

# 画像認識手法による電子回路部品の識別法

中島 由晴 早野 誠治 齋藤 兆古  
法政大学大学院工学研究科

我々は動作中の電気・電子機器の周囲に発生する磁界分布を測定し、画像認識手法を適用することにより、電気・電子機器中の個々の部品の健全性を評価可能とする計算機支援型非破壊検査装置の開発を提案する。本論文では、その第1段階として、電気回路素子上の空間で測定される時間領域の磁界測定による電気回路素子の識別を試みる。時間領域信号の特性を抽出するために、本論文では等価固有値法を採用し、得られた等価固有値から3次元リサージュ図形生成する。3次元リサージュ図形から導かれる不適切なシステム方程式に最小二乗法を適用することで、それぞれの電気回路素子を識別する。

## 1. はじめに

近年、パーソナルコンピューター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ーを搭載した電子回路が組み込まれるようになってきている。このようなデジタル制御回路は、その有用性から、今後、より多くの電気・電子機器へ組み込まれるであろう。

他方、マイクロコンピューターを搭載した電子回路の大きな問題点は、電気・電子機器の異常動作や故障がハード・ソフトウェア的な問題点の何れに起因するのかの診断である。仮に、ハードウェア的な問題点がマイクロコンピューターの動作を司る単一の部品の場合、最初からマイクロコンピューター構成部品中の1回路素子を特定化することは比較的困難である。また、予め製品の検査工程で全ての電気/電子機器を構成する素子個々の健全性を評価することは不可能である。

以上のような社会的状況を鑑み、筆者らは動作中の電気・電子機器周辺磁界分布を測定することで電気・電子機器中の個々の部品の健全性を評価可能とする計算機支援型非破壊検査装置の開発を提案し、本論文では、その第1段階として、電気回路素子上の空間で測定される時間領域の磁界測定による電気回路素子の識別を試みる。

電気回路素子上で測定された時間領域磁界から個々の素子特有な特徴を抽出する手段として、筆者らはセンサーの時間領域情報の特性を双曲線関数の指数値として抽出する方法を採用する。この指数値は初期値問題の固有値へ対応するため、本論文では等価固有値(Equivalent Characteristic Value、以下 ECVと略記)と呼ぶこととする。仮に与えられた信号が初期値問題の解として記述される関数であれば、信号を生成する系の固有値を信号から推定する一方法がECV法である。ECVは、信号が双曲線関数の指数部を計算可能な最小離散化点数3点毎に計算可能である。

さらに、本論文では1次元時系列信号を画像へ変換する手段として3次元リサージュ図形法を採用する。この3次元リサージュ図形法は従来のリサージュ図形と異なり、同一座標値を取る軌跡に対してヒストグラムの加算を行うため、従来のリサージュ図において削除されていた軌跡の重複情報も評価することを可能とする。

## 2. 時系列磁界データと ECV

### 2.1 時系列磁界データの測定法書

空間中の時系列磁界データを測定する方法として、本論文ではサーチコイル法を採用する。磁束  $F$  が時間的に変化する空間に巻数  $n$ 、面積  $A$  のサーチコイルを磁束  $F$  が直角に入る向きに配置すると、コイルには、(1)式に示す磁束  $F$  の時間変化に比例した電圧  $e$  が発生する。

$$e = -N \frac{dF}{dt} \quad (1)$$

(1)式で、電圧  $e$  は、複素角周波数を  $j\omega$  とすれば、 $j\omega F = j\omega A \mu_0 H$  の関係から、磁界  $H$  に比例して測定される。

本論文では、平面状被検査対象電気回路を仮定し、振幅1V、周波数100kHzの正弦波交流電流を検査対象電気回路素子に通電した場合の磁界測定を行う。磁界測定は被検査対象電気回路と平行な面10cm×10cmを被検査回路上1cmで、1cm間隔で11×11点において行った。尚、本実験は研究の見通しを得るための予備的なものであることを勘案し、平面状被検査対象電気回路は電気抵抗、キャパシタンス、インダクタンスそれぞれ一単子を用いて構成した。図1はそれぞれの電気回路の素子の直上において測定したサーチコイル誘起電圧波形を示す。

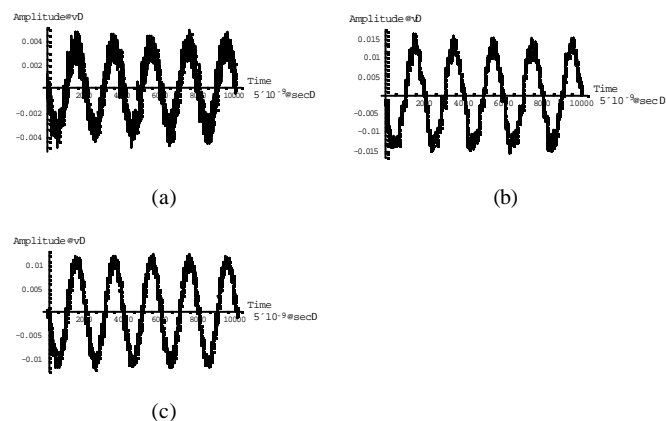


図1. サーチコイルの誘起電圧波形

- (a) 電気抵抗上
- (b) キャパシタンス上
- (c) インダクタンス上

## 2.2 等価固有値(Equivalent Characteristic Value)

### 2.2.1 電気回路の ECV

抵抗 R とインダクタンス L が直列に接続された電気回路へ直流電圧 V が印加された場合、出力電流は図 2 のように時間変化する。図 2 の任意の時点  $n\Delta t$  における電流  $i_{n\Delta t}$  は (2) 式で近似的に表現できる。

$$i_{n\Delta t} = i_{(n+1)\Delta t} + [i_{(n-1)\Delta t} - i_{(n+1)\Delta t}] e^{-L\Delta t} \quad (2)$$

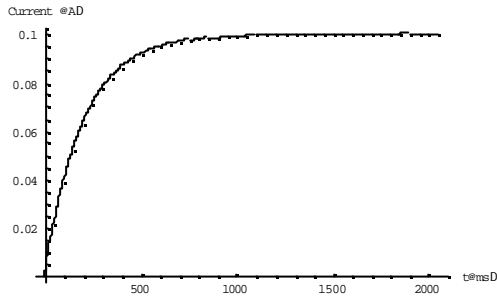


図 2. R・L 直列回路の過渡電流

(2)式から R-L 直列回路の ECV 値  $\lambda$  は (3) 式で与えられる。図 2 の電流波形に (3) 式を適用して得られる ECV を図 3 に示す。明らかに、線形なシステムから得られる ECV は一定値の実数である。

$$\lambda = -\frac{1}{\Delta t} \ln \left[ \frac{i_{n\Delta t} - i_{(n+1)\Delta t}}{i_{(n-1)\Delta t} - i_{(n+1)\Delta t}} \right] \quad (3)$$

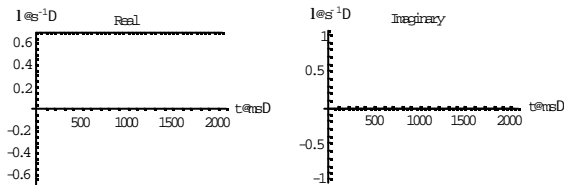


図 3. 図 2 の電流における ECV  
左：実数部 右：虚数部

### 2.2.2 加算平均 ECV

直流電圧の入力に対する応答から、ECV は正確に計算される。しかし、図 4 に示す交流入力に対する応答信号からは、図 5 に示すように信号の時間変化率が小さい部分で数値誤差に起因するノイズが生ずる。このノイズを削減するため、図 6 に示すように ECV の加算平均処理を行う。図 6 から明らかなように、実数部の ECV 値は図 3 と同じ ECV 値へ収束する。他方、虚数部は交流入力角周波数に比例する ECV 値へ収束する。

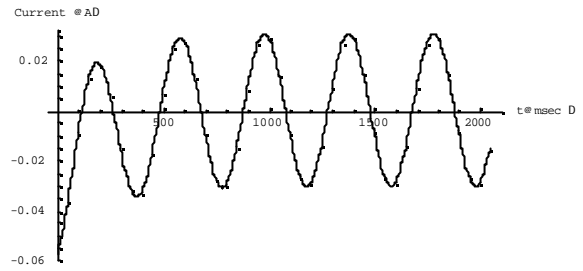


図 4. 交流電圧を R・L 直列回路に印加したときの過渡電流

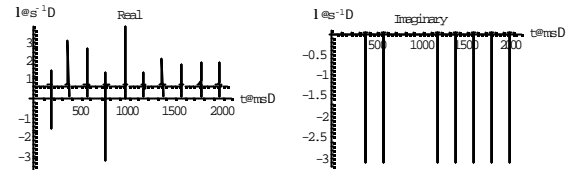


図 5. 図 4 の電流における ECV

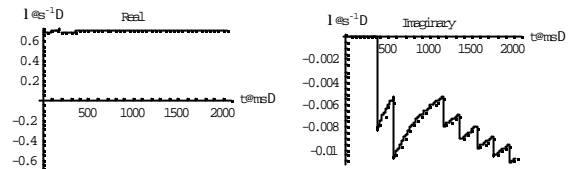
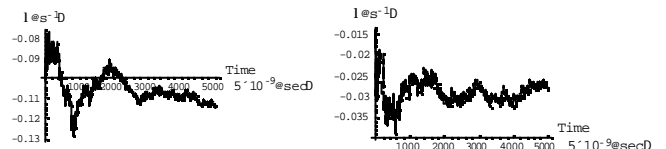


図 6. 図 4 の電流における加算平均 ECV

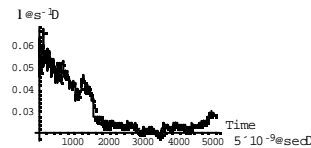
図 7 は図 4 に示されている電流波形の加算平均 ECV の実数部の値である。前述したように時間領域信号に対する ECV 値で、実数部は系の固有値へ対応し、他方、虚数部は入力信号へ関係する ECV 値へ対応する。すなわち、ECV 値の実数部は電子回路素子の物理情報を抽出する。

図 7 は図 1 の ECV 値を示す。図 7 から、それぞれの電気回路の ECV 値は明らかに異なる値へ収束する。



(a)

(b)



(c)

図 7. 図 1 の電流における加算平均 ECV

- (a) 電気抵抗上
- (b) キャパシタンス上
- (c) インダクタンス上

## 2.3 ECV の可視化

### 2.3.1 リサージュ図形

リサージュ図形とは時間軸を共通とする 2 信号を用い、x 軸に 1 信号、y 軸に 1 信号をとり、同一時間における両者の関係を表す図である。図 8 に具体的な例を示す。図 8 で、(a)、(b)及び(c)は、それぞれ同一周波数で同一位相の信号、x 軸と y 軸へ対する信号の周波数比が 1:2、さらに 1:3 の場合に描かれるリサージュ図形である。よって、リサージュ図は 2 信号の位相や周波数の関係を画像として可視化する一方法である。

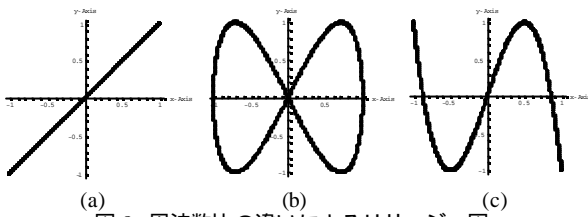


図 8. 周波数比の違いによるリサージュ図  
(a) 同周波数  
(b) 周波数比 1:2  
(c) 周波数比 1:3

### 2.3.2 3次元リサージュ図形

従来のリサージュ図は重複する軌跡情報を削除する。しかし、従来のリサージュ図で、重複する軌跡情報の重複度を x - y 軸平面状の z 軸方向にヒストグラムの如く加算すれば、リサージュ図は重複する軌跡情報を包含している 3 次元リサージュ図となる。

図 9 は、図 1 の電圧波形から抽出した ECV 値の実数部 (図 7 参照) を x 軸、実数部を時間積分した値を y 軸へとした場合の 3 次元リサージュ図を示す。

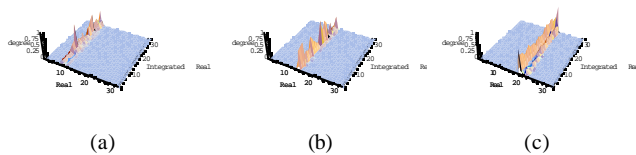


図 9.3 次元リサージュ図  
(a) 電気抵抗上  
(b) キャパシタンス上  
(c) インダクタンス上

## 3. 画像認識手法による電子回路部品認識

本論文で採用する画像認識手法は線形システム方程式の解を導くことに基づく方法である。しかしながら、得られる線形システム方程式は不適切なシステム方程式であるため、ここでは最小自乗法を用いて近似解を導く。換言すれば、本論文で採用した画像認識手法は、あらかじめ用意した画像データをデータベースとし、その中から誤差ノルムが最小となる解要素を最小自乗法により求める方法である。

## 3.1 システム方程式

3 次元リサージュ図は、それぞれ  $32 \times 32$  画素からなるため、1 次元配列に並べ替えると、 $32 \times 32 = 1024$  次のベクトルとなる。このようにして得られる  $n$  個のベクトル  $c_i$ 、 $i=1, 2, \dots, n$  を使って、(4) 式から  $n$  行  $32 \times 32$  列の長方形システム行列  $C$  が構成できる。

$$C = [c_1, c_2, \dots, c_n] \quad (4)$$

いま、任意の 3 次元リサージュ図を 1 次元配列へ並べ替えて得られる入力ベクトルを  $Y$  とすれば、解くべき線形システム方程式は (5) 式で与えられる。

$$Y = C \cdot X \quad (5)$$

(5) 式で解ベクトル  $X$  の要素を

$$X = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T \quad (6)$$

とすれば、最大値を取る要素が識別された 3 次元リサージュ図と仮定する。

## 3.2 最小自乗解

(5) 式のシステム方程式は  $n$  個の未知数に対し、 $32 \times 32$  個の式の数であり、 $32 \times 32 > n$  とすれば、全ての式を同時に満足する解は特別な場合を除いて存在しない。このため、誤差ベクトルのノルム

$$e = \|Y - CX\| \quad (7)$$

を最小にする解ベクトル、すなわち、最小自乗法による解ベクトルを (8) 式から計算する。

$$X = (C^T C)^{-1} C^T Y \quad (8)$$

## 3.3 電子回路部品認識

図 9 に示す 3 次元リサージュ図形を入力画像とし、それぞれ 4 種類の電気抵抗、キャパシタンス、インダクタンスを使用した 12 個の電気回路から作成したリサージュ図形をデータベースとして、3.2 節で述べた画像認識手法を用いて電子回路構成部品の識別を行った。その結果の 1 例を図 10 に示す。

図 10 で、横軸はそれぞれ異なる 4 個の電気抵抗、キャパシタンス、インダクタンスからなる。任意の電気抵抗、キャパシタンス、インダクタンス、それぞれの 3 次元リサージュ図から入力ベクトルを構成し入力する。その結果、個々の抵抗やインダクタンス等は完全に識別できない。しかし、図 10 に示されている解要素の分布から、電気抵抗、キャパシタンス、インダクタンス素子の大まかな識別は可能であることがわかる。従って、磁界の測定

点が1点であっても、ECV法と3次元リサージュ法の併用で、電気回路の基本構成素子である電気抵抗、キャパシタンス、インダクタンスの存在が非破壊的に分類可能であることがわかる。

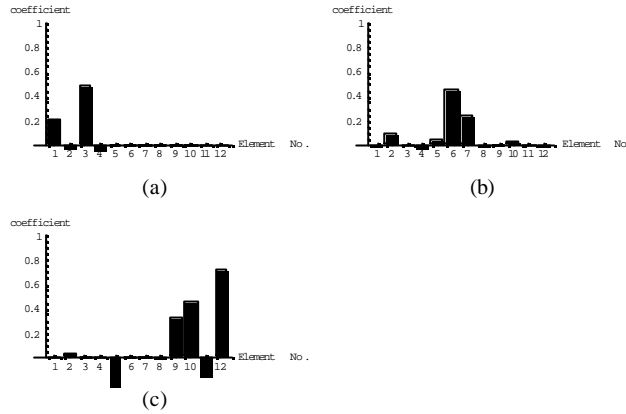


図 10. 解ベクトルの要素  
 (a) 電気抵抗上  
 (b) キャパシタンス上  
 (c) インダクタンス上

#### 4. まとめ

マイクロコンピュータを搭載した電気・電子機器の大きな問題点は、電気・電子機器の異常動作や故障がハード・ソフトウェア的な問題の何れに起因するのかの診断である。仮に、ハードウェア的な問題点がマイクロコンピュータの動作を司る単一の部品の場合、最初からマイクロコンピュータ構成部品中の1回路素子を特定化することは比較的困難である。また、予め製品の検査工程で全ての電気・電子機器を構成する素子個々の健全性を評価することは不可能である。

筆者らはこのような現状を鑑み、動作中の電気・電子機器周辺磁界分布を測定することで電気・電子機器中の個々の部品の健全性を評価可能とする計算機支援型非破壊検査装置の開発を提案し、本論文では、その第1段階として、電気回路素子上の時間領域磁界信号測定による電気回路素子の識別を試みた。

その結果、磁界の測定点が1点であっても、ECV法と3次元リサージュ法の併用で、電気抵抗、キャパシタンス、インダクタンスがだまかに識別可能であることが判明した。

#### 参考文献

- [1]中島由晴, 早野誠治, 斎藤兆古, 堀井清之, "動画像認識手法による電子回路の非破壊検査", 第30回可視化情報シンポジウム公演論文, 2002年7月.
- [2]中島由晴, 早野誠治, 斎藤兆古, "磁界分布測定による電子回路部品の識別", 第26回日本応用磁気学会論文, 2002年9月.

キーワード.

磁界分布、非破壊検査、画像認識

-----

Summary.

**Electric Circuit Parts Cognition based on the Equivalent Characteristic Value Method**

Yoshiharu Nakajima    Seiji Hayano    Yoshifuru Saito  
Graduate school of Engineering, Hosei University

The principal purpose of our research is to cognize an each of the distinct electric circuit elements, for example resistance, capacitance, inductance, diode, transistor and so on, by measuring an electromagnetic field distribution around the electric/electronic devices based on the equivalent characteristic value method.

In the present paper, we have tried to cognize the electrical resistance, capacitance and inductance by measuring a time domain magnetic field measurement as an initial test of our research project. To extract the characteristics of a time domain signal, we employ the equivalent characteristic value approach. After that we employ the 3D Lissajous diagram methodology to visualize the characteristics of time domain signal. Applying least square means to a system of an ill-posed system of equations, which essentially accompany the image cognition methodology, makes it possible to classify each of the basic electric circuit elements.

Keywords.

Magnetic Field Distribution, Nondestructive Testing, Image Cognition