



# PATENTSCHRIFT 141 202

**Wirtschaftspatent**

Erteilt gemäß § 5 Absatz 1 des Änderungsgesetzes zum Patentgesetz

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

|      |                     | Int. Cl. <sup>3</sup> |                            |
|------|---------------------|-----------------------|----------------------------|
| (11) | 141 202             | (44)                  | 16.04.80 3(51) G 01 L 3/00 |
| (21) | WP G 01 L / 210 180 | (22)                  | 27.12.78                   |

---

(71) siehe (72)

(72) Mennenga, Heyo, Dr.-Ing.; Schedler, Dietmar, DD

(73) siehe (72)

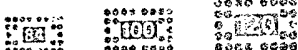
(74) VEB Schiffselektronik Rostock, Büro für Schutzrechte,  
251 Rostock 5, Postfach 85

---

(54) Einrichtung zur Messung des Drehmomentes und damit  
zusammenhängender Größen an Wellenleitungen

---

(57) Die Erfindung bezieht sich auf eine Einrichtung zur Messung des Drehmomentes an Wellenleitungen und damit zusammenhängender Größen wie Wellenleistung und Wellenenergie und auch Wellendrehzahl und ist besonders zur Anwendung an den Propellerwellen von Schiffen vorgesehen, kann aber auch an anderen Wellen eingesetzt werden. Ziel der Erfindung ist eine Einrichtung, die eine laufende Überwachung des von Antriebsanlagen gelieferten Drehmomentes erlaubt, so daß Überlastungen derselben vermieden werden können. Aufgabe der Erfindung ist es, eine Einrichtung zur digitalen Messung des Drehmomentes, der Wellenleistung und der Wellenenergie zu schaffen, die vom Arbeitsprinzip her die besten bekannten Einrichtungen an Genauigkeit erreicht und übertrifft und bei der keine einrichtungsspezifischen Spezialanfertigungen für Impulsgeber oder Markenträger und deren Abtastung notwendig sind. Sie wird gelöst durch die Verwendung inkrementaler Drehwinkelgeber mit Nullimpuls, die von der Welle über mechanische Mittel angetrieben werden und deren Zählimpulsausgänge nach digitaler Verarbeitung unter Verwendung von Tor- und Zählschaltungen Meßwerte für das Drehmoment, die Wellenleistung und die Wellenenergie ergeben.



Erfindungsbeschreibung

a) Titel:

Einrichtung zur Messung des Drehmomentes und damit zusammenhängender Größen an Wellenleitungen

b) Anwendungsgebiet der Erfindung:

Die Erfindung bezieht sich auf eine Einrichtung zur Messung des Drehmomentes an Wellenleitungen und damit zusammenhängender Größen wie Wellenleistung und Wellenenergie und auch Wellendrehzahl und ist besonders zur Anwendung an den Propellerwellen von Schiffen vorgesehen, kann aber auch an anderen Wellen eingesetzt werden.

c) Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Es sind zahlreiche Lösungen zur Messung des Drehmomentes rotierender Wellen bekannt, von denen die wichtigsten nach folgender Übersicht eingeteilt werden können:

Einrichtungen zur Messung des Drehmomentes an rotierenden Wellen - Übersicht

A) Messung der drehmomentproportionalen Oberflächendehnung mittels Dehnmeßstreifen, Saiten o. a.

B) Messung der drehmomentbeeinflussten magnetischen Eigenschaften

C) Messung des Torsionswinkels, den zwei um eine Länge  $l$  auseinanderliegende Wellenquerschnitte gegeneinander drehmomentproportional einnehmen

$C_1$ ) mit markentragenden oder impulsbildenden Mitteln, die mit der Welle starr verbunden sind und die mit der Welle koaxial umlaufen

$C_2$ ) mit markentragenden oder impulsbildenden Mitteln, die neben der Welle laufend und mit dieser über Zahnrad- oder Zugmittelgetriebe so verbunden sind, daß ihr Drehwinkel ein konstantes Vielfaches des Wellendrehwinkels ist

Hier sollen nur die Einrichtungen, die in die Gruppe  $C_2$  nach vorstehender Übersicht einzuordnen sind, betrachtet werden. Jene Einrichtungen, die in die Gruppe  $C_1$  nach vorstehender Übersicht einzuordnen sind, verwenden bei der Verarbeitung der mit Hilfe der markentragenden oder impulsbildenden Mittel gebildeten Signale zum Teil ähnliche Anordnungen wie die nach  $C_2$ , was auch berücksichtigt wird.

Die im Folgenden beschriebene Erfindung ist in die Gruppe  $C_2$  entsprechend der vorstehenden Übersicht einzuordnen, so daß auch hauptsächlich auf Einrichtungen, die die Merkmale nach  $C_2$  aufweisen, Bezug genommen wird. Solche Einrichtungen sind beschrieben in:

- USA-Patent 3640131
- USA-Patent 3081624
- Prospektmaterial der Firma Bordmeßtechnik Hoppe, Hamburg  
"Nichtelektronischer, schleifringloser Leistungs-, Drehmomenten- und Drehzahlmesser für Propellerantriebe" (im weiteren als Hoppe-Anlage bezeichnet)

Hinsichtlich der Signalverarbeitung soll die in die Gruppe  $C_1$  entsprechend obiger Übersicht einzuordnende Einrichtung, beschrieben im DDR-WP 124678, ebenfalls betrachtet werden.

Die vorstehend erwähnten Einrichtungen nach USA-Patent 3081624, die Hoppe-Anlage und die Einrichtung nach DDR-WP 124678 haben den Nachteil gemeinsam, daß Gebereinrichtungen bzw. markentragende Mittel und zu letzteren gehörige Abtasteinrichtungen verwendet werden, die speziell für die jeweilige Einrichtung mit hoher Präzision zu fertigen sind, was insbesondere bei den für Meßanlagen an Propellerwellen üblichen kleinen Stückzahlen sehr kostenintensiv und damit nachteilig ist. Diesen Nachteil weist die Einrichtung nach USA-Patent 3640131 zwar nicht auf, da auch aus anderen Einsatzfällen bekannte optische oder andere Tachogeneratoren Anwendung finden. Wegen der geringen Auflösung dieser Geber muß jedoch eine Phasenmessung durch Impulsaustastung durchgeführt werden, bei der sich dann eine der Drehzahl umgekehrt proportionale Ausgangsgröße ergibt. Das hat zwei Nachteile; zum ersten steigt der Meßfehler der Einzelmessung mit der Drehzahl an, und es sind zweitens relativ aufwendige zusätzliche Mittel notwendig, um die zur Messung des Drehmomentes notwendige Unabhängigkeit von der Drehzahl zu erreichen.

Die Hoppe-Anlage arbeitet rein analog und bietet nicht die bei modernen Anlagen zu fordernde Möglichkeit des Rechneranschlusses. Bei der hier vorgenommenen analogen Signalverarbeitung sind Temperaturänderungen und Bauelementealterungen von fehlervergrößerndem Einfluß.

Bei der Einrichtung nach DDR-WP 124678 und ähnlich arbeitenden Einrichtungen muß man, um einen kleinen Fehler zu erreichen, die Eigenschaften der Mittelung statistischer Signale ausnutzen, d. h., man muß eine möglichst große Zahl von Abtastungen pro Umdrehung erreichen, wobei bei jeder Abtastung möglichst viele Impulse (bei gegebenem Drehmoment) erfaßt werden müssen. Hat die einzelne Abtastung einen gewissen statistischen Fehler, und ist  $r$  die Zahl der zur Mittelung verwendeten Abtastwerte, so ist der Fehler dieses Mittelwertes um den Faktor  $1/\sqrt{r}$  kleiner als der der Einzelmessung. Man versucht also, einmal durch Gewinnung einer großen Zahl von

Impulsen bei der Einzelabtastung den statistischen Fehler der Einzelmessung klein zu halten (dazu wird im DDR-WP 124678 eine Impulsvervielfachung verwendet) und zum zweiten die Zahl der Abtastungen (Mittelungen) möglichst groß zu machen, worin man mit der zur Verfügung stehenden Meßzeit begrenzt ist. Die Realisierung der Forderung, Meßwerte mit kleinem Fehler in kurzen Zeiten bereitzustellen, führt auf die Forderung, die Teilung der markentragenden Mittel bzw. den Impulsabstand (im Bogenmaß) möglichst klein zu machen. Dabei ist man jedoch bei der Einrichtung nach DDR-WP 124678 und ähnlich arbeitenden Einrichtungen durch die Eindeutigkeitsforderung beschränkt, nach der der Marken- oder Impulsabstand größer sein muß als der größte bei der Messung auftretende Verdrehwinkel der markentragenden oder impulsbildenden Mittel gegeneinander. Das begrenzt die Auflösung oder erfordert sehr große Meßzeiten, so daß hier vom Meßprinzip her eine Begrenzung besteht. Dazu kommt, daß die Einzelabtastung relativ grober Marken im Verhältnis zum Verdrehwinkel einen großen Fehler (hervorgerufen z. B. durch Schwankungen der Empfängerempfindlichkeit oder der Triggerschwellen) hervorrufen kann.

d) Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist eine Einrichtung, die eine laufende Überwachung des von Antriebsanlagen gelieferten Drehmomentes erlaubt, so daß Überlastungen derselben vermieden werden können und die die zur Betriebsoptimierung, zur Betriebsbeurteilung und zum wirtschaftlichen Vergleich von Anlagen notwendigen Größen Wellenleistung und Wellenenergie und auch ein Signal für die Wellendrehzahl liefert und dies in digitaler und in einer zur Weiterverarbeitung durch Rechner geeigneten Form.

e) Darlegung des Wesens der Erfindung

Aufgabe der Erfindung ist es, eine Einrichtung zur digitalen Messung des Drehmomentes, der Wellenleistung und der Wellenenergie zu schaffen, die vom Arbeitsprinzip her die besten

bekannten Einrichtungen an Genauigkeit erreicht oder übertrifft und bei der keine einrichtungsspezifischen Spezialanfertigungen für Impulsgeber oder Markenträger und deren Abtastung notwendig sind.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß als Impulsgeber für den Drehwinkel an jedem der beiden Wellenquerschnitte, deren Torsion gegeneinander gemessen werden soll, als inkrementale Drehwinkelgeber mit Nullimpuls bekannte Geber, wie sie für Weg- und Winkelmessungen an Werkzeugmaschinen hergestellt werden, Verwendung finden, die sich neben der Welle befinden und von dieser über mechanische Mittel phasenstarr angetrieben werden, wobei die Ausgangssignale der Geber, d. h. die Zählimpulsfolgen (auch nach einer eventuellen Vervielfachung) und die Nullimpulse auf Zähler gegeben werden, die jeweils nach einer bestimmten Zahl von  $D$  eingelaufenen Zählimpulsen einen Impuls  $D_1$  bzw.  $D_2$  abgeben und die durch die Nullimpulse des jeweiligen Gebers in eine Anfangslage zurückgestellt werden (Synchronisation), wobei diese Impulse  $D_1$  und  $D_2$  so wirken, daß mit dem Impuls  $D_1$  ein erstes Tor geöffnet und mit dem Impuls  $D_2$  dieses erste Tor geschlossen wird, und an den Eingang dieses ersten Tores die (eventuell auch vervielfachten) Zählimpulse eines der Geber gelegt werden. Dabei ist vorausgesetzt, daß, wenn das Wellendrehmoment Null ist, die Geber so justiert werden, daß ihre Nullimpulse gleichzeitig auftreten oder daß eine andere bekannte Anfangslage eingenommen wird. Stimmen beim Drehmoment Null die Nullimpulse überein, d. h. treten sie bei  $M = 0$  gleichzeitig auf, so läuft bei einem Öffnungs- und Schließvorgang durch das erste Tor eine Zahl von

$$m = \frac{K \ v \ n_G}{2 \ \pi \ n_W} \cdot \varphi_w \quad (\text{Gleichung 1})$$

Impulsen, die dem Wellentorsionswinkel und damit dem Wellendrehmoment proportional ist.

In vorstehender Gleichung sind

K - Geberkonstante, d. h. die Zahl der vom Drehwinkelgeber pro Umdrehung von einer Zählimpulsspur abgegebenen Impulse. Der Kehrwert  $2\pi/K$  wird als Auflösung bezeichnet.

v - Vervielfachungsfaktor. Durch Verwendung von zwei phasenverschobenen Zählimpulsspuren oder auf andere bekannte Weise ist eine Vervielfachung der Zählimpulse möglich.

$\varphi_w$  - drehmomentproportionaler Verdrehwinkel der beiden Querschnitte gegeneinander

Dabei ist

$$\varphi_w = \frac{M \cdot l}{G \cdot I} \quad (\text{Gleichung 2})$$

M - zu messendes Drehmoment der Welle

G - Gleitmodul, Materialkonstante des Wellenmaterials

I - polares Trägheitsmoment der Welle

l - Abstand der Meßorte

$$\frac{n_G}{n_W} = \dot{U}$$

- durch die mechanische Kopplung zwischen Welle und Geber festgelegtes Verhältnis der Geberdrehzahl  $n_G$  und Wellendrehzahl  $n_W$ . Es ist auch  $\dot{U} = \varphi_G / \varphi_w$ .

Es ist  $\varphi_w$  der Verdrehwinkel beider Querschnitte der Welle gegeneinander und  $\varphi_G$  die damit verbundene drehmomentbewirkte Verdrehung beider Geber gegeneinander.

Die weitere Verarbeitung der aus dem ersten Tor austretenden Impulse wird in Anordnungen vorgenommen, die zusammen mit dem vorher Beschriebenen Gegenstand der Erfindung sind.

Zur Bildung eines drehmomentproportionalen, ausgebaren Wertes erfolgt erfindungsgemäß die Aufsummierung der aus dem erwähnten ersten Tor auslaufenden Impulse während einer Zahl von p Geberumdrehungen in einem ersten Zähler.

Zur Messung und Signalisierung der p Geberumdrehungen dienen Zählstufen (p-Teiler), auf die die Nullimpulse eines der Geber gegeben werden und die nach jeweils p eingelaufenen Nullimpulsen einen Ausgangsimpuls abgeben. Mit dem Auftreten eines Nullimpulses eines der Geber wird die Aufsummierung im vorher gelöschten ersten Zähler begonnen und nach p Geberumdrehungen abgeschlossen. Nach Abschluß dieser Aufsummierung ist der Stand des ersten Zählers dann:

$$N_M = \frac{K}{2\pi} \varphi_v \cdot \dot{w} \cdot \ddot{U} \cdot \frac{v \cdot K}{D} \cdot p \quad (\text{Gleichung 3.1})$$

o d e r

$$N_M = \frac{1}{2\pi} \frac{K^2}{D} \frac{v^2}{D} \cdot \ddot{U} \cdot p \cdot \varphi_w \quad (\text{Gleichung 3.2})$$

Dabei kennzeichnet der Faktor  $v \cdot K / D$  die pro Geberumdrehung auftretenden Öffnungs- und Schließvorgänge des ersten Tores. Der zum Ende des Summationsvorganges im ersten Zähler auftretende Zählerstand, der weiterverarbeitet werden kann, ist dem Drehmoment proportional.

Zur Bildung eines der Wellenleistung proportionalen Wertes wird erfindungsgemäß die aus dem ersten Tor austretende Impulsfolge über ein zweites Tor auf einen zweiten Zähler gegeben und in diesem aufsummiert. Das zweite Tor wird nach Löschung des zweiten Zählers durch einen von einer an sich bekannten Zeitgeberschaltung gelieferten Impuls für die Zeit  $\tau_1$  geöffnet und nach Ablauf der Zeit  $\tau_1$  wieder geschlossen. Nach Ablauf der Zeit  $\tau_1$  ist die Zahl der in den zweiten Zähler eingelaufenen Impulse

$$N_L = \frac{K}{2\pi} \cdot v \cdot \ddot{U} \cdot \varphi_w \cdot \tau_1 \cdot n_G \cdot \frac{v \cdot K}{D} \quad (\text{Gleichung 4.1})$$



Das Produkt  $\tau_1 \cdot n_G \cdot v \cdot K / D$  ist gleich der Zahl von Impulsfolgen, die aus dem ersten Tor während der Zeit  $\tau_1$  austreten. Damit ist

$$N_L = \frac{K^2 \cdot v^2}{2\pi} \cdot \ddot{u}^2 \cdot \tau_1 \cdot \varphi_W \cdot n_W \quad (\text{Gleichung 4.2})$$

und dieser Zählerstand ist der Wellenleistung proportional, deren Messung damit ebenfalls realisiert ist.

Um schließlich einen Wert für die Wellenenergie zu erhalten, werden erfindungsgemäß die aus dem ersten Tor auslaufenden Impulse in einem dritten Zähler aufsummiert. Ist seit der Nullstellung dieses dritten Zählers die Zeit  $\tau_2$  vergangen, so ist der Inhalt dieses dritten Zählers

$$N_E = \frac{K^2 \cdot v^2 \cdot \ddot{u}^2}{2\pi D} \cdot \varphi_W \cdot n_W \cdot \tau_2 \quad (\text{Gleichung 5})$$

und somit der in der Zeit  $\tau_2$  übertragenen Wellenenergie proportional.

#### f) Ausführungsbeispiel

Die erfindungsgemäßen Lösungen sollen nun anhand von Ausführungsbeispielen in Verbindung mit Zeichnungen näher erläutert werden. Die Zeichnungen zeigen

Fig. 1: Eine erste Einrichtung zur Messung und Anzeige von Werten, die dem Wellendrehmoment, der Wellenleistung und der Wellenenergie sowie der Wellendrehzahl proportional sind

Fig. 2: Anordnung der Drehwinkelgeber in Verbindung mit der Welle

Fig. 3: Beispiel für die Ausgangssignale eines Drehwinkelgebers

Fig. 4: Darstellung eines bekannten Verfahrens der Impulsvervielfachung

Fig. 5: Darstellung der in der Einrichtung nach Fig. 1 auftretenden Impulsfolgen

Fig. 6: Ausschnitt aus einer weiteren Einrichtung zur Messung von Wellendrehmoment, Wellenleistung und Wellenenergie

Fig. 2 zeigt die Anordnung der beiden verwendeten Drehwinkelgeber 1 an der Welle. Im gewählten Beispiel werden die Rotoren der Drehwinkelgeber 1.1 und 1.2, deren Gehäuse feststehen, über Zahnräder 2 und 3 von der Welle angetrieben. Das Übersetzungsverhältnis ist  $\dot{U} = d_W / d_G = n_G / n_W$ . Der Antrieb der Geber durch die Welle ist auch über Zugmittelgetriebe, z. B. Zahnriemen oder auf andere Weise möglich.

Die Ausgangssignale dieser identischen Drehwinkelgeber zeigt für den Geber 1.1 schematisch Fig. 3. Der Nullimpuls  $N_1$  tritt hier einmal pro Umdrehung auf. Die Zählimpulse einer Zählspur treten  $K$ -mal pro Umdrehung auf.  $K$  ist die Geberkonstante. In Fig. 3 ist  $K = 50$  gewählt worden. Werte von  $K = 1000$ ,  $K = 2000$ ,  $K = 2500$  oder auch  $K = 5000$  sind für derartige Geber üblich. Es soll hier bemerkt werden, daß auch Geber verwendet werden können, die zusätzlich zur Zählimpulsfolge statt der Nullimpulsfolge (ein Impuls pro Umdrehung) eine weitere Impulsfolge mit mehr als einem Impuls pro Umdrehung liefern. Sind in dieser Spur  $q$  Impulse pro Umdrehung enthalten, muß jedoch wegen der zu fordernden Eindeutigkeit die Bedingung  $q < v K / D$  erfüllt sein. Die Nullimpulse werden nur zur Synchronisation und zur Einstellung des Nullpunktes der Anordnung verwendet.

Fig. 4 stellt ein Beispiel für eine im übrigen bekannte Art der Vervielfachung der Zählimpulse dar, um diesen verwendeten Begriff zu erläutern. Der Geber liefert zwei um eine Viertelperiode versetzte Impulsfolgen A und B. Durch Differentiation der Flanken beider Signale und Zusammenfassung entsteht eine Impulsfolge mit der vierfachen Frequenz. Diese Art der Vervielfachung ist neben anderen Möglichkeiten in der Literatur beschrieben und ist nicht Gegenstand der Erfindung.

Fig. 1 stellt die erfindungsgemäße Einrichtung zur Messung von Wellendrehmoment, Wellenleistung und Wellenenergie dar. Die beiden Zählimpulsausgänge  $A_1$  und  $B_1$  bzw.  $A_2$  und  $B_2$  der Drehwinkelgeber 1.1 und 1.2, die im gewählten Beispiel Fig. 4 entsprechen mögen, sind mit den Eingängen der Vervielfacher-schaltungen 5.1 und 5.2 verbunden, in denen z. B. entsprechend Fig. 4 die Vervielfachung der Impulsfolgen erfolgt. Die Ausgänge der Vervielfacherschaltungen 5.1 und 5.2 sind mit den Eingängen von Teilerschaltungen 6.1 und 6.2 verbunden. Diese liefern jedesmal, wenn eine bestimmte Zahl von  $D$  Zähl-impulsen der Impulsfolgen ZV 1 bzw. ZV 2 in den Teiler eingelaufen ist, einen Ausgangsimpuls  $D_1$  bzw.  $D_2$ . Durch den Nullimpuls der Geber, also durch die Impulse  $N_1$  bzw.  $N_2$  werden diese Teilerschaltungen vorzugsweise durch Nullstellen derselben synchronisiert. Dafür verwendbare Schaltungen sind aus der Literatur bekannt. Um die Synchronisation einfach durchführen zu können, sollte der Faktor ( $K v / D$ ) ganzzahlig sein, so daß der synchronisierende Nullimpuls mit einem  $D_1$ - oder  $D_2$ -Impuls zusammenfällt.

Der Ausgangsimpuls  $D_1$  des Teilers 6.1 ist mit dem R-S-Flip-Flop 7, zusammengesetzt aus den beiden NAND-Gliedern 7.1 und 7.2, so verbunden, daß bei Auftreten des Impulses  $D_1$  der mit dem ersten Tor 8 verbundene Flip-Flop-Ausgang, an dem das Signal  $F$  auftritt, dieses Tor freigibt. Der Ausgangsimpuls  $D_2$  des Teilers 6.2 setzt das Flip-Flop dann wieder so, daß dessen Ausgangssignal  $F$  das erste Tor 8 wieder sperrt. Das erste Tor 8 wird von einem UND-Glied gebildet. Ist das Ausgangssignal des Flip-Flops 7  $F = H$ , können die eventuell auch vervielfachten Zählimpulse hier des Gebers 1.1 das erste Tor 8 passieren. Für  $F = T$  wird das erste Tor 8 für die Impulsfolge ZV 1 gesperrt.

Dies erläutert auch Fig. 5. In Fig. 5 stellt ZV 1 die Zählimpulsfolge des ersten Gebers 1.1 nach der Vervielfachung dar.  $N_1$  ist der Nullimpuls des ersten Drehwinkelgebers 1.1, der einmal pro Umdrehung auftritt.

Mit  $N_1$  tritt der Impuls  $D_1$  auf (Synchronisation). Für das hier gewählte Beispiel mit  $D = 10$  tritt  $D_1$  nach jeweils 10 weiteren Impulsen der Impulsfolge ZV 1 auf. ZV 2 ist die Zählimpulsfolge des zweiten Gebers 1.2 nach der Vervielfachung. Auch hier tritt  $D_2$  mit dem Nullimpuls  $N_2$  auf (Synchronisation). Nach jeweils  $D = 10$  Impulsen der Impulsfolge ZV 2 tritt ein Impuls  $D_2$  auf.  $D_1$  stellt nun am R-S-Flip-Flop 7 das Signal  $F = H$ , so daß das erste Tor 8 geöffnet wird. Die Impulse der Impulsfolge ZV 1 können dann dieses Tor passieren. Mit Auftreten von  $D_2$  wird  $F = T$  gestellt und damit das erste Tor 8 bis zum Eintreffen eines neuen  $D_1$  Impulses wieder geschlossen. Im Beispiel nach Fig. 5 laufen damit in jedem Öffnungs-Schließ-Zyklus fünf Impulse durch das Tor 8. Diese fünf Impulse sind ein Maß für die Verdrehung beider Geber gegeneinander und damit für den Verdrehwinkel der Welle, so auch des Wellendrehmomentes. Wir beziehen uns nun wieder auf Fig. 1.

Die Ausgangsimpulse des ersten Tores 8 bilden die Impulsfolge E. Der Ausgang des ersten Tores 8 ist mit dem Zählengang C des ersten Zählers 11 verbunden, der den dem Wellendrehmoment proportionalen Wert erfaßt. Mit Auftreten eines bestimmten Nullimpulses  $N_1$  des Drehwinkelgebers 1.1 wird der Zähler durch diesen über den Nullimpulsteiler 9 wirkenden Impuls am Rückstell (R)-Eingang zurückgestellt. Dann läuft die aus dem Tor 8 auslaufende Impulsfolge in diesen ersten Zähler 11 ein und die Impulse werden aufsummiert. Nach einer durch den Nullimpulsteiler 9 festgelegten Zahl von  $p$  Nullimpulsen  $N_1$  tritt ein Impuls auf, der das Laden des dann vorhandenen Zählerinhaltes  $N_M$  in den Speicher 15.1 veranlaßt und dann den ersten Zähler 11 wieder zurückstellt. Unmittelbar danach beginnt die neuerliche Zählung. Der dann im Speicher stehende Wert  $N_M$  ist dem Wellendrehmoment proportional, wie Gleichung 3.2 zeigt. Die mit dem Speicher verbundene Anzeigeeinheit 16.1 kann diesen Wert zur Anzeige bringen.

Die Ausgangsimpulsfolge E des ersten Tores 8 wird weiter auf ein zweites Tor 10 geschaltet, das als UND-Glied ausgebildet wurde. Am zweiten Eingang dieses UND-Gliedes 10 liegt ein von der Zeitgeberschaltung 18 gelieferter Impuls  $T_1$ , der für eine Zeit  $\tau_1$  H-Potential annimmt und so das zweite Tor 10 für die Zeit  $\tau_1$  öffnet. Für die Zeit  $\tau_1$  kann die aus dem ersten Tor 8 austretende Impulsfolge E in den zweiten Zähler 12 einlaufen, und die Impulse werden in diesem zweiten Zähler 12 aufsummiert. Nach Ablauf von  $\tau_1$  geht der Impuls  $T_1$  kurzzeitig auf T-Potential, veranlaßt damit das Laden des dann erreichten Zählerstandes  $N_L$  in den Speicher 15.2 und (verzögert) das Rückstellen des Zählers 12, der dann sofort mit  $T_1 = H$  wieder die Zählung aufnimmt. Der nach Ablauf von  $\tau_1$  im Zähler aufgelaufene Zählerstand  $N_L$  ist durch Gleichung 4.2 gegeben und der Wellenleistung proportional. Die Anzeige dieses Wertes kann mit Hilfe der Anzeigeeinheit 16.2 erfolgen.

Die Ausgangsimpulsfolge E des ersten Tores 8 wird weiter auf den Eingang des dritten Zählers 13 geführt. Ist seit der Nullstellung dieses Zählers die Zeit  $T_0$  vergangen, so ist der Inhalt dieses Zählers durch Gleichung 5 gegeben und damit der Wellenenergie proportional. Der Zähler 13 wird zweckmäßigerweise aus zwei hintereinandergeschalteten Stufen zusammengesetzt. Die erste Stufe 13.1 ist ein elektronischer Zähler, der jeweils bei Überlauf einen Impuls an die elektromechanischen Zählstufen 13.2 liefert. Der Stand der elektromechanischen Zählerstufen wird angezeigt. Damit ist gesichert, daß auch bei kurzzeitigem Stromausfall der über lange Zeit integrierte Wert für die Wellenenergie erhalten bleibt.

Schließlich kann noch ein weiterer vierter Zähler 14 verwendet werden, in den über ein Tor 17, realisiert durch ein UND-Glied, die Zählimpulse ZV 1 oder ZV 2, hier ZV 1, einlaufen können. Das Tor 17 wird durch einen von der Zeitgeberschaltung erzeugten Impuls  $T_2$  für eine Zeit  $\tau_2$  geöffnet und wieder geschlossen.

Nach Ablauf dieser Zeit  $\tau_2$  ist der erreichte Zählerstand

$$N_n = n_G K v \tau_2 = \dot{U} K v \cdot \tau_2 \cdot n_W$$

und damit der Wellendrehzahl proportional. Statt der Impulse ZV 1 oder ZV 2 können auf das Tor auch die Impulse  $N_1$  oder  $N_2$ ,  $A_1$  oder  $A_2$ ,  $B_1$  oder  $B_2$  geschaltet werden; immer ergibt sich nach Ablauf der Zeit  $\tau_2$  ein der Wellendrehzahl proportionaler Zählerstand.

Nach Ablauf von  $\tau_2$  geht  $T_2$  kurzzeitig auf T-Potential, veranlaßt damit das Laden des Zählerstandes  $N_n$  in den Speicher und das Rückstellen des vierten Zählers 14. Unmittelbar danach beginnt erneut die Summierung. Der der Drehzahl der Welle proportionale Wert  $N_n$  kann mit der Anzeigeeinheit 16.4 zur Anzeige gebracht werden.

Die Speicher 16.1, 16.2 und 16.4 sowie die Zählstufen 13.2 weisen parallele Ausgänge auf, die hier durch jeweils eine Leitung angedeutet worden sind (20.W, 20.L, 20.M und 20.n). Diese Leitungen führen zu weiteren Einheiten, z. B. einem Rechner, einem Regler oder Fernanzeigen usw., so daß für diese Einheiten digitale Eingangssignale zur Verfügung stehen.

Die vorstehend beschriebene Ausführung der erfindungsgemäßen Lösung hat noch den Nachteil, daß bei Drehmomenten in der Größenordnung von Null durch Toleranzen oder Justierfehler der Ausgangsimpuls des zweiten Teilers 6.2, der Impuls  $D_2$ , vor dem Ausgangsimpuls des ersten Teilers, dem Impuls  $D_1$ , auftreten kann. Die dann auftretenden Zählerstände kann man nicht fehlerfrei auswerten. Um diesen Fehler zu vermeiden, wird mit einem Offset S gearbeitet. Hierzu werden die Geber bei einem Drehmoment von Null ( $M = 0$ ) so gegeneinander verdreht, daß der Impuls  $D_1$  bei Beachtung aller Toleranzen immer sicher vor dem Impuls  $D_2$  auftritt. Es werde angenommen, daß diese Offsetverschiebung so groß sei, daß im Mittel  $m = S$  Impulse zwischen den Impulsen  $D_1$  und  $D_2$  auftreten, wobei S eine ganze positive Zahl ist.

Dieser Offsetwert  $S$  muß, um richtige Anzeigen zu erhalten, im Folgenden dann wieder subtrahiert werden. Um dies zu realisieren, werden für den ersten Zähler 11, für den zweiten Zähler 12 und für den dritten Zähler 13 Vor-Rückwärts-Zählstufen verwendet, die bei Auftreten von Impulsen an den DV-Eingängen vorwärts, bei Auftreten von Impulsen an den CR-Eingängen rückwärts zählen. Fig. 6 zeigt einen Ausschnitt der verwendeten Anordnung mit Offsetkorrektur. Die Glieder 7.1, 7.2, 8, 9 und 10 entsprechen der Anordnung nach Fig. 1. Für die Zähler 11, 12 und 13 wurden Vor-Rückwärts-Zähler eingesetzt. Zusätzlich zu Fig. 1 wurden eingefügt das Tor 22, das R-S-Flip-Flop, bestehend aus den NAND-Gliedern 21.1 und 21.2, der Zähler 19 und das UND-Glied 23.

Die Schaltung arbeitet nun so, daß mit Auftreten des  $D_1$ -Impulses das R-S-Flip-Flop 7.1/7.2 so gestellt wird, daß das Tor 8 geöffnet wird. Bis zum Eintreffen des das Tor 8 sperrenden Impulses  $D_2$  läuft die Zählung in den einzelnen Zählern wie oben beschrieben ab.

Mit Auftreten von  $D_2$  wird das erste Tor 8 gesperrt, durch Umschalten des R-S-Flip-Flop 21.1/21.2 das Tor 22 geöffnet, durch das nun die Zählimpulsfolge ZV 1 auf die Rückwärtszähleingänge CR der einzelnen Zähler 11, 12 und 13 läuft. Gleichzeitig wird der Zähler 19 freigegeben, und dieser zählt ebenfalls die ZV 1 Impulse. Während dieser Phase erfolgt die Offsetsubtraktion. Der Zähler 19 gibt, nachdem die dem Offsetwert  $S$  entsprechende Zahl von Impulsen der Zählimpulsfolge ZV 1 in ihn eingelaufen ist, einen T-Impuls ausgangsseitig ab, der das R-S-Flip-Flop 21.1/21.2 zurückstellt, womit das Tor 22 gesperrt wird und die Offsetsubtraktion beendet ist. Um dies fehlerfrei durchführen zu können, müssen die oben definierten Zahlen die Bedingung  $D < m (M_{\max}) + S$  erfüllen, um Eindeutigkeit zu sichern. Vorzugsweise kann der Zähler 19 programmierbar ausgeführt werden, um Toleranzen der Einstellung elektronisch ausgleichen zu können.

Die spezifischen Vorteile der erfindungsgemäßen Lösung sind:

1. Der Markenabstand der Geber darf, gemessen als Winkel, kleiner sein als der größte auftretende Verdrehwinkel der Geber gegeneinander, ohne daß die Forderung nach Eindeutigkeit verletzt wird, so daß die Auflösung der Meßeinrichtung durch die dadurch mögliche feinere Unterteilung des Maßstabes gegenüber bekannten Mitteln ganz wesentlich erhöht wird.

Der Grund dafür ist, daß bei der erfindungsgemäßen Lösung im Gegensatz zu der im DDR-WP 124678 beschriebenen und verwandten Einrichtungen, bei denen die Impulse der Geber sowohl für die Auslösung der Messung als auch für die Synchronisation verwendet werden, hier die Zählimpulsfolgen für die Messung und der zusätzliche Nullimpuls für die Synchronisation verwendet werden.

Hieraus folgt auch, wie schon erwähnt, daß statt der Nullimpulsspur (ein Impuls pro Umdrehung) auch eine solche Spur verwendet werden kann, von der mehr als ein Impuls pro Umdrehung abgenommen wird. Der Winkelabstand dieser Impulse muß nun aber größer sein als der größte Verdrehwinkel beider Geber gegeneinander, wobei eventuelle Offsetverschiebungen berücksichtigt werden müssen.

2. Weiter werden durch die hohe Auflösung in kurzen Zeiten sehr viele Abtastwerte gewonnen. Die anschließende Aufsummierung in den Zählern stellt eine Mittelung der Einzelwerte dar. Durch die hohe Zahl der Abtastwerte verringert sich der statistische Fehleranteil beträchtlich. Bei der Drehmomentenmessung werden zur Bildung des anzuzeigenden, drehmomentproportionalen Wertes im ersten Zähler  $K \cdot v \cdot p / D$  Abtastwerte aufaddiert, die jede für sich einen statistischen Fehler aufweisen.

Der statistische Fehler der schließlichen Summe ist nach den bekannten Gesetzen der Statistik um den Faktor

$1 / \sqrt{v \cdot K \cdot p / D}$  kleiner als der der Einzelimpulsfolge.



Damit ist die Messung des Drehmomentes mit hoher Genauigkeit realisiert. Entsprechend verhält es sich bei der Messung von Wellenleistung und Wellenenergie.

3. Bei der erfindungsgemäßen Einrichtung können Geber verwendet werden, die in großer Präzision und mit großen Stückzahlen industriell gefertigt werden. Das vereinfacht die Herstellung der Einrichtung und verringert die Kosten.

## Erfindungsansprüche

1. Einrichtung zur Messung von Drehmomenten und damit zusammenhängender Größen an Wellenleitungen, bei der der Verdreh- oder Torsionswinkel, den zwei um eine bestimmte Länge auseinanderliegende Wellenquerschnitte gegeneinander drehmomentproportional einnehmen, unter Verwendung von markentragenden und drehwinkelabhängig impulsbildenden Mitteln, kurz Gebern genannt, gemessen wird, die neben der Welle laufen und mit dieser über Zahnrad- oder andere Getriebe so verbunden sind, daß ihr Drehwinkel ein konstantes Vielfaches des Wellenverdrehwinkels am jeweiligen Querschnitt ist und die Geber bei einem Drehmoment von Null eine definierte Anfangslage bezüglich der Verdrehung gegeneinander haben, gekennzeichnet dadurch, daß
 

als Geber inkrementale Drehwinkelgeber mit Nullimpuls (1.1 und 1.2) verwendet werden, deren Zählimpulsausgänge ( $A_1$  und  $B_1$  bzw.  $A_2$  und  $B_2$ ) auch nach einer zusätzlichen Verknüpfung der Ausgangsimpulse je eines Gebers auf Teiler (6.1 bzw. 6.2) gegeben werden, die jeweils nach einer für beide Teiler gleichen Zahl von eingelaufenen Impulsen einen Ausgangsimpuls ( $D_1$  und  $D_2$ ) abgeben, wobei die Teiler durch die Nullimpulse ( $N_1$  bzw.  $N_2$ ) der Geber (1.1 bzw. 1.2) durch Stellen in eine definierte Lage, vorzugsweise durch Nullsetzen oder Löschen synchronisiert werden, und weiter die Ausgänge der Teiler (6.1 bzw. 6.2) so geschaltet sind, daß mit dem einen Impuls ein erstes Tor (8) geöffnet wird und mit dem anderen Impuls dieses erste Tor (8) geschlossen wird und am Eingang dieses ersten Tores (8) die Zählimpulsfolge eines der Geber anliegt, die in Abhängigkeit von den Ausgangssignalen der Teiler (6.1 bzw. 6.2) dieses Tor passieren kann oder nicht und das Ausgangssignal dieses ersten Tores während einer bestimmten, durch einen Nullimpulsteiler (9) festgelegten Zahl von Nullimpulsen eines der Geber in einem ersten Zähler aufsummiert wird und daß die aus dem ersten Tor (8) austretende Impulsfolge (E) auch über weitere Tore auf weitere zählende Glieder gegeben wird.

2. Einrichtung nach Punkt 1, gekennzeichnet dadurch, daß der Ausgang des ersten Tores (8) mit einem zweiten Tor (10) verbunden ist, welches durch einen von einer Zeitgeberschaltung (18) gelieferten Impuls ( $T_1$ ) für eine bestimmte Zeit geöffnet wird und der Ausgang dieses zweiten Tores (10) mit dem Vorwärts-Zähleingang eines zweiten Zählers (12) verbunden ist.
3. Einrichtung nach Punkt 1, gekennzeichnet dadurch, daß die Ausgangsimpulsfolge des ersten Tores (8) auf einen dritten Zähler (13) gegeben wird.
4. Einrichtung nach Punkt 1, gekennzeichnet dadurch, daß Geber verwendet werden, die zusätzlich zu der oder zu den Zählimpulsspuren statt der Nullimpulsspur mit einem Impuls pro Geberumdrehung eine solche zusätzliche Spur aufweisen, die mehr als einen Impuls pro Geberumdrehung liefert.
5. Einrichtung nach den Punkten 1, 2 und 3, gekennzeichnet dadurch, daß die Geber so justiert werden, daß bereits bei einem Drehmoment von Null eine Zahl von Impulsen durch das erste Tor (8) tritt, der erste Zähler (11), der zweite Zähler (12) und der dritte Zähler (13) als Vorwärts/Rückwärts-Zähler ausgebildet werden und daß diese Zähler die aus dem ersten Tor (8) austretenden und auch über Zwischenglieder auf die Zähler gelangenden Impulse vorwärts zählen und nach Abschluß einer einzelnen Abtastung für eine durch einen weiteren auch programmierbaren Zähler (19) festgelegte Zahl von Zählimpulsen rückwärts zählen, wobei die Zahl der rückwärts gezählten Impulse gleich jener ist, die bei den Einzelabtastungen im Mittel bei einem Drehmoment von Null auftritt.

Hierzu 4 Seiten Zeichnungen

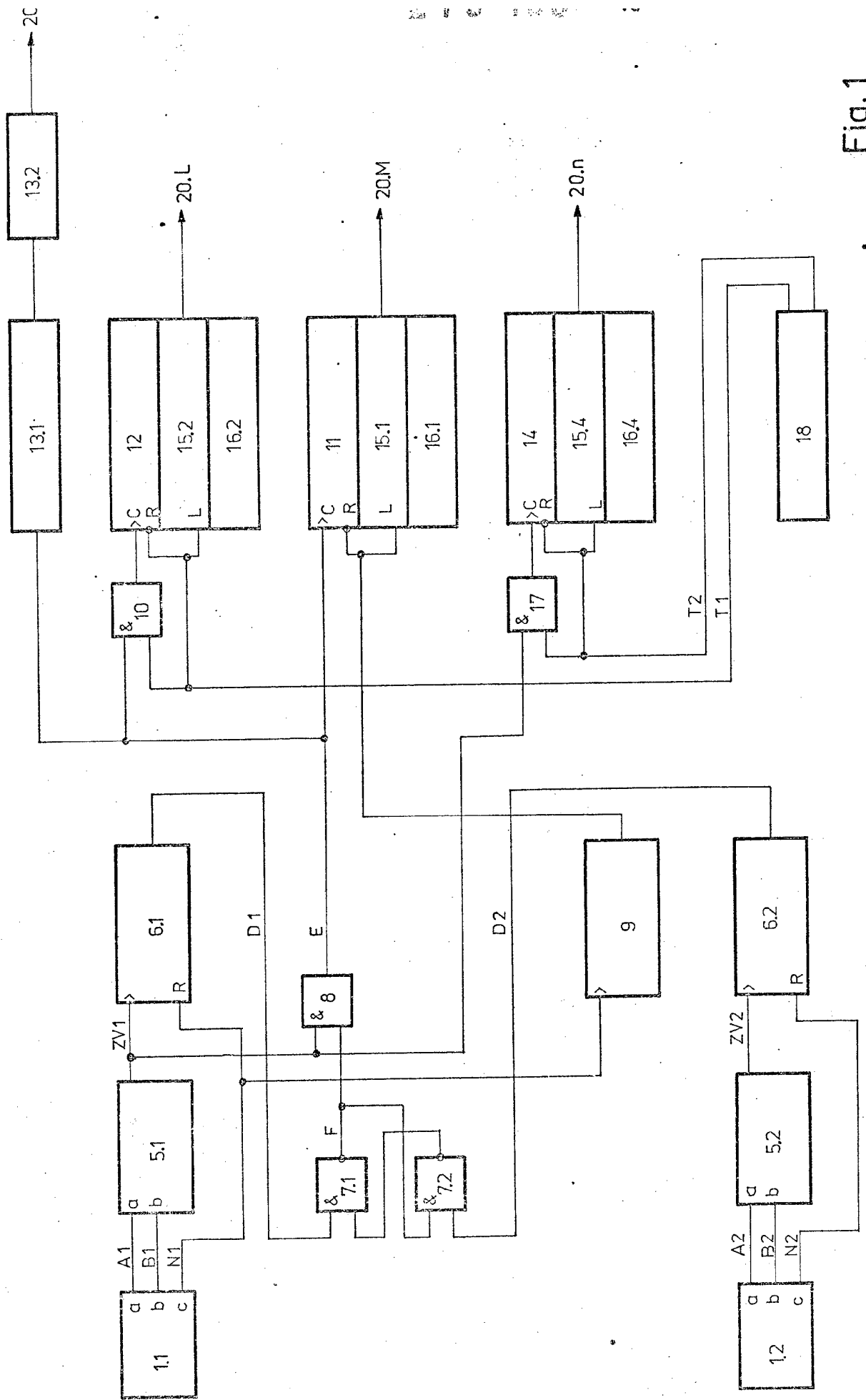


Fig. 1

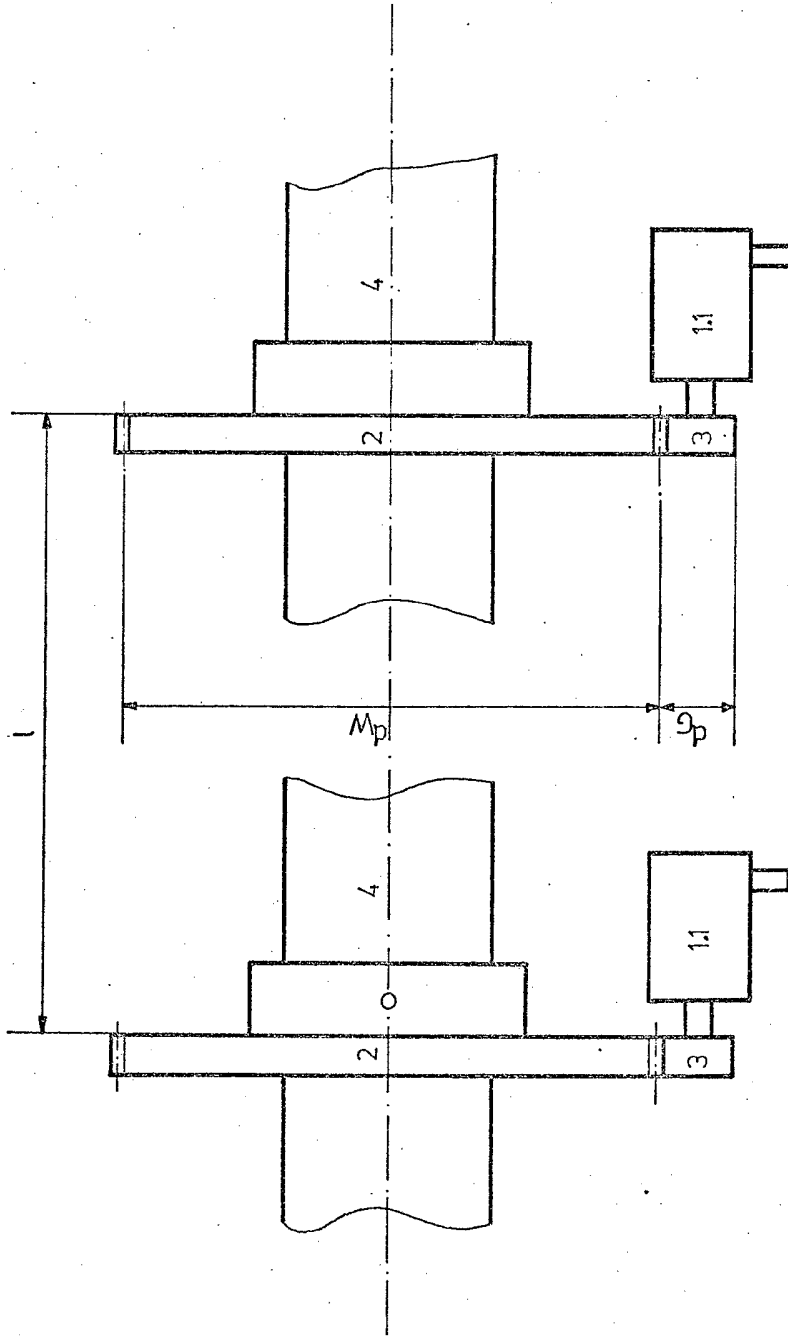


Fig. 2

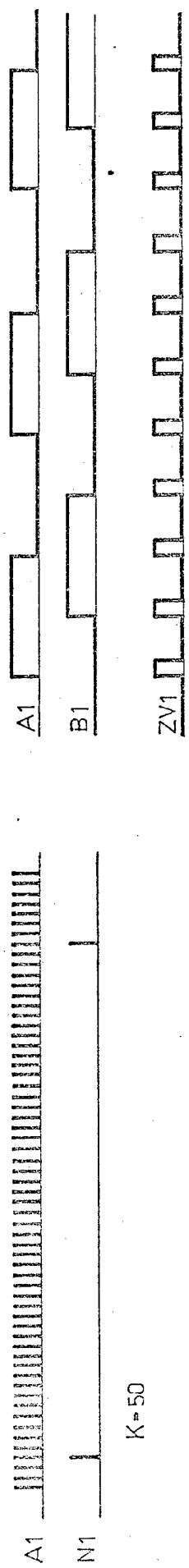


Fig. 4

Fig. 3

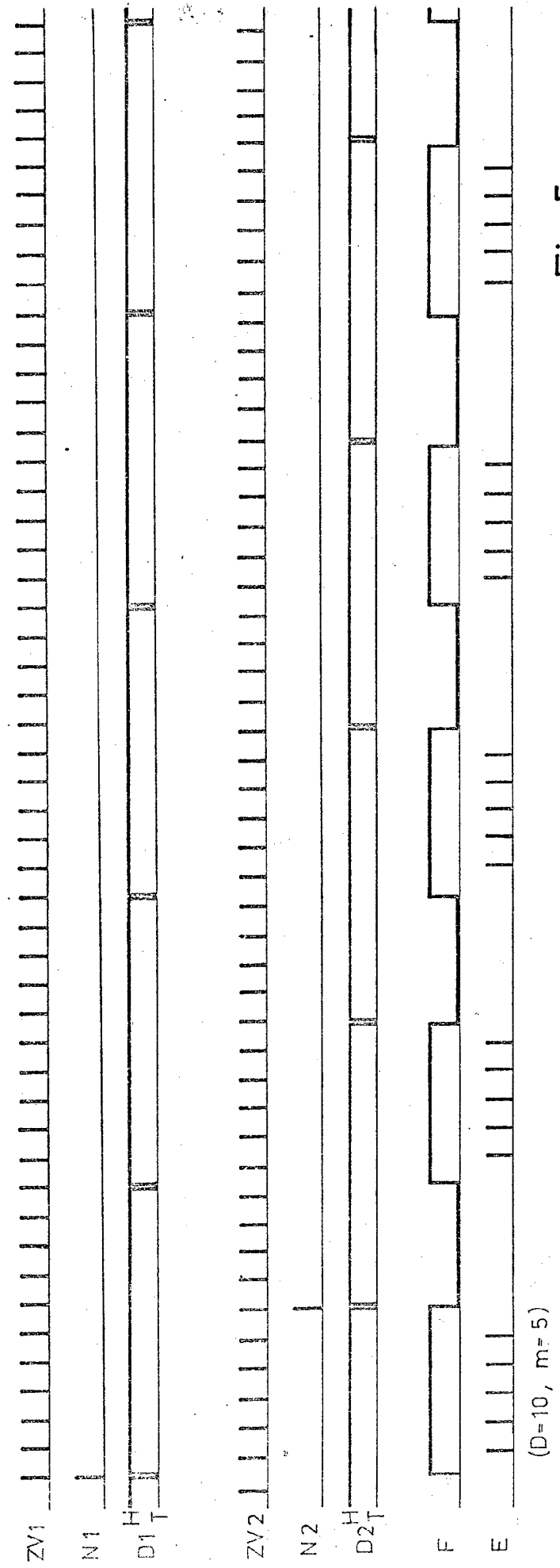


Fig. 5

( $D=10, m=5$ )

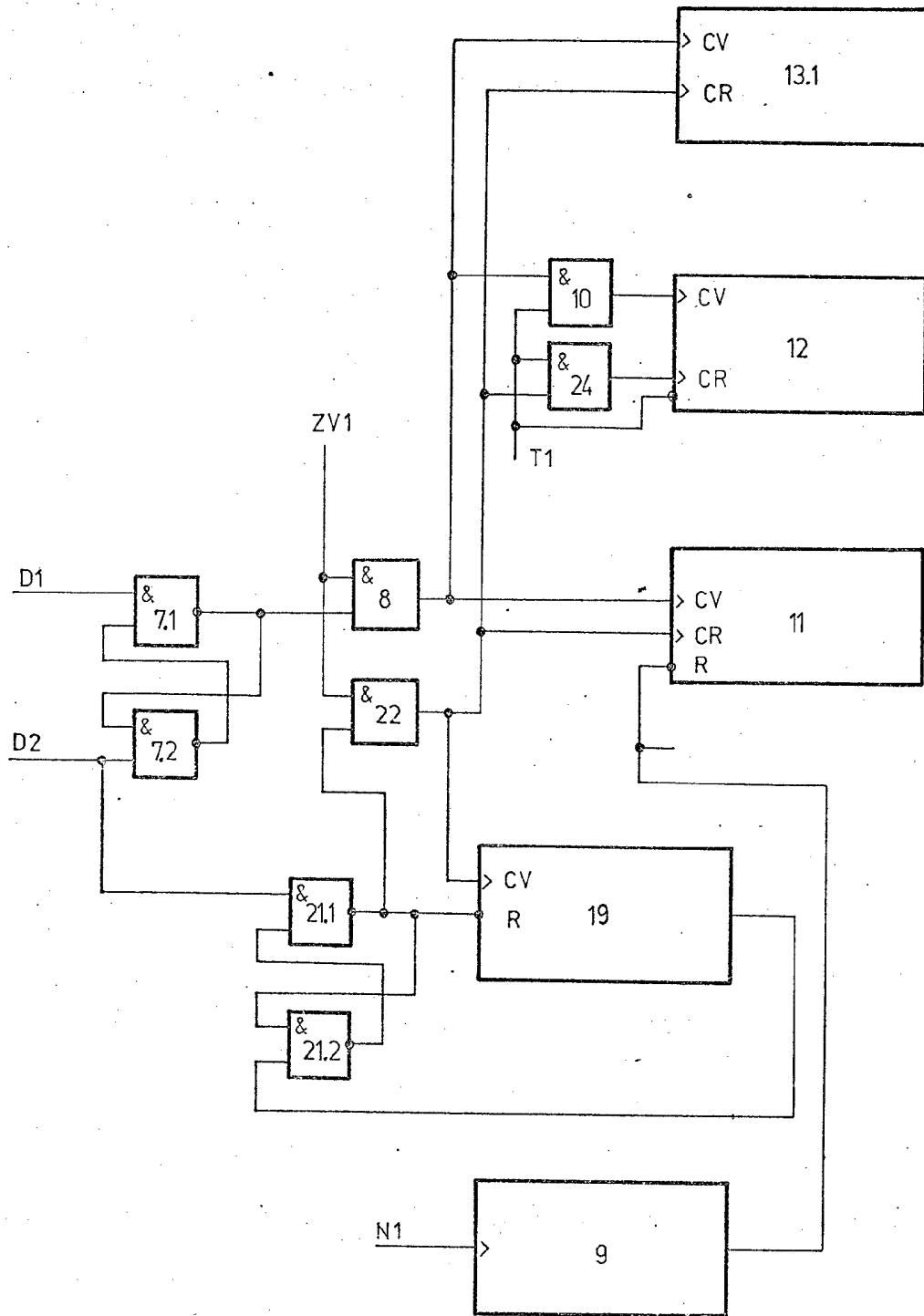


Fig. 6