

短絡治具を用いたシャントスルー法による PCB パターン上の寄生インピーダンス測定法

学生員 山口 正通* 正員 日下 佳祐* 上級会員 伊東 淳一*a)

Impedance Measurement on PCB Using Shunt-Through Method with Short Jig

Masamichi Yamaguchi*, Student Member, Keisuke Kusaka*, Member, Jun-ichi Itoh*, Senior Member

(20XX年●月●日受付, 20XX年●月●日再受付)

This letter proposes a measurement method for the parasitic components on a PCB for a high-frequency inverter circuit to estimate the DC-bus parameters on the PCB accurately. The proposed method enables accurate measurement with a short jig that applies the shunt-through method for the DC-bus parameter evaluations. The validity of the proposed method is further demonstrated by comparisons with the results of electromagnetic analysis.

キーワード：シャントスルー法, 寄生成分, 高周波インバータ, DCバス, ネットワークアナライザ

Keywords : Shunt-through method, parasitic components, high frequency inverter, DC-bus, vector network analyzer.

1. はじめに

近年, SiC や GaN を用いたパワーデバイスの実用化により kW 級の電力変換回路に MHz 帯のスイッチング周波数を適用することが可能となりつつある. kW 級, MHz 帯の電力変換回路においてはプリント基板 (PCB) の寄生成分がサージ電圧に与える影響が顕著となるため, 解析や測定によって寄生成分を正確に把握し, 対策を行う必要がある.

PCB 上の寄生成分測定としては, ネットワークアナライザ (VNA) でのシャントスルー法によるパワーループの寄生インピーダンス測定例が報告されている⁽¹⁾. しかし, パワーループを形成している各パターンのうち一端を測定箇所とし, それ以外を短絡した状態でループ全体のインピーダンスを測定しているため, パワーループ中の特定の区間に存在する微小な寄生インピーダンスの場所と大きさの特定には至っていない.

本論文では, シャントスルー法でのインピーダンス測定に治具を適用し, 治具のインピーダンスを考慮することで寄生インピーダンスの場所と大きさを特定可能な測定手法を提案する. 本提案手法の新規性は, 治具で短絡するランドまたは測定するランドを変更することで任意のランド間のインピーダンス測定を可能とする点である. 治具の適用位

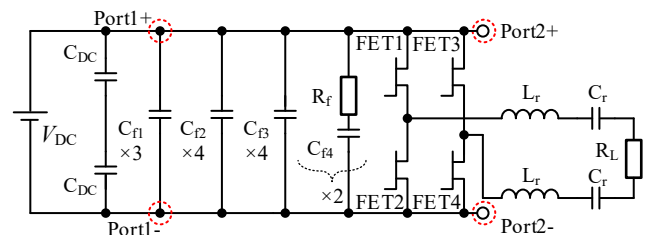


Fig. 1. Load resonant inverter circuit.

置を変更した測定を行い結果の差分をとることで, 近接するランド間のような短い区間の微小なインピーダンスも算出可能となる. 電磁界解析結果と測定結果との比較より, PCB 上の DC バスパターンにおけるインピーダンスを正確に測定可能であることを確認したので報告する.

2. 測定手法

〈2・1〉 測定対象 図 1 に, 測定対象とする負荷共振インバータの回路図を示す. インバータにおいて寄生成分の正確な評価が求められる箇所は, サージ電圧の原因となる DC バスの寄生成分であるため, 本稿では DC バスの両端にあたる Port1 と Port2 間のインピーダンスを測定対象とする.

〈2・2〉 シャントスルー法 シャントスルー法は, 2 ポート VNA によるインピーダンス測定手法の一つであり, 数 mΩ~数 Ω 程度の微小インピーダンスの測定に適した手法である. チップ部品のように, 端子間隔が数 mm~数 cm 程度の区間のインピーダンス測定の場合, 測定に使用するプローブや校正用治具の寄生インピーダンスの影響は小さい. しかし, 数 cm 以上の配線等を直接シャントスルー法で測定する場合, プローブや校正用治具の影響が大きくなるため, 正確な測定が困難となる.

a) Correspondence to: Jun-ichi Itoh. E-mail:

itoh@vos.nagaokaut.ac.jp

* 長岡技術科学大学

〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1

Nagaoka University of Technology

1603-1, Kamitomioka, Nagaoka, Niigata 940-2188, Japan

〈2・3〉 提案手法 電力変換回路の PCB パターン上には、エネルギーバッファとしてのキャパシタやサージ吸収用のスナバ回路等が配置され、特に高周波駆動を行う回路では表面実装部品が適用される。そこで、パターン上に設けられた表面実装部品用のランドに着目し、ランド間の配線インピーダンスを回路部品が未実装の状態で測定する。

図 2(a)に、測定時のプローブと PCB 上の配線、測定に使用する治具の接続図、(b)に実際の接続を示す。治具は、測定対象の一端のランドを短絡するよう接続され、本稿では Port1 にあたる C_n のランドを $\phi 1.3\text{mm}$ の銅線による治具で短絡する。治具の端子間隔は表面実装部品である C_n と同間隔となる。そのため、治具を RL 直列の等価回路とした際の寄生インダクタンス成分 L_{jig} 、寄生抵抗成分 R_{jig} は、シャントスルー法により測定可能である。

DC バスの配線インピーダンスは、バスの一端と他端の間 (Port1-Port2) を直接プロービングするのではなく一端のみ (Port2+-Port2-) をプロービングして測定を行う。そのため、測定端の間隔は数 cm 以下となりシャントスルー法による測定が可能となる。一方、DC バスの配線インピーダンス測定結果は治具の寄生成分 L_{jig} , R_{jig} を含んだ結果となるため、 L_{jig} , R_{jig} の値を事前に測定し、DC バス測定結果から換算した抵抗値、インダクタンス値からそれぞれ差し引くことで DC バスのインダクタンス L_{PCB} 、抵抗 R_{PCB} を算出する。

〈2・4〉 電磁界解析 測定結果の妥当性を評価するため、電磁界解析により DC バスパターンの持つインピーダンスを算出する。電磁界解析には、ADS (Advanced Design System : Keysight) を使用し、モーメント法 (Momentum Microwave) を用いた S パラメータ解析を行う。解析した S パラメータは、集中定数の π 型等価回路に一意に換算できる Y パラメータに変換し、集中定数回路の定数として寄生成分を表現する。図 3 に、寄生成分の π 型等価回路を示す。Y パラメータから PCB パターンのインダクタンス L_{PCB} 、抵抗 R_{PCB} への換算には、(1), (2)式を用いる。

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

$$R_{\text{PCB}} = \text{Re} \left[\frac{1}{-Y_{12}} \right] \dots\dots\dots(2)$$

〈2・5〉 測定結果 測定には VNA として E5061B (Keysight) を使用した。図 4 に DC バスのインダクタンス L_{PCB} の解析結果と治具補正前後の測定結果を示す。100kHz~10MHz の領域において解析結果と測定結果の傾向が良好に一致している。中間にあたる 1MHz での誤差率は治具補正前 (Measurement) が 2.9%、補正後 (Measurement (Modified)) が 1.0% であり、治具の補正による寄生インダクタンスの測定精度向上が確認できる。図 5 に抵抗 R_{PCB} の解析結果と治具補正前後の測定結果を示す。 R_{PCB} は 1MHz 以下の領域で傾向が一致するものの、治具の寄生抵抗は誤差に対して支配的でない。補正後の 1MHz での誤差は 12m Ω であり、誤差率 30% となる。 L_{PCB} , R_{PCB} ともに、100kHz~10MHz 以外の周波

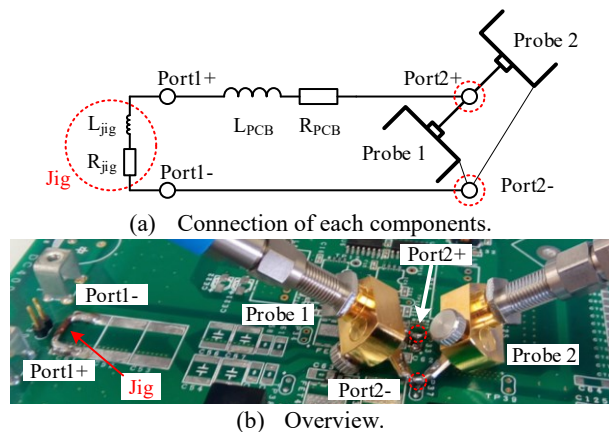


Fig. 2. Measurement of DC-bus line on PCB.

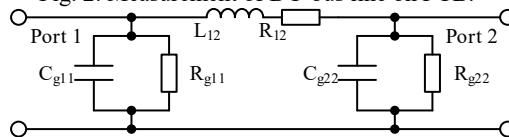


Fig. 3. Parasitic-parameter model.

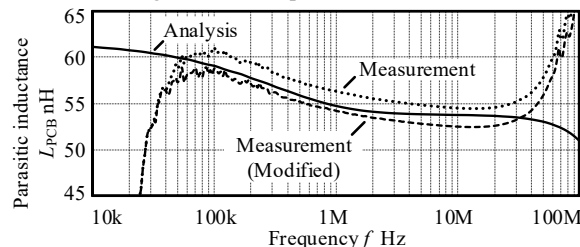


Fig. 4. Parasitic inductance on DC-bus.

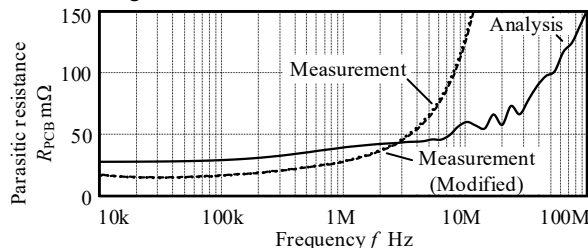


Fig. 5. Parasitic resistance on DC-bus.

数領域では誤差が増大し、解析結果と測定結果が乖離する。100kHz~10MHz 以外の周波数領域での誤差増大は、VNA のインピーダンス測定精度やプロービング方法に起因する。VNA によるシャントスルー法での測定では、2つのプローブの GND 線によってループが形成される。100kHz 以下の領域ではループに流れる電流の影響が大きく表れるため、精度が低下する。また、10MHz 以上の領域では、2つのプローブ間の磁気結合による影響が大きくなり、誤差が増大する。今後、本提案手法でのさらなる測定精度の向上について検討を行う。

なお、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) 「IoE 社会のエネルギーシステム」(管理人: JST) によって実施されました。

文 献

- (1) 齊藤裕也・井淵貴章・舟木剛・川合一馬・津田剛宏: 「同期整流型 DC-DC 降圧コンバータの配線インピーダンス評価に基づく寄生インダクタンスの等価回路モデル化に関する一検討」, SPC-19-125 (2019)