CH 682597 A5

(19) SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 682597 A5

(51) Int. Cl.[5]: G 01 R 1/067

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTSCHRIFT A5

(21) Gesuchsnummer: 4026/90

(22) Anmeldungsdatum: 19.12.1990

(30) Priorität(en): 22.12.1989 US 455706

(24) Patent erteilt: 15.10.1993

(45) Patentschrift veröffentlicht: 15.10.1993

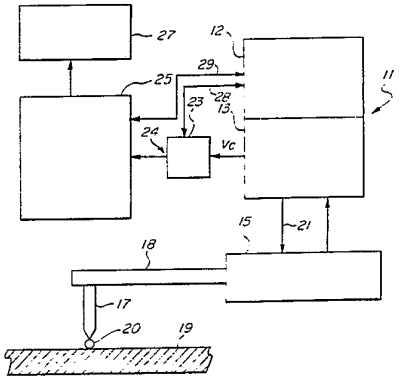
(73) Inhaber:
Hughes Aircraft Company, Los Angeles/CA (US)

(72) Erfinder:
Gibson, Owen E., Arivaca/AZ (US)
Gleeson, William J., Tucson/AZ (US)
Burkholder, Larry D., Tucson/AZ (US)
Benton, Bradley K., Carlsbad/CA (US)

(74) Vertreter:
Patentanwalts-Bureau Isler AG, Zürich

(54) Kontaktierungsqualitäts-Analysator.

(57) Ein Rückkopplungssignal des Ultraschallgenerators (13) eines Kugelkontaktierers (11) wird mit Hilfe eines von einem Mikroprozessor (25) gesteuerten Analog/Digital-Wandlers (23) abgetastet, um eine "Kontaktierungskennzeichnung" als Hinweis für die Qualität der Kontaktierung zu erhalten. Der Mikroprozessor (25) vergleicht dann die Kontaktierungskennzeichnung mit Grenzwerten, die für Kontaktierungen guter Qualität bezeichnend sind, um eine Anzeige für eine zulässige oder unzulässige Kontakierung abzugeben. Die Anzeige kann durch Darstellung der Kontaktierungskennzeichnung und der Grenzwerte in einem Display (27) visualisiert oder automatisch durch einen programmierten Vergleich angegeben werden.



Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Kontaktierungen gemäss dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 und eine Vorrichtung für einen Drahtkontaktierer gemäss dem Oberbegriff des Patentanspruchs 4.

Zur Kontaktierung von Drähten in integrierten Schaltungen werden gegenwärtig verschiedene Methoden verwendet, insbesondere Kugel- und Keilkontaktierungen. Bei einem typischen Kugelkontaktierungsverfahren wird zunächst eine «Kugelkontaktierung» bei einer integrierten Schaltung, dann ein «Kontaktierungsstich» bei einer zweiten Kontaktierungsstelle und schliesslich ein «Stichriss» durchgeführt.

Bei einem solchen Kugelkontaktierungsverfahren ergeben sich verschiedene Nachteile, beispielsweise wegen Kugelverschiebungen, falsch registrierter Kugeln, ungeeigneter Kugelgrösse, Kraterbildung und defekter Stiche. Die «verschobene» Kugel ergibt keine gute Kontaktierung mit dem Kontaktierungspfad oder Leiter. Schmutz oder eine falsche Kontaktierungskraftkomponente ist oft die Ursache für verschobene Kugeln. Bei einer falsch registrierten Kugel wird dieser in einem unrichtigen Verhältnis zwischen der Kugelkontaktierungspfadstelle und einem angrenzenden Material eingesetzt, typischerweise einer Siliziumdioxidverglasung oder einem Dielektrikum. Es wird daher während des Kontaktierzyklus nur ein kleiner Teil der ganzen Kugelkontaktierungsfläche verbunden. Zudem kann die Kugelgrösse entweder zu gross oder zu klein sein.

Die Kraterbildung geschieht explosiv während des Kugelkontaktierungszyklus. Eine geeignete Verbindung findet in den früheren Stadien des Kugelkontaktierungszyklus statt, und dann bricht plötzlich durch grosse Scherungskräfte das Siliziumsubstrat ab. Die Kugelkontaktierung bleibt somit ohne Stütze.

Misslungene Stiche ergeben sich aus abgeschnittenen Stichen und aus verschobenen Stichen. Bei einem abgeschnittenen Stich wird das Drahtende wegen Überkontaktierung frühzeitig von der Kontaktierungsstelle befreit. Bei einem verschobenen Stich wird hingegen der Draht beim Stich unterkontaktiert, so dass eine grössere Kraft notwendig ist, um das Drahtende vom Kontaktierungsstichende zu trennen.

Wegen der erwähnten und anderer möglicher Fehlerursachen werden normalerweise die maschinell durchgeführten Drahtkontaktierungen arbeitsintensiven und kostspieligen Testproben unterzogen. Die üblichen Anforderungen der Militärtechnik verlangen beispielsweise eine interne visuelle Prüfung zur Kontrolle der Integrität der Drahtkontaktierungen und anderer Mikroschaltungsverbindungen. Die visuelle Prüfung von Drahtverbindungen hat sich als eine sehr kostspielige Aufgabe erwiesen, die beispielsweise für gewisse Anwendungen in einem Fall acht in zwei Schichten pro Tag arbeitende Kontrollstationen erforderlich machte. Die Produktionsarbeiter müssen wöchentlich in diesen Stationen bis zu Hunderttausenden von fertiggestellten Drahtkontaktierungen anschauen und reparieren. Gewisse Anforderungen der Militärtechnik verlangen eine 100%ige nichtdestruktive Drahtzugkraftprüfung aller Drahtkontaktierungen. Eine Drahtzugkraftprüfung braucht mehr Zeit als eine visuelle Prüfung und gefährdet das Produkt. Eine andere nützliche Prüfung ist die einfache Bestimmung der Existenz eines Drahtes im Kontaktierungswerkzeug während des Kontaktierungsprozesses, beispielsweise während des Drahtbindens und der Stichkontaktierungsbildung.

All diese unfangreichen Prüfungen führen jedoch zur Detektion einer relativ kleinen Anzahl fehlerhafter Kontaktierungen. So wurde in einem Fall die Menge der fehlerhaften neuhergestellten Hybridschaltungen einer typischen Vorrichtung auf 0,24% der totalen Menge der installierten Vorrichtungen berechnet. Nach diesem Beispiel könnte durch eine geeignete Kontaktierungsidentifizierung die Menge der Kontaktierungen, die wegen der Möglichkeit eines Defekts geprüft und repariert werden müssten, effektiv von 16 250 000 auf nur 39 000 Kontaktierungen der neuhergestellten Hybridschaltungen reduziert werden.

Es ist daher ein Zweck der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung für eine verbesserte Detektion von fehlerhaften Drahtkontaktierungen anzugeben.

Es ist ein weiterer Zweck der Erfindung, die Notwendigkeit einer visuellen Prüfung von Drahtkontaktierungen zu reduzieren oder zu vermeiden.

Es ist ein weiterer Zweck der Erfindung, die Notwendigkeit einer 100%igen Drahtzugkraftprüfung zu reduzieren oder zu vermeiden.

Es ist ein weiterer Zweck der Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung für eine verbesserte Detektion von fehlerhaften Drahtkontaktierungen anzugeben, die automatisiert und in sogenannten Expert-Systemen angewendet werden kann.

Es ist ein weiterer Zweck der Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung dieser Art für den Gebrauch in verbesserten (planmässig durchgeführten) Drahtkontaktierungsprozessen und -prüfungen anzugeben.

Es ist ein weiterer Zweck der Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung dieser Art für den Gebrauch unter verbesserten Service- und Prüffeldbedingungen anzugeben.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäss durch ein Verfahren nach Anspruch 1 und eine Vorrichtung nach Anspruch 4 gelöst.

Gemäss dem erfindungsgemässen Verfahren wird beispielsweise ein Signal, das eine Information über die Qualität der Kontaktierung enthält, vom Steuersystem des Drahtkontaktierers abgeleitet, abgetastet und digital verarbeitet, um die Qualität der Kontaktierung zu bestimmen. Das abgeleitete Signal ist ein Signal, das in Beziehung zur an die Kontaktierungsstelle angekoppelten Energie steht. Bei diesem Signal kann es sich beispielsweise um ein Signal handeln, das indikativ für Änderungen in der Rückkopplung ist, die erforderlich sind, um die Ultraschallenergie zu stabilisieren, die zur Vibration des Kontaktierungswerkzeugs während des Kontaktierungsprozesses verwendet wird.

Im folgenden wird die Erfindung beispielsweise anhand einer Zeichnung näher erläutert. Es zeigt:

Fig. 1 eine schematische Darstellung zur Erläuterung eines Kontaktierungsverfahrens nach dem Stand der Technik,

Fig. 2 ein schematisches Blockschaltbild einer bevorzugten Ausführung der Erfindung,

Fig. 3 eine Darstellung von Kennzeichnungen bezüglich der Drahtkontaktierungen nach Fig. 1,

Fig. 4 das Blockschaltbild einer Schaltung zur Erzeugung eines Signals, das die an eine Kontaktierungsstelle angekoppelte Energie darstellt,

Fig. 5 ein Flussdiagramm zur Erläuterung einer Kennzeichnungsanalyse nach der vorliegenden Erfindung und

Fig. 6 die Darstellung einer Kontaktierungskennzeichnung nach der bevorzugten Ausführung.

Fig. 1 zeigt die Z-Achsenbewegung eines Werkzeugs in einem typischen Kugelkontaktierungsverfahren. Bei einem Bauteil 106 wird eine erste Kugelkontaktierung 101 gemacht; der Draht wird gezogen, zu einer Schleife 109 geschlungen und an eine zweite Kontaktierungsstelle, beispielsweise an einen Anschluss gebracht. Bei der zweiten Kontaktierungsstelle wird die zweite oder «Stichkontaktierung» 107 gemacht, und der Draht wird verschweisst. Die Verschweissung umfasst die Verfahrensschritte, dass das Drahtende nach der Herstellung der zweiten Kontaktierung gezogen wird, dass die Drahtklemme geschlossen und das Ende der zweiten Kontaktierung 107 abgeschnitten wird und dass die Verschweissungsposition eingestellt und das Verschweissungssystem gezündet wird. Im allgemeinen wird die Kugelkontaktierung 101 an einen Pfad einer integrierten Schaltung und die Stichkontaktierung 107 an ein Goldsubstrat gemacht, aber eine umgekehrte Kontaktierung nach dem Stand der Technik ist auch möglich.

Ein Drahtkontaktierer 11 mit einem Ultraschallgenerator 13 zur Durchführung einer solchen Drahtkontaktierung ist schematisch in Fig. 2 dargestellt. Ein solcher handelsüblicher Drahtkontaktierer 11 wird unter der Bezeichnung HMC 2460 thermosonic wirebonder von Hughes Aircraft Company geliefert. Ein Ultraschallgenerator, wie er in diesem Drahtkontaktierer verwendet wird, wird von der Firma Orthodyne Inc. von Costa Mesa, California, hergestellt. Der Drahtkontaktierer 11 nach Fig. 2 umfasst noch einen Ultraschallwandler 15, ein Ultraschallhorn 18 und ein Kontaktierungswerkzeug oder eine Kapillare 17. Bei der Kapillare 17 wird mechanische Kraft und Ultraschallenergie angewendet, um eine Drahtkontaktierung zwischen einer Kontaktierungsfläche 19 und einem Goldball 20 mit einem Durchmesser von beispielsweise 0,017 bis 0,05 mm (0,7 bis 2,0 mils) herzustellen. Die vom Kontaktierer 11 durchgeführte Drahtkontaktierung wird durch eine Steuerung 12 gesteuert, die sich im HMC-2460 Kontaktierer 11 befindet und eine Anzahl programmierter Mikroprozessoren aufweist.

Für den Gebrauch gibt der Drahtkontaktierer 11 Wärme an die Kontaktierungsstelle über einen beheizten Träger ab, der sich unterhalb der Kontaktierungsfläche 19 befindet. Eine Kraft wird durch Pressen der Kapillare 17 nach unten gegen die Kontaktierungsfläche 19 ausgeübt. Ein Ultraschallsignal wird vom Generator 13 erzeugt und in eine mechanische Schwingung mit einer Ultraschallfrequenz des Horns 18 durch den Wandler 15 umgewandelt. Die Kapillare 17 überträgt die Ultraschallenergie und die nach unten drückende Kraft derart, dass der Goldball 20 tatsächlich gegen die Kontaktierungsfläche 19 «zerdrückt» wird. Die Kombination von Wärme, Kraft und Ultraschallschwingung bewirkt die Kontaktierung zwischen der Kontaktierungsfläche 19 und dem Goldball 20.

Wenn die Kapillare 17 den Goldball 20 gegen die Kontaktierungsfläche 19 presst, wird die Amplitude der Ultraschallschwingung, die durch das Horn 18 geführt wird, gemäss dem Kopplungskoeffizienten zwischen dem Werkzeug 17 und dem Goldball 20 und zwischen dem Goldball 20 und der Kontaktierungsfläche 19 gedämpft. Dieser Kopplungskoeffizient ist vom Material, von der Kraft und der Temperatur und von den Verunreinigungen und anderen Faktoren abhängig.

Eine Rückkopplung im Ultraschallgenerator 13 detektiert jede Resonanzänderung des Horns 18. Das Rückkopplungssystem steuert die Energie, die dem Horn abgegeben wird, um die gewünschte Ultraschallschwingung zu liefern. Die Rückkopplung des Ultraschallgenerators 13 erzeugt ein Gleichstrom-Rückkopplungs-Korrektionssignal V_c, das entnommen wird, um eine direkte Angabe über die mechanische Kohärenz zwischen dem Wandler 15, dem Werkzeug 17 und der Kontaktierungsfläche 19 zu erhalten.

Gemäss einer bevorzugten Ausführung wird diese Spannung V_c durch einen handelsüblichen Analog/Digital-Wandler 23 in eine Sequenz von digitalen Werten umgewandelt. Ein solcher Wandler wird beispielsweise unter der Bezeichnung DAS 16G von der Firma Metrabyte Corp. von Taunton, Massachusetts geliefert. Diese Spannung V_c in Funktion der Zeit für eine gewisse Kontaktierung wird als «Kontaktierungskennzeichnung» dieser speziellen Kontaktierung betrachtet. In dieser bevorzugten Ausführung umfasst die digitale Darstellung des analogen Signals V_c am Ausgang 24 des A/D-Umwandlers 23 eine Reihe von digitalen Abtastwerten, die die Spannung V_c in Funktion der Zeit darstellen. Diese Abtastwerte werden übernommen und analysiert unter der Steuerung eines BSA-Mikroprozessors 25, um die Kontaktierungsqualität zu bestimmen. Der BSA-Mikroprozessor ist vorzugsweise ein IBM-Personalcomputer (PC) oder ein weiterentwikkelter IBM-kompatibler Personalcomputer.

Das Signal V_c ist eine Darstellung der an die Kontaktierungsstelle angekoppelten Energie. Diese Energie ist von den Bedingungen an der Kontaktierungsstelle, beispielsweise vom erwähnten «Kopplungskoeffizienten», abhängig und umfasst sowohl die zum Werkzeug 17 gelieferte Treiberfunktion als auch die reelle Reaktion zur Treiberfunktion. In der bevorzugten Ausführung werden sowohl die Kugel- als auch die Stichkontaktierungen 101 bzw. 107 gemäss dem sogenannten Konstantstromverfahren durchgeführt.

Fig. 4 zeigt eine Vorrichtung zur Durchführung des Konstantstromverfahrens, bei dem das Signal V_C aus einem Signal erzeugt wird, das durch Anwendung eines Abtastwertes vom Wandlerstrom erzeugt wird, der über einen Transformator T2 an einen Synchrondetektor 61 gelangt, um eine Gleichspannung zu erzeugen, die direkt proportional zum Amplitudenpegel des Werkzeugs 17 ist. Die Gleichspannung wird dann einem Summationsverstärker 63 zugeführt, welcher im Konstantstromverfahren die Gleichspannung von einem Nennspannungspegel subtrahiert, der von einem Computer festgelegt wird, und welcher das Korrektionssigal V_C liefert. Der Nennspannungspegel wird über einen Datenpuffer 65 übertragen, in Analogform durch einen Digital/Analog-Wandler 67 umgewandelt und über einen Verstärker 69 dem Summationsverstärker 63 zugeführt. Ein Ultraschallgenerator mit derartigen Schaltungen ist in der US-Patentschrift 4 824 005 beschrieben, die durch diese Referenz als hier inbegriffen gelten soll.

Ein anderes für den Fachmann gut bekanntes Verfahren ist das sogenannte Konstantspannungsverfahren. Das Signal V_C kann auch für dieses Verfahren abgeleitet werden. Im allgemeinen kann der Fachmann auf diesem Gebiet aus dem Gesagten gemerkt haben, dass verschiedene Signalpunkte in verschiedenen Ultraschallgeneratoren eine Signal- oder Kontaktierungskennzeichnung liefern können, die «für die bei der Kontaktierungsstelle angekoppelte Energie representativ» ist, wie es in der vorliegenden Beschreibung zum Ausdruck gebracht wird.

Fig. 3 zeigt eine «ideale» Kontaktierungskennzeichnung, wie sie sich aus dem Verfahren nach Fig. 2 ergibt. Eine ideale Kontaktierungskennzeichnung zeigt eine positive Anstiegflanke bei der Kugel- und Stichkontaktierung, die für eine zunehmende erforderliche Wandlerspannungstreiberfunktion bei diesen Punkten indikativ ist. Es wird angenommen, dass dies zurückzuführen ist, (1.) auf eine Zunahme der Kontaktierungsquerschnittsfläche und einen erhöhten Werkzeugskontakt, wenn auf der Kapillare die nach unten wirkende Kraft angewendet wird, und (2.) auf eine Zunahme der durch das Kontaktierungsverfahren bei den zu verbindenden Flächen bewirkten Steifheit der Kontaktierung. Die Kennzeichnung 113 einer idealen Stichkontaktierung hat eine erforderliche Spannungscharakteristik, die der Kennzeichnung einer idealen Kugelkontaktierung 111 ähnlich ist, jedoch normalerweise eine grössere Ausdehnung aufweist.

Ein zusätzliches Signal auf der Stichseite der Kontaktierungssequenz ist die Stichabtrennspitze 115 (Fig. 3). Bei der Bildung der Stichkontaktierung wird der Kontaktierungskopf leicht gehoben, so dass ein kurzes Drahtende bleibt. Der Drahtklemmmechanismus schliesst, und der Kontaktierungskopf bewegt sich schnell aufwärts. Durch diese Operation wird das Drahtende von der Stichkontaktierung befreit, während von der Kapillare ein Stück Draht für die nächste Verschweissung und Kugelbildung hängen bleibt. Diese Trennung des Drahtendes von der vorhergehenden Stichkontaktierung hinterlässt eine charakteristische Spitze 115 in der Kontaktierungskennzeichnung.

Die Kennzeichnungen verschiedener fehlerhafter Kontaktierungen unterscheiden sich von jenen der «guten» Kontaktierungen. Die Kontaktierung mit verschobener Kugel ergibt keine richtige Kontaktierung mit dem Kontaktierungspfad oder -leiter, und bei einigen Kontaktierungswerkzeugen ergibt sich keine sichtbare Kontaktierungskennzeichnung in der Wandlerspannung. Eine falsch registrierte Kugel kann eine flache Wandlerspannung ergeben, weil während des Kontaktierungszyklus nur ein Teil der ganzen Kugelkontaktierungsfläche wirklich verschweisst wurde. Die Kontaktierung mit einer unter- oder überdimensionierten Kugel wird eine niedrigere bzw. höhere Wandlerspannung verlangen.

Bei einem Kontaktierungspfad mit Kraterbildung ergibt sich eine richtige Ankopplung in den ersten Stadien der Kugelkontaktierung, und dann bricht plötzlich durch grosse Scherungskräfte das Siliziumsubstrat ab. Die Kugelkontaktierung bleibt ohne Stütze und die Spannung bricht schnell zusammen.

Ein abgeschnittener Stich hat eine andere Kennzeichnung als der normale Stich, weil das Drahtende wegen Überkontaktierung frühzeitig von der Kontaktierungsstelle befreit wurde. Auf der anderen Seite gibt der verschobene Stich eine andere Abtrennkennzeichnung, weil der Draht beim Stich unterkontaktiert wurde und eine grössere Kraft notwendig ist, um das Drahtende vom Stichende der Kontaktierung zu trennen, die nicht gelingen wird, wenn der Stich nicht richtig festsitzt.

Durch Beobachtung der Kontaktierungskennzeichnungen kann man daher eine «gute» von einer fehlerhaften Kontaktierung unterscheiden. Die bevorzugte Ausführung beruht auf einer Analyse von Kontaktierungskennzeichnungen unter der Steuerung eines Mikroprozessors im Zusammenhang mit der Kontaktierungssequenz des Kontaktierers 11 nach Fig. 2.

Mit Hilfe des Kontaktierers HMC-2460 ergibt sich gemäss der bevorzugten Ausführung eine Kontaktierungssequenz (BS) wie folgt, wobei mit Ausnahme der Schritte BS 3, BS 11 und BS 14 das Verfahren konventionell ist.

Schritt BS 1: Der X/Y-Tisch des Kontaktierers wird auf eine erste Kontaktierungsposition gebracht, und das Kontaktierungswerkzeug 17 wird längs der Z-Achse mit hoher Geschwindigkeit und mittlerer Kraft bewegt, um Position zu «suchen». Eine erste Kontaktierungskraft wird angewendet, und das Werkzeug 17 setzt mit einer ersten Kontaktierungssuchgeschwindigkeit seine Z-Bewegung zur Kontaktierungsfläche fort, wo die Kontaktierung 101 gebildet werden soll.

Schritt BS 2: Verzögerung von 10 bis 15 Millisekunden.

Schritt BS 3: Der BSA-Prozessor wird getriggert, um anzufangen, Daten aufzunehmen. Der HM-2460-Steuerungsprozessor 12 erhöht den Energiepegel des Ultraschallgenerators 13 auf den programmierten Pegel und gibt weiterhin Ultraschallenergie während der programmierten ersten Kontaktierungszeit (typischer Wert: 20 bis 40 Millisekunden), während der die Kugelkontaktierung 101 gebildet werden soll. Während dieser ersten Kontaktierungszeit hat der BSA-Prozessor 25 den A/D-

Wandler 23 gesteuert, um die Kontaktierungskennzeichnung V_C abzutasten, und die Abtastwerte in einem RAM-Speicher (random access memory) oder in einem sogenannten Disk-Speicher oder in beiden gespeichert, wie weiter unten näher erläutert werden soll. Es wurde bereits mit Erfolg eine Abtastperiode von 10 Millisekunden, angefangen beim Beginn der ersten Kontaktierungszeit, verwendet, obwohl in Abhängigkeit der gewünschten Analyse auch andere Perioden verwendet werden können.

Schritt BS 4: Die Kontaktierungssteuerung 12 schaltet die Ultraschallenergie aus, reduziert die Kraft und hebt das Kontaktierungswerkzeug 17 weg von der ersten Kontaktierung 101. Das System zur Analyse der Kontaktierungskennzeichnung ist vor dem Ende des Schrittes BS 3 daran, Daten aufzunehmen. Das System kann auch ausgelegt werden, um Daten während des Schrittes BS 4 aufzunehmen, aber normalerweise wird es nicht so sein.

Schritte BS 5 bis 8: Das X/Y/Z-Positionierungs-System bewegt das Werkzeug durch verschiedene programmierbare «Schleif»-Modi, um den Draht zu formen, wenn er herauskommt. Die X/Y-Position befindet sich bei der zweiten Kontaktierungsposition 107 am Ende dieser Sequenzen.

Schritt BS 9: Wie im Schritt BS 1 wird das Werkzeug bewegt, um mit hoher Geschwindigkeit und mittlerer Kraft Höhe zu suchen. Die zweite Kontaktierungskraft wird angewendet, und die Z-Achsenbewegung geht mit Suchgeschwindigkeit zur Kontaktierungsfläche weiter, wo die Kontaktierung 107 geformt werden soll.

Schritt BS 10: Verzögerung von 10 bis 15 Millisekunden.

Schritt BS 11: Der BSA-Prozessor beginnt von neuem Daten aufzunehmen. Die Ultraschallenergie wird wieder auf den programmierten Pegel erhöht und während einer programmierten zweiten Kontaktierungszeit angewendet.

Schritt BS 12: Wie im Schritt BS 4 wird die Ultraschallenergie ausgeschaltet. Der BSA-Prozessor 25 bleibt dabei, Daten aufzunehmen. Das Werkzeug bewegt sich längs der Z-Achse zur Drahtend-Ziehposition.

Schritt BS 13: Die Drahtklemme wird geschlossen; es folgt eine kurze Verzögerung.

Schritt BS 14: Der BSA-Prozessor 25 nimmt Drahtend-Ziehpositions-Information auf, wenn sich das Werkzeug zur elektrischen Verschweissposition oder EFO-Position (electric flame-off) bewegt.

Schritt BS 15: Dem EFO-Stab wird Energie gegeben, und eine Verzögerung (zum Einsetzen) findet statt.

Schritt BS 16: Der EFO-Stab wird während einer programmierten Zeit eingeschaltet.

Schritt BS 17: Kurze Verzögerung.

Schritt BS 18: Der EFO-Stab wird ausgeschaltet.

Das Vorgehen beim Schritt BS 3 gemäss der bevorzugten Ausführung wird nun anhand der Fig. 5 und 6 näher erläutert. Fig. 5 ist ein Flussdiagramm zur Erläuterung des Analyseverfahrens der Kontaktierungskennzeichnung, während Fig. 6 eine als Kurve 41 dargestellte analoge Kontaktierungskennzeichnung V_C darstellt.

Im Schritt 51 nach Fig. 5 tastet der A/D-Wandler 23 die V_C-Kurve 41 ab, wie durch die vertikalen zerhackten Marken entlang der Kurve 41 in Fig. 6 angegeben. Wie dargestellt, steigt der Wert von V_C typischerweise schnell hinauf bis zu einer Spitze und dann langsam herunter für die Zeit der Kugelkontaktierung 101. Der Anfangsaufstieg stimmt mit dem Aufstieg der Ultraschallenergie überein. Der A/D-Wandler 23 wird durch den BSA-Prozessor 25 gesteuert, um eine ausgewählte Periode von einem bis zu Hunderten von Millisekunden in einer Abtastrate von Gleichspannung bis zu 70 kHz mit der Metrabyte-A/D-Karte abzutasten, wobei normalerweise ein Maximum von 256 Abtastwerten genommen wird. Unter Beeinträchtigung der Geschwindigkeit könnten noch viel mehr Abtastwerte genommen werden. Der Prozessor 25 ist programmiert, um ein Startsignal für den A/D-Wandler 23 zu liefern, sowie Signale, die für die Abtastfrequenz und die Abtastzahl indikativ sind, wie nachfolgend näher erläutert werden soll. Der Prozessor 25 wählt auch eine A/D-Verstärkungseingabe, beispielsweise 1, 2, 4 oder 8mal, um sicherzustellen, dass die Anzeige dem CRT-Display 27 entspricht.

Die Datenaufnahme, das heisst die Abtastung von V_C, wird wie folgt gesteuert. Die Kontaktierungssteuerung 12 liefert eines von drei Steuer- oder Togglesignalen T_0, T_1, T_2 zu den Parallelsteuerleitungen 28. Diese Steuerleitungen 28 liefern die entsprechenden Signale T_0, T_1, T_2 zum A/D-Wandler 23, während die Steuerleitungen 29 eine Kommunikation zwischen der Steuerung 12 und dem BSA-Prozessor 25 erlauben. Diese Signale zeigen, dass der Kontaktierer 11 dabei ist, sich vorzubereiten, um die Kugelkontaktierung, die Stichkontaktierung bzw. die Bildung des Endes durchzuführen. Die Signale T_0, T_1, T_2 bewirken, dass der A/D-Wandler 23 mit der Abtastung beginnt. Wenn beispielsweise das Signal T_0 erscheint, tastet der A/D-Wandler 23 die Kugel-Kontaktierungskennzeichnung. Die Abtastrate und die Anzahl Abtastwerte werden durch eine Steuerleitung im BSA-Prozessor 25 gesetzt. Die Symbolpaare B, x; s, y und t, z können beispielsweise benutzt werden, um die Abtastzahl und die Abtastfrequenz zu bezeichnen, die den entsprechenden Steuersignalen T_0, T_1, T_2 zugeordnet werden. Die ausgewählten Abtastzahlen b, s, t und die Abtastfrequenzen x, y, z werden demgemäss zur Gewinnung der Kugel-, Stich- und Endbildungen programmiert.

Im Schritt BS 3 bewirkt der BSA-Prozessor 25, dass der A/D-Wandler 23 jeden Wert wie beschrieben abtastet und dass jeder Abtastwert im RAM-Halbleiter-Speicher gespeichert wird mit der Option, ihn später in einem Disk-Speicher zu speichern (Schritt 53 in Fig. 5). Der Prozessor 25 beginnt dann ein Verfahren, um die Daten zu qualifizieren, das heisst, zu bestimmen, ob die Abtastwerte von V_C innerhalb zulässiger Grenzwerte fallen. Der Prozessor 25 erhält und speichert die Abtastwerte in einem vom Fachmann gut bekannten Hochgeschwindigkeits-DMA-Speicher-Modus (direct memory access).

Im Schritt 55 werden die Daten qualifiziert. Das Qualifikationsverfahren wird vor dem Schritt BS 4 durchgeführt, das heisst, viel früher als die zweite

Kontaktierung gemacht wird. Gegebenenfalls kann die Qualifikation zwischen jedem Draht durchgeführt werden. Auf diese Weise kann bestimmt werden, ob ein Draht korrekt kontaktiert wurde, bevor man mit der Kontaktierung von anderen Drähten beginnt. Eine Alarminformation wird der Steuerung 12 vom BSA-Prozessor 25 über Serienkommunikationsleitungen 29 geliefert.

Zur Qualifizierung der Daten gemäss der vorliegenden bevorzugten Ausführung werden die Abtastdaten im CRT-Display 27 angezeigt in Form von einer Anzeige von Punkten, die beispielsweise der in Fig. 6 dargestellten Kurve 41 folgen. Diese Punkte stellen Änderungen in der Rückkopplung des Ultraschallsystems 13 dar. Die Abgrenzungen 45 und 49 definieren ein «Fenster» bzw. eine Zone der zulässigen Werte.

Die Abgrenzungen 45, 49 werden mit einer Maus im Display-Bildschirm 27 nach konventionellen Methoden gezeichnet, wodurch eine visuelle Angabe darüber geliefert wird, ob die Kontaktierung zulässig war. In einer Ausführung, die gegenwärtig für kommerzielle Zwecke vorgesehen ist, werden die Abgrenzungen 45, 49 heuristisch ermittelt. Die Abgrenzungslinie oder -kurve 49 verläuft typisch im selben Abstand von der idealen Kontaktierungskennzeichnungslinie 41 wie die Abgrenzungslinie 45. Die heuristischen Abgrenzungskurven 45, 49 können durch Beobachtung der Abgrenzungen bestimmt werden, bei denen etwa 12 oder mehr Kontaktierungen fallen. Durch Beobachtung von Kennzeichnungen von einigen wenigen misslungenen Kontaktierungen können sie noch verfeinert werden. Nebst der visuellen durch die Anzeige 27 ermöglichten Anzeige bestimmt der BSA-Prozessor 25 automatisch durch einen Standardvergleich, ob ein abgetasteter Wert von V_C ausserhalb der Zone 45, 49 fällt oder nicht.

Gemäss einer anderen Variante wird der BSA-Prozessor derart programmiert, dass er die Toleranzpegel lernt, die von den Abgrenzungslinien 45, 49 dargestellt sind, durch Beobachtung der Grenzen, zwischen denen die Abtastwerte der Kennzeichnungen einer ausgewählten Anzahl guter Kontaktierungen fallen. Der Prozessor 25 bewirkt wiederum einen Grenzwertvergleich, um automatisch einen Fehler zu detektieren. Ein Fehlersignal wird erzeugt und visuell, akustisch oder durch Stoppen des Kontaktierungsverfahrens zur Aufmerksamkeit des Gebrauchers gebracht. Der Prozessor 25 kann auch programmiert werden, um andere qualifizierte Analysen durchzuführen, wie «Flächeninhalt unter der Kurve», Neigungswinkel usw. Ein «Fehlermodus» kann auch durch die Abgrenzungslinien 45, 49 mit einem Programm definiert und vom BSA-Computer 25 getestet werden. So kann zum Beispiel das Abzählen von 30 Punkten in einer Reihe ausserhalb der Zone 45, 49 als ein Fehler definiert werden. Man kann definieren, wie viele solcher Fehler notwendig sind, um einen Fehlerfall und daher auch ein Fehlersignal zu haben.

Das Verfahren vom Schritt BS 3 wird wieder im Schritt BS 11 und im Schritt BS 14 befolgt.

Das gerade beschriebene Verfahren zur Steuerung des A/D-Wandlers 23 und zur Qualifizierung der Daten könnte in die HMC-2460 Mikroprozessorsteuerung 12 eher als in einen separaten Prozessor 25 integriert werden, wie in Fig. 1 dargestellt. Durch das Verfahren gemäss der bevorzugten Ausführung zur heuristischen Bestimmung der Abgrenzungen konnten 98,2% Fehler von «Nichtsitzen» detektiert werden, worin die Kugel 20 sich nicht auf dem Substrat befestigte, und etwa 90% von allen anderen Fehlermodi konnten ebenfalls detektiert werden. Die Methode gemäss der bevorzugten Ausführung ist auch anwendbar für Keil- und TAB-Kontaktierungen (tape automated) und für verschiedene andere Verschweissungs- und Kontaktierungsprozesse.

Gemäss dem bevorzugten Verfahren müssen nur solche Kontaktierungen einem Zugkrafttest und einer visuellen Inspektion unterzogen werden, die unbefriedigende Kennzeichnungen aufweisen, wodurch die Kosten sehr stark reduziert werden. Beim bevorzugten Verfahren wird auch die Abwesenheit eines Drahtes positiv detektiert, weil die erzeugte Kontaktierungskennzeichnung unzulässig sein wird, indem sie sich beispielsweise ausserhalb der Grenzzone befindet.

Zahlreiche zusätzliche Ausführungen, Änderungen und Anpassungen können realisiert werden, ohne den Zweck und Geist der Erfindung zu verlassen. Mit Hilfe von verschiedenen gesteuerten Schaltern können nach Kundenwunsch zahlreiche Manipulationen der Datenabtastwerte gewählt werden. Zum Beispiel kann ein gesteuerter Schalter vorgesehen sein, um einem CRT oder einem Drukker irgendein Signal zuzuführen. Ein gesteuerter Schalter kann vorgesehen sein, um irgendwelche grosse Diskontinuitäten zu glätten. Eine Sensibilitätskontrolle kann beispielsweise vorgesehen sein, um, beispielsweise wenn die Toleranz innerhalb von «5 Millivolt» liegt, nicht zu glätten. Alle Programme werden vorzugsweise derart ausgelegt, dass die numerischen Grenzen geändert werden können.

Ein gesteuerter Schalter kann vorgesehen sein, um einen Bezier-Glättungsalgorithmus mit einer gewichteten Vorwärts- und Rückwärtsrückschau durchzuführen, wobei ein solcher Algorithmus an sich bekannt ist. Eine Mittelwertbildungsmöglichkeit kann ebenfalls vorgesehen sein, um eine erste Mittelwertrechnung durchzuführen.

Ob eine Kennzeichnung «durchkommt», kann durch verschiedene Methoden beurteilt werden. Tausend Kugel- oder Stichkontaktierungen können beispielsweise alle gleichzeitig erwischt und angezeigt werden, um ein lesbares Hoch und Tief zu geben. Dann kann eine Maus verwendet werden, um auf dem Bildschirm eine obere und eine untere Steuergrenze zu bestimmen, ähnlich wie vorhergehend erläutert. Eine andere mit dem Prozessor 25 leicht durchführbare Technik besteht darin, eine Standardanalyse XR (X bar R) mit einem Fenster bei «1/2 σ» oder einem «σ» aus den Tausend Abtastwerten zu verwenden.

Da zudem die A/D-Karte 23 16 Eingänge hat und ein 16-Kanal-Schalter ist, kann sie Signale von verschiedenen Kontaktierern oder verschiedene andere Signale wie für Kraft, Temperatur usw. aus gerade

einem Kontaktierer erhalten. Bei einer solchen Anwendung werden die Schalter durch den Mikroprozessor 25 gemäss einer besonderen Programmierung geschlossen.

Aus der bevorzugten Ausführung ergeben sich somit zahlreiche Vorteile. Sie detektiert fehlerhafte Kontaktierungen, qualifiziert einen Fehler in Abwesenheit eines Drahtes im Kontaktierungswerkzeug und reduziert in einem grossen Ausmass die Notwendigkeit einer visuellen Inspektion, von Aufstellungen und Zug- und Kaftproben, von einer Prozesserzeugung und -steuerung, von Unterhaltung und Service. Ein Menü von zulässigen Signalen kann vorgesehen werden, woraus sich ein nach Kundenwunsch programmierbares System ergibt, das geeignet ist, um Änderungen in den Materialien, in den Werkzeugmaschinen und in den Maschineneinstellungen vorzusehen. Ein solches System kann zudem aufgrund von unzulässigen Kontaktierungskennzeichnungen automatisch Schaltungen zur Reparation oder visuellen Kontaktierungsinspektion umdisponieren.

Das System nach der bevorzugten Ausführung suggeriert von selbst eine Anwendung beim Testen von unzulässigen Ultraschallmerkmalen und zur Signalisierung einer Werkzeugumstellung, nur wenn es sinnvoll ist. Die neue Lösung suggeriert auch von selbst die Anwendung von künstlicher Intelligenz und von sogenannten Expert-Systemen.

Die beschriebene bevorzugte Ausführung erlaubt selbstverständlich zahlreiche Änderungen und Anpassungen ohne Abweichung vom Zweck und Geist der Erfindung. So kann die Erfindung auch bei einer anderen als der hier beschriebenen Ausführung immer noch innerhalb des Zwecks der nachfolgenden Ansprüche realisiert werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung der Qualität von Kontaktierungen, die von einem Kontaktierer hergestellt werden, durch den Energie auf eine Kontaktierungsstelle angewendet wird, gekennzeichnet durch folgende Verfahrensschritte:

Abtasten eines Signals, das für die von diesem Kontaktierer an die Kontaktierungsstelle angekoppelte Energie indikativ ist, und Analyse dieses Abtastsignals, um die Kontaktierungsqualität zu bestimmen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein mit einer Rückkopplung versehener Ultraschallgenerator verwendet wird, um die an ein Kontaktierwerkzeug gelieferte Energie zu regeln, dass durch diese Rückkopplung ein Korrekturgleichstromsignal erzeugt wird, das für die Änderungen indikativ ist, die in der Rückkopplung notwendig sind, um die Ultraschallenergie zu stabilisieren, die zum Vibrieren des Kontaktierwerkzeugs während des Kontaktierungsprozesses verwendet wird, dass dieses Korrekturgleichstromsignal abgetastet wird, dass die Abtastwerte gespeichert werden und dass diese Abtastwerte analysiert werden, um die Kontaktierungsqualität zu bestimmen.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Kontaktierer ausgestaltet ist, um eine Kugelkontaktierung und danach auch eine zweite Kontaktierung und ein Drahtende zu bilden, dass diese Abtastung die Erzeugung eines ersten Steuersignals, das für den Beginn der Bildung einer Kugelkontaktierung indikativ ist, eines zweiten Steuersignals, das für die Bildung einer zweiten Kontaktierung nach der Bildung der Kugelkontaktierung indikativ ist, und eines dritten Steuersignals umfasst, das für die Bildung und das Abreissen eines Drahtendes indikativ ist.

4. Vorrichtung für einen Kontaktierer zur Herstellung von Kontaktierungen in ausgewählten Stellen gemäss dem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass Abtastmittel vorhanden sind zum Abtasten eines Signals, das für die von diesem Kontaktierer an die Kontaktierungsstelle angekoppelte Energie indikativ ist, und dass Mittel vorhanden sind zur Analyse dieses Abtastsignals, um die Kontaktierungsqualität zu bestimmen.

5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass Ableitungsmittel vorhanden sind, um ein Analogsignal abzuleiten, das für die an die Kontaktierungsstelle angekoppelte Energie darstellt, dass Abtastmittel vorgesehen sind, um das Abtastsignal abzutasten und aus dem Abtastsignal die Qualität der Kontaktierung zu bestimmen, dass die Abtastmittel umfassen: Analog/Digital-Wandlermittel, die auf ein erstes Steuersignal ansprechen, um das Abtastsignal mit einer Frequenz abzutasten, die von einem zweiten Steuersignal ausgewählt wird, und eine Sequenz von digitalen Abtastwerten zu erzeugen, und Digitalprozessormittel, die vorgesehen sind, um diese zwei Steuersignale zu liefern und um die Abtastwerte zu empfangen und zu speichern, dass diese Vorrichtung ausgestaltet ist, um eine Kugelkontaktierung zu bilden, wobei diese Digitalprozessormittel Mittel zur Erzeugung eines ersten Steuersignals umfassen, das für den Beginn der Bildung dieser Kugelkontaktierung indikativ ist, und dass diese Analog/Digital-Wandlermittel auf dieses erste Steuersignal ansprechbar sind, um dieses abgeleitete Signal während der Bildung dieser Kugelkontaktierung abzutasten, dass diese Vorrichtung ausgestaltet ist, um nach der Bildung dieser Kugelkontaktierung eine zweite Kontaktierung zu bilden, wobei diese Digitalprozessormittel vorgesehen sind, um ein zweites Steuersignal zu erzeugen, das für den Beginn der Bildung dieser zweiten Kontaktierung indikativ ist, und wobei diese Analog/Digital-Umwandlermittel auf dieses zweite Steuersignal ansprechbar sind, um dieses Analogsignal während der Bildung dieser zweiten Kontaktierung abzutasten, und dass diese Vorrichtung ausgestaltet ist, um ein Drahtende zu bilden, wobei diese Digitalprozessormittel Mittel umfassen, um ein drittes Steuersignal zu erzeugen, das für den Beginn der Bildung dieses Drahtendes indikativ ist, und wobei diese Analog/Digital-Wandlermittel auf dieses dritte Steuersignal ansprechbar sind, um das Analogsignal während der Bildung und des Abreissens dieses Drahtendes abzutasten.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass diese Digitalprozessormittel auf das erste, das zweite und das dritte Steuersignal

ansprechbar sind, um die Anzahl der aufgenommenen Abtastwerte und die Abtastfrequenz während der Kugelbildung, der Stichbildung bzw. der Bildung der Drahtenden zu steuern.

7. Vorrichtung nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass diese Digitalprozessormittel Anzeigemittel umfassen, um diese Abtastwerte und eine Grenzkurve an diesen Anzeigemitteln anzuzeigen.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass diese Digitalprozessormittel automatisch diese Abtastwerte bezüglich der Grenzkurve vergleichen und dem Gebraucher eine Angabe über ein Passen oder Nichtpassen geben.

9. Vorrichtung nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass diese Grenzkurve heuristisch bestimmt wird oder dass diese Digitalprozessor-Mittel automatisch diese Grenzkurve bestimmen.

10. Kontaktierer mit einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 9.

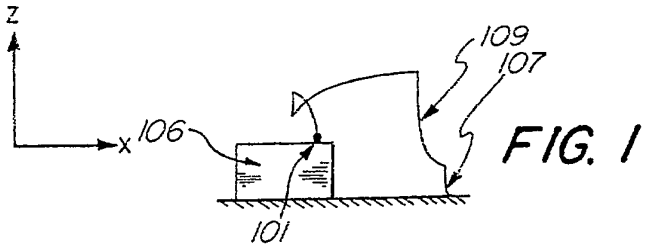


FIG. 1

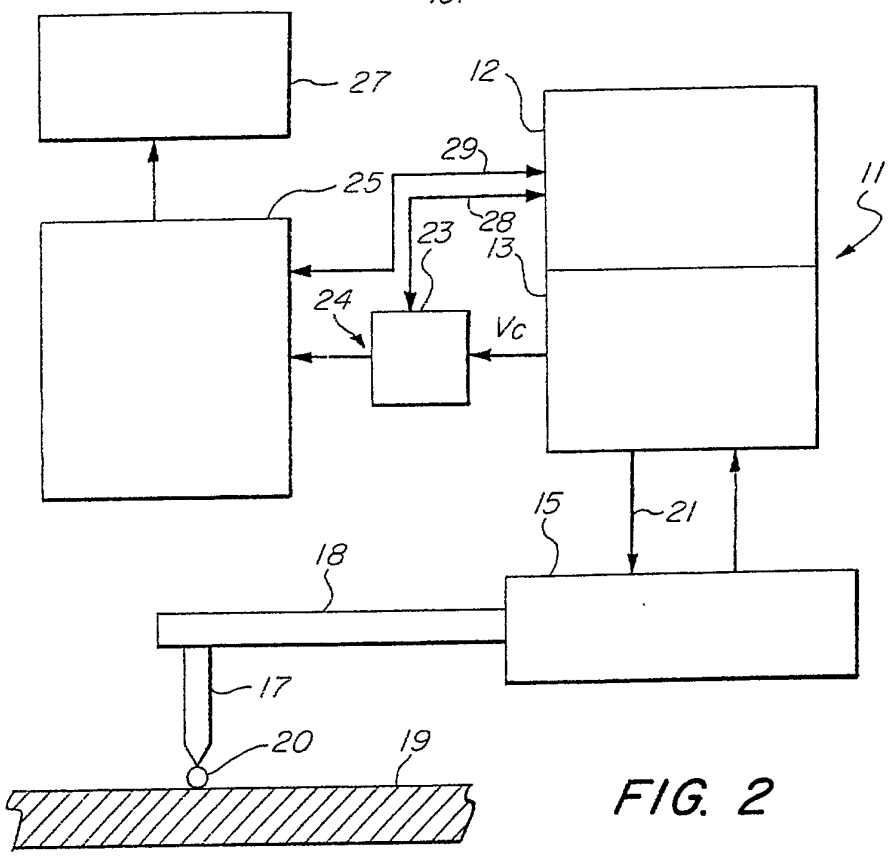


FIG. 2

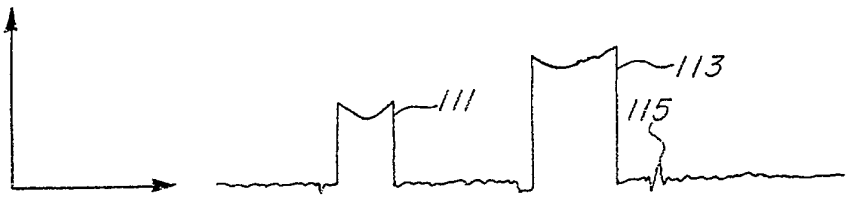


FIG. 3

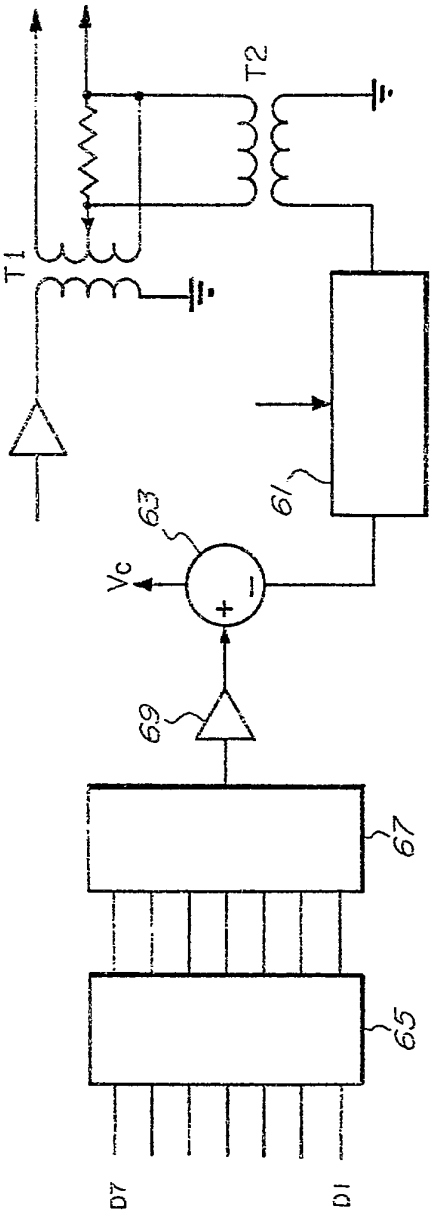


FIG. 4

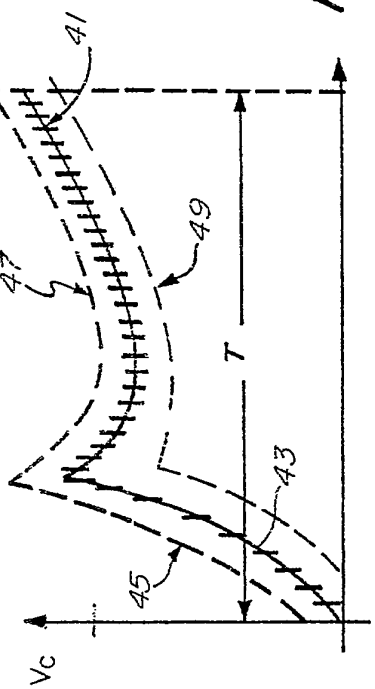


FIG. 6

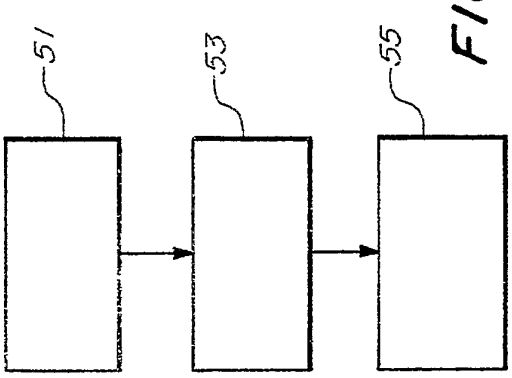


FIG. 5