

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6845818号  
(P6845818)

(45) 発行日 令和3年3月24日(2021.3.24)

(24) 登録日 令和3年3月2日(2021.3.2)

(51) Int.Cl.	F 1
HO2P 25/22	(2006.01)
HO2M 7/493	(2007.01)
HO2K 3/28	(2006.01)
HO2P 27/06	(2006.01)
HO2P 25/18	(2006.01)
HO2P	25/22
HO2M	7/493
HO2K	3/28
HO2P	27/06
HO2P	25/18
HO2P	25/18

請求項の数 9 (全 24 頁)

(21) 出願番号	特願2018-22475 (P2018-22475)
(22) 出願日	平成30年2月9日(2018.2.9)
(65) 公開番号	特開2019-140806 (P2019-140806A)
(43) 公開日	令和1年8月22日(2019.8.22)
審査請求日	令和2年1月6日(2020.1.6)

(73) 特許権者	000004695 株式会社 S O K E N 愛知県日進市米野木町南山500番地20
(73) 特許権者	000004260 株式会社デンソー 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地
(74) 代理人	100121821 弁理士 山田 強
(74) 代理人	100139480 弁理士 日野 京子
(74) 代理人	100125575 弁理士 松田 洋
(74) 代理人	100175134 弁理士 北 裕介

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】回転電機の駆動装置

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

固定子コア(31)と、その固定子コアに巻装され、少なくとも3相の巻線部からなり各相の巻線部の一端が中性点(N1, N2)にて接続されている第1巻線(33a)及び第2巻線(33b)と、を有する回転電機(10)に適用され、その回転電機を駆動する駆動装置であって、

直流電源(60)に接続され、前記第1巻線の相ごとに設けられた上アームスイッチ(41)及び下アームスイッチ(42)を開閉させることにより前記第1巻線の各相の通電を行わせる第1インバータ(40)と、

前記直流電源に接続され、前記第2巻線の相ごとに設けられた上アームスイッチ(51)及び下アームスイッチ(52)を開閉させることにより前記第2巻線の各相の通電を行わせる第2インバータ(50)と、

前記第1巻線の中性点と前記直流電源の低電位側とを接続する電流経路(47)に設けられた第1切替スイッチ(48)と、

前記第2巻線の中性点と前記直流電源の高電位側とを接続する電流経路(57)に設けられた第2切替スイッチ(58)と、

前記第1切替スイッチ及び前記第2切替スイッチを開放した状態で、前記第1インバータ及び前記第2インバータにおける上下アームの各スイッチを同じ通電期間でそれぞれ相補的に開閉させて、前記第1巻線及び前記第2巻線の通電を制御する第1通電制御部(65)と、

10

20

前記第1切替スイッチ及び前記第2切替スイッチを閉鎖した状態で、前記第1インバータにおける上下アームの各スイッチのうち前記上アームスイッチと、前記第2インバータにおける上下アームの各スイッチのうち前記下アームスイッチとを、交互に定められた通電期間でそれぞれ開閉させて、前記第1巻線及び前記第2巻線の通電を制御する第2通電制御部(65)と、  
を備え、

前記第1インバータにおける前記上アームスイッチ及び前記下アームスイッチと、前記第2インバータにおける前記上アームスイッチ及び前記下アームスイッチとは、逆並列となる向きで接続された還流ダイオード(43, 44, 53, 54)を有する半導体スイッチング素子(41, 42, 51, 52)であり、

10

前記第1インバータは、前記第2通電制御部により前記第1インバータの前記上アームスイッチが開閉される状態から、前記第2インバータの前記下アームスイッチが開閉される状態に切り替えられる際に、前記第1インバータにおける前記下アームスイッチの前記還流ダイオードと前記第1巻線とを含む経路である還流経路(R1)を遮断する第1遮断部(45, 42a, 42b)を有し、

前記第2インバータは、前記第2通電制御部により前記第2インバータの前記下アームスイッチが開閉される状態から、前記第1インバータの前記上アームスイッチが開閉される状態に切り替えられる際に、前記第2インバータにおける前記上アームスイッチの前記還流ダイオードと前記第2巻線とを含む経路である還流経路(R2)を遮断する第2遮断部(55, 51a, 51b)を有する回転電機の駆動装置。

20

### 【請求項2】

前記第1遮断部として、前記第1インバータにおける上下アームの各スイッチの中間点と前記第1巻線の相ごとの前記巻線部とを接続する交流線に、該交流線を開閉する第1付加スイッチ(45)を有し、

前記第2遮断部として、前記第2インバータにおける上下アームの各スイッチの中間点と前記第2巻線の相ごとの前記巻線部とを接続する交流線に、該交流線を開閉する第2付加スイッチ(55)を有し、

前記第1通電制御部は、前記第1切替スイッチ及び前記第2切替スイッチを開状態にするとともに、前記第1付加スイッチ及び前記第2付加スイッチを閉状態とし、

30

前記第2通電制御部は、前記第1切替スイッチ及び前記第2切替スイッチを閉鎖した状態で、前記第1インバータにおける前記上アームスイッチを開閉させる通電期間では、前記第1付加スイッチを閉状態、前記第2付加スイッチを開状態とし、前記第2インバータにおける前記下アームスイッチを開閉させる通電期間では、前記第1付加スイッチを開状態、前記第2付加スイッチを閉状態とする請求項1に記載の回転電機の駆動装置。

### 【請求項3】

前記第1インバータは、各相の前記下アームスイッチとして、互いに直列に接続され、かつ互いに逆向きに設けられた還流ダイオード(44a, 44b)を有する一対の半導体スイッチング素子(42a, 42b)を有し、

前記第2インバータは、各相の前記上アームスイッチとして、互いに直列に接続され、かつ互いに逆向きに設けられた還流ダイオード(53a, 53b)を有する一対の半導体スイッチング素子(51a, 51b)を有し、

40

前記第1インバータにおける前記一対の半導体スイッチング素子により前記第1遮断部が構成され、前記第2インバータにおける前記一対の半導体スイッチング素子により前記第2遮断部が構成されている請求項1に記載の回転電機の駆動装置。

### 【請求項4】

前記第1通電制御部は、前記第1巻線及び前記第2巻線の通電制御に際し、

前記第1インバータにおける前記一対の半導体スイッチング素子のうち一方の半導体スイッチング素子を、前記第1インバータにおける前記上アームスイッチに対して相補的に開閉させ、かつ他方の半導体スイッチング素子を閉状態で保持するとともに、

前記第2インバータにおける前記一対の半導体スイッチング素子のうち一方の半導体ス

50

イッティング素子を、前記第2インバータにおける前記下アームスイッチに対して相補的に開閉させ、かつ他方の半導体スイッティング素子を閉状態で保持する請求項3に記載の回転電機の駆動装置。

【請求項5】

固定子コア(31)と、その固定子コアに巻装され、少なくとも3相の巻線部からなり各相の巻線部の一端が中性点(N1, N2)にて接続されている第1巻線(33a)及び第2巻線(33b)と、を有する回転電機(10)に適用され、その回転電機を駆動する駆動装置であって、

直流電源(60)に接続され、前記第1巻線の相ごとに設けられた上アームスイッチ(41)及び下アームスイッチ(42)を開閉させることにより前記第1巻線の各相の通電を行わせる第1インバータ(40)と、

前記直流電源に接続され、前記第2巻線の相ごとに設けられた上アームスイッチ(51)及び下アームスイッチ(52)を開閉させることにより前記第2巻線の各相の通電を行わせる第2インバータ(50)と、

前記第1巻線の中性点と前記直流電源の低電位側とを接続する電流経路(47)に設けられた第1切替スイッチ(48)と、

前記第2巻線の中性点と前記直流電源の高電位側とを接続する電流経路(57)に設けられた第2切替スイッチ(58)と、

前記第1切替スイッチ及び前記第2切替スイッチを開放した状態で、前記第1インバータ及び前記第2インバータにおける上下アームの各スイッチを同じ通電期間でそれぞれ相補的に開閉させて、前記第1巻線及び前記第2巻線の通電を制御する第1通電制御部(65)と、

前記第1切替スイッチ及び前記第2切替スイッチを閉鎖した状態で、前記第1インバータにおける上下アームの各スイッチのうち前記上アームスイッチと、前記第2インバータにおける上下アームの各スイッチのうち前記下アームスイッチとを、交互に定められた通電期間でそれぞれ開閉させて、前記第1巻線及び前記第2巻線の通電を制御する第2通電制御部(65)と、

を備え、

前記第1インバータは、当該第1インバータの前記上アームスイッチとして、逆並列となる向きで接続された還流ダイオード(43)を有する半導体スイッティング素子(41)を有するとともに、前記下アームスイッチとして、互いに逆向きで並列接続された一対のIGBT(42c, 42d)を有し、

前記第2インバータは、当該第2インバータの前記下アームスイッチとして、逆並列となる向きで接続された還流ダイオード(54)を有する半導体スイッティング素子(52)を有するとともに、前記上アームスイッチとして、互いに逆向きに並列接続された一対のIGBT(51c, 51d)を有し、

前記第2通電制御部により前記第1インバータの前記上アームスイッチが開閉される状態から、前記第2インバータの前記下アームスイッチが開閉される状態に切り替えられる際に、前記第1インバータにおける前記下アームスイッチと前記第1巻線とを含む経路である還流経路を、当該下アームスイッチとして設けられた前記一対のIGBTにより遮断し、

前記第2通電制御部により前記第2インバータの前記下アームスイッチが開閉される状態から、前記第1インバータの前記上アームスイッチが開閉される状態に切り替えられる際に、前記第2インバータにおける前記上アームスイッチと前記第2巻線とを含む経路である還流経路を、当該上アームスイッチとして設けられた前記一対のIGBTにより遮断する回転電機の駆動装置。

【請求項6】

前記第1通電制御部は、前記第1巻線及び前記第2巻線の通電制御に際し、

前記第1インバータにおける前記一対のIGBTのうち一方のIGBTを、前記第1インバータにおける前記上アームスイッチに対して相補的に開閉させ、かつ他方のIGBT

10

20

30

40

50

を閉状態で保持するとともに、

前記第2インバータにおける前記一対のIGBTのうち一方のIGBTを、前記第2インバータにおける前記下アームスイッチに対して相補的に開閉させ、かつ他方のIGBTを閉状態で保持する請求項5に記載の回転電機の駆動装置。

【請求項7】

前記第1通電制御部は、前記回転電機の低回転側の動作域で、前記第1切替スイッチ及び前記第2切替スイッチを開放した状態での前記各巻線の通電制御を実施し、

前記第2通電制御部は、前記回転電機の高回転側の動作域で、前記第1切替スイッチ及び前記第2切替スイッチを閉鎖した状態での前記各巻線の通電制御を実施する請求項1～6のいずれか1項に記載の回転電機の駆動装置。

10

【請求項8】

前記第1巻線及び前記第2巻線は、ターン数が同じであり、かつ同相の導体が固定子コアの同一のスロット(32)に収容されている請求項1～7のいずれか1項に記載の回転電機の駆動装置。

【請求項9】

前記第1巻線及び前記第2巻線は、平角断面形状の導体により構成されている請求項8に記載の回転電機の駆動装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

20

本発明は、回転電機の駆動装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来、回転電機の駆動装置において、回転電機の制御モードを、高速回転と低速回転との2つの回転モードで適宜切り替えるようにした技術が提案されている。例えば特許文献1に記載の技術では、Y結線された3相巻線の相ごとに上アームスイッチ及び下アームスイッチからなる直列接続体を設けるとともに、3相巻線の中性点に、速度切替スイッチが接続している。そして、低速回転モードでは速度切替スイッチをオフにして全波駆動を行い、高速回転モードでは速度切替スイッチをオンにして半波駆動を行うことで、2つのトルク特性を得るようにしている。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開平6-351283号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、上記特許文献1に記載の技術では、速度切替スイッチのオンオフにより全波駆動と半波駆動との切り替えが可能になるものの、速度切替スイッチをオンにして半波駆動を行う場合において、トルク脈動が大きくなるという不都合が懸念される。

40

【0005】

本発明は、上記課題に鑑みてなされたものであり、その主たる目的は、全波駆動と半波駆動とを好適に行い、かつ半波駆動時におけるトルク脈動を低減することができる回転電機の駆動装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0006】

以下、上記課題を解決するための手段、及びその作用効果について説明する。

【0007】

第1の手段は、

固定子コアと、その固定子コアに巻装され、少なくとも3相の巻線部からなり各相の巻

50

線部の一端が中性点にて接続されている第1巻線及び第2巻線と、を有する回転電機に適用され、その回転電機を駆動する駆動装置であって、

直流電源に接続され、前記第1巻線の相ごとに設けられた上アームスイッチ及び下アームスイッチを開閉させることにより前記第1巻線の各相の通電を行わせる第1インバータと、

前記直流電源に接続され、前記第2巻線の相ごとに設けられた上アームスイッチ及び下アームスイッチを開閉させることにより前記第2巻線の各相の通電を行わせる第2インバータと、

前記第1巻線の中性点と前記直流電源の低電位側とを接続する電流経路に設けられた第1切替スイッチと、

前記第2巻線の中性点と前記直流電源の高電位側とを接続する電流経路に設けられた第2切替スイッチと、

前記第1切替スイッチ及び前記第2切替スイッチを開放した状態で、前記第1インバータ及び前記第2インバータにおける上下アームの各スイッチを同じ通電期間でそれぞれ相補的に開閉させて、前記第1巻線及び前記第2巻線の通電を制御する第1通電制御部と、

前記第1切替スイッチ及び前記第2切替スイッチを閉鎖した状態で、前記第1インバータにおける上下アームの各スイッチのうち前記上アームスイッチと、前記第2インバータにおける上下アームの各スイッチのうち前記下アームスイッチとを、交互に定められた通電期間でそれぞれ開閉させて、前記第1巻線及び前記第2巻線の通電を制御する第2通電制御部と、

を備える。

#### 【0008】

上記の回転電機は、少なくとも3相の第1巻線及び第2巻線を有しており、それら各巻線の通電が第1インバータ、第2インバータによりそれぞれ制御される。また特に、第1巻線の中性点と直流電源の低電位側とを接続する経路には第1切替スイッチが設けられるとともに、第2巻線の中性点と直流電源の高電位側とを接続する経路には第2切替スイッチが設けられており、それら各切替スイッチの開閉状態が適宜切り替えられる。かかる構成によれば、各切替スイッチが開状態と閉状態とで切り替えられることにより、回転電機の駆動モードとして、全波駆動モードと半波駆動モードとの切り替えが可能となっている。

#### 【0009】

すなわち、第1切替スイッチ及び第2切替スイッチが開放された状態では、第1インバータ及び第2インバータにおける上下アームの各スイッチが同じ通電期間でそれぞれ相補的に開閉されることにより、第1巻線及び第2巻線の通電が制御される。つまり、各インバータでは、回転電機の全波駆動が行われる。この場合、第1巻線及び第2巻線では同相の巻線部について同じ通電期間での通電制御が行われることにより、高トルクの出力が可能となる。

#### 【0010】

また、第1切替スイッチ及び第2切替スイッチが閉鎖された状態では、第1インバータにおける上下アームの各スイッチのうち上アームスイッチと、第2インバータにおける上下アームの各スイッチのうち下アームスイッチとが、交互に定められた通電期間でそれぞれ開閉されることにより、第1巻線及び第2巻線の通電が制御される。つまり、各インバータでは、回転電機の半波駆動が交互に行われる。この場合、第1巻線及び第2巻線が固定子コアに巻装されて互いに磁気結合された状態となっている一方で、第1巻線の側では、第1切替スイッチにより中性点と直流電源の低電位側とが短絡されるとともに、第2巻線の側では、第2切替スイッチにより中性点と直流電源の高電位側とが短絡されている。そのため、第1巻線の通電期間及び第2巻線の通電期間では、それぞれ相電流の向きが互いに逆となって正負で変化する。そして、第1巻線の通電期間と第2巻線の通電期間とが互い違いに設定されていることにより、全波状の合成起磁力が得られるようになっている。つまり、半波駆動でありながら、全波駆動時と同様の正弦波回転磁界を得ることが可能

10

20

30

40

50

となっている。以上により、全波駆動と半波駆動とを好適に行い、かつ半波駆動時におけるトルク脈動を低減することができる。

【0011】

第2の手段では、前記第1通電制御部は、前記回転電機の低回転側の動作域で、前記第1切替スイッチ及び前記第2切替スイッチを開放して前記各巻線の通電制御を実施し、前記第2通電制御部は、前記回転電機の高回転側の動作域で、前記第1切替スイッチ及び前記第2切替スイッチを閉鎖して前記各巻線の通電制御を実施する。

【0012】

上記構成によれば、回転電機の動作域に応じて各切替スイッチを開閉することにより、異なる出力特性を好適に得ることができ、回転電機の高効率動作領域を拡大できる。  
10 また、上記のとおり第1切替スイッチにより第1巻線の中性点と直流電源の低電位側とを短絡させ、第2切替スイッチにより第2巻線の中性点と直流電源の高電位側とを短絡させる構成では、各切替スイッチが閉鎖されている状態下で、各相の巻線部に全波駆動時と比べて単位巻線あたりの印加電圧を高めることができるとなる。そのため、回転電機の動作域を高回転域側に拡張する上で有利な構成を実現できる。

【0013】

第3の手段では、前記第1インバータにおける前記上アームスイッチ及び前記下アームスイッチと、前記第2インバータにおける前記上アームスイッチ及び前記下アームスイッチとは、逆並列となる向きで接続された還流ダイオードを有する半導体スイッチング素子であり、前記第1インバータは、前記第2通電制御部により前記第1インバータの前記上アームスイッチが開閉される状態から、前記第2インバータの前記下アームスイッチが開閉される状態に切り替えられる際に、前記第1インバータにおける前記下アームスイッチの前記還流ダイオードと前記第1巻線とを含む経路である還流経路を遮断する第1遮断部を有し、前記第2インバータは、前記第2通電制御部により前記第2インバータの前記下アームスイッチが開閉される状態から、前記第1インバータの前記上アームスイッチが開閉される状態に切り替えられる際に、前記第2インバータにおける前記上アームスイッチの前記還流ダイオードと前記第2巻線とを含む経路である還流経路を遮断する第2遮断部を有する。  
20

【0014】

半波駆動時において、第1インバータの上アームスイッチが開閉される状態から、第2インバータの下アームスイッチが開閉される状態に切り替えられる際には、第1巻線及び第2巻線が磁気結合していることから、第1巻線側から第2巻線側への転流が行われる。ただし、その切り替えに際して、第1インバータの側で還流経路が形成されると、転流が適正に実施されなくなることが懸念される。つまり、第1インバータでは、上アームスイッチ及び下アームスイッチに還流ダイオードが設けられていることから、その還流ダイオードと巻線とを介して、第1インバータ内に還流経路が形成される。その逆に、第2インバータの下アームスイッチが開閉される状態から、第1インバータの上アームスイッチが開閉される状態に切り替えられる場合も同様である。  
30

【0015】

この点、上記手段によれば、第1インバータでは、第2通電制御部により第1インバータの上アームスイッチが開閉される状態から、第2インバータの下アームスイッチが開閉される状態に切り替えられる際に、第1インバータにおける下アームスイッチの還流ダイオードと第1巻線とを含む経路である還流経路が、第1遮断部により遮断される。また、第2インバータでは、第2通電制御部により第2インバータの下アームスイッチが開閉される状態から、第1インバータの上アームスイッチが開閉される状態に切り替えられる際に、第2インバータにおける上アームスイッチの還流ダイオードと第2巻線とを含む経路である還流経路が、第2遮断部により遮断される。これにより、第1巻線側と第2巻線側との間の転流を好適に実施させることができ、各巻線での相補的な半波駆動を適正に実施できる。  
40

【0016】

10

20

30

40

50

第4の手段では、前記第1遮断部として、前記第1インバータにおける上下アームの各スイッチの中間点と前記第1巻線の相ごとの前記巻線部とを接続する交流線に、該交流線を開閉する第1付加スイッチを有し、前記第2遮断部として、前記第2インバータにおける上下アームの各スイッチの中間点と前記第2巻線の相ごとの前記巻線部とを接続する交流線に、該交流線を開閉する第2付加スイッチを有し、前記第1通電制御部は、前記第1切替スイッチ及び前記第2切替スイッチを開状態にするとともに、前記第1付加スイッチ及び前記第2付加スイッチを閉状態とし、前記第2通電制御部は、前記第1切替スイッチ及び前記第2切替スイッチを閉鎖した状態下で、前記第1インバータにおける前記上アームスイッチを開閉させる通電期間では、前記第1付加スイッチを閉状態、前記第2付加スイッチを開状態とし、前記第2インバータにおける前記下アームスイッチを開閉させる通電期間では、前記第1付加スイッチを開状態、前記第2付加スイッチを閉状態とする。

## 【0017】

上記手段によれば、第1遮断部として、第1インバータにおける上下アームの中間点と各相の巻線部とを接続する交流線に第1付加スイッチを設けたため、この第1付加スイッチにより、第2通電制御部により第2インバータにおける下アームスイッチが開閉される場合に、第1インバータにおける下アームスイッチを含んで形成される還流経路を好適に遮断することができる。

## 【0018】

また、第2遮断部として、第2インバータにおける上下アームの中間点と各相の巻線部とを接続する交流線に第2付加スイッチを設けたため、この第2付加スイッチにより、第2通電制御部により第1インバータにおける上アームスイッチが開閉される場合に、第2インバータにおける上アームスイッチを含んで形成される還流経路を好適に遮断することができる。これにより、やはり通電側となる巻線での相補的な半波駆動を適正に実施できる。

## 【0019】

第5の手段では、前記第1インバータは、各相の前記下アームスイッチとして、互いに直列に接続され、かつ互いに逆向きに設けられた還流ダイオードを有する一対の半導体スイッチング素子を有し、前記第2インバータは、各相の前記上アームスイッチとして、互いに直列に接続され、かつ互いに逆向きに設けられた還流ダイオードを有する一対の半導体スイッチング素子を有し、前記第1インバータにおける前記一対の半導体スイッチング素子により前記第1遮断部が構成され、前記第2インバータにおける前記一対の半導体スイッチング素子により前記第2遮断部が構成されている。

## 【0020】

上記手段によれば、第1インバータにおける各相の下アームスイッチとして、互いに直列に接続され、かつ互いに逆向きに設けられた還流ダイオードを有する一対の半導体スイッチング素子（すなわち、逆直列の半導体スイッチング素子）を設け、その一対の半導体スイッチング素子を第1遮断部としており、その一対の半導体スイッチング素子は、双方向での通電及び遮断を可能にする双方向スイッチとして機能する。これにより、第1インバータにおける下アームスイッチを含んで形成される還流経路を好適に遮断することができる。

## 【0021】

また、第2インバータにおいても同様に、各相の上アームスイッチとして、互いに直列に接続され、かつ互いに逆向きに設けられた還流ダイオードを有する一対の半導体スイッチング素子（すなわち、逆直列の半導体スイッチング素子）を設け、その一対の半導体スイッチング素子を第2遮断部としており、その一対の半導体スイッチング素子は、双方向での通電及び遮断を可能にする双方向スイッチとして機能する。これにより、やはり第2インバータにおける上アームスイッチを含んで形成される還流経路を好適に遮断することができる。

## 【0022】

第6の手段では、前記第1通電制御部は、前記第1巻線及び前記第2巻線の通電制御に

10

20

30

40

50

際し、前記第1インバータにおける前記一対の半導体スイッチング素子のうち一方の半導体スイッチング素子を、前記第1インバータにおける前記上アームスイッチに対して相補的に開閉させ、かつ他方の半導体スイッチング素子を閉状態で保持するとともに、前記第2インバータにおける前記一対の半導体スイッチング素子のうち一方の半導体スイッチング素子を、前記第2インバータにおける前記下アームスイッチに対して相補的に開閉させ、かつ他方の半導体スイッチング素子を閉状態で保持する。

【0023】

上記手段によれば、第1インバータの下アームスイッチとして逆直列の一対の半導体スイッチング素子を有するとともに、第2インバータの上アームスイッチとして逆直列の一対の半導体スイッチング素子を有する構成において、全波駆動時に、各インバータにおける一対の半導体スイッチング素子のうち一方を開閉させ、かつ他方を開状態で保持することにより通電電流が制御される。この場合、力率が1でない場合の還流動作や、あるいは回生動作も行うことができ、適正な全波駆動を実現できる。

【0024】

第7の手段では、前記第1インバータは、当該第1インバータの前記上アームスイッチとして、逆並列となる向きで接続された還流ダイオードを有する半導体スイッチング素子を有するとともに、前記下アームスイッチとして、互いに逆向きに並列接続された一対のIGBTを有し、前記第2インバータは、当該第2インバータの前記下アームスイッチとして、逆並列となる向きで接続された還流ダイオードを有する半導体スイッチング素子を有するとともに、前記上アームスイッチとして、互いに逆向きに並列接続された一対のIGBTを有し、前記第2通電制御部により前記第1インバータの前記上アームスイッチが開閉される状態から、前記第2インバータの前記下アームスイッチが開閉される状態に切り替えられる際に、前記第1インバータにおける前記下アームスイッチと前記第1巻線とを含む経路である還流経路を、当該下アームスイッチとして設けられた前記一対のIGBTにより遮断し、前記第2通電制御部により前記第2インバータの前記下アームスイッチが開閉される状態から、前記第1インバータの前記上アームスイッチが開閉される状態に切り替えられる際に、前記第2インバータにおける前記上アームスイッチと前記第2巻線とを含む経路である還流経路を、当該上アームスイッチとして設けられた前記一対のIGBTにより遮断する。

【0025】

上記手段によれば、第1インバータでは、第2通電制御部により第1インバータの上アームスイッチが開閉される状態から、第2インバータの下アームスイッチが開閉される状態に切り替えられる際に、当該下アームスイッチとして設けられた一対のIGBTにより、第1巻線を含む還流経路が遮断される。また、第2インバータでは、第2通電制御部により第2インバータの下アームスイッチが開閉される状態から、第1インバータの上アームスイッチが開閉される状態に切り替えられる際に、当該上アームスイッチとして設けられた一対のIGBTにより、第2巻線を含む還流経路が遮断される。これにより、第1巻線側と第2巻線側との間の転流を好適に実施させることができ、各巻線での相補的な半波駆動を適正に実施できる。

【0026】

なお、第1インバータの下アームスイッチ、及び第2インバータの上アームスイッチを、互いに並列に接続された一対のIGBTにより構成しても、半波駆動時に導通されるスイッチング素子数（すなわち、導通経路上の直列素子数）が増えることはない。したがって、半波駆動における導通損失の低減を図ることができる。

【0027】

第8の手段では、前記第1通電制御部は、前記第1巻線及び前記第2巻線の通電制御に際し、前記第1インバータにおける前記一対のIGBTのうち一方のIGBTを、前記第1インバータにおける前記上アームスイッチに対して相補的に開閉させ、かつ他方のIGBTを閉状態で保持するとともに、前記第2インバータにおける前記一対のIGBTのうち一方のIGBTを、前記第2インバータにおける前記下アームスイッチに対して相補的

10

20

30

40

50

に開閉させ、かつ他方のIGBTを閉状態で保持する。

【0028】

上記手段によれば、第1インバータの下アームスイッチとして逆並列の一対のIGBTを有するとともに、第2インバータの上アームスイッチとして逆並列の一対のIGBTを有する構成において、全波駆動時に、各インバータにおける一対のIGBTのうち一方を開閉させ、かつ他方を閉状態で保持することにより通電電流が制御される。この場合、力率が1でない場合の還流動作や、あるいは回生動作も行うことができ、適正な全波駆動を実現できる。

【0029】

なお、一対のIGBTを逆並列に接続する構成（例えば図13の構成）では、還流ダイオード付きの一対のIGBTを逆直列に接続する構成（例えば図12の構成）に比べて、全波駆動時において導通経路上における直列素子数を減らすことができ、導通損失の低減を図ることができる。

【0030】

第9の手段では、前記第1巻線及び前記第2巻線は、ターン数が同じであり、かつ同相の導体が固定子コアの同一のスロットに収容されている。

【0031】

上記手段によれば、第1巻線と第2巻線との磁気結合度を高くすることができる。これにより、半波駆動時における巻線間の転流ロス、すなわち第1インバータの上アームスイッチと第2インバータの下アームスイッチとを通電期間ごとに交互にそれぞれ開閉させる場合における巻線間の転流ロスを低減でき、駆動の効率を高めることができる。

【0032】

第10の手段では、前記第1巻線及び前記第2巻線は、平角断面形状の導体により構成されている。

【0033】

第1巻線及び第2巻線を、平角断面形状の導体により構成したため、これら各巻線の導体を、スロット内に整然と配列できる。そのため、第1巻線と第2巻線との個体ごとの磁気結合度のばらつきを抑えることができる。これにより、巻線間の転流ロスを一層適正に低減することができる。

【図面の簡単な説明】

【0034】

【図1】回転電機の縦断面図。

【図2】回転子と固定子とを示す横断面図。

【図3】固定子における導体収容状態を示す図。

【図4】回転電機の制御システムを示す電気回路図。

【図5】全波駆動モードでの動作を説明するためのタイムチャート。

【図6】半波駆動モードでの動作を説明するためのタイムチャート。

【図7】回転電機のトルクの時系列変化を示すタイムチャート。

【図8】各インバータで形成される還流経路を示す図。

【図9】全波駆動の実施時における回転電機出力と半波駆動の実施時における回転電機出力とを示す図。

【図10】全波駆動を行う第1動作域と半波駆動を行う第2動作域とを示す図。

【図11】モード切替処理を示すフローチャート。

【図12】第2実施形態における回転電機の制御システムを示す電気回路図。

【図13】第3実施形態における回転電機の制御システムを示す電気回路図。

【図14】第4実施形態における回転電機の制御システムを示す電気回路図。

【発明を実施するための形態】

【0035】

以下、実施形態を図面に基づいて説明する。本実施形態における回転電機は、例えば車両動力源として用いられるものとなっている。ただし、回転電機は、産業用、車両用、船

10

20

30

40

50

舶用、航空機用、家電用、OA機器用、遊技機用などとして広く用いられることが可能となっている。なお、以下の各実施形態相互において、互いに同一又は均等である部分には、図中、同一符号を付しており、同一符号の部分についてはその説明を援用する。

### 【0036】

#### (第1実施形態)

本実施形態に係る回転電機10は、インナロータ式(内転式)の多相交流モータであり、その概要を図1及び図2に示す。図1は、回転電機10の回転軸11に沿う方向での縦断面図であり、図2は、回転軸11に直交する方向での回転子12及び固定子13の横断面を示す断面図である。以下の記載では、回転軸11が延びる方向を軸方向とし、回転軸11を中心として放射状に延びる方向を径方向とし、回転軸11を中心として円周状に延びる方向を周方向としている。

10

### 【0037】

回転電機10は、回転軸11に固定された回転子12と、回転子12を包囲する位置に設けられる固定子13と、これら回転子12及び固定子13を収容するハウジング14とを備えている。回転子12及び固定子13は同軸に配置されている。ハウジング14は、筒状をなす一対のハウジング部材14a, 14bを有し、ハウジング部材14a, 14bが開口部同士で接合された状態でボルト15の締結により一体化されている。ハウジング14には軸受け16, 17が設けられ、この軸受け16, 17により回転軸11及び回転子12が回転自在に支持されている。

### 【0038】

20

回転子12は回転子コア21を有し、その回転子コア21の外周部(すなわち固定子13の内周部に対して径方向に対向する側)には、周方向に複数の永久磁石22が並べて設けられている。回転子コア21は、複数の電磁鋼板を軸方向に積層し、カシメ等により固定することで構成されている。

### 【0039】

回転子コア21の外周面には、周方向に磁極が交互となるようにして複数の永久磁石22が設けられている。本実施形態では、回転子構造として、4極の表面磁石型構造が用いられている。ただし、回転子12が埋め込み磁石型であってもよい。永久磁石は、希土類磁石でもフェライト磁石でもよい。

### 【0040】

30

固定子13は、円環状の固定子コア31と、固定子コア31の複数のスロット32に巻装された3相2組、すなわち6相(U1相、V1相、W1相、U2相、V2相、W2相)の固定子巻線33とを備えている。固定子巻線33は、2組の3相対称巻線を有する。固定子コア31は、円環状の複数の電磁鋼板を軸方向に積層し、カシメ等により固定することで構成されている。固定子コア31は、円環状のヨーク34と、ヨーク34から径方向内側に延び周方向に等間隔で配列された複数のティース35とを有し、隣り合うティース35の間にスロット32が形成されている。

### 【0041】

本実施形態では、回転電機10を、4極24スロットであって2組の3相巻線を有する6相構造としている。つまり、固定子巻線33は、2組の3相巻線として、U1相、V1相、W1相の各相巻線を有する第1巻線33aと、U2相、V2相、W2相の各相巻線を有する第2巻線33bとを備えて構成されている(図4参照)。

40

### 【0042】

この場合、図3に示すように、固定子13では、周方向に連続する2スロットで1相が構成されており、各スロット32には、第1巻線33aと第2巻線33bとが混合された状態で4本ずつの導体が挿入されている。つまり、各スロット32には、径方向内外に4層の導体が収容されており、第1巻線33a側の導体と第2巻線33b側の導体とが交互に配置されている。この場合、第1巻線33a及び第2巻線33bは、同じターン数であって、かつ相ごとに同一のスロット32に収容されている。また、各巻線33a, 33bは平角線(すなわち平角断面形状の導体)により構成されており、各スロット32内には

50

、径方向内外に整列された状態で各巻線 33a, 33b が配置されている。

【0043】

例えば、#1, #2 のスロット 32 には、径方向内側（すなわち回転子 12 側）から U2 U1 U2 U1 の順に各巻線 33a, 33b の導体が収容され、#3, #4 のスロット 32 には、径方向内側から V1 V2 V1 V2 の順に各巻線 33a, 33b の導体が収容され、#5, #6 のスロット 32 には、径方向内側から W2 W1 W2 W1 の順に各巻線 33a, 33b の導体が収容されている。かかる構成によれば、各スロット 32 において、第 1巻線 33a 側の導体と第 2巻線 33b 側の導体とは、相ごとに互いに磁気結合した状態となっている。

【0044】

なお、極数や、相数、スロット数、導体の層数はこの限りではなく、要は、固定子コア 31 に第 1巻線 33a 及び第 2巻線 33b が巻装され、この巻装状態で、各巻線 33a, 33b が相ごとに互いに磁気結合されていればよい。

【0045】

次に、回転電機 10 を制御する制御システムの構成を、図 4 を用いて説明する。図 4 では、固定子巻線 33 として 2組の 3相巻線（すなわち第 1巻線 33a、第 2巻線 33b）が示されており、これらの巻線 33a, 33b ごとに、第 1インバータ 40 と第 2インバータ 50 とがそれぞれ設けられている。インバータ 40, 50 は、各巻線 33a, 33b の相数と同数の上下アームを有するフルブリッジ回路により構成されており、各アームに設けられたスイッチ（半導体スイッチング素子）のオンオフにより、各巻線 33a, 33b における通電電流が調整される。

【0046】

具体的には、第 1インバータ 40 は、U1相、V1相及びW1相からなる 3相において上アームスイッチ 41 と下アームスイッチ 42 との直列接続体をそれぞれ備えている。各相の上アームスイッチ 41 の高電位側端子は直流電源 60 の正極端子に接続され、各相の下アームスイッチ 42 の低電位側端子は直流電源 60 の負極端子（グランド）に接続されている。上アームスイッチ 41 及び下アームスイッチ 42 は、それぞれ半導体スイッチング素子であり、より具体的には、逆並列となる向きで接続された還流ダイオード 43, 44 を有する IGBT である。つまり、還流ダイオード 43, 44 は、それぞれカソードが高電位側、アノードが低電位側となる向きで設けられている。

【0047】

各相の上アームスイッチ 41 と下アームスイッチ 42 との間の中間点には、それぞれ付加スイッチ 45 を介して、U1相巻線、V1相巻線、W1相巻線の一端が接続されている。つまり、付加スイッチ 45 が「第 1付加スイッチ」に相当し、この付加スイッチ 45 により、第 1インバータ 40 における上下アームの各スイッチ 41, 42 の中間点と第 1巻線 33a の相ごとの巻線部とを接続する交流線が導通又は遮断される。付加スイッチ 45 は、例えば IGBT よりなる半導体スイッチング素子である。付加スイッチ 45 には、上下アームの各スイッチ 41, 42 の中間点側をカソード、相ごとの巻線部側をアノードとする向きで、還流ダイオード 46 が設けられている。

【0048】

第 1巻線 33a の各相巻線は星形結線（Y結線）されており、各相巻線の他端は中性点 N1 にて互いに接続されている。中性点 N1 は、電流経路 47 を介して直流電源 60 の低電位側に接続されており、その電流経路 47 には切替スイッチ 48 が設けられている。切替スイッチ 48 が「第 1切替スイッチ」に相当し、この切替スイッチ 48 により、中性点 N1 と直流電源 60 の低電位側との間が導通又は遮断される。切替スイッチ 48 は、例えば IGBT よりなる半導体スイッチング素子である。切替スイッチ 48 には、中性点 N1 側をカソード、直流電源 60 の低電位側をアノードとする向きで、還流ダイオード 49 が設けられている。

【0049】

第 2インバータ 50 は、第 1インバータ 40 と同様の構成を有しており、U2相、V2

10

20

30

40

50

相及びW 2相からなる3相において上アームスイッチ5 1と下アームスイッチ5 2との直列接続体をそれぞれ備えている。各相の上アームスイッチ5 1の高電位側端子は直流電源6 0の正極端子に接続され、各相の下アームスイッチ5 2の低電位側端子は直流電源6 0の負極端子(グランド)に接続されている。上アームスイッチ5 1及び下アームスイッチ5 2は、それぞれ半導体スイッチング素子であり、より具体的には、逆並列となる向きで接続された還流ダイオード5 3, 5 4を有するIGBTである。つまり、還流ダイオード5 3, 5 4は、それぞれカソードが高電位側、アノードが低電位側となる向きで設けられている。

#### 【0050】

各相の上アームスイッチ5 1と下アームスイッチ5 2との間の中間点には、それぞれ付加スイッチ5 5を介して、U 2相巻線、V 2相巻線、W 2相巻線の一端が接続されている。つまり、付加スイッチ5 5が「第2付加スイッチ」に相当し、この付加スイッチ5 5により、第2インバータ5 0における上下アームの各スイッチ5 1, 5 2の中間点と第2巻線3 3 bの相ごとの巻線部とを接続する交流線が導通又は遮断される。付加スイッチ5 5は、例えばIGBTよりなる半導体スイッチング素子である。付加スイッチ5 5には、上下アームの各スイッチ5 1, 5 2の中間点側をアノード、相ごとの巻線部側をカソードとする向きで、還流ダイオード5 6が設けられている。

#### 【0051】

第2巻線3 3 bの各相巻線は星形結線(Y結線)されており、各相巻線の他端は中性点N 2にて互いに接続されている。中性点N 2は、電流経路5 7を介して直流電源6 0の高電位側に接続されており、その電流経路5 7には切替スイッチ5 8が設けられている。切替スイッチ5 8が「第2切替スイッチ」に相当し、この切替スイッチ5 8により、中性点N 2と直流電源6 0の高電位側との間が導通又は遮断される。切替スイッチ5 8は、例えばIGBTよりなる半導体スイッチング素子である。切替スイッチ5 8には、中性点N 2側をアノード、直流電源6 0の高電位側をカソードとする向きで、還流ダイオード5 9が設けられている。

#### 【0052】

制御装置6 5は、CPUや各種メモリからなるマイコンを備えており、回転電機1 0における各種の検出情報や、力行駆動及び発電の要求に基づいて、インバータ4 0, 5 0における各スイッチの開閉(オンオフ)により通電制御を実施する。回転電機1 0の検出情報には、例えば、レゾルバ等の角度検出器により検出される回転子1 2の回転角度(電気角情報)や、電圧センサにより検出される電源電圧(インバータ入力電圧)、電流センサにより検出される各相の通電電流が含まれる。制御装置6 5は、インバータ4 0, 5 0の各スイッチを操作する操作信号を生成して出力する。

#### 【0053】

本実施形態では、回転電機1 0における第1巻線3 3 a及び第2巻線3 3 bの通電が第1インバータ4 0、第2インバータ5 0によりそれぞれ制御される。この場合特に、切替スイッチ4 8, 5 8を開状態(オフ状態)にすることにより、全波駆動モードで回転電機1 0の駆動が制御され、切替スイッチ4 8, 5 8を閉状態(オン状態)にすることにより、半波駆動モードで回転電機1 0の駆動が制御される。つまり、切替スイッチ4 8, 5 8が開状態と閉状態とで切り替えられることにより、回転電機1 0の駆動モードとして、全波駆動モードと半波駆動モードとの切り替えが行われる。本実施形態では、制御装置6 5により、第1通電制御部と第2通電制御部とが構成されている。

#### 【0054】

図5には、全波駆動モードでの各スイッチの制御態様を示し、図6には、半波駆動モードでの各スイッチの制御態様を示す。なお、図5及び図6には、3相2組の固定子巻線3 3のうちW 1相及びW 2相の動作のみを示すが、各巻線3 3 a, 3 3 bの他相においても電気角で120度異なる位相で同様の動作が行われる。

#### 【0055】

図5に示すように、全波駆動モードでは、切替スイッチ4 8, 5 8がオフされるととも

10

20

30

40

50

に、各インバータ40, 50の付加スイッチ45, 55がオンされている。そして、第1インバータ40において上アームスイッチ41と下アームスイッチ42とが相補的にオンオフされることにより、第1巻線33aの通電が制御される。また、第2インバータ50において上アームスイッチ51と下アームスイッチ52とが相補的にオンオフされることにより、第2巻線33bの通電が制御される。要するに、全波駆動モードでは、各インバータ40, 50における上下アームの各スイッチが同じ通電期間でそれぞれ相補的に開閉されることにより、第1巻線33a及び第2巻線33bの通電が制御される。

#### 【0056】

全波駆動モードでの通電制御によれば、同相であるW1相及びW2相の巻線部において、図示のように同位相でW1電流及びW2電流が流れ、その合成電流である「W1 + W2電流」により回転電機10が駆動される。この場合、同相の2組の巻線部について同じ通電期間で通電制御が行われることにより、全波状の3相交流電流により固定子巻線33が通電される。これにより、高トルクの出力が可能となっている。

#### 【0057】

一方で、図6に示すように、半波駆動モードでは、切替スイッチ48, 58がオンされるとともに、第1インバータ40の付加スイッチ45と第2インバータ50の付加スイッチ55とが180度周期（電気半周期）で交互にオンされる。そして、付加スイッチ45, 55のオン期間において、第1インバータ40の上アームスイッチ41がオンオフされるとともに、第2インバータ50の下アームスイッチ52がオンオフされる。

#### 【0058】

詳しくは、期間T1では、第1インバータ40の付加スイッチ45がオンされるとともに、第2インバータ50の付加スイッチ55がオフされる。そして、かかる状態において、第1インバータ40では、上アームスイッチ41がオンオフされ、かつ下アームスイッチ42がオフのまま保持され、第2インバータ50では、上アームスイッチ51及び下アームスイッチ52がいずれもオフのまま保持される。

#### 【0059】

また、期間T2では、第1インバータ40の付加スイッチ45がオフされるとともに、第2インバータ50の付加スイッチ55がオンされる。そして、かかる状態において、第1インバータ40では、上アームスイッチ41及び下アームスイッチ42がいずれもオフのまま保持され、第2インバータ50では、上アームスイッチ51がオフのまま保持され、かつ下アームスイッチ42がオンオフされる。

#### 【0060】

要するに、半波駆動モードでは、切替スイッチ48, 58が閉鎖された状態で、第1インバータ40における上下アームの各スイッチ41, 42のうち上アームスイッチ41と、第2インバータ50における上下アームの各スイッチ51, 52のうち下アームスイッチ52とが、交互に定められた通電期間（T1, T2）でそれぞれ開閉される。そしてこれにより、第1巻線33a及び第2巻線33bの通電が制御される。

#### 【0061】

半波駆動モードでの通電制御によれば、各インバータ40, 50において、回転電機10の半波駆動が交互に行われる。この場合、固定子13において第1巻線33a及び第2巻線33bが互いに磁気結合された状態となっている一方で、第1巻線33aの側では、切替スイッチ48により中性点N1と直流電源60の低電位側とが短絡されるとともに、第2巻線33bの側では、切替スイッチ58により中性点N2と直流電源60の高電位側とが短絡されているため、第1巻線33aの通電期間及び第2巻線33bの通電期間では、それぞれ相電流の向きが互いに逆となって正負で変化する。そして、第1巻線33aの通電期間と第2巻線33bの通電期間とが互い違いに設定されていることにより、その合成起磁力が全波状となる。

#### 【0062】

つまり、図6に示すように、期間T1では、その当初においてW1電流として負の電流が流れるが、次第に正の電流にシフトし、逆に、期間T2では、その当初においてW1電

10

20

30

40

50

流として正の電流が流れるが、次第に負の電流にシフトする。これにより、半波駆動でありますながら、W1電流及びW2電流の合成電流（W1 + W2電流）は正弦波波形又はそれに近い波形となる。すなわち、全波駆動時と同様に正弦波状の回転磁界（起磁力）を得ることが可能となる。

【0063】

図7は、回転電機10のトルクの時系列変化を示すタイムチャートであり、実線は本実施形態でのトルク変化を示し、一点鎖線は従来例でのトルク変化を示す。図7によれば、トルク脈動が低減され、かつ平均トルクが上昇していることが分かる（AVE1 AVE2）。

【0064】

第1インバータ40での半波駆動と第2インバータ50での半波駆動との切り替わり時には、互いに磁気結合されている巻線部同士で、磁気誘導による転流が行われるようになっており、その点について以下に補足する。

【0065】

第1インバータ40の上アームスイッチ41がスイッチングされて第1巻線33aに半波電流が流れる場合には、上アームスイッチ41から、付加スイッチ45を介して第1巻線33aの中性点N1に向かう向きで正の電流が流れる。そして、その状況下において、例えば図6のタイミングtaで、上アームスイッチ41及び付加スイッチ45がオフされ第1巻線33aの電流が遮断されると、その電流変化を妨げる向きに第1巻線33a及び第2巻線33bに電圧が生じる。これにより、第2巻線33b側では、第2巻線33b～切替スイッチ58～直流電源60～下アームスイッチ52の還流ダイオード54～上アームスイッチ51の還流ダイオード53～第2巻線33bを介する電流経路が形成され、第1巻線33aに流れていた電流が第2巻線33bに転流される。

【0066】

そしてその後、付加スイッチ55がオンされるとともに、第2インバータ50の下アームスイッチ52のスイッチングが開始されることにより、第2巻線33bに半波電流が流れる。さらにその後において、第2巻線33bから第1巻線33aへの転流が行われる際も同様である。ただし相違点として、第2巻線33bに半波電流が流れる場合には、第1巻線33aの通電時とは電流の向きが逆であり、第2巻線33bの中性点N2から、付加スイッチ55を介して下アームスイッチ52に向かう向きで負の電流が流れるようになっている。

【0067】

また、上記のとおり例えば第1インバータ40の上アームスイッチ41がスイッチングされて第1巻線33aに半波電流が流れている状況下において、第1巻線33aの電流が遮断されると、第2巻線33b側への転流が行われるが、その電流遮断直後には、第1インバータ40内において還流経路が形成され、それに起因して転流に支障が及ぶことが懸念される。つまり、図8に示すように、第1インバータ40側において、下アームスイッチ42の還流ダイオード44と第1巻線33aとを含む経路として還流経路R1が形成される。また、第2巻線33bの電流が遮断される場合には、第2インバータ50側において、上アームスイッチ51の還流ダイオード53と第2巻線33bとを含む経路として還流経路R2が形成される。なお、図8には、W1相の巻線部を通る還流経路R1と、W2相の巻線部を通る還流経路R2とを示している。

【0068】

この点、第1インバータ40の上アームスイッチ41のスイッチングが停止されて、第2インバータ50の下アームスイッチ52のスイッチングが開始される際には、上アームスイッチ41のスイッチング停止に合わせて、付加スイッチ45がオフされる。そのため、付加スイッチ45により還流経路R1が遮断される。また、第2インバータ50の下アームスイッチ52のスイッチングが停止されて、第1インバータ40の上アームスイッチ41のスイッチングが開始される際には、下アームスイッチ52のスイッチング停止に合わせて、付加スイッチ55がオフされる。そのため、付加スイッチ55により還流経路R

10

20

30

40

50

2 が遮断される。付加スイッチ 4 5 が「第 1 遮断部」に相当し、付加スイッチ 5 5 が「第 2 遮断部」に相当する。

【0069】

なお、第 1 インバータ 4 0 において、下アームスイッチ 4 2 と付加スイッチ 4 5 とは、還流ダイオード 4 4, 4 6 が互いに逆となる向きで直列に接続されており、これら両スイッチ 4 2, 4 5 により、双方向に通電及び遮断を可能にする双方向スイッチが構成されている。また、第 2 インバータ 5 0 において、上アームスイッチ 5 1 と付加スイッチ 5 5 とは、還流ダイオード 5 3, 5 6 が互いに逆となる向きで直列に接続されており、これら両スイッチ 5 1, 5 5 により、双方向に通電及び遮断を可能にする双方向スイッチが構成されている。

10

【0070】

制御装置 6 5 は、回転電機 1 0 の回転速度に基づいて、全波駆動モードと半波駆動モードとの切り替えを実施する。具体的には、制御装置 6 5 は、回転電機 1 0 の低回転側の動作域では、切替スイッチ 4 8, 5 8 をオフ(開放)して、全波駆動モードで各巻線 3 3 a, 3 3 b の通電制御を実施する。また、回転電機 1 0 の高回転側の動作域では、切替スイッチ 4 8, 5 8 をオン(閉鎖)して、半波駆動モードで各巻線 3 3 a, 3 3 b の通電制御を実施する。

【0071】

図 9 には、全波駆動の実施時における回転電機出力を実線で示すとともに、半波駆動の実施時における回転電機出力を破線で示す。全波駆動は、半波駆動と比べて起磁力が 2 倍となるため高トルク動作に適する。半波駆動は、全波駆動と比べて単位巻線あたりの印加電圧が 2 倍となるため、高回転動作に適する。この場合、全波駆動の実施時及び半波駆動の実施時で出力特性が一部重複している。そのため、本実施形態では、全波駆動を行う第 1 動作域と、半波駆動を行う第 2 動作域とを図 1 0 のように定め、それら各動作域に応じてモード切替を実施することとしている。なお、図 1 0 では、第 1 動作域にハッチングが付されている。

20

【0072】

図 1 1 は、制御装置 6 5 により実施されるモード切替処理を示すフローチャートであり、本処理は所定周期で繰り返し実施される。

【0073】

30

ステップ S 1 1 では、回転電機 1 0 の運転状態が第 1 動作域に入っているか否かを判定し、ステップ S 1 2 では、回転電機 1 0 の運転状態が第 2 動作域に入っているか否かを判定する。ステップ S 1 1, S 1 2 では、例えば、回転子 1 2 の回転情報に基づいて算出される回転速度と、回転電機 1 0 に対する要求トルクとに基づいて、動作域の判定が行われるとよい。

【0074】

回転電機 1 0 の運転状態が第 1 動作域に入っている場合、ステップ S 1 3 に進み、全波駆動モードで回転電機 1 0 を駆動させる旨を決定する。この場合、切替スイッチ 4 8, 5 8 をオフする。また、各インバータ 4 0, 5 0 の付加スイッチ 4 5, 5 5 をオン状態とした上で、各相の上下アームスイッチをスイッチングさせて全波駆動を実施する。

40

【0075】

また、回転電機 1 0 の運転状態が第 2 動作域に入っている場合、ステップ S 1 4 に進み、半波駆動モードで回転電機 1 0 を駆動させる旨を決定する。この場合、切替スイッチ 4 8, 5 8 をオンする。また、各相において、電気半周期ごとに各インバータ 4 0, 5 0 の付加スイッチ 4 5, 5 5 を交互にオン状態とするとともに、第 1 インバータ 4 0 では上アームスイッチ 4 1 をスイッチングさせ、第 2 インバータ 5 0 では下アームスイッチ 5 2 をスイッチングさせて半波駆動を実施する。

【0076】

以上詳述した本実施形態によれば、以下の優れた効果が得られる。

【0077】

50

全波駆動モードでは、切替スイッチ48, 58をオフ（開放）し、第1インバータ40及び第2インバータ50による第1巻線33a及び第2巻線33bの全波通電を行わせるようにした。この場合、第1巻線33a及び第2巻線33bでは同相の巻線部について同じ通電期間での通電制御が行われ、高トルク出力が実現される。

【0078】

また、半波駆動モードでは、切替スイッチ48, 58をオン（閉鎖）し、第1インバータ40及び第2インバータ50による第1巻線33a及び第2巻線33bの半波通電を行わせるようにした。この場合、第1巻線33a及び第2巻線33bが互いに磁気結合された状態であり、さらに、第1巻線33aの側では、切替スイッチ48により中性点N1と直流電源60の低電位側とが短絡されるとともに、第2巻線33bの側では、切替スイッチ58により中性点N2と直流電源60の高電位側とが短絡されているため、各巻線33a, 33bの通電期間において相電流の向きが互いに逆となり、その合成起磁力により全波状の起磁力が得られるようになっている。以上により、全波駆動と半波駆動とを好適に行い、かつ半波駆動時におけるトルク脈動を低減することができる。

【0079】

回転電機10の動作域に応じて各切替スイッチ48, 58を開閉するようにしたため、異なる出力特性を好適に得ることができ、回転電機10の高効率動作領域を拡大できる。また、各切替スイッチ48, 58が閉鎖されている状態下では、各相の巻線部において全波駆動時と比べて単位巻線あたりの印加電圧が高められる。そのため、回転電機10の動作域を高回転域側に拡張する上で有利な構成を実現できる。

【0080】

半波駆動モードにおいて、第1インバータ40による半波通電と第2インバータ50による半波通電とを切り替える際に、各アームスイッチの還流ダイオードと各巻線33a, 33bとを含んで形成される還流経路R1, R2を、付加スイッチ45, 55により遮断するようにした。これにより、第1巻線33a側と第2巻線33b側との間の転流を好適に実施させることができ、各巻線33a, 33bでの相補的な半波駆動を適正に実施できる。

【0081】

具体的には、各インバータ40, 50において、上下アームの中間点と各相の巻線部とを接続する交流線に付加スイッチ45, 55を設けたため、この付加スイッチ45, 55により、半波通電の切替時に形成される還流経路を好適に遮断することができる。これにより、やはり通電側となる巻線での相補的な半波駆動を適正に実施できる。

【0082】

第1巻線33a及び第2巻線33bにおいて、ターン数を同じとし、かつ同相の導体を固定子コア31の同一のスロット32に収容するようにしたため、第1巻線33aと第2巻線33bとの磁気結合度を高くすることができる。これにより、半波駆動時における巻線間の転流ロス、すなわち第1インバータ40の上アームスイッチ41と第2インバータ50の下アームスイッチ52とを通電期間ごとに交互にそれぞれ開閉させる場合における巻線間の転流ロスを低減でき、駆動の効率を高めることができる。

【0083】

第1巻線33a及び第2巻線33bを平角断面形状の導体により構成したため、これら各巻線33a, 33bの導体を、スロット32内に整然と配列できる。そのため、第1巻線33aと第2巻線33bとの個体ごとの磁気結合度のばらつきを抑えることができる。これにより、巻線間の転流ロスを一層適正に低減することができる。

【0084】

回転電機10の巻線とインバータとを2組ずつ備える構成にしたため、駆動系を冗長化でき、システムの信頼性を向上できる。

【0085】

以下に、第1インバータ40及び第2インバータ50の構成の一部を変更した第2～第4実施形態について説明する。なお、制御システムの構成として上記第1実施形態と同様

10

20

30

40

50

のものは、同じ符号を付してその説明を省略する。制御装置 6 5 の説明も便宜上省略する。

【0086】

(第2実施形態)

図 12 は、第2実施形態における回転電機の制御システムを示す電気回路図である。図 12において、第1インバータ 40 には、各相の下アームスイッチ 42 として、互いに直列に接続され、かつ互いに逆向きに設けられた還流ダイオード 44a, 44b を有する一对の半導体スイッチング素子 42a, 42b が設けられている。一对の半導体スイッチング素子 42a, 42b は、逆直列に接続された逆導通型の半導体スイッチング素子であり、双方向での通電及び遮断を可能にする双方向スイッチとして機能する。本実施形態では、一对の半導体スイッチング素子 42a, 42b が「第1遮断部」に相当する。

10

【0087】

また、第2インバータ 50 には、各相の上アームスイッチ 51 として、互いに直列に接続され、かつ互いに逆向きに設けられた還流ダイオード 53a, 53b を有する一对の半導体スイッチング素子 51a, 51b が設けられている。一对の半導体スイッチング素子 51a, 51b は、逆直列に接続された逆導通型の半導体スイッチング素子であり、双方向での通電及び遮断を可能にする双方向スイッチとして機能する。本実施形態では、一对の半導体スイッチング素子 51a, 51b が「第2遮断部」に相当する。

【0088】

なお、第1インバータ 40 の上アームスイッチ 41、第2インバータ 50 の下アームスイッチ 52 の構成は、上述した図 4 と同じである。

20

【0089】

上記構成では、各インバータ 40, 50 で全波駆動を行う場合に、制御装置 6 5 は、第1インバータ 40 において、下アームスイッチ 42 としての一对の半導体スイッチング素子 42a, 42b のうち一方の半導体スイッチング素子 42a (すなわち、上アームスイッチ 41 と還流ダイオードの向きが同じ半導体スイッチング素子) を、上アームスイッチ 41 に対して相補的に開閉させ、かつ他方の半導体スイッチング素子 42b をオン状態 (閉状態) で保持する。また、第2インバータ 50 において、上アームスイッチ 51 としての一对の半導体スイッチング素子 51a, 51b のうち一方の半導体スイッチング素子 51a (すなわち、下アームスイッチ 52 と還流ダイオードの向きが同じ半導体スイッチング素子) を、下アームスイッチ 52 に対して相補的に開閉させ、かつ他方の半導体スイッチング素子 51b をオン状態 (閉状態) で保持する。

30

【0090】

また、半波駆動モードにおいて第1インバータ 40 にて半波駆動を行う場合に、制御装置 6 5 は、上アームスイッチ 41 をスイッチングする一方で、一对の半導体スイッチング素子 42a, 42b のうち半導体スイッチング素子 42a をオフ状態 (閉状態) で保持し、かつ半導体スイッチング素子 42b をオン状態 (閉状態) で保持する。第2インバータ 50 側の各スイッチ 51, 52 はいずれもオフ状態 (閉状態) で保持する。

【0091】

また、制御装置 6 5 は、電気半周期が経過することに伴い、上アームスイッチ 41 のスイッチングを停止するとともに、一对の半導体スイッチング素子 42a, 42b をいずれもオフ状態 (閉状態) にする。そして、第2インバータ 50 での下アームスイッチ 52 のスイッチングを開始する。その下アームスイッチ 52 のスイッチング時には、一对の半導体スイッチング素子 51a, 51b のうち半導体スイッチング素子 51a をオフ状態 (閉状態) で保持し、かつ半導体スイッチング素子 51b をオン状態 (閉状態) で保持する。

40

【0092】

なお、第1実施形態で説明した図 6 の動作と対比させると、半導体スイッチング素子 42a が下アームスイッチ 42 と同様に動作し、半導体スイッチング素子 42b が付加スイッチ 45 と同様に動作する。また、半導体スイッチング素子 51a が上アームスイッチ 51 と同様に動作し、半導体スイッチング素子 51b が付加スイッチ 55 と同様に動作する

50

。

## 【0093】

ここで、第1インバータ40にて半波駆動が行われる状態から、第2インバータ50にて半波駆動が行われる状態への切替時には、一対の半導体スイッチング素子42a, 42bがオフされ、その状態において互いに逆向きの還流ダイオード44a, 44bにより双方向での通電遮断がなされる。そのため、上アームスイッチ41のスイッチング停止時において第1インバータ40での還流経路R1(図8参照)が遮断されることになる。

## 【0094】

また同様に、第2インバータ50にて半波駆動が行われる状態から、第1インバータ40にて半波駆動が行われる状態への切替時には、一対の半導体スイッチング素子51a, 51bがオフされ、その状態において互いに逆向きの還流ダイオード53a, 53bにより双方向での通電遮断がなされる。そのため、下アームスイッチ52のスイッチング停止時において第2インバータ50での還流経路R2(図8参照)が遮断されることになる。

10

## 【0095】

本実施形態では、第1実施形態における図4の構成に比べて、全波駆動時において導通状態の直列素子数を減らすことができ、導通損失の低減を図ることができる。

## 【0096】

また、全波駆動時には、各インバータ40, 50において、逆直列に接続された一対の半導体スイッチング素子(すなわち、第1インバータ40の下アームスイッチ42、第2インバータ50の上アームスイッチ51)のうち一方を開閉させ、他方を閉状態で保持することにより通電電流が制御される。この場合、力率が1でない場合の還流動作や、あるいは回生動作も行うことができ、適正な全波駆動を実現できる。

20

## 【0097】

## (第3実施形態)

図13は、第3実施形態における回転電機の制御システムを示す電気回路図である。図13において、第1インバータ40には、各相の下アームスイッチ42として、互いに逆向きに並列接続された一対のIGBT42c, 42dが設けられている。一対のIGBT42c, 42dは、逆並列に接続された逆阻止型IGBTであり、双方向での通電及び遮断を可能にする双方向スイッチとして機能する。より具体的には、一方のIGBT42cではコレクタを高電位側、エミッタを低電位側とし、他方のIGBT42dではエミッタを高電位側、コレクタを低電位側として、これら一対のIGBT42c, 42dが互いに逆並列に接続されている。

30

## 【0098】

また、第2インバータ50には、各相の上アームスイッチ51として、互いに逆向きに並列接続された一対のIGBT51c, 51dが設けられている。一対のIGBT51c, 51dは、逆並列に接続された逆阻止型IGBTであり、双方向での通電及び遮断を可能にする双方向スイッチとして機能する。より具体的には、一方のIGBT51cではコレクタを高電位側、エミッタを低電位側とし、他方のIGBT51dではエミッタを高電位側、コレクタを低電位側として、これら一対のIGBT51c, 51dが互いに逆並列に接続されている。

40

## 【0099】

なお、第1インバータ40の上アームスイッチ41、第2インバータ50の下アームスイッチ52の構成は、上述した図4と同じである。

## 【0100】

上記構成では、各インバータ40, 50で全波駆動を行う場合に、制御装置65は、第1インバータ40において、下アームスイッチ42としての一対のIGBT42c, 42dのうち一方のIGBT42c(すなわち、上アームスイッチ41にコレクタが接続されたIGBT)を、上アームスイッチ41に対して相補的に開閉させ、かつ他方のIGBT42dをオン状態(閉状態)で保持する。また、第2インバータ50において、上アームスイッチ51としての一対のIGBT51c, 51dのうち一方のIGBT51c(すな

50

わち、下アームスイッチ 5 2 にエミッタが接続された IGBT ) を、下アームスイッチ 5 2 に対して相補的に開閉させ、かつ他方の IGBT 5 1 d をオン状態 ( 閉状態 ) で保持する。

【 0 1 0 1 】

また、半波駆動モードにおいて第 1 インバータ 4 0 にて半波駆動を行う場合に、制御装置 6 5 は、上アームスイッチ 4 1 をスイッチングする一方で、一対の IGBT 4 2 c , 4 2 d のうち IGBT 4 2 c をオフ状態 ( 開状態 ) で保持し、かつ IGBT 4 2 d をオン状態 ( 閉状態 ) で保持する。第 2 インバータ 5 0 側の各スイッチ 5 1 , 5 2 はいずれもオフ状態 ( 開状態 ) で保持する。

【 0 1 0 2 】

また、制御装置 6 5 は、電気半周期が経過することに伴い、上アームスイッチ 4 1 のスイッチングを停止するとともに、一対の IGBT 4 2 c , 4 2 d をいずれもオフ状態 ( 開状態 ) にする。そして、第 2 インバータ 5 0 での下アームスイッチ 5 2 のスイッチングを開始する。その下アームスイッチ 5 2 のスイッチング時には、一対の IGBT 5 1 c , 5 1 d のうち IGBT 5 1 c をオフ状態 ( 開状態 ) で保持し、かつ IGBT 5 1 d オン状態 ( 閉状態 ) で保持する。

【 0 1 0 3 】

なお、第 1 実施形態で説明した図 6 の動作と対比させると、IGBT 4 2 c が下アームスイッチ 4 2 と同様に動作し、IGBT 4 2 d が付加スイッチ 4 5 と同様に動作する。また、IGBT 5 1 c が上アームスイッチ 5 1 と同様に動作し、IGBT 5 1 d が付加スイッチ 5 5 と同様に動作する。

【 0 1 0 4 】

ここで、第 1 インバータ 4 0 にて半波駆動が行われる状態から、第 2 インバータ 5 0 にて半波駆動が行われる状態への切替時には、一対の IGBT 4 2 c , 4 2 d がオフされることにより双方向での通電遮断がなされる。そのため、上アームスイッチ 4 1 のスイッチング停止時において第 1 インバータ 4 0 での還流経路 R 1 ( 図 8 参照 ) が遮断されることになる。

【 0 1 0 5 】

また同様に、第 2 インバータ 5 0 にて半波駆動が行われる状態から、第 1 インバータ 4 0 にて半波駆動が行われる状態への切替時には、一対の IGBT 5 1 c , 5 1 d がオフされることにより双方での通電遮断がなされる。そのため、下アームスイッチ 5 2 のスイッチング停止時において第 2 インバータ 5 0 での還流経路 R 2 ( 図 8 参照 ) が遮断されることになる。

【 0 1 0 6 】

以上により、半波駆動モードにおいて、第 1 卷線 3 3 a 側と第 2 卷線 3 3 b 側との間の転流を好適に実施させることができ、各卷線 3 3 a , 3 3 b での相補的な半波駆動を適正に実施できる。

【 0 1 0 7 】

なお、第 1 インバータ 4 0 の下アームスイッチ 4 2 、及び第 2 インバータ 5 0 の上アームスイッチ 5 1 を、互いに並列に接続された一対の IGBT により構成しても、半波駆動時に導通されるスイッチング素子数 ( すなわち、導通経路上の直列素子数 ) が増えることはない。したがって、半波駆動時における導通損失の低減を図ることができる。

【 0 1 0 8 】

本実施形態では、全波駆動時には、各インバータ 4 0 , 5 0 において、逆並列に接続された一対の IGBT ( すなわち、第 1 インバータ 4 0 の下アームスイッチ 4 2 、第 2 インバータ 5 0 の上アームスイッチ 5 1 ) のうち一方の IGBT を開閉させ、かつ他方の IGBT を閉状態で保持することにより通電電流が制御される。この場合、力率が 1 でない場合の還流動作や、あるいは回生動作も行うことができ、適正な全波駆動を実現できる。

【 0 1 0 9 】

なお、一対の IGBT を逆並列に接続する構成 ( 図 13 の構成 ) では、還流ダイオード

10

20

30

40

50

付きの一対のIGBTを逆直列に接続する構成(図12の構成)に比べて、全波駆動時に  
おいて導通状態の直列素子数を減らすことができ、導通損失の低減を図ることができる。

#### 【0110】

##### (第4実施形態)

各インバータ40, 50のスイッチとしてMOSFETを用いる構成としてもよい。図14は、第4実施形態における回転電機10の制御システムを示す電気回路図である。図14では、第1インバータ40の下アームスイッチ42として、ワイドギャップ半導体で構成されたMOSFET42e, 42fが逆向きに直列接続された状態で設けられている。また、第2インバータ50の上アームスイッチ51として、ワイドギャップ半導体で構成されたMOSFET51e, 51fが逆向きに直列接続された状態で設けられている。これにより、第1インバータ40の下アームスイッチ42及び第2インバータ50の上アームスイッチ51において、双方向での導通及び遮断の機能が付与されている。

10

#### 【0111】

ワイドギャップ半導体で構成されたMOSFETとして、SiC(シリコンカーバイド)系材料や、GaN(窒化ガリウム)系材料などによって構成されたワイドギャップ半導体素子を使用することが好ましい。ワイドギャップ半導体素子を用いることにより、オン抵抗の低減を図ることができる。図14の構成によれば、全波駆動モードでの各スイッチのスイッチング時において導通損失を一層低減できる。

#### 【0112】

##### (他の実施形態)

20

上記実施形態を例えれば次のように変更してもよい。

#### 【0113】

・切替スイッチ48, 58として、半導体スイッチング素子に代えて機械式接点スイッチを用いてもよい。例えば、低回転動作域と高回転動作域とを断続的に切り替えるような用途では、必ずしも半導体スイッチング素子を用いなくてもよい。

#### 【0114】

・第1巻線33aのターン数と第2巻線33bのターン数とが異なっていてもよい。この場合、第1巻線33aを流れる電流の大きさと第2巻線33bを流れる電流の大きさとが相違することになるが、半波駆動の実施は可能である。

30

#### 【0115】

・固定子巻線33は3相巻線に限定されず、中性点を有する巻線であれば、例えば5相巻線であってもよい。

#### 【0116】

・2つのインバータ40, 50において、各々個別の直流電源が接続されている構成であってもよい。

#### 【0117】

・回転電機10は、磁石ロータ構造以外であってもよく、例えば誘導ロータ構造のものであってもよい。また、インナロータ構造に代えて、アウタロータ構造であってもよい。

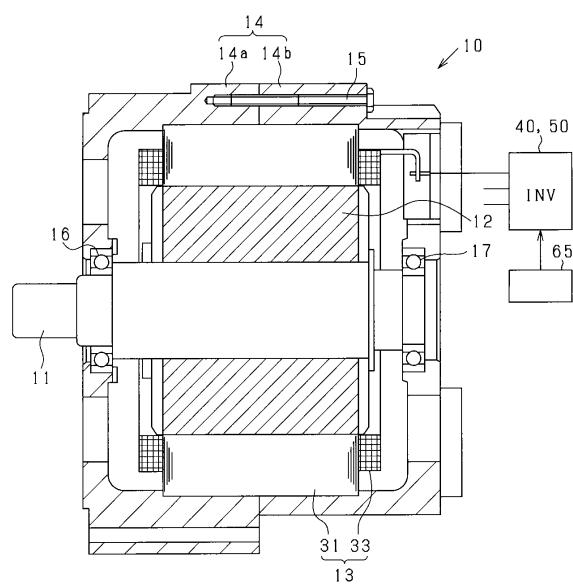
#### 【符号の説明】

#### 【0118】

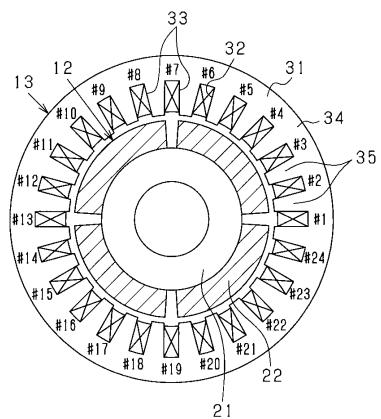
40

10...回転電機、33a...第1巻線、33b...第2巻線、40...第1インバータ、41...上アームスイッチ、42...下アームスイッチ、47...電流経路、48...切替スイッチ(第1切替スイッチ)、50...第2インバータ、51...上アームスイッチ、52...下アームスイッチ、57...電流経路、58...切替スイッチ(第2切替スイッチ)、60...直流電源、65...制御装置(第1通電制御部、第2通電制御部)。

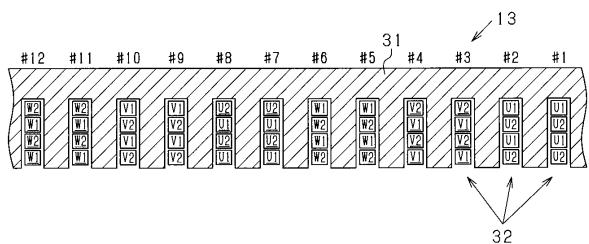
【図1】



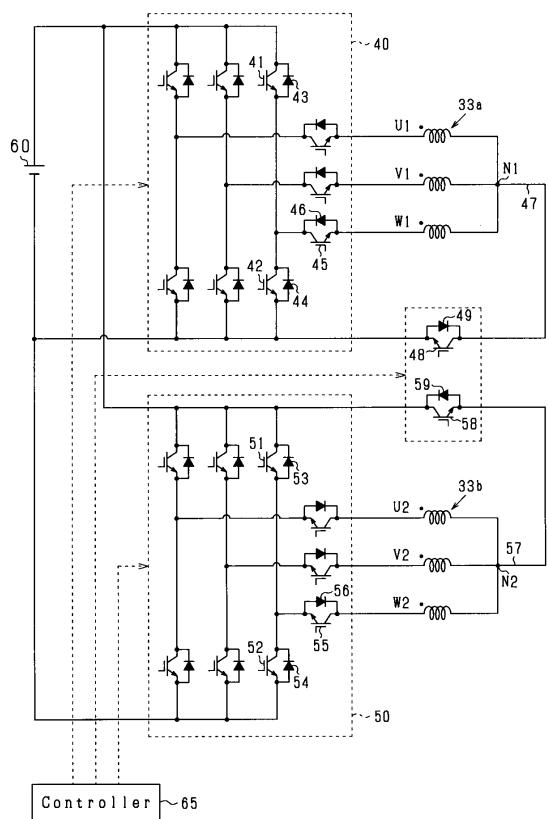
【図2】



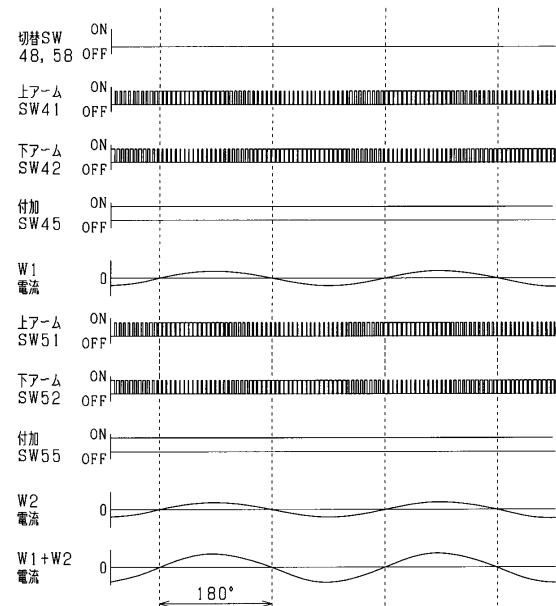
【図3】



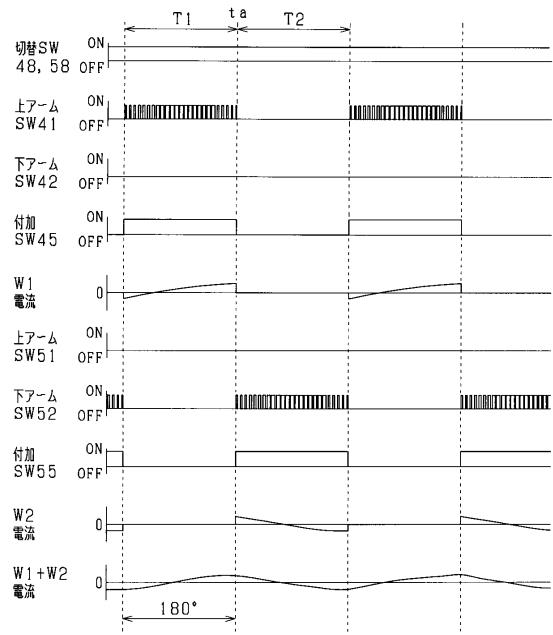
【図4】



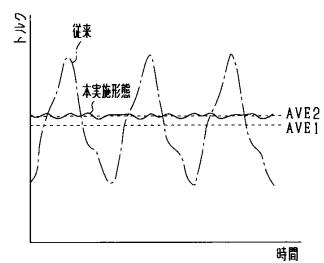
【図5】



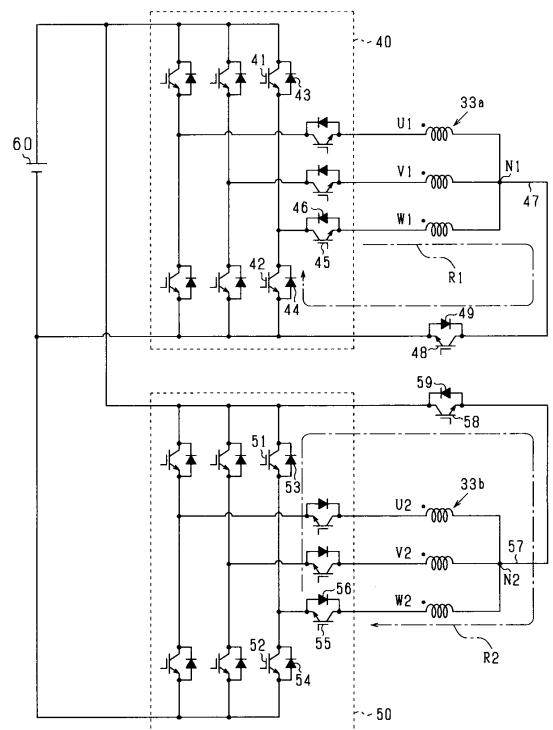
【図 6】



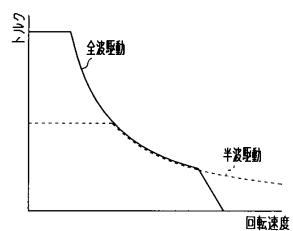
【図 7】



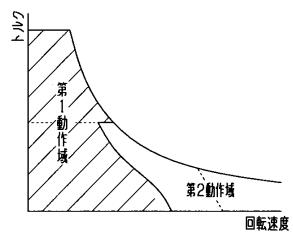
【図 8】



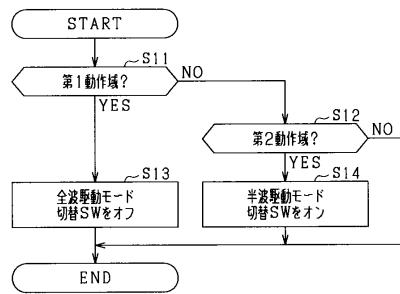
【図 9】



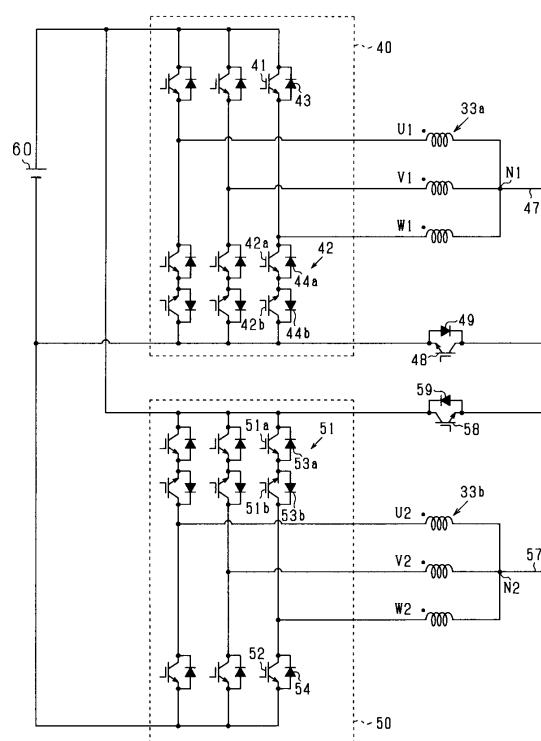
【図 10】



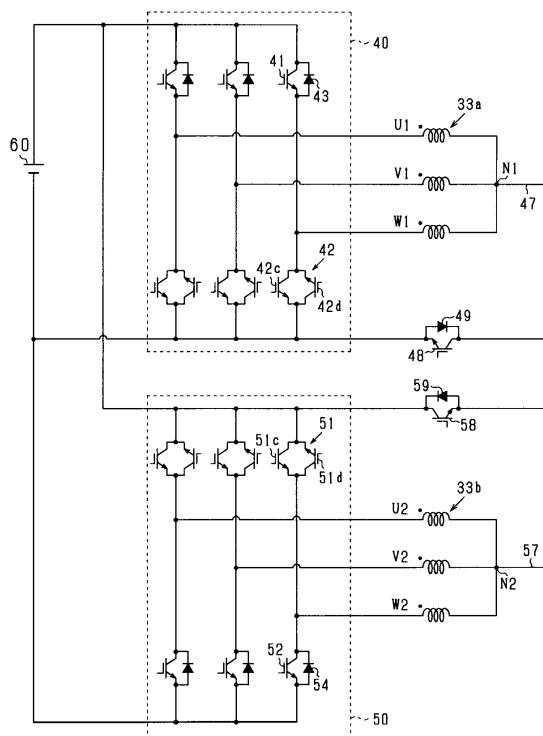
【図11】



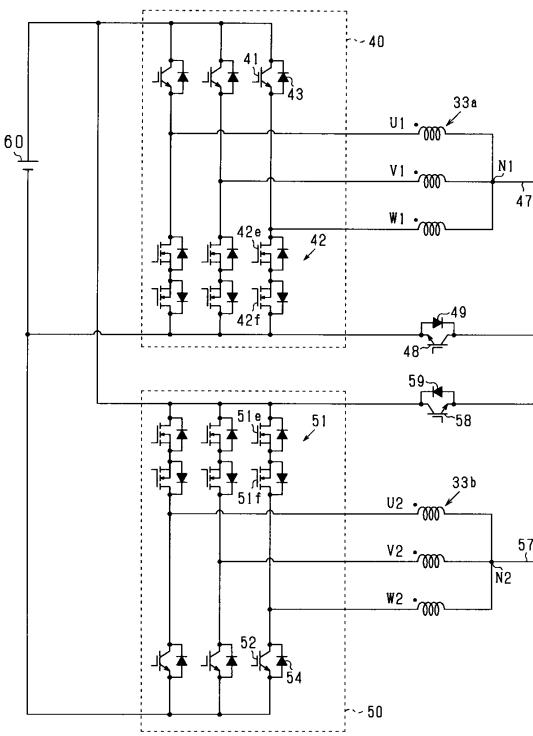
【図12】



【図13】



【図14】



---

フロントページの続き

(72)発明者 金城 博文  
愛知県西尾市下羽角町岩谷 14 番地 株式会社 S O K E N 内

(72)発明者 谷口 真  
愛知県刈谷市昭和町 1 丁目 1 番地 株式会社 デンソー 内

審査官 安池 一貴

(56)参考文献 特開 2018-011490 (JP, A)  
特開 2012-125006 (JP, A)  
国際公開第 2015/019790 (WO, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H 02 P 25 / 22  
H 02 K 3 / 28  
H 02 M 7 / 493  
H 02 P 25 / 18  
H 02 P 27 / 06