インピーダンスアナライザを使用しての温度を考慮に入れた 不要輻射対策

伊藤 健一*, 白石 信二**

Temperature Considering EMI Prevention Method Using Impedance Analyzer

Kenichi ITO* and Shinji SHIRAISHI**

*イトケン研究所 (〒221-0844 神奈川県横浜市神奈川区沢渡45-1 ルピナス横浜西口212)

**株式会社岡研 (〒224-0006 神奈川県横浜市都筑区荏田東2-25-1)

*Itoken Research Laboratory (Rupinasu Yokohamanishiguti 212, Sawatari 45-1, Kanagawa-ku, Yokohama-shi, Kanagawa 221-0844)

**ZUKEN Inc. (2-25-1 Edahigashi, Tsuzuki-ku, Yokohama-shi, Kanagawa 224-0006)

1. はじめに

電子機器が出す不要輻射は、周囲温度が変化すると、その影響を受けて、大きさが変化してしまう。

そのため測定値も変わってしまうのだが、それにもかかわらず、不要輻射に関連する規格には、温度に関連する項目がない。

その結果、温度についての関心がほとんど払われることなく、わずかに経験的に、機器の電源を投入してから、機器の温度が上昇するにつれ、不要輻射が減少することを利用して、『電源を投入したまま、数時間たってから、不要輻射を測定して、規格に合格させる手法』が、多く採用されている。

このような問題に関連して筆者の一人の伊藤は文献1)で、2004年に、図1のように、温度上昇に伴い半導体の動作速度が遅くなるのが、その原因であると、発表した^{1),2)}。

さらに、不要輻射対策として、ただ1個のパソコンを使用していたのでは、周波数が高くなると、プリント板のパターンが持っているインダクタンス L が効いてきて、温度に関係なく対策がむずかしくなるので、複数個のパソコンをパラにした、いわゆる『パソコン群』にしなければ……とも発表した³⁾(図2)。

しかし、パソコンとして損失の少ないhighQコンデンサを使用していたのでは、十分な対策とはならないので、文献³⁾で、コンデンサに直列に抵抗を挿入した、図3、4のような『テイコン』を使用するようにと提案したのだが、その効果を実証したデータが、図5と図6なのだ。

ところが、最近に到り、自動車関連では、全世界、熱帯寒帯を問わず、あらゆる所で使用されるため、『広い温度範囲にわたっての不要輻射対策』が、問題となってきた。

これに関連して、筆者らは、文献3), 4)で、『テイコン』を、複数個並列にした『テイコン群』が、温度対策として、図6のように、有効であることを述べたのであった。

しかし、その『テイコン群』の特性……その中でも、特に重要な、その周波数特性を知るには、

(1): 特性に大きな影響を与える、プリント板のパターンのもっているインダクタンス L の大きさの査定が、むずかしい

(2): パソコンの容量の温度による変化の影響が大きいという2つの問題が、大きな壁として立ち塞がっていた。

そのため、『不要輻射の温度による変化』に、大きな影響を与える『テイコン群』の温度特性を、理論的に説明することは、ほとんど不可能であった。

この問題を、解決するためには、『インピーダンスアナ

(a)ドライバでの波形

(b)レシーバでの波形

図1. 温度による波形の違い

…温度が上昇すると、半導体の動作速度が遅くなり、高い周波数成分が発生する…

図2. まるで忍者屋敷みたい！

図3. エネルギーを吸収するのは抵抗のみ！

(a) 0.01 μF のみ (b) 0.01 μF 、1,000pF、120pF:3個パラ(抵抗なし) (c) 0.01 μF 、1,000pF、120pFの3個のパスコンのすべてに、20 Ω の抵抗を直列に挿入

図4. 3個の『テイコン』により不要輻射が、改善されることを示すデータ

ライザを使用したのテイコン群の周波数特性の測定』が、有効であることを確かめることができたので、報告することとした次第。

2. インピーダンスアナライザを使用したのデータ… …(1)

図7に、プリント板に実装された0.1 μF のコンデンサに、電圧を加えず、非動作の状態インピーダンスアナライザ

で、測定して得られた周波数特性のデータが、載せられている。

コンデンサ単体のインピーダンスがゼロとなる周波数、すなわち、パスコンの容量Cと、プリント板のパターンが、もっているインダクタンスLとの直列共振周波数 f_0 が、温度により変化していることを、表している。

これによると、5.4MHzの f_0 が、プリント板を温めると、6.3MHzとなり、その変化は $6.3/5.4=1.17$ で、17%にも及ん

でいる。

その原因としては、パスコンの容量が温度によって変化する、すなわち、温度特性がある……ということなのだが、これに関連して、回路設計上、次の2つの問題があることがわかる。

図5. これが『ティコン』だ！

①：たとえ温度が一定であっても、コンデンサには、 $\pm 5\%$ とか $\pm 10\%$ とかいう容量の偏差があるので、それがずばり、共振周波数 f_0 に、影響してしまう

②：それに加えて、温度によってコンデンサの容量が変化すると、それが直ちに、周波数特性に影響してしまう

ということで、不要輻射の周波数特性と、直接関連する直列共振周波数 f_0 の変動を、極力小さくする必要があるわけで、それには、パスコンの

(1)：容量の温度に対しての変化

(2)：容量のバラツキ

について、細心の注意を払わねばならぬ……ことになるわけだ。

3. インピーダンスアナライザを使用してのデータ… …(2)

前節が、インピーダンスアナライザを使用した場合の、第1のメリットで、パスコンをプリント板に実装した場合の共振状態を、目視できるというメリット。

それに対し、第2のメリットが、本節で、パスコンをプ

(a) 25°Cでのデータ

(b) 65°Cでのデータ

図6. 温度が高いと不要輻射が減る!! ……ティコンによる不要輻射の改善……

図7. プリント板に実装された『ティコン群』の周波数特性

プリント板に実装した場合、『パスコンに、必然的に、直列に入ってしまうインダクタンス L の値を、求めることができる』ということだ。数値例として図7を利用して、直列共振周波数を5.4MHzと6.3MHzの中間の、6.0MHzとして計算してみよう。

$$f = 1 / 2\pi\sqrt{LC} = 1 / 2\pi\sqrt{L \times 0.1\mu\text{F}} = 6 \times 10^6$$

よって、 $f_2 = 1 / 4\pi^2 \times 0.1 \times 10^{-6} L = 62 \times 10^{12}$
 これより、 $L = 1 / 4\pi^2 \times 0.1 \times 10^{-6} \times 62 \times 10^{12} = 10.5 / 4\pi^2 \times 62$
 $= 10 / 4\pi^2 \times 62 \mu\text{H} = 7.04 \mu\text{H} \approx 7 \mu\text{H}$

検算：

$$f = 1 / 2\pi\sqrt{LC} = 1 / 2\pi\sqrt{7 \times 10^{-6} \times 0.1 \times 10^{-6}} = 1 / 2\pi\sqrt{0.7}$$

ということで、今まで諦めていた、パスコン単体ではなく、『プリント板に実装された状態での、パスコンのもっているインダクタンス』を、インピーダンスアナライザを使用することにより、知ることができるようになったというわけ。

4. 不要輻射の周波数に合わせての『テイコン群』の設計

従来、複数個のパスコンすなわち『パスコン群』あるいは

プリント板に実装された『テイコン群』の周波数特性
 …「パスコン群」では温度の影響を受けるが、テイコンを使用すると、それがほとんどなくなる…

(a) 実測値…直列抵抗 1 Ω

反共振点におけるインピーダンス

52.5MHz	A 曲線 47.5Ω B 曲線 14.9Ω	変化幅 10.0dB
192MHz	A 曲線 216Ω B 曲線 20.6Ω	変化幅 20.4dB

「抵抗」と「パスコン」とを直列にした複合部品を「テイコン」という。

(b) 数式を用いての計算値^③
 図8. テイコンの周波数特性

は『テイコン群』²⁾を使用して、プリント板のパターンを設計する場合、コンデンサ、あるいは、テイコンに、直列に入る、プリント板のパターンのもっているインダクタンス L の値が、判らないまま、 $0.1\mu\text{F}$ 、 $0.01\mu\text{F}$ 、 $1,000\text{pF}$ などといった、いろいろな容量のコンデンサを使用してきた。

ということは、それらのコンデンサ自体の直列共振周波数 $f_1f_2f_3$ は、それこそよくわからないまま、回路の設計をし、プリント板を製作してきた。

しかし、インピーダンスアナライザを使用すれば、直列共振周波数を、眼で見て確認することができ、それらの周

波数から、パスコンに直列に入るインダクタンス L の値も、計算によって、求めることができるようになったというわけ……前節のように。

その一例が前ページの図8なのだが、 $C_1C_2C_3$ の容量を適宜変更して、 $f_1f_2f_3$ の周波数、あるいは、それらの高調波の周波数を、不要輻射の周波数に合わせれば、不要輻射対策を、容易に行うことができるというわけ。

たとえば、不要輻射が $400\sim 500\text{MHz}$ などといった高い場合には、図(a)中の f_2f_3 を、より高い周波数に設計変更すべきことを、示唆してくれている。

図9. 実験に使用した『テイコン群』の周波数特性 (インピーダンスアナライザを使用してのデータ)

(a) $1000\text{pF}+0.1\mu\text{F}$ (低温)
(抵抗なし)

(b) $1000\text{pF}+0.1\mu\text{F}$ (高温)
(抵抗なし)

ピークの位置がずれ、規格値オーバー

(c) $1000\text{pF}+0.1\mu\text{F}+1\Omega$ (低温)
(抵抗を追加)

(d) $1000\text{pF}+0.1\mu\text{F}+1\Omega$ (高温)
図(c)とほとんど変わらず

図10. 図9の周波数特性に対応する不要輻射の周波数特性

…図9の 1Ω の抵抗を挿入しない場合とした場合のインピーダンスの変化を比較して見ること…

5. プリント板を非動作のままでの、『テイコン群』の設計

不要輻射の規格に合格させるため、機器を長時間動作させ、温まるのを待って……などという悠長なことを、やっているわけにはいかない。

そこでプリント板単体を非動作の状態で、温めたり冷ましたりして、インピーダンスアナライザで、『テイコン』の直列共振周波数が変動する様子を、調べる。

そして、『テイコン』 $C_1C_2C_3$ の容量とか、プリント板のパターンのもっているインダクタンス L を、変更して不要輻射の温度特性を改善する。

その一例が、前ページの2枚の図面（図9, 10）で、図面を併せて見ると、アナライザで得られる、パソコン群の周波数特性と、それに、対応する不要輻射の実測値とを対比して見ることができることを、示したデータである。

こんなことができるのも、インピーダンスアナライザのメリットなのだ。

6. テイコンの直列抵抗の最適値の選定

前々節のデータは、直列抵抗が、 1Ω とか 4Ω の場合のものだが、これをインピーダンスアナライザを活用することにより、たとえば、次のようにして最適な『テイコン群』にしてみる努力も必要だ。

- ①：すべて 2Ω とか、 5Ω とかにする
- ②：テイコンごとに、抵抗値を変えて、最適の抵抗値を選ぶ

7. まとめ

以上、説明してきたように、インピーダンスアナライザを使用することにより、

- (1)：プリント板単体での……それも、電圧を加えない非動作状態で、不要輻射対策で一番重要な、『テイコン群』の周波数特性を、目で見て確認できる
- (2)：温度が変化した場合の『テイコン群』の特性の変化も、目で見て、確認できる
- (3)：電波暗室を長時間にわたって使用する必要がなくなるので、不要輻射対策費を、節約できる
- (4)：『テイコン群』の特性を、直に、目視できるので、コンデンサに直列に入るインダクタンス L の値が、わからないまま設計してきた、従来の設計手法を、

「インピーダンスアナライザのデータ」が付いているプリント板
図11. いずれこうなるはず!!

理論的そして合理的な手法に変えることができる
以上のような利点があるのに対し、唯一の難点は、インピーダンスアナライザが、高価なことだ。

この問題の解決には、

- ・測定器メーカーの新たな簡易型アナライザの開発
- ・県立工業試験所等の研究所とか試験所などに設置されているものを、気楽に使用できるようにする
- ・プリント板メーカーが、アナライザを用意し、それを用いて得られたデータを添付したプリント板を、顧客に納入する（図11）

などという方法が考えられるが、その日の1日でも早く来ることを期待している。

『ノイズ対策の基本技術は、パソコンの使い方にあり。その使い方が「良いか?」「悪いか?」が、一目でわかるのが、インピーダンスアナライザなのだ!! ……ということ

(2006.10.16-受理)

文 献

- 1) 伊藤健一，他：“不安定な不要輻射のデータの原因探求とその対策—特に温度の影響について—”，第18回エレクトロニクス実装学術講演大会，2004年3月
- 2) 伊藤健一，他：“電子機器が出す不要輻射の温度特性の測定”，電気学会全国大会，2004年9月
- 3) 伊藤健一：“ノイズと不要輻射のはなし”，p. 104, pp. 120-126, S&Tシリーズ，日刊工業新聞社，1998年7月
- 4) 伊藤健一：“パソコンのはなし”，p. 145-169, S&Tシリーズ，日刊工業新聞社，2000年7月