

Vortrag: 11. Internationale Fachtagung 12. bis 14. Februar 1991 in Chemnitz

## Industrielle Automatisierung - Automatisierte Antriebe

Untersuchungen zur Regelung von Pulsstromrichtern als nichtlineare strukturumschaltende Regleranordnung

Erich Boeck

Universität Rostock, Sektion Technische Elektronik

Bei einem Einsatz von Pulsstromrichtern kommt der Regelung eine große Bedeutung zu, wenn eine hohe Dynamik erreicht werden soll. In letzter Zeit werden neue theoretische Konzepte erprobt, die bis an die physikalischen Grenzen heranreichen /1/,/2/,/3/. Um den Stromrichter vollständig für die Regelung zu erfassen, erscheint es günstig, analog zur Darstellung in der Zustandsebene bei nichtlinearen strukturumschaltenden Reglern vorzugehen /4/.

Ein dreiphasiger Netzgleichrichter (Bild 1) kann als Regelanordnung nach Bild 2 mit der entsprechenden Darstellung im Zustandsraum aufgefaßt werden. Dabei besitzt der Regler 7 verschiedene Strukturen (6 komplexe Faktoren und Null entsprechend der 7 verschiedenen Schaltzustände des Stromrichters). Netzstrom und Zwischenkreisspannung sind zu regeln; Netzspannung und Laststrom werden zu Störgrößen. Das Gleichungssystem dieses Beispiels ist zweiter Ordnung und analytisch lösbar. Da die Zeit explizit in den Gleichungen enthalten ist, können die Trajektorien in Parameterform (Parameter: Zeit) dargestellt werden (Bild 3). Es ist sofort ersichtlich, daß keine Trajektorie den gewünschten Sollverlauf direkt ergibt. Zum zentralen Problem wird somit das Aufstellen einer Schaltstrategie, die ein möglichst enges Pendeln der Ausgangs- um die Sollgrößen ergibt. Für einen stationären Betrieb könnte man dieses als Grenzyklus auffassen.

Bild 3a zeigt die Trajektorien in der Realteil/Imaginärteil-Ebene des Netzstromes für ein mit  $\omega_{\text{Soll}} t$  umlaufendes Raumzeigersystem. Wenn Frequenz und Phase dem Sollverlauf möglichst eng folgen, muß der Imaginärteil des Netzstromes in der Nähe von Null bleiben. In Bild 3b ist zu sehen, daß

diese beiden in der Ebene -Realteil des Netzstromes/ Zwischenkreisspannung- nur miteinander gekoppelt beeinflußt werden können. Dabei würde im stationären Betrieb neben einer Regelung des Imaginärteils eine Regelung des Realteils des Netzstromes oder der Zwischenkreisspannung ausreichen, um beide eng an dem Sollwert zu halten (Bild 4a). Anders ist es bei Auslenkungen durch Störungen (z.B. in Bild 4b ein zusätzliches  $\Delta i_{L \text{ zus.}}$  etwa durch eine Vergrößerung des Laststromes). Ein Regeln allein des Realteil des Netzstromes oder nur der Zwischenkreisspannung in ihren Differenzbändern würde zu einer Abweichung oder zum "Weglaufen" der jeweils anderen Größe führen. Das ergibt sich daraus, daß zur Vergrößerung des Realteils des Netzstromes nur Trajektorien zur Verfügung stehen, die  $U_d$  verkleinern und umgekehrt. Erst durch eine gewisse Zeit mit zu großem Realteil des Netzstromes (gegenüber dem Laststrom) kann sich der Zwischenkreiskondensator nachladen und so  $U_d$  wieder steigen. In /1/ erfolgt deshalb eine überlagerte herkömmliche  $U_d$  - Regelung, die den Sollwert für den Netzstrom liefert, so daß nur der Netzstrom geregelt werden braucht.

Im Vortrag werden Schaltstrategien diskutiert, die das aufgezeigte Problem lösen können (z.B. Bild 4e), und deren Eigenschaften untersucht.

- /1/ D.Schröder: Hochdynamischer Asynchronmaschinenantrieb mit netz- und maschinenseitigem Wechselrichter, Vortrag 10. Int. Fachtagung IAA 1989 in Karl-Marx-Stadt
- /2/ R.Kennel: Prädiktives Führungsverfahren für Stromrichter, Diss. 1983, Universität Kaiserslautern
- /3/ M.Schrödl: Ein prädiktives Stromregelverfahren für hochdynamische Drehstromantriebe, Elektronik und Information 105(1987) S. 62
- /4/ O.Föllinger: Nichtlineare Regelungen II, Akademie-Verlag Berlin 1981

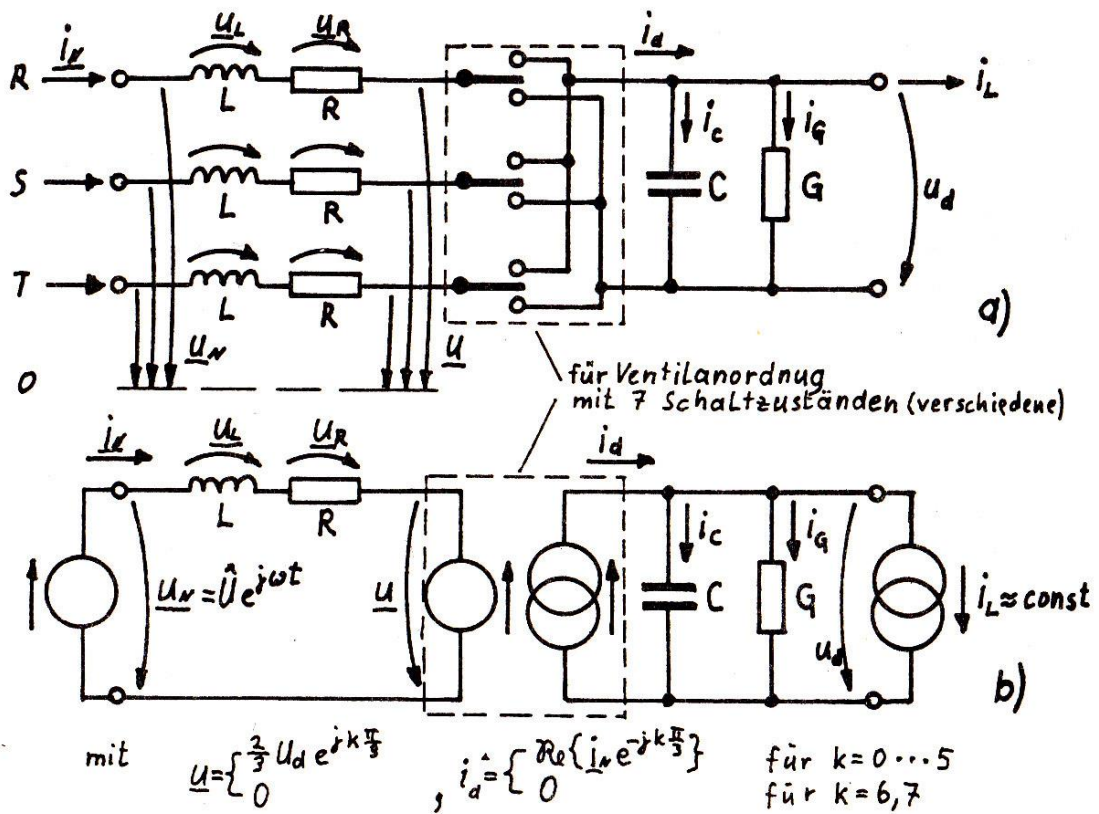


Bild 1: Prinzipschaltung des Netzgleichrichters a) und Übertragung in ein Raumzeigermodell b)

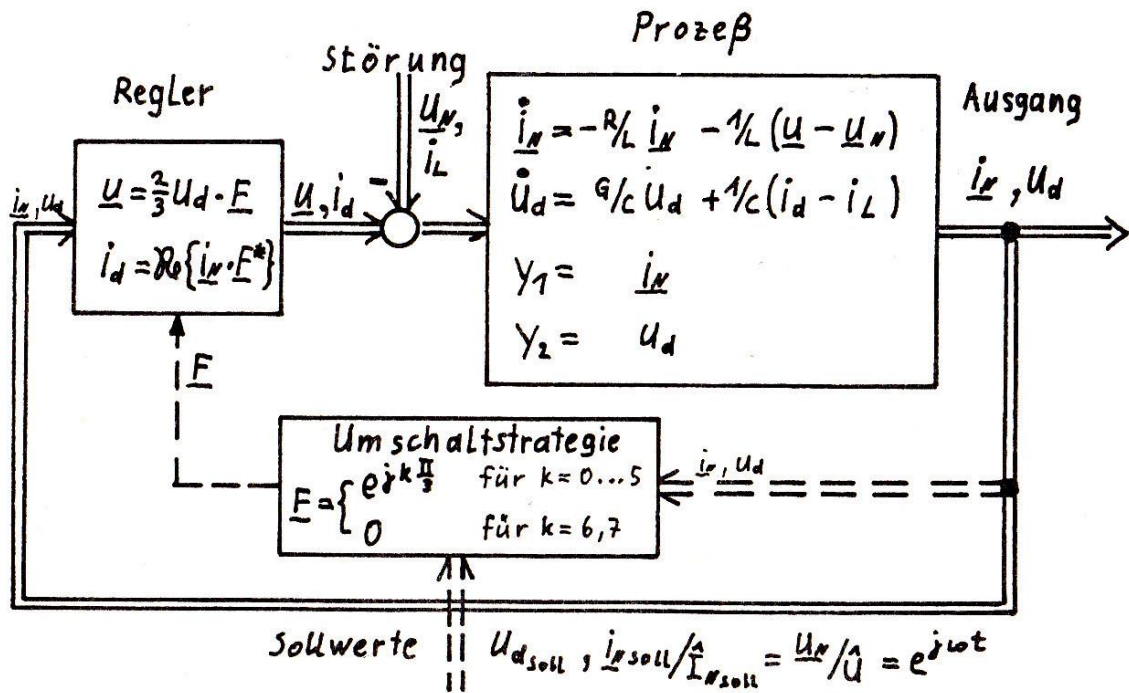
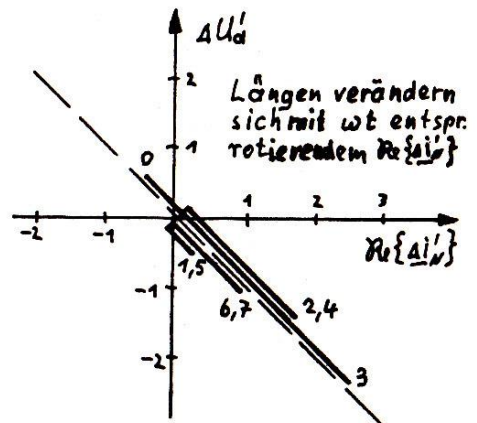
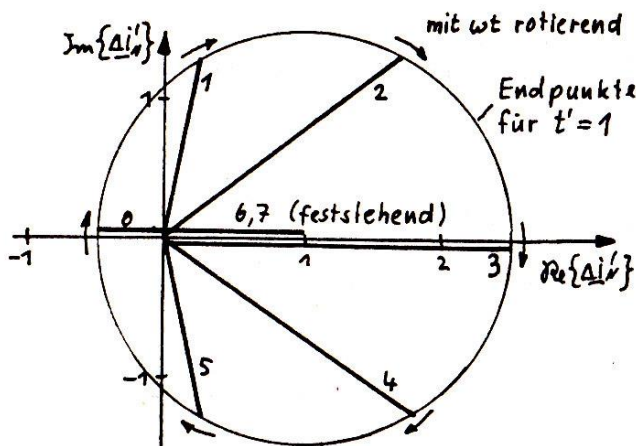


Bild 2: Regelkreis mit strukturumschaltendem Regler

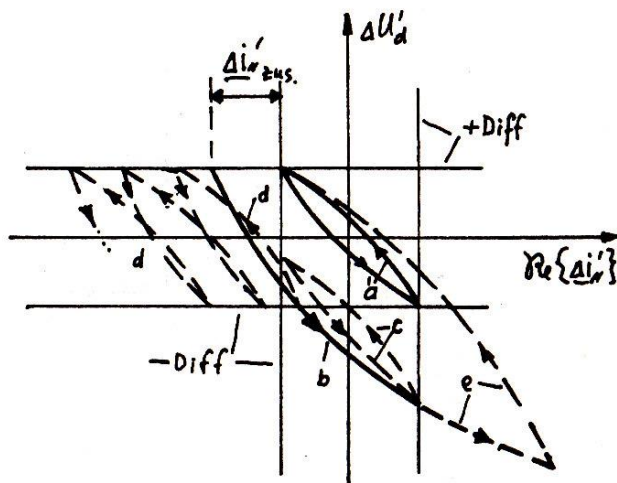


mit  $\text{Re}\{\Delta i_r'\} \approx (1 - \ddot{u} \text{Re}\{E\})t'$   
 $\text{Im}\{\Delta i_r'\} \approx -\ddot{u} \text{Im}\{E\}t'$   
 $\Delta U_d \approx -(1 - \ddot{u} \text{Re}\{E^*\})t' + \alpha(t')$

$\Delta i_r' = \frac{z_{\alpha} - I_{r\text{soll}}}{U/\omega L} \quad \ddot{u} = \frac{2}{3} \frac{U_{d\text{soll}}}{U}$   
 $\Delta U_d' = \frac{U_d - U_{d\text{soll}}}{I/\omega C}$

alle Schaltzustände beginnen bei  $t' = \omega t = 0$  und enden bei  $t' = 1$ , Anfangswerte = 0

Bild 3: Trajektorien von  $i_r = f(t)$  und  $U_d = f(t)$  für die Schaltzustände 0...7 bei  $\ddot{u} = 1,5$



- a) stationärer Betrieb
- b) Trajektorie bei  $\Delta i_r' = z_{us}$ .
- danech
- c) wenn innerhalb des Differenzbandes von  $z_r$
- d) wenn innerhalb des Differenzbandes von  $U_d$
- e) Möglichkeit des zurückführens auf den Zyklus für stationären Betrieb

mit  $\alpha(t') = \frac{2}{3} \frac{U_{d\text{soll}}}{\omega L I_{r\text{soll}}} \text{Re}\{E [\Delta i_r' = z_{us} + \Delta i_r'(t)]\} t'^{1/2}$  und Anfangswerten als  $\pm \text{Diff}$

Bild 4: Verläufe der Trajektorien bei einer Störung