

非接触給電システム近傍磁界分布のウェーブレット解析

Wavelets Analysis of the Magnet Field Distributions around Contact-less Power Supplier

高田 将吾¹⁾ 齊藤 兆古¹⁾
Shogo TAKADA, Yoshifuru SAITO

¹⁾ 法政大学大学院工学研究科電気工学専攻

All of the modern electrical devices are composed of two major parts: one is the electrical signal processing part, and the other is the power supplier. Recent electrical devices are spreading in use not only the conventional consumer electronics products but also electrical vehicles. A reason why electrical vehicles should be developed is simply the antipollution of earth atmosphere, i.e., the electrical motors are employed instead of combustion type engines. The electrical vehicles requires a battery system which should be charged up by an external power source. This means that a contactless power supplier is extensively convenient to practical use for battery charging of the electrical vehicles.

Contactless power supplier is composed of a transformer having the distinct primal and secondary coils separated by air gap. Because of the electromagnetic compatibility problem, it is essential to keep the leakage magnetic fields around the contactless power supplier as low as possible.

This paper carries out the wavelets multi-resolution analysis to the magnetic field distributions around the transformer having the distinct primal and secondary coil separated by air gap.

As a result, it is found that the most reasonable core head shape of the transformers has the most dominant 1st order wavelet spectrum, i.e., the biggest 1st order wavelet spectrum and negligible higher order wavelets spectra. This means that there is no leakage magnetic field around the contact-less power supplier.

Keywords : Magnetic field visualization, Contactless power supplier, Wavelets analysis

1. 結 論

半導体技術の発展は、電気・電子機器の小型軽量化のみならず、インテリジェント化を可能とし、爆発的な電気・電子機器の普及をもたらした。その結果、高周波で駆動される電気・電子機器は生産設備のみならず家電機器まで普及し、家庭、事務所、工場、その他あらゆる場所でパソコン、ファックス、携帯電話、空調設備、照明機器等の多くの電気・電子機器が設置され、必要不可欠な文明の利器として活用されている。それらの電気・電子機器が空間を占める密度は、従来想定不可能な密度である。この意味で、現代の人工空間はあらゆる周波数の電磁界で満たされた空間と化している。この過酷な電磁環境中でも、電気・電子機器は誤作動をすることなく円滑にそれらの機能を発揮しなければ、人類の文明生活が維持できない状況に至っている。換言すれば、あらゆる周波数の電磁界で満たされた空間の中で人

類は生活を強いられている状況である。電気・電子機器に対してだけでなく人類に対しても可能な限り、高周波の電磁界が分布しない自然な空間が望ましいことは言うまでもない。

近年、地球温暖化対策のために電気自動車の開発が急務となっている。電気自動車普及の大きなボトルネックとして電気自動車への給電システムとそのインフラがある。

本稿は電気自動車を前提とする非接触給電システム開発に関するものであり、具体的には非接触給電システムが与える周辺電磁界分布の可視化とそのウェーブレット解析である。

2. 磁界分布の可視化

2.1 1次・2次コア分離型単層変圧器

非接触給電システムでは1次・2次コイル分離型の変圧器を採用することで非接触な電力電送を可能

とする。変圧器のコア材は比較的重量があるため、コア材の量を削減する方途として高周波駆動が一般的である。高周波特性のよい磁性材料はフェライトである。我々の非接触給電システムでは、2個のU字型フェライトを用いて1次・2次コイル分離型単層変圧器を採用する。

Fig.1 に採用したフェライトコアのBHループ（磁束密度対磁界）特性を示す。Fig.1 に示すように磁性体の透磁率は有限であり、且つ、必ず飽和磁束密度がある。このため、磁界は変圧器周辺へ漏れて分布する。特に1次・2次コイル分離型では1次・2次間にエアギャップがあるため顕著となる。

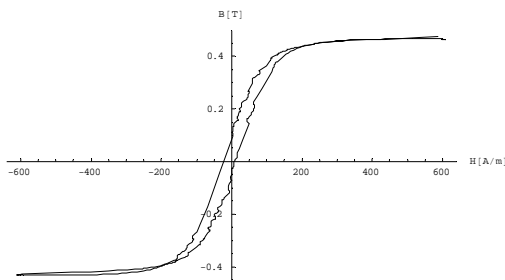
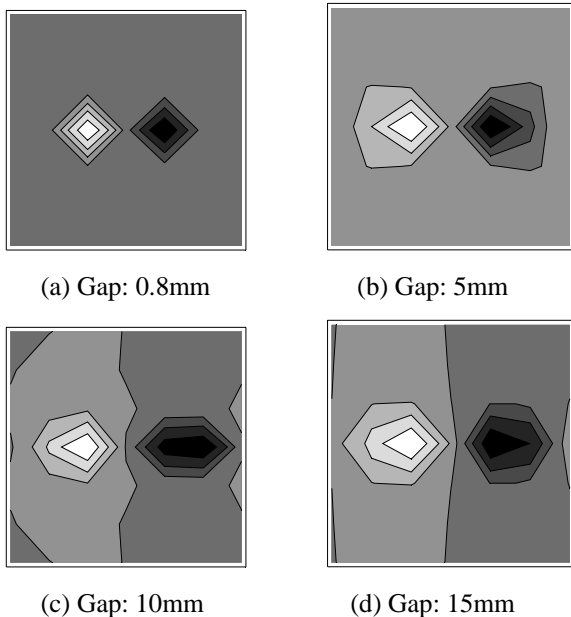


Fig.1 B-H loop of a tested ferrite core.

2.2 コアヘッド近傍の磁界分布

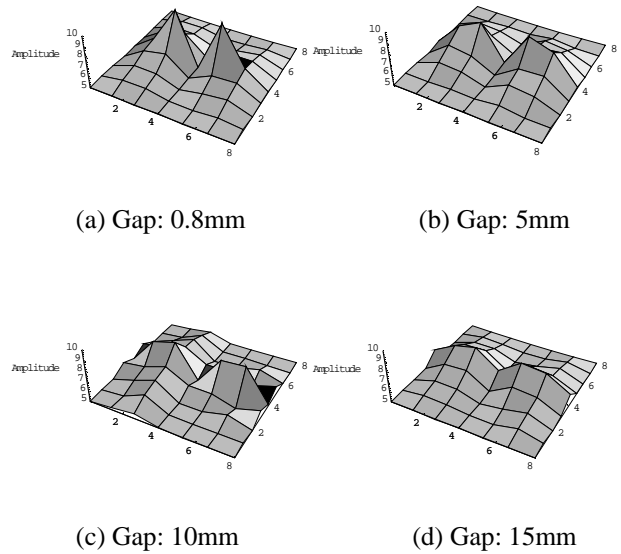
2.2.1 ギャップの違いによる磁界分布の変化

1次・2次コア間のギャップの違いによる漏洩磁界分布を測定した。



(a) Gap: 0.8mm (b) Gap: 5mm (c) Gap: 10mm (d) Gap: 15mm

Fig.2 2D representation of the magnet field distributions.

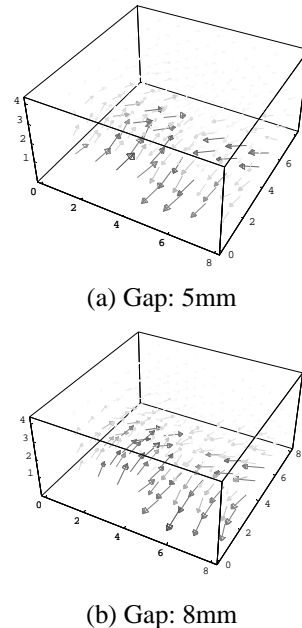


(a) Gap: 0.8mm (b) Gap: 5mm (c) Gap: 10mm (d) Gap: 15mm
Fig.3 3D representation of the magnetic field distributions.

具体的には、1次・2次のフェライトコアヘッドで平面を挟み込む形とし、コアヘッド間の距離、すなわち、ギャップ長を変えて平面に垂直方向の磁界分布を測定した。ギャップは0.8mm、5mm、10mm、15mmとした。

Fig.2はその結果を濃淡図、Fig.3は3次元的に可視化した例をそれぞれ示す。Fig.2ではギャップ長が5mmを超えると急激に漏洩磁界が広がり、磁界分布モードが大幅に異なることが分かる。

2.2.2 磁界ベクトル分布



(a) Gap: 5mm (b) Gap: 8mm
Fig.4 Leakage Magnetic Field Vectors Distribution from The Ferrite Cores.

1次・2次のフェライトコアヘッドに並行な x-y 平面で、フェライトコアヘッド面に垂直な方向を高さ z 方向として、高さ (z 方向) を 10mm 毎に 4 段階変更して、コアから漏れた磁界の xyz の 3 成分を測定した。フェライトコアヘッド間が 5mm、8mm の場合である。

Fig.4(a)にコアヘッド間 5mm、Fig.4(b)にコアヘッド間 8mm の磁界ベクトル図を示す。ギャップ長の短い(a)の場合、コアヘッドからの漏洩磁界の広がりが最も少ないことが分かる。

3. 磁界分布のウェーブレット解析

3.1 理論

一般に、3次元のウェーブレット変換は、3次元マトリックスの転置行列を

$$[H_{lmn}]^T = H_{mnl} \quad (1)$$

で表すと、

$$S = [W_n \cdot [W_m \cdot [W_l \cdot H_{lmn}]^T]^T]^T \quad (2)$$

で与えられる。ここで、S はウェーブレットスペクトラム、H は $l \times m \times n$ の直方マトリックス、 W_l 、 W_m 、および W_n はそれぞれ $l \times l$ 、 $m \times m$ 、 $n \times n$ のウェーブレット変換マトリックスである。ここで、H の各要素が x、y、z 方向の 3 成分からなるベクトル

$$H = X + Y + Z \quad (3)$$

であるとき、(1)、(2)式より

$$S = [W_n \cdot [W_m \cdot [W_l \cdot (X + Y + Z)]^T]^T]^T \quad (4)$$

が得られる。ここで X、Y、Z はそれぞれ直交するベクトルであるから(4)式は

$$\begin{aligned} S &= [W_n \cdot [W_m \cdot [W_l \cdot X]^T]^T]^T \\ &+ [W_n \cdot [W_m \cdot [W_l \cdot Y]^T]^T]^T \\ &+ [W_n \cdot [W_m \cdot [W_l \cdot Z]^T]^T]^T \end{aligned} \quad (5)$$

となる。すなわちベクトルデータのウェーブレット変換スペクトラムは各成分のウェーブレット変換スペクトラムを成分とするベクトルである⁴⁾。

3.2 周辺磁界分布

Fig.4(b)で示した 3次元磁界ベクトル分布へ式(4)のウェーブレット変換を適用する。

Fig.4(b)に示したベクトルデータを x、y、z 成分ごとにウェーブレット変換し、ウェーブレットスペク

トラムを求める。ここでは基底関数にドビッシーの 2 次基底関数を使用した。ベクトルウェーブレットスペクトラムを Fig.5 に示す。

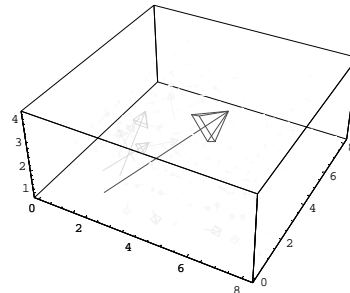
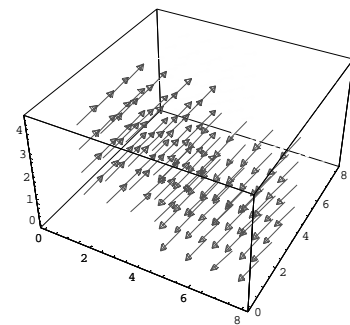
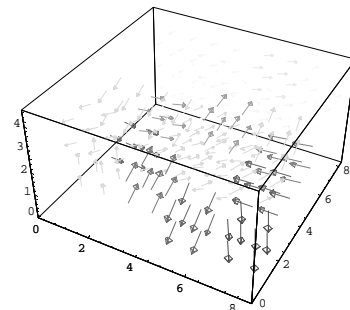


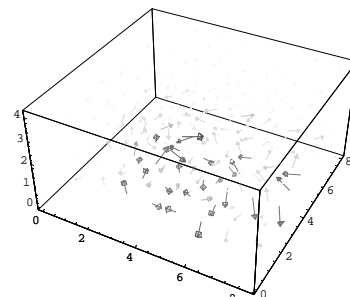
Fig.5 Wavelet Spectrum.



(a) LEVEL 1



(b) LEVEL 2



(c) LEVEL 3

Fig.6 Wavelet Spectrum.

Fig.5 は複数個のベクトルウェーブレットスペクトラムからなる。すなわち、Fig.5 は空間周波数別に

空間周波数の低い、最も支配的なウェーブレットスペクトラムと空間周波数が高いウェーブレットスペクトラムからなる。それぞれを独立にウェーブレット逆変換して再現された3次元磁界ベクトル分布をそれぞれ空間周波数の低いウェーブレットスペクトラムから、Level 1、Level 2、Level 3として、Fig.6(a)、(b)、(c)に示す。Fig.6(a)は空間に漏れのない無い理想的な磁界分布を表し、Figs.6(b)、6(c)は磁性体コア周辺の空間に広がる漏洩磁界成分を表している。

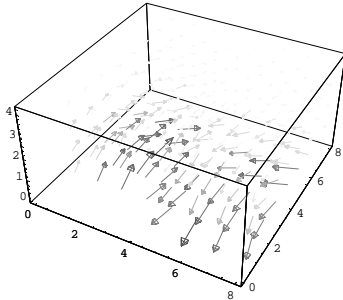


Fig.7 The recovered Leakage Magnetic Field.

この結果から、磁性体コア近傍の3次元磁界ベクトル分布をウェーブレット変換し、得られるウェーブレットスペクトラムで、Level 1を最大の大きさを持つスペクトラムベクトル、他の高周波スペクトラムの大きさを最小化するコア形状が最も漏れ磁界が少ない最適な磁気コア形状であることが分かる。

Fig.6の空間周波数別3次元磁界ベクトルの総和をFig.7に示す。Fig.4(b)が完全に再現されていることが分かる。

4. まとめ

本稿では、非接触給電システムの根幹要素である1次・2次コイル分離型変圧器の周辺磁界分布の可視化を行い、ウェーブレット解析を行った。ウェーブレット解析は、コア形状の最適化指標を明確に与え、非接触給電システムに於ける漏洩磁界問題解決の一助となることが判明した。

参考文献

- [1]齊藤兆古 著：「ウェーブレット変換の基礎と応用」、朝倉書店、1998年
- [2]宮原晋一郎、早野誠治、齊藤兆古、増田則夫、遠矢弘和：「電気・電子機器の周辺電磁界可視化システム」、マグネティックス研究会資料、1998年、MAG-98-112
- [3]Sekijima,D.,Hayano. and Saito,Y: Time-domain Visualization of Quasi-3D Current Vector Distributions PSFVIP-3 March 18-21,2001, U.S.A. F3303
- [4]松山佐和、小口雄康、宮原晋一郎、齊藤兆古：「三次元ウェーブレット変換の応用」、日本シミュレーション学会、1998年、2-II-3