

# ネットワークアナライザによる電源基板パターンの寄生成分測定に関する一検討

◎山口 正通, 日下 佳祐, 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)

## 1. はじめに

近年, 電力変換回路の高周波化が進められている。高周波化に伴いプリント基板(PCB)パターンのもつ寄生成分の影響が顕著になるため, 設計段階において寄生成分を測定評価し, 回路の設計パラメータに反映することが重要である。

そこで本論文では, PCB パターンの電磁界解析および測定から S パラメータを導出し, 基板パターンの持つ寄生成分を算出する。また, 寄生成分を考慮したシミュレーションと実機での動作波形とを比較することで, 解析結果の妥当性について検討する。

## 2. 電磁界解析と測定による寄生インダクタンスの算出

図 1 に解析対象となる MHz 帯で動作可能な共振形インバータの回路図を示す。図 2 に GaN-FET(PGA26E07BA : 600V, 26A, Panasonic)を用いた図 1 の回路の PCB パターンを示す。本パターンにおいて, DC リンクの両端にあたる箇所を測定ポート(Port 1, Port 2)として, ADS(Advanced Design System : Keysight)によるモーメント法を用いた 2 ポート S パラメータ解析を 0~100 MHz の範囲で行う。解析した S パラメータは Y パラメータに変換する。Y パラメータは受動素子を用いた等価回路に換算できるため, 寄生成分を表現できる。

図 3 に寄生成分の等価回路を示す。Y パラメータのうちの  $Y_{12}$  及び  $Y_{21}$  から寄生インダクタンス  $L_{12}$  への換算式は (1)式となる。

$$L_{12} = \text{Im} \left[ \frac{1}{-Y_{12}} \right] = \text{Im} \left[ \frac{1}{-Y_{21}} \right] \dots\dots\dots (1)$$

## 3. 解析結果を適用した過渡解析と実機波形との比較

電磁界解析の妥当性を確認するため, スwitchング時の動作波形について, 寄生容量を考慮したシミュレーションと実験結果との比較を行った。なお動作周波数は 5.8MHz に設定し, 解析では GaN-FET は同型番の Spice モデルを使用する。

図 4 に FET1 の  $v_{ds}$  波形を示す。PCB の寄生成分を考慮することで, 実験機で測定したドレイン・ソース電圧と類似した波形が得られることが確認できる。サージ電圧の振幅は約 40V で一致している。このことから, 電磁界解析結果により算出した寄生パラメータは妥当であるといえる。ただし, リンギング周期には誤差が生じており, 要因としてコンデンサの ESR が未考慮である点が挙げられる。

## 4. ネットワークアナライザによる測定値結果との比較

解析の妥当性を検証するために, 高電圧での試験を毎回実施するのは煩雑である。そこで, 実験をしなくても解析の妥当性を検証するため, 実機基板の S パラメータをネットワークアナライザ(E5061B : Keysight)を用いて, 5~100 MHz の範囲で直接測定した。電磁界解析と同様に測定した S パラメータを Y パラメータに変換し, 寄生成分への換算を行う。

図 5 に, S パラメータから換算した寄生インダクタンス  $L_{12}$  の周波数特性を示す。動作周波数 5.8MHz における解析結果は 61.3nH であるのに対し測定結果は 68.6nH である。動作周波数における誤差は 10%程度であるが, 周波数によって測定値が大きくなる傾向があり, S パラメータの測定精度に課題があることがわかった。

ネットワークアナライザで直接測定した S パラメータより算出した寄生成分が, 周波数によって値のばらつきが

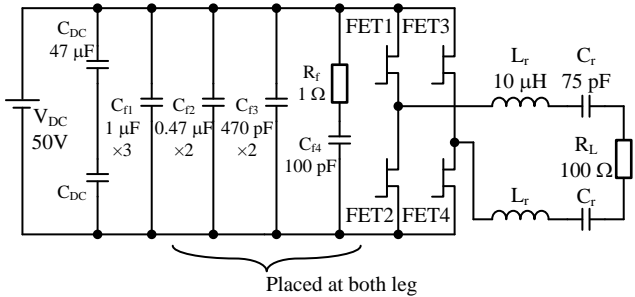


Fig. 1. High-frequency resonant inverter.

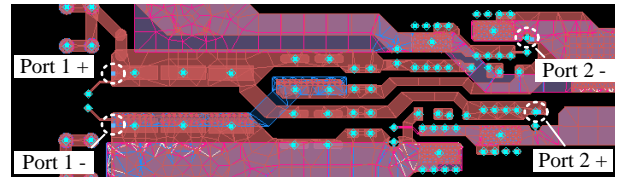


Fig. 2. PCB layout for high frequency inverter.

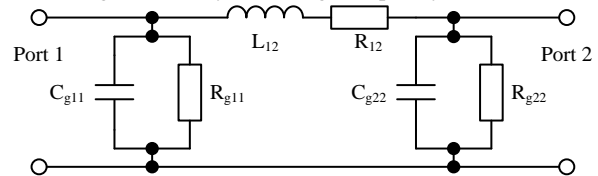


Fig. 3. Parasitic-parameter model.

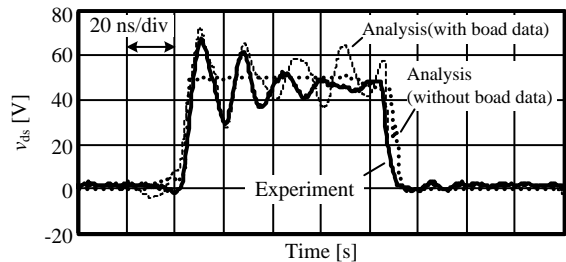


Fig. 4. Analyzed and measured  $v_{ds}$  waveform.

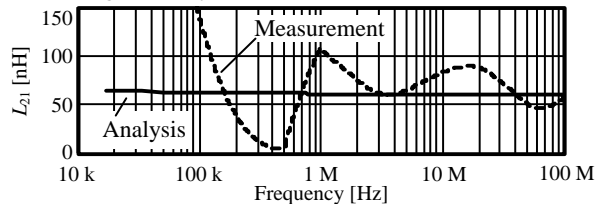


Fig. 5. Analyzed and measured components of  $L_{21}$ .

大きい要因として, 測定系の影響が挙げられる。ネットワークアナライザでの測定系は 50Ω 系で設計されていることに対し電源基板の特性インピーダンスは非 50Ω 系であり, 測定器と基板パターンとの間で反射が発生するため測定精度が低下する。また, 測定対象のインピーダンスが極めて低い場合, 100kHz 以下の低周波域では測定に使用するプローブの外皮抵抗による誤差も大きくなる<sup>(1)</sup>。今後, 非 50Ω 系の基板における S パラメータの測定精度の改善について検討する。

本研究の一部は, 内閣府総合科学技術・イノベーション会議の戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 「IoT 社会のエネルギーシステム」(管理法人: JST) によって実施されました。

### 参考文献

- (1) KEYSIGHT TECHNOLOGIES : キーサイト E5061B LF-RF ネットワーク・アナライザを用いた周波数特性解析 Application Note, (2014).