プリント基板検査システムに関する研究*

里見 忠 篤^{*1}, 野 口 祐 智^{*2}

Study of Printed Circuit Board's Inspecting System

Tadaatsu SATOMI^{*3} and Masanori NOGUCHI^{*3} Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Denki University,
Ishizaka, Hatoyama-machi, Hiki-gun, Saitama, 350-0394 Japan

The digital technology contributes to the reduction in size of equipment such as mobile phones and personal computers. Accordingly, the advancement in the production of printed wiring boards is also remarkable. Presently, the inspection of printed wiring boards includes the conductivity, the capacitance, the appearance inspections, and so forth. There are problems of the conduction defects, the effect of the stray capacitance and the mistaken image in these inspections. In order to resolve these problems, in our research a pin probe with a dielectric substance is produced, a serial resonance circuit is constructed in a manner that the spacing between the electrodes of the probe and those of the wiring board is regarded as a condenser, and an inspection system is developed which can determine the connection, insulation, short-circuiting and disconnection by measuring the magnitude of resonance current value. Usability of this scheme is verified after the check test has been conducted using a wiring board such as BGA and PWB.

Key Words: Printed Wiring Board, Printed Circuit Board, Ball Grid Array, Tester, Inspection, Capacitance, Conductance

1. 結 言

近年, 携帯電話に代表されるように, 製品は小型化・高速化の傾向にある。その煽りを受けて機器の機能を保障するために高度な電子制御技術が必要になってきている。その傾向に伴い, 主要部品のひとつであるプリント配線板(PWB: Printed Wiring Board)の高密度化・多層化が進み, 高度な電子制御が行われている。そのためPWBの信頼性は年々厳しくなり, 不良率は0.01%以下と大変厳しいものとなっている。現在, 主流となっている検査方法は 1)導通検査, 2)外観検査が挙げられる。導通検査はPWBの電極群の中より2箇所の電極に電圧を印加し, その際の通電状況によって正常・短絡・断線の判定を行っている。検査装置はPWBをプローブユニットで上下から挟み込む方式と, フライイングプローブ方式がある。導通検査は判定方法が分かり易いが, 欠点としてはプローブ先端が電極に傷をつけてしまうことがあり, 端子表面の絶縁皮膜層の影響で接触不良が生じる恐れもある。外観検査はCCD(可視光)やX線をPWBに照射した際に得られた画像をコ

ンピュータによって良品の画像と比較することで, 配線上に生じている欠損や接触状況を調べる。この方法の利点は画像処理のため検査を迅速に行うことができ, 且つ画像の差し替えで検査パターンの変更が容易にできることであるが, 電気的特性は未確認の状態になってしまうので最終的な検査方法とは言い難い。本研究では, PWBの断線・短絡検査精度の向上を狙い, PWBの電極間の静電容量を調べる方式に着目した。具体的には, 導通検査で用いられていた金属製のプローブの先端に誘電体を取り付けることによりプローブとPWBの電極間をコンデンサの並行平板モデルに見立て, 2電極間に生じる静電容量を直列共振回路の構成要素とし, その共振電流の変化を調べる方法で配線の断線・短絡状況を判断する。この方法により, 現在主流となっている通電型検査装置のいくつかの問題点を解決することができた。

2. システム構成

本研究では, プローブとプリント配線板の電極間に生じる静電容量に着目し, 検査対象回路毎に直列共振回路を構成させ, その共振特性を調べることで配線の断線・短絡を見極めている。このシステムを実現させるために2つの重要な技術開発が行われた。その1はスプリングプローブ先端に誘電体を装着した容量型の

* 原稿受付 2007 年 1 月 10 日。

^{*1} 正員, 東京電機大学大学院理工学研究科(〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂)。^{*2} 学生員, 東京電機大学大学院理工学研究科。
E-mail: noguchi@satomilab.n.dendai.ac.jp

プローブを製作した, その2はUSB-コンピュータとアナログマルチプレクサ(A.M.P.: Analog Multi-Plexer.)を用いて, 高速スイープおよび高速回路切替を可能にした. 図1は検査装置構成を示す.

PC(パーソナルコンピュータ): PCは本研究で開発された検査プログラムの保存とその運用を行い, 検査に必要な機能を得るためにUSB-コンピュータの監視・制御を行っている. 主な作用プログラムとして, ①スイープ信号を発振させるためのプログラム. ②検査回路の選択, 切替のプログラム. ③データの取り込み, 表示するプログラムなどがある.

USB-コンピュータ: USB-コンピュータはH8-3048(MPU: Micro processor unit), RAM, USB1.1インターフェイスから構成されており, スイープ信号の発振はUSB-コンピュータ内のRAMに保存されたH8専用motファイルを起動させ, ITU(Integrated Timer Unit)を用いてパルスの発振するタイミングを決定することにより行われている. 信号をスイープさせるためにはタイマー設定を時間経過で変化させることにより行われる. またH8内のA/Dポートにより出力電圧を検出し, 24Bit DI/DO(デジタル入出力)を用いて回路切替信号を出力している.

切替回路: 高速切替を実現するためにアナログマルチプレクサ(A.M.P.: 74HC4051)を用いて回線の切替を行っている. このA.M.P.は8チャンネルの切替ICのため, 全点検査を行うためには並列に配置し, 動作しているA.M.P.を選択するためのデコーダとして74HC138を使用している. これにより, 1つの共通電極に対して複数の端子を得ることができる. 図2は切替回路を示す.

検査部: プローブが移動するタイプでは対応しきれない多点電極基板の検査は上下からの挟み込み型が用いられている. 本装置ではPWBの電極に合わせたプローブ固定治具(図3のInsulator: 樹脂系の絶縁体)を使用することで誘電体プローブの正確な位置決めを可能にしている.

誘電体付プローブ: 図4に示すように本研究では圧電用誘電体のセラミック(0.4mm角)に液体はんだを用いてスプリングプローブに接着している.

プリント配線板を検査部にセットし, 上下からプローブユニットで挟み込むことで, プローブが電極に接触する. PC上でプログラムを起動させるとUSB-コンピュータとの通信が開始され, プログラムよりDI/DOを介してSwitching Unitにチャンネル切替信号が送信され, 自動的に検査経路が選択される. この検査経路は図5に示した.

Fig.1 Inspection system

Fig.2 Switching circuit model

Fig.3 Detecting probe unit

Fig.4 Probe end with ceramic

3. 検査システム

3・1 本検査装置のシステム概要 本システムは PC 内に設定された主プログラムにより実行されている。主プログラムは検査項目及び検査電極のデータベース・検査回路の設定・制御・測定・判定用の各プログラムから構成されている。具体的には検査電極の総数(NIE: Number of inspection electrodes), 共振現象の判断基準となる閾値電圧(V_t : Threshold voltage)を初期設定する。検査項目のデータベースには検査名及び検査電極番号(IEN: Inspection electrode number), チャンネル切替信号(CSS: Channel select signal)及び理論共振特性符号(TRP: Theoretical resonance phenomenon)を記憶させている。この理論特性より使用されるスイープ信号周波数範囲及び閾値電圧を設定することができる。主プログラムを始動すると自動的に IEN に"1"が選択され, IEN₁ の CSS₁, CSS₂ が USB コンピュータにより切替回路に入力され検査回路が選択される。スイープ信号が回路に印加されると共振回路内に共振電流が生じ, その際負荷抵抗両端に発生する出力電圧を測定する。USB コンピュータ内の基準周波数を基に調整されたスイープ信号周波数と出力電圧のデジタル値を主プログラムに転送し, プログラム内で周波数及び出力電圧値に換算し共振曲線の描画・共振現象の有無の判定に使用する。共振現象の有無は閾値電圧を超えた(+符号: "1")か否か(-符号: "0")によって判断する。共振特性の実測値(ARP: Actual resonance phenomenon)は符号化されて記憶される。設計上の配線符号(TRP)と実測の共振特性による配線符号(ATP)を比較し, 同符号であれば正常な配線と判定し, 異符号の場合は配線の短絡もしくは断線といった異常があることを示している。IEN₁ の検査が正常に終了すると IEN に"1"が加算され IEN₂ の値が検査に適応される。順次 IEN を加算し IEN が NIE と同数となった時点で検査は終了する。図 7 は検査プロセスを表す。

$$V_o = \frac{R_L}{\left[(R_L + R_{C1} + R_{C2}) + j \left(2\omega L - \frac{1}{\omega C_{21}} - \frac{1}{\omega C_{22}} \right) \right]} V_i \quad (1)$$

V_o : Output voltage V_i : Input voltage

L: Inductance, Cx1, Cx2: Probe's capacitance, R_{C1}, R_{C2}: Probe's resistance
R_L: Load resistance, Buffer: Amplifier, F.W.R.: Full Wave Rectification

Fig.5 Equivalent circuit

Fig.6 Resonance curves

Fig.7 Inspection system

3・2 断線検査 設計上結線されているべき回路にエッチング等によって、意図せぬ箇所にピンホール、欠け、断線といった欠陥が生じていないかを検査するものである。設計上2電極間が結線されている場合には電氣的に繋がるため検査回路は閉回路となり、スイープ信号を発振したときに共振周波数近傍において共振電流は増加し、負荷抵抗両端の出力電圧が上昇する。しかし、異常（断線）時は2電極間が電氣的に切り離されるため検査回路は開回路となり共振現象は起きない。したがって発振したときに負荷抵抗の両端には出力電圧が生じない。図8は断線検査例を示す。この場合、設計上では1番と2番は結線され、それ以外のピンは絶縁状態となっている。何らかの原因により1番と2番の配線が断線してしまうと端子間に電流が流れず、負荷抵抗両端に電圧が生じない。

3・3 短絡検査 設計上結線されていない回路がパターン転写等によって、意図せぬ箇所に短絡が生じていないかを検査するものである。設計上2電極間が絶縁されている場合は電氣的に繋がらないため検査回路は開回路となり、スイープ信号を発振したときに負荷抵抗両端の出力電圧が生じない。しかし、異常（短絡）時は2電極間が電氣的に繋がってしまうので検査回路は閉回路となり、スイープ信号を発振したときに共振周波数近傍において共振電流は増加し、負荷抵抗両端の出力電圧が上昇する。図9は断線検査例を示す。この場合、設計上では4番はそれ以外のピンとは結線されていないが、何らかの原因により4番と1番の配線が短絡してしまうと端子間に電流が流れ、負荷抵抗両端に電圧が生じる。

3・4 スルーホール検査 図10はスルーホール検査例を示す。スルーホールは3番と6番のようにプリント配線板の表・裏を貫く方向にめっき処理され、電氣的に通電することが可能となっている。基本的にはスルーホールは結線されているが、内部のコーナラック（部分欠損）やパレルクラック（完全断線）といった欠陥を検出する必要がある。そのためにスルーホールに対して断線検査が必要となる。

4. 実験

本研究では2種類の配線板(BGA, PWB)を検査対象としている。BGA(Ball Grid Array)はPattern面とBall面を有する。Pattern面側はICの取り付け面であり、端子は小さく線間ピッチも狭くなっている。また、Ball面側は通常の配線基板上に半田付けされるため端子も大きく線間ピッチも広がっている。BGAの構造はPattern面側とBall面側が1対1で配線されているので、検査

項目は断線検査、短絡検査である。PWBは両面配線板*を検査対象とした。配線板の電極には直径1.26[mm]の金属層に直径0.63[mm]の貫通孔（スルーホール）が形成されている。PWBの配線は、スルーホールを含む立体配線（両面配線）となるため設計仕様に基づき検査経路ごとに結線状態、絶縁状態の識別を行い、それぞれの経路について共振現象発生の有無を確認し、その回路の正常・異常の判定を行う。

Fig.8 Inspection circuit in the case of normal connection

Fig.9 Inspection circuit in the case of short

Fig.10 Inspection circuit in the case of through-hole

4・1 断線検査 (BGA Model) 図11は断線検査の例を示す。各記号は結線回路別の2電極間にスイープ信号を印加したときの負荷抵抗両端の電圧をUSBコ

*両面配線板: double-side print wiring board (JIS C5603-1993)

選択度(Selectivity): 共振時のピーク電圧から70.7% (減衰量: -3[db])に低下する周波数帯域を算出し、周波数帯域と共振周波数を定量化したものの一般化周波数の感度としても使われる。

コンピュータのA/Dポートを介して測定した結果を示す。結線回路(◆, ■, ▲...)の共振曲線はほぼ同じ軌跡を描き、断線(異常)回路(+...)においては出力電圧に変化は見られなかった。このことから、Pattern 面側電極・Ball 面側電極に接触させたプローブとBGAの配線によって構成されるコンデンサの合成静電容量が安定しているものと思われる。BGA上に配置された16組の断線検査を行った結果 good:15, no good:1 となり、その際の平均共振周波数 f_r :165[kHz]、選択度(Selectivity) S :7.75 となった。ここで no good の回路は意図的に断線させた回路を用いたものを使用した。

4・2 短絡検査 (BGA Model) 図12は短絡検査の例を示す。各記号は絶縁回路別の2電極間にスイープ信号を印加したときの負荷抵抗両端の電圧を示す。絶縁回路(◆, +, ▲...)の出力電圧に変化は見られなく、意図的に短絡させた回路(□)においては出力電圧が生じ、共振曲線を描いている。BGA上に配置された16組の短絡検査を行った結果 good:15, no good:1 となり、意図的に短絡させた回路の共振周波数 f_r :150[kHz]、選択度 S :15.0 となった。

4・3 複合配線検査 (PWB Model) PWBは基板上の同一銅箔面に複数の電極が設けられた構造となっているため断線・短絡検査を混在させて行うことになる。図13はPWBの例を示す。ピンプローブはPWB片面の電極に対応させ Insulator に固定し、あらかじめ位置決めされたPWBを上下から挟み込む方式を取っている。検査結果として、設計上結線(◆, ■)されている2電極間は予測された共振曲線を描くが、設計上絶縁(●, ▲...)されている配線においても低電圧の共振現象が確認された。絶縁回路間の共振現象は検査回路内に浮遊する静電容量によりPWBの配線以外をバイパスして共振電流が生じているものと考えられる。PWB上に配置された7組の断線検査を行った結果 Connection:2, Insulation:5 となり、結線回路における共振周波数 f_r :142[kHz]、選択度 S :10.6、絶縁経路における共振周波数 f_r :146[kHz]、選択度 S :7.1 となった。

5. 考 察

(1)従来の静電容量型検査装置では、配線間に生じる静電容量を測定することによって、断線・絶縁の検査が行われている。本研究で基礎実験を行った結果、配線間の静電容量は1[pF]以下であり、また複数層の場合、配線の交差状態によって3[pF]程度を示すこともある。このように配線間の微弱な静電容量はばらつきが大きく、結線状態の良否の判断は困難である。本研究の配線検査方法ではプローブ先端に高誘電体材料を装着す

Fig.11 Inspection circuit in the case of normal connection for BGA

Fig.12 Inspection circuit in the case of short for BGA

Fig.13 Inspection circuit in the case of normal connection with short for PWB.

ることにより、電極間の浮遊静電容量に比べ大きな静電容量 (30~40[pF]) を得ることにより共振特性の改善をはかった。また検査回路の共振周波数を低く設定することにより、ノイズの影響を受けにくい周波数帯域において直列共振回路方式による配線検査が可能となった。

(2)多数電極の配線検査を行うためには配線を切り替え、指定した回路に検査信号を入力する必要がある。本研究で使用した USB コンピュータは市販されている H8 を搭載し、USB によって PC と通信を行っている。市販されているマイコン(MPU)では、PC との通信には特別な知識が必要であるが、USB コンピュータには Visual C++(MS)や C++Builder (Borland)用のポート制御プログラムがパッケージングされている。これにより、高速で切り替え信号を出力することが可能となり、A.M.P. と組み合わせることで高速回路切り替え (プローブ選択) が実現できた。

6. 結 言

(1)先端に高誘電体物質を装着した検査プローブを直列共振回路の要素と見做した静電容量型プリント基板検査システムの構築に成功した。本システムを用いることにより、従来通電式プローブの接触圧による電極の破損と導通不良の問題が改善された。また、小さいプローブを使用することによって BGA のようなプリント配線板にも対応できた。

(2)H8-3048 Micro processor unit を搭載した USB コンピュータとアナログマルチプレクサを用いることにより、高速回路切替が可能となった。

(3)誘電体付プローブおよびその周辺の配線に伴う電氣的な寄生・浮遊静電容量の存在が明確となった。

謝 辞

本論文の作成に当り先行研究を行った、和久井健氏 (現:日本発条)、傳田直史氏 (現:長野県工業技術センター)、山川智史氏 (現:東京海上日動システムズ(株)) の研究成果を活用させていただいた。プリント配線板はユメックス(株)、誘電体材料は (株)日本セラテックより提供していただいた。ここに各位、各社に対し深甚なる謝意を表します。

文 献

- (1) Denda, N., Yamakawa, T., Wakui, K., Satomi, T., Development of Printed Circuit Board's Inspection-system, *Proceedings of JSME Annual Meeting, Vol.VI*, (2003.8), pp. 219-220.
- (2) Obana, Y., Present State and Trend of Printed Wiring Board, *Journal of the Institute of Electrical Engineers of Japan*, **105**(9), (1985.9), pp. 831-857.
- (3) Nidaira, Y., Inspection System of Printed Circuit Board, *Electronics*, **32**(7), (1987.7), pp. 54-57, Ohmsha, Ltd.
- (4) Ito, K., Technology Reader of Printed Wiring Board, (2000), Nikkan Kogyo Shimbun, Ltd.