

# Berührungsloser elektronischer Drehzahlmesser

(Modellflugzeug-Drehzahlmesser)



*Sowohl für den Bereich des Flugmodellbaues als auch für kommerzielle Anwendungen, wurde dieser komfortable elektronische Drehzahlmesser mit vierstelliger, digitaler LCD-Anzeige entwickelt. Nachfolgend die wesentlichen Daten in Kurzform:*

- Drehzahlmessungen von 500 Upm bis 100.000 Upm (!)
- Auflösung: bis 10.000 Upm: 1 Upm, über 10.000 Upm: 10 Upm
- berührungslose Drehzahlmessung über Fotodiode
- Umschaltmöglichkeit für 1 Impuls, 2 Impulse (Zweiblatt-Luftschraube) sowie 3 Impulse (Dreiblatt-Luftschraube) pro Umdrehung
- hohe Meßfolgefrequenz (48 Messungen pro Minute)
- digitale Meßwertspeicherung über Drucktaster
- hohe Genauigkeit durch Quarzsteuerung:  $\pm 1$  Digit über den gesamten Meßbereich
- Aufbau vollkommen ohne Abgleich.

## Allgemeines

Die im Vorwort aufgezeigten Leistungsmerkmale dieses hochwertigen elektronischen Drehzahlmessers lassen erkennen, daß es sich um ein besonders komfortables, höchsten Ansprüchen gerecht werdendes Gerät handelt, und dies sowohl hinsichtlich des Nachbaues (vollkommen ohne Abgleich) als auch im Hinblick auf die univerten Einsatzmöglichkeiten.

Die komplexe Schaltung mit insgesamt 13 integrierten Schaltkreisen, wird auf einer doppelseitig durchkontaktierten Leiterplatte aufgebaut, die in einem handlichen Meßgerätegehäuse untergebracht werden kann.

Die mit diesem Gerät durchgeführten absolut berührungslosen Messungen haben den Vorteil, daß man sich dem Meßobjekt nicht bis auf Berührungskontakt nähern muß, so daß immer ein ausreichender Sicherheitsabstand eingehalten werden kann. Darüber hinaus bietet die berührungslose Messung den entscheidenden Vorteil, daß dem Meßobjekt (Motor o. ä.) keine Leistung entzogen wird. Dies ist besonders bei kleineren Motoren von Vorteil, so daß sich auch hier eine objektive, das Meßobjekt nicht beeinflussende rückwirkungsfreie Messung ergibt. Ermöglicht wird dieses Meßverfahren durch die Auswertung von Lichtstärkeschwankungen über eine empfindliche Fotodiode.

Hält man die Fotodiode hinreichend dicht, allerdings unter Berücksichtigung eines ausreichenden Sicherheitsabstandes, z. B. vor die rotierende Luftschraube eines Modellflugzeuges (Abstand ca. 10 cm), so wird ein Teil des Lichtes, das auf die Fotodiode gelangt, durch die Luftschraubenblätter absorbiert, d. h. es treten Lichtschwankungen im Rhythmus der Drehzahl auf. Technisch ausgedrückt bedeutet dies eine Modulation der Lichtstärke durch die Luftschraubenblätter im Takt der Drehzahl.

Man kann nun zwei Arten der Meßsignalzeugung unterscheiden:

### 1. Das Durchlichtverfahren

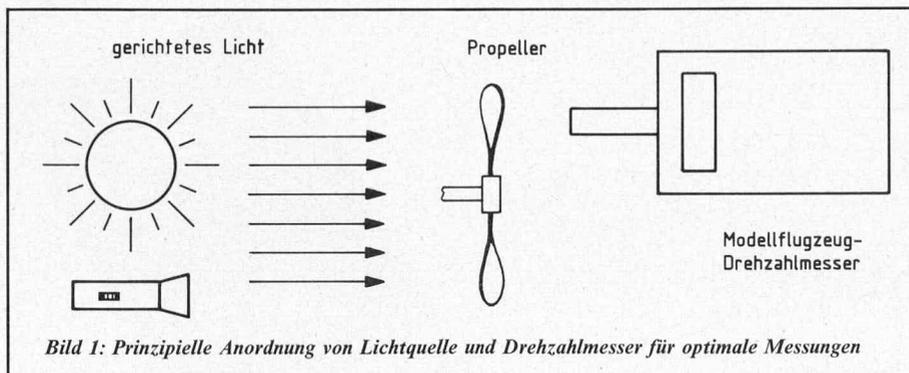
Hierbei wird, wie in vorstehendem Beispiel aufgezeigt, ein Lichtstrom im Rhythmus der Drehzahl unterbrochen und wieder freigegeben (z. B. durch die Luftschraubenblätter). Bei nicht ausreichendem Kontrast bzw. bei zu großem Streulichtanteil, kann hilfsweise eine Taschenlampe auf die Fotodiode des Drehzahlmessers ausgerichtet werden, wobei das Meßobjekt (Luftschraube) sich in dem direkten Strahlengang des Lichtstrahles der Taschenlampe befindet.

### 2. Reflektionsverfahren

Hierbei wird auf dem rotierenden Teil des Meßobjektes, z. B. eine Strichmarkierung aufgebracht, die einen ausrei-

chend großen Kontrast zur übrigen Oberfläche des drehenden Teiles bieten muß. Ist z. B. die Oberfläche einer sich drehenden Welle, deren Drehzahl bestimmt werden soll, mattschwarz, so empfiehlt sich ein ausreichend breiter Strich in weißer Farbe oder besser noch mit metallisch glänzender Oberfläche, wie sie z. B. eine Alufolie aufweist. Die Länge des aufzubringenden Reflektionsstriches sollte mehrere Zentimeter betragen, bei einer Breite von mindestens 5 mm, besser 1 cm. Hieraus ergibt sich, daß diese Art Messungen nur für Wellen ab einem Durchmesser von 10 mm oder mehr möglich sind. Nach oben hin ist praktisch keine Grenze gesetzt, denn auch bei einer Welle oder Keilriemenscheibe mit einem Durchmesser von 500 mm und mehr, kann ein ca. 1 cm breiter und mehrere Zentimeter langer Reflektionsstrich zur Meßsignalzeugung dienen. Zusätzlich ist allerdings für ausreichend gute Beleuchtung, z. B. über eine Taschenlampe, zu sorgen. Diese ist so anzuordnen, daß ein möglichst großer Lichtanteil des reflektierten Lichtes auf die Fotodiode fällt.

Wie die optimale Anordnung von Lichtquelle und Fotodiode aussehen sollte, ist in Bild 1 aufgezeigt. Aufgrund der verhältnismäßig hohen Selektivität und Empfindlichkeit dieses elektronischen Drehzahl-



messers, reichen bereits sehr kleine Lichtschwankungen aus, um eine zuverlässige Anzeige zu erhalten. Im allgemeinen kann daher der Aufwand zur Meßsignalerzeugung gering gehalten werden. In den meisten Fällen, z. B. bei einer Drehzahlmessung einer Luftschraube, ist keine Hilfslichtquelle erforderlich, da die Modulation des Tageslichtes durch die Luftschraubenblätter bereits ausreicht, um von der Schaltung aufbereitet und ausgewertet werden zu können.

Doch kommen wir nun zur Beschreibung der Funktionsweise im einzelnen.

### Zur Schaltung

Obwohl es sich um eine verhältnismäßig komplexe und aufwendige Schaltung handelt, mit insgesamt 13 IC's und entsprechender Zusatzbeschaltung, ist der Nachbau auf einfache Weise möglich. Nicht zuletzt deshalb, weil keinerlei Abgleicharbeiten erforderlich sind.

Die Schaltung besteht im wesentlichen aus einem mehrstufigen Meßsignalverstärker, einem umschaltbaren Frequenzvervielfacher sowie einem nachgeschalteten Frequenzzähler. Letztgenannter kann wiederum in die Funktionseinheiten „quarzzgenaue Ablaufsteuerung“ und „Digitalzähler“ aufgeteilt werden.

OP 1 erzeugt in Verbindung mit R 1, R 2 sowie C 2, C 4 aus der 9 V-Versorgungsspannung eine genau auf der Hälfte liegende Bezugsspannung (Pin 1 des OP 1).

Diese Bezugsspannung dient zur Vorspannung der Fotodiode D 1 über den Widerstand R 4 und außerdem zur Festlegung des Gleichspannungsarbeitspunktes des zwei-stufigen Wechselspannungsverstärkers, bestehend aus OP 2 und OP 3 mit Zusatzbeschaltung.

Über C 5, R 5 gelangt das von der Fotodiode des Typs BPW 34 abgegebene, im Takt der Drehzahl modulierte Meßsignal auf den invertierenden Eingang der ersten Stufe des Wechselspannungsverstärkers. Die maximale Verstärkung dieser Stufe liegt bei 100fach und ist durch das Verhältnis der Widerstände R 6/R 5 festgelegt. Bei größeren Eingangssignalen erfolgt eine zusätzliche Begrenzung durch die antiparallel im Rückkopplungszweig liegenden Dioden D 2, D 3.

Das Ausgangssignal des OP 2 (Pin 7) gelangt über C 6, R 7 auf den Eingang der zweiten Verstärkerstufe. Diese Stufe besitzt eine maximale Verstärkung von R 8: R 7 = 100, wobei auch hier eine zusätzliche Be-

grenzung über die Dioden D 4, D 5 bei zu hoher Signalamplitude vorgenommen wird.

Der Ausgang des OP 3 (Pin 1) steuert nun seinerseits den als Komparator nachgeschalteten OP 4 mit Zusatzbeschaltung an. Mit R 10, C 7 wird eine automatische Erzeugung des Gleichspannungs-Arbeitspunktes vorgenommen. Das verstärkte Meßsignal gelangt über R 9 auf den nicht invertierenden (+) Eingang des OP 4 (Pin 5), in dessen Mitkopplungszweig der Widerstand R 11 eingefügt ist. Durch die vorliegende Dimensionierung wird eine günstige Hysterese zur Verbesserung des Störabstandes bei besonders kleinen Meßsignalen erreicht.

Am Ausgang des OP 4 (Pin 7) steht ein „sauberes“ Rechtecksignal mit voller Amplitude (Versorgungsspannungshöhe) an, dessen Frequenz der Drehzahl entspricht. Bei einer Drehzahl von 6000 Upm (Umdrehungen pro Minute) beträgt die Frequenz  $6000 : 60 \text{ s} = 100 \text{ Hz}$  (1/s). Vorstehendes Rechenbeispiel gilt für den Fall, daß ein Impuls pro Umdrehung (z. B. Strichmarkierung) ausgewertet wird. Bei gleicher Drehzahl und Auswertung einer Zweiblatt-Luftschraube ergäbe sich die doppelte Frequenz, da pro Umdrehung zwei Impulse gezählt werden. Bei Auswertung einer Dreiblatt-Luftschraube wäre dann eine Frequenz von 300 Hz bei einer Ausgangsdrehzahl von 6000 Upm an Pin 7 des OP 4 zu messen.

Die entsprechend aufbereitete, der Drehzahl proportionale Frequenz, wird anschließend auf den Steuereingang (Pin 14) des IC 2 gegeben. Dieses IC stellt in Verbindung mit den IC's 3 und 4 sowie Zusatzbeschaltung einen programmierbaren, d. h. umschaltbaren Frequenzvervielfacher dar. Die Funktionsweise dieses Schaltungsteiles ist wie folgt:

Das IC 2 vergleicht zwei Frequenzen, die an den beiden Eingängen Pin 3 und Pin 14 anliegen, miteinander. Die hieraus gewonnenen Informationen dienen zur Steuerung der Ausgangsfrequenz, die an Pin 4 des IC 2 ansteht. Ist die Frequenz an Pin 3 kleiner als diejenige an Pin 14, so erhöht sich die Ausgangsfrequenz an Pin 4, während bei größerer Frequenz an Pin 3 als an Pin 14 die Ausgangsfrequenz an Pin 4 absinkt. Eine Frequenzkonstanz wird in dem Moment an Pin 4 erreicht, wenn sowohl Frequenz als auch Phasenlage der beiden an Pin 3 und Pin 14 anliegenden Eingangsfrequenzen genau gleich sind.

Würde man jetzt z. B. Pin 4 mit Pin 3 verbinden, ergäbe sich eine Frequenzgleichheit

zwischen der Frequenz am Ausgang (Pin 4) und am Eingang (Pin 14). Dies beruht, wie bereits erwähnt, auf der Tatsache, daß sich die Ausgangsfrequenz des IC 2 (Pin 4) immer so einstellt, daß die am Eingang Pin 3 anstehende Frequenz exakt gleich ist mit der Steuerfrequenz an Pin 14.

In der vorliegenden Schaltung ist jetzt aber der Ausgang (Pin 4) des IC 2 nicht direkt mit dem Rückführungseingang (Pin 3) verbunden, sondern über eine programmierbare digitale Frequenzteilerschaltung.

In der eingezeichneten Schalterstellung von S 1b und S 2 wird eine Teilung durch 60 vorgenommen, d. h., das IC 4 teilt das vom Ausgang des IC 2 (Pin 4) auf seinen Eingang (Pin 13 des IC 4) gegebene Eingangssignal durch 6 (Pin 2 des IC 4) und das IC 3 nimmt anschließend eine weitere Teilung durch 10 vor ( $6 \times 10 = 60$ ).

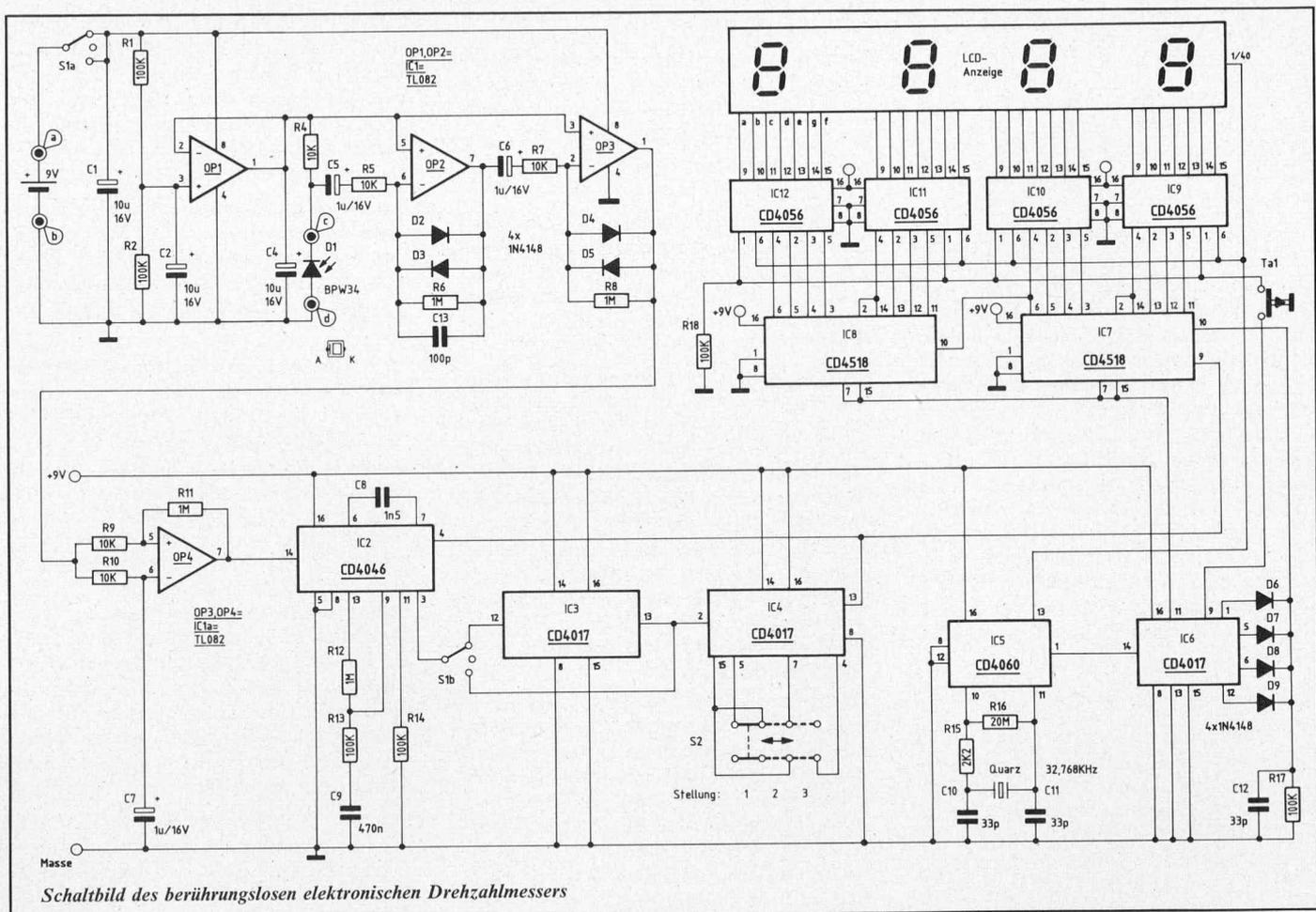
Damit nun die Frequenz an Pin 3 mit der an Pin 14 anliegenden Steuerfrequenz übereinstimmt, muß die Ausgangsfrequenz des IC 2 (Pin 4) genau 60mal größer sein als die Eingangsfrequenz. Als einfaches Zahlenbeispiel wollen wir eine Eingangsfrequenz von 100 Hz annehmen und uns die übrigen Frequenzverhältnisse dieser Vervielfacher-schaltung ansehen.

Damit an Pin 3 des IC 2 ebenfalls 100 Hz anstehen, muß die Ausgangsfrequenz an Pin 4  $100 \text{ Hz} \times 60 = 6000 \text{ Hz}$  betragen. Eine Teilung mit IC 4 durch 6, macht aus den 6000 Hz 1000 Hz, während eine weitere Teilung durch 10 mit Hilfe des IC 3 aus den 1000 Hz wieder 100 Hz werden läßt (Pin 12 des IC 3). Nur wenn die Ausgangsfrequenz des IC 2 (Pin 4) exakt 60mal so groß ist wie die Eingangsfrequenz an Pin 14, liegt eine Frequenzgleichheit der an Pin 3 und Pin 14 anstehenden Frequenzen vor. Durch die phasenstarre Kopplung von Eingangs- und Ausgangsfrequenz, kann mit Hilfe dieser Schaltung eine exakt arbeitende Frequenzvervielfachung vorgenommen werden.

Wird S 2 in die mittlere oder rechte Schalterstellung gebracht, ändert sich damit das Teilungsverhältnis des IC 4 auf 3:1 bzw. 2:1. Bringt man S 1b in die entgegengesetzte Schalterstellung, entfällt die nachgeschaltete Teilung durch 10 des IC 3. Insgesamt können mit den Schaltern S 1b und S 2, 6 verschiedene Teilungsverhältnisse eingestellt werden (Teilung durch 2, 3, 6, 20, 30, 60).

Für die Schaltungseinheit, bestehend aus den IC's 2 bis 4 mit Zusatzbeschaltung, bedeutet dies eine entsprechende Frequenzvervielfachung mit den Faktoren 2, 3, 6, 20, 30 bzw. 60, d. h. die an Pin 4 des IC 2 zur Verfügung stehende Ausgangsfrequenz ist genau um den jeweils mit S 1b und S 2 eingestellten Faktor größer als die an Pin 14 anliegende Eingangsfrequenz. Wie sich daraus eine direkte Anzeige der Drehzahl in „Upm“ ergibt, sehen wir im weiteren Verlauf dieser Beschreibung.

Die Ausgangsfrequenz des IC 2 (Pin 4) gelangt, wie bereits beschrieben, auf den Eingang des IC 4 (Pin 13) sowie auf den Eingang des vierstufigen digitalen Dekadenzählers (Pin 9), bestehend aus den IC's 7 und 8. Beide IC's enthalten jeweils 2 Dekadenzählerstufen.



Schaltbild des berührungslosen elektronischen Drehzahlmessers

Pin 10 des IC 7 stellt den Steuereingang für die Torzeit dar, die im vorliegenden Fall genau 1,0 Sekunden beträgt.

Die gesamte quartzgesteuerte Ablaufsteuerung wird mit den IC's 5 und 6 mit Zusatzbeschaltung realisiert. An Pin 1 des IC 5 steht eine quartzgenaue Frequenz von 8 Hz an.

Das IC 6 generiert daraus in Verbindung mit seiner Zusatzbeschaltung D 6 bis D 9 sowie C 12 und R 17, einen „high“-Impuls mit einer Länge von genau 1,0 Sekunden, der auf den Toreingang des IC 7 gegeben wird (Pin 10).

Unmittelbar im Anschluß an den Tor-Impuls geht Pin 9 des IC 6 für 0,125 Sekunden = 125 ms. auf „high“, wodurch der Zählerstand der IC's 7 und 8 in die Speicher der Decoder-Treiber-IC's 9 bis 12 übernommen wird. Auf dem LC-Display kann die Drehzahl abgelesen werden.

Nach Beendigung des Speicher-Impulses erfolgt ein weiterer, ebenfalls 125 ms langer „high“-Impuls, der auf die Reset-Eingänge der IC's 7 und 8 (Pin 7, 15) gegeben wird und diese Zähler zurücksetzt. Nach Beendigung des Reset-Impulses ist der Zähler sofort für eine neue Messung bereit, die auch unmittelbar durch den 1,0sekundigen Tor-Impuls an Pin 10 des IC 7 eingeleitet wird.

Die Meßzeit eines kompletten Zyklus beträgt daher 1,0 s (Tor-Impuls) + 0,125 s (Speicher-Impuls) + 0,125 s (Reset-Impuls) = 1,25 s. Es wird also alle 1,25 Sekunden eine neue Messung durchgeführt und dies fortlaufend.

Das für den Betrieb eines LC-Displays erforderliche Backplane-Signal wird mit 64 Hz direkt von Pin 13 des IC 5 auf das LC-Display sowie die entsprechenden Steuerungseingänge (Pin 6) der IC's 9 bis 12 geführt.

Die Taste Ta 1 unterbricht in Ruhestellung (nicht gedrückt) den Speicher-Impuls, so daß der auf der Anzeige erscheinende Wert beliebig lange gespeichert bleibt, obwohl die gesamte übrige Schaltung (IC 1 bis 8) fortlaufend Messungen durchführt. Erst in dem Moment, in dem Ta 1 für 2 bis 3 Sekunden gedrückt wird, kann der nächste an Pin 9 des IC 6 auftretende Speicher-Impuls eine Übernahme des Zählerstandes der IC's 7 und 8 in die Speicher der IC's 9 bis 12 einleiten. Auf dem LC-Display erscheint der neue Drehzahlwert.

Abschließend wollen wir anhand eines Beispiels den Zusammenhang zwischen dem auf der vierstelligen LCD-Anzeige abgelesenen Drehzahlwert und der Eingangsfrequenz aufzeigen. Zusätzlich kann damit gleichzeitig die korrekte Arbeitsweise des gesamten Gerätes überprüft werden.

Wie allgemein bekannt, schwingt die Netzwechselspannung mit einer Frequenz von exakt 50 Hz. Auf eine daran betriebene Glühlampe bezogen, bedeutet dies 50 positive Halbwellen und 50 negative Halbwellen pro Sekunde, entsprechend einer für das Auge allerdings unsichtbaren Lichtschwankungsfrequenz von 100 Hz (der Glühlampe ist es egal, ob sie von einer positiven oder negativen Sinushalbwelle angesteuert wird — deshalb die Frequenzverdopplung von 50 auf 100 Hz).

Wird jetzt das Licht einer von der Netzwechselspannung gespeisten Glühlampe (keine Leuchtstofflampe) auf die Fotodiode des elektronischen Drehzahlmessers gegeben, werden die Lichtstärkeschwankungen mit OP 2 und OP 3 verstärkt und über OP 4 in Rechteckimpulse umgewandelt. An Pin 7 des OP 4 steht dann eine „saubere“ Rechteckfrequenz von 100 Hz an. In der eingezeichneten Schalterstellung von S 1 und S 2, wird mit den IC's 2 bis 4 eine Frequenzvervielfachung um den Faktor 60 vorgenommen. An Pin 4 des IC 2 steht daher eine Frequenz von 6000 Hz an.

Durch die Torzeit von genau 1,0 Sekunden, gelangen daher auf den Zählereingang (Pin 9 des IC 7) exakt 6000 Impulse, d. h. auf der Anzeige erscheint die Zahl „6000“. Die Drehzahl beträgt also 6000 Upm. Als Erläuterung muß hierzu noch gesagt werden, daß die eingezeichnete Schalterstellung von S 1b dem Meßbereich „bis 10 000 Upm“ entspricht und S 2 dem Meßbereich „1 Impuls pro Umdrehung“.

Wenn wir jetzt eine Rückrechnung vornehmen, sehen wir, daß die Anzeige korrekt ist, denn 6000 Umdrehungen pro Minute entsprechen bei einem Impuls pro Umdrehung  $6000 : 60 \text{ s} = 100 \text{ Hz}$  (1/s). Bringt man S 2 in Mittelstellung (Meßbereich für zweiblättrige Luftschrauben), so erwartet die Schaltung pro Umdrehung zwei Impulse. Wird die Eingangsfrequenz weiterhin auf 100 Hz gehalten, erscheint jetzt auf der Anzeige der halbe Wert, d. h. 3000 Upm. In Schalterstellung 3 (dreiblättrige Luftschrauben) erwartet die Schaltung sogar 3 Impulse pro Umdrehung und die Anzeige zeigt bei einer Eingangsfrequenz

von 100 Hz jetzt 2000 Upm an (2000 Upm: 60 s x 3 Impulse = 100 Hz).

Bringt man S 1 in die entgegengesetzte Schalterstellung, verkleinert sich der Anzeigenwert um den Faktor 10. Dies entspricht der Schalterstellung für den Meßbereich „bis 100 000 Upm“, bei einer Auflösung von 10 Upm.

Anhand des vorstehend aufgezeigten praktischen Beispiels wurde die Arbeitsweise dieser verhältnismäßig komplexen Schaltung verdeutlicht, wobei wir gleichzeitig die Methode der Überprüfung des Gerätes kennengelernt haben. Je nach Schalterstellung von S 1 und S 2, muß auf der Anzeige bei Ansteuerung mit einer netzgespeisten Glühlampe der Wert „200, 300, 600, 2000, 3000 bzw. 6000“ erscheinen. Da die Kurzzeitkonstanz der Netzfrequenz ca. 0,1 % beträgt, kann die Anzeige z. B. zwischen 5994 Upm und 6006 Upm liegen. Der Meßfehler des Gerätes selbst liegt hingegen bei maximal  $\pm 1$  Digit (entsprechend 1 Upm in Schalterstellung „bis 10 000 Upm“ bzw. 10 Upm in Schalterstellung „bis 100 000 Upm“).

### Bedienung

Vor Meßbeginn wird mit S 1 der Grundmeßbereich „500 Upm bis 10 000 Upm“ oder „500 Upm bis 100 000 Upm“ gewählt. Der erste Meßbereich besitzt eine Auflösung von 1 Upm, während letztgenannter eine Auflösung von 10 Upm zuläßt. In Mittelstellung von S 1 ist das Gerät ausgeschaltet.

Mit dem Schalter S 2 kann das Gerät für drei verschiedene Impulszahlen (pro Umdrehung) programmiert werden, und zwar:

1. ein Impuls pro Umdrehung (z. B. Strichmarkierung),
2. zwei Impulse pro Umdrehung (z. B. zweiblättrige Luftschraube),
3. drei Impulse pro Umdrehung (z. B. dreiblättrige Luftschraube).

Auch ohne Betätigen des Tasters Ta 1 werden sofort nach dem Einschalten fortlaufend Messungen von dem Gerät durchgeführt, deren Ergebnisse jedoch nicht zur Anzeige gelangen.

Um eine zuverlässige Drehzahlmessung vornehmen zu können, wird das Gerät, wie eingangs bereits ausführlich beschrieben, in eine entsprechende Position zum Meßobjekt (z. B. Luftschraube) gebracht. Da eine Messung 1,25 Sekunden in Anspruch nimmt, sollte man die Meßposition des Gerätes mindestens 3 Sekunden beibehalten. In dieser Zeit wird gleichzeitig die Speichertaste Ta 1 betätigt. Bevor das Gerät die Meßposition wieder verläßt (Entfernen von der Luftschraube), wird die Taste Ta 1 wieder losgelassen. Hierdurch erfolgt eine Speicherung des angezeigten Drehzahlwertes.

Auf diese Weise kann auch an unzugänglichen Stellen gemessen werden, um die Anzeige später in Ruhe abzulesen.

Möchte man fortlaufend einen sich etwas ändernden Drehzahlwert kontrollieren, so ist die Speichertaste Ta 1 ständig gedrückt zu halten. Alle 1,25 Sekunden wird dann der aktuelle Drehzahlwert angezeigt.

### Zum Nachbau

In den meisten Fällen soll die fertig bestückte Platine in ein Gehäuse eingebaut werden, zumal hierfür schon eine entsprechende Möglichkeit vorgesehen ist.

Zweckmäßigerweise geht man beim Aufbau wie folgt vor:

Zunächst ist die Platine in das Gehäuse einzupassen. Dies ist ratsam, da man immer mit gewissen Toleranzen seitens des Platinenmaterials oder der Gehäuseabmessungen rechnen muß. Ggf. ist die Platine an den Kanten etwas nachzuarbeiten.

Der Aufbau ist trotz der verhältnismäßig aufwendigen und komplexen Schaltung recht einfach möglich. Sämtliche Bauelemente finden auf einer einzigen doppelseitig durchkontaktierten Leiterplatte Platz. Diese etwas aufwendigere Platine wurde erforderlich, da die Schaltung in ein handliches Gehäuse eingebaut werden sollte und immerhin 13 IC's + Zusatzbeschaltung unterzubringen sind. Als Vorteil ergibt sich hierbei jedoch, neben dem außerordentlich platzsparenden Aufbau, das Fehlen jeglicher Drahtbrücken.

Die Bestückung wird in gewohnter Weise anhand des Bestückungsplanes vorgenommen. Zunächst werden die passiven und dann die aktiven Bauelemente auf die Bestückungsseite der Platine gesetzt und auf der entgegengesetzten Seite (Platinenunterseite) verlötet. Aufgrund der Durchkontaktierung der Leiterplatte braucht lediglich auf der Platinenunterseite gelötet zu werden, da sämtliche Bohrungen innen leitend sind und jeweils den oberen und unteren zugehörigen Lötspitzen miteinander verbinden. Nicht zuletzt wegen dieses Umstandes ist das Produktionsverfahren von doppelseitig durchkontaktierten Leiterplatten recht aufwendig, weist aber andererseits, wie bereits erwähnt, mehrere Vorteile auf.

Die Kondensatoren C 1, C 2, C 4 bis C 9 sowie der Widerstand R 12 werden auf der Platinenunterseite angelötet. Zu beachten ist, daß sämtliche Elko's liegend eingebaut werden.

Das LC-Display wird in einen Sockel gesetzt. Hierbei handelt es sich um einen 40poligen IC-Sockel, dessen Mittelstege entfernt wurden, so daß man 2 Kontaktleisten mit jeweils 20 Anschlüssen erhält. Für einige Beinchen dieses Sockels existiert keine Bohrung, und zwar immer dann, wenn der entsprechende Anschluß des LC-Displays nicht benötigt wurde. Der entsprechende Stift des Sockels ist vor dem Einlöten abzukneifen. Auf diese Weise erhält man zusätzlichen Raum für Leiterbahndurchführungen zwischen den einzelnen Anschlußbeinchen.

Die Fotodiode D 1 des Typs BPW 34, wird senkrecht zur Platine weisend an die beiden entsprechenden Lötstifte angelötet. Sie befindet sich also parallel zur Stirnseite des Gehäuses. Die Ausrichtung der Fotodiode sollte so erfolgen, daß sie sich unmittelbar vor der Bohrung in der Gehäusestirnseite befindet, wenn die Platine in ihrer Endposition im Gehäuse fixiert wurde.

Die Befestigung der Basisplatine erfolgt im Gehäuse durch einige Tropfen Klebstoff.

Damit die Einstreuung des Backplanesignals in den hochempfindlichen Vorverstärker vermieden wird, ist eine kleine kupferkaschierte Leiterplatte senkrecht zur Basisplatine einzubauen. Sie wird, entsprechend dem Foto, zwischen LC-Display und Vorverstärker an 2 Lötstifte angelötet.

Um den Streulichtanteil bei der Meßwertaufnahme zu reduzieren, empfiehlt es sich, ein ca. 30 mm langes Stückchen Alu-Rohr mit einem Innendurchmesser von ca. 6 mm vor die Fotodiode in das Gehäuse einzukleben.

Es besteht auch die Möglichkeit, die Fotodiode über ein Kabel mit der übrigen Schaltung zu verbinden. Aus Sicherheitsgründen sollte dann allerdings das Röhrchen eine Länge von mindestens 10 cm aufweisen, damit die Finger nicht versehentlich mit dem Propeller „Bekanntschaft“ machen. Der Abstand Fotodiode—Rohröffnung sollte auch hier nur ca. 30 mm betragen, d. h. die Fotodiode ist in einem Abstand von ca. 30 mm zum Rohrende anzukleben. Zusätzlich ist dann selbstverständlich darauf zu achten, daß die Zuleitungen keinen leitenden Kontakt mit dem Alu-Röhrchen bekommen. Die endgültige Ausführung kann letztlich individuell vorgenommen werden. Für die meisten Anwendungen wird jedoch der direkte Einbau der Fotodiode ins Gehäuse günstig sein.

Da eine Kalibrierung der Schaltung nicht erforderlich ist, steht dem Einsatz dieses interessanten und vielseitigen Gerätes nun nichts mehr im Wege.

### Stückliste Berührungsloser elektronischer Drehzahlmesser Halbleiter

IC 1, IC 1a	TL 082
IC 2	CD 4046
IC 3, IC 4, IC 6	CD 4017
IC 5	CD 4060
IC 7, IC 8	CD 4518
IC 9—IC 12	CD 4056
D 1	BPW 34
D 2—D 9	1 N 4148

### Kondensatoren

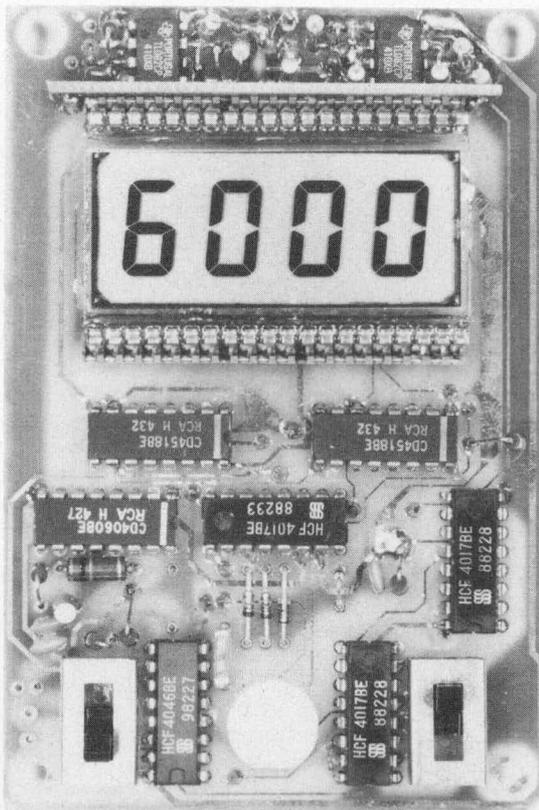
C 1, C 2, C 4	10 $\mu$ F/16 V
C 5—C 7	1 $\mu$ F/16 V
C 8	1,5 nF
C 9	470 nF
C 10—C 12	33 pF
C 13	100 pF

### Widerstände

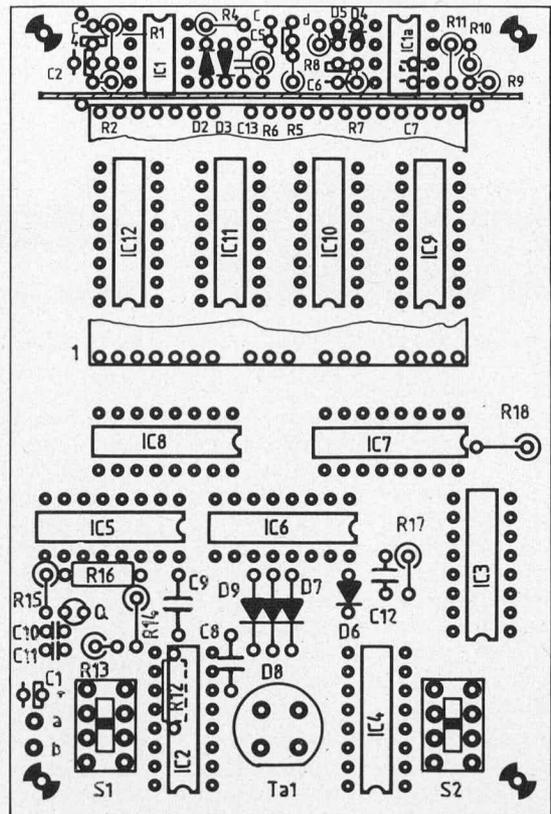
R 1, R 2	100 K $\Omega$
R 4, R 5, R 7	10 K $\Omega$
R 6, R 8, R 11	1 M $\Omega$
R 9, R 10	10 K $\Omega$
R 12	1 M $\Omega$
R 13, R 14	100 K $\Omega$
R 15	2,2 K $\Omega$
R 16	20 M $\Omega$
R 17, R 18	100 K $\Omega$

### Sonstiges

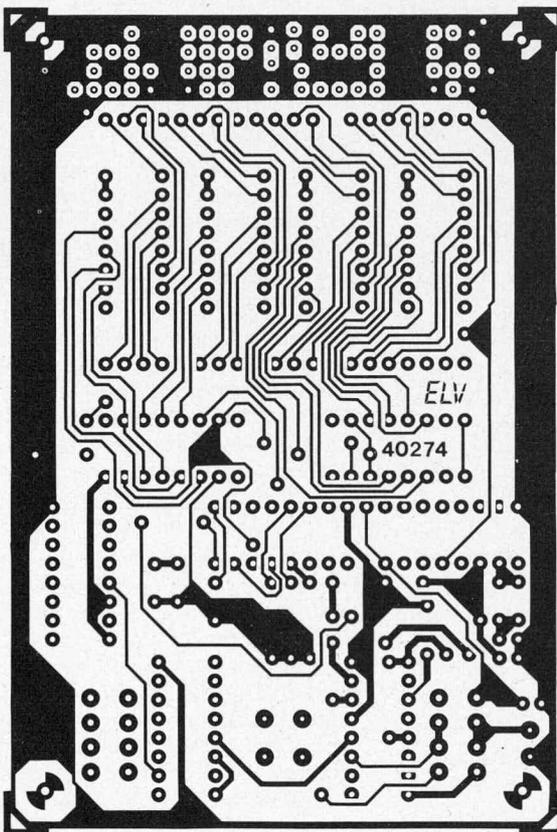
1 Quarz 32,768 KHz	
1 LCD-Anzeige 4stellig	
TA 1	D 6 Taster
S 1, S 2	Schiebeschalter
	2 x um mit Mittelstellung
1 40poliger IC Sockel	
20 cm isolierter Schaltdraht	
1 Aluminiumröhrchen ca. 30 mm	
1 Abschirmplatine ca. 60 mm x 8 mm	
1 Batterieclip 9 V	
2 Lötstifte	



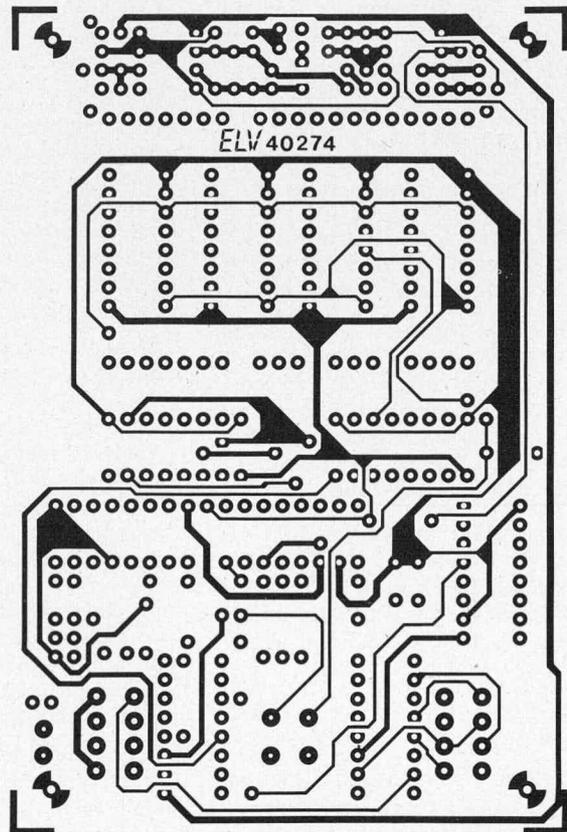
Ansicht der fertig aufgebauten Platine des berührungslosen elektronischen Drehzahlmessers



Bestückungsseite der Platine des berührungslosen elektronischen Drehzahlmessers



Leiterbahnseite (Platinenunterseite) des berührungslosen elektronischen Drehzahlmessers



Leiterbahnverlauf auf der Bestückungsseite (Platinenoberseite) des berührungslosen elektronischen Drehzahlmessers