



**Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein**  
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

**12 PATENTSCHRIFT A5**

11

**647 108**

21 Gesuchsnummer: 4150/79

73 Inhaber:  
Vsesojuzny Nauchno- Issledovatelsky Institut  
Zheleznodorozhnogo Transporta, Moskau (SU)

22 Anmeldungsdatum: 03.05.1979

72 Erfinder:  
Tikhmenev, Boris Nikolaevich, Moskau (SU)  
Kamenev, Andrei Vasilievich, Moskau (SU)  
Rubchinsky, Zigmund Moiseevich, Moskau (SU)  
Yagolkovsky, Anton Konstantinovich, Riga (SU)  
Dotsenko, Alexandr Petrovich, Riga (SU)

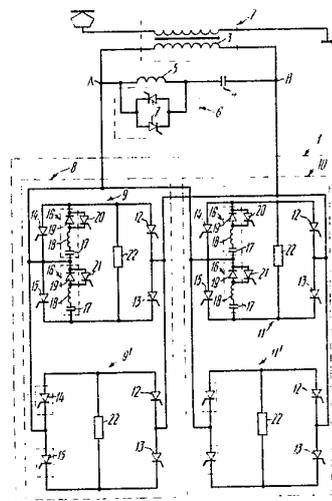
24 Patent erteilt: 28.12.1984

45 Patentschrift  
veröffentlicht: 28.12.1984

74 Vertreter:  
E. Blum & Co., Zürich

**54 Regelungsverfahren für einen Ventilstromrichter.**

57 Bei einem transformatorgespeisten Ventilstromrichter zur Anwendung des Verfahrens liegt über der Sekundärwicklung (3) eine Reihenschaltung mit einem Kondensator (4) und einer überbrückbaren Drossel (5). Die Hauptventile (12, 13, 14, 15) werden in jeder Halbperiode der Speisespannung durch phasengeregelte Steuerimpulse aktiviert, wobei die Steuerspannungen abwechselnd im zeitlichen Abstand an die Ventile angelegt werden, welcher einer Halbperiode des Ladestromes des Kondensators (4) entspricht. In der zweiten Hälfte der Halbperiode der Speisespannung werden auch an die Dämpfungsventile (20, 21) abwechselnd in zeitlichem Abstand entsprechend der Halbperiode des Kondensatorladestromes die Steuerimpulse angelegt. Das Verfahren kann bei Stromwandlern in der Elektroindustrie, zur Speisung verschiedener Gleich- und Wechselstromverbraucher, insbesondere für Bahnen angewendet werden. Durch das Verfahren kann ein Leistungsfaktor über 0,95, eine Verringerung induktiver Spannungsverluste und eine Verringerung der Störwirkung des Bahnnetzes erzielt werden.



## PATENTANSPRÜCHE

1. Regelungsverfahren für einen Ventilstromrichter, der von einem Transformator gespeist wird, zu dessen Sekundärwicklung eine Reihenschaltung aus einem Kondensator und einer durch einen elektronischen Schalter überbrückten Drossel parallel liegt, und der mindestens eine einphasige Ventilbrücke mit Haupt- und Dämpfungsventilen enthält, an die eine Belastung geschaltet ist, darin bestehend, dass in jeder Halbperiode der Speisespannung phasengeregelte Steuerimpulse auf die Haupt- und Dämpfungsventile des Stromrichters gegeben werden, dadurch gekennzeichnet, dass die Einspeisung der phasengeregelten Steuerimpulse im Laufe der gesamten Halbperiode der Speisespannung auf die Hauptventile (12, 13, 14, 15) des Stromrichters (1) abwechselnd in Grenzen der ersten Halbperiode von im Moment der Einspeisung der phasengeregelten Steuerimpulse entstehenden Eigenschwingungen des elektrischen Stromes im Kondensator (4) erfolgt, während die Einspeisung der phasengeregelten Steuerimpulse in der zweiten Hälfte der Halbperiode der Speisespannung auf die Dämpfungsventile (20, 21) des Stromrichters (1) auch abwechselnd in Grenzen der ersten Halbperiode von im Moment der Einspeisung der phasengeregelten Steuerimpulse entstehenden Eigenschwingungen des Stromes im Kondensator (4) geschieht.

2. Regelungsverfahren für einen Ventilstromrichter, der zwei Gruppen einphasiger Ventilbrücken enthält, deren jede eine gleiche Anzahl von Ventilbrücken aufweist, an deren jede eine gleiche Belastung angeschlossen ist, nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die phasengeregelten Steuerimpulse im Laufe der gesamten Halbperiode der Speisespannung wechselweise auf die Hauptventile (12, 13, 14, 15) der Brücken (9, 9') einer Gruppe (8) und dann auf die Hauptventile (12, 13, 14, 15) der Brücken (11, 11') der anderen Gruppe (10) mit einem der Dauer der Halbperiode der Eigenschwingungen des elektrischen Stromes im Kondensator (4) gleichen Abstand zwischen ihnen und die phasengeregelten Steuerimpulse in der zweiten Hälfte der Halbperiode der Speisespannung abwechselnd auf die Dämpfungsventile (20, 21) der Brücken (9, 9') einer Gruppe (8) und auf die Dämpfungsventile (20, 21) der Brücken (11, 11') der anderen Gruppe (10) mit einem der Dauer der Halbperiode der Eigenschwingungen des elektrischen Stromes im Kondensator (4) gleichen Abstand zwischen ihnen gegeben werden.

3. Regelungsverfahren für einen Ventilstromrichter, der eine Vielzahl einphasiger Ventilbrücken enthält, an deren jede eine gleiche Belastung angeschlossen ist, nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die phasengeregelten Steuerimpulse im Laufe der gesamten Halbperiode der Speisespannung wechselweise auf die Hauptventile (29, 30, 31, 32) einer jeden der Brücken (23, 24, 25, 26) mit  $\frac{2}{3}$  der Dauer der Halbperiode der Eigenschwingungen des Stromes im Kondensator (4) gleichen Abständen zwischen den auf die erste und zweite Ventilbrücke (23, 24) und den auf die vorletzte und letzte Ventilbrücke (26, 27) gegebenen Impulsen und mit  $\frac{1}{3}$  der Dauer der Halbperiode der Eigenschwingungen des Stromes im Kondensator (4) gleichen Abständen zwischen den auf die mittleren Ventilbrücken (24, 25, 26) gegebenen Impulsen und die phasengeregelten Steuerimpulse in der zweiten Hälfte der Halbperiode der Speisespannung auch wechselweise auf die Dämpfungsventile (33, 34) einer jeden der Brücken (23, 24, 25, 26, 27) mit  $\frac{2}{3}$  der Dauer der Halbperiode der Eigenschwingungen des Stromes im Kondensator (4) gleichen Abständen zwischen den auf die erste und zweite Ventilbrücke (23, 24) und den auf die vorletzte und letzte Ventilbrücke (26, 27) gegebenen Impulsen und mit  $\frac{1}{3}$  der Dauer der Halbperiode der Eigenschwingungen des elektrischen Stromes im Kondensator (4) gleichen Abständen zwi-

schen den auf die mittleren Ventilbrücken (24, 25, 26) gegebenen Impulsen geliefert werden.

4. Regelungsverfahren für einen Ventilstromrichter, der von einem Transformator gespeist wird, dessen Sekundärwicklung und Kondensator in zwei Teile getrennt sind, wobei die Teile des letzteren zu den entsprechenden Teilen der Sekundärwicklung parallel geschaltet sind, und der eine einphasige Ventilbrücke enthält, die zwei Brückenarme, deren Mittelpunkte an die gesamte Sekundärwicklung angeschlossen sind, und einen Brückenarm, dessen Mittelpunkt an den Mittelpunkt der Sekundärwicklung und des Kondensators angeschlossen ist, aufweist, nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die phasengeregelten Steuerimpulse im Laufe der gesamten Halbperiode der Speisespannung abwechselnd auf die Hauptventile (45, 50) eines Brückenarmes (43, 44) der Ventilbrücke (36) und dann auf die Hauptventile (47) des anderen Brückenarmes (42) der Ventilbrücke (36) mit einem der Dauer der Halbperiode der Eigenschwingungen des elektrischen Stromes im Kondensator (4) gleichen Abstand zwischen ihnen und die phasengeregelten Steuerimpulse in der zweiten Hälfte der Halbperiode der Speisespannung abwechselnd auf die Dämpfungsventile (46) eines Brückenarmes (43) und auf die Dämpfungsventile (48) des anderen Brückenarmes (42) der Ventilbrücke (36) mit einem der Dauer der Halbperiode der Eigenschwingungen des elektrischen Stromes im Kondensator (4) gleichen Abstand zwischen ihnen gegeben werden.

5. Verfahren nach den Patentansprüchen 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass im Augenblick der Einspeisung der phasengeregelten Steuerimpulse an den Hauptventilen (15) der Brücken (9, 9') des Stromrichters (1) die phasengeregelten Steuerimpulse zusätzlich auf die Dämpfungsventile (20) gegenüberliegender Brückenarme der Ventilbrücken (9, 9') des Stromrichters (1) geliefert werden.

6. Verfahren nach den Patentansprüchen 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass im Augenblick der Einspeisung des ursprünglichen phasengeregelten Steuerimpulses auf Hauptventile (15) des Ventilstromrichters (1) und im Augenblick der Einspeisung des ursprünglichen phasengeregelten Steuerimpulses auf die Dämpfungsventile (21) des Ventilstromrichters (1) die phasengeregelten Steuerimpulse zusätzlich auf einen elektronischen Schalter (6) des Ventilstromrichters (1) gegeben werden.

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Regelungsverfahren gemäss Oberbegriff des Patentanspruches 1.

Die vorgeschlagene Erfindung findet vorzugsweise in Ventil-Wechselstromrichtern für elektrische Betriebsmittel auf Fern- und Nahbahnen sowie in die Ventilstromrichter speisenden Umformerunterstationen für Elektroenergie-Übertragungsleitungen und in verschiedenartige Gleichstrom- und Wechselstromverbraucher speisenden Umformereinrichtungen der Elektroindustrie Anwendung.

Es ist ein Phasenregelungsverfahren für einen Ventilstromrichter, z.B. aus DE-A-1 244941 (Klasse H02m, 21d<sup>2</sup>), bekannt, darin bestehend, dass in jeder Halbperiode der Speisespannung die Steuerimpulse auf die Hauptventile des Stromrichters mit einer Verzögerung um einen in den Grenzen dieser Halbperiode regelbaren Winkel gegeben werden. Anstatt einer Halbwelle der Transformatorspannung wird der Last nur ein Teil davon zugeführt, was einen entsprechenden Wert der gleichgerichteten Spannung bestimmt. Das genannte in den bekannten Schaltungen realisierte Verfahren sichert keinen ausreichenden Wert des Leistungsfaktors, führt zu einer erhöhten Formverzerrung des Primärstroms und einer

Verstärkung von die Verbindungsleitungen beeinflussenden Stromoberwellen der Tonfrequenz.

Es ist weiter ein Regelungsverfahren für einen Ventilstromrichter, z.B. aus DE-A-0 847 773 bekannt, in dem eine teilweise Dämpfung des elektrischen Stroms im Transformator und eine Blindleistungskompensation des Speisernetzes mit Hilfe von Impuls-Ventilschaltern zur Anwendung kommen. Das genannte Verfahren besteht darin, dass in jeder Halbperiode der Speisespannung die phasengeregelten Steuerimpulse auf die Hauptventile des gesamten Stromrichters und dann am Ende der Halbperiode der Speisespannung auf Dämpfungsventile des gesamten Stromrichters gegeben werden. In diesem Fall ist der Ventilstromrichter in Form einer Reihenschaltung aus einphasigen unsymmetrischen halbgesteuerten Gleichrichterbrücken ausgeführt. Hierbei ist ein Teil der Brücken mit Kommutierungskondensatoren, -drosseln und elektrischen Ventilen ausgestattet. Diese Elemente verwirklichen eine erzwungene Unterbrechung des Teiles des gesamten Laststromes des Transformators, der über die betreffende Brücke fließt, sowie eine teilweise Blindleistungskompensation des Transformators und des Bahnnetzes. Das Vorhandensein der genannten Elemente führt zur Vergrößerung ihrer Abmessungen und Masse.

Die beschriebenen Regelungsverfahren für einen Ventilstromrichter werden in Ventilstromrichtern verwirklicht, in denen die die Energie speichernden reaktiven Elemente (Kondensatoren, Drosseln) von der Speisequelle (einem Transformator) mit Hilfe nichtlinearer Hilfselemente – elektrischer Ventile – immer getrennt sind. Infolgedessen werden natürliche stetige Schwingungen elektromagnetischer Energie in deren Stromkreisen zwangsläufig unterbrochen, und die Spannungen an diesen Elementen steigen auf Werte an, die die Amplitude der Speisespannung wesentlich übertreffen, was eine Vergrößerung der installierten Leistung der Ventile und eine Isolationsverstärkung verursacht. Darüber hinaus wird die erzwungene Unterbrechung der stetigen elektromagnetischen Prozesse von Stossschwingungen im Bahnnetz begleitet, die dessen Einwirkung auf die Verbindungsleitungen verstärken.

Es ist auch ein Regelungsverfahren für einen Ventilstromrichter (s. beispielsweise einen UdSSR-Urheberschein Nr. 481 474, Klasse B 601 7/16, H02m 5/16, H02p 13/16) bekannt, das auf der Ausnutzung eines Schwingungsvorganges für den Strom in einem an die Klemmen der Speisequelle des Stromrichters, d.h. parallel zur Sekundärwicklung eines Speisetransformators, direkt angeschlossenen Kondensator aufbaut. Das genannte Verfahren geht dahin, dass in jeder Halbperiode der Speisespannung die phasengeregelten Steuerimpulse wiederholt auf die Hauptventile des Stromrichters und auf die Dämpfungsventile des Stromrichters im Laufe der gesamten Halbperiode der Speisespannung geliefert werden.

Im genannten Verfahren wird die Regelung des Ventilstromrichters durch ein mehrfaches Ein- und Ausschalten der gleichen Ventile des Stromrichters erreicht. Hierbei stellen die Zeitintervalle zwischen der Einspeisung der phasengeregelten Steuerimpulse auf die Haupt- und Dämpfungsventile keinen konstanten Wert dar, sondern hängen vom Wert der Belastung ab, was seinerseits die Anwendung spezieller Folgeeinrichtungen im System der automatischen Steuerung erfordert, die das System komplizieren und die Zuverlässigkeit der Arbeit des Stromrichters herabsetzen.

Die mehrfache Kommutierung des elektrischen Stromes im Laufe einer Halbperiode mit Hilfe der gleichen Ventile bewirkt erhöhte Leistungsverluste in den Ventilen und dem Kondensator und erfordert eine Komplizierung von Schutzvorrichtungen des Stromrichters. Die Formverzerrungen der Primärstromkurve führen bei Störungen in der Steuerung zur

Erniedrigung des Leistungsfaktors und zur Verstärkung von Störeinflüssen auf die Verbindungsleitung.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein derartiges Verfahren zu schaffen, bei dem die Reihenfolge der Einwirkung auf die Ventile des Stromrichters eine Reduzierung von Leistungsverlusten und eine Erhöhung der Zuverlässigkeit der Regelung des Ventilstromrichters gewährleistet.

Dies wird durch die kennzeichnenden Merkmale des Patentanspruches 1 erreicht.

Bei einer besonderen Ausführungsart ist es zweckmässig, dass bei der Regelung eines Ventilstromrichters, der zwei Gruppen einphasiger Ventilbrücken enthält, deren jede eine gleiche Anzahl von Ventilbrücken aufweist, an deren jede eine gleiche Belastung angeschlossen ist, die phasengeregelten Steuerimpulse im Laufe der gesamten Halbperiode der Speisespannung wechselweise auf die Hauptventile der Brücken einer Gruppe und dann auf die Hauptventile der Brücken der anderen Gruppe mit einem der Dauer der Halbperiode der Eigenschwingungen des elektrischen Stromes im Kondensator gleichen Abstand zwischen ihnen und die phasengeregelten Steuerimpulse in der zweiten Hälfte der Halbperiode der Speisespannung abwechselnd auf die Dämpfungsventile der Brücken einer Gruppe und auf die Dämpfungsventile der Brücken der anderen Gruppe mit einem der Dauer der Halbperiode der Eigenschwingungen des elektrischen Stromes im Kondensator gleichen Abstand zwischen ihnen gegeben werden.

Bei einer weiteren bevorzugter Ausführungsart ist es nützlich, dass zwecks einer vollständigen Auslastung der Elektroausrüstung in erzwungenen Zuständen bei teilweisem Ausfall der Elektroausrüstung während der Regelung eines Ventilstromrichters, der eine Vielzahl einphasiger Ventilbrücken enthält, an deren jede eine gleiche Belastung angeschlossen ist, die phasengeregelten Steuerimpulse im Laufe der gesamten Halbperiode der Speisespannung wechselweise auf die Hauptventile einer jeden der Brücken mit  $\frac{1}{3}$  der Dauer der Halbperiode der Eigenschwingungen des Stromes im Kondensator gleichen Abständen zwischen den auf die erste und zweite Ventilbrücke und den auf die vorletzte und letzte Ventilbrücke gegebenen Impulsen und mit  $\frac{1}{3}$  der Dauer der Halbperiode der Eigenschwingungen des Stromes im Kondensator gleichen Abständen zwischen den auf die mittleren Ventilbrücken gegebenen Impulsen und die phasengeregelten Steuerimpulse in der zweiten Hälfte der Halbperiode der Speisespannung auch wechselweise auf die Dämpfungsventile einer jeden der Brücken mit  $\frac{2}{3}$  der Dauer der Halbperiode der Eigenschwingungen des Stromes im Kondensator gleichen Abständen zwischen den auf die erste und zweite Ventilbrücke und den auf die vorletzte und letzte Ventilbrücke gegebenen Impulsen und mit  $\frac{1}{3}$  der Dauer der Halbperiode der Eigenschwingungen des elektrischen Stromes im Kondensator gleichen Abständen zwischen den auf die mittleren Ventilbrücken gegebenen Impulsen geliefert werden.

Bei einer weiteren Ausführungsart ist es zweckmässig, dass bei der Regelung eines Ventilstromrichters, der von einem Transformator gespeist wird, dessen Sekundärwicklung und Kondensator in zwei gleiche Teile getrennt sind, wobei die Teile des letzteren zu den entsprechenden Teilen der Sekundärwicklung parallel geschaltet sind, und der eine einphasige Ventilbrücke enthält, die zwei Brückenarme, deren Mittelpunkte an die gesamte Sekundärwicklung angeschlossen sind, und einen Brückenarm, dessen Mittelpunkt an den Mittelpunkt der Sekundärwicklung und des Kondensators angeschlossen ist, aufweist, die phasengeregelten Steuerimpulse gemäss der Erfindung im Laufe der gesamten Halbperiode der Speisespannung abwechselnd auf die Hauptventile eines Brückenarmes der Ventilbrücke und dann auf die Hauptventile des anderen Brückenarmes der

Ventilbrücke mit einem der Dauer der Halbperiode der Eigenschwingungen des elektrischen Stromes im Kondensator gleichen Abstand zwischen ihnen und die phasengeregelten Steuerimpulse in der zweiten Hälfte der Halbperiode der Speisespannung abwechselnd auf die Dämpfungsventile eines Brückenarmes und auf die Dämpfungsventile des anderen Brückenarmes der Ventilbrücke mit einem der Dauer der Halbperiode der Eigenschwingungen des elektrischen Stromes im Kondensator gleichen Abstand zwischen ihnen gegeben werden.

Bei einer Ausführungsart ist es nützlich, dass zwecks Vermeidung induktiver Spannungsverluste im Transformator im Augenblick der Einspeisung der phasengeregelten Steuerimpulse an den Hauptventilen der Brücken des Stromrichters die phasengeregelten Steuerimpulse zusätzlich auf die Dämpfungsventile gegenüberliegender Brückenarme der Ventilbrücken des Stromrichters geliefert werden.

Bei einer weiteren Ausführungsart ist es auch zweckmässig, dass zur Beseitigung der Beeinflussung der Arbeit des Stromrichters durch äussere Stromverbraucher im Augenblick der Einspeisung des ursprünglichen phasengeregelten Steuerimpulses auf die Hauptventile des Ventilstromrichters und im Augenblick der Einspeisung des ursprünglichen phasengeregelten Steuerimpulses auf die Dämpfungsventile des Ventilstromrichters die phasengeregelten Steuerimpulse zusätzlich auf einen elektronischen Schalter des Ventilstromrichters gegeben werden.

Vorteile der vorliegenden Erfindung sollen aus einer nachfolgenden eingehenden Beschreibung des Verfahrens, ihrer Ausführungsbeispiele und beiliegenden Zeichnungen ersichtlich werden. Es zeigt:

Fig. 1 eine elektrische Prinzipschaltung der ersten Variante eines Ventilstromrichters mit zwei Gruppen von Ventilbrücken zur Realisierung des vorliegenden Verfahrens, gemäss der Erfindung;

Fig. 2 (a, b, c) Zeitdiagramme für Spannungen und Ströme in den Elementen eines Ventilstromrichters im Gleichrichterbetrieb in einer Zwischenregelstufe;

Fig. 3 (a, b, c) Zeitdiagramme für Spannungen und Ströme in den Elementen eines Ventilstromrichters im Gleichrichterbetrieb in einer Anfangs- und einer Endregelstufe;

Fig. 4 (a, b, c) Zeitdiagramme für Spannungen und Ströme in den Elementen eines Ventilstromrichters im Wechselrichterbetrieb;

Fig. 5 eine elektrische Prinzipschaltung der zweiten Variante eines Ventilstromrichters mit zwei Gruppen von Ventilbrücken zur Realisierung des vorliegenden Verfahrens, gemäss der Erfindung;

Fig. 6 eine elektrische Prinzipschaltung der dritten Variante eines Ventilstromrichters mit zwei Gruppen von Ventilbrücken zur Realisierung des vorliegenden Verfahrens, gemäss der Erfindung;

Fig. 7 eine elektrische Prinzipschaltung eines Ventilstromrichters mit einer Vielzahl von Ventilbrücken aufweisenden Ventilstromrichters zur Realisierung des vorliegenden Verfahrens, gemäss der Erfindung;

Fig. 8 (a, b, c) Zeitdiagramme für Spannungen und Ströme in den Elementen eines in Fig. 7 dargestellten Ventilstromrichters;

Fig. 9 eine elektrische Prinzipschaltung eines Ventilstromrichters mit einer Ventilbrücke aufweisenden Ventilstromrichters zur Realisierung des vorliegenden Verfahrens, gemäss der Erfindung;

Fig. 10 (a, b, c, d, e) Zeitdiagramme für Spannungen und Ströme in Transformatorwicklungen und in einem Kondensator bei der Ausführung eines in Fig. 9 dargestellten Ventilstromrichters;

Fig. 11 (a, b, c, d, e, f, k) Zeitdiagramme für Spannungen und Ströme in den Elementen eines in Fig. 9 gezeigten Ventilstromrichters im Gleichrichterbetrieb;

Fig. 12 (a, b, c, d, e, f, k) Zeitdiagramme für Spannungen und Ströme in den Elementen eines in Fig. 9 wiedergegebenen Ventilstromrichters im Wechselrichterbetrieb;

Fig. 13 (a, b, c) Zeitdiagramme für Spannungen in Transformatorwicklungen und an einem Kondensator bei der Ausführung eines in Fig. 4 dargestellten Ventilstromrichters zur Realisierung des eine Vermeidung induktiver Spannungsverluste im Transformator vorsehenden Verfahrens;

Fig. 14 (a, b, c) Zeitdiagramme für Spannungen und Ströme in den Elementen eines Ventilstromrichters im Falle einer Beseitigung der Einwirkung seitens äusserer Stromverbraucher.

Das vorgeschlagene Regelungsverfahren für einen Ventilstromrichter wird durch einen von einem Transformator 2 gespeisten Ventilstromrichter 1 (Fig. 1) realisiert. Parallel zur Sekundärwicklung 3 des Transformators 2 ist eine Reihenschaltung aus einem Kondensator 4 und einer Drossel 5 angeschlossen. Die Drossel 5 ist durch einen aus antiparallel geschalteten Ventilen 7 bestehenden elektronischen Schalter 6 geschuntet.

Das vorliegende Regelungsverfahren für einen Ventilstromrichter wird durch einen eine Gruppe von Ventilbrücken 9 und 9' und eine Gruppe 10 von Ventilbrücken 11 und 11' enthaltenden Ventilstromrichter 1 realisiert. Die Zahl der Brücken in den Gruppen 8 und 10 kann beliebig und muss gleich sein. Die Gesamtzahl der Ventilbrücken im Stromrichter 1 macht eine gerade Zahl nicht weniger als zwei aus.

Die zwei Brückenarme der Brücken 9, 9' und 11, 11' weisen in Form steuerbarer elektrischer Ventile ausgeführte Hauptventile 12, 13 auf. Die zwei anderen Brückenarme der Brücken 9, 9' und 11, 11' sind als völlig gesteuert ausgeführt und weisen, mit Ausnahme der Hauptventile 14, 15, eine zu den Hauptventilen 14, 15 parallel geschaltete Kette 16 auf. Die Kette 16 stellt eine Reihenschaltung aus einem Kommutierungskondensator 17, einer Kommutierungsdrossel 18 und einer Hilfsdiode 19 dar. Darüber hinaus beinhalten diese Brückenarme antiparallel zu den Hilfsdioden 19 der Ketten 16 geschaltete Dämpfungsventile 20, 21.

Parallel zu einer jeden der Ventilbrücken 9, 9' und 11, 11' der beiden Gruppen 8 und 10 liegt eine gleiche Belastung 22, die in Form von miteinander wahlfrei verbundenen Bahnmotoren und einer Glättungsdrossel ausgeführt ist, die der ganzen Gruppe der Motoren gemeinsam oder für jeden Stromkreis der Motoren (in Fig. 1 nicht gezeigt) individuell ist.

Die Regelung wird sowohl im Zugbetrieb, wo der Ventilstromrichter 1 als Gleichrichter auftritt, als auch im Betrieb einer Bremsung mit Stromrückgewinnung bei elektrischen Betriebsmitteln, wo der Ventilstromrichter 1 als Wechselrichter wirkt, vorgenommen.

Das Regelungsverfahren für einen Ventilstromrichter 1 im Gleichrichterbetrieb läuft auf folgendes hinaus.

Über die Sekundärwicklung 3 des Transformators 2 fliesst ein Summenstrom  $I_d$  sämtlicher Brücken 9, 9', 11, 11' des Stromrichters 1.

Bei einem Phasenregelungswinkel  $\alpha$  (Fig. 2a) werden die durch (in der Zeichnung nicht gezeigte) Glättungsdrosseln der Belastungen 22 unterstützten Ströme der Belastungen 22 in der betreffenden Halbperiode der Speisespannung bis zum Zeitpunkt  $t_1$  in den Brücken 9, 9', 11, 11' über die Hauptventile 12, 13 in ihrem Kreis geschlossen. Im Stromkreis der Wicklung 3 des Transformators 2 und des Kondensators 4 fliesst ein Kapazitätsstrom  $i_3 = -i_4$  (Fig. 2b, 2c), während sich die Spannung  $U_{3,4}$  (Fig. 2a) in der Wicklung 3 und am Kondensator 4 nach einem Sinusgesetz ändert. Zur Vereinfachung sind die Vorgänge im Leistungsstromkreis unter der Voraussetzung beschrieben, dass der gleichgerichtete Strom  $I_d$  ideal geglättet ist.

Zum Zeitpunkt  $t_1$  werden die phasengeregelten Steuerimpulse

pulse den Hauptventilen 15, 12 der Brücken 9, 9' der Gruppe 8 und den Ventilen 7 des elektronischen Schalters 6 zugeführt. Da der Transformator 2 einen induktiven Widerstand besitzt, findet der einem halben Gesamtstrom  $I_d$  gleiche Strom der Belastung 22 dieser Brücken 9, 9' seinen Kreis über den Kondensator 4 geschlossen. Infolgedessen beginnt seine Entladung. In dem Masse, wie sich die Kapazität des Kondensators 4 entlädt, steigt der Strom  $i_3$  im Transformator 2 an. Zu dem vom Zeitpunkt  $t_1$  um ein Periodenviertel von im Augenblick der Einspeisung der phasengeregelten Steuerimpulse entstehenden Eigenschwingungen des Stromes im Kondensator 4 verschobenen Zeitpunkt  $t_2$  (Fig. 2a) findet der gesamte,  $0,5 I_d$  gleiche Strom der Belastung 22 der Brücken 9, 9' über die Sekundärwicklung 3 des Transformators 2 seinen Kreis geschlossen. In diesem Augenblick hat aber die Spannung  $U_{3,4}$  am Kondensator 4 einen Minimalwert, und unter der Einwirkung der die Spannung am Kondensator 4 übersteigenden Speisespannung der Sekundärwicklung 3 beginnt der letztere sich aufzuladen. Der Vorgang des Stromanstiegs in der Wicklung 3 geht langsamer weiter. Abgesehen von der Dämpfung des Schwingungsvorganges auf Grund des Vorhandenseins von Wirkwiderständen, erreicht die Stromzunahme in der Wicklung 3 zu dem der Halbperiode der Eigenschwingungen des Stromes im Kondensator 4 entsprechenden Zeitpunkt  $t_3$  einen Wert von  $I_d$ , d.h. den Wert des Gesamtstromes der Belastungen 22 der Brücken 9, 9', 11, 11' der beiden Gruppen 8, 10 des Stromrichters 1. Für den Zeitpunkt  $t_3$  ist das Auftreten der Amplitude der ersten Halbperiode der Eigenschwingungen des Stromes im Kondensator 4 kennzeichnend. In diesem Augenblick erreicht der Ladestrom  $i_4$  im Kondensator 4 einen Wert gleich  $0,5 I_d$ . Im Augenblick  $t_3$  werden die phasengeregelten Steuerimpulse an den Hauptventilen 12, 15 in den Brücken 11, 11' der Gruppe 10 des Stromrichters 1 eingespeist. Hierbei findet der sich bis zum Zeitpunkt  $t_3$  über den Stromkreis der Hauptventile 12, 13 schliessende und ebenfalls  $0,5 I_d$  gleiche Strom der Belastungen 22 der Brücken 11, 11' im Zeitpunkt  $t_3$  über die Sekundärwicklung 3 des Transformators 2 seinen Kreis geschlossen, während der Ladestrom über den Kondensator 4 ausbleibt. Infolge der Abschaltung des Stromes mit Schwingungscharakter im Kondensator 4 zum Zeitpunkt  $t_3$  sperren die Ventile 7 des elektronischen Schalters 6, und im Stromkreis des Kondensators 4 erweist sich die Drossel 5 als eingeschaltet.

Zur Stromdämpfung im Transformator 2 in Grenzen der vorliegenden Halbperiode der Speisespannung wird ein umgekehrter Vorgang eingeleitet.

Zum Zeitpunkt  $t_4$  werden die phasengeregelten Steuerimpulse auf die Dämpfungsventile 21 der Brücken 9, 9' der Gruppe 8 des Stromrichters 1, auf die Hauptventile 13 und Ventile 7 des elektronischen Schalters 6 gegeben.

Der einem halben Gesamtstrom der Sekundärwicklung 3 gleiche Strom der Belastungen 22 der Brücken 9, 9' der Gruppe 8 schliesst sich über den Stromkreis der Hauptventile 12, 13, während sich der halbe Strom  $I_d$  der Sekundärwicklung 3 des Transformators 2 über den Kondensator 4 schliesst, wodurch die Aufladung seiner Kapazität eingeleitet wird. Die Spannungserhöhung am Kondensator 4 wird in dessen Ladevorgang von einem immer intensiveren Abfall des Stromes  $i_3$  (Fig. 2b, c) am Transformator 2 und des Stromes  $i_4$  am Kondensator 4 selbst begleitet. In einem Periodenviertel der Eigenschwingungen des Stromes im Kondensator 4, d.h. zum Zeitpunkt  $t_5$ , fällt der Strom  $i_4$  im Kondensator auf den Wert Null und der Strom  $i_3$  im Transformator 2 auf den Wert  $0,5 I_d$  ab. Zu diesem Zeitpunkt  $t_5$  erreicht die Spannung am Kondensator 4 ein Maximum, und da sie den Wert der Speisespannung an der Sekundärwicklung 3 übertrifft, geht der Vorgang des Stromabfalls in der Sekundärwicklung 3 weiter. Im Kondensator 4 erscheint ein Strom umgekehrter Richtung,

und es kommt zur Entladung des ersteren. Zum Zeitpunkt  $t_6$ , in einem Periodenviertel nach dem Zeitpunkt  $t_5$ , oder in einer Halbperiode der Eigenschwingungen des Stromes im Kondensator 4. Beginnend vom Zeitpunkt  $t_4$  entlädt sich der Kondensator 4, und die Spannung daran erreicht einen Zeitwert der Spannung der Wicklung 3, während der Strom  $i_3$  im Transformator 2 auf den Wert des erzwungenen Stromes absinkt. Der Strom der Belastungen 22 der Brücken 11, 11' der Gruppe 10 des Stromrichters 1 geht zu dieser Zeit von der Wicklung 3 in den Kondensator 4 über. In diesem Zeitpunkt  $t_6$  (Fig. 2a) werden die phasengeregelten Steuerimpulse auf die Dämpfungsventile 21 und die Hauptventile 13 in den Brücken 11, 11' der Gruppe 10 geliefert. Der Strom der Belastungen 22 der Brücken 11, 11' werden über die Hauptventile 12, 13 seinen Kreis geschlossen, wobei er im Kondensator 4 sprunghaft abfällt und dadurch zum Sperren der Ventile 7 des elektronischen Schalters 6 beiträgt. Wenn der Zeitpunkt  $t_6$  mit dem Punkt des Nulldurchganges der Speisespannungskurve zusammenfällt, bedarf es keiner erzwungenen Sperrung der Hauptventile 15 in den Brücken 11, 11', weil sie unter der Wirkung der Vorzeichen wechselnden Spannung der Wicklung 3 des Speisetransformators 2 gesperrt werden.

Bei der Einspeisung der phasengeregelten Steuerimpulse also sowohl auf die Hauptventile 15, 12 zu den Zeitpunkten  $t_1, t_3$  als auch auf die Dämpfungsventile 21 zu den Zeitpunkten  $t_4, t_6$  wird ein stufenloser Prozess des Stromanstiegs im Transformator 2 in Grenzen  $t_1$  bis  $t_3$  und des Stromabfalls in Grenzen  $t_4$  bis  $t_6$  sichergestellt, deren Bereich je eine Halbperiode der Eigenschwingungen des Stromes im Kondensator 4 ausmacht.

In der anderen Halbperiode der Speisespannung erfolgt die Einspeisung der phasengeregelten Steuerimpulse in ähnlicher Weise an den Hauptventilen 13, 14 der Brücken 9, 9', 11, 11', an den Dämpfungsventilen 20' und den Ventilen 7 des elektronischen Schalters 6.

Zur Regelung des Wertes der Ausgangsspannung des Stromrichters 1 werden die Zeitmomente der Einspeisung der phasengeregelten Steuerimpulse an den Hauptventilen 12, 15 in Richtung des Anfangs der Halbperiode der Speisespannung (Fig. 3a, b, c) phasenverschoben.

Zur Erhöhung von Energiekennwerten der elektrischen Betriebsmittel und des Bahnnetzes (in der Zeichnung nicht angedeutet) werden die Zeitpunkte der Einspeisung der Steuerimpulse an den Dämpfungsventilen 21 vom Ende der Halbperiode der Speisespannung zu deren Mitte, d.h. in den Grenzen der zweiten Hälfte der Halbperiode der Speisespannung, phasenverschoben.

Zur Verwirklichung des Wechselrichterbetriebes des Stromrichters bei einer Bremsung der elektrischen Betriebsmittel mit Stromrückgewinnung müssen sämtliche Ventile 12, 13, 14, 15 und 20, 21 im Stromrichter 1 gesteuert werden, während die Steuerung und Regelung in Analogie zum Gleichrichterbetrieb vorgenommen werden.

Die Kurven der Spannungsänderung in der Sekundärwicklung 3 des Transformators 2 sowie die Verläufe des Primärstromes  $i_3$  und des Stromes  $i_4$  im Kondensator 4 in verschiedenen Phasenregelstufen der Steuerimpulse sind bei einem in Fig. 1 dargestellten Stromrichter während seiner Arbeit im Wechselrichterbetrieb in Fig. 4 wiedergegeben. Das Regelungsverfahren des Ventilstromrichters 1 im Wechselrichterbetrieb besteht in folgendem.

Hier wird die Einspeisung der phasengeregelten Steuerimpulse an den Hauptventilen 12, 15 der Brücken 9, 9', 11, 11' der Gruppen 8, 10 des Stromrichters 1 gleichfalls abwechselnd zu den Zeitpunkten  $t_1, t_2$  verwirklicht, wobei im Ergebnis dieser Operationen der Stromkreis der Belastungen 22 von einem (in Fig. nicht eingezeichneten) speisenden Wechselstromnetz getrennt wird. Die Steuerimpulse für die Dämp-

fungsventile 20, 21 der Brücken 9, 9', 11, 11' werden zu den Zeitpunkten  $t_3$ ,  $t_4$  immer am Anfang der Halbperiode der Speisespannung gegeben. Hierbei bleibt die Dauer eines jeden der Bereiche  $t_1$  bis  $t_2$  und  $t_3$  bis  $t_4$  ebenfalls gleich der Halbperiode der Eigenschwingungen des Stromes im Kondensator 4 erhalten.

Im Wechselrichterbetrieb geschieht also die Sperrung der Hauptventile 14, 15 in den Brücken 9, 9' und 11, 11' stets am Anfang der Halbperiode der Speisespannung.

Hierbei erfolgt die Umschaltung des Stromes der im betreffenden Betrieb als Generatoren auftretenden (in der Zeichnung nicht angedeuteten) Motoren – Belastungen 22 – im Stromkreis der Hauptventile 12, 13 der Brücken 9, 9' und 11, 11' zu den phasengeregelten Zeitmomenten.

Zur Verringerung der Ausgangsspannung des Stromrichters werden die Zeitmomente  $t_1$  bis  $t_2$  für die Einspeisung der phasengeregelten Steuerimpulse an den Hauptventilen 14, 15 in den Brücken 9, 9' und 11, 11' in Richtung des Anfanges der Halbperiode der Speisespannung und zu deren Vergrößerung nach dem Ende hin, wie dies durch Pfeile in Fig. 4a, b, c eingezeichnet ist, verschoben.

Infolge solch eines Regelungsverfahrens der Ventile kann der Ventilstromrichter im Wechselrichterbetrieb mit einem voreilenden Leistungsfaktor arbeiten.

Das vorliegende Regelungsverfahren für einen Ventilstromrichter wird auch durch einen Ventilstromrichter 1 realisiert, in dem eine jede der Gruppe 8, 10 (Fig. 5) je eine Brücke 9 und 11 aufweist. Die Brücken 9 und 11 besitzen nur je einen völlig gesteuerten Brückenarm. Der mit der Klemme A der Sekundärwicklung 3 verbundene Brückenarm der Brücke 9 weist ein Hauptventil 14, ein Dämpfungsventil 20 und eine Kette 16 auf. Die übrigen Brückenarme der Brücke 9 setzen sich aus Hauptventilen 12, 13, 15 zusammen. Der mit der Klemme A der Sekundärwicklung 3 gekoppelte Brückenarmzweig der Brücke 11 verfügt über ein Hauptventil 15, ein Dämpfungsventil 21 und eine Kette 16. Die übrigen Brückenarme der Brücke 11 bestehen aus Hauptventilen 12, 13, 14.

Darüber hinaus wird das vorliegende Regelungsverfahren für einen Ventilstromrichter durch einen Ventilstromrichter 1 realisiert, in dem die Brücken 9 (Fig. 6) und 11 der Gruppen 8 und 10 gleichfalls nur je einen völlig gesteuerten Brückenarm besitzen. Der mit der Klemme A der Sekundärwicklung 3 gekoppelte Brückenarm der Brücke 9 weist ein Hauptventil 14, ein Dämpfungsventil 20 und eine Kette 16 auf. Die übrigen Brückenarme der Brücke 9 setzen sich aus Hauptventilen 12, 13, 15 zusammen. Der mit der Klemme B der Sekundärwicklung 3 verbundene Brückenarm der Brücke 11 verfügt über ein Hauptventil 15, ein Dämpfungsventil 21 und eine Kette 16. Die übrigen Brückenarme der Brücke 9 bestehen aus Hauptventilen 12, 13, 14.

Die Regelungsprozesse in dem gemäss Fig. 4 und 5 ausgeführten Ventilstromrichter 1 verlaufen analog den oben beschriebenen.

Unter den Betriebsbedingungen für elektrische Betriebsmittel, insbesondere für Elektrolokomotiven im Fernverkehr, ist die Möglichkeit einer Arbeit im erzwungenen Betrieb in Situationen nicht ausgeschlossen, die an Havariefälle grenzen, ebenso wie bei einem teilweisen Ausfall der Elektroausrüstung (Ausfall von Ventilen einer der Brücken, einer Störung des Bahnmotors u.ä.). In diesem Fall kann es im Stromrichter eine ungerade Anzahl von Brücken geben, was die notwendigen Bedingungen der Trennung des gesamten Stromrichters in zwei nach der Belastung gleiche Teile nicht erfüllen lässt. Dieser Mangel kann überwunden werden, wenn samt der ausgefallenen Brücke eine weitere einwandfreie in der anderen Gruppe der Brücken des Stromrichters bewusst abgeschaltet wird. In diesem Fall wird aber die vorhandene Elektroausrüstung nicht ganz ausgelastet, was eine unvoll-

ständige Ausnutzung der Zugkraft der elektrischen Betriebsmittel zur Folge hat.

In diesem Fall wird das Regelungsverfahren für einen Ventilstromrichter durch einen Ventilstromrichter 1 (Fig. 7) realisiert, der fünf einphasige Ventilbrücken 23, 24, 25, 26, 27 enthält, zu denen parallel je eine gleiche Belastung 28 geschaltet ist. Die Zahl der Ventilbrücken im Ventilstromrichter 1 kann beliebig sein. Jede der Ventilbrücken 23, 24, 25, 26, 27 weist je zwei steuerbare Brückenarme und zwei völlig steuerbare Brückenarme auf. Jeder der steuerbaren Brückenarme 23, 24, 25, 26, 27 besteht jeweils aus Hauptventilen 29, 30. Jeder der völlig steuerbaren Brückenarme der Ventilbrücken 23, 24, 25, 26, 27 setzt sich jeweils aus Hauptventilen 31, 32, Dämpfungsventilen 33, 34 und Ketten 16 zusammen.

Das Wesen der Regelung des Stromrichters 1 besteht auch in einer wechselweisen Einspeisung der Steuerimpulse an den Hauptventilen 31 und dann an den Dämpfungsventilen 33 der einzelnen Brücken des Stromrichters und wird durch Verläufe der Spannung in der Wicklung 3 und des Stromes  $i_3$  in der Wicklung 3 sowie des Stromes  $i_4$  im Kondensator 4 in Fig. 8 veranschaulicht. In den Augenblicken der Einspeisung der phasengeregelten Steuerimpulse an den Hauptventilen 31 (32) der Brücke 23 und dann an den Dämpfungsventilen 33 (32) der gleichen Brücke 23 werden mit den Impulsen die Ventile 7 des elektronischen Schalters 6 beaufschlagt. Wie aus Fig. 8 ersichtlich, wird die wechselweise Einspeisung der phasengeregelten Steuerimpulse sowohl im Laufe der Halbperiode der Speisespannung an den Hauptventilen 31 (32) der Brücken 23, 24, 25, 26, 27 als auch in der zweiten Hälfte der Speisespannung an den Dämpfungsventilen 33 (34) in gleichen Zeitintervallen vorgenommen. Das Intervall  $t_1$  bis  $t_2$  (Fig. 8) zwischen den Zeitmomenten der Einspeisung der Impulse an den Hauptventilen 31 (32) der ersten Brücke 23 und an den Hauptventilen 31 (32) der zweiten Brücke 24 sowie das Intervall  $t_4$  bis  $t_5$  zwischen den Zeitmomenten der Einspeisung der Impulse an den Hauptventilen 31 (32) der vorletzten Brücke 26 und an den Hauptventilen 31 (32) der letzten Brücke 27 sind untereinander gleich und betragen je  $\frac{1}{3}$  der Dauer der Halbperiode der Eigenschwingungen des Stromes im Kondensator 4. Die Zwischenzeitintervalle  $t_2$  bis  $t_3$ ,  $t_3$  bis  $t_4$  (Fig. 8) zwischen den an den Hauptventilen 31 (32) der Brücken 24 und 25, 25 und 26, beginnend mit der zweiten Brücke 24 und endend bei der vorletzten Brücke 26, eingespeisten Impulsen sind auch untereinander gleich und machen je  $\frac{1}{3}$  der Dauer der Halbperiode der Eigenschwingungen des Stromes im Kondensator 4 aus.

Genauso werden in der zweiten Hälfte der Halbperiode der Speisespannung die phasengeregelten Steuerimpulse abwechselnd auf die Dämpfungsventile 33 (34) der Brücken 23, 24, 25, 26, 27 des Stromrichters 1 mit einem  $\frac{1}{3}$  der Halbperiode der Eigenschwingungen des Stromes im Kondensator 4 gleichen Abstand  $t_6$  bis  $t_7$  zwischen den an den Dämpfungsventilen 33 (34) der ersten und zweiten Brücken 23 bzw. 24 sowie an den Dämpfungsventilen 33 (34) der vorletzten und letzten Brücke 26 bzw. 27 eingespeisten Impulsen gegeben. Die Abstände  $t_7$  bis  $t_8$ ,  $t_8$  bis  $t_9$  (Fig. 8) zwischen den an den Dämpfungsventilen 33 (34) der Zwischenbrücken 25, 26 eingespeisten Impulsen sind auch untereinander gleich und betragen je  $\frac{1}{3}$  der Dauer der Halbperiode der Eigenschwingungen des Stromes im Kondensator 4. Ein stufenloser Anstieg des Stromes  $i_3$  (Fig. 8b) im Transformator 2 bei seiner Einschaltung in den Stromkreis des Transformators 2 im Laufe der Abstände  $t_1$  bis  $t_5$  sowie eine stufenlose Dämpfung des Stromes  $i_3$  im Transformator 2 im Laufe der Abstände  $t_6$  bis  $t_{10}$  erfolgen stossfrei beim Koppeln einzelner Kurven mit einem Zyklus: k – k, l – l, m – m, p – p zu den Zeitpunkten  $t_2$ ,  $t_3$ ,  $t_4$ ,  $t_5$ ,  $t_6$ ,  $t_7$ ,  $t_8$  einer Gleichheit von Ableitungen des Stromes in den Kopplungspunkten.

In einem Spezialfall, wo im Stromrichter 1 drei Brücken sind, laufen die Prozesse für zwei gleiche Abstände mit einer Dauer von  $\frac{2}{3}$  der Halbperiode der Eigenschwingungen des Stromes im Kondensator ab. Bei vier Brücken tritt noch ein Zwischenintervall von  $\frac{1}{3}$  Dauer in Erscheinung.

Im allgemeinen Fall, wenn die Brückenzahl gleich  $n$  ist, ist die Anzahl der Zwischenintervalle gleich  $n - 1$ .

Das vorgeschlagene Regelungsverfahren für einen Ventilstromrichter wird auch in einem Ventilstromrichter 1 (Fig. 9) realisiert, der von einem Transformator 2 gespeist wird, dessen Sekundärwicklung 3 einen Mittelpunkt 35 aufweist. Dieser Ventilstromrichter 1 enthält eine einphasige Ventilbrücke 36, an die eine gemeinsame Belastung 37 in Form wahlfrei gekoppelter Bahnmotoren und eines Stromkreises einer Glättungs-drossel (in der Zeichnung nicht angedeutet) angeschlossen ist. In diesem Fall ist die Sekundärwicklung 3 des Transformators 2 in zwei gleiche Teile 38 und 39 aufgeteilt. Der zur Sekundärwicklung 3 parallel liegende Kondensator 4 ist auch in zwei gleiche Teile 40 und 41 aufgeteilt. Die Ventilbrücke 36 hat zwei Brückenarme 42 und 43, deren Mittelpunkte an die gesamte Sekundärwicklung 3 angeschlossen sind, und einen dritten Brückenarm 44, dessen Mittelpunkt an den Mittelpunkt 35 der Sekundärwicklung 3 und des Kondensators 4 geschaltet ist. In jedem Brückenarm 42, 43 der Brücke 36 sind zwei Brückenarme völlig steuerbar. Der eine Brückenarm der Brückenarme 42, 43 enthält ein Hauptventil 45, ein Dämpfungsventil 46 und eine Kette 16. Der andere Brückenarm der Brückenarme 42, 43 weist ein Hauptventil 47, ein Dämpfungsventil 48 und eine Kette 16 auf. Die Brückenarme des Brückenarmes 44 sind steuerbar und bestehen aus Hauptventilen 49, 50. Im beschriebenen Stromrichter 1 wird bei der Regelung der gleiche elektromagnetische Vorgang wie auch bei dem in Fig. 1 gezeigten Stromrichter mit zwei Brückengruppen realisiert, nur dass die phasengeregelten Steuerimpulse zum Zeitpunkt  $t_1$  (Fig. 10a) auf die Hauptventile 45, 50 in den einen Kreis für den Strom der Belastung 37 über die sekundäre Teilwicklung 39 des Transformators 2 bildenden Brückenarmen 43, 44 gegeben werden. Infolge der Eigenschwingungen des Stromes in den Teilwicklungen 38, 39 und in den Kondensatoren 40, 41 zu dem vom Zeitpunkt  $t_1$  um einen der Dauer der Halbperiode der Eigenschwingungen des Stromes im Kondensator 4 gleichen Abstand verschobenen Zeitpunkt  $t_2$  erreicht aber der Strom in der Sekundärwicklung 3 einen dem Gesamtstrom der Belastung 37 entsprechenden Wert  $i_3$  (Fig. 10b). In diesem Zeitpunkt  $t_2$  (Fig. 10a) werden die phasengeregelten Steuerimpulse auf die Hauptventile 47 des Brückenarmes 42 gegeben, die nach deren Öffnung einen Kreis für den Strom der Belastung 37 über die gesamte Sekundärwicklung 3 des Transformators 2 bilden.

Analog werden bei der Stromdämpfung im Transformator 2 in der zweiten Hälfte der Halbperiode der Speisespannung zu dem dem Nulldurchgangspunkt der Speisespannung um einen Abstand nicht weniger als eine Halbperiode der Eigenschwingungen des Stromes im Kondensator 4 voreilenden Zeitpunkt  $t_3$  die phasengeregelten Steuerimpulse auf die Dämpfungsventile 46 des Brückenarmes 43 des Stromrichters 1 gegeben, die die Teilwicklung 39 von der Belastung 37 abschalten. Dann werden sie in einem auch einer Halbperiode der Eigenschwingungen des Stromes im Kondensator 4 gleichen Zeitabstand zum Zeitpunkt  $t_4$  auf die die gesamte Sekundärwicklung 3 von der Belastung 37 abschaltenden Dämpfungsventile 48 des Brückenarmes 42 gegeben. In Fig. 10 (a, b, c, d, e) sind der Verlauf der Spannung  $U_3$  in der gesamten Sekundärwicklung 3 des Transformators 2 und die Verläufe von Strömen  $i_{38}$ ,  $i_{39}$  in den Teilwicklungen 38 und 39 sowie des Stromes  $i_3$  in der gesamten Wicklung 3 und des Stromes  $i_4$  im Kondensator 4 dargestellt.

Der Strom  $i_3$  stellt eine Halbsumme der Ströme  $i_{38}$ ,  $i_{39}$  in

den Teilwicklungen 38, 39 dar, während der Strom  $i_4$  ein gemeinsamer Strom in einem an die Gesamtwicklung 3 angeschlossen und aus den Einzelteilen 40, 41 zusammengesetzten äquivalenten Kondensator 4 ist.

Wie aus Fig. 10 ersichtlich ist, ähneln die Verläufe von  $U_3$  und  $i_3$  den Verläufen in Fig. 3a, b für einen in Fig. 1 wiedergegebenen Stromrichter. Die Reihenfolge des Einsatzes sämtlicher Ventile 45, 46, 47, 48, 49, 50 ist in einem den Regelungsvorgang im Gleichrichterbetrieb erläuternden Diagramm in Fig. 11 und in einem den Regelungsvorgang im Wechselrichterbetrieb des Stromrichters 1 veranschaulichenden Diagramm in Fig. 12 wiedergegeben.

Die in Fig. 10 dargestellten Verläufe entsprechen einer idealen magnetischen Kopplung zwischen den Teilwicklungen 38 und 39, d.h. bei einem vollständigen Fehlen von Streuflüssen zwischen ihnen.

Bei realen Konstruktionen von Bahntransformatoren bedingt das Vorhandensein von Streuflüssen und dementsprechend auch eines induktiven Widerstandes in jedem der Stromkreis «Teilwicklung - Kondensator» den Ablauf eines kurzzeitigen schnell abklingenden Prozesses zu den Zeitmomenten des Einschaltens der Ventile.

Bei einer guten magnetischen Kopplung wirkt sich dieser Prozess auf die Grundverläufe der Spannung  $U_3$ , des Stromes  $i_3$  nicht aus. Bei der Beseitigung eines Kurzschlusses der Transformatorwicklung während der Kommutierung der Ventile, der bei den gegenwärtig verwendeten Gleich- bzw. Wechselrichtern unvermeidlich ist, geht das Regelungsverfahren für einen Ventilstromrichter wie folgt vor sich.

Bis zum Augenblick des Nulldurchganges der Speisespannungskurve schliessen sich die Ströme der Belastungen 22 (Fig. 9) über die Stromkreise der Ventile 14, 15 in den Brücken 9, 9' der Gruppe 8 und in den Brücken 11, 11' der Gruppe 10. Zu dem dem Nulldurchgang der Speisespannung  $U_3$  entsprechenden Zeitpunkt  $t_1$  (Fig. 13) werden gleichzeitig mit der Einspeisung der phasengeregelten Steuerimpulse an den Hauptventilen 12, 15, der Brücken 9, 9' die phasengeregelten Impulse zusätzlich auf die Dämpfungsventile 20 der gegenphasigen Brückenarme derselben Brücken gegeben. In diesem Fall wird der Strom der Belastungen 22 vom Stromkreis der Ventile 14, 15 auf den Stromkreis: Kondensator 17, Drossel 18, Dämpfungsventil 20 unter der Wirkung der Spannung des Kommutierungskondensators 17 umgeschaltet. Im weiteren Verlauf des Spannungsanstiegs in der Wicklung 3 (Ventile 14 sind bereits gesperrt) gehen die Lastströme in den Stromkreis des Kondensators 4 und der Wicklung 3 über, während sich der Kommutierungskondensator 17 über den Stromkreis der Diode 19 von der Wicklung 3 erneut auflädt. In der Wicklung 3 und dem Kondensator 4 wird der bereits oben beschriebene Schwingungsvorgang mit der Frequenz der Eigenschwingungen des Stromes im Kondensator 4 eingeleitet, während zum Zeitpunkt  $t_2$  (Fig. 13) die Steuerimpulse gleichfalls auf die Hauptventile 12, 15 (Fig. 1) der Brücken 11, 11' der Gruppe 10 gegeben werden, weshalb der Strom der Belastungen 22 der Brücken 11, 11' der Gruppe 10 von den Stromkreisen der Ventile 14, 15 auf die Stromkreise der Hauptventile 12, 15 umgeschaltet wird.

Infolge der Einspeisung der phasengeregelten Steuerimpulse an den Dämpfungsventilen 20 der gegenphasigen Brückenarme der Brücken 9, 9' unter deren gleichzeitiger Einspeisung an den Hauptventilen 12, 15 wird also der Kurzschluss der Wicklung 3 über den Stromkreis der Ventile 12, 14 behoben.

Ferner fließen die Ströme der Belastungen 22 (Fig. 1) nach dem Zeitpunkt  $t_2$  (Fig. 13) über die Stromkreise der Ventile 12, 15 unter der Einwirkung der Speisespannung der Wicklung 3.

Die Vorgänge in der anderen Halbperiode der Speise-

spannung laufen analog ab. Hier werden die phasengeregelten Steuerimpulse gleichfalls zu dem dem fälligen Nulldurchgang der Speisespannungskurve entsprechenden Zeitpunkt  $t_1$  (Fig. 13) zur Beseitigung eines Kurzschlusses der Wicklung 3 auf die Hauptventile 13, 14 und die gegenphasigen Dämpfungsventile 21 der Brücken 11, 11' der Gruppe 10 gegeben. Zum Zeitpunkt  $t_2$  werden die Impulse auf die Hauptventile 13, 14 in den Brücken 9, 9' der Gruppe 8 geliefert.

Der Grundschwingungsvorgang für den Strom im Kondensator 4 wird in allen Fällen bei den Null-Anfangsbedingungen für Strom und Spannung der Frequenz der Eigenschwingungen des Stromes im Kondensator 4 unterbrochen. In den Abständen zwischen den Kommutierungen fließt im Transformator 2 und in dem (in der Zeichnung nicht angedeuteten) Bahnnetz ein dem Gesamtstrom der Belastung 22 des Stromrichters 1 entsprechender Strom. Das Ausbleiben der Stromschwingungen in den Wicklungen 3 des Transformators 2 und im Bahnnetz in den Abständen zwischen den Kommutierungen ist durch die Reihenfolge der Steuerung der Ventile in den Brücken 9, 9', 11, 11' gewährleistet.

Diese Bedingung kann aber bei einer Parallelarbeit einiger elektrischer von einem Bahnsitz gespeister Triebfahrzeuge nicht streng eingehalten werden. Die Frequenzen der Eigenschwingungen des Stromes in den Kondensatoren 4 können sich in Abhängigkeit von der Lage auf der Leitung in bezug auf das Bahnunterwerk ebenso wie dann etwas unterscheiden, wenn der Schaltvorgang eines Triebfahrzeuges mit den Abständen zwischen den Kommutierungen der anderen Triebfahrzeuge, besonders bei verschiedenen Regelungswinkeln für die Spannung an den Motoren, zusammenfallen kann.

In diesem Fall kann die Beendigung der unvermeidlich von einem Kurzschluss der (nicht gezeigten) Transformatorwicklung begleiteten Kommutierung der Ventile bei normalen elektrischen Betriebsmitteln Schwingungen eines Stromes erhöhter Frequenz auf der Strecke des Bahnnetzes veranlassen.

Entsprechend dem beschriebenen Regelungsverfahren für einen Ventilstromrichter 1 werden der stufenlose Anstieg und die stufenlose Dämpfung des Stromes  $i_3$  (Fig. 2) im Transformator 2 in den Intervallen  $\tau_1, \tau_2$  (Fig. 14) gewährleistet, während im Abstand zwischen diesen Intervallen (Intervall zwischen den Kommutierungen) im Bahnnetz und dem Transformator 2 ein dem Gesamtstrom der Belastung 22 des Stromrichters 1 entsprechender Strom fließt.

Wenn zur gleichen Zeit im Zeitpunkt  $t_1$  eine Stromschaltung im Stromrichter eines anderen vom gleichen Bahnnetz arbeitenden elektrischen Triebfahrzeugen erfolgt, kön-

nen auf dem betreffenden elektrischen Triebfahrzeug Stromschwingungen entstehen. Zur Beseitigung dieser Schwingungen für das ganze Zeitintervall zwischen den Kommutierungen gibt es im Stromkreis des Kondensators 4 eine Drossel 5, die diese Schwingungen begrenzt, wie dies in Fig. 14 gezeigt ist. Dies wird im beschriebenen Verfahren dadurch erreicht, dass in jeder Halbperiode der Speisespannung bei der Einspeisung der Steuerimpulse an den ersten in der Reihenfolge Hauptventilen 12, 15 (Fig. 1) des Stromrichters 1 die Steuerimpulse zur gleichen Zeit auf die Ventile 7, 8 des elektronischen Schalters 6 gegeben werden, der die Drossel 5 in beiden Richtungen shuntet. Im zweiten Teil der Halbperiode der Speisespannung werden gleichzeitig mit der Einspeisung der Steuerimpulse an den ersten in der Reihenfolge der Dämpfungsventile 20, 21 des Stromrichters 1 die Impulse auch auf die Ventile 7, 8 des elektronischen Schalters 6 geliefert. Infolge derartiger Steuerung erweist sich die Drossel 5 in den Kommutierungsintervallen  $\tau_1, \tau_2$  (Fig. 14) durch die geöffneten Ventile 7, 8 des elektronischen Schalters 6 als kurzgeschlossen und beeinflusst den Charakter der oben beschriebenen Steuerungs- und Regelungsvorgänge des Stromrichters 1 nicht. Hierbei darf die Breite der an den Ventilen 7, 8 des elektronischen Schalters 6 eingespeisten Steuerimpulse nicht kleiner als die Dauer des Zeitintervalls zwischen den Momenten der ersten und der letzten Einspeisung der so auf die Hauptventile 14, 15 wie auch auf die Dämpfungsventile 20, 21 des Stromrichters 1 gelieferten phasengeregelten Steuerimpulse sein.

In den Augenblicken der Beendigung der Kommutierungsintervalle sperren die Ventile 7, 8 des elektronischen Schalters 6 spontan, und die Drossel 5 erweist sich als eingeschaltet in den Stromkreis des Kondensators 4, wodurch ein Auftreten schädlicher Schwingungsvorgänge für den Strom im Transformator 2 und in dem Netz eliminiert wird, die durch die Einwirkung der parallel arbeitenden elektrischen Betriebsmittel ausgelöst werden können.

Das in der zu patentierenden Erfindung vorgeschlagene Regelungsverfahren sichert einen Wert des Leistungsfaktors bei elektrischen Betriebsmitteln nicht unter 0,95 und gestattet es, einen Kurzschluss der Transformatorwicklung bei der Kommutierung der Ventile des Stromrichters zu beheben, der ein unabdingbarer Vorgang bei den bestehenden elektrischen Betriebsmitteln mit einer natürlichen Kommutierung ist. Infolgedessen werden eine 2- bis 3fache Verringerung induktiver Spannungsverluste im Bahnnetz, eine 3- bis 4fache Reduzierung einer Störwirkung des Bahnnetzes auf die Verbindungsleitungen erzielt.



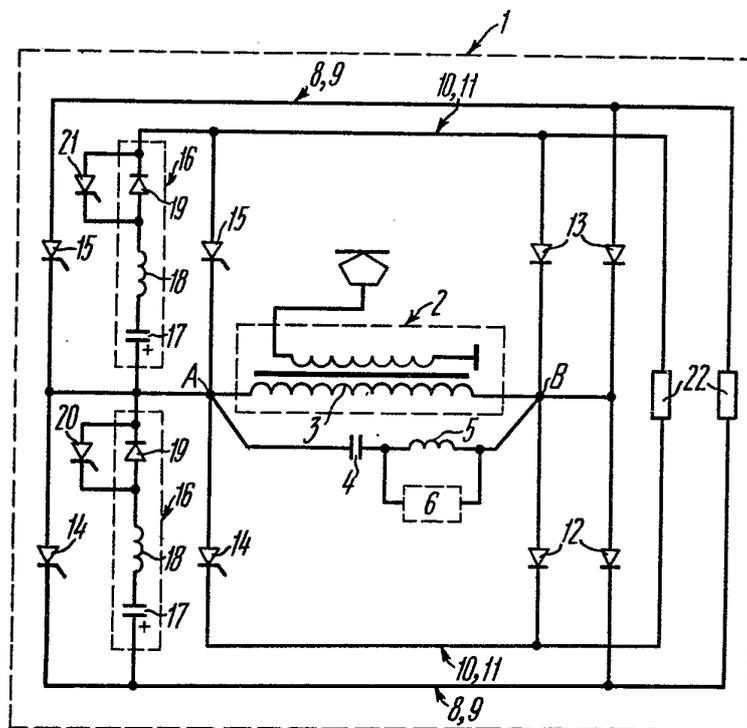
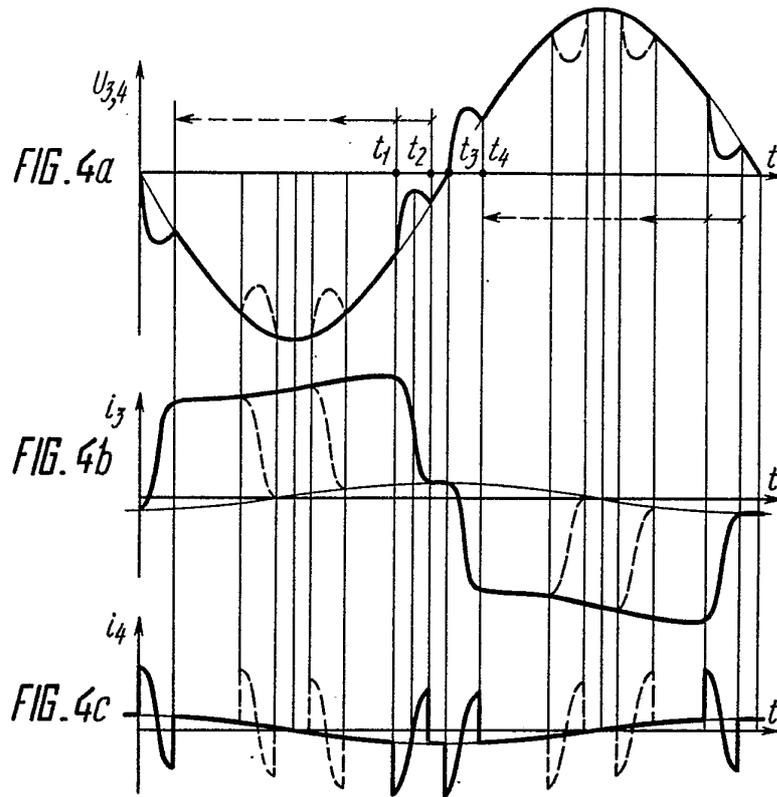


FIG. 5

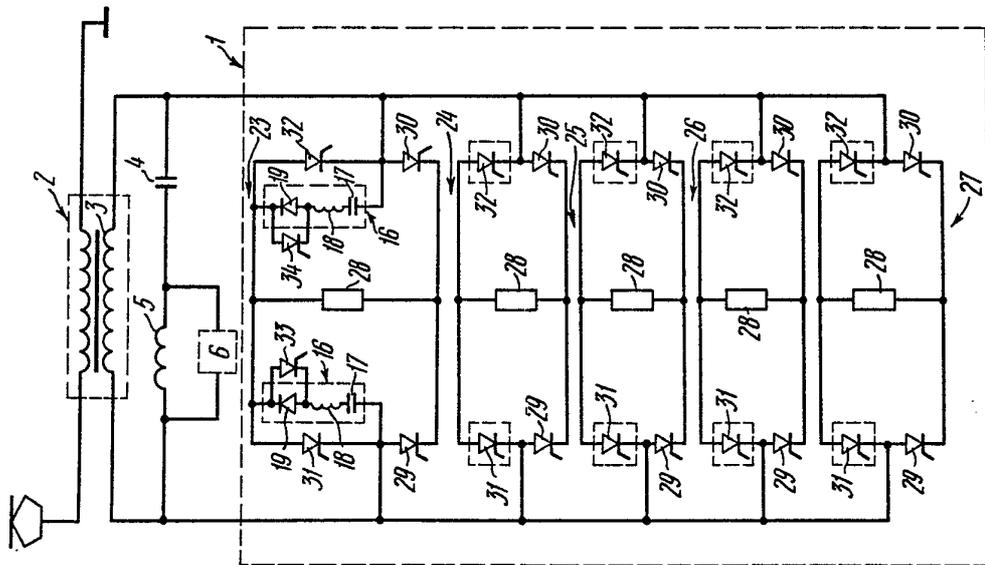


FIG. 7

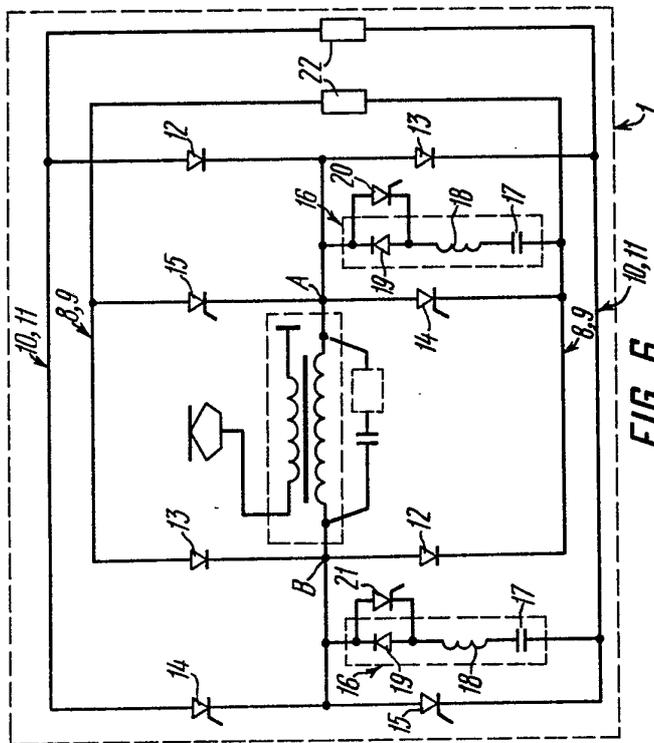


FIG. 6

