

73A4o
1A-761

2501253

Rockwell International Corporation,
El Segundo, California / USA

Ultraschall-Überwachungssystem

Die Erfindung betrifft ein automatisches Ultraschall-Überwachungssystem und insbesondere eine Vorrichtung zur Beaufschlagung eines piezoelektrischen Wandlers mit Impulsen, und zwar von einer entfernt angeordneten Station, zur Durchführung einer Überwachung eines Kernreaktor-Kühlsystems oder dergleichen während des Betriebs.

Automatische Ultraschall-Betriebsüberwachungssysteme wurden in jüngster Zeit für schnelle Brutreaktoren und für Siedewasserreaktoren und Druckreaktoren entwickelt. Dabei verwendet man einen ferngesteuerten, bewegbaren Instrumententräger. Die Überwachungsdaten werden von einem Computer gesammelt und gespeichert, so dass ein Echtzeitvergleich mit vorbestimmten Standardwerten möglich ist. Die Strahlungspegel, welche bei verschiedenen Bauteilen ausser dem Reaktor während der Betriebsüberwachung auftreten, machen es erforderlich, dass das

509829/0720

2501253

automatische Überwachungssystem von einem Hauptsteuerpult aus betrieben wird, welches eine Fernsteuerung des Instrumententrägers bis zu einer Entfernung von 100 m möglich macht.

Dabei geht man von dem Gedanken aus, dass bei der Fernsteuerung eines Instrumententrägers durch einen Computer ein möglichst grosser Teil der Computer-Steuerlektronik in dem entfernt angeordneten Steuerpult vorgesehen sein soll. In der Praxis umfasst der Instrumententräger, welcher im allgemeinen als "Schlitten" bezeichnet wird, nur diejenigen Bauteile, welche für eine Positionierung des Schlittens entlang einer Spur, welcher der Kontur des jeweiligen Dampfgenerators, Reaktorgefässes oder dergleichen angepasst ist, erforderlich sind. Einzelheiten der Spur und des Schlittens sind in der deutschen Patentanmeldung P 23 21 583.o, veröffentlicht am 17. Januar 1974, beschrieben.

Um die Abmessungen und das Gewicht des Schlittens so gering wie möglich zu halten, wird nur der piezoelektrische Wandler des Ultraschall-Überwachungssystems auf dem Schlitten angeordnet. Der piezoelektrische Wandler ist mit dem Hauptsteuerpult durch eine flexible Übertragungsleitung verbunden. Der Wandler wird sodann unter Steuerung durch den Computer periodisch über die Übertragungsleitung mit Impulsen beaufschlagt, und das vom Wandler aufgenommene Echo nach jedem Impuls wird durch die gleiche Übertragungsleitung zum Hauptsteuerpult zurückgeführt.

In der Vergangenheit wurden in solchen automatischen Ultraschall-Überwachungssystemen zwei verschiedene, aber ähnliche Techniken zur Beaufschlagung des Ultraschallwandlers mit Impulsen über die Übertragungsleitung angewandt. Bei einer Technik liegt die Kapazität des

509829/0720

2501253

piezoelektrischen Wandlers parallel zu einer Eingangsspule, so dass ein LC-Schwingkreis gebildet wird, welcher auf die Resonanzfrequenz des Wandlers abgestimmt ist. Dieser abgestimmte Schwingkreis wird mittels eines Hochspannungsimpulsgenerators über die Übertragungsleitung in Resonanz versetzt. Bei einer Ausführungsform zur Beaufsichtigung des Wandlers mit Impulsen wird zum Beispiel ein Kondensator mit einer Kapazität von bis zu 2.400 Picofarad mit 1.000 Volt bei dem entfernt angeordneten Steuerpult aufgeladen und über ein Thyatron in die Übertragungsleitung entladen. Bei einer anderen Anordnung werden drei Kondensatoren mit einer Kapazität von 330 Picofarad parallel auf 400 Volt aufgeladen und in Reihe in die Übertragungsleitung entladen. Verschiedene Schwierigkeiten mit diesen herkömmlichen Techniken beruhen darauf, dass man auf einen abgestimmten Schwingkreis zur Beaufsichtigung des Wandlers mit Spannungsimpulsen angewiesen ist und dass jedes Mal, wenn der Wandler eine Ultraschallwelle übertragen soll, eine gleichbleibend hohe Amplitude während einer gleichbleibenden Periode vorliegen soll. Wenn die Amplitude und die Dauer des angelegten Impulses nicht gleichbleibend sind, so ist die Übertragene Ultraschallwelle nicht konsistent und die vom Wandler empfangenen Echosignale sind in diesem Fall bei Überwachung eines homogenen Körpers nicht konsistent. Es ist natürlich ohne weiteres ersichtlich, dass jegliche Inkonsistenz hinsichtlich der empfangenen Echosignale als eine Änderung des überwachten Körpers (Gefäßwandung oder dergl.) interpretiert werden muss. Daher würden solche Änderungen die Überwachungsdaten unzuverlässig machen.

Es treten eine Reihe weiterer Probleme bei der Beaufsichtigung eines abgestimmten Schwingkreises mit Spannungsimpulsen über eine Übertragungsleitung auf, da bei einer

509829/0720

2501253

genauen Abstimmung des Schwingkreises die Kapazität der Übertragungsleitung und somit ihre Länge in Betracht gezogen werden muss. Wenn ein sehr langes Koaxialkabel verwendet wird, so ist der abgestimmte Schwingkreis mit einer sehr grossen Kapazität des Kabels verbunden. Zum Beispiel wird durch ein Kabel des Typs RG59/U von 100 m (300 feet) der Schwingkreis mit einer Kapazität von 6.900 Picofarad verbunden. Die Spule des abgestimmten Schwingkreises muss daher mittels des Kerns auf die Resonanzfrequenz des Wandlers, typischerweise auf 2,25 MHz abgestimmt werden. Diese Art der Abstimmung des Schwingkreises erlaubt nur eine Änderung der Kapazität um etwa 1.500 Picofarad. Es ist jedoch auch eine Einstellung des Schwingkreises mittels eines variablen Kondensators innerhalb eines Bereichs von 7,5 - 100 Picofarad erforderlich. In jedem Fall wird dabei das Eingangskabel ausschliesslich als Kapazität behandelt und eine Zugabe oder Wegnahme kurzer Kabellängen wird durch Abstimmung in Betracht gezogen. Wenn jedoch die Länge des Eingangskabels über einen bestimmten Punkt hinaus erhöht wird (zB über etwa 30 m hinaus), so kann das Kabel nicht länger als reine Kapazität angesehen werden, sondern als 75 Ohm-Übertragungsleitung mit einer Übertragungszeit von 1,5 Nanosekunden pro 30 cm. So beträgt bei einem 90 m-Kabel die Übertragungszeit für einen Impuls 450 Nanosekunden, und etwaige Fehlanpassungen an einem Ende der Leitung können zu Reflektionen führen. Irgendwelche Reflektionen vom Steuerteil zurück zum Wandler würden jedoch die durch den Wandler empfangenen Echosignale stören.

Bei diesen herkömmlichen Techniken ist ein Kondensator in einem entfernt angeordneten Hauptsteuerpult angeordnet und der Impulsgenerator überführt die in dem Kondensator gespeicherte Energie auf ein Kabel und auf den abgestimmten Schwingkreis an den den piezoelektrischen

509829/0720

Wandler tragenden Schlitten. Die Wirksamkeit dieser Energieübertragung hängt ab von der Impedanzwandlung der Schaltung. Eine Änderung der Schaltungswerte zur Erhöhung der Erregerspannung, mit welcher der piezoelektrische Wandler beaufschlagt wird, kann zu einer nachteiligen Beeinflussung anderer Eigenschaften des abgestimmten Schwingkreises, zum Beispiel der Folgefrequenz oder der Impulsform führen.

Zur Vermeidung dieser herkömmlichen Probleme ist es somit erforderlich, den Impulsgenerator auf dem den Wandler tragenden Schlitten anzuordnen, wenn die Kabellängen etwa 90 m übersteigen. Diese Lösung ist jedoch nicht tragbar, da der Impulsgenerator die Abmessungen und das Gewicht des Schlittens so stark vergrößern würde, dass ein wesentlich schwerer gebauter Schlitten und ein wesentlich robusteres Antriebssystem erforderlich wären. Ein weiterer Nachteil besteht darin, dass es einer Bedienungsperson nicht möglich wäre, Einstellungen am Impulsgenerator vorzunehmen, um einem längeren Ausgangskabel des Wandlers Rechnung zu tragen. Dennoch wäre auch in diesem Fall eine Impedanzanpassung erforderlich.

Somit ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein automatisches Ultraschall-Überwachungssystem zu schaffen, bei dem sich ein piezoelektrischer Wandler an einer Position befindet, welche von einem Hauptsteuerpult entfernt ist und wobei ein Erregerimpuls für den Wandler zu einem genau festgelegten Zeitpunkt gebildet wird und über eine Übertragungsleitung, zum Beispiel ein Koaxialkabel, beliebiger Länge auf den Wandler übertragen wird. Zu diesem Zweck kann ein einstellbarer Impulsgenerator zusammen mit einer Übertragungsleitung für den piezoelektrischen Wandler verwendet werden, derart, dass bei

2501253

jeder vernünftigen Länge der Übertragungsleitung bis hinaus zu 100 m oder mehr eine Erregung des Wandler mit maximaler Energie möglich ist. Dabei kann die Impulsbreite und die Impulsamplitude eingestellt werden, ohne dass Einstellungen am piezoelektrischen Wandler, welcher sich am entferntliegenden Ende der Übertragungsleitung befindet, erforderlich sind.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäss dadurch gelöst, dass man einen Ultraschallwandler durch eine Übertragungsleitung mit einem Impulsgenerator koppelt und dass man am Eingangsende der Übertragungsleitung einen Widerstand entsprechend deren charakteristischer Impedanz vorsieht. Ein Kondensator an dem dem Wandler abgewandten Ende der Übertragungsleitung wird aufgeladen, wodurch die erforderliche Spannung bereitgestellt wird. Dies geschieht vorzugsweise über einen Emitterfolger zur Herabsetzung der Aufladungszeit. Zur Übertragung eines Impulses auf den Wandler wird der Kondensator mit der Übertragungsleitung über Vierschicht-Schaltdiode gekoppelt, welche zu einem Zeitpunkt gezündet wird, zu dem der Steuerimpuls für den Wandler einsetzen soll. Eine zweite Vierschicht-Schaltdiode ist parallel zu dem Kondensator geschaltet. Diese wird eingeschaltet, wenn der Steuerimpuls enden soll, so dass eine rasche Entladung des Kondensators und somit eine Terminierung des Steuerimpulses ermöglicht wird. Der Kondensator und die verteilte Kapazität der Übertragungsleitung bilden einen Spannungsteiler an dem dem Wandler abgewandten Ende der Übertragungsleitung. Demgemäss wird die zur Beaufschlagung der Übertragungsleitung verwendete Spannung um so grösser, je grösser der Kondensator ist, so dass eine genaue Steuerung der Impulsamplitude entsprechend der Dimensionierung des Kondensators und der Kapazität der Übertragungsleitung vorgenommen wird.

509829/0720

2501253

Somit kann die Länge der Übertragungsleitung geändert werden, ohne dass irgendwelche anderen Einstellungen erforderlich sind ausser einer Einstellung der Kapazität des Kondensators zur Gewährleistung eines Impulses mit der gewünschten Amplitude. Aufgrund der Vierschicht-Schaltdioden ist dieser Impuls zeitlich genau festgelegt. Nach Beaufschlagung des Wandlers mit dem Steuerimpuls werden die reflektierten Signale vom Wandler aufgenommen und über die gleiche Übertragungsleitung zurückübertragen und an dem am Ende vorgesehenen Widerstand abgenommen. Der Überwachungsempfänger ist mit dem Widerstand am Ende der Übertragungsleitung durch eine Reihe von Widerständen und durch eine Diodenbegrenzeranordnung gekoppelt.

Impulsgeneratorschaltungen sind natürlich bekannt. Hierzu wird zum Beispiel auf die US-Patente 3 324 313, 3 417 266, 3 518 455 und 3 657 564 verwiesen.

Bei Zündung der ersten Vierschicht-Schaltdiode wird ein zuvor aufgeladener Kondensator in die Übertragungsleitung entladen. Bei Zündung der zweiten Vierschicht-Schaltdiode wird der Entladungsstrom des Kondensators zur Erde kurzgeschlossen. Eingangsseitig ist die Übertragungsleitung durch ihre charakteristische Impedanz terminiert. Die Länge der Übertragungsleitung kann geändert werden, ohne dass irgendwelche Änderungen im Bereich des Wandlers oder im Bereich der Impulsgeneratorschaltung erforderlich sind, ausser einer Dimensionierung des Kondensators, welche vorgenommen werden kann, um zu gewährleisten, dass stets ein Impuls gewünschter Amplitude zum Wandler gelangt.

509829/0720

2501253

Im folgenden wird die Erfindung anhand von Zeichnungen näher erläutert: Es zeigen

Figur 1 eine Darstellung des erfindungsgemässen Überwachungssystems;

Figur 2 eine Schaltung des erfindungsgemässen Überwachungssystems und

Figur 3 ein Wellenformendiagramm zur Veranschaulichung der Arbeitsweise des erfindungsgemässen Überwachungssystems.

Figur 1 zeigt ein automatisches Ultraschall-Überwachungssystem mit einem piezoelektrischen Wandler 2 auf einem Schlitten 4. Der Schlitten 4 umfasst Räder 6 und wird durch einen Motor 8 angetrieben. Der Schlitten bewegt sich entlang einer Schiene 10 und führt den Wandler somit entlang dieser Schiene, so dass die Wandung 12 des Reaktionsgefässes oder dergleichen oder eines anderen Bauteils, zum Beispiel die Stahlkonstruktion einer Brücke, inspiziert werden kann, falls eine solche periodische Inspektion während des Betriebs erforderlich ist und falls es nicht möglich ist, einen grösseren Teil der Elektronik des Überwachungssystems ausser dem Wandler auf dem Schlitten anzuordnen. In einem solchen Fall ist es erforderlich, den Wandler mit dem Rest des automatischen Ultraschall-Überwachungssystems über eine Übertragungsleitung, zB ein Koaxialkabel, welches ein Bündel Leitungen 14 umfasst, zu verbinden.

Einzelheiten des Schlittens 4 und der Schiene 10 und das Verfahren zur Befestigung der Schiene auf dem zu überwachenden Gegenstand sind in der vorerwähnten Patentanmeldung veröffentlicht. Die Schiene ist so konstruiert oder anderweitig ausgebildet, dass sie der spezifischen Kontur

509829/0720

2501253

der zu inspizierenden Wandung angepasst ist. Die Schiene ist entweder permanent an der Wandung angeordnet oder permanent dort befestigt oder mittels geeigneter Magnete 15. Durch geeignete Auswahl und Anordnung der Schiene gelingt es, fast jede Konfiguration einer Wandung oder dergleichen zu inspizieren und dennoch die Inspektion unter Fernsteuerung mittels eines Überwachungssteuerpults 16 vorzunehmen. Es werden computer-gesteuerte Signale über eine getrennte Leitung in dem Leitungsbündel 14, welche mit dem Motor 8 verbunden ist, übertragen derart, dass der Schlitten 4 mit dem Wandler 2 entlang dem Überwachungsweg bewegt wird. Gleichzeitig wird Ultraschall-Überwachungsinformation über die Übertragungsleitung am Überwachungspult empfangen. Zur Überwachung eines rechteckigen Bereichs können zusätzliche Schlitten an jedem Ende der Schiene 10 angeordnet sein, so dass jedes Ende entlang parallelen Spuren (nicht dargestellt) geführt werden kann. In diesem Fall sind Magnete nur an den zusätzlichen Parallelschienen an jedem Ende der Schiene 10 angeordnet, so dass die Schiene 10 in vertikaler Richtung gemäss Figur 1 frei bewegt werden kann, während andererseits der Wandler in horizontaler Richtung frei entlang der Schiene 10 bewegt werden kann.

Das entfernt angeordnete Hauptsteuerpult ist speziell der Überwachung während des Betriebs angepasst. Bei Verwendung einer genügend langen Übertragungsleitung kann der Schlitten den Wandler an entfernte und schwer zugänglich oder unzugängliche Bereiche bringen, welche einer manuellen Überwachung nicht zugänglich sind, oder bei welchen eine zuverlässige Überwachung nicht möglich ist. Wie oben erwähnt, kann man auch solche Bauteile überwachen, deren Anordnung eine Mitführung eines Teils des Hauptüberwachungssystems ausschliesst, zB die Bauteile einer Stahlbrücke oder dergleichen.

2501253

Das Schlittensystem wird in grossem Umfang angewandt, und zwar nicht nur zur Ultraschallüberwachung, sondern auch zum Zweck des automatischen Schweissens und der automatischen Bearbeitung, der automatischen Röntgenstrahlen-Überwachung von grossen Bauteilen oder dergleichen. Im vorliegenden Fall ist lediglich die Verwendung dieses Schlittensystems für die Zwecke der Ultraschallüberwachung interessant. Die Erfindung befasst sich mit dem Problem der Übertragung der Spannungsimpulse zum piezoelektrischen Wandler 2 über die Übertragungsleitung und des Empfangs der Echosignale der Ultraschallimpulse, welche von Volumenelementen der Wandung ausgehen. Vor Beschreibung des speziellen Lösungsweges sollen zunächst alle Vorteile einer solchen Lösung beschrieben werden. Ferner soll das gesamte System zunächst weiter anhand der Figur 1 erläutert werden.

Das allgemein mit 16 bezeichnete Hauptsteuerpult umfasst einen Analog-zu-Digital-Wandler 18, einen Digital-Computer 20, eine Speichereinheit 22, eine visuelle Anzeigeeinheit 24, eine Fernschreibeinheit 26, eine Kopiereinrichtung 28, zum Beispiel einen Streifendrucker, sowie eine manuelle Steuertafel 30 und eine Überwachungseinheit 32 zur Steuerung der Beaufschlagung des Wandlers 2 mit Impulsen und zur visuellen Anzeige der Echosignale, welche vom Wandler 2 kommen. Typischerweise kann als Überwachungseinheit 32 ein Reflektoskop, Modell UM771, hergestellt durch Sperry Division of Automation Industries, verwendet werden.

Während des Betriebs wird der auf dem Schlitten 4 befestigte Wandler 2 durch Befehlssignale des Computers 20 positioniert. Hierdurch tastet der Wandler einen vorbestimmten Pfad, welcher durch die Schiene 10 festgelegt ist, ab. Die vom Wandler 2 empfangenen Echosignale werden sodann über die Übertragungsleitung in die Über-

509829/0720

2501253

wachungseinheit 32 überführt und gelangen von dort zum Analog-zu-Digital-Wandler 18. Dieser Wandler umfasst eine Entfernungstorschaltung für die Echosignale von aufeinander folgenden Volumenelementen der Wandung 12 sowie Einrichtungen zur Integrierung der erhaltenen Prüfwerte sowie ferner Einrichtungen zur Umwandlung der Amplitude des Ausgangssignals des Integrators in Digitalform. Somit stellt dieser Wandler die Kopplungselektronik (interface) zwischen dem Ultraschallwandler und dem Computer dar.

Eine Schaltung, welche einen Entfernungstorimpuls erzeugt, wird mittels eines Synchronisierimpulses, der von der Inspektionseinheit 32 abgeleitet wird, getriggert. Hierdurch wird eine Zeitverzögerungsschaltung gestartet. Die Länge der Verzögerung wird durch einen digitalen Befehl des Computers 20 bestimmt und kann im Bereich von etwa 0,1 bis etwa 300 Mikrosekunden nach Erregung des Wandlers durch einen Impuls des Impulsgenerators über die Übertragungsleitung eingestellt werden. Am Ende dieser Verzögerungszeit wird das Videosignal der Inspektionseinheit 32 während einer festen Zeitdauer in den Integrator eingeblendet, wonach die Amplitude des integrierten Signals konstantgehalten wird, während dieses in Digitalform umgewandelt wird. Die Länge der Einblendzeit wird mittels Schalttafelsteuerung oder mittels Computersteuerung so gewählt, dass sie der Schallwegelänge oder dem Entfernungsinkrement von etwa 1,25 cm entspricht. Die Länge der Verzögerungszeit wird anhand von Geschwindigkeits-Schall-Betrachtungen der Wandung 12 gewählt, und zwar so, dass sie dem Effektivabstand des Wandlers von dem jeweiligen Volumenelement der inspizierten Wandung entspricht. Das zum Analog-zu-Digital-Wandler gelangende Signal entspricht dem durchschnittlichen Echosignal, welches von einem Volumenelement vorbestimmter Länge und Fläche zurückkehrt, wobei die Fläche eine Querschnitts-

fläche ist, welche durch den Durchmesser des Ultraschall-Impulsstrahls gegeben ist. Der Abstand des jeweiligen Volumenelements vom Wandler ist durch die Verzögerungszeit bestimmt.

Im folgenden soll die Arbeitsweise eines solchen Überwachungssystems erläutert werden. Der Computer 20 bestimmt eine anfängliche Verzögerungszeit entsprechend dem ersten Volumenelement, welches inspiziert werden soll und stellt das Entfernungstor auf diesen Wert ein. Sodann wird der Wandler einige Male mit Impulsen beaufschlagt und jedesmal stellt das Entfernungstor einen Prüfwert aus dem jeweils zu überwachenden Volumenelement bereit. Wenn eine genügende Anzahl von Überwachungswerten aus diesem Volumenelement erhalten worden sind, wird der Befehl für das nächste Verzögerungssinkrement gegeben und es wird ein weiterer Satz von Prüfwerten erhalten. Dieses Verfahren wird fortgesetzt, bis das am weitesten entfernte Volumenelement der jeweiligen Wandlerposition inspiziert ist. Danach wird der Wandler in eine neue Position gebracht und der ganze Vorgang wird wiederholt.

Da das Entfernungstor die zeitliche Steuerung von der Erregungszeit des Wandlers erhält, dh. vom Zeitpunkt, zu dem der Wandler durch den Steuerimpuls beaufschlagt wird, ist es wichtig, dass der Zeitpunkt des Steuerimpulses und dessen Impulsbreite von Impuls zu Impuls während der Inspektion eines bestimmten Volumenelements und für aufeinander folgende Volumenelemente genau aufrecht erhalten werden. Anderenfalls kann das zurückkehrende Echo nicht genau einem speziellen Volumenelement zugeordnet werden. Wenn die inspizierte Wandung aus homogenem Material besteht, so hat das zurückkehrende Echo eine konstante Amplitude. Irgendwelche Abweichungen von der konstanten Amplitude bei von Volumenelement zu

2501253

Volumenelement fortschreitender Inspektion und bei von einer Wandlerposition zur nächsten Wandlerposition fortschreitender Inspektion zeigen eine Materialänderung an. Bei einer solchen Änderung kann es sich um eine Störung handeln, je nachdem, ob die Änderung anhand der vor Betrieb aufgenommenen Inspektionsdaten erwartet werden sollte oder nicht. Bei der Überprüfung eines Kernreaktorgefässes werden zum Beispiel alle Schweissnähte vor dem Einbau des Kessels genau inspiziert und die dabei gewonnenen Ultraschall-Inspektionsdaten werden zum Zweck des Vergleichs mit den Betriebsinspektionsdaten gespeichert.

Während einer Betriebsinspektion sucht der Computer die gespeicherten Vorbetriebsdaten auf und das Signal eines jeden Volumenelements wird statistisch mit den entsprechenden Vorbetriebsdaten verglichen. Falls sich keine signifikanten Änderungen in dem Ultraschallsignal ergeben, werden die Daten ausgedruckt. Falls sich eine signifikante Änderung im Vergleich zu den vor Betrieb aufgenommenen Daten ergibt, so macht der Computer die Bedienungsperson darauf aufmerksam und steuert die Bewegung des Schlittens derart, dass der Umriß des Störungsbereichs in feinen Stufen abgetastet wird. Die Störungsanzeigen werden sodann in Form einer Karte dargestellt und mit den entsprechenden vor Inbetriebnahme aufgenommenen Daten verglichen. Die Lage, die Abmessungen und die Grösse der Änderung werden ausgedruckt. Auf einem Oszilloskop wird ein Plan oder eine Teilkarte im richtigen Maßstab dargestellt. Hiervon kann eine Filmaufzeichnung erhalten werden. Man kann auch noch weitere zusätzliche Inspektionsverfahren anwenden. Man kann zum Beispiel Ultraschall-Testdaten von einem Eichblock erhalten und alle Messungen der Wandungen, die während der Inspektion erhalten werden, mit dem Eichblock vergleichen, und zwar sowohl bei der Inspektion vor Inbetriebnahme als auch bei

509829/0720

2501253

der Inspektion während des Betriebs, um so festzustellen, ob eine signifikante Änderung im Vergleich zum Eichblock besteht.

Da das Ultraschall-Inspektionssystem auf der Feststellung einer Änderung der Amplitude des empfangenen Echos beruht, beeinträchtigt jede Änderung der Amplitude des vom Wandler übertragenen Impulses die Empfindlichkeit und die Gesamtgenauigkeit des Inspektionssystems. Somit ist es äusserst wichtig, dass der dem Wandler zugeführte Steuerimpuls hinsichtlich Zeit und Amplitude genauestens gesteuert wird.

Wie bereits erwähnt, waren herkömmliche Techniken zur Steuerung sowohl der Zeit als auch der Amplitude des Steuerimpulses für den Ultraschallwandler beschränkt auf Übertragungsleitungen relativ geringer Länge in der Grössenordnung von 30 m. Dennoch ist dieses jedoch häufig erwünscht, das Hauptsteuerpult in grösserem Abstand vom Ultraschallwandler anzuordnen, zum Beispiel in einem Abstand von 90 m oder mehr. Die Art und Weise, gemäss welcher die vorliegende Erfindung eine genaue Steuerung sowohl hinsichtlich der Zeit als auch hinsichtlich der Amplitude der Steuerimpulse über eine Übertragungsleitung bestimmter Länge ermöglicht, ist lediglich durch die insgesamt konsistente Dämpfung eines jeden Impulses in einer Längeneinheit der Übertragungsleitung beschränkt. Hierbei handelt es sich jedoch nicht um eine schwerwiegende Beschränkung; da aus bestimmten Gründen die diesbezügliche Wirkung einer längeren Übertragungsleitung einfach durch eine Vergrösserung der Amplitude des Steuerimpulses kompensiert werden kann, ohne dass das Verfahren geändert werden muss.

Im folgenden wird auf Figur 2 Bezug genommen. Diese zeigt

509829/0720

2501253

einen Impulsgenerator für den Betrieb des piezoelektrischen Wandler 2 über eine Übertragungsleitung beliebiger Länge, die in der Figur in Form eines Koaxialkabels 14' dargestellt ist. Der Zeitpunkt des Steuerimpulses wird durch die Vorderkante des Synchronisationseingangsimpulses am Anschluss 40 festgelegt. Der Synchronisationseingangsimpuls ist vorzugsweise ein Impuls von 3 Mikrosekunden, welcher mit einer gewünschten Frequenz von bis zu etwa 4 kHz erzeugt wird. Dieser hat eine scharfe Anstiegskante und triggert zwei Multivibratoren MV_1 und MV_2 . Die Impulsbreite des Steuerimpulses, welcher über die Übertragungsleitung zu Wandler 2 gelangt, wird genau durch RC-Zeitgeberschaltungen der Multivibratoren festgelegt. Die RC-Periode des Multivibrators MV_1 ist auf 150 Nanosekunden mittels eines Widerstandes 43 und eines Kondensators 44 festgelegt. Die RC-Periode des Multivibrators MV_2 ist mittels eines variablen Widerstandes 45 und eines Kondensators 46 auf einen Wert im Bereich von 150 Nanosekunden bis 1,5 Mikrosekunden einstellbar.

Die Vorderflanke des Synchronisationsimpulses, welcher am Anschluss 40 anliegt, stellt auch die Flip-Flops FF_1 und FF_2 zurück. Die Vorderflanke der Ausgangsimpulse der Multivibratoren MV_1 und MV_2 schaltet die Flip-Flops FF_1 und FF_2 um, und zwar in dieser Reihenfolge. Das Flip-Flop FF_1 wird zu einem bestimmten Zeitpunkt von 150 Nanosekunden nach der Vorderflanke des Synchronisationseingangsimpulses umgeschaltet, während das Flip-Flop FF_2 zu einem einstellbaren Zeitpunkt im Bereich von 150 Nanosekunden bis 1,5 Mikrosekunden nach der Vorderflanke des Synchronisationseingangsimpulses umgeschaltet wird.

Da die Flip-Flops zu verschiedenen Zeiten durch die Multivibratoren MV_1 und MV_2 umgeschaltet werden, kann der

509829/0720

2501253

Zeitpunkt, zu dem das Flip-Flop FF_1 umgeschaltet wird, als Zeitpunkt des Beginns des Steuerimpulses für den Wandler 2 dienen. Der Zeitpunkt, zu dem das Flip-Flop FF_2 umgeschaltet wird, kann als Zeitpunkt des Endes des Steuerimpulses dienen, wie Figur 3 zeigt.

Figur 3 zeigt Wellenformen A bis H an den verschiedenen Punkten a bis h in Figur 2. In jedem Fall beginnt der Steuerimpuls 150 Nanosekunden nach Beaufschlagung des Anschlusses 40 mit dem Synchronisationsimpuls, unabhängig von der durch den Multivibrator MV_2 gegebenen RC-Periode.

Man kann auch den Synchronisationsimpuls am Anschluss 40 dazu verwenden, das Flip-Flop FF_1 direkt umzuschalten, so dass der Steuerimpuls gleichzeitig mit dem Synchronisationsimpuls beginnt. In diesem Fall kann die RC-Periode des Multivibrators MV_2 derart eingestellt werden, dass die gewünschte Impulsbreite erhalten wird. Das Flip-Flop FF_1 wird jedoch durch den Multivibrator MV_1 umgeschaltet, so dass der Signalpfad für den Beginn des Impulses identisch mit dem Signalpfad für die Terminierung des Impulses ist ausser einem Unterschied hinsichtlich der RC-Schaltungen der Multivibratoren. Dies hat zur Folge, dass irgendwelche Änderungen der Periode des Multivibrators MV_2 aufgrund von Änderungen der Umgebungstemperatur auch den Startzeitpunkt des Steuerimpulses beeinflussen.

Wenn zum Beispiel eine Zunahme der Temperatur zu einer Abnahme der RC-Periode des Multivibrators MV_2 führt, so erfährt die RC-Periode des Multivibrators MV_1 eine im wesentlichen gleiche Abnahme. Dies führt insgesamt dazu, dass der Impuls, mit dem der Wandler über die Übertragungsleitung 14f beaufschlagt wird, früher beginnt. Dieser Impuls hat jedoch im wesentlichen die gleiche Breite wie vor der Temperaturänderung. Wenn die Vorderflanke des zum Wandler 2 übertragenen Steuerimpulses festgestellt wird und zur Steuerung des Entfernungstors verwendet wird, so hat irgendeine Änderung der RC-Periode des Multivibrators keinen Einfluss auf die zeitliche Steuerung der Entfernungs-

tore, welche die zu inspizierenden Volumenelemente jeweils definieren. Man kann jedoch auch die Entfernungstore auf andere Weise starten, zum Beispiel mit einer Schaltung, welche einen durch die Vorderflanke des Synchronisationsimpulses getriggerten Multivibrator umfasst sowie ein Flip-Flop, welches durch das Ausgangssignal des Multivibrators umgeschaltet oder zurückgeschaltet wird. Eine Änderung der RC-Zeit des Multivibrators MV_1 und MV_2 würde auch die RC-Zeit dieses dritten Multivibrators beeinflussen, so dass die Synchronisation zwischen den Entfernungstoren und den Steuerimpulsen aufrecht erhalten bleibt, ohne dass die Vorderflanken der Steuerimpulse festgestellt werden müssen.

Die komplementären Ausgänge (\bar{Q}) der Flip-Flops FF_1 und FF_2 werden verstärkt und invertiert. Dabei wird die negative quadratische Wellenform in eine positive quadratische Wellenform umgewandelt. Dies geschieht durch die Verstärker 49 und 50. Die negativen Stufen in den Endflanken der quadratischen Wellenformen D und E der Figur 3 werden durch Differenzierschaltungen 51 und 52 differenziert, wobei die Eingangsanschlüsse von invertierenden Verstärkern 53 und 54 mit scharfen negativen Impulsen beaufschlagt werden. Die positiven Ausgangsimpulse dieser Verstärker gelangen sodann zu den Basiselektroden von zwei NPN-Transistoren Q_1 und Q_2 . Diese Transistoren invertieren die Impulse, so dass die Primärwicklungen von Impulstransformatoren T_1 und T_2 mit negativen Impulsen beaufschlagt werden. Die Transformatoren sind jedoch so gewickelt, dass die Polarität der Impulse invertiert wird. Hierdurch erscheinen an den Sekundärwicklungen transformatorpositive Steuerimpulse. Hierdurch werden die Vierschicht-Schaltdioden SCR_1 und SCR_2 gezündet, und zwar zu den jeweiligen Zeitpunkten der Impulse mit den Wellenformen F und G der Figur 3

2501253

an den Punkten f und g der Figur 2. Dies hat einen gesteuerten Impuls an der Stelle h mit der Wellenform H der Figur 3 zur Folge.

Im folgenden soll die Erzeugung des Steuerimpulses näher erläutert werden. Da der Multivibrator MV_1 stets zuerst umgeschaltet wird (150 Nanosekunden nach der Vorderflanke des Synchronisationsimpulses am Eingangsanschluss 40), wird durch den Transformator T_1 ein Impuls eingekoppelt, welcher die Vierschicht-Schaltdiode SCR_1 zündet. Hierdurch nun entlädt sich ein aufgeladener Kondensator 55 über eine Diode D_1 mit einem PN-Übergang, über die Vierschicht-Schaltdiode SCR_1 und über eine Zener-Diode D_2 . Die Dioden D_1 und D_2 und die Vierschicht-Schaltdiode SCR_1 sind alle richtig gepolt, so dass sich der Kondensator 55 in die Übertragungsleitung 14' entlädt. Zu einem späteren Zeitpunkt, welcher durch die einstellbare RC-Periode des Multivibrators MV_2 festgelegt ist, wird das Flip-Flop FF_2 umgeschaltet und zündet die Vierschicht-Schaltdiode SCR_2 über den Transformator T_2 . Die Vierschicht-Schaltdiode SCR_2 ist mit Erde verbunden, so dass nach Zündung derselben der vom Kondensator 55 über das SCR_1 in die Übertragungsleitung fließende Strom kurzgeschlossen wird, so dass der Steuerimpuls für den Wandler rasch beendet wird. Sobald sich der Kondensator 55 genügend entladen hat, reicht die an den Vierschicht-Schaltdioden anliegende Spannung nicht aus, einen zur Aufrechterhaltung der Leitfähigkeit ausreichenden Strom zu bewirken. Sobald aber diese Vierschicht-Schaltdioden ihre Leitfähigkeit verlieren, wird ein NPN-Transistor Q_3 , welcher als Emitter-Folger geschaltet ist, leitfähig und lädt den Kondensator 55 wieder über Widerstände 56 und 57 in Richtung auf eine positive Spannung $+V_{cc}$ auf. Ein Widerstand 58 ist mit der Verbindungsstelle zwischen den Widerständen 56 und 57 verbunden und führt zu einer positiven Vorspannung der Basis des Transistors Q_3 in Bezug auf dessen Emitter. Hierdurch wird dieser leitfähig,

509829/0720

bis der Kondensator auf einen genügend hohen Wert aufgeladen ist, welcher der Spannung $+V_{CC}$ minus dem IR-Abfall im Ladestrompfad gleich ist. Es sollte bemerkt werden, dass der p-n-Übergang zwischen der Basis und dem Emitter des Transistors Q_3 umgekehrt gepolt ist wie der p-n-Übergang der Diode D_1 .

Die Übertragungsleitung 14' ist am Steuerende mit ihrer charakteristischen Impedanz R_0 durch einen Widerstand 60 verbunden, welcher geerdet ist. Für ein 75 Ohm-Koaxialkabel, zum Beispiel ein Kabel des Typs RG59/U, ergibt sich ein Widerstand 60 von 75 Ohm. Auch am anderen Ende der Übertragungsleitung könnte ein Widerstand vorgesehen sein, welcher der charakteristischen Impedanz der Übertragungsleitung entspricht. In diesem Fall würden Reflexionen an beiden Enden der Übertragungsleitung verhindert werden. Zur Erzielung einer möglichst wirksamen Energieübertragung auf den Wandler sollte eine möglichst gute gegenseitige Anpassung der Übertragungsleitung und des Wandlers angestrebt werden.

Bei der gezeigten Ausführungsform ist nur das Eingangs-ende der Übertragungsleitung mit einem Widerstand verbunden, welcher der charakteristischen Impedanz der Übertragungsleitung entspricht, da eine einfache Reflexion des Steuerimpulses vom Wandler 2 zurück den Wandler, welcher zur Echoaufnahme dient, nicht stört. Dies hat seinen Grund darin, dass alle Echosignale notwendigerweise vom Wandler 2 zu einem Zeitpunkt aufgenommen werden, welcher zeitlich hinter dem Beginn der Rückwanderung des Reflektionsimpulses durch die Übertragungsleitung liegt. Demzufolge wird das durch die Übertragungsleitung zum Eingang derselben zurücklaufende einzelne Reflektionssignal bereits durch den Widerstand 60 verzählt, wenn das Echosignal am Eingangsende der Übertragungsleitung (Stelle h) empfangen wird.

Die Zener-Diode D_2 , welche zwischen der Vierschicht-Schaltdiode SCR_1 und der Übertragungsleitung 14' liegt, verhindert, dass ein reflektierter Impuls eine der Vierschicht-Schaltdioden beschädigt. Die vom Wandler 2 empfangenen Echosignale werden durch Widerstände 62 und 63 mit einem Empfänger-Vorverstärker 61 gekoppelt. Ein Diodenbegrenzer 64 liegt zwischen der Verbindungsstelle der Widerstände 62 und 63 und Erde. Der Diodenbegrenzer hat die Aufgabe, die Amplitude der zum Verstärker 61 gelangenden beliebigen Impulse mit beliebiger Polarität zu begrenzen. Dies dient dem Schutz des Verstärkers 61 vor Beschädigung bei zu grosser Amplitude des Steuerimpulses. Das Ausgangssignal des Verstärkers 61 gelangt sodann zum Empfänger des Ultraschall-Überwachungssystems.

Aus vorstehender Beschreibung wird klar, dass die Amplitude eines jeden Steuerimpulses durch Entladung des Kondensators 55 genau aufrecht erhalten bleibt und dass die Breite eines jeden Impulses durch die Multivibratoren MV_1 und MV_2 genau aufrecht erhalten bleiben. Wie bereits erwähnt, führt jede Variation der RC-Periode des einen Multivibrators auch zu einer entsprechenden Änderung des anderen, so dass die Breite eines jeden Steuerimpulses weder durch Änderung der Umgebungstemperatur noch durch Alterungserscheinungen der Schaltungskomponenten beeinträchtigt wird. Das gleiche gilt für den Signalpfad zur Steuerelektrode der Vierschicht-Schaltdiode SCR_1 im Vergleich zum Signalpfad zur Steuerelektrode der Vierschicht-Schaltdiode SCR_2 .

Die Erfindung bietet die folgenden Vorteile:

Es können sehr lange Übertragungsleitungen verwendet werden. Die Länge der Übertragungsleitung kann leicht ge-

ändert werden, ohne dass Veränderungen im Wandler erforderlich sind. Die Steuerimpulse sind höchst stabil, und zwar sowohl hinsichtlich Amplitude als auch hinsichtlich Breite. Steuerimpulse höherer Amplitude können leicht verwirklicht werden, indem man einfach einen Kondensator mit grösserer Kapazität auswählt, welcher bei Betätigung der Vierschicht-Schaltdioden parallel zur Übertragungsleitung geschaltet wird. Aufgrund der grösseren Stabilität der Steuerimpulse sowohl hinsichtlich Breite als auch hinsichtlich Amplitude, ergibt sich ein besseres Signal-Rauschverhältnis. Die wichtigsten Vorteile bestehen in der Einstellbarkeit des Impulses für die Erregung des Ultraschallwandlers bei unabhängig änderbarer Länge der Übertragungsleitung. Der Anstieg des Impulses kann leicht eingestellt werden, so dass dieser den üblichen Ultraschallwandlern (1 MHz und 5 MHz) oder einem anderen piezoelektrischen Wandler angepasst ist. Dies ist ein wesentlicher Vorteil im Hinblick auf die Vielzahl verschiedener piezoelektrischer Wandler, welche zur Zeit erhältlich sind und anstelle eines piezoelektrischen Kristalls ein ferroelektrisches Keramikmaterial wie Barium-Titanat oder Blei-Titanat-Zirkonat verwenden.

Vorstehend wurden die Multivibratoren, Flip-Flops und Verstärker als funktionelle Einzelelemente beschrieben. Sie können jedoch auch als integrierte Schaltungen auf einer einzelnen Halbleiterplatte ausgebildet sein. Bei einer bevorzugten Ausführungsform handelt es sich hierbei um erhältliche Schaltungen, welche hinsichtlich Umschaltgeschwindigkeit optimal sind. Ein gemeinsames Substrat für alle integrierte Schaltungen erlaubt eine optimale Wahl des Signalweges für beide Kanäle im Hinblick auf Änderungen bei einer sich ändernden Umgebungstemperatur. Als guter Kompromiss kommt auch ein gemeinsames Substrat für die Multivibratoren und ein anderes

gemeinsames Substrat für die Flip-Flops in Frage oder mindestens ein gemeinsames Substrat für die Flip-Flops. Doppel-Flip-Flop-Packungen sind ohne weiteres erhältlich. Der Betrieb eines jeden Multivibrators ist weitgehend durch dessen RC-Schaltung bestimmt. Diese besteht im allgemeinen aus diskreten Bauelementen, selbst wenn man integrierte Schaltungen verwendet. Diese erlaubt nämlich eine einfache Änderung der RC-Konstante durch Änderung oder Variation des Widerstandswerts des Widerstandes oder der Kapazität des Kondensators. Wenn man die beiden integrierten Schaltungen in einem gemeinsamen Wärmetrog anordnet und anderweitig dafür sorgt, dass beide Signalkanäle der gleichen Umgebungstemperatur unterliegen, so kann eine befriedigende Arbeitsweise erwartet werden.

Patentansprüche

1. Ultraschall-Überwachungssystem mit einem Ultraschallwandler zur Überwachung eines Bauteils, insbesondere zur Überwachung der Volumenelemente einer Wandung oder dergleichen während des Betriebs, mit einem Impulsgenerator und einer Übertragungsleitung zwischen dem Ultraschallwandler und dem Impulsgenerator zur Übertragung von Spannungssteuerimpulsen, dadurch gekennzeichnet, dass der Impulsgenerator einen Kondensator (55) umfasst sowie eine Einrichtung (Q_3) zur Aufladung des Kondensators (55), eine Zeitsteuereinrichtung zur Steuerung der Entladung des Kondensators (55) in die Übertragungsleitung (14') bei Beginn eines Steuerimpulses und eine Zeitsteuerschaltung zum Nebenschliessen des Entladestroms des Kondensators (55) von der Übertragungsleitung (14') weg bei Ende eines Steuerimpulses, so dass eine Änderung der Länge der Übertragungsleitung ohne Änderung des Ultraschallwandlers vorgenommen werden kann.

2. Ultraschall-Überwachungssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Zeitsteuereinrichtung zur Steuerung der Entladung des Kondensators (55) in die Übertragungsleitung (14') eine erste Vierschicht-Schaltdiode (SCR_1) und eine Einrichtung zur Zündung derselben, insbesondere ansprechend auf einen Synchronisationsimpuls, umfasst und dass die Zeitsteuereinrichtung zum Nebenschliessen des Entladestroms eine zweite Vierschicht-Schaltdiode (SCR_2) und eine Einrichtung, insbesondere eine Verzögerungseinrichtung, zur Zündung derselben,

insbesondere ansprechend auf den Synchronisationsimpuls, umfasst.

3. Ultraschall-Überwachungssystem nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Einrichtungen zum Zünden der ersten und der zweiten Vierschicht-Schaltdiode (SCR_1 und SCR_2) getrennt sind und dass jede derselben eine getrennte aber ähnliche Verzögerungseinrichtung zur Zündung der getrennten Vierschicht-Schaltdioden (SCR_1 und SCR_2) umfasst, wobei die Verzögerungseinrichtungen für jede der Vierschicht-Schaltdioden so ausgebildet sind, dass die Verzögerungszeit bei der gleichen Flanke des Eingangsimpulses, insbesondere des Synchronisationsimpulses, beginnt, aber verschiedene Verzögerungszeiten aufweist, wobei die Dauer eines erzeugten Steuerimpulses durch den Unterschied in den Verzögerungszeiten der getrennten Verzögerungseinrichtungen bestimmt wird und wobei eine Änderung der Verzögerungsperiode der einen Verzögerungseinrichtung bei Änderung der Bedingungen im wesentlichen gleich der Änderung der Verzögerungsperiode der anderen Verzögerungseinrichtungen ist.
4. Ultraschall-Überwachungssystem nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Einrichtung zur Aufladung des Kondensators (55) einen Emitter-Folger-Transistor (Q_3) umfasst.
5. Ultraschall-Überwachungssystem nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Basis des Transistors (Q_3) mit dessen Emitter über eine Diode (D_1) verbunden ist, welche entgegengesetzt dem Basis-Emitterübergang des Transistors (Q_3) gepolt ist, wobei der Emitter mit dem Kondensator (55) verbunden ist und wobei der Kollektor über zwei in Reihe

geschaltete Lastwiderstände (56, 57) mit einer Kollektorspannungsquelle (V_{cc}) verbunden ist und wobei ein Widerstand (58) zwischen der Basis und der Verbindungsstelle der Lastwiderstände (56 und 57) liegt und wobei die Basis mit der Verbindungsstelle zwischen der Vierschicht-Schaltdiode und dem Kondensator (55) liegt, so dass der Kondensator automatisch wieder aufgeladen wird, wenn der Stromfluss durch die Vierschicht-Schaltdioden bei Entladung des Kondensators unter einen vorbestimmten Pegel erlischt.

6. Ultraschall-Überwachungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 5, gekennzeichnet durch ein Schaltelement (60) mit der charakteristischen Impedanz der Übertragungsleitung (14') an dem dem Ultraschallwandler abgewandten Ende der Übertragungsleitung (14').
7. Ultraschall-Überwachungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 6, gekennzeichnet durch eine Positioniereinrichtung zur Positionierung des Wandlers in sukzessive Positionen entlang einem vorbestimmten Überwachungspfad, durch ein Hauptsteuerpult und durch eine flexible Übertragungsleitung zwischen dem Hauptsteuerpult und dem Wandler.
8. Ultraschall-Überwachungssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Impulsgenerator eine Zeitsteuerschaltung zur Zündung einer ersten Vierschicht-Schaltdiode für die Entladung eines vorgeladenen Kondensators in die Übertragungsleitung bei Erzeugung eines Steuerimpulses sowie zur Zündung einer zweiten Vierschicht-Schaltdiode für den Nebenschluss des Entladungsstroms aus dem

2501253

Kondensator auf Erde bei Ende des Steuerimpulses umfasst.

9. Ultraschall-Überwachungssystem nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Schaltelement an dem dem Ultraschallwandler abgewandten Ende der Übertragungsleitung (14') ein Widerstand (60) ist.
10. Ultraschall-Überwachungssystem nach einem der Ansprüche 2 bis 9, gekennzeichnet durch getrennte Verzögerungseinrichtungen zur Zündung der getrennten Vierschicht-Schaltdioden, anspruchend auf einen einzigen Eingangssteuerimpuls.

509829/0720

97
Leerseite

. 29 .

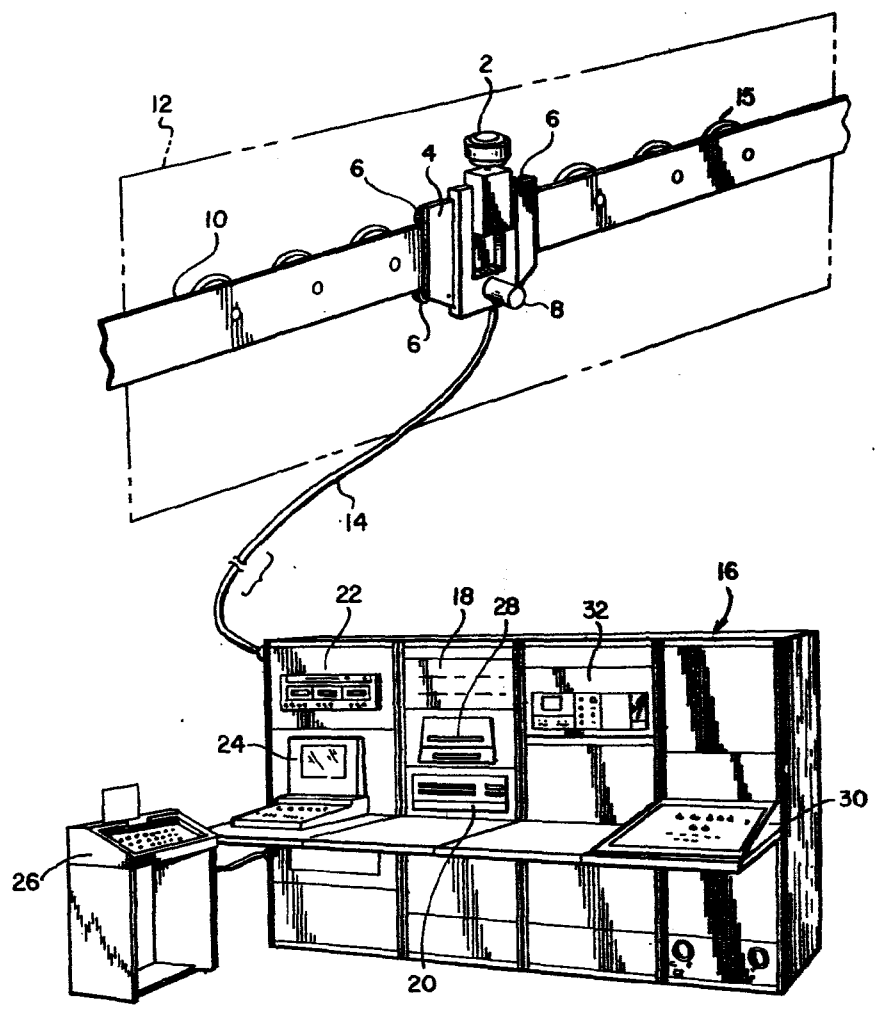


FIG. 1 X

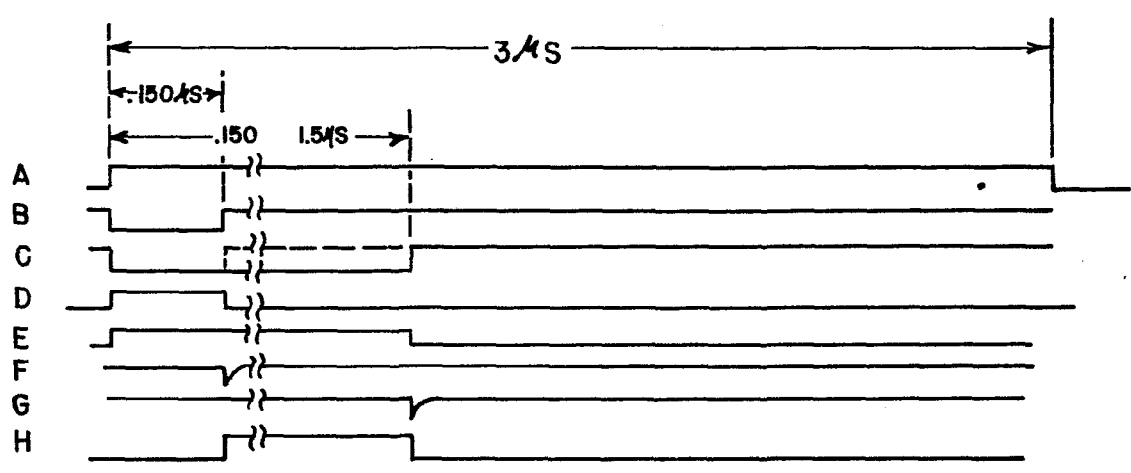


FIG. 3.

509829/0720

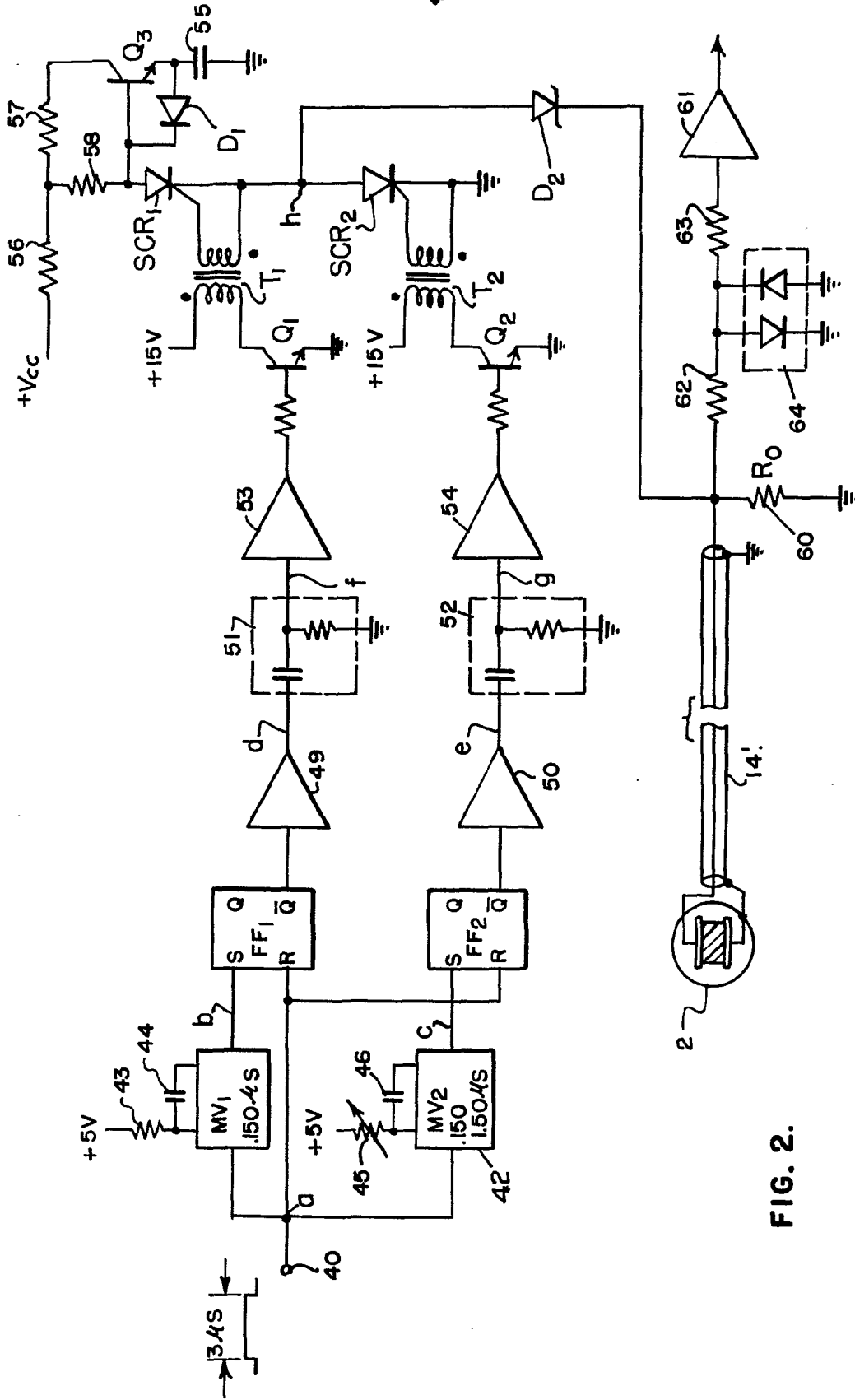


FIG. 2.