

Die Drehzahl-Regelschaltung des TK 3200-Motors

Die nachstehende Beschreibung bezieht sich auf die Gesamtschaltung (Bild 22) auf der nächsten Seite.

Die Drehzahl des Motors wird in einen proportionalen Strom umgewandelt, den sogenannten Iststrom. Dieser wird in einer Differenzstufe mit einem konstanten Sollstrom verglichen. Je nachdem welcher Strom größer ist, werden die Steuertransistoren die den Wicklungsstrom (und damit wieder die Drehzahl) beeinflussen hoch- oder niederohmiger gesteuert, so daß die einmal eingestellte Motordrehzahl erhalten bleibt. Der Regelkreis ist damit geschlossen.

Die fortlaufende Weiterschaltung der einzelnen Wicklungen, aus der sich die Drehbewegung ergibt, wird bei diesem Elektronikmotor kontakt- und verschleißfrei durchgeführt, wie der vorhergehende Beitrag bereits ausführlich erläutert hat.

Die Istwertausgabe (Tachospaltung)

An den vier Wicklungssträngen entsteht im geregelten Lauf eine Spannung nach Oszillogramm 1 (Bild 21).

Diese Spannung setzt sich zusammen aus der sinusförmigen Gegen-EMK und der antreibenden Spannung, die durch den Stromfluß durch die Wicklungen entsteht. Die auf den Kuppen sichtbaren scharfen Spitzen entstehen durch Schaltvorgänge.

Der Stromfluß durch alle vier Wicklungen läßt sich als Spannungsabfall am Gegenkopplungs-Widerstand R 101 (Oszillogramm 3) darstellen, da über diesen niederohmigen Widerstand alle Wicklungsströme fließen.

Die Spannungszeitfläche (Osz. 1) ist der Drehzahl des Motors proportional.

Mit den Dioden D 101, D 102, D 103 und D 104 (siehe Schaltbild) erfolgt eine Stromauskopplung. Die Einstellwiderstände R 105 und R 111 beeinflussen die jeweils aus den beiden Wicklungen entnommene Strommenge gegenseitig (siehe Einstellen der Abgleichwiderstände). Der Elko C 107 bewirkt eine Glättung des ausgekoppelten Iststromes und beeinflusst somit die Regelzeitkonstante der gesamten Schaltung. Die Diode D 108 hat bei geregelterm Betrieb keinen Einfluß, da sie in Sperrichtung geschaltet ist. Wenn die Regelung abgeschaltet wird (st 3 geschlossen) begrenzt sie die U_{BE} des Transistors T 111.

Am Meßpunkt ϕ 22 steht somit ein der Drehzahl proportionaler Iststrom zur Verfügung.

Der Sollwert

Als Sollwert wird ein Gleichstrom mit einer hohen Konstanz benötigt, dessen Wert je nach der gewünschten Drehzahl geändert werden kann. Da der Motor in dem großen Spannungsbereich von 6,4 V bis 10 V einwandfrei arbeiten muß, wurde eine dreifache Stabilisierung gewählt. Zuerst wird die gesamte Regelschaltung durch die Z-Diode D 107 vorstabilisiert.

Dann wird mit dem Feldeffekt-Transistor T 113 ein konstanter Strom gebildet. Ein FET eignet sich dazu besonders, da nur zwei Bauelemente für die Konstantstromschaltung benötigt werden und der Temperaturgang dieser Schaltung bei der kleinen zur Verfügung stehenden Ober-spannung günstiger ist als bei einer üblichen Stabilisierungsschaltung.

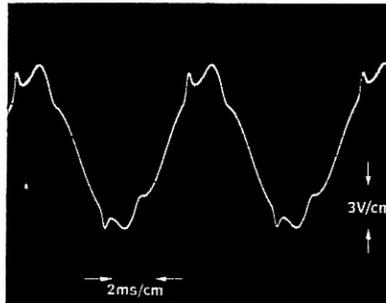


Bild 21 Spannung an einer Wicklung bei 910 U/Min. Oszillogramm 1

Der „N-Kanal-Epitaxial-Planar-Sperrschicht-Feldeffekt-Transistor“ BF 245 ist ohne Aussteuerung ($-U_{GS} = 0$) niederohmig. Bei der sogenannten „Pinch-Off-Spannung“ ($-U_{GS} = \text{ca. } 2 \text{ V}$) macht dieser Transistor voll zu. Mit dem Einstellwiderstand R 135 wird nun ein bestimmter Konstantstrom eingestellt. Will mehr Strom fließen, so wird die $-U_{GS}$ höher und die Drain-Source-Strecke wird hochohmiger, wodurch der Stromanstieg verhindert wird.

Der auf diese Weise stabilisierte Strom fließt nun über drei in Flußrichtung geschaltete Dioden D 109, D 110 und D 111 und erzeugt an diesen eine Konstantspannung.

Der Transistor T 112 bildet nun zusammen mit den unter dem Geschwindigkeitsumschalter befindlichen Widerstandskombinationen eine normale Konstantstromschaltung, wobei die Flußspannung der Dioden als Vergleichsspannung dient. Für jede Geschwindigkeit wird ein anderer Sollstrom benötigt, welcher durch Umschalten der NTC-R Kombinationen erreicht wird. Die Heißleiter- und Widerstands-Werte sind so ausgelegt, daß alle Temperatureinflüsse, wie Temperaturgang der Läufermagnete, der Transistoren und Dioden, Widerstandsänderungen der Statorwicklung usw., fast vollkommen auskompensiert werden.

Am Kollektor des Transistors T 112 steht somit ein extrem konstanter temperaturkompensierter Sollstrom zur Verfügung.

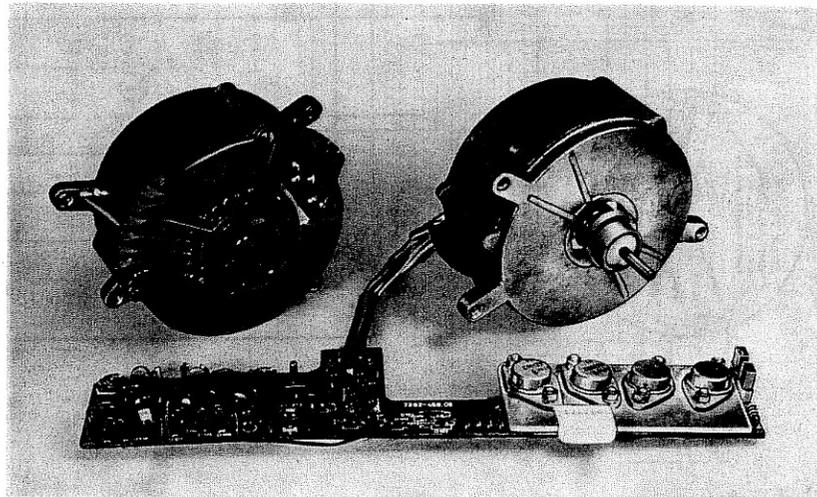


Bild 20 TK-3200-Motor mit Regelelektronik-Platte

Der Sollwert-Istwertvergleich und die Wicklungsansteuerung

Der Transistor T 111 vergleicht nun Soll- und Istwert miteinander. Die Differenz wird durch T 110 verstärkt und über die „Kommutierungstransistoren“ T 102, T 103, T 106 und T 107 zur Aussteuerung der Leistungstransistoren T 101, T 104, T 105 und T 108 benutzt. Diese beeinflussen die Wicklungsströme und somit die Drehzahl des Motors; die Regelkette ist abgeschlossen.

Die Kondensatoren C 108, C 110 und C 111 dienen zur Unterdrückung von hochfrequenten Schwingungen. Die R-C Kombination R 126, C 109 soll Regelschwingungen (Pumpen) verhindern.

Die Wicklungsanschlüsse haben im Schaltbild die Bezeichnung 9...13. Eine weitere Regelung innerhalb der TK 3200-Motorschaltung soll noch erwähnt werden. Die Hallspannung hat leider bei dem verwendeten Halbleitermaterial (In Sb) einen stark negativen Temperaturgang, der durch die temperaturabhängige Steuerstrom-Schaltung (T 109, D 106, D 105, R 115 und R 116) ausgeglichen wird. Die Schaltung stellt einen Konstantstromagenerator mit einem durch den NTC-Widerstand R 115 gewollten positiven Temperaturgang dar. Mit steigender Temperatur erhöht sich der Steuerstrom und erleichtert die abnehmende Empfindlichkeit der Hallgeneratoren aus.

Die Aufteilung des Steuerstromes erfolgt mit dem Einstellwiderstand R 110 (siehe Symmetrierung).

Einstellen der Abgleichwiderstände

Eingestellt werden die drei Drehzahlen und die sogenannte „Symmetrie“. Die Messung der Motordrehzahlen kann „über Band“ erfolgen wodurch der geringe Schlupf mit berücksichtigt wird oder einfach durch eine Frequenz- bzw. Periodendauermessung an den Wicklungen z. B. mit dem Universalzähler UZ 144 (Bild 23).

Einstellwiderstand	Bandgeschwindigkeit cm/s	Motordrehzahl U/min	Periodendauer ms
R 123	4,75	227,5	32,96
R 128	9,5	455	16,48
R 134	19	910	8,24

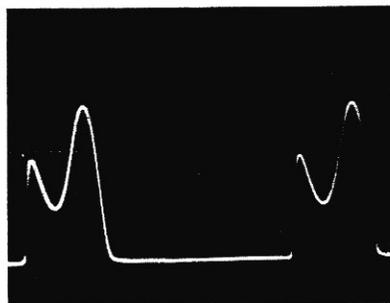


Bild 24 Stromverlauf in einem Wicklungsweig; gemessen an einem niederohmigen Widerstand in der Verbindung Kollektor des Transistors zur Motorwicklung (V = 4,75 cm/sec) Oszillogramm 2

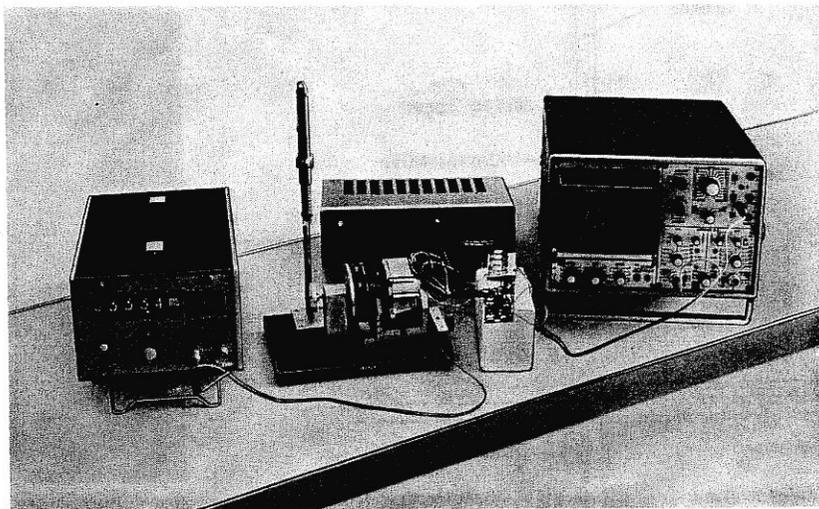


Bild 23 Motormeßplatz (Vorne Mitte: TK-3200-Motor an der Wirbelstrombremse)

Die Drehzahleinstellung beginnt mit 19 cm/s. R 134 wird auf „Mitte“ gebracht und dann erfolgt mit R 135 die Grobeinstellung. Die Feineinstellung,

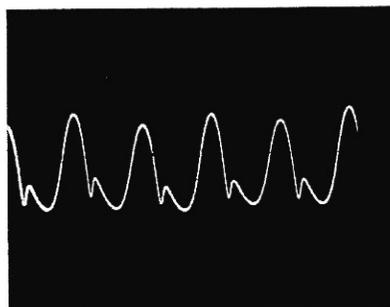


Bild 25 Spannung am Widerstand R 101 bei guter Symmetrierung Oszillogramm 3

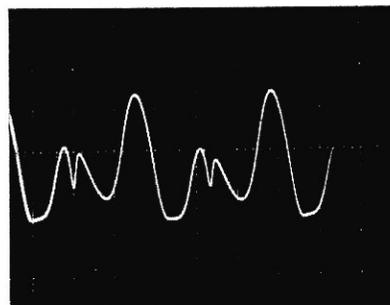


Bild 26 Spannung am Widerstand R 101 bei Hallplattensymmetrie-Fehleinstellung Oszillogramm 4

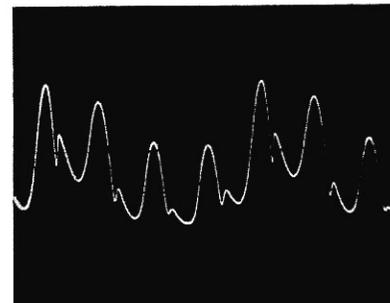


Bild 27 Spannung am Widerstand R 101 bei EMK-Symmetrie-Fehleinstellung Oszillogramm 5

auch für die beiden anderen Geschwindigkeiten, erfolgt dann mit oben aufgeführten Widerständen.

Durch mechanische und elektrische Fertigungs-Toleranzen läuft der Motor nicht „ideal-rund“. Ein Ausgleich der Toleranzen erfolgt auf elektrischem Wege durch die Symmetrierung.

Ein Maß für die Güte der Symmetrierung sind die am Widerstand R 101 abgenommenen Stromimpulse. Bei guter Symmetrierung sind die Impulse in Form und Höhe nahezu gleich (siehe Oszillogramm 3, Bild 25). Zuerst wird bei 4,75 cm/s mit R 110 die Hallsymmetrie eingestellt. Oszillogramm 4 zeigt eine typische Hallsymmetrie-Fehleinstellung. Danach erfolgt die Einstellung der EMK-Symmetrie mit den Widerständen R 105 und R 111. Beide werden abwechselnd so eingestellt, daß das Oszillogramm möglichst gleichmäßige Stromimpulse zeigt. Oszillogramm 5 zeigt eine typische EMK-Symmetrie-Fehleinstellung.

Die mechanische Einstellung der Hallgeneratorplatte (siehe Bild 19 auf Seite 959) sowie des Hallgenerators H 2 erfolgt beim Motorenhersteller. Eine nachträgliche Veränderung darf nicht vorgenommen werden.

Im schnellen Vor- und Rücklauf des Tonbandgerätes (Umspultbetrieb) wird die Regelung mit dem st 3-Kontakt und dem Widerstand R 118 überbrückt. Die Steuer- sowie Leistungstransistoren werden dann im Schaltmoment voll durchgesteuert und der Motor läuft mit seiner maximalen Drehzahl.

Im schnellen Vorlauf des Gerätes muß außerdem noch die Drehrichtung des Motors geändert werden. Dies geschieht durch Umpolung der Hallspannungen mit dem V/1...V/4 Schalter.

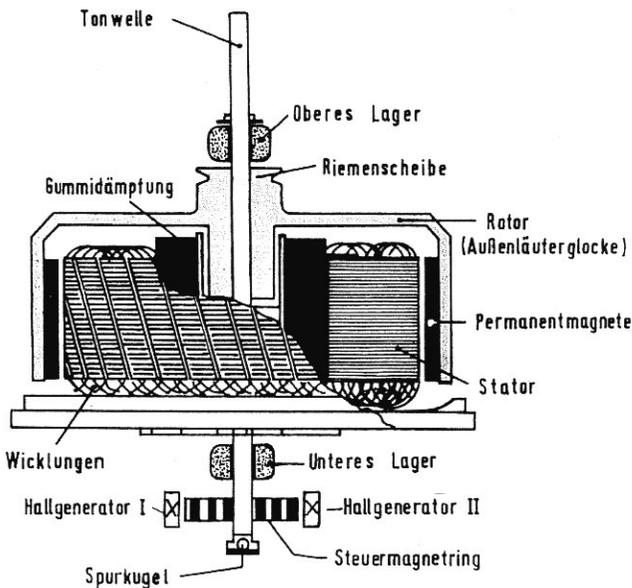


Bild 28 Schnittdarstellung des TK-3200-Motors

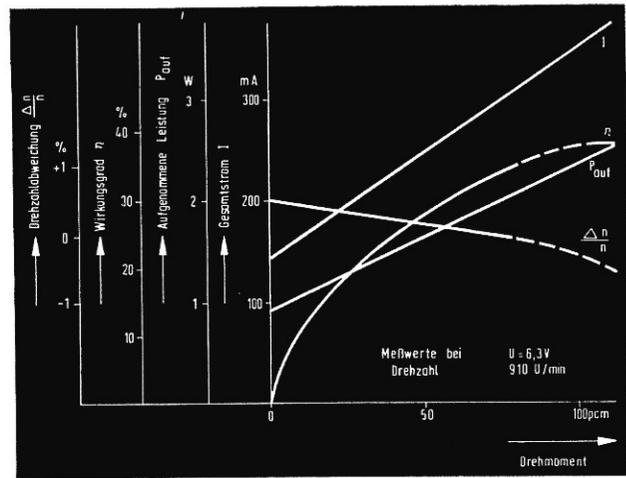


Bild 29 Kennlinien des TK-3200-Tonwellenmotors

Elektrische Abbremsung beim Ausschalten

Die Motoreinheit erhält über den Kontakt k 1 und über die Kontakte d 1 und d 2 ihre Betriebsspannung. Beim Ausschalten werden zwei der vier Motorwicklungen mit den Kontakten d 1 und d 2 kurzgeschlossen. Dies verhindert ein „Nachlaufen“ des Motors, er wird somit nach dem Ausschalten sofort abgebrems.

Eigenschaften des Tonwellenmotors

Die wichtigsten Größen kann man dem Diagrammfeld (Bild 29) entnehmen.

Der Motor wurde für ein Nennmoment von 85 pcm bei einer Arbeitsspannung von 6,3 ... 10 V ausgelegt. Man sieht, daß die Drehzahl bei Belastungsänderungen von 0 auf 85 pcm nur um ca. 0,5 % geringer wird. Der Wirkungsgrad ist mit ca. 35 % für einen solchen geregelten Motor sehr hoch, was durch geringe Lager-, Eisen- und Stromwärmeverluste erreicht wurde. Dies kommt einer langen Lebensdauer der Batterien zu gute.

Für das dynamische Verhalten des Regelkreises (Gleichlaufverhalten bei Störgrößen) kann folgender Wert angegeben werden:

Bei einer Drehzahl von 455 U/min beträgt die dynamische Drehzahländerung pro 1 pcm Laständerung nur ca. 0,15 % (für Frequenzen bis 8 Hz).

(Fotos 17, 18, 19, 20 u. 23 H. Sinning)

Daten des TK 3200-Tonwellenmotors (Tabelle 2)

1. Drehzahlen

$n_1 = 910 \text{ U/min für } 19 \text{ cm/s}$
 $n_2 = 455 \text{ U/min für } 9,5 \text{ cm/s}$
 $n_3 = 227,5 \text{ U/min für } 4,75 \text{ cm/s}$ } geregelt
 $n_4 \geq 1300 \text{ U/min; } 9 \text{ V; } 120 \text{ pcm}$ ungerregelt,
 Die geregelten Drehzahlen haben einen Einstellbereich von $\pm 5 \%$.

2. Spannungen

$U = 6,3 (7) \text{ V} \dots 10 \text{ V}$ bei 19 cm/s
 $U = 5,8 \dots 10 \text{ V}$ bei 9,5 und 4,75 cm/s

3. Drehzahlabweichungen

$\Delta n = \pm 1 \%$ (19 und 9,5 cm/s) } T Umg. = + 5 ... + 45 ° C
 $\Delta n = \pm 1,5 \%$ (4,75 cm/s) }
 $\Delta n = \pm 2 \%$ (19 und 9,5 cm/s) } T Umg. = - 20 ... + 5 ° C
 $\Delta n = \pm 2,5 \%$ (4,75 cm/s) } und + 45 ... + 55 ° C

4. Stromaufnahme

$I_N \leq 305 \text{ mA}$ (9 V; 910 U/min; 85 pcm)
 $I_o \leq 140 \text{ mA}$ (9 V; 910 U/min; 0 pcm)
 $I_u \leq 520 \text{ mA}$ (ungerregelt 9 V; 150 pcm)

5. Gleichlauf

Die Gleichlaufwerte betragen im Gerät TK 3200 gemessen mit Bewertungsfilter:

$\leq \pm 0,35 \%$ (4,75 cm/s U = 6,0 ... 10 V)
 $\leq \pm 0,20 \%$ (9,5 cm/s U = 6,0 ... 10 V)
 $\leq \pm 0,15 \%$ (19 cm/s U = 6,4 ... 10 V)

6. Geräuschentwicklung

Der Motor erzeugt im Gerät TK 3200 $\leq 40 \text{ Phon}$, gemessen nach DIN 45 633.

7. Verhalten bei Taumelbewegungen

Bei Rüttelschwingen von 4 Hz mit max. Beschleunigung von $\pm 5 \text{ m/s}^2$ in allen drei Raumachsen, sowie bei Drehschwingungen mit einem Radius von 900 mm um eine zur Tonwelle parallele Achse mit einer Schwingungsdauer von ca. 2 s und einer Amplitude von $\pm 30^\circ$ erhöht sich der Gleichlauffehler um $\leq 0,25 \%$ gegenüber den Werten von Punkt 5.

8. Zulässige Erschütterung

Der Motor verträgt im Gerät Erschütterungen bis max. 20 m/s^2 ohne Beschädigung.

9. Lebensdauer

≥ 3000 Betriebsstunden.