

磁界検出コイルアレイによる電磁雑音測定システム

Electromagnetic Noise Measurement System Using a Magnetic Field Sensing Coil Array

戴上 信・板垣 篤*・渡辺光春*・中田浩一・山口正洋・荒井賢一

東北大学電気通信研究所, 仙台市青葉区片平 2-1-1 (〒980-77)

*凌和電子株式会社, 仙台市若林区南材木町 48 番地 (〒984)

S. Yabukami, A. Itagaki,* M. Watanabe,* K. Nakada, M. Yamaguchi, and K. I. Arai

Research Institute of Electrical Communication, Tohoku Univ., 2-1-1 Katahira, Aoba-ku, Sendai 980-77

*Ryowa Electronics Co., Ltd., 48 Minamizaimokucho, Wakabayashi-ku, Sendai 984

We developed a near-field magnetic noise measurement system using a shielded-loop-type 432 coil array. To allow measurement of magnetic noises from 1 MHz to several hundred MHz, we took account of the voltage induced by the magnetic field in the pickup coil, impedance matching at the crossing points of lead lines, and the size of ground plane. High resolution of the measurement position can be obtained by using the XY-stage.

Key words: shielded loop coil, 432 coil array, magnetic field, XY-stage

1. はじめに

プリント配線基板から放射される近傍電磁雑音は、プリント配線基板内部を流れる高周波電流あるいはインパルス性電流によって発生すると考えられており^{1)~5)}、雑音源の位置を推定することが電子回路やプリント配線板の EMC 対策にとって重要である。これを実現するためには 1 波長以下の近傍において磁界成分を測定することが必要であり、コイルあるいはアンテナを 1000 個以上アレイ化し、雑音分布を高速に表示させる帯域 1 GHz までの電磁雑音測定装置が実用化されている⁶⁾。しかし最近では、パソコンのクロック周波数の上昇や PHS の普及に伴って、近傍電磁雑音の周波数スペクトラムは 1 GHz を越す高周波領域に及ぶ場合が増えており、LC 共振によって使用帯域が限られる既存のコイルやループアンテナでは GHz 帯における計測は困難と予想される。

このような状況に対し、筆者らが先に報告したマイクロストリップ線路による 1 ターンコイル^{7)~9)}は、原理的に LC 共振がなく広帯域磁界計測が可能な平面的コイルであり、すでに 1.5 GHz までの正確な薄膜パーミアンスの測定が可能となっている。筆者らはこの平面コイルがプリント配線基板上に容易にアレイ化できる特長に着目し、3 個×3 個のコイルアレイによって原理的に近傍電磁雑音のマップ表示が可能であることを報告した^{10), 11)}。しかし試作したコイルアレイは広い地導体面を有したため、被測定電磁界が地導体面により擾乱を受けたことや、多数のコイルからの回路配線の定在波比が 100 MHz において 4 以上と高く所期の帯域が確保できなかったことなどの問題も認められた。

本報告では、前作において課題であった 100 MHz 以上の高周波信号の引き出し方法、コイル切り替え用スイッチのアイソ

レーション、地導体面の縮小などを検討した。さらに、マイクロストリップ線路によるコイルでは、XYZ 3 方向の雑音成分が混在する出力が発生することや、GHz 領域では磁界と電界の双方による誘起電圧が顕在化することが明らかとなったため、これらの問題を解決可能な新しいコイル構造についても検討を行った。これらの検討に基づき、A4 版寸法に 432 個のコイルエレメントを実装し、ステッピングモータを用いた微小可動装置を組み合わせ、広帯域、高分解能測定の可能性を示した。

2. 検出コイル

Fig. 1 は試作した 4 種類の検出用コイルの概観図を示したものである。(a) (b) はシールドループアンテナ¹²⁾をそれぞれ 3 層および 2 層の導体層から構成したものであり、(c) はマイクロストリップ線路により構成したコイル、(d) は平行平板線路により構成したコイルである。それぞれのコイルは図中に示した磁束 Φ の時間微分によって誘起電圧を発生させる。以下本文では (a) のコイルをシールドループコイルと呼ぶ。シールドループコイルはコイル面に垂直な磁界により誘起電圧を発生させる。(c) のマイクロストリップ線路により構成したコイルおよび (d) の平行平板線路によって構成したコイルは地導体面の渦電流により磁束を曲げて誘起電圧を発生させる。本報告における電磁雑音の測定には、主として磁界による誘起電圧を発生する点およびコイル面に垂直な磁界成分を検出する目的により、(a) のシールドループコイルを用いた。

シールドループコイルは 2 層の地導体面と、それらによって挟まれた半ターンの中心導体層から構成される。地導体面は円形の終端に幅 1 mm のギャップを構成しており、地導体面を周回する渦電流を抑制するため Fig. 1(c) に示したマイクロストリップ線路によって構成した検出コイルに比較して単位面積当たりの誘起電圧は約 3 倍大きかった。検出される磁界の方向は図中のようにループ面に直交する方向である。またこのコイルは地導体面により内部導体が電氣的にシールドされているため、外部電界による容量結合を抑制できる点と地導体面が上下左右で対称であるため電界による地導体面への容量結合による誘起電圧が差動的に抑制される。主として磁界を検出する性質を利用して 1 MHz~1.5 GHz における磁性薄膜のパーミアンス計測を実現している¹³⁾。試作したシールドループコイルにおいて単位電圧を誘起するための磁界強度は 2 端子コ

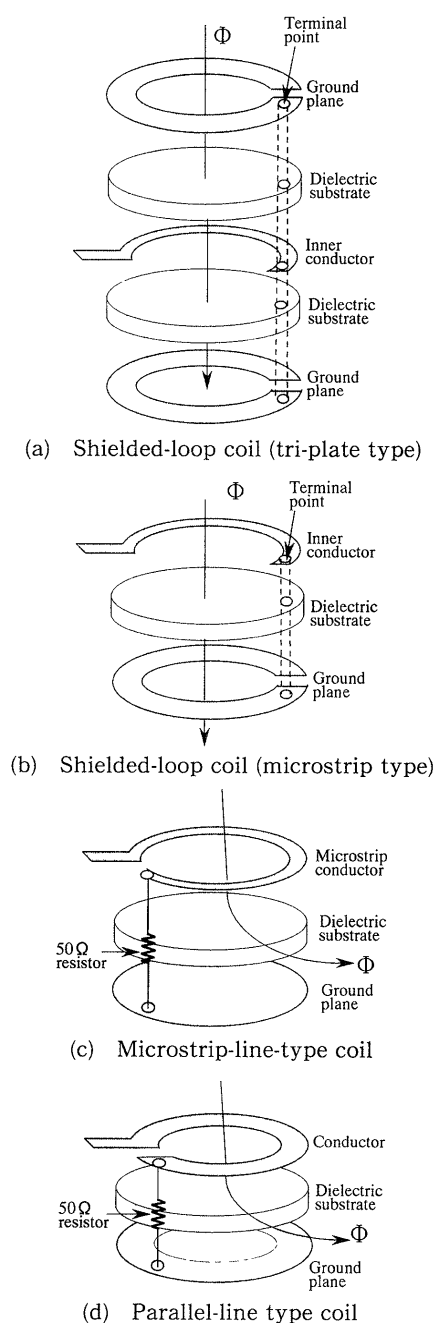


Fig. 1 Schematic view of the sensing coils.

イルの約 85% であった。これはシールドドロープコイルの地導体面の幅がループ直径に比べて無視できず、外部磁界が乱されるためと考えられる。

Fig. 2 はシールドドロープコイルを平行平板線路内に挿入し、線路の終端を短絡、開放、50 Ω 整合とした場合のコイルにおける誘起電圧を測定したものである。励磁コイル内部では終端を短絡した場合には磁界が主に形成され、終端を開放した場合には電界が主成分となる。Fig. 2 によれば磁界による誘起電圧は電界による誘起電圧よりも約 2 GHz まで 3 倍以上大きい。したがってシールドドロープコイルは主として磁界による誘起電圧を発生させることが明らかである。同様の実験を (c) のマイクロストリップ線路による検出コイルで行うと、500 MHz 以上で電界による誘起電圧は磁界による誘起電圧よりも大きく

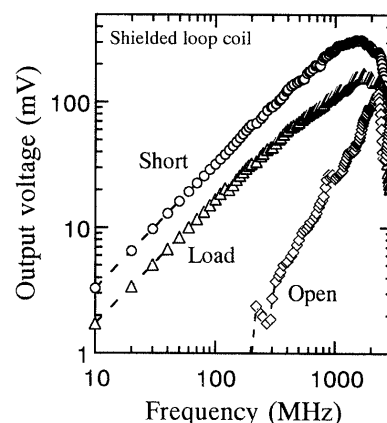


Fig. 2 Output voltage of the shielded loop coil.

なる¹⁴⁾。(d)の平行平板線路型コイルにおいては地導体面の渦電流は周辺部を流れるためマイクロストリップ線路によるコイルと同様の結果であると考えられる。

3. コイルからのリード線の引き出し方法

高周波信号の引き出し回路およびスイッチ回路には、1 MHz ～ 1 GHz までのインピーダンスを整合させることが望まれる。前作の 9 エレメントアレイの定在波比は 100 MHz において 4 以上であった¹¹⁾。これは各エレメントからの引き出し口までの距離が均一でなかったことと、分岐点からダイオードスイッチまでの経路が長くスタブとして作用したためである。Fig. 3 は本報告における引き出し回路の概観図を示したものである。この配線は各エレメントから出力コネクタまでの距離をほぼ等しくするとともに、ダイオードスイッチ (1SV128) から分岐点までの距離を 1 ～ 2 mm と極力短くしたものであり、これによりインピーダンスの乱れを抑制できると考えられる。また引出線をセミリジットケーブルにより配線して地導体面をコイルとセミリジットケーブル部分のみとした。これにより測定の乱れが最小限に抑えられるとともに信号線は外来電磁波からシールドされると考えられる。

Fig. 4 は 36 エレメントから構成される信号配線基板内の引き出し線路を示したものであり、○は各エレメントの位置、実線はセミリジットケーブルによる引き出し線を示している。各エレメントからの誘起電圧はセミリジットケーブルを伝搬して中心部に設けたコネクタから外部へ引き出される。アレイ全体はこれと同一のユニットを 12 個配列したものである。Fig. 5 はコイルエレメントにおいて 50 Ω 抵抗により終端し、出力コネクタからアレイ回路を見た入力インピーダンスの測定値から定在波比を算出したものである。この場合導通しているコイルは Fig. 4 におけるそれぞれ端部 A および中心部 B のコイルである。整合の基準を 2.5 とすれば 600 MHz まで使用可能と考えられる。

4. 測定装置の構成

Fig. 6 は測定装置の構成を示したものである。本測定システムはシールドドロープコイルによるコイルアレイ (432 エレメント)、ダイオードスイッチ回路 (1SV128)、セミリジット

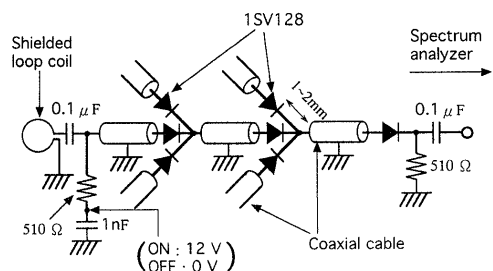


Fig. 3 Schematic charts of lead lines and switch circuits.

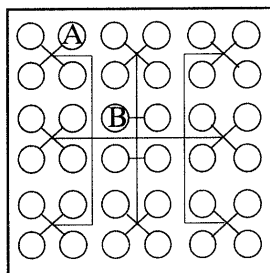


Fig. 4 36 coil element and lead lines.

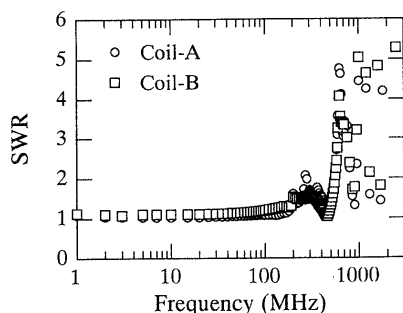


Fig. 5 Standing-wave ratio of the lead lines.

ケーブル、スペクトラムアナライザ (HP8561B), XY ステージ (NSKXY-B1020), スイッチ切り替え回路, パソコン (クロック周波数 120 MHz) から構成されている。スペクトラムアナライザ, スイッチ回路, XY ステージはパソコンから制御される。Fig. 7 はシールドドロープコイルにより構成した 432 個のコイルアレイを示したものである。コイル面の裏側には Fig. 4 の配線が実装され, アレイ基板は 3 層の誘電層 (ガラスエポキシ, $\epsilon_r=4.7$) と 4 層の導体層 (銅箔) から構成した。したがってコイル面に垂直な磁界成分を検出する。コイルの内径および間隔は 5 mm であり, コイルエレメントの選択はパソコンから 12 V の直流電圧を Fig. 3 に示す位置に加えて行った。各コイルエレメントの誘起電圧はスペクトラムアナライザで処理され, パソコンで画面に表示される。XY ステージの移動距離は 3 段階に変化させ, 最高で A4 版を 3888 点において測定可能とした。

5. 測定結果

Fig. 8 はコイルアレイの真下 5 mm の位置にループアンテナ (5 mm ϕ) を置いて, これを 40 MHz の正弦波により励振した場合の磁界分布を示したものである。雑音強度は dBm 単位で表示させている。雑音強度はループアンテナの位置で最大とな

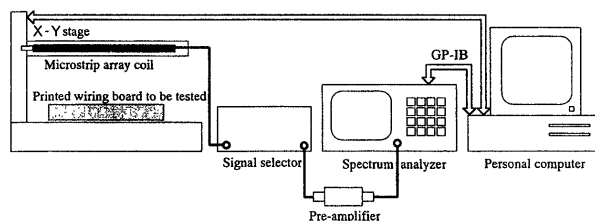


Fig. 6 Schematic view of the noise measurement system.

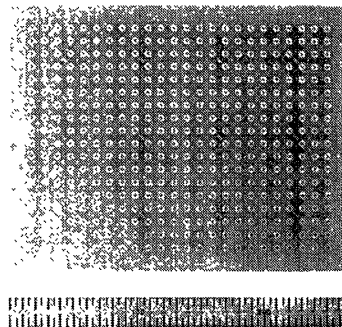


Fig. 7 Photograph of the shielded-loop coil array.

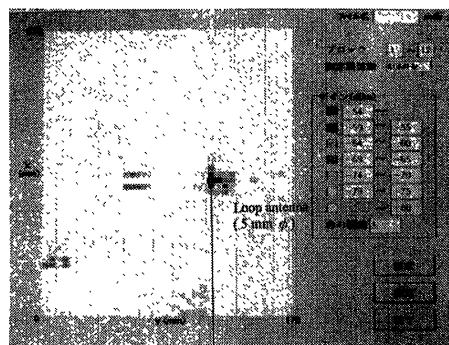


Fig. 8 Reference noise map using a 5-mm-loop antenna.

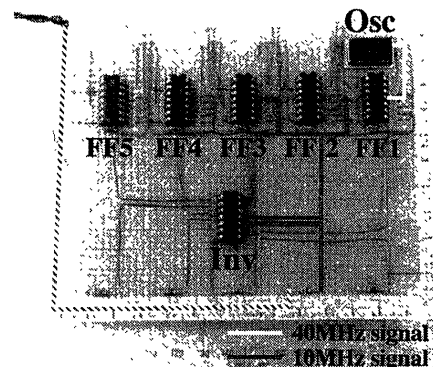


Fig. 9 Noise source circuits.

り周辺部では放射状に弱まっている。スペクトラムアナライザのバンド幅などの設定を共通とし, ループアンテナを取り除いた場合のバックグラウンドの雑音分布を測定したところ, ノイズレベルはほぼ -80 dBm であり, Fig. 8 のピークレベルよりも約 20 dB 小さかった。

Fig. 9 は水晶発振子とフリップフロップによって構成された雑音発生基板¹¹⁾を示したものである。雑音発生基板は 40 MHz の水晶振動子によってデジタル信号を発生させ, 5 段のフ

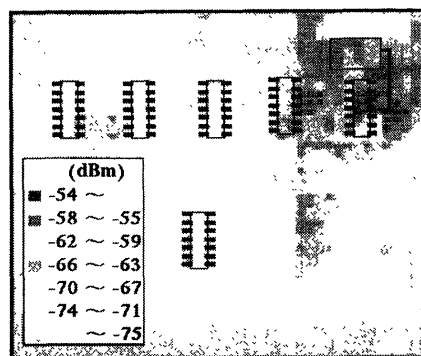


Fig. 10 Measured noise map.

リップフロップ IC においてそれぞれ 1/2 の周波数に分周される。Fig. 10 はこの基板の真上 5 mm の位置における 40 MHz の電磁雑音強度の分布を示したものである。雑音強度は水晶振動子とフリップフロップ IC および配線の上で強いことが分かる。本コイルアレイによる A4 版の測定時間は 176 (s) であり、近磁界プローブ (HP11941A) 単体を XY ステージにより可動させて行った場合と比較して約 1/10 に短縮された。

6. ま と め

1. 432 個のシールドループ型コイルを A4 版状にアレイ化し、主として磁界を計測する近傍電磁雑音計測システムを作製した。

2. 回路結線は各コイルエレメントから出力口までの距離をほぼ等しくすることで 600 MHz まで定在波比を 2.5 以下にした。

3. ステッピングモータによる可動装置を組み合わせることで高分解能な測定ができることを示した。

謝 辞 本研究の遂行に御協力頂きました協同組合ジョイントラボ仙台の関係各位の皆様へ感謝いたします。また貴重な御助言を頂きました東北大学通信工学科 澤谷邦男教授、東京工業大学 後藤尚久教授、東北学院大学 芳賀 昭教授、嶺岸茂樹助教授、仙台電波高等専門学校 笹森崇行講師に感謝いたします。

文 献

- 1) 佐々木英樹, 原田高志: 電気学会マグネティックス研究会資料, MAG-96-48 (1996).
- 2) O. Wada, M. Kosaka, H. Oka, R. Koga, and H. Sano: *IEICE Trans. Commun.*, **E75-B(3)**, 165 (1992).
- 3) 岡 尚人, 宮崎千春, 仁田周一: 信学技報, EMCJ94-88, 17 (1994).
- 4) 戸花照雄, 上 芳夫: 信学技報, EMCJ95-20, 154 (1995).
- 5) S. Ishigami, H. Iida, and T. Iwasaki: *IEEE Trans. Electromag. Compat.*, **38**, 424 (1996).
- 6) EMSCAN カタログ: Marubeni Hytech Corp.
- 7) T. Kawazu, M. Yamaguchi, and K. I. Arai: *IEEE Trans. Magn.*, **30**, 4641 (1994).
- 8) 山口正洋, 藪上 信, 荒井賢一: 日本応用磁気学会誌, **19**, 525 (1995).
- 9) M. Yamaguchi, S. Yabukami, and K. I. Arai: *IEEE Trans. Magn.*, **31**, 3173 (1995).
- 10) 藪上 信, 渡辺光春, 山口正洋, 荒井賢一: 日本応用磁気学会誌, **20**, 529 (1996).
- 11) M. Yamaguchi, S. Yabukami, M. Watanabe, A. Itagaki, and K. I. Arai: *IEEE Trans. Magn.*, **32**, 4920 (1996).
- 12) J. D. Dyson: *IEEE Trans. Antennas and Propagations*, **21**, 446 (1973).
- 13) M. Yamaguchi, S. Yabukami, and K. I. Arai: *IEEE Trans. Magn.*, **32**, 4941 (1996).
- 14) 藪上 信, 渡辺光春, 菊池弘昭, 山口正洋, 荒井賢一: 日本応用磁気学会誌, **20**, 589 (1996).

1996 年 10 月 15 日受理, 1997 年 1 月 16 日採録