

## Industrielle Automatisierung - Automatisierte Antriebe

### Sinusförmige Modulation für direkte Umrichter bei Pulsbetrieb

Erich Boeck

In der Pulsstromrichtertechnik haben sinusförmige Modulationsverfahren ein breites Anwendungsfeld erreicht. So werden bei Spannungswechselrichter durch neue leistungselektronische Bauelemente und durch die Möglichkeiten der digitalen Steuerung und Regelung hochwertige Ansteuerungsverfahren für immer höhere Leistungen einsetzbar. In letzter Zeit werden auch Stromwechselrichter im Pulsbetrieb eingesetzt /1/, und es gibt Hinweise /2/, daß auch direkte Umrichter für einen Pulsbetrieb mit hoher Taktfrequenz betrachtet werden.

Ein Interesse an der Nutzung eines direkten Umrichters ergibt sich einmal daraus, daß zwischen Quelle und Verbraucher in jedem Schaltzustand nur ein Ventil liegt. Gegenüber indirekten Umrichtern erscheint somit ca. eine Halbierung der Verluste möglich. Andererseits stellt der direkte Umrichter 27 Schaltzustände zur Verfügung, mit denen die Ausgangsspannung(-strom) zu realisieren wäre. Daraus werden Möglichkeiten für eine feinere Realisierung der Ausgangsgröße erwartet.

Bild 1a zeigt das Prinzipschaltbild eines direkten Umrichters. Darin stellen  $u_1$  die Quelle mit der Frequenz  $f_1$ ,  $R$  und  $L$  ein Glättungsglied für Seite 1, die Schalterkombination ein Modell für die Ventilanordnung,  $G$  und  $C$  ein Glättungsglied für Seite 2 und  $i_2$  den Verbraucher mit der Frequenz  $f_2$  dar. Der Betrieb ist auch in umgekehrter Richtung mit  $i_2$ ,  $f_2$  als Quelle und  $u_1$ ,  $f_1$  als Verbraucher möglich.

Aus der Schalterkombination folgen 27 verschiedene Schaltzustände. Eine Transformation in den Raumzeigerbereich ist für jeden Schaltzustand möglich. Dabei erscheint es sinnvoll, den Strom, der von Seite 1 zur Seite 2 gespeist wird ( $i_{21}$ ), durch eine gesteuerte Stromquelle und die Spannung, die von Seite 2

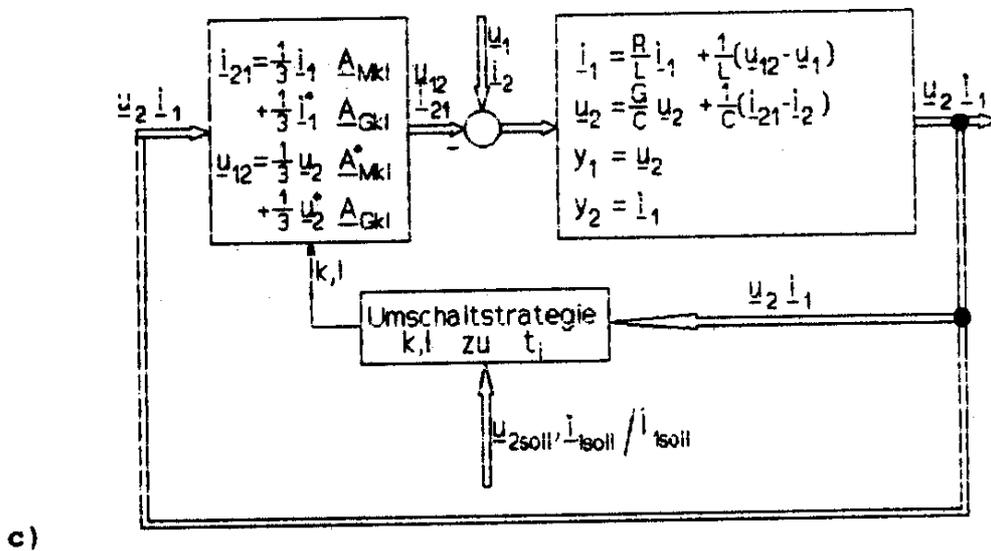
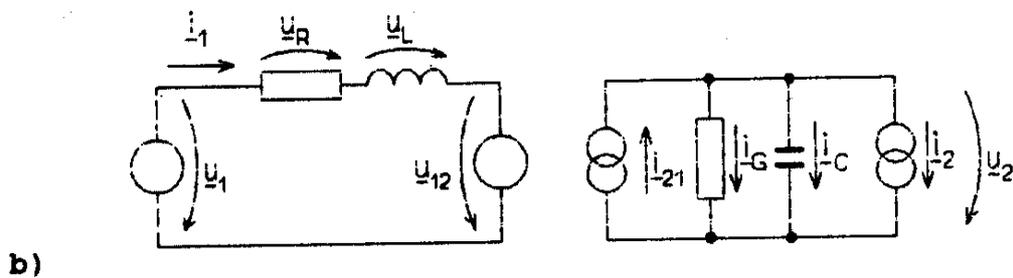
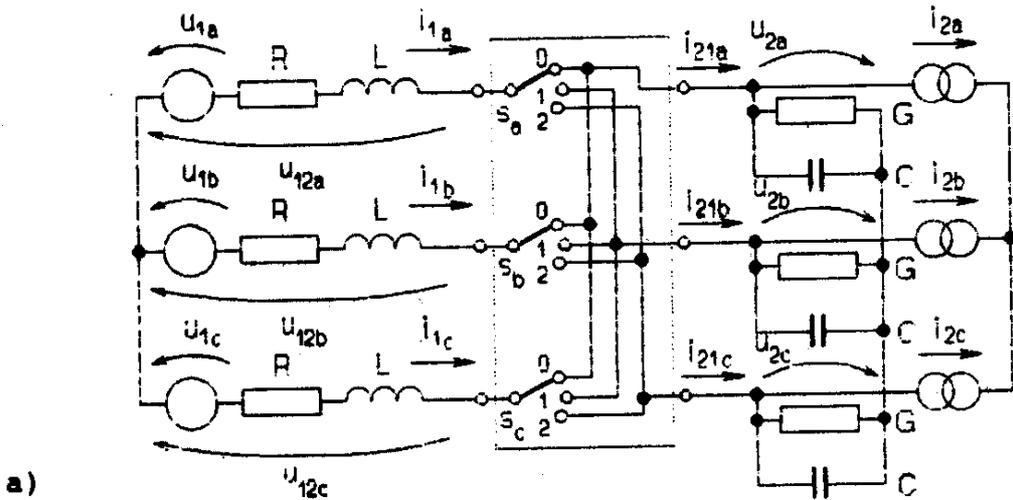
zur Seite 1 übertragen wird ( $\underline{u}_{12}$ ), durch eine gesteuerte Spannungsquelle zu beschreiben. Bild 1b zeigt ein Modell des Umrichters als Ersatzschaltung in Raumzeigerdarstellung.

Die jeweils übertragene Größe  $\underline{i}_{21}$  oder  $\underline{u}_{12}$  ergibt sich sowohl aus einem direktem Anteil der anderen Seite ( $\underline{i}_1$ ,  $\underline{u}_2$  - Mitsystem) als auch aus einem gegenläufigem Anteil der anderen Seite ( $\underline{i}_1^*$ ,  $\underline{u}_2^*$  - Gegensystem). Tabelle 1 stellt die möglichen Faktoren  $\underline{A}_{Mk1}$  und  $\underline{A}_{Gk1}$  entsprechend der 27 Schaltzustände geordnet nach den Indices k und l dar.

k	l	$\underline{A}_{Mk1}$	$\underline{A}_{Gk1}$	Anzahl
0...5	0...2	$\sqrt{3} * e^{j(k*\pi/3 + \pi/6)}$	$\sqrt{3} * e^{j(k*\pi/3 + \pi/6 + l*2\pi/3)}$	18
6	0...2	$3e^{j1*2\pi/3}$	0	3
7	0...2	0	$3e^{j1*2\pi/3}$	3
8	0...2	0	0	3

Tabelle 1: Liste der 27 Schaltzustände

Eine Darstellung des Umrichters als strukturumschaltender Regler (Bild 1c) analog zu /3/ stellt die Aufgabe zur Suche einer günstigen Umschaltstrategie zwischen den 27 Schaltzuständen, um so mögliche Ansteuerverfahren und eine Regelung zu untersuchen. Es ist zu sehen, daß die Schaltzustände dabei sehr ungleich wirken. Nur die ersten 18 haben im Betrag gleich große Vektoren für das Mit- und Gegensystem. Die Schaltzustände mit k=6 und 7 haben jeweils nur Vektoren für ein Mit- oder Gegensystem und mit größerem Betrag. Drei Schaltzustände stellen Nullvektoren dar, die für Seite 1 einen Kurzschluß und für Seite 2 einen Leerlauf bedeuten. Selbst wenn alle Schaltzustände benutzt werden, steht nicht gestaffelt mit der Winkeldifferenz von  $\pi/6$  jeder Vektor zur Verfügung, um für ein Mitsystem (oder ein Gegensystem) eine Ausgangsgröße zu realisieren. Werden z.B. 6 Schaltzustände ausgewählt, die für ein Mitsystem gerade Vektoren im Abstand von  $\pi/3$  beinhalten, so laufen gegenüber diesen



**Bild 1: Modell für den direkten Umrichter**  
 a) Prinzipschaltung mit Umschalteranordnung für Ventile  
 b) Ersatzschaltung in Raumzeigerdarstellung  
 c) Modell - strukturumschaltender Regler

Vektoren die des gleichzeitig ausgewählten Gegensystems um und stehen zu jedem Taktbeginn anders. Es gilt eine Strategie zu finden, um entweder die Vektoren des Gegensystems innerhalb eines Taktes zu kompensieren oder ständig für den Sollvektor mit zu kalkulieren (Bild 2).

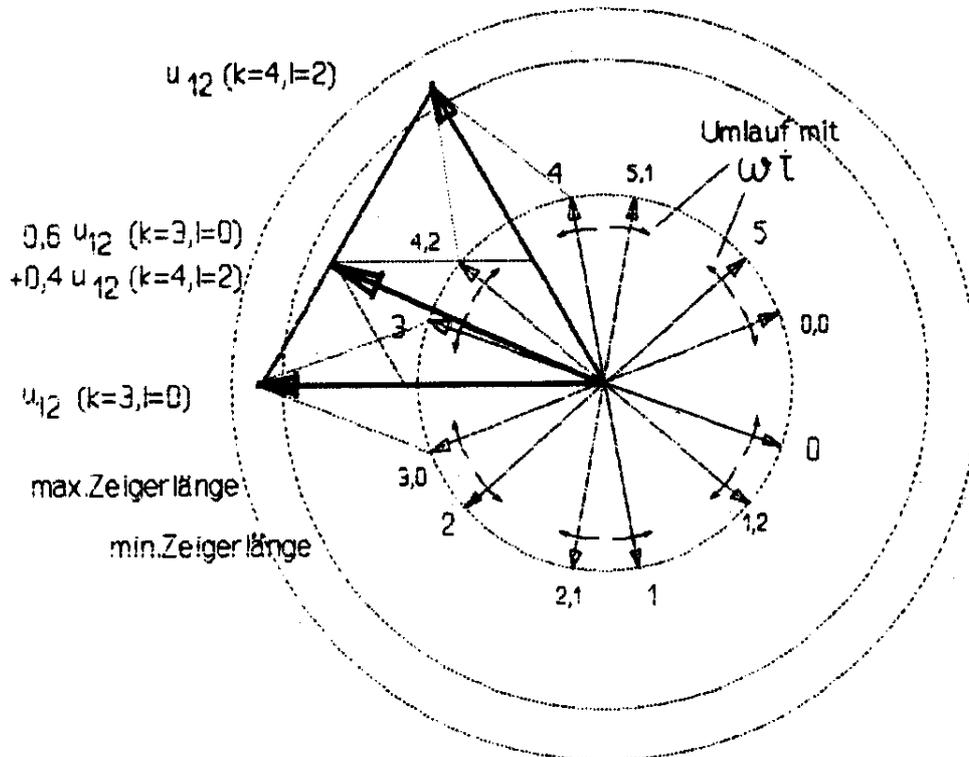


Bild 2: Beispiel zur Kalkulation eines Sollvektors  
(Ziffern: k für Mit-, k,l für Gegensystem)

Im Vortrag werden mögliche Varianten für Ansteuerverfahren und ihre Eigenschaften diskutiert und verglichen.

#### Literatur

- /1/ Güldner, H.; Lösel, T. Stromwechselrichter mit neuartigen Eigenschaften  
Vortrag 7. Symposium Maritime Elektronik Rostock 1992
- /2/ Budig, P.-K. Neue Antriebe für den Submikrometerbereich  
Vortrag 11. Int.Fachtagung IAAA Chemnitz 1991
- /3/ Boeck, E. Untersuchungen zur Regelung von Pulsstromrichtern als nichtlineare strukturumschaltende Regleranordnung  
Vortrag 11. Int.Fachtagung IAAA Chemnitz 1991