



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 699 19 528 T2** 2005.09.29

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 070 384 B1**

(51) Int Cl.7: **H02P 21/00**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **699 19 528.4**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/FR99/00648**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **99 909 054.1**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 99/053607**

(86) PCT-Anmeldetag: **19.03.1999**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **21.10.1999**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **24.01.2001**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **18.08.2004**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **29.09.2005**

(30) Unionspriorität:
9804445 09.04.1998 FR

(84) Benannte Vertragsstaaten:
CH, DE, ES, FI, FR, GB, IT, LI, SE

(73) Patentinhaber:
**Centre National de la Recherche Scientifique
(CNRS), Paris, FR**

(72) Erfinder:
**MEYNARD, Thierry, F-31500 Toulouse, FR;
ROBOAM, Xavier, F-31770 Colomiers, FR; DE
ALMEIDA MARTINS, Carlos, P-4200 Porto, PT**

(74) Vertreter:
Dr. Weitzel & Partner, 89522 Heidenheim

(54) Bezeichnung: **REGELVERFAHREN UND VORRICHTUNG FÜR EINEN STATISCHEN, EINE SPANNUNGSQUELLE
SPEISENDEN WANDLER**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Steuern eines statischen Wandlers, dessen Aufgabe es ist, eine Einstellung einer elektrischen und/oder magnetischen und/oder mechanischen Regelgröße eines Speisestroms zu justieren, der von diesem statischen Wandler zugeführt wird.

[0002] Eine der Hauptanwendungen für statische Wandler von elektrischer Leistung war schon immer die Versorgung von Elektromaschinen mit veränderlicher Frequenz, um auf diese Weise gute Leistungen an Geschwindigkeits- und Positionsregelsystemen zu erhalten.

[0003] Ein Drehstromwechselrichter ist ein statischer Wandler, der speziell für die Versorgung von Wechselstrommaschinen für Systeme ausgelegt ist, die eine gute Antriebsqualität (Präzision, Linearität, Übergangsverhalten, Stabilität) in einem breiten Drehzahl- und Lastvariationsbereich verlangen.

[0004] Die Struktur des eingesetzten Spannungswechselrichters besteht herkömmlicherweise aus einer einzelnen Kommutationszelle pro Phase, die eine Ausgangsspannung mit einem Grad an Oberwellenverzerrung liefert, dessen Grenzen bekannt sind. Dieser Wechselrichter, ein so genannter Zweipegel-Wechselrichter, unterliegt jedoch technischen Grenzen in Verbindung mit seinem Funktionsprinzip.

[0005] Es wurde eine neue Struktur für einen Spannungswechselrichter entwickelt, mit dem die Amplitude von Impulsen moduliert werden kann. Diese Mehrzellenstruktur, mit geschachtelten Zellen, hat einen modularen Charakter und erlaubt eine merkliche Verbesserung der Qualität der angelegten Spannung, die mit der Zahl der Zellen zunimmt.

[0006] Diese Mehrpegel-Serienwechselrichter können als Hochleistungs-D/A-Wandler angesehen werden.

[0007] Außerdem sind derzeitige digitale Signalprozessoren schnell und genau genug für eine direkte Drehmomentregelung (DTC) der Wechselstrommaschine. Diese Regelstrategie besteht darin, auf der Basis von Daten über die Momentanwerte von Drehmoment und Fluss der Maschine direkt auf den Zustand des Wechselrichters einzuwirken.

[0008] Diese Regelstrategie hat sich rasch als bedeutende Innovation herausgestellt, die es ermöglicht, die Drehmomentregelansprechzeit von Wechselstrommaschinen drastisch zu verbessern. Darüber hinaus bleibt das Grundprinzip sehr einfach, da es darin besteht, die Wechselrichterkonfiguration in Abhängigkeit vom Vorzeichen des Drehmomentfehlers und vom Vorzeichen des Flussfehlers "direkt" zu wählen, was insbesondere keinen Drehzahl- oder Positionssensor erfordert.

[0009] Derzeitige Geräte zum direkten Regeln des Drehmoments einer Asynchronmaschine, die auf der Basis dieser Regelstrategie arbeiten, sind insbesondere beschrieben in der FR 2 744 302 oder in Artikeln von NASH J. N.: "Direct torque control, induction motor vector control without an encoder" IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, Bd. 33, Nr. 2, März 1997, Seiten 333-341, XP000724904, und in CHAPUIS Y A et al: "Commande directe du couple d'une machine asynchrone par le contrôle direct de son flux statorique direct torque control", JOURNAL DE PHYSIQUE III, Bd. 5, Nr.6, 1. Juni 1995, Seiten 863-880, XP000533453.

[0010] Gemäß diesem letzteren Artikel macht insbesondere ein Zweipegel-Hysteresekomparator einen Vergleich zwischen dem errechneten Drehmoment und einem Referenzdrehmoment sowie zwischen dem errechneten Fluss und einem Referenzfluss. Die Konfiguration des Wechselrichters wird in Abhängigkeit vom Vorzeichen des Drehmomentfehlers und vom Vorzeichen des Flussfehlers ermittelt.

[0011] Die Leistungen, die im Hinblick auf bestimmte Aspekte dieser Strategie außergewöhnlich sind, reichen jedoch nicht aus, um die Mängel in Verbindung mit einem Betrieb mit veränderlicher Frequenz vergessen zu lassen, nämlich

- Zunahme von Kommutations- oder Hystereseverlusten und Gefährdung von Halbleitern bei Hochfrequenzvorgängen,
- akustische Störungen bei Niederfrequenzvorgängen,
- Erregung von mechanischen und/oder elektrischen Resonanzen aufgrund von Frequenzabtastung.

[0012] Es ist Ziel der vorliegenden Erfindung, diese Nachteile zu überwinden, und es ist ihre Hauptaufgabe, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Steuern eines statischen Wandlers bereitzustellen, der die Dynamik von Direktregelverfahren wie oben beschrieben bewahrt und gleichzeitig eine Wahl der Kommutationsfrequenz

als unabhängigen Parameter erlaubt.

[0013] Zu diesem Zweck stellt die Erfindung zunächst ein Verfahren zum Steuern eines statischen Wandlers in Verbindung mit einer mehrphasigen Stromquelle und einer Gleichspannungsquelle bereit, wobei das Verfahren dazu gedacht ist, eine elektrische und/oder magnetische und/oder mechanische Größe, Regelgröße genannt, der Stromquelle einzustellen, und dadurch gekennzeichnet ist, dass:

- Synchronisationszeitpunkte $t(i)$ erzeugt werden, die durch einen Taktgeber mit Periode T definiert werden,
- wenigstens eine elektrische, magnetische oder mechanische Größe gemessen wird, die den Zustand der Stromquelle repräsentiert,
- auf der Basis der gemessenen Größen wenigstens eine Regelgröße $c(t)$ und deren Ableitung $\dot{c}(t)$ und der Wert $c_p(t(i)+T)$ berechnet werden, den jede Regelgröße zum Synchronisationszeitpunkt gemäß $t(i)+T$ annehmen wird, für die Konfiguration C_c des statischen Wandlers zum Zeitpunkt $t(i)$,
- jede Regelgröße $c_p(t(i)+T)$ mit einer vorgewählten Referenzgröße, Einstellgröße genannt, verglichen wird, und in Abhängigkeit von den Ergebnissen des Vergleichs und der Konfiguration des statischen Wandlers zu jedem Synchronisationszeitpunkt $t(i)$ die Konfiguration des genannten statischen Wandlers bestimmt wird, um es zu ermöglichen, den Abstand zwischen jeder Regelgröße und der entsprechenden Einstellgröße zum Synchronisationszeitpunkt gemäß $t(i)+T$ zu minimieren,
- die Ableitung zum Zeitpunkt $t(i)+T$ einer Regelgröße, übergeordnete Größe genannt, entsprechend der Konfiguration $C_c(t(i)+T)$ zum Zeitpunkt $t(i)+T$ berechnet wird,
- der Kommutationszeitpunkt $t(i)+t_{com}$ zwischen diesen Zeitpunkten $t(i)$ und $t(i)+T$ bestimmt wird, zu dem der Abstand zum Zeitpunkt $t(i)+T$ zwischen der übergeordneten Regelgröße und der entsprechenden Einstellgröße minimiert werden kann,
- und die Kommutation des statischen Wandlers zum Zeitpunkt $t(i)+t_{com}$ gesteuert wird.

[0014] Gemäß der Erfindung ist das Steuerprinzip in drei Schritte unterteilt:

- Wählen der Konfiguration des statischen Wandlers zu einem Zeitpunkt $t(i)+T$ in Abhängigkeit von der Konfiguration dieses Wandlers zu einem Zeitpunkt $t(i)$ und Messwerten, die den Zustand der Stromquelle repräsentieren,
- Errechnen des Kommutationszeitpunkts $t(i)+t_{com}$ zwischen aktuellen und zukünftigen Konfigurationen für eine bevorzugte Regelgröße, deren Kommutationsfrequenz geregelt werden soll,
- Steuern der Kommutation des statischen Wandlers zum Zeitpunkt $t(i)+t_{com}$.

[0015] Dieses Steuerungsverfahren führt demgemäß zu:

- Steuern einer einzelnen Kommutation des statischen Wandlers zwischen zwei Abtastzeitpunkten $t(i)$, $t(i)+T$,
- Festlegen, zwischen diesen beiden Zeitpunkten und mit Hilfe von Rechenableitungen, des Kommutationszeitpunktes, um den Abstand zwischen der bevorzugten Regelgröße und der entsprechenden vorgewählten Einstellgröße minimal zu halten.

[0016] Ein solches Steuerungsverfahren ermöglicht somit die Zuweisung des/der von der Stromquelle gelieferten Regelgröße(n) auf äußerst dynamische Weise und die gleichzeitige Wahl der Kommutationsfrequenz des statischen Wandlers als unabhängigen Parameter, anstatt sie als Folge der Betriebsbedingungen zu behandeln.

[0017] Gemäß der Anwendung ist es dann möglich, eine feste Frequenz zuzuweisen (um beispielsweise eine elektrische oder mechanische Filterung mit Hilfe einer äußerst selektiven Bandeliminatorschaltung zu ermöglichen) oder die Abschaltfrequenz in Abhängigkeit von den Lastbedingungen zu variieren (beispielsweise um die Temperatur von Halbleitern konstant zu halten und um thermische Wechselbeanspruchung zu reduzieren).

[0018] Gemäß einer ersten Anwendung zum Steuern eines Wechselrichters mit N Pegeln, wobei $N \geq 2$ ist, in Verbindung mit einer asynchronen Drehstrommaschine, werden der Ständerfluss ϕ_s und das elektromagnetische Moment C_{em} der genannten Maschine vorzugsweise als Regelgröße und das elektromagnetische Moment C_{em} als bevorzugte Regelgröße gewählt.

[0019] Darüber hinaus und vorteilhafterweise werden zum Berechnen der Regelgrößen ϕ_s und C_{em} die Leitungsströme I_1 , I_2 und I_3 und die Ständerspannungen, geschätzt oder gemessen, V_1 , V_2 , V_3 am Ausgang des Wechselrichters gemessen.

[0020] Ferner werden gemäß dieser Anwendung vorzugsweise die Ableitungen $\dot{\phi}_s$ und \dot{C}_{em} von Regelgrößen ϕ_s und C_{em} auf der Basis der folgenden Formeln berechnet:

$$\dot{\phi}_s = \frac{d\phi_s}{dt} = \frac{2}{3\phi_s} (\phi_{sa} V_{sa} + \phi_{s\beta} V_{s\beta} - R_s (\phi_{sa} I_{sa} + \phi_{s\beta} I_{s\beta}))$$

und

$$\dot{C}_{em} = \frac{dC_{em}}{dt} = P(V_{sa} K_{s\beta} - V_{s\beta} K_{sa} - kl)$$

wobei:

$$K_{sa} = I_{sa} - \frac{\phi_{sa}}{\sigma L_s}; K_{s\beta} = I_{s\beta} - \frac{\phi_{s\beta}}{\sigma L_s}$$

$$kl = \frac{R_s'}{\sigma L_s P} C_{em} + \frac{3\omega}{2\sigma L_s} \phi_s^2 - \omega (\phi_{sa} I_{sa} + \phi_{s\beta} I_{s\beta})$$

$$R_s' = R_s + \frac{L_s}{L_r} R_r$$

[0021] In den Formeln gilt Folgendes:

R_s =	Ständerwiderstand
R_r =	Läuferwiderstand
P =	Anzahl Polpaare
σ =	Streuungsfaktor
L_s und L_r =	zyklische Ständer- und Läuferinduktanzen
ω =	elektrische Drehzahl der Maschine 2 .

[0022] Zusätzlich und vorteilhafterweise wird Folgendes errechnet:

– die Variation der Ableitung des Momentes $\Delta \dot{C}_{em}$ zwischen den Konfigurationen des Wechselrichters **1** zu den Zeitpunkten $t(i)$ und $t(i)+T$ gemäß der folgenden Gleichung:

$$\Delta \dot{C}_{em} = \frac{P}{\sigma L_s} ((\sigma L_s I_{s\beta} - \phi_{s\beta}) \Delta V_{sa} - (\sigma L_s I_{sa} - \phi_{sa}) \Delta V_{s\beta})$$

wobei ΔV_{sa} und $\Delta V_{s\beta}$ Variationen der Ständerspannungen zwischen den Zeitpunkten $t(i)$ und $t(i)+T$ entsprechen,

– der Kommutationszeitpunkt t_{com} zwischen $t(i)$ und $t(i)+T$ des Wechselrichters gemäß der folgenden Formel:

$$t_{com} = - \frac{(C_{em})_{ref} - C_{em}}{\Delta \dot{C}_{em}} + T \frac{\dot{C}_{em} + \Delta \dot{C}_{em}}{\Delta \dot{C}_{em}}$$

[0023] Außerdem werden gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung, die diese erste Anwendung beinhaltet:

- auf der Basis der Konfiguration des Wechselrichters **1** zum Zeitpunkt $t(i)$, der einer Lokalisierung Q_i der Ausgangsspannung in einer Phasenebene $\alpha\beta$ entspricht, die in sechs Winkelsektoren $\theta_1 \dots \theta_6$ unterteilt ist, die Gefälle der Regelwerte auf der Basis der Ableitungen $\dot{\phi}_s$ und \dot{C}_{em} berechnet,
- von dem Wert dieser Gefälle je nach dem, ob sie erhöht oder reduziert werden sollen, auf eine solche Weise abgeleitet, dass der Abstand zwischen jeder Regelgröße und der entsprechenden Referenzgröße zum Zeitpunkt $t(i)+T$ minimiert wird,
- der Punkt $PK = Q_i + 1$, der der Konfiguration des Wechselrichters (**1**) zum Zeitpunkt $t(i)+T$ entspricht, mit Hilfe der folgenden Wahrheitstabelle ermittelt:

Vorzeichen ($\Delta \dot{C}_{em}$)	+	-	+	-
Vorzeichen ($\Delta \dot{\phi}_s$)	+	+	-	-
$\theta(1)$	P2	P6	P3	P5
$\theta(2)$	P3	P1	P4	P6
$\theta(3)$	P4	P2	P5	P1
$\theta(4)$	P5	P3	P6	P2
$\theta(5)$	P6	P4	P1	P3
$\theta(6)$	P1	P5	P2	P4

[0024] Gemäß einer zweiten Anwendung zum Steuern eines Schalters (k) wie z.B. eines Transistors, in Verbindung mit einer Last RL wie z.B. einem Zweipegel-Zerhacker und zu jedem Abtastzeitpunkt $t(i)$:

– werden die Ableitungen der zu regelnden Größe I zu den Zeitpunkten $t(i)$ und $t(i)+T$ in Abhängigkeit vom Zustand des Schalters (k) zum Zeitpunkt $t(i)$ gemäß den folgenden Formeln errechnet:

• wenn der Schalter (k) zum Zeitpunkt $t(i)$ leitet:

$$\dot{I}(t(i)) = \frac{E-V}{L} \quad \text{und} \quad \dot{I}(t(i)+T) = -\frac{V}{L}$$

• wenn der Schalter (k) zum Zeitpunkt $t(i)$ sperrt:

$$\dot{I}(t(i)) = \frac{-V}{L} \quad \text{und} \quad \dot{I}(t(i)+T) = \frac{E-V}{L}$$

– und der Kommutationszeitpunkt $t(i)+t_{com}$ zwischen $t(i)$ und $t(i)+T$ der Zustandsänderung des Schalters (k) wird gemäß den folgenden Formeln ermittelt:

• wenn der Schalter (k) zum Zeitpunkt $t(i)$ leitet:

$$t_{com} = \frac{I_{ref} - I(t(i))}{E/L} + T \frac{V}{E}$$

• wenn der Schalter (k) zum Zeitpunkt $t(i)$ sperrt:

$$t_{com} = -\frac{I_{ref} - I(t(i))}{E/L} + T \frac{E-V}{E}$$

[0025] Die Erfindung erstreckt sich auch auf eine Steuervorrichtung, die Folgendes umfasst:

– einen Taktgeber mit Periode T zum Erzeugen von Synchronisationszeiten $t(i)$,

– ein Rechenmodul zum Berechnen zu jedem Zeitpunkt $t(i)$:

• auf der Basis von wenigstens einer gemessenen Größe, die für den Zustand der Stromquelle repräsentativ ist, wenigstens einer Regelgröße $c(t)$ und ihrer Ableitung $\dot{c}(t)$,

• auf der Basis jeder Regelgröße $c(t)$ und ihrer Ableitung $\dot{c}(t)$ und durch Vergleichen mit einer vorgewählten Referenzgröße, Ermitteln der Konfiguration des statischen Wandlers, um eine Minimierung des Abstands zwischen jeder Regelgröße und der entsprechenden Referenzgröße zum Zeitpunkt $t(i)+T$ zu erzielen,

• die Variation der Ableitung von einer der Regelgrößen, übergeordnet genannt, zwischen den Konfigurationen des jeweiligen statischen Wandlers zu den Zeitpunkten $t(i)$ und $t(i)+T$,

– eine Recheneinheit des Kommutationszeitpunkts $t(i)+t_{com}$ zwischen $t(i)$ und $t(i)+T$, damit der Abstand zum Zeitpunkt $t(i)+T$ zwischen dem übergeordneten Regelwert und dem assoziierten Referenzwert minimiert werden kann,

– und eine Einheit zum Steuern der Kommutation des statischen Wandlers zum Zeitpunkt $t(i)+t_{com}$.

[0026] Weitere Eigenschaften, Aufgaben und Vorteile der Erfindung gehen aus der nachfolgenden ausführlichen Beschreibung mit Bezug auf die Begleitzeichnungen hervor, die als nicht begrenzendes Beispiel eine Vorrichtung gemäß der Erfindung mit allgemeiner Anwendung und zwei bevorzugte Anwendungstypen des erfin-

dungsgemäßen Verfahrens darstellt. In diesen Zeichnungen, die integraler Bestandteil der vorliegenden Erfindung sind, zeigt:

[0027] [Fig. 1](#) eine allgemeine Gesamtübersicht über die Vorrichtung gemäß der Erfindung, angewendet auf die Steuerung einer Stromquelle,

[0028] [Fig. 2a](#) bis [Fig. 2e](#) grafische Darstellungen, die das Steuerprinzip illustrieren, das gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren zum Einsatz kommt,

[0029] [Fig. 3](#) einen Schaltplan, der einen Zwei-Pegel-Zerhacker repräsentiert, mit Speisung auf Last (R,L),

[0030] [Fig. 4](#) einen Graph, der das Ansprechverhalten des Stroms repräsentiert, der am Ausgang vom Zerhacker gemäß dem Steuerverfahren gemäß der Erfindung erhalten wird,

[0031] [Fig. 5](#) ein Gesamtdiagramm einer Vorrichtung gemäß der Erfindung, die auf die Steuerung einer asynchronen Drehstrommaschine angewendet wird,

[0032] [Fig. 6](#) eine Darstellung der Winkelsektoren zum Ermitteln der Position des Flusses dieser asynchronen Maschine,

[0033] [Fig. 7a](#) und [Fig. 7b](#) Darstellungen von Spannungsvektoren, die jeweils mit einem Drehstromwechselrichter mit zwei Pegeln und einem Drehstromwechselrichter mit drei Pegeln erhalten werden können,

[0034] [Fig. 8](#) eine Auswahltable für die Erzeugung von Steuersignalen,

[0035] [Fig. 9](#) ein Diagramm, das die Auswahlstrategie illustriert, die zum Verwenden der Auswahltable von [Fig. 8](#) nötig ist,

[0036] und [Fig. 10](#) eine grafische Darstellung eines Beispiels für die Bahn des Spannungsvektors gemäß einem Übergangsschema.

[0037] Die Vorrichtung gemäß der Erfindung, von der [Fig. 1](#) auf allgemeine Weise ein Blockdiagramm zeigt, ist so ausgelegt, dass eine Regelgröße einer Stromquelle **2**, die von einem statischen Wandler **1** kommt, justiert werden kann, und zwar mit einem hohen dynamischen Ansprechverhalten und unter Zuweisung der Schaltfrequenz des genannten statischen Wandlers.

[0038] Zu diesem Zweck umfasst die Vorrichtung eine Steuereinheit **3**, die zunächst ein Rechenmodul **4** beinhaltet, das wie folgt programmiert ist:

- Errechnen von wenigstens einem Messwert, der für den Zustand der Stromquelle **2** repräsentativ ist:
 - eine Regelgröße $c(t)$ und deren Ableitung $\dot{c}(t)$ zum Abtastzeitpunkt $t(i)$,
 - das Gefälle $\dot{c}(t(i)+T)$ dieser Regelgröße $c(t)$ zum Zeitpunkt $t(i)+T$, so dass der Abstand zwischen Letzterer und einem vorbestimmten Referenzwert c_{ref} minimal gehalten werden kann,
- Anlegen von zwei Signalen, die jeweils Werte von $\dot{c}(t(i))$ und $\Delta\dot{c}(t(i)) = \dot{c}(t(i)+T) - \dot{c}(t(i))$ repräsentieren.

[0039] Diese Steuereinheit **3** beinhaltet darüber hinaus eine Einheit **5** zum Errechnen des Zeitpunkts $t(i)+t_{com}$ zwischen $t(i)$ und $t(i)+T$, so dass der Referenzwert c_{ref} zum Zeitpunkt $t(i)+T$ erhalten oder näherungsweise erhalten werden kann.

[0040] Diese Steuereinheit **3** beinhaltet schließlich ein Steuermodul **6**, das so gestaltet ist, dass es die neue folgende Konfiguration des statischen Wandlers **1** zum Zeitpunkt $t(i)+t_{com}$ zuweist, geregelt durch einen Impulsgenerator **7**, der die Betriebsfrequenz bestimmt.

[0041] Das Funktionsprinzip dieser Vorrichtung ist in den [Fig. 2a](#) bis [Fig. 2e](#) illustriert und besteht somit im Unterteilen der Zeit in gleiche Abschaltintervalle von Dauer T und der Durchführung von höchstens einer Kommutation des statischen Wandlers **1** in jeder Periode.

[0042] Eine solche Vorrichtung kann, beispielsweise und an erster Stelle, auf die Regelung des Ausgangsstroms von einem standardmäßigen Zerhacker wie dem angewendet werden, der in [Fig. 3](#) dargestellt ist.

[0043] Zu diesem Zweck wird gemäß dem oben beschriebenen Grundsatz zu jedem Abtastzeitpunkt ein Aus-

gangsstrom zugewiesen, der gleich einem Referenzstrom ist, zusätzlich erfolgt eine einzelne Kommutation des Zerhackers zwischen zwei Abtastzeitpunkten.

[0044] Zu jedem Abtastzeitpunkt $t(i)$ wird somit der Zeitpunkt $t(i)+t_{com}$ errechnet, an dem die nachfolgende Kommutation stattfindet, um zum Zeitpunkt $t(i)+T$ einen Strom zu erhalten, der gleich dem Referenzstrom ist. Dies ergibt:

$$I(t(i)) + \dot{I}(t(i)) \cdot t_{com} + \dot{I}(t(i) + T) \cdot (T - t_{com}) = I_{ref}$$

was Folgendes ergibt:

$$t_{com} = \frac{I_{ref} - I(t(i))}{\dot{I}(t(i)) - \dot{I}(t(i) + T)} - T \frac{\dot{I}(t(i) + T)}{\dot{I}(t(i)) - \dot{I}(t(i) + T)}$$

[0045] Bei diesem Steuermodus müssen somit Ableitungen des zu regelnden Wertes errechnet werden, und zwischen zwei Fällen unterschieden werden:

1) wenn der Transistor K zum Abtastzeitpunkt leitet:

$$\dot{I}(t(i)) = \frac{E - V}{L} \quad \text{und} \quad \dot{I}(t(i) + T) = -\frac{V}{L}$$

und demzufolge, wenn er nicht leitet:

$$t_{com} = \frac{I_{ref} - I(t(i))}{E/L} + T \frac{V}{E}$$

2) wenn der Transistor zum Abtastzeitpunkt sperrt:

$$\dot{I}(t(i)) = -\frac{V}{L} \quad \text{und} \quad \dot{I}(t(i) + T) = \frac{E - V}{L}$$

und demzufolge wird aktiviert bei:

$$t_{com} = -\frac{I_{ref} - I(t(i))}{E/L} + T \frac{E - V}{E}$$

[0046] Das Ergebnis dieser Regelung ist in [Fig. 4](#) illustriert, die den Ausgangsstrom vom Zerhacker repräsentiert, der für einen bestimmten Wert I_{ref} um diesen Wert oszilliert und in einem kontinuierlichen Schema zu jedem Abtastzeitpunkt gleich dem Letzteren wird.

[0047] Die erfindungsgemäße Vorrichtung gemäß [Fig. 5](#) ist so gestaltet, dass sie das Drehmoment einer Asynchronmaschine **2** direkt regelt, die von einem statischen Wandler **1** gespeist wird. Diese Vorrichtung ermöglicht die Zuweisung des von der Maschine **2** kommenden Drehmomentes mit einem hohen dynamischen Ansprechverhalten, gleichzeitig wird die Schalfrequenz des statischen Wandlers **1** angewendet.

[0048] Gemäß dieser Anwendung beinhaltet das Rechenmodul **4** der Steuereinheit **3** grundsätzlich Folgendes:

- ein Modul **4a** zum Schätzen des zu regelnden Wertes von Drehmoment und Fluss und deren Ableitungen,
- ein Rechenmodul **4b** in Verbindung mit einer in [Fig. 8](#) gezeigten Tabelle, so dass die folgende Konfiguration des Wandlers **1** gewählt werden kann,
- ein Modul **4c** zum Vorhersagen der Variation der Ableitung des Drehmoments $\Delta \dot{C}_{em}$ zwischen aktuellen und nachfolgenden Konfigurationen.

[0049] Diese Steuereinheit **3** beinhaltet zusätzlich Folgendes:

- Modul **5** zum Errechnen des Zeitpunkts $t(i)+t_{com}$ zum Übergehen von einer Wechselrichterkonfiguration $C_c(t(i))$ zur nachfolgenden Konfiguration $C_c(t(i)+T)$,
- und Modul **6**, das zum Zuweisen der Wechselrichterkonfiguration $C_c(t(i)+T)$ zum Zeitpunkt $T(i)+t_{com}$ nach der Stromtaktspitze ausgelegt ist, die vom Impulsgenerator **7** geliefert wird.

[0050] Gemäß dieser Steuervorrichtung wird das Steuerprinzip in drei Hauptschritte unterteilt:

- Ermitteln, mit Hilfe des Rechenmoduls **4a**, der zukünftigen Wechselrichterkonfiguration $Cc(t(i)+T)$ anhand der derzeitigen Konfiguration $Cc(t(i))$ und der erhaltenen Messwerte,
- Berechnen, mit Modul **5**, des Kommutationszeitpunkts $t(i)+t_{com}$ zwischen aktuellen und zukünftigen Konfigurationen für eine bevorzugte Regelgröße, deren Schaltfrequenz geregelt werden soll, im Falle des Drehmoments Cem der Maschine **2**,
- Zuweisen, mit Modul **6**, der neuen Konfiguration $Cc(t(i)+T)$ zum gewünschten Zeitpunkt.

[0051] Jeder dieser Schritte wird nachfolgend ausführlich durch Analysieren der Funktionen jedes Moduls und der Module **4a-4c**, **5**, **6** beschrieben.

[0052] Das erste Modul **4a** wird anhand von Messungen der Leitungsströme I_1, I_2, I_3 und der geschätzten oder gemessenen Ständerspannungen V_1, V_2, V_3 am Ausgang vom Wechselrichter **1** ausgelegt, um anhand des Modells der Asynchronmaschine **2** die Regelgrößen, d.h. das elektromagnetische Drehmoment Cem und den Ständerfluss ϕ_s sowie deren Ableitungen wiederherzustellen.

[0053] Diese Größen von Fluss und Drehmoment werden auf konventionelle Weise dadurch erhalten, dass sie in einen festen Referenzwert $\alpha\beta$ in Verbindung mit dem Ständer der Maschine **2** eingesetzt und $I_{s\alpha}, I_{s\beta}, V_{s\alpha}$ und $V_{s\beta}$ anhand von Dreiphasen/Zweiphasen-Transformationen mit konstanter Leistung auf den Achsen $\alpha\beta$ durchgeführt werden.

[0054] Die Errechnung des Ständerflusses kann somit beispielsweise anhand der Ständergleichungen der Maschine **2** mit Hilfe der folgenden Gleichungen erhalten werden:

$$\phi_{s\alpha} = \int_0^t (V_{s\alpha} - R_s I_{s\alpha}) dt$$

$$\phi_{s\beta} = \int_0^t (V_{s\beta} - R_s I_{s\beta}) dt$$

[0055] In Bezug auf das elektromagnetische Drehmoment der Maschine **2** wird dies anhand der Werte $\phi_{s\alpha}$ und $\phi_{s\beta}$ und anhand der Messwerte der Leitungsströme mit der folgenden Gleichung errechnet:

$$Cem = P(\phi_{s\alpha} I_{s\beta} - \phi_{s\beta} I_{s\alpha})$$

[0056] Anhand dieser Gleichungen werden die Werte der Ableitungen von Fluss und Drehmoment mit den folgenden Formeln erhalten:

$$\dot{\phi}_s = \frac{d\phi_s}{dt} = \frac{2}{3\phi_s} (\phi_{s\alpha} V_{s\alpha} + \phi_{s\beta} V_{s\beta} - R_s (\phi_{s\alpha} I_{s\alpha} + \phi_{s\beta} I_{s\beta}))$$

und

$$\dot{Cem} = \frac{dCem}{dt} = P(V_{s\alpha} K_{s\beta} - V_{s\beta} K_{s\alpha} - kl)$$

wobei:

$$K_{s\alpha} = I_{s\alpha} - \frac{\phi_{s\alpha}}{\sigma L_s}; K_{s\beta} = I_{s\beta} - \frac{\phi_{s\beta}}{\sigma L_s}$$

$$kl = \frac{R_s'}{\sigma L_s P} Cem + \frac{3\omega}{2\sigma L_s} \phi_s^2 - \omega (\phi_{s\alpha} I_{s\alpha} + \phi_{s\beta} I_{s\beta})$$

$$R_s' = R_s + \frac{L_s}{L_r} R_r$$

wobei in den Formeln Folgendes gilt:

$R_s =$	Ständerwiderstand
$R_r =$	Läuferwiderstand
$P =$	Anzahl Polpaare
$\sigma =$	Strefaktor
L_s und $L_r =$	zyklische Ständer- und Läuferinduktanzen
$\omega =$	elektrische Drehzahl der Maschine 2 .

[0057] Die Regelung dieser Größen erfolgt mit einer konventionellen "DTC"-Technik (direkte Drehmomentregelung), die direkt von der Position des Ständerflusses in der Phasenebene $\alpha\beta$ abhängig ist. Wie in [Fig. 6](#) illustriert, wird diese Ebene $\alpha\beta$ in sechs Winkelsektoren $\theta_1 \dots \theta_6$ unterteilt. Gemäß dieser Unterteilung haben die Regelgrößen eine konstante Richtungsänderung innerhalb eines bestimmten Winkelsektors für eine gewählte Wechselrichterkonfiguration, und die Spannungsvektoren, die mit den Wechselrichtern mit zwei und drei Pegeln erhalten werden können, sind beispielhafterweise in [Fig. 7a](#) und [Fig. 7b](#) dargestellt.

[0058] Die Konfiguration des Wechselrichters **1** entspricht jedoch den Logikordnungen, die jedem Schalter zugeordnet sind, und der genannte Wechselrichter kann eine beliebige Zahl von Kommutationszellen in Serie haben ($p = N - 1$). Die Ausgangsspannungsvektoren können auf diese Weise eine Gruppe von Punkten erreichen, die in einem Sechseck in der Phasenebene stehen, wie in [Fig. 10](#) illustriert ist, und die die Bahn des Spannungsvektors während eines Übergangsschemas repräsentieren.

[0059] Das Rechenmodul **4b** ist so gestaltet, dass es anhand der Regelgrößen zum Zeitpunkt $t(i)$ diese Regelgrößen zum Abtastzeitpunkt $t(i)+T$ errechnet.

[0060] Zu diesem Zweck, und an erster Stelle, ist dieses Rechenmodul **4b** anhand der Konfiguration des Wechselrichters **1** zu einem Zeitpunkt $t(i)$ entsprechend einer Lokalisierung Q_i der Ausgangsspannung in der Phasenebene adaptiert, um das Gefälle der Regelgrößen von den Werten ϕ_s und \dot{C}_{em} zu errechnen, die von Modul **4a** kommen.

[0061] Die Werte dieser Gefälle ermöglichen die Vorhersage, ob die Konfiguration zum Zeitpunkt $t(i)$ die Regelgrößen über oder unter die Referenzwerte führt. In Anbetracht der Kenntnis, dass es das Ziel ist, einen Null-Fehler zwischen den Regelgrößen und den Referenzwerten zum Zeitpunkt $t(i)+T$ zu erzielen, wird das Rechenmodul **4b** dann so adaptiert, dass definiert wird, ob diese Gefälle erhöht (+) oder verringert (-) werden sollen.

[0062] Diese Wahl, die aus dem Wählen einer Erhöhung oder Reduzierung des Gefälles des Drehmoments besteht, ist in [Fig. 9](#) illustriert, wo die Werte des Referenzdrehmoments $(C_{em})_{ref}$ sowie die verschiedenen Gefälle \dot{C}_{em} zum Zeitpunkt $t(i)$ dargestellt sind.

[0063] Anhand dieser Ermittlung und auf der Basis der Kenntnis des Winkelsektors $\theta(k)$, wo sich der Fluss befindet, geliefert von Modul **4a**, wird das Rechenmodul **4b** mit Hilfe einer in [Fig. 8](#) gezeigten Wahrheitstabelle so ausgelegt, dass es den Punkt $Q_i + 1 = PK$ ermittelt, der der Konfiguration des Wechselrichters zum Zeitpunkt $t(i)+T$ entspricht. Wie in [Fig. 10](#) gezeigt, ist dieser Punkt $Q_i + 1$ einer von sechs Punkten des peripheren Sechsecks bei Q_i .

[0064] Modul **4c** ist so gestaltet, dass es die Variation der Ableitung des Drehmoments $\Delta\dot{C}_{em}$ zwischen den Konfigurationen des Wechselrichters **1** zu den Zeitpunkten $t(i)$ und $t(i)+T$ errechnet. Diese Berechnung erfolgt mit Hilfe der folgenden Gleichung:

$$\Delta\dot{C}_{em} = \frac{P}{\sigma L_s} ((\sigma L_s I_{s\beta} - \phi_{s\beta}) \Delta V_{sa} - (\sigma L_s I_{sa} - \phi_{sa}) \Delta V_{s\beta})$$

[0065] ΔV_{sa} und $\Delta V_{s\beta}$ entsprechen Variationen in den Ständerspannungen von einer Konfiguration des Wechselrichters zum Zeitpunkt $t(i)$ zu der zum Zeitpunkt $t(i)+T$.

[0066] Schließlich basiert die Berechnung des Kommutationszeitpunktes $t(i)+t_{com}$ des Wechselrichters, durchgeführt auf der Ebene des Moduls **5**, auf der folgenden Gleichung:

$$t_{com} = - \frac{(C_{em})_{ref} - C_{em}}{\Delta\dot{C}_{em}} + T \frac{\dot{C}_{em} + \Delta\dot{C}_{em}}{\Delta\dot{C}_{em}}$$

[0067] Die Hauptaufgabe der oben beschriebenen Regelstrategie besteht somit in der Zuweisung der Kommutationsfrequenz, während diese als unabhängiger Parameter gewählt und nicht mehr als eine Folge der Betriebsbedingungen behandelt wird.

[0068] Zu diesem Zweck wird die Zeit in gleiche Abschaltperioden mit Dauer T unterteilt und es wird wie in [Fig. 10](#) gezeigt gewährleistet, dass während jeder Periode T eine einzige Verschiebung von einem Punkt, der mit dem Wechselrichter 1 erhalten werden kann, zu einem anderen Nachbarpunkt erfolgt.

[0069] Dazu müssen, unter Berücksichtigung der Tatsache, dass zum Abschaltzeitpunkt der entsprechende Vektor am Punkt Q_i in der vorherigen Periode gewählt wurde, zwei Probleme gelöst werden:

- 1) Auswahl des Punktes PK aus sechs Punkten um Q_i (P1 bis P6), für den kommutiert werden muss und der in der nachfolgenden Abschaltperiode den Punkt darstellt, der mit dem mittleren Punkt (Q_{i+1}) zusammenfällt,
- 2) Ermitteln des Zeitpunkts $t(i)+t_{com}$ innerhalb des Intervalls $[t(i), t(i)+T]$, zu dem der Übergang von Q_i zu $Q_{i+1}=PK$ gemacht werden muss.

[0070] Um das erste Problem zu lösen, wird die Tabelle von [Fig. 8](#) verwendet, die uns für jeden Sektor Θ den Punkt PK gibt, der die folgenden Vorzeichen geben kann:

$$\Delta \dot{C}_{em} = \dot{C}_{em}(t(i) + T) - \dot{C}_{em}(t(i)) \text{ und } \Delta \dot{\phi}_s = \dot{\phi}_s(t(i) + T) - \dot{\phi}_s(t(i)).$$

[0071] Erinnern wir uns, dass die Strategie zum Wählen des Vorzeichens ($\Delta \dot{C}_{em}$) und ebenso des Vorzeichens ($\Delta \dot{\phi}_s$), das zum Verwenden der Tabelle von [Fig. 8](#) notwendig ist, in [Fig. 9](#) dargestellt ist.

[0072] Um das zweite Problem zu lösen, wird der Kommutationszeitpunkt $t(i)+t_{com}$ errechnet, mit dem ein Null-Fehler für das Drehmoment in Bezug auf einen Referenzdrehmomentwert C_{emref} zu jedem Abschaltzeitpunkt erhalten werden kann.

[0073] Demgemäß kann der Algorithmus, der diesem Regelgesetz mit einer festen Frequenz entspricht, die folgende Form erhalten. Zu jedem Zeitpunkt $t(i)$ sollte Folgendes durchgeführt werden:

- 1) Errechnen von

$$\dot{C}_{em} = \frac{dC_{em}}{dt}$$

- 2) Wählen des Zeitpunkts PK anhand der Tabelle von [Fig. 8](#),
- 3) Errechnen von $\Delta \dot{C}_{em}$ entsprechend der Passage Q_i zu PK,
- 4) Errechnen des Umschaltzeitpunkts $t(i)+t_{com}$.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Steuern eines statischen Wandlers (1) in Verbindung mit einer mehrphasigen Stromquelle (2) und einer Gleichspannungsquelle, wobei das Verfahren dazu gedacht ist, eine elektrische und/oder magnetische und/oder mechanische Größe, Regelgröße genannt, der Stromquelle (2) einzustellen, und **dadurch gekennzeichnet** ist, dass:

- Synchronisationszeitpunkte $t(i)$ erzeugt werden, die durch einen Taktgeber mit Periode T definiert werden,
- wenigstens eine elektrische, magnetische oder mechanische Größe gemessen wird, die den Zustand der Stromquelle repräsentiert,
- auf der Basis der gemessenen Größen wenigstens eine Regelgröße $c(t)$ und deren Ableitung $\dot{c}(t)$ und der Wert $c_p(t(i)+T)$ berechnet werden, den jede Regelgröße zum Synchronisationszeitpunkt gemäß $t(i)+T$ annehmen wird, für die Konfiguration C_c des statischen Wandlers zum Zeitpunkt $t(i)$,
- jede Regelgröße $c_p(t(i)+T)$ mit einer vorgewählten Referenzgröße, Einstellgröße genannt, verglichen wird, und in Abhängigkeit von den Ergebnissen des Vergleichs und der Konfiguration des statischen Wandlers zu jedem Synchronisationszeitpunkt $t(i)$ die Konfiguration des genannten statischen Wandlers bestimmt wird, um es zu ermöglichen, den Abstand zwischen jeder Regelgröße und der entsprechenden Einstellgröße zum Synchronisationszeitpunkt gemäß $t(i)+T$ zu minimieren,
- die Ableitung zum Zeitpunkt $t(i)+T$ einer Regelgröße, übergeordnete Größe genannt, entsprechend der Konfiguration $C_c(t(i)+T)$ zum Zeitpunkt $t(i)+T$ berechnet wird,
- der Kommutationszeitpunkt $t(i)+t_{com}$ zwischen diesen Zeitpunkten $t(i)$ und $t(i)+T$ bestimmt wird, zu dem der Abstand zum Zeitpunkt $t(i)+T$ zwischen der übergeordneten Regelgröße und der entsprechenden Einstellgröße minimiert werden kann,

– und die Kommutation des statischen Wandlers zum Zeitpunkt $t(i)+t_{com}$ gesteuert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1 zum Steuern eines Wechselrichters (1) mit N Pegeln, wobei $N \geq 2$ ist, in Verbindung mit einer asynchronen Drehstrommaschine (2), dadurch gekennzeichnet, dass als Regelgröße der Ständerfluss ϕ_s und das elektromagnetische Moment C_{em} der genannten Maschine und als übergeordnete Regelgröße das elektromagnetische Moment C_{em} gewählt werden.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass zum Berechnen der Regelgrößen ϕ_s und C_{em} die Leitungsströme I_1, I_2, I_3 und die Ständerspannungen, geschätzt oder gemessen, V_1, V_2, V_3 am Ausgang des Wechselrichters (1) gemessen werden.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Ableitungen $\dot{\phi}_s$ und \dot{C}_{em} von Regelgrößen ϕ_s und C_{em} auf der Basis der folgenden Formeln berechnet werden:

$$\dot{\phi}_s = \frac{d\phi_s}{dt} = \frac{2}{3\phi_s} (\phi_{s\alpha} V_{s\alpha} + \phi_{s\beta} V_{s\beta} - R_s (\phi_{s\alpha} I_{s\alpha} + \phi_{s\beta} I_{s\beta}))$$

$$\text{und } \dot{C}_{em} = \frac{dC_{em}}{dt} = P(V_{s\alpha} K_{s\beta} - V_{s\beta} K_{s\alpha} - kl)$$

wobei:

$$K_{s\alpha} = I_{s\alpha} - \frac{\phi_{s\alpha}}{\sigma L_s}; K_{s\beta} = I_{s\beta} - \frac{\phi_{s\beta}}{\sigma L_s}$$

$$kl = \frac{R_s'}{\sigma L_s P} C_{em} + \frac{3\omega}{2\sigma L_s} \phi_s^2 - \omega (\phi_{s\alpha} I_{s\alpha} + \phi_{s\beta} I_{s\beta})$$

$$R_s' = R_s + \frac{L_s}{L_r} R_r$$

wobei in den Formeln Folgendes gilt:

R_s = Ständerwiderstand

R_r = Läuferwiderstand

P = Anzahl Polpaare

σ = Streufaktor

L_s und L_r = zyklische Ständer- und Läuferinduktanzen

ω = elektrische Drehzahl der Maschine 2.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass Folgendes berechnet wird:

– die Variation der Ableitung des Momentes $\Delta \dot{C}_{em}$ zwischen den Konfigurationen des Wechselrichters (1) zu den Zeitpunkten $t(i)$ und $t(i)+T$ gemäß der folgenden Gleichung:

$$\Delta \dot{C}_{em} = \frac{P}{\sigma L_s} ((\sigma L_s I_{s\beta} - \phi_{s\beta}) \Delta V_{s\alpha} - (\sigma L_s I_{s\alpha} - \phi_{s\alpha}) \Delta V_{s\beta})$$

wobei $\Delta V_{s\alpha}$ und $\Delta V_{s\beta}$ Variationen der Ständerspannungen zwischen den Zeitpunkten $t(i)$ und $t(i)+T$ entsprechen,

– der Kommutationszeitpunkt $t(i)+t_{com}$ zwischen $t(i)$ und $t(i)+T$ des Wechselrichters (1) gemäß der folgenden Formel:

$$t_{com} = - \frac{(C_{em})_{ref} - C_{em}}{\Delta \dot{C}_{em}} + T \frac{\dot{C}_{em} + \Delta \dot{C}_{em}}{\Delta \dot{C}_{em}}$$

6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass:

– auf der Basis der Konfiguration des Wechselrichters (1) zum Zeitpunkt $t(i)$, der einer Lokalisierung Q_i der Ausgangsspannung in einer Phasenebene $\alpha\beta$ entspricht, die in sechs Winkelsektoren $\theta_1 \dots \theta_6$ unterteilt ist, die Gefälle der Regelwerte auf der Basis der Ableitungen $\dot{\phi}_s$ und \dot{C}_{em} berechnet werden,

– von dem Wert dieser Gefälle je nach dem, ob sie erhöht oder reduziert werden sollen, auf eine solche Weise

abgeleitet wird, dass der Abstand zwischen jeder Regelgröße und der entsprechenden Referenzgröße zum Zeitpunkt $t(i)+T$ minimiert wird,
 – der Punkt $PK = Q_i + 1$, der der Konfiguration des Wechselrichters (1) zum Zeitpunkt $t(i)+T$ entspricht, mit Hilfe der folgenden Wahrheitstabelle ermittelt wird:

Vorzeichen ($\Delta \dot{C}_{em}$)	+	-	+	-
Vorzeichen ($\Delta \dot{\phi}_s$)	+	+	-	-
$\theta(1)$	P2	P6	P3	P5
$\theta(2)$	P3	P1	P4	P6
$\theta(3)$	P4	P2	P5	P1
$\theta(4)$	P5	P3	P6	P2
$\theta(5)$	P6	P4	P1	P3
$\theta(6)$	P1	P5	P2	P4

7. Verfahren nach Anspruch 1 zum Steuern eines Unterbrechers (k) wie z.B. eines Transistors, in Verbindung mit einer Ladung RL wie z.B. einem Zwei-Pegel-Zerhacker, dadurch gekennzeichnet, dass zu jedem Abtastzeitpunkt $t(i)$:

– die Ableitungen der zu regelnden Größe I zu den Zeitpunkten $t(i)$ und $t(i)+T$ in Abhängigkeit vom Zustand des Unterbrechers (k) zum Zeitpunkt $t(i)$ gemäß den folgenden Formeln berechnet werden:

- wenn der Unterbrecher (k) zum Zeitpunkt $t(i)$ leitet

$$\dot{I}(t(i)) = \frac{E - V}{L} \quad \text{und} \quad \dot{I}(t(i) + T) = -\frac{V}{L}$$

- wenn der Unterbrecher (k) zum Zeitpunkt $t(i)$ sperrt:

$$\dot{I}(t(i)) = -\frac{V}{L} \quad \text{und} \quad \dot{I}(t(i) + T) = \frac{E - V}{L}$$

– und der Kommutationszeitpunkt $t(i)+t_{com}$ zwischen $t(i)$ und $t(i)+T$ der Zustandsänderung des Unterbrechers (k) gemäß den folgenden Formeln ermittelt wird:

- wenn der Unterbrecher (k) zum Zeitpunkt $t(i)$ leitet

$$t_{com} = \frac{I_{ref} - I(t(i))}{E/L} + T \frac{V}{E}$$

- wenn der Unterbrecher (k) zum Zeitpunkt $t(i)$ sperrt:

$$t_{com} = -\frac{I_{ref} - I(t(i))}{E/L} + T \frac{E - V}{E}$$

8. Vorrichtung zum Steuern eines statischen Wandlers (1) in Verbindung mit einer mehrphasigen Stromquelle (2) und einer Gleichspannungsquelle, wobei die genannte Vorrichtung dazu gedacht ist, eine elektrische und/oder magnetische und/oder mechanische Größe der Stromquelle (2) einzustellen, Regelgröße genannt, und die dadurch gekennzeichnet ist, dass sie Folgendes umfasst:

- einen Taktgeber (7) mit Periode T zum Erzeugen von Synchronisationszeiten $t(i)$,
- ein Rechenmodul (4) zum Berechnen zu jedem Zeitpunkt $t(i)$:
- auf der Basis von wenigstens einer gemessenen Größe, die für den Zustand der Stromquelle (2) repräsentativ

ist, wenigstens einer Regelgröße $c(t)$ und ihrer Ableitung $\dot{c}(t)$,

- auf der Basis jeder Regelgröße $c(t)$ und ihrer Ableitung $\dot{c}(t)$ und durch Vergleichen mit einer vorgewählten Referenzgröße, Ermitteln der Konfiguration des statischen Wandlers (1), um eine Minimierung des Abstands zwischen jeder Regelgröße und der entsprechenden Referenzgröße zum Zeitpunkt $t(i)+T$ zu erzielen,
- die Variation der Ableitung von einer der Regelgrößen, übergeordnet genannt, zwischen den Konfigurationen des jeweiligen statischen Wandlers zu den Zeitpunkten $t(i)$ und $t(i)+T$,
 - eine Recheneinheit (5) des Kommutationszeitpunkts $t(i)+t_{com}$ zwischen $t(i)$ und $t(i)+T$, damit der Abstand zum Zeitpunkt $t(i)+T$ zwischen dem übergeordneten Regelwert und dem assoziierten Referenzwert minimiert werden kann,
 - und eine Einheit (6) zum Steuern der Kommutation des statischen Wandlers zum Zeitpunkt $t(i)+t_{com}$.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8 zum Steuern eines Wechselrichters (1) mit N Pegeln, wobei $N \geq 2$ ist, in Verbindung mit einer asynchronen Drehstrommaschine (2), dadurch gekennzeichnet, dass das Rechenmodul (4) Folgendes umfasst:

- ein Modul (4a) zum Schätzen von zu regelnden Größen, das Moment C_{em} und den Fluss ϕ_s und deren Ableitungen \dot{C}_{em} und $\dot{\phi}_s$,
- einen Rechenblock (4b) zum Ermitteln der Konfiguration des Wechselrichters (1) zu einem Zeitpunkt $t(i)+T$ in Abhängigkeit von seiner Konfiguration zum Zeitpunkt $t(i)$ in Verbindung mit einer Wahrheitstabelle,
- und ein Modul (4c) zum Vorhersagen der Variation der Ableitung des Momentes $\Delta \dot{C}_{em}$ zwischen den Konfigurationen zu den Zeitpunkten $t(i)$ und $t(i)+T$.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Wahrheitstabelle in Verbindung mit dem Rechenblock (4b) wie folgt lautet:

Vorzeichen (\dot{C}_{em})	+	-	+	-
Vorzeichen ($\dot{\phi}_s$)	+	+	-	-
$\theta(1)$	P2	P6	P3	P5
$\theta(2)$	P3	P1	P4	P6
$\theta(3)$	P4	P2	P5	P1
$\theta(4)$	P5	P3	P6	P2
$\theta(5)$	P6	P4	P1	P3
$\theta(6)$	P1	P5	P2	P4

Es folgen 7 Blatt Zeichnungen

Fig 1

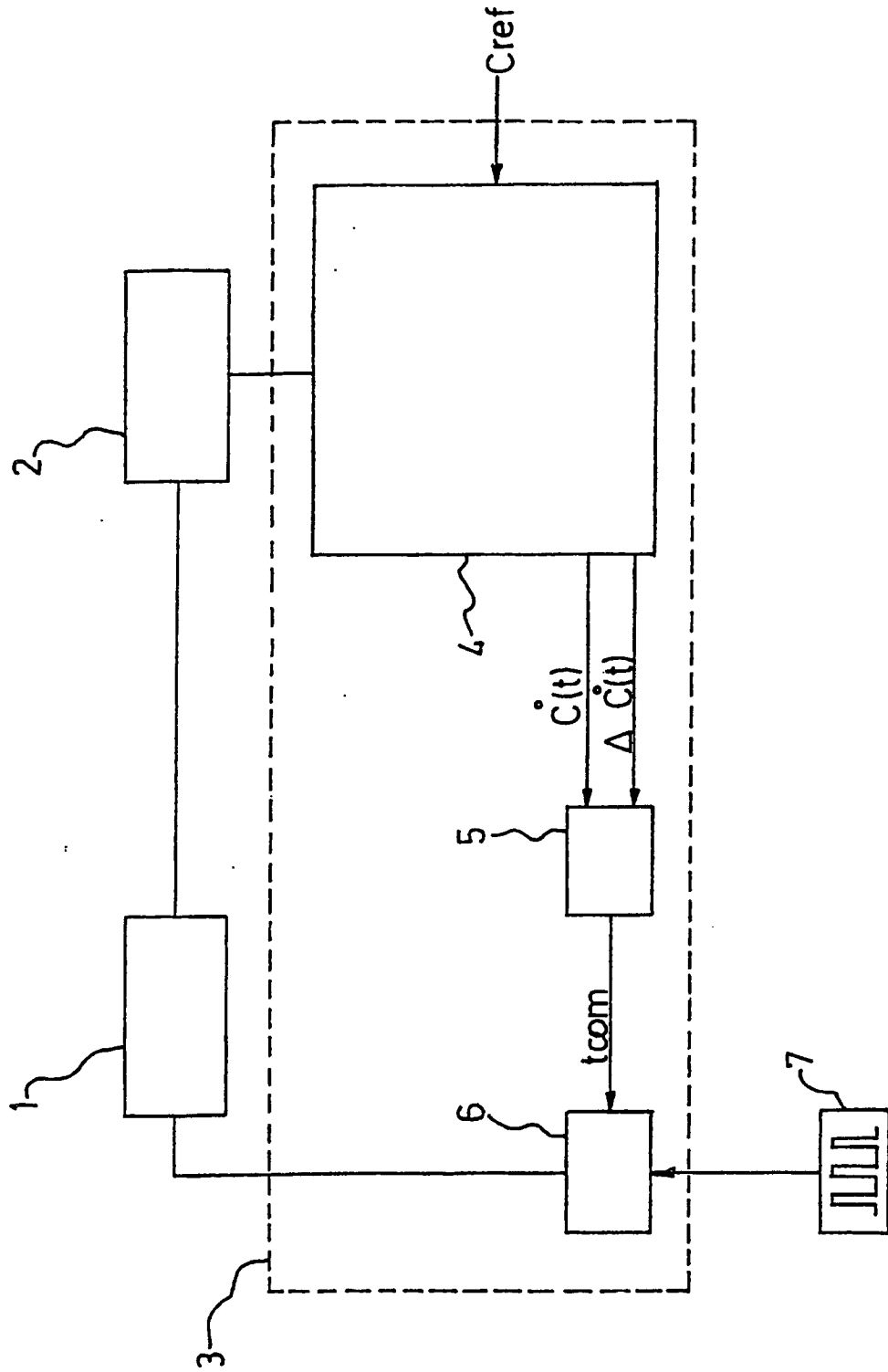


Fig 2a

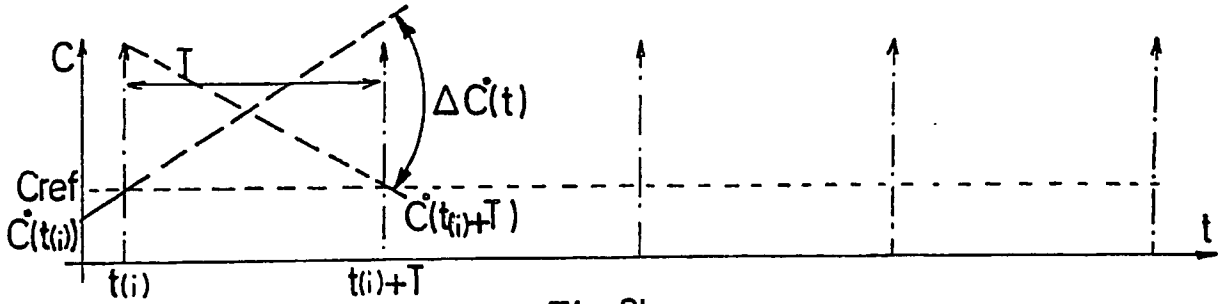


Fig 2b

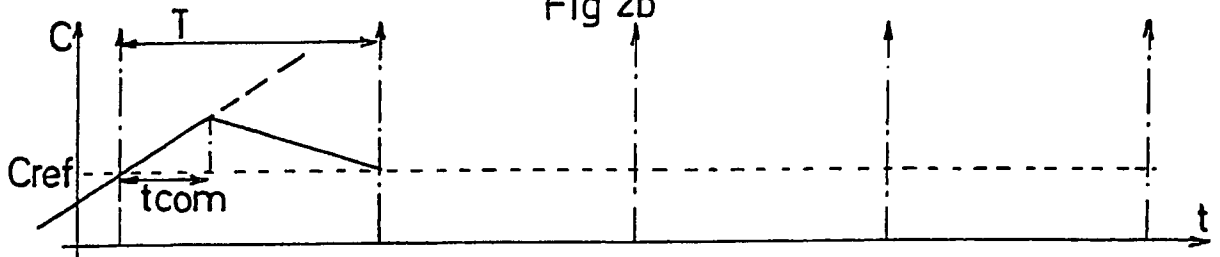


Fig 2c

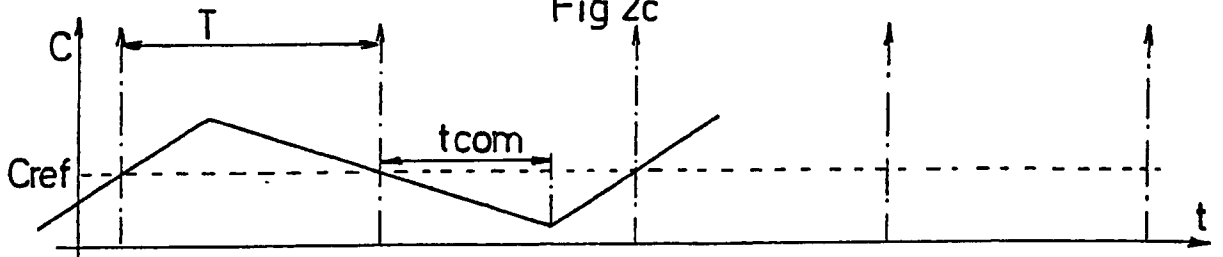


Fig 2d

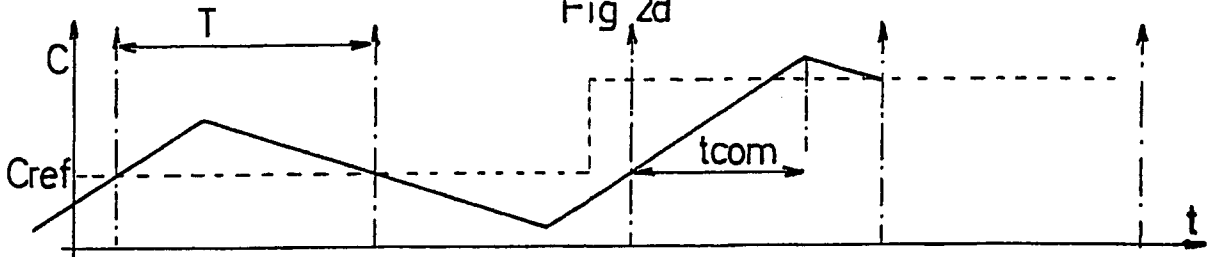


Fig 2e

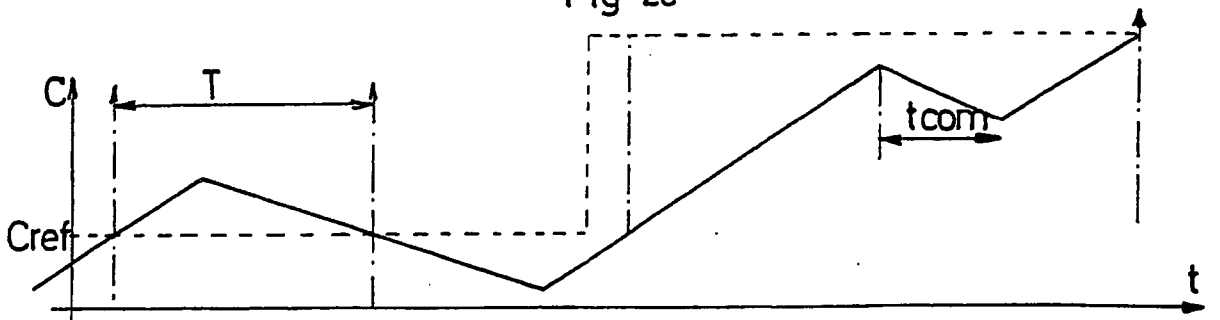


Fig 3

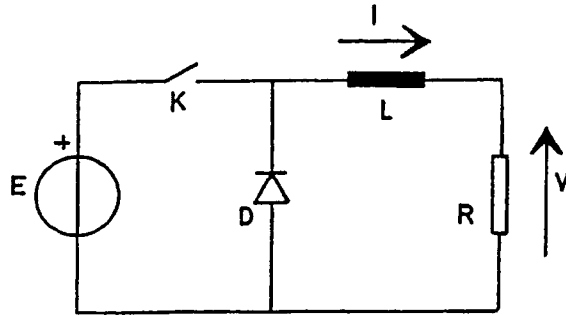


Fig 4

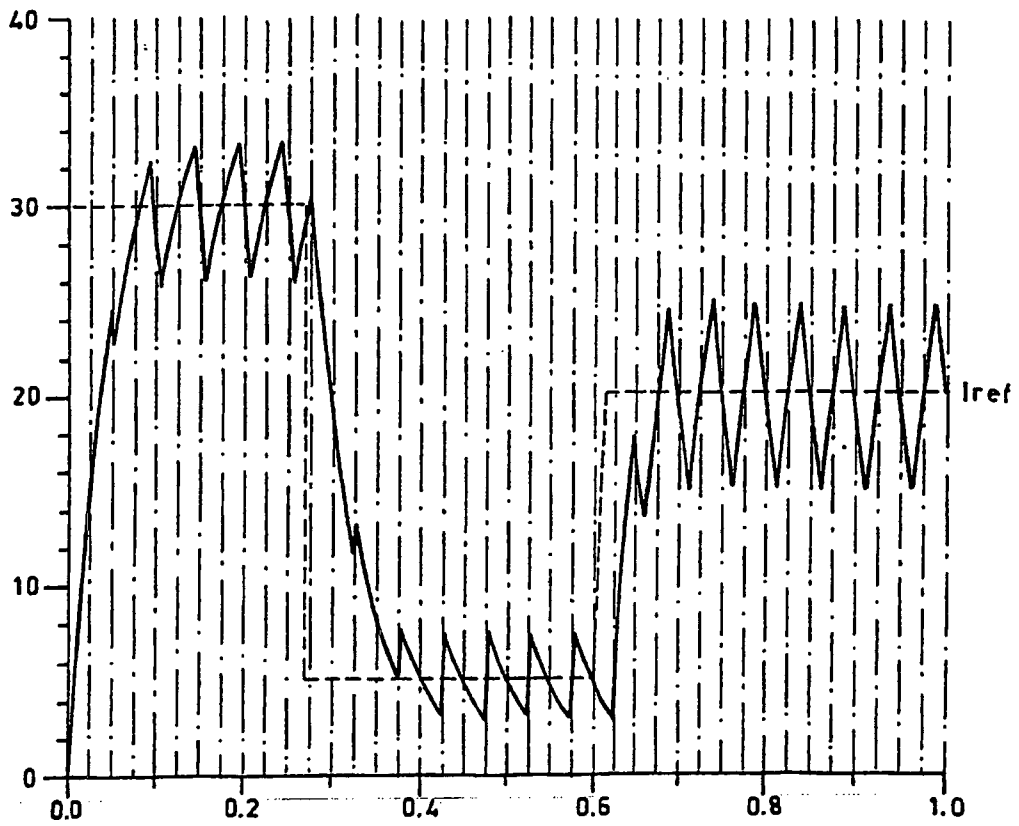


Fig 5

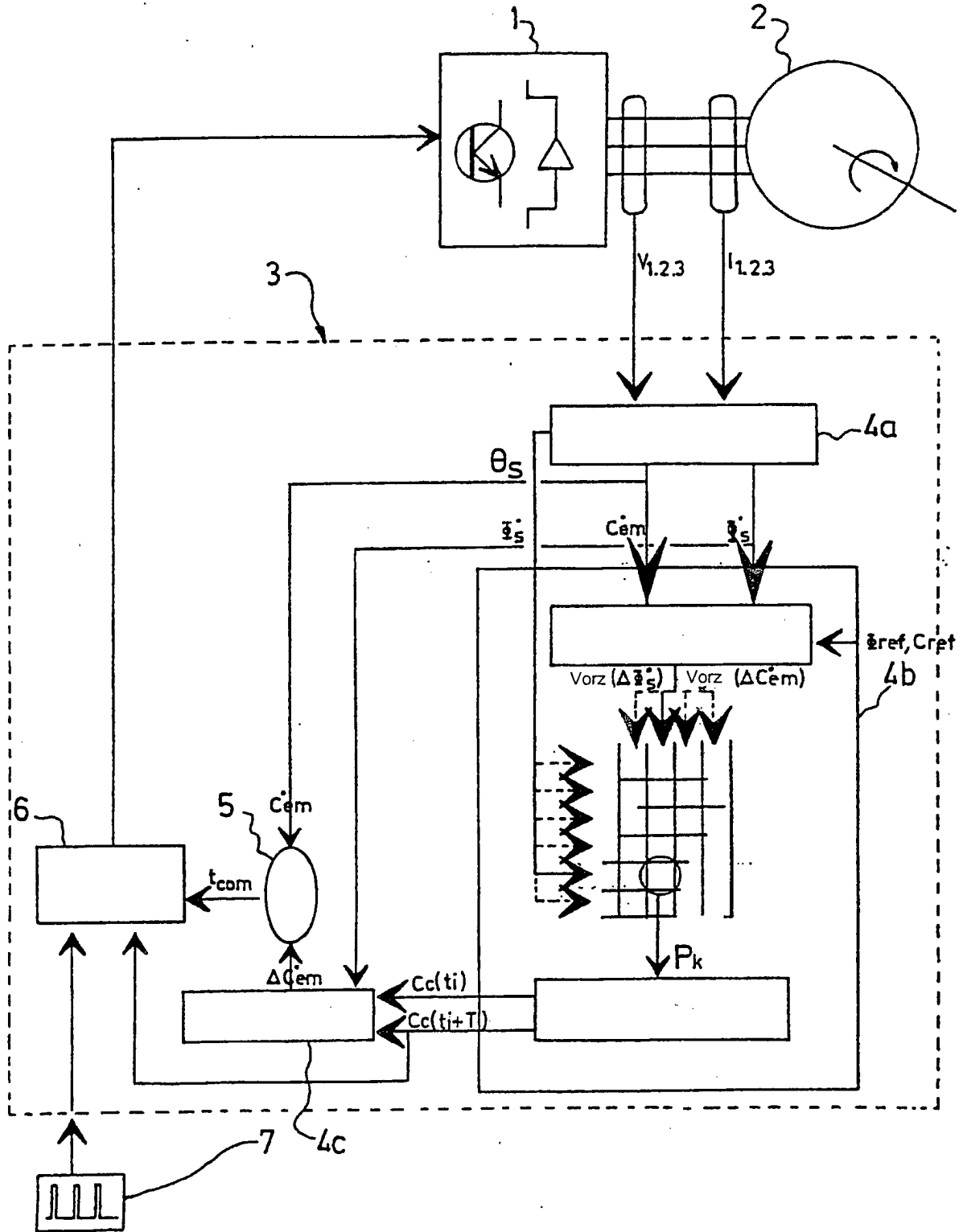


Fig 6

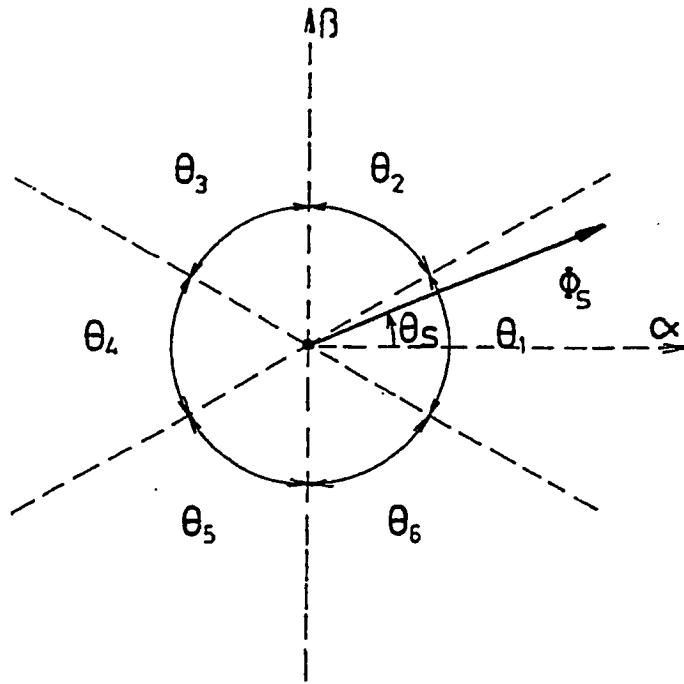


Fig 7a

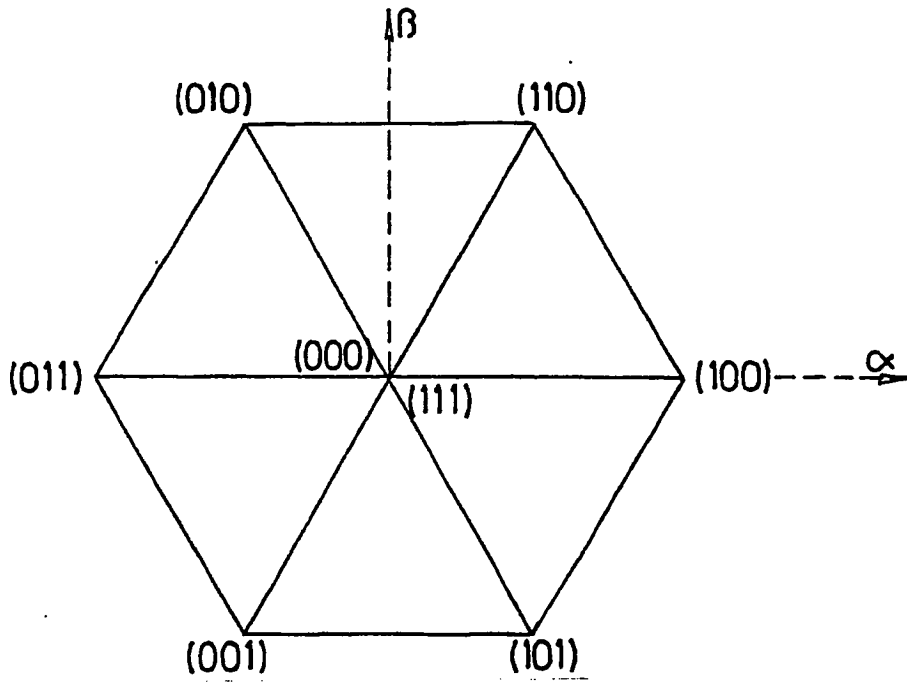


Fig 9

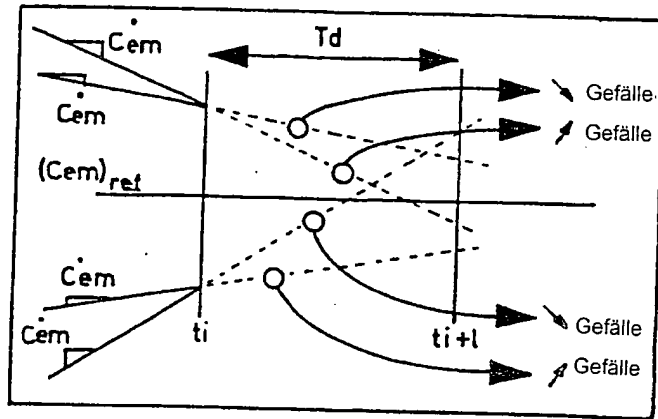


Fig 10

