



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

⑫ **PATENTSCHRIFT A5**

⑪ Gesuchsnummer: 1762/83

⑬ Inhaber:  
Robert Bosch GmbH, Stuttgart 1 (DE)

⑫ Anmeldungsdatum: 30.03.1983

⑫ Erfinder:  
Adolph, Dietrich, Albershausen (DE)

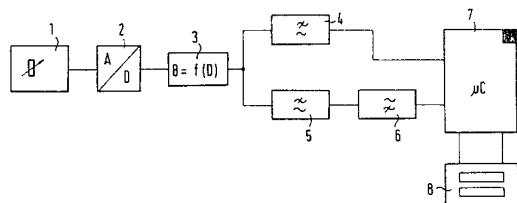
⑪ Priorität(en): 02.07.1982 DE 3224713

⑪ Patent erteilt: 31.03.1987

⑭ Vertreter:  
Dr. Paul Stamm, Solothurn

⑮ **Vorrichtung zur Bestimmung der Unrundheit von Rädern und/oder Bremsen auf einem Bremsenprüfstand.**

⑯ Die Vorrichtung umfasst digitale Filtereinrichtungen (5, 6), durch die ein bestimmter Signalanteil des Signals des Messwertaufnehmers (1) des Bremsenprüfstandes zur Bestimmung der Unrundheit verwendet wird. Die obere Grenze wird durch Gebersignalschwankungen bestimmt, die auf den Prüfstand selbst zurückzuführen sind, die untere Grenze wird durch die langsam veränderliche mittlere Bremskraft bestimmt.



## PATENTANSPRÜCHE

1. Vorrichtung zur Bestimmung der Unrundheit von Rädern und/oder Bremsen auf einem Bremsenprüfstand mit einem Messwertaufnehmer und mit Anzeigevorrichtungen zur Bestimmung der Unrundheit, dadurch gekennzeichnet, dass das Signal des Messwertaufnehmers einem Bandpass zugeführt ist, dessen obere Grenzfrequenz durch die Schwankungen des Messwertsignals aufgrund von Störungen im Bremsenprüfstand bestimmt ist und dessen untere Grenzfrequenz eine Unterdrückung der veränderlichen mittleren Bremskraft bewirkt.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Bandpass einen Tiefpass (5), dessen Grenzfrequenz durch die Schwankungen des Messwertsignals aufgrund von Störungen im Bremsenprüfstand bestimmt ist, und einen Hochpass (6) aufweist, der zur Unterdrückung der veränderlichen mittleren Bremskraft dient.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das gefilterte Signal in einem Rechner (7) verarbeitet und digital anzeigbar ist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass das gefilterte Signal über mehrere Perioden gemittelt anzeigbar ist.

5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass ein bzw. ein weiterer Tiefpass (4) zur Bestimmung und Anzeige der mittleren Bremskraft vorgesehen ist.

6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass Mittel vorgesehen sind, die eine Anzeige oder Bestimmung der Unrundheit oder Bremskraft verhindern, wenn eine Fehlmessung erkannt ist.

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Tief- und /oder Hoch- und /oder Bandpässe (4, 5, 6) als digitale Filter ausgebildet sind.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Filter (4, 5, 6) als Cauer-Filter fünfter Ordnung ausgebildet sind.

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung nach dem Oberbegriff des unabhängigen Patentanspruchs. Bei der Prüfung von Kraftfahrzeugbremsen auf Rollenprüfständen wird neben der Bremskraft üblicherweise auch die gleichförmige Arbeitsweise der Bremsen beobachtet. Bekannte Bremsenprüfstände verfügen über Zeigerinstrumente, an denen die Bremskraft abgelesen werden kann. Weisen die Bremsen eine Unrundheit auf, so macht sich dies bei den Zeigerinstrumenten durch einen langsam schwankenden Zeigerausschlag bemerkbar. Mit solchen Zeigerinstrumenten am Prüfstand lässt sich aufgrund der Zeigerschwankungen vom Prüfpersonal der Grad der Bremskraftschwankungen abschätzen. Hierbei ist im allgemeinen nicht zu entscheiden, ob die Ursache der Ungleichförmigkeit von den Bremsen oder von Rad bzw. den Reifen herrührt. Die Abschätzung der Unrundheit aufgrund der Zeigerschwankungen ist ungenau und lässt eine exakte Aussage über den Grad der Unrundheit der Bremse und/oder Reifen nicht zu.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung mit den kennzeichnenden Merkmalen des unabhängigen Patentanspruchs hat demgegenüber den Vorteil, dass die Grösse der Unrundheit der Bremsen und/oder Reifen aus dem Messsignal für die Bremskraft ermittelt werden kann und analog oder digital anzuzeigen ist. Dadurch ist eine genaue Aussage über die Unrundheit möglich. Ablesefehler sind nicht mehr möglich und Schätzungen aufgrund von Zeigerschwankungen sind nicht mehr nötig. Als weiterer Vorteil ist anzusehen, dass die

Bremskraft direkt ohne Zeigerschwankungen anzeigbar ist. Dadurch ist auch eine digitale Auswertung des Signals möglich.

Durch die in den abhängigen Patentansprüchen aufgeführten Massnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen der im unabhängigen Patentanspruch 1 definierten Vorrichtung umschrieben. Vorteilhaft ist es, den Bandpass aus einem Hochpass und einem Tiefpass zusammenzusetzen. Dadurch lassen sich die Filter besonders einfach realisieren, insbesondere wenn sie als digitale Filter ausgebildet sind. Besonders günstig haben sich für die Filter Cauer-Filter fünfter Ordnung erwiesen. Eine genaue Ableitung wird dann erreicht, wenn die Anzeige der Unrundheit mit Ziffern erfolgt. Weiterhin ist es vorteilhaft, einen Mittelwert der Unrundheit über mehrere Perioden der Raddrührung zu ermitteln. Dadurch werden Messfehler mit Sicherheit ausgeschlossen. Vorteilhaft ist es auch, Fehlererkennungsvorrichtungen vorzusehen, so dass fehlerhafte Messwerte nicht zur Anzeige gelangen können. Günstig ist es zur Bestimmung der Bremskraft ein weiteres Tiefpassfilter vorzusehen. Durch diese Massnahme wird erreicht, dass auch für die Bremskraft bei gegebener Unrundheit eine gut ablesbare Zifferanzeige erfolgt.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen Figur 1 die erfundungsgemäße Vorrichtung, Figur 2 ein beispielhaftes Ausgangssignal des Messwertgebers, Figur 3 ein Strukturdiagramm zur Erläuterung der Arbeitsweise des Mikroprozessors und Figur 4 ein weiteres Strukturdiagramm zur Bestimmung der Unrundheit.

In Figur 1 ist mit 1 ein Bremsmomentgeber bezeichnet, wie er beispielsweise bei handelsüblichen Rollenprüfständen Verwendung findet. Statt amplitudenproportionaler Bremsmomentgeber können auch frequenzproportionale Geber Verwendung finden. Das Signal des Gebers 1 wird einem Analog-Digital-Wandler 2 zugeführt. Ist die frequenzproportionale Messwertgeber vorgesehen, ist ein Frequenz-Digital-Wandler zu verwenden. Am Ausgang des Analog-Digital-Wandlers 2 steht nunmehr ein digitales Wort zur Verfügung. Dieses digitale Wort wird in einer Umsetzerstufe 3 in ein der Bremskraft proportionales Wort umgewandelt. In dieser Stufe können beispielsweise Nichtlinearitäten des Gebers oder des Rollenprüfstandes und der Nullpunkt korrigiert werden. Als Umsetzer eignet sich vorteilhafter Weise eine Tafel, die in einem PROM gespeichert ist. Jedem Eingangssignal wird dabei ein bestimmtes Ausgangssignal zugeordnet. An den Ausgang des Umsetzers 3 ist ein Tiefpass 4 und ein Tiefpass 5 angeschlossen. Der Tiefpass 4 weist beispielsweise eine Grenzfrequenz von 0,3 Hz auf. Der Tiefpass 5 hat beispielsweise eine Grenzfrequenz von 1 Hz. Dem Tiefpass 5 folgt ein Hochpass 6, der beispielsweise eine Grenzfrequenz von 0,5 Hz aufweist. Der Ausgang des Tiefpasses 4 und des Hochpasses 6 ist jeweils zu einem Eingang eines Mikroprozessors 7 geführt. Die Ausgänge des Mikroprozessors 7 führen zu einer Ziffern-Anzeigevorrichtung 8.

Die Wirkungsweise der Schaltungsanordnung ist anhand der Figuren 2 bis 4 näher erläutert. Das vom Bremsmomentgeber 1 aufgenommene Signal hat in etwa die in Figur 2 dargestellte Form. Einem Gleichanteil, dem die mittlere Bremskraft entspricht, ist ein Wechselanteil überlagert, der die zu bestimmende Unrundheit kennzeichnet. Die Unrundheit weist die Periodendauer T auf. Die Frequenz der Unrundheit liegt üblicherweise unter 1 bis 2 Hz. Sie ist abhängig vom Verhältnis der Durchmesser von Fahrzeugrad zu Prüfstandsrollen und der Drehzahl der Prüfstandsrollen. Durch den Analog-Digital-Wandler 2 wird dieses Signal in äquidistanten Zeiten  $\Delta T$  abgetastet. Die Abtastrate bestimmt sich nach dem Shannonschen Abtasttheorem und ist abhängig von der grös-

sten vorkommenden Frequenz. In einem konkreten Ausführungsbeispiel wurde für diese Frequenz 5 Hz gefunden. Weiterhin ist die Abtastrate zweckmässigerweise so zu wählen, dass sich möglichst einfache Filterkoefizienten für die Bestimmung des Filters ergeben, da dadurch die Rechenzeit in den Filterbausteinen gering gehalten werden kann, so dass einfache Multiplizierer zu verwenden sind. Als vorteilhaft hat sich dabei eine Abtastrate von 91,91 Millisekunden ergeben. Durch den Umsetzer 3 kann das Gebersignal, das in vielen Fällen nichtlinear ist, in ein der Bremskraft proportionales Signal umgesetzt werden. Die Grössen sind vorteilhaftweise in einem PROM gespeichert, so dass mit jedem digitalen Eingangswort ein bestimmter Speicherplatz des PROMs abgerufen wird, in dem der entsprechend korrigierte Wert der Bremskraft abgelegt ist. Zwischenwerte können noch durch Interpolation berechnet werden, sofern eine höhere Auflösung erforderlich ist.

Der digitale Wert am Ausgang des Umsetzers 3 wird nunmehr dem Tiefpass 5 zugeführt. Der Tiefpass 5 ist beispielsweise vom Cauer-Typ fünfter Ordnung und weist eine Grenzfrequenz von 1 Hz auf. Der Tiefpass 5 ist digital aufgebaut. Hinweise zur Realisierung digitaler Filter lassen sich beispielsweise dem Buch Tietze, Schenck, Halbleiterschaltungstechnik, 4. Auflage, Springer 1978, Seite 587ff entnehmen. Durch den Tiefpass, der eine hohe Flankensteilheit aufweisen sollte, wird sichergestellt, dass Bremskräfte und Bremskraftschwankungen, die die Drehzahl der Fahrzeugaräder auf dem Prüfstand haben, passieren können, während Gebersignalschwankungen, die auf den Prüfstand selbst, beispielsweise durch Rollenunwuchten und Störungen durch den Kettenantrieb, zurückzuführen sind, unterdrückt werden.

Das dem Tiefpassfilter 5 folgende Hochpassfilter 6 ist ebenfalls vom Cauer-Typ fünfter Ordnung. Es hat eine Durchlassfrequenz von 0,5 Hz. Die Wahl dieser Durchlassfrequenz stellt sicher, dass alle möglichen Frequenzen, die vom Fahrzeugrad und seiner Bremse herrühren, durchgelassen werden, während die langsam veränderliche mittlere Bremskraft vom Hochpass unterdrückt wird.

Die auftretenden Radfrequenzen sind abhängig von den unterschiedlichen Raddurchmessern und dem je nach mittlerer Bremskraft unterschiedlichen Schlupf der Räder auf den Prüfstandrollen. Je nach Prüfstand können daher auch andere Grenzfrequenzen vorteilhaft sein.

Das am Ausgang des Hochpasses 6 anliegende Signal enthält nur eventuelle Schwankungen der Bremskraft. Die Spitzenwerte dieser Schwankungen oder der Spitze Spitze-Wert ist nunmehr bestimmbar. Möglich ist auch die Bestimmung eines Effektivwertes oder der mittleren Amplitude. Die Berechnung hierzu wird mittels des Mikroprozessors 7 vorgenommen.

Damit die Anzeige der Bremskraft mit Ziffern gut lesbar wird, ist das Tiefpassfilter 4 vorgesehen. Das Tiefpassfilter 4 hat eine niedrige Grenzfrequenz, da die mittlere Bremskraft selbst nur eine langsam veränderliche Grösse ist. Das Tiefpassfilter 4, das ebenfalls digital ausgeführt ist, hat beispielsweise eine Grenzfrequenz von 0,3 Hz. Das Ausgangssignal des Tiefpassfilters 4 wird ebenfalls dem Mikroprozessor 7 zugeführt, der den entsprechenden Teil der Ziffern-Anzeigevorrichtung 8 ansteuert.

Die Berechnung der Unrundheit erfolgt im Mikroprozessor 7 entsprechend dem Diagramm nach Figur 3. Nach der Initialisierung des Programms wird der in Figur 3 dargestellte Programmabschnitt nach jedem Abtastwert einmal durchlaufen. An der Stelle 11 wird einerseits die Zahl  $n$  der Abtastproben zwischen zwei gleichphasigen Nulldurchgängen der Bremskraftschwankung durch Abzählen erfasst. Weiterhin wird die Summe  $s$  der Beträge der Filterantwort

zwischen zwei gleichphasigen Nulldurchgängen der Bremskraftschwankung ermittelt. An der Abfragestelle 12 wird festgestellt, ob die Zahl der Abtastproben  $n$  und die Summe der Beträge der Filterantworten  $s$  bestimmte vorgegebene Werte überschreiten. Ist dies der Fall, so muss bei der Ermittlung der Bremskraftschwankung ein Fehler aufgetreten sein, so dass diese Periode nicht ausgewertet werden kann. Das Programm springt dann von der Abfragestelle 12 direkt zur Station 17, die eine erneute Initialisierung bewirkt. Sind die Grenzwerte noch nicht überschritten, so wird an der Abfragestelle 13 geprüft, ob ein positiver Nulldurchgang vorliegt, während an der Abfragestelle 21 festgestellt wird, ob ein negativer Nulldurchgang gegeben ist. Ein positiver Nulldurchgang liegt vor, wenn der aktuelle Wert der Filterantwort  $p$  grösser Null ist und der erste Vergangenheitswert gleich oder kleiner Null und der zweite Vergangenheitswert kleiner Null ist. Ein negativer Nulldurchgang liegt vor, wenn der aktuelle Wert der Filterantwort kleiner Null ist, und der erste Vergangenheitswert grösser oder gleich Null und der zweite Vergangenheitswert grösser Null ist. Weist die Filterantwort keinen Nulldurchgang auf, so kann der hier besprochene Programmabschnitt verlassen werden. Liegt ein positiver Nulldurchgang vor, wird mittels des Überwachungszeigers  $p$  geprüft, ob die richtige Folge der Nulldurchgänge eingehalten ist. Ist  $p$  gleich Null, so wird damit festgestellt, dass eine neue Auszählung einer Periode der Unrundheit begonnen werden kann. Der Summationswert  $s$  und der Abtastprobenzähler  $n$  werden auf Null gesetzt, der Zeiger  $p$  wird in 16 auf Eins gesetzt. Ist  $p$  bereits auf Eins gesetzt, und es fand ein positiver Nulldurchgang statt, so wird dies durch die Abfragestation 15 erkannt. In diesem Falle trat ein Fehler auf, da ein weiterer positiver Nulldurchgang entdeckt wurde, ohne dass vorher ein negativer Nulldurchgang festgestellt werden konnte. In diesem Falle werden an der Station 17 die bisher gewonnenen Ergebnisse verworfen und der Zeiger  $p$  auf Null gesetzt. An diese Stelle ist auch der Ausgang der Abfragestation 12 geführt, da auch bei einer Überschreitung der vorgegebenen Bereiche die Ergebnisse wegen eines aufgetretenen Fehlers zu verwerfen sind. Ist bei einem positiven Nulldurchgang der Zeiger  $p$  weder Null noch Eins, so können in der Station 18 die Werte der Unrundheit berechnet werden und in der Station 19 der Anzeigevorrichtung 8 zugeführt werden. Danach wird der Zeiger  $p$  an der Station 20 auf Eins gesetzt sowie die Zahl der Abtastproben  $n$  und die Summe der Beträge der Filterantwort  $s$  auf Null gesetzt.

Wird an der Abfragestelle 21 ein negativer Nulldurchgang festgestellt, so wird an den Abfragestellen 22 und 23 der Wert des Zeigers  $p$  untersucht. Ist  $p$  gleich Null, so ist dies nur dann möglich, wenn noch kein positiver Nulldurchgang vorangegangen ist. Ist an der Abfragestelle 23  $p$  gleich Eins, so bedeutet dies, dass ein ordnungsgemässer positiver Nulldurchgang vor dem negativen Nulldurchgang gefunden wurde. An der Station 24 wird der Wert des Zeigers  $p$  auf Zwei gesetzt. Ist der Wert des Zeigers  $p$  an der Abfragestelle 23 grösser als Eins, so bedeutet dies, dass zwei negative Nulldurchgänge gefunden wurden, ohne dass ein positiver Nulldurchgang dazwischen lag. In diesem Falle werden sämtliche Zeiger an der Stelle 25 zurückgesetzt, da dieses Ergebnis nicht verwendbar ist.

Durch die Überwachungsanordnung in Figur 3 wird sichergestellt, dass fehlerhafte Ergebnisse nicht zur Anzeigevorrichtung 8 gelangen können. Diese werden in der Recheneinrichtung 7 erkannt und unterdrückt.

Um möglichst viele Messinformationen, die als Zahlenwerte in den Zeitintervallen zwischen zwei Nulldurchgängen vorliegen, verwenden zu können, wird durch die Rechenvorrichtung an der Stelle 18 mittels des in Figur 4 dargestellten Unterprogrammes der anzuzeigende Wert berechnet. Dieser Wert kann beispielsweise der Spitze-Spitze-Wert sein, ein

prozentualer Wert in Abhängigkeit von der Bremskraft, ein effektiver Wert oder eine mittlere Amplitude. In dem Beispiel in Figur 4 wird die Berechnung des Spitz-Spitze-Wertes gezeigt. An der Abfragestelle 31 wird geprüft, ob die Summe der Beträge der Filterantwort Null ist oder ob überhaupt schon Abfragen vorgenommen wurden. Ist die Summe der Beträge der Filterantworten gleich Null, so liegt eine Unrundheit nicht vor, so dass die Berechnung des Ergebnisses entfallen kann. Das gleiche Ergebnis liegt vor, wenn keine oder nicht genügend Abfrageergebnisse vorliegen. In diesem Fall wird in der Station 33 das auszugebende Signal 2A Null gesetzt, so dass dies gegebenenfalls auf der Anzeige erscheint. Sind genügend Messwerte vorhanden, so kann an der Station 32 der Spitz-Spitze-Wert 2A berechnet werden. Bei der Berechnung des Spitz-Spitze-Wertes wird davon ausgegangen, dass die Unrundheit sinusförmig darstellbar ist, wobei die doppelte Amplitude 2A der Sinusschwingung den Spitz-Spitze-Wert liefert. Integriert man den Betrag der digitalen Ausgangsspannung des Bandpassfilters aus Tiefpass 5 und Hochpass 6 über eine Schwankungsperiode, so kann diese Amplitude ermittelt werden. Die Integration wird in digitalen Datenverarbeitungsanlagen durch eine einfache Summation zu jedem Abtastzeitpunkt erreicht. Die Summation muss also gleich dem Ergebnis des Integrals sein. Daraus ergibt sich die Gleichung

$$\Sigma / A \sin (2 \pi f n \Delta T) / \Delta T = 2 \frac{A}{\pi f}$$

Die Summe  $s$  ist wie folgt definiert

$$\Sigma / A \sin (2 \pi f n \Delta T) / = s$$

Die Bestimmung der Frequenz  $f$  wird durch einfaches Auszählen der Anzahl der Proben zwischen zwei gleichphasigen Nulldurchgängen der Bremskraftschwankung gewonnen. Daraus berechnet sich die Frequenz nach folgender Gleichung

$$10 f = \frac{1}{n \Delta T}$$

Hieraus lässt sich der Spitz-Spitzwert 2A der Unrundheitsamplitude nach der folgenden Gleichung ermitteln

$$15 2A = \frac{s}{n} \pi$$

Um eine möglichst hohe Genauigkeit zu erzielen, ist es vorteilhaft, die Unrundheit über mehrere Schwankungsperioden zu mitteln. In diesem Falle ist für den Wert  $s$  die Summe der Amplitudenbeträge über die Anzahl der beobachteten Perioden der Unrundheit dividiert durch die Anzahl der Perioden einzusetzen und für  $n$  die Anzahl der Probeentnahmen während der beobachteten Perioden der Unrundheit einzufügen. Durch die Berücksichtigung aller abgetasteten anfallenden Messinformationen ergibt sich eine hohe Störsicherheit sowie eine ausreichende Aktualität der Unrundheitswerte nach jeweils einer Radumdrehung.

FIG. 1

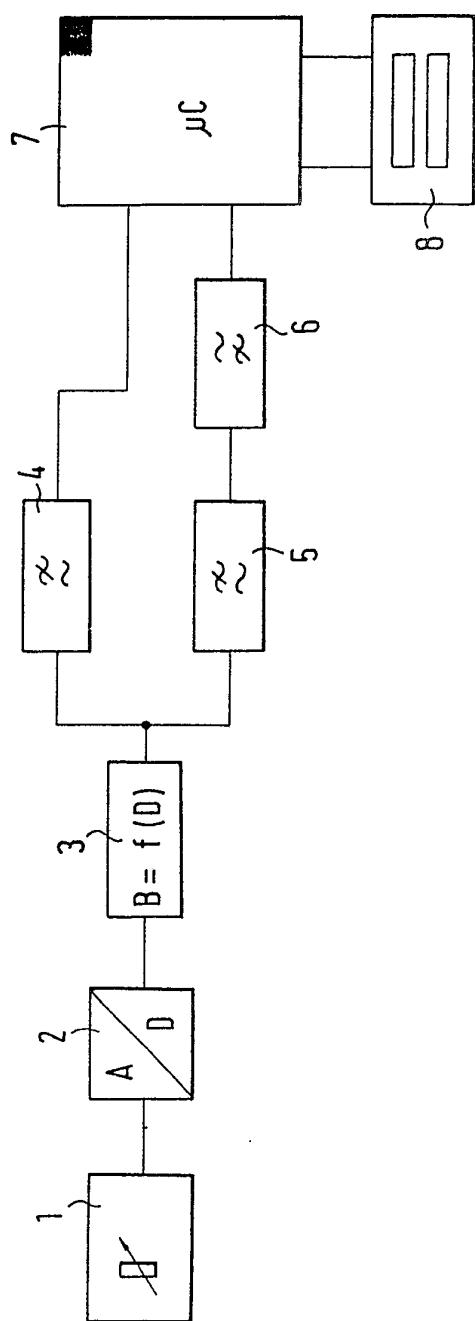


FIG. 2

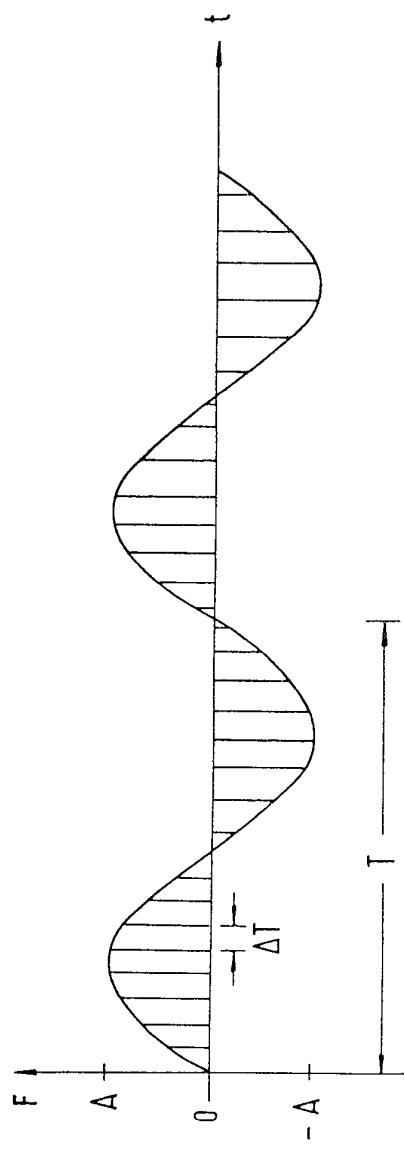


FIG. 3

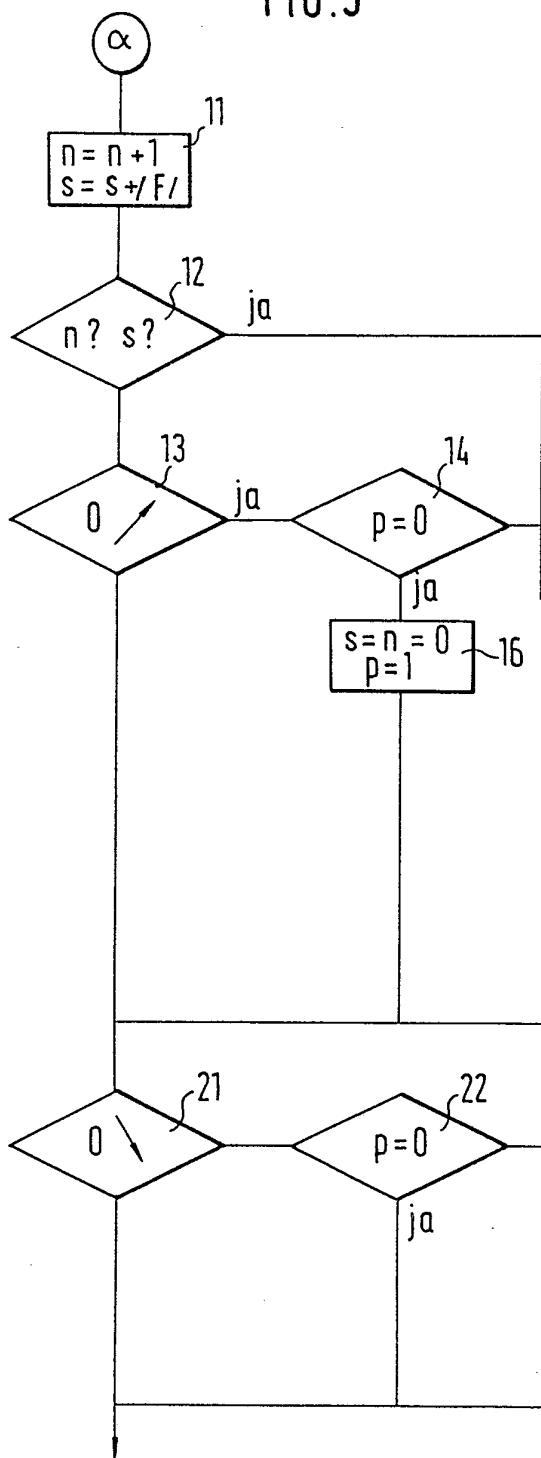


FIG. 4

