

SIEMENS

Sonderdruck aus Elektrische Bahnen, 1 1/1992

Die stromrichternahe Antriebsregelung des Steuergerätes für Bahnauto- matisierungssysteme SIBAS 32

Autoren:
Daniel Horstmann
Georg Stanke



...d shop operations, sold
...erwise downsized to red
...ey have not reduced is th
...e motive power, in what
...e you want to cite. And
...hhaps more than ever
...give, for both
...aintenance
...ing overstraining tre
...the last few years ha
...By a har
...distribution will be incre
...the delivery of deliv
...point of deliv
...possibility
...se. Passengers enjoy m
...re seats available as a resu
...ced bunching. Enhanced passe
...ormation is also possible with
...m syocom
...stra vista se n
...Route 76, a 'strin
...each bus is
...o-and
...ama al que estal
...and successful
...for years, is
...a Europa central. Es
...railway opera
...en cuenta que la m
...real weaknes
...te general se realiz
...de plus en plus
...que et par là une augmentatio
...Au total, l'aggrav
...le nombre d'arrêts des véhicules dir
...a diminué ces dernières années
...à les groupes intéressés aux
...re une diminution de 30 %
...ant les heures de point
...s plus flexibles, s
...s et les march
...hargem
...eau
...p. ej. el tráfico de alta velo
...transporte rápido de mercancías en
...cturno, utilizan exclusivamente
...peñan aquí un papel
...abstante inter
...utilize inter
...per cilindro
...wechsel oder an
...Netzy
...Produktionsplan
...halte an
...e system al
...dauer eine geme
...mation for mal
...asis mit geme
...turns to the garage
...and Vertrieb
...g point - and here a
...werden
...op downloads informatio
...n processor. This trip log
...on adheren
...e, which can
...planner
...s to do with the settlements t
...s in effect between railroads and
...e in effect between the costs that these se
...unions, and the costs that these se
...s will impose on the carriers. Ever
...of doing work in-h
...restrictions
...urther ince
...stef
...reliabl
...nent la poss
...vironnement
...aspects imp
...d'échappem
...ainsi
...per
...ararios
...sino tamb
...ara los que ex
...e asegurada
...le y la suma
...as fueron rea
...que siemp
...pruebas de estable
...de la precalc
...ratific
...n Schienen
...information
...usrüstung de
...waiting time
...en Infrastru
...us returns to the
...t getätigt wert
...telling point - an
...weise, da

Die stromrichternahe Antriebsregelung des Steuergerätes für Bahnautomatisierungssysteme SIBAS 32

Daniel Horstmann und Georg Stanke, Erlangen

Die stromrichternahe Antriebsregelung nach dem Verfahren der Feldorientierung mit den wesentlichen Funktionen Meßwerterfassung, Flußmodell, Regelstruktur sowie Steuersatz wird am Beispiel eines Straßenbahnfahrzeuges mit Pulswechselrichter direkt an der Fahrleitung aufgezeigt. Durch die deutlich erhöhte Rechenleistung des Systems SIBAS 32 und den Einsatz von komplexen programmierbaren Bausteinen wird eine hohe Flexibilität bei gleichzeitiger Reduktion der notwendigen Baugruppen erreicht.

The motor control System for induction machines based on the principle of field or orientation comprising as main functions the acquisition of measured values, the flux model, the control scheme and the PWM-Controller is explained, using as an example a tramcar with a voltage source inverter fed directly by the contact wire. Owing to the considerably improved Performance of the microprocessors employed and the use of complex programmable integrated logic circuits a high flexibility combined with a reduction of the number of printed boards is achieved.

A travers l'exemple d'un tramway à onduleur de tension directement alimenté par le caténaire, le système de contrôle du moteur couplé au convertisseur basé sur la technique d'orientation du champ, est présenté. De même ses principales composantes, acquisition des grandeurs physiques, modélisation du flux, boucle de contrôle et système de commande à modulation de largeur d'imulsion, sont expliquées. Grâce à la nette augmentation de la puissance de calcul et à l'utilisation de composants de logique programmable à haute intégration, le système offre une grande flexibilité et nécessite un nombre réduit de cartes.

1 Einleitung

Die Vielzahl und die Komplexität der Steuerungs- und Regelungsaufgaben in modernen Triebfahrzeugen erfordern leistungsfähige speicherprogrammierte digitale Steuerungen. Insbesondere die Regelung der stromrichtergespeisten Antriebe stellt hohe Anforderungen an die Rechengeschwindigkeit des Steuerungssystems. In dem seit langem bewährten und weit verbreiteten Bahnautomatisierungssystem SIBAS 16 werden bereits die wesentlichen Funktionen der Antriebsregelung digital ausgeführt.

Mit SIBAS 32 wurde auf der Schienenfahrzeugtagung in Graz im März 1992 als Innovation von SIBAS 16 ein Steuerungssystem vorgestellt, das vollständig digital arbeitet und eine deutlich höhere Rechenleistung zur Übernahme künftiger zusätzlicher Aufgaben aufweist [1]. Gleichzeitig wird mit diesem System eine vollständig grafische Projektierung eingeführt, womit die automatische Dokumentation der Software-Funktionen des Fahrzeugs verbunden ist.

Ein Antriebssteuergerät (ASG) des neuen Steuerungssystems SIBAS 32 besteht im Kern aus dem Zentralrechner mit einem 32-Bit-Prozessor der INTEL und einem oder mehreren ihm untergeordneten Signalprozessorsystemen. Dabei führen die Signalprozessoren die stromrichternahen, besonders zeitkritischen Steuerungen und Regelungen wie Motor- oder Netzstromrichterregelung, der Zentralrechner die übrigen meist fahrzeugspezifischen Aufgaben aus.

In diesem Beitrag werden Aufbau und Funktion der Signalprozessorbaugruppe für die stromrichternahe Motorregelung dargestellt.

Bei der Motorregelung ist jeweils einem Wechselrichter eine Signalprozessorbaugruppe zugeordnet. Über die Schnittstelle zwischen Zentralrechner und Signalprozessor werden die Sollwerte für den Motorfluß und das

Drehmoment übergeben. Dadurch wird eine klare Trennung in die meist allgemein gleichartige Motorregelung und die je nach Fahrzeugtyp unterschiedliche übergeordnete Antriebssteuerung vollzogen.

Die erste Prototypsteuerung von SIBAS 32 wurde für einen Antrieb mit GTO-Pulswechselrichter in Zweipunktschaltung direkt an der Gleichspannungsfahrleitung entwickelt. Sie ist nach eingehender Erprobung in Labor und Systemversuch seit Anfang 1992 in einem Niederflurstraßenbahnwagen in München im Einsatz (Bild 1).

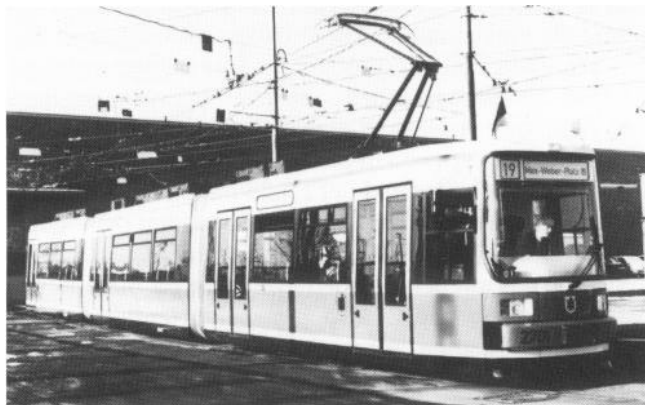


Bild 1. Niederflurstraßenbahnzug Typ R1.1 mit erster Prototypsteuerung SIBAS 32.

Im System SIBAS 32 kommt für die Bearbeitung der anspruchsvollen Regelstrukturen für Drehstromantriebe mit Abtastzeiten unter 1 ms der Signalprozessor von Motorola Typ DSP56001 mit einer Taktfrequenz von 27 MHz zum Einsatz. Wegen der hohen Echtzeitanforderungen sind alle Funktionen in Assemblersprache programmiert. Als Festwertspeicher werden elektrische programmier- und löschbare Flashproms eingesetzt. Programm und Daten werden über eine serielle Service-schnittstelle von einem PC in das Signalprozessorsystem geladen. Ein Wechseln von EPROMs bei Programmänderungen ist damit nicht mehr nötig. Zur Ausgabe der Steuerbefehle für selbstgeführte Stromrichter ist eine Zeitauflösung von unter 1 μ s erforderlich. Zur Ansteuerung der Stromrichterventile zum exakt richtigen Zeitpunkt sowie zur Meßwerterfassung werden durch Software programmierbare Logikschaltungen, sogenannte LCAs (Logic Cell Array) eingesetzt. Erst durch die jeweilige Projektierung, in der die Verbindungen der logischen Grundsaltungen des komplexen Bausteins festgelegt werden, erhalten diese die Funktion beispielsweise eines Steuersatzes für einen Pulswechselrichter oder für einen Vierquadrantsteller. Damit wurde die Signalprozessoreinheit von speziellen Hardwarefunktionen freigehalten und kann universell eingesetzt werden. Im folgenden werden die wichtigsten Aufgaben des Signalprozessorsystems erläutert.

2 Meßwerterfassung

Für die Antriebsregelung nach dem bewährten Verfahren der Feldorientierung ist die Erfassung von analogen

Prozeßgrößen erforderlich [2,3]. Gemessen werden die drei Maschinenströme, zwei Leiterspannungen und die Eingangsspannung des Pulswechselrichters, hier auch Zwischenkreisspannung genannt. Analoge Größen werden üblicherweise durch Analog-Digital-Wandler mit Sample&Hold-Schaltungen dem Prozessor zur Verfügung gestellt. Für die Signalprozessoreinheit wurde ein anderer Weg beschritten. Die Analogsignale werden auf einer Meßwerterfassungsbaugruppe in eine Impulsfolge umgesetzt. Ein positives Eingangssignal entspricht dabei einer höheren, ein negatives Signal einer tieferen Frequenz. Diese so umgewandelten Signale werden einem der beiden komplexen LCA auf der Signalprozessorbau-Gruppe zugeführt. Hier werden die Impulse gezählt und daraus die Frequenz bestimmt. Dadurch werden die Mittelwerte der Eingangssignale während der Meßzeit erfaßt. Meßfehler durch Störspitzen werden mit diesem Verfahren weitgehend unterdrückt.

Als weitere Meßgröße wird die Motordrehzahl erfaßt. Ein in der Regel induktiv arbeitender Drehgeber stellt zwei um 90 Grad versetzte drehzahlproportionale Rechtecksignale zur Verfügung. Wie bei der Messung der analogen Größen wird der Betrag der Drehzahl berechnet. Die Ermittlung des Vorzeichens der Drehzahl aus der zeitlichen Abfolge der Rechtecksignale ist ebenfalls eine Teilfunktion des Logikbausteins.

Speist ein Wechselrichter zwei parallelgeschaltete Fahrmotoren, so werden beide Motordrehzahlen erfaßt und für die Regelung der arithmetische Mittelwert benutzt. Beim Überfahren von Weichen und Kreuzungsstellen, bei denen die parallelgeschalteten Motoren durch das kurzzeitige Fahren auf dem Spurkranz nacheinander mit abweichender Drehzahl rotieren, wird dadurch eine gleichmäßigere Momentaufteilung zwischen den Maschinen erreicht.

3 Flußmodell

Grundlage der feldorientierten Regelung ist die Kenntnis des Betrages und der Winkellage des Rotorflusses. Da diese Größen nicht direkt meßbar sind, werden im allgemeinen Rechenmodelle eingesetzt, welche die innere Struktur der Asynchronmaschine nachbilden. Zur Bestimmung des Rotorflusses aus den gemessenen Istwerten Spannung, Strom und Drehzahl dient bei SIBAS 32 das Flußmodell nach Bild 2 [4]. Es besteht aus zwei bekannten Teilmodellen der Asynchronmaschine: dem Spannungsmodell [5] und dem Strommodell [5,6]. Das Spannungsmodell verarbeitet als Eingangsgrößen Spannungen und Ströme und bildet die Statorspannungsgleichung der Maschine nach. Der Übersichtlichkeit halber sind die Spannungen und Ströme zu komplexen Raumzeigern zusammengefaßt und durch einen Unterstrich gekennzeichnet. Das Strommodell benutzt die Ströme und die Motordrehzahl. Mit Hilfe der Rotorwinkellage, die sich aus der Integration der Drehzahl ergibt, werden die Ströme in ein Koordinatensystem transformiert, das mit dem Rotor umläuft. Die Ströme sind in diesem System schlupffrequente Größen, die über Verzögerungs-

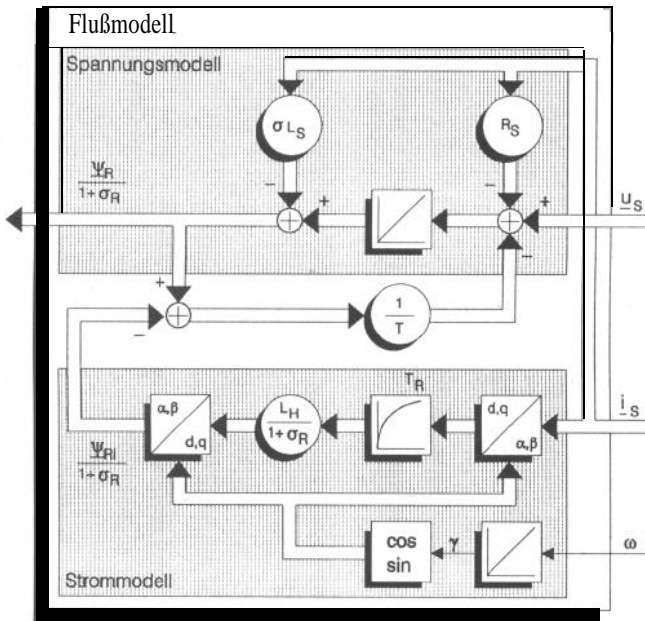


Bild 2. Struktur des Flußmodells.

glieder erster Ordnung mit der Rotorzeitkonstanten $T_{R|} = L_{R|}/R_{R|}$ geführt werden. Die Hauptinduktivität $L_{H|}$ wird nach der Magnetisierungskennlinie der Maschine adaptiert, um den Sättigungseigenschaften Rechnung zu tragen.

Zunächst wird mit dem Spannungsmodell der Rotorfluß berechnet. Zusätzlich wird die Differenz der Rotorflüsse von Spannungs- und Strommodell mit dem Faktor $1/T$ zurückgeführt. Sind alle Parameter der beiden Teilstrukturen abgestimmt, so verschwindet der mit $1/T$ bewertete Korrekturterm. Die Rückführung verursacht folglich keine prinzipbedingten Fehler; sie stabilisiert die im idealen Spannungsmodell vorkommende offene Integration. Bei kleinen Drehzahlen überwiegt der Einfluß des Strommodells, bei größeren der des Spannungsmodells. Die Statorfrequenz, bei der sich die Modelle stufenlos ablösen, läßt sich mit dem Faktor $1/T$ bestimmen. Die hier verwendete Struktur vereinigt damit die Vorteile beider Teilmodelle und kann als ein vom Strommodell geführtes Spannungsmodell aufgefaßt werden [4].

Das Strommodell enthält den Parameter Rotorzeitkonstante $T_{R|}$. Während des Betriebes ändert sich der Rotorwiderstand der Maschine stark mit der Rotortemperatur. Die Kenntnis des aktuellen Rotorwiderstandes $R_{R|}$ ist demnach für ein genaues Arbeiten des Strommodells erforderlich. Mittels eines Winkelvergleichs der zwei Modellflüsse aus Spannungs- und Strommodell wird in den Bereichen, in denen eine Verstimmung des Rotorwiderstandes erkannt werden kann, dieser Widerstand identifiziert und die im Strommodell benötigte Rotorzeitkonstante im Betrieb adaptiert.

4 Regelstruktur

Wie eingangs dargestellt, liefert der der Signalprozessoreinheit überlagerte Zentralrechner die Sollwerte für Mo-

ment und Fluß der Maschine. Im Teillastbereich und in der Feldschwächung wird der Flußsollwert abgesenkt. Die zentrale Aufgabe des Signalprozessorsystems liegt in der Ansteuerung des Pulswechselrichters, so daß der Fahrmotor den geforderten Sollwerten folgt. Die Struktur der realisierten Regelung ist in Bild 3 angegeben.

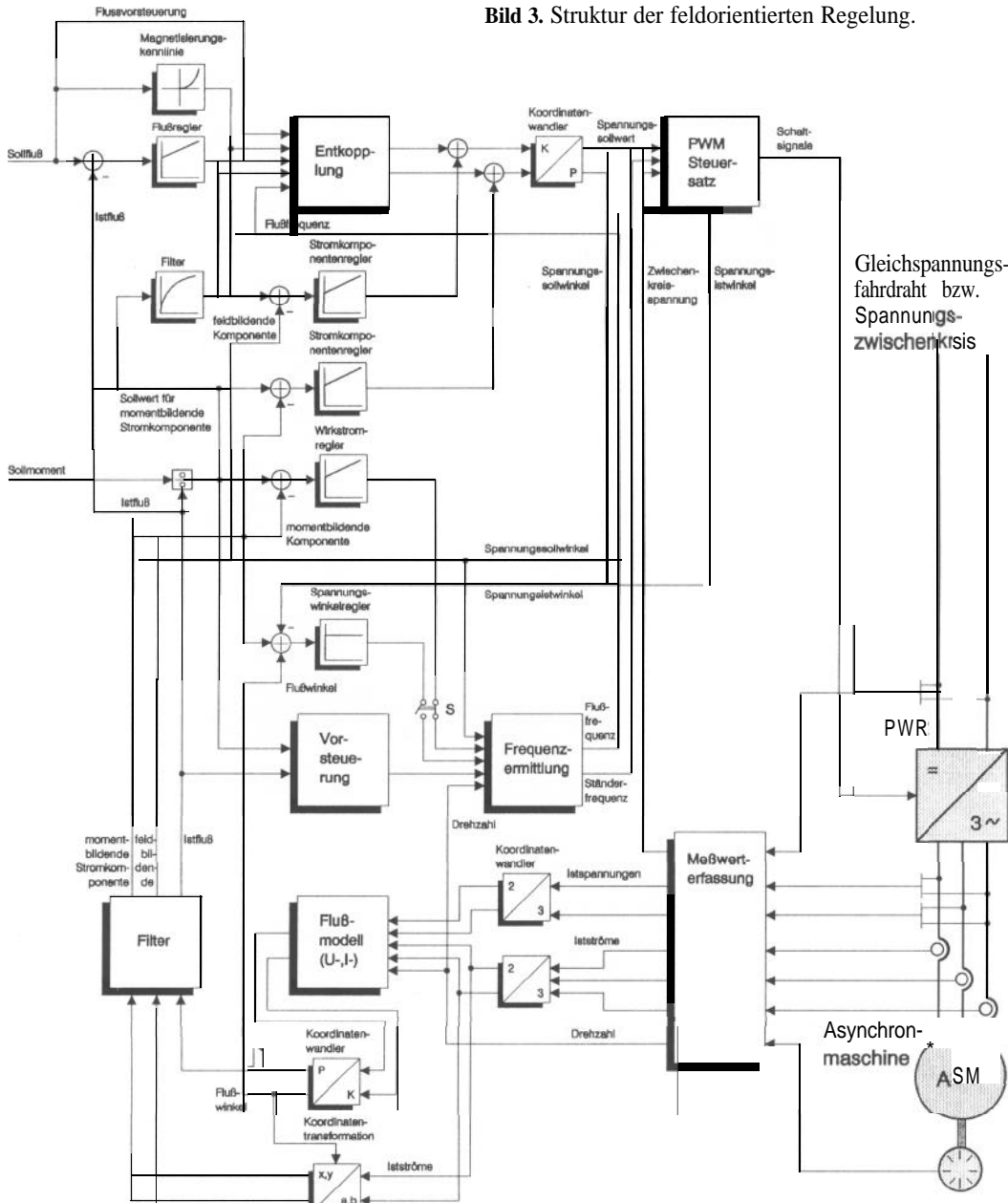
Die Ermittlung der für die Regelung benötigten Istwerte mit Hilfe einer Meßwerterfassungsbaugruppe und die für den komplexen Logikbaustein programmierte Erfassungsschaltung ist bereits erläutert worden. Die beiden Leiterspannungen sowie die drei Maschinenströme werden in Koordinatenwandlern in zwei orthogonale Komponenten umgerechnet. Diese bilden zusammen mit der Drehzahl die Eingangsgrößen des vom Strommodell geführten Spannungsmodells, welches im vorangegangenen Abschnitt vorgestellt worden ist. Nach einer Umformung von kartesischen in polare Koordinaten stehen der Betrag des Istflusses und der Flußwinkel zur Verfügung. Mit dem Flußwinkel werden nun die beiden orthogonalen Stromkomponenten vom statorfesten Koordinatensystem in das mit dem Rotorflußraumzeiger umlaufende System transformiert, also die Feldorientierung der Stromkomponenten vorgenommen. Nach einer Filterung liegen dann die Istwerte der feldbildenden und der momentbildenden Stromkomponente vor. Diese sind bekanntermaßen in einem stationären Betriebspunkt Gleichgrößen und eignen sich daher besonders für die Weiterverarbeitung in Reglern.

Der Pulswechselrichter stellt an seinen Ausgängen ein Drehspannungssystem variabler Grundschriftamplitude und Frequenz bereit. Diese Größen bilden die Stellgrößen des Systems. Ein Steuersatz setzt die Ausgangsgrößen der Regelung Spannungssollwert und Statorfrequenz in Ansteuersignale für den Wechselrichter um. Dieser Steuersatz wird im nächsten Abschnitt näher betrachtet.

Um nun aus den Führungsgrößen Sollfluß und Sollmoment die Regelungsausgangsgrößen zu ermitteln, wird üblicherweise die inverse Struktur der Asynchronmaschine in einer sogenannten Entkopplungsschaltung nachgebildet [2,7]. Die hier verwendete Entkopplungsstruktur ist in Bild 4 angegeben. Sie berechnet aus dem Flußsollwert, dem der Magnetisierungskennlinie entnommenen Magnetisierungsstromsollwert, dem Wirkstromsollwert und der Winkelgeschwindigkeit des Rotorflusses die benötigten Spannungs-komponenten. Die Parameter der Entkopplung sind die Streuinduktivität und ein Summenwiderstand $R_{G|}$ der sich aus dem Statorwiderstand der Maschine und einem Ersatzwiderstand des Wechselrichters zusammensetzt. Zum Sollfluß wird der Ausgang eines Flußreglers addiert, der für die exakte Einstellung des Führungswertes sorgt. Der Wirkstrom ist das Ergebnis der Division von Sollmoment durch Istfluß.

Zur Stabilisierung werden zwei Stromregler für die feldbildende und momentbildende Stromkomponente zu den Ausgängen der Entkopplung addiert. Ein Koordinatenwandler formt die Spannungs-komponenten in Betrag und Winkel um. Der Betrag ist eines der Eingangssignale des Steuersatzes.

Bild 3. Struktur der feldorientierten Regelung.



Die stationär für das geforderte Moment einzustellende Schlupffrequenz wird im Block „Vorsteuerung“ aus dem Wirkstromsollwert und dem Istfluß berechnet und der Frequenzermittlung zugeführt. Die dargestellte Struktur mit der hier gezeichneten Stellung des Schalters S wird im Bereich höherer Drehzahlen und im Feldschwächbereich eingesetzt. Ein Wirkstromregler regelt dabei über eine Schlupffrequenzkorrektur Abweichungen der momentbildenden Stromkomponente vom Sollwert aus.

Mit dieser Struktur ist ein Übergang in den Feldschwächbereich an der Spannungsstellgrenze, also bei Grundfrequenztaktung des Stromrichters, bei angehaltenem Flußregler problemlos zu bewerkstelligen. Im Anfahrbereich ist jedoch die klassische feldorientierte Regelung mit Stromkomponentenreglern, die zusammen mit der Entkopplung die Sollwerte für Spannungsbetrag und -winkel liefern, die geeignetere Regelstruktur. In diesem Betriebsbereich wird daher

eine Strukturumschaltung vorgenommen durch Umliegen des Softwareschalters S. Aus einem Winkelvergleich des Spannungssollwinkels mit dem Istwinkel des Steuersatzes wird nun von einem Spannungswinkelregler die Schlupffrequenzkorrektur vorgenommen [8].

Die Frequenzermittlung addiert die einzelnen Frequenzanteile und stellt die Frequenz des Flusses für die Entkopplung sowie die Statorfrequenz für den Steuersatz zur Verfügung. Die Motordrehzahl wird als Vorsteuerwert dabei direkt aufgeschaltet.

Die Anpassung der Regelung an die aktuelle Zwischenkreisspannung wird im Steuersatz vorgenommen. Aus der Sollspannung und dem Istwert der Zwischenkreisspannung wird der Aussteuergrad für den Pulsbreitenmodulator berechnet.

Die grundsätzliche Funktionsweise der feldorientierten Regelung mit der modifizierten Struktur für den Anfahrbereich ist damit beschrieben. Im folgenden soll die wichtige Funktion der Pulsmusterausgabe betrachtet werden.

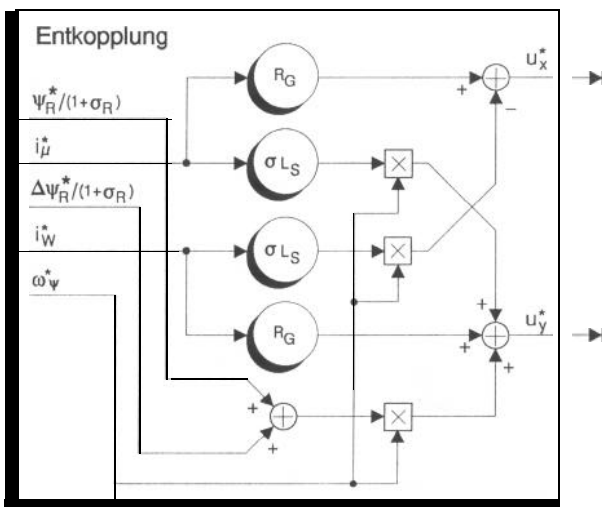


Bild 4. Struktur der Entkopplung.

5 Steuersatz

Wie das aus dem Schaltbild des Pulswechselrichters (Bild 5a) abgeleitete vereinfachte Schaltermodell (Bild 5b) zeigt, kann jede der drei Ausgangsklemmen nur entweder an den positiven oder den negativen Pol des Zwischenkreises geschaltet werden.

Es ist die Aufgabe des Steuersatzes, durch abwechselndes Umschalten der drei Wechselrichterzweigpaare am Motor die geforderte, in Frequenz und Amplitude einstellbare Spannungsgrundschiwingung zu erzeugen. Da die Umschaltzeitpunkte mit hoher zeitlicher Auflösung bestimmt werden müssen, muß die Ausgabe der Umschaltbefehle an den Leistungsteil von einem Hardwarezähler ausgeführt werden. Dieser Zähler wird über einen FIFO-Speicher (First-In-First-Out) vom Prozessor geladen. Der FIFO-Speicher dient als Puffer, um auch kurze Schaltintervalle ausgeben zu können, während denen der Prozessor die Zählerschaltung nicht mehr nachladen könnte. Parallel zu der Schaltzeit wird der Schaltzustand der drei Wechselrichterzweigpaare in den FIFO-Speicher geladen und vom Zähler während des Ablaufs der zugehörigen Einschaltzeit auf die folgenden Zündimpulsverstärkerstufen aufgeschaltet. Zähler- und FIFO-Hardware sind in dem zweiten LCA der Signalprozessorbaugruppe programmiert. Die Speichertiefe des FIFO-Speichers ist so bemessen, daß der Prozessor alle Umschaltungen für das Abtastintervall der Regelung auf einmal laden kann und somit von der zeitkritischen Schaltzustandsausgabe entlastet ist.

Die Schaltzeiten werden je nach Betriebszustand nach zwei unterschiedlichen Modulationsverfahren berechnet. Bei kleinen Frequenzen und Spannungen im Bereich des Anfahrens und kleiner Geschwindigkeiten wird asynchrone sinusförmige Modulation verwendet. Da

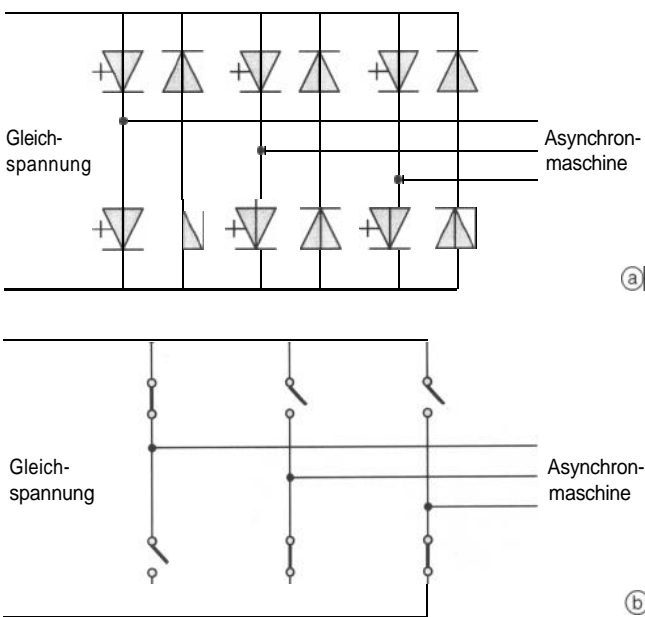


Bild 5 Pulswechselrichter.

- a) Schaltbild
- b) Schaltermodell

hier viele Umschaltungen auf eine Periode der Grundfrequenz kommen, müssen die Schaltzeiger und die dazugehörigen Schaltwinkel on-line vom Prozessor bestimmt werden. Die Umschaltzeitpunkte werden so berechnet, daß die Ausgangsspannung über eine halbe Periode der Schaltfrequenz gemittelt ihrem sinusförmigen Sollwert folgt [9]. Die Schaltfrequenz wird in der Regel konstant gehalten, kann aber in den zulässigen Grenzen beliebig verändert werden. Der Aussteuergrad, also das Verhältnis der Amplitude der Ausgangsspannung zur maximal möglichen bei Grundfrequenztaktung, ist bei sinusförmiger Modulation begrenzt. Je nach der durch den Leistungsteil vorgegebenen minimalen Pulsbreite werden bis zu 90% erreicht.

Erreicht das Verhältnis von Schalt- zu Grundfrequenz, die sogenannte Pulszahl, einen Wert von etwa 10 bis 8, muß der Wechselrichter synchron zur Grundfrequenz getaktet werden. Mit steigender Grundfrequenz muß infolge der begrenzten Schaltfrequenz des Wechselrichters die Pulszahl stufenweise verkleinert werden. Hier werden off-line optimierte Pulsmuster verwendet. Dabei werden die Schaltwinkel bei der Projektierung der Steuersatzsoftware auf einem PC berechnet und dann im Flashprom-Speicher der Signalprozessorbaugruppe abgelegt.

Das Optimierungsprogramm basiert auf einem Suchverfahren, das die Minima einer frei vorgebbaren Gütefunktion in Abhängigkeit von den Schaltwinkeln bei gegebenem Aussteuergrad findet. Die Gütefunktion setzt sich dabei aus einem oder mehreren Optimierungskriterien zusammen, welche die Auswirkungen der durch das Takten der Motorspannungen erzeugten Stromüberschwingungen betreffen. Wichtigstes Optimierungskriterium ist der Effektivwert des Oberschwingungsstroms, da dieser hauptsächlich die zusätzlichen Verluste im Motor durch die Umrichterspeisung verursacht. Wichtig ist auch der Stromspitzenwert wegen der begrenzten Kommutierungsfähigkeit des Wechselrichters. Auch die Unterdrückung bestimmter Harmonischer im Drehmoment ist möglich [10].

Da die Optimierungsrechnung pro Pulszahl mehrere lokale Minima ergibt, die in jeweils einem anderen Bereich des Aussteuergrades zum Gesamtoptimum werden, müssen im allgemeinen pro Pulszahl mehrere Pulssysteme, die diesen lokalen Minima entsprechen, abgespeichert werden.

Als zweiter Schritt nach der Optimierung ist deshalb die Pulsmusterauswahl durchzuführen. Dabei wird für die Auswahl des geeigneten Pulssystems für den Prozessor ein Kennfeld erstellt, in dem für alle möglichen diskreten Werte von Grundfrequenz und Aussteuergrad das am besten geeignete Pulssystem eingetragen ist, das die Randbedingungen maximale Schaltfrequenz und Einhaltung der minimalen Pulsbreite sowie des maximalen Stromspitzenwertes erfüllt. Bild 6 zeigt als Beispiel eine solche U-f-Ebene mit den Pulszahlen 15,11,9,7,5 und 3. Die Grundfrequenztaktung wird bei maximalem Aussteuergrad gewählt. Zwischen den Pulssystemen wird

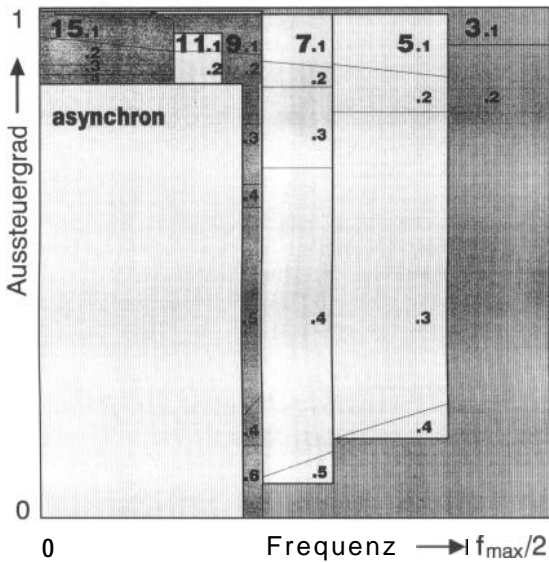
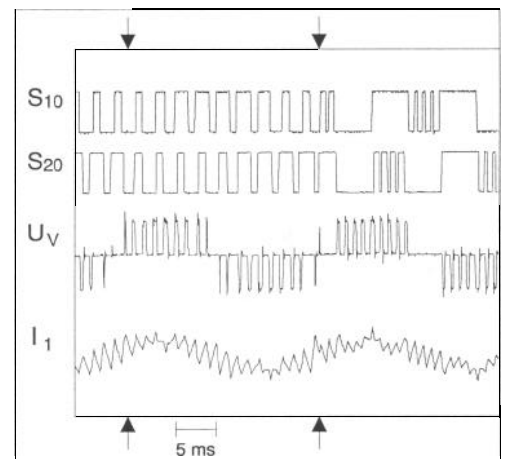
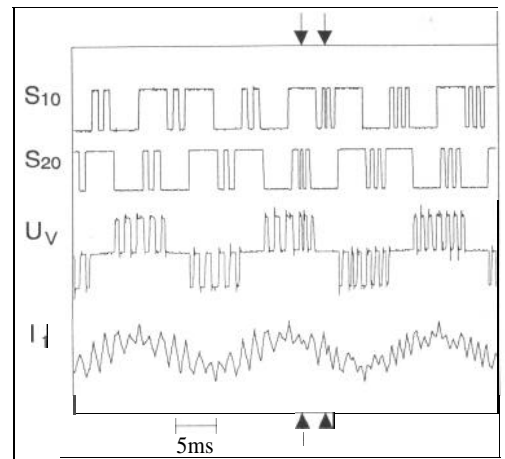


Bild 6. Pulssystemauswahlebene. Bedeutung der Kennzahlen $m.n$:
 m = Zahl der Umschaltungen pro Grundschwingungswelle (Pulszahl)
 n = Kennziffer des Pulssystems

Bild 7. Wechsel von System 5.3 auf System 7.4.
 $S_{10}|S_{20}$ = Schaltsignale zweier Zweigpaare (für drittes Zweigpaar um weitere 120° versetzt)
 U_V = eine Leiterspannung
 I_1 = ein Maschinenstrangstrom

Bild 8. Wechsel von asynchron auf System 9.5.



mit Hysterese gewechselt, um dauerndes Umschalten an den Grenzen zu verhindern.

Die Pulsmusterauswahlebene sowie die für jedes Pulssystem und jeden Aussteuergrad off-line optimierten Pulswinkel sind in der Signalprozessoreinheit in Tabellenform gespeichert. Im Programmmodul Steuersatz werden zuerst aus der Auswahlebene die Modulationsart und das Pulssystem bestimmt, das zu dem von der Regelung geforderten Betriebspunkt gehört. Die Berechnungssoftware ist anschließend dreiphasig aufgebaut. In der asynchronen Modulation werden die Schaltzeiten der Ventile direkt on-line ermittelt, die im nächsten Abtastintervall auszugeben sind. Im Bereich der optimierten Muster sind aus den für den betreffenden Aussteuergrad gespeicherten Schaltwinkeln die Schaltzeiten in Abhängigkeit der momentanen Statorfrequenz zu berechnen. Die Schaltzeiten und Schaltzustände werden in den FIFO-Speicher der Ausgabeschaltung geladen.

Bei Pulssystemwechseln müssen die Zeitpunkte so gewählt werden, daß keine Ausgleichsvorgänge oder unerwünschten Stromspitzen auftreten. Die Bilder 7 und 8 zeigen einen Wechsel, im Bild 6 zu verfolgen, von System 5.3 auf System 7.4 und einen Übergang von der asynchronen Modulation zunächst auf die synchrone sinusförmige Modulation mit der Pulszahl 9 und anschließendem Wechsel auf System 9.5. Dargestellt sind jeweils die Ansteuersignale zweier Zweigpaare S_{10} und S_{20} , eine Leiterspannung U_V sowie der Maschinenstrom I_1 .

Es treten keine störenden Ausgleichsvorgänge im Strom auf. Die Messungen wurden an einem Antriebsprüfstand mit dem originalen Nahverkehrstromrichter und zwei parallelgeschalteten Fahrmotoren durchgeführt.

6 Zusammenfassung

Die stromrichternahe Antriebsregelung für durch Pulswechselrichter gespeiste Asynchronfahrmotoren der neuen Steuergerätegeneration für Bahnautomatisierungssysteme SIBAS 32 ist in seinen wesentlichen Funk-

tionen beschrieben worden. Kernstück der Regelung ist eine selbständig arbeitende, durch den Einsatz von programmierbaren Bausteinen flexibel einsetzbare Signalprozessoreinheit mit hoher Rechenleistung. Dieses Prozessorsystem führt alle zeitkritischen Aufgaben der Antriebsregelung aus. Es erhält von einem überlagerten Zentralrechner die Führungswerte Fluß und Moment der Maschine. In die Konzeption sind die langjährigen Erfahrungen des Systems SIBAS 16 sowie neueste Erkenntnisse eingeflossen.

Außerdem beinhaltet das Steuerungssystem SIBAS 32 vielfältige Überwachungskreise und Diagnosehilfsmittel für die Inbetriebnahme und Instandhaltung, die hier nicht behandelt werden konnten.

Mit den eingesetzten leistungsfähigen Komponenten ist das Bahnautomatisierungssystem SIBAS 32 gut gerüstet für zukünftige Aufgaben.

Literatur

- [1] Weigel, W.D.: SIBAS 32, ein zukunftsweisendes Konzept für Fahrzeugsteuerungen. In: ZEV+DET Glasers Annalen -Die Eisenbahntechnik 116 (1992), H. 8/9
- [2] Blaschke, F.: Das Verfahren der Feldorientierung zur Regelung der Drehfeldmaschine. Dissertation Technische Universität Braunschweig (1974)
- [3] Bayer, K.-H.: TRANSVEKTOR-Regelung - Ein Regelprinzip für Drehstromantriebe. In: ZEV-Glasers Annalen 104 (1980), H. 8/9, S. 291-298

- [4] **Bauer, F.; Heining, H.-D.:** Quick Response Space Vector Control for a High Power Three-Level-Inverter Drive System. EPE Aachen (1989), Bd. 1, S. 417-421
- [5] **Blaschke, F.; Böhm, K.:** Verfahren zur Felderfassung bei der Regelung stromrichter gespeister Asynchronmaschinen. In: msr 18 (1975), H. 12, S. 278-280
- [6] **Gabriel, R.; Leonhardt, W.; Nordby, C.:** Field Oriented Control of a Standard AC-Motor Using Microprocessors IEEE-IAS Ann. meeting (1979), S. 910-916
- [7] **Leonhardt, W.:** Control Of AC-Machines With The Help Of Microelectronics. IFAC Control in Power Electronics and Electrical Drives, Lausanne, Schweiz, (1983), survey papers, s. 35-38.
- [8] **Fetz, J.; Horstmann, D.:** Comparison of Different Field Oriented Control Methods for an Induction Machine Fed by a PWM-Modulator Controlled Inverter. EPE Aachen, (1989), Bd. 3, S. 1079-1085
- [9] **van der Broeck, H.; Skudelny, H.-Ch.; Stanke, G.:** Analysis And Realisation Of A Pulse Width Modulator Based On Voltage Space Vectors. IEEE Trans. on ind. appl., Vol. 24, No. 1, Jan./Feb. 1988, S. 142-150
- [10] **Stanke, G.:** Untersuchung von Modulationsverfahren für Pulsstromrichter mit hohen dynamischen Anforderungen bei beschränkter Schaltfrequenz. Dissertation RWTH Aachen (1987)

Siemens AG
 Bereich Verkehrstechnik
 Fahrzeuge Nahverkehr
 Postfach 3240
 91050 Erlangen
 Telefon (09131) 7-0
 Fax (09131) 7-26933



Sie fahren besser.
 Mit Siemens
 Verkehrstechnik.