

有限要素法を用いた第三高調波電圧誘導法測定時における n 値の影響

FEM analysis on effects of n value in the third harmonic voltage measurement method

吉田 信之, 吉田 貴昭, 岩本 賢太郎, 小田部 莊司, 松下 照男 (九工大);
岡本 洋 (九州電力)

YOSHIDA Nobuyuki, YOSHIDA Takaaki, IWAMOTO Kentarou, OTABE Edmund Soji,
MATSUSHITA Teruo (Kyushu Inst. of Tech.); OKAMOTO Hiroshi (Kyushu Electric Power Co., Inc.)
E-mail : nobuyuki@aquarius10.cse.kyutech.ac.jp

はじめに 近年、超電導体を用いた製品の実用化に伴い、超電導体の長尺化が進んでいる。長尺超電導線材の臨界電流密度 J_c を効率よく測定する方法が必要とされているが、本研究では非破壊非接触で測定可能な第三高調波電圧誘導法に着目した。第三高調波線圧誘導法は超電導薄膜の直上に設置したコイルに交流電流 $I_0 \cos \omega t$ を通電し、コイルの発生磁界を遮蔽する超電導薄膜の電流によりコイルに誘導される電圧の中に第三高調波成分 V_3 が発生しはじめる電流値 I_{th} により J_c を求める方法である¹⁾。しかし I_{th} 以下での電流値においても V_3 はわずかに発生しており、 V_3 の発生を正確に検出することは困難である。そこで本研究では、電界 E が電流密度 J の n 乗に比例する n 値モデルを用いた有限要素法による数値解析²⁾ によって求めた V_3/I_0-I_0 曲線に対して、四端子法の測定でよく用いられている off-set 法を用いて I_{th} を求めた。また、 I_{th} 周辺での超電導体内部の磁束密度や電流密度の分布を解析することで、第三高調波電圧誘導法によって求まる J_c の妥当性を検証した。

実験 本研究の解析で用いたコイルと超電導薄膜の概要を Fig. 1 に示す。Fig.1 の解析部分を JMAG Studio 9.0 を用いて解析した。コイルの巻き数は 400 回、電界基準 E_c は 1.0×10^{-4} V/m、臨界電流密度 J_c は 2.6×10^{10} A/m²、超伝導-常伝導転移の鋭さを示す n 値は 10 ~ 40 の範囲で変化させた。コイルに通電した電流の周波数は 1000 Hz であり、3 周期分を計算して波形の安定する 3 周期目を解析に用いた。

結果及び検討 図 2 に n 値が 10, 20, 30, 40 の時の V_3-I_0 特性を示す。図中の挿図は $n = 30$ の時の V_3/I_0 と I_0 の関係で、傾きの変化が顕著な電流値 0.10 A から 0.18 A の範囲の特性を示している。さらに off-set 法によって I_0 が十分に小さい領域から引いた接線と V_3/I_0 が 50μ となる点付近から引いた接線の交点より、 I_{th} を 0.140 ± 0.002 A とした。求めた I_{th} より計算して得られた J_c は $(2.63 \pm 0.04) \times 10^{10}$ A/m² となり、これは 2.6×10^{10} A/m² に対して誤差 $-0.39 \sim 2.7 \%$ となっている。他の n 値でも同様の計算をしたところ、 $n = 40$ の時に I_{th} は 0.138 ± 0.001 A となり、得られた J_c は、 $(2.59 \pm 0.020) \times 10^{10}$ A/m² で誤差は $-1.2 \sim 0.39 \%$ となり、 $n = 30$ の時と比較すると誤差の範囲は減少している。一方 n 値が 30 よりも減少するにつれ J_c の誤差は増加し、 $n = 20$ の時では $-1.5 \sim 9.2 \%$ 、 $n = 10$ の時では $-18 \sim 32 \%$ となった。また、 n 値が 20 ~ 30 の間について細かく解析を行ったところ、 $n = 27$ の時に I_{th} が 0.142 ± 0.003 A となり、 J_c が $(2.67 \pm 0.060) \times 10^{10}$ A/m² で誤差が $\pm 5 \%$ 以内に収まることが明らかになった。

まとめ off-set 法によって求められた J_c は、 n 値が増加するに従い、設定された J_c との誤差が減少する傾向にあることが本研究で明らかになった。誤差の許容範囲を 5.0 % 以内とすると、許容範囲内の J_c を得られる n 値は 27 以上であるといえる。また、低い n 値の場合は V_3/I_0-I_0 曲線がゆるやかに立ち上がるため、off-set 法によって接線を引く際も n 値が減少するにつれて接線の傾きのばらつきが増加するという傾向が見受けられる。 n 値が小さい場合は接線を決定することが難しく、得られる I_{th} の評価に多大な誤差を含むものと考えられる。以上の考察より n 値が 27 以上であれば、通常の四端子法で用いられる電界基準で定める J_c と、同等の決め方ができると考えられる。

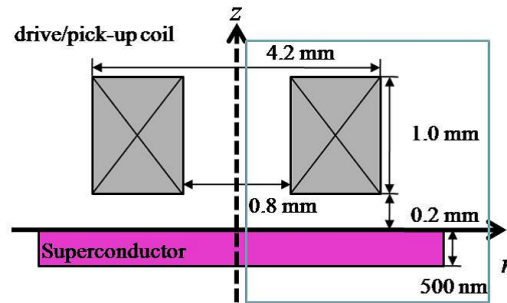


Fig.1 Analytical model.

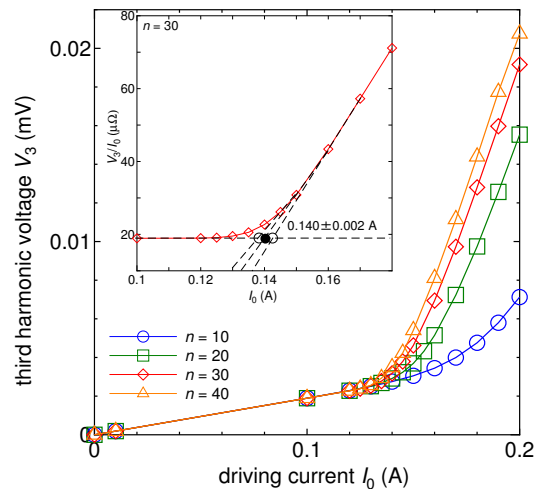


Fig.2 V_3-I_0 characteristics.

【参考文献】

- 1) Y. Mawatari, H. Yamasaki, Y. Nakagawa, Appl. Phys. Lett. 81 (2002) 2424.
- 2) S. Honjo, H. Ishii, Y. Sato, H. Hashimoto, T. Yamada, K. Tani, T. IEE Japan, Vol. 120-B, No.11, (2000)