

高周波で励磁される高効率鉄心に適した磁気回路モデル

畠山 智行, *中村 健二
(株式会社 日立製作所, *東北大学)

Magnetic Circuit Model for High-Efficiency Core Magnetized in High-Frequency Range
Tomoyuki Hatakeyama, *Kenji Nakamura
(Hitachi, Ltd., *Tohoku University)

はじめに

鉄損をヒステリシス損, 渦電流損, 異常渦電流損に分解した従来の磁気回路モデル^{1),2)}は, 鉄心の非線形磁気特性を表現するために直流ヒステリシスループの実測値を必要とする。しかし, 高効率鉄心の正確な直流ヒステリシスループを取得することは容易ではなく, 誤差を含む可能性がある。この問題を解決するため, 本報告では, 直流ヒステリシスループの実測値を不要とする方法を提案する。

提案する磁気回路モデル

Fig. 1 に示すように, 周波数 f におけるヒステリシスループは, 直流ヒステリシスループが交流損失 W_{AC} だけ拡大したループとして表現される。 f よりも小さい周波数 f' においても同様であり, f' におけるヒステリシスループは交流損失 W'_{AC} だけ拡大する。したがって, f における一周周期当たりの損失 W_i は, f' における一周周期当たりの損失 W'_i を用いて次のように表すことができる。

$$W_i = W_h + W_{AC} = W'_i - W'_{AC} + W_{AC} \quad (1)$$

ここで, W_h は一周周期当たりのヒステリシス損である。方形波電圧で励磁した場合, (1)式の交流損失分は次式のように展開できる。

$$W_i = W'_i + \frac{16\gamma_1 B_m^2}{q} (f - f') + \frac{8\gamma_2 B_m^{1.5}}{q} (f^{0.5} - f'^{0.5}) \quad (2)$$

ここで, γ_1, γ_2 はそれぞれ渦電流損, 異常渦電流損に対応する係数であり, 実測値を(2)式でフィッティングすることで得られる。 q は鉄心の質量密度, B_m は最大磁束密度である。

上述の考えに基づいた磁気回路モデルを Fig. 2 に示す。 f' におけるヒステリシスループをルックアップテーブル $g'(B)$ として従属電源①に与え, 従属電源②で f' における渦電流損, 異常渦電流損を相殺させる。したがって, 従属電源①, ②を合わせたものが直流ヒステリシスループに相当する。

実験による検証

f' を 1 kHz とし, ナノ結晶軟磁性材のカットコアに対して, 1 kHz から 5 kHz の範囲で方形波電圧を印加した際の鉄損を測定した結果, $\gamma_1 = 1.78 \times 10^{-4}$, $\gamma_2 = 2.21 \times 10^{-3}$ を得た。MATLAB®/Simulink®上で提案する磁気回路モデルを作成し, 鉄損を算定した結果, Fig. 3 に示すように算定値は実測値と良好に一致した。この結果から, 提案手法は高周波で励磁される高効率鉄心のモデル化に有用であるといえる。

参考文献

- 1) K. Fujita, et al.: *J. Magn. Soc. Jpn.*, **37**, 44 (2013).
- 2) K. Nakamura, et al.: *IEEE Trans. Magn.*, **49**, 3997 (2013).

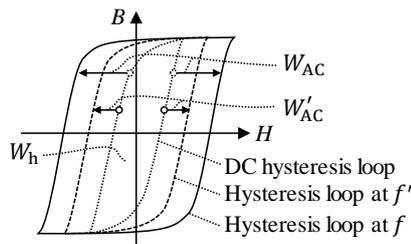


Fig. 1 Schematic of breakdown of hysteresis loop.

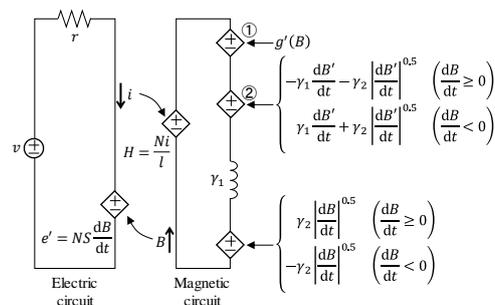


Fig. 2 Proposed magnetic circuit model.

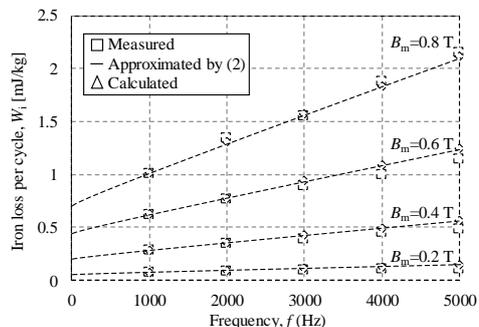


Fig. 3 Frequency performance of iron loss per cycle of nanocrystalline cut core.