

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
21. April 2011 (21.04.2011)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2011/045192 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
B60L 11/00 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2010/064709

(22) Internationales Anmeldedatum:
4. Oktober 2010 (04.10.2010)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2009 049 055.8
12. Oktober 2009 (12.10.2009) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **CONTINENTAL AUTOMOTIVE GMBH** [DE/DE]; Vahrenwalder Straße 9, 30165 Hannover (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **FRÖHLER, Manfred** [DE/DE]; Zum Mühlweiher 12, 93333 Mühlhausen (DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: **CONTINENTAL AUTOMOTIVE GMBH**; Postfach 22 16 39, 80506 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,

AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)

(54) Title: METHOD AND SYSTEM FOR ELECTRICALLY POWERING A VEHICLE

(54) Bezeichnung : VERFAHREN UND SYSTEM ZUM ELEKTROANTRIEB EINES FAHRZEUGES

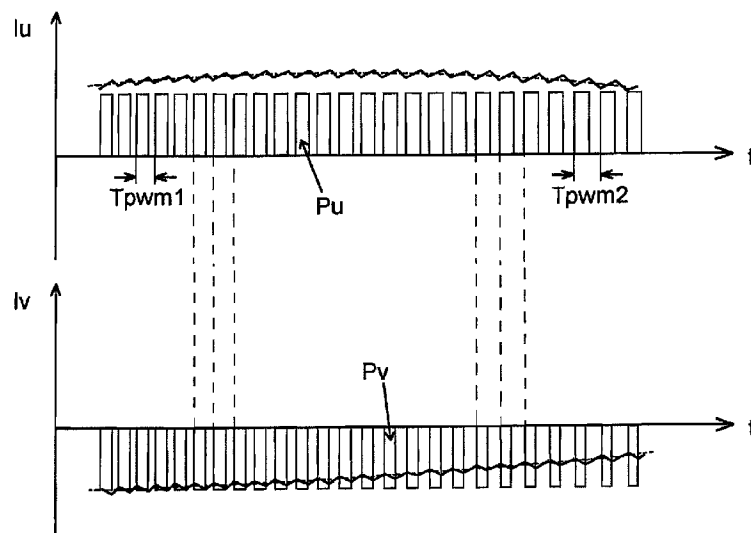


Fig. 4

(57) Abstract: The invention relates to the operation of a multiphase electric motor designated to be a vehicle drive, comprising the generation of PWM pulses for actuating circuit elements of an inverter for providing phase currents (I_u , I_v , I_w) for the electric motor, wherein a corresponding PWM pulse sequence (P_u , P_v , P_w) having a prescribed pulse frequency ($f_{pwm} = 1 / T_{pwm}$) is generated for each phase current (I_u , I_v , I_w). In order to reduce acoustic noise, according to the invention, the pulse frequency (f_{pwm}) of at least one of the PWM pulse sequences (P_u , P_v , P_w) is operationally varied in a continuous manner.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2011/045192 A2

Die Erfindung betrifft den Betrieb einer als Fahrzeugantrieb vorgesehenen mehrphasigen elektrischen Maschine, umfassend ein Erzeugen von PWM-Pulsen zur Ansteuerung von Schaltelementen eines Wechselrichters zur Bereitstellung von Phasenströmen (I_u , I_v , I_w) für die elektrische Maschine, wobei für jeden Phasenstrom (I_u , I_v , I_w) eine jeweilige PWM-Pulsfolge (P_u , P_v , P_w) mit einer vorgegebenen Pulsfrequenz ($f_{pwm} = 1 / T_{pwm}$) erzeugt wird. Zur Verminderung von akustischen Störgeräuschen wird erfindungsgemäß die Pulsfrequenz (f_{pwm}) wenigstens einer der PWM-Pulsfolgen (P_u , P_v , P_w) betriebsmäßig kontinuierlich variiert.

Beschreibung

Verfahren und System zum Elektroantrieb eines Fahrzeuges

- 5 Die vorliegende Erfindung betrifft Verfahren und Systeme zum Elektroantrieb von Fahrzeugen, und insbesondere ein Betriebsverfahren nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 sowie ein Elektroantriebssystem nach dem Oberbegriff des Anspruchs 8.
- 10 Ein derartiges Verfahren sowie ein derartiges System sind beispielsweise aus der DE 10 2008 052 923 A1 bekannt. Gemäß dieses Stands der Technik ist zum Antrieb eines Kraftfahrzeuges ein dreiphasiger Drehstrommotor vorgesehen. Ein von einer elektrischen Fahrzeugbatterie versorgter Wechselrichter
- 15 stellt die drei zum Betrieb des Motors erforderlichen elektrischen Phasenströme bereit. Hierfür werden elektrische Schaltelemente des Wechselrichters durch pulsweitenmodulierte Pulse, kurz "PWM-Pulse" angesteuert, wobei die für die Phasenströme vorgesehenen PWM-Pulsfolge mit einer als "Schaltfrequenz des Wechselrichters" vorgegebenen Pulsfrequenz erzeugt werden.
- 20

Bei der konkreten Wahl der Pulsfrequenz des Wechselrichters ergibt sich in der Praxis folgender Zielkonflikt:

25

- Einerseits ist es von Vorteil, wenn die Pulsfrequenz möglichst groß gewählt wird, damit ein gewünschter (idealer) zeitlicher Phasenstromverlauf möglichst gut durch den tatsächlich vom Wechselrichter bereitgestellten Phasenstromverlauf angenähert werden kann. Wenn z. B. ein sinusförmiger Phasenstromverlauf bei einem mehrphasigen Drehstrommotor bei maximaler Motordrehzahl mit einer Phasenstromfrequenz von etwa 100 bis 200 Hz bereitgestellt werden soll, so erfordert dies eine PWM-Pulsfrequenz, die deutlich über der genannten
- 30

Phasenstromfrequenz liegt. Aus praktischer Sicht, etwa zur Vermeidung von im Antriebsstrang störend wirkenden Oberwellenanteilen des Motordrehmomentes, sollte die PWM-Pulsfrequenz sogar um einige Größenordnungen größer als die Phasenstromfrequenz sein. Das Verhältnis zwischen der Pulsfrequenz (der PWM-Pulsfolge) und der Phasenstromfrequenz wird oftmals als Impulsverhältnis bezeichnet. Bei typischen Motorsteuerungen wird beispielsweise ein Impulsverhältnis von etwa 10^1 bis 10^3 vorgesehen. Im vorstehend genannten Beispiel bringt dies eine Pulsfrequenz mit sich, die bereits im kHz-Bereich liegt (je größer, desto besser).

Andererseits sollte die Pulsfrequenz möglichst klein sein, um nämlich die mit jedem Schaltvorgang des Wechselrichters zwangsläufig verbundenen elektrischen Schaltverluste zu minimieren. Dieser Aspekt besitzt eine große Bedeutung für die Energieeffizienz des betreffenden Elektroantriebssystems.

Bei dem oben erwähnten bekannten Elektroantriebssystem wird, gewissermaßen als Kompromiss, ein Wert der Pulsfrequenz von 8 kHz vorgeschlagen, wobei in einer ganz bestimmten Betriebssituation, nämlich bei über einem vorbestimmten Drehmomentniveau liegenden Antriebsdrehmoment, der Wechselrichter auf eine demgegenüber abgesenkte Pulsfrequenz eingestellt wird. Damit wird hinsichtlich der Energieeffizienz vorteilhaft die Wahl der Pulsfrequenz in Abhängigkeit von der momentanen Motorbetriebssituation vorgenommen.

Auch bei dem bekannten Elektroantriebssystem verbleibt jedoch ein gravierender Nachteil, der darin besteht, dass die Pulsfrequenz stets im akustisch hörbaren Bereich liegt, was sich in der Praxis (z. B. bei so genannten Hybridfahrzeugen oder reinen Elektrofahrzeugen für den Straßenverkehr) als störendes Summen oder Pfeifen bemerkbar macht.

Durch die mechanische Konstruktion des Fahrzeuges bedingte mechanische Resonanzen können diesen z. B. vom Fahrer als störend wahrgenommenen Effekt noch verstärken.

5

Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren und ein System der eingangs genannten Art hinsichtlich der Erzeugung von akustischen Störgeräuschen zu verbessern.

10 Diese Aufgabe wird gemäß der Erfindung durch ein Betriebsverfahren nach Anspruch 1 bzw. ein Elektroantriebssystem nach Anspruch 8 gelöst. Die abhängigen Ansprüche betreffen vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung.

15 Das erfindungsgemäße Betriebsverfahren ist dadurch gekennzeichnet, dass die Pulsfrequenz wenigstens einer der PWM-Pulsfolgen betriebsmäßig kontinuierlich variiert wird.

Anstatt einer starren Pulsfrequenz, die allenfalls in einer ganz bestimmten Motorbetriebssituation abgesenkt wird, ist bei der Erfindung eine betriebsmäßig kontinuierliche Variation der Pulsfrequenz zur Verringerung der akustischen Störungen vorgesehen. Durch die kontinuierliche Variation verteilt sich das akustische Störungsspektrum auf einen größeren Frequenzbereich, wodurch die entsprechenden akustischen Störungsamplituden entsprechend verringert werden. Die kontinuierliche Variation verringert darüber hinaus die Gefahr von mechanischen Resonanzen, da die "Anregungsfrequenz" ständig verändert wird. Das verbleibende Störgeräusch wird über einen größeren Frequenzbereich verteilt und insbesondere hinsichtlich der menschlich-akustischen Wahrnehmung deutlich reduziert.

20

25

30

Die Erfindung kann besonders vorteilhaft für Straßenfahrzeuge mit reinem Elektroantrieb oder auch Hybridantrieb (aus Brennkraftmaschine und elektrischer Maschine) eingesetzt werden, ist jedoch keineswegs auf diese Anwendungen eingeschränkt.

5

Der elektrische Antrieb kann eine oder mehrere elektrische Maschinen umfassen, von denen wenigstens eine, insbesondere sämtliche, in erfindungsgemäßer Weise angesteuert werden können.

10

Hinsichtlich der Gestaltung einer mehrphasigen elektrischen Maschine wie auch des hierfür verwendeten Wechselrichters kann vorteilhaft auf an sich bekannte Konzepte aus dem Stand der Technik zurückgegriffen werden. In dieser Hinsicht steht es dem Einsatz der Erfindung auch nicht entgegen, wenn die betreffende elektrische Maschine situationsbedingt auch als elektrischer Generator betreibbar ist, etwa zur regenerativen Energierückgewinnung beim Bremsen (allgemein: Verzögern) des Fahrzeuges.

20

Bei der elektrischen Maschine kann es sich insbesondere um einen mehrphasigen, insbesondere dreiphasigen Drehstrommotor bzw. Motor/Generator handeln.

25

Der Wechselrichter kann in einfacher Weise als eine entsprechend der Anzahl von Phasen mehrfach ausgebildete Brückenschaltung implementiert sein, wie z. B. in der oben genannten DE 10 2008 052 923 A1 dargestellt. Die Schaltelemente sind bevorzugt als Schalttransistoren, gegebenenfalls mit parallel geschalteten Freilaufdioden ausgebildet.

30

Jede der für die PWM-Pulsfolgen vorgesehenen Pulsfrequenzen kann einen zeitlichen Mittelwert z. B. im Bereich von 5 bis 15 kHz besitzen.

In einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Pulsfrequenz innerhalb eines beispielsweise fest vorgegebenen Frequenzbereiches variiert wird.

5

Die Obergrenze und/oder die Untergrenze dieses Frequenzbereiches weicht bevorzugt um maximal 20 %, insbesondere maximal 10 % von der zeitlich gemittelten Pulsfrequenz ab. In einer speziellen Ausführungsform werden die Obergrenze und/oder die
10 Untergrenze nicht fest sondern in Abhängigkeit von einem momentanen Motorbetriebszustand (z. B. Drehzahl, Drehmoment etc.) vorgegeben.

In einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Pulsfrequenz
15 periodisch variiert wird.

Hierbei ist bevorzugt, dass die Periode der Pulsfrequenzvariation kleiner als 100 ms, insbesondere kleiner als 50 ms ist, und/oder dass die Frequenz der Pulsfrequenzvariation
20 kleiner als 1/10, insbesondere kleiner als 1/100 der zeitlich gemittelten Pulsfrequenz ist.

In einer speziellen Ausführungsvariante der periodischen Pulsfrequenzvariation ist vorgesehen, dass der Wert der Pulsfrequenz sinusförmig (im zeitlichen Verlauf) variiert wird.
25 Gemäß einer anderen speziellen Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Pulsfrequenz dreieckförmig variiert wird. Allgemein ist es bevorzugt, dass der periodische Pulsfrequenzverlauf symmetrisch ist, also identische "positive und negative
30 Halbwellen" besitzt, wie dies z. B. für eine sinusförmige oder eine symmetrische (nicht sägezahnförmige) Dreiecksform der Fall ist.

Alternativ oder zusätzlich zu einer periodischen Pulsfrequenzvariation kommt in Betracht, dass die Pulsfrequenz in zufälliger Weise variiert wird.

5 Beispielsweise kann hierzu vorgesehen sein, dass die Pulsfrequenz gemäß einer so genannten "random walk"-Methode unter der Randbedingung einer vorgegebenen Maximalpulsfrequenz (Obergrenze) und einer vorgegebenen Minimalpulsfrequenz (Untergrenze) verändert wird. In einer Ausführungsvariante dieser "random walk"-Methode wird die Pulsfrequenz (oder gleichbedeutend: der zeitliche Pulsabstand) nach jedem n-ten Puls in zufälliger Weise verändert, z. B. um ein bestimmtes Frequenzinkrement oder Frequenzdekrement, wobei n eine kleine natürliche Zahl bezeichnet (z. B. n im Bereich von 1 bis 4; 10 entweder fest vorgegeben, oder von Veränderung zu Veränderung ebenfalls zufällig gewählt). Das bei jeder Veränderung der Pulsfrequenz vorgesehene Inkrement bzw. Dekrement kann ebenfalls zufällig, jedoch bevorzugt in einem fest vorgegebenen Bereich liegend gewählt werden. 15

20

In einer Weiterbildung der "random walk"-Methode mit vorgegebenen Ober- und Untergrenzen der Pulsfrequenz ist vorgesehen, dass bei Erreichen der Obergrenze für den weiteren Verlauf der zufälligen Veränderung die Wahrscheinlichkeit für ein 25 Dekrement höher als die Wahrscheinlichkeit für ein Inkrement vorgesehen wird, und bei Erreichen der Untergrenze diese beiden Wahrscheinlichkeiten vertauscht werden, d. h. für ein Inkrement eine höhere Wahrscheinlichkeit als für ein Dekrement vorgesehen wird. Ein derart "vorbelasteter" Zufall führt im 30 Ergebnis zu einer ähnlichen Pulsfrequenzvariation wie eine streng periodisch vorgesehene Pulsfrequenzvariation, involviert jedoch ein zusätzliches Zufallselement. Die vorbelasteten Wahrscheinlichkeiten und die zugehörigen Inkrement- bzw. Dekrementwerte können hierbei z. B. so gewählt werden, dass

der statistische Erwartungswert einer "Frequenz" der Pulsfrequenzvariation die oben für eine periodische Pulsfrequenzvariation erläuterten Kriterien erfüllt.

5 Wenn die "random walk"-Methode in Echtzeit, d. h. während des zu steuernden Betriebs der elektrischen Maschine durchgeführt wird, so erfordert dies einen mehr oder weniger großen Rechenaufwand (einschließlich der Erzeugung von Zufallszahlen). Es müssen Berechnungen innerhalb jeweils relativ kurzer Zeitspannen durchgeführt werden - je nach gewählter (zeitlich gemittelter) Pulsfrequenz. Dieser Aufwand kann z. B. dann gerechtfertigt sein, wenn einer oder mehrere Parameter des "random walk" (Wahrscheinlichkeiten, Inkremente, Dekremente, Pulsfrequenzgrenzen) von einem oder mehreren nur in Echtzeit
10 erhältlichen Betriebsparametern der elektrischen Maschine (z. B. momentane Drehzahl etc.) oder des betreffenden Fahrzeuges (z. B. momentane Fahrzeitgeschwindigkeit etc.) abhängig sein sollen.

20 Insbesondere für den Fall, dass keine derartige Abhängigkeit vorgesehen sein soll, so ist eine Ausführungsvariante der "random walk"-Methode bevorzugt, bei welcher die in zufälliger Weise variierte Pulsfrequenz nicht in Echtzeit berechnet wird, sondern bereits vorab berechnet (oder in anderer Weise
25 festgelegt) und in einer Speichereinrichtung abgespeichert wurde. Die in Echtzeit durchzuführende Pulsfrequenzvariation kann dann sehr einfach auf Basis von Informationen erfolgen, die aus der betreffenden Speichereinrichtung ausgelesen werden (z. B. Speichereinrichtung in einem elektronischen Steuergerät). Eine vorab gespeicherte "Zufallsfolge" kann allerdings nur eine endliche Länge besitzen. In diesem Fall kann
30 jedoch eine solche Folge in der Praxis wiederholt abgerufen werden, um eine länger andauernde Pulsfrequenzvariation zu realisieren.

Auch eine "Mischform" einer Echtzeitberechnung und einer zuvor durchgeführten Berechnung ist denkbar. Beispielsweise können Folgen von Zufallszahlen zur Verwendung bei der Bestimmung von Wahrscheinlichkeiten und/oder Inkrementen und Dekrementen vorab festgelegt und gespeichert sein, um die Echtzeitberechnung in Teilen zu vereinfachen. In einer anderen Variante ist vorgesehen, dass mehrere verschiedene Pulsfrequenzvariationen vorab festgelegt und abgespeichert wurden (die sich z. B. hinsichtlich ihrer Pulsfrequenzobergrenze und/oder Pulsfrequenzuntergrenze voneinander unterscheiden), wobei in Echtzeit dann lediglich noch bestimmt wird, auf welche der abgespeicherten Pulsfrequenzvariationen zurückzugreifen ist (z. B. in Abhängigkeit von momentanen Betriebsparametern).

Die Besonderheit der Erfindung besteht darin, dass die Frequenz wenigstens einer der PWM-Pulsfolgen betriebsmäßig kontinuierlich variiert wird, mit welcher die betreffende(n) PWM-Pulsfolge(n) erzeugt wird (werden). Die "Pulsfrequenz" kann z. B. durch die zeitlichen Positionen der Anstiegsflanken der PWM-Pulse definiert sein. Abweichend davon könnte die Pulsfrequenz auch durch eine andere, jedem Puls immanente zeitliche Position definiert sein, also z. B. durch die zeitlichen Positionen der Abfallflanken, oder z. B. durch die zeitlichen Positionen Pulsmitten.

In einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass gleichzeitig die Pulsfrequenzen von wenigstens zwei der PWM-Pulsfolgen in gleicher Weise variiert werden, um die Pulse dieser PWM-Pulsfolgen zueinander zu synchronisieren. Insbesondere kann in dieser Weise gleichzeitig die Pulsfrequenz sämtlicher PWM-Pulsfolgen (also z. B. der drei PWM-Pulsfolgen

bei einem dreiphasigen Drehstrommotor) zur Synchronisation sämtlicher PWM-Pulsfolgen variiert werden.

Eine solche, für zwei oder mehr PWM-Pulsfolgen gemeinsame Pulsfrequenz kann z. B. die zeitlichen Positionen der Anstiegsflanken der PWM-Pulse definieren, so dass diese Anstiegsflanken für alle PWM-Pulsfolgen auf einem gemeinsamen "zeitlichen Raster" liegen. Eine derartige Synchronisation der PWM-Pulsfolgen untereinander besitzt Vorteile hinsichtlich der Belastung der Antriebsenergiequelle (z. B. Traktionsbatterie bzw. Zwischenkreiskondensator) und vergleichmäßig tendenziell den zeitlichen Drehmomentverlauf der elektrischen Maschine. Außerdem vereinfacht eine derartige Synchronisation unter Umständen den Aufwand zur Erzeugung der Pulsfolgen (z. B. mittels eines Mikrocontrollers).

Das Elektroantriebssystem gemäß der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass die zum Erzeugen der PWM-Pulse vorgesehene Steuereinrichtung dazu ausgebildet ist, die Pulsfrequenz wenigstens einer der PWM-Pulsfolgen betriebsmäßig kontinuierlich zu variieren.

Hinsichtlich der Art und Weise dieser Pulsfrequenzvariation kann auf alle oben bereits beschriebenen Besonderheiten und Ausführungen, einzeln oder Kombination, zurückgegriffen werden.

In einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Steuereinrichtung die Erzeugung der PWM-Pulsfolgen und die Pulsfrequenzvariation in programmgesteuerter Weise durchführt. Hierzu kann die Steuereinrichtung z. B. als ein prozessorgesteuertes elektronisches Steuergerät enthaltend einen Mikrocontroller oder als eine Funktionalität eines derartigen Steuergerätes ausgebildet sein.

Die Erzeugung der PWM-Pulsfolgen, also insbesondere die eigentliche Pulsweitenmodulation, wie auch die erfindungsgemäß vorgesehene Pulsfrequenzvariation (gleichbedeutend: Pulsabstandsvariation) können vorteilhaft durch einen gemeinsamen Software-Algorithmus durchgeführt werden, welcher als Eingangsgroßen sensorisch ermittelte Maschinenbetriebsparameter (insbesondere Momentanwerte der Phasenströme und/oder Phasenspannungen) und Bedienungsparameter (insbesondere z. B. Fahrpedalstellung etc.) erhält, um daraus Ausgangsgroßen zu erzeugen, welche insbesondere Steuersignale zur Generierung der PWM-Pulsfolgen oder die PWM-Pulsfolgen selbst beinhalten.

Alternativ oder zusätzlich zur vorstehend beschriebenen Erzeugung der PWM-Pulsfolgen und der Pulsfrequenzvariation in programmgesteuerter Weise kann auch vorgesehen sein, dass diese Pulsfolgenerzeugung und/oder Pulsfrequenzvariation mittels einer "festverdrahteten Logik" (oder auch "programmierbaren Logik") realisiert wird. Damit kann z. B. die Belastung eines Prozessors in einem programmgesteuerten Steuergerät vorteilhaft verringert werden.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen mit Bezug auf die beigefügten Zeichnungen weiter beschrieben. Es stellen dar:

Fig. 1 ein Blockdiagramm eines Elektroantriebsystems für ein Hybridfahrzeug,

30 Fig. 2 ein detaillierteres Blockschaltbild einiger Komponenten des Elektroantriebsystems von Fig. 1,

- Fig. 3 eine Zeitverlaufsdarstellung zur Veranschaulichung einer herkömmlichen Bereitstellung eines Phasenstromes durch einen Wechselrichter,
- 5 Fig. 4 eine Zeitverlaufsdarstellung zur Veranschaulichung einer erfindungsgemäßen Ansteuerung des Wechselrichters,
- Fig. 5 eine Auftragung der Pulsfrequenz in Abhängigkeit von der Zeit, gemäß einer ersten Ausführungsvariante,
- 10 Fig. 6 eine Auftragung der Pulsfrequenz in Abhängigkeit von der Zeit, gemäß einer zweiten Ausführungsvariante, und
- Fig. 7 eine Auftragung der Pulsfrequenz in Abhängigkeit von der Zeit, gemäß einer dritten Ausführungsvariante.
- 20 Fig. 1 veranschaulicht ein Elektroantriebsystem 10, umfassend einen Elektromotor 12, einen von einer elektrischen Traktionsbatterie 14 versorgten Wechselrichter ("Inverter") 16 und eine Steuereinrichtung 18 zur Ansteuerung des Wechselrichters 16.
- 25

Das Elektroantriebsystem 10 ist in diesem Beispiel in ein Antriebssystem eines Hybridfahrzeuges eingebunden, bei welchem zum Fahrzeugantrieb neben dem Elektromotor 12 auch noch

30 eine Brennkraftmaschine 20, z. B. ein Ottomotor oder Dieselmotor, in einem Antriebsstrang des betreffenden Fahrzeugs vorgesehen ist (so genannter Parallelhybrid).

In an sich bekannter Weise, auf die hier nicht näher eingegangen werden soll, kann der Fahrzeugantrieb gemäß verschiedener Betriebsmodi erfolgen, in denen ein Radsatz 22 (z. B. Vorderräder oder Hinterräder eines Kraftfahrzeuges) entweder
5 durch die Brennkraftmaschine 20 oder durch den Elektromotor 12 oder durch beide Antriebsquellen kombiniert angetrieben wird. Beim Verzögern des Fahrzeuges, z. B. beim aktiven Bremsen, kann eine regenerative Energierückgewinnung vorgesehen sein, bei welcher der Elektromotor 12 als elektrischer Gene-
10 rator betrieben wird, um kinetische Energie des Fahrzeuges in elektrische Energie zurückzuwandeln und in die Traktionsbatterie 14 einzuspeichern. Hinsichtlich der vielfältigen Möglichkeiten betreffend die Anordnung der Antriebsquellen und deren Kopplung (z. B. über steuerbare Kupplungen, Getriebe
15 etc.), sowie die Ansteuerung der genannten Betriebsmodi, sei auf den diesbezüglichen Stand der Technik verwiesen.

Für die vorliegende Erfindung wesentlich ist die Art und Weise des durch Ansteuerung des Wechselrichters 16 realisierten
20 Betriebs des Elektromotors 12. Auf diese Ansteuerung wird daher nachfolgend näher eingegangen.

Die Steuereinrichtung 18 erhält Bedienbefehle c und steuert auf dieser Basis unter Berücksichtigung von sensorisch er-
25 fassten Betriebsparametern p des Hybridantriebssystems insbesondere den Wechselrichter 16 und gegebenenfalls z. B. auch die Brennkraftmaschine 20.

Die Bedienbefehle c können z. B. eine Fahrpedalstellung beinhalten, welche repräsentativ für Beschleunigungs- bzw. Verzögerungswünsche des Fahrers ist.
30

Die sensorisch ermittelten Betriebsparameter p beinhalten insbesondere die mit Bezug auf die Fig. 2 noch beschriebenen

elektrischen Kenngrößen, welche im Bereich des Elektromotors 12 und/oder des Wechselrichters 16 durch entsprechende Sensoreinrichtungen erfasst werden.

5 Fig. 2 zeigt detaillierter den Aufbau des Elektroantriebssystems 10 gemäß eines Ausführungsbeispiels.

In diesem Beispiel ist der Elektromotor 12 als dreiphasiger Drehstrommotor ausgebildet und über eine Leitungsanordnung 24
10 mit dem Wechselrichter 16 verbunden. Im Betrieb des Motors 12 führt die Leitungsanordnung 24 (positive oder negative) Phasenströme I_u , I_v und I_w .

Der zur Bereitstellung dieser Phasenströme I_u , I_v und I_w vorgesehene Wechselrichter 16 enthält eine dreifach ausgebildete
15 Brückenschaltung aus Schalttransistoren T1 bis T6. Diese Brückenschaltung wird über einen so genannten Zwischenkreiskondensator C1 aus der Batteriespannung U der Traktionsbatterie 14 versorgt.

20

Durch eine vom Prinzip her bekannte PWM (Pulsweitenmodulation)-Ansteuerung der Schalttransistoren T1 bis T6 können gewünschte zeitliche Verläufe der Phasenströme I_u , I_v und I_w angenähert werden. Dies geschieht durch entsprechend ge-
25 steuertes Einschalten und Ausschalten der Schalttransistoren T1 bis T6, deren Steuereingängen (hier z. B. Gate-Anschlüssen) für jeden der Phasenströme eine entsprechende PWM-Pulsfolge P_u , P_v bzw. P_w zugeführt wird.

30 Die Steuereinrichtung 18 erzeugt die PWM-Pulsfolgen P_u , P_v , P_w in programmgesteuerter Weise mittels eines Mikrocontrollers 26, in welchem ein entsprechendes Steuerprogramm (Algorithmus) abläuft.

Der Mikrocontroller 26 ist mit einem Schnittstellenbaustein 28 verbunden, der wiederum mit dem Wechselrichter 16 verbunden ist.

5 Wie in der Figur dargestellt, werden im Bereich des Wechselrichters 16 Messungen der Zwischenkreisspannung sowie der Phasenströme und/oder Phasenspannungen mittels einer Messeinrichtung 30 des Schnittstellenbausteins 28 durchgeführt und an den Mikrocontroller 26 kommuniziert.

10

Unter Berücksichtigung dieser Betriebsparameter p und auf Basis der ebenfalls zugeführten Bedienbefehle c des Fahrzeugbenutzers errechnet der Mikrocontroller 26 zum Motorbetrieb geeignete Pulsfolgen P_u , P_v , P_w und gibt diese über eine Treibereinrichtung 32 des Schnittstellenbausteins 28 an den Wechselrichter 16 aus.

Fig. 3 veranschaulicht am Beispiel eines angenommen idealerweise zeitlich sinusförmigen Phasenstromes I_u (gestrichelt eingezeichnet) das herkömmliche Prinzip der Annäherung dieses Idealverlaufes durch eine die Schalttransistoren T1 und T2 ansteuernde PWM-Pulsfolge P_u (In Fig. 3 bezeichnet t die Zeit).

20 Die zeitlich aufeinanderfolgenden einzelnen Pulse der Pulsfolge P_u werden mit einer fest vorgegebenen Pulsfrequenz f_{pwm} , entsprechend dem Reziproken eines fest vorgegebenen Pulsabstandes T_{pwm} , erzeugt ($f_{pwm} = 1 / T_{pwm}$). Zur Annäherung des ideal sinusförmigen Stromverlaufes werden die Pulsweiten
30 geeignet moduliert.

Die durchgezogene Linie in Fig. stellt den sich ergebenden tatsächlichen Phasenstromverlauf I_u dar. Dieser resultiert aus der Art und Anordnung der Pulse und den (typischerweise

induktiven) elektrischen Eigenschaften der betreffenden elektrischen Maschine.

In Fig. 3 ist der Übersichtlichkeit der Darstellung halber ein sehr großer Pulsabstand T_{pwm} (gemessen an der Periode der Sinusform des Stromes) dargestellt. In der Praxis beträgt eine typische Pulsfrequenz etwa 10 kHz, entsprechend einem Pulsabstand T_{pwm} von etwa 0,1 ms. Die Frequenz des Stromes liegt typischerweise in der Größenordnung von etwa 100 Hz, so dass jede Periode der Sinusform tatsächlich durch etwa 100 Pulse, also wesentlich mehr als in Fig. 3 dargestellt, gebildet wird.

Die zeitlich äquidistant aufeinander folgenden Anstiegsflanken der Pulsfolge P_u bedingen im erzeugten Phasenstrom I_u die "unteren Zacken" des dargestellten tatsächlichen Stromverlaufes. Diese abrupten Stromveränderungen führen in der Praxis zu akustischen Störungen enthaltend insbesondere z. B. ein Summen oder Pfeifen auf der gewählten Pulsfrequenz (z. B. 10 kHz).

Zur Vermeidung solcher Störungen ist die Steuereinrichtung 18 (Fig. 2) gemäß der Erfindung dazu ausgebildet, die Pulsfrequenz f_{pwm} wenigstens einer der PWM-Pulsfolgen P_u , P_w , P_v betriebsmäßig kontinuierlich zu variieren. Eine solche Variation der Pulsfrequenz ist beispielhaft in Fig. 4 veranschaulicht.

Fig. 4 zeigt im oberen Teil die Annäherung eines wieder gestrichelt eingezeichneten Idealverlaufes durch den wieder durchgezogen eingezeichneten tatsächlichen Phasenstrom I_u . Der untere Teil von Fig. 4 ist eine entsprechende Darstellung für einen weiteren, hier den Phasenstrom I_v .

Wie aus Fig. 4 ersichtlich wird im dargestellten Bereich der Zeit t die Pulsfrequenz f_{pwm} kontinuierlich verringert (gleichbedeutend: der Pulsabstand T_{pwm} kontinuierlich vergrößert). So erkennt man einen zunächst relativ kleinen Pulsabstand (siehe z. B. T_{pwm1}), der sich nach rechts hin mehr und mehr vergrößert (siehe z. B. T_{pwm2}). Im dargestellten Beispiel wird der Pulsabstand T_{pwm} sogar von Puls zu Puls vergrößert. Im dargestellten Beispiel erfolgt ein lineares Inkrementieren des Pulsabstandes T_{pwm} .

10

In einem späteren, in Fig. 4 jedoch nicht mehr dargestellten Bereich der Zeit t wird die Pulsfrequenz f_{pwm} wieder erhöht (dementsprechend der Pulsabstand T_{pwm} wieder verringert).

15 Durch die betriebsmäßig kontinuierlich erfolgende Variation der Pulsfrequenz f_{pwm} werden vorteilhaft die akustischen Störungen verringert.

Im dargestellten Beispiel wird gleichzeitig die Pulsfrequenz beider PWM-Pulsfolgen P_u und P_v in gleicher Weise derart variiert, dass die Pulse dieser Pulsfolgen P_u , P_v zueinander synchronisiert sind (vgl. gestrichelt eingezeichnete vertikale Linien an den Positionen der Anstiegsflanken).

25 Die Fig. 5, 6 und 7 veranschaulichen verschiedene Möglichkeiten bzw. Ausführungsformen der Pulsfrequenzvariation.

In den Fig. 5 und 6 ist beispielsweise jeweils eine periodische Variation der Pulsfrequenz f_{pwm} dargestellt (Periode der Variation: T_v). Die Variation ist in Fig. 5 sinusförmig und in Fig. 6 symmetrisch-dreieckförmig, wobei die Pulsfrequenz f_{pwm} jeweils innerhalb eines Frequenzbereiches variiert wird, der durch feste Ober- und Untergrenzen f_{max} und f_{min} vorgegeben ist.

30

In Fig. 7 erfolgt die Pulsfrequenzvariation ebenfalls innerhalb eines vorgegebenen Frequenzbereiches zwischen einer Obergrenze f_{\max} und einer Untergrenze f_{\min} , wobei die Variation jedoch nicht periodisch sondern in zufälliger Weise vorgesehen ist.

Bei allen oben beschriebenen Beispielen kann die Pulsfrequenzvariation zumindest teilweise auf vorab gespeicherten Informationen beruhen, um den in Echtzeit erforderlichen Berechnungsaufwand zu verringern bzw. im Wesentlichen ganz zu vermeiden. Sowohl periodische als auch nicht-periodische Pulsfrequenzvariationen können z. B. in Form von geeigneten Zahlenreihen oder Tabellen in einer elektronischen Speichereinrichtung vorab abgespeichert werden, wobei dann während des Betriebes der elektrischen Maschine lediglich noch die Art und Weise des Abrufes dieser Informationen zu bestimmen ist.

Alternativ zu einer festen Vorgabe könnten f_{\max} und/oder f_{\min} bei den oben beschriebenen Beispielen auch veränderlich vorgegeben sein, z. B. in Abhängigkeit von einem aktuellen Drehmoment und/oder einer aktuellen Drehzahl des Elektromotors

12.
25

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben einer als Fahrzeugantrieb vorgesehenen mehrphasigen elektrischen Maschine (12), umfassend ein Erzeugen von PWM-Pulsen zur Ansteuerung von Schaltelementen (T1 - T6) eines Wechselrichters (16) zur Bereitstellung von Phasenströmen (I_u , I_v , I_w) für die elektrische Maschine (12), wobei für jeden Phasenstrom (I_u , I_v , I_w) eine jeweilige PWM-Pulsfolge (P_u , P_v , P_w) mit einer vorgegebenen Pulsfrequenz (f_{pwm}) erzeugt wird, dadurch gekennzeichnet, dass die Pulsfrequenz (f_{pwm}) wenigstens einer der PWM-Pulsfolgen (P_u , P_v , P_w) betriebsmäßig kontinuierlich variiert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Pulsfrequenz (f_{pwm}) innerhalb eines vorgegebenen Frequenzbereiches variiert wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei eine Obergrenze (f_{max}) des Frequenzbereiches um maximal 20 %, insbesondere maximal 10 % von einer zeitlich gemittelten Pulsfrequenz abweicht.
4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, wobei eine Untergrenze (f_{min}) des Frequenzbereiches um maximal 20 %, insbesondere maximal 10 % von einer zeitlich gemittelten Pulsfrequenz abweicht.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Pulsfrequenz (f_{pwm}) periodisch variiert wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Pulsfrequenz (f_{pwm}) in zufälliger Weise variiert wird.

7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei gleichzeitig die Pulsfrequenzen (fpwm) von wenigstens zwei der PWM-Pulsfolgen (Pu, Pv, Pw) in gleicher Weise variiert werden, um die Pulse dieser PWM-Pulsfolgen (Pu, Pv, Pw) zueinander zu synchronisieren.
8. Elektroantriebssystem (10) für ein Fahrzeug, umfassend
- 10 - eine mehrphasige elektrische Maschine (12) in einem Antriebsstrang des Fahrzeuges,
 - einen von einer elektrischen Fahrzeugenergiequelle (14) versorgten Wechselrichter (16) zur Bereitstellung von Phasenströmen (Iu, Iv, Iw) für die elektrische Maschine (12),
 - 15 - eine Steuereinrichtung (18) zum Erzeugen von PWM-Pulsen (Pu, Pv, Pw) zur Ansteuerung von Schaltelementen (T1 - T6) des Wechselrichters (16), wobei für jeden Phasenstrom (Iu, Iv, Iw) eine jeweilige PWM-Pulsfolge (Pu, Pv, Pw) mit einer vorgegebenen Pulsfrequenz (fpwm) erzeugt wird,
 - 20
 - 25 dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinrichtung (18) dazu ausgebildet ist, die Pulsfrequenz (fpwm) wenigstens einer der PWM-Pulsfolgen (Pu, Pv, Pw) betriebsmäßig kontinuierlich zu variieren.
- 30 9. Elektroantriebssystem (10) nach Anspruch 8, wobei die Steuereinrichtung (18) die Erzeugung der PWM-Pulsfolgen (Pu, Pv, Pw) und die Pulsfrequenzvariation in programmgesteuerter Weise durchführt.

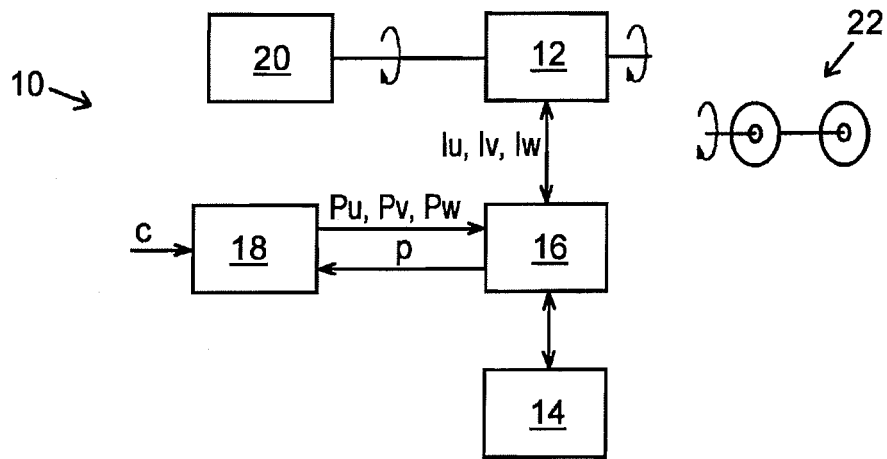


Fig. 1

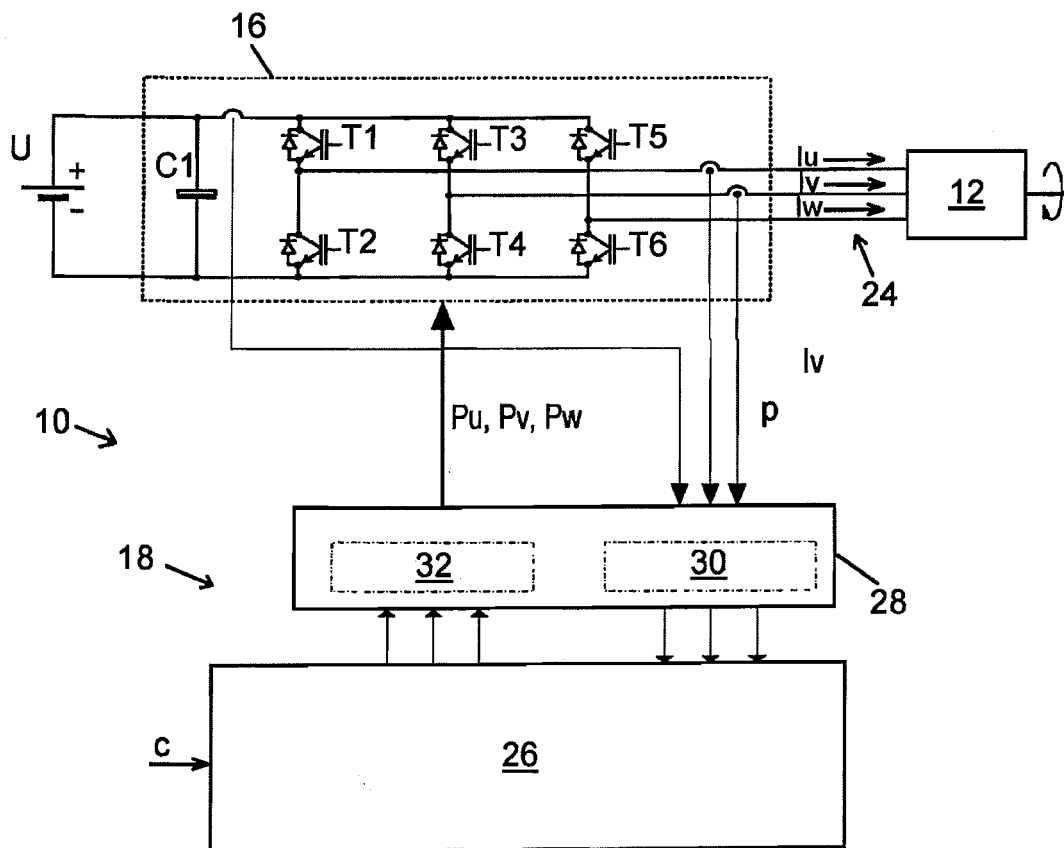


Fig. 2

2 / 3

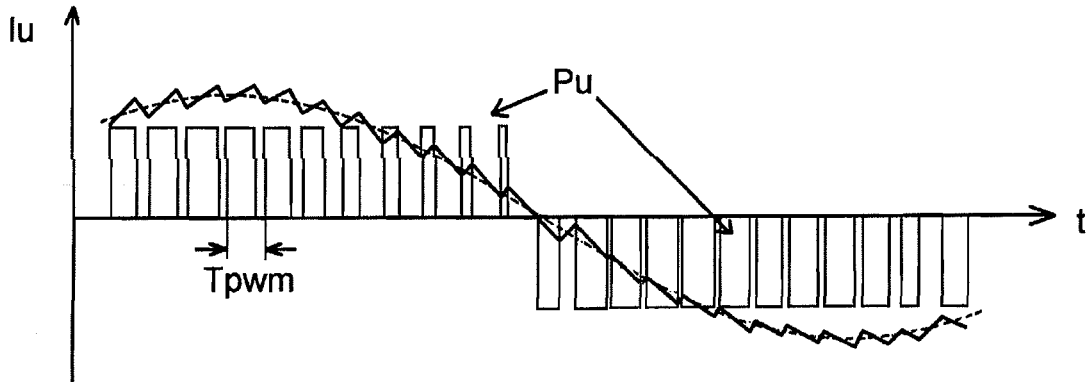


Fig. 3 Stand der Technik

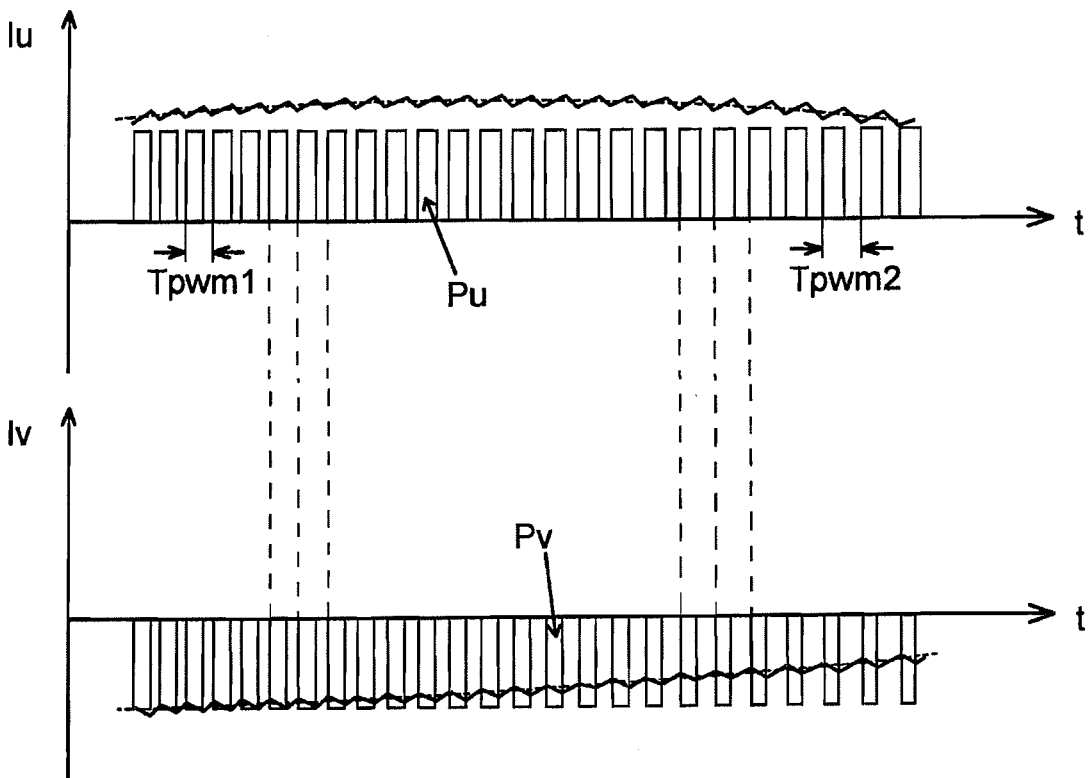


Fig. 4

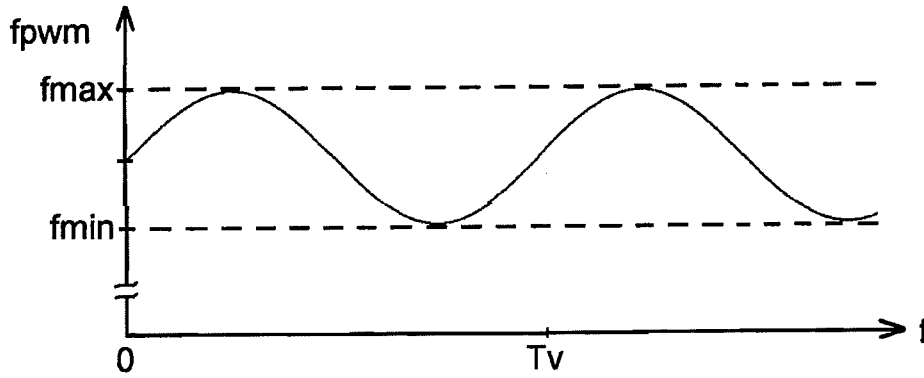


Fig. 5

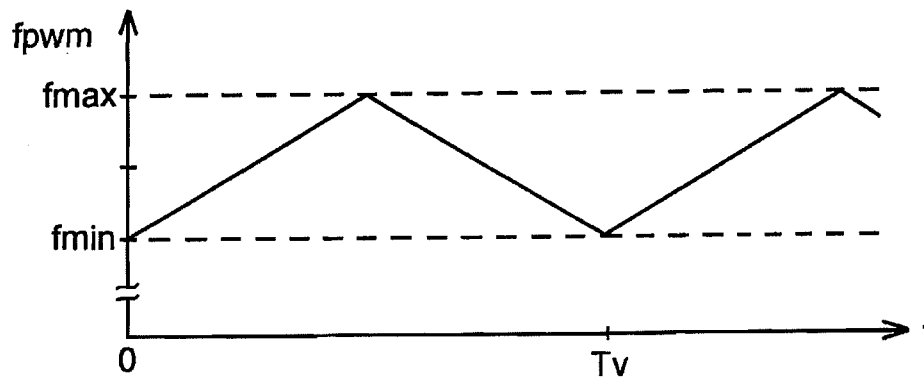


Fig. 6

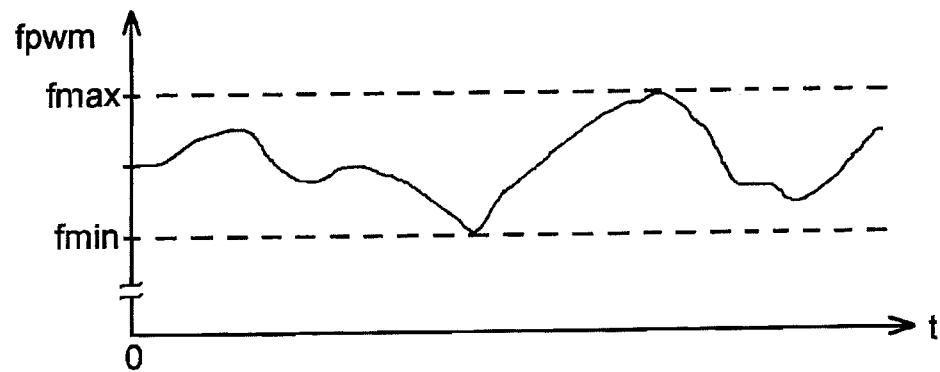


Fig. 7