

Zeitschrift:	Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses
Herausgeber:	Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen
Band:	67 (1976)
Heft:	14
Artikel:	Stand der Entwicklung von elektrischen Traktionsausrüstungen für Wechsel- und Gleichstrombahnen
Autor:	Jäger, A. / Baechler, U.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-915189

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 16.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Stand der Entwicklung von elektrischen Traktionsausrüstungen für Wechsel- und Gleichstrombahnen

Von A. Jäger und U. Baechler

621.33

Es wird gezeigt, dass Tractionselektriker heute eine vielfältige Technik anbieten müssen, um den Erfordernissen der elektrischen Zugförderung weltweit zu genügen. Die Ausführungsvarianten reichen von der traditionellen, jahrzehntelang erprobten elektrischen Ausrüstung mit Schaltelementen bis zu den stufenlos steuerbaren, statischen Stromrichtern. Die Entwicklungen sind zum Teil noch in vollem Fluss und umfassen nicht nur die Schaltungen und Bauelemente, sondern tangieren selbst die Grundlagenforschung, etwa bei den Halbleitern. Verglichen mit früheren Zeiten ist daher der personelle und finanzielle Aufwand für Forschung und Entwicklung ein Vielfaches.

Les auteurs montrent que les électriciens de la traction doivent disposer maintenant d'une technique variée pour satisfaire aux exigences mondiales de la traction électrique. Les variantes d'exécutions vont de l'équipement électrique classique avec organes de couplage qui a fait ses preuves depuis longtemps, jusqu'aux redresseurs statiques à réglage continu. En partie, les développements sont encore en pleine évolution et concernent non seulement les couplages et les composants, mais aussi la recherche fondamentale, par exemple dans le domaine des semi-conducteurs. La recherche et le développement exigent un personnel beaucoup plus nombreux qu'autrefois et sont nettement plus coûteux.

1. Wechselstrom-Triebfahrzeuge

1.1 Allgemeines

Bei den mit Wechselstrom betriebenen Bahnen findet man die Einphasensysteme 15 kV, 16 2/3 Hz und 25 kV, 50 oder 60 Hz am weitesten verbreitet. In Zukunft dürften in Sonderfällen auch Fahrdrähtspannungen von 50 kV gewählt werden. Als Antriebsmaschine für elektrische Triebfahrzeuge mit Speisung durch Einphasenwechselstrom von 16 2/3 Hz diente jahrzehntelang der Einphasenreihenschlussmotor. Das Ändern seiner Klemmenspannung zwecks Anfahrt oder Drehzahleinstellung erfolgte stufenweise über Schaltwerke oder Schaltschütze.

Auf Triebfahrzeugen, die mit Einphasenwechselstrom von 50 Hz versorgt werden, fanden dagegen Gleichstrom- oder Mischstrom-Serienkollektormotoren Anwendung. Der Einphasenwechselstrom wurde durch Quecksilberdampf- oder Halbleiter-Stromrichter in welligen Gleichstrom umgewandelt. Die Steuerung erfolgte vorerst ebenfalls stufenweise, später kontinuierlich mittels der Anschnittsteuerung [1; 2] ¹⁾.

Die Weiterentwicklung der Silizium-Halbleiter führte zur breiten Anwendung dieser Technik auf elektrischen Triebfahrzeugen. Thyristoren mit kurzer Freiwerdezeit, die sog. Frequenzthyristoren, ermöglichen heute, statische Umrichter zu bauen und somit die Spannung und Frequenz zu variieren. Der Einsatz von kollektorlosen Fahrmotoren wurde deshalb Wirklichkeit.

Im vorliegenden Aufsatz wird auf den technischen Stand dieser drei wesentlichen Techniken eingegangen.

1.2 Die konventionelle Wechselstromtraktion

Unter konventioneller Wechselstromtraktion versteht man heute die Anwendung des Einphasenreihenschlussmotors mit Schaltwerksteuerung. Obwohl diese Technik eine jahrzehntelange Entwicklungsphase und einen ebenso langen Betriebseinsatz hinter sich hat, sind in den letzten Jahren bemerkenswerte Fortschritte erzielt worden. Allem voran steht die Leistungssteigerung, aber auch die Vervollkommenung in verfahrenstechnischer Hinsicht und die Verminderung des Wartungsaufwandes. In schaltungs- und steuertechnischer Hinsicht sind bei den Netzbremsen [3] und fremderregten Widerstandsbremsen [4] Neuerungen entstanden.

¹⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

Bei den Bauelementen dürfte die Entwicklung bei den Fahrmotoren am bestechendsten sichtbar sein. Innerhalb einer Zeitspanne von 16 Jahren hat sich die Leistung bei gleichem Gewicht praktisch verdoppelt (Tabelle I). Massgeblichen Anteil haben dabei die Isolationssysteme der Klasse F und H, namentlich die Anwendung von lösungsmittelfreien Silikonharzen, ferner gezielte konstruktive Massnahmen zwecks höchstmöglicher Ausnutzung in thermischer und magnetischer Hinsicht oder zur Verwendung von leichten Teilen aus Kunststoff. Auch die spezifische Leistung der gesamten elektrischen Triebfahrzeugausrüstung konnte gesteigert werden. Als Beispiel dienen die Fahrmotorstromkreise der Lokomotiven Re 6/6, wo mit gezielten Massnahmen – hohe Stromdichte, dank intensiver Kühlung der Fahrmotor-Stromschiene und gleichzeitig ohmischer und induktiver Widerstandsabgleich mittels entsprechender geometrischer Ausführung – zwecks idealer Stromaufteilung auf sechs parallele Fahrmotoren – wesentlich an Gewicht eingespart werden konnte.

Besondere Anstrengungen wurden unternommen, die Wartungsaufwendungen zu verringern, sei es durch die Neuentwicklung von Schaltmaterial oder konstruktive Verbesserungen an bestehenden Geräten. Die Hochspannungsstufen-schalter Typ NO 32/4 erreichen heute 4 Mio Schaltbewegungen entsprechend 200 000 Fahrkilometer zwischen den War-

Vergleich von Leistung und Masse verschiedener Lokomotivtypen und Baujahre

Tabelle I

SBB Lok Typ Baujahr	Ae 6/6 1956	1964	Re 4/4II 1967	Re 6/6 1972
Stundenleistung des Fahr-motors an der Welle [kW]	735	850	1195	1338
Masse des Fahrmotors [kg]		3830	3900	3880
Spezifische Leistung [kW/kg]	0,192	0,222	0,306	0,348
Masse der elektrischen Lok-Ausrüstung [t]		53,4	38,2	58
Dienstmasse der Lokomotive [t]		120	80	120
Spezifische Leistung der gesamten elektrischen Ausrüstung [kW/kg]	0,083	0,096	0,125	0,138

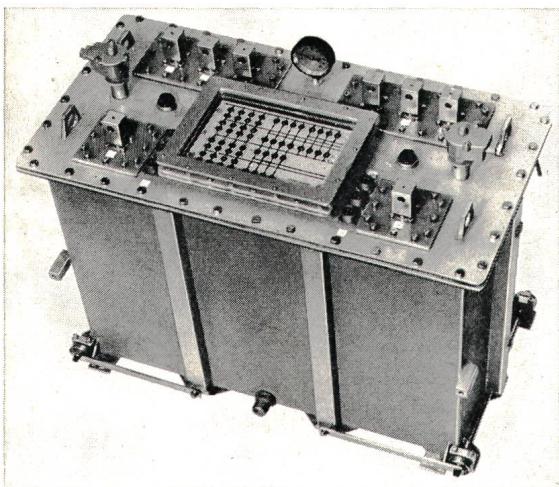


Fig. 1 Ölgekühlter, gesteuerter Stromrichter in vierstufiger Sparschaltung

Leistung 1300 kW, Masse (ölgefüllt) 600 kg, Kessel aus Leichtmetall

tungsintervallen gegenüber 0,25 Mio Schaltbewegungen entsprechend 60 000 km vor 17 Jahren, im Zeitpunkt der Entwicklung des Gerätes.

1.3 Triebfahrzeuge mit Anschnittsteuerung

Während der vergangenen 10 Jahre wurden auf dem Gebiet der Anschnittsteuerung bemerkenswerte Entwicklungen durchgeführt. Über die Stufe der Diodengleichrichter mit Amplitudensteuerungen entstanden mit Hilfe der steuerbaren Halbleiterventile (Thyristoren) stufen- und trägeheitslose Steuerungen, die Phasen-Anschnittsteuerungen. Bei den Lokomotiven waren die Anstrengungen auf das Erreichen hoher Leistung und traktionstechnischer Ausnutzung (Adhäsion) ausgerichtet.

Bei den Vorortzügen galt es, hohe Beschleunigungen und Fahrkomfort zu erzielen. Den Forderungen kostenbewusster Kunden nachkommend, wurden wartungsfreie Stromrichter gebaut [5], die unter Öl angeordnet sind und somit wie Transformatoren gekühlt werden und keiner Verschmutzung

ausgesetzt sind (Fig. 1). Damit ist ein beachtlicher Schritt in Richtung Unterhaltsarmut vollzogen worden. Die speziellen Verhältnisse bei den Schweizerischen Bahnen bezüglich Empfindlichkeit der Gleisstromkreise (Signalanlagen) und Fernmeldeanlagen machten die Anwendung von Stromrichteranlagen erforderlich, die sich durch geringe Netzrückwirkungen und geringe elektromagnetische Umweltbeeinflussung auszeichnen. Im Vordergrund stehen hierbei vierstufige halbgesteuerte Stromrichter in Sparschaltung [6;7] (Fig. 2).

Das Erzielen maximaler Adhäsionsausnutzung setzt eine optimale Harmonie zwischen dem mechanischen Teil und der elektrischen Ausrüstung der Lokomotive voraus. Dank der in Fig. 3 dargestellten Massnahmen: ausgeglichene statische Achslasten, drehgestellweise Fahrmotoranspeisung, drehschwingungsfreie Kraftübertragung (Antriebe) sowie geeignete Regelsysteme, gelingt es, mit vierachsigen Bo'Bo'-Thyristorlokomotiven, die Fahrprogramme konventioneller 16 2/3-Hz-Co'Co'-Lokomotiven der vorangehenden Generation zu erfüllen [8]. Die Thyristorlokomotiven eignen sich zudem für den universellen Betriebseinsatz, sowohl für den Güterzugsdienst auf Bergstrecken wie auch als Schnellzugslokomotiven im Flachland. Grenzleistungstriebfahrzeuge dieser Klasse stellen die Ge 4/4II-Lokomotiven der Rhätischen Bahn für Meterspur und die Bo'Bo'-Lokomotiven Reihe 1044 der Österreichischen Bundesbahn für Normalspur dar.

1.4 Triebfahrzeuge mit statischen Umrichtern und Asynchronmotoren

Die vorangegangenen Ausführungen haben gezeigt, dass es heute mit Kollektormotoren möglich ist, Fahrzeuge höchster Ansprüche zu realisieren. Trotzdem zeichnet sich bereits eine neue Entwicklung ab: die Anwendung des kollektorlosen Fahrmotors.

Wegen des Wegfalls des Kommutators, dessen Leistungvermögen durch die Umfangsgeschwindigkeit begrenzt ist, können mit Asynchronmotoren unter Ausnutzung der zulässigen Drehzahlen und dem im Drehgestell verfügbaren

Fig. 2

Vierstufige Stromrichter-Sparschaltung mit Zusatz-Kommutierungsdrösselspule

a Schaltbild
b Gleichspannungsverlauf in den 4 Spannungsstufen (b₁...b₄)

I Sekundärwicklungs-Stromrichterbrücken-System I

II Sekundärwicklungs-Stromrichterbrücken-System II

L_K Zusatz-Kommutierungsdrössel
 u_d Gesamte Gleichspannung
 u_{dI} Teilspannung an Brücke I
 u_{dII} Teilspannung an Brücke II

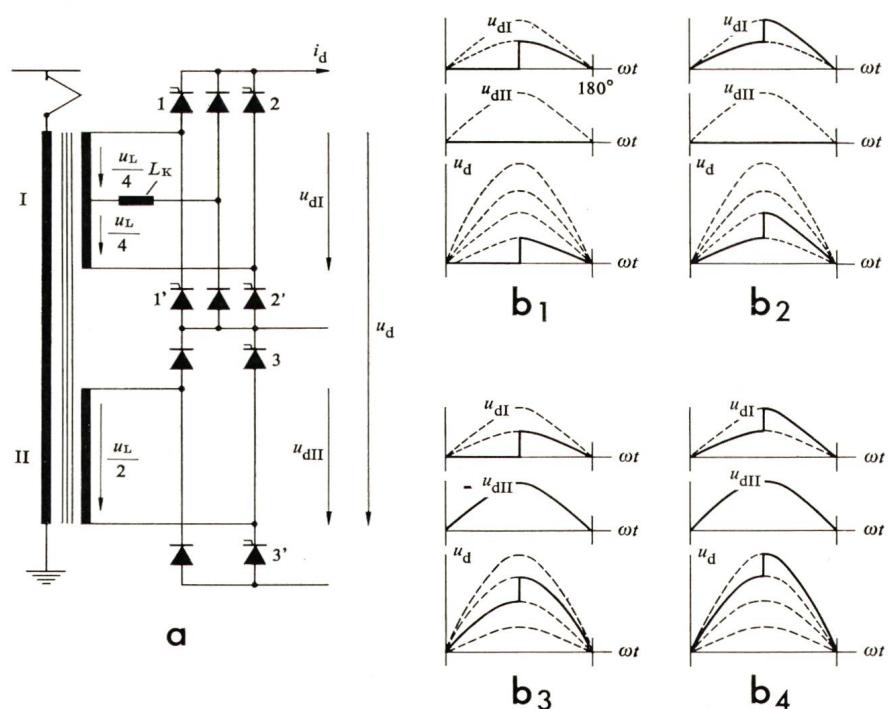
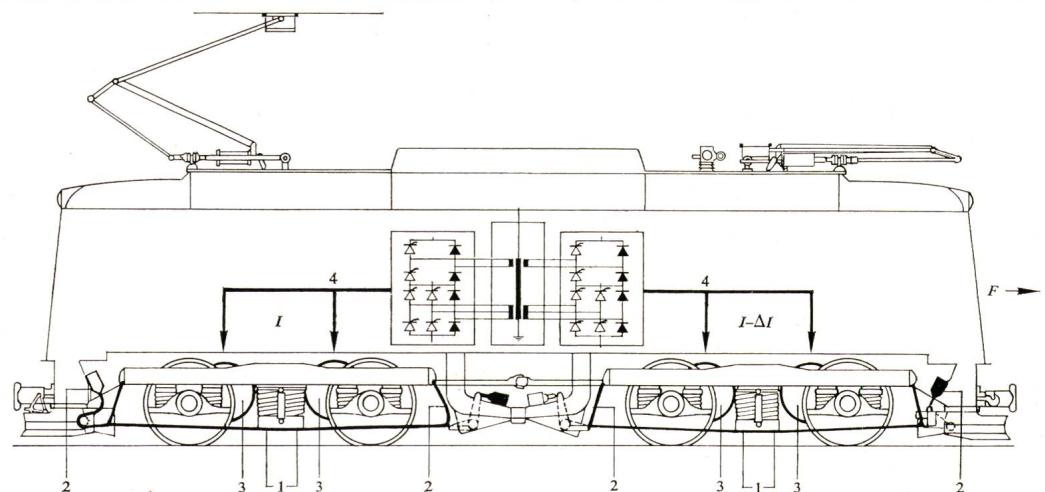


Fig. 3

Massnahmen zur maximalen Adhäsionsausnutzung

- 1 Zugkraftübertragung über flache Tiefzugstangen (190 mm über SOK)
 - 2 Elektropneumatischer Achsdruckausgleich mit Seilzug (Seilkraft zugkraftproportional)
 - 3 Gemischterregte Fahrmotoren mit steiler $Z-v$ -Charakteristik
 - 4 Reduktion der Motorströme ($I - \Delta I$) im vorlaufenden Drehgestell
- F Fahrtrichtung



Raum höhere Leistungen realisiert werden. Für Fahrzeugschwindigkeiten, die einmal im Bereich von 200...300 km/h liegen werden, stellt der Asynchronmotor geradezu eine Voraussetzung dar. Sein gegenüber vergleichbaren Kollektormaschinen geringeres Gewicht hat eine Reduktion der unabgedeckten Massen im Drehgestell zur Folge. Damit werden die Kräfte zwischen Rad und Schiene reduziert und höhere Fahrgeschwindigkeit im Gleisbogen ermöglicht.

Eine für den Betrieb des Asynchronmotors besonders geeignete Steuerungsart ist die Impulsbreitenmodulation nach dem sogenannten Unterschwingungsverfahren [9]. Aus einem Gleichspannungszwischenkreis werden über die Wechselrichterventile den drei Phasen eines Asynchronmotors Spannungsblöcke positiver und negativer Polarität zugeführt (Fig. 4). Bei richtiger Vorgabe des Schaltaktes kann so durch Ein- und Ausschalten und durch Polaritätswechsel ein angenähert sinusförmiger Spannungsverlauf erzielt werden (Fig. 5). Durch Variation der positiven und negativen Blockbreiten kann die Amplitude der Spannung verändert werden. Unterschiedliche Taktgeschwindigkeit bedeutet Änderung der Frequenz. Es können also sowohl die Spannung als auch die Frequenz verstellt werden. Mit Rücksicht auf das Drehstromsystem sind drei Phasen erforderlich, die elektrisch um 120° versetzt arbeiten. Das dermassen konzipierte System gestattet die Anwendung sowohl bei Wechselstrom- als auch bei Gleichstrom-Triebfahrzeugen (Fig. 6).

Das Steuerverfahren mit der Pulsbreitenmodulation bietet die besonders interessante Möglichkeit, einem Wechselstromnetz sinusförmigen Strom zu entnehmen [10] (Fig. 7). Mit Hilfe eines Vierquadrantenstellers gelingt es darüber hinaus, einen Leistungsfaktor angenähert 1,0 zu erreichen. Umrichter mit einem Vierquadrantensteller zur Zwischenkreiseinspeisung dürften daher bei Grenzleistungstriebfahrzeugen eine vielbeachtete Lösungsmöglichkeit darstellen. Bei der Deutschen Bundesbahn und auf Strecken der Schweizerischen Bundesbahnen hat eine derart ausgerüstete Fahrzeugkomposition bereits Zeugnis der Betriebstüchtigkeit abgelegt.

Was die Antriebstechnik mit statischen Umrichtern und Drehstrommotoren anbelangt, liegt mit den drei DE 2500 dieselektrischen Lokomotiven der Firmen Rheinstahl-Henschel und Brown Boveri Mannheim schon ein mehrjähriger Betriebseinsatz vor. In Auslieferung begriffen sind ausserdem sechs dieselektrische Lokomotiven der Typenbezeichnung Am 6/6 für die Schweizerischen Bundesbahnen.

2. Gleichstrom-Triebfahrzeuge

2.1 Anwendungsbereiche der Gleichstromtraktion

Da für Gleichstrom ein dem Transformator entsprechendes einfaches Element zur Spannungstransformation fehlt, stellt bei Gleichstrombahnsystemen die Wahl der Fahrdrähtspannung immer einen Kompromiss zwischen den Bedürfnissen der Energiezuführung zum Fahrzeug und der Traktions- und Hilfsbetriebbeanlage auf dem Fahrzeug dar. Deshalb sind bei Vollbahnen mit den heute üblichen hohen Triebfahrzeugleistungen und den grossen Energie-Übertragungsdistanzen wegen der bei Gleichstrom begrenzten Fahrdrähtspannung (1,5...3 kV, evtl. in Zukunft 6 kV) Systeme mit hochgespann-

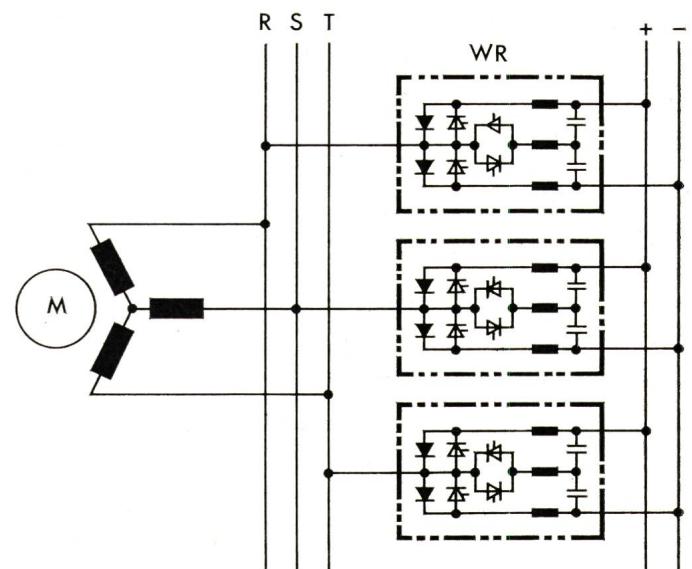


Fig. 4 Prinzipschaltbild eines ab Gleichspannungszwischenkreis gespeisten Umrichters WR zur Speisung eines Asynchronmotors M

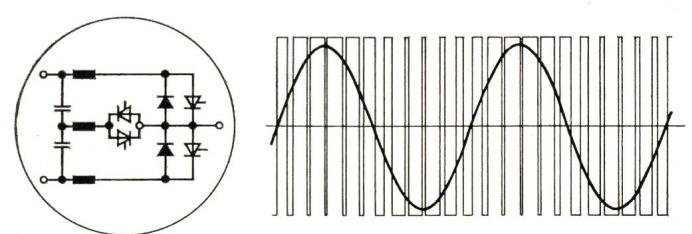


Fig. 5 Schaltung einer Wechselrichterphase und Arbeitsweise des Unterschwingungsverfahrens

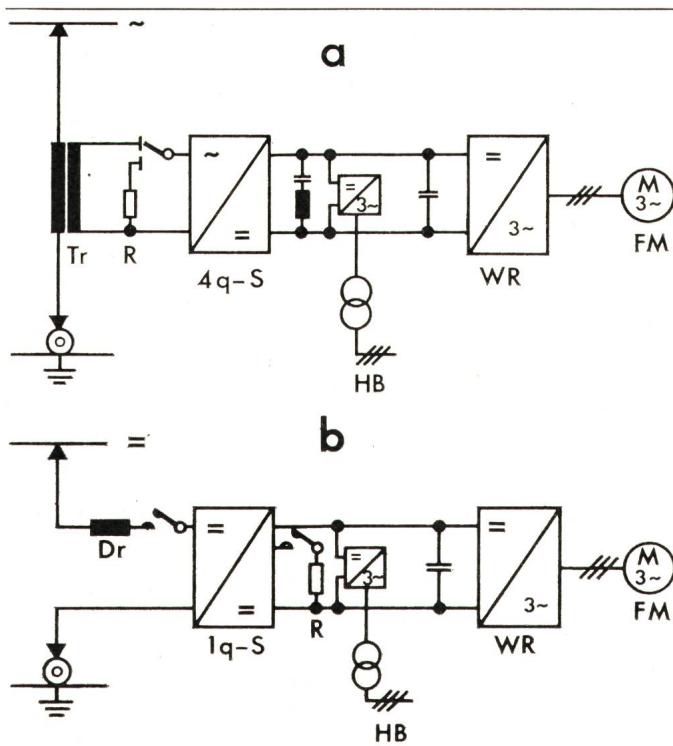


Fig. 6 Prinzipschaltbild der Drehstromlokomotive für Wechselstromnetze (a) und für Gleichstromnetze (b)

Tr	Transformator	4q-S	Vierquadrantensteller
Dr	Eingangsdrossel	HB	Hilfsbetriebsversorgung
R	Bremswiderstand	WR	Wechselrichter
1q-S	Einquadrantensteller	FM	Fahrmotoren

tem Wechselstrom zweckmässiger. Entsprechend werden keine neuen Vollbahnsysteme mehr mit Gleichstrom elektrifiziert.

Die Hauptdomäne der Gleichstromtraktion liegt im Stadt- und Nahverkehr sowie bei Sekundär- und Bergbahnen. Diese Anwendungsfälle zeigen zumeist folgende Hauptmerkmale:

- Leistung kleiner als 1 MW,
 - ausgeprägter Start-/Stop-Betrieb, deshalb leichte elektrische Ausrüstung aus energetischen Gründen wichtig,
 - geringe Übertragungsdistanz Unterwerk–Fahrzeug,
 - dichter Verkehr.

Die in der Schweiz vorhandenen Gleichstrom-Bahn-systeme entsprechen durchwegs den obigen Anwendungsbereichen. Deshalb werden sich auch die nachfolgenden Ausführungen primär auf diese Anlagen konzentrieren.

2.2 Alternativen für die Traktionsausrüstung

Für die kommerzielle Anwendung stehen heute zwei Alternativen für Gleichstrom-Traktionsausrüstungen zur Verfügung: die konventionelle Technik mit Anfahrwiderständen und elektromechanischer Schaltapparatur sowie die auf Leistungselektronik basierende Choppertechnik.

Die Entwicklung der Umrichtertechnik, d. h. die Verwendung von aus statischen Wechselrichtern gespeisten Drehstromfahrmotoren wird heute insbesondere bei höheren Leistungen stark gefördert. Die kommerzielle Anwendung auf herkömmlichen Schienenfahrzeugen mit Leistungen unter 1 MW dürfte in den nächsten Jahren höchstens für Sonderfälle in Frage kommen.

Die konventionelle Gleichstromtechnik ist in ihrer Einfachheit kaum mehr zu überbieten. Geschickt angewandt und je nach Anwendungsfall mit Mitteln der Steuerelektronik ergänzt, sind auch heute zweckmässige und wirtschaftliche Lösungen realisierbar.

Die Choppertechnik (Gleichstromstellertechnik) bietet verschiedene Neuerungen, die in der konventionellen Technik nicht oder nur rudimentär vorhanden sind. Neben regel- und traktionstechnischen Vorteilen sowie reduzierter periodischer Wartung sind dies vor allem Einsparungsmöglichkeiten an Traktionsenergie dank Wegfall der Anfahrverluste und einer weit effizienteren Möglichkeit, im Bremsbetrieb Energie zu rekuperieren.

2.3 Konventionelle Gleichstromtraktion

Während auf dem Gebiet der Schaltungstechnik nur noch bescheidene Entwicklungs- und Optimierungsschritte zu verzeichnen sind, wurden bei der zugehörigen Steuerungstechnik und Traktionsapparatur in letzter Zeit wesentliche Fortschritte erzielt.

Leistungsfähigkeit, Zuverlässigkeit sowie auch Abmessungen und Gewichte von Fahrmotoren, Schaltapparaten und Widerständen profitierten von den Fortschritten der allgemeinen Technologien, der Isolationstechnik wie auch von neuen Berechnungs- und Messverfahren. Als Beispiel seien die fremdventilierten Widerstände erwähnt. Die bis anhin verwendeten eigenventilierten Widerstände, welche 60–80 % der Dachfläche eines Gelenktriebwagens belegen, können durch zwei unter dem Wagenboden angeordnete Kästen der Bauform gemäss Fig. 8 ersetzt werden.

Bei der Traktionsschaltapparatur besteht eine eindeutige Tendenz vom Schaltwerk zum elektromagnetischen oder elektropneumatischen Einzelschütz (Fig. 9). Neben den technischen Vorteilen wie rasche Reaktionszeit, Flexibilität in Einbau und Anwendung, günstige Ersatzteilhaltung bestehen insbesondere bei kleineren Fahrzeugserien kommerzielle Vorteile, da die Schaltwerke nur in grossen Stückzahlen preisgünstig hergestellt werden können. Die Ergänzung der Fahrzeugsteuerung mit Elementen der Steuerelektronik (Schleuder- und Gleitschutz, Regelungen für Anfahr- und Bremsvorgänge) ergab eine wesentliche Aufwertung der konventionellen Gleichstromtraktion. Die heute im Nahverkehr üblichen Forderungen nach Vielfachtraktion, nach hoher Beschleunigung und Verzögerung mit entsprechender Adhäsion

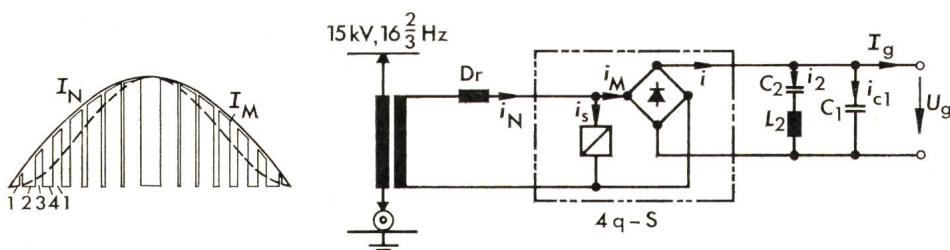


Fig. 7
Pulsbreitenmodulation des Netzstromes I_N und Prinzipschaltung der Zwischenkreiseinspeisung
 I_M Gleichrichterstrom
 I_N Netzstrom, Schaltfolge 1, 2, 3, 4, 1

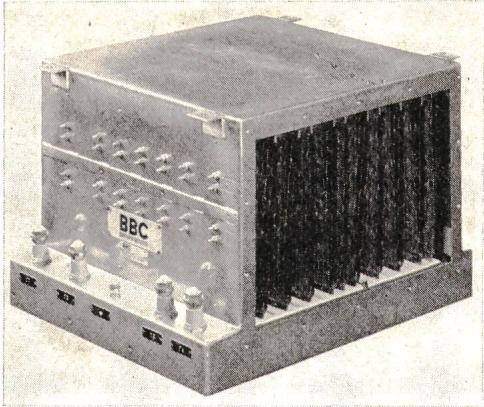


Fig. 8 Forciert belüfteter Bremswiderstand für Nahverkehrsfahrzeuge

sionsausnutzung sowie nach teil- oder vollautomatisierten Fahrvorgängen sind ohne Steuerelektronik kaum realisierbar.

2.4 Choppertechnik

Bei den Traktionsschaltungen für Chopperfahrzeuge zeigt sich heute eine enorme Vielfalt. Neben Sondertechniken wie z. B. Schaltungen mit gepulsten Anfahr- und Bremswiderständen [11] liegen die Unterschiede zumeist in der Art und Weise der Regelung von Ankerspannung und Erregergrad. Es sind u. a. zu erwähnen:

- Reihenschlussmotor mit Ankersteller und separaten elektromechanischen oder elektronischen Elementen für Feldschwächung,
- fremderregter Motor mit Ankersteller und separatem Erregersystem (Fahrleitungs-, Bordnetz- oder Batterie-gespeist) [12],
- gemischte Systeme mit nur einem Stellglied für Anker und Erregung, z. B. sog. automatischer Feldschwächung [1; 13].

Eine besondere Entwicklungstendenz in Richtung auf ein bestimmtes System ist nicht festzustellen. Je nach Randbedingungen wie z. B. Fahrprogramm, Anzahl paralleler Motorzweige pro Steller, besondere Anforderungen an die generatorische Bremse (Fahrdrahtunabhängigkeit, Verlauf der Bremskraft über den Geschwindigkeitsbereich usw.) zeigt das eine oder andere Prinzip Vorteile.

Bei den Entwicklungen von Bremsschaltungen für Nahverkehr stehen Schaltungen im Vordergrund, die gemischte Widerstands- und Rekuperationsbremsung zulassen (Fig. 10). Dabei soll in jedem Zeitpunkt die rekuperierte Bremsleistung dem Aufnahmevermögen des speisenden Netzes angepasst werden. Die damit erreichbaren Energieeinsparungen sind je nach den jeweiligen Verhältnissen wie Topologie des Speisenetzes, Fahrdrahtspannung, Fahrprogramm, Zugsdichte usw. stark unterschiedlich. Die Entwicklung der Gleichstromsteller selbst wird u. a. durch den Fortschritt der Leistungshalbleiter stark beeinflusst. Als Beispiel ist die in Fig. 11 gezeigte Reduktion der Anzahl Leistungshalbleiter in Gleichstromstellern vergleichbarer Leistung zu nennen, die u. a. aus der Verbesserung der Kenndaten und Technologien (z. B. rückwärtsleitende Thyristoren) resultiert. Die jüngste Entwicklung der Leistungshalbleiter gestattet auch eine Verbesserung des Stellverhältnisses (Verhältnis Minimal-/Maximalaussteuerung) und eine Erhöhung der Taktfrequenz. Der letztere Vorteil ermöglicht eine Gewichts- und Volumenreduktion des Eingangsfilters und der Glättungselemente im Motorkreis.

Auf der Seite der Einbauplanung und Konstruktion wurden durch geschickte Zusammenfassung von Baugruppen und Ausnützen von vorhandenen Kühlluftströmen Fortschritte bezüglich Aufwand und Platzbedarf erzielt.

2.5 Drehstromtechnik

Die Drehstromtechnik bringt für den Traktionsteil eine gewisse Annäherung der Techniken von Wechselstrom- und Gleichstromtriebfahrzeugen. Wieweit allerdings die Wahl der Wechselrichtersysteme durch die stark unterschiedlichen Traktionsleistungen und Fahrprogramme beeinflusst wird, ist Gegenstand ausgedehnter Untersuchungen.

So sind z. B. aus dem Gebiet des Stadtverkehrs zwei Probleme zu nennen, die auf das System und dessen Auslegung einwirken: die Fahrdrahtunabhängigkeit der elektrischen Bremse und die Tatsache, dass die Bremsleistung bei hoher Geschwindigkeit die maximale Traktionsleistung wesentlich übersteigt.

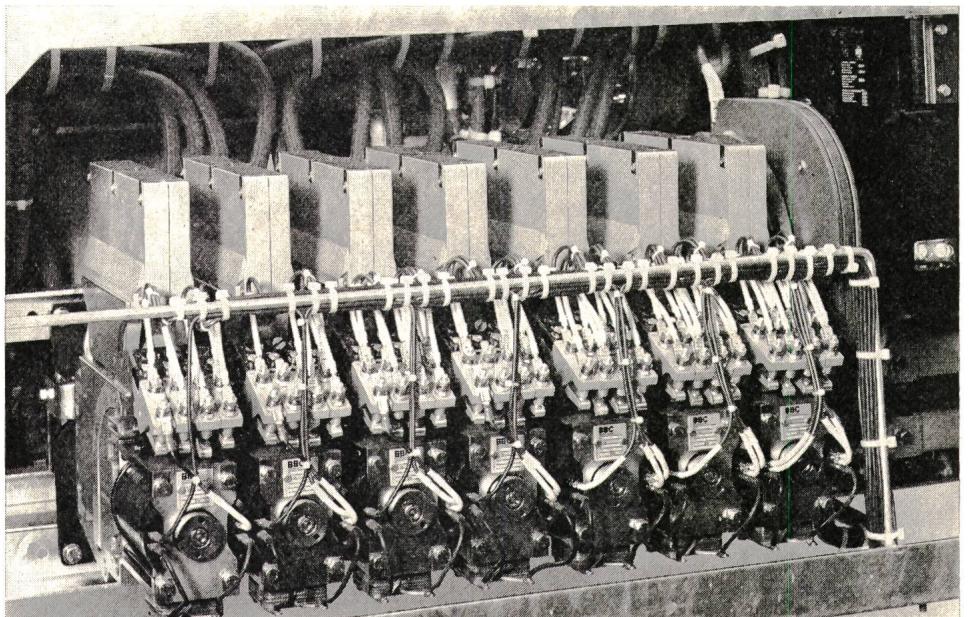


Fig. 9
Batterie elektromagnetischer Bahnschütze

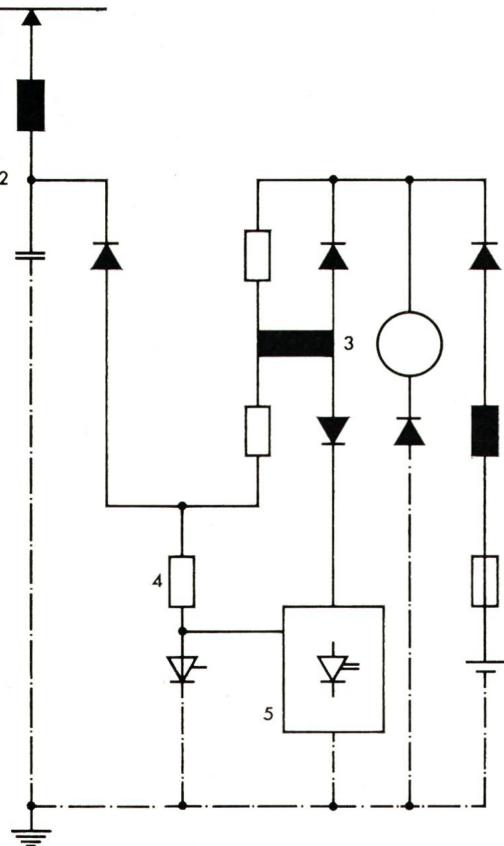


Fig. 10 Schaltung für gemischte Rekuperations- und Widerstandsbremse

- | | |
|------------------|-------------------|
| 1 Stromabnehmer | 4 Bremswiderstand |
| 2 EingangsfILTER | 5 Chopper |
| 3 Fahrmotor | |

Attraktiv ist die Reduktion der Motorabmessungen, die eine Ausweitung des Anwendungsbereiches von Längsmotor-Drehgestellen mit gekuppelten Achsen nach höheren Leistungen erwarten lässt.

Die praktische Anwendung der Drehstromtechnik bei Speisung ab Gleichstromfahrdrähten beschränkt sich heute auf einige Versuchsfahrzeuge, die sich im Planungs- und Konstruktionsstadium oder im Probebetrieb befinden.

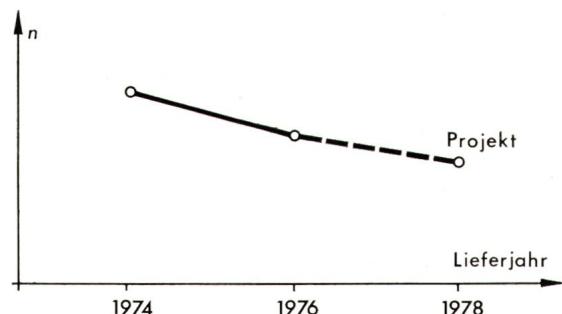


Fig. 11 Anzahl Leistungshalbleiter n pro Gleichstromsteller bei Anlagen vergleichbarer Leistung

Literatur

- [1] H. J. Bossi, H. Löcker und K. Winkler: Schaltungstechnik der gesteuerten Traktionsstromrichter am Wechsel- und Gleichspannungsfahrdräht. Bull. SEV 62(1971)1, S. 6...17.
- [2] R. Germanier und H. Hintze: Auslegung des Hauptstromkreises für Thyristor-Wechselstromtriebfahrzeuge. Bull. SEV 62(1971)1, S. 44...54.
- [3] R. Schacher: Die Rekuperationsbremse der Lokomotiven Bo'Bo'Bo der Serie Re 6/6 der Schweizerischen Bundesbahnen. Brown Boveri Mitt. 60(1973)12, S. 572...576.
- [4] W. Albrecht: Die thyristorgesteuerte elektrische Bremse der Lokomotivreihe 1042 der Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB). Brown Boveri Mitt. 60(1973)12, S. 589...590.
- [5] X. Vogel: Ölgekühlte Traktions-Stromrichter. Brown Boveri Mitt. 60(1973)12, S. 551...558.
- [6] A. Jäger, U. Baechler und B. Brom: Massnahmen zur Verbesserung des Netzverhaltens von Stromrichter-Triebfahrzeugen. Brown Boveri Mitt. 60(1973)12, S. 501...525.
- [7] W. Grossmann: Die Thyristor-Stromrichter-Lokomotive Re 4/4 161 der Berner Alpenbahn-Gesellschaft Bern-Lötschberg-Simplon (BLS). Bull. SEV 64(1973)7, S. 427...435.
- [8] W. U. Bohli: Die Bo'Bo-Thyristor-Lokomotiven der Serie 4/4 II Nr. 611...620 der Rhätischen Bahn. Brown Boveri Mitt. 60(1973)12, S. 526...538.
- [9] A. Schönung und H. Stemmler: Geregelter Drehstrom-Umkehrantrieb mit gesteuertem Umrücker nach dem Unterschwingungsverfahren. Brown Boveri Mitt. 51(1964)8/9, S. 555...577.
- [10] H. Kehrmann, W. Lienau und R. Nill: Vierquadrantensteller – eine netzfreundliche Einspeisung für Triebfahrzeuge mit Drehstromantrieb. Elektr. Bahnen 45(1974)6, S. 135...142.
- [11] F. Fiocca und P. Ferrazzini: Die elektrische Ausrüstung der neuen Triebzüge der Ferrovia Circumvesuviana. Elektr. Bahnen 46(1975)11, S. 268...274.
- [12] M. Squilbin: Die neuen Lokomotiven der Baureihe 20 der SNCF. Schienen der Welt 7(1976)1, S. 28...40.
- [13] H. Löcker: Der Gleichstromsteller und seine Anwendung auf vollelektronisch gesteuerten Trolleybussen. Brown Boveri Mitt. 57(1970)10, S. 419...428.

Adresse des Autors

Dipl. Ing. Amandus Jaeger und dipl. Ing. Urs Baechler, Abt. BW, BBC AG Brown, Boveri & Cie., Werk Oerlikon, 8050 Zürich.