

論文

伝導性エミッションの対策部品選定手順の開発

大橋 弘幸*¹⁾

Implementing a program for selecting EMI suppression components against conducted noise

Hiroyuki Ohashi*¹⁾

This study proposes how to effectively select EMC-suppression components against conducted noise.

The following three items were performed by the authors to focus on conductive noise derived from the primary side of a switching power supply. The first is to study techniques for measuring power line noise. The second is to create computer models of a suppression components selection program. The third is to verify the noise reduction effects of selected parts on conducted noise.

Comparing measured values with simulated values, we found frequency band widths that have good relations with each type of EMC-suppression component. The next step is to obtain a measurement method and a simulation method for higher frequencies.

キーワード：EMC，ノイズ対策，スイッチング電源，伝導性エミッション

Keywords：EMC, Noise reduction technology, Switching power supplies, Conducted emissions

1. はじめに

EMC試験の中で、EMI測定の一つとして製品の電源端子から漏れる伝導性エミッションの測定を行い、規制値未満であることを確認する必要がある。図1に伝導性エミッションの測定方法を示す。この測定方法は基準金属面上にEUT（供試装置）を配置し、LISN（疑似電源回路網）と呼ばれる一種のローパスフィルタを介してEUTにAC電源を供給する。EUTから発生した伝導性エミッションはLISNでフィルタリングされ、スペクトラムアナライザなどの測定器に導かれる⁽¹⁾。

伝導性エミッションの大きさが規定値を超えた場合にノイズ対策部品等を追加してノイズを減らす工夫が必要になるが、その際に対策を難しくさせる幾つかの問題がある。一例として、電気製品の伝導性エミッションの主な発生源となっているスイッチング電源は大抵の場合、電源メーカーから購入したものを使用している。そのため詳細のわからないブラックボックスであり、効果な対策方法の判断を難しくさせている。また、ノイズ対策部品の周波数特性は定量的なデータとして提供されていないため、対策後にどれほどノイズが低減しているのか、部品の効果を見積もることができない。さらに伝導性エミッションにはディフェレンシャルモード（以下、DM）ノイズとコモンモード（以下、CM）ノイズの二種類が存在し、ノイズ対策部品はそれぞれのノイズモードにのみ対応しているが、現行の妨害波

測定の国際規格であるCISPR規格に基づいた測定ではノイズモードを区別して測定することはできないため、測定結果は部品の選定にあまり活用できない。

上述したような問題のためにEMCの対策手順は未だ確立されていない。また回路設計段階でのEMC対策技術は多くの報告があるが、試作段階あるいは製品化後に施す後追いつ対策手法に関する技術報告は少なく、電波暗室でのEMC試験現場での後追いつ対策の繰り返し回数低減や効率化が課題となっている。

本研究はノイズ対策部品の選定方法を提案するものである。数多くの部品の中から効果的なノイズ対策部品を効率良く選定するための手順について検討し、ノイズ対策部品による伝導性エミッション抑制効果を定量的に見積もるためのシステム開発を目指した。

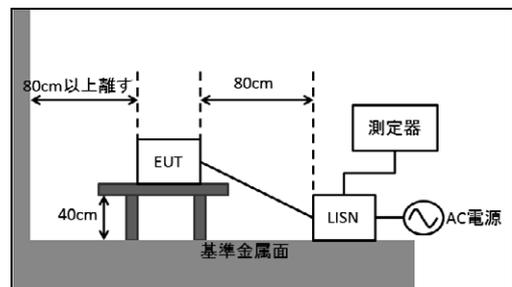


図1. 伝導性エミッションの測定方法

2. 実験方法

2.1 ノイズ源の解析方法の検討 図2に△型 LISN

事業名 平成23年度 基盤研究

*¹⁾ 電子・機械グループ

(KNW-403D：協立電子製)を示す。ノイズ対策部品による伝導性エミッション抑制効果を定量的に見積もるためにはDMノイズとCMノイズの各ノイズモードの内部インピーダンス Z_0 を求める必要がある。 Δ 型LISNを用いることで2つのノイズモードの伝導性エミッションの分離測定を行うことができる⁽¹⁾。図3に同装置の回路図を示す。 Δ 型LISNは内部に2種類の回路（Sym回路：DMノイズ検出用，Asym回路：CMノイズ検出用）があり，測定するノイズモードに合わせて回路を切り替えて使用する。

図4(a)，(b)に内部インピーダンスを持ったノイズ源の測定系を示す。伝導性エミッションの測定結果からの内部インピーダンスを求めるために異なる2つの測定系でEUTを測定する必要がある。図4(a)はノイズ源を測定する際の通常の構成である。図4(b)では測定系に既知のインピーダンス Z_i を挿入することにより測定器の入力インピーダンス Z_m に発生する電圧が $V_a > V_b$ となる。このときノイズ源の内部インピーダンス Z_0 を

$$Z_0 = \frac{Z_i V_b - Z_m (V_a - V_b)}{V_a - V_b} \dots (1)$$

として求めることができる。



図2. Δ 型LISNの外観

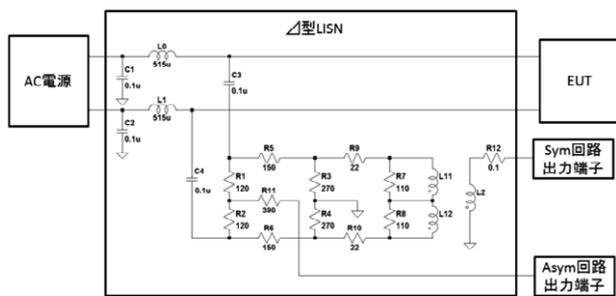
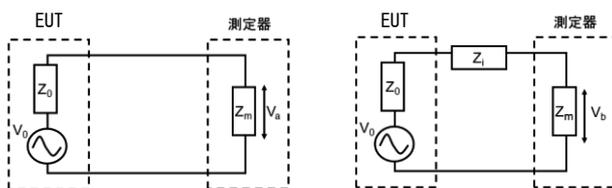


図3. Δ 型LISNの回路



(a)通常の構成 (b) Z_i を持つ構成

図4. 測定回路

2. 2 計算モデルの検討 伝導性エミッションのノイズ対策として代表的なCMチョークコイル，DMチョークコイル，Xコンデンサ及びYコンデンサの4種の対策手法について計算モデルの検討を行った。回路モデルを図5(a)，(b)，(c)，(d)に示す。ノイズ源の内部インピーダンスを Z_0 ，未対策回路の測定器に発生するノイズ電圧を V_m とする。

インピーダンス Z_L なるDMチョークコイルでノイズ対策を行う場合，2線のインピーダンスのバランスを保つためにノイズ源に対して直列に2つの部品を挿入する（図5(a)）。測定器に発生するノイズ電圧 V_{LD} は

$$V_{LD} = V_m \frac{Z_0 + Z_m}{Z_0 + Z_m + 2Z_L} \dots (2)$$

として求める。またインピーダンス Z_L なるCMチョークコイルのノイズ対策は電源ラインに高インピーダンスを付与することで電源ライン-大地間のノイズを抑制するため図5(b)のような回路となり，測定器に発生するノイズ電圧 V_{LC} は

$$V_{LC} = V_m \frac{Z_0 + Z_m}{Z_0 + Z_m + Z_L} \dots (3)$$

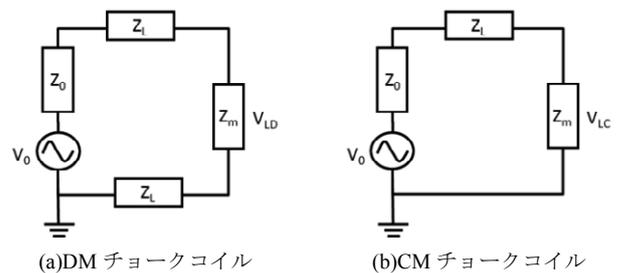
として求める。次にインピーダンス Z_C なるコンデンサを用いてXコンデンサとしてノイズ対策を行う場合，ノイズ源に対して並列に1つの部品を挿入するため（図5(c)），測定器に発生するノイズ電圧 V_{CX} は

$$V_{CX} = V_m \frac{Z_0 Z_C + Z_m Z_C}{Z_0 Z_m + Z_0 Z_C + Z_m Z_C} \dots (4)$$

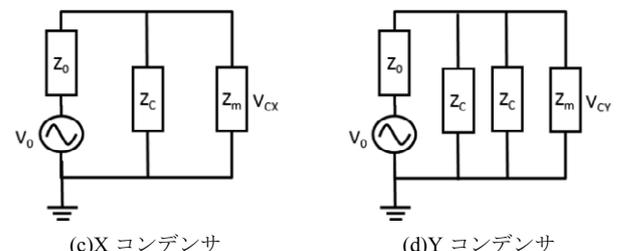
として求める。またYコンデンサとしてノイズ対策を行う場合，ノイズ源に対して並列に2つの部品を挿入するため（図5(d)），測定器に発生するノイズ電圧 V_{CY} は

$$V_{CY} = V_m \frac{Z_0 Z_C + Z_m Z_C}{2Z_0 Z_m + 2Z_0 Z_C + Z_m Z_C} \dots (5)$$

として求める。



(a)DMチョークコイル (b)CMチョークコイル



(c)Xコンデンサ (d)Yコンデンサ

図5. 代表的なノイズ対策回路

2.3 計算プログラムの作製 Excel VBA を用いて伝導性エミッションの測定結果からノイズ源の内部インピーダンスを算出し、対策部品取り付け後のノイズレベルの値を計算するためのプログラムを作製した。

図6に作製したプログラムの操作画面を示す。エクセルシート上に抵抗器挿入前後の伝導エミッションの測定データを入力。計算の際に入力した周波数ステップで測定結果のデータ補間が行われ、ノイズ源の内部インピーダンスの計算が行われる。次に予めインピーダンスアナライザ(4294A: Agilent Technologies 製)で取得した対策部品の周波数特性データファイルを選択する。計算を実行すると対策部品取り付け後のノイズレベルを算出する。また計算結果のノイズレベルがノイズフロア以下だった場合、ノイズフロアの値が計算結果として出力される。



図6. 作製したプログラムの入力画面

2.4 計算値と実測値の比較 EUTとしてスイッチング電源(BJBPSA1-12: イータ電子工業製)の伝導性エミッション(0.15MHz~30MHz)を Δ 型 LISN を介してスペクトラムアナライザ(ESU8: Rohde & Schwarz 製)を用いて測定した。次に同測定系の Δ 型 LISN とスペアナの間に抵抗器(100 Ω , 図7参照)を挿入し、同様の条件で測定した。抵抗器挿入前後の伝導性エミッションの測定結果をプログラムに入力し、ノイズ対策部品取り付け後のノイズレベルを計算した。

次に実際にEUTに対策部品を取り付けて伝導性エミッションの測定を行い、実測結果とプログラムによる計算結果を比較した。



図7. 測定系に挿入した抵抗器

3. 結果及び考察

図8にEUTの各ノイズモードの伝導性エミッションの測定結果を示す。0.15MHz~0.3MHzまではCMノイズのほうが10dB程度大きく、1MHz~3MHzの範囲ではDMノイズが2dB程度大きい。ノイズモードの分離測定により帯域ごとに

支配的なノイズモードの判別が可能となるため、 Δ 型 LISN の導入は対策部品を選定する際に有用であるといえる。

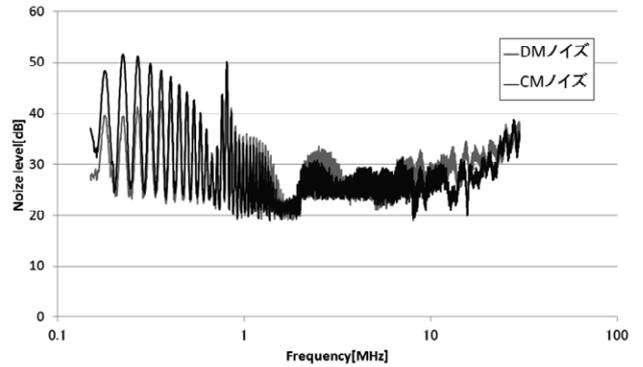


図8. DMノイズ及びCMノイズの測定結果

図9に各ノイズ源の内部インピーダンスの計算結果を示す。内部インピーダンスはDMノイズが数十[Ω]~数百[Ω], CMノイズが数百[Ω]~数千[Ω]となっており、測定したEUTはCMノイズのほうが内部インピーダンスは大きい事がわかった。これは仮に同一のチョークコイルで各ノイズに対策した場合にCMノイズのほうが対策効果は小さいことを示す。チョークコイルはノイズ源に対して高インピーダンスを持つことによりAC電源側にノイズ電圧が加わるのを防ぐ役割があるが、ノイズ源が持つ内部インピーダンスに大して十分大きいインピーダンスでなければならない。またノイズ源の内部インピーダンスが比較的高い場合にはコンデンサによる対策が有効である。コンデンサによる対策はノイズ源に対してAC電源側のインピーダンスを小さくすることで、内部インピーダンスに加わるノイズ電圧を大きくし、AC電源側に加わるノイズ電圧を小さくする役割があるためである。

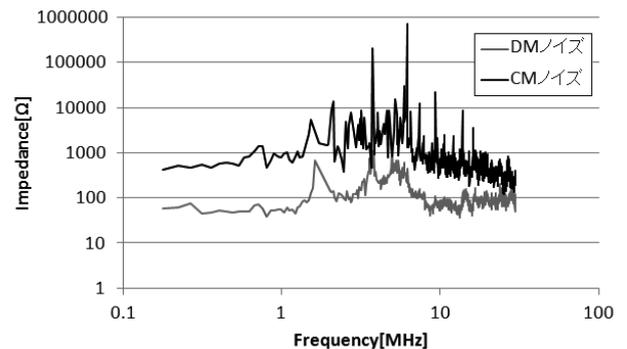
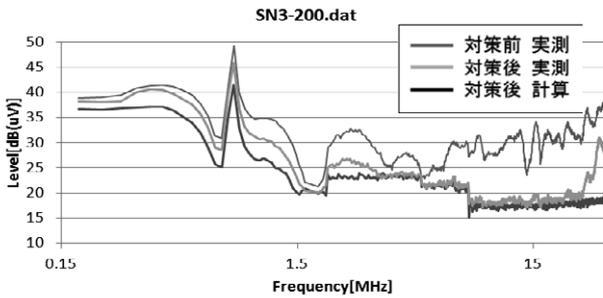


図9. 各ノイズ源の内部インピーダンスの計算結果

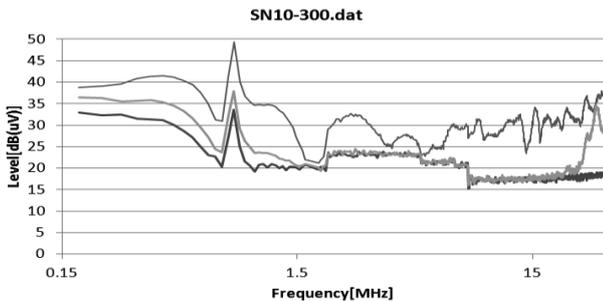
図10(a), (b), (c)にDMチョークコイルによるノイズ対策後の実測結果と計算値結果の比較を示す。対策部品A(SN3-200), 対策部品B(SN10-300), 対策部品C(SN8D-500)ではそれぞれ0.15MHz~1MHzまでのノイズ抑制効果が異なるが、計算結果と実測結果で相関がとれていた。また1MHz~10MHzの範囲実測結果が測定系のノイズフロア以下になっているが、プログラムの計算結果も同様の結果を示しており、対策部品のノイズ抑制効果を計算によって見積

もることができた。

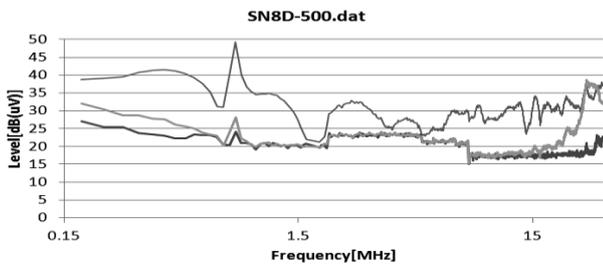
図 11, 図 12, 図 13 及び図 14 に各対策手法で部品を変えた場合の実測結果と計算値結果の差分をまとめたものを示す。DM チョークコイルでは 0.15MHz~15MHz の範囲で測定結果と実測結果は相関を示した。CM チョークコイルでは 2MHz~30MHz の範囲で相関を示した X コンデンサでは 1.5MHz~30MHz の範囲で相関を示した。Y コンデンサは 0.15MHz~30MHz の範囲で相関を示した。



(a) 対策部品 A



(b) 対策部品 B



(c) 対策部品 C

図 10. DM チョークコイルによるノイズ対策を行ったときの伝導性エミッションの実測結果と計算結果

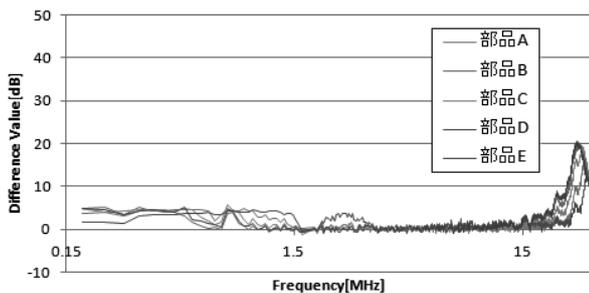


図 11. 実測結果と計算結果の差分 (DM チョークコイル)

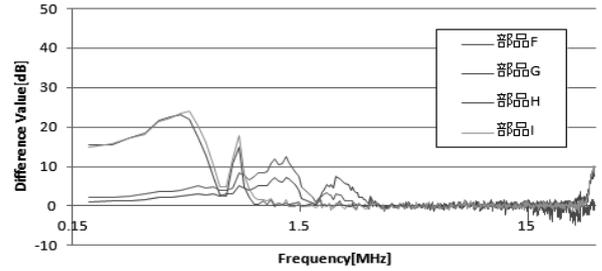


図 12. 実測結果と計算結果の差分 (CM チョークコイル)

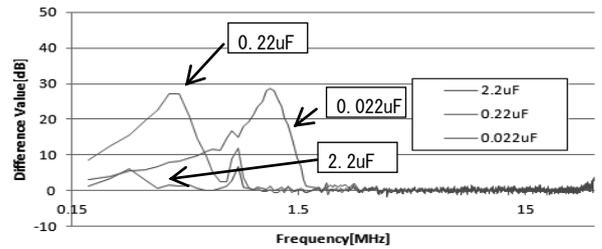


図 13. 実測結果と計算結果の差分 (X コンデンサ)

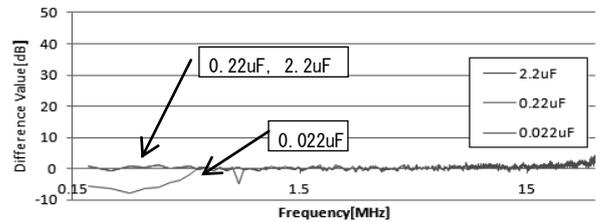


図 14. 実測結果と計算結果の差分 (Y コンデンサ)

4. まとめ

ノイズ対策部品による伝導性エミッション抑制効果を定量的に見積もるために、ノイズモードの分離測定を行い、ノイズ源の内部インピーダンス導出のための解析手法を考案した。また対策回路の計算モデルについて検討し、伝導性エミッションの測定データとノイズ対策部品の特性データから対策後のノイズレベルを計算するプログラムを作製した。プログラムによる計算結果と対策部品を実際に取り付けた実測結果を比較したところ、ノイズ対策部品ごとに特定の周波数帯で良好な相関が得られた。

計算結果と実測結果で相関の取れない帯域は伝導性エミッションの測定データには位相の情報が含まれておらず、ノイズ源の内部インピーダンスを算出する際にリアクタンス成分を考慮することができないためである。解決のためにはノイズ源のリアクタンス成分のデータを得るための測定及び解析手法の検討、あるいは算出した内部インピーダンス特性を等価回路化する手法の検討が必要である。また精度向上のためには測定系を分布定数回路として扱った回路モデルの検討が必要である。

(平成 24 年 5 月 18 日受付, 平成 24 年 8 月 1 日再受付)

文 献

- (1) TDK 株式会社: “TDK EMC TECHNOOGY EMC 設計ガイドブック”, pp.110-111(2010)