(19) **Bundesrepublik Deutschland**
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 695 33 775 T2** 2005.11.24

(12) # Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 775 318 B1**
(21) Deutsches Aktenzeichen: **695 33 775.0**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US95/01145**
(96) Europäisches Aktenzeichen: **95 909 369.1**
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 95/020767**
(86) PCT-Anmeldetag: **26.01.1995**
(87) Veröffentlichungstag der PCT-Anmeldung: **03.08.1995**
(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **28.05.1997**
(97) Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: **17.11.2004**
(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **24.11.2005**

(51) Int Cl.[7]: **G01R 31/312**

(30) Unionspriorität:
188385 **27.01.1994** **US**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, FR, GB

(73) Patentinhaber:
GenRad, Inc., Concord, Mass., US

(72) Erfinder:
KHAZAM, Moses, Lexington, US; BLUMENAU, M., Steven, Holliston, US

(74) Vertreter:
Meissner, Bolte & Partner GbR, 80538 München

(54) Bezeichnung: **KAPAZITIVER KONTINUITÄTSTEST MIT VERBESSERTER SCHWELLENWERTBESTIMMUNG**

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

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft das Überprüfen elektronischer Leiterplatten und insbesondere das Erfassen offener Schaltkreise zwischen Bauteilpins und den Leiterplattenbahnen, an die sie elektrisch angeschlossen sein sollten.

[0002] Ein Überprüfen auf ordnungsgemäßes Funktionieren elektronischer Leiterplatten wurde Jahrzehnte lang automatisch durchgeführt, und die meiste Zeit wurden verschiedene Prüfverfahren verwendet, um offene Schaltkreise zwischen Bauteilpins und den Leiterplattenbahnen aufzuspüren, an denen sie angelötet oder anderweitig elektrisch angeschlossen sein sollten. Für einen Großteil der Leiterplattenprüfung in der Vergangenheit waren jedoch solche offenen Schaltkreise von relativ untergeordnetem Belang. Sie kamen verhältnismäßig selten vor, so dass ein manuelles Prüfen, um sie zu diagnostizieren, in den meisten Situationen tragbar war.

[0003] Wir beziehen uns hier auf „manuelles" Prüfen, weil die meisten durchsatzstarken Tests auf eine stärker automatisierte Weise durchgeführt werden. Typischerweise wird die Platte in einer „Nagelbrett"-Befestigung untergebracht, worin eine große Anzahl von Federmesswertaufnehmern oder „Nägeln" gleichzeitig jeweilige Knoten am Boden der zu prüfenden Platte berühren und ein Benutzer diese Messwertaufnehmer nicht manuell positionieren muss. In einem automatischen Schaltungsprüfgerät schließen dann verschiedene automatische Schalteinrichtungen die Nägel an verschiedene Treiber- und Abtastschaltungen an, wodurch die Leiterplatte mit einer Anregung beaufschlagt und ihr Ansprechen aufgezeichnet wird.

[0004] In der Vergangenheit wurde dieser Lösungsweg nicht typischerweise dazu verwendet, offene Pins aufzuspüren, weil die Nägel typischerweise den „Boden" bzw. die bauteilfreie Seite der gewöhnlichen „einseitigen" Leiterpatte berühren, während der unkomplizierteste Weg zum Uberprüfen des richtigen Pinanschlusses es mit sich bringt, einen Messwertaufnehmer auf den Bauteilpin zu setzen, welcher sich auf der anderen Seite der Platte befindet, um zu bestimmen, ob ein an die Leiterplattenbahn angelegtes Signal am Pin erscheint.

[0005] Offene Pins sind in letzter Zeit aber zu einem Problem mit stärkerer Bedeutung geworden. Der Grund dafür liegt größtenteils darin, dass die Pinabstände zunehmend enger wurden, und dies machte es schwerer, den Pin mit seiner richtigen Anordnung auf der Platte genau einzupassen. Hersteller von Prüfgeräten begannen vor kurzem deshalb mit der Bemühung, stärker automatisierte Einrichtungen zum Prüfen offener Bauteilpins bereitzustellen. Offensichtlich wäre der beste Lösungsweg einer, der ausschließlich durch das Nagelbrett hindurch stattfinden kann, ohne die zusätzliche Befestigungskomplexität, die notwendig ist, um einen physikalischen Zugang zur Bauteilseite der Platte zu bieten. Ein automatischer Zugang zur Bauteilseite der Platte erfordert typischerweise sogenannte Zweischalengreiferbefestigungen, die zwei Messwertaufnehmergruppierungen einsetzen, eine für jede Seite der Leiterplatte. Solch eine Anordnung erfordert Einbußen bei den Befestigungskosten und dem Durchsatz und macht einen Großteil des Grunds dafür aus, warum die Hersteller herkömmlicher Weise einseitige Platten bevorzugt hatten: sie konnten ohne Zweischalengreiferbefestigungen geprüft werden.

[0006] Die Bemühungen bei der Entwicklung von Tests offener Pins konzentrierten sich deshalb anfangs auf Lösungswege, die nur eine einzelne Nagelbrettmesswertaufnehmergruppierung erforderlich machte, und es wurden einige Lösungswege entwickelt, die offene Pins in einem weitläufigeren Bereich von Situationen erfassen können, ohne auf Zweischalengreiferbefestigungen zurückzugreifen. Es gibt aber gewisse eingeschränkte Testsituationen, die sich bislang für eine Uberprüfung von einseitigen offenen Schaltkreisen noch nicht als zugänglich erwiesen haben. Dies sind für gewöhnlich Situationen, bei denen die Vollständigkeit der Instrumente des Prüfgeräts eher eingeschränkt und/oder auf der Platte Bauteile verwendet werden, wie kundenspezifische ASICs, für welche keine entsprechenden Diagnosedaten erhältlich sind. Weil eine frühe Lösung für das Problem, einseitige Prüfungen nach offenen Schaltkreisen zu finden, in diesen Situationen als aussichtslos zu erscheinen begann, zogen die Prüfgerätehersteller schließlich die Schlussfolgerung, dass sie Tests bereitstellen mussten, die auf Zweischalengreiferbefestigungen zurückgreifen. Es sind die Tests dieser Art, auf die sich die nachstehend beschriebene Erfindung richtet.

[0007] Prüfumstände auf der Bauteilseite der Platte unterscheiden sich von denjenigen, die auf der bauteilfreien Seiten vorherrschen. Als Prüfziel ist beispielsweise ein Bauteilpin viel zerbrechlicher und manchmal schwieriger zu treffen. Darüber hinaus ist es praktisch unmöglich, einen tatsächlichen Kontakt mit einem Pin eines in SMT-Technik hergestellten, also oberflächenmontierten Bauteils herzustellen (SMT – surface-mount-technology). So waren bauteilseitige Messwertaufnehmer, die für durchsatzstarke Kontinuitätstests vorgeschlagen wurden, für gewöhnlich von der berührungsfreien Art und typischerweise kapazitiv.

[0008] In einem typischen Test, der einen kapazitiven Messwertaufnehmer verwendet, wie er in der US 4 583 042 beschrieben ist, wird das Erregersignal (ty-

pischerweise von der bauteilfreien Seite her) an eine Bahn angelegt, an welche der fragliche Bauteilpin angeschlossen sein sollte. Natürlich ist der Pin in einem Bauteilgehäuse angebracht, in dem eine integrierte Schaltung und die interne Verbindung zwischen dem Pin und der integrierten Schaltung oftmals von einem Anschlussrahmen bereitgestellt wird. Der Anschlussrahmen stellt eine leitfähige Fläche dar, die das Pinsignal kapazitiv in einen kapazitiven Messwertaufnehmer in Form einer leitfähigen Platte einkoppeln kann, die neben der oberen Fläche des Bauteilgehäuses angeordnet ist.

[0009] Um nun zu bestimmen, ob der Anschluss richtig hergestellt wurde, misst das kapazitive Kontinuitätstestverfahren im Wesentlichen die Reihenkapazität im Pfad von der Leiterbahn durch den Pin und den Anschlussrahmen bis zum Kapazitätsmesswertaufnehmer. Besteht eine Verbindung zwischen Bahn und Pin, besteht diese Kapazität hauptsächlich aus der Kapazität zwischen dem Kapazitätsmesswertaufnehmer und dem an den zu prüfenden Pin angeschlossenen Anschlussrahmenschenkel. Ein unsauberer Anschluss bringt eine weitere, viel geringere Kapazität zwischen den Bauteilpin und die Bahn, an welche er angeschlossen sein sollte. Dies führt zu einer sehr niedrigen Reihenkapazität und somit zu einer sehr hohen Impedanz, was das aus dem Pfad in den Messwertaufnehmer eingekoppelte Signal stark dämpft. Die Abwesenheit eines deutlichen Signals kann deshalb als Indikator für einen offenen Pin gesehen werden.

[0010] Während die vorstehende Beschreibung eines Kapazitätstests die Art und Weise beschreibt, auf die er idealer Weise ablaufen sollte, treten doch in der Praxis Komplikationen auf. Die Leiterplattentopologie kann zu Kapazitäten führen, die zu der in Frage kommenden anschlussabhängigen Kapazität parallel ist, und kann somit eine signifikante gemessene Kapazität ergeben, selbst wenn der Pin offen ist. Und das Festsetzen eines Schwellenwerts, um solche anschlussunabhängigen Werte anzupassen, ist aufgrund der Tatsache schwierig, dass es sein kann, dass die Kapazität, die für einen Pin einen richtigen Anschluss anzeigt, kein solcher Indikator für einen anderen Pin ist. Tatsächlich bestehen oft Unterschiede selbst für entsprechende Pins desselben Leiterplattenbauteiltyps, die an unterschiedlichen Stellen auf der Platte angebracht sind. Ein Ergebnis davon ist, dass der Kapazitätstest nicht besonders zuverlässig ist, wenn dieselbe Schwellenwertstufe als das Kriterium zur Bestimmung des richtigen Anschlusses jedes Pins verwendet wird; die Verwendung eine hohen Stufe läuft einheitlich darauf hinaus, zu unnötig hohen Frequenzen der Anzeigen der falschen offenen Schaltkreise zu führen, während die Verwendung einer niedrigen Stufe einheitlich darauf hinausläuft, zu viele offene Schaltkreise unerfasst durchgehen zu lassen.

[0011] Um die Zuverlässigkeit zu erhöhen, wird ein Prüfgerät typischerweise einem „Training" unterzogen. Beim Training finden Kapazitätsmessungen für die verschiedenen Pins einer bekannten, ordnungsgemäßen Platte des zu prüfenden Typs statt. Die auf diese Weise ermittelten Werte werden gespeichert und bei der Durchsetzung der Kriterien verwendet, durch welche die Anschlussintegrität beurteilt wird. Insbesondere wenn die Kapazität, die für einen bestimmten Pin auf einer bekannten, ordnungsgemäßen Platte gemessen wurde, einen bestimmten Wert hat, dann wird der entsprechende Pin auf einer unter Prüfung befindlichen Platte als nicht richtig angeschlossen beurteilt, wenn die gemessene Kapazität weniger als einen vorbestimmten Prozentsatz der Kapazität beträgt, die für diesen Pin auf der bekannten, ordnungsgemäßen Platte gemessen wurde. Indem somit ein Training in Verbindung mit dem Prüfprozess eingesetzt wird, wird die Zuverlässigkeit des Prüfprozesses beträchtlich erhöht.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0012] Wir haben aber herausgefunden, dass sogar noch mehr Zuverlässigkeit erzielt werden kann, wenn die Ergebnisse des Trainingsvorgangs so verarbeitet werden, dass der Bruchteil der gemessenen Kapazität geschätzt wird, der unabhängig vom Anschlusszustand des zu prüfenden Pins ist. Bei jedem Pin bleibt eine gewisse, wenn auch in manchen Fällen sehr geringe Kapazität zurück, auch wenn der Pin nicht angeschlossen ist. Die Größe dieses anschlussunabhängigen Teils des Kapazitätsmesswerts variiert aus verschiedenen Gründen von Pin zu Pin, wobei ein Hauptgrund darin liegt, dass signifikante Längen der Leiterplattenbahnen, an welche einige Pins angeschlossen sein sollten, unter der Platzierungsstelle der Kapazitätsmesswertaufnehmerplatte angeordnet sein können, wodurch eine Kapazität bereitgestellt wird, d. h. die Kapazität zwischen der Bahn und der Messwertaufnehmerplatte, die nicht nur signifikant sondern auch unabhängig davon ist, ob der Gerätepin richtig angeschlossen ist. Wir haben erkannt, dass der Test zuverlässiger sein kann, wenn der Schwellenwert auf eine Weise eingestellt wird, die nicht nur von der Gesamtkapazität abhängt, die während des Trainings bei einem Pin gemessen wurde, sondern auch vom Kapazitätswert des offenen Schaltkreises.

[0013] Natürlich könnte dieser Wert für jeden Pin bestimmt werden, indem einfach nacheinander jeder Pin auf einer Referenzleiterplatte geöffnet würde. Aber selbst wenn dieses Öffnen und Wiederanschließen des Gerätepins zuverlässig durchgeführt werden könnte, ohne versehentliche Fehler in die bekannte, ehemals ordnungsgemäße Platte hineinzubringen, würde es doch stark zu der Zeit beitragen, die für die Testvorbereitung nötig ist.

[0014] Wir haben entdeckt, dass eine gute Annäherung an den Teil des Kapazitätsmesswerts, der unabhängig vom Anschlusszustand ist, durchgeführt werden kann, ohne die Pins der Referenzleiterplatte physikalisch zu öffnen, indem bestimmte, einfach anzuwendende Verfahrenshilfsmittel verwendet werden, welche die Ähnlichkeiten und Symmetrien in den Strukturen nutzen, welche im Kontinuitätstest die Kapazitäten hervorrufen, die von Interesse sind.

[0015] Insbesondere hängt die (anschlussabhängige) Komponente der gemessenen Kapazität, die sich aus einer Anschlussrahmenleiterbahn ergibt, die einem bestimmten Gerätepin zugeordnet ist, räumlich-periodisch von der Position des Pins ab. Das heißt, die Pins an den Ecken des Geräts sind für gewöhnlich durch Leiterbahnen an die integrierte Schaltung angeschlossen, die eine relativ große Oberfläche haben, während diejenigen, die näher am Zentrum einer bestimmten Seite des IC-Gehäuses liegen, für gewöhnlich durch Leiterbahnen angeschlossen sind, die eine kleinere Oberfläche haben. Zusätzlich ist die Oberfläche und somit die Kapazität der Anschlussrahmenleiterbahn bei einem Pin mit einer bestimmten Position typischerweise dieselbe wie diejenige beim Pin an der entgegengesetzten räumlichen Stelle des Gehäuses. (Die „entgegengesetzte" Stelle kann die Stelle sein, die diametral entgegengesetzt oder im Hinblick auf eine der Symmetrieachsen des Gehäuses entgegengesetzt ist.) Darüber hinaus folgt die Veränderung der Oberfläche von der Leiterbahn bei einem Pin zu derjenigen beim nächsten einem verhältnismäßig regelmäßigen Muster.

[0016] Einer oder mehrere dieser Faktoren können in den meisten Fällen, die von Interesse sind, verwendet werden, um eine gute Schätzung dieses Teils des gemessenen Kapazitätswerts aufzustellen, der davon abhängt, ob der gemessene Pin richtig angeschlossen ist.

[0017] Kurz ausgedrückt kann einem Pin, dessen Messwert während des Trainings auf Weisen, die später noch beschrieben werden, abgeleitet wird, damit er eine übermäßige anschlussunabhängige Komponente aufweist, eine Schätzung des anschlussabhängigen Teils des Messwerts zugewiesen werden, indem sein Ausgangsmesswert durch einen Durchschnittswert eines oder mehrerer Pins ersetzt wird, der/die dem in Frage kommenden Pin räumlich entgegengesetzt ist/sind. Alternativ kann der Messwert dieses Pins durch den Durchschnittswert der Messwerte ersetzt werden, die bei Pins auf jeder Seite von diesem ermittelt wurden. Oder der Einstellungswert, der einem Pin zugeteilt wurde, kann gleich dem Messwert sein, der für einen benachbarten Pin ermittelt wurde, erhöht oder gesenkt um den durchschnittlichen Unterschied zwischen benachbarten Messwerten.

[0018] Wir fanden heraus, dass der Einsatz eines oder mehrerer dieser Verfahren Einstellwerte für zumindest bestimmte Klassen von Pins hervorbringt, die darauf hinauslaufen, die Werte anzunähern, die sich ergeben hätten, wenn Faktoren wie angesteuerte Bahnen nahe am Kapazitätsmesswertaufnehmer dem Messwert nicht eine Komponente hinzufügen würden, die vom Anschlusszustand des Pins unabhängig ist. Der Schwellenwert für den tatsächlichen Test kann dann eingestellt werden, indem vom Messwert auf der bekannten, ordnungsgemäßen Platte, ein Bruchteil dieses Schätzwerts seines anschlussunabhängigen Teils abgezogen wird. Der Einsatz solch eines Schwellenwerts erhöht die Zuverlässigkeit des Kapazitätstests beträchtlich und macht es möglich, offene Schaltkreise in vielen Situationen zuverlässig aufzuspüren, in denen es herkömmliche Verfahren nicht tun.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0019] Diese und weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung sind nachstehend in Verbindung mit den beigefügten Zeichnungen beschrieben:

[0020] Fig. 1 ist ein Blockschema eines Messaufbaus zur Erfassung offener Schaltkreise;

[0021] Fig. 2 ist eine Draufsicht eines Leiterplattenbauteils, wobei das äußere Gehäuse entfernt ist;

[0022] Fig. 3 ist eine grafische Darstellung der Kapazitäten zwischen der Kapazitätsmesswertaufnehmerplatte, die im Aufbau von Fig. 1 verwendet wird, und den verschiedenen in Fig. 2 gezeigten Anschlussrahmenleiterbahnen;

[0023] Fig. 4 ist eine grafische Darstellung der Messwerte, die sich aus dem Testaufbau von Fig. 1 ergeben, wenn die Quelle von Fig. 1 die Leiterplattenknoten ansteuert, die mit verschiedenen Gerätepins verbunden sind;

[0024] Fig. 5A, B und C sind grafische Darstellungen der Messwertwahrscheinlichkeitsdichten bei verschiedenen Pins;

[0025] Fig. 6 ist eine grafische Darstellung ähnlich Fig. 4, die aber Werte darstellt, die sich ergeben, wenn eine andere Überwachungsstrategie eingesetzt wird;

[0026] die Fig. 7A und Fig. 7B stellen zusammen ein Ablaufdiagramm der Trainingsteile des Prüfverfahrens dar;

[0027] Fig. 8 ist eine grafische Darstellung der Werte, die sich aus der Einstellung derjenigen von Fig. 6 für die Auswirkungen der Verbindungen zwischen Pins ergeben;

[0028] Fig. 9 ist eine grafische Darstellung der Ergebnisse des Standardisierens der Werte von Fig. 8 für die Auswirkungen der Quellenbelastung;

[0029] Fig. 10 ist eine grafische Darstellung der Ergebnisse des Einstellens der Werte von Fig. 9 zum Minimieren hinzukommender Auswirkungen, indem atypisch große oder kleine Messwerte für bestimmte Pins durch Werte ersetzt werden, die von den Messwerten anderer Pins abgeleitet wurden;

[0030] Fig. 11 ist eine grafische Darstellung der Ergebnisse weiteren Glättens, indem übermäßig große Unterschiede zwischen den Messwerten reduziert werden, die bei aneinander angrenzenden Pins ermittelt wurden;

[0031] Fig. 12 ist eine grafische Darstellung der Multiplikation der Werte der zusammengeschalteten Pins von Fig. 9 mit den Größen ihrer jeweiligen Gruppen;

[0032] Fig. 13 ist eine grafische Darstellung der bauteilunabhängigen Schätzwerte, die sich aus der Subtraktion der Werte von Fig. 11 von den Werten von Fig. 12 ergeben; und

[0033] Fig. 14 ist eine grafische Darstellung der sich ergebenden Schwellenwerte.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG EINER VERANSCHAULICHENDEN AUSFÜHRUNGSFORM

[0034] Fig. 1 stellt einen Testaufbau zur Bestimmung dar, ob verschiedene Pins wie ein Pin **12** einer Leiterplattenvorrichtung **14** ordnungsgemäß an Bahnen oder „Knoten" **16** auf einer Leiterplatte oder UUT („unit under test" – unter Prüfung befindliche Einheit) **18** angeschlossen ist/sind. Eine Wechselstromquelle **20** legt ein Erregersignal an die Bahn **16** mittels einer Kontaktsonde bzw. eines „Nagels" **22** an, welcher typischerweise einer aus einer großen Anzahl solcher Nägel auf einer „Nagelbrett"-Befestigung der Art ist, die herkömmlicher Weise von durchsatzstarken Prüfgeräten zum Anlegen von Signalen an die unter Prüfung befindlichen Einheiten verwendet wird. Um den Anschluss eines anderen Pins zu prüfen, wird die Quelle **20** an einen anderen dieser Nägel und somit an einen anderen Knoten durch eine Zustandsveränderung eines Multiplexers **23** angeschlossen, durch den die Testinstrumente selektiv an die Nägel angeschlossen werden.

[0035] Auf der unter Prüfung befindlichen Einheit soll der Pin **12** elektrisch an den Knoten **16** angeschlossen werden, und solch ein Anschluss kann dadurch zustande kommen, dass sich der Pin durch eine Öffnung in der Platte **18** hindurch erstreckt, um den Knoten **16** zu erreichen, an den er angelötet oder auf ähnliche Weise elektrisch angeschlossen wird. Fig. 1 zeigt aber, dass sich der Knoten **16** statt dessen mittels eines Durchgangs **24** zu einem oberen Plattenabschnitt **26** erstreckt, wo der Pin **12** statt dessen angeschlossen ist. Der dargestellte Lösungsweg ist kennzeichnend für oberflächenmontierte Vorrichtungen („SMT"-Vorrichtungen), welche tendenziell auf Platten vorherrschen, die einen bauteilseitigen Zugang erfordern. Die Pins solcher Vorrichtungen eignen sich besonders für die nachstehend beschriebenen Prüfverfahren, es kommen aber auch durchkontaktierte Pinvorrichtungen auf Platten vor, die durch Kapazitätsmesswertaufnahme geprüft werden.

[0036] Würde nun der obere Teil des Gehäuses des Bauteils **12** entfernt, wäre das Ergebnis eine Ansicht ähnlich Fig. 2, welche die eigentliche integrierte Schaltung und den Anschlussrahmen darstellt, der sie an den Pin **12** und andere Pins anschließt. Die eigentliche integrierte Schaltung **28** ist durch einen Kontaktierungsdraht **30** an eine Anschlussrahmenleiterbahn **31** angeschlossen, die im Pin **12** endet. Wie Fig. 1 zeigt, ist eine Kapazitätsmesswertaufnehmerplatte **34** angrenzend an die Vorrichtung **14** und insbesondere parallel zum Anschlussrahmen angeordnet, der die Anschlussrahmenleiterbahnen wie die Leiterbahn **32** bereitstellt. Eine Folge dieser Anordnung ist, dass zwischen der Leiterbahn **32** und der Messwertaufnehmerplatte **34** eine Kapazität besteht.

[0037] Ist der Pin **12** richtig am Knoten **16** angeschlossen, wird diese Kapazität deshalb zwischen dem Prüfgerätenagel **22** und der Messwertaufnehmerplatte **34** erscheinen, die dadurch einen kapazitiven Spannungsteiler aufgrund der Kapazität zwischen ihr und einer zweiten Massemesswertaufnehmerplatte **38** bildet. Die Kapazität zwischen den Platten **34** und **38** ist bekannt, und so ist die sich ergebende Spannung auf der Platte **34** eine Angabe für die Größe zwischen der Kapazität zwischen dem Nagel **22** und der Platte **34**, und diese Angabe wird, gepuffert durch einen Verstärker **40**, in eine digitale Form umgesetzt und von einer nicht gezeigten Einrichtung gespeichert. In Abwesenheit von Faktoren, die später noch beschrieben werden sollen, wären die sich ergebenden Messwerte für verschieden Pins einfach proportional zu den Sollkapazitäten zwischen der Messwertaufnehmerplatte und den jeweiligen Anschlussrahmenleiterbahnen und somit im Wesentlichen proportional zu ihren jeweiligen Oberflächen.

[0038] Fig. 3 stellt typische Werte solcher Messungen für ein kleines Gehäuse einer integrierten Schaltung dar, das nur sechzehn Pins aufweist. Die Zeichnung zeigt, dass die Ausgänge, wenn sie einfach die Kapazitäten zwischen den verschiedenen Anschlussrahmenleiterbahnen und der Kapazitätsmesswertaufnehmerplatte **34** darstellten, ein regelmäßiges Muster bilden würden, das für die unterschiedlichen Oberflächen der verschiedenen Anschlussrahmenleiterbahnen stünde. Wie nachste-

hend noch beschrieben wird, nutzen bestimmte Aspekte der Erfindung die Symmetrie in diesen Kapazitäten, die durch gleichzeitigen Bezug auf die Fig. 2 und Fig. 3 ersichtlich ist.

[0039] Da die Fig. 2 und Fig. 3 ein einfaches quadratisches Gehäuse darstellen, das nur 16 Pins aufweist, ist die Hälfte der Kapazitäten von einem Wert und die andere Hälfte vom anderen. Klar ist dies nicht die typische Anordnung. Aber es sollte offensichtlich sein, dass ein Aspekt des dargestellten Musters tendenziell allgemein in Gehäusen von integrierten Schaltungen vorherrscht: Leiterbahnen, die zu Pins auf räumlich entgegengesetzten Seiten des Gehäuses gehören, haben für gewöhnlich dieselben Oberflächen und bilden somit annähernd gleiche Kapazitäten mit dem Kapazitätsmesswertaufnehmer, wenn der Kapazitätsmesswertaufnehmer, wie es typisch ist, im Hinblick auf das Gehäuse der integrierten Schaltung symmetrisch positioniert ist. Die Anschlussrahmenleiterbahnen, die mit den Pins C und K verbunden sind, haben dann beispielsweise gleiche Oberflächen.

[0040] Die große Zahl an Gleichheiten in dem Beispiel ergibt sich aus der Tatsache, dass entgegengesetzt in diesem Zusammenhang nicht nur diametral entgegengesetzt, sondern auch im Hinblick auf irgendeine der Symmetrieachsen entgegengesetzt bedeutet. Somit sind die Anschlussrahmenleiterbahnen, die mit den Pins C und J verbunden sind, gleich, weil sie im Hinblick auf die vertikale Symmetrieachse entgegengesetzt sind, während die Anschlussrahmenleiterbahnen, die mit den Pins B und C verbunden sind, gleich sind, weil sie im Hinblick auf die horizontale Symmetrieachse entgegengesetzt sind.

[0041] Wären nun die durch Fig. 3 dargestellten Kapazitäten die einzigen Faktoren, die in die Ergebnisse der Messung einflössen, wäre die Bestimmung, ob ein Pinanschluss richtig hergestellt wurde, relativ einfach. Klar würde das Auftreten eines offenen Schaltkreises, der den Prüfgerätenagel **22** tatsächlich von der mit dem offenen Pin verbundenen Anschlussrahmenleiterbahn abkoppeln würde, die Kapazität zwischen dem Prüfgerätenagel **22** und der Messwertaufnehmerplatte **34** größtenteils verschwinden lassen. So würde die Festlegung eines Entscheidungsschwellenwerts auf die halbe Anschlussrahmenleiterbahnkapazität eines der Pins mit niedrigerer Kapazität möglicherweise die Auswirkungen von Messschwankungen zwischen Platten desselben Typs sowie der niedrigen Kapazität verhindern, die inhärent zwischen dem Nagel und der Messwertaufnehmerplatte vorhanden wäre.

[0042] Aber es bestehen auch andere Faktoren, und es ist ein Vorteil der vorliegenden Erfindung, dass sie bestimmte dieser Faktoren bei der Bestimmung der richtigen Prüfschwellenwerte berücksichtigt. Aufgrund dieser Faktoren können die Verstärkerausgänge **40** für eine echte Referenzleiterplatte, die als ordnungsgemäß bekannt ist, abschalten, um mehr wie diejenigen zu sein, die in Fig. 4 dargestellt sind. In diesem Beispiel sind wir davon ausgegangen, dass die Leiterplattenbahn, an die Pin A angeschlossen sein sollte, unter der Leiterplattenvorrichtung **14** verläuft. Dies stellt eine zusätzliche Kapazität zwischen dem Nagel **22** und der Messwertaufnehmerplatte **34** bereit, so dass die in Fig. 4 für Pin A dargestellte Spannung höher ist als diejenige, die sich einfach aus dessen Anschlussrahmenleiterbahnkapazität ergäbe. Diese zusätzliche Kapazität hängt nicht davon ab, ob der Pin **12** richtig angeschlossen ist, und so ist der Bruchteil der Spannung des Pins A von Fig. 4, der sich aus dieser Knoten-/Messwertaufnehmerkapazität ergibt, selbst dann vorhanden, wenn der Pin nicht richtig angeschlossen ist. Wir gehen weiter davon aus, dass die Messwerte für andere der Pins aus verschiedenen Gründen größere oder kleinere anschlussunabhängige Komponenten aufweisen.

[0043] Diese Faktoren machen das Problem kompliziert, einen zuverlässigen Prüfschwellenwert festzusetzen. Wie diese Komplikation auftritt wird klar, wenn die Messwerte berücksichtigt werden, die für einen bestimmten Pin auf verschiedenen Platten desselben Typs ermittelt werden. Angenommen, die in Fig. 5A mit einer durchgezogenen Linie gezeichnete Kurve stellt die Wahrscheinlichkeitsdichte, zentriert an einem guten Nominalwert V_g eines Messwerts eines bestimmten Pins auf Platten dar, auf denen dieser Pin richtig angeschlossen ist, während die Kurve in unterbrochener Linie die Messwertwahrscheinlichkeitsdichte, zentriert an einem schlechten Nominalwert V_b für Platten darstellt, auf denen dieser Pin offen ist. Es ist offensichtlich, dass der optimale Schwellenwert T zur Unterscheidung zwischen Pins, die richtig angeschlossen und denjenigen, die es nicht sind, ungefähr dort auftritt, wo sich die beiden Kurven überdecken. (Der Darstellung halber ist der in der Zeichnung dargestellte Überdeckungsgrad etwas größer, als in vielen Testsituationen annehmbar wäre.) Es ist festzuhalten, dass ein solcher Schwellenwert manche Fehler zulässt: einige offene Pins werden als angeschlossen beurteilt, während einige richtig angeschlossene Pins als offen angegeben werden. Dieser Schwellenwert ermöglicht es nichtsdestoweniger, die meisten Pins richtig zu beurteilen, und für diesen Zweck ist er der optimale Schwellenwert.

[0044] Dennoch würde die Verwendung solch eines Schwellenwerts für alle Pins zu weniger als optimalen Ergebnissen für den Plattentest im Allgemeinen führen. Beispielsweise angenommen, Fig. 5B stellt die entsprechenden Messwertwahrscheinlichkeitsdichten für irgendeinen anderen Pin auf der Platte dar. Würde der Schwellenwert T verwendet, würden mehr offene Schaltkreise als nötig verfehlt. Würde der

Schwellenwert insbesondere statt dessen auf T' gesetzt, würden weniger Fehler für diesen speziellen Pin auftreten. Aber auch T' ist nicht der beste Schwellenwert für alle Pins; T' ist klar nicht der beste Schwellenwert, der für den Pin verwendet werden soll, dessen Messwertwahrscheinlichkeitsdichten Fig. 5A darstellt.

[0045] Man könnte daraus schließen, dass ein besserer Weg zum Festsetzen der Schwellenwerte darin besteht, den Schwellenwert für einen bestimmten Pin auf beispielsweise einen bestimmten Prozentsatz des Messwerts festzulegen, der für diesen Pin während des Trainings ermittelt wurde. (In vielen Fällen ist der „Messwert" nämlich der Durchschnitt entsprechender Messwerte, die an einer Anzahl von Platten ermittelt wurden.) Solch ein Lösungsweg führt in der Tat zu zuverlässigeren Ergebnissen. Aber wir haben einen Weg gefunden, einen weiteren Faktor angemessen zu berücksichtigen.

[0046] Wie vorstehend festgestellt, verlaufen die Knoten, an die bestimmte Pins angeschlossen werden sollen, über große Distanzen unmittelbar unter dem Bauteil und somit in nächster Nähe zum Kapazitätsmessertaufnehmer. Dies führt zu einem signifikanten Messwertaufnehmerausgang selbst, wenn der Pin offen ist, und bei einem solchen Pin können die Wahrscheinlichkeitsdichten mehr wie die in Fig. 5C dargestellten aussehen. Ist der Schwellenwert einfach als vorbestimmter Prozentsatz des Messwerts berechnet, der während des Trainings ermittelt wurde, und ergibt dieser Prozentsatz immer dann den Schwellenwert T', wenn die Trainingsmesswerte den Wert V'_g der Fig. 5B und Fig. 5C ergaben, wäre das Testergebnis für Pins dieses Typs im Wesentlichen nutzlos, deren Messwertwahrscheinlichkeitsdichten in Fig. 5C dargestellt sind, bei denen der Messwert eine signifikante anschlussunabhängige Komponente aufweist. Bei dem Pin, dessen Messwertwahrscheinlichkeiten durch Fig. 5C dargestellt sind, wäre T'' ein besserer Schwellenwert. Doch wäre es nicht wünschenswert, den Prozentsatz, der T'' hervorbringt, einheitlich zu verwenden, weil das bei dem Pin, dessen Messwertwahrscheinlichkeiten Fig. 5B darstellt, zu mehr fälschlichen Angaben offener Schaltkreise als nötig führen würde.

[0047] Diesen Faktor erkennend, wählten wir die Prüfschwellenwerte so, dass nicht nur der nominale gute Pinmesswert V_g sondern auch eine Schätzung des nominalen schlechten Pinmesswerts V_b berücksichtigt wird. Natürlich erfordert es dieser Lösungsansatz, dass irgendein Wert für V_b erhalten wird. Man könnte diesen während des Trainings erhalten, indem der fragliche Pin absichtlich abgekoppelt wird, aber dies wäre extrem störend. Wie wir nachstehend noch ausführlich erklären, erhalten wir statt dessen eines Schätzung dieses Werts V_b aus den Werten V_g, die während des Trainings für andere Pins auf derselben Plattenvorrichtung ermittelt wurden. Wenn zumindest der Wert V_b relativ hoch ist, machen wir den Schwellenwert höher als er ansonsten für denselben Wert V_g wäre.

[0048] Obwohl wir den Wert V_b als anschlussunabhängig bezeichnen, sollte doch klar sein, dass die Unabhängigkeit, auf die wir uns beziehen, relativ ist. Insbesondere gehen wir der Erklärung halber davon aus, dass die Pins C und F an dieselben Leiterplattenknoten angeschlossen sind Das heißt, sie sind kurzgeschlossen, und wir werden sie als eine Gruppe zusammengeschalteter Pins darstellend bezeichnen. Die Größe dieser Gruppe ist zwei, da nur zwei Pins zusammengeschaltet sind.

[0049] Nun können die in Fig. 5C dargestellten Messwerte beispielsweise für Pin C stehen. Da die Pins C und F zusammengeschaltet sind, ist der hier wiedergegebene Wert V'_g derselbe für die Pins C und F. Dennoch ist der Wert V'_b nicht der Wert, der sich ergibt, wenn beide Pins offen sind, dieser Wert wäre niedriger. Der dargestellte Wert V'_g ist der Wert, der sich ergibt, wenn nur Pin C offen ist, also hängt ein Teil dieses Werts V'_b tatsächlich davon ab, ob Pin F angeschlossen ist. In manchen Zusammenhängen werden wir den gesamten Wert V_b aber immer noch als anschlussunabhängig bezeichnen, da ex davon unabhängig ist, ob Pin C angeschlossen ist, obwohl er davon abhängt, ob Pin F angeschlossen ist.

[0050] Bevor wir ausführlich erörtern, auf welche Weise die Schätzung des anschlussunabhängigen Werts bestimmt wird, kehren wir kurz zu Fig. 4 zurück, um bestimmte zusätzliche Verfahren zu erläutern, die wir zum Anheben der Fehlererfassung einsetzen.

[0051] Als Erstes merken wir an, dass Fig. 4 für die Pins M und P nur Striche enthält. Dies steht für die Tatsache, dass es keinen direkten Nagelzugang zu den Leiterplattenknoten gibt, an den diese Nägel angeschlossen sind. In manchen Fällen bedeutet dies einfach, dass diese Pins nicht geprüft werden können. Es kommt jedoch manchmal vor, dass ein Leiterplattenbauteil mit relativ niedriger Impedanz wie ein Widerstandselement mit niedrigem Widerstandswert oder ein Kondensator mit hoher Kapazität den unzugänglichen Knoten an einen Knoten anschließt, der zugänglich ist. Wir kontrollieren deshalb die Leiterplatte, um zu bestimmen, ob irgendeine Vorrichtung mit zwei Anschlüssen zwischen dem unzugänglichen Knoten und einem Knoten angeschlossen ist, zu dem Zugang erhalten werden kann. Ist dem so, wird ein Messwert ermittelt, indem dieser zugängliche Knoten angesteuert wird. Entsteht dadurch ein Signal mit ausreichender Stärke, wird der sich ergebende Messwert mit den Werten für die anderen Pins gespeichert. Nachstehend gehen wir davon aus, dass solch eine Messung für Pin P möglich ist, nicht aber

für Pin M.

[0052] Fig. 4 zeigt auch, dass die Pins D, G und I sehr niedrige Messwerte haben. Manchmal kommt das daher, dass der angesteuerte Knoten über eine niedrige Impedanz an Masse gelegt und die Quelle somit effektiv kurzgeschlossen ist. Wenn dies ein der unter Prüfung befindlichen Leiterplatte eigenes Merkmal ist, wird der fragliche Pin, wie Pin M, als unprüfbar erachtet. In anderen Situationen ist jedoch der Masseschluss manchmal vermeidbar.

[0053] Um dies zu verstehen, muss die Art und Weise berücksichtigt werden, auf die schaltungsinterne analoge Messungen, wie diejenigen der Kapazität zwischen einem Leiterplattenknoten und der Messwertaufnehmerplatte **34** herkömmlicher Weise durchgeführt werden. In einem schaltungsinternen Test ist das Bauteil von Interesse typischerweise an eine Anzahl anderer Bauteile angeschlossen. Diese Anschlüsse neigen dazu, die Messung ungenau zu machen, wenn keine Ausgleichsmaßnahmen getroffen werden. Eine solche Maßnahme besteht darin, das fragliche Bauteil zu „schützen".

[0054] Ganz allgemein ausgedrückt bedeutet Schützen, nahe liegende Bauteile an Masse zu legen, um das Ausmaß zu reduzieren, in dem sie sich auf den Test auswirken. Obwohl beispielsweise der vorstehend mit Bezug auf die Fig. 1 und Fig. 2 beschriebene Test nur den Teil der Kapazität zwischen dem Knoten **16** und der Messertaufnehmerplatte **34** erfassen soll, der sich aus der direkten Verbindung über Pin **12** dieses Knotens mit der Anschlussrahmenleiterbahn **32** ergibt, könnte eine Verbindung der Quelle **20** mit anderen Anschlussrahmenleiterbahnen aufgrund einer kapazitiven oder anderen Kopplung zwischen der Leiterbahn **16** und anderen Leiterbahnen beispielsweise zu der Kapazität beitragen, die unabhängig vom richtigen Anschluss von Pin **12** an der Leiterbahn **16** ist. Um diese Auswirkungen größtenteils zur reduzieren, werden Bahnen, die an die anderen Gerätepins wie Pin **41** angeschlossen sind, über andere Nägel wie Nagel **42** an Masse gelegt, um diese zusätzliche Verbindung zu verhindern. Typischerweise wird dies bewerkstelligt, indem Nägel verwendet werden, um diese Bahnen direkt zu kontaktieren. Falls aber eine oder mehrere der in Frage kommenden Bahnen nicht auf diese Weise zugänglich ist oder sind, verwenden wir den zuvor beschriebenen Lösungsansatz, bei dem die Nägel die Bahnen kontaktieren, die durch Leiterplattenbauteile mit niedriger Impedanz an die in Frage kommenden Bahnen angeschlossen sind.

[0055] Gehen wird nun davon aus, dass eine nicht gezeigte Leiterplattenvorrichtung vorhanden ist, die einen Anschluss mit niedriger Impedanz zwischen den Bahnen bereitstellt, an denen die Pins G und I angeschlossen sind. In solch einem Fall wird der Masseschluss des Prüfgeräts zu Schutzzwecken für die Bahn, an welche Pin I angeschlossen ist, während Pin G geprüft wird, die Quelle stark mit Last beaufschlagen und damit zu einem Messwert führen, der zu niedrig ist, um von Nutzen zu sein, wie Fig. 4 für Pin G angibt, und folglich auch für Pin I zu niedrig ist.

[0056] Ein adäquater Test kann aber für gewöhnlich auch ohne 100%-ige Schutzmaßnahme erfolgen und so kann das Problem eines niedrigen Ausgangswerts für die Pins G und I eliminiert werden, indem Pin G bzw. I einfach nicht geschützt wird, während der jeweils andere geprüft wird. Während des Trainingsprozesses prüfen wird deshalb alle Kombinationen von Pins mit niedrigen Ausgangswerten, um zu bestimmen, ob irgendwelche durch niedrige Impedanzen an Schutzpins angeschlossen sind, und dann stellen wir die Prüfung dieses Pins so ein, dass der Schutz des angeschlossenen Knotens abgeschafft wird. Fig. 6 stellt das Ergebnis dar, das zeigt, dass die Pins G und I nun hohe Ausgänge haben. Der Erläuterung halber gehen wir davon aus, dass der Masseschluss von Pin D während des Prüfens nicht von der Schutzmaßnahme herrührte, sondern von einem leiterplatteninternen Anschluss, und so bleibt Pin D unprüfbar. Fig. 6 zeigt auch das vorstehend beschriebene Ergebnis des Ansteuerns über ein Leiterplattenbauteil mit niedriger Impedanz: Pin P weist nun einen Messwert auf, nicht aber Pin M.

[0057] Wir haben nun die Anschlüsse bestimmt, die zur Durchführung von Testmessungen verwendet werden sollen, und haben bei diesen Anschlüssen Referenzmesswerte ermittelt. Diese Schritte sind durch Block **46** von Fig. 7A dargestellt, welche zusammen mit Fig. 7B ein Blockschema des gesamten Trainingsvorgangs bildet. Aus diesen Messwerten müssen wir Schwellenwerte festsetzen.

[0058] Wie vorstehend angemerkt, werden die in Fig. 6 dargestellten groben Referenzmesswerte durch die Kapazitäten zwischen dem Kapazitätsmesswertaufnehmer und den Bahnen bestimmt, an die die jeweiligen unter Prüfung befindlichen Pins angeschlossen sein sollten. Nun ist die für unsere Zwecke in Frage kommende Kapazität diejenige, die sich nur aus einer Anschlussrahmenleiterbahn ergibt. Einige Knoten sind aber an mehr als eine Anschlussrahmenleiterbahn angeschlossen. Um dies auszugleichen, kennzeichnen wir jeden Pin, der an der Leiterplatte an andere Pins derselben Leiterplattenvorrichtung angeschlossen ist, und teilen den groben Messwert von Fig. 6 für diese Vorrichtung durch die Anzahl von Pins in ihrer Gruppe; d. h. wenn ein Pin an N – 1 andere Pins angeschlossen ist, wird sein grober Messwert durch N geteilt. Wir wissen, dass die Pins C und F zusammengeschaltet sind, und wir wissen auch, dass die Pins G und I zusammengeschaltet sind, und so teilen wir in einem durch einen

Ablaufdiagrammblock **48** dargestellten Schritt alle ihre Messwerte durch zwei. Fig. 8 stellt die Ergebnisse dar.

[0059] Wie vorstehend festgestellt wurde, ist der Messwert für Pin D wegen der von der Leiterplatte ausgehenden Quellenbelastung sehr niedrig, und wir erachten ihn als so tief, dass er Pin D im Wesentlichen unprüfbar macht. Jedoch unterliegen auch andere Messwerte von prüfbaren Pins den Auswirkungen verschiedener Belastungsgrade. Obwohl ihre groben Messwerte ein Indiz für ihre jeweiligen Kapazitäten sind, sind sie in der Folge nicht proportional zu diesen, und Proportionalität wird gebraucht, um bestimmte Glättungsprozesse durchzuführen, die folgen. Um die Belastung auszugleichen und somit eine bessere Kapazitätsangabe zu erhalten, bestimmen wir das Ausmaß, in dem die Belastung aufgetreten ist. Im Speziellen ermitteln wir einen Spannungsmesswert am Steuernagel, wie durch den Verstärker **50** von Fig. 1 angegeben ist. Dies versetzt uns in die Lage, einen standardisierten Pinkapazitätswert V zu berechnen:

$$V = \frac{V_n}{V_s} V_m,$$

worin V_m der vom Verstärker **40** erzeugte Messwert ist, V_n die (bekannte) belastungsfreie Spannung der Quelle **20**, und V_s die Nagelspannung, die durch den Ausgang des Verstärkers **50** dargestellt wird. Die Ablaufdiagrammblöcke **52** und **54** stellen die Durchführung dieses Standardisierungsschritts und das Sichern der Ergebnisse dar, welche Fig. 9 wiedergibt. Die Gruppen- und Belastungsausgleichsschritte, welche jeweils zu den Daten der Fig. 8 und Fig. 9 führen, können zweifellos umgekehrt werden, und beide Sequenzen sind für die Zwecke der vorliegenden Erfindung äquivalent.

[0060] Während Fig. 9 Kapazitätswerte pro Pin darstellt, umfassen diese Werte nicht nur die anschlussabhängigen Komponenten, auf denen die Prüfung beruht, sondern auch die anschlussunabhängigen Komponenten, die wir unterdrücken wollen. Um die Werte so einzustellen, dass die anschlussunabhängigen Komponenten unterdrückt werden, beginnen wir mit den Annahmen (1), dass die Messwerte, die am meisten eine Einstellung benötigen, diejenigen sind, die in gewisser Hinsicht von der Norm abweichen, und (2), dass ihre Einstellung auf mehr der Norm entsprechende Werte darauf hinauslaufen wird, ihre anschlussunabhängigen Komponenten zu unterdrücken.

[0061] Block **56** stellt die Überprüfung der Daten auf ein Kriterium hin dar, durch welches wir die Messwerte identifizieren, die einer Einstellung bedürfen. Insbesondere wird der Durchschnitt der Werte von Fig. 9 ermittelt, und diejenigen, die sich vom Durchschnitt um mehr als einen vorbestimmten Betrag unterscheiden, werden als einer Einstellung bedürfend erachtet. (Obwohl wir typischerweise den Durchschnitt bestimmen, indem wir einfach alle Werte mitteln, können einige Ausführungsformen der Erfindung selektiver bei der Bestimmung sein, welche Werte zum Durchschnitt beitragen. Zuvor erfolgte eine Bestimmung, dass beispielsweise Pin D nicht prüfbar ist, und so kann man wählen, seinen Wert bei der Bestimmung des Durchschnitts nicht zu verwenden.) Jeder Messwert, der sich vom Durchschnitt um beispielsweise mehr als die Hälfte des größten Unterschieds oder alternativ den doppelten Durchschnittsunterschied unterscheidet, kann als eine Einstellung benötigend erachtet werden. Jeder Messwert, der aus der so definierten Bandbreite fällt, wird durch einen Wert ersetzt, der wegen der Regelmäßigkeit, die im Muster der Oberflächen der Anschlussrahmenleiterbahnen zu erwarten ist, wahrscheinlich relativ nahe an der anschlussabhängigen Komponente des Messwerts liegt.

[0062] Insbesondere sollte ein Pin, der dem fraglichen Pin entgegengesetzt angeordnet ist, dieselbe Oberfläche haben und so ersetzen wir einen außerhalb der Bandbreite liegenden Messwert für einen bestimmten Pin durch eine im Wesentlichen „rauschunterdrückte" Version des entgegengesetzten Pins, wenn nicht der Messwert des entgegengesetzten Pins selbst außerhalb der Bandbreite liegt. In dem Beispiel liegt der Messwert für Pin A außerhalb der Bandbreite, während der Messwert für den Pin, der zu diesem diametral entgegengesetzt ist, nämlich Pin I, nicht außerhalb liegt, und auch nicht diejenigen für die Pins H und J, die an den entgegengesetzten Pin I angrenzen. Wir mitteln deshalb diese drei Messwerte und ersetzen den Messwert für Pin A durch diesen Durchschnitt. Wären diese Messwerte nicht innerhalb der Bandbreite gewesen, hätten wir einen Durchschnitt von denjenigen Pins genommen, die rechts und links von Pin A, dessen Messwerte innerhalb der Bandbreite liegen, am nächsten gewesen wären. Für gewöhnlich verwenden wir einen einfachen Durchschnitt, man könnte aber statt dessen beispielsweise auch einen gewichteten Mittelwert entsprechend der Nähe des Pins zu demjenigen, dessen Wert ersetzt werden soll, verwenden.

[0063] Fig. 10 stellt das Ergebnis dieses Schritts dar, der durch Block **58** von Fig. 7A dargestellt wird. Es ist festzuhalten, dass, obwohl Pin M un-zugänglich und somit unprüfbar ist, ihm ein Wert zugeteilt wurde, indem die Messwerte für die Pins D, E und F gemittelt wurden. Offensichtlich ist so ein Schritt nicht notwendig, wir erachten ihn aber als wünschenswert für den nächsten Schritt, bei dem wir gemäß eines Schrittgrößenkriteriums weitere Kandidaten für eine Messwertersetzung identifizieren.

[0064] Um ein zweites Kriterium zur Bestimmung anzulegen, ob Messwerte einer Einstellung bedürfen,

beginnen wir mit dem durch Block **60** von Fig. 7B dargestellten Schritt. In diesem Schritt berechnen wir eine durchschnittliche Schrittgröße, d. h. den Durchschnitt der Absolutwerte der Unterschiede zwischen den Messwerten für nebeneinander liegende Pins. Für jeden Schritt, der beispielsweise die durchschnittliche Schrittgröße zweimal übersteigt, wird der Wert für den zweiten Pin so eingestellt, dass die Schrittgröße gleich der durchschnittlichen Schrittgröße ist. Die eingestellte Schrittgröße ist je nach dem Vorzeichen der uneingestellten Schrittgröße positiv oder negativ. Ein Ablaufdiagrammblock **62** stellt diese Glättungsoperation dar, während Fig. 11 deren Ergebnisse zeigt, welche unsere Schätzwerte der anschlussabhängigen Komponenten der gemessenen Kapazitäten sind. Obwohl diese mit den postulierten Werten von Fig. 3 nicht genau gleich sind, sind sie ziemlich nahe, und es ist offensichtlich, dass eine signifikante Unterdrückung der anschlussunabhängigen Komponente eingetreten ist.

[0065] Nachdem wir Schätzwerte der anschlussabhängigen Messwertkomponenten der verschiedenen Pins erhalten haben, sind wir nun in der Lage, Prüfschwellenwerte zu berechnen. Der allgemeine Lösungsansatz zur Bestimmung der Prüfschwellenwerte besteht darin, den anschlussunabhängigen Teil der Kapazität herauszufinden, und dann einen vorbestimmten Prozentsatz des anschlussabhängigen Teils, 30% in der dargestellten Ausführungsform, zu diesem anschlussunabhängigen Teil zu addieren.

[0066] Bevor wir jedoch diesen Lösungsansatz beschreiben, erwähnen wir eine Ausnahme. Diese Aufnahme tritt auf, wenn der Pin ein Durchkontaktierungspin ist. Wie vorstehend festgestellt, ist Pin **12** an eine Bahnverlängerung **26** (Fig. 1) angeschlossen, die sich auf derselben Seite der Leiterplatte befindet wie das Bauteil. Dies ist typisch für die meisten Bauteile, für die solche kapazitiven Kontinuitätstests durchgeführt werden. Es gibt aber Fälle, bei denen sich der Pin selbst durch eine durchkontaktierte Öffnung hindurch erstreckt, so dass er sich physikalisch bis zur entgegengesetzten Seite der Leiterplatte erstreckt. Bei Pins auf solchen Vorrichtungen verwenden wir die soeben beschriebene 30%-Regel nicht und versuchen auch nicht, den Kapazitätsmesswert in anschlussabhängige und anschlussunabhängige Teile zu trennen.

[0067] Um den Grund dafür zu verstehen, ist es wichtig, eine Annahme deutlich auszusprechen, von der in der Erläuterung bisher stillschweigend ausgegangen worden war, nämlich, dass der durchschnittliche anschlussunabhängige Teil ein relativ kleiner Prozentsatz des durchschnittlichen Gesamtmesswerts ist, obwohl der anschlussunabhängige Teil des Kapazitätsmesswerts irgendeines bestimmten Pins einen relativ großen Teil des Gesamtmesswerts für diesen Pin ausmachen kann. Wir fanden heraus, dass diese Annahme tendenziell für oberflächenmontierte Vorrichtungen gilt, nicht aber für Vorrichtungen mit durchkontaktierten Pins. Der Grund dafür ist, dass typischerweise eine relativ hohe Kapazität zwischen der leitfähigen durchkontaktierten Öffnung und dem Pin besteht, der sich durch diese hindurch erstreckt, selbst wenn keine direkte galvanisch leitende Verbindung zwischen diesen besteht. Deshalb haben wir uns dazu entschlossen, obwohl das nachstehend beschriebene Verfahren der Erfindung für durchkontaktierte Pins eingesetzt werden kann, es nicht zu tun, weil der sich ergebende Schätzwert für die anschlussunabhängigen Messwertkomponente nicht so gut ist. Bei durchkontaktierten Pins setzen wir einfach den Schwellenwert für diesen Pin auf 60% des in Fig. 6 dargestellten Messwerts des Trainingsprozesses.

[0068] Nun wenden wird uns dem Verfahren zur, das für SMT- und andere Pins eingesetzt wird. Auch bei solchen Pins haben wir in der Praxis für gewöhnlich eine Ausnahme gemacht, wenn der in Frage kommende Pin an einen anderen Pin angeschlossen ist. Wie nachstehend klar wird, besteht im Prinzip wirklich kein Grund, solche Pins auszunehmen, da aber eine unverhältnismäßig hohe Anzahl zusammengeschalteter Pins sich sowieso als unprüfbar herausstellt, leidet die Gesamttestzuverlässigkeit nicht sehr darunter, dass die Schätzwerte der anschussunabhängigen Messwertkomponenten dieser Pins nicht vollständig ausgenutzt werden. Bei solchen Pins teilen wir einfach den Schwellenwert nach der folgenden Formel zu:

$$T = \left[\frac{N-1}{N} + K\right] V_m,$$

worin T der Schwellenwert ist, N die Anzahl von Pins in der Pingruppe, K eine Konstante, die typischerweise gleich 0,15 beträgt, und V_m der Messwert, der für diesen Pin während des Trainings ermittelt wurde. Wenn die Anzahl von Pins in der Gruppe zunimmt, wird der Schwellenwert, der sich aus dieser Formel ergibt, ein zunehmend hoher Prozentsatz des Messwerts, der während des Trainings ermittelt wurde, und wir erachten die sich ergebende Prüfung als unzuverlässig, wenn dieser Prozentsatz zu hoch ist und somit wenig Spielraum für Herstellungstoleranzen lässt. Wenn also die Anzahl von Pins in der Gruppe drei übersteigt, erachten wir die Pins der Gruppe als unprüfbar.

[0069] Obwohl diese Formel die Unterscheidung zwischen anschlussunabhängigen und anschlussabhängigen Messwertkomponenten nicht verwendet, verwenden wir doch unseren Schätzwert der letztgenannten bei der Anwendung eines weiteren Kriteriums für Prüfbarkeit. Beträgt die anschlussabhängige Komponente bei einem Pin weniger als 80% von derjenigen irgendeines anderen Pins in der Gruppe, er-

achten wird die durch einen offenen Schaltkreis an diesem verursachte Veränderung in relativer Hinsicht als zu klein, um sie zuverlässig erfassen zu können, und bezeichnen alle Pins in solch einer Gruppe als unprüfbar.

[0070] Mit einer weiteren Ausnahme, die nachstehend noch erwähnt wird, wenden wir die vorstehend beschriebene 30%-Regel auf die Werte der übrigen Pins an. Als Erstes identifizieren wir die anschlussunabhängige Komponente. Dazu beginnen wir mit den ursprünglichen Kapazitätsdaten, d. h. den ursprünglichen Messwerten, die für Belastung standardisiert wurden. Fig. 12 stellt diese Werte dar, welche dieselben wie diejenigen von Fig. 9 sind, mit der Ausnahme, dass die Daten für zusammengeschaltete Pins aus Gründen, die später noch beschrieben werden, mit ihren jeweiligen Gruppengrößen in einem Schritt multipliziert wurden, der durch den Ablaufdiagrammblock **64** dargestellt ist. Der Schätzwert von Fig. 11 der anschlussabhängigen Komponenten wird dann von den Werten von Fig. 12 abgezogen, um die in Fig. 13 dargestellten Schätzwerte der anschlussunabhängigen Komponente zu ergeben. Zu diesen werden 30% der anschlussabhängigen Komponenten von Fig. 11 addiert, um standardisierte Schwellenwerte T_n herzustellen, welche in die in Fig. 14 gezeigten tatsächlichen, nicht standardisierten Schwellenwerte T_a nach der folgenden Formel umgesetzt werden:

$$T_a = \frac{V_s}{V_n} T_n,$$

worin V_s und V_n die Quellenspannungswerte mit und ohne Last sind, die während des Trainings für den in Frage kommenden Pin bestimmt wurden. Die schraffierten Teile der Balken von Fig. 14 stellen die Schwellenwertzuwächse dar, die durch die anschlussunabhängigen Teile der Referenzkapazitätsmesswerte verursacht wurden. Block **66** stellt diesen Schritt dar. (In der tatsächlichen Praxis würden natürlich die beiden Schritte, die anschlussabhängige Komponente abzuziehen und dann wieder 30% davon hinzuzuaddieren, für gewöhnlich in einem Schritt erfolgen: es würden 70% der anschlussabhängigen Komponente abgezogen.)

[0071] Die übrige auf oben bezogene Ausnahme tritt auf, wenn es sich bei der anschlussunabhängigen Komponente um einen übermäßig großen Teil der Gesamtkapazität handelt. Wir erachten ihn immer dann als übermäßig, wenn der sich ergebende Schwellenwert 80% des groben Referenzwerts von Fig. 6 übersteigt, und so kennzeichnet unser System solche Pins als unprüfbar. Wir tun dies deshalb, weil wir glauben, dass in solchen Situationen Herstellungstoleranzen den Bereich von Messwerten angeschlossener Pins denjenigen von Messwerten nicht angeschlossener Pins zu sehr überdecken lassen werden, als dass die Ergebnisse dieser Art von Prüfung zuverlässig sein könnten.

[0072] Vorstehend wurde festgestellt, dass im Prinzip kein Anlass besteht, die Schwellenwerte zusammengeschalteter Pins nicht gemäß des anschlussunabhängigen Inhalts ihrer Messwerte einzustellen. Man könnte den Schwellenwert beispielsweise dadurch erhalten, dass zur anschlussunabhängigen Komponente 30% der anschlussabhängigen Komponente addiert würde. Aufgrund dieser Möglichkeit wurden die Daten von Fig. 9 für zusammengeschaltete Pins mit den Gruppengrößen der jeweiligen Pins multipliziert, um die Werte von Fig. 12 herzustellen. Diese Werte sind standardisierte Versionen der ursprünglichen Messwerte für diese Pins, und eine Subtraktion der Einzelpinwerte von Fig. 11 ergibt Werte, die sich der Gesamtsumme der anschlussunabhängigen und anschlussabhängigen Komponenten für alle Mitglieder der Gruppe annähern, anders als der Pin, dessen Schwellenwert berechnet wird. Anders ausgedrückt werden für den Schwellenwert eines bestimmten Pins die anschlussabhängigen Komponenten der anderen Gruppenmitglieder als Teil des anschlussunabhängigen Teils behandelt.

[0073] In der Praxis wird nur ein einziger Test für alle Pins in einer ganzen Gruppe durchgeführt; der Test bestimmt, ob einer der Pins der Gruppe offen ist, bestimmt aber nicht, welches Gruppenmitglied den Fehler aufweist. Deshalb wird, obwohl die Schwellenwerte, die nach dem vorstehenden Verfahren für unterschiedliche Gruppenmitglieder bestimmt wurden, im Allgemeinen nicht gleich sind, nur ein Schwellenwert verwendet. So könnte das System zum Beispiel ein Gruppenmitglied als Basis für den Schwellenwert herauspicken oder die einzeln bestimmten Schwellenwerte für alle Gruppenmitglieder mitteln.

[0074] Indem wir die Lehren der vorliegenden Erfindung einsetzten, konnten wir die Prüfzuverlässigkeit in einem Ausmaß anheben, das ohne das Verfahren der Erfindung einzusetzen, nur dadurch gelingen könnte, dass jeder Pin während des Prüfens selektiv geöffnet würde. Somit stellt die Erfindung einen signifikanten Fortschritt der Technik dar.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Überprüfen des Vorhandenseins, auf einer Leiterplatte (**18**) eines bestimmten Typs, auf welcher eine gegenständliche Vorrichtung (**14**) angebracht ist, die mehrere unter Prüfung befindliche Pins umfasst, die elektrisch an jeweils damit verbundene Leiterplattenknoten (**16**) angeschlossen werden sollen, eines offenen Stromkreises zwischen dem gegenständlichen der unter Prüfung befindlichen Pins und dem damit verbundenen Knoten, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:
A) auf einer bekannten Referenzleiterplatte des bestimmten Typs, auf welcher eine Referenzvorrichtung

angebracht ist, die der gegenständlichen Vorrichtung entspricht und Referenzvorrichtungspins umfasst, die jeweils den unter Prüfung befindlichen Pins der gegenständlichen Vorrichtung entsprechen, welche Referenzvorrichtungspins ordnungsgemäß an die Referenzleiterplattenknoten angeschlossen sind, für jeden bestimmten Pin aus mehreren unter Prüfung befindlichen Pins, einschließlich des gegenständlichen, unter Prüfung befindlichen Pins, eine grobe Referenzmessung der Kapazität zwischen einer kapazitiven Messwertaufnehmerplatte, die angrenzend an die Referenzvorrichtung angeordnet ist, und dem mit dem Referenzvorrichtungspin, der dem bestimmten Pin entspricht, verbundenen Knoten, vorzunehmen, wodurch dem bestimmten Pin ein grober Pinkapazitätswert zugeteilt wird;
dadurch gekennzeichnet, dass
B) jedem der einen oder mehreren der unter Prüfung befindlichen Pins, einschließlich des gegenständlichen, unter Prüfung befindlichen Pins, ein anschlussabhängiger Wert zugeteilt wird, der für den bestimmten Pin das Ergebnis des Ersetzens des groben Pinkapazitätswerts für den bestimmten Pin durch einen Wert ist, der als Funktion der groben Pinkapazitätswerte bestimmt wird, die den anderen Pins zugeteilt wurden;
C) dem gegenständlichen, unter Prüfung befindlichen Pin ein Prüfungsschwellenwert zugeteilt wird, der nicht nur vom groben Pinkapazitätswert für diesen Pin abhängt, sondern auch vom anschlussabhängigen Wert, der diesem zugeteilt wurde;
D) eine Prüfmessung der Kapazität zwischen dem Knoten, der dem gegenständlichen Pin zugeordnet ist, und der kapazitiven Messwertaufnehmerplatte vorgenommen wird, die angrenzend an die gegenständliche Vorrichtung angeordnet ist; und,
E) falls die Prüfmessung für den gegenständlichen, unter Prüfung befindlichen Pin den Prüfschwellenwert nicht überschreitet, der diesem zugeteilt wurde, ein Pin-offen-Signal generiert wird, das anzeigt, dass ein offener Stromkreis am gegenständlichen, unter Prüfung befindlichen Pin vorhanden ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Schritt des Ersetzens des groben Pinkapazitätswerts für den bestimmten Pin durch einen Wert, der als Funktion der groben Pinkapazitätswerte, die anderen Pins zugeteilt wurden, bestimmt wird, einen oder mehrere der folgenden Schritte umfasst:
(A) Ersetzen des groben Pinkapazitätswerts des bestimmten Pins durch einen Pinkapazitätswert, der gleich einem Durchschnitt der groben Pinkapazitätswerte von Pins nahe dem bestimmten Pin, eines dem bestimmten Pin räumlich entgegengesetzten Pins und/oder von Pins nahe dem räumlich entgegengesetzten Pin ist; und
(B) Ersetzen des groben Pinkapazitätswert des bestimmten Pins durch einen Pinkapazitätswert, der sich vom groben Pinkapazitätswert eines an diesen angrenzenden Pins unterscheidet, durch einen Durchschnitt der Unterschiede zwischen den groben Pinkapazitätswerten der auf der gegenständlichen Vorrichtung aneinander angrenzenden Pins.

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei der anschlussabhängige Wert für den bestimmten Pin dadurch bestimmt wird, dass der grobe Pinkapazitätswert des bestimmten Pins durch einen Pinkapazitätswert, der gleich einem Durchschnitt der groben Pinkapazitätswerte der Pins nahe dem bestimmten Pin, eines Pins, der dem bestimmten Pin räumlich entgegengesetzt ist, und/oder von Pins nahe dem räumlich entgegengesetzten Pin ist, nur dann ersetzt wird, wenn sich der grobe Pinkapazitätswert für den bestimmten Pin um mehr als einen vorbestimmten Messabweichungswert von einem Mittelwert der groben Pinkapazitätswerte unterscheidet.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei der anschlussabhängige Wert für den bestimmten Pin dadurch bestimmt wird, dass der grobe Pinkapazitätswert des bestimmten Pins durch einen Pinkapazitätswert, der sich vom groben Pinkapazitätswert eines an diesen angrenzenden Pins um einen Durchschnitt der Unterschiede zwischen den groben Pinkapazitäten von auf der gegenständlichen Vorrichtung aneinander angrenzenden Pins unterscheidet, nur dann ersetzt wird, wenn sich der Unterschied zwischen dem groben Pinkapazitätswert des bestimmten Pins und dem groben Pinkapazitätswert eines an diesen angrenzenden Pins, um mehr als einen vorbestimmten Stufenabweichungswert von einem Durchschnitt der Unterschiede zwischen den groben Pinkapazitätswerten von aneinander angrenzenden Pins unterscheidet.

5. Verfahren nach Anspruch 2, wobei der anschlussabhängige Wert für den bestimmten Pin dadurch bestimmt wird, dass der grobe Pinkapazitätswert des bestimmten Pins durch einen Pinkapazitätswert, der sich vom groben Pinkapazitätswert eines an diesen angrenzenden Pins um einen Durchschnitt der Unterschiede zwischen den groben Pinkapazitätswerten von auf der gegenständlichen Vorrichtung aneinander angrenzenden Pins unterscheidet, nur dann ersetzt wird, wenn sich der Unterschied zwischen dem groben Pinkapazitätswert des bestimmten Pins und dem groben Pinkapazitätswert eines an diesen angrenzenden Pins um mehr als einen vorbestimmten Stufenabweichungswert von einem Durchschnitt der Unterschiede zwischen den groben Pinkapazitätswerten von aneinander angrenzenden Pins unterscheidet.

6. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Leiterplatte des bestimmten Typs unter Prüfung befindliche Pins der gegenständlichen Vorrichtung zusammenschaltet, aber die gegenständlichen, unter Prüfung befindlichen Pins nicht mit anderen Pins der gegenständlichen Vorrichtung verbindet, und wobei das

Verfahren darüber hinaus eine Prüfsuche nach offenen Stromkreisen zwischen den zusammengeschalteten, unter Prüfung befindlichen Pins und den jeweils damit verbundenen Leiterplattenknoten umfasst, indem Prüfschwellenwerte für die zusammengeschalteten Pins auf eine andere Weise als diejenige bestimmt werden, die zur Bestimmung der Prüfschwellenwerte für den gegenständlichen, unter Prüfung befindlichen Pin verwendet wird.

7. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Leiterplatte des bestimmten Typs Leiterplattenvorrichtungen umfasst, die Durchkontaktierungspins umfassen, die elektrisch an die jeweils damit verbundenen Leiterplattenknoten angeschlossen werden sollen, und wobei der gegenständliche, unter Prüfung befindliche Pin kein Durchkontaktierungspin ist, und das Verfahren darüber hinaus umfasst, eine Prüfsuche nach offenen Stromkreisen zwischen den Durchkontaktierungspins und den damit verbundenen Knoten durchzuführen, indem Prüfschwellenwerte dafür auf eine andere Weise als diejenige festgelegt werden, die zur Bestimmung der Prüfschwellenwerte für den gegenständlichen, unter Prüfung befindlichen Pin verwendet wird.

8. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Schritt, dem gegenständlichen, unter Prüfung befindlichen Pin einen Prüfschwellenwert zuzuteilen, umfasst, dem gegenständlichen, unter Prüfung befindlichen Pin einen Prüfschwellenwert zuzuteilen, der für einen Kapazitätswert steht, der um einen Bruchteil des diesem zugeteilten anschlussabhängigen Werts kleiner ist als der diesem zugeteilte grobe Pinkapazitätswert.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

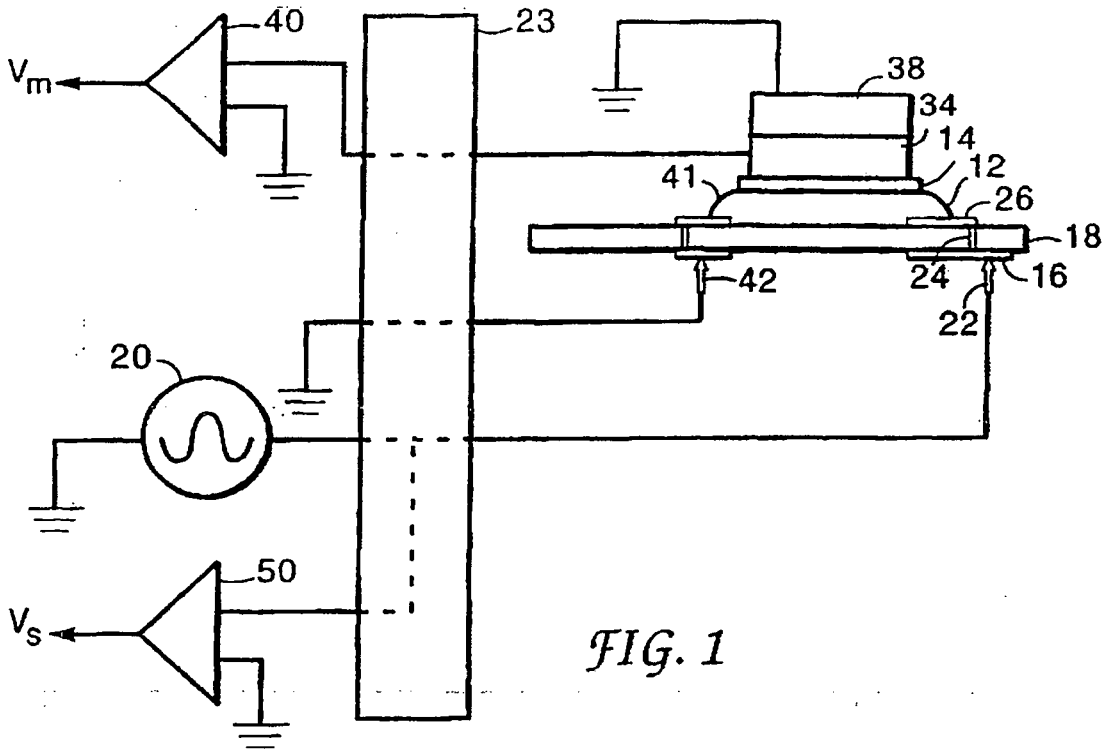


FIG. 1

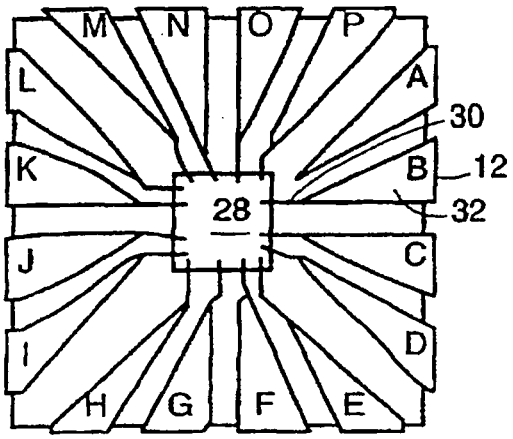


FIG. 2

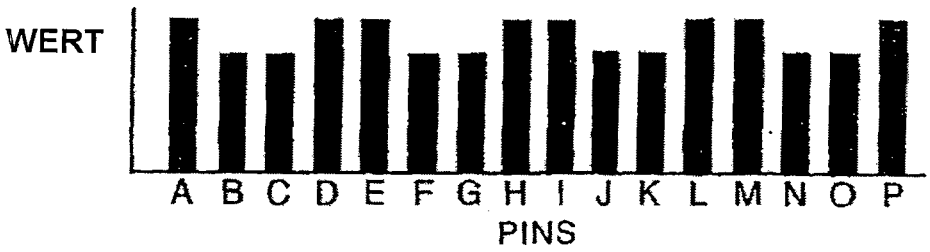


FIG. 3

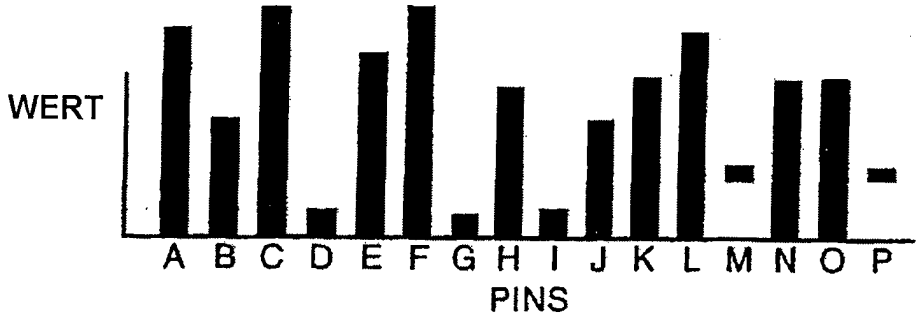


FIG. 4

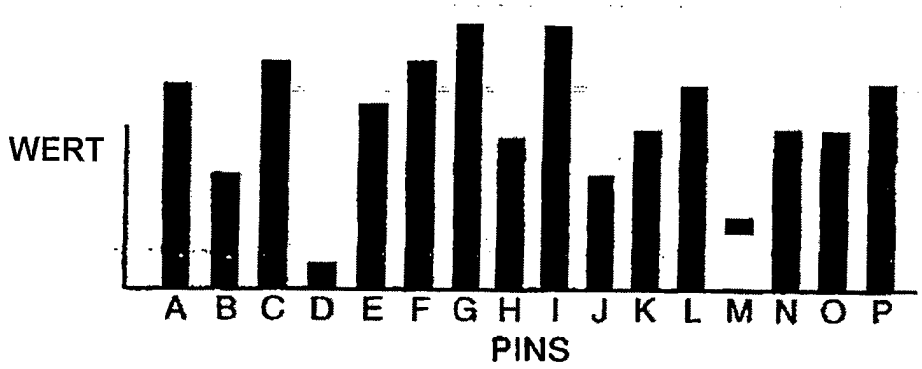


FIG. 6

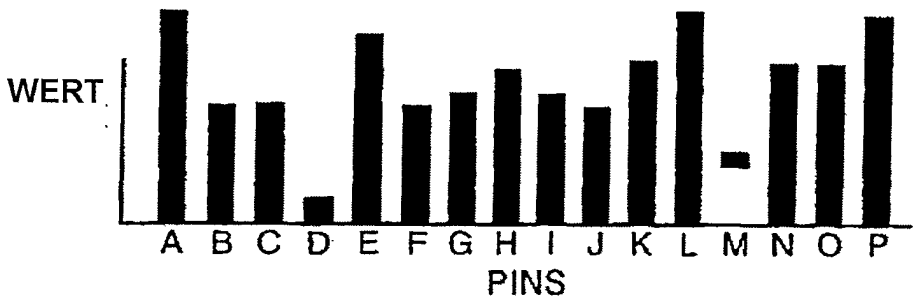


FIG. 8

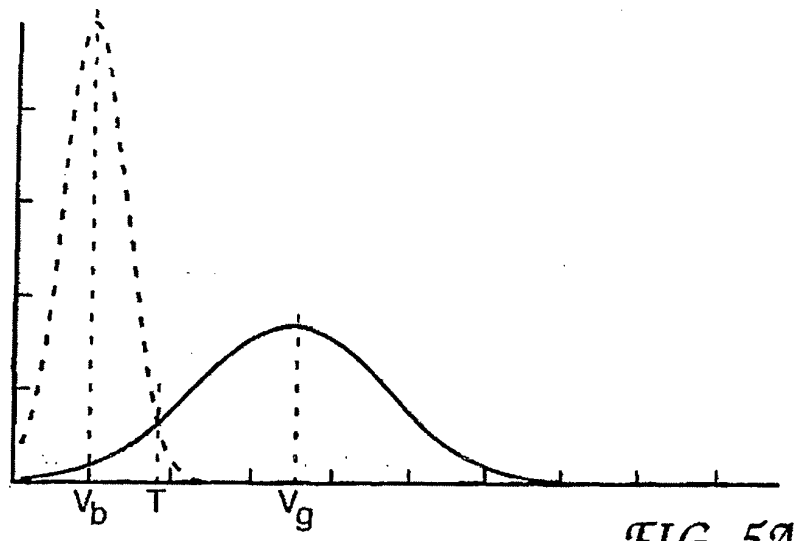


FIG. 5A

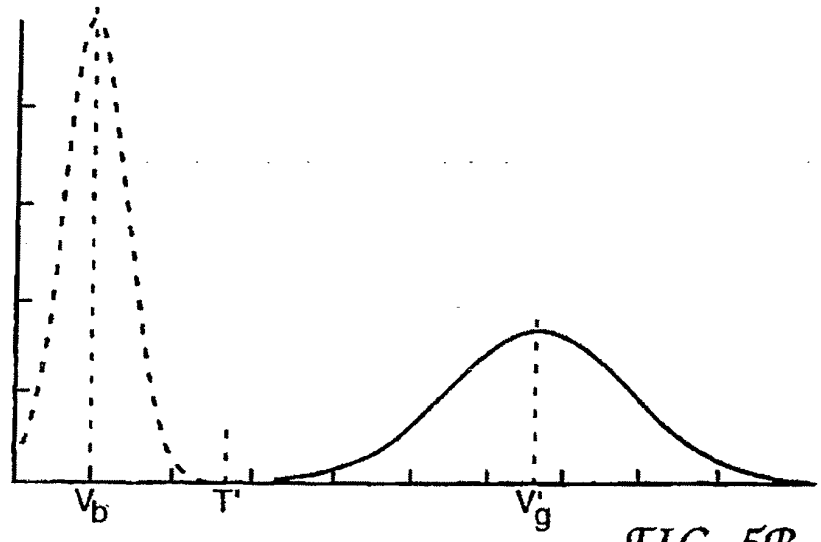


FIG. 5B

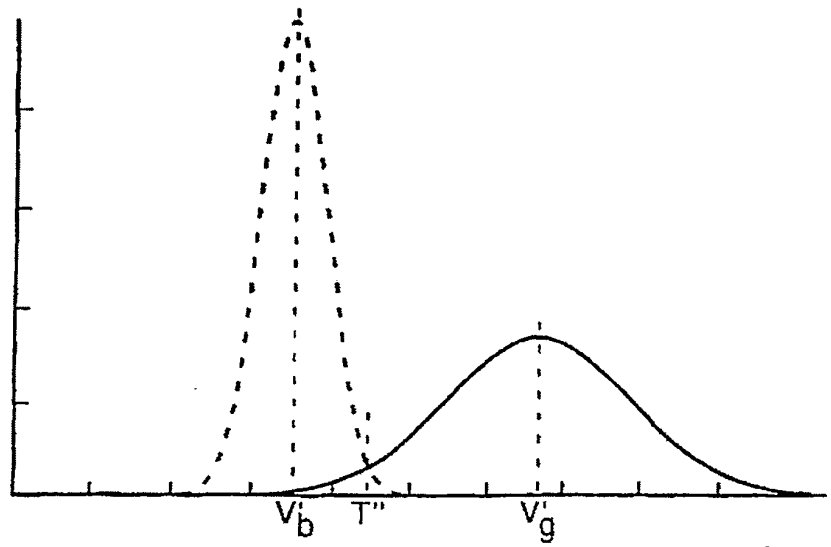


FIG. 5C

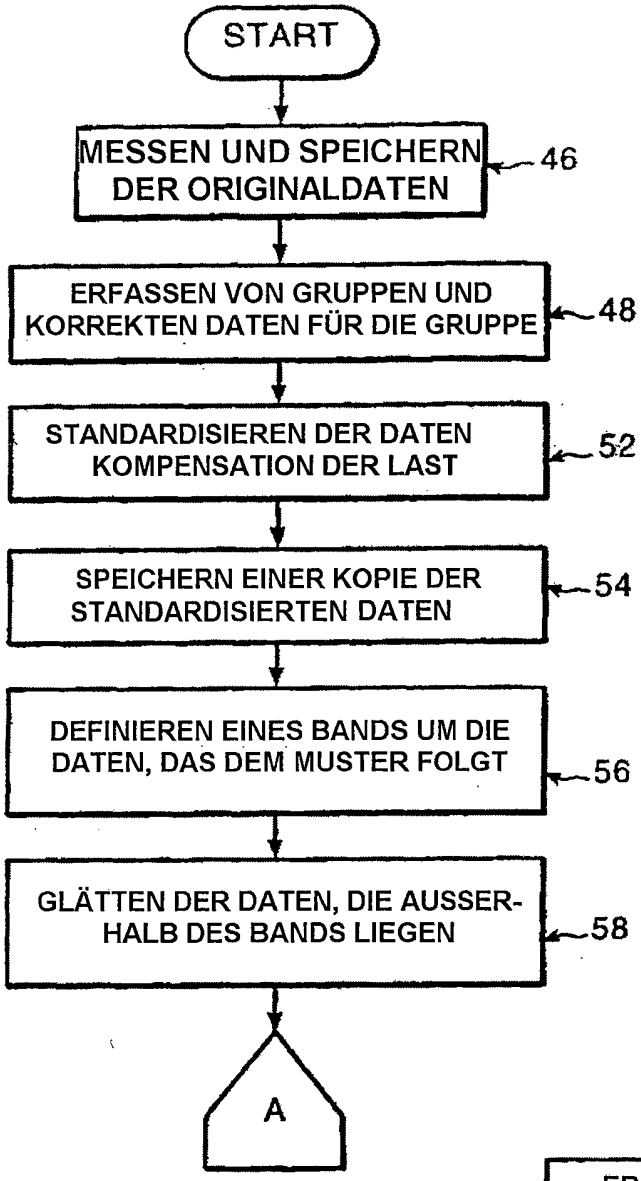

START
MESSEN UND SPEICHERN DER ORIGINALDATEN
46
ERFASSEN VON GRUPPEN UND KORREKTEN DATEN FÜR DIE GRUPPE
48
STANDARDISIEREN DER DATEN KOMPENSATION DER LAST
52
SPEICHERN EINER KOPIE DER STANDARDISIERTEN DATEN
54
DEFINIEREN EINES BANDS UM DIE DATEN, DAS DEM MUSTER FOLGT
56
GLÄTTEN DER DATEN, DIE AUSSERHALB DES BANDS LIEGEN
58
A

FIG. 7A

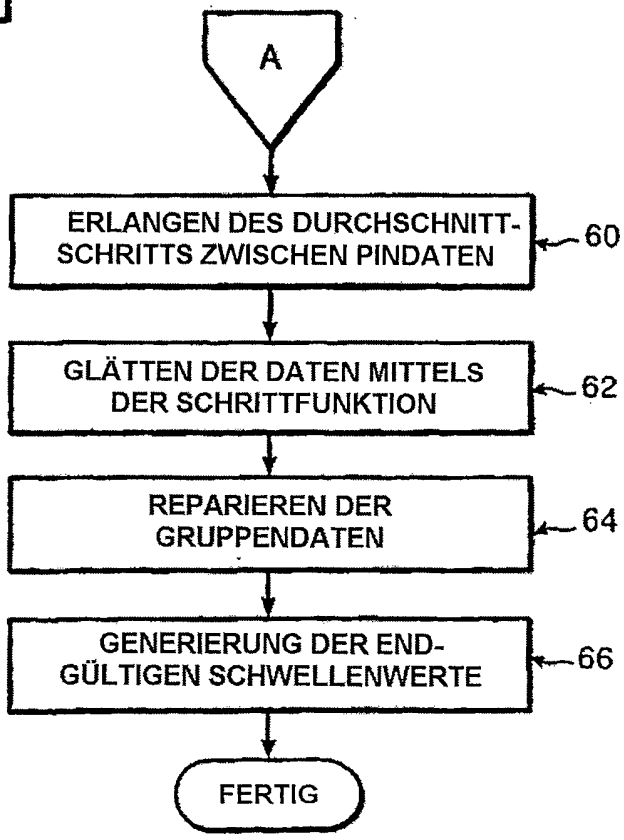

A
ERLANGEN DES DURCHSCHNITTSCHRITTS ZWISCHEN PINDATEN
60
GLÄTTEN DER DATEN MITTELS DER SCHRITTFUNKTION
62
REPARIEREN DER GRUPPENDATEN
64
GENERIERUNG DER ENDGÜLTIGEN SCHWELLENWERTE
66
FERTIG

FIG. 7B

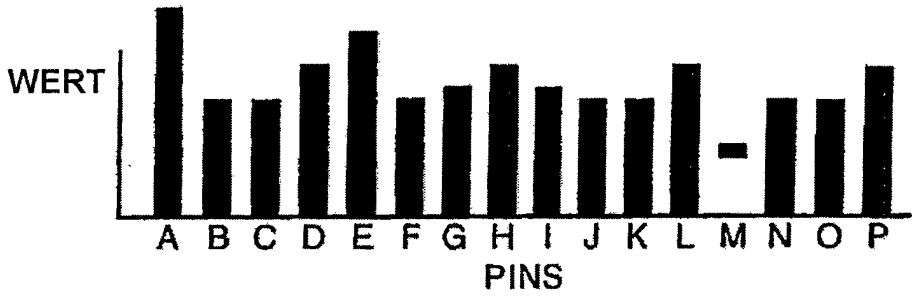


FIG. 9

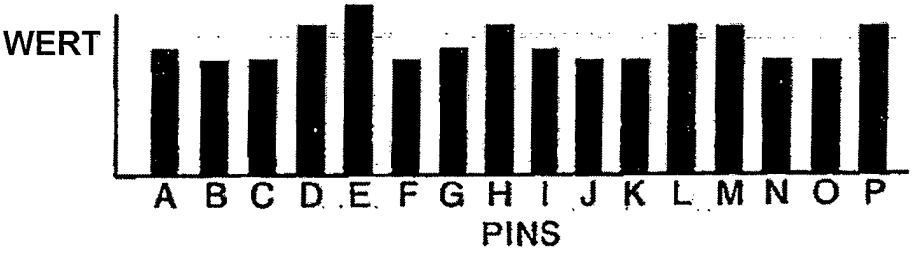


FIG. 10

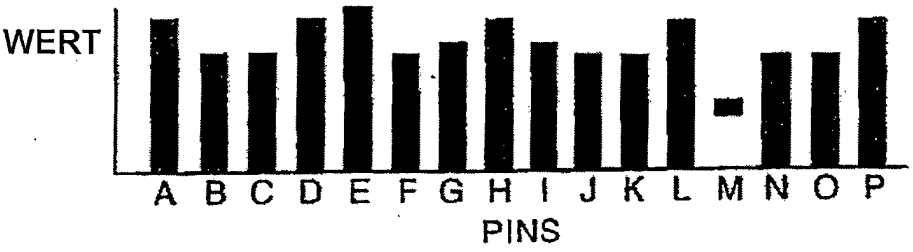


FIG. 11

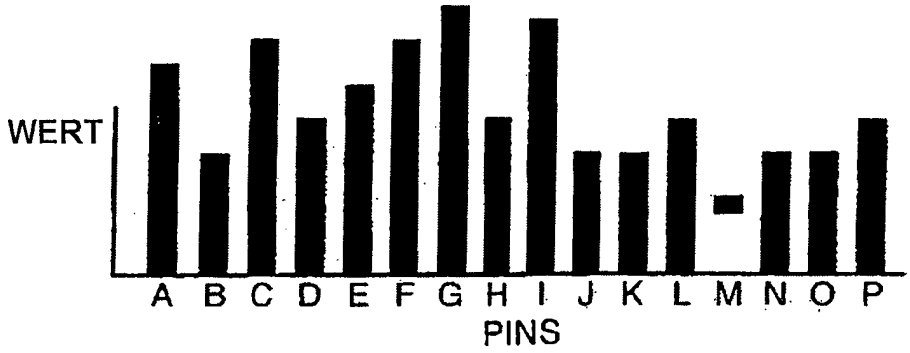


FIG. 12

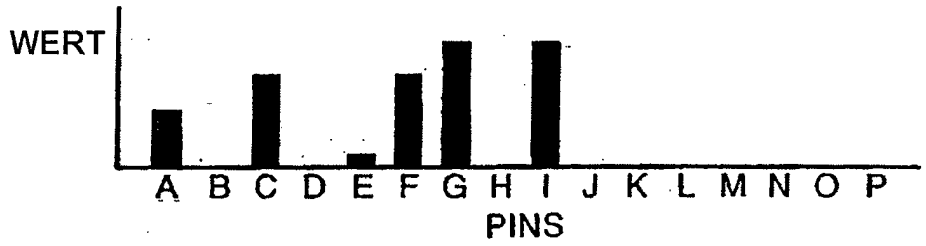


FIG. 13

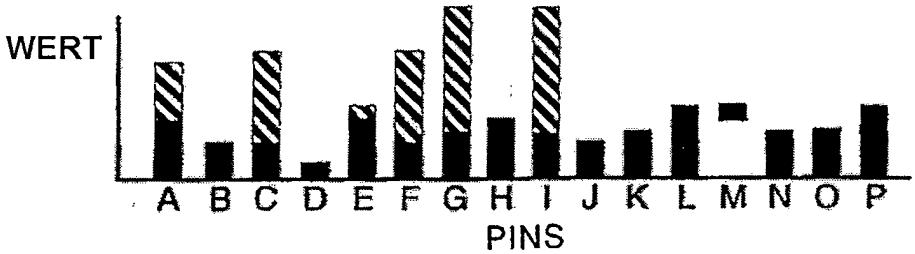


FIG. 14