

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTSCHRIFT A5

11

642 202

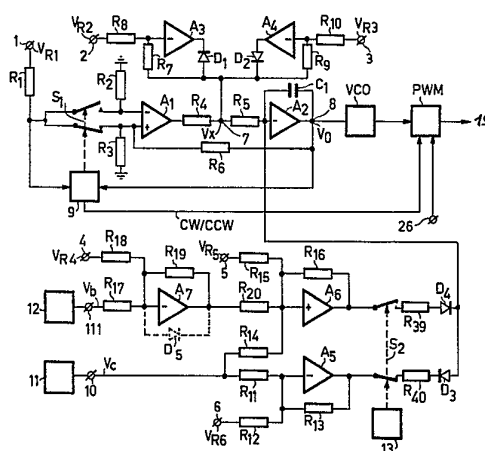
- | | | | | |
|----|----------------------------------|-----------------------|----|---|
| ②① | Gesuchsnummer: | 6668/78 | ⑦③ | Inhaber:
N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken, Eindhoven
(NL) |
| ②② | Anmeldungsdatum: | 19.06.1978 | | |
| ③① | Priorität(en): | 20.06.1977 NL 7706751 | ⑦② | Erfinder:
Wilhelmus Bernardus Rosink, Eindhoven (NL)
Cornelus Johannus Petrus Cox, Eindhoven (NL) |
| ②④ | Patent erteilt: | 30.03.1984 | | |
| ④⑤ | Patentschrift
veröffentlicht: | 30.03.1984 | ⑦④ | Vertreter:
Bovard AG, Bern 25 |

54) Regelschaltungsanordnung für einen über Leistungsschalter aus einer Gleichspannungsquelle gespeisten Wechselstrommotor, mit einer Frequenzsteuerschaltung.

57) Ein Frequenzbezugssignal (V_{R1}) wird einer die Leistungsschalter (19) steuernden Schaltung (PWM) über einen ersten Verstärker (A_1) mit Ausgangssignalebrenzung in Reihe mit einem Integrator (A_2) zugeführt, dessen Ausgang auf den Eingang des ersten Verstärkers rückgekoppelt ist. Eine Stromgegenkopplungsschleife mit einem Motorstromdetektor (11), dessen Ausgangssignal in einem Komparator (A_6) mit einem Bezugssignal (V_{R5}) verglichen wird, greift an einem Punkt zwischen dem Verstärker (A_1) und dem Integrator (A_2) ein, um die Gegenkopplungsschleife zu schliessen, wenn der Motorstrom einen vorbestimmten Wert übersteigt. Eine Spannungsgegenkopplungsschleife mit einem Detektor (12) für die aus dem Wechselspannungsnetz erhaltene Gleichspannung, wobei das Ausgangssignal (V_b) dieses Detektors mit einem Bezugssignal (V_{R4}) verglichen wird, greift ebenfalls an dem Punkt zwischen Verstärker (A_1) und Integrator (A_2) ein, um diese Spannungsgegenkopplungsschleife zu schliessen, wenn diese Gleichspannung einen vorbestimmten Wert übersteigt.

Mit der Regelschaltungsanordnung wird eine zuverlässige Sicherung beim Generatorbetrieb erhalten, wäh-

rend die Abbremsung des Motors, ungeachtet der Belastung und der Motordrehzahl, maximal sein kann.



PATENTANSPRÜCHE

1. Regelschaltungsanordnung für einen über Leistungsschalter aus einer Gleichspannungsquelle gespeisten Wechselstrommotor, mit einer Frequenzsteuerschaltung, wobei die Gleichspannungsquelle einen Gleichrichter zum Gleichrichten einer Speisewechselspannung und eine Glättungsschaltung enthält, und wobei die Frequenzsteuerschaltung einen Frequenzbezugseingang enthält, der mit einem Eingang eines ersten Verstärkers mit Ausgangssignalbegrenzung verbunden ist, von dem ein Ausgang mit einem Eingang eines ersten Integrators verbunden ist, von dem ein Ausgang ein Frequenzsteuersignal an eine die Leistungsschalter steuernde Schaltung liefert und auf den Eingang des ersten Verstärkers rückgekoppelt ist, dadurch gekennzeichnet, dass die Regelschaltungsanordnung weiter enthält: eine Stromgegenkopplungsschleife, die erste Mittel (11) zum Erzeugen eines Motorstromsignals (V_s), das ein Mass für den in dem Motor fließenden Strom ist, und einen ersten Komparator (A_6) zum Vergleichen dieses Motorstromsignals mit einem Bezugssignal (V_{R5}) enthält, wobei ein Ausgang dieses ersten Komparators (A_6) mit dem Eingang des Integrators (A_2) verbunden ist, so dass, sobald der Motorstrom einen vorher bestimmten Wert überschreitet, die Stromgegenkopplungsschleife über den ersten Komparator (A_6) und den Integrator (A_2) geschlossen wird; sowie eine Spannungsgegenkopplungsschleife, die zweite Mittel (12) zum Erzeugen eines Spannungssignals (V_b), das ein Mass für die Spannung über der Gleichspannungsquelle (V_{cb}) ist, und einen zweiten Komparator (A_7) zum Vergleichen dieses Spannungssignals mit einem Bezugssignal (V_{R4}) enthält, wobei ein Ausgang dieses zweiten Komparators (A_7) zu dem Integrator (A_2) führt, so dass, sobald die Spannung über der Gleichspannungsquelle (V_{cb}) einen bestimmten Wert überschreitet, die Spannungsgegenkopplungsschleife über den zweiten Komparator (A_7) und den Integrator (A_2) geschlossen wird.

2. Regelschaltungsanordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Ausgang des zweiten Komparators (A_7) über den ersten Komparator (A_6) mit dem ersten Integrator (A_2) verbunden ist, so dass, wenn die Spannungsgegenkopplungsschleife geschlossen ist, auch die Stromgegenkopplungsschleife geschlossen ist.

3. Regelschaltungsanordnung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Regelschaltungsanordnung weiter enthält: Detektionsmittel (13) zum Detektieren, ob der Wechselstrommotor als Generator oder als Motor wirkt; einen dritten Komparator (A_5), von dem ein Eingang zu den genannten ersten Mitteln (11) führt, sowie Schaltmittel (S_2) zwischen einem Ausgang des dritten Komparators (A_5) und dem Eingang des ersten Integrators (A_2) und zwischen dem Ausgang des ersten Komparators (A_6) und dem Eingang des ersten Integrators (A_2), wobei diese Schaltmittel (S_2) von den genannten Detektionsmitteln (13) derart gesteuert werden, dass beim Generatorbetrieb der Ausgang des ersten Komparators (A_6) mit dem Integrator (A_2) und beim Motorbetrieb der Ausgang des dritten Komparators (A_5) mit dem Integrator (A_2) verbunden ist.

4. Regelschaltungsanordnung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Detektionsmittel einen Gleichrichter (D_{15} , D_{16} , D_{17}) mit Glättungsschaltung (C_n , R_{26}) und einen Komparator (T , R_{27} , R_{28}) zum Vergleichen der mit diesem Gleichrichter erhaltenen Gleichspannung mit der Spannung der genannten Gleichspannungsquelle (V_{cb}) und zur Lieferung eines Signals enthalten, das angibt, ob die Spannung der Gleichspannungsquelle (V_{cb}) die über diesen Gleichrichter (D_{15} , D_{16} , D_{17}) erhaltene Gleichspannung gegebenenfalls um einen bestimmten Wert überschreitet.

5. Regelschaltungsanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die

genannten ersten Mittel (11) in jeder Phasenzufuhrleitung des Wechselstrommotors einen Transformator (15, 16, 17) enthalten, dessen Sekundärwicklungen parallelgeschaltet sind und über ein Glättungsfilter (D_6 , C_2) das genannte Motorstromsignal liefern.

6. Regelschaltungsanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass parallel zu der Gleichspannungsquelle (V_{cb}) ein schaltender Gleichspannungswandler (20, 21, S_4) mit einem Transformator (21) angeordnet ist, dessen Primärwicklung (22) in Reihe mit einem Schalter (S_4) parallel zu der Gleichspannungsquelle (V_{cb}) geschaltet ist und von dem eine erste Sekundärwicklung (23) zu einer Gleichrichterschaltung (D_{13} , C_3) zur Lieferung von Speisespannung (V_s) an die Frequenzsteuerschaltung (PWM) führt.

7. Regelschaltungsanordnung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die genannten zweiten Mittel (12) eine zweite Sekundärwicklung (24) des Transformators (21) enthalten, die mit einer Gleichrichterschaltung (D_{14} , C_4) zur Lieferung des genannten Spannungssignals (V_b) verbunden ist.

8. Regelschaltungsanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die genannten zweiten Mittel (12) mit einem vierten Komparator (K) zum Vergleichen dieses Spannungssignals (V_b) mit einem Bezugssignal (V_{R7}) verbunden sind, wobei ein Ausgang dieses vierten Komparators (K) zu einem Schalter (S_3) führt, der zwischen dem Gleichrichter (D_7 , D_8 , D_9 , D_{10} , D_{11} , D_{12}) der Gleichspannungsquelle (V_{cb}) und der Glättungsschaltung (C_b) der Gleichspannungsquelle (V_{cb}) derart angeordnet ist, dass dieser Schalter (S_3) geschlossen wird, wenn das Spannungssignal (V_b) dieses Bezugssignal (V_{R7}) überschreitet, wobei der genannte Schalter (S_3) parallel zu einem Widerstand (R_{25}) mit positivem Temperaturkoeffizienten liegt.

35

Die Erfindung bezieht sich auf eine Regelschaltungsanordnung für einen über Leistungsschalter aus einer Gleichspannungsquelle gespeisten Wechselstrommotor mit einer Frequenzsteuerschaltung, wobei die Gleichspannungsquelle einen Gleichrichter zum Gleichrichten einer Speisewechselspannung und eine Glättungsschaltung enthält, und wobei die Frequenzsteuerschaltung einen Frequenzbezugseingang enthält, der mit einem Eingang eines ersten Verstärkers mit Ausgangssignalbegrenzung verbunden ist, wobei ein Ausgang dieses ersten Verstärkers mit einem Eingang eines ersten Integrators verbunden ist, von dem ein Ausgang ein Frequenzsteuersignal an eine die Leistungsschalter steuernde Schaltung liefert und auf den Eingang des ersten Verstärkers rückgekoppelt ist.

Eine derartige Motorregelschaltung mit einem Verstärker und einem Integrator mit Rückkopplung ist aus der deutschen Offenlegungsschrift 2620321 bekannt und eignet sich besonders gut zur Lieferung von Frequenzsteuersignalen, wobei der Integrator in Verbindung mit dem begrenzenden Verstärker und der Rückkopplung die Geschwindigkeit der Änderung des Frequenzsteuersignals bestimmt. In Verbindung mit dieser bekannten Schaltung ist die in der deutschen Patentanmeldung P 27 15 882.3 beschriebene Schaltung zum Erzeugen in der Impulsbreite modulierter Signale für die Steuerung der Leistungsschalter sehr gut brauchbar, wobei über diese Schaltung die Frequenz des Motorstroms durch die Frequenz eines Eingangstaktsignals bestimmt wird. Dieses Taktsignal kann dann von einem vom genannten Frequenzsteuersignal gesteuerten Taktgenerator erzeugt werden.

Die vorgenannte Kombination von Schaltungen ergibt eine preiswerte, zuverlässige und einfache Motorregelschal-

tung. Diese Vorteile können jedoch nur dann völlig ausgenutzt werden, wenn die unterschiedlichen Sicherungen und Gegenkopplungsschleifen ebenfalls einfach und zuverlässig sind.

Eine der Situationen, die gesichert werden soll, ist die Abbremsung des Motors. Wird beim Abbremsen des Motors die von der Frequenzsteuerschaltung vorgeschriebene Motordrehzahl niedriger als die Istdrehzahl des Motors, so fängt der Motor an, als Generator zu wirken. Eine maximale Bremsung ist dabei dann möglich, wenn die ausgelöste Energie und die Speisung zurückgeleitet werden kann. Dies erfordert jedoch komplizierte und kostspielige Speisungen; z.B. bei einem über eine einfache Gleichrichterbrücke aus dem Wechselstromnetz gespeisten Motor kann diese ausgelöste Energie nicht zurückgeleitet werden und muss die ausgelöste Energie in dem Motor, den Leistungsschaltern und der Regelschaltung abgeleitet werden. Zur Sicherung der Schaltung ist es z.B. aus der US-PS 3719873 bekannt, den Motorstrom zu detektieren und, sobald dieser Strom einen bestimmten Pegel erreicht, das Frequenzsteuersignal derart abzuändern, dass eine erhebliche Verringerung des Motorstroms erhalten wird. Es versteht sich, dass dieser bestimmte Pegel nicht höher als der Strom sein darf, der fließt, wenn während der ungünstigsten Bedingungen der Motor und die Schaltungen die höchstzulässige Energie verbrauchen. Daraus folgt, dass der Motor verhältnismäßig viel Zeit benötigt, um abzubremesen. Eine solche Sicherung hat ausserdem den Nachteil, dass zuvor die Betriebsbedingungen bekannt sein müssen, um eine optimale Regelung zu entwerfen und herzustellen.

Die Erfindung bezweckt, eine Regelschaltungsanordnung der eingangs erwähnten Art zu schaffen, bei der mit einfachen Mitteln eine zuverlässige Sicherung beim Generatorbetrieb erhalten wird, während dabei die Abbremsung des Motors, ungeachtet der Belastung und der Drehzahl des Motors, maximal sein kann, so dass eine Abbremsgeschwindigkeit erhalten werden kann, die nicht durch die ungünstigsten Bedingungen begrenzt wird.

Die Erfindung ist dazu dadurch gekennzeichnet, dass die Regelschaltungsanordnung weiter enthält: eine Stromgegenkopplungsschleife, die erste Mittel zum Erzeugen eines Motorstromsignals, das ein Mass für den in dem Motor fließenden Strom ist, und einen ersten Komparator zum Vergleichen dieses Motorstromsignals mit einem Bezugssignal enthält, wobei ein Ausgang dieses ersten Komparators mit dem Eingang des Integrators verbunden ist, so dass, sobald der Motorstrom einen vorher bestimmten Wert überschreitet, die Stromgegenkopplungsschleife über den ersten Komparator und den Integrator geschlossen wird; sowie eine Spannungsgegenkopplungsschleife, die zweite Mittel zum Erzeugen eines Spannungssignals, das ein Mass für die Spannung über der Gleichspannungsquelle ist, und einen zweiten Komparator zum Vergleichen dieses Spannungssignals mit einem Bezugssignal enthält, wobei ein Ausgang dieses zweiten Komparators zu dem Integrator führt, so dass, sobald die Spannung über der Gleichspannungsquelle einen vorher bestimmten Wert überschreitet, die Spannungsgegenkopplungsschleife über den zweiten Komparator und den Integrator geschlossen wird.

Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass die Anwendung einer Spannungsgegenkopplungsschleife neben einer Stromgegenkopplungsschleife nicht nur eine Sicherung gegen zu hohe Spannungen liefert, sondern, was viel interessanter ist, eine sehr schnelle Abbremsung dadurch ermöglicht, dass stets und unter allen Bedingungen ein Maximum an Energie abgeleitet wird. Dies lässt sich wie folgt erkennen. Wenn die Bremsung eingeleitet wird, steigt der erzeugte Motorstrom schnell auf einen hohen Maximalwert an. Dadurch, dass die zurückgeleitete Energie nicht in das Wech-

selspannungsnetz geliefert werden kann, nimmt die Spannung über der Gleichspannungsspeisung durch das Aufladen meistens vorhandener Kapazitäten (meistens Pufferkondensatoren) sehr schnell auf einen höchstzulässigen Wert zu, der z.B. gleich dem Zweifachen des Nennwertes sein kann und durch die verwendeten elektronischen Teile, wie Dioden und Thyristoren, bestimmt wird.

Die Spannungsgegenkopplungsschleife begrenzt diese Spannung auf diesen Wert, was zur Folge hat, dass der Strom abnehmen wird. Solange der abbremsende Motor genügend Energie liefert, wird die Speisespannung auf diesem Höchstwert bleiben und wird sich der Strom diesem Wert und der Drehzahl anpassen, so dass während nahezu des ganzen Bremsvorgangs die Ableitung gelieferter Energie maximal ist. Ein wichtiger Vorteil dabei ist der, dass bei Spannungen, die erheblich höher als die Nennspannungen sind, die meisten Motoren in Sättigung geraten, wodurch die Ableitung in dem Motor selbst stark zunimmt.

Würde lediglich eine Überstromsicherung, wie sie z.B. aus der genannten US-PS 3719873 bekannt ist, oder eine Strombegrenzung verwendet werden, so soll der Grenzwert des Motorstroms derart gewählt werden, dass nur unter den ungünstigsten Bedingungen die höchstzulässige Speisespannung erreicht werden kann, was bedeutet, dass diese Stromgrenze viel niedriger als diejenige Grenze liegen wird, die bei einer Regelung nach der Erfindung gewählt werden kann, und dass die Speisespannung durchschnittlich viel niedriger liegen wird, wodurch nicht nur die Ableitung herabgesetzt, sondern auch der genannte Vorteil des Erreichens des Sättigungszustandes des Motors beseitigt wird, wodurch eine erheblich längere Zeit benötigt wird, um den Motor sicher abzubremesen.

Bei einer Regelschaltungsanordnung nach der Erfindung ist es vorteilhaft, dass der Ausgang des zweiten Komparators z.B. über den ersten Komparator mit dem ersten Integrator verbunden ist, so dass, wenn die Spannungsgegenkopplungsschleife geschlossen ist, auch die Stromgegenkopplungsschleife geschlossen ist.

Da neben dem genannten Integrator auch die Kapazität der Gleichspannungsquelle einen Integrator bildet, enthält die Spannungsgegenkopplungsschleife an sich zwei Integratoren in Reihe, was zu Stabilitätsproblemen führen kann. Dadurch, dass bei der zuletzt genannten Motorregelschaltung die Spannungsgegenkopplungsschleife in die sehr stabile Stromgegenkopplungsschleife eingreift, treten diese Stabilitätsprobleme nicht auf. Wenn auch der Motorstrom den genannten vorher bestimmten Wert nicht erreicht hat, wird dennoch diese Stromgegenkopplungsschleife derart aktiviert, dass die Spannung über der Gleichspannungsquelle auf einen vorher bestimmten Wert begrenzt wird.

Eine günstige Ausführungsform einer Schaltung nach der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass die Motorregelschaltung weiter enthält: Detektionsmittel, mit deren Hilfe detektiert wird, ob der Wechselstrommotor als Generator oder als Motor wirkt; einen dritten Komparator, von dem ein Eingang zu den genannten ersten Mitteln führt, sowie Schaltmittel zwischen einem Ausgang des dritten Komparators und dem Eingang des ersten Integrators und zwischen dem Ausgang des ersten Komparators und dem Eingang des ersten Integrators, wobei diese Schaltmittel von den genannten Detektionsmitteln derart gesteuert werden, dass beim Generatorbetrieb der Ausgang des ersten Komparators mit dem Integrator und beim Motorbetrieb der Ausgang des dritten Komparators mit dem Integrator verbunden ist.

Auf diese Weise wird eine getrennte Wirkung der Begrenzung beim Motor- und beim Generatorbetrieb erhalten. Die Spannungsgegenkopplungsschleife kann nur dann geschlossen sein, wenn der Motor als Generator wirksam ist, und aus-

serdem können die Grenzwerte des Motorstroms beim Motor- und beim Generatorbetrieb verschieden gewählt werden.

Was die genannten Detektionsmittel zum Detektieren der Spannung über der Gleichspannungsquelle anbelangt, ist es günstig, dass diese Mittel einen zweiten Gleichrichter mit Glättungsschaltung und einen Komparator zum Vergleichen der mit dem zweiten Gleichrichter erhaltenen Gleichspannung mit der Spannung der genannten Gleichspannungsquelle und zur Lieferung eines Signals enthalten, das angibt, ob die Spannung der Gleichspannungsquelle die über den zweiten Gleichrichter erhaltene Gleichspannung gegebenenfalls um einen bestimmten Wert überschreitet.

Auf diese Weise ist sichergestellt, dass die Detektion des Generatorbetriebs nicht von Änderungen der Netzspannung beeinflusst wird.

Die genannten Mittel zum Detektieren des Motorstroms können dadurch gekennzeichnet sein, dass die genannten ersten Mittel in jeder Phasenzufuhrleitung des Wechselstrommotors einen Transformator enthalten, dessen Sekundärwicklungen parallel geschaltet sind und über ein Glättungsfilter das genannte Motorstromsignal liefern.

Was die Speisung der Frequenzsteuerschaltung anbelangt, ist es günstig, dass parallel zu der Gleichspannungsquelle ein schaltender Gleichspannungswandler mit einem Transformator angeordnet ist, dessen Primärwicklung in Reihe mit einem Schalter zu der Gleichspannungsquelle parallelgeschaltet ist und von dem eine erste Sekundärwicklung zu einer Gleichrichterschaltung zur Lieferung von Speisespannung an die Frequenzsteuerschaltung führt. Dies ergibt noch den grossen Vorteil, dass die Frequenzsteuerschaltung nach wie vor gespeist wird, solange genügend Spannung über der Gleichspannungsquelle vorhanden ist, auch wenn die Motorregelschaltung von dem Wechselstromnetz entkoppelt ist oder wenn das Wechselstromnetz ausfällt. Denn wenn die Frequenzsteuerschaltung über eine unabhängige Speiseschaltung gespeist würde, würde bei Unterbrechung der Netzspannung die Steuerung ausfallen, während gewisse Leistungsschalter noch leitend sind und durch das Ausfallen der Steuerung leitend bleiben, wodurch die Gleichspannungsspeisung kurzgeschlossen wird, was ohne zusätzliche Sicherungen einen nachteiligen Einfluss auf die Leistungsschalter und die Speiseschaltung ausüben würde.

Bei Anwendung eines schaltenden Gleichspannungswandlers ist es vorteilhaft, dass die genannten zweiten Mittel eine zweite Sekundärwicklung des Transformators enthalten, die mit einer Gleichrichterschaltung zur Lieferung des genannten Spannungssignals verbunden ist.

Dieses Spannungssignal kann vorteilhaft zusätzlich dadurch ausgenutzt werden, dass die genannten zweiten Mittel mit einem vierten Komparator zum Vergleichen dieses Spannungssignals mit einem Bezugssignal verbunden sind, wobei dieser vierte Komparator über einen Ausgang an einen Schalter angeschlossen ist, der zwischen dem Gleichrichter der Gleichspannungsquelle und der Glättungsschaltung der Gleichspannungsquelle derart angeordnet ist, dass dieser Schalter geschlossen wird, wenn das Spannungssignal dieses Bezugssignals überschreitet, wobei der genannte Schalter parallel zu einem Widerstand mit positivem Temperaturkoeffizienten angeordnet ist.

Bei Speisung aus einem niederohmigen Wechselstromnetz wird beim Einschalten der in der Gleichspannungsquelle vorhandene Pufferkondensator mit einem grossen Ladestrom aufgeladen werden. Dieser Aufladestrom wird vom genannten Widerstand begrenzt, der von dem Schalter kurzgeschlossen wird, wenn die Spannung der Gleichspannungsquelle genügend hoch ist. Indem für diesen Widerstand ein Widerstand mit positivem Temperaturkoeffizienten gewählt wird, kann der Widerstandswert verhältnismässig niedrig gewählt

werden, wobei dieser Widerstand dennoch eine Sicherung gegen Kurzschluss dadurch bildet, dass infolge der hohen Ströme bei Kurzschluss dieser Widerstand wärmer und somit der Widerstandswert höher wird, wodurch die Verlustleistung in diesem Widerstand beschränkt bleibt.

Die Erfindung wird nachstehend beispielsweise an Hand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein Ausführungsbeispiel einer Frequenzsteuerschaltung für eine Motorregelschaltung nach der Erfindung,

Fig. 2a, 2b und 2c einige Signalformen zur Erläuterung der Wirkungsweise der Schaltung nach Fig. 1,

Fig. 3a und 3b schematisch einen möglichen Verlauf der Amplitude des Motorstroms und der Spannung über der Gleichspannungsspeisquelle als Funktion der Zeit, wenn der Motor während des Bremsvorganges als Generator zu wirken beginnt,

Fig. 4 ein Ausführungsbeispiel des Motorstromdetektors in Fig. 1,

Fig. 5 ein Ausführungsbeispiel einer Gleichspannungsquelle für die Speisung eines Motors über Leistungsschalter,

Fig. 6 eine Schaltung zum Erzeugen eines IR-Kompensationssignals und

Fig. 7 ein Diagramm zur Erläuterung der Wirkungsweise der Schaltung nach Fig. 6.

Fig. 1 zeigt ein Ausführungsbeispiel einer Frequenzsteuerschaltung für eine Motorregelschaltung nach der Erfindung. Diese Schaltung enthält einen Frequenzbezugseingang 1, dem eine Spannung V_{R1} zugeführt wird. Dieser Eingang 1 führt über einen Verstärkungseinstellwiderstand R_1 und einen Wechselschalter S_1 , zu dem invertierenden (–) oder dem nichtinvertierenden (+) Eingang eines Operationsverstärkers A_1 . Beide Eingänge sind mit Erdungswiderständen R_2 bzw. R_3 versehen. Der Ausgang des Verstärkers A_1 führt über die Reihenschaltung von Widerständen R_4 und R_5 zu dem invertierenden Eingang eines Operationsverstärkers A_2 , der dadurch, dass der Ausgang 8 dieses Operationsverstärkers über den Kondensator C_1 mit diesem Eingang verbunden ist, als Integrator geschaltet ist. Der Ausgang 8 des Integrators A_2 ist über einen Widerstand R_6 in gegenkoppelndem Sinne mit dem nichtinvertierenden Eingang des Operationsverstärkers A_1 und mit einem spannungsgesteuerten Oszillator VCO verbunden, der ein Taktsignal einer Impulsbreitenmodulationsschaltung PWM zuführt, mit deren Hilfe Impulse erzeugt werden, durch die Leistungsschalter geschaltet werden, wie z.B. in der genannten deutschen Patentanmeldung P 27 15 882.3 beschrieben ist. Der Verbindungspunkt 7 der Widerstände R_4 und R_5 ist über die Anoden-Kathoden-Strecke einer Diode D_1 mit dem Ausgang eines Operationsverstärkers A_3 mit Verstärkungseinstellwiderständen R_7 und R_8 verbunden, dessen invertierender Eingang mit einem an Bezugspotential liegenden Punkt V_{R2} verbunden ist, während dieser Punkt 7 über die Kathoden-Anoden-Strecke einer Diode D_2 mit dem Ausgang eines Operationsverstärkers A_4 mit Verstärkungseinstellwiderständen R_9 und R_{10} verbunden ist, wobei der invertierende Eingang dieses Verstärkers A_4 zu einem auf Bezugspotential liegenden Punkt V_{R3} führt. Weiter enthält die Schaltung nach Fig. 1 eine Schaltung 9 zur Betätigung des Schalters S_1 , wobei diese Schaltung 9 die Spannung V_0 am Ausgang 8 des Integrators und die Bezugsspannung V_{R1} als Eingangssignal empfängt, mit deren Hilfe der Schalter S_1 zu dem Zeitpunkt umgelegt wird, zu dem die Spannung V_0 gleich 0 V wird, wenn die Polarität der Spannung V_{R1} geändert ist. Die dargestellte Lage des Schalters S_1 gehört in eingeschwungenem Zustand zu einer positiven Spannung V_{R1} und die andere Lage zu einer negativen Spannung V_{R1} .

Zur Erläuterung der Wirkungsweise des oben beschriebenen Teiles der Schaltung nach Fig. 1 zeigt Fig. 2a ein beispiels-

weise gewähltes Frequenzsteuersignal V_{R1} als Funktion der Zeit und zeigen Fig. 2b und 2c die Spannung V_x und die Spannung V_0 als Reaktion auf die Spannung V_{R1} .

Zum Zeitpunkt t_1 wird eine konstante Drehzahl vorausgesetzt. Der Schalter S_1 nimmt dabei die dargestellte Lage ein und die Spannung V_{R1} ist positiv. Diese Spannung V_{R1} wird über den Spannungsteiler R_1, R_3 an den nichtinvertierenden Eingang des Verstärkers A_1 angelegt, an den auch über den Spannungsteiler R_6, R_3 die Ausgangsspannung des Integrators A_2 angelegt wird. Die Ausgangsspannung des Verstärkers A_1 hat den Kondensator C_1 derart aufgeladen, dass die erhaltene Eingangsdifferenzspannung des Verstärkers A_1 und somit auch die Ausgangsspannung V_x am Punkt 7 gleich 0 V ist. Die Ausgangsspannung V_0 am Integrator, die ein Mass für die Sollfrequenz des Motors ist, wird dadurch durch die Spannung V_{R1} bestimmt und ist in diesem Beispiel stets negativ.

Zum Zeitpunkt t_1 wird eine höhere Drehzahl vorgeschrieben infolge der Tatsache, dass die Spannung V_{R1} einen höheren Wert erhält. Dadurch erhält die Ausgangsspannung V_x einen positiven Wert, der über die Diode D_1 von der Ausgangsspannung des Operationsverstärkers A_3 begrenzt wird, wobei diese Ausgangsspannung durch die Bezugsspannung V_{R2} und die Werte der Widerstände R_7 und R_8 bestimmt wird. Infolge dieses Spannungssprungs wird der Kondensator C_1 aufgeladen und nimmt die Spannung V_0 ab, bis sie zum Zeitpunkt t_2 dem neuen Wert der Spannung V_{R1} entspricht und die Spannung V_x wieder gleich 0 V wird. Die Geschwindigkeit, mit der die Spannung V_0 abnimmt (Beschleunigung des Motors), kann mit der Bezugsspannung V_{R2} eingestellt werden.

Zum Zeitpunkt t_3 wird eine Umkehr der Drehrichtung des Motors dadurch vorgeschrieben, dass die Spannung V_{R1} auf einen negativen Wert gebracht wird. Dadurch erhält die Spannung V_x einen negativen Wert, der über die Diode D_2 von der Ausgangsspannung des Operationsverstärkers A_4 begrenzt wird, wobei diese Ausgangsspannung durch die Bezugsspannung V_{R3} und die Werte der Widerstände R_9 und R_{10} bestimmt wird. Infolge dieses Spannungssprungs wird der Kondensator C_1 entladen und nimmt die Spannung V_0 zu (Verzögerung des Motors) mit einer Geschwindigkeit, die mit der Bezugsspannung V_{R2} eingestellt werden kann. Zum Zeitpunkt t_4 ist die Spannung V_0 gleich 0 V geworden, was bedeutet, dass die Ausgangsfrequenz des Oszillators VCO gleich 0 geworden ist. Dies wird von der Schaltung 9 detektiert, und weil die Polarität der Spannung V_{R1} nicht mehr mit der Lage des Schalters S_1 übereinstimmt, wird letzterer in die nicht dargestellte Lage umgelegt, während ausserdem ein Signal CW/CCW an die Schaltung PWM geliefert wird, um über logische Schaltungen die Drehrichtung umzukehren. Um den Motor in der umgekehrten Drehrichtung wieder zu beschleunigen, soll die Spannung V_0 wieder abnehmen. Dies erfolgt durch das Umlegen des Schalters S_1 , so dass die Spannung V_{R1} dem invertierenden Eingang des Verstärkers A_1 zugeführt wird. Dadurch wird die Spannung V_x gleich dem positiven Grenzwert und nimmt die Spannung V_0 ab, bis sie zum Zeitpunkt t_5 wieder dem (negativen) Wert der Spannung V_{R1} entspricht und die Spannung V_x gleich 0 V ist.

Die Schaltung nach Fig. 1 enthält weiter eine Stromgegenkopplungsschleife. Diese besteht aus einer Schaltung 11 zum Messen des Motorstroms und zum Erzeugen einer in diesem Beispiel positiven Spannung V_c und einem Ausgang 10, der ein Mass für den Absolutwert des Motorstroms ist. Diese Spannung V_c wird mit einer negativen Bezugsspannung V_{R6} über Widerstände R_{11} und R_{12} summiert und dem integrierenden Eingang eines Operationsverstärkers A_5 mit einem Verstärkungseinstellwiderstand R_{13} zugeführt. Der Ausgang des Operationsverstärkers A_5 führt über einen von einer Schal-

tung 13 gesteuerten doppelten Schalter S_2 , einen Widerstand R_{40} und die Kathoden-Anoden-Strecke einer Diode D_3 zu dem Eingang des Verstärkers A_2 , der einen virtuellen Erdungspunkt bildet. Ebenso wird die Spannung V_c mit einer Bezugsspannung V_{R5} über Widerstände R_{14} und R_{15} summiert und dem nichtinvertierenden Eingang eines Operationsverstärkers A_6 mit einem Verstärkungseinstellwiderstand R_{16} zugeführt. Der Ausgang dieses Operationsverstärkers führt über den Schalter S_2 , den Widerstand R_{39} und die Anoden-Kathoden-Strecke einer Diode D_4 zu dem Eingang des Operationsverstärkers A_2 .

Die Schaltung 13 detektiert, ob der Motor als Generator oder als Motor wirksam ist, und steuert den Schalter S_2 derart, dass sich der Schalter beim Motorbetrieb in der dargestellten Lage und beim Generatorbetrieb in der nicht dargestellten Lage befindet.

Wenn beim Motorbetrieb der Motorstrom Null ist, liegt der Eingang des Operationsverstärkers A_5 auf einem durch die Bezugsspannung V_{R6} bestimmten negativen Wert und ist die Ausgangsspannung des Operationsverstärkers A_5 positiv, so dass die Diode D_3 gesperrt ist. Nimmt der Motorstrom und damit die Spannung V_c zu, so wird die Ausgangsspannung des Operationsverstärkers abnehmen und wird, wenn der Motorstrom einen von der Bezugsspannung V_{R6} einzustellenden Wert überschreitet, negativ werden, wodurch die Diode D_3 leitend wird und sich der Kondensator C_1 entladen wird. Dies ergibt eine Zunahme der Spannung V_0 und also eine Verzögerung des Motors, wodurch der Motorstrom abnimmt. Dadurch, dass die Stromgegenkopplung über die Widerstände R_{39} und R_{40} verläuft, deren Wert kleiner als der Widerstandswert des Widerstandes R_5 ist, über den die Frequenzsteuerung stattfindet, ist die Stromgegenkopplung in bezug auf eine etwaige positive Spannung V_x vorherrschend.

Beim Generatorbetrieb nimmt der Schalter S_2 die nicht dargestellte Lage ein und kann also nur über den Operationsverstärker A_6 die Stromgegenkopplungsschleife geschlossen werden. Nimmt beim Generatorbetrieb der Motorstrom zu, so wird auch die Spannung V_c zunehmen und wird der Einfluss der negativen Bezugsspannung V_{R5} abnehmen, wodurch die Ausgangsspannung des Operationsverstärkers A_6 weniger negativ wird. Die Diode D_4 ist dabei gesperrt. Überschreitet der Motorstrom einen mittels der Bezugsspannung V_{R5} einzustellenden Wert, so wird die Ausgangsspannung des Operationsverstärkers A_6 positiv und wird die Diode D_4 leitend, wodurch die Spannung V_0 am Ausgang des Komparators zunimmt, was eine Herabsetzung der Abbremsung des Motors entspricht.

Die Schaltung nach Fig. 1 enthält auch eine Spannungsgegenkopplungsschleife. Die Spannung über der Gleichspannungsspeisung wird mit Hilfe einer Schaltung 12 detektiert und in eine in diesem Beispiel negative Spannung V_b umgewandelt. Diese Spannung V_b wird mit einer positiven Bezugsspannung V_{R4} über Widerstände R_{17} und R_{18} summiert und dem invertierenden Eingang eines Operationsverstärkers A_7 mit Verstärkungseinstellwiderstand R_{19} zugeführt. Der Ausgang des Verstärkers A_7 führt über einen Widerstand R_{20} zu dem Eingang des Operationsverstärkers A_6 .

Wenn die Spannung über der Gleichspannungsspeisung einen durch die Bezugsspannung V_{R4} bestimmten Wert überschreitet, wird die Ausgangsspannung des Operationsverstärkers A_7 positiv und greift beim Generatorbetrieb über den Operationsverstärker A_6 in die Stromgegenkopplung ein. Die Bezugsspannung V_{R5} wird gleichsam herabgesetzt.

Wie beschrieben ist, findet eine Begrenzung des Motorstroms und eine Begrenzung der Spannung der Gleichspannungsspeisung statt. Dabei gibt es ein Gebiet, in dem auf eine Kombination der beiden Grössen begrenzt wird und das u.a. durch die relative Stärke der Spannungen V_b und V_c , die Ver-

stärkung des Operationsverstärkers A_7 und das Verhältnis der Werte der Widerstände R_{14} und R_{20} bestimmt wird. Um dafür zu sorgen, dass dieses Gebiet klein ist, mit anderen Worten, dass die Spannungsgegenkopplung sehr stark wirksam wird, wenn ein bestimmter Wert der Spannung über der Gleichspannungsquelle überschritten wird, während dies unterhalb dieses Wertes nicht der Fall ist, sind eine Anzahl von Möglichkeiten verfügbar. So kann die Verstärkung des Operationsverstärkers A_7 sehr gross gewählt werden, derart, dass der Verstärker A_7 bei Nennspannungen stark in Sättigung gesteuert ist und erst ausser Sättigung gerät, wenn ein bestimmter Wert dieser Spannung erreicht wird.

Eine andere Möglichkeit ist die in Fig. 1 gestrichelt dargestellte Diode D_5 . Ist die Eingangsspannung des Operationsverstärkers A_7 positiv, so klemmt die Diode D_5 die Ausgangsspannung des Verstärkers A_7 auf einen Spannungspegel von nahezu 0 V. Wenn die (negative) Spannung V_b derart abgefallen ist, dass die Eingangsspannung des Operationsverstärkers A_7 negativ und die Ausgangsspannung positiv wird, sperrt die Diode D_5 und kann die Spannungsregelung wirksam werden.

Fig. 3a und 3b zeigen schematisch einen möglichen Verlauf der Amplitude des Motorstroms I_m und der Spannung V_{cb} der Gleichspannungsspeisung als Funktion der Zeit, wenn der Motor beim Abbremsen als Generator zu wirken beginnt. Zum Zeitpunkt t_1 fängt der Motor an, Energie zu liefern, und der Motorstrom lädt die in der Gleichspannungsspeisung vorhandenen Kapazitäten auf, so dass die Spannung V_{cb} vom Nennwert V_n an zunimmt, bis im Zeitpunkt t_2 ein Höchstwert V_{max} erreicht ist. Zwischen den Zeitpunkten t_1 und t_2 wird der Strom I_m auf einen Maximalwert I_{max} begrenzt. Zum Zeitpunkt t_2 wird die Spannungsgegenkopplung wirksam und begrenzt über die Stromgegenkopplungsschleife den Motorstrom derart, dass die Spannung V_{cb} auf den Wert V_{max} begrenzt wird. Dabei kann der Motorstrom bei abnehmender Drehzahl zunehmen. Es wird keine Energie mehr in den genannten Kapazitäten gespeichert, und der Motor sowie die Schaltungen leiten die gelieferte Energie ab, wobei diese Ableitung gross ist, weil die Spannung maximal, z.B. gleich dem 2,5fachen der Nennspannung, ist, bei welcher Spannung der Motor meistens im Sättigungszustand sein wird, so dass dieser Motor viel Energie verbraucht. Zu diesem Zeitpunkt t_3 ist die Drehzahl soweit abgefallen, dass die vom Motor gelieferte Energie nicht mehr genügend ist, um die Spannung V_{cb} maximal zu halten. Die Spannung V_{cb} nimmt ab und der Motorstrom I_m kann gegebenenfalls nach wie vor zunehmen.

Fig. 4 zeigt ein Ausführungsbeispiel des Motorstromdetektors 11 nach Fig. 1 und ist für Dreiphasenwechselstrommessung eingerichtet. Der Detektor enthält sechs mit je einer Primär- und einer Sekundärwicklung versehene Toroide 15a ... 17b mit Kernen mit einer hohen Permeabilität, wobei das Verhältnis der Anzahl primärer und sekundärer Windungen z.B. 1:50 ist. Die Primärwindungen der Toroide 15a und 15b, 16a und 16b, 17a und 17b sind jeweils in Reihenanzordnung in den Motorstromzuführleitungen aufgenommen, in denen die Ströme I_R , I_S und I_T fließen. Die Sekundärwindungen sind jeweils gegenseitig in Reihe geschaltet, und diese gegenseitigen Reihenschaltungen sind parallel zwischen einem Impuls-generator 18 und einem Widerstand R_{20} angeordnet. Parallel zu dem Widerstand R_{20} ist ein Glättungsfilter mit einer Diode D_6 , einem Kondensator C_2 und einem Widerstand R_{21} angeordnet. Die Spannung über dem Widerstand R_{21} wird dem nichtinvertierenden Eingang eines Operationsverstärkers A_8 mit Einstellwiderständen R_{22} , R_{23} und R_{24} zugeführt. Der Ausgang dieses Operationsverstärkers A_8 liefert das Stromsignal V_c an den Ausgang 10 des Motorstromdetektors.

Durch die hohe Permeabilität des Kernmaterials der Toroide werden die Kerne bei bestimmten Werten der Phasenströme I_R , I_S und I_T , welche Werte unterhalb des Maximal-

wertes liegen sollen, in Sättigung geraten. Dadurch, dass der Impuls-generator 18 Hochfrequenzspannungsimpulse über den gegenseitig in Reihe geschalteten Sekundärwindungen anlegt, wird pro Phase stets einer der beiden Kerne weiterhin in Sättigung bleiben und der andere ausser Sättigung geraten. Die Ströme i_r , i_s und i_t in den Sekundärwindungen werden dann stets ein Mass für die Absolutwerte der Phasenströme I_R , I_S bzw. I_T sein. Diese Ströme i_r , i_s und i_t werden in dem Widerstand R_{20} summiert und in eine Spannung umgewandelt, die mit dem Filter D_6 , C_2 , R_{21} zu einer Gleichspannung geglättet wird, die ein Mass für die Amplitude des Motorstroms ist. Diese geglättete Spannung wird mit dem Operationsverstärker A_8 zu dem Stromsignal V_c verstärkt.

Fig. 5 zeigt ein Ausführungsbeispiel einer Gleichspannungsquelle zur Speisung eines Motors über Leistungsschalter. Diese Quelle enthält Anschlüsse für das Dreiphasenwechselstromnetz R, S und T und eine Gleichrichterbrücke mit Dioden D_7 , D_8 , D_9 , D_{10} , D_{11} und D_{12} . Die gleichgerichtete Spannung über diesen Dioden wird über einen Schalter S_3 über einem Pufferkondensator C_b zur Glättung der gleichgerichteten Netzspannung angelegt. Die Spannung V_{cb} über diesem Pufferkondensator wird über eine Inverterschaltung 19 mit Leistungsschaltern in einen Dreiphasenwechselstrom mit einer von der Schaltung PWM gesteuerten Frequenz zur Speisung des Motors M umgewandelt. Diese Ströme werden mit dem bereits beschriebenen Stromdetektor 11 detektiert. Die Schaltung PWM empfängt ein Frequenzsteuersignal von einer Schaltung der in Fig. 1 dargestellten Art.

Die Gleichspannung V_{cb} wird über einen Gleichspannungswandler in eine niedrigere Gleichspannung V_s zur Speisung der unterschiedlichen Schaltungen umgewandelt. Grundsätzlich besteht dieser Wandler aus einem Transformator 21 mit einer Primärwicklung 22, über der über einen von einem Oszillator 20 betätigten Schalter S_3 die Gleichspannung V_{cb} angelegt ist. Eine Sekundärwicklung 23 dieses Transformators 21 ist mit einer Gleichrichterschaltung mit einer Diode D_{13} und einem Kondensator C_3 verbunden.

Dadurch, dass der Schalter S_4 mit hoher Frequenz ein- und ausgeschaltet wird, wird die Gleichspannung V_{cb} in einen Wechselstrom umgewandelt, der mit dem Transformator 21 umgewandelt und mit der Diode D_{13} und dem Kondensator C_3 gleichgerichtet und zu der Gleichspannung V_s geglättet wird. Diese Gleichspannung V_s wird auf den Oszillator 20 rückgekoppelt, damit dieser gestoppt wird, sobald die Spannung V_s über dem Kondensator C_3 einen bestimmten Wert aufweist, und damit dieser wieder gestartet wird, wenn diese Spannung V_s zu niedrig wird. Auf diese Weise wird eine Gleichspannung V_s erhalten, die in hohem Masse von der Spannung V_{cb} unabhängig ist, die z.B. zwischen 80 V und 800 V variieren kann. Auf diese Weise wird erreicht, dass z.B. beim Ausfallen der Netzspannung die Motorregelschaltung nach wie vor gespeist wird, solange die Spannung V_{cb} am Pufferkondensator C_b oberhalb eines bestimmten Wertes liegt. Dies hat zur Folge, dass die Leistungsschalter in der Inverterschaltung 19 nach wie vor gesteuert werden, solange eine Spannung V_{cb} vorhanden ist, die einen derartig hohen Wert aufweist, dass dadurch die Leistungsschalter beschädigt werden könnten, wenn die Leistungsschalter durch Ausfall der Steuerschaltung PWM nicht mehr gesteuert würden. Dadurch bleibt z.B. eine sichere und kontrollierte Abbremsung nach dem Ausfallen der Netzspannung möglich, wobei die Regelschaltung mit der von dem Motor gelieferten Energie gespeist wird.

Der Transformator 21 enthält weiterhin eine zweite Sekundärwicklung 24 parallel zu der Reihenschaltung einer Diode D_{14} und eines Kondensators C_4 . Die Spannungsimpulse mit einer Amplitude V_{cb} über der Primärwicklung 22 werden in eine Gleichspannung V_b über dem Kondensator C_4

umgewandelt, wobei diese Gleichspannung V_b , wenn der Kondensator C_4 nicht oder nahezu nicht belastet ist, der Spannung V_{cb} über dem Pufferkondensator C_b proportional ist. Dieser Teil der Schaltung nach Fig. 5 bildet also eine Schaltung 12 nach Fig. 1 zur Lieferung einer Spannung V_b , die ein Mass für die Spannung V_{cb} ist.

Die Spannung V_b am Punkt 111 wird einem Komparator K zugeführt, dem ebenfalls eine Bezugsspannung V_{R7} zugeführt wird. Der Ausgang des Komparators K ist z.B. mit Hilfe eines Relais mit dem Schalter S_3 derart gekoppelt, dass dieser Schalter geschlossen wird, wenn diese Spannung V_b die Bezugsspannung V_{R7} überschreitet. Der Schalter S_3 ist ausserdem von einem Widerstand R_{25} mit positivem Temperaturkoeffizienten überbrückt.

Wird Netzspannung den Netzspannungsanschlüssen R, S und T zugeführt, so wird der Pufferkondensator C_b mit einem grossen Ladestrom aufgeladen. Zur Sicherung der Gleichrichterdioden wird dieser Strom mittels des Widerstandes R_{25} begrenzt. Die Schaltung ist dabei zugleich gegen Kurzschluss beim Einschalten gesichert, indem ein etwaiger Kurzschlussstrom den Widerstand R_{25} anheizt, wodurch der Widerstandswert dieses Widerstandes R_{25} stark zunimmt. Hat die Spannung V_{cb} über dem Pufferkondensator C_b einen Wert erreicht, der durch die Bezugsspannung V_{R6} bestimmt ist, bei welchem Wert der Ladestrom genügend niedrig und die Spannung V_{cb} genügend hoch ist, um über den Gleichspannungswandler die Motorregelschaltung speisen zu können, so wird über den Komparator K der Widerstand R_{25} mit dem Schalter S_3 kurzgeschlossen.

Die Schaltung nach Fig. 5 zeigt auch ein Ausführungsbeispiel des Detektors, der in Fig. 1 mit 13 bezeichnet ist. Diese Schaltung enthält die Dioden D_{15} , D_{16} und D_{17} , die zusammen mit den Dioden D_{10} , D_{11} und D_{12} eine Gleichrichterbrücke bilden. Parallel zu dieser Gleichrichterbrücke sind zur Glättung der gleichgerichteten Spannung ein Widerstand R_{26} und ein Kondensator C_n angeordnet. Die Spannung V_n über diesem Kondensator ist dann die gleichgerichtete Netzspannung, die nicht, wie die Spannung V_{cb} , beim Generatorbetrieb zunimmt.

Dadurch, dass den beiden Gleichrichterbrücken die Dioden D_{10} , D_{11} und D_{12} gemeinsam sind, sind die beiden Kondensatoren C_b und C_n auf einer Seite gleichstrommässig miteinander verbunden. Zwischen den anderen Elektroden dieser Kondensatoren C_b und C_n ist ein Spannungsteiler mit Widerständen R_{27} und R_{28} angeordnet, der den Unterschied zwischen den Spannungen V_{cb} und V_n nach Schwächung über den Basis-Emitter-Übergang eines Transistors T zuführt, dessen Kollektor über einen Widerstand R_{29} mit einer positiven Speisespannung verbunden ist.

Nimmt beim Generatorbetrieb die Spannung V_{cb} zu, so wird bei einer durch den Spannungsteiler R_{27} , R_{28} bestimmten Zunahme der Transistor T leitend werden. Die dann auftretende Spannungsänderung über dem Kollektorstrom R_{29} ist eine Anzeige für Generatorbetrieb und kann z.B. über eine optische Kopplung für gleichstrommässige Trennung und über logische Gatter den Schalter S_2 (Fig. 1) betätigen. Auf diese Weise wird eine einfache Detektion des Generatorbetriebs erhalten, die von Netzspannungsänderungen unabhängig ist.

Der in der genannten deutschen Patentanmeldung 27 15 882.3 beschriebenen Impulsbreitenmodulator (PWM) enthält einen Eingang 25 (Fig. 1) für ein Taktsignal, um die relative Impulsbreite steuern zu können.

Fig. 6 zeigt eine für diesen Zweck verwendete Schaltung. Diese enthält eine Eingangsklemme 29 für eine Steuerspannung V_{R9} , die mit dem invertierenden Eingang eines Operationsverstärkers A_{11} mit Einstellwiderständen R_{37} und R_{38} verbunden ist, von dem ein Ausgang zu einem spannungsgesteuerten Oszillator führt, der ein Taktsignal, dessen Frequenz

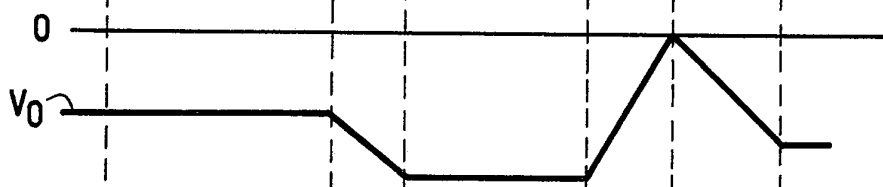
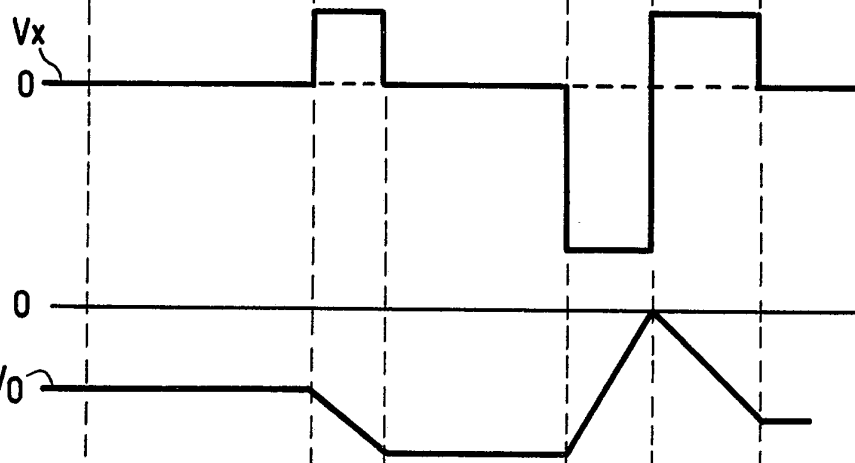
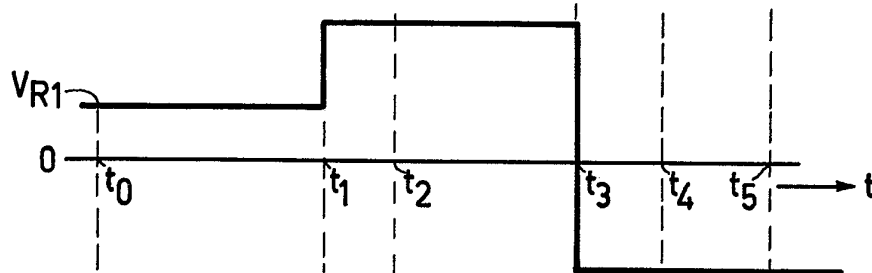
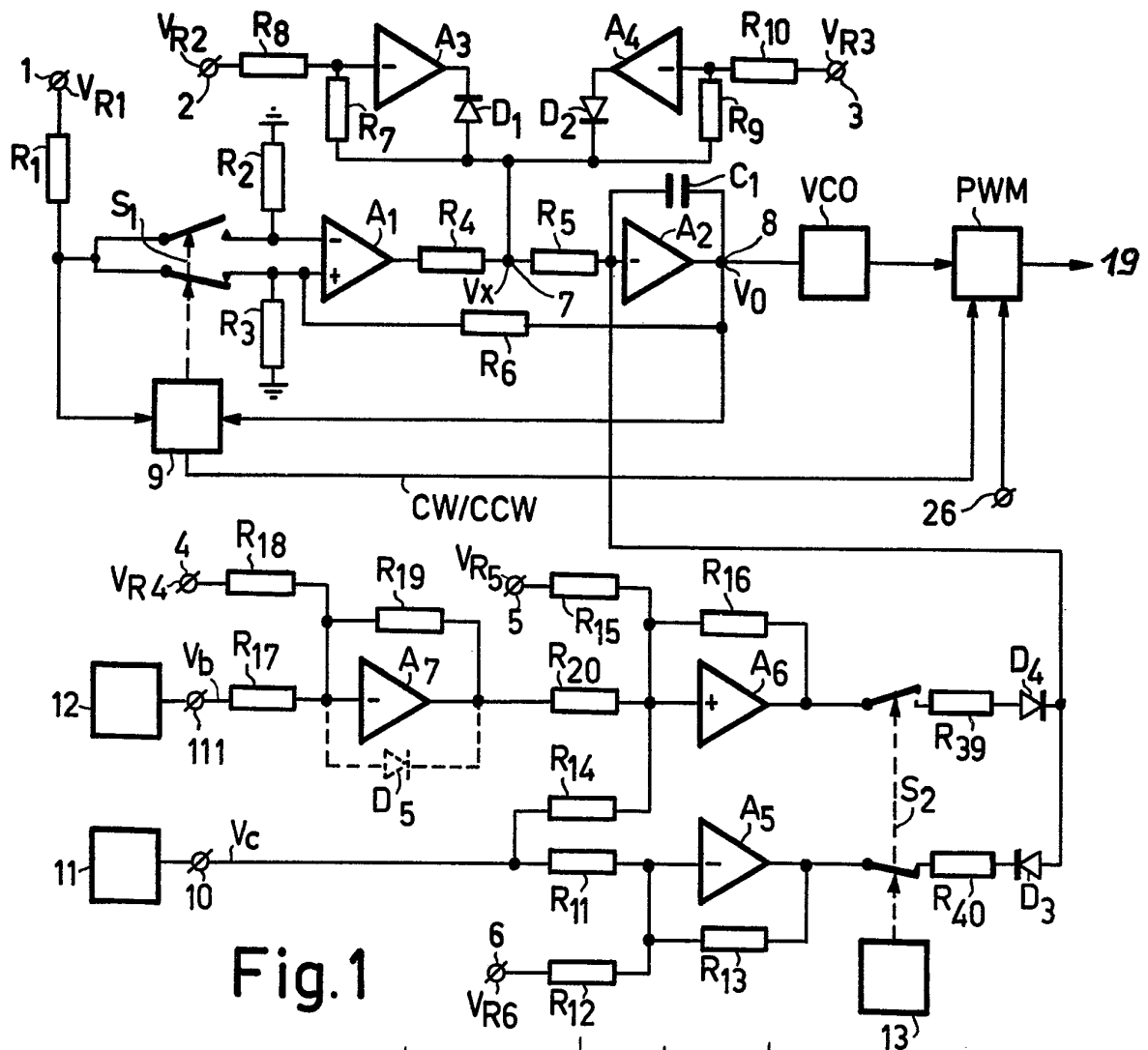
durch das Signal V_{R9} bestimmt wird, an den genannten Eingang 26 liefert.

Bei niedrigen Motordrehzahlen und verhältnismässig hohen Motorströmen wird das verfügbare Motordrehmoment infolge von Spannungsverlusten über der Motorimpedanz erheblich verringert. Diese Verluste lassen sich dadurch ausgleichen, dass die Frequenz des Oszillators 22 herabgesetzt wird, was eine Vergrösserung der relativen Impulsbreite bedeutet. Dieser Ausgleich (auch als IR-Ausgleich bezeichnet) ist z.B. dadurch möglich, dass dem Eingang des Verstärkers A_{11} eine in diesem Beispiel negative Ausgleichsspannung V_x zugeführt wird.

Dazu enthält die Schaltung einen Operationsverstärker A_{10} mit Einstellwiderstand R_{31} , dessen invertierender Eingang über Summationswiderstände R_{29} bzw. R_{30} mit einem an positiver Bezugsspannung V_{R8} liegenden Punkt bzw. dem Punkt 8 der Schaltung nach Fig. 1 verbunden ist, wobei der letztere Punkt die negative Spannung V_0 führt, deren Amplitude der Solldrehzahl proportional ist. Der Ausgang 27 des Verstärkers A_{10} ist über einen Widerstand R_{32} mit dem Eingang 26 verbunden, an dem die Ausgleichsspannung V_x vorhanden ist. Dieser Eingang 26 ist über einen Widerstand R_{36} und die Kathoden-Anoden-Strecke einer Diode D_{19} mit dem invertierenden Eingang des Verstärkers A_{11} verbunden. Weiter enthält die Schaltung nach Fig. 6 einen Operationsverstärker A_9 mit einem Einstellwiderstand R_{35} , dessen invertierender Eingang über Summationswiderstände R_{33} bzw. R_{34} mit einem Punkt an negativer Bezugsspannung V_{R10} bzw. mit dem Punkt 10 der Schaltung nach Fig. 1 verbunden ist, an dem eine Spannung V_c vorhanden ist, die dem Motorstrom I_m proportional ist. Der Ausgang 28 des Verstärkers A_9 , an dem eine Spannung V_B vorhanden ist, ist über die Anoden-Kathoden-Strecke der Diode D_{18} mit dem Punkt 26 verbunden.

Die Wirkung des Ausgleichs in der Schaltung nach Fig. 6 wird an Hand der Fig. 7 beschrieben, in der als Ordinate die Ausgleichsspannung V_x und als Abszisse die Drehzahl n aufgetragen sind.

Ist die Spannung V_B genügend negativ ($V_B < V_A$), so entspricht die Spannung V_x der Spannung V_A , die eine lineare Funktion der Drehzahl n ist. Dies ist mit der Linie A in Fig. 7 angegeben. Da bei einer bestimmten Drehzahl die Spannung V_x stets grösser als oder gleich der Spannung V_A ist, wird V_x im Gebiet links von der Linie A durch die Spannung V_B bestimmt (Diode D_{18} ist dann leitend). Diese Spannung V_B ist eine lineare Funktion des Motorstroms und ist für niedrige Drehzahlen der Drehzahl proportional. Die Spannung V_x wird also auch von dem Motorstrom bei niedrigen Drehzahlen begrenzt, wie mit der Linie B in Fig. 7 angegeben ist. Zwischen den Linien A und B wird die Spannung V_x durch den Motorstrom bestimmt. Die Ausgleichsspannung V_x kann bei verhältnismässig hohen Motorströmen dadurch begrenzt werden, dass z.B. die Werte der Widerstände R_{33} , R_{34} und R_{35} und die Bezugsspannung V_{R9} derart gewählt werden, dass der Verstärker A_9 bei z.B. einem Motorstrom gleich zwei Dritteln des Motornennstroms in Sättigung gesteuert wird. Dies ist mit der Linie C in Fig. 7 angegeben. Ausserdem lässt sich sagen, dass ein Ausgleich bei verhältnismässig geringen Motorströmen nicht erforderlich ist. Der Wert des Motorstroms, unter dem kein Ausgleich erforderlich ist, kann bei passender Wahl der Bezugsspannungen V_{R9} und der Werte der Widerstände R_{33} , R_{34} und R_{35} derart gewählt werden, dass bei diesem Wert des Motorstroms die Spannung V_B gleich 0 V ist. V_x wird dann ja auch grösser als oder gleich 0 V sein, und die Diode D_{19} wird sperren. Das Gebiet, in dem ein IR-Ausgleich angewandt wird, ist in Fig. 7 schraffiert angegeben und wird von den Linien A, B und C und der waagerechten $V_x = 0$ -Achse begrenzt. Auf diese Weise ist ein einfacher und befriedigender IR-Ausgleich erhalten.



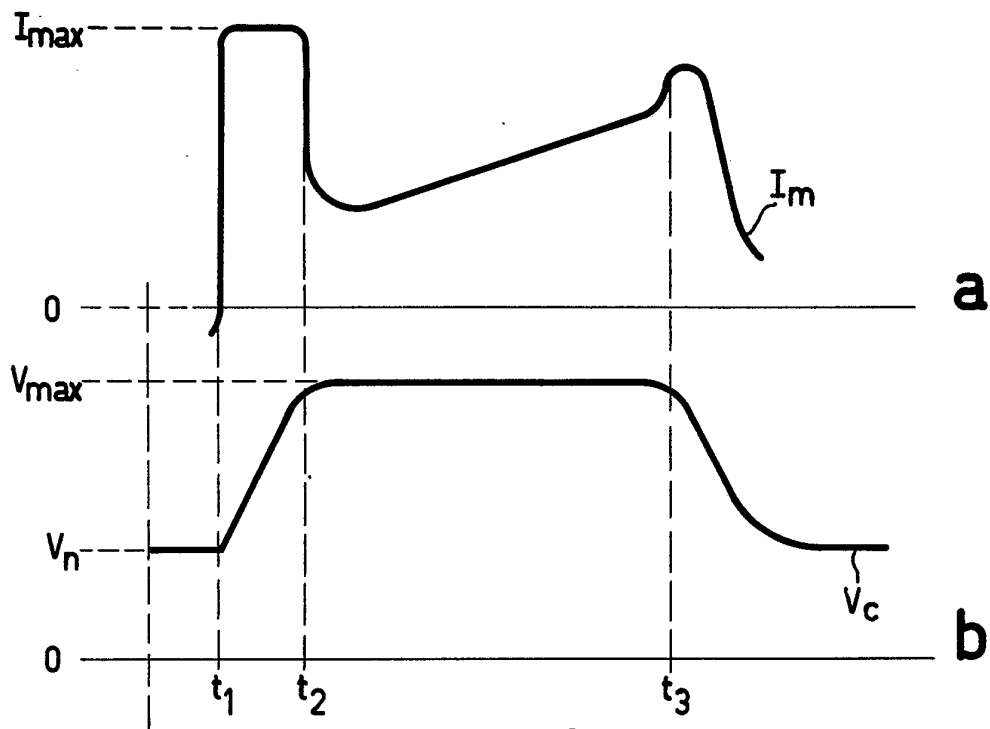


Fig. 3

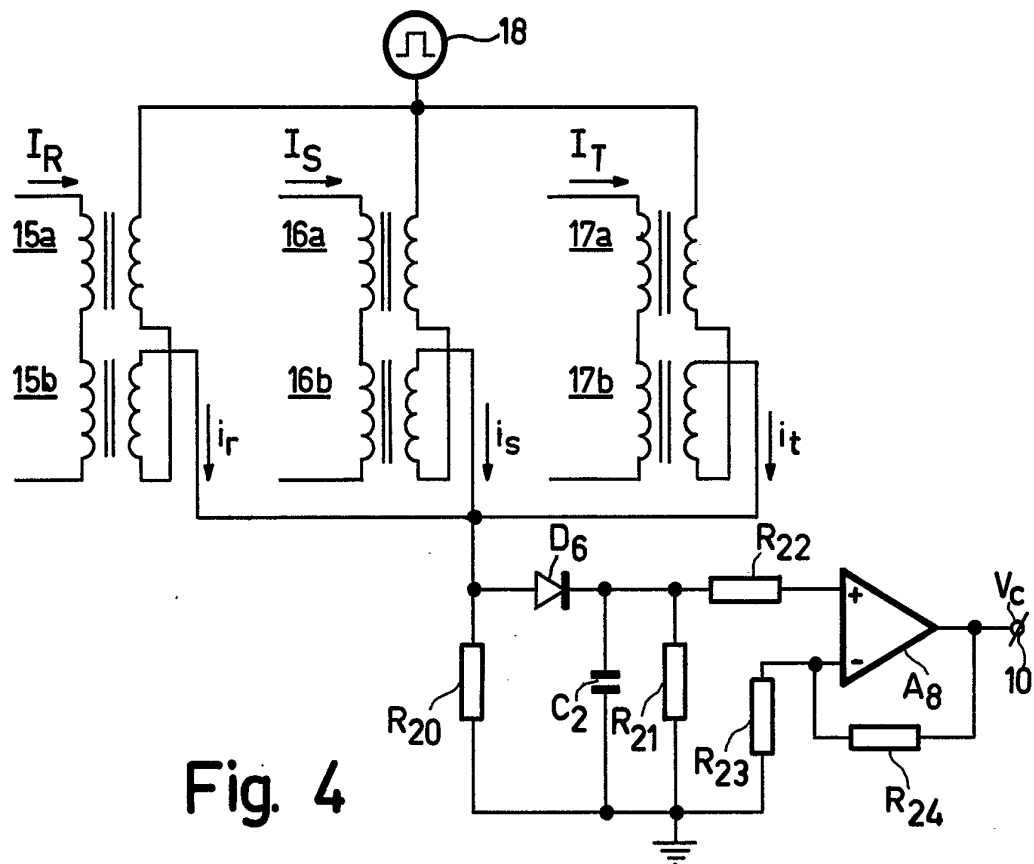


Fig. 4

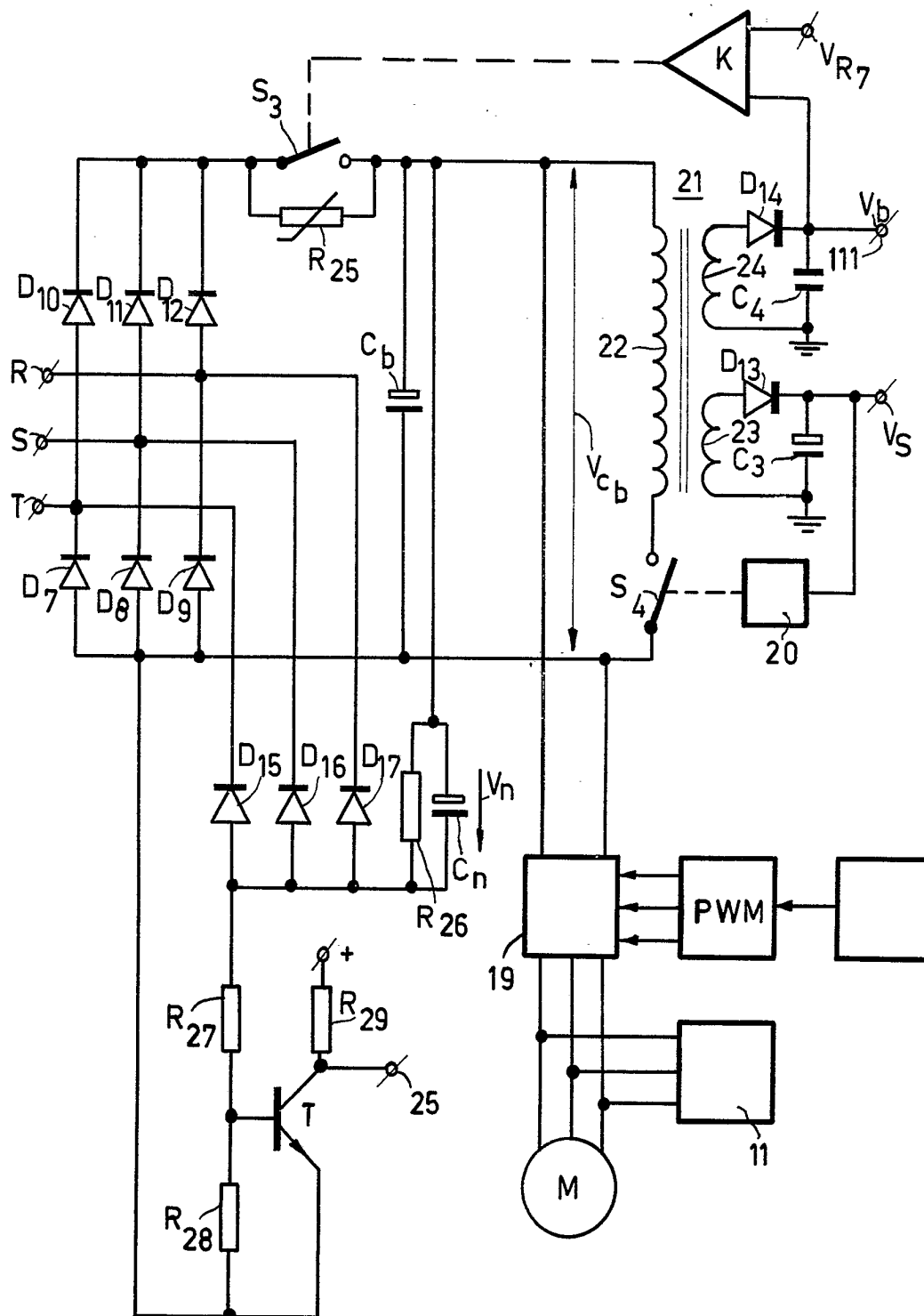


Fig. 5

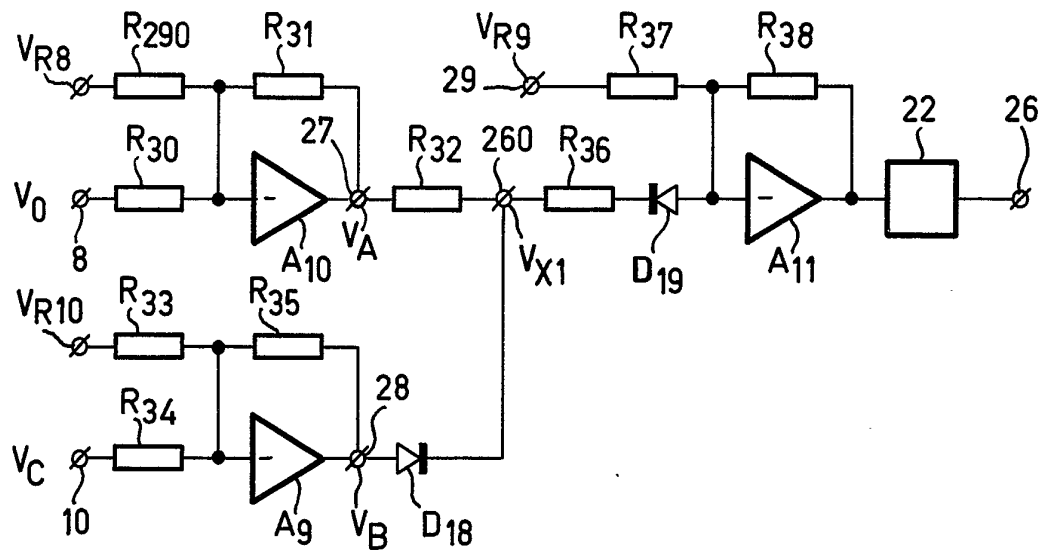


Fig. 6

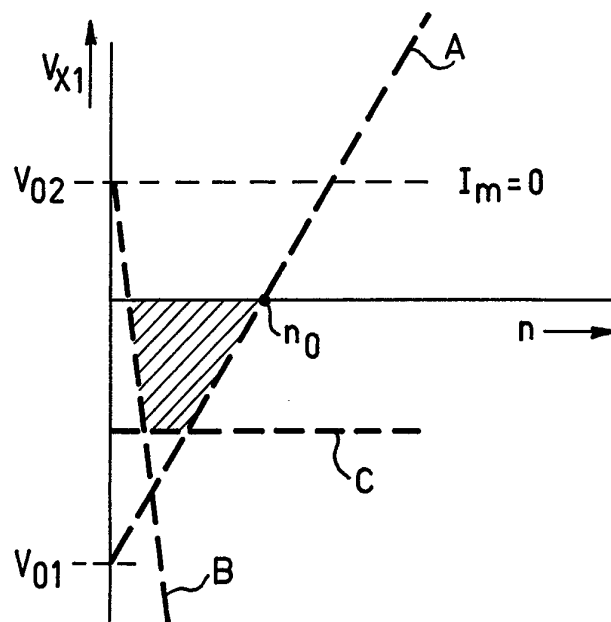


Fig. 7