渦電流探傷手法によるプリント基板配線検査の基礎検討

Inspecting Printed Wiring by Using the Eddy-Current Testing Approach

藤城 久・山田外史・岩原正吉

金沢大学工学部電磁場制御実験施設, 金沢市小立野 2-40-20 (〒920)

H. Fujiki, S. Yamada, and M. Iwahara

Laboratory of Magnetic Field Control and Applications, Faculty of Engineering, Kanazawa University,
2-40-20 Kodatsuno, Kanazawa 920

Eddy-current testing (ECT) is used for inspecting cracks in metal structures. We propose a planar-type ECT probe consisting of a meander and a mesh coil, and discuss the possibility of using ways of this probe to inspect disconnections in printed wirings. This paper describes (1) finding disconnections in printed wiring and (2) discriminating between various patterns of printed wiring and disconnections. Experimental results confirm that it is possible in principle to use ECT for inspecting printed wiring.

Key words: eddy-current testing, nondestructive testing, meander coil, mesh coil, printed wiring, disconnection

1. はじめに

非破壊検査の一つとして知られる渦電流探傷法 (ECT: Eddy Current Testing) は, 金属構造物や発電所などにおける熱交換器配管などの欠陥検出に用いられている。渦電流探傷法は検査対象物に対して非接触で検査を行えるため, 検査対象物に損傷を与えず, 製品の健全性を知ることができる。また, その高効率性を生かして活用されることが多く, 同一材料を大量に検査するのに適した方法である。これらのことを考慮すると新しい応用として, プリント基板の配線など, 繊細な部分の品質検査に適していると考えられる。そこで本研究は, この渦電流探傷法をプリント基板配線の断線欠陥等へ適用することを目的としている。

筆者らはこれまでミアンダ形コイルの方向性とメッシュ形コイルの差動性に注目して構成されるプレーナ形 ECT プロブを用い, 渦電流探傷の検出感度の向上と高機能化を目指してきた。今回のような線状の導体検査を行う場合, 渦電流は線方向に流れる必要がある。プレーナ形 ECT プロブを励磁し導体に近づけた場合, ミアンダ形コイルの方向に渦電流が発生するため配線検査の条件に適していると考えられる。

これまでの渦電流探傷法による検査は検査対象物全体が導体であった。この対象物全面に対し検査を行った場合, 無欠陥部分では検出コイルの出力信号に変化は生じないため, 欠陥部分である非導体部分で生じる出力信号の変化より欠陥検出を行ってきた。今回提案している検査対象のプリント基板は, 基板上の配線部分のみが導体である。基板全面に対し検査を行った場合, 欠陥部分以外でも渦電流の分布は変化するため検出コイルの出力信号に変化が生じると考えられる。したがって, プリント基板の検査するにあたり欠陥検出の偽似指示の防止のため, 欠陥と類似した配線に対し基準となる信号と比較を行うことで

欠陥との認識を検討する必要がある。

今回, プリント配線に対する渦電流探傷法の適用の可能性を検討するため, 簡単な欠陥モデルや配線パターンを製作し実験を行ったので報告する。

2. プリント基板への渦電流探傷法の適用

2.1 プレーナ形 ECT プロブの構造

プレーナ形渦電流探傷プロブの構成を Fig. 1 に示す。励磁用のミアンダ形コイルを下側に, 2 次検出コイルであるメッシュ形コイルを上側に配置する。このとき両コイルのピッチが一致するように重ね合わせられる。そしてミアンダ形コイルを高周波で励磁し, メッシュ形コイルの出力電圧を測定する。

ミアンダ形コイルを励磁すると, Fig. 2(a) に示すようにコイルの各ピッチで交互に逆向きの磁束が発生する。励磁により発生した磁束は, メッシュ形コイルにより Fig. 2(b) の斜線で表される部分が検出される。このときメッシュ形コイルを鎖交する磁束は差動性が働くため, 検出される磁束は互いに打ち消し合い出力電圧が得られない。

2.2 欠陥検出原理

ミアンダ形コイルを周波数 $f=5$ MHz の電源で励磁し, プリント基板配線のような線状の導体に近づけると Fig. 3(a) のように線方向に渦電流が発生する。このとき, 励磁電流と渦電流により発生する磁束のためメッシュ形コイルに誘起電圧が生じる。励磁コイルにより発生した磁束はメッシュ形コイルの差動性のため零となるので, 渦電流による磁束のみが検出され出力電圧として得られることになる。

一方, Fig. 3(b) に示すように配線に断線欠陥が存在する場合, 渦電流はその断線により流れを妨げられる。このとき, 渦電流のみを表した状態が Fig. 4(a) である。Fig. 4(a) の状態は

Fig. 1 Probe structure.

Fig. 2 Excited and detected flux.

Fig. 3 Patterns of eddy currents and reduced magnetic flux in printed wiring.

Fig. 4 When a crack exists.

Fig. 4(b) の断線がない状態に Fig. 4(c) の断線による変化分を足し合わせたものと等価であると考えられる。したがって配線上に断線が存在した場合、この磁束の変化分が出力電圧の変化として現れるため断線部の検出が可能となる。

3. ECT 実験結果

3.1 測定システム

測定に用いたプレーナ形プローブは Fig. 5 に示すコイルにより構成されている。ミアンダ形コイル、メッシュ形コイル共に大きさが等しい形状である。検出コイルであるメッシュ形コイルは、出力の高感度化のため3巻のコイルを用いている。

配線検査は Fig. 6 の測定システムにより行った。まず、発信器により周波数 $f=5\text{ MHz}$ 、ピーク電圧 $V_{in}=0.25\text{ V}_p$ の正弦波交流電圧で励磁を行い、同時に参照信号をロックインアンプに inputs。そしてメッシュ形コイルで検出される出力をロックインアンプに inputsし、励磁源と同一周波数成分のみ取り出す。

Fig. 5 Coil patterns for a planar-type ECT probe.

Fig. 6 Measurement system.

測定データは A/D ボードを介してコンピュータ上に取り込み記録した。

3.2 配線断線欠陥の基本検出特性

基本となる配線欠陥として、Fig. 7 に示される欠陥モデルを製作した。線幅 1.0 mm、厚さ $35\text{ }\mu\text{m}$ のプリントされた1本の配線に対し、カットによる断線欠陥が設けられてある。この断線部分を顕微鏡で確認したところ $10\text{ }\mu\text{m}$ 程度の傷幅であった。この欠陥モデルに対し、Fig. 8 に示す走査方法により測定を行った。ミアンダ形コイルの方向性を考慮した向きでプローブを配置し、配線に対し平行に走査することによりメッシュ形コイルの出力を測定した。

測定結果は Fig. 9 となる。横軸はコイルの中央から断線部分までの距離、縦軸はメッシュ形コイルの出力電圧を表している。配線に沿ってプローブを走査していくと、断線部上を通過している間に出力電圧に変化が生じるため断線の有無が確認できる。メッシュ形コイルの配線上に存在するメッシュ部分が断線部上を通過するごとに、検出される磁束に変化が生じるためこのような結果が得られる。

Fig. 7 において配線の断線部分の間隔が大きくなった状態は、断線欠陥というよりも配線により生じた間隔として考えなければならない。したがって、配線検査を行ったとき、断線欠陥と区別できなければならない。このため、断線間隔が 0.5, 1.0 mm の場合において測定を行い、断線による測定結果の Fig. 9 と比較した。

測定結果を Fig. 10 に示す。この結果から断線間隔が 0.5, 1.0 mm の場合とも検出される出力波形は傷による出力波形と似たような結果が得られる。しかし、非導体部分である配線の間

Fig. 7 Tested fundamental model.

Fig. 8 Scanning motion.

Fig. 9 Detected result for the fundamental model.

隔部分が大きくなるにつれ、検出される出力変化は大きくなっていることがわかる。このため検出される出力変化の大きさがどの程度まで断線とみなすか決めておくことにより、断線と配線により生じた間隔との区別が可能と考えられる。

3.3 断線欠陥に類似した配線パターンの認識

断線と類似した配線パターンにおいて断線との認識の可能性を検討するため、Fig. 11 に示す配線モデルを製作した。線幅 1.0 mm の角の配線が互いに向き合って配置されている。このとき Fig. 11 に示すようにプローブを走査し測定を行った。

Fig. 12 の測定結果から、プローブがミアンダ形コイルの方向に対して垂直な配線上を通過し始めるところと、通過し終わるところで出力電圧に大きな変化が見られる。これはミアンダ形コイルの向きに垂直な配線上で生じる渦電流による変化分と考えられる。またプローブが両方の配線上を通過している間は、左右の垂直方向の配線に生じる渦電流による磁束が互いに打ち消し合うため出力信号に大きな変化は見られない。このように断線と似通った配線パターンであっても、断線の場合とは異なる検出結果が得られるため、断線との区別は可能と考えられる。

3.4 複数配線中の断線欠陥検出

プリント基板を検査する場合、検査対象物は複数の配線が施されたものが一般的である。そこで複数配線中に存在する欠陥

Fig. 10 Detected signals when the disconnection is wider.

Fig. 11 Printed wiring pattern similar to the disconnection model.

Fig. 12 Detected signal for the printed wiring model.

の検出を検討するため、Fig. 13 に示す欠陥モデルを製作した。3本または5本の銅線を線幅 0.5 mm の等間隔で配置し、中央の線にカットによる断線欠陥を施してある。

測定結果を Fig. 14 に示す。測定結果から1本の配線の場合と同様にプローブが断線部上を通過している間出力電圧に変化が生じているが、無欠陥部での出力が配線の本数が増えるにつれて不安定となっていることがわかる。この結果から、欠陥に関係しない部分での渦電流による磁束は検出しない方が無欠陥部での出力は安定と考えられる。したがって、配線が密な基板を検査する場合、検出部であるメッシュ数ができるだけ少ない検出コイルを構成した方が良好な結果が得られると考えられる。

4. ま と め

ミアンダ形コイルとメッシュ形コイルとで構成されるプレーナ形 ECT プローブを用い、いくつかの基本的なプリント基板

Fig. 13 Disconnection model with 3 and 5 printed wirings.

(a) 3 printed wirings

(b) 5 printed wirings

Fig. 14 Detected characteristics for 3 and 5 printed wirings.

配線モデルに対し実験を行った。実験結果から、断線が存在する場合にプローブの出力に変化が生じることが確認され、プリント基板の配線検査は基本的に可能であることがわかった。また、断線欠陥と似通った配線パターンにおいて実験を行い、断線による実験結果と比較したところ互いの区別が可能であることが確認できた。

渦電流探傷技術の従来の目的は主として、比較的厚い、均一な導体金属中の欠陥を検出することであり、今回のようなプリント基板の薄膜の線状導体の断線を検出することを目指す上では対象が著しく異なる。ミアンダ形コイル用いた ECT プローブにより、線状導体に対して効果的に渦電流を励磁することができるが以下のような問題点が挙げられる。

- (1) 配線の厚みが極めて薄い。
- (2) 高密度配線による狭い配線幅。
- (3) ミアンダ形コイルに対する配線の方向。
- (4) 断線と類似した正常パターンとの区別。
- (5) 多層配線への対応。

以上の問題に対する対応策として、励磁周波数の高周波化、プリント配線幅に対応した ECT プローブのマイクロ化、2次元的なプローブの走査などが考えられ、今後検討する必要がある。また、プリント配線検査において、正常なプリント基板からの教師信号と比較することで、検査信号のみからの判断を補助できるものと考えられる。

謝 辞 本研究の一部は平成 8 年度文部省科学研究費（基盤研究 C(2) 一般 07650481）の援助により行われた。また、コイルの製作に御協力いただいた(株)富士通電装に対し感謝の意を表します。

文 献

- 1) 寺沢政男, 長崎誠三: 現場の計測 (AGNE, 東京, 1968).
- 2) 山田外史, 加藤正樹, 岩原正吉, F. Dawson: 電気学会マグネティックス研究会資料, MAG-94-226 (1994).
- 3) 海原根典也, 竹内信次郎, 荒 克之: 日本応用磁気学会誌, **20**, 633 (1996).
- 4) 加藤正樹, 山田外史, 岩原正吉: 日本応用磁気学会誌, **20**, 577 (1996).

1996 年 10 月 14 日受理, 1997 年 1 月 16 日採録