

Für die Messung von schnell veränderlichen Winkelgeschwindigkeiten, wie sie z. B. an jedem Schubkurbeltrieb vorkommen, wurde ein Meßgerät nach dem Prinzip der elektrischen Abtastung einer Lochscheibe entwickelt. Dieses Gerät gestattet es, die mittlere Drehzahl an einem Instrument abzulesen und die kurzzeitigen Schwankungen der Drehzahl mit Hilfe eines Schleifenzillografen zu registrieren. Dabei wird der Mittelwert der Drehzahl unterdrückt, so daß man die gesamte Schreibbreite für die Registrierung der Drehzahlschwankungen ausnutzen kann.

Der unmittelbare Anlaß zur Entwicklung und zum Bau des vorliegenden Geräts waren Untersuchungen des dynamischen Verhaltens von Mähmessenantrieben. Die Aufgabe bestand darin, die sich schnell ändernde Winkelgeschwindigkeit dieses Kurbeltriebs zu messen. Nachfolgend soll nun über die Entwicklung des dazu notwendigen Meßgeräts berichtet werden.

Über die verschiedenen Möglichkeiten der Winkelgeschwindigkeitsmessung wird in [1] und [2] ausführlich berichtet. Für die vorliegende Aufgabe kommt jedoch auf Grund der Einbaumöglichkeiten für den Meßwertgeber nur die Winkelgeschwindigkeitsmessung mit Impulsen in Frage. Sie beruht auf folgendem Prinzip: Auf der Welle, deren Winkelgeschwindigkeit zu messen ist, wird eine Scheibe befestigt. Bei dem angewendeten Verfahren der optischen Abtastung ist die Scheibe am Umfang geschlitzt oder mit Löchern versehen. Diese Schlitzreihen geben bei Umdrehung der Scheibe periodisch einen Lichtstrahl frei, der dann auf eine Fotodiode fällt. Die Umdrehung der Welle wird so in elektrische Impulse umgesetzt, die Drehzahl der Welle bestimmt die Zahl der Impulse. Schwankt die Drehzahl, so erhält man auch eine im gleichen Maße schwankende Impulszahl. Der arithmetische Mittelwert dieser Impulse soll zur Anzeige benutzt werden. Dazu ist aber noch eine Umformung der von der Scheibe gelieferten Impulse erforderlich, weil bei diesen das Tastverhältnis τ/T konstant ist. Dabei ist T die Periodendauer und τ die Impulsdauer. T ist durch die

Breite eines Zahnes und einer Lücke vorgegeben, τ entspricht der Breite der Lücke oder des Zahnes, je nach elektrischer Verarbeitung des Signals. Damit ist aber das Verhältnis τ/T von den geometrischen Abmessungen der Zahnscheibe abhängig und somit fest vorgegeben. Ein konstantes Tastverhältnis liefert aber, wie aus der Fourier-Zerlegung hervorgeht, einen von der Frequenz (bzw. Drehzahl) unabhängigen Mittelwert. Die Fourier-Koeffizienten einer Rechteckschwingung haben die Werte:

$$a_n = \frac{\tau}{T_0} \frac{\sin n \pi \tau / T_0}{n \pi \tau / T_0}$$

Für das Gleichglied, also den arithmetischen Mittelwert, ergibt sich mit $n = 0$

$$a_0 = \frac{\tau}{T_0}$$

Der Mittelwert läßt sich also nicht zur Messung der Drehzahl benutzen.

Formt man die von der Scheibe erhaltenen Impulse in Impulse konstanter Breite um, also τ unabhängig von T_0 , so gilt

$$a_0 = \frac{\tau_K}{T_0} = \tau_K \cdot f$$

Damit erhält man den gewünschten Meßeffect; der Mittelwert der so umgewandelten Impulse ist proportional der Frequenz bzw. der Winkelgeschwindigkeit.

Der prinzipielle Aufbau des Meßgerätes geht aus dem Blockschaltbild (Bild 1) hervor.

Die Bedeutung der einzelnen Stufen wird nachfolgend beschrieben:

Stufe 1: Abtasteinrichtung

Der eigentliche Meßwertwandler besteht aus einer Scheibe mit 120 Schlitzreihen und einer Beleuchtungseinrichtung für eine Fotodiode. Die Schlitzscheibe ist so angeordnet, daß die Schlitzreihen abwechselnd den Lichtstrahl zur Fotodiode freigeben und unterbrechen. Schlitzscheibe und Beleuchtungseinrichtung werden am Meßobjekt angebracht. Die Impulse der Fotodiode gelangen über ein Kabel an den Eingang des Gerätes, in dem die anderen Bausteine zusammengefaßt sind.

Stufe 2: Eingangsverstärker

Dieser verstärkt die von der Fotodiode kommenden Impulse soweit, daß ein nachfolgender Schmitt-Trigger sicher angesteuert wird. Der Verstärker weist keine Besonderheiten auf.

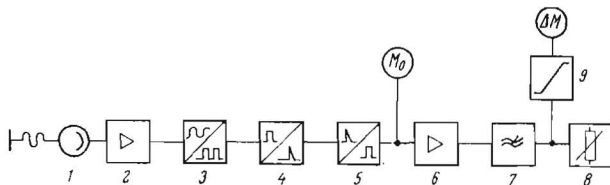


Bild 1. Blockschaltbild des Gerätes (Erläuterung im Text)

* Institut für Mechanisierung der Landwirtschaft Potsdam-Bornim der DAL (Leiter: Obering. O. BOSTELMANN)

(Schluß von S. 32)

untereinander differieren. Von den 12 Vorwärtsgängen liegen allein 9 Gänge in diesem wichtigen Geschwindigkeitsbereich. Und da alle Gänge — wie bereits erwähnt — voll synchronisiert sind, bietet sich der höchstmögliche Fahrkomfort.

Die Konstruktionselemente des Agriomatic S-Getriebes

Das Agriomatic S — Getriebe 12 + 4 besteht genau betrachtet aus einem 4-Gang-Wechselgetriebe, dessen 4 Gänge synchronisiert sind. Außer diesem 4-Gang-Wechselgetriebe gibt es eine Dreigruppenuntersetzung, die einen schnellen Straßen-, einen langsamen Acker- und einen Rückwärtsbereich enthält, in denen jeweils die vier Gänge des Wechselgetriebes ge-

schaltet werden können. Dadurch ergeben sich bereits 8 Vorwärts- und 4 Rückwärtsgänge.

Das nächste Bauelement des Agriomatic S — Getriebes ist eine doppelwirkende Stahllamellenkupplung, die auf der einen Seite mit der erwähnten Dreigruppenuntersetzung verbunden ist. Kraftschlüssig und ohne Zahnradwechsel kann durch diese Anordnung der Stahllamellenkupplung aus jedem Gang der drei Gruppenbereiche (also aus 8 Vorwärts- und 4 Rückwärtsgängen) in einen zugeordneten Wandlengang übergewechselt werden. Es ergibt sich aus der Konstruktion, daß je einem Gang der Acker-, Straßen- und Rückwärtsgruppe der gleiche Wandlengang zugeordnet ist. Im Endeffekt stehen damit also 12 Vorwärts- und 4 Rückwärtsgänge zur Verfügung (Bild 1).

A 6688

Stufe 3: Schmitt-Trigger

Der Schmitt-Trigger kann als Schwellwertschalter betrachtet werden. Eine am Eingang anliegende Spannung bewirkt nach Überschreiten einer bestimmten Schwelle eine Umsteuerung der Leitfähigkeit der beiden beteiligten Transistoren. Am Ausgang entsteht ein Spannungssprung. Geht die Spannung am Eingang unter einen bestimmten Wert zurück, so kehrt der Vorgang sich wieder um, d. h., die beiden Transistoren wechseln abermals die Leitfähigkeit, am Ausgang tritt ein Spannungssprung in entgegengesetzter Richtung auf.

Stufe 4: Differenzierglied

Zur Umwandlung der von der Zahnscheibe gelieferten Impulse in Impulse konstanter Dauer werden nur die positiven Flanken der Impulse, die am Ausgang des Schmitt-Triggers auftreten, ausgenutzt. Sie werden durch ein R-C-Glied differenziert. Als Differenzierglied wirkt ein Kondensator und der Eingangswiderstand des monostabilen Multivibrators (Stufe 5 im Blockschaltbild). Die negativen Flanken werden dabei über eine Diode gegen Masse abgeleitet und zusätzlich von einer zweiten Diode vom Eingang des monostabilen Multivibrators ferngehalten.

Stufe 5: Monostabiler Multivibrator

Die positiven Eingangsimpulse werden im monostabilen Multivibrator in Impulse konstanter Dauer umgewandelt. Er gibt bei jedem positiven Eingangsimpuls einen Impuls konstanter Dauer ab. Die Impulsdauer ist dabei nur von den Schaltelementen des Multivibrators abhängig. Der Mechanismus dieses Vorgangs ist in der Fachliteratur beschrieben, so daß sich eine Beschreibung an dieser Stelle erübrigt. Der Mittelwert dieser Impulse ist, wie eingangs schon gezeigt, der Frequenz und damit der Drehzahl proportional. Diese Tatsache wird zur Anzeige des Mittelwertes der Drehzahl an einem Drehspulinstrument ausgenutzt. Dieses Drehspulinstrument ist dazu direkt parallel zum Arbeitswiderstand des monostabilen Multivibrators geschaltet.

Stufe 6: Verstärker

Er verstärkt die Impulse konstanter Breite, die der monostabile Multivibrator liefert, soweit, daß eine übliche Meßschleife eines Schleifenoszillografen angesteuert werden kann. Die Verstärkung ist dabei so groß, daß sich der Mittelwert kompensieren läßt (s. Stufe 8).

Stufe 7: Tiefpaß

Der Tiefpaß hat die Aufgabe, die im Mittelwert der Impulse enthaltene Meßinformation von den durch die Anwendung des Impulsverfahrens zwangsläufig entstandenen höheren Frequenzen zu trennen.

Die genaue Betrachtung der Vorgänge, die sich hier abspielen, müßte in der Frequenzebene erfolgen. Diese Betrachtungen sind jedoch umfangreich und sehr speziell, so daß die angeführte grundsätzliche Aufgabe des Tiefpasses zur Erläuterung seiner Funktion genügen möge.

Stufe 8: Kompensationseinrichtung

Um nur die Schwankungen der Drehzahl registrieren zu können, wird durch Gegenschaltung einer Gleichspannung der Mittelwert unterdrückt. Den Abgleich auf die mittlere Drehzahl kann man an einem zweiten Instrument lesen.

Damit macht sich aber eine Schutzvorrichtung für die Meßschleife erforderlich, denn fällt aus irgend einem Grunde das Eingangssignal aus, so steht sofort an der Schleife die Kompensationsspannung voll an und würde die Schleife zerstören. Dies wird durch zwei antiparallel geschaltete Dioden verhindert (Stufe 9 im Blockschaltbild).

Dem Gerät sind in der Anwendung zwei Grenzen gesetzt. Die untere Grenze der meßbaren Drehzahlen wird durch die Grenzfrequenz des Tiefpasses festgelegt. Die obere Grenze

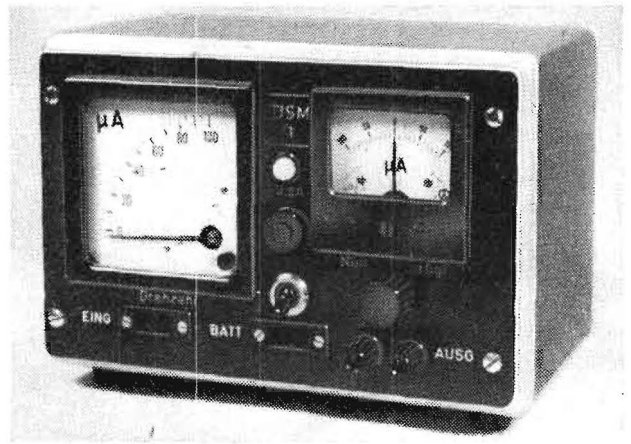
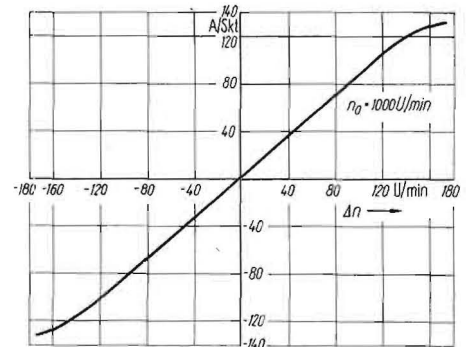


Bild 2. Ansicht des Geräts

Bild 3. Abhängigkeit des Ausschlags der Meßschleife von der Drehzahlabweichung für $n_0 = 1000$ U/min



ergibt sich aus der Breite der Impulse, die der monostabile Multivibrator abgibt. Steigt die Drehzahl soweit an, daß $\tau = T_0$ wird, ist ein ordnungsgemäßes Arbeiten des monostabilen Multivibrators nicht mehr gegeben. Durch Verändern der Zahl der Schlitze der Aufnehmerscheibe läßt sich jedoch hier Abhilfe schaffen. Hat die Scheibe z. B. nur noch die Hälfte der Schlitze, so werden dadurch die Drehzahlgrenzen des Gerätes um den Faktor zwei heraufgesetzt. Der gleiche Effekt wäre elektronisch durch einen binären Untersetzer zu erreichen.

Eine weitere Möglichkeit der Erweiterung des Meßbereiches ist durch Einsatz einer Schleife anderer Empfindlichkeit gegeben.

Als Vorteil des gewählten Verfahrens erweist sich, daß eine Kalibrierung auf sehr einfache Weise mit Hilfe eines Tonfrequenzgenerators möglich ist. Wird dieser statt Fotodiode an den Eingang angeschlossen, so ist eine statische Eichung des Gerätes möglich.

Der elektrische Teil des Gerätes wurde transistorisiert ausgeführt. Bild 2 zeigt die Ansicht. In Bild 3 ist die Kennlinie des Gerätes für eine mittlere Drehzahl $n_0 = 1000$ U/min dargestellt. Bei abweichenden Drehzahlen kommt dann ein entsprechender Ausschlag der Meßschleife zustande. Im Diagramm ist deutlich die Begrenzungswirkung der antiparallelen Dioden (Stufe 9 im Blockschaltbild) zu sehen. Über den Einsatz des Gerätes wird in [3] berichtet, dort werden auch Ausschnitte aus Meßschriften gezeigt.

Literatur

- [1] THIEL, R.: Messung schnell veränderlicher Winkelgeschwindigkeiten. ATM V 145-10, - 11
- [2] ECKEL, E.: Messung kurzzeitiger Drehzahlschwankungen. Z. VDI (1939) Nr. 13
- [3] JODLÓWSKI, J.: Dynamik des Schneidwerktriebes mit elastischer Kurbelwelle Archiv für Landtechnik (1963) H. 1 A 6671