

Strassenbahn-
Gelenktriebwagen
Typ «Tram 2000»
der Verkehrsbetriebe
Zürich
mit Drehstromantrieb

Druckschrift Nr. CH-B 0900 D



Titelbild:

Vielfachsteuerung von zwei Eingelenk-Strassenbahn-Triebwagen Typ «Tram 2000» mit Drehstromantrieb (Nr. 2008, führendes Fahrzeug) bzw. mit Gleichstromstellerantrieb (geführtes Fahrzeug) vor dem Hauptbahnhof Zürich.

Strassenbahn-Gelenktriebwagen Typ «Tram 2000» der Verkehrsbetriebe Zürich mit Drehstromantrieb

Roland Schaer, Adrian Schmid und Thomas Seger, Baden

Fortschritte in der Halbleiterentwicklung erlauben u. a. den Bau kompakter Umrichter zur Speisung von Asynchronmaschinen mit Käfigläufern. Für Nahverkehrs-Triebfahrzeuge mit hoher Bremsleistung und kombinierter Netz-/Widerstands-Bremse wählt BBC den Umrichtertyp mit Stromzwischenkreis (I-Umrichter). Um dieses Antriebskonzept vorzuführen, erhielt ein Gelenktriebwagen Typ «Tram 2000» der Verkehrsbetriebe Zürich Drehstromfahrmotoren und I-Umrichter. Seit Februar 1983 befindet sich das Fahrzeug mit Drehstromantrieb im regulären Betriebseinsatz. Die Autoren erläutern die Schwerpunkte der Entwicklung und gehen auf die Vorteile des Antriebes ein.

Einleitung

Bei Triebfahrzeugen für Netze mit Gleichstrombetrieb wächst das Interesse, den robusten Drehstromasynchronmotor mit Kurzschlussläufer einzusetzen. Interne Projektvergleiche bei BBC führten zur Wahl des *Umrichters mit Stromzwischenkreis* (I-Umrichter) bei Nahverkehrsmitteln. Dieser besteht aus Gleichstromsteller, Stromzwischenkreis und Phasenfolgewechselrichter [1]. Die Verkehrsbetriebe Zürich (VBZ) stellten als Vergleichsträger den Eingelenk-Strassenbahntriebwagen Be 4/6 Nr. 2008 aus der Baureihe «Tram 2000» mit der Achsfolge B'2' zur Verfügung. Ein I-Umrichter-Antrieb sollte an die Stelle des vorhandenen Gleichstromstellerantriebes treten (Tabelle I).

Die wesentlichen Forderungen des Pflichtenheftes lauten:

- Unterbringung der Stromrichter und Filterelemente unter dem Wagenboden.
- Beibehaltung der serienmässigen Drehgestelle, Getriebe und Federelemente des Achsantriebes.
- Freizügiger Einsatz des Fahrzeuges auch in Vielfachsteuerung mit den übrigen Gleichstromsteller-Triebwagen der Baureihe «Tram 2000».
- Gleiche Bedienung wie bei den bisherigen Fahrzeugen (Zug- und Fahrzeugleitebene werden übernommen [2]).
- Eine kombinierte Netz-/Widerstands-Bremse soll den Verkehrsbetrieben Informationen über die Wirtschaftlichkeit der möglichen Energieeinsparung bringen.

Bei der Entwicklung des I-Umrichter-Antriebes kam BBC die reiche Erfahrung zustatten, die sie auf dem Gebiet der Umrichter-Traktion besitzt [3].

Parallel zum Betriebseinsatz in Zürich findet die neue Drehstromantriebstechnik auch auf einem Zweigelenk-Untergrundbahn-Triebwagen, Baureihe DT3-DAT2, der Hamburger Hochbahn AG (HHA) Anwendung [4].

Tabelle I: Technische Daten des Eingelenk-Strassenbahntriebwagens Typ «Tram 2000» der VBZ mit Drehstromantrieb (Nr. 2008)

Spurweite	mm	1000
Fahrleitungsgleichspannung		
– Nennwert	V	600
– Grenzwerte	V	400 ... 720
Achsfolge		B'2'B'
Länge über Puffer	mm	21400
Drehzapfenabstand	mm	2 × 6500
Drehgestellradstand	mm	1700
Dienstmasse	t	26,5
Adhäsionsmasse	t	20,5
Masse des elektrischen Teils	t	7,1
Platzangebot		
– Sitzplätze		50
– Stehplätze		107
Nutzlast	ca. t	7,5
Triebraddurchmesser		
– neu	mm	660
– halb abgenützt	mm	630
Anzahl Fahrmotoren		2
Getriebeübersetzung		1:6,555
Dauerleistung		
an den Motorwellen	kW	450
– entsprechende		
Grenzgeschwindigkeit	km/h	33
bei Nennspannung		
– entsprechende Zugkraft	kN	46
am Rad		
Anfahrzugkraft am Rad	kN	73
Motorbremskraft am Rad	kN	70
Höchstgeschwindigkeit	km/h	67
– entsprechende Restzugkraft	kN	30
bei Nennspannung		

Zugkraftwerte gelten bei halbabgenützten Radreifen.

Konzept des I-Umrichter-Antriebes im Nahverkehr

Zwei verschiedene Umrichterverfahren – der I-Umrichter mit Phasenfolge-Wechselrichter und der U-Umrichter (auch Spannungsumrichter) mit Puls-Wechselrichter – stehen für Antriebe in Nahverkehrsmitteln zur Diskussion. Beide Schaltungskonzepte weisen spezifische Vorteile auf. Entsprechend unterschiedlich liegen die Einsatzschwerpunkte. Aus technischen und wirtschaftlichen Gründen entschied sich BBC beim Nahverkehr für den I-Umrichter-Antrieb.

Wesentliche Merkmale des BBC-Drehstrom-Antriebes mit I-Umrichter lassen sich wie folgt gliedern:



Bild 1 – Eingelenk-Strassenbahntriebwagen Typ «Tram 2000» der VBZ mit Drehstromantrieb (Nr. 2008)

Nur ein Halbleiter-Element pro Funktion

Durch die Entwicklung von Sperrfähigkeit und Stromtragfähigkeit der Halbleiter erübrigen sich bei den im Nahverkehr üblichen Fahrleitungsgleichspannungen von 600 V und 750 V die Reihen- und Parallelschaltung von Elementen. Beim BBC-Zerhacker lassen sich durch den Einsatz von rückwärtsleitenden Thyristoren (RLT) sogar zwei Funktionen in einem Element integrieren.

Vollstatische Umschaltung

BBC verfügt über geeignete Schaltungen, die ein kontaktloses Umschalten vom Fahr- in den Bremsbetrieb erlauben. Wenn man berücksichtigt, dass ein mechanisches

Schaltelement bei *jedem* Lastspiel unter Last öffnen muss, erkennt man die Vorteile dieser Neuentwicklung. Diese gestattet ausserdem eine verschleissfreie Bremsung bis zum Stillstand.

Zwei unabhängige Antriebseinheiten

Jeder der beiden Fahrmotoren des Triebfahrzeuges erhält seinen eigenen I-Umrichter mit zugehörigen Leiteinrichtungen. Diese Lösung gewährleistet höchste Adhäsionsausnutzung und die bei Stadt- und Strassenbahn-Triebwagen übliche redundante Antriebsausrüstung.

Disposition

Ausserlich unterscheidet sich das Umrichter-Fahrzeug Nr. 2008 nicht von der Serie der bestehenden Gleichstromsteller-Gelenktriebwagen «Tram 2000» (Bild 1).

Der Drehstromantrieb besteht nach Bild 2 aus den folgenden Funktionsteilen:

- Gemeinsames Eingangsfilter für beide Stromrichter
- Gleichstromsteller
- Zwischenkreisdrosselspule (Stromzwischenkreis)
- Phasenfolgewechselrichter
- Asynchronfahrmotor

Der neue Stromrichter gliedert sich aus gegebenen Platzverhältnissen in mehrere Blöcke. Im Vorderteil des Fahrzeuges findet man über dem Führerstand den Hauptschalter und unter dem Wagenboden das Eingangsfilter. Die beiden eigentlichen Stromrichter hängen unter dem Wagenboden, verteilt auf 4 Apparatekasten (Bild 2, Tabelle II), für:

- Gleichstromsteller und Wechselrichter
- elektronischen Schalter
- Zwischenkreisdrosselspule
- Bremswiderstände

Die Luft zur direkten Kühlung des Stromrichters strömt vom Wechselrichter über die Zwischenkreisdrosselspule zu den Bremswiderständen.

Bild 2 – Disposition der Apparateblöcke für Drehstromantrieb im Strassenbahntriebwagen 2008 der VBZ

- 1 = Fahrzeug-Hauptschalter
- 2 = Gemeinsames Eingangsfilter
- 3 = Gleichstromsteller und Phasenfolge-Wechselrichter

- 4 = Elektronischer Schalter
- 5 = Zwischenkreis-Drosselspule
- 6 = Bremswiderstände
- 7 = Ventilator für Leistungselektronik
- 8 = Drehstrom-Fahrmotor

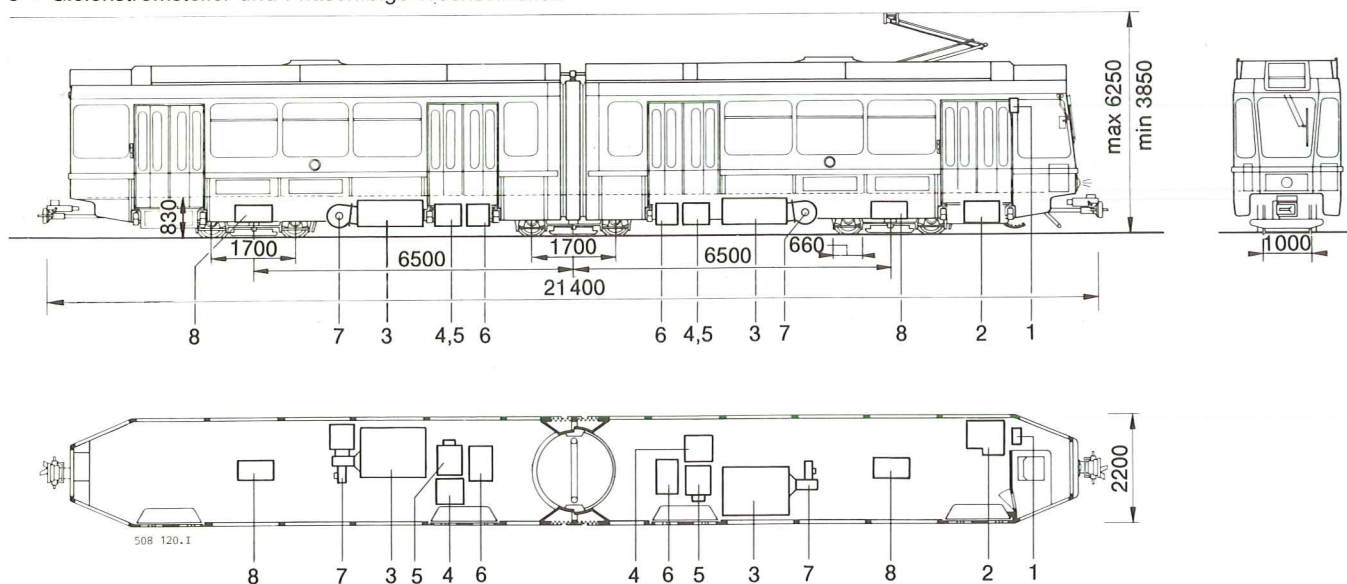
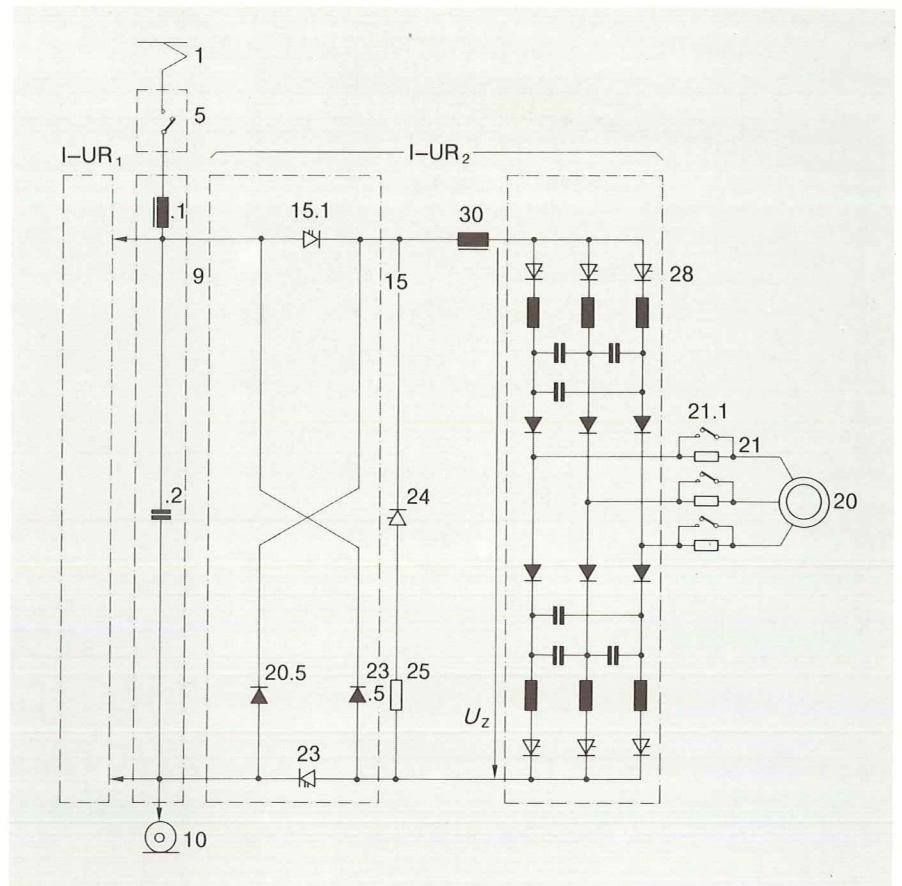


Bild 3 – Prinzipschaltbild des Umrichters mit Stromzwischenkreis (I-Umrichter) für Strassenbahntriebwagen 2008 der VBZ

- 1 = Stromabnehmer
 - 5 = Fahrzeug-Hauptschalter (Gleichstromschnellschalter)
 - 9 = Eingangsfilter
 - 9.1 = Eingangs-Drosselspule
 - 9.2 = Eingangs-Kondensator
 - 10 = Erdungsbürste
 - 15 = Gleichstromsteller
 - 15.1 = Zerhacker
 - 20 = Dreiphasen-Asynchron-Fahrmotor
 - 20.5 = Motor-Freilaufdiode
 - 21 = Motor-Vorwiderstände für Bremsbetrieb
 - 21.1 = Schütz für Überbrückung von 21
 - 23 = Elektronischer Schalter
 - 23.5 = Rückspeisediode
 - 24 = Thyristor für Bremsbetrieb
 - 25 = Bremswiderstand
 - 28 = Phasenfolge-Antriebswechsellrichter
 - 30 = Gleichstrom-Zwischenkreis-drosselspule
- U_z = Zwischenkreis-Spannung
 I-UR1 = Umrichter mit Stromzwischenkreis für vorderes Drehgestell
 I-UR2 = Dito für hinteres Drehgestell



508 121.1

Tabelle II: Technische Daten des Traktionsumrichters mit Zwischenkreis mit eingprägtem Gleichstrom

Leistung	kVA	400
Maximaler Wechselstrom (Effektivwert des Grundschwingungsstromes)	A	561
Wechselrichterfrequenz	Hz	0 ... 190
Taktfrequenz des Gleichstromstellers	Hz	440
Masse inkl. Filter	kg	2685

Funktionsweise

Der Umrichter (*Bild 4*) hat die Aufgabe, aus der Netzgleichspannung ein Drehstromsystem mit veränderlichem Strom und veränderlicher Frequenz zu erzeugen. *Bild 3* zeigt das Prinzipschaltbild des Drehstromantriebes. Der bewährte BBC-Gleichstromsteller 15 (RLT-Zerhacker mit einem Halbleiterelement pro Funktion [5]) prägt der Zwischenkreisdrossel 30 einen veränderbaren Strom ein. Der Phasenfolgewechsellrichter 28 verändert die Statorfrequenz. Dabei teilt sich der Zwischenkreisstrom I_d entspre-

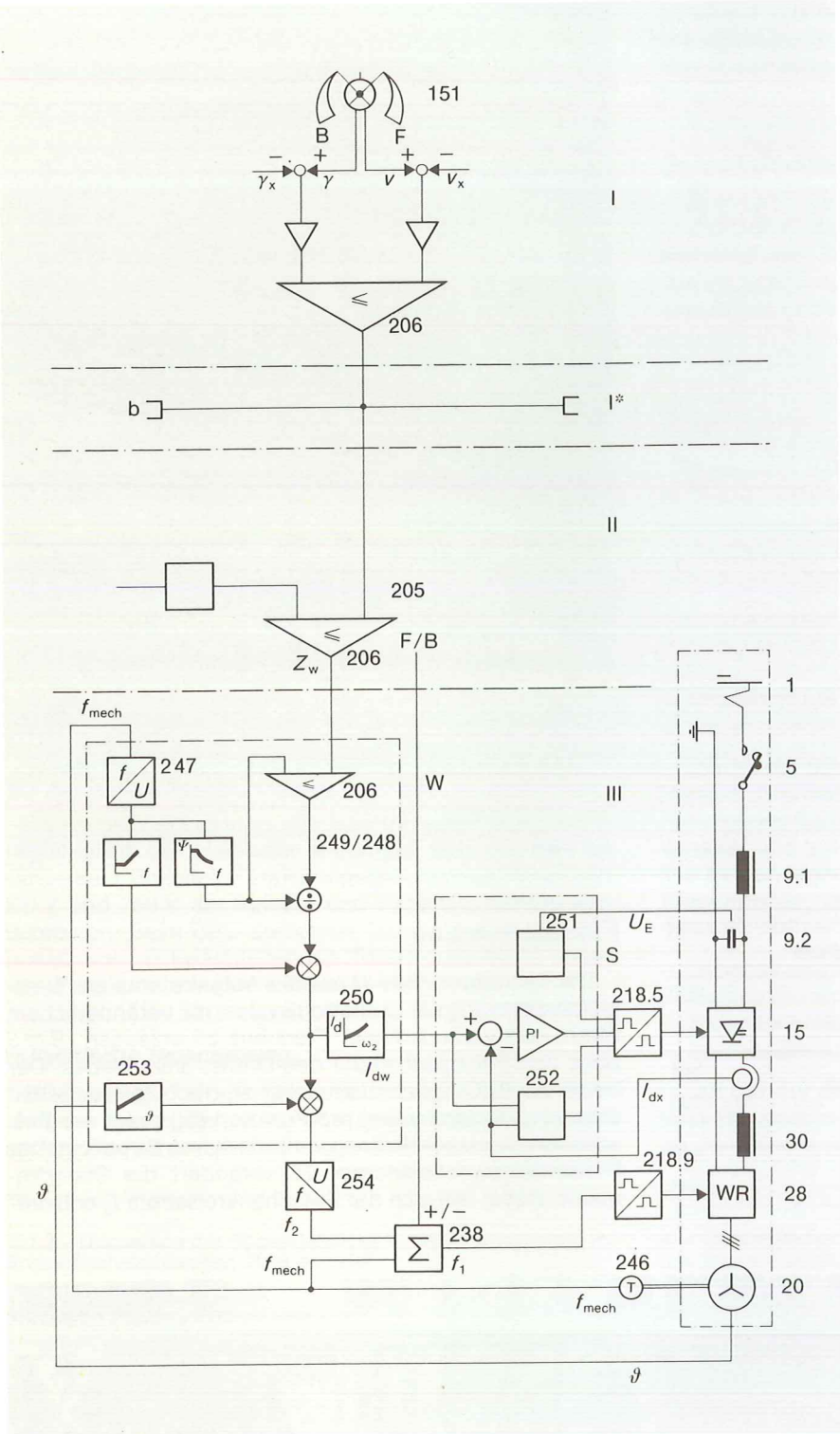
Bild 4 – BBC-Umrichter mit Gleichstrom-Zwischenkreis mit eingprägtem Strom für Drehstromantrieb bei Strassenbahntriebwagen 2008 der VBZ

Ansicht des unterflur eingebauten Blockes für Fremdbelüftung



201256 C

Bild 5 – Prinzipschaltbild des Leitsystems



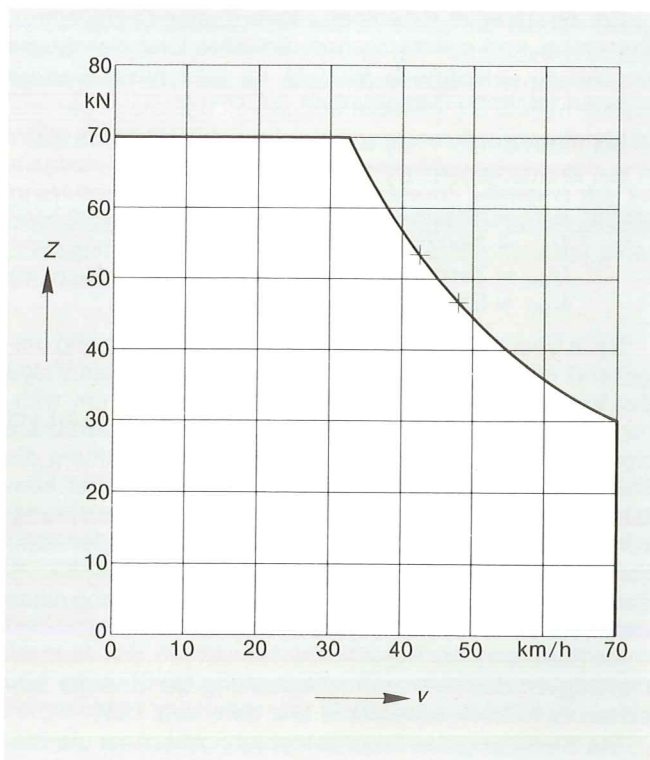
- γ = Beschleunigungs-Sollwert
- γ_x = Beschleunigungs-Istwert
- ω_2 = Schlupf-Kreisfrequenz
- ψ = Motorfluss
- ϑ = Fahrmotortemperatur
- f = Frequenz
- f_1 = Statorfrequenz
- f_2 = Schlupffrequenz-Sollwert
- f_{mech} = Rotordrehzahl
- I_d = Zwischenkreisstrom
- I_{dw} = Zwischenkreisstrom-Sollwert
- I_{dx} = Zwischenkreisstrom-Istwert
- Z_w = Zugkraft-Sollwert
- v = Geschwindigkeit
- v_x = Geschwindigkeits-Istwert
- U = Spannung
- U_E = Fahrmotor-Erregerspannung
- 1 = Stromabnehmer
- 5 = Fahrzeug-Hauptschalter
- 9.1 = Eingangs-Drosselspule
- 9.2 = Eingangs-Kondensator
- 15 = Gleichstromsteller
- 20 = Drehstrom-Asynchron-Fahrmotor
- 28 = Phasenfolge-Antriebswechselrichter
- 30 = Glättungsdrosselspule
- 151 = Winkeltransmitter am Fahrschalter für Stromsollwerteinstellung
- 205 = Schleudererfassung
- 206 = Kleinstwertbildner
- 218.5 = Impulsendstufe für Gleichstromsteller
- 218.9 = Impulsendstufe für Antriebswechselrichter
- 238 = Frequenzaddierer $f_1 = f_{mech} \pm f_2$
- 246 = Drehzahlgeber
- 247 = Frequenz-/Spannungs-Umsetzer
- 248 = Kennlinienbildner für Vorgaben Motorfluss und Maximalzugkraft
- 249 = Kennlinienbildner für Schlupf
- 250 = Kennlinienbildner für schlupf-abhängige Stromvorgabe
- 251 = Bremslogik
- 252 = Fahr-/Brems-Umschaltlogik
- 253 = Kennlinienbildner für Temperaturkorrektur
- 254 = Spannungs-/Frequenz-Umsetzer
- a = Vielfachsteuerleitung Einstellwert Winkeltransmitter
- B = Bremsbetrieb
- b = Vielfachsteuerleitung Strom-/Geschwindigkeits-Sollwert
- F = Fahrbetrieb
- S = Stromregler
- W = Sollwertaufbereitung
- I = Zuggleitebene (1)
- I* = Vielfachsteuerleitung
- II = Fahrzeugleitebene (2)
- III = Antriebsleitebene (2)
- (1) im Zentralgerät
- (2) im Drehgestellgerät

chend der vorgegebenen Frequenz in Blöcken auf die drei Wicklungsstränge der Asynchronmaschine 20 auf. Jeder Strang führt den Strom während $120^\circ el.$ mit jeweils einer Pause von $60^\circ el.$ Daraus entsteht das Drehfeld. Die Tiefpasscharakteristik des Antriebes dämpft die Drehmomentpulsationen. Um auch beim Anfahren, im Bereich der tiefen Frequenzen, die Momentpulsationen am Rad genügend zu dämpfen, erzwingt man durch Mehrfachpulsung einen im Mittel trapezförmigen Verlauf des Motorstromes.

Durch die Zündimpulsfolge des Wechselrichters lässt sich die Drehrichtung der Maschine ändern.

Fahrbetrieb

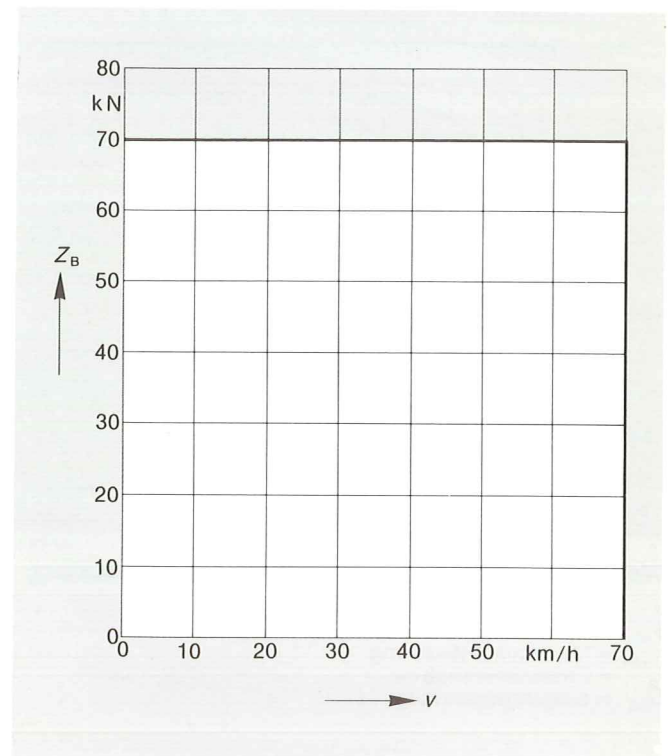
Im Fahrbetrieb bleibt der elektronische Schalter 23 dauernd geschlossen. Während der Leitdauer des Zerhackers liegt das Netz als Energiequelle an der Zwischenkreisdrosselspule 30. Als Gegenspannung wirkt die gleichgerichtete Maschinenspannung U_z . Sie ist im Fahrbetrieb, wie in Bild 3 gezeichnet, positiv. Die Differenz zwischen Netz- und gleichgerichteter Maschinenspannung sowie die Zwischenkreisinduktivität 30 bestimmen den Stromanstieg. Nach dem Öffnen des Zerhackers 15.1 (Motorfreilauf) nimmt der Strom ab.



508 122.I

Bild 6 – Fahrzeug-Kennlinien des Strassenbahntriebwagens 2008 der VBZ

a: Fahrbetrieb



508 123.I

b: Bremsbetrieb

Z = Zugkraft am Rad
 Z_B = Bremskraft am Rad
 v = Fahrgeschwindigkeit

Die Werte gelten bei neuen Radreifen.

Bremsbetrieb

Die Umschaltung vom Fahr- in den Bremsbetrieb erfolgt, sobald die gleichgerichtete Maschinenspannung U_Z negativ wird. Das kontaktlose und verzögerungsfreie Öffnen des elektronischen Schalters 23 bewirkt den Aufbau der Bremsschaltung. Bei leitendem Zerhacker 15.1 fließt die Bremsenergie aus der Maschine direkt in die Zwischenkreisdrossel 30. Der Strom wird während dieser Zeit aufgebaut. Nach dem Öffnen des Zerhackers gelangt der Strom über die Eingangsdrosselspule 9.1 in das Netz und über die Motorfreilaufdiode 20.5 wieder zurück. Fehlendes Aufnahmevermögen des Netzes heisst Umsetzen der Bremsenergie im Bremswiderstand 25 in Wärme.

Tabelle III: Technische Daten des Fahrmotors Typ 6 ELA 2555

Polpaarzahl		3
Klemmenspannung	V	3×490
– entsprechender Motorstrom	A	428
Dauerleistung an der Welle	kW	225
– entsprechendes Drehmoment	Nm	1148
– entsprechende Drehzahl	min^{-1}	1870
Statorfrequenz	Hz	0 ... 184
Höchstdrehmoment	Nm	1920
– entsprechender Drehzahlbereich	min^{-1}	0 ... 1870
Höchstdrehzahl	min^{-1}	3600
Masse	kg	840

Fahrmotor

Der grosse Vorteil des Drehstromantriebes im Nahverkehrsbereich liegt in der Verwendung des Asynchronmotors als Fahrmotor (Tabelle III). Dieser zeichnet sich im Vergleich zum an sich schon hochwertigen Gleichstrommotor durch die folgenden Punkte aus:

- Wegfall des Kollektors
- Minimaler Wartungsaufwand (Verzicht auf Bodenklappen im Fahrzeug)
- Unempfindlichkeit gegen Verschmutzung und Feuchtigkeit wegen Fehlens der blanken, spannungführenden Teile in der Maschine
- Kleineres Gewicht
- Kleineres Einbauvolumen
- Höhere Überlastbarkeit

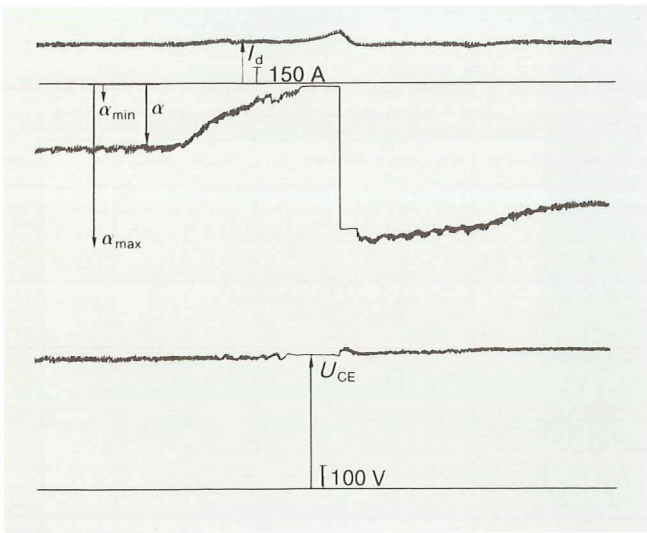
Ausserdem vereinfacht sich der Schaltungsaufwand wegen des Wegfalls der Schütze für Drehrichtungsumkehr.

Leiteinrichtungen

Die Leiteinrichtung (Bild 5) des mit Drehstromantrieb versehenen «Tram 2000» lässt sich aufteilen in

- Zug- und Fahrzeugleitebene mit Zentralgerät (ZG) und
- Antriebsleitebene mit Drehgestellgerät (DG, je eines pro Drehgestell).

Da das ZG dem der bestehenden Gleichstromsteller-Ausrüstung entspricht [6], beschränkt sich die Beschreibung auf das Drehgestellgerät.



508 125.1

Bild 7 – Fahr-/Brems-Umschaltung mit BBC-Umschalteinrichtung

- α = Aussteuerung des Zerhackers
- α_{\min} = Minimalaussteuerung
- α_{\max} = Maximalaussteuerung
- I_d = Zwischenkreisstrom
- U_{CE} = Eingangsspannung

Das DG übernimmt folgende Aufgaben:

- Sollwertaufbereitung
- Stromführung im ganzen Z - v -Bereich
- Takten des Wechselrichters
- Schutzfunktionen

Die Asynchronmaschine wird über die beiden Größen Motorstrom I_{Mot} und Schlupffrequenz f_2 geführt. Alle anderen Größen wie Fluss, Maschinenspannung, Zugkraft usw. stellen sich indirekt ein. Für eine optimale Ausnutzung der Maschine erfolgt die Berechnung der Sollwerte für I_{Mot} und f_2 aus der Drehmomentvorgabe durch die Sollwertaufbereitung.

Der Stromregler mit seinen zugeordneten Stellgliedern, Zerhacker und elektronischem Schalter führt den Strom im ganzen Z - v -Bereich (Bild 6). Im stationären Betrieb müssen folgende Bedingungen erfüllt sein:

- bei Fahrbetrieb: $U_Z = U_{CH} = U_{CE} \cdot \alpha$
- bei Bremsbetrieb: $U_Z = U_{CH} = U_{CE} \cdot (1 - \alpha)$

- worin:
- α = Aussteuerung des Zerhackers
 - U_Z = Zwischenkreisspannung
 - U_{CH} = Zerhackerausgangsspannung
 - U_{CE} = Eingangsspannung

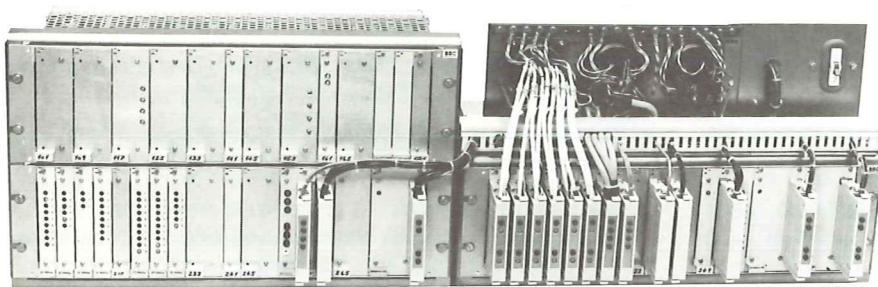
Beim Übergang vom Fahr- in den Bremsbetrieb und umgekehrt schwingt die Zwischenkreisspannung als Folge des Vorzeichenwechsels der Schlupffrequenz f_2 um, während die Stromrichtung gleich bleibt. Damit sich der Strom weiterhin kontrollieren lässt, löst die Bremsschaltung die Fahrschaltung ab. Dieser Vorgang findet dank der kontaktlosen, verzögerungsfreien BBC-Umschalteinrichtung, verbunden mit dem hochdynamischen Stromregler, sehr schnell und bei annähernd konstantem Strom statt (Bild 7). Ebenso erlaubt diese statische Umschalteinrichtung einen elektrischen Bremsbetrieb bis Stillstand.

Im Bremsbetrieb findet kontinuierlich je nach Aufnahmefähigkeit des Netzes eine Aufteilung der Energie zwischen dem Bremswiderstand und dem Netz statt.

Die Steuerung des Wechselrichters berechnet die Statorfrequenz f_1 aus der momentanen Drehzahl und der Schlupffrequenzvorgabe. Die Messung der Ist-Drehzahl erfolgt mit einem passiven hochauflösenden Drehzahlgeber. Zur Verkleinerung der Pendelmomente bei kleinen Drehzahlen findet eine Taktung der Wechselrichter im Pulsbetrieb statt (7fach-, 5fach-, 3fach-Taktung) [1].

In der DG-Elektronik sind folgende Schutzfunktionen integriert:

- Überwachung der Löschkfähigkeit des Zerhackers sowie der BBC-Umschalteinrichtung
- Überstromschutz
- Steuerung der Abläufe bei Stromabnehmerabsprüngen bzw. Fahrleitungs-Trennstellen oder bei Netz-Unterspannung
- df_1/dt -Begrenzungsregelung als Schleuderschutzhilfe
- Überwachung der Elektronikspeisespannung



201255.1

Bild 8 – Gehäuse mit Leiteinrichtung

Zu jedem Stromrichter gehört eines der beiden Drehgestellgeräte. Zur Verkleinerung der Netzurückwirkungen taktet man die beiden Gleichstromsteller synchronisiert um 180° versetzt. Im übrigen arbeiten die beiden Geräte völlig autonom. Ein Betrieb mit nur einer Antriebseinheit ist möglich. Die Abläufe in der Elektronik wickeln sich programmgesteuert ab, was Anpassungen während der Inbetriebsetzung erleichtert. Ein Drehgestellgerät umfasst 3 Etagen (*Bild 8*). Die beiden Geräte finden je unter einer Sitzbank Aufstellung.

Betriebsergebnisse

Der Inbetriebsetzung im Spätherbst 1982 schloss sich der fahrplanmässige Einsatz auf Linie 14 in Einfach- und Doppeltraktion an. Von vornherein stand fest, dass die Betriebstauglichkeit an der ausgereiften Serie des bisherigen «Tram 2000» gemessen würde. Diesen Vergleich bestand der Triebwagen mit Drehstromantrieb in vielversprechender Weise. Mit 140 000 gefahrenen Kilometern und etwa 13 600 Betriebsstunden ist die Verfügbarkeit vergleichbar mit jener der Fahrzeuge mit Gleichstromstellerantrieb. Die Adhäsionsausnutzung liegt sehr hoch. Einer Schleuderneigung lässt sich durch elektronische Mittel rasch entgegenwirken.

Literaturverzeichnis

- [1] *M. Brechbühler, B. Skrabo*: Der Stromrichter als modernes Leistungsstellglied. *Brown Boveri Mitt.* 69 1982 (12) 441–452.
- [2] *R. Zwahlen, M. Brechbühler*: Traktionsleitsystem. *Brown Boveri Mitt.* 69 1982 (12) 460–469.
- [3] *U. Meyer, K. Tapavica*: Statischer BBC-Umrichter für Kühlaggregate von klimatisierten Eisenbahnfahrzeugen. *Brown Boveri Mitt.* 69 1982 (12) 512–516.
- [4] *H. Albert, P. Wegener*: Neues energiesparendes Heizungs- und Lüftungskonzept für U-Bahn-Fahrzeuge. *Nahverkehrspraxis* 1982 (3) 97–102.
- [5] *B. Skrabo, X. Vogel*: Schaltungselemente und Aufbau des modernen Traktionsstromrichters. *Brown Boveri Mitt.* 69 1982 (12) 453–459.
- [6] *U. Baechler*: Strassenbahn-Gelenktriebwagen «Tram 2000» der Verkehrsbetriebe Zürich (VBZ). *Brown Boveri Mitt.* 63 1976 (12) 717–723.

BBC
BROWN BOVERI

BBC Aktiengesellschaft Brown, Boveri & Cie.
CH-5401 Baden/Schweiz

Geschäftsbereich Verkehr
Abt. BVG/Verkauf und Engineering
Gleichstromfahrzeuge
CH-8050 Zürich, Postfach 8242
Telefon 01/315 22 75, Telex 558 785 bbc ch

Gedruckt in der Schweiz (8609-1200-0)
Klassifikations-Nr. 550401

