

Analoge Simulation von Stromrichterstellgliedern

Mitteilung aus der Sektion Elektrotechnik der Technischen Universität Dresden

Ausgehend von den verschiedenen Möglichkeiten zur Simulation von Stromrichterschaltungen [1] soll im folgenden auf die Methode der Ventilmachbildung mit einem verbesserten getriggerten Einseitenintegrierer näher eingegangen werden. Das entwickelte Grundprogramm ist für alle Stromrichterschaltungen universell einsetzbar. Gleichzeitige Untersuchungen nach der Methode der Spannungskurvenformnachbildung haben ergeben, daß diese Art der Simulation von Stromrichterantrieben für symmetrische Betriebsfälle mit vertretbarem Aufwand, auch für Brückenschaltungen für alle Arbeitsbereiche, anwendbar ist. Bei unsymmetrischen Betriebsfällen überschreitet man schnell die obere Grenze für die Kapazität und Übersichtlichkeit von Analogrechenschaltungen. Die nachgebildeten Stromrichterstellglieder gestatten eine in den Grenzen der Genauigkeit des Analogrechners liegende Vorausberechnung des stationären und nichtstationären Verhaltens der untersuchten Antriebsysteme. Dabei spielen Schaltvorgänge und Havarien eine entscheidende Rolle.

1. Grundprogramm

Das Grundprogramm muß das Verhalten eines Thyristors simulieren können. Es muß deshalb folgende Bedingungen erfüllen:

- den Stromfluß nur bei positiver Anoden-Katoden-Spannung zulassen
- den Strom nur in einer Richtung leiten (Diodenwirkung)
- durch angelegte Zünd- oder Zündverzögerungsimpulse den Einsatzpunkt der Stromführung festlegen.

Ausgehend von der im Bild 1 gezeigten einphasigen Stromrichterschaltung läßt sich ein Programm angeben, das diesen Anforderungen genügt.

Bei der Programmierung geht man von der Spannungsgleichung

$$e_r - L \frac{d i_d}{d t} - U_d - E = 0$$

aus. Für die Programmierung auf dem Analogrechner abgestimmt ergibt sich

$$\frac{d i_d}{d t} = \frac{1}{L} (e_r - U_d - E).$$

Das diese Gleichung nachbildende Programm ist im Bild 2 dargestellt. Die wesentlichen Vorteile dieses Programms sind der sich enorm verringere Programmieraufwand gegenüber herkömmlichen Thyristormodellen (Komparatormodell usw.), besonders bei höherpulsigen Schaltungen, und seine einfache Steuerbarkeit. Letztere wird durch eine in ihrer Dauer verstellbare, vom Steuerwinkel α abhängige, positive Triggerspannung am Eingang des Integrierers erreicht, deren absoluter Wert größer sein muß als die Summe der anderen Spannungen am Eingang. Die Zeitdauer der negativen Triggerspannung entspricht dem Zündverzögerungsimpuls ZV . Wie aus Bild 2 ersichtlich, wird zur Vermeidung negativer Ströme eine Diode verwendet, deren Schleusenspannung als „Reststrom“ in Sperrichtung in Erscheinung tritt. Dieser „Reststrom“ wirkt sich auf die quantitative Auswertung aufgenommenener Stromkurven negativ aus und verfälscht die Ergebnisse.

¹⁾ Dipl.-Ing. Klaus Dieter Vökler, Dipl.-Ing. Jürgen Schwarz sind wissenschaftliche Assistenten, Reiner Grunewald ist Forschungsstudent an der Sektion Elektrotechnik, Bereich Elektrische Automatisierungstechnik, der TU Dresden.

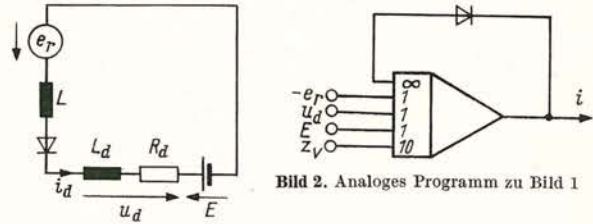


Bild 1. Ersatzschaltung für einen einphasigen Stromrichter mit aktiver Last

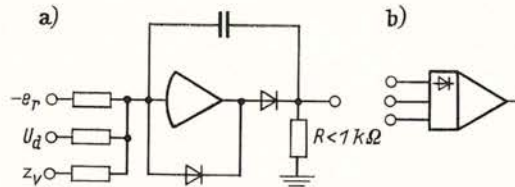


Bild 3. Gesteuertes Ventil
a) Grundprogramm
b) Programmiersymbol

Eine verbesserte Nachbildung des Thyristors ist im Bild 3a dargestellt. Praktische Untersuchungen haben gezeigt, daß der o.g. „Reststrom“ in Sperrichtung vermieden wird. Dieses Modell kann als Grundprogramm für alle Stromrichter-(SR)-Schaltungen, bei denen sich die Last mit dem Strom als Eingangsgröße darstellen läßt, verwendet werden.

2. Darstellungsmethode gebräuchlicher SR-Schaltungen mit dem Strom als Ausgangsgröße

Auf diese Weise lassen sich z.B. Zwei-, Drei- und Sechsfasensmittelpunktschaltungen und Saugdrosselschaltungen mit einem Gleichstromnebenschlußmotor als Last darstellen. Bild 4 zeigt die Programmierungsvariante einer Dreiphasensmittelpunktschaltung mit Motorlast.

Mit diesem Grundprogramm können auch Drehstromsteller auf dem Analogrechner simuliert werden.

Der Vorteil dieser Programmierungsmethode für Stromrichter tritt erst beim Aufstellen von Programmen mit unsymmetrischen Betriebsfällen deutlich hervor. Es bereitet relativ große Schwierigkeiten, mehrere unsymmetrische Betriebsfälle in einem Programm zu vereinen, da alle auftretenden Rückwirkungen der Last auf den Stromrichter voll erfaßt werden müssen. Diese Aussagen beziehen sich speziell auf die Programmierungsmethode „Nachbildung der Spannungskurvenform“ in [1].

Eine in der Starkstromtechnik sehr oft verwendete Schaltung ist die Drehstrombrückenschaltung. Ausgehend von dem im Bild 4 dargestellten Prinzip ist eine Drehstrombrückenschaltung auf dem Analogrechner nicht nachbildbar.

3. Darstellung der Drehstrombrückenschaltung mit Hilfe der impliziten Funktionstechnik

Eine Brückenhälfte ist relativ einfach dargestellt. Als Ausgangsgröße erhält man den Gleichstrom. Die Aufstellung eines Programms für die andere Brückenhälfte unter Berücksichtigung der Zusammenschaltbedingungen der gesamten Brücke ließ sich nicht verwirklichen. Daher mußte nach einem Brückenmodell gesucht werden, das die Gleichspannung bzw. die Potentiale der beiden Brückenhälften nachbildet. Mit den beiden Potentialen lassen sich die Brückenhälften einfach durch Addition zusammenschalten.

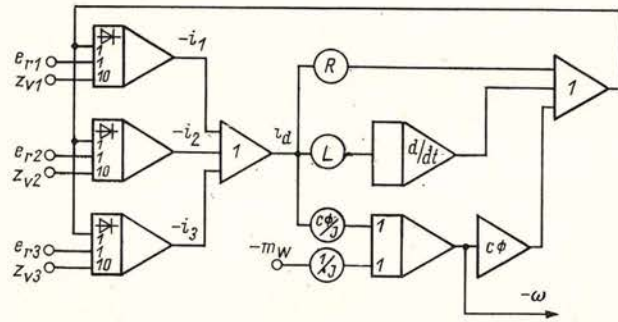


Bild 4. Dreiphasenmittelpunktschaltung mit Motorlast mit dem Strom als Eingangsgröße

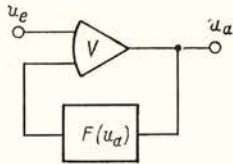


Bild 5. Kopplungsplan für Invertierungsschaltung

so daß als Ausgangsgröße die Gleichspannung erscheint. Dabei bedient man sich der impliziten Funktionstechnik. Die Wirkungsweise soll zunächst anhand eines allgemeinen Beispiels erläutert werden. Der Grundgedanke besteht darin, bei der Funktionserzeugung

$$y_0 = F(y_1, y_2, \dots, y_n)$$

die implizite Form zu verwenden und in der speziellen Schreibweise

$$F(y_0, y_1, y_2, \dots, y_n) = y_0/V \approx 0$$

mit $V \rightarrow \infty$ näherungsweise zu realisieren. Man erhält folgenden allgemeinen Kopplungsplan (Invertierungsschaltung) (Bild 5).

Nach Bild 5 ergibt sich folgende Gleichung:

$$U_a = V [U_e - F(U_a)]$$

da $V \rightarrow \infty$, erhält man

$$U_a = F^{-1}(U_e).$$

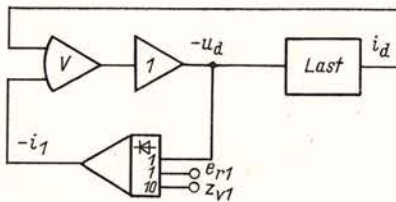


Bild 6. Einphasiger Stromrichter mit Gleichspannung als Ausgangsgröße und Last (Blockdarstellung)

Bild 7 Prinzipdarstellung einer Dreiphasenmittelpunktschaltung unter Verwendung des Grundprogramms

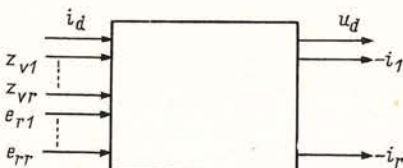
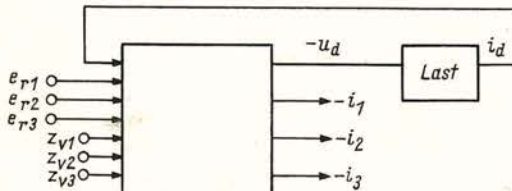


Bild 8 Allgemeines Programmiersymbol für das Grundprogramm

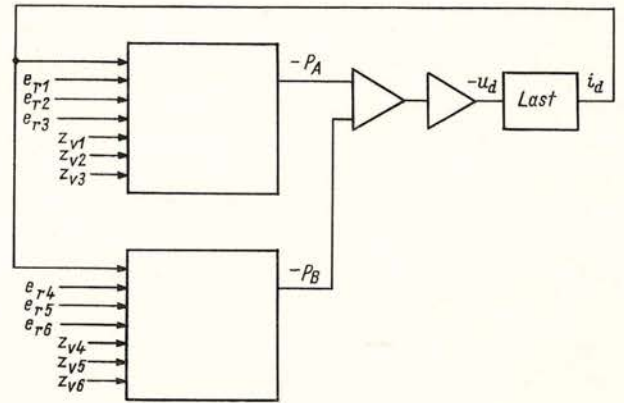


Bild 9. Blockdarstellung einer Drehstrombrückenschaltung mit Last

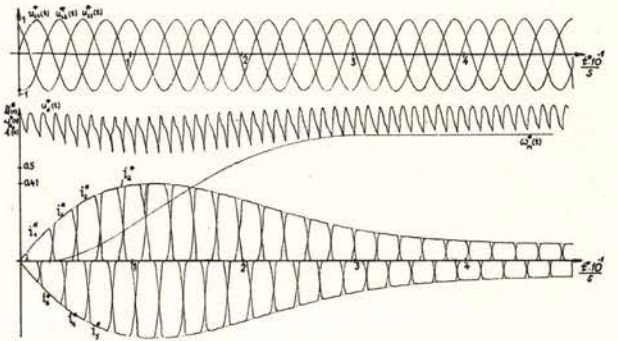


Bild 10. Anlaufvorgang eines von einer Drehstrombrückenschaltung gespeisten Gleichstromnebenschlußmotors

Mit diesem Prinzip der implizierten Funktionstechnik ist es möglich, als Ausgangsgröße des Thyristormodells die Gleichspannung zu erhalten.

Der Koppelplan für eine einphasige Gleichrichterschaltung ist im Bild 6 dargestellt. Durch Hinzufügen zweier Bausteine des Bildes 3 kann leicht eine Dreiphasenmittelpunktschaltung mit der Gleichspannung als Ausgangsgröße (Bild 7) programmiert werden. Es kommt dabei das allgemeine Grundprogramm (Bild 8) zum Einsatz. Mit Hilfe dieses Grundbausteins läßt sich der Koppelplan für eine Drehstrombrückenschaltung (Bild 9) angeben.

4. Anlaufvorgang einer Gleichstromnebenschlußmaschine

Ein Programm nach Bild 9 mit einer Gleichstromnebenschlußmaschine als Last wurde auf dem Rechner MEDA 80T programmiert. Der Anlaufvorgang wurde mit einem Koordinatenschreiber aufgenommen und ist im Bild 10 dargestellt. Durch Hinzufügen zweier Regelkreise (Drehzahlregelkreise mit unterlagelter Stromregelung) läßt sich das gesamte System Stromrichter — Antrieb auf dem Rechner simulieren.

Literatur

- [1] Büchner, P.: Methoden zur analogen Simulation von Stromrichterstellgliedern. ELEKTRIE 25 (1971) H. 4, S. 146—148.
- [2] Schnörr, R.: Strom-Spannungs-Theorie von Sechspuls-Stromrichtern bei beliebiger Verteilung der Reaktanzen. Dissertation an der TH Karlsruhe 1962.

EA 5628

Abstract

Völker, K. D. ; Schwarz, J. ; Grunewald, R.: Analoge Simulation von Stromrichterstellgliedern

ELEKTRIE 26 (1972) H. 4, S. 99—100, 10 Bilder, 2 Lit.

Ausgehend von einer einphasigen Stromrichterschaltung wird ein Grundprogramm entwickelt, das das Verhalten des Thyristors simuliert. Mit einem verbesserten Thyristormodell werden Möglichkeiten zur Stromrichtersimulation angegeben. Zur Darstellung der Ausgangsspannung eines Stromrichters wird die Benutzung der impliziten Funktionstechnik vorgeschlagen. Ein Diagramm zeigt den Anlaufvorgang einer über eine Drehstrombrückenschaltung gespeisten Gleichstromnebenschlußmaschine.

Völker, K. D.; Schwarz, J.; Grunewald, R.: Analog Simulation of Regulating Units for Current Converters

ELEKTRIE 26 (1972) 4, pp. 99—100, 10 figs., 2 refs.

Based on a single-phase current-converter circuit, a fundamental programme simulating the behaviour of thyristors is developed. An improved thyristor model serves to show possibilities of current-converter simulation. The implicit functional technique is suggested for representing the output voltage of a current converter. A diagram shows the starting process of a direct-current shuntwound machine fed by means of a three-phase bridge circuit.

Фёклер, К. Д., Шварц, И., Груневальд, Р.: Аналоговая симуляция управляющих звеньев выпрямительных устройств

ELEKTRIE 26 (1972) № 4, стр. 99—100, 10 рис., 2 лит. сс.

Исходя из однофазной схемы выпрямительного устройства выводится основная программа, симулирующая свойства тиристора. Усовершенствованная модель тиристора позволяет симуляцию инвертора. Для представления выходного напряжения инвертора предлагается использование неявной функциональной техники. На диаграмме показан процесс пуска машины постоянного тока с параллельно подключенной обмоткой возбуждения, питаемой от трёхфазной мостовой схемы.