

Die technische Ecke

Elektrische Bremsung bei Gleichstrombahnen

Angeregt durch den Bericht in der «TCB-Zytig» 1/15 über die Bremssysteme bei Strassenbahnen möchte ich zu diesem sehr komplexen Thema doch noch einige Ergänzungen anbringen. Dies bezieht sich einerseits auf die elektrische Widerstandsbremse und andererseits auf die Solenoidbremse wobei auch auf Anwendungen bei anderen Strassenbahnbetrieben eingegangen werden soll.

HANS BODMER

Bei der elektrischen Bremsung wird die Bewegungsenergie, die dem Triebfahrzeug und allenfalls mit angehängter Zugmasse, sei es beim Anhalten oder beim Durchfahren starker Gefälle als Antriebsenergie für die Fahrmotoren benutzt, damit nach Umschaltung in Umkehrung ihrer Wirkungsweise zu Erzeugern, sprich Generatoren von elektrischer Energie werden. Im einen Fall spricht man beim Anhalten von einer *Verzögerungsbremse* und im anderen Fall von der *Gefällebremse* (Nutzbremsung oder Rekuperationsbremse).

Widerstandsbremse mit selbsterregten Motoren

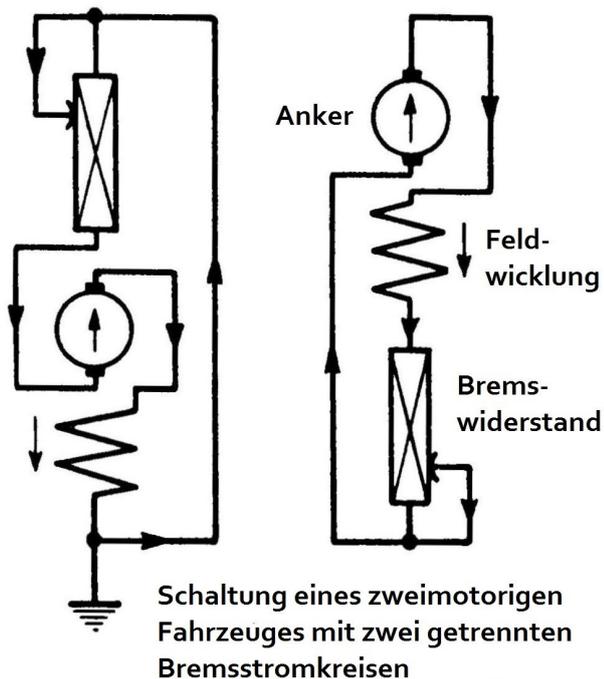
Die Umschaltung von Fahren auf Bremsen, also vom Motor- auf Generatorbetrieb des Hauptschlussmotors, erfolgt durch die Umkehr des Drehmoments durch Vertauschen der Ankerstromrichtung im Verhältnis zur Feldrichtung im Stator. Es werden somit der Anker an die Feldwicklung im umgekehrten Sinne wie beim Fahrbetrieb angeschlossen und dieser Stromkreis auf den regelbaren Bremswiderstand geschaltet. Infolge der vom

Motorlauf vorhandenen Restmagnetismus tritt eine Selbsterregung ein, welche sich weiter im gesamten Bremsstromkreis aufbaut. Der sich für den Hauptstromgenerator einstellende Belastungspunkt und damit die Bremskraft sind als Funktion der Fahrgeschwindigkeit und des Bremswiderstandes eindeutig gegeben, d.h. verringert man den Ohmwert des Bremswiderstandes so steigt der Bremsstrom an und die Bremskraft nimmt zu. Diese geht auf einer bestimmten Bremsstufe automatisch herunter, wenn die Fahrgeschwindigkeit des Fahrzeuges abnimmt wie es bei der Verzögerungsbremse erwünscht ist. Soll die Bremskraft dabei konstant gehalten werden, so ist auf die nächste Bremsstufe mit kleinerem Widerstandswert zu schalten bis schliesslich auf der letzten Bremsstufe der Bremswiderstand auf null-Ohm gebracht wurde. Der Fahrmotor läuft dann mit kleiner Drehzahl als kurzgeschlossener Hauptstromgenerator (Kurzschlussbremsung). In den meisten Fällen wird der Bremswiderstand auch als Anfahrwiderstand verwendet.

Bildet man bei einem zweimotorigen Fahrzeug zwei getrennte Bremsstromkreise aus, indem man jeden der generatorisch laufenden Motoren auf ein Widerstandssystem arbeiten lässt so sind zwei Systeme von Regelschaltern erforderlich.

Der Vorteil ist, dass sich die Leistung des einzelnen Motors bis zu einem gewissen Grad den um etwa 20 – 30% voneinander abweichenden Belastungen der vorderen und hinteren Achse anpasst. Abgesehen davon, dass das Gleiten einer Achse nur unter sehr ungünstigen Verhältnissen auftritt, bietet diese Schaltung auch im Falle eines Motorschadens grösstmögliche Sicherheit, da der ande-

Elektrische Bremsung bei Gleichstrombahnen

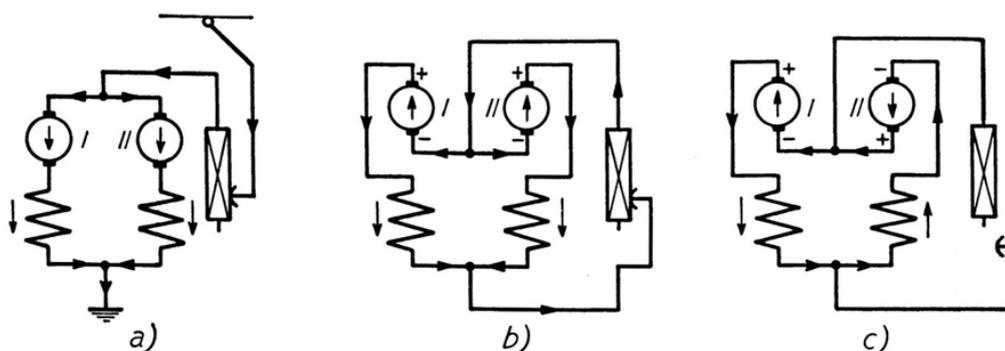


re Motor noch seine volle und damit für das Fahrzeug immerhin noch die halbe Bremsleistung liefert. Dies bedingt jedoch den doppelten Aufwand an Widerständen und Schaltelementen.

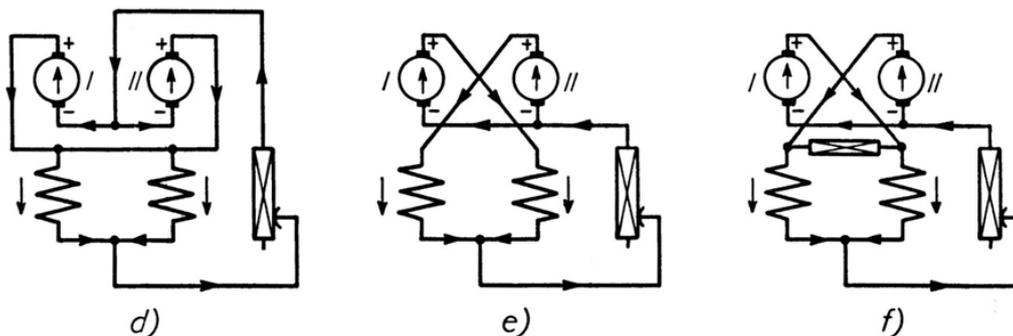
Das Bild a) zeigt die prinzipielle Fahrschaltung zweier Fahrmotoren welche über einen gemeinsamen Widerstand gesteuert werden.

Versucht man nun beide Motoren in Parallelschaltung auf nur einen Bremswiderstand arbeiten zu lassen spricht man von einer Kurzschlussbremsung in Parallelschaltung b). Bei offenem Widerstandskreis c) treten Schwierigkeiten auf, da Anker und Feldwicklungen parallelgeschaltet sind und so die Vierecksfigur geschlossen ist. Der mit der grösseren Remanzen behaftete Motor zwingt dem anderen eine solche Polarität auf, dass sich die Elektromotorische Kraft (EMK) beider Maschinen sich addieren und so hintereinander geschaltet direkt aufeinander kurzgeschlossen sind. Es entsteht bei hoher Geschwindigkeit ein grosser Stromstoss und damit ein hoher Bremsstoss und jede Bremsregelung ist damit ausgeschlossen.

Um trotzdem in Parallelschaltung Bremsungen zu erwirken, fand man die Lösung, durch einen Leiter eine direkte Parallelschaltung der Felder vorzunehmen (Bild d). Der vom Generator I kommende Strom kann eine Umpolarisierung des Generators II so nicht mehr bewirken. Diese Schaltung wurde bis etwa 1905 im Bahnbe-



Widerstandsbremung (Kurzschlussbremsung) mit zwei selbsterregten Motoren
Entwicklung der verkreuzten Bremsschaltung (Kreuzschaltung) Quelle: K. Sachs Bd. II (1953) / S. 152 Abb. 196



Elektrische Bremsung bei Gleichstrombahnen

trieb angewendet und befriedigte so durchaus.

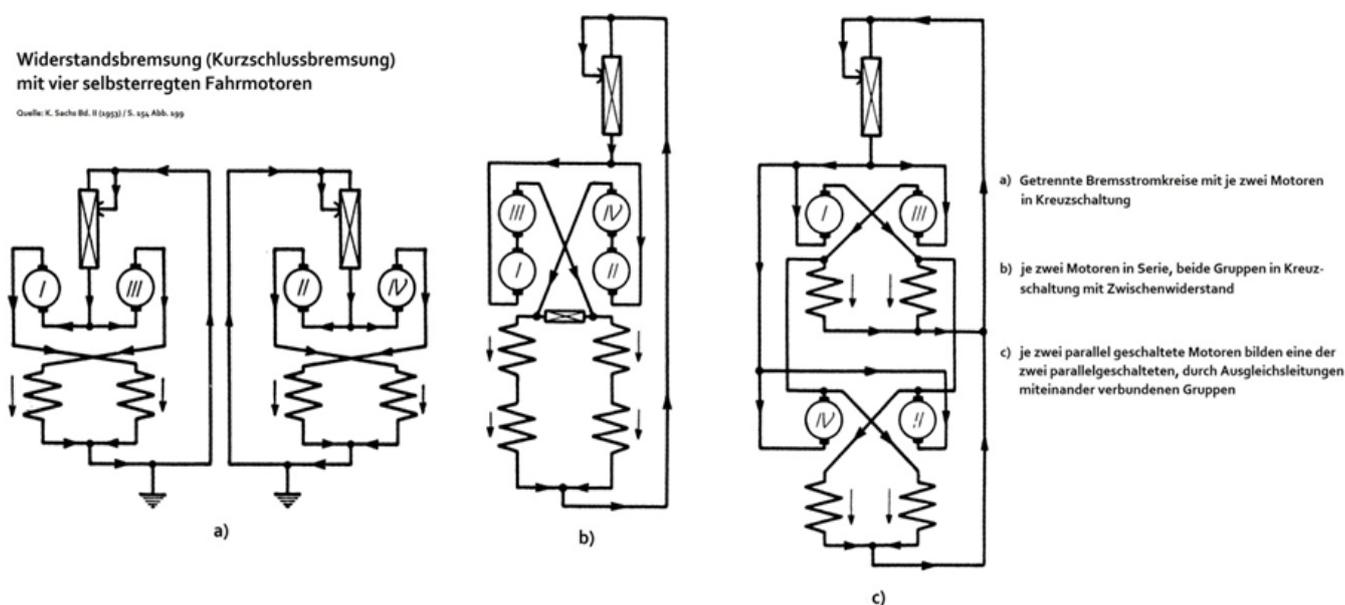
Erst als man die Fahrmotoren mit Wendepolen ausstattete und strengere Anforderungen an die Widerstandsbremung stellte wurden die doch auftretenden Stromungleichheiten störender, da Wendepolmaschinen bezüglich der Bürstenstellungen empfindlicher sind. Schon bei kleinen Abweichungen aus der neutralen Lage kann so der Wendepol zum Hauptpol werden was sich in unangenehmer Weise bei der Bremsung der zwei Triebachsen auswir-

beide Fahrmotoren keine Bremswirkung mehr, da die Felderzeugung gegenseitig voneinander abhängig ist. In manchen Fällen hat man bei der verkreuzten Bremsschaltung einen Zwischenwiderstand eingefügt (f). Tritt hier im Ankerstromkreis I eine Unterbrechung ein, so erfolgt so immer noch eine Teilspeisung des Feldes II via dem Zwischenwiderstand und es bleibt die Bremswirkung des Ankers II teilweise noch erhalten.

Die verkreuzte Bremsschaltung wird auch bei

Widerstandsbremung (Kurzschlussbremung) mit vier selbsterregten Fahrmotoren

Quelle: K. Sachs Bd. II (1953) / S. 154 Abb. 199



ken kann.

Abhilfe brachte die im Jahr 1906 von Janisch und Alexander vorgeschlagene Lösung der verkreuzten Bremsschaltung e) bei der jedes Feld vom Anker der anderen Maschine erregt ist. Die Feldverkreuzung bedingt gleiche Polarität beider Anker und arbeitet so dauernd auf einen genauen Stromausgleich hin. Ein weiterer Vorteil der Schaltung besteht, indem dass auch eine Bremswirkung eintritt, wenn das Fahrzeug im Gefälle plötzlich rückwärts zu rollen beginnt und der Wagenführer in der Aufregung in die Vorwärts-Bremstellung geht. Aber hier gibt es auch einen Nachteil. Falls der Bremsstrom in einem der zwei Stromkreise durch einen Kabelbruch oder durch einen nichtaufliegenden Kontaktfinger des Fahr Schalters unterbrochen wird, ergibt sich für

viermotorigen Triebfahrzeugen verwendet. Die Schaltung im Bild a) mit zwei getrennten Bremsstromkreisen erscheint hier ungleich aussichtsvoller als bei der zweimotorigen Ausrüstung. Dabei bilden die der 1. und 3. sowie der 2. und 4. Achse zugeordneten Fahrmotoren eine Gruppe bzw. einen Bremsstromkreis. Der Aufwand für die Widerstände und Schaltelemente erscheint hinsichtlich der Sicherheit gerechtfertigt, da je zwei gleichbelastete Achsen in einem Kreis zusammengefasst sind. Der Hauptvorteil der getrennten Bremskreise tritt hier voll in Erscheinung, da jeder Kreis gleich belastet ist und bei Ausfall eines Kreises doch die halbe Bremskraft erhalten bleibt. In der Schaltung b) bilden je zwei Halbspannungsmotoren geschaltet in Serie eine Gruppe. Ein Mangel besteht hier, dass beim Gleiten

Elektrische Bremsung bei Gleichstrombahnen

einer Achse infolge Überbremsen ein Aufeinandergleiten der zu einer Gruppe gehörenden Motoren stattfindet, wodurch die Bremswirkung beeinträchtigt werden kann. Bei der Schaltung im Bild c) tritt durch die, die Felder der beiden Gruppen verbindenden Ausgleichsleiter, ein mögliches Aufeinanderarbeiten von zwei Motoren nicht ein.

Batteriegespeiste Schienenbremsen und Solenoidbremse

Bei Triebwagen, welche ausser der elektrischen Bremse und der Handbremse vor allem auch mit einer pneumatischen Bremse ausgerüstet sind, die in erster Linie als Haltebremse dienen soll, werden die Schienenbremsen zur ausgesprochenen Notbremse, welche jedoch somit nur selten benutzt wird. Es empfiehlt sich jedoch diese völlig unabhängig von der Fahrleitung oder vom Bremsstrom der Fahrmotoren nur an eine Wagenbatterie anzuschliessen.

Bei den Triebwagen der Verkehrsbetriebe Zürich (VBZ) zeigt dies die entsprechende Schaltung. Es sind zwei voneinander unabhängige Stromkreise vorhanden und zwar der Motorbremsstromkreis mit den Bremsstufen 1 bis 6 als reine Kurzschlussbremse, auf der 7. Bremsstufe durch die Fahrleitung unterstützt.

Die Stufen 1 bis 6 dienen der Betriebsbremse, die Stufe 7 dient einem Teil der Notbremse. Der andere Stromkreis ist der Schienenbremsstromkreis welcher auf der Bremsstufe 7 über den Fahrshalter oder direkt durch einen Notschalter (11) von der Batterie aus gespeist werden kann.

Der Motorbremsstromkreis führt von den Fahrmotoren aus über die Bremssoleinoide der Anhängewagen durch die oberen Pufferkontakte zur Schienenenerde, von hier durch den Bremszusatzwiderstand und die Regulierwiderstände zurück zu den Motoren. Je nach Anzahl der Anhängewagen ist die Bremsleitung mehr oder weniger geschuntet, er übernimmt ausserdem noch die Rolle eines Sicherheitswiderstandes, sodass bei einer Unterbrechung in der Anhängewagenleitung noch wenigstens das Triebfahrzeug bremst. Anhand der Schalttafel können die einzelnen Stromkreise verfolgt werden. Die Solenoidbremse hat sich in Zürich bestens bewährt, da doch längere Streckenabschnitte in Gefällen liegen (Zürichberg, Albisgütli, Milchbuck, Höngg, Rehalp usw.) Die Solenoidbremse war in allen Anhängbauarten der Baujahre 1925 – 1930 sowie auch in den Vierachsanhängewagen B⁴ Nr. 711 – 770 eingebaut.

- 1, 3, 4, 5, 7, 8, 10 Schaltelemente
- 11 Notschalter für Schienenbremse
- 12 Batterie
- 13 Lade- und Entladewiderstand 200 Ohm
- 14 Anfahr- und Bremswiderstand ca. 2,4 Ohm
- 14a Zusatz Bremswiderstand 0,2 Ohm
- 15 Fahrmotoren
- 16 Sicherheitshunt 0,2 Ohm
- 17 Schalter (eingeschaltet bei Betrieb mit einem Anhängewagen, ausgeschaltet bei Betrieb mit zwei Anhängewagen)
- 18 Motorwagen Schienenbremsen je 0,6 Ohm
- 19 Anhängewagen Schienenbremsen je 0,6 Ohm
- 20 Bremssoleinoid 0,25 Ohm
- 21 Sicherheitshunt 0,6 Ohm

