

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月10日現在

機関番号：32638

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560281

研究課題名（和文） 抵抗性素子によるプリント基板の放射ノイズ低減に関する研究

研究課題名（英文） Reduction of Radiated Emission from Printed Circuit Board using Resistive Elements

研究代表者

高橋 文博（TAKAHASHI TAKEHIRO）

拓殖大学・工学部・教授

研究者番号：10206815

研究成果の概要（和文）：

電磁ノイズの原因の1つであるプリント基板の電源グラウンド平面共振を抑制するために、平面間に抵抗付キャパシタを接続し、共振を抑制するために適切な抵抗値と消費電力の観点から検討を行った。ノイズ低減効果は、数種類の大きさのプリント基板について、電磁界シミュレーションと実験により評価した。計算および実験結果より、ノイズ低減に適切な抵抗値があることがわかった。次に、抵抗の追加による消費電力への影響を調べた。消費電力は基板の損失、部品の損失、放射損失からなる。これらの損失を電磁界シミュレーションで評価した。計算結果より、共振周波数では抵抗の増加とともに消費電力が増加するが、適切な抵抗値では基板と部品の損失を低減する。一方共振周波数以外でも、抵抗が電力を消費してしまう点が問題であるが、その値は小さいことがわかった。

研究成果の概要（英文）：

The capacitor with resistor, which is inserted between power and ground planes to dump the plane resonance, is studied from the viewpoint of adequate resistor value for noise reduction and for power consumption. The effect of noise reduction is evaluated by a numerical calculation and some experiments with some variety size of printed circuit board (PCB). From the calculation and experimental results, the appropriate resistance for noise reduction is obtained. Next, the effect of the power consumption by attached resistor is investigated. The power consumption consists of PCB loss, component loss and radiation loss. These losses are also evaluated by the numerical calculation. From the results, at the resonance the total loss increases as resistor increases, while the adequate resistor decreases power consumption of both PCB and component. At the off resonant frequencies the resistor keeps consuming power, but it is small.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電力工学・電力変換・電気機器

キーワード：電気・電磁環境、電磁ノイズ、回路実装

### 1. 研究開始当初の背景

電子機器からの不要電磁放射は、法規制や自主規制などによって、規定の限度値まで低減することが要求されている。不要放射には多くの要因が存在するが、プリント基板からの放射は主要な要因の1つである。特に、多層プリント基板の電源-グラウンド平面の共振によってコモンモード放射が生じることが知られているが、放射レベルが高くなりやすく、問題となりやすい。

電源-グラウンド平面からの放射を低減する方法としては、主に電源-グラウンド間にデカップリングキャパシタを配置し、電圧変動を抑制することが行われる。しかし、平面基板にキャパシタを接続すると、特定の周波数範囲では低減効果が得られるものの、共振が別の周波数に移ったり、新たな共振が生じたりするなどの問題が起こる。

共振を直接小さくするには、抵抗成分を使うことによって、共振のQを下げる方法が有効な場合がある。抵抗のインピーダンスによって下限のインピーダンスが高くなってしまいが、共振のピークのような急激なインピーダンス上昇を抑えることができる。抵抗を積極的に使った低減方法は古くからおこなわれているが、最近でもいくつかの低減方法が提案されている。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、多層プリント基板の電源-グラウンド間に、デカップリングキャパシタと抵抗を直列に接続したもの（抵抗付キャパシタ）を使って、電源-グラウンドの平面共振を抑制する手法について、様々な検討を行い、本手法の有効性や、効果的な利用方法を明らかにすることである。

本研究では、抵抗付キャパシタの適切な配置や適切な値をシミュレーションや実験により明らかにする。また、抵抗を接続することによって消費電力の増加が懸念されるため、抵抗値と消費電力との関係を検討する。

### 3. 研究の方法

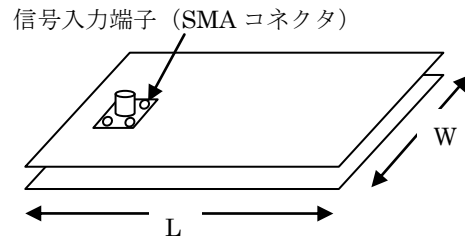
多層プリント基板の電源-グラウンド間に、デカップリングキャパシタと抵抗を直列に接続し（抵抗付キャパシタ）、プリント基板共振の抑制効果や放射抑制効果、さらには消費電力の変化を調べる。

実験および電磁界シミュレーションを使って調べるため、モデルとなる基板（図1）を用意した。基板の大きさは①L=125mm、W=100mm、②L=250mm、W=200mmである。プリント配線板は4層構成で、信号-電源-グラウンド-信号となっており、電源-グラウンド層はプレーン状になっている。基

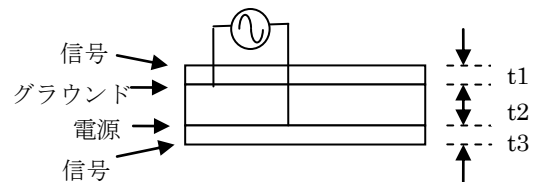
板の厚み ( $T=t_1+t_2+t_3$ ) は、1.3mm ( $t_2=0.6$  mm)、3.3mm ( $t_2=2.6$  mm)、4.3mm ( $t_2=3.6$ mm)の3種類を用意した。

電源-グラウンドに励振用のSMAコネクタを接続しており、この2つのプレーン間に50Ωの信号発生器より励振信号を印加している。信号層にはほとんど配線はなく、ほぼ電源-グラウンドプレーンの励振だけが行われていると考えられる。

シミュレーションは、電磁界シミュレータ(MWStudio)に基板モデルを入力し、端子電圧や放射電力、消費電力などを計算した。実験では、共振抑制効果を部品の端子電圧で測定した。また、放射低減効果は、ワークベンチファラデーケージ(WBFC)を使い、コモンモード電圧として測定した。(図2)



(a) 実験基板の概観



(b) 層構成

図1 実験基板

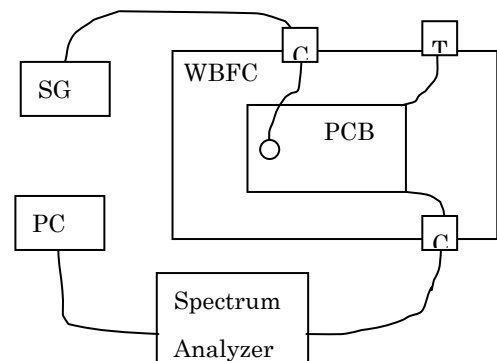


図2 WBFCによる放射抑制効果測定における測定装置と接続の様子

#### 4. 研究成果

##### (1) 共振抑制効果

図3は、②L=250mm、W=200mmの基板を用い、最初の共振である60MHzのときの基板の角の電圧を示したものである。

図より、キャパシタだけを接続するのではなく、キャパシタに直列に接続した抵抗の値を0.1~1Ω程度にすることにより、基板の共振が抑えられていることがわかる。基板の厚みが厚いと基板端開放のときの電圧は高いが、抵抗付きキャパシタを接続することにより、薄い基板と同程度まで共振電圧を低下させることができる。

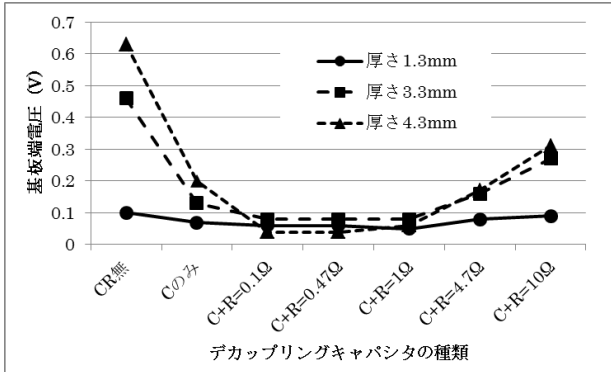


図3 抵抗値による共振電圧の変化

##### (2) 放射抑制効果

②L=250mm、W=200mm、厚さ1.3mmの基板を用い、キャパシタの有無、および直列抵抗の値を変え、基板の4隅に接続した場合について、WBFCでコモンモード電圧を測定した結果を図4に示す。

図より、抵抗がR=0.1、0.47、1Ωの場合と、CR無しあるいはCのみ（点線）とを比較すると、80~300MHzにおいてコモンモード電圧が3~10dB程度低減していることがわかる。最も効果のある周波数は抵抗値によって違っている。

全体的には、図3の結果を支持しており、適切な抵抗を接続することにより、共振が抑制され、ノイズ低減に効果がある。

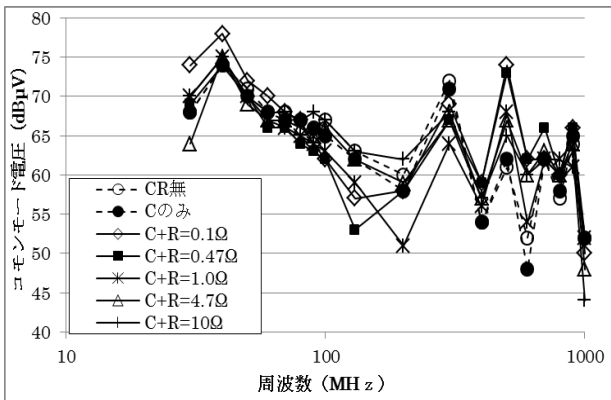


図4 抵抗値による共振抑制効果

##### (3) 損失の評価

平行平板モデルに信号を印加したとき、入力された電力  $P_{in}$  に対して、回路基板（導体と絶縁体）の損失による電力消費  $P_b$ 、基板間に挿入した部品の抵抗による電力消費  $P_c$ 、そして放射損失  $P_r$  が考えられる。これらは次の関係で表される。

$$P_{in} = P_b + P_c + P_r \quad (6)$$

ここでは、シミュレーションにより  $P_{in}$ 、 $P_c$ 、 $P_r$  を計算し、比較検討を行った。

②L=250mm、W=200mmの基板を用い、抵抗値を0~1MΩと変えたときの、入力電力  $P_{in}$  を計算した。結果を図5に示す。0Ωと1MΩにそれぞれ強い共振が生じ、大きな電力が入力されていることがわかる。抵抗が10Ω以上においても、1MΩの共振と同じ周波数において入力電力が増加している。

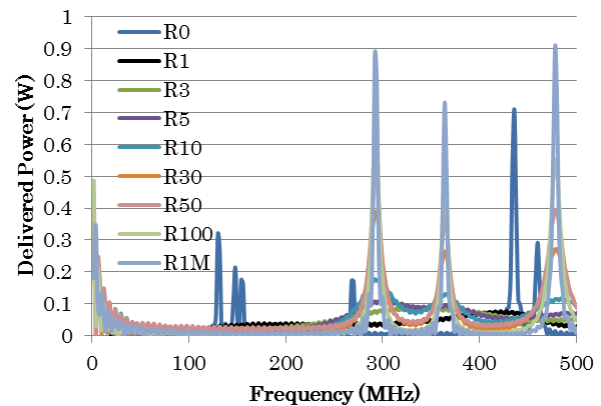


図5 抵抗による入力電力の変化

低周波の50MHz、0Ωの共振周波数(131MHz)、1MΩの共振周波数(293、364MHz)と反共振周波数の間(320MHz)について入力電力をプロットしたものを図6に示す。1~5Ωの抵抗では周波数に関わらず0.1W以下の入力電力で、抵抗が大きかったり小さかったりする場合は、共振時に0.3~0.9Wの電力が入力される。

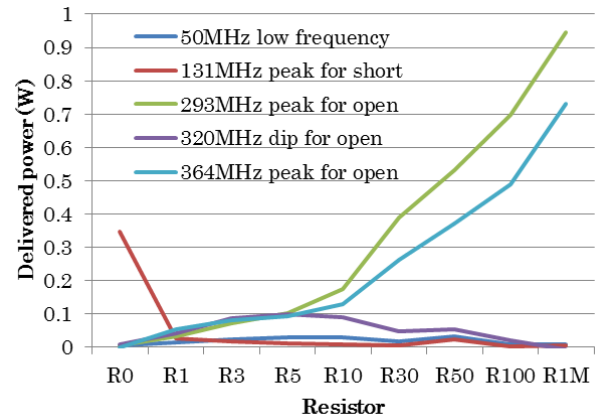
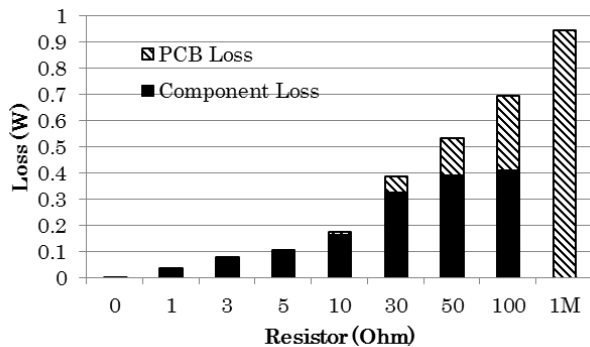


図6 共振周波数などにおける入力電力の変化

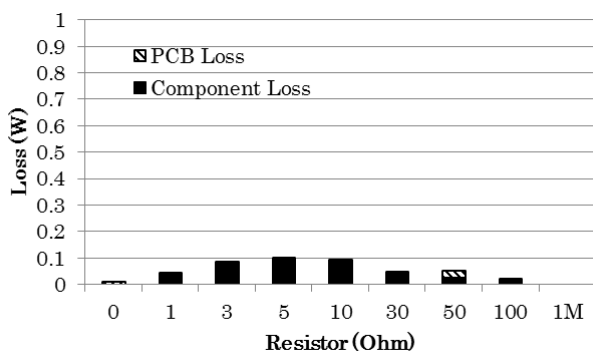
消費電力の内訳として回路基板損失  $P_b$  と抵抗による損失  $P_c$  の内訳を図 7 に示す。放射電力  $P_r$  は、共振時において 10 mW 程度で、全体の 1%程度であるため無視している。

図 7(a)に、共振周波数の 293 MHz における消費電力の内訳を示す。抵抗を増やすと消費電力が増加するが、その多くは抵抗の損失で、基板の損失はほとんどないことがわかる。30  $\Omega$  で共振が強くなるが、同時に基板の損失が増え、全体で 0.4 W のうち 20 %ほどが基板の損失となっている。この後、基板の損失が増え始め、1 M $\Omega$  では抵抗による損失はないが、基板の損失が大幅に増え、0.9 W を超えている。適当な抵抗を接続したときより損失が大きくなっていることがわかる。

図 7(b)は、反共振周波数である 320 MHz における、消費電力の内訳を表す。抵抗を接続することで、0.1 W 程度の損失が純粋に増えてしまっていることがわかる。0~5  $\Omega$  では、抵抗で共振時と同じ損失が生じているが、それ以上では損失が小さくなっている。



(a) 293 MHz 共振における消費電力の内訳



(b) 320 MHz 反共振における消費電力の内訳  
図 7 消費電力の内訳

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 5 件)

① 齋藤純、谷由紀夫、高橋丈博、澁谷昇、プリント配線板プレーン間に挿入した抵抗付きキャパシタの消費電力への影響、第 27 回エレクトロニクス実装学会春季講演大会、

2013. 3. 14、東北大学

② 高橋丈博、齋藤純、谷由紀夫、澁谷昇、プリント基板の平板間共振を抑制する抵抗値の検討、第 22 回マイクロエレクトロニクスシンポジウム、2012. 9. 12、大阪府立大学

③ 齋藤純、谷由紀夫、高橋丈博、澁谷昇、抵抗付きデカップリングキャパシタによるノイズ低減法、第 26 回エレクトロニクス実装学会春季講演大会、2012、中央大学

④ 酒井辰也、作左部剛視、高橋丈博、澁谷昇、プリント配線板における不完全グラウンドによる電流経路への影響、第 25 回エレクトロニクス実装学会春季講演大会、2011.3.10、横浜国立大学

⑤ 高橋丈博、齋藤純、作左部剛視、澁谷昇、抵抗付きキャパシタによる平面基板の共通モード抑制効果の測定、第 25 回エレクトロニクス実装学会春季講演大会、2011.3.10、横浜国立大学

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

高橋 丈博 (TAKAHASHI TAKEHIRO)

拓殖大学・工学部・教授

研究者番号：10206815

### (2) 研究分担者

澁谷 昇 (SCHIBUYA NOBORU)

拓殖大学・工学部・教授

研究者番号：50114822

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：