C 形フェライト磁心を用いた磁性流体の透磁率測定

岡 英夫

岩手大学工学部電気電子工学科, 〒020 盛岡市上田4-3-5.

Measuring the Permeability of Magnetic Fluid using a C-shape Ferrite Core

Hideo Oka

Department of Electrical & Electronic Engineering, Faculty of Engineering, Iwate University,
4-3-5 Ueda, Morioka 020.

Received March 5, 1996

SYNOPSIS

The purpose of this paper is to propose a method for measuring the permeability of a magnetic fluid with a ferrite core, with a gap, where the core is excited and placed within the magnetic fluid. Several different materials and sizes are examined. Comparative experiments with the ring core method show that the proposed method is more effective for measuring permeability.

KEY WORDS

magnetic fluid, permeability, frequency, magnetic measurement techniques.

1 緒言

磁性流体は 磁気特性と液体双方の特徴を 有するため、流動性や浸透性を兼ね備えた興味ある材料である。また、最近では磁性流体の特徴を活かした種々のセンサに関する研究が積極的に進められている^{1, 2)}。フェライト磁心等の固体状の磁性材料の直流試験法および交流試験法は JIS 規格によって明確に規定されている³⁾。それに対して磁性流体の磁気特性の測定法は直流磁気特性の測定については振動試料型磁力計を用いた方法が一般的に利用されている。しかし、交流磁気特性の測定法は これまで種々の報告⁴⁻⁷⁾がなされているが 液体状磁性材料の交流磁気測定法として

確立されているとはいえない。磁性流体は 液体であり、且つ 低透磁率であるという特性から、従来の固体状磁性材料の交流試験法のように試料に直接巻線を施し励磁することには種々の問題を有する。

そこで、筆者等は先に液体状であり低透磁率である磁性流体の交流透磁率の測定手法を確立するため、磁性流体に直接測定用コイルを挿入して計測する内部励磁法を考案した⁸⁾。しかし、この手法では低周波領域における測定精度の低下等の問題を有している。

本研究では 上記の問題を解決すべく、C形フェライト磁心を磁性流体内部に挿入し、透磁率を測定する手法を考案試作し、その有効性を明らかにする。さら

に、測定に用いるフェライト磁心の材質と寸法の測定値に与える影響を明らかにした。最後に、他の測定法との測定結果についての比較検討を行った。以上の検討結果より、フェライト磁心を用いた磁性流体の透磁率測定手法について明らかにするものである。

2 試料および測定方法

図1は C形フェライト磁心を用いた磁性流体の透磁率測定の原理図である。インピーダンス・ゲイン・フェーズ・アナライザ HP4194A を用いて、C形フェライト磁心を空気中で測定したインダクタンス L_0 と磁性流体中に挿入して測定したインダクタンス L_m との比から磁性流体の透磁率 μ_{mf} は 次式より求める⁹⁾。

$$\mu_{mf} = \frac{L_m}{L_0} \quad \dots \dots \dots (1)$$

図2は フェライトを用いて作製したC形磁心の形状・寸法要素である。表1 (a)(b)(c)は 試料の寸法、初透磁率および 10kHzにおける空気中での試料の自己インダクタンスである。(a)図は 形状を一定にして材質を変えた試料である。(b)図は 材質を一定にして形状・寸法を変えた試料である。(c)図は各試料の自己インダクタンスである。

Fig.1 Principle of measuring the permeability of a magnetic fluid using a C-shape ferrite core.

Fig 2 Shape and Size of C-shape ferrite core.

Table 1 Size, initial permeability and self-inductance of sample.

(a) Material is different but size is the same.

Sample No.	μ_m	d_1 (mm)	d_2 (mm)	h (mm)	g (mm)	g/l
FC-1-2-1	13870	25.0	15.0	9.0	1.0	0.0162
FC-2-2-1	3705	25.0	15.0	9.0	1.0	0.0162
FC-3-2-1	2453	25.0	15.0	9.0	1.0	0.0162
FC-4-2-1	508	25.0	15.0	9.0	1.0	0.0162
FC-5-2-1	158	25.0	15.0	9.0	1.0	0.0162

(b) Size is different but material is the same.

Sample No.	μ_m	d_1 (mm)	d_2 (mm)	h (mm)	g (mm)	g/l
FC-2-1-1	3705	25.0	15.0	9.0	0.5	0.0081
FC-2-2-1	3705	25.0	15.0	9.0	1.0	0.0162
FC-2-3-1	3705	25.0	15.0	9.0	5.0	0.0865
FC-2-1-2	3705	15.0	9.0	5.4	0.3	0.0081
FC-2-2-2	3705	15.0	9.0	5.4	0.6	0.0162
FC-2-3-2	3705	15.0	9.0	5.4	3.0	0.0865

(c) Self-inductance of sample.

Ferrite Core	L_0 (μH)	Ferrite Core	L_0 (μH)
FC-1-2-1	17.74	FC-2-1-1	23.34
FC-2-2-1	17.16	FC-2-2-1	17.16
FC-3-2-1	15.19	FC-2-3-1	11.52
FC-4-2-1	15.08	FC-2-2-2	9.83
FC-5-2-1	9.88	FC-2-3-2	6.80

3 測定結果および検討

図3は 空気中および磁性流体中に設置して測定したインダクタンスの周波数特性である。同図より磁性流体中では周波数が高くなるにつれ、インダクタンスの値が減少することが了解される。

Fig. 3 Self-inductance of C-shape ferrite core.
temperature of magnetic fluid: 23 °C
exciting current: 1mA
Sample No. FC-1-2-1

Fig. 4 Frequency characteristic of apparent permeability of C-shape ferrite core for different materials.
temperature of magnetic fluid: 23 °C
exciting current: 1mA

Fig. 5 Frequency characteristic of apparent permeability of C-shape ferrite core for different gap sizes.
temperature of magnetic fluid: 23 °C
exciting current: 1mA

図4は C形フェライト磁心の材質を変えた場合の見掛け透磁率の周波数特性である。高透磁率材料であるC形フェライト磁心ほど 見掛け透磁率が高い値を示した。

図5は C形フェライト磁心のギャップ寸法を変えた場合の見掛け透磁率の周波数特性である。図示の如く、ほぼ同様の値を示すことがわかった。

表2は 励磁周波数 f_e が5 kHz および 10kHz における 各C形フェライト磁心を用いた磁性流体の見掛け透磁率の相対誤差⁹⁾である。本計測器を用いた場合、低周波である5kHz における相対誤差が大きく、形状的にはギャップ幅が広いほど相対誤差が増すことが了解される。

Table 2 Relative intensity for apparent permeability of magnetic fluid.

Ferrite Core	5(kHz)	10(kHz)
FC-1-2-1	2.0 (%)	1.7 (%)
FC-2-2-1	2.3 (%)	1.7 (%)
FC-3-2-1	2.3 (%)	1.6 (%)

Ferrite Core	5(kHz)	10(kHz)
FC-2-1-1	1.9 (%)	1.6 (%)
FC-2-2-1	2.3 (%)	1.7 (%)
FC-2-3-1	3.0 (%)	1.8 (%)
FC-2-1-2	3.3 (%)	2.1 (%)
FC-2-2-2	4.4 (%)	3.7 (%)
FC-2-3-2	6.1 (%)	3.4 (%)

図6は 素子の分解能に関して考察するため、励磁周波数を1kHz における 磁性流体の濃度を变化させた場合の見掛け透磁率の測定結果である。図示の如く、磁性流体濃度と見掛け透磁率の値は C形フェライト磁心を用いた本測定法では ほぼ直線的な相関関係にあるが 空心コイル (巻数: 10turn, 半径: 10mm, 高さ: 8.5mm) による内部励磁法の測定結果では 0.2% の濃度変化に追従できないことが確認された。

図7は 環状試料試験法と本測定法で測定した測定結果との比較である。同図に示す如く、環状試験法を用いて測定結果がC形フェライト磁心を用いた本測定法の測定結果よりも測定値が低いことが確認できた。環状試験法の場合、低透磁率であるため、励磁巻線を多く巻く必要があるため、線間容量の影響で測定可能周波数が制限されること。さらに、磁性流体用容器の形状要素が含まれること。また、磁性流体量および液

Fig. 6 Apparent permeability when the concentration of magnetic fluid is changed.

temperature of magnetic fluid: 22°C
exciting current: 1mA
exciting frequency: 1 kHz

Fig. 7 Comparison of measurement results between the ring method and the proposed method.

Fig. 8 Comparison of permeability measurement results between a 1 turn ring container and a C-shape ferrite core.

面設定等の誤差などが考えられる。以上の点からも磁性流体用透磁率測定法は C 形フェライト磁心を用いた内部励磁型の本測定法が有効と考えられる。

図8は 1turn 形環状容器⁷⁾を用いてインピーダン

ス・アナライザHP4194A で透磁率測定を行った結果である。図示の如く、1kHz ~1MHz の周波数領域で測定した場合、磁性流体は低透磁率であり 1 turnであるため、インダクタンスの値が低く、測定値が大きくばらつくことがわかった。

4. 結言

C形フェライト磁心を用いた磁性流体の透磁率測定に関する研究で得られたことを下記に述べる。

(1) ギャップを有するC形フェライト磁心に励磁巻線を施した試料を空气中に設置した時の自己インダクタンスと磁性流体中に設置したときの自己インダクタンスを比較することより、簡単に磁性流体の透磁率が計測可能であることを明らかにした。

(2) フェライト磁心の交流初透磁率が磁性流体の交流初透磁率の 1180倍以上あれば、フェライト磁心から発生する磁束分布は空气中と磁性流体中において、測定値に影響を与えるほど磁束分布は変化しないことが明らかにした。

(3) フェライト磁心の自己インダクタンスの値は、形状に大きく依存しており、ギャップ長が狭く、形状が大きい程、自己インダクタンスの値が大きくなり、見掛け透磁率の相対誤差も良好であることが明らかになった。

(4) 内部励磁法と比較した結果、10kHz以下の低周波領域においてC形フェライト磁心を用いた本測定法が見掛け透磁率の相対誤差が低く、良好な結果が得られた。

また、環状試料試験法および 1turn 型環状容器を用いた測定方法と比較した結果、フェライト磁心を用いた測定方法の有効性を明らかにした。

謝 辞

最後に、実験に協力された本学学生 梅村聡彦君に感謝する。また、磁性流体を提供下さったタイホー工業⁸⁾ 松村雄介氏に深謝する。

文 献

- 1) R.Olaru et al. : Journal of Mag.Mag.Mat., 39 (1971), 77.
- 2) 岡・P.P.Biringer : 電子情報通信学会誌 C-II, J72-C-II (1989) 254
- 3) 日本工業規格 : JIS C 2560 (1992)
- 4) P.C.Fannin, S.W.Charles : J.Phys.E. Instrum 19 (1986)

- 5) 島田：磁性流体連合講演会講演論文集 (1994)22.
- 6) H.OKA: IEEE Trans.Magnetics 30 (1994) 4674.
- 7) H.OKA: IEEE Trans.on Magnetics 31 (1995) 4172.
- 8) 岡：電気学会論文誌 112-C (1992) 623.
- 9) 横河・ヒューレット・パッカード(株)：インピーダンス/ゲイン フェーズアナライザ 4194A 取扱説明書 pp.1-5 ~ 1-34, (1989).