磁気ヘッドのインピーダンス特性を用いた再生出力電圧の算出

Calculating the Reproducing Outputs of Magnetic Heads from Their Impedance Characteristics

勢木真一・増渕洋一・小林 喬

三菱電機(株)映像システム開発研究所, 長岡京市馬場図所 1 (〒617)

S. Seki, Y. Masubuchi, and T. Kobayashi

Imaging systems Lab., Mitsubishi Electric Corp., 1, Zusho, Baba, Nagaokakyo 617

We propose a method for calculating the reproducing outputs of magnetic heads from their impedance characteristics. The efficiency of a magnetic head is first calculated from the impedance characteristics, and the reproducing output is then calculated from this efficiency. In a study using ferrite heads and Sendust multilayer heads, the calculated reproducing outputs agreed with the measured ones; the differences between the values were generally lower than 1 dB. Using our method, we were able to evaluate the reproducing output characteristics in various conditions from the impedance characteristics of the magnetic heads.

Key words: magnetic heads, magnetic recording, reproducing outputs, efficiency, calculating method, impedance characteristics, bias magnetomotive force

1. ま え が き

磁気ヘッドの再生出力を定量的に評価・解析することは、VTRをはじめとする磁気記録再生装置を開発する上で重要である。村松は、磁気テープに短波長の正弦波信号を最適記録した場合の再生出力電圧を、磁気ヘッドや磁気テープの物理的特性から定量的に解析する方法を示している^{1), 2)}。この解析法を応用すれば、磁気ヘッドのコア効率(再生ヘッド能率)から再生出力電圧を算出することができる。しかし、この解析法では、多速度法^{3), 4)}と、計算による方法を組み合わせてコア効率の絶対値を求めており、磁気ヘッドの出力評価に用いる場合、実用的でない。コア効率の絶対値を求める他の方法としては、ギャップが飽和する起磁力から記録時のコア効率を求める方法^{5)~7)}があるが、磁気特性の非線形性のため再生時のコア効率とは等しくない場合がある。また、これらの方法とは別に、磁気ヘッドのインダクタンスのバイアス起磁力依存特性と再生出力の関係についての実験が行われているが定量的な解析はなされていない⁸⁾。

筆者らは、この実験⁸⁾と同様に、インピーダンスのバイアス起磁力依存特性に注目し、この特性からコア効率の絶対値を求める方法を提案した⁹⁾。この方法は磁気ヘッドのインピーダンス特性と、ギャップ部の寸法諸元から、磁気ヘッドの磁気回路における各磁気抵抗を一義的に決定するもので、従来の磁気回路計算^{10), 11)}が必要であった磁気コアの透磁率や磁気コア全体の寸法等は必要ない。今回、このインピーダンス特性から磁気

Fig. 1 Schematic of a magnetic head for VCRs.

Fig. 2 Magnetic circuit of the magnetic head.

ヘッドのコア効率を求める方法と、村松の解析法をもとに、磁気ヘッドのインピーダンス特性から再生出力電圧を算出する方法を構築した。さらに、VTR用磁気ヘッドの再生出力電圧の計算値と実測値を比較する実験検証を行ったところ、良く一致する結果が得られたので報告する。

2. 再生出力電圧の算出法

Fig. 1 に VTR 用磁気ヘッドの構造を示す。このような磁気ヘッドの場合、ギャップ近傍から漏れる磁束はギャップを通る磁束に比べて非常に小さいと考えられる。このためコイルの起磁力によって発生する磁束は、近似的に以下の2種類に分けて考えることができる。

Φ_g : ギャップを通る磁束

Φ_l : コイルの近傍からの漏れ磁束

このモデルを磁気回路で表すと、Fig. 2 のようになる。なお、各要素は以下の磁気抵抗であり、一般に複素数で表される。

Fig. 3 Dependence of the inductance and resistance on the bias magnetomotive force. L_{b0} and R_{b0} are calculated by using the regression line.

X_g : ギャップの磁気抵抗

X_c : コアの磁気抵抗

X_i : ϕ_1 が流れる部分の磁気抵抗

この磁気回路において, X_g は, ギャップ長 G_1 , ギャップ断面積 G_s , ギャップ材の透磁率 μ_0 から,

$$X_g = \frac{G_1}{\mu_0 G_s} \quad (1)$$

で表されるので, コア効率 η は次式で表される.

$$\eta = \frac{X_g}{X_g + X_c} = \frac{1}{X_g + X_c} \cdot \frac{G_1}{\mu_0 G_s} \quad (2)$$

磁気ヘッドのインピーダンス Z は, Fig. 2 の磁気回路から次式で表される. ただし, R_{dc} はコイルの直流抵抗, n はコイル巻数である.

$$Z = j\omega n^2 \left(\frac{1}{X_i} + \frac{1}{X_g + X_c} \right) + R_{dc} \quad (3)$$

Fig. 3 は, インダクタンスと抵抗のバイアス起磁力依存性の測定結果例である. バイアス起磁力を大きくしていくと, あるバイアス起磁力でインダクタンスと抵抗が急激に低下し, その後は緩やかに低下している. このインダクタンスと抵抗の急激な低下はバイアス起磁力によってギャップ近傍のコアが磁気飽和し, ϕ_g が流れなくなるために生じていると考えられる. また, その後のインダクタンスと抵抗の緩やかな減少は, ϕ_1 がバイアス起磁力にほぼ比例して緩やかに減少するためと考えられる.

このため, Fig. 3 に示すようにバイアス起磁力が大きい領域のデータから回帰直線を求め, この回帰直線の切片を, それぞれ L_{b0} , R_{b0} とすることによって, Z から ϕ_g 成分を除去したインピーダンス

Table 1 Magnetic head parameters

	Head A	Head B
Magnetic core	MnZn-Ferrite (single crystal)	Sendust multilayer films ($5 \mu\text{m} \times 4$)
T_w	$25.4 \mu\text{m}$	$19.8 \mu\text{m}$
G_s	$1162 \mu\text{m}^2$	$412 \mu\text{m}^2$
G_{le}	$0.418 \mu\text{m}$	$0.318 \mu\text{m}$
θ	6 deg	6 deg
N	21 turns	26 turns

$$Z_{b0} = R_{b0} + j\omega L_{b0} \quad (4)$$

を得ることができる. この Z_{b0} は Fig. 2 の磁気回路モデルから, 次式で表される.

$$Z_{b0} = j\omega n^2 \left(\frac{1}{X_i} \right) + R_{dc} \quad (5)$$

(3) および (5) 式から $X_g + X_c$ は

$$X_g + X_c = \frac{j\omega n^2}{Z - Z_{b0}} \quad (6)$$

で表されるので, (2) 式の関係からコア効率 η は次式で表される.

$$\eta = \frac{Z - Z_{b0}}{j\omega n^2} \cdot \frac{G_1}{\mu_0 G_s} \quad (7)$$

なお, ギャップ長 G_1 は, 実効ギャップ長 (再生出力が極小になる記録波長) G_{le} とアジマス角 θ から次式で求める¹²⁾.

$$G_1 = 0.89 G_{le} \cos(\theta) \quad (8)$$

以上のように, コア効率 η は, (7) および (8) 式を用いて, 磁気ヘッドのインピーダンス特性から算出することができる.

次に, 各種損失と再生出力電圧の関係について述べる. 記録能力が十分高い磁気ヘッドで, 磁性層厚が記録波長の 1/4 よりも厚い塗布形 (面内) 磁気テープに, 正弦波信号を最適記録 (再生出力が最大になる記録電流で記録) した場合に得られる再生出力電圧の基本波成分は次式で与えられる^{1), 2)}.

$$E_{p-p} = E_0 L_{id} \eta L_g L_s \quad (9)$$

(9) 式において, E_0 は理想再生出力電圧 (p-p 値) であり, 磁気ヘッドのコイル巻数 n , トラック幅 T_w , 磁気ヘッドと磁気テープの相対速度 V_r , 磁気テープの残留磁束密度 B_r を用いて次式で表される.

$$E_0 = \frac{8}{\pi} n T_w V_r B_r \quad (10)$$

L_{id} は理想記録条件による自己減磁損失であり, CGS 単位で表された磁気テープの残留磁束密度 B_r と保磁力 H_c を用いて, 次の実験式で表される¹⁾.

$$L_{id} = \tanh \left(\frac{2.3}{B_r / H_c} \right) \quad (11)$$

L_g はギャップ損失であり, 実効ギャップ長 G_{le} と記録波長 λ を用いて次の近似式で表す.

$$L_g = \frac{\sin(\pi G_{le} / \lambda)}{\pi G_{le} / \lambda} \quad (12)$$

(a) Head A (ferrite head).

(b) Head B (Sendust multilayer head).

Fig. 4 Frequency characteristics of the impedance: L , L_{b0} , R , and R_{b0} .

(a) Head A (ferrite head).

(b) Head B (Sendust multilayer head).

Fig. 5 Frequency characteristics of the efficiency of magnetic heads.

L_s はスペーシング損失であり、磁気ヘッド・磁気テープ間のスペーシング量 s の指数関数で表され、デシベル表示すると下式となる。なお、 K は比例定数であり、VTR 用の塗布形磁気テープを用いて行われた実験結果¹³⁾から $K=100$ とした。

$$L_s(\text{dB}) = K \frac{s}{\lambda} \quad (13)$$

以上の関係を用いることによって、磁気ヘッドのコア効率 η と各諸元から、再生出力電圧を算出することができる。

3. 検証実験と考察

本手法の有効性を確かめるため、磁気ヘッドのインピーダンス特性と磁気ヘッド・磁気テープの各諸元から算出した再生出力電圧を実測値と比較する実験を行った。実験には、VTR 用のフェライトヘッドと積層センダストヘッドをそれぞれ4個ずつ用いた。これら各磁気ヘッドの代表を、それぞれ、Head A、Head B とし、その諸元を Table 1 に示す。なお、各磁気ヘッドのギャップ断面積 G_g の測定には、磁気ヘッドの磁化特性から G_g を求める方法⁷⁾を用いて、測定精度の向上を図った。

Fig. 4 に、Head A と Head B のインピーダンス (L , L_{b0} , R , R_{b0}) の周波数特性を示す。測定には、インピーダンスアナライザ (Hewlett Packard HP4194A; HP41941A) と、直流バイアス電流源、および、データ処理用コンピュータを用いた。Fig. 5 に、このインピーダンス特性と各諸元から算出したコア効率の

周波数特性を示す。

次に、このコア効率を用いて計算した再生出力電圧の計算値を実測値と比較する。再生出力電圧の測定はドラムテスターを用いて行い、記録電流を順次変えて再生出力電圧の最大値を得た。この測定に用いた磁気テープは、磁性層厚が $3.2 \mu\text{m}$ の単層塗布形で、磁気特性が、

$$B_r = 0.155 \text{ T (1550 G)}$$

$$H_c = 72 \text{ kA/m (900 Oe)}$$

の S-VHS VTR 用磁気テープである。

Fig. 6 は、相対速度条件: (a) $V_r = 5.8 \text{ m/s}$, (b) $V_r = 11.6 \text{ m/s}$, (c) $V_r = 17.4 \text{ m/s}$ において、Head A (フェライトヘッド) の各周波数における再生出力電圧を測定した実測値と、同条件について計算した計算値を比較したグラフである。Fig. 7 は、同様の条件で、Head B (積層センダストヘッド) の再生出力電圧の実測値と計算値を比較したグラフである。これらの計算において、実測値と計算値ができるだけ一致するように、(13) 式のスペーシング量 s を 40 nm と設定した。

Fig. 6, Fig. 7 において、実測値と計算値は記録波長が短い高周波領域では良く一致している。しかし、記録波長の長い低周波領域では、実測値よりも計算値の方が高くなっている。これは、再生出力電圧の計算には磁気コアの飽和による記録能力の限界が考慮されていないためである。Fig. 6 と Fig. 7 を比較すると、フェライトヘッドに比べて、記録能力が高いセンダスト

Fig. 6 Frequency characteristics of the reproducing output of Head A (ferrite head).

Fig. 7 Frequency characteristics of the reproducing output of Head B (Sendust multilayer head).

Fig. 8 Comparisons between calculated reproducing outputs and measured ones.

トヘッドの方が低い周波数まで実測値と計算値が一致していることが分かる。

Fig. 8 は、記録波長が短い領域における再生出力電圧の計算値と実測値の関係を示した結果である。Fig. 8(a) は、4 個のフェライトヘッドについて、記録波長が $0.58 \sim 1.45 \mu\text{m}$ のデータを示したものであり、Fig. 8(b) は 4 個の積層センダストヘッドについて、記録波長 λ が $0.58 \sim 2.9 \mu\text{m}$ のデータを示したも

のである。なお、これらの実測値は相対速度 V_r が 5.8 m/s, 11.6 m/s, 17.4 m/s の各条件で測定したデータであり、計算値は実測値と同一条件について計算したものである。ただし、スペーシング量はすべて 40 nm として計算した。Fig. 8 において、計算値と実測値の差はおおむね ± 1 dB 以内であり、計算値と実測値は良く一致している。この検証実験の結果から、本手法の有効性が確認できた。

Fig. 9 AFM image of the magnetic tape surface.

この検証実験では磁気ヘッド・磁気テープ間のスペーシング量を40 nmと設定して計算することによって計算値と実測値とを一致させた。磁気ヘッドと磁気テープの摺動状態が良好な場合、スペーシングは主に磁気テープの表面粗さによって生じると考えられる。そこで、このスペーシング量40 nmの妥当性を確認するために、AFM (Atomic Force Microscopy: Digital Instruments NanoScope III) を用いて磁気テープの表面形状を分析した。Fig. 9は、磁気ヘッドと摺動後の磁気テープ表面のAFM像である。磁気ヘッドと磁気テープの摺動状態では磁気ヘッドと磁気テープ表面の突起だけが接触し、この突起を基準とした磁気テープ表面の平均深さがスペーシング量に相当すると考えられる。Fig. 10は、この考えをもとに、磁気テープ表面の $20 \times 20 \mu\text{m}$ の領域において、最も高い点に対する各点の深さの分布を表したヒストグラムである。ヒストグラムの累積度数が50%になる深さを平均深さと定義すると、この分析領域における平均深さは41 nmであった。また、Fig. 9のデータの中で分析領域を移動して、平均深さを求めると39~49 nmであった。このように磁気テープ表面の平均深さはスペーシング量の設定値40 nmに近い値になっており、この設定値の妥当性を確認することができた。

4. む す び

磁気ヘッドのインピーダンス特性をもとに再生出力電圧を算出する方法を構築した。この手法の有効性を検証するために、VTR用磁気ヘッドの再生出力電圧の計算値と実測値を比較する実験を行った。その結果、記録波長が短い領域における計算値と実測値の差はおおむね $\pm 1 \text{ dB}$ 以下であり、インピーダンス特性から磁気ヘッドの再生出力電圧を精度良く算出できることが確認できた。これによって、実際に記録再生を行うことなく、磁気ヘッドの再生出力電圧を評価することが可能となる。さらに、この方法は、磁気ヘッドのインピーダンス特性をいったん測定すれば、相対速度、スペーシング量、磁気テープの磁気特性等が異なる条件における再生出力電圧を容易に算出することができるので、新しい磁気記録システムの設計に役立つ

Fig. 10 Surface-depth histogram of the magnetic tape.

のと考える。

以上のように、この手法は磁気ヘッドの強力な評価解析手法である。しかし、この手法を精度良く適用できる条件は、磁性層が厚く均一な塗布形(面内)磁気媒体に、記録能力が十分高い磁気ヘッドで、正弦波信号を最適記録した場合である。近年のVTR用磁気テープは、斜方蒸着テープ¹⁴⁾や、表面層と下層で磁気特性の異なる重層塗布テープ¹⁵⁾が増えている。今後、これらの磁気テープ媒体に記録再生した場合の計算方法を検討する必要がある。

文 献

- 1) 村松珊吾: テレビジョン学会誌, **34**, 1016 (1980).
- 2) 村松珊吾: 電子通信学会磁気記録研究会資料, **MR75-28**, 13 (1976).
- 3) 白井為興, 林 直人, 柴谷弘道: 1986年テレビジョン学会全国大会講演予稿集, 東京, 1986, 7-2, p. 159 (テレビジョン学会, 東京, 1986).
- 4) 勢木真一, 山木比呂志, 金場 豊: 平成元年電気関係学会関西支部連合大会講演論文集, 大阪, G14-10, p. G 377 (平成元年電気関係学会関西支部連合大会実行委員会, 大阪, 1989).
- 5) E. G. Visser, L. R. M. van Rijn, and H. J. F. Maas: *IEEE Trans. Magn.*, **21**, 1283 (1985).
- 6) 倉田健剛, 込山耕造, 一色正憲: 第12回日本応用磁気学会学術講演概要集, 長野, 1988, p. 30pC-4 (日本応用磁気学会, 東京, 1988).
- 7) 勢木真一, 山木比呂志, 金場 豊: テレビジョン学会誌, **44**, 713 (1990).
- 8) 光岡勝也, 岩倉忠幸, 小林哲夫, 福井 宏, 成重真治, 杉田 愼: 日本応用磁気学会誌, **13**, 95 (1989).
- 9) 勢木真一, 小林 喬: 電子情報通信学会技術研究報告, **MR92-11**, 13 (1992).
- 10) 松本光功, 伊藤彰義, 森迫昭光: 磁気記録工学, p. 172 (共立出版, 東京, 1990).
- 11) 松本光功: 磁気ヘッドと磁気記録, p. 107 (総合電子出版, 東京, 1983).
- 12) 松本光功: 磁気記録, p. 118 (共立出版, 東京, 1977).
- 13) 森岡芳宏, 浜本康男, 小林正明: 1989年テレビジョン学会全国大会講演予稿集, 大阪, 1989, 6-4, p. 111 (テレビジョン学会, 東京, 1989).
- 14) 法橋滋郎: 日本応用磁気学会誌, **17**, 777 (1993).
- 15) 西田徹二, 齊藤真二, 稲波博男, 小川 博, 笹沢幸司: 電子情報通信学会技術研究報告, **MR89-35**, 17 (1989).

1995年3月6日受理, 1995年5月19日採録