

論文

複数クロック動作時における高調波ノイズ源識別モジュールの開発

佐野 宏靖*¹⁾ 佐々木 秀勝*¹⁾

Development of a harmonic noise source identification module in multiple clock operation

Hiroyasu Sano*¹⁾, Hidekatsu Sasaki*¹⁾

On a high-speed communication board, the harmonic noise of a clock signal poses a serious problem in radiated emission tests. One of the reasons for this is that clock signals generally have a high level of radiated noise in the steady state. Although near field measurement can be used as a means to explore the noise distribution of clock signals, as multiple clocks are implemented in electronic devices in recent years, the harmonic noise of each clock signal overlaps, making it impossible to identify which clock IC and circuit wiring is causing the radiated noise.

In this study, the clock IC and circuit wiring causing the radiated noise in a radiated emission test is identified by studying ways to inject signals to resolve these problems, creating prototype modules, and carrying out near field distribution measurements and far field measurements when these signals are injected into the product circuit boards and test circuit boards.

キーワード：放射ノイズ，近傍磁界，クロック高調波ノイズ

Keywords :Emission noise, Near field magnetic noise, Clock harmonic noise

1. はじめに

高速通信基板では、クロック信号の高調波ノイズ（信号周波数の通倍）が放射エミッション試験で大きな問題となる。一般的にクロック信号は定常的に放射ノイズレベルの大きい状態であることが理由の一つにある。クロック信号を発振するICのノイズ分布を探る手段として近傍磁界測定がある。しかし近年の電子機器では複数のクロックが実装されているため、それぞれのクロック高調波ノイズの周波数が重なってしまい、放射ノイズの原因となるクロックICおよび回路配線を特定できない問題がある。図1にその様子を示す。

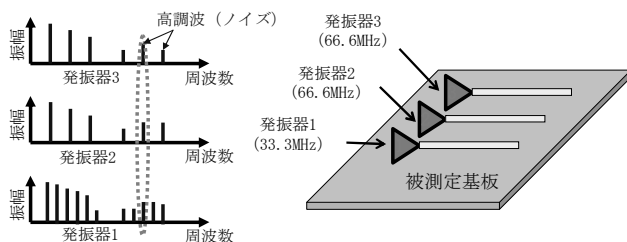


図1. 高調波の重なり

上記問題を解決する手法の一つに、外部から信号を注入する方法⁽¹⁾がある。だが、同軸ケーブルが近傍磁界測定に影響を及ぼしたり、発振装置から信号源を注入したりするため、装置全体の構成が大きくなるという問題があった。

事業名 平成26年度 基盤研究

*¹⁾ 多摩テクノプラザ 電子・機械グループ

本研究では、これら問題を解決する信号の注入方法について検討し、モジュールの試作を行い、評価基板や製品基板において信号を注入した時の近傍磁界測定や遠方界測定を行うことにより、放射エミッション試験で問題となるクロックICおよび回路配線の特定を行った。なお、本稿ではこの注入した信号のことを「検出信号」とする。

2. 識別手法

2.1 識別手法の概要 本研究で識別しようとしているノイズは、クロックに接続している回路配線から発生する高調波ノイズである。回路配線にスリットがあったり、GNDが脆弱なコネクタを経由していたりした場合、大きなコンモードノイズが発生する⁽²⁾⁽³⁾。回路配線がアンテナとなって放射ノイズに影響を及ぼすので、検出信号もクロックと同様に回路配線に注入し、検出信号の放射レベルの大小で判断するのが、本研究の基本的識別手法である。検出信号スペクトラムを図2に示す。また、今回の手法では、被測定基板のクロック信号に同期した検出信号を生成する。

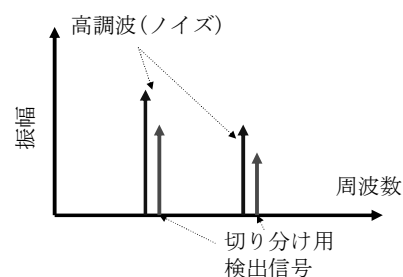


図2. 検出信号

この検出信号を生成する装置のことをモジュールとする。モジュールの使用イメージを図 3 示す。モジュールを用いることで、外部から信号注入用の装置が不要になり、かつ、回路動作を止めずに測定が可能になる。

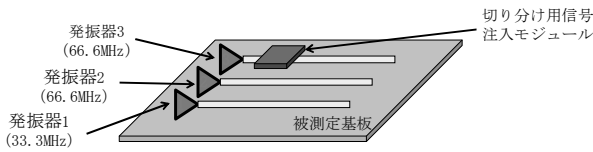


図3. モジュールの使用イメージ

2.2 識別信号生成方法と動作 検出信号を生成するモジュールの内部ブロックを図 4 に示す。システムのクロック発振器より 1% 周波数の高い発振器 (+1% クロック) を用意し、位相検出回路を用いてクロックと +1% クロックが一致した時に +1% クロックを出力、それ以外は通常のクロックを出力する。動作タイミングを図 5 に示す。検出信号はこの +1% クロックにあたる。この手法により、システム発振器に対し位相を大きくずらさず、回路動作に影響を与えない検出信号を注入する。なお、本試作では様々なクロックに対応できるようにプログラマブル PLL 発振器 (セイコーエプソン製 SG8003CG) を使用した。

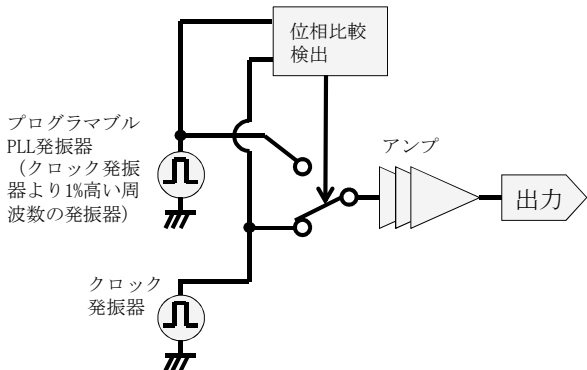


図4. モジュールの内部ブロック

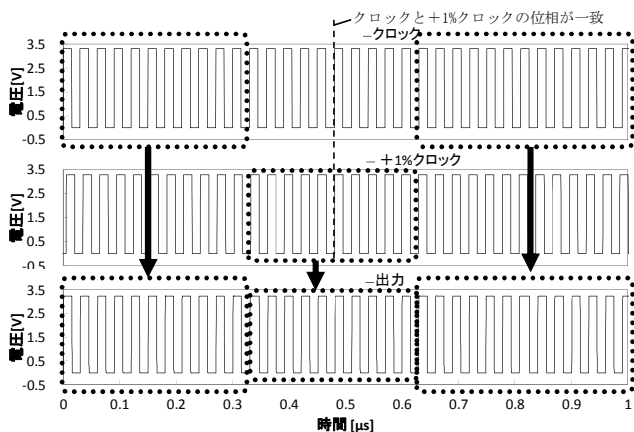


図5. 出力信号のタイミング

+1% クロックの割合を多くした方がスペクトラムアナライザのピークホールドで検出する頻度やレベルを多くできるが、多くしすぎるとクロックから位相がどんどんずれて

しまい、信号ジッタが大きくなり、回路動作に支障がでてしまう。図 5 より、 $0.5 \mu\text{s}$ で位相が一致するのを境に、時間が経つにつれて位相のずれが大きくなっていることが確認できる。この場合のクロックと +1% クロックは $3 \mu\text{s}$ 周期で位相が一致する。本研究では、位相のずれを $\pm 5\%$ 程度に収めるため、 33.333 MHz の場合 (周期 30 ns)、位相が一致した時から ± 5 パルス分 ($\pm 0.15 \mu\text{s}$) +1% クロック側にスイッチを ON させる。よって、モジュール出力信号は、+1% クロックをクロック全体の 1 割注入させることになる。

さらに注入割合を増やすため、+1% クロックの出力をインバータで 180 度位相をずらしたものを生成し、スイッチで切り替えて注入した。このことにより、+1% クロックの割合を通常クロック全体の 2 割に増やした。

モジュール接続ブロックを図 6 に示す。クロック配線のダンピング抵抗を外し、被測定基板のドライバ出力をモジュールの入力信号線に、被測定基板の回路配線をモジュール出力信号線に接続する。モジュールの電源は被測定基板のドライバの電源から供給し、GND は被測定基板のドライバ直近の GND と接続する。シミュレーション (Linear Technology 製 LTspice) で解析したレシーバ端のモジュール出力波形の FFT 解析結果を図 7 に示す。クロック (33.333 MHz) の高調波に加えて、+1% クロックの (33.666 MHz) の高調波 (検出信号) が出力されていることがわかる。

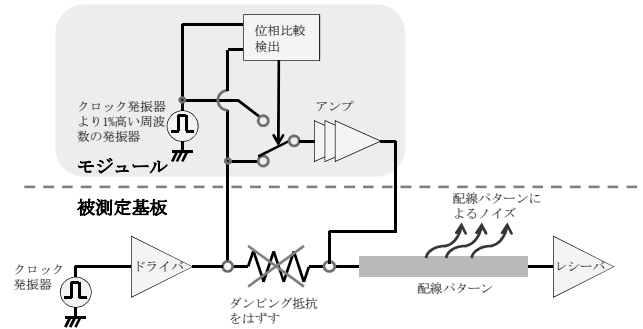


図6. モジュール接続ブロック

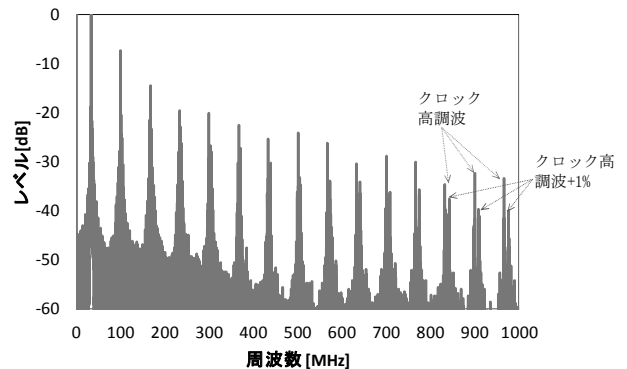


図7. レシーバ端波形の FFT 解析 (シミュレーション)

2.3 動作検証 試作したモジュールを図 8 に示す。4 層基板で作製している。発振器信号入力線、発振器信号出力線、電源線、グランド線の 4 つを被測定基板にはんだづけで接続する。

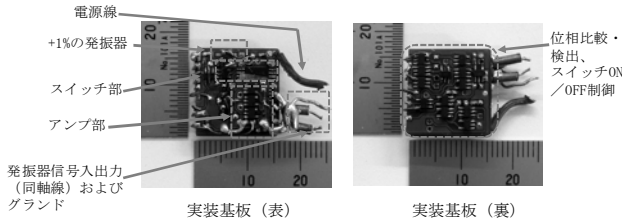


図8. 試作モジュール

オシロスコープで実測した時間波形のFFT解析結果を図9に示す。この結果より、図7のシミュレーション結果と同等の動作をしていることを確認した。

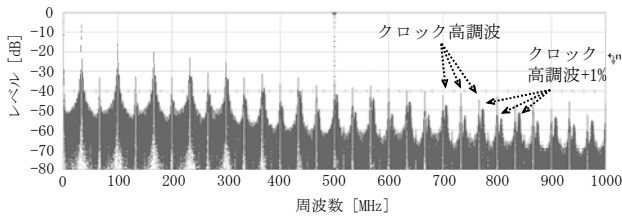


図9. オシロスコープで実測した時間波形のFFT解析結果

3. 実験基板

3.1 評価基板 評価基板は、信号発生基板とクロックを受ける終端基板の2種類で構成する。評価基板回路を図10に示す。ドライバ1つで配線A、配線Bに分岐する実験を行ったが、配線Aにモジュールを取り付けたとき、配線Bに本来流れる電流がモジュール側に電流が流れてしまい、意図せず配線Bから放射されるノイズレベルが下がってしまう問題があった⁽⁴⁾。この問題を避けるため本実験ではドライバを2つにする。

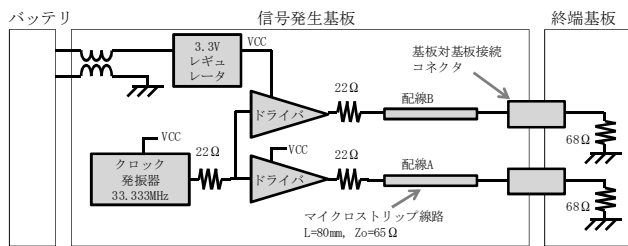


図10. 評価基板回路

信号発生基板は、33.333 MHzのクロック発振器（水晶発振器）を励振源とし、ダンピング抵抗 $22\ \Omega$ を介してドライバ IC (TC7SZ04FU) に入力し、ドライバ IC の出力ポートからダンピング抵抗 $22\ \Omega$ を経由して、マイクロストリップ線路 ($L=80\ \text{mm}$, $Z_0=65\ \Omega$) を介してコネクタに接続している。電源はバッテリーより6Vを供給し、信号発生基板上のリニアレギュレータで3.3Vに降圧し、クロック発振器およびドライバICを駆動している。終端基板は、 $68\ \Omega$ でクロック信号をシグナルグランドへ終端する。

3.2 製品基板 製品基板としては、CompactPCI I/F を搭載した産業用コンピュータを使用する。バックプレーンボードに供給する CompactPCI バスクロックから放射される

ノイズの影響を確認する。バスクロックの基本的な回路構成は図10の実験回路とほぼ同じであるが、クロックドライバは6つ使用している。通常の Windows OS を駆動し、Gigabit Ethernet や DDR などのさまざまなクロック信号が動作している状態で試験を行う。

4. 測定方法

4.1 近傍磁界測定 測定に使用した近傍界測定装置 (FDK 製 NES-300) は、単一周波数の近傍磁界測定を表示する機能を搭載している。検出信号の周波数のみを観測することで、測定に無関係の信号と周波数が重ならず、回路配線からのノイズを近傍磁界測定で観測することができる。測定条件としては、5 mm ステップで、基板および実装部品から磁界プローブ (MP-10L) までの距離が一定 ($0.1\ \text{mm}$) となるように測定した。

ノイズ源として問題となる周波数に対して、注入無し時の近傍磁界分布は全体に広がると考えられるが、配線Aによるものなのか、配線Bによるものなのかかわからない。そこで、配線Aもしくは配線Bのみにモジュールを接続し、問題となる周波数より+1%高い周波数のみを表示することで、どちらの配線によって近傍磁界ノイズが広がっているか確認する。

4.2 遠方界測定 放射ノイズ測定は5面電波暗室を用いて、被測定物から3m遠方にパイログアンテナを置いた。測定帯域は30 MHz~1000 MHzで、アンテナ高さは1m~2.5 mに0.5 m刻みで上下させながら被測定物をターンテーブル上で360°回転させ、水平偏波および垂直偏波の最大電界強度を観測する。なお、今回の製品基板の測定では、金属シールドラックではなく、ノイズを出しやすい開放型の筐体を使用した。

5. 結果と考察

5.1 近傍界測定 評価基板の近傍界測定結果を図11に示す。

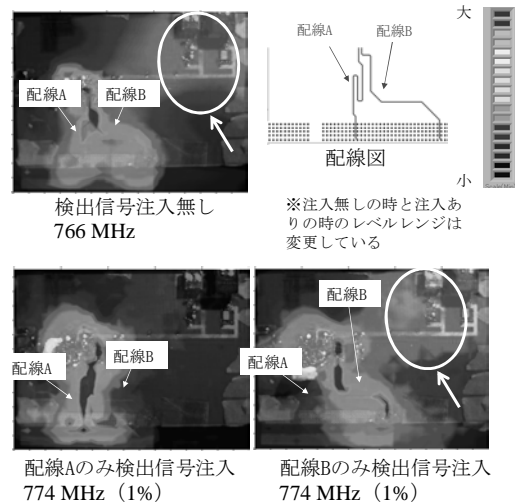


図11. 検出信号注入時における評価基板の近傍界測定結果の比較

配線 A および配線 B の +1% 高い周波数の近傍磁界分布をみると配線 B の方が全体にノイズが広がって見え, 配線 B によるノイズが支配的であると推測できる。配線 B のノイズが大きく見えるのは, 信号発生基板と終端基板を接続するコネクタの GND が弱く, ドライバ IC と終端抵抗までのリターン電流距離が長いためと考えられる。

図 11 の結果をみると, 検出信号注入無しの方が, 検出信号注入ありに比べて, 色の階調数が多いような印象を与えている。この理由として, 検出信号注入無しの方が, 近傍磁界測定レベルの S/N 比 (図 2 でいうと矢印の長さ) が高いことが考えられる。さらなる S/N 比向上を目指す場合, 検出信号の注入割合を増やすため, 位相を 45 度, 90 度ずらしてスイッチ回路で切り替えながら供給すればさらなる S/N 比向上が期待できるが, 位相比較やスイッチ回路が追加となり回路規模が大きくなってしまふ。

製品基板の近傍磁界測定を図 12 に示す。図 11 の結果と同様に配線 B のみに検出信号を注入している方が磁界レベルの広がりが大きく見え, 配線 A と比べて配線 B の方が放射ノイズが大きいことが推測される。

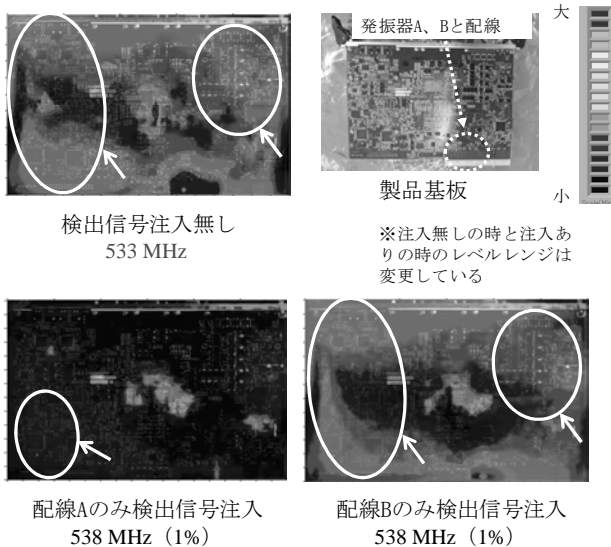


図12. 検出信号注入時における製品基板の近傍磁界測定結果の比較

5.2 遠方界測定 評価基板の遠方界測定結果を図 13 に示す。

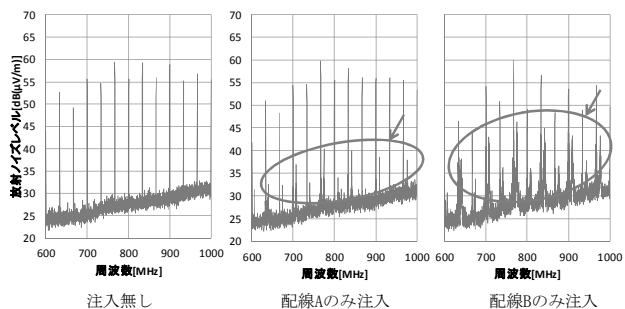


図13. 検出信号注入時における評価基板の遠方界測定結果の比較

766 MHz において, 配線 B に検出信号を注入した時の方

が, 配線 A に注入した時に比べて, 6 dB 程度放射ノイズレベルが大きい。近傍磁界測定結果と同様の結果であると確認できた。製品基板の遠方界測定結果を図 14 に示す。

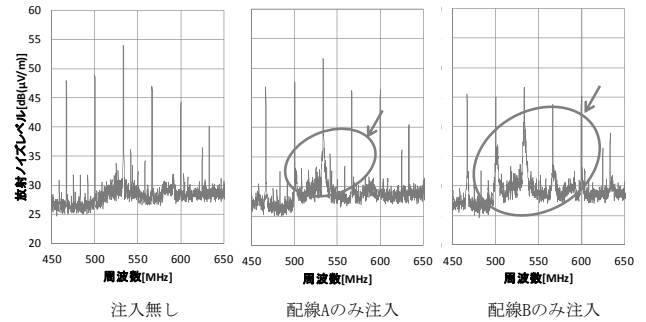


図14. 検出信号注入時における製品基板の遠方界測定結果の比較

図 12 の近傍磁界測定結果より配線 B の検出信号のレベルが大きいことを推測したが, 遠方界においても同様の結果 (533 MHz において 4 dB 大きい) であることがわかった。以上の結果から, コンピュータのような複数クロックが存在し, さまざまな信号が混在していても切り分けられることが確認できた。

6. まとめ

検出信号を注入する手法およびモジュールについて検討し, 評価基板および製品基板において近傍磁界および遠方界の測定結果から効果を確認した。この結果, 検出信号を注入し近傍磁界や遠方界を測定することで, 放射エミッション測定で問題となる回路配線が特定可能であることを確認した。この手法を用いることでアンテナとなっている配線を簡易的にチェック可能になることが期待できる。ただし, 今回試作したモジュールでは, はんだ付けの箇所が 4 つあり, 微細であるため取り付けが難しいこと, また, 対応動作周波数は 66 MHz (Compact PCI バスクロック) までであることなどの課題がある。容易なプロービングと高速化への対応が必要である。

(平成 28 年 7 月 6 日受付, 平成 28 年 7 月 25 日再受付)

文 献

- (1) 株式会社リコー, プリント基板のノイズ注入装置, 特開 2006-234803, 2006-9-7
- (2) 貞利章文, 酒井陽平, 渡辺哲史, 豊田啓孝, 五百旗頭 健吾, 古賀隆, 和田修己: 「コモンモードアンテナモデルによるコネクタ接続されたプリント回路基板からの放射電磁波予測」, 信学技報 EMCJ2007-9, pp.49-54 (2007)
- (3) 佐野宏靖, 山下俊紀, 時川昌大: 「基板対基板接続コネクタのグランド構造によるケーブル放射ノイズの影響」第 28 回エレクトロニクス実装学会春季講演大会論文集, pp.47-49 (2014)
- (4) 佐野宏靖, 佐々木秀勝: 「複数クロック動作時における高調波ノイズ源識別手法の検討」第 30 回エレクトロニクス実装学会春季講演大会論文集, pp.358-360 (2016)