

ダブルパルス試験によるパワーエレクトロニクス機器用 ノイズ計測システムの構築

岩崎量旺*, 長谷川一徳, 安部征哉, 大村一郎 (九州工業大学)

Front-Loading of EMI Test: A New Noise Measurement System

Kazuaki Iwasaki*, Kazunori Hasegawa, Seiya Abe, Ichiro Omura, (Kyushu Institute of Technology)

Abstract

The accurate measurement of magnetic near-field is essential because radiated noise from power electronics cause the malfunction of a peripheral device or itself. This paper develops a new magnetic near-field measurement system for power electronics equipment with double pulse test. The system is capable of confirming magnetic near field level of power electronics equipment in an early stage of development. In addition, the system identifies the noise sources in the surface of the power electronics by scanning the near magnetic field. The system contributes to reducing the development period and cost of the power electronics equipment.

キーワード：パワーエレクトロニクス、電磁妨害、半導体デバイス、スペクトル解析、ダブルパルス試験、ノイズ計測システム

(Keywords: Power electronics, Electromagnetic interference, Semiconductor device, Spectrum analysis, Double pulse test, Noise measurement system)

1. はじめに

パワーエレクトロニクス機器はパワー半導体のスイッチングによりラインインダクタンスや寄生容量に起因した電磁ノイズを発生する⁽¹⁾⁻⁽⁷⁾。電磁ノイズは電子機器の誤動作や故障の原因になるため、抑制する必要がある。電磁ノイズを抑制するためにはノイズ源の特定が重要になる。特定するためのシステムとして、ロボットに電界プローブまたは磁界プローブを取り付けて回路表面をスキャンする測定システム⁽⁸⁾や EMxpert⁽⁹⁾がある。

しかし、従来の可視化システムは被試験機器の連続運転が必須である。パワエレ機器を連続運転するためには冷却器や制御回路など、ある程度完成した状態まで作り込むため、近傍磁界の計測に取り掛かるまで時間を要す。

本稿は、ダブルパルス試験によるノイズスペクトル評価及び近傍磁界可視化システムを提案する。ダブルパルス試験で発熱を抑制することにより、計測設備を簡便化することができる。

2. システム構成と計測手法

〈2.1〉 システム構成 本システムの概要を図 1 にその仕様を表 1 にそれぞれ示す。本システムは、オシロスコープ、3 軸ロボット、パルスジェネレータから構成され、

LabVIEW (システム開発ソフトウェア) によって、同期制御される。LabVIEW は、波形データ集録、高速フーリエ変換 (FFT)、近傍磁界強度の 3D 表示の機能を有する。3 軸ロボットのアームの先には磁界センサを取付け、EUT (Equipment Under Test) 表面の近傍磁界をスキャンする。位置決め精度の高いロボットを用いることにより、高精度に磁界発生源の位置特定ができる。

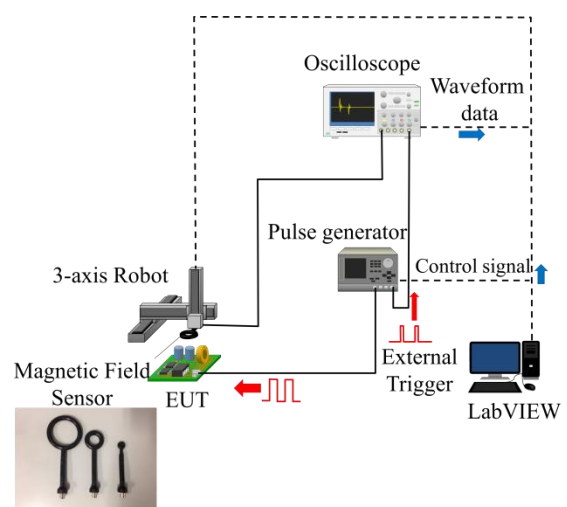


図 1 システム概要

Fig.1 Outline of the noise measurement system

表 1 測定システムと仕様

Table1. Specification of measurement system

測定対象	パワーデバイス、パワーエレクトロニクス機器
測定方式	3 軸ステージにより磁界プローブを走査
測定範囲	X,Y,Z=500mm×800mm×300mm
動作ステップ	X,Y,Z=0.1mm
計測機	オシロスコープ

〈2・2〉 測定手法

ダブルパルス試験によるノイズ測定手法を図 2 に示す。ゲートに連続パルスを入力すると、パワーデバイスには図 2-a の電流が流れる。本システムはゲートパルスの幅やスイッチング周波数等のスイッチングパターンを解析した後、図 2-b のようにダブルパルス試験を行うことで図 2-a の電流が再現できる。本システムでは電流を直接検出するのではなく、図 2-c のように電流に含まれるノイズを磁界センサとオシロスコープによってタイムドメインで計測する。ダブルパルスのパルス幅を変化することで得られた全パルスパターンで発生する近傍磁界のデータを繋ぎ合わせることで、連続パルスを入力した場合と同等のノイズ波形を得ることができる (図 2-d)。最後にフーリエ変換を行うことでノイズスペクトルを得る (図 2-e)。ここで、ダブルパルス試験では、磁界の発生時間が短く、スペクトラムアナライザでの測定が困難であるため、オシロスコープを用いて測定する。

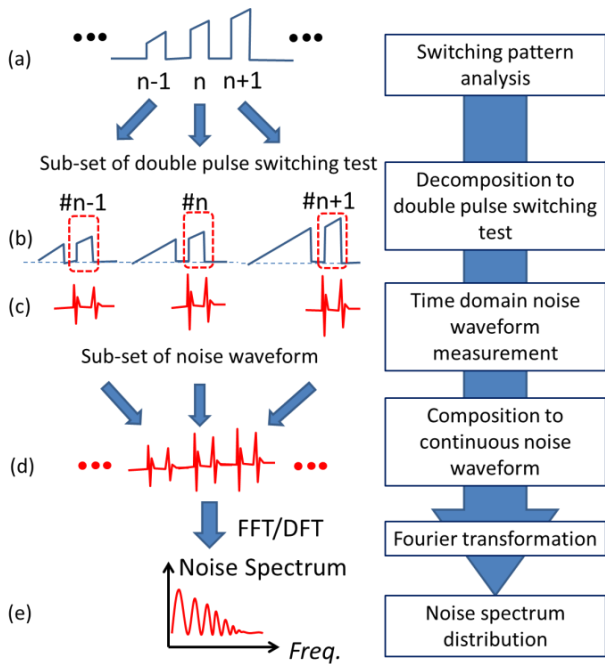


図 2 本提案の計測手法

Fig.2 Waveform data acquisition method

3. 実験結果

本システムの測定精度を図 3 の降圧チョップ回路を用いて検証する。表 2 に回路パラメータを示す。スベアナの測定には連続運転が必要なため降圧チョップを用いている。ノイズスペクトルをダブルパルス試験で測定する本システムと降圧チョップを連続動作させてスペクトラムアナライザで測定する方法で得られたスペクトルを比較する。本システムは 128 回のダブルパルス試験で得られたセンサの出力波形を組み合わせることで高速フーリエ変換 (FFT) を行う。図 4 の計測結果から分かるように、ピーク値と周波数がほぼ一致している。これにより本システムによる測定結果の精度を確認できた。

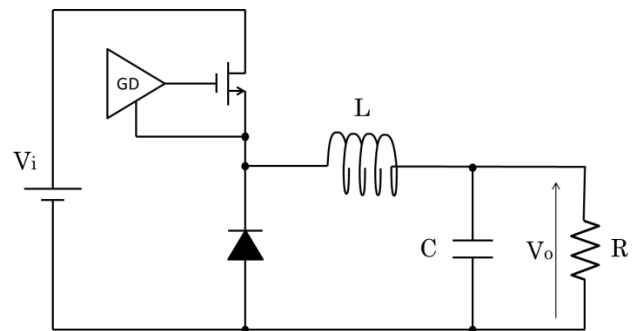


図 3 降圧チョップ回路図

Fig.3 Buck converter

表 2 回路パラメータ

Table2. Circuit parameters and specifications

Description	Symbol	Value
入力電圧	V_i	20V
スイッチング周波数	f_{sw}	10kHz
時比率	D	0.5
出力電圧	V_o	10V
インダクタ	L	470 μ H
キャパシタ	C	100 μ F

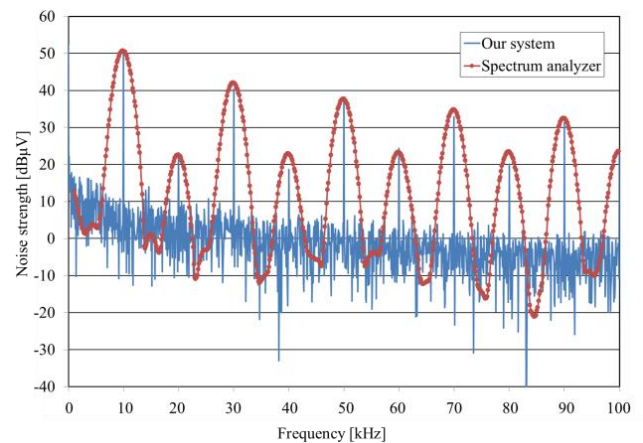


図 4 ノイズスペクトル

Fig.4 Noise spectrum

4. 近傍磁界スペクトルの可視化

〈4・1〉 ノイズマッピング 図5のインダクタンス負荷ダブルパルス試験により 2in1IGBT モジュールのノイズ分布を評価する。表3に回路パラメータを示し、図6にIGBTモジュールと本システムでスキャンする範囲を示す。IGBTモジュールは4つの端子があり、端子AはハイサイドIGBTのコレクタ、端子Bと端子CはハイサイドIGBTのエミッタ（ローサイドIGBTのコレクタ）、端子DはローサイドIGBTのエミッタに接続されている。端子Aは電源、端子Cは誘導負荷、端子DはGNDを接続し、赤の破線内を直径10mmの磁界プローブを5mm間隔でスキャンする。近傍磁界をセンサのループ面をX方向Y方向Z方向に向けて測定し、ノイズの指向性を確認する。測定するIGBTモジュールは、端子とボンディング部分のインダクタンスが大きい。そのため、測定した磁界強度分布が端子とボンディング周辺の強度を大きく示しているかを確認する。

IGBTモジュールの磁界強度分布を図7に示した。図7(a)(b)(c)より、端子A、D周辺、IGBTとダイオードの周辺から多くのノイズが放出されていることがわかる。このことから、本システムで磁界強度を可視化できることを確認した。

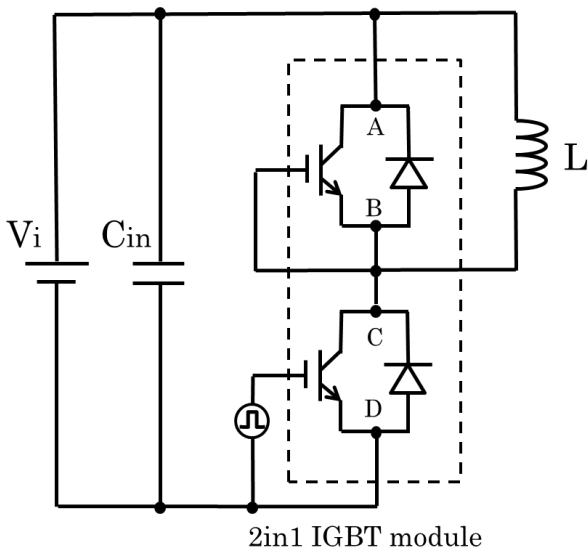


図5 試験回路
Fig.5 Test circuit

表3 回路パラメータ

Table3. Circuit parameters specifications

Description	Symbol	Value
入力電圧	V_i	36V
スイッチング周波数	f_{sw}	1kHz
時比率	D	0.5
インダクタ	L	1mH
キャパシタ	C_{in}	32mF

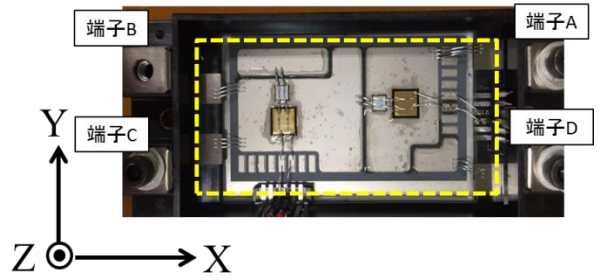
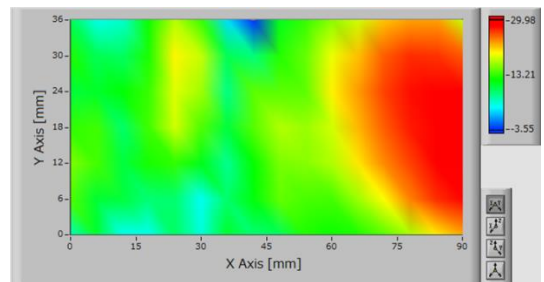
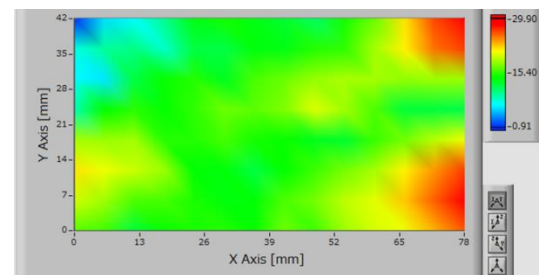


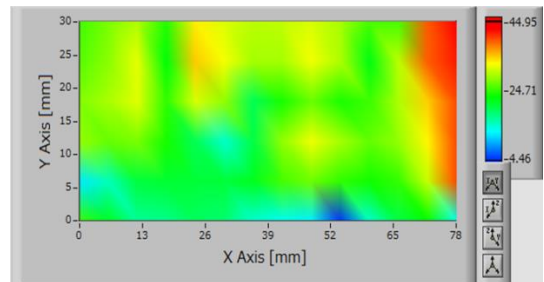
図6 IGBTモジュールと測定範囲
Fig.6 IGBT module and measuring range



(a) X direction (1kHz)



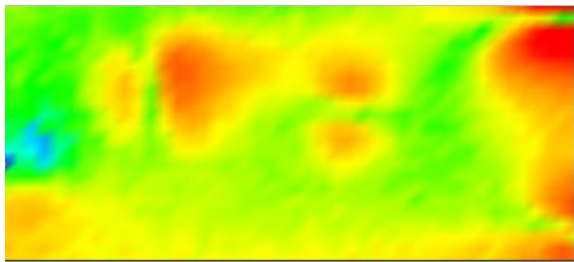
(b) Y direction (1kHz)



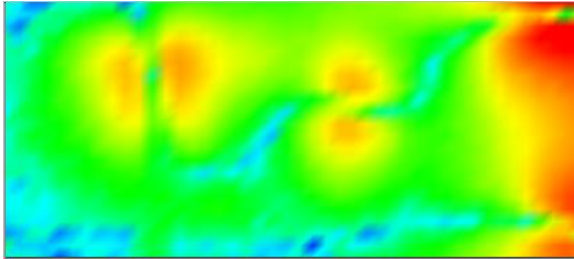
(c) Z direction (1kHz)

図7 IGBTモジュールのノイズ分布
Fig.7 Noise distribution

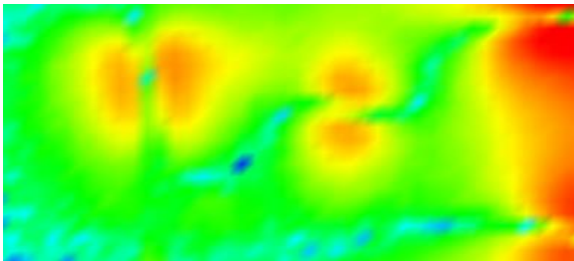
〈4・2〉 周波数毎のノイズ発生源の特定 本システムは、EUT上をスキャンした後、特定の周波数を指定してノイズ分布を可視化する。図6のIGBTモジュール上を直径4mmの磁界プローブにより2mm間隔でZ方向の磁界強度をスキャンする。測定結果を図8に示す。周波数毎に磁界強度が強い範囲が変化している。



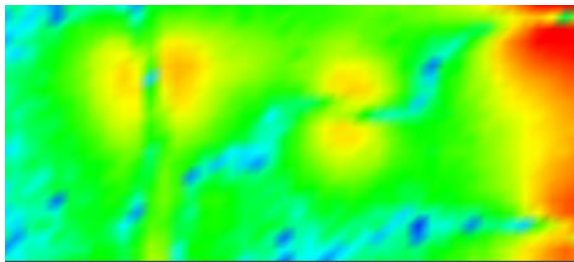
(a) 1kHz



(b) 250kHz



(c) 750kHz



(d) 1MHz

図8 ノイズ分布と周波数の相関

Fig.8 Relation between noise distribution and frequency

5. 結論

本稿ではダブルパルス試験によるパワーエレクトロニクス機器の近傍磁界を測定する手法を提案した。従来手法と提案手法の測定結果を比較した結果、提案手法の測定精度が十分に高いことが確認できた。また、マッピングによりノイズ源の特定が可能であることが確認できた。

文 献

- (1) 五十嵐征輝, 滝沢聡毅, 黒木一男, 清水敏久:「電力変換装置から放射される電磁ノイズの解析と低減方法」, 電学論 D, Vol.118, No.6, pp.757-765 (1998-6)
- (2) 関口秀紀, 舟木剛:「パワーエレクトロニクス機器と EMC」, 電学論 A, Vol134, No.1, pp36-40
- (3) Liu, Y.-P., Vasic, D., Wu, W.-J., Costa, F., Lee, C.-K., "Electromagnetic interference analysis of dc-dc converters based on piezoelectric transformers", Japanese Journal of Applied Physics (JJAP), pp. 0615011-0615016(2010)
- (4) Shan Yin, K. J. Tseng, Pengfei Tu, Rejeki Simanjorang, Amit K. Gupta, "Design considerations and comparison of high-speed gate drivers for Si IGBT and SiC MOSFET modules", IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), pp 1-8(2016)
- (5) F. Costa, D. Magnon, "Graphical Analysis of the Spectra of EMI Sources in Power Electronics", IEEE Transactions on Power Electronics, pp1491-1498(2005)
- (6) Gang Feng, Wei Wu, David Pommerenke, Jun Fan and Daryl G. Beetner. "Time Synchronized Near-field and Far-Field for EMI Source Identification", IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, pp1-5(2008)
- (7) Xu Gao, Jun Fan, Yaojiang Zhang, Hamed Kajbaf, David Pommerenke, "Far-Field Prediction Using only Magnetic Near-Field Scanning for EMI Test", IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, pp1335-1343(2014)
- (8) PERITEC, "EMI テスタ EMV-150" (最終検索日: 2017 年 10 月 30 日)
[http://www.peritec.co.jp/download/catalog/emi_tester_emv150_peritec.pdf]
- (9) EMSCAN, "EMxpert" (最終検索日: 2017 年 10 月 30 日)
[<https://www.emscan.com/products/emc-emi-testing/ehx/>]