

# Drehzahlregler für Gleichstrom-Bohrmaschinen

*Elektronische, lastunabhängige Stabilisierung der eingestellten Drehzahl, verlustarme Regelung sowie gute Regeleigenschaften, auch im niedrigen Drehzahlbereich, zeichnen diesen elektronischen Regler für Kollektor-Gleichstrommotoren besonders aus, wobei der Nachbau erstaunlich günstig durchgeführt werden kann.*

## Allgemeines

Mit Niederspannung betriebene Gleichstrommotore, die, von wenigen Ausnahmen einmal abgesehen, fast ausschließlich als Kollektor-Motoren im Einsatz sind, finden in fast allen Bereichen des täglichen Lebens ihre Anwendungen. Morgens beginnend mit der elektrischen Zahnbürste begleiten uns Elektromotoren auf der Fahrt im Auto (Scheibenwischer, Lüfter, Fensterheber usw.) bis hin zur Arbeit (Büromaschinen, kleine Elektrowerkzeuge usw.).

Die hier vorgestellte, im ELV-Labor entwickelte Drehzahlregelung für Kollektor-Gleichstrommotoren ist speziell für Niederspannungs-Elektromotoren ausgelegt, bei denen es auf einen möglichst großen Regelumfang der Drehzahl ankommt. Gleichstrom-Bohrmaschinen bieten hier ein Haupteinsatzgebiet, wobei aber auch Modellbahnen, Modellautos, Kleinwerkzeuge usw., kurz, alles was mit entsprechenden Elektromotoren betrieben wird, angeschlossen werden kann.

In der Grunddimensionierung ist die Schaltung für einen Versorgungsspannungsbereich von 10 bis 15 V (typ. 12 V) ausgelegt. Eine Erweiterung bis auf 25 V durch Verändern eines einzigen Widerstandes ist möglich. Auch in Richtung kleinerer Spannungen (bis auf 5 V) kann die Schaltung mit einfachen Mitteln modifiziert werden.

Aufgrund der guten automatischen Drehzahlnachführung, über einen hochwertigen elektronischen Regler, ergibt sich ein ausgezeichnetes Regelverhalten. Selbst Dreh-

zahlen im Bereich von weniger als 100 Upm sind problemlos einstellbar. Die Regelung arbeitet selbstverständlich im gesamten Drehzahlbereich des angeschlossenen Elektromotors, so daß sie universell einsetzbar ist.

## Prinzipielle Funktionsweise

Im einfachsten Fall wird zur Drehzahlregelung eines Elektromotors dessen Betriebsspannung verändert. Je nach Betriebszustand bedeutet dies u. a. hohe Verlustleistungen im Längstransistor.

Günstiger ist da schon die Puls-Breiten-Steuerung, die mit einer Frequenz in der Größenordnung von 100 Hz arbeitet. Bei maximaler Drehzahl ist der Impuls lang und die Pause sehr kurz. Soll der Motor langsamer laufen, wird die Pause verlängert und der Impuls verkürzt. Die Verlustleistung bleibt auf diese Weise selbst bei niedrigen Drehzahlen gering, während das Anlaufverhalten günstig beeinflusst wird.

Besonders bei niedrigen Drehzahlen ist jedoch auch diese Steuerung wenig befriedigend, da die Elektromotoren im unteren Bereich kaum Durchzugsvermögen besitzen.

Um im gesamten Drehzahlbereich, d. h. auch bei niedrigen und niedrigsten Drehzahlen dem Motor ein hohes Durchzugsvermögen zu verleihen, ist eine elektronische Regelung, d. h. eine automatische Nachführung der Ansteuerleistung unumgänglich.

Voraussetzung hierfür ist die Kenntnis der tatsächlichen Drehzahl, damit bei einem Absinken die Ansteuerleistung erhöht

werden kann, um so wieder die gewünschte Drehzahl (Soll-Drehzahl) zu erreichen.

Die Abfrage der tatsächlichen Drehzahl (Ist-Drehzahl) wird häufig über einen Tachogenerator vorgenommen. Für viele Anwendungen ist dies Verfahren jedoch zu aufwendig. Die Ingenieure des ELV-Teams haben daher eine Schaltung entwickelt, die auf einem ähnlichen Verfahren beruht, jedoch keinen separaten Tachogenerator benötigt. Die Funktionsweise ist wie folgt:

Ca. 125 mal in der Sekunde wird der angeschlossene Elektromotor für eine kurze, über den elektronischen Regler variable Zeitdauer eingeschaltet. Nach jedem Ansteuerimpuls wird eine weitere kurze Zeitspanne abgewartet, damit der Induktionsstrom der Wicklung abfließen kann. Danach arbeitet der betreffende Motor als Generator und gibt eine Spannung ab, die seiner momentanen Drehzahl direkt proportional ist. Diese Spannung wird über einen elektronischen Schalter für einen kurzen Moment auf einen Speicherkondensator gegeben, dessen Spannung dann ein Maß für die Ist-Drehzahl des Motors darstellt.

Ein elektronischer Regler vergleicht die über das Poti vorgegebene, der Soll-Drehzahl entsprechende Spannung mit der zurückgeführten, der Ist-Drehzahl entsprechenden Spannung. Die aus diesen beiden Informationen gewonnene Regelspannung dient zur Einstellung der Breite der Ansteuerimpulse. Hierdurch kann die tatsächliche Drehzahl des angeschlossenen Elektromotors von der Belastung weitgehend unabhängig konstant gehalten werden. In Bild 1 ist ein Diagramm der verschiedenen Impulsformen zur besseren Veranschaulichung dargestellt.

## Zur Schaltung

OP1 stellt mit seiner Zusatzbeschaltung einen Sägezahngenerator dar, dessen Spannung über C4 abgegriffen und auf die beiden Steuereingänge (Pin 6 und Pin 9) der OPs 2 und 3 gegeben wird.

Durch Vergleichen mit einer an Pin 10 anliegenden Referenzspannung gewinnt OP3 aus dieser Information die Ansteuerimpulse für den elektronischen Schalter (IC5).

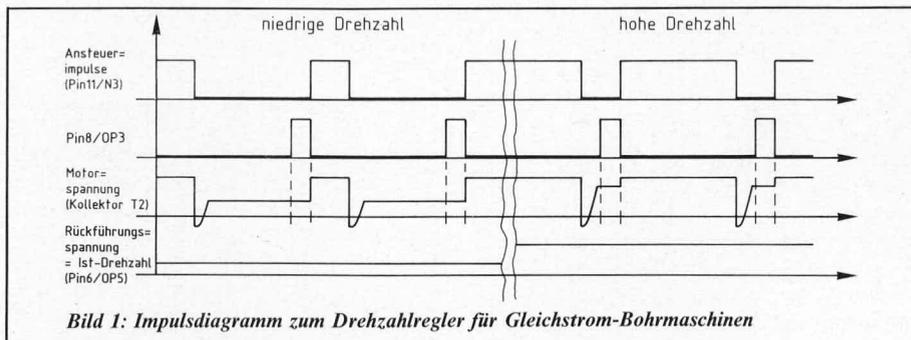
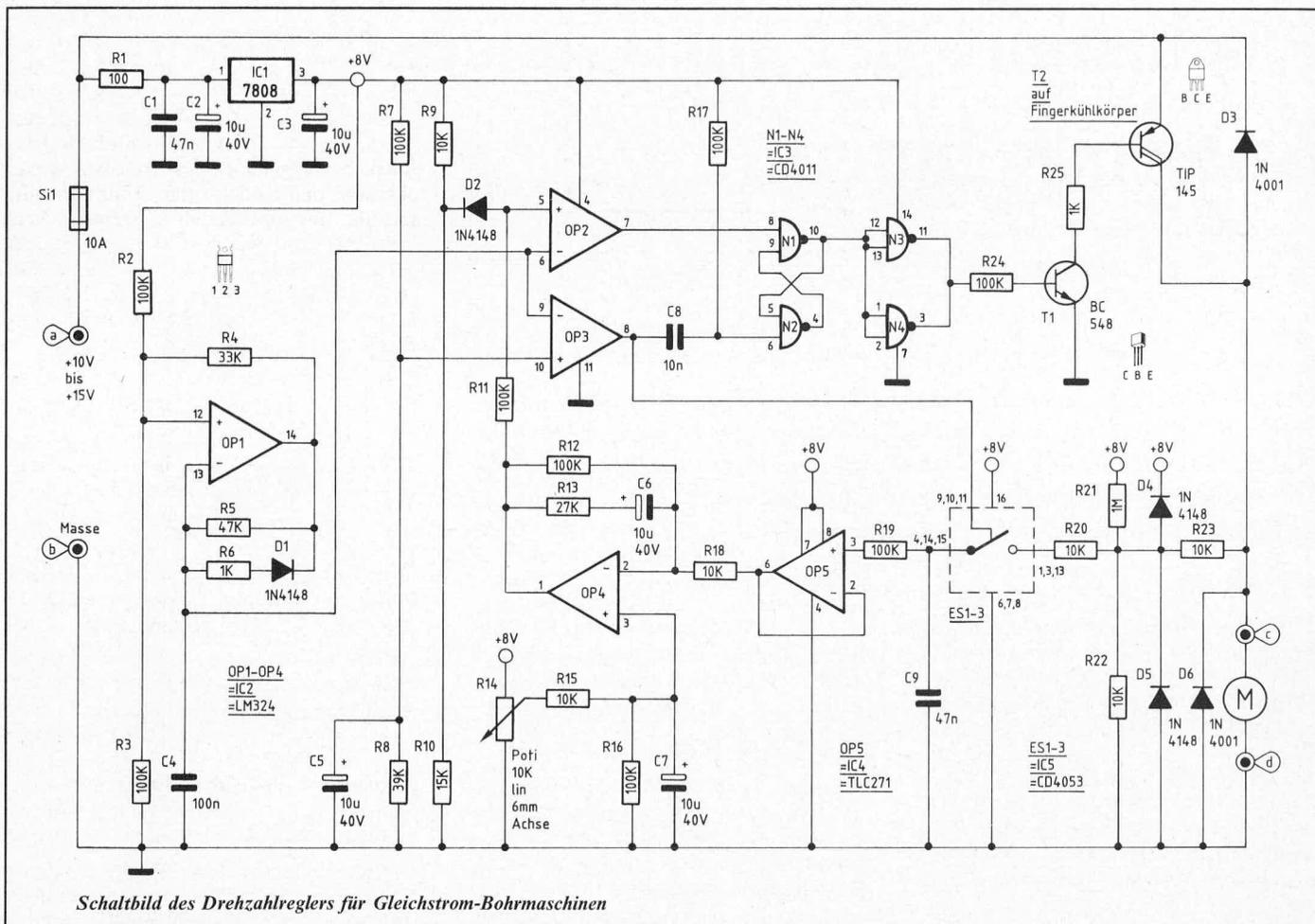


Bild 1: Impulsdiagramm zum Drehzahlregler für Gleichstrom-Bohrmaschinen



Schaltbild des Drehzahlreglers für Gleichstrom-Bohrmaschinen

Über das Differenzglied C 8, R 17 wird daraus bei jeder negativen Flanke ein Start-Impuls zum Setzen des Speichers N 1/N 2 gewonnen. Dies ist jeweils der Einschaltzeitpunkt eines jeden Ansteuerimpulses für den Elektromotor.

Das Impulsende wird mit OP 2 festgelegt und zwar durch Vergleichen der an Pin 5 (des OP 2) anstehenden Regelspannung mit der Sägezahn-Steuerspannung an Pin 6.

Zur Veranschaulichung sind die einzelnen Kurvenverläufe nochmals in Bild 2 graphisch dargestellt.

Die Gewinnung der Regelspannung geschieht durch Vergleichen von 2 Spannungen

mit Hilfe eines PI-Reglers (OP 4 mit Zusatzbeschaltung), dessen maximale Verstärkung aus Stabilitätsgründen mit R 12 begrenzt ist.

Die erste mit dem Einstellpoti R 14 vorgegebene Spannung steht an Pin 3 der OP 4 an und entspricht der Soll-Drehzahl (gewünschte Drehzahl).

Die zweite Spannung wird im Generatorbetrieb über R 20 bis R 23 vom Motor abgegriffen und auf den elektronischen Schalter (IC 5) gegeben. Jeweils während der Impulspausen (Ansteuerung durch den Ausgang Pin 8 des OP 3) wird die Generatorspannung abgefragt und auf den Speicherkondensator C 9 gegeben. OP 5 dient

hierbei lediglich zur hochohmigen Impedanzanpassung und Pufferung.

Über R 18 gelangt dann die Generatorspannung, die der Ist-Drehzahl entspricht, auf den zweiten Eingang (Pin 2) des OP 4.

Der Ausgang (Pin 1) des OP 4 stellt sich automatisch so ein, daß die tatsächliche Drehzahl des angeschlossenen Elektromotors weitgehend identisch ist mit der Soll-Drehzahl, die über R 14 als Spannungswert vorgegeben wurde.

Wird bei einer bestimmten Drehzahl die Belastung des Motors erhöht, sinkt die Drehzahl ab und damit die Generatorspannung. Dies bedeutet auch ein Absinken der Spannung an Pin 6 der OP 5, wodurch die Ausgangsspannung an Pin 1 des OP 4 ansteigt. Dies wiederum hat eine Verlängerung der Ansteuerimpulse zur Folge, so daß die dem Motor zur Verfügung gestellte Ansteuerleistung steigt. Die Drehzahl erhöht sich wieder nahezu auf den ursprünglichen Wert.

Je höher die Verstärkung des mit OP 2 aufgebauten Reglers angesetzt wird, desto „steifer“ wird die Regelkennlinie des Elektromotors.

In der vorliegenden Dimensionierung wurde ein Optimum zwischen Stabilität und Nachregelverhalten angestrebt. Durch Vergrößern von R 12 kann das ohnehin schon gute Nachregelverhalten noch weiter verbessert werden, wobei nach oben hin Stabilitätsprobleme eine Begrenzung darstellen (die Drehzahl beginnt zu pumpen). Die Stabilität läßt sich hingegen erhöhen, wenn R 12 verkleinert wird. In der Praxis

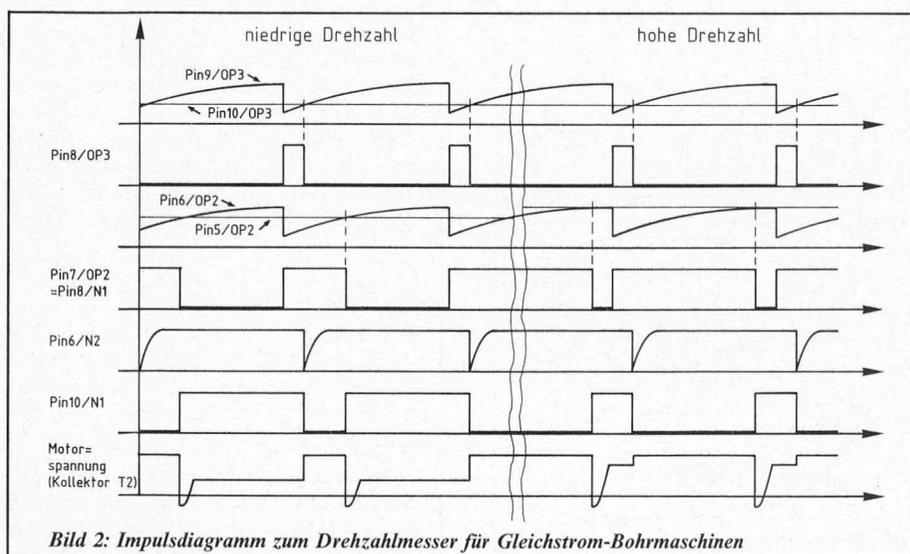


Bild 2: Impulsdiagramm zum Drehzahlmesser für Gleichstrom-Bohrmaschinen

sollte für R 12 ein Wert von 10 k $\Omega$  nicht unter- und ein Wert von 220 k $\Omega$  nicht überschritten werden.

Die an Pin 10 des Speichers N 1/N 2 anstehenden Steuerimpulse werden über N 3, N 4 invertiert und gepuffert, um anschließend über R 24 auf die Basis des Steuertransistors T 1 zu gelangen. Über R 25 steuert dieser den Endstufen-Darlington-Transistor T 2 an.

D 4 bis D 6 dienen zum Schutz der Schaltung vor induktiven Spannungsspitzen. Mit IC 1 wird die Spannung zur Versorgung der gesamten Elektronik stabilisiert.

In der vorliegenden Dimensionierung ist die Schaltung für den Betrieb mit einer 12 V Spannung ausgelegt (10 V bis 15 V).

Ohne weiteres kann die Versorgungsspannung bis auf maximal 25 V erhöht werden, wobei lediglich der Widerstand R 23 entsprechend der Tabelle I zu verändern ist.

Bei Spannungen unterhalb 10 V entfällt der Festspannungsregler IC 1 ersatzlos, d. h. die Plus-Anschlüsse der Kondensatoren C 2 und C 3 sind über eine Brücke miteinander zu verbinden. R 23 ist dann ebenfalls anhand der Tabelle I zu verändern. Der Betrieb kann bis hinab zu einer Versorgungsspannung von 5 V erfolgen. In diesem Fall ist auf eine gute Stabilisierung zu achten.

Die maximale Strom-Impulsbelastbarkeit beträgt 10 A, während der maximale Dauerstrom bei 5 A liegt.

Abschließend sei noch angemerkt, daß

Tabelle I	
U <sub>v</sub> [V]	R 23 [k $\Omega$ ]
5-10 V	1 k $\Omega$
10-15 V	10 k $\Omega$
15-20 V	18 k $\Omega$
20-25 V	27 k $\Omega$

aufgrund der Impulsbreitensteuerung auch bei niedrigen Drehzahlen der Spitzenstrom verhältnismäßig hoch ist. Er liegt in der Größenordnung des Maximalstromes, obwohl der arithmetische Mittelwert viel geringer ist. Dieses Verhalten kann dazu führen, daß bei stabilisierten Netzgeräten mit elektronischer Sicherung bzw. Stromregelung ein vorzeitiges Ansprechen erfolgt. Abhilfe schafft im allgemeinen ein möglichst großer Elko (10 000  $\mu$ F/25 V) parallel zur Spannungsversorgung der Schaltung (Platinenanschlußpunkte „a“ und „b“).

### Zum Nachbau

Da sämtliche Bauelemente auf einer einzigen Platine untergebracht sind und keinerlei Abgleicherarbeiten auftreten, gestaltet sich der Nachbau recht einfach.

Zunächst werden die niedrigen Bauelemente, wie Brücken, Widerstände und Kondensatoren, anschließend die ICs und zum Schluß die Elkos sowie die restlichen Bauelemente auf die Platine gesetzt und verlötet. Der Leistungs-Darlington-Endstufen-

transistor T 2 wird auf den Kühlkörper gesetzt und mit 2 Schrauben M 3 x 8 mm sowie 2 Muttern M 3 festgeschraubt. Der mittlere Anschluß (Kollektor) von T 2 wird ersatzlos abgekniffen, da die Befestigungsschraube eine leitende Verbindung zwischen Metallgehäuse des Transistors, das ebenfalls den Kollektorschluß darstellt, und der entsprechenden Leiterbahn, herstellt. Sicherheitshalber sollte die M 3 Mutter mit etwas Lötzinn auf der Leiterbahn festgelötet werden. Emitter und Basisanschluß des Transistors werden zuletzt mit den Leiterbahnen verlötet.

Das Einstellpotentiometer R 14 wird von der Platinenrückseite eingesetzt und auf der Bestückungsseite verschraubt.

Zum Einbau der Platine ins Gehäuse dienen 4 Abstandsrollchen (5 mm lang) sowie 4 Schrauben M 3 x 10 mm.

Nachdem die Bestückung nochmals sorgfältig kontrolliert wurde, steht dem Einsatz dieser interessanten elektronischen Drehzahlregelung mit Stabilisierung nichts mehr im Wege.

### Stückliste: Drehzahlregler für Gleichstrom-Bohrmaschinen

#### Widerstände

100 $\Omega$ .....	R 1
1 k $\Omega$ .....	R 6, R 25
10 k $\Omega$ .....	R 9, R 15, R 18, R 20, R 22, R 23
15 k $\Omega$ .....	R 10
27 k $\Omega$ .....	R 13
33 k $\Omega$ .....	R 4
39 k $\Omega$ .....	R 8
47 k $\Omega$ .....	R 5
100 k $\Omega$ .....	R 2, R 3, R 7, R 11, R 12, R 16, R 17, R 19, R 24
1 M $\Omega$ .....	R 21
10 k $\Omega$ , Poti, 6 mm, lin .....	R 14

#### Kondensatoren

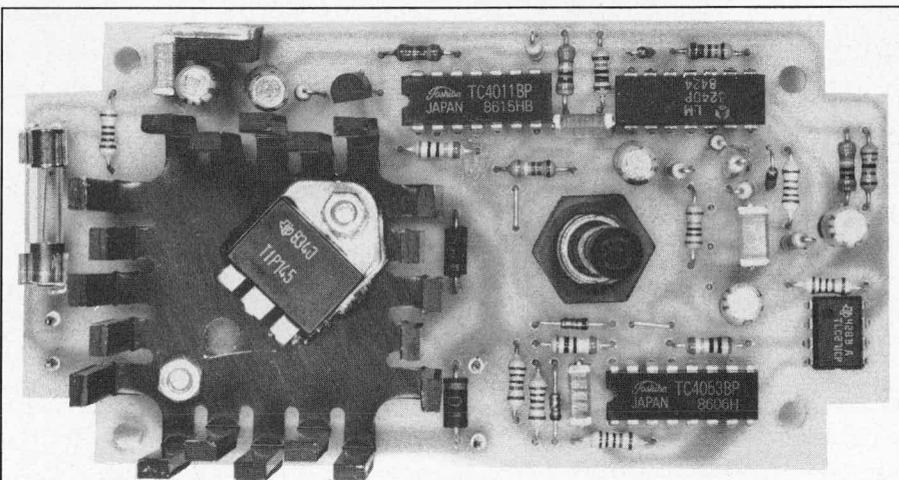
10 nF .....	C 8
47 nF .....	C 1, C 9
100 nF .....	C 4
10 $\mu$ F/40 V .....	C 2, C 3, C 5-C 7

#### Halbleiter

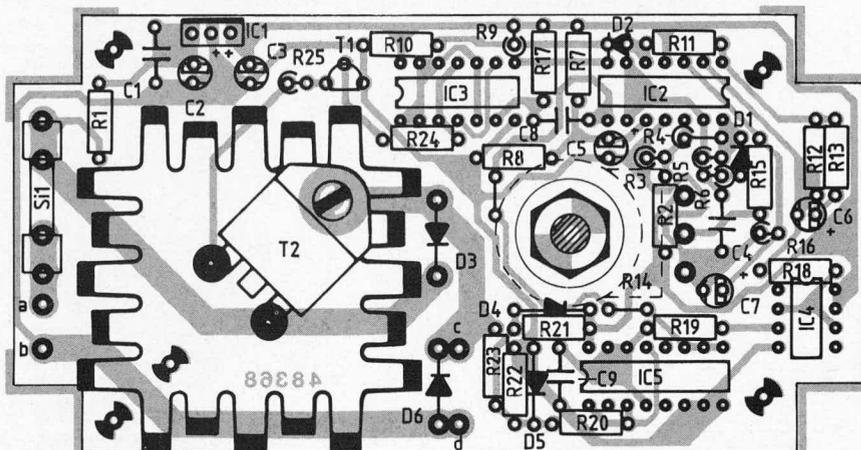
TLC 271 .....	IC 4
LM 324 .....	IC 2
CD 4011 .....	IC 3
CD 4053 .....	IC 5
7808 .....	IC 1
TIP 145 .....	T 2
BC 548 .....	T 1
1 N 4001 .....	D 3, D 6
1 N 4148 .....	D 1, D 2, D 4, D 5

#### Sonstiges

10 A Sicherung .....	Si 1
1 Fingerkühlkörper	
1 Platinensicherungshalter	
4 Lötstifte	
4 Abstandsrollchen 5 mm	
4 Schrauben M 3 x 10	
2 Schrauben M 3 x 8	
2 Muttern M 3	
4 Telefonbuchsen	
1 Spannzangendrehknopf, 14 mm $\varnothing$	
1 Pfeilscheibe, 14 mm $\varnothing$	
1 Deckel, 14 mm $\varnothing$	



Ansicht der fertig bestückten Platine des Drehzahlreglers für Gleichstrom-Bohrmaschinen



Bestückungsseite der Platine des Drehzahlreglers für Gleichstrom-Bohrmaschinen