



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

11 CH 654 699 A5

51 Int. Cl.4: H 02 M 7/757
H 02 P 7/62

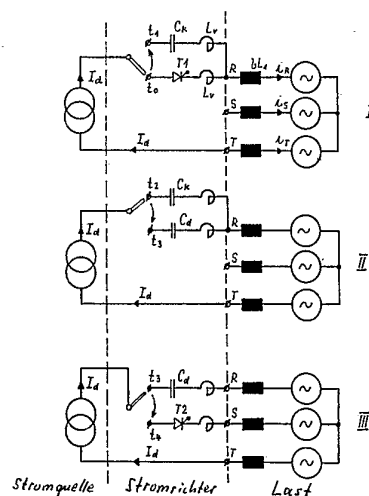
Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

12 PATENTSCHRIFT A5

21 Gesuchsnummer:	1374/79	73 Inhaber:	CKD Praha oborovy podnik, Prag 9 (CS)
22 Anmeldungsdatum:	13.02.1979		
30 Priorität(en):	14.02.1978 CS 956/78	72 Erfinder:	Winkler, Jiri, Prag 4 (CS) Cibulka, Josef, Prag 10 (CS)
24 Patent erteilt:	28.02.1986		
45 Patentschrift veröffentlicht:	28.02.1986	74 Vertreter:	Dr. A. R. Egli & Co., Patentanwälte, Zürich

54 Verfahren zur mehrstufigen Kommutierung von Gleichrichtern oder Wechselrichtern.

57 Bei der mehrstufigen selbstgeführten Kommutierung bei Gleichrichtern oder Wechselrichtern mittels Kommutierungshilfskreisen wird nach dem Ausschalten der gesteuerten Halbleiterbauelemente (T_1) im Hauptzweig durch Einwirkung des Hilfsausschaltzweiges (C_k) der elektrische Strom (I_d) der Wechselstromseite von diesem Hilfsausschaltzweig auf den Hilfsspeicherzweig (C_d) kommutiert. Danach geht unter Einwirkung dieses Hilfsspeicherzweiges der elektrische Strom von der bisher führenden Phase (R) der Wechselstromseite auf die folgende Phase (S) über. Hauptzweck der dreistufigen Kommutierung ist die Trennung von Ausschalt- und Speicherfunktion der Hilfskreise.



PATENTANSPRUCH

Verfahren zur mehrstufigen Kommutierung von Halbleiter-Gleichrichtern oder -Wechselrichtern mittels Kommutierungshilfskreisen, dadurch gekennzeichnet, dass die Kommutierung unter Verwendung eines Hilfsausschaltzweiges (C_k) und eines Hilfsspeicherzweiges (C_d) dreistufig (I, II, III) durchgeführt wird, wobei die beiden Hilfszweige zeitlich nacheinander in Funktion treten (I, II), so dass die Ausschaltfunktion und die Speicherfunktion voneinander getrennt sind (Fig. 2a).

Gegenstand der Erfindung ist ein Verfahren zur mehrstufigen Kommutierung von Halbleiter-Gleichrichtern oder -Wechselrichtern, insbesondere für die Regelung von elektrischen Wechselstrommaschinen.

Unter Gleichrichtern versteht man Stromrichter, die den grösstenteils aus einer n-phasigen Wechselspannungsverteilung abgeleiteten Wechselstrom in Gleichstrom umwandeln. Unter Wechselrichtern versteht man Stromrichter, die den Eingangs-gleichstrom aus einer Speisestromquelle in Wechselstrom umwandeln, wobei die Last eine elektrische Wechselstrommaschine, ein Netz oder allgemein eine Kombination von RCL-Gliedern und aktiven Elementen sein kann. Der Hauptunterschied zwischen einem Gleichrichter und einem Wechselrichter ist die Grundrichtung der Strömung der elektrischen Leistung. Beim Gleichrichter ist dies die Richtung von der Wechselstromseite zur Gleichstromseite, beim Wechselrichter dagegen von der Gleichstromseite zur Wechselstromlast. Es ist möglich und in der Praxis gebräuchlich, dass die Leistungsströmung umkehrbar ist.

Bei Gleichrichtern oder Wechselrichtern erfolgt die Leistungssteuerung durch die Phasensteuerung. Der Stromübergang von einem Stromrichterhauptzweig auf den anderen — die Kommutierung — wird z.B. durch die äussere Spannung bewirkt. Die Kommutierungszeit, das ist die Zeit des Stromübergangs, wird durch den Phasensteuerwinkel, die Stromgrösse und die Impedanzverhältnisse an der Quelle und der Last bestimmt. Fremdgeführte Gleichrichter sind die am häufigsten angewandten Halbleiterstromrichter, und der Prozess der äusseren Kommutierung sowie die anderen Eigenschaften dieser Stromrichter sind allgemein bekannt und in der Literatur ausführlich beschrieben.

Selbstgeführte Gleichrichter oder Wechselrichter haben ähnliche Grundeigenschaften wie fremdgeführte Stromrichter. Die Stromkommutierung verläuft jedoch nicht spontan durch Einwirkung der äusseren Spannung, sondern ist durch die eigenen Hilfskreise des Stromrichters erzwungen. Der Grund dafür ist beispielsweise eine passive Last auf der Wechselstromseite des Wechselrichters oder eine solche Phasenlage der Wechselspannung zum Zeitpunkt der Kommutierung, dass keine äussere Kommutierung auftreten kann. Das hängt eng mit der Strömungsrichtung für die Blindleistung zusammen. Allgemein kann man sagen, dass die äussere Kommutierung dort möglich ist, wo die Wechselstromseite fähig ist, Blindleistung zu liefern (zum Beispiel das Versorgungsnetz), die eigene Kommutierung ist in allen anderen Fällen möglich (passive Last, Elektromotoren, aber auch Versorgungsnetz). Die eigene Kommutierung kann beim Anschluss beliebiger Verbraucher durchgeführt werden. Es ist vor allem eine Frage des Preises, dass heute fremdgeführte Gleichrichter oder Wechselrichter bei weitem überwiegen.

Die bedeutendste praktische Anwendung von selbstgeführten Gleichrichtern oder Wechselrichtern sind Wechselrichter für den Betrieb von Asynchronmotoren.

Die zur Zeit eingesetzten Gleichrichter oder Wechselrichter haben ohne Rücksicht auf die verschiedenen Varianten der Hilfskommutierungskreise eine gemeinsame Eigenschaft. Es ist

dies der charakteristische Verlauf des Kommutierungsprozesses, der auch bei einer vollkommen abweichenden Lösung der Kommutierungskreise fast die gleichen Eigenschaften hat. Zur Erklärung muss der Begriff der Kommutierungsstufe eingeführt werden. Die Kommutierungsstufe ist die Anzahl der Übergänge zwischen den Haupt- und Hilfszweigen des Stromrichters, die zur Verwirklichung der ganzen Kommutierung notwendig ist. Als ganze Kommutierung bei Gleichrichtern oder Wechselrichtern bezeichnet man die vollkommene Stromüberleitung von einem Hauptzweig auf den folgenden Hauptzweig; in der Praxis bedeutet dies die Stromüberleitung von einer Phase der Wechselstromseite auf die folgende.

Die direkte Kommutierung, bei der der elektrische Strom direkt von einem Hauptzweig auf den folgenden übergeht (beispielsweise die gebräuchliche äussere Kommutierung) ist von diesem Standpunkt aus einstufig.

Die indirekte Kommutierung, wo der elektrische Strom beim Übergang von einem Hauptzweig auf den folgenden zuerst auf einen Hilfszweig des Stromrichters kommutiert, ist zweistufig. Bei Strom- oder Spannungswechselrichtern und weiter bei anderen Typen von selbstgeführten Stromrichtern, beispielsweise Gleichstromstellen, verläuft die eigentliche Kommutierung grösstenteils in zwei Stufen: die erste Stufe — Kommutierung vom Hauptzweig auf den Nebenzweig (sie enthält für gewöhnlich den Kommutierungskondensator, die Impedanzen und Hilfsthystoren); die zweite Stufe — Kommutierung vom Hilfszweig auf den folgenden Hauptzweig (zum Beispiel auf die Rücklaufdiode beim Spannungswechselrichter und Gleichstromsteller oder auf den Hauptthyristor der folgenden Phase beim Stromwechselrichter).

Selbstgeführte Stromwechselrichter werden heute überwiegend zur Drehzahlregelung bei Asynchronmotoren eingesetzt. Der Kommutierungsprozess bei heute bekannten und angewendeten Leistungsschaltungen mit Thyristoren verläuft in zwei Stufen:

I. Stufe — Kommutierung vom Hauptthyristor auf den Hilfskreis des Kommutierungskondensators (dabei ändert sich der Phasenstrom nicht).

II. Stufe — Kommutierung vom Hilfskreis des Kommutierungskondensators auf die folgende Phase. Erst bei der zweiten Stufe tritt eine Stromübergabe zwischen den Phasen auf.

In Fig. 1 ist der zeitliche Verlauf der elektrischen Ströme i_R , i_S in den aufeinanderfolgenden Phasen R, S der Drehstromlast und die Spannung u_{CK} am Kommutierungskondensator dargestellt. Dabei ist I_d der elektrische Eingangs-gleichstrom des Wechselrichters oder der Ausgangsgleichstrom des Gleichrichters, ΔU die Spannungszunahme am Kommutierungskondensator C_k , γ der Kommutierungswinkel, C_k der Kommutierungskondensator und L_k die Kommutierungsinduktivität. Es handelt sich um Zeitverläufe im Stromrichter bei der zweistufigen Kommutierung.

Die zweistufige Kommutierung hat folgende charakteristische Intervalle, welche in Fig. 1 dargestellt sind:

Zeitintervall t_0-t_1 der Kommutierung vom Hauptthyristor auf den Kommutierungskondensator C_k der entsprechenden Phase und den entsprechenden Hilfsthystor. Mit Rücksicht auf die Induktivitäten der Zweige dauert dieses Intervall einige Mikrosekunden. Es handelt sich um die erste Kommutierungsstufe.

Zeitintervall t_1-t_2 — Umladung des Kondensators mit Laststrom auf Null. Diese Zeit ist die Schutzzeit t_v des Thyristors (am Thyristor liegt eine negative Spannung).

Zeitintervall t_2-t_3 — Umladung des Kondensators mit Laststrom auf positive Werte zu dem Zeitpunkt, in dem die Spannung am Kondensator C_k der augenblicklichen verketteten Spannung der Kommutierungsphasen gleicht.

Zeitintervall t_3-t_4 — Kommutierung von dem den Kommutierungskondensator C_k und Hilfsthystor T_k enthaltenden

Hilfskreis auf den folgenden Hilfsthystor. Dies ist identisch mit der Stromkommutierung zwischen den Phasen auf der Wechselstromseite. Für Asynchronmotoren ist diese Zeit beiläufig mit einem Viertel der Schwingungszeit des Kondensators C_k und der Streuinduktivitäten der Kommutierungsphase des Motors gegeben. Die Spannung am Kondensator steigt während des Intervalls t_3 - t_4 um den Wert ΔU an, welcher der Überleitung der Energie von den Kommutierungsphasen in den Kondensator C_k entspricht. Das Intervall t_3 - t_4 bildet die zweite Kommutierungsstufe. Auf ähnliche Weise verläuft die zweistufige Kommutierung auch bei anderen Varianten des Wechselrichters. Die beschriebene zweistufige Kommutierung hat bei Wechselrichtern mit Asynchronmotoren folgende charakteristische Merkmale:

- a) Die Hilfskreise sind sehr einfach, sie kommen gegebenenfalls sogar ohne Hilfsthystoren aus.
- b) Die Kommutierungskreise dienen ebenso wie zum Ausschalten der Thyristoren auch zur Energiespeicherung aus den Lastinduktivitäten. Das ist eines der Grundmerkmale der zweistufigen Kommutierung. Die Vereinigung beider Funktionen führt zu einfachen Kommutierungskreisen, aber gleichzeitig sind hier die Ansprüche an einen Kommutierungskondensator für die Erfüllung beider Funktionen sehr verschieden.
- c) Aus dem obigen Abschnitt b) ergibt sich eine bestimmte Grösse des Kommutierungskondensators, die durch die Spannungsdimensionierung der Haupt- und Kommutierungskreise gegeben ist (hoher Spannungswert U in Fig. 1 im Intervall t_3 - t_4 bei kleinen Werten von C_k). Für höhere Werte von C_k wächst jedoch bei Gleichstromregelung am Stromrichtereingang die Kommutierungsgesamtzeit und begrenzt den Frequenzbereich des Wechselrichters.
- d) Bei der zweistufigen Kommutierung, aufgrund grosser Kapazitäten, und einer langen Kommutierungszeit steigt der Strom durch die Hilfskreise und hat ungünstige Auswirkungen auf die Dimensionierung der Bauelemente.
- e) Der Kommutierungskondensator ist direkt mit den Parametern des Verbrauchers (z.B. des Motors) verknüpft, und der Kommutierungsprozess ändert sich (es kann sogar eine Funktionsstörung auftreten), wenn ein anderer Motor eingesetzt wird. Für diese Wechselrichter ist es typisch, dass die Kommutierungskreise entsprechend den angewendeten Motoren dimensioniert werden.

Es ist bereits bekannt, den übermässigen Spannungsanstieg am Kommutierungskondensator während der Abkommutierung vom Netz zu verringern (z.B. DE-OS 2 530 961). Hierzu wird durch zusätzliche elektronische Bauelemente ein Hilfskondensator dem Kommutierungskondensator parallel geschaltet. Auch bei dieser bekannten Schaltung erfolgt die Kommutierung in zwei Stufen. Der Hilfskondensator nimmt deshalb auch nicht allein die in den Induktivitäten des Verbrauchers gespeicherte Energie auf.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, die Nachteile der zweistufigen Kommutierung bei Gleichrichtern und Wechselrichtern zu beheben bzw. zu verringern, insbesondere eine übermässige Spannungsbeanspruchung des Kommutierungskondensators ebenso zu vermeiden wie die Herabsetzung der Betriebsfrequenz durch die Anwendung grosser Kapazitätswerte für den Kommutierungskondensator sowie ferner eine grössere Unabhängigkeit von den Betriebsparametern des Verbrauchers, insbesondere im Hinblick auf die Lastinduktivitäten zu erreichen.

Diese Aufgabe wird durch die im kennzeichnenden Teil des Patentanspruchs angegeben Massnahmen gelöst.

Die Erfindung beseitigt die angeführten Nachteile und löst die gegebene Aufgabe durch die im Patentanspruch angegebene Kombination von Merkmalen.

Die angeführten ungünstigen Eigenschaften der zweistufigen

Kommutierung können durch Anwendung weiterer Kreise verbessert werden. Zum Beispiel das Intervall t_1 - t_2 und t_2 - t_3 in Fig. 1 kann mit Hilfe einer Schwingungserzeugung über die Induktivität und weitere Hilfsthystoren herabgesetzt werden. Das hat keinen Einfluss auf die Grösse der Kondensatoren, der Frequenzbereich des Stromrichters kann jedoch dadurch erhöht werden, dass die Kommutierungszeit herabgesetzt wird. Eine ähnliche Einrichtung zur zweistufigen Kommutierung ist beispielsweise in der US-PS 3 980 941 beschrieben.

Die Erfindung wird nun am Beispiel der dreistufigen Kommutierung näher beschrieben. Die angeführten Tatsachen und Eigenschaften der zweistufigen Kommutierung werden nachstehend deshalb gründlicher beschrieben, damit das Wesentliche der dreistufigen Kommutierung erklärt werden kann, denn diese Kommutierung hat in mancher Hinsicht qualitativ andere Eigenschaften als die vorbekannte zweistufige Kommutierung. Der Zweck der dreistufigen Kommutierung ist es, einen Kommutierungsprozess zu verwirklichen, bei dem die den Hilfskreisen des Wechselrichters bisher gemeinsamen Funktionen der Kommutierungskreise getrennt werden, und zwar die das Ausschalten des Thyristors sichernde Funktion und die die Energiespeicherung aus den Lastinduktionen in die Hilfskondensatoren sichernde Funktion. Durch Trennen beider Funktionen bei der dreistufigen Kommutierung werden folgende Vorteile erzielt:

Der das Ausschalten der Thyristoren sichernde Hilfskreis wird so gestaltet, dass er die Bedingungen zur Stromausschaltung im Thyristor (Herabsetzung des Stroms mit definierter Steilheit auf Null und Erneuerung der Blockierungseigenschaften) ohne Rücksicht auf die Energiespeicherung aus den Lastinduktionen erfüllt. Der die Energiespeicherung aus den Lastinduktivitäten sichernde Hilfskreis wird dann so gestaltet, dass er ohne gefährliche Überspannungen die Energie aus der Last speichert. Die Funktionstrennung der beiden beschriebenen Hilfskreise muss nicht eine vollkommene Trennung der Kreise bedeuten. Bedeutsam ist, dass in Zukunft die Anwendung von Ausschaltthyristoren, gegebenenfalls von Leistungstransistoren statt Thyristoren, möglich wird. Dann können die das Ausschalten des Thyristors sichernden Hilfskreise vollkommen weggelassen werden, denn diese Kreise dienen bei der dreistufigen Kommutierung ausschliesslich zur Durchführung des Ausschaltprozesses des Thyristors. Mit dem Ansteigen der dynamischen Eigenschaften der Bauelemente, insbesondere mit der Herabsetzung ihrer Freierdezeit, wird sich deren Dimensionierung und Struktur ändern.

Es ist offensichtlich, dass durch die Trennung beider Funktionen nicht mehr auf die direkte Zuordnung des Motors und des Wechselrichters geachtet werden muss, denn die das Ausschalten des Thyristors sichernden Kommutierungskreise werden auf den maximalen elektrischen Strom der Last (Typenleistung des Stromrichters) und auf die Thyristorparameter ausgelegt. Die Hilfsspeicherkreise sind jedoch den konkreten Motorparametern anzupassen. Deshalb sind Wechselrichter mit dreistufiger Kommutierung auch für Mehrmotorenantriebe geeignet.

Beim Übergang von der zweistufigen zur dreistufigen Kommutierung werden gegenüber Wechselrichtern, die mit zweistufiger Kommutierung arbeiten, die Kommutierungskondensatoren C_k so verkleinert, dass das Intervall t_1 - t_2 aus Fig. 2b mit der Freierdezeit der Thyristoren korrespondiert, was ungefähr 50 μ s bedeutet. Dadurch kommt es in der Praxis zu einer Herabsetzung der Kondensatorgrösse auf ungefähr 10% der Kapazität. Ohne weitere Eingriffe würde dies zu einer so grossen Überspannung am Kondensator und dadurch auch an den Thyristoren führen, dass ein Durchschlag auftreten würde. Durch Herabsetzung der Kapazität ist es aber möglich, die erste Funktion der Wechselrichterhilfskreise, d.i. das Ausschalten des Thyristors, zu optimieren. Der Aufbau der Speicherkreise zur Durchführung der zweiten Funktion der Hilfskreise kann allgemein durch einen weiteren hinzugefügten Stromrichter ge-

schehen. In der Praxis wird dies jedoch auf einen Gleichrichter reduziert und zwar grösstenteils auf einen Diodengleichrichter in Brückenschaltung, der auf geeignete Weise an den Wechselrichter angeschlossen wird. So wie das Prinzip der zweistufigen Kommutierung in Grunde gemeinsam für verschiedene Wechselrichterarten war, so ist auch die dreistufige Kommutierung in ihren Grundzügen gemeinsam für verschiedene konkrete Lösungen von Hilfskreisen.

Das Prinzip der dreistufigen Kommutierung ist in den beigefügten Fig. 2a und 2b für den Fall einer dreiphasigen Last RST dargestellt. In Fig. 2a sind die zur Erklärung des Begriffs «dreistufige Kommutierung» dienenden schematischen Darstellungen der Schaltung und in Fig. 2b die zeitlichen Verläufe der elektrischen Ströme i_R , i_S in der Phase R, S der Drehstromlast RST gezeigt. Den gleichen Grössen wie in Fig. 1 entsprechen mit ihren Bezeichnungen die gleichen Grössen auch in Fig. 2a und 2b.

Die dreistufige Kommutierung verläuft in folgenden Schritten:

I. Stufe: Intervall t_0-t_1 — Kommutierung vom Hauptthyristor T_1 auf die Hilfsthystoren, Induktivitäten und den Kommutierungskondensator C_k . Die Induktivitäten L_v laut Fig. 2a stellen wiederum die Zweiginduktivitäten dar.

II. Stufe: Intervall t_2-t_3 — Kommutierung vom Zweig des Kommutierungskondensators C_k auf den Hilfszweig des Speicherkondensators C_d . Der Kondensator C_d ist ein hinter dem Gleichrichter befindlicher Gleichstromkondensator.

III. Stufe: Intervall t_3-t_4 — Kommutierung von den Hilfszweigen des Speicherkondensators C_d auf den Hauptzweig des Thyristors T_2 , d.h. die Kommutierung von einer Wechselstromphase auf die folgende.

Bei dreistufiger Kommutierung können sich die Intervalle t_2-t_3 und t_3-t_4 ggfs. so überdecken, dass die Kommutierung von Phase zu Phase schon zum Zeitpunkt t_2 eintritt.

Wegen der ziemlich verschieden langen Dauer der zweiten und dritten Stufe (in der Praxis ungefähr $20\ \mu\text{s}$ und $1000\ \mu\text{s}$) ist diese Erscheinung für die Kommutierung unwesentlich.

Durch Vergleich mit der zweistufigen Kommutierung sieht man, dass die Übergabe des Stromes zwischen den Phasen, also die Energiespeicherung der Last in den Hilfskondensatoren in der dritten Stufe vor sich geht, wenn der Hilfsausschaltkreis abgeschaltet ist. Das erklärt die bereits früher beschriebene Unabhängigkeit der Ausschaltkreise von der Energiespeicherung aus der Last. Die Hilfsspeicherkreise werden meistens von einem ungesteuerten Gleichrichter in Brückenschaltung gebildet, der an der Gleichstromseite an einen grossen Gleichstrom-Speicherkondensator C_d angeschlossen ist. Für die Hilfsausschaltkreise können mehrere Schaltungsvarianten des Speichergleichrichters verwendet werden. Beispielsweise können die Ausschalt- und Speicherkreise zum Teil miteinander vereinigt werden, und der Speichergleichrichter funktioniert dann gleichzeitig als Ausschaltgleichrichter.

Das Prinzip des Speicherkreises besteht darin, dass der Phase, in welcher der Strom erlischt (in Fig. 2a und 2b ist es die Phase r) in der dritten Kommutierungsstufe ein Speicherkondensator C_d auf der Gleichstromseite des Gleichrichters in Rei-

he zugeschaltet wird. Seine Spannung wirkt gegen den Strom in der Phase und verursacht die eigentliche Kommutierung auf die neue Phase (Fig. 2a — dritte Kommutierungsstufe). Die Gegen-
spannung kann als eine Zusatzkommutierungsspannung bezeichnet werden, die ohne Rücksicht darauf, ob die Last einer äusseren Kommutierung fähig ist oder nicht, zur Durchführung der Stromkommutierung in den Phasen angewendet werden kann. Die Speicherefähigkeit beruht also bei der dreistufigen Kommutierung auf der Speicherefähigkeit des Gleichstrom-Speicherkondensators C_d , während bei der zweistufigen Kommutierung das Umladen des Kommutierungskondensators während der Kommutierung typisch ist. Es handelt sich also immer um Wechselstromkondensatoren. Bei jeder Kommutierung wird im Kondensator C_d eine bestimmte, der Stromgrösse und der Kommutierungsdauer proportionale Energiemenge gespeichert. Zum Erreichen des Leistungsgleichgewichts ist es notwendig, aus dem Speicherkondensator C_d die gleiche Energie abzuleiten. Eine mögliche Art ist beispielsweise bei kleineren Leistungen die Belastung des Kondensators über einen Widerstand oder die Energieableitung über einen gesteuerten Stromrichter in das Versorgungsnetz. Die Ableitungsart ist für das Prinzip der dreistufigen Kommutierung nicht von grundlegender Bedeutung, in der Praxis jedoch bedingt sie eine gewisse Komplikation des ganzen Wechselrichters.

Die Grösse der aus dem Speicherkondensator abgeleiteten Leistung bezogen auf die Leistung des Hauptgleichrichters ist ein wichtiger Parameter bei den Wechsel- bzw. Gleichrichtern mit dreistufiger Kommutierung. Der die Grösse der abgeleiteten Energie beeinflussende Hauptumstand ist die Grösse der Energie, die in den Lastinduktivitäten gespeichert ist. Aus der Theorie folgt, dass es beim Asynchronmotor und beim Synchronmotor und weiter bei der vom Netz gebildeten Last die in den Streuinduktivitäten der Last gespeicherte Energie ist. Diese Last ist im Ersatzschaltbild in Fig. 2 mit der inneren induzierten Spannung in Reihe geschaltet. Der Anschluss des Wechselrichters mit dreistufiger Kommutierung ans Netz ruft mit Hinsicht auf die kleinen Streuinduktivitäten einen sehr kleinen Kommutierungswinkel und eine kleine Grösse der Speicherleistung hervor, beispielsweise 2 bis 6° el. Die Grösse des Kommutierungswinkels kann durch die Spannungsgrösse am Speicherkondensator C_d gesteuert werden und kann so den Kommutierungsvorgang beeinflussen. Bei Asynchronmotoren bewegt sich der Kommutierungswinkel wegen der grösseren Streuinduktivitäten zwischen 5 und 20° el. Dem entspricht auch eine grössere Speicherleistung, die relativ zur Scheinleistung des Motors 4 bis 15% je nach der Motorqualität beträgt.

Die dreistufige Kommutierung ist nicht nur auf die Anwendung bei einem bestimmten Verbraucher begrenzt, sie kann prinzipiell bei allen möglichen Verbrauchern angewendet werden, die bei Wechsel- oder Gleichrichtern vorkommen. Die Haupteigenschaft der dreistufigen Kommutierung ist die funktionelle Trennung der Hilfskreise bei der Kommutierung, so dass wie der Ausschaltvorgang des Thyristors so auch die eigentliche Stromkommutierung zwischen den Phasen optimiert wird.

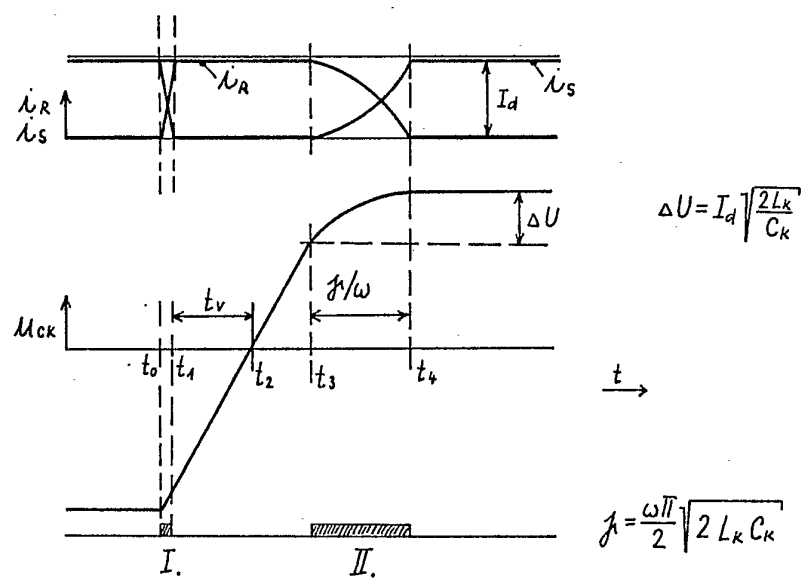


FIG 1.

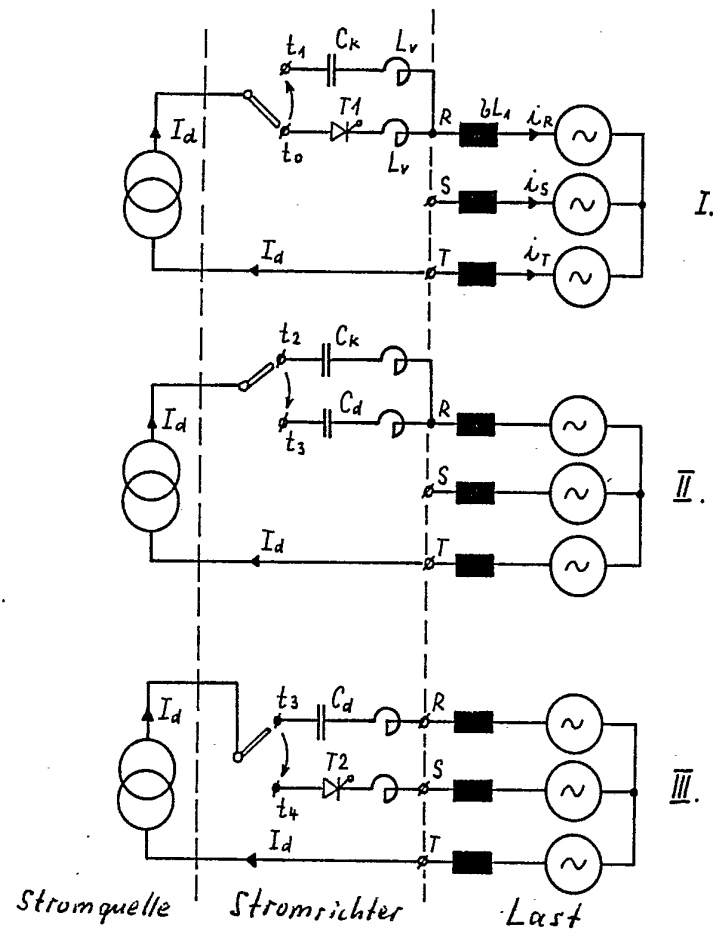


FIG 2a.

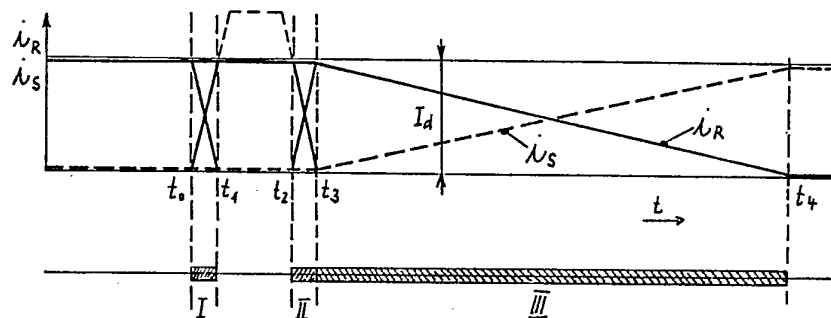


FIG 2b.