



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 695 34 364 T2** 2006.06.14

(12)

## Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 714 032 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **695 34 364.5**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **95 307 508.2**

(96) Europäischer Anmeldetag: **23.10.1995**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **29.05.1996**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **10.08.2005**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **14.06.2006**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **G01R 31/28** (2006.01)

(30) Unionspriorität:

**329031                      25.10.1994                      US**

(73) Patentinhaber:

**Teradyne Inc., Boston, Mass., US**

(74) Vertreter:

**derzeit kein Vertreter bestellt**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**DE, FR, GB**

(72) Erfinder:

**Stringer, Philip J., Ottershaw, Surrey KT16 0LB,  
GB**

(54) Bezeichnung: **Herstellungsfehler Analysator**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft allgemein automatische Testausrüstung und insbesondere ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Auffinden fehlerhafter Verbindungen auf gedruckten Schaltungsplatinen beziehungsweise Leiterplatten.

**[0002]** Bei der Herstellung von gedruckten Schaltungsplatinen (PCBs) werden zahlreiche elektrische Bauelemente auf die Platine gelötet. Fehlerhafte Verbindungen von Bauelementen zu der gedruckten Schaltungsplatine stellen einen großen Prozentsatz der Defekte an fertigen PCBs dar. Fehlerhafte Bauelemente stellen außerdem eine Ursache für Defekte an fertigen gedruckten Schaltungsplatinen dar.

**[0003]** Um beim Testen diese Arten von Defekten zu finden, haben PCB-Hersteller traditionell automatische Testausrüstung (hier "Tester" genannt) verwendet, um Defekte an PCBs zu ermitteln. Tester weisen herkömmlicherweise eine Einspannvorrichtung auf, um die PCB zu halten. Die Einspannvorrichtung weist ein "Nagelbett" auf, das aus zahlreichen leitenden Kontaktstiften besteht, die in einer Anordnung angeordnet sind. Wenn die PCB in der Einspannvorrichtung platziert ist, berührt jeder der Kontaktstifte eine spezifische Stelle oder "Knoten" auf der PCB. Auf diese Weise kann der Tester elektrischen Kontakt zur PCB herstellen.

**[0004]** Der Tester weist Signalquellen und Meßvorrichtungen auf. Einige Signalquellen erzeugen digitale Signale, während andere Wechsel- oder Gleichspannungen oder -ströme erzeugen. Die Meßvorrichtungen empfangen die gleichen Arten von Signalen.

**[0005]** Die Signalquellen und Meßvorrichtungen sind mit den Kontaktstiften über ein Schaltnetzwerk verbunden. Auf diese Weise können mehrere Signale an ausgewählte Knoten auf der PCB angelegt werden, und Signale an ausgewählten Knoten können gemessen werden.

**[0006]** Die Signalquellen, die Meßvorrichtungen und das Schaltnetzwerk sind mit einer Steuerungsschaltung verbunden. Die Steuerungsschaltung führt Tests aus, die durch einen menschlichen Testingenieur programmiert worden sind. Während eines Tests legt der Tester Signale an ausgewählte Abschnitte der PCB an. Die Antwort einer richtig funktionierenden PCB auf diese Signale ist in die Steuerungsschaltung programmiert. Antworten werden gemessen, und ein Fehler wird angezeigt, wenn die gemessene Antwort nicht mit der programmierten erwarteten Antwort übereinstimmt. Unter Verwendung eines solchen Testers können Defekte, die durch nicht richtig funktionierende Bauelemente wie auch durch fehlerhafte Verbindung von Bauelementen verursacht werden, ermittelt werden.

**[0007]** In den letzten Jahren hat die Qualitätskontrolle bei der Herstellung von elektronischen Bauelementen zugenommen. Auch sind neu aufkommende Prüfmethode nunmehr beim Ausmerzen defekter Bauelemente, bevor sie auf PCBs installiert werden, erfolgreich. Infolge dessen ist es weniger wichtig geworden, PCBs auf defekte Bauelemente zu prüfen. Statt dessen haben sich Hersteller entschieden, das Testen von PCBs in einigen Fällen auf die Suche nach fehlerhaften Verbindungen von Bauelementen zu beschränken. Tester, die nur fehlerhafte Verbindungen von Bauelementen ermitteln, ohne auf richtige Arbeitsweise dieser Bauelemente zu prüfen, sind als "Herstellungsdefekt-Analysegeräte" bezeichnet worden.

**[0008]** Mehrere Herstellungsdefekt-Analysegeräte machen von der Tatsache Gebrauch, daß elektrische Halbleiterbauelemente so aufgebaut sind, daß eine Diode zwischen jeder Zuleitung des Bauelements und Masse entsteht. Diese Dioden sind in Sperrichtung vorgespannt und daher im Normalbetrieb nichtleitend. Jedoch ermöglicht ihr Vorhandensein den Aufbau eines Strompfades in einem entsprechend verbundenen Bauelement. Dieser Strompfad kann ermittelt werden, um zu bestätigen, daß die Zuleitung richtig verbunden ist.

**[0009]** US-Patent Nr. 4 779 041 für Williamson injiziert Strom in einen Knoten auf der PCB, der mit einer Zuleitung eines Halbleiterbauelements verbunden werden soll, um die dieser Zuleitung zugeordnete parasitäre Diode in Durchlaßrichtung vorzuspannen. Die Spannung an diesem Knoten wird dann gemessen. Die gemessene Spannung sollte den Spannungsabfall an der Diode plus den Spannungsabfall am Substrat des Halbleiterbauelements widerspiegeln. Gleichzeitig wird in einen Knoten, der mit einer zweiten Zuleitung der Vorrichtung verbunden werden soll, ein stärkerer Strom injiziert. Dieser Strom sollte ebenfalls durch das Substrat fließen und einen größeren Spannungsabfall erzeugen. Wenn beide Zuleitungen richtig mit der PCB verbunden sind, sollte an der ersten Zuleitung ein Anstieg der Spannung gemessen werden. Wenn keine erhöhte Spannung zu erkennen ist, bedeutet das, daß mindestens eine der Zuleitungen nicht mit der PCB verbunden ist.

**[0010]** Dieser Testansatz hat gewisse Nachteile. Erstens ist oft jeder Knoten auf der PCB mit den Zuleitungen mehrerer Bauelemente verbunden. Der Strom, der in die zu testende Zuleitung injiziert wird, wird in Wirklichkeit unter allen Zuleitungen aufgeteilt, die mit dem gleichen Knoten verbunden sind. Infolge dessen kann der Stromfluß durch die zu testende Zuleitung erheblich verringert werden, und das gemessene Signal ist dann relativ klein. Ein kleines gemessenes Signal erhöht die Wahrscheinlichkeit einer fehlerhaften Messung aufgrund von Rauschen oder erfordert anderenfalls teurere Meßgeräte.

**[0011]** Ein zweiter Nachteil der bekannten Methode tritt auf, wenn die zwei Knoten, in die Strom für den Test injiziert wird, durch ein anderes Bauelement auf der Schaltungsplatine verbunden sind. Bei einigen Bauelementen erzeugt ein Strom, der an einer Zuleitung injiziert wird, eine Spannungsänderung an der anderen. In dieser Situation kann die bekannte Methode wegen des durch das zweite Bauelement eingekoppelten Signals anzeigen, daß beide Zuleitungen richtig mit der Platine verbunden sind, ganz gleich, ob die Zuleitungen nun wirklich richtig verbunden sind oder nicht. Um eine falsche Messung zu vermeiden, muß eine als "Guarding" (Schutz) bezeichnete Methode verwendet werden. Mit Guarding werden die Verbindungen zwischen den zwei Knoten auf der gedruckten Schaltungsplatinen geerdet, so daß die einzige Möglichkeit, wie der in die zweite Zuleitung injizierte Strom die Spannung an der ersten Zuleitung beeinflussen kann, der Weg über das zu testende Bauelement ist. Jedoch ist Guarding nicht immer möglich. Wenn zum Beispiel die Verbindung zwischen der ersten und der zweiten Zuleitung über einen einzelnen Widerstand geschieht, ist Guarding nicht wirksam. Auch wo sehr kleine Signalpegel beteiligt sind, ist Guarding manchmal nicht wirksam. Ferner erfordert Guarding einen komplizierten Programmgenerator, um die gedruckte Schaltungsplatine zu analysieren und um zu bestimmen, welche Zuleitungen welcher Bauelemente geerdet werden sollten, um jede Messung durchzuführen. Solche Programme sind oft langsam und ungenau. Infolge dessen muß ein Testingenieur den von diesen Programmen bereitgestellten Guarding-Plan manuell prüfen und bei Bedarf Änderungen vornehmen. Dieses Problem verstärkt sich bei einem Herstellungsdefekt-Analysegerät, der Tests an jeder Zuleitung jedes Bauelements auf der PBC durchführt.

**[0012]** Ein weiterer Nachteil besteht darin, daß in den meisten PCBs mehrere elektrische Bauelemente mit jedem Knoten verbunden sind. Wenn ein Teststrom in den zweiten Knoten injiziert wird, steht die am ersten Knoten induzierte Spannung im Verhältnis zum Stromfluß durch das Substrat des zu testenden Teils wie auch zum Stromfluß durch die Leiterzüge auf der PCB, die dieses Teil mit Masse verbinden. Wenn andere Bauelemente mit dem zweiten Knoten verbunden sind, leiten sie Strom zu den Leiterzügen auf der PCB weiter. Dieser Stromfluß induziert dann eine Spannung, die am ersten für den Test verwendeten Knoten ermittelt werden könnte. Er erzeugt somit ein falsches Signal auch dann, wenn die zweite Zuleitung nicht richtig mit der PCB oder nur dem Bauelement verbunden ist.

**[0013]** Ein weiterer Nachteil besteht darin, daß der bekannte Lösungsansatz einen Tester erfordert, der zwei Stromsignale unabhängig voneinander bereitstellen kann. Viele handelsübliche Tester bieten diese Möglichkeit nicht.

**[0014]** Die Europäische Patentanmeldung 0 575 061 A1 von Alexander macht ebenfalls von den parasitären Dioden in Halbleiterbauelementen Gebrauch. In dieser Offenbarung werden die Stromzufuhr- und Masseanschlußstifte der Bauelemente mit einer Referenzspannung verbunden. Eine wechselnde Spannung wird an einen anderen Anschlußstift angelegt. Wenn alle Anschlußstifte richtig verbunden sind, dann spannen die angelegten Spannungen die Dioden in Sperrrichtung vor, und innerhalb des Halbleiterbauelements fließt ein Strom. Dieser Strom wird durch eine über dem Bauelement angeordnete Sonde indirekt erfaßt.

**[0015]** Dieser Lösungsansatz hat den Nachteil, daß eine Sonde über dem zu testenden Bauelement angeordnet werden muß. Eine solche Anordnung macht den Testeraufbau kompliziert. Insbesondere muß die Nagelbett-Einspannvorrichtung, die normalerweise ein fertig verfügbares Bauteil ist, modifiziert werden, um die Sonde zu halten und elektrische Verbindungen mit der Sonde aufzunehmen. Ein weiterer Nachteil tritt auf, wenn es mehrere Masse- und Stromversorgungsrückleitungen an einem Teil gibt. Diese mehreren Rückleitungen verringern den Pegel des ohnehin schon sehr kleinen Signals.

**[0016]** Unter Berücksichtigung des vorstehend beschriebenen Hintergrundes ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein einfaches Herstellungsdefekt-Analysegerät bereitzustellen, um offene Schaltkreise zu ermitteln, ohne eine zusätzliche Einspannung zu erfordern, um Vorrichtungen über der zu testenden PCB zu halten.

**[0017]** Es ist ebenfalls eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zur Ermittlung von Herstellungsdefekten bereitzustellen, das in handelsübliche Tester programmiert werden kann.

**[0018]** Es ist eine weitere Aufgabe, ein genaues und zuverlässiges Verfahren zur Ermittlung von Herstellungsdefekten bereitzustellen, das weitgehend unabhängig von den Arten der auf eine PCB montierten Bauelemente oder der zum Testen ausgewählten Knoten ist.

**[0019]** Unter einem Aspekt stellt die vorliegende Erfindung ein Verfahren zum Ermitteln von offenen Schaltkreisen auf einer gedruckten Schaltungsplatine bereit, die mit einer Vielzahl von Komponenten bestückt ist, wobei jede eine Vielzahl von Signalezuleitungen und wenigstens eine Massezuleitung aufweist, die mit Leiterzügen auf der gedruckten Schaltungsplatine verbunden sind, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfaßt:

(a) Verbinden eines Anschlusses einer Spannungsquelle mit der Massezuleitung und des zweiten Anschlusses der Spannungsquelle mit zwei Signalezuleitungen und Messen des Strom-

flusses durch die Spannungsquelle, während ein vorgegebener Spannungspegel angelegt wird;

(b) Verbinden eines Anschlusses der Spannungsquelle mit der Massezuleitung und des zweiten Anschlusses mit einer ersten der zwei Signalzuleitungen und Messen des Stromflusses durch die Spannungsquelle, während der vorgegebene Spannungspegel angelegt wird;

(c) Verbinden eines Anschlusses der Spannungsquelle mit der Massezuleitung und des zweiten Anschlusses mit der zweiten der zwei Signalzuleitungen und Messen des Stromflusses durch die Spannungsquelle, während der vorgegebene Spannungspegel angelegt wird;

(d) Berechnen eines Indikators eines gemeinsamen Widerstands zwischen den zwei Signalzuleitungen und der Massezuleitung, der die Differenz zwischen dem im Schritt (a) gemessenen Strom und der Summe der in den Schritten (b) und (c) gemessenen Ströme ist; und

(e) Anzeigen eines Defekts, wenn der Indikator des gemeinsamen Widerstands außerhalb eines vorgegebenen Bereichs ist.

**[0020]** In einer bevorzugten Ausführungsform werden die Schritte (a) bis (e) für eine Vielzahl von Paaren von Signalzuleitungen an einer Vielzahl von Bauelementen, die auf die gedruckte Schaltungsplatine montiert sind, wiederholt und die Spannung der Spannungsquelle wird für unterschiedliche Paare von Signalzuleitungen geändert.

**[0021]** In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform umfassen die drei erwähnten Schritte zum Verbinden einer Spannungsquelle das Verbinden der gleichen Spannungsquelle.

**[0022]** Unter einem zweiten Aspekt stellt die vorliegende Erfindung ein Verfahren zum Testen einer gedruckten Schaltungsplatine mit einer Vielzahl von darauf montierten Bauelementen bereit, wobei jede eine Vielzahl von Signalzuleitungen und wenigstens eine Massezuleitung aufweist, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfaßt:

(a) Anlegen einer Spannung an eine erste Zuleitung der Vielzahl von Signalzuleitungen;

(b) Anlegen einer Spannung an eine zweite Zuleitung in der Vielzahl von Signalzuleitungen;

(c) Berechnen eines Indikators eines gemeinsamen Widerstands, der die Differenz in dem Signal an der ersten Zuleitung, wenn die Spannung an die zweite Zuleitung angelegt wird und wenn sie nicht angelegt wird, ist; und

(d) Anzeigen eines Defekts, wenn der Indikator des gemeinsamen Widerstands außerhalb eines vorgegebenen Bereichs ist.

**[0023]** In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform werden Paare von Signalzuleitungen während eines "Lernmodus" ausgewählt, wobei eine bekannte

gute gedruckte Schaltungsplatine mit einem Testsystem verbunden ist.

**[0024]** Es wird bevorzugt, daß die Spannungsquellen Gleichspannungspegel zwischen 0,7 und 1,2 Volt haben.

**[0025]** Es wird in dem Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung ebenfalls bevorzugt, daß, wenn eine Anzeige des gemeinsamen Widerstands abgeleitet wird, eine Abtast- und Halte-Schaltung und ein Differenzverstärker verwendet werden, und daß das Verfahren ferner die folgenden Schritte umfaßt:

(a) Verbinden eines Signals, das die erste Strommessung anzeigt, mit einer Abtast- und Halte-Schaltung;

(b) Verbinden eines Signals, das die zweite Strommessung anzeigt, mit einem ersten Eingang eines Differenzverstärkers; und

(c) Verbinden des Ausgangs der Abtast- und Halteschaltung mit einem zweiten Eingang des Differenzverstärkers.

**[0026]** Unter einem weiteren Aspekt stellt die vorliegende Erfindung eine Vorrichtung zum Ermitteln offener Schaltkreise auf einer gedruckten Schaltungsplatine bereit, die dafür programmiert ist, ein Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung durchzuführen.

**[0027]** Die oben genannten und weitere Aufgaben werden in einem Tester mit einer Spannungsquelle und einem Amperemeter, die zwischen ausgewählte Knoten auf einer PCB geschaltet werden können, erreicht. Nach dem Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung wird die Spannungsquelle mit zwei Zuleitungen eines Bauelements verbunden, und der Stromfluß durch die Quelle wird gemessen. Die gleiche Spannungsquelle und das gleiche Amperemeter werden auch mit den beiden Zuleitungen individuell verbunden, und der Stromfluß wird gemessen. Aus diesen Messungen kann ein Indikator des gemeinsamen Widerstandes zwischen den Zuleitungen berechnet werden. Wenn der gemeinsame Widerstand in einem vorbestimmten Bereich liegt, wird bestimmt, daß die beiden ausgewählten Zuleitungen und die Massezuleitung richtig mit der PCB verbunden sind. In einer Ausführungsform der Erfindung wird das Verfahren durch Programmieren eines handelsüblichen Nagelbett-Testers durchgeführt.

**[0028]** In einer alternativen Ausführungsform der Erfindung werden zwei unterschiedliche Spannungsquellen an getrennte Zuleitungen angelegt. Der unterschiedliche Strom in eine Zuleitung, wenn nur eine Quelle eine Zuleitung treibt und wenn beide Quellen Zuleitungen treiben, wird gemessen. Die gemessene Stromdifferenz wird als ein Indikator richtiger Verbindung beider Zuleitungen verwendet.

**[0029]** Gemäß einem weiteren Merkmal der Erfin-

ung wird das Herstellungsdefekt-Analysegerät mit einer Schaltung implementiert, die kleine Signaländerungen genau messen kann. Der geeignete Pegel eines Testsignals gemäß den folgenden Schritten:

- a) Anlegen einer Spannung mit einem ersten Pegel an mindestens eine Zuleitung und Messen des durch die Spannung induzierten Stromflusses;
- b) Ändern des Pegels der angelegten Spannung zu einem zweiten Pegel und Messen des induzierten Stroms;
- c) Bestimmen, ob sich der induzierte Strom als Antwort auf die Änderung der Spannung nichtlinear geändert hat;
- d) wenn sich der induzierte Strom nichtlinear geändert hat, Auswählen des höheren des ersten und zweiten Spannungspegels als den geeigneten Spannungspegel, und wenn sich der induzierte Strom linear geändert hat, Auswählen des niedrigeren des ersten und zweiten Spannungspegels als den geeigneten Spannungspegel.

**[0030]** Die vorliegende Erfindung stellt außerdem ein Verfahren zum Testen einer gedruckten Schaltungsplatine mit einer Vielzahl von darauf angebrachten elektronischen Halbleiterbauelementen bereit, wobei jedes eine Vielzahl von Signalzuleitungen und mindestens eine Massezuleitung aufweist, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfaßt:

- (a) Anlegen einer ersten Spannung zwischen einer ersten Signalzuleitung und einer Massezuleitung eines elektronischen Halbleiterbauelements;
- (b) Anlegen einer zweiten Spannung zwischen mindestens einer zweiten Signalzuleitung und einer Massezuleitung des elektronischen Halbleiterbauelements;
- (c) Messen der Differenz im Stromfluß in der ersten Zuleitung zwischen einer Zeit, wo die erste Spannung mit der ersten Zuleitung verbunden ist, und einer Zeit, wo die erste Spannung mit der ersten Zuleitung verbunden ist, während die zweite Spannung mit der zweiten Zuleitung verbunden ist.

**[0031]** Vorzugsweise umfaßt der Meßschritt die folgenden Schritte:

- (a) Verbinden eines Signals, das den Strom in der ersten Zuleitung anzeigt, mit einer Abtast- und Halte-Schaltung;
- (b) Verbinden eines Signals, das den Strom in der zweiten Zuleitung anzeigt, mit einem ersten Eingang eines Differenzverstärkers; und
- (c) Verbinden der Abtast- und Halteschaltung mit einem zweiten Eingang des Differenzverstärkers.

**[0032]** Vorzugsweise umfaßt der Schritt des Anlegens einer ersten Spannung das Anlegen einer Spannungsquelle mit einem Gleichspannungspegel, der hinreichend ist, um eine parasitäre Diode zwischen der ersten Signalzuleitung und der Massezuleitung in Durchlaßrichtung vorzuspannen.

**[0033]** Vorzugsweise liegt der Gleichspannungspegel des ersten Signals zwischen 0,7 und 1,2 Volt.

**[0034]** In einer bevorzugten Ausführungsform umfaßt das Verfahren das Wiederholen der Schritte a) bis c) für jedes aus einer Vielzahl von Zuleitungspaaren an einer Vielzahl von Bauelementen, wobei sich der Gleichspannungspegel des an die erste Zuleitung in jedem Paar angelegten Signals für ausgewählte der Paare unterscheidet.

**[0035]** Die vorliegende Erfindung stellt außerdem bei einem Herstellungsdefekt-Analysegerät des Typs mit mindestens einer rechnergestützten Steuerungseinrichtung, einer Nagelbett-Einspannvorrichtung und mit der Nagelbett-Einspannvorrichtung verbundenen elektronischen Schaltungen eine Verbesserung bereit, die genaue Messungen veränderlicher Spannungen ermöglicht, die folgendes umfaßt:

- a) einen Differenzverstärker mit einem ersten Eingang und einem zweiten Eingang und einem Ausgang;
- b) eine Abtast- und Halteschaltung, die mit dem zweiten Eingang des Differenzverstärkers verbunden ist;
- c) einen Schalter mit einem Eingang, der mit der Nagelbett-Einspannvorrichtung verbunden ist, und einem ersten Ausgang, der mit dem ersten Eingang des Differenzverstärkers verbunden ist, und einem zweiten Ausgang, der mit der Abtast- und Halteschaltung verbunden ist.

**[0036]** Die vorangegangenen und weitere Aufgaben werden in einem Tester mit einer Spannungsquelle und einem Amperemeter erfüllt, die zwischen ausgewählte Knoten auf einer PCB geschaltet werden können. Gemäß dem Verfahren der Erfindung wird die Spannungsquelle mit zwei Zuleitungen eines Bauelements verbunden, und der Stromfluß durch die Quelle wird gemessen. Die gleiche Spannungsquelle und das gleiche Amperemeter werden außerdem mit den gleichen zwei Zuleitungen einzeln verbunden, und der Stromfluß wird gemessen. Aus diesen Messungen kann ein Indikator des gemeinsamen Widerstandes zwischen den Zuleitungen berechnet werden. Wenn der gemeinsame Widerstand in einem vorbestimmten Bereich liegt, wird bestimmt, daß die beiden ausgewählten Zuleitungen und die Massezuleitung richtig mit der PCB verbunden sind. In einer Ausführungsform der Erfindung wird das Verfahren durch Programmieren eines handelsüblichen Nagelbett-Testers durchgeführt.

**[0037]** In einer alternativen Ausführungsform der Erfindung werden zwei unterschiedliche Spannungsquellen an getrennte Zuleitungen angelegt. Der unterschiedliche Strom in eine Zuleitung, wenn nur eine Quelle eine Zuleitung treibt und wenn beide Quellen Zuleitungen treiben, wird gemessen. Die gemessene Stromdifferenz wird als ein Indikator einer richtigen

Verbindung der beiden Zuleitungen verwendet.

**[0038]** Gemäß einem weiteren Merkmal der Erfindung wird das Herstellungsdefekt-Analysegerät mit einer Schaltung implementiert, die kleine Signaländerungen genau messen kann. Die Schaltung wird mit einem Differenzverstärker implementiert, dessen einer Eingang mit einer Abtast- und Halteschaltung verbunden ist. Ein Schalter verbindet das Eingangssignal zuerst mit der Abtast- und Halteschaltung und dann direkt mit dem zweiten Eingang des Differenzverstärkers.

**[0039]** Die Erfindung wird durch Bezugnahme auf die folgende ausführlichere Beschreibung und die beigefügten Zeichnungen besser verständlich; wobei diese folgendes zeigen:

**[0040]** [Fig. 1](#) ist ein Blockschaltbild eines Testers, der dafür programmiert werden kann, die Erfindung zu nutzen;

**[0041]** [Fig. 2](#) ist ein elektrisches Schaltbild der Ersatzschaltung, die zu verschiedenen Zeitpunkten während eines Tests entsteht;

**[0042]** [Fig. 3](#) ist ein Ablaufplan der Software, die einen Tester gemäß der Erfindung während eines Lernmodus steuert;

**[0043]** [Fig. 4](#) ist ein elektrisches Schaltbild einer alternativen Ausführungsform der Erfindung; und

**[0044]** [Fig. 5](#) ist ein elektrisches Schaltbild einer Schaltung, die beim Messen kleiner Signaländerungen von Nutzen ist.

**[0045]** [Fig. 1](#) zeigt einen Tester **100**, der programmiert werden kann, um als ein Herstellungsdefekt-Analysegerät gemäß der Erfindung zu arbeiten. [Fig. 1](#) zeigt eine gedruckte Schaltungsplatine (PCB) **102**, die in einer Einspannvorrichtung **104** montiert ist, die am Tester **100** befestigt ist. Einspannvorrichtung **104** ist eine herkömmliche Nagelbett-Einspannvorrichtung und enthält eine Vielzahl von Nägeln oder Kontaktstiften **106**.

**[0046]** PCB **102** ist mit zahlreichen Halbleiterbauelementen **108** bestückt. Die Zuleitungen **109** der Bauelemente **108** sind bei einer korrekt hergestellten Platine mit Leiterzügen **110** auf der PCB **102** verlötet. Die Kontaktstifte **106** berühren diese Leiterzüge zum Zweck des Injizierens von Testsignalen oder des Prüfens der Antworten auf die injizierten Testsignale.

**[0047]** Die Kontaktstifte **106** werden durch ein Schaltnetzwerk **114** entweder mit Signalquellen **116** oder mit Signalempfängern **118** verbunden. Die Signalquellen **116** stellen zu geeigneten Zeitpunkten Testsignale bereit. Ebenso empfangen die Signal-

empfänger **118** zu geeigneten Zeitpunkten Signale und vergleichen sie mit programmierten Erwartungswerten. Die Teststeuerungseinrichtung **120** übergibt Steuersignale an die Signalquellen **116**, die Signalempfänger **118** und das Schaltnetzwerk **114**, um zu steuern, welche Signale zu jeder gegebenen Zeit an welche der Kontaktstifte **106** angelegt werden und welcher der Kontaktstifte **106** zu jeder gegebenen Zeit mit welchem der Signalempfänger verbunden wird.

**[0048]** Die Arbeitsweise des Testers **100** wird durch einen menschlichen Benutzer über die Steuerungsstation **112** gesteuert. Die Steuerungsstation **112** wird etwa über einen digitalen Bus mit den Signalquellen **116**, den Signalempfängern **118** und der Teststeuerungseinrichtung **120** verbunden und übergibt Steuerungsinformation an diese Komponenten.

**[0049]** Die Steuerungsstation **112** ist ein Mehrzweckrechner mit einer Benutzerschnittstelle, wie etwa einer Tastatur und einem Anzeigegerät (nicht dargestellt). Sie weist Datenspeichervorrichtungen auf, wie etwa Festplatten (nicht dargestellt). Testprogramme werden auf diesen Vorrichtungen gespeichert und durch den Prozessor in dem Rechner ausgeführt. Die Steuerungsstation weist außerdem Programme auf, die während eines Tests erzeugte Daten empfangen und sie in einem für einen menschlichen Bediener nützlichen Format anzeigen.

**[0050]** In einer bevorzugten Ausführungsform ist der Tester **100** ein handelsüblicher Platinentester, wie etwa ein Z1800, erhältlich von Teradyne, Inc., Walnut Creek, Kalifornien, USA, oder ein von anderen Herstellern verkauftes entsprechendes Produkt. Jedoch ist ein Vorteil der Erfindung ihre Einfachheit. Um einen Test gemäß dem Verfahren der Erfindung durchzuführen, ist es nur erforderlich, daß die Signalquellen **116** eine Spannungsquelle und die Signalempfänger **118** eine Strommeßschaltung aufweisen. Eine separate Teststeuerungseinrichtung **120** ist kein Erfordernis der Erfindung. Die Steuerungsstation **112** könnte die Spannungsquelle innerhalb der Signalquellen **116** und das Amperemeter innerhalb der Signalempfänger **118** sowie das Schaltnetzwerk **114** direkt steuern.

**[0051]** Wendet man sich nunmehr [Fig. 2](#) zu, wird die Programmierung des Testers **100** ausführlicher beschrieben. [Fig. 2A](#) stellt das elektrische Äquivalenzschaltbild eines Abschnitts eines Halbleiterbauelements **108** dar. Drei Zuleitungen **109(1)**, **109(2)** und **109(3)** sind dargestellt. Zuleitung **109(3)** ist eine Massezuleitung des Bauelements **108**. Alle Signalezuleitungen sind in einem normalen Halbleiterbauelement über das Halbleitersubstrat mit Masse verbunden. Diese Verbindung ist so dargestellt, daß sie über eine Diode  $D_1$  oder  $D_2$  und über einen Widerstand  $R_s$  erfolgt. Der Widerstand  $R_s$  verkörpert den Gesamtwi-

derstand des Substrats selbst und den sonstigen Widerstand, der mit dem Weg zwischen den Anschlußstiften und Masse verbunden ist.

**[0052]** Fig. 2 stellt keine anderen Teile der Schaltung im Inneren des Halbleiterbauelements **108** dar. Es versteht sich jedoch, daß ein typisches Halbleiterbauelement zahlreiche Transistoren oder andere Vorrichtungen enthält, die dem Bauelement seine Funktionalität vermitteln. Diese zusätzlichen Komponenten sind nicht dargestellt, weil sie das hier beschriebene Testverfahren nicht beeinflussen. Die hier beschriebene Methodik kann Herstellungsdefekte ungeachtet des Typs der auf der gedruckten Schaltungsplatine installierten Bauelemente ermitteln.

**[0053]** Im ersten Schritt des Tests wird die Spannungsquelle  $V_1$  zwischen die Zuleitungen **109(1)** und **109(3)** geschaltet. Es ist aus Fig. 1 erkennbar, daß die Verbindung einer Signalquelle **116** über das Schaltnetzwerk **114** zu einem der Kontaktstifte **106** hergestellt wird, der einen Leiterzug **110** auf der PCB **102** berührt. Als Leiterzug wird einer ausgewählt, mit dem die erwünschte Zuleitung verbunden sein sollte. Hier wird die Verbindung zu einem Leiterzug, mit dem eine Zuleitung verbunden sein sollte, als Herstellen einer Verbindung zu diesem Leiterzug beschrieben. Es wird jedoch anerkannt, daß ein Zweck des Tests darin besteht, zu bestimmen, ob diese Zuleitung tatsächlich mit dem Leiterzug verbunden ist. Ebenso zeigt Fig. 2, daß Verbindungen direkt mit den Zuleitungen **109** hergestellt werden, und widerspiegelt nicht die Möglichkeit, daß die Verbindung unterbrochen ist.

**[0054]** Die Spannungsquelle  $V_1$  hat vorzugsweise eine Ausgangsspannung zwischen  $-0,1$  V und  $-5$  V. Besonders bevorzugt wird, daß sie eine Ausgangsspannung zwischen  $-0,7$  V und  $-1,2$  V hat. Jedoch kann die exakte verwendete Spannung in Abhängigkeit vom Typ des zu testenden Bauelements variieren. Dieser Spannungspegel ist vorzugsweise für Ströme in einem Bereich von 10 mA bis 1 A innerhalb von 0,01% konstant, um die Tatsache zu berücksichtigen, daß mehrere Zuleitungen von verschiedenen Bauelementen mit dem gleichen Knoten verbunden sein können und während eines Tests allesamt Strom ziehen können. Die Spannungsquelle  $V_1$  ist mit einer solchen Polarität angeschlossen, daß die Dioden  $D_1$  und  $D_2$  in Durchlaßrichtung vorgespannt werden.

**[0055]** Das Amperemeter **202** ist mit der Spannungsquelle  $V_1$  in Reihe geschaltet. Das Amperemeter **202** erzeugt vorzugsweise ein digitales Ausgangssignal, das den Strom angibt, der aus der Spannungsquelle  $V_1$  fließt. Das Amperemeter **202** hat vorzugsweise einen Bereich von mindestens 10 mA bis 1 A mit hinreichender Genauigkeit, um 10  $\mu$ A über diesen Bereich aufzulösen. Es sollte vorzugsweise eine Genauigkeit von besser als 0,01 % haben.

**[0056]** Für die erste Messung werden die Zuleitungen **109(1)** und **109(2)** miteinander verbunden, wie in Fig. 2A dargestellt. Mit dieser Anordnung wird der Strom  $I_1$  gemessen und der Wert aufgezeichnet.

**[0057]** Fig. 2B stellt den nächsten Schritt des Tests dar. In Fig. 2B werden die Spannungsquelle  $V_1$  und das Amperemeter **202** in Reihe zwischen die Zuleitungen **109(1)** und **109(3)** geschaltet. Der Strom  $I_2$  wird gemessen und aufgezeichnet.

**[0058]** Fig. 2C stellt den nächsten Schritt des Tests dar. In diesem Schritt werden die Spannungsquelle  $V_1$  und das Amperemeter **202** in Reihe zwischen die Zuleitungen **109(2)** und **109(3)** geschaltet. Der Strom  $I_3$  wird gemessen und aufgezeichnet.

**[0059]** Sobald die drei Ströme  $I_1$ ,  $I_2$  und  $I_3$  gemessen sind, kann der gemeinsame Widerstand zwischen den Zuleitungen **109(1)** und **109(2)** und Masse berechnet werden. Dieser berechnete Widerstand verkörpert  $R_s$ . Die gemessenen Werte werden an die Steuerungsstation **112** übergeben, wo ein Rechnerprogramm ausgeführt wird, um die Berechnung durchzuführen. Die Gleichungen, die benötigt werden, um den gemeinsamen Widerstand zu berechnen, können abgeleitet werden, indem das Ohmsche Gesetz auf die Schaltungen von Fig. 2A angewendet wird, um  $I_1$  zu berechnen:

$$I_1 = (V_1 - V_D)/(R_1 || R_2 + R_s)$$

wobei  $R_1$  und  $R_2$  die Gegentaktwiderstände in die Zuleitungen **109(1)** beziehungsweise **109(2)** sind und die Notation  $R_1 || R_2$  bedeutet, daß die Widerstände parallel sind.  $V_D$  ist der Spannungsabfall an einer in Durchlaßrichtung vorgespannten Diode.

**[0060]** Diese Gleichung kann umgestellt werden:

$$R_s = \{(V_1 - V_D) - I_1(R_1 || R_2)\}/I_1$$

**[0061]** Die in Verbindung mit Fig. 2B und Fig. 2C vorgenommenen Messungen gestatten, daß  $R_1$  und  $R_2$  anhand von Meßwerten ausgedrückt werden. Namentlich können

$$I_2 = (V_1 - V_D)/(R_1 + R_s)$$

$$I_3 = (V_1 - V_D)/(R_2 + R_s)$$

folgendermaßen umgestellt werden:

$$R_1 = \{(V_1 - V_D) - I_2 R_s\}/I_2$$

$$R_2 = \{(V_1 - V_D) - I_3 R_s\}/I_3$$

**[0062]** Mit diesen Gleichungen kann  $R_s$  folgendermaßen ausgedrückt werden:



$$R_s = V_1(I_2 + I_3 - I_1)/2I_2I_3$$

**[0063]** Die vorangegangene Gleichung ist gültig, wenn  $R_s$  viel kleiner als  $(R_1 + R_2)$  ist, was normalerweise der Fall ist, weil  $R_1$  und  $R_2$  die Widerstände von Dioden verkörpern, während  $R_s$  der Widerstand des Halbleitersubstrats ist.

**[0064]** Diese letzte Gleichung ist nur anhand der Meßwerte des Stroms und der angelegten Spannung ausgedrückt.  $R_s$  kann daher unter Verwendung dieser Gleichung ausgedrückt werden.

**[0065]** Es ist nicht erforderlich, den Wert von  $R_s$  wirklich zu berechnen. Die Differenz der Ströme  $(I_2 + I_3 - I_1)$  ist ein hinreichender Indikator des Substratwiderstandes, so daß der tatsächliche Wert von  $R_s$  nicht in Ohm berechnet werden muß. Hier wird  $(I_2 + I_3 - I_1)$  nachfolgend ebenfalls als  $R_s$  bezeichnet. Im Tester von [Fig. 1](#) wird die Berechnung von  $R_s$  in der Steuerungsstation **112** durchgeführt.

**[0066]** Um zu bestimmen, ob die Zuleitungen **109(1)** und **109(2)** richtig mit der PCB verbunden sind, wird der berechnete Wert von  $R_s$  mit dem Bereich von bekannten guten Werten für diese Messung verglichen. Bekannte gute Werte werden normalerweise bestimmt, indem wiederholte Messungen an einer Platine vorgenommen werden, die als gut montiert bekannt ist. Wenn die gemessene Stromdifferenz erheblich unter dem Bereich von Erwartungswerten liegt, dann ist eine der Zuleitungen **109(1)**, **109(2)** und **109(3)** nicht mit der PCB verbunden, und ein Fehler wird angezeigt. Normalerweise wird ein Wert von ungefähr einem Drittel des bekannten guten Werts als ein Schwellwert verwendet.

**[0067]** Um eine PCB zu testen, ist es erforderlich, die Zuleitungen jedes Bauelements zum Testen paarweise auszuwählen. Jede Zuleitung sollte in mindestens einem Paar enthalten sein. Um eine volle Platine zu testen, wird das Schaltnetzwerk **114** dafür konfiguriert, zuerst ein Paar von Zuleitungen zu testen. Die Strommessungen werden durchgeführt, und der gemeinsame Widerstand zwischen diesen Anschlußstiften wird berechnet und mit dem Erwartungswert verglichen. Wenn ein Fehler auftritt, wird er auf irgendeine geeignete Weise gemeldet. Der Test geht dann weiter, indem ein anderes Paar getestet wird, und das Testen geht in dieser Weise weiter, bis alle Zuleitungen auf der PCB in einem Paar enthalten gewesen sind.

**[0068]** Wenn es auf der zu testenden PCB noch andere Bauelemente als integrierte Halbleiterbauschaltkreise gibt, können sie gemäß herkömmlichen Testmethoden in der Schaltung getestet werden. Testmethoden zur Überprüfung der richtigen Verbindung solcher Bauelemente wie Widerstände und Kondensatoren sind gut bekannt.

**[0069]** Das oben beschriebene Verfahren zum Testen eines Bauelements betrifft das paarweise Auswählen von Zuleitungen in Verbindung mit einer Massezuleitung. Beim Testen einer PCB hat ein Testingenieur normalerweise Zugriff auf eine sogenannte "Netzliste". Die Netzliste beschreibt, welche Zuleitungen miteinander verbunden sind, das heißt, auf dem gleichen "Netz" liegen. Das eine Netz auf der PCB ist das Massenetz, so daß es möglich ist, zu wissen, welche Zuleitungen jedes Bauelements mit Masse verbunden sind.

**[0070]** Die beim Testen verwendeten Paare von Zuleitungen können willkürlich ausgewählt werden, da das Testverfahren der Erfindung für jedes Paar von Zuleitungen an einem Bauelement funktionieren sollte.

**[0071]** Es kann jedoch erwünscht sein, einen "Lernmodus" zu verwenden. Im Lernmodus wird eine bekannte gute Platine in der Test-Einspannvorrichtung platziert, und Messungen werden an Paaren von Zuleitungen vorgenommen, bis eine Liste von beim Test zu verwendenden Zuleitungspaaren erzeugt worden ist.

**[0072]** Die Liste der Zuleitungspaare sollte vorzugsweise so kurz wie möglich sein, so daß der Test schnell abgeschlossen werden kann. Außerdem sollten die ausgewählten Paare ermöglichen, daß das Testen so genau wie möglich ist. Es gibt mehrere Möglichkeiten, wie Paare ausgewählt werden können, um zu ermöglichen, daß das Testen so genau wie möglich ist. Eine Möglichkeit besteht darin, nur Paare auszuwählen, die eine relativ hohe Stromdifferenz  $(I_2 + I_3 - I_1)$  ergeben. Bei dieser Möglichkeit ist es unwahrscheinlich, daß die Messung durch Rauschen beeinflusst wird. Außerdem können mehrere Paare verwendet werden, um eine Zuleitung zu testen, wenn sie bei der Messung durchgefallen sind. Bei dieser Möglichkeit wird kein falscher Fehler aufgrund eines Störsignals oder einer Abweichung in dem Bauelement auf der PCB gemeldet. Eine weitere Möglichkeit, den Test genauer zu machen, besteht darin, für jedes Paar von Anschlußstiften einen Spannungspegel zu "lernen", wobei dieses Paar von Anschlußstiften am genauesten getestet wird. Noch eine weitere Möglichkeit, den Test genauer zu machen, besteht darin, sicherzustellen, daß andere Bauelemente auf dem Netz keine falschen positiven Signale abgeben.

**[0073]** **Fig. 3** stellt einen Ablaufplan der Arbeitsweise des Testers **100** ([Fig. 1](#)) während des Lernmodus dar. Das Programm startet in Schritt **302**, indem eines der Bauelemente auf der bekannten guten PCB aus der Netzliste ausgewählt wird. In Schritt **304** wird eine Zuleitung an dem ausgewählten Bauelement ausgewählt. Im Schritt **306** wird eine zweite Zuleitung an dem Bauelement ausgewählt, um mit der in Schritt



**304** ausgewählten Zuleitung ein Paar zu bilden.

**[0074]** In Schritt **308** wird die Stromdifferenz ( $I_2 + I_3 - I_1$ ) für das ausgewählte Paar gemessen. Das Meßverfahren entspricht dem in Verbindung mit **Fig. 2** beschriebenen.

**[0075]** In Schritt **310** wird die gemessene Stromdifferenz mit dem Bereich verglichen, der für die Verwendung in einem Test geeignet ist. Für eine typische Platine beträgt dieser Bereich vorzugsweise 1  $\mu$ A bis 10  $\mu$ A. Wenn die gemessene Stromdifferenz im akzeptablen Bereich liegt, wird das Paar von Zuleitungen zu einer Datenbasis von Zuleitungspaaren hinzugefügt.

**[0076]** Der Ablauf geht dann in Schritt **314** weiter. Wenn es mehr Signalleitungen gibt, als mit der in Schritt **304** ausgewählten Zuleitung gepaart werden können, wird in Schritt **306** eine andere Zuleitung ausgewählt. Die Schritte **308**, **310** und, falls angegeben, Schritt **312** werden wiederholt.

**[0077]** Wenn es keine anderen Zuleitungen gibt, die mit der ersten ausgewählten Zuleitung gepaart werden können, geht der Ablauf zu Schritt **316** über. Wenn es an dem Bauelement noch weitere Zuleitungen gibt, die nicht als die erste Zuleitung in einem Paar verwendet worden sind, kehrt der Ablauf zu Schritt **304** zurück. Eine Zuleitung wird in Schritt **304** als die erste Zuleitung eines Paares ausgewählt. Die Schritte **306**, **308**, **310**, wenn nötig **312**, und **314** werden wiederholt, um weitere Zuleitungspaare zu der Datenbasis hinzuzufügen.

**[0078]** Wenn alle Zuleitungen, die sich an einem Bauelement befinden, gepaart sind, geht der Ablauf zu Schritt **318** über. Wenn im Netzplan noch weitere Bauelemente beschrieben sind, kehrt der Ablauf zu Schritt **302** zurück, wo ein weiteres Bauelement ausgewählt wird. Der Prozeß wird wiederholt, bis alle möglichen Paare mit Gleichtaktwiderständen in einem erwünschten Bereich identifiziert sind.

**[0079]** Der Programmablauf geht in **Fig. 3B** weiter, die die Prozeßschritte darstellt, die erforderlich sind, um aus der durch die Prozeßschritte in **Fig. 3A** erzeugten Datenbasis die in einem Test verwendeten Paare von Zuleitungen auszuwählen. In Schritt **320** wird ein Bauelement aus dem Netzplan ausgewählt.

**[0080]** In Schritt **322** wird bestimmt, ob das ausgewählte Bauelement mit einem anderen Bauelement parallelgeschaltet ist. Man sagt, daß zwei Bauelemente parallelgeschaltet sind, wenn zwei oder weitere Zuleitungen eines Bauelements mit zwei oder weiteren Zuleitungen des zweiten Bauelements verbunden sind. Ein Beispiel einer Parallelschaltung sind mit einem Adreßbus verbundene Chips. Der Adreßbus habe sechzehn getrennte Signalleitungen. Jede Sig-

nalleitung geht zu einer Zuleitung jedes mit dem Bus verbundenen Bauelements. Wenn die Bauelemente U1 und U2 beide mit dem Bus verbunden sind, können die Zuleitungen L1 bis L16 des Bauelements U1 mit den Leitungen des Busses verbunden sein, während die Zuleitungen L17 bis L32 des Bauelements U2 mit den Leitungen des Busses verbunden sein können. Somit sind die Zuleitungen L1 bis L16 von U1 jeweils mit einer der Zuleitungen L17 bis L32 von U2 verbunden.

**[0081]** Zum Testen gemäß der Erfindung ist es nicht erwünscht, ein Paar Zuleitungen aus der Menge auszuwählen, das mir Leitungen verbunden ist, die mit einem anderen Bauelement geteilt werden. Zum Beispiel sind die Zuleitungen L1 und L2 von Bauelement U1 mit den Zuleitungen L17 und L18 von Bauelement U2 verbunden. Wenn die Zuleitungen L1 und L2 als ein Paar für einen Test ausgewählt würden und der Test eine richtige Verbindung anzeigte, wäre es nicht möglich zu bestimmen, ob der Test eine korrekte Verbindung gemeldet hat, weil L1 und L2 an U1 richtig verbunden sind oder weil L17 und L18 an U2 richtig verbunden sind. Demzufolge würde die Auswahl von L1 und L2, um U1 zu testen, keine Fehler aufdecken.

**[0082]** Wenn es, wie in Schritt **322** bestimmt wurde, Parallelschaltungen zu dem ausgewählten Bauelement gibt, geht der Ablauf mit dem Schritt **324** weiter. In Schritt **324** werden unikale Zuleitungen identifiziert. Eine unikale Zuleitung ist eine, die mit einer anderen Zuleitung an diesem Bauelement so gepaart werden kann, daß beide nicht mit Zuleitungen an anderen Bauelementen verbunden sind. Wenn im obigen Beispiel die Zuleitung L17 von Bauelement U1 nicht mit Bauelement U2 verbunden wäre, wäre sie eine unikale Zuleitung, die mit den Zuleitungen L1 bis L16 für einen Test gepaart werden könnte.

**[0083]** Der Ablauf geht dann zu Schritt **326** über, in dem disjunkte Paare ausgewählt werden. Disjunkte Paare sind Paare von Zuleitungen, von denen im größtmöglichen Umfang keine Zuleitungen verwendet werden, um weitere als ein Paar zu bilden. Wenn ein Bauelement zum Beispiel zehn Signalleitungen hat, können diese Zuleitungen in fünf disjunkte Paare gruppiert werden. Wenn das Bauelement jedoch mit einem anderen Bauelement parallelgeschaltet ist, kann es nötig sein, daß eine unikale Zuleitung in mehreren Paaren verwendet wird, so daß einige Paare diese unikale Zuleitung gemeinsam haben. Ebenso kann es sein, daß infolge der in Schritt **310** (**Fig. 3A**) getroffenen Bestimmung Paare, die benötigt werden, um disjunkte Paare zu bilden, nicht in der Datenbasis von Anschlußstiftpaaren enthalten sind. Die Menge der ausgewählten Anschlußstiftpaare kann jedoch minimiert werden, indem Paare mit so geringer Überlappung wie möglich ausgewählt werden.

**[0084]** Der Ablauf geht dann zu Schritt **328** über. Sobald eine Menge von Paaren ausgewählt worden ist, um jede Zuleitung an dem Bauelement zu testen, werden sekundäre Paare ausgewählt, um jede Zuleitung an dem Bauelement zu testen. Diese sekundären Paare werden einem Test unterzogen, wenn der Test des primären Paares einen Fehler anzeigt. Zum Beispiel können die Zuleitungen L1 und L17 als ein primäres Paar ausgewählt werden. Wenn dieses Paar beim Testen zu einer Anzeige führte, daß es einen Fehler gab, können andere sekundäre Paare, die L1 und L17 aufweisen, getestet werden. Die zusätzlichen Tests können anzeigen, daß es in Wirklichkeit keinen Fehler gab, oder können den Fehler einer der beiden Zuleitungen in dem primären Paar zuordnen. In einer bevorzugten Ausführungsform werden sechs sekundäre Paare ausgewählt.

**[0085]** Wenn das ausgewählte Bauelement nicht mit anderen Bauelementen parallelgeschaltet ist, geht der Ablauf in Schritt **330** weiter. In Schritt **330** werden disjunkte Paare ausgewählt. Schritt **330** ist identisch mit Schritt **326**, außer daß man in Schritt **330** nicht auf die Verwendung unikaler Zuleitungen achten muß. Der Ablauf geht dann zu Schritt **332** über, wo sekundäre Paare ausgewählt werden. Schritt **332** ist ähnlich zu Schritt **328**, außer daß man nicht auf die Verwendung unikaler Zuleitungen achten muß.

**[0086]** Sobald die sekundären Paare ausgewählt sind, geht der Ablauf in Schritt **334** weiter. Wenn es in Schritt **334** noch weitere Bauelemente gibt, kehrt der Ablauf zu Schritt **320** zurück, wo ein anderes Bauelement ausgewählt wird. Der Prozeß des Auswählens von disjunkten und sekundären Paaren geht für alle verbleibenden Bauelemente weiter.

**[0087]** Sobald die Paare, die einen Test bilden, ausgewählt sind, geht der Ablauf in Schritt **336** weiter. Das erste in dem Test zu verwendende Paar von Zuleitungen wird ausgewählt. Diese Zuleitungen werden mit einer Spannungsquelle und einem Amperemeter verbunden, wie in [Fig. 2A](#) dargestellt. Eine erste Spannung wird an die Schaltung angelegt, und der Strom wird gemessen. Die Spannung wird dann erhöht, und der Strom wird dann gemessen.

**[0088]** In Schritt **340** werden die angelegten Spannungen und die gemessenen Ströme verglichen. Wenn der Strom nicht im wesentlichen linear mit der Erhöhung der Spannung gestiegen ist, zeigt dies an, daß die angelegte Spannung nahe oder unterhalb der Einschaltspannung der Dioden  $D_1$  und  $D_2$  liegt. Wenn der erste Spannungspegel nahe der Einschaltspannung der Diode lag, sollte der Strom um einen viel größeren Prozentsatz als die Spannung steigen. Bei einem solchen Szenarium wäre es ratsam, eine höhere Spannung für den Test zu verwenden. Andernfalls könnten geringfügige Änderungen in der

beim Test verwendeten Spannungsquelle stark schwankende Ergebnisse erzeugen. Dementsprechend geht der Ablauf, wenn in Schritt **340** ein nichtlinearer Anstieg des Stroms ermittelt wird, zu Schritt **342** über, wo eine Angabe in Verbindung mit diesem Paar von Zuleitungen gespeichert wird, daß eine höhere Spannung verwendet werden sollte.

**[0089]** Die höhere Spannung kann ein vorbestimmter Wert sein. Alternativ kann die höhere Spannung adaptiv ausgewählt werden. Um eine Spannung adaptiv auszuwählen, kann die anfängliche Spannung so ausgewählt werden, daß sie null oder ein sehr kleiner Wert ist. Die Spannung kann dann in kleinen Schritten erhöht werden, bis ein nichtlinearer Anstieg des Stroms beobachtet wird. Dieser nichtlineare Anstieg des Stroms signalisiert, daß die Durchbruchspannung der Dioden erreicht worden ist. Die Spannung kann dann um einen kleinen Betrag oberhalb der Durchbruchspannung erhöht werden. Die Spannung sollte um einen Betrag oberhalb der Durchbruchspannung eingestellt werden, der größer als die erwartete Variabilität der Spannungsquelle ist. Jedoch sollte die Spannung nicht auf einen so hohen Wert eingestellt werden, daß sie einen Strom erzeugt, der die zu prüfenden Bauelemente beschädigen würde.

**[0090]** Der Ablauf geht dann über zu Schritt **344**, wo bestimmt wird, ob weitere Paare geprüft werden müssen. Wenn noch weitere Paare verbleiben, kehrt der Ablauf zu Schritt **336** zurück, wo ein anderes Paar ausgewählt wird, und der Prozeß wird wiederholt.

**[0091]** Nachdem eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung beschrieben wurde, wird für einen Fachmann erkennbar, daß mehrere alternative Ausführungsformen ausgebildet werden können. Zum Beispiel stellt [Fig. 4](#) eine alternative Art dar, einen Strom zu messen, der den Wert der Gleichaktwiderstände zwischen zwei Zuleitungen anzeigt. [Fig. 4](#) stellt ein Amperemeter **406** dar, das mit einer Zuleitung **109(1)** verbunden ist. Eine Spannungsquelle **404** ist mit dem Amperemeter **406** in Reihe geschaltet. Wenn die Spannungsquelle **404** eingeschaltet ist, wird ein erster Strom gemessen. Als nächstes wird eine Spannungsquelle **402** mit der Zuleitung **109(2)** verbunden. Wenn beide Spannungsquellen **402** und **404** eingeschaltet sind, wird durch das Meßgerät **406** erneut der Strom gemessen. Die Änderung des Stroms ist ein Indikator des Gleichaktwiderstandes. Eine Änderung des Stroms zeigt an, daß die Zuleitungen **109(1)**, **109(2)** und **109(3)** richtig verbunden sind.

**[0092]** Die Spannungspegel der Quellen **402** und **404** können fest eingestellt sein oder gemäß einer der oben beschriebenen Methoden variiert werden. Werte von 0,9 V für Quelle **404** und 1,2 V für Quelle **402** sind als für viele Typen von integrierten Schaltkreisen geeignet herausgefunden worden.

**[0093]** Das in [Fig. 4](#) dargestellte Verfahren hat den Vorteil, daß es weniger Messungen und geringeren Rechenaufwand als das in [Fig. 2](#) dargestellte Verfahren erfordert. Es kann daher verwendet werden, um eine Platine schneller zu testen. Dagegen sind aber zwei getrennte Spannungsquellen für Signalpegel, die genau gemessen werden können, erforderlich.

**[0094]** Um höhere Testgeschwindigkeit und -genauigkeit zu ermöglichen, kann die Schaltung von [Fig. 5](#) verwendet werden. Diese Schaltung mißt Änderungen eines Signals genau. [Fig. 5](#) stellt eine Schaltung dar, die ein Meßgerät wie etwa das Amperemeter **406** ersetzen und es nicht weiter notwendig machen würde, eine Stromdifferenz aus zwei Messungen zu berechnen.

**[0095]** Die Schaltung von [Fig. 5](#) weist einen Signalsensor auf. Um Änderungen in einem Stromsignal zu erfassen, kann der Signalsensor ein Widerstand oder ein magnetischer Aufnehmer sein. Pufferverstärker oder andere technische Standardmethoden können ebenfalls verwendet werden. Auf einen Signalsensor kann verzichtet werden, wenn Änderungen in einem Spannungssignal gemessen werden.

**[0096]** Das durch den Signalsensor **502** erzeugte Spannungssignal wird zum Schalter **504** weitergeleitet. Anfangs ist der Schalter **504** dafür konfiguriert, den Signalsensor **502** mit der Abtast- und Halteschaltung **506** zu verbinden. Die Abtast- und Halteschaltung **506** speichert den Pegel des Signals zum ersten Mal.

**[0097]** Der Schalter **504** wird dann umgeschaltet, so daß er den Signalsensor **502** mit einem ersten Eingang des Differenzverstärkers **508** verbindet. Der zweite Eingang des Differenzverstärkers **508** wird mit der Abtast- und Halteschaltung **506** verbunden. Somit berechnet der Differenzverstärker **508** den Betrag, um den sich das Eingangssignal geändert hat. Dieser Wert wird durch einen Analog/Digital-Umsetzer **510** in eine analoge Form konvertiert. Dieser digitale Wert kann direkt an die Steuerungsstation **112** übergeben werden. Steuerungssignale, die benötigt werden, um Änderungen wie oben beschrieben zu messen und diese Messungen mit der Verbindung von Quellen zu der zu prüfenden Schaltung zu koordinieren, werden nicht explizit dargestellt. Es wird anerkannt, daß solche Steuerungselemente erforderlich sind und gemäß üblicher Entwurfspraxis implementiert werden sollten.

**[0098]** Andere Abwandlungen sind ebenfalls möglich. Zum Beispiel wurde beschrieben, daß drei Strommessungen vorgenommen werden. Es wird anerkannt, daß die Reihenfolge, in der die Messungen vorgenommen werden, für das Ergebnis nicht wichtig ist. Außerdem wurde beschrieben, daß zwei Zuleitungen verwendet werden, um die Messung des

Gleichtaktwiderstandes vorzunehmen. Jede beliebige Anzahl von Anschlußstiften könnte verwendet werden. Auch war die Genauigkeit der in einer bevorzugten Ausführungsform verwendeten Spannungsquelle gegeben. Die Genauigkeit ist für die Erfindung nicht entscheidend, wenngleich ein weniger genauer Test erfolgt, wenn eine weniger genaue Quelle verwendet wird. Auch ist es nicht erforderlich, daß die Spannungsquelle konstant ist. Genaue Ergebnisse können erzielt werden, wenn die Schwankungen der Spannungsquelle vorausgesagt werden können und die Stromänderungen proportional zu den Änderungen in der Spannungsquelle skalieren. Ähnliche Überlegungen gelten für die Genauigkeit der für den Test verwendeten Amperemeter. Wenn ein weniger genaues Meßgerät verwendet wird, können bekannte Signalverarbeitungsmethoden verwendet werden, um den Test genauer zu machen. Zum Beispiel kann das Signal verstärkt werden, bevor es gemessen wird, um die Signifikanz der Mängel des Messungsprozesses zu verringern. Auch kann die Signifikanz von Meßfehlern verringert werden, indem man mehrere Strommessungen vornimmt und dann den Mittelwert bildet.

**[0099]** Auch kann die Methode verwendet werden, um Bauelemente zu identifizieren, die rückseitig in die PCB eingesetzt wurden. Wenn das Bauelement nicht symmetrisch ist, befindet sich seine Massezuleitung nicht an der erwarteten Stelle, wenn das Bauelement rückseitig eingesetzt wird, und alle getesteten Paare zeigen eine offene Schaltung an. Wenn das Bauelement symmetrisch ist, wird auch dann eine Verbindung zu einer Massezuleitung hergestellt, wenn es rückseitig eingesetzt wird. Die Methode kann jedoch angepaßt werden, um ein Profil jedes auf der PCB zu montierenden Bauelements zu erzeugen, indem die erwarteten Gleichtaktwiderstände, die an jedem Paar gemessenen wurden, gespeichert werden. Wenn das Bauelement rückseitig eingesetzt wird, kann es sein, daß die gemessenen Gleichtaktwiderstände anzeigen, daß alle Zuleitungen des Bauelements verbunden sind, aber nicht zu dem gespeicherten Profil passen. Auf diese Weise kann ein rückseitig eingesetzter symmetrischer Chip ermittelt werden.

**[0100]** Daher wird die Erfindung nur durch den Schutzbereich der beigefügten Ansprüche eingeschränkt.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Erfassen von offenen Schaltungen auf einer gedruckten Schaltungsplatine, die mit einer Vielzahl von Komponenten bestückt ist, wobei jede eine Vielzahl von Signalzuleitungen und wenigstens eine Massezuleitung, verbunden mit den leitenden Bahnen auf der gedruckten Schaltungsplatine, aufweist, wobei das Verfahren die folgenden Schritte

umfasst:

- (a) Verbinden eines Anschlusses einer Spannungsquelle mit der Massezuleitung und des zweiten Anschlusses der Spannungsquelle mit zwei Signalzuleitungen und Messen des Stromflusses durch die Spannungsquelle, während ein vorgegebener Spannungspegel angelegt wird;
- (b) Verbinden eines Anschlusses der Spannungsquelle mit der Massezuleitung und des zweiten Anschlusses mit einer ersten der zwei Signalzuleitungen und Messen des Stromflusses durch die Spannungsquelle, während der vorgegebene Spannungspegel angelegt wird;
- (c) Verbinden eines Anschlusses der Spannungsquelle mit der Massezuleitung und des zweiten Anschlusses mit der zweiten der zwei Signalzuleitungen und Messen des Stromflusses durch die Spannungsquelle, während der vorgegebene Spannungspegel angelegt wird;
- (d) Berechnen eines Indikators eines gemeinsamen Widerstands zwischen den zwei Signalzuleitungen und der Massezuleitung, der die Differenz zwischen dem im Schritt (a) gemessenen Strom und der Summe der in den Schritten (b) und (c) gemessenen Ströme ist; und
- (e) Anzeigen eines Defekts, wenn der Indikator des gemeinsamen Widerstands außerhalb eines vorgegebenen Bereiches ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die drei angegebenen Schritte zum Verbinden einer Spannungsquelle ein Verbinden der gleichen Spannungsquelle umfassen.

3. Verfahren nach Anspruch 1, zusätzlich umfassend ein Wiederholen der Schritte (a) bis (e) für eine Vielzahl von Paaren von Signalzuleitungen an einer Vielzahl von Komponenten, die auf der gedruckten Schaltungsplatine montiert sind, wobei die vorgegebene Spannung verändert wird, um Strommessungen für die Paare von Signalzuleitungen auf einem Abschnitt der Vielzahl von Komponenten, die auf der gedruckten Schaltungsplatine montiert sind, durchzuführen.

4. Verfahren zum Testen einer gedruckten Schaltungsplatine mit einer Vielzahl von darauf angebrachten Komponenten, wobei jede eine Vielzahl von Signalzuleitungen und wenigstens eine Massezuleitung, darauf angebracht, aufweist, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:

- (a) Anlegen einer Spannung an eine erste Zuleitung der Vielzahl von Signalzuleitungen;
- (b) Anlegen einer Spannung an eine zweite Zuleitung in der Vielzahl von Signalzuleitungen;
- (c) Berechnen eines Indikators eines gemeinsamen Widerstands, der die Differenz in dem Signal an der ersten Zuleitung, wenn die Spannung an die zweite Zuleitung angelegt wird und wenn sie nicht angelegt wird, ist; und

(d) Anzeigen eines Defekts, wenn der Indikator des gemeinsamen Widerstands außerhalb eines vorgegebenen Bereiches ist.

5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei das Berechnen des Indikators des gemeinsamen Widerstands die Verwendung einer Schaltung mit einer Abtastung und Haltung und einen differentiellen Verstärker einschließt, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:

- (a) Verbinden eines Signals, das einen Strom in der ersten Zuleitung anzeigt, mit einer Abtast- und Halte-Schaltung;
- (b) Verbinden eines Signals, das einen Strom in der zweiten Zuleitung anzeigt, mit einem ersten Eingang eines differentiellen Verstärkers; und
- (c) Verbinden des Ausgangs der Abtast- und Halte-Schaltung mit einem zweiten Eingang des differentiellen Verstärkers.

6. Verfahren nach Anspruch 4, zusätzlich umfassend ein Wiederholen der Schritte (a) und (b) für eine Vielzahl von Paaren von Signalzuleitungen an einer Vielzahl von Komponenten, die auf der gedruckten Schaltungsplatine angebracht sind, und wobei die Spannung für unterschiedliche Paare von Signalzuleitungen verändert wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei die Paare von Signalzuleitungen während eines "Lernmodus" ausgewählt werden, während eine bekannte gute gedruckte Schaltungsplatine mit einem Testsystem verbunden ist.

8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei der Lernmodus ein Suchen nach Gruppen von Zuleitungen an einer Komponente auf der gedruckten Schaltungsplatine, die nicht mit irgendeiner Zuleitung an einer zweiten Komponente verbunden sind, einschließt.

9. Verfahren nach irgendeinem der vorangehenden Ansprüche, wobei Spannungsquellen DC Pegel zwischen 0,7 und 1,2 Volt aufweisen.

10. Vorrichtung zum Erfassen von offenen Schaltungen auf einer gedruckten Schaltungsplatine, programmiert zum Ausführen eines Verfahrens nach irgendeinem der Ansprüche 1 bis 9.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

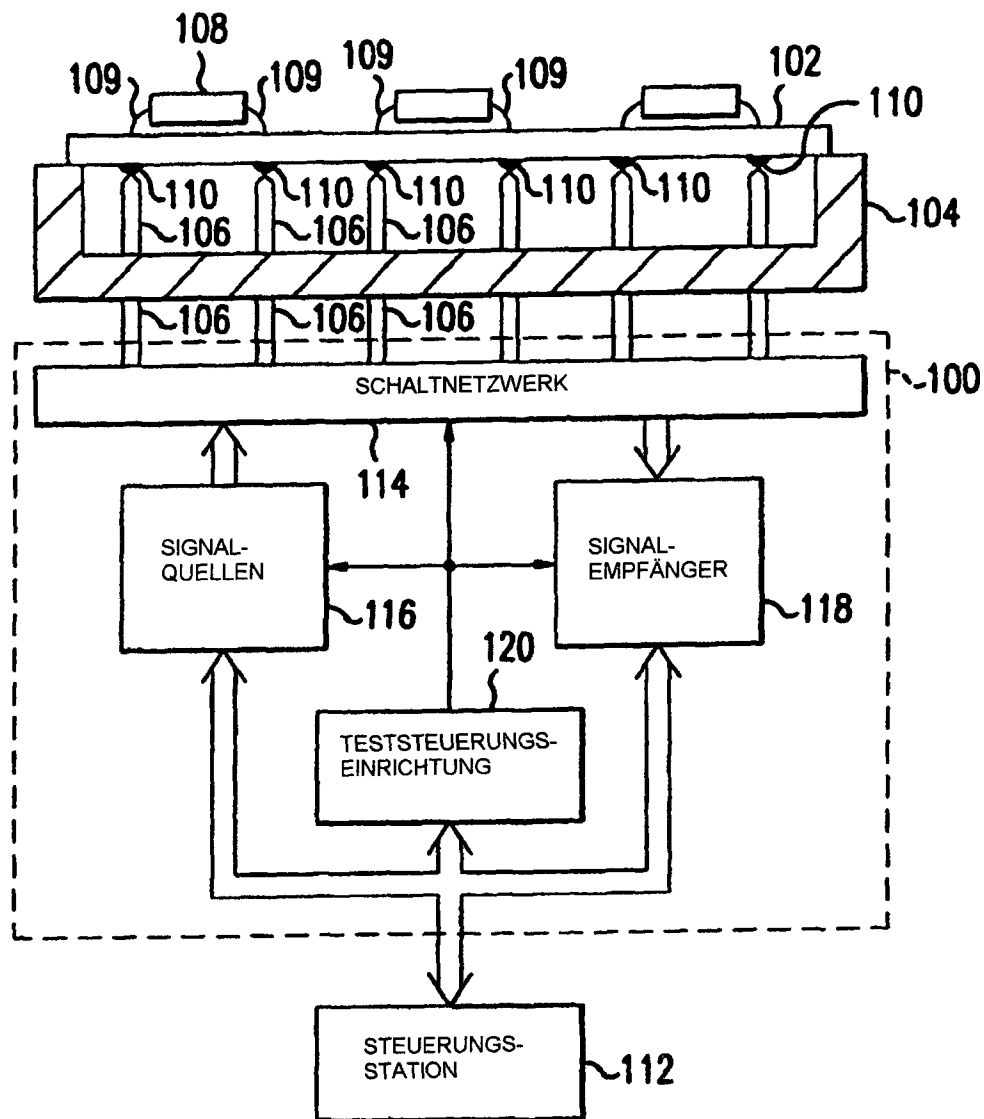


FIG.1

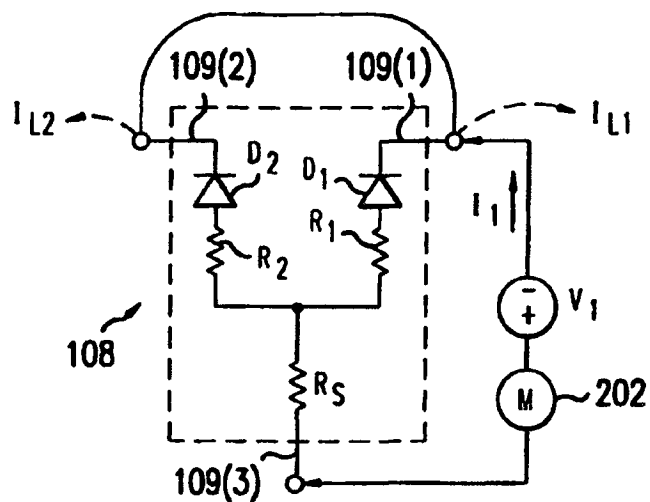


FIG.2A

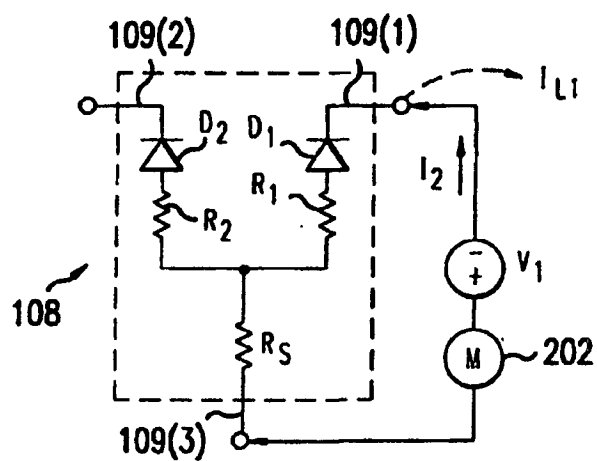


FIG.2B

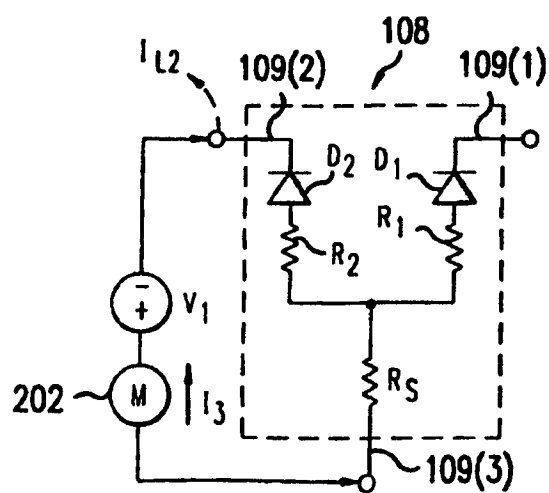


FIG.2C

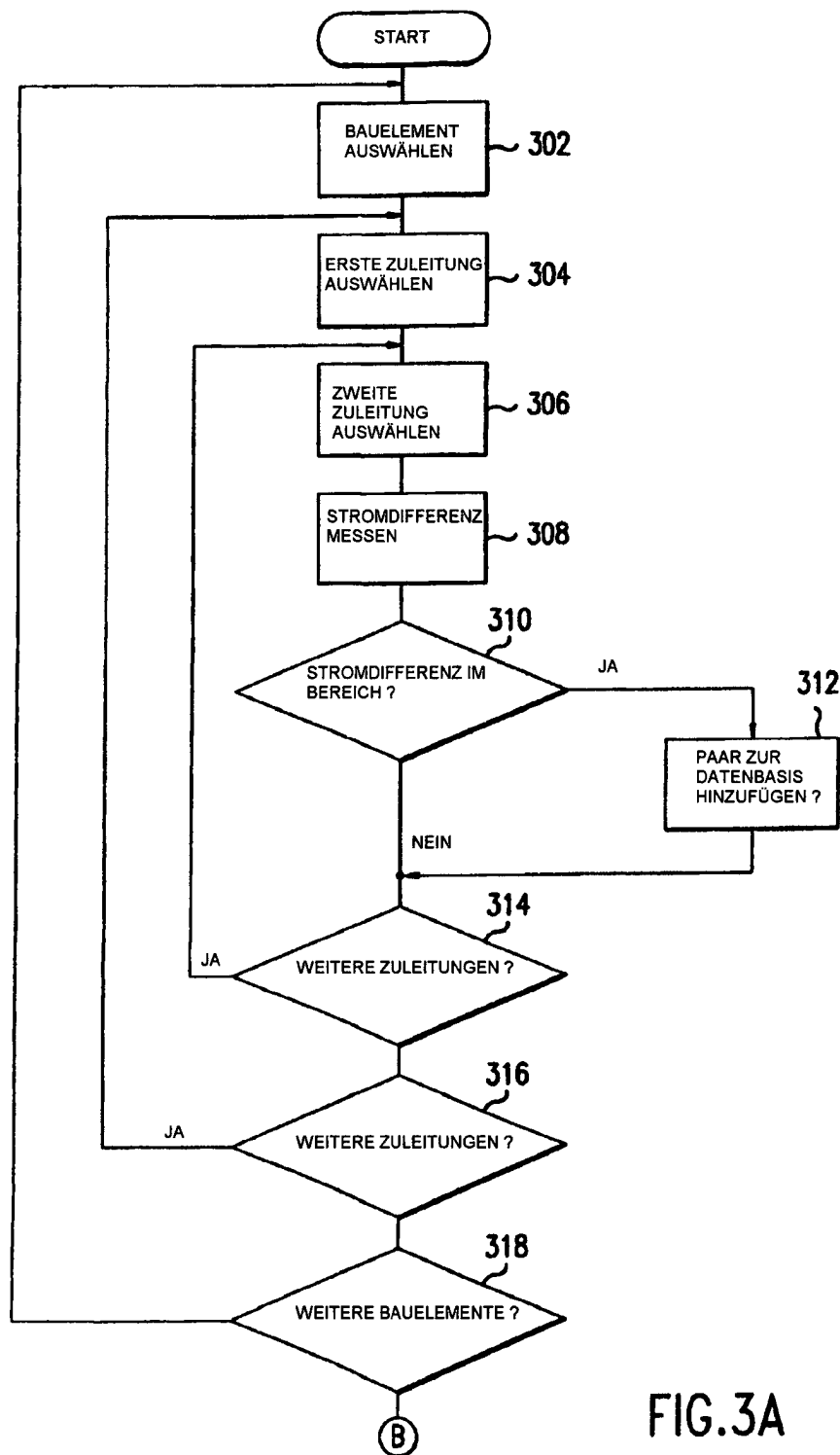
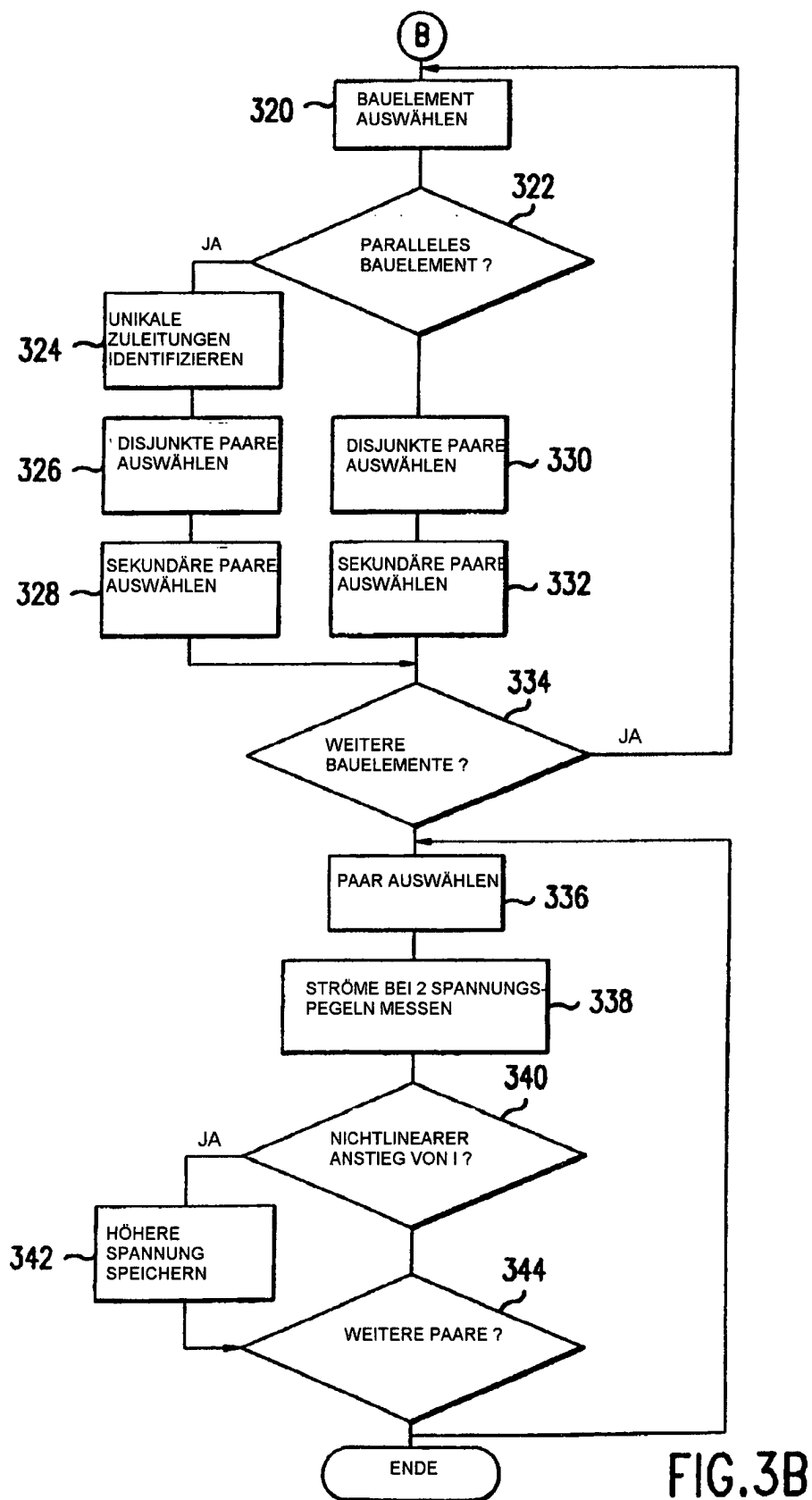


FIG.3A





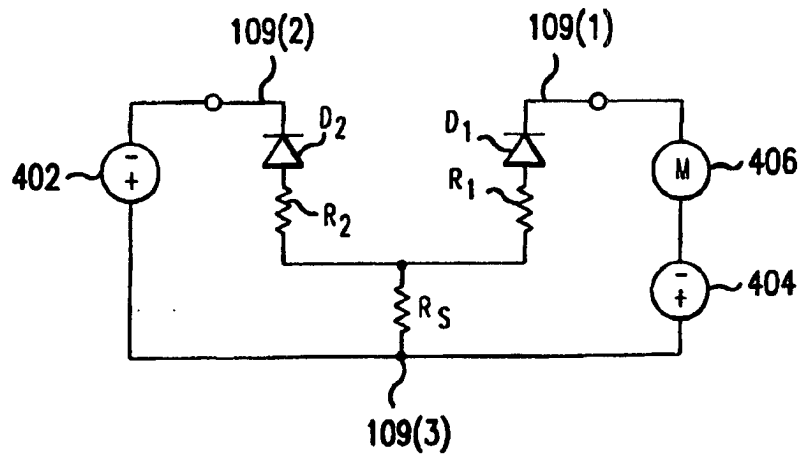


FIG.4

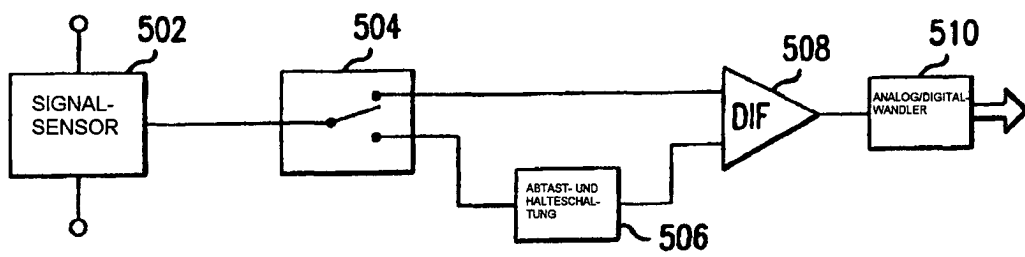


FIG.5