

4 Servoantriebe mit Gleichstrommotor

4.1 Aufbau und Anwendungsbereich

Servoantriebe mit Gleichstrommotor waren bis in die 80-er Jahre dominierenden Servoantriebe. Sie sind einfach regelbar und die erforderlichen Servosteller können sehr gut mit analoger Schaltungstechnik aufgebaut werden. Heute sind sie weitgehend von Servoantrieben mit Synchronmotoren verdrängt. Allerdings werden immer noch Gleichstromservoantriebe mit analogen Stellgeräten am Markt angeboten. Ihre Abgrenzung zu den drehzahlveränderlichen Antrieben mit Gleichstrommotor ist eher schwierig.

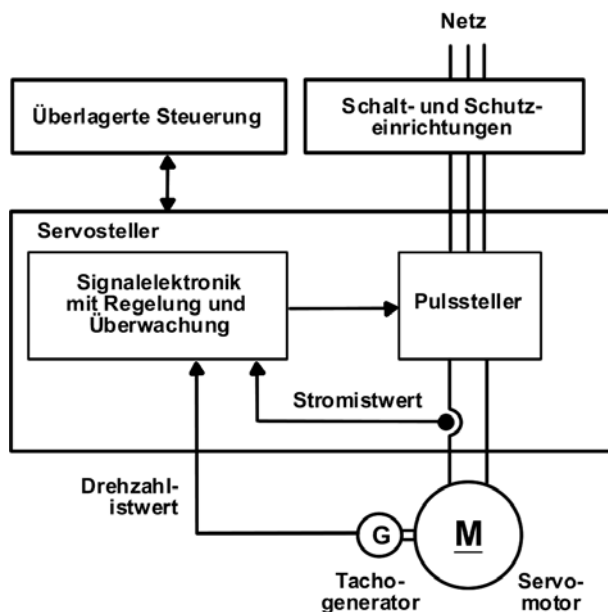


Abb. 4.1
Servoantriebe mit Gleichstrommotor

4.2 Gleichstrommotoren für Servoantriebe

Gleichstrommotoren für Servoantriebe entsprechen in ihrer Funktionsweise den klassischen Gleichstrommotoren. Deshalb sei an dieser Stelle auf die entsprechenden Abschnitte in Kap. 4 LB 1 verwiesen.

Gleichstrommotoren für Servoantriebe sind grundsätzlich mit Permanentmagneten ausgestattet. Neben den bereits vorgestellten Glockenläufer- und Scheibenmotoren kommen auch so genannte Schlankankermotoren zum Einsatz. Sie zeichnen sich durch eine längliche Bauform und einen trägheitsarmen Anker aus. Als Motorgeber ist dient ein Tachogenerator, der fest mit dem Motor verbunden ist.

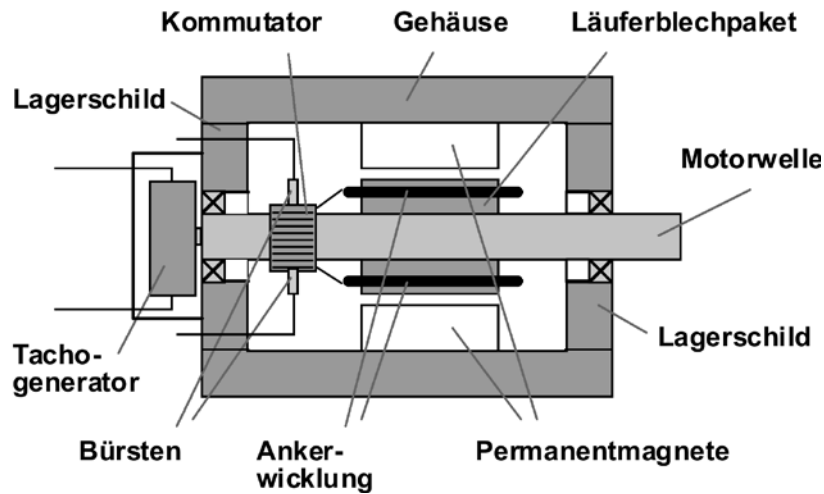


Abb. 4.2
Konstruktiver Aufbau eines Gleichstrom-Schlankanker-motors

4.3 Pulssteller für Servoantriebe mit Gleichstrommotor

Ein wesentlicher Unterschied zwischen klassischen drehzahlveränderlichen Antrieben und Servoantrieben mit Gleichstrommotor liegt im Stellgerät. Servoantriebe verwenden keinen Stromrichter sondern Pulssteller zur Beeinflussung der Motorspannung. Pulssteller arbeiten wesentlich dynamischer und sind von der Frequenz der Netzspannung entkoppelt.

Aufbau

Pulssteller wandeln die Wechselfspannung des speisenden Netzes in eine pulsierende Gleichspannung um. Diese Umwandlung geschieht ähnlich wie bei Frequenzumrichtern in einem zweistufigen Prozess:

1. In einem ersten Schritt wird die Netzspannung in einem Gleichrichter in eine Gleichspannung gewandelt.
2. Im zweiten Schritt wird aus der Gleichspannung eine pulsierende Gleichspannung erzeugt und an den Gleichstrommotor weitergegeben.

Genaugenommen besteht der Servosteller für Gleichstrommotoren aus dem Gleichrichter, Zwischenkreis und Pulssteller. Trotzdem wird oft das Gesamtgerät einfach als Pulssteller bezeichnet.

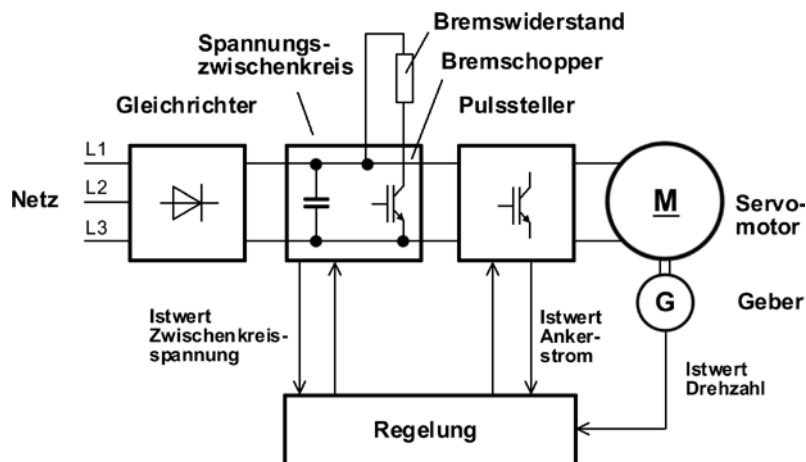


Abb. 4.3
Hauptkomponenten des Servoantriebes mit DC-Motor

Der Gleichrichter und die Zwischenkreiselemente wie Zwischenkreiskondensator, Bremschopper und Bremswiderstand haben die gleiche Funktion wie bei Frequenzumrichtern. Ihre Funktionsbeschreibung kann im Kap. 5.3 nachgelesen werden.

Der Pulssteller wandelt die Zwischenkreisspannung in eine pulsierende Ausgangsspannung um. Er besteht aus 4 Transistoren und 4 Freilaufdioden. Jeweils zwei Transistoren sind in Reihe geschaltet. Parallel zu jedem Transistor ist eine Freilaufdiode angeordnet. Sie weist jeweils die entgegengesetzte Stromflussrichtung des zugehörigen Transistors auf.

Funktionsweise

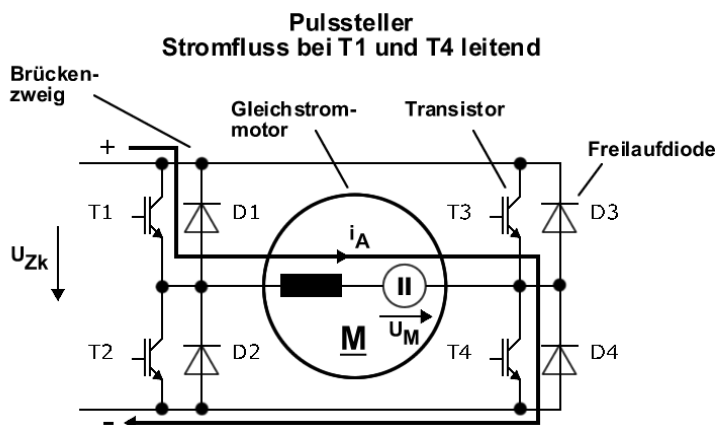


Abb. 4.4
Ansteuerung der Transistoren

Jeweils 2 Transistoren und 2 Dioden bilden einen Brücken-zweig. Zwischen den Brücken-zweigen ist der Gleichstrommotor angeschlossen.

Die Transistoren werden "über Kreuz" angesteuert. Das heißt, abwechselnd sind entweder Transistor T_1 und T_4 oder Transistor T_3 und T_2 eingeschaltet. An den Klemmen des Gleichstrommotors liegt damit entweder die positive oder die negative Zwischenkreisspannung U_{Zk} an.

Pulssteller arbeiten zyklisch. Sie schalten mit einer festen Frequenz fortlaufend die positive und negative Zwischenkreisspannung an die Motorklemmen. Aus Sicht des Motors erzeugen sie damit eine pulsierende Ausgangsspannung u_A . Aufgrund der hohen Schaltfrequenz (größer 2 kHz) ist jedoch nur der Mittelwert der Ausgangsspannung $U_{Amittel}$ wirksam. Dieser wird durch die relative Einschalt-dauer der Transistorpaare T_1 - T_4 und T_3 - T_2 bestimmt.

Spannungsverlauf

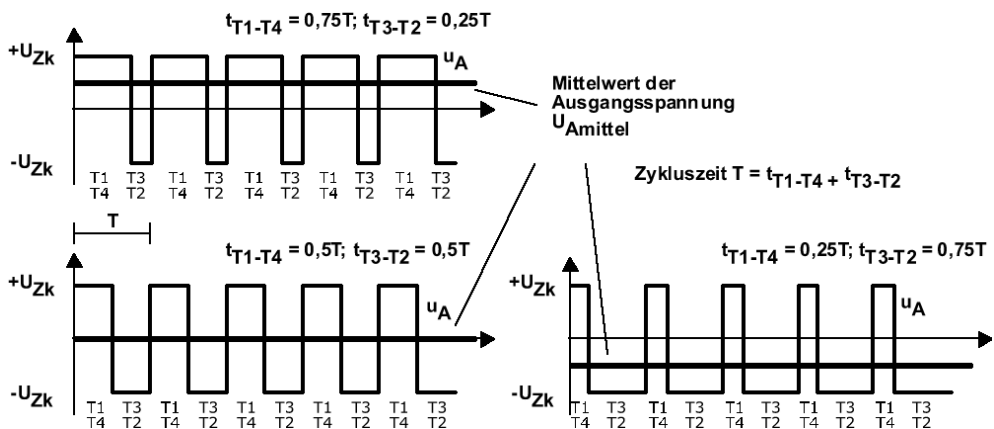


Abb. 4.5
Verstellung der Ausgangs-spannung

Durch unterschiedlich lange Einschaltzeiten des einen oder anderen Transistorpaares kann die mittlere Ausgangsspannung U_{Amittel} beliebig variiert werden.

Für sie gilt:

$$U_{\text{Amittel}} = U_{\text{Zk}} \cdot \frac{t_{\text{T1-T4}} - t_{\text{T3-T2}}}{t_{\text{T1-T4}} + t_{\text{T3-T2}}} = U_{\text{Zk}} \cdot \frac{t_{\text{T1-T4}} - t_{\text{T3-T2}}}{T} \quad (T: \text{Zykluszeit})$$

Das beschriebene Verfahren wird als Pulsbreitenmodulation bezeichnet, da über die Einschaltdauer die Breite eines Spannungsimpulses bestimmt wird.

Stromverlauf

Der Stromfluss durch den Pulssteller ergibt sich in Abhängigkeit vom aktuellen Betriebszustand des Gleichstrommotors. Je nach aktueller Drehzahl wird eine entsprechend große Motorspannung U_M in der Ankerwicklung induziert. Damit ergibt sich eine Reihenschaltung zweier Spannungsquellen. Es gilt bei Vernachlässigung des Ankerwiderstandes:

$$U_{\text{zk}} - U_M = L_A \cdot di_A/dt$$

Der Ankerstrom i_A ist innerhalb eines Schaltzustandes der Transistoren näherungsweise linear, steigt oder fällt jedoch in Abhängigkeit davon, ob an den Motorklemmen im Augenblick die positive oder negative Zwischenkreisspannung wirksam ist.

An den Umschaltzeitpunkten treten aufgrund der vorhandenen Motorinduktivität keine Sprünge im Stromverlauf auf. Die Ankerinduktivität L_A des Gleichstrommotors erzwingt, dass der Strom in seiner bisherigen Richtung weiterfließt. Das heißt, dass obwohl die Polarität der Klemmenspannung u_A umgedreht wurde, der Motorstrom i_A seine Polarität nicht ändert.

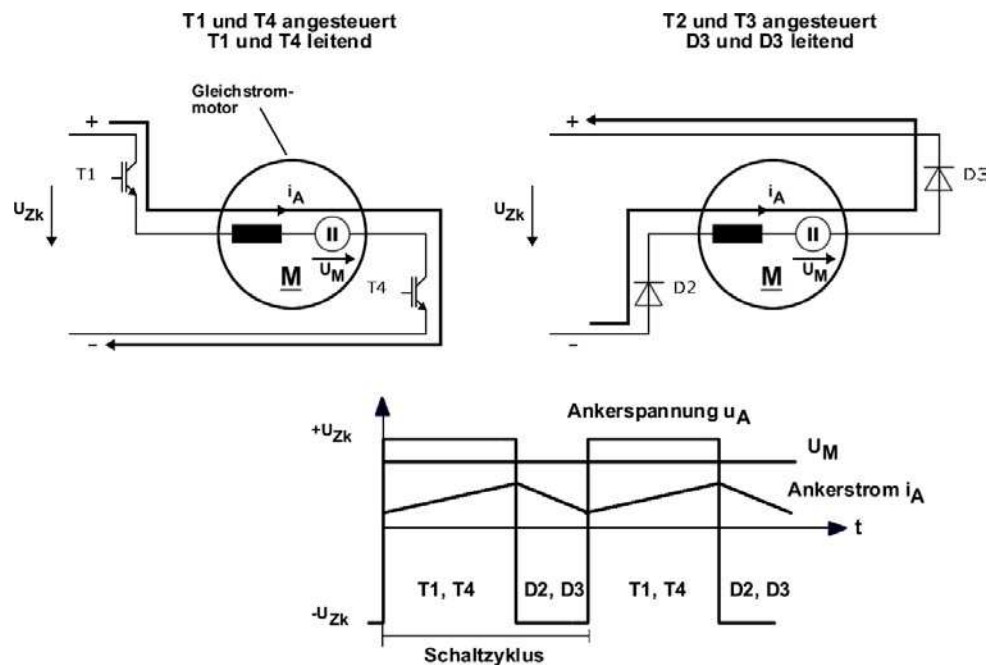


Abb. 4.6
Stromverlauf

Nach der Umschaltung stehen dem Motorstrom jedoch nur die Freilaufdioden als Strompfade zur Verfügung, da die bis dahin stromführenden Transistoren jetzt gesperrt sind und die neu eingeschalteten Transistoren den Strom in der aktuellen Fließrichtung nicht führen können. Freilaufdioden sind damit für die Funktion des Pulsstellers unbedingt erforderlich. Abwechselnd sind jeweils ein Transistorpaar und ein Diodenpaar stromführend.

Der Motorstrom weist einen „gezackten“ Verlauf auf und ist nicht ideal glatt. Je höher die Pulsfrequenz des Pulsstellers ist, umso mehr nähert sich der Strom dem idealen Gleichstrom an.

Hinweis

Einen Lückbetrieb wie beim Stromrichter gibt es beim Pulssteller nicht.

4.4 Regelungsstruktur

Die Regelungsstruktur eines Servoantriebes mit Gleichstrommotor entspricht weitgehend der des klassischen Gleichstromantriebes mit Stromrichter. Die Kaskadenstruktur bestehend aus Drehzahlregler mit unterlagertem Stromregler kommt auch hier zum Einsatz. Der Drehzahlregler gibt den Sollwert für den Ankerstrom i_A vor, der als Ersatzgröße für das einzustellende Drehmoment verwendet wird. Die Ausgangsgröße des Stromreglers ist die Sollankerspannung u_A , die vom Pulssteller über die relative Einschaltdauer eingestellt wird.

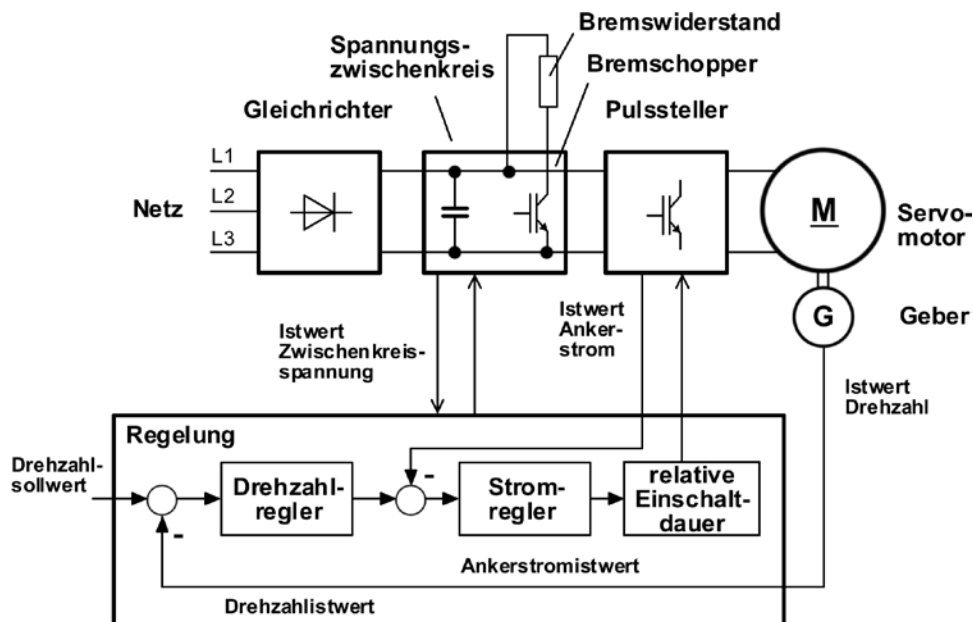


Abb. 4.7
Regelungsstruktur des Servoantriebes mit DC-Motor

Pulssteller sind selbstgeführte Stellglieder und müssen sich nicht auf das speisende Netz synchronisieren. Sie können sehr schnell auf die Anforderungen des Stromreglers reagieren und die Ankerspannung dynamisch verändern. So sind Stromanregelzeiten von 1 ms und weniger realisierbar. Gleichstromantriebe mit Pulssteller sind damit ca. 10 mal dynamischer als Antriebe mit Stromrichter. Servoantriebe mit Gleichstrommotor arbeiten nicht im Feldschwäcbereich.

Bei schnellen Bremsvorgängen fällt generatorische Leistung im Zwischenkreis an. Durch geeignete Ansteuerung des Bremschoppers baut die Regelung diese über den Bremswiderstand ab.

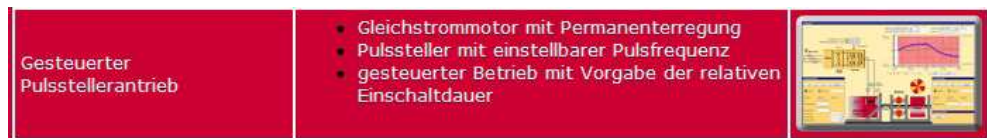
Servoantriebe mit Gleichstrommotor verfügen aufgrund ihrer Ausführung in Analogtechnik über keinen Lagegeber, so dass eine Lageregelung in der übergeordneten Bewegungssteuerung erfolgen muss und nicht vom Antrieb ausgeführt werden kann. Die Drehzahlregelung arbeitet aufgrund ihrer Realisierung mit Analogtechnik nicht sehr genau. Besonders im Stillstand kommt es zu Driftbewegungen.

4.5 Pulsstellerantrieb – Virtuelles Labor

Pulssteller werden zur Beeinflussung der Motorspannung eingesetzt. Dabei wird die Wechselfspannung in eine pulsierende Gleichspannung umgewandelt, diese wird dann weiter an den Motor gegeben. Die Pulssteller arbeiten zyklisch mit einer festen Frequenz. Im folgenden Beispiel möchten wir sowohl die positive als auch die negative Zwischenkreisspannung an den Motorklemmen beobachten. Dabei betrachten wir den Mittelwert (Ankerspannung).

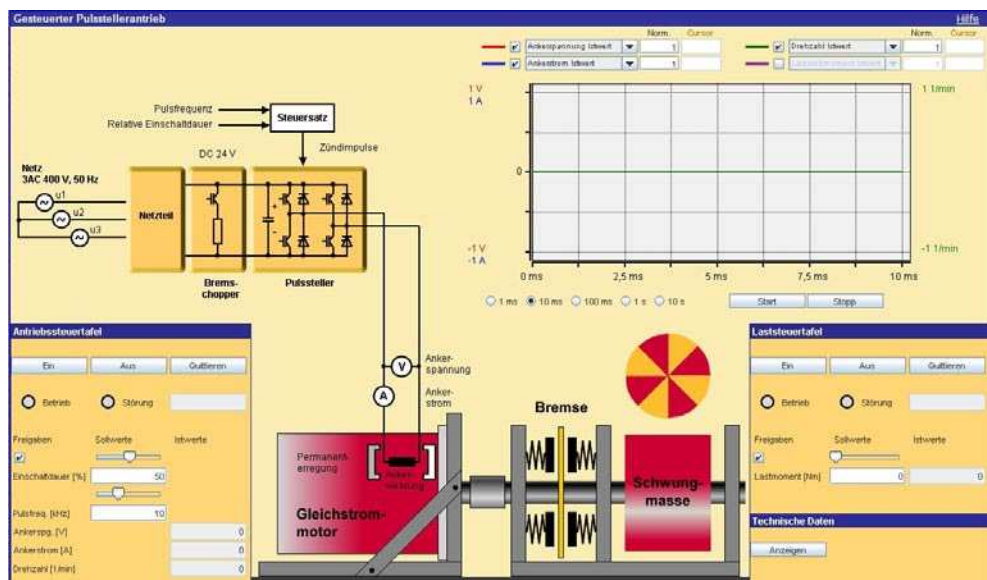
Starten Sie im Virtuellen Labor den Teststand Gesteuerter Pulsstellerantrieb.

Abb. 4.8
Teststand



Jetzt gelangen Sie auf den Teststand und sehen ihn im Überblick.

Abb. 4.9
Überblick Teststand



Die Antriebsteuertafel hat eine Grundeinstellung. In unserem Beispiel die Pulsfrequenz von 10 kHz. Das entspricht einer Zykluszeit $T = 0,1$ ms. Diese Frequenz verändern wir nicht. Das Verhältnis zwischen der Einschaltzeit und der Pausenzeit ist mit 50% ausgeglichen.