

# 電子回路基盤の赤外線可視化画像モーダルウェーブレット解析

白田 優 , 早野 誠治 , 齋藤 兆古 (法政大学大学院)

堀井 清之 (白百合女子大)

## Modal Wavelets Analysis of the Infrared Electronic Circuit Boards Images

Yu Usuda, Seiji Hayano, Yoshifuru Saito and Kiyoshi Horii

### ABSTRACT

Modern microelectronics has made it possible to work out a lot of many small electronics, such as electronic calculator, radio, notebook computer and so on. As a result, electronics circuits have become small integrated circuits. This means that precise micron level inspecting technique should be exploited to produce the highly reliable electronics products.

In this paper, we apply the thermal infrared dynamic image method to the electronic circuit boards inspection. Our infrared dynamic image method plans to work out the extraction of fault parts from dynamic infrared image by applying modal wavelets transform. As a first step of this project, this paper demonstrates the usefulness of dynamic infrared image method to the nondestructive inspection of electronic printed circuit boards.

**Keywords:** Dynamic Infrared Image, Printed Circuit Boards, Nondestructive Inspection

### 1. 緒 論

映像情報による診断は医学などで見られるように、極めて具体的な現実の状態把握を可能とする。たとえ言語が異なる民族ですら、映像情報で意志伝達を行えば誤解無く伝わる。このように人間の視覚情報処理は全地球人類共通の強力な知的機能である。

医学での可視化技術はX線から始まり核磁気共鳴を利用したMRI画像まで診断の強力な道具である。工学・物理学では、電子顕微鏡やX線結晶構造解析法が発明され、その結果、材料中の物理現象に関する因果関係解明に大きな役割を果たしてきている。また、製造業でも、商品の品質管理・品質保証のため、赤外線カメラを用いた非破壊検査の技術が実用化されている。

エレクトロニクス技術、特に半導体技術では、第2次大戦後、ベル研のゲルマニウム接触型トランジスタやウエスタンエレクトリック社の電界効果トランジスタなどが開発され、この半導体技術の大幅な進歩により、パーソナルコンピュータや携帯電話などの精密機器だけでなく、冷蔵庫や炊飯器などの家電製品にもマイクロコンピュータを搭載した電子回路を組み込み可能とした。その結果として、電子機器の小型・軽量・高性能化がなされたが、これは電気・電子回路の高集積化を意味し、事実上、故障時における故障箇所の特定を不可能にしているのが現状である<sup>1-4)</sup>。

限られた地球資源の有効活用が叫ばれる今日、極めて広範に普及している電子機器の故障診断と修復技術は環境工学の基幹技術と言える。

このような社会的背景に鑑み、筆者らは極めて精緻に作られたプリント基板回路を非侵襲的・非破壊的に検査する方法を検討してきた。電子回路の故障や欠損部分を特定する方法は電子機器の駆動中における周辺電磁界分布を可視化する方法が最適と考える。これは、電子機器を駆動することで動作の健全性が評価され、逆に異常な動作をする場合、可視化された周辺電磁界分布から回路の故障部位の特定が原理的に可能であるためである。

近傍電磁界測定による電子機器の健全性評価や故障診断は原理的には有望である。現実には実現が遅れている。この理由は磁界や電界ベクトル、すなわち、電磁界の測定技術が未成熟な点にある。さらに電磁界ベクトルは周辺電磁ノイズに弱い本質的な問題点もある。このような問題点を解決する手段として、電子機器を構成する電子回路そのものに流れる電流や電圧分布を直接可視化することを考える。

電子回路中の電流や電圧は電子回路中にしか存在しないとす拘束条件が有るにも拘らず、それぞれを独立に可視化することは簡単な装置では難しい。このため、電流と電圧の内積である電力を可視化することを考える。当然、電力も直接可視化は出来ないが、熱分布として間

接的に赤外線を用いて可視化可能である<sup>5)</sup>。本稿では、フィルム変圧器用いた DC/DC コンバータの赤外線画像を撮影し、この赤外線画像が可視化電力分布画像として非破壊検査に有効であるかを吟味する。

2. 電子機器の赤外線可視化画像診断

2.1 赤外線カメラ

赤外線カメラは、非接触の温度測定法として従来の接触式温度計にはなかった種々の優れた特性を持っているため、特に電力設備の加熱監視炉、プラント設備の異常熱源検知、工場排水管理など保安・省エネルギーでの利用のほか、電気・電子機器、部品検査などにも有効に利用されている。

これら従来の利用法は、対象物が持つ表面温度分布をそのままの状態にとらえるため対象物に温度差がないような場合には、赤外線カメラが有効に活用できず、利用範囲には自ら限界がある。しかし、近年の小型軽量電子機器は印刷技術を用いたプリント基板からなり、発熱源である電力が薄膜面上に分布するため、赤外線カメラは回路の健全性を機器が動作中に直接監視可能と考えられる。

2.2 供試電子回路

小型軽量電子機器は必ず機器の動作に必要なエネルギーを供給する電源部分と信号の流れを司る信号回路からなる。電子機器の小型化で最大の問題は電源部分にあり、特に磁気エネルギーを蓄積するトランスやリアクトルの小型軽量化が難しい。トランスやリアクトルの小型化を行う一方法は電源部の高周波化であり、高周波特性の良いアモルファス磁性体の普及とともにかなりの小型化が推進された。

本稿では、供試電子回路として最も構造が簡単なフライバック型 DC/DC コンバータを取り上げる。このコンバータでは、究極の高周波トランスとしてプリント基板技術を用いて作成された空芯フィルム変圧器を磁気素子として採用する。

このフィルムトランスの動作原理は高周波で導体中の電流分布が表面へ集中する表皮効果を利用して変圧器としても磁氣的結合を維持する点にある。このため、1 次コイルと 2 次コイルは平行に並べ、駆動周波数の増加とともに変圧器として機能するように設計される。Fig.1(a)は 1, 2 次コイルを同心円状に並べ平面上にフィルムトランスを構成した例である。このトランスでは外側とフィルム中心部に 1, 2 次コイルの端子を持つため、形状は平面的でも配線が立体的となる。1, 2 次コイルの端子をフィルムの外側へ出すため、Fig.1(b) に示すようにフィルム変圧器の表面と逆パターンで 1, 2 次コイルを接続したフィルム変圧器を裏面に装着し、基本ユニットのフィルム変圧器とする。Fig.1 で、a,d は一次コイル端子で、c,d は二次コイル端子である。Fig.2 は実際に試作したフィルムトランスの写真を示す。

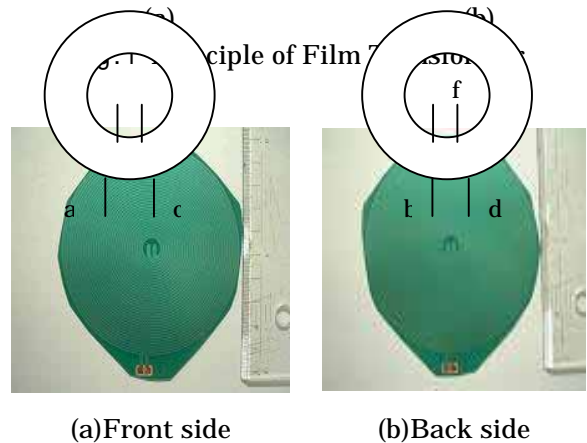


Fig.2 Tested Film Transformer

2.3 供試フライバック型 DC/DC コンバータ

Fig.3 にフライバック型 DC/DC コンバータの回路を示す。フライバック型 DC/DC コンバータの動作は、1 次回路に直列に挿入された Power MOS FET のエミッターベース間に小電流を通電する都度コレクターとベース間に通電し、電源  $V_1$  に起因する電流  $I_1$  が流れる。すなわち、Power MOS FET のスイッチング動作で一次電流が流れ、この電流によってトランスの一次コイルに磁気エネルギーが蓄えられる。Power MOS FET が OFF の区間にこの磁気エネルギーは逆極性に接続された二次コイルを通じて負荷  $R_L$  へ電力を供給する。すなわち、Power MOS FET のスイッチング動作で直流電圧が断続され、断続して流れる電流に起因して誘起する二次電圧をダイオード D で整流して二次直流負荷電圧が得られる。

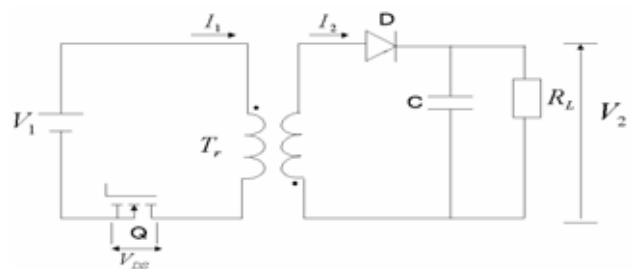
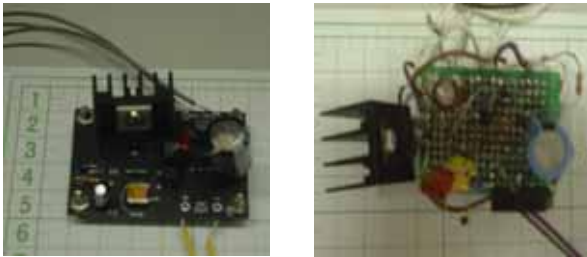


Fig.3 Circuit Diagram of Fly back Type DC/DC Converter

Fig.4 に単相電源の整流回路を含めて試作した供試 DC/DC コンバータの外観を示す。2 台の DC/DC コンバータを試作した。一方は単純な Fig.3 に示すフライバック型コンバータであり、他方はバイポーラトランジスタを使ったプッシュプル型である。プッシュプル型の動作はフライバック型を 2 台並列にしたコンバータと考えてよい。



(a) Tested Converter A (b) Tested Converter B  
Fig.3 Tested DC/DC Converters

2.4 実験

Fig.4 に赤外線画像の撮影法を示す。実験手順は以下の通りである。

- (1) 検査位置の確認 試験回路と赤外線カメラの位置を確認する。
- (2) 電源投入 試験回路に電流を通电し、一定時間流す。
- (3) 熱画像の記録 電源を OFF にし、一定時間経過後に回路表面の温度分布を赤外線カメラで記録する。
- (4) 評価 試験回路の健全性は回路が駆動停止した後の余熱分布評価で行う。これは、試験回路を駆動する電源回路の発熱が供試回路与える影響を避けるためである。

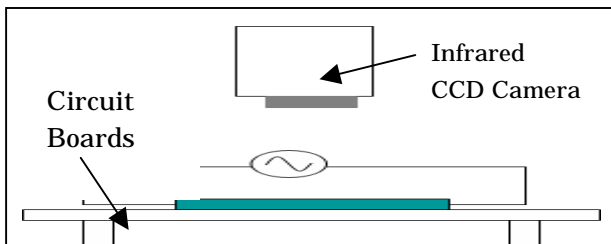
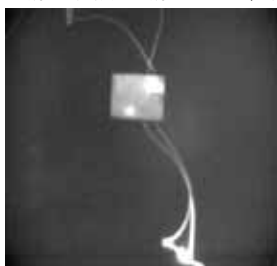


Fig.4 Schematic Diagram of Experiment

2.5 実験結果

Figs.5,6はDC/DCコンバータへ抵抗負荷を付けて温度が飽和点に達するまで駆動し、駆動停止の5秒後に撮影した赤外線画像である。Fig.5(a)は供試コンバータAが正常に運転した場合の画像である。Fig.5(b)は供試コンバータBが正常に運転した場合の画像である。何れの画像も負荷抵抗で熱として消費されるエネルギーとスイッチング損失を伴う Power MOS FET に熱が集中していることが分かる。Fig.5(c)は供試コンバータBが無負荷運転した場合の画像である。負荷抵抗が無限大であるため、コンバータ内の電流は無効電流であり、熱損失はスイッチング損失が存在する Power MOS FET に集中することが分かる。



(a) Converter A at t=5[sec]



(b) Converter B at t=5[sec]



(c) Converter B at t=5[sec]

Fig.5 Entire Infrared Images

チング損失が存在する Power MOS FET に集中することが分かる。



(a) Converter A at t=5[sec]



(b) Converter B at t=5[sec]

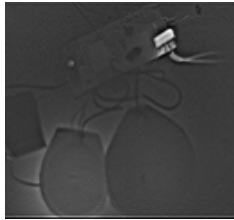
Fig.6 Infrared Images focused on Film Transformers

Fig. 6 はコンバータで磁気エネルギーを蓄積するフィルムトランス部分を強調して撮った赤外線画像である。Fig.6(a)はコンバータBが正常に動作した後5秒後の画像であり、エネルギーの大部分が Power MOS FET のスイッチング損失となることが分かる。とくにフィルムトランスの励磁電流損失は小さいことが分かる。Fig.6(b)は Power MOS FET のスイッチングが失敗し、ON動作のままになった結果、フィルムトランスの1次側コイルがオーバーヒートした状態を示している。

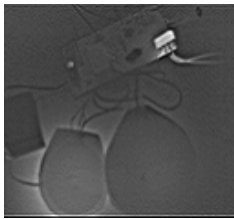
2.6 MWT による画像処理

Fig.7はモーダルウェーブレット変換を用いて動的熱分布の変化部分のみを抽出して描いた画像である<sup>5)</sup>。なお、

これらの画像はコンバータを駆動開始してからの熱分布の立ち上がり状態の赤外線画像から得た。大部分の熱は負荷抵抗へ集中しており、コンバータが正常に動作していることが分かる。



(a) Converter B at t=3[sec]



(b) Converter B at t=33[sec]

Fi.7 Dynamic Parts of Thermal Distribution  
Extracted BY MWT

損失がコンバータの効率を決定することが確認された。

また、コンバータが異常動作になった場合、明確に熱分布が異なり、容易に故障診断が可能となることが判明した。

本来の目的である MWT の有用性を示すためには未だデータ・試料が不足している感は否めない。これを今後の課題としたい。

### 参考文献

- 1) 緑川洋一:小型・軽量磁気素子の開発とそのスイッチング電源への応用に関する研究, 1997 年度法政大学博士論文
- 2) 緑川洋一:高周波薄型変圧器とその応用に関する研究,1994 年度法政大学修士論文
- 3) 増田則夫,緑川洋一,斉藤兆古,遠矢弘和:電子回路基板の電流分布推定に関する研究,電気学会マグネティックス研究会資料,MAG-97-128,1997.7,pp 13-18.
- 4) T.Doi, and et al: "Current Distribution Analysis on Printed Circuit Board," INVERSE PROBLEMS IN ENGINEERING MECHANICS (M.Tanaka,G.S.Dulikravich, Eds Elsevier), pp.495-501 ,( Mar.1998 )
- 5) 河村憲作、早野誠治、斉藤兆古、堀井清之:「赤外線画像から熱伝導率の推定」、第 32 回可視化情報シンポジウム公演論文、2004 vol.24 Suppl.No.1 p219-p226

### 3. まとめ

本研究ではフィルムトランスを用いた超軽量・小型のスイッチング電源の開発を究極の目標としている。フィルムトランスを用いた DC/DC コンバータ及び電源回路の熱分布の可視化を検討した。その結果、フィルムトランスにおける励磁電流損失は少なく、スイッチング電源の根源的問題である Power MOS FET のスイッチング