



(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2019 100 638.4**  
(22) Anmeldetag: **11.01.2019**  
(43) Offenlegungstag: **16.07.2020**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **25.04.2024**

(51) Int Cl.: **G01R 19/00 (2006.01)**  
**G01R 17/10 (2006.01)**  
**H02P 27/08 (2006.01)**

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:  
**TDK-Micronas GmbH, 79108 Freiburg, DE**

(74) Vertreter:  
**Sonnenberg Harrison Partnerschaft mbB Patent-  
und Rechtsanwaltskanzlei, 80331 München, DE**

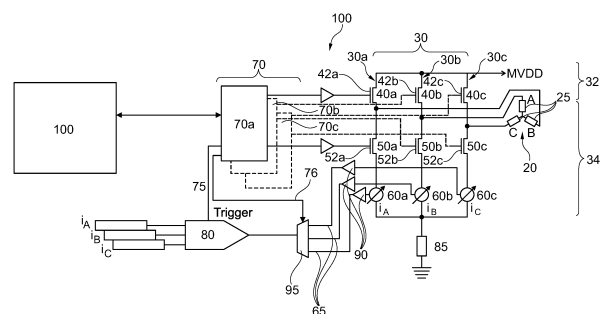
(72) Erfinder:  
**De Rosa, Adriano, 79108 Freiburg, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	37 12 185	A1
DE	102 48 375	A1
US	2014 / 0 112 801	A1
US	2016 / 0 254 760	A1
US	5 877 950	A
WO	2005/ 074 115	A1

(54) Bezeichnung: **Strommesssystem für einen kommutierten Motor**

(57) Hauptanspruch: Strommesssystem (10) für einen kommutierten Motor (20) umfassend eine Brückenschaltung (30) mit mehreren parallel angeordneten Zweigen (30a-c), wobei die Zweige (30a-c) jeweils mit Kommutationsblöcken des kommutierten Motors (20) verbunden sind und die Zweige (30a-c) jeweils erste Schaltelemente (40a-c) in einer High-Side (32) der Brückenschaltung (30) und jeweils zweite Schaltelemente (50a-c) in einer Low-Side (34) der Brückenschaltung (30) aufweisen, wobei die ersten Schaltelemente erste Feldeffekttransistoren (40a-c) und die zweiten Schaltelemente zweite Feldeffekttransistoren (50a-c) sind, wobei eines der Gates (42a-c) der ersten Schaltelemente (40a-c) und eines der Gates (52a-c) der zweiten Schaltelemente (50a-c) in dem gleichen Zweig (30a-c) jeweils mit einem der Vielzahl von Pulsweitenmodulatoren (70a-c) verbunden sind, und wobei die Zweige (30a-c) Strommessschaltungen (60a-c) aufweisen, welche in der High-Side (32) der Brückenschaltung (30) angeordnet sind; einen Analog-Digital-Wandler (80), welcher über eine Leitung (75) mit der Vielzahl der Pulsweitenmodulatoren (70a-c) verbunden ist und welcher durch ein Trigger-Signal von den Pulsweitenmodulatoren (70a-c) gesteuert wird; einen Multiplexer (95), wobei Ausgänge der Strommessschaltungen (60a-c) über Leitungen (65) und den Multiplexer (95) mit einem Analog-Digital-Wandler (80) verbunden sind, und wobei der Multiplexer (95) durch ein Signal von den Pulsweitenmodulatoren (70a-c) über eine Leitung (76) geschaltet wird; und ein Steuerungsgerät (100) zur Steuerung des Strommesssystems (10), wobei das Steuerungsgerät (100) mit der Vielzahl der Pulsweitenmodulatoren (70a-c) verbunden ist.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Strommesssystem für einen kommutierten Motor.

**[0002]** Kommutierte Motoren sind elektrische Motoren ohne Kontaktbürsten. Zwischen einem beweglichen Rotor des elektrischen Motors und dem feststehenden Stator des Motors besteht kein unmittelbarer elektrischer Kontakt. Die kommutierten Motoren verwenden elektrische Schalter, um das Kommutieren des Stroms von einem Kommutationsblock zum nächsten Kommutationsblock in dem Stator zu realisieren. Solche elektrischen Schalter sind üblicherweise in einer H-Brückenschaltung bereitgestellt mit zwei Zweigen für einen einphasigen elektrischen Motor und in einer dreiphasigen Brückenschaltung mit drei Zweigen für einen dreiphasigen Motor.

**[0003]** Die Zweige der Brückenschaltungen sind jeweils mit zwei Kommutierungsblöcken des elektrischen Motors verbunden. In einer Ausführungsform weisen die Zweige der Brückenschaltungen zwei Feldeffekttransistoren auf. Die Gates der Feldeffekttransistoren sind mit einem Schaltelement verbunden, das eine Spannung an den Gates anlegt und somit die Feldeffekttransistoren über ein definiertes Zeitintervall einschalten und den Strom an den jeweiligen Kommutierungsblöcken des kommutierten Motors leiten.

**[0004]** In den bisherigen Brückenschaltungen wird der Strom durch einen einfachen Shunt (Mess- oder Nebenwiderstand) gemessen. Vor allem im Bereich der Sektorübergänge bei der Vektoransteuerung des kommutierten Motors ist diese einfache Strommessung lückenhaft, da sie eine Phasenstrommessung nicht ermöglichen, und ist somit nicht verwertbar für die Regelung von z.B. Kleinmotoren.

**[0005]** In der Vergangenheit wurden die kommutierten Kleinmotoren mit Vektoransteuerung in Kraftfahrzeugen auf Grund der Kosten der Elektronik (Sensoren und Microprozessor) und der Software selten eingebaut. In Elektrofahrzeugen hätten solche kommutierten Kleinmotoren den Vorteil, dass die kommutierten Kleinmotoren relativ leise sind und wenig elektrische Leistung verwenden. Als Ergebnis werden diese kommutierten Kleinmotoren daher häufiger in solchen Elektrofahrzeugen (und auch in anderen Fahrzeugen) eingebaut.

**[0006]** Diese eingebauten kommutierten Kleinmotoren werden mittels einer sogenannten „Six-Step“-Kommutierung (Sechs-Schritt-Kommutierung oder Blockkommutierung) realisiert. Diese Kommutierungsart ist zwar einfach zu realisieren, sie braucht allerdings hohe Stromflüsse bei einem Anfahrverfahren und haben einen relativ hohen Geräuschpegel. Vor allem in Hybridautos oder Elektroautos ohne Ver-

brennungsmotor ist dieser hohe Geräuschpegel merkbar.

**[0007]** Andere Kommutierungsarten sind bekannt, die weniger Drehmomentrippel aufweisen und daher ruhiger sind. Ein Beispiel ist die feldorientierte Steuerung (Field Oriented Control) der Kommutationsblöcke in dem kommutierten Motor. Diese Steuerungsart erfordert eine genaue Erfassung der Strom- und Spannungswerte in den Zweigen der Brückenschaltung, die mit den herkömmlichen Shunt-Messsystemen z.B. mit einer Single-Shunt-Messung im Fußpunkt der Brückenschaltung nicht möglich ist.

**[0008]** Im Stand der Technik sind aus DE 37 12 185A1, US 2014 / 0 112 801 A1, US 5 877 950 A, US 2016 / 0 254 760A1, DE 102 48 375 A1 und WO 2005 / 074 115 A1 unterschiedliche Lösungen für die Kommutierung von Elektromotoren bekannt.

**[0009]** Es besteht daher der Bedarf, ein verbessertes Strommesssystem für kommutierte Motoren zu entwickeln.

**[0010]** Diese Aufgabe wird mit Hilfe eines Strommesssystems gelöst. Das Strommesssystem umfasst eine Brückenschaltung mit mehreren parallel angeordneten Zweigen und einer Vielzahl von Pulsweitenumodulatoren zur Ansteuerung von Schaltelementen in den Zweigen der Brückenschaltung, wobei die Zweige jeweils mit Kommutationsblöcken des kommutierten Motors verbunden sind und jeder der Zweige jeweils ein erstes Schaltelement in einer High-Side der Brückenschaltung und jeweils ein zweites Schaltelement in einer Low-Side der Brückenschaltung aufweist, wobei die Schaltelemente Feldeffekttransistoren sind und den Strom in den Zweigen der Brückenschaltung schalten. Die Zweige der Brückenschaltung weisen jeweils eine Strommessschaltung auf. Diese Strommessschaltung ermöglicht die genaue Erfassung des Phasenstroms in dem jeweiligen Zweig und kann diese Werte an ein Steuerungsgerät liefern, das den kommutierten Motor ansteuert. Die Strommessschaltung ist mit einem Analog-Digital-Wandler verbunden, der digitale Werte des gemessenen Stroms erzeugt und an das Steuerungsgerät weitergibt. Das Strommesssystem umfasst ferner einen Multiplexer, wobei Ausgänge der Strommessschaltungen über Leitungen und den Multiplexer mit einem Analog-Digital-Wandler verbunden sind, und wobei der Multiplexer durch ein Signal von den Pulsweitenumodulatoren über eine Leitung geschaltet wird

**[0011]** In einem Aspekt der Erfindung haben die Zweige jeweils zwei Feldeffekttransistoren und die jeweiligen Gates der Feldeffekttransistoren sind mit

einem der Vielzahl der Pulsweitenmodulatoren verbunden.

**[0012]** Durch das Strommesssystem der vorliegenden Veröffentlichung wird die Ansteuerung der kommutierten Kleinmotoren u.a. beim Starten verbessert. Darüber hinaus werden Störungen durch elektromagnetische Streufelder reduziert. Das Strommesssystem ermöglicht auch eine verbesserte Diagnose der Arbeitsweise der kommutierten Kleinmotoren auf Grund der hohen Anzahl von Messwerten, welche erfasst sind.

**[0013]** In einem Aspekt des Strommesssystems sind Strommessschaltungen nur in einer sogenannte Low-Side der Brückenschaltung mit den drei Zweigen angeordnet. Diese Anordnung ermöglicht die Erfassung von nur zwei Strömen in den jeweiligen Zweigen der Brückenschaltung. Der Wert des fließenden Stroms in dem weiteren Zweig wird durch eine Berechnung ermittelt. In einem weiteren Aspekt können auch Strommessschaltungen in einer High-Side der Brückenschaltung auch vorhanden sein. Diese weiteren Strommessschaltungen liefern noch präzisere Daten über die fließenden Ströme in den Zweigen der Brückenschaltung.

**[0014]** Die Erfindung wird nun an Hand der folgenden Zeichnung näher dargestellt. Es zeigen:

**Fig. 1** ein Schaltdiagramm des Strommesssystems;

**Fig. 2** ein Raumzeigerdiagramm;

**Fig. 3** die Schaltzustände der Feldeffekttransistoren;

**Fig. 4A** den Sektorübergang von einem Raumzeiger (Vektor) auf einen anderen Raumzeiger; und

**Fig. 4B** ein Raumzeigerdiagramm bei dem Sektorübergang.

**[0015]** Ein Strommesssystem 10 für einen kommutierten Motor 20 mit einem nicht dargestellten Rotor und Stator ist in **Fig. 1** dargestellt. Der kommutierte Motor 20 hat Kommutationsblöcke 25 und ist mit einer Brückenschaltung 30 verbunden. In diesem Aspekt der Erfindung handelt es sich um einen dreiphasigen kommutierten Motor 20 und die Brückenschaltung 30 weist daher drei, parallel angeordnete Zweige 30a-c (auch Halbbrücken genannt) auf, wobei jeweils einer der Zweige 30a-c mit einem der Kommutierungsblöcke 25 des kommutierten Motors 20 über Leitungen 25a-c verbunden ist. Der kommutierte Motor 20 wird an Hand eines Verfahrens nach dem Prinzip der Raumzeigermodulation (SVM=Space Vector Control) gesteuert. Der kommutierte Motor 20 kann auch Sensoren z.B. Hall- oder TMR-Sensoren umfassen, welche die Lage des Rotors erfassen.

**[0016]** Die Zweige 30a-c der Brückenschaltung 30 haben jeweils erste Feldeffekttransistoren 40a-c (in einer sogenannten High-Side 32 der Brückenschaltung 30) und zweite Feldeffekttransistoren 50a-c (in einer sogenannten Low-Side 34 der Brückenschaltung 30), die seriell zwischen einer Versorgungsleitung MVDD und einer Masseleitung (über einen Widerstand 85) angeordnet sind. Eines der Gates 42a-c der ersten Feldeffekttransistoren 40a-c und eines der Gates 52a-c des zweiten Feldeffekttransistoren 50a-c in dem gleichen Zweig 30a-c sind jeweils mit einem einer Vielzahl von Pulsweitenumodulatoren 70a-c verbunden. Das Anlegen einer Spannung an den Gates 42a-c der ersten Feldeffekttransistoren und an den Gates 52a-c der zweiten Feldeffekttransistoren 50a-c schaltet den korrespondierenden ersten Feldeffekttransistor 40a-c und den korrespondierenden zweiten Feldeffekttransistor 50a-c an. Somit fließt Strom in dem jeweiligen Zweig 30a-c und an den verbundenen Kommutierungsblock 25 des kommutierten Motors 20.

**[0017]** In der Low-Side 34 von jedem Zweig 30a-c ist eine Strommessschaltung 60a-c vorhanden. In **Fig. 1** ist diese Strommessschaltung 60a-c zwischen dem zweiten Feldeffekttransistor 50a-c und einem gemeinsamen Widerstand 85 angeordnet, wobei diese Position für die Erfindung nicht einschränkend ist. Der gemeinsame Widerstand 85 ist auch mit der Masse (0V) verbunden und funktioniert als Shunt- oder Messwiderstand. Der Widerstand 85 ist nicht zwingend notwendig und kann weggelassen werden. Die Strommessschaltung 60a-c misst daher den Wert des fließenden Stroms  $i_A$ ,  $i_B$ ,  $i_C$  in dem Zweig 30a-c in dem sich die jeweilige Strommessschaltung 60a-c befindet. Die Ausgänge der Strommessschaltungen 60a-c sind über Leitungen 65 und einen Multiplexer 95 mit einem Analog-Digital-Wandler 80 verbunden, der die Werte der Strommessschaltungen 60a-c in einen digitalen Wert umwandelt. Der Multiplexer 95 wird durch ein Signal von den Pulsweitenumodulatoren 70a-c über eine Leitung 76 geschaltet.

**[0018]** In einem anderen Aspekt der Erfindung könnten die Strommessschaltungen 60a-c auch in der High-Side 34 der Brückenschaltung 30 eingesetzt werden. Die Strommessschaltungen in der High-Side 34 würden zusätzliche Informationen liefern und eine schnellere Ermittlung der jeweiligen Stromwerte  $i_A$ ,  $i_B$  und  $i_C$  ermöglichen. Allerdings ist diese schnellere Ermittlung nicht notwendig für viele Anwendungen.

**[0019]** Die Strommessschaltungen 60a-c sind zum Beispiel als Stromspiegel gestaltet.

**[0020]** Der Analog-Digital-Wandler 80 ist über eine Leitung 75 mit den Pulsweitenumodulatoren 70a-c verbunden und steuert daher den Zweig 30a-c in dem Strom fließt und gemessen wird. Der Analog-Digital-

Wandler 80 erhält ein Trigger-Signal von den Pulsweitenmodulatoren 70a-c beim Einschalten der ersten Feldeffekttransistoren 40a-c und der zweiten Feldeffekttransistoren 50a-c, welche das Messverfahren auslösen. Die Messwerte werden an ein Steuerungsgerät 100 übersandt, das mit dem Pulsweitenmodulatoren 70a-c verbunden ist, und das Steuerungsverfahren für das Strommesssystem 10 kontrolliert.

**[0021]** Ein Verfahren zur Messung des Stroms in jedem Zweig wird an Hand der **Fig. 2** und **3** nun erläutert. Es ist bekannt, dass die Summe der Ströme bei der Annahme eines ausbalancierten Motors 30 Null ist, d.h.

$$i_A + i_B + i_C = 0$$

**[0022]** Daher müssen nicht alle Ströme in jedem Zweig 30a-c gemessen werden. Bei einem ausbalancierten Motor 30 sind alle Phasenwiderstände und alle Phaseninduktivitäten weitgehend gleich.

**[0023]** **Fig. 3** zeigt die Schaltzustände für die ersten Feldeffekttransistoren 40a-c und die zweiten Feldeffekttransistoren 50a-50c bei der Raumzeigermodulation, die in **Fig. 2** dargestellt ist. Zum Beispiel sind bei dem Raumzeiger oder Vektor V1 der zweite Feldeffekttransistor 50a und die ersten Feldeffekttransistoren 40b und 40c leitend. Die Strommessschaltung 60a (**Fig. 1**) kann den Strom  $i_A$  durch den zweiten Feldeffekttransistor 50a messen, aber die Strommessschaltungen 60b und 60c messen keine Ströme, da kein Strom durch die Feldeffekttransistoren 60b und 60c fließt. Bei dem Vektor V2 allerdings sind die zweiten Feldeffekttransistoren 50a und 50b leitend und daher kann die Strommessschaltungen 60a und 60b die jeweiligen Ströme  $i_A$  und  $i_B$  messen. Auf Grund der obigen Gleichung kann den Wert  $i_C$  berechnet werden. Ein ähnliches Prinzip ist für alle anderen Vektoren V3-V6 anwendbar.

**[0024]** **Fig. 3** zeigt auch die sogenannten Vektoren V0 und V7, bei denen keine der Zweige 30a-c einen Strom leitet. Diese Vektoren V0 und V7 ermöglichen die Erstellung eines Raumvektors  $u$  bei jeglichem Winkel  $\alpha$ . Dieses Prinzip wird nun an Hand von **Fig. 4A** und **4B** näher erläutert.

**[0025]** **Fig. 4B** zeigt das Raumzeigerdiagramm, das aus **Fig. 2** schon bekannt ist. In **Fig. 4A** werden die angelegten Spannungen über einen PWM-Zyklus von dem angeschlossenen Pulsweitenmodulator 70a-c an den zweiten Feldeffekttransistoren 50a-50c durch Messung der jeweiligen Ströme  $i_A$ ,  $i_B$ , und  $i_C$  der Low-End 34 erfasst. Bei dem Vektor V1 wird keine Spannung an dem zweiten Feldeffekttransistor 50a angelegt. Bei dem Vektor V2 werden keine Spannungen an den zweiten Feldeffekttransistoren 50a und 50b angelegt. Aus **Fig. 4A** ist zu erkennen, dass der „Nullvektor“ VO am Anfang und am

Ende des PWM-Zyklus jeweils für einen kurzen Zeitraum  $t_z/4$  (d.h.  $t_z/2$  insgesamt) angelegt wird, um die Spannung in allen drei Zweigen 30a-c für das erste Teil und das letzte Teil des PWM Zyklus hoch zu setzen, damit kein Strom in den Zweigen 30a-c fließt. In dem gleichen PWM Zyklus wird auch der Nullvektor VO für den Zeitraum  $t_z/2$  angelegt. Die Werte  $t_z/2$  und auch  $t_A$  und  $t_B$  sind für den jeweiligen Winkel  $\alpha$  in einer Look-Up-Tabelle abgespeichert. Die Werte  $t_z/2$ ,  $t_A$  und  $t_B$  können ebenfalls aus dem Wert von  $\cos/\sin \alpha$  berechnet werden. Der Sinus- bzw. der Kosinus-Wert von  $\alpha$  können auch in einer Look-Up-Tabelle abgespeichert werden.

**[0026]** Der Übergang zwischen dem Vektor V1 und dem Vektor V2 ist in **Fig. 4B** dargestellt. Es wird angenommen, dass der Vektor  $u$  bei dem Winkel  $\alpha$  erstellt werden soll, wie in **Fig. 4B** dargestellt. Diese lässt sich aus einer Kombination der Schaltzustände der jeweiligen zweiten Feldeffekttransistoren 50a-c erstellen, wie in der Mitte der **Fig. 4A** gezeigt. Die Messung der Ströme ermöglichen eine präzise Anlegung der Spannung an den jeweiligen Feldeffekttransistoren 50a-c.

**[0027]** Das Strommesssystem dieses Dokuments kann auch mit einer Shunt-Messung kombiniert oder ohne externe Strommessung verwendet werden, um weitere Informationen zu erhalten. Solche weitere Information umfassen z.B, redundante Messungen, um die Anforderungen bei einem Chip für funktionale Sicherheit, oder eine umfassendere Abdeckung für Diagnostikzwecke.

	Bezugszeichen
10	System
20	Motor
25	Kommutationsblock
30	Brücke
32	High-Side
34	Low-Side
40a-c	Erster Feldeffekttransistor
42a-c	Gate
50a-c	Zweiter Feldeffekttransistor
52a-c	Gate
60a-c	Strommessschaltung
65	Leitung
70a-c	Pulsweitenmodulator
75	Leitung
80	Analog-Digital-Umsetzer
90	Widerstand

95	Multiplexer
100	Steuerung

### Patentansprüche

1. Strommesssystem (10) für einen kommutierten Motor (20) umfassend eine Brückenschaltung (30) mit mehreren parallel angeordneten Zweigen (30a-c), wobei die Zweige (30a-c) jeweils mit Kommutationsblöcken des kommutierten Motors (20) verbunden sind und die Zweige (30a-c) jeweils erste Schaltelemente (40a-c) in einer High-Side (32) der Brückenschaltung (30) und jeweils zweite Schaltelemente (50a-c) in einer Low-Side (34) der Brückenschaltung (30) aufweisen, wobei die ersten Schaltelemente erste Feldeffekttransistoren (40a-c) und die zweiten Schaltelemente zweite Feldeffekttransistoren (50a-c) sind, wobei eines der Gates (42a-c) der ersten Schaltelemente (40a-c) und eines der Gates (52a-c) der zweiten Schaltelemente (50a-c) in dem gleichen Zweig (30a-c) jeweils mit einem der Vielzahl von Pulsweiternmodulatoren (70a-c) verbunden sind, und wobei die Zweige (30a-c) Strommessschaltungen (60a-c) aufweisen, welche in der High-Side (32) der Brückenschaltung (30) angeordnet sind;

einen Analog-Digital-Wandler (80), welcher über eine Leitung (75) mit der Vielzahl der Pulsweiternmodulatoren (70a-c) verbunden ist und welcher durch ein Trigger-Signal von den Pulsweiternmodulatoren (70a-c) gesteuert wird;

einen Multiplexer (95), wobei Ausgänge der Strommessschaltungen (60a-c) über Leitungen (65) und den Multiplexer (95) mit einem Analog-Digital-Wandler (80) verbunden sind, und wobei der Multiplexer (95) durch ein Signal von den Pulsweiternmodulatoren (70a-c) über eine Leitung (76) geschaltet wird; und ein Steuerungsgerät (100) zur Steuerung des Strommesssystems (10), wobei das Steuerungsgerät (100) mit der Vielzahl der Pulsweiternmodulatoren (70a-c) verbunden ist.

2. Verwendung des Strommesssystems (10) nach Anspruch 1 in einem kommutierten Motor (20).

3. Motor (20) mit einer Vielzahl von Kommutierungsblöcken (25), wobei die Kommutierungsblöcke (25) jeweils mit einer der Strommessschaltungen (60a-c) zur Erfassung des Stromflusses ( $i_A$ ,  $i_B$ ,  $i_C$ ) in dem verbundenen Kommutierungsblock (25) verbunden sind; und wobei die Strommessschaltungen (60a-c) in den mehreren Zweigen (30a-c) des Strommesssystems (10) nach Anspruch 1 angeordnet sind.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

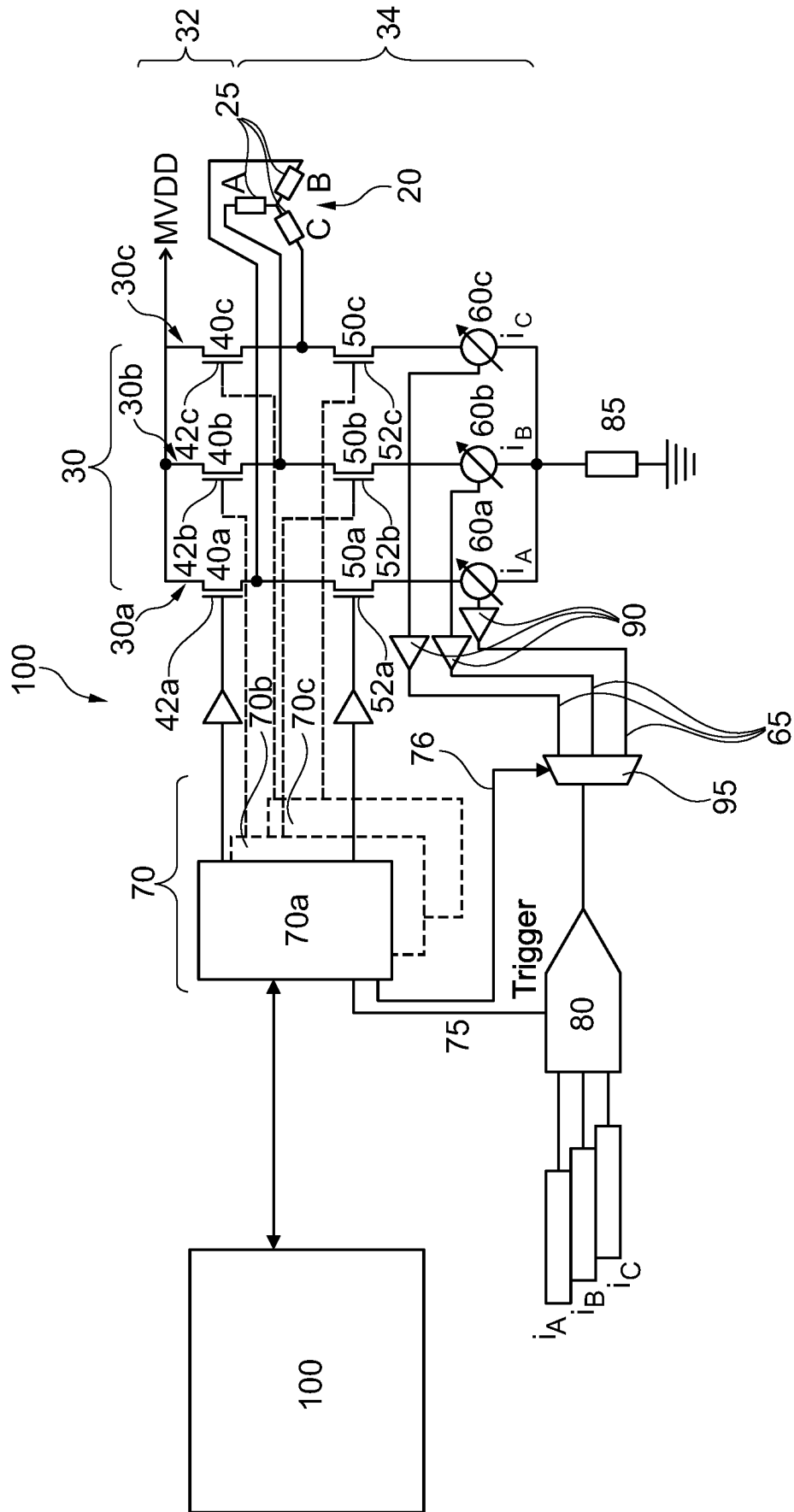


Fig. 1

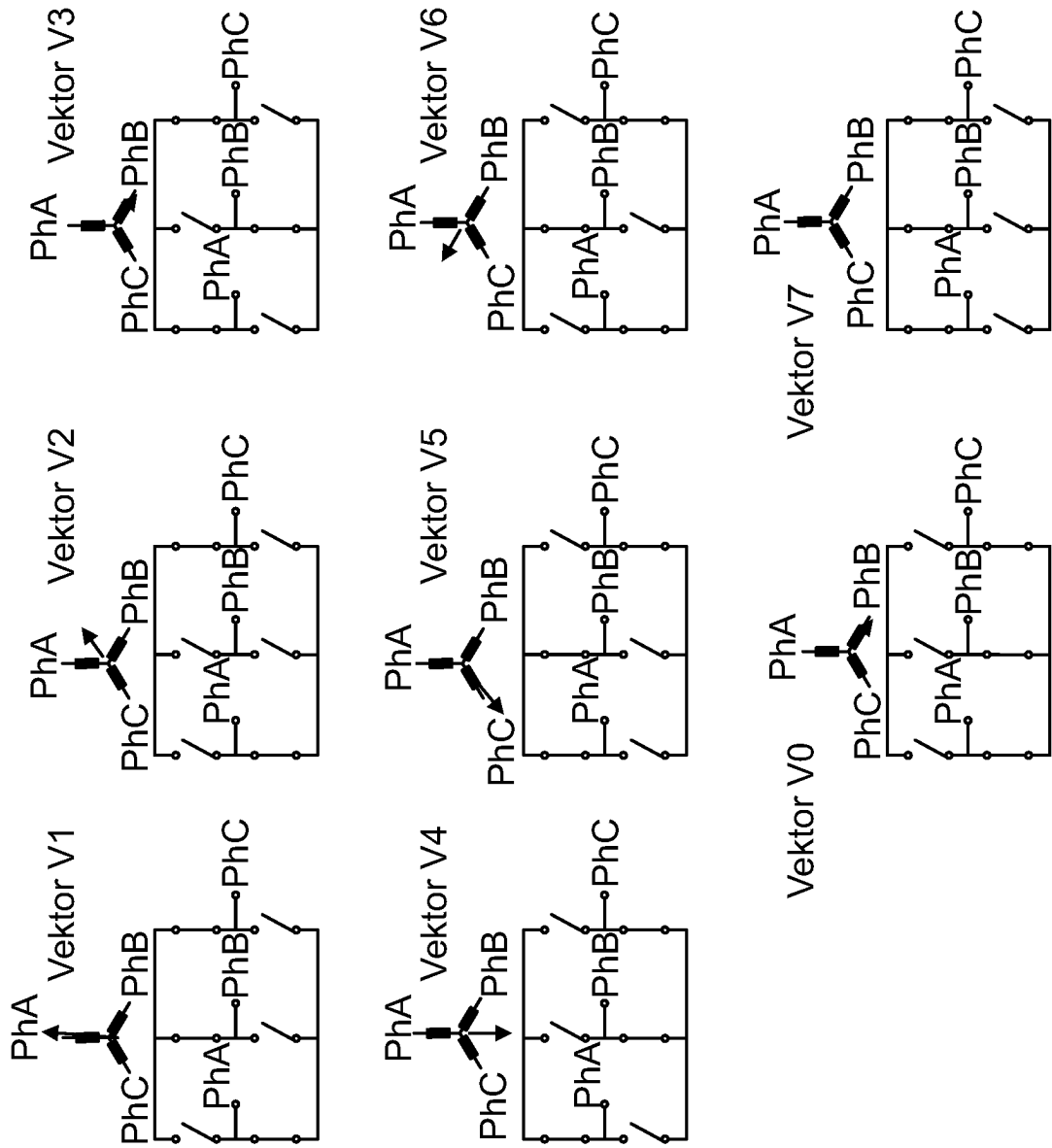


Fig. 3

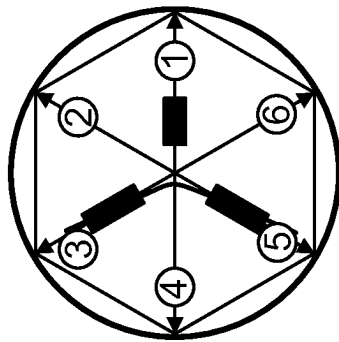


Fig. 2

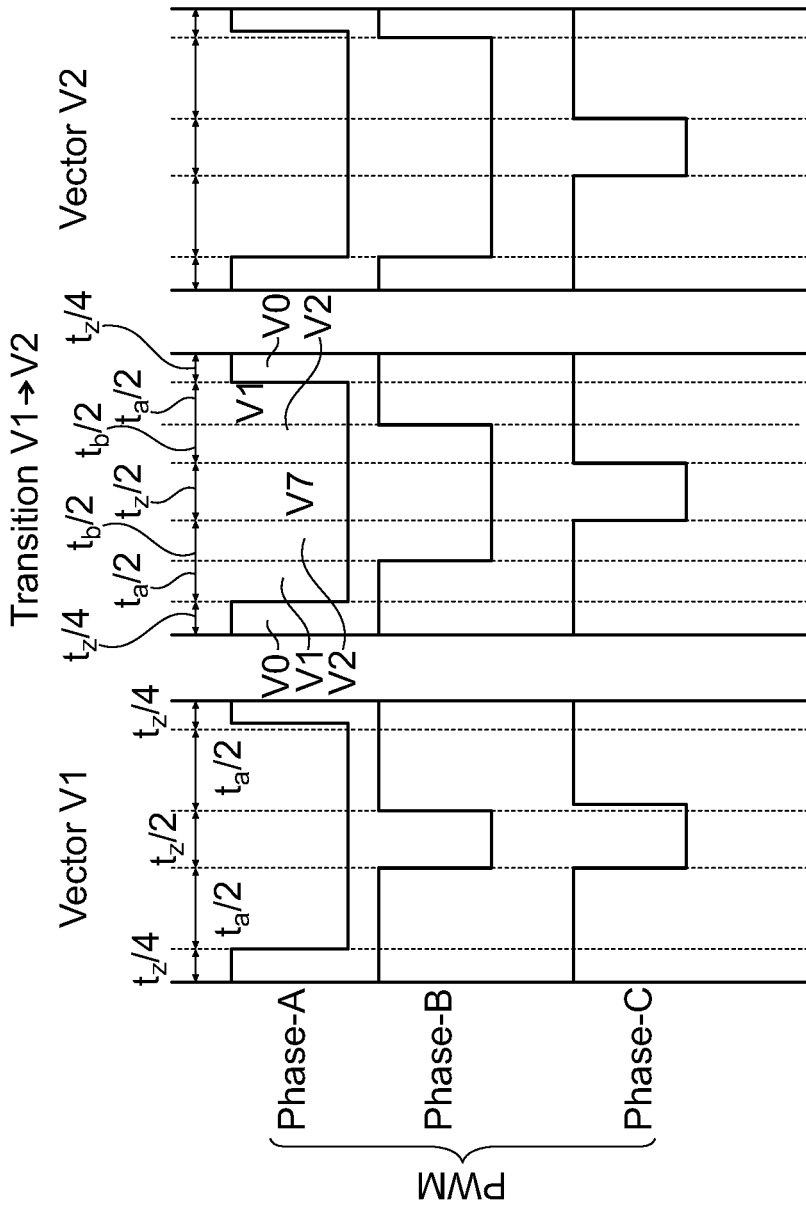


Fig. 4A

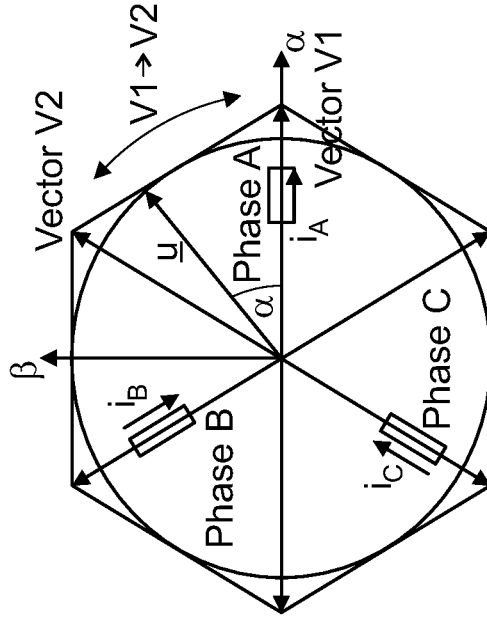


Fig. 4B