)	榊 陽(茨城県)
学位の種類	工学博士
学位記番号	工 第 1 4 1 号
学位授与年月日	昭和 4 6 年 6 月 2 日
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 2 項該当
最終学歴	昭和 4 0 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	磁気増幅器用 5 0 % Ni — Fe 磁心の動特性に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 穴山 武 教授 津屋 昇 教授 岩崎 俊一 教授 村上 孝一

論 文 内 容 要 旨

緒 言

本研究の目的は、50% Ni-Fe 磁心の動特性を磁心中に形成される磁化パターンや磁壁数等の磁化機構上の因子の変化を基にして検討し、従来等価渦電流抵抗のような回路論的手法では説明のできなかった磁気増幅器用磁心の複雑な振舞を解明することにある。

第 1 章 50% Ni—Fe 磁心の磁化機構に関する基礎的考察

磁心に定電流パルスを印加した場合、スイッチング時間 T_s および誘起電圧尖頭値 E_p と実効印加磁化力 H_e ($\equiv H - H_c$) との間には、第 1 図の関係がある。図の曲線はそれぞれ 3 本の折線で近似でき、次のように表示することができる。

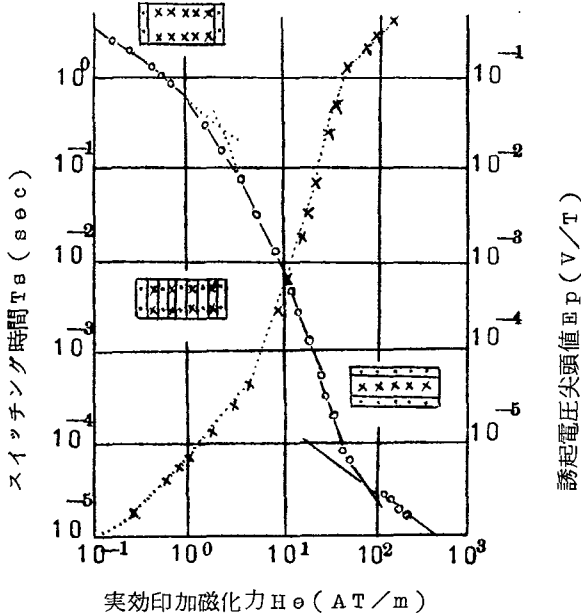
低速度磁化領域 ($H \approx H_c$)
 及び高速度磁化領域 ($H > 10 H_c$)
 中速度磁化領域 ($H \approx 2 \sim 3 H_c$)
 $r: 2.5 \sim 3.0$

$$T_s \propto H_e^{-1} \quad (1)$$

$$E_p \propto H_e \quad (2)$$

$$T_s \propto H_e^{-r} \quad (3)$$

$$E_p \propto H_e^{-r} \quad (4)$$



第1図 スイッチング特性

的検討の結果、次式で表わされる。

$$e/H_e = 2 B_g n g(s) \quad (5)$$

ただし、 n : 発生磁壁数、 $g(s)$: 磁化パターンを示す関数で場所 s に依存する。従って e/H_e 曲線は、磁化パターンや磁壁数の変化を示すと考えられる。 $g(s)$ の最大値を $g(s)_p$ とおくと

$$E_p/H_e = 2 B_s n g(s)_p \quad (6)$$

となり、 $g(s)_p$ を一定と考えれば、(6)式から n を求めることができる。(5)式を(6)式で除すと(7)式を得る。

$$e/E_p = g(s)/g(s)_p \quad (7)$$

従って e/E_p 曲線は磁化パターンのみの変化を示すと考えられる。(5)式と(7)式を誘起電圧の正規化表示式と称する。実測した e/H_e は曲線は、低速度および高速度磁化領域ではそれぞれほぼ一致するので、 n および $g(s)$ はおのおの一定値をとると考えられる。これに対して中速度磁化領域では、 e/H_e 曲線は H と共に増大するが、 e/E_p 曲線はほぼ一致するので $g(s)$ は H に無関係であるが、 n は H と共に増加すると考えられる。以上の検討により各磁化領域では、第1図に示したような磁区モデルが成り立つと考えられる。次に磁壁移動の方程式を導き、これを磁壁数や磁化パターンの変化を考慮してスイッチング時間を求めると、第1図の実線のようになり実測値と良い一致えられ、磁区

中速度磁化領域のスイッチング時間は、
 ほぼ $0.1 \text{ s} \sim 0.1 \text{ ms}$ で、動作周波数に
 換算すると数 Hz ~ 数 kHz の範囲に相当
 し、この領域で実際に磁心が用いられて
 いる。しかし、今まで、中速度磁化領域
 における検討は殆どなされていないため、
 磁気増巾器用磁心の動作が判然としなかつ
 ったものと思われる。

図に示したようなスイッチング特性の
 変化は、磁化パターンの相異によるもの
 と考えられるので、次に誘起電圧波形を
 実測し、 e/H_e または e/E_p の形に書
 き換え磁束レベル Δ ($\Delta = \phi / 2 \phi_s$)
 の関数として表示した。 e/H_e は理論

モデルによる検討が、ほとんども妥当であったと考えられる。

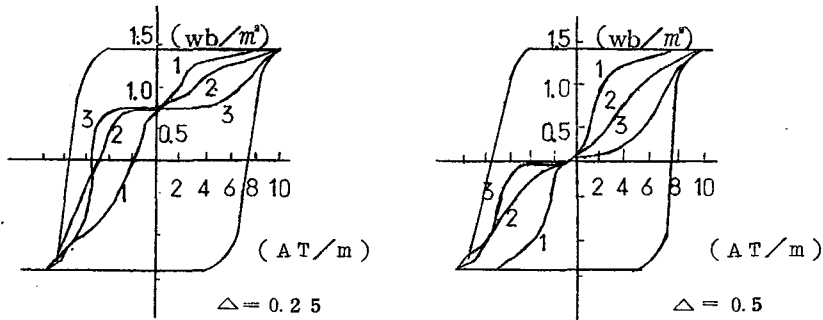
第2章 種々の磁化条件における磁化特性

まず、如何なる磁化条件の磁化特性も、正規化表示すると定磁化力を印加した場合と同じように表示できることを導いた。次に実用上よく用いられる定電圧磁化および正弦波電圧磁化の場合、中速度磁化特性を測定して正規化表示し、定磁化力を印加した場合との比較を行なった。この結果磁化条件による磁化特性の相異は、発生磁壁数および磁化パターンが磁化条件によって変化することが原因であると推論することができた。

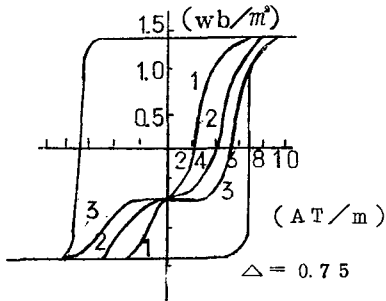
第3章 部分的磁化特性

3-1 部分磁化後の諸特性

第2図は正の飽和から種々の磁化力 H_p で部分磁化した後測定した直流磁化曲線でこれから部分磁



曲線 1. $H_p \cong 11.15 \text{ AT/m} (\cong 15 \text{ Hc})$, 曲線 2. $H_p = 35.7 \text{ AT/m} (\cong 5 \text{ Hc})$



曲線 3. $H_p = 17.8 \text{ AT/m} (\cong 2.5 \text{ Hc})$

第2図 部分磁化後の直流磁化曲線

化後の特性は磁束レベルのみならず、磁化速度にも依存することが判る。第2図の主な特徴は「(a) H_p が増すにつれて立上りが急になり、初透磁率 μ_a が増大していることを示す。(b) 磁壁移動の閾値は磁化曲線の正逆については非対称であるが、原点に対しては点対称に近い。」ことである。

第3図は部分磁化後の $\bar{\mu}_a$ を H_p の関数として示したもので、点線のように3本の折線で近似でき各折線の属する磁化領域はほぼ第1図の低速度、中速度、高速度の磁化領域に対応する。磁壁数や磁化パターンの変化を考慮すると μ_a は次式で示すことができる。

$$\mu_a \approx 4 \frac{I_s^2 \cos^2 \theta \cdot w \pi D n g(s)}{X \beta(s) / \alpha} \quad (8)$$

ただし、 w ：テープ層数、 D ：磁心平均直径、 $\beta(s)$ 、磁壁の制動係数、 α ：磁壁の復元力の係数。

低速度および高速度で磁化した場合、 $\bar{\mu}_a$ がそれぞれほぼ一定なのは、第1図の磁区モデルと(8)式とから n および $g(s)$ がそれぞれ一定のためと考えられる。これに対して中速度で磁化した場合、 $\bar{\mu}_a$ が H_p と共に増大するのは、 n が増大するためであると推定される。

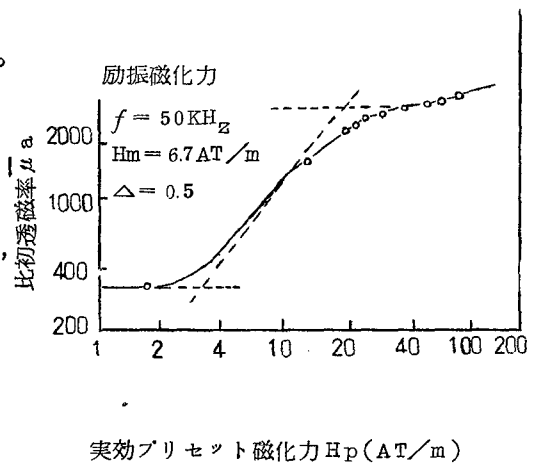
磁化曲線の非対称は磁壁が彎曲したため生ずる表面張力の影響と考えられる。表面張力と同方向に磁化する場合と、逆方向に磁化する場合とでは、磁壁移動に要する磁化力に差が生じ、磁化曲線が非対称になるものと思われる。

また誘起電圧波形と磁化パターンの変化とを検討した結果、表面張力は磁化反転の前半ではこれを助け、後半では妨げるよう作用していると推論され、これが磁化曲線の点対称となる原因と考えられる。

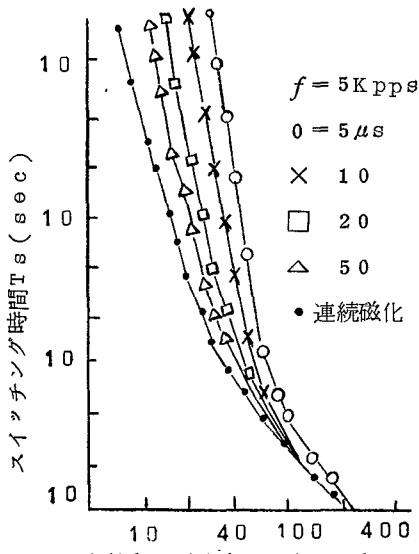
部分磁化後の動特性は、スイッチング特性について検討した。この結果、部分磁化する場合は部分磁化後引き続き磁化反転する場合の印加磁化力が充分大ならば($H \leq 10 H_c$)、高速度磁化のモデルを用い全磁化反転と同様にスイッチング特性の実験結果をよく説明できることが明らかとなった。

3-2 断続磁化特性

磁心を断続的に磁化する場合、印加磁化力が等しくてもパルス巾が減少すると誘起電圧の大きさは減少するので、誘起電圧パルスをつなぎ合わせても元の連続磁化した場合の波形とは一致しないことを見出した。この原因を検討するために測定したスイッチング特性は第4図に示す通りで、パルス巾が狭くなるにつれ、中速度磁化領域における T_{10} の増加は、主としてパルス巾の減少と共に磁壁数が減



第3図 $\bar{\mu}_a$ と H_p の関係

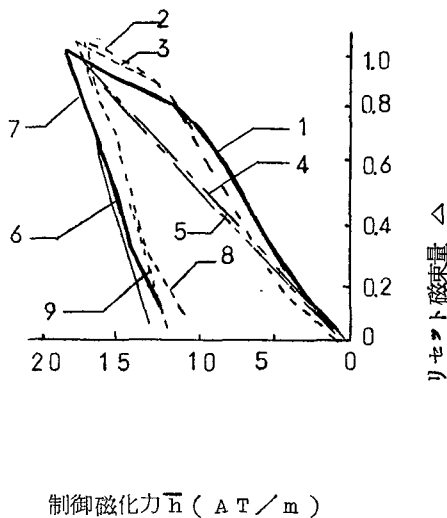


第4図 断続磁化のスイッチング特性

少ししたことを意味すると考えられる。磁壁数の減少はまた、断続磁化特性の正規化表示や断続パルスによる部分磁化後の透磁率の測定によっても確かめることができた。

第4章 磁気増巾器用磁心としての動作に関する考察

第5図の太線は磁気増巾器用磁心の磁束制御特性を種々の磁化条件で測定したもので、振巾制御特性とパルス巾制御特性の二通りに大別され、またそれぞれの制御方式においても磁化条件で若干の変化がみられる。このような変化は第2章で述べたように、磁化条件によって磁壁数や磁化パターン等の磁化機構を支配する因子が変化するためであると考えられる。これらの因子を考慮して磁束制御特性を表示すると次式のようなになる。



16. 磁化条件

1. 定電流パルス巾制御(実験計算)
2. 正弦波電圧位相制御(実験)
3. 全上(計算)
4. 定電圧パルス巾制御(実験)
5. 全上(計算)
6. 定電流リセット及び定電圧リセット(実験)
7. 全上(計算)
8. 正弦波電圧リセット(実験)
9. 全上(計算)

第5図 磁束制御特性の磁化条件による変化

$$\text{振巾制御特性} \quad \bar{h} = \frac{b d}{T} \frac{1}{n g(s)_p} \int_0^{\Delta} \frac{d\Delta}{K(\Delta)} + H_c \quad (9)$$

$$\text{パルス巾制御特性} \quad \bar{h} = \frac{b d}{T} \frac{1}{n g(s)_p} \int_0^{\Delta} \frac{d\Delta}{K(\Delta)} + \frac{t}{T} H_c \quad (10)$$

ただし $T = 1/2f$, $K(\Delta) = g(s)/g(s)_p$, t パルス巾

これらの式を基にして検討した結果、リセット磁束量を等しくとると、磁壁数は正弦波電圧リセットの場合が最大、定電圧リセットの場合が最小となり、原則的にはリセット時の誘起電圧波形の尖頭値が大きい程磁壁数は多く、制御電流は少なくてよいことが判明した。このような磁壁数の変化に、磁化パターン $K(\Delta)$ の磁化条件による相異を考慮すると(9)式、(10)式の計算値(第5図の細線)は実測値とよく一致し、磁束制御特性の評価には、磁壁数や磁化パターンの変化を考慮する必要のあることが示された。種々の周波数で磁束制御特性を測定し、制御磁化力から H_c を差引いた H_e と周波数との間には実験的に次の関係がえられた。

$$H_e \propto f^{\delta} \quad (\delta \approx 0.44) \quad (11)$$

一方(9)式の右辺第1項を H_e とおき、磁壁数 n を周波数の関数に変換すると次の関係を得て、(11)式と同じ形式になる。

$$H_e \propto f^{1/r} \quad (12)$$

(12)式の r は(3)式に示したように、スイッチング特性曲線の傾きを示す定数で、発生磁壁数と印加磁力の関係で変化する。実験に用いた磁心では $r \approx 2.4$ なので $1/r \approx \delta$ となり、周波数とともに、発生磁壁数が増大すると考えれば、磁束制御特性の周波数依存性を示す実験結果をよく説明することができる。

跳躍現象に関する検討では、磁心の部分磁化特性との関係を中心に考察した。

この結果、部分磁化のスイッチング特性から跳躍巾を推定しうること、部分磁化特性から周期的マイナーループの安定性を判定しうること等を明らかにした。

第5章 可変透磁率形および倍周波形アナログ記憶磁心としての動作に関する考察

ここでは50%Ni-Fe磁心を用いた可変透磁率形および倍周波形アナログ記憶素子の基本動作を、磁化機構の検討結果を基にして考察し、次表に示すような磁心使用上の問題点の指摘および比較等を行なうことができた。

	可変透率形の場合	倍周波形の場合
磁心の利用度	磁束レベルの1/2を利用	全磁束レベルを利用
記憶の安定性	$H_p \geq 5 H_c$ で不安定	全左
出力電圧の大きさ	$H_p < 5 H_c$ の範囲で，なるべく H_p を大にすると，出力は大きい。	$H_p < 5 H_c$ ならば，出力は小さく H_p に無関係
書込み方法の影響	連続磁化と断続磁化とで，出力電圧 の差異顕著	連続磁化と断続磁化とで，出力電 圧の差意僅少
書込みパルスの精度	振巾パルス巾共，充分安定化の要あり	振巾，パルス巾の精度に対する要 求は厳しくない
出力増巾器	無くてもよい	必要

第1表 アナログ記憶磁心としての性能比較表

結 言

以上5章に亘って述べたように，磁心の動特性の検討には，磁化機構を考慮した取扱いが有効であることが明らかとなった。特に磁心の実際に用いられる中速度磁化領域 ($f \cong$ 数Hz ~ 数kHz) では，磁壁数の変化が磁化特性の変化に主要な影響を及ぼすと考えられることが結論された。

審査結果の要旨

角形ヒステリシス特性を有する磁心は、磁気増幅器をはじめ各種非線形磁気回路に用いられているが、これら非線形磁気回路の動作理論を確立するためには、部分磁化特性も含めた磁心動特性を工学的立場から研究することが必要である。

著者は、代表的角形ヒステリシス磁心である磁気増幅器用50%Ni-Fe磁心について、磁化機構を考慮した磁心動特性の検討を行ない、非線形磁気回路の特性と磁心の動的磁化機構を関係づけるための研究を行ってきた。本論文はその成果をまとめたもので、緒言、5章、結言よりなる。

緒言では本研究の目的と概要を述べている。

第1章では定電流パルスで磁化した場合の50%Ni-Fe磁心の動的磁化機構を理論と実験の両面から考察し、高速度・中速度・低速度の3つの磁化領域について磁区モデルを提案し、磁区モデルにより磁心動特性の定量的解析が可能であることを立証した。

著者は、誘起電圧の正規化特性と呼ぶ動特性表示法を提案し、正規化特性から磁化パターンや磁壁数の変化を推定しているが、これは巧妙な方法である。また磁気増幅器の動作範囲に相当する中速度磁化領域では磁壁数が印加磁化力によって変化することを見出しているが、これは磁心の動特性を解明するのに有用な知見である。

第2章では第1章の手法が任意の磁化条件で磁化した場合にも適用しうることを述べ、定電圧および正弦波電圧で磁化した場合につき具体的に検討し、動特性におよぼす磁化条件の影響を正規化特性によって考察している。

第3章では単一パルスおよび断続パルス電流で部分磁化した場合の磁化反転特性を実験結果を基にして詳しく説明し、部分磁化後の直流磁化特性、初透磁率、誘起電圧波形などの変化を磁区モデルによって検討している。

第4章では第3章までの結果を用い、磁気増幅器の磁束制御特性と磁化条件の関係、磁束制御特性の周波数依存性、低電圧励磁時の跳躍現象などを考察している。磁心の動特性を基に解析した結果は実測値とよい一致を示しており、磁心の動的磁化機構を考慮に入れるといままで未解決であったこれらの磁気増幅器の問題点を解明しうることを立証した。これは本論文の成果である。

第5章では50%Ni-Fe磁心をアナログ記憶素子として用いた場合の動作を第3章の部分磁化特性の検討結果を基にして考察し、書き込み条件と記憶の安定性など磁心使用上の問題点を指摘し、アナログ記憶素子を設計するための指針を与えている。

結言では研究成果を総括している。

以上要するに本論文は、磁区モデルを導入することによって50%Ni-Fe磁心の動作理論を確立し、磁気増幅器などの非線形磁気回路の動作理論と設計法に有用な知見を加えたもので、磁気工学に寄与するところ少なくない。

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。