

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-192219

(P2017-192219A)

(43) 公開日 平成29年10月19日(2017.10.19)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO2M 3/155 (2006.01)	HO2M 3/155 C	5H730
HO2M 7/48 (2007.01)	HO2M 7/48 M	5H770

審査請求 未請求 請求項の数 25 O L (全 40 頁)

(21) 出願番号 特願2016-80699 (P2016-80699)
 (22) 出願日 平成28年4月14日 (2016.4.14)

(71) 出願人 000005234
 富士電機株式会社
 神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号
 (74) 代理人 100104433
 弁理士 宮園 博一
 (72) 発明者 窪内 源宜
 神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号
 富士電機株式会社内
 (72) 発明者 阿部 康
 神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号
 富士電機株式会社内
 Fターム(参考) 5H730 AA14 AA20 AS05 BB13 BB57
 DD03 DD04 FD01 FD11 FG01
 XX02 XX12
 5H770 BA01 CA01 HA03W JA03W JA10W
 JA17W JA18W LA01W LB02

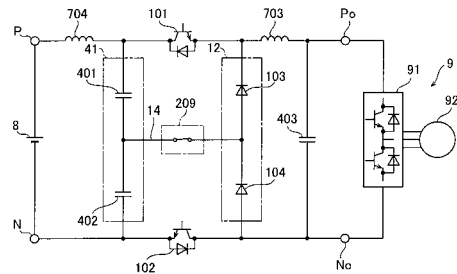
(54) 【発明の名称】 3レベルチョップ装置

(57) 【要約】

【課題】スイッチまたはダイオードに故障が発生した場合でも、コンデンサの充電電圧が過電圧になるのを抑制することが可能な3レベルチョップ装置を提供する。

【解決手段】この3レベルチョップ装置は、スイッチ101およびダイオード103のうちの少なくとも一方、または、スイッチ102およびダイオード104のうちの少なくとも一方の故障時に、コンデンサ402、または、コンデンサ401に過電圧が印加される電流経路を、過電圧とならない電流経路へと変更するように制御可能に構成されている。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

直流電源と、
 第 1 のスイッチおよび第 2 のスイッチと、
 第 1 のダイオードおよび第 2 のダイオードと、
 第 1 のコンデンサ、第 2 のコンデンサおよび第 3 のコンデンサと、
 第 1 のリアクトルおよび第 2 のリアクトルと、
 接続経路と、
 保護スイッチ回路とを備え、

前記第 1 のスイッチと、前記第 1 のダイオードと、前記第 2 のダイオードと、前記第 2 のスイッチと、前記第 2 のコンデンサと、前記第 1 のコンデンサとは、この順で一巡に直列に接続され、

前記直流電源は、前記第 1 のリアクトルを介して、前記第 1 のコンデンサおよび前記第 1 のスイッチの接続点と、前記第 2 のスイッチおよび前記第 2 のコンデンサの接続点と、の間に並列に接続され、

前記第 3 のコンデンサは、前記第 2 のリアクトルを介して、前記第 1 のダイオードおよび前記第 1 のスイッチの接続点と、前記第 2 のスイッチおよび前記第 2 のダイオードの接続点と、の間に並列に接続され、

前記接続経路は、前記第 1 のダイオードおよび前記第 2 のダイオードの接続点と、前記第 1 のコンデンサおよび前記第 2 のコンデンサの接続点とを接続し、

前記保護スイッチ回路は、前記第 1 のスイッチおよび前記第 1 のダイオードのうち少なくとも一方、または、前記第 2 のスイッチおよび前記第 2 のダイオードのうち少なくとも一方の故障時に、前記第 2 のコンデンサ、または、前記第 1 のコンデンサに過電圧が印加される電流経路を、過電圧とならない電流経路へと変更するように制御可能に構成されている、3 レベルチョッパ装置。

【請求項 2】

前記保護スイッチ回路は、前記接続経路に直列に接続されている双方向保護スイッチである、請求項 1 に記載の 3 レベルチョッパ装置。

【請求項 3】

前記双方向保護スイッチは、IGBT、MOSFET およびバイポーラトランジスタのうち少なくとも 1 つを含む半導体スイッチ素子とダイオードとを直列接続したスイッチ回路、または、逆阻止型 IGBT が 2 個逆並列接続されることにより構成されている、請求項 2 に記載の 3 レベルチョッパ装置。

【請求項 4】

前記双方向保護スイッチは、IGBT、MOSFET およびバイポーラトランジスタのうち少なくとも 1 つを含む半導体スイッチ素子とダイオードとを逆並列接続したスイッチ回路、または、MOSFET、または、逆導通型 IGBT が 2 個逆直列接続されて構成されている、請求項 2 に記載の 3 レベルチョッパ装置。

【請求項 5】

前記双方向保護スイッチを構成するダイオードは、シリコンダイオードを含む、請求項 3 または 4 に記載の 3 レベルチョッパ装置。

【請求項 6】

前記双方向保護スイッチを構成するダイオードは、炭化珪素ダイオードを含む、請求項 3 または 4 に記載の 3 レベルチョッパ装置。

【請求項 7】

前記双方向保護スイッチを構成するダイオードは、シリコンダイオードと炭化珪素ダイオードとを並列接続したダイオードを含む、請求項 3 または 4 に記載の 3 レベルチョッパ装置。

【請求項 8】

前記保護スイッチ回路は、前記双方向保護スイッチに並列に接続された第 1 の抵抗をさ

10

20

30

40

50

らに含む、請求項 2 ~ 7 のいずれか 1 項に記載の 3 レベルチョッパ装置。

【請求項 9】

前記保護スイッチ回路は、前記双方向保護スイッチに並列に接続された第 1 の保護コンデンサをさらに含む、請求項 2 ~ 8 のいずれか 1 項に記載の 3 レベルチョッパ装置。

【請求項 10】

前記保護スイッチ回路は、

前記第 1 のダイオードと前記接続経路の間に直列に接続される第 1 の保護スイッチと、
前記第 2 のダイオードと前記接続経路の間に直列に接続される第 2 の保護スイッチと、
前記第 1 のダイオードと前記第 1 の保護スイッチの接続点と、前記第 2 の保護スイッチと前記第 2 のダイオードの接続点との間に、並列に接続される第 2 の抵抗とを含む、請求項 1 に記載の 3 レベルチョッパ装置。

10

【請求項 11】

前記保護スイッチ回路は、

前記第 1 のダイオードと前記接続経路の間に直列に接続される第 3 の保護スイッチと、
前記第 2 のダイオードと前記接続経路の間に直列に接続される第 4 の保護スイッチと、
前記第 1 のダイオードと前記第 3 の保護スイッチの接続点と、前記第 4 の保護スイッチと前記第 2 のダイオードの接続点との間に、並列に接続される第 2 の保護コンデンサとを含む、請求項 1 に記載の 3 レベルチョッパ装置。

【請求項 12】

前記保護スイッチ回路は、

前記第 1 のコンデンサと前記接続経路の間に直列に接続される第 5 の保護スイッチと、
前記第 2 のコンデンサと前記接続経路の間に直列に接続される第 6 の保護スイッチと、
前記第 1 のコンデンサと前記第 5 の保護スイッチの接続点と、前記第 6 の保護スイッチと前記第 2 のコンデンサの接続点との間に、並列に接続される第 3 の抵抗とを含む、請求項 1 に記載の 3 レベルチョッパ装置。

20

【請求項 13】

前記保護スイッチ回路は、

前記第 1 のコンデンサと前記接続経路の間に直列に接続される第 7 の保護スイッチと、
前記第 2 のコンデンサと前記接続経路の間に直列に接続される第 8 の保護スイッチと、
前記第 1 のコンデンサと前記第 7 の保護スイッチの接続点と、前記第 8 の保護スイッチと前記第 2 のコンデンサの接続点との間に、並列に接続される第 3 の保護コンデンサとを含む、請求項 1 に記載の 3 レベルチョッパ装置。

30

【請求項 14】

前記保護スイッチ回路は、

前記第 1 のリアクトルに直列に接続される第 9 の保護スイッチと、
前記第 9 の保護スイッチの両端に並列に接続される第 4 の抵抗とを含む、請求項 1 に記載の 3 レベルチョッパ装置。

【請求項 15】

前記保護スイッチ回路は、

前記第 1 のリアクトルに直列に接続される第 10 の保護スイッチと、
前記第 10 の保護スイッチの両端に並列に接続される第 4 の保護コンデンサとを含む、請求項 1 に記載の 3 レベルチョッパ装置。

40

【請求項 16】

前記第 3 の抵抗、または、前記第 4 の抵抗の抵抗値を R とし、前記第 1 のリアクトルのインダクタンスを L とし、前記第 1 のコンデンサおよび前記第 2 のコンデンサのうちの容量の小さい方の容量を C としたとき、抵抗値 R は、下記の式 (1) を満たす、請求項 12 または 14 に記載の 3 レベルチョッパ装置。

$$R \geq 2 \times (2 \times L / C)^{1/2} \dots (1)$$

【請求項 17】

前記保護スイッチ回路は、

50

前記第 1 のスイッチまたは前記第 2 のコンデンサまたは前記第 1 のダイオードまたは前記接続経路に直列に接続されている第 1 の保護スイッチ部分回路と、

前記第 2 のスイッチまたは前記第 1 のコンデンサまたは前記第 2 のダイオードまたは前記接続経路に直列に接続されている第 2 の保護スイッチ部分回路との両方、または、いずれか一つを含む、請求項 1 に記載の 3 レベルチョッパ装置。

【請求項 18】

前記第 1 の保護スイッチ部分回路は、第 11 の保護スイッチを含み、前記第 1 のスイッチ、または、前記第 1 のダイオード、または、前記接続経路に直列に接続されている、請求項 17 に記載の 3 レベルチョッパ装置。

【請求項 19】

前記第 1 の保護スイッチ部分回路は、第 12 の保護スイッチと、前記第 12 の保護スイッチに並列接続された第 5 の抵抗とを含む、請求項 17 に記載の 3 レベルチョッパ装置。

【請求項 20】

前記第 1 の保護スイッチ部分回路は、前記第 2 のコンデンサに直列に接続されており、前記第 5 の抵抗の抵抗値を R_a とし、前記第 1 のリアクトルのインダクタンスを L とし、前記第 2 のコンデンサの容量を C_2 としたとき、前記第 5 の抵抗の抵抗値 R_a は、下記の式 (2) を満たす、請求項 19 に記載の 3 レベルチョッパ装置。

$$R_a = 2 \times (2 \times L / C_2)^{1/2} \cdots (2)$$

【請求項 21】

前記第 1 の保護スイッチ部分回路は、第 13 の保護スイッチと、前記第 13 の保護スイッチに並列接続された第 5 の保護コンデンサを含む、請求項 17 に記載の 3 レベルチョッパ装置。

【請求項 22】

前記第 2 の保護スイッチ部分回路は、第 14 の保護スイッチを含み、前記第 2 のスイッチ、または、前記第 2 のダイオード、または、前記接続経路に直列に接続されている、請求項 17 ~ 21 のいずれか 1 項に記載の 3 レベルチョッパ装置。

【請求項 23】

前記第 2 の保護スイッチ部分回路は、第 15 の保護スイッチと、前記第 15 の保護スイッチに並列接続された第 6 の抵抗とを含む、請求項 17 ~ 21 のいずれか 1 項に記載の 3 レベルチョッパ装置。

【請求項 24】

前記第 2 の保護スイッチ部分回路は、前記第 1 のコンデンサに直列に接続されており、前記第 6 の抵抗の抵抗値を R_b とし、前記第 1 のリアクトルのインダクタンスを L とし、前記第 1 のコンデンサの容量を C_1 としたとき、前記第 6 の抵抗の抵抗値 R_b は、下記の式 (3) を満たす、請求項 23 に記載の 3 レベルチョッパ装置。

$$R_b = 2 \times (2 \times L / C_1)^{1/2} \cdots (3)$$

【請求項 25】

前記第 2 の保護スイッチ部分回路は、第 16 の保護スイッチと、前記第 16 の保護スイッチに並列接続された第 6 の保護コンデンサとを含む、請求項 17 ~ 21 のいずれか 1 項に記載の 3 レベルチョッパ装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、3 レベルチョッパ装置に関し、特に、直列に接続される第 1 のコンデンサおよび第 2 のコンデンサを備える 3 レベルチョッパ装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、直列に接続される第 1 のコンデンサおよび第 2 のコンデンサを備える 3 レベルチョッパ装置が知られている (たとえば、特許文献 1 参照)。

【0003】

10

20

30

40

50

上記特許文献 1 では、直流電源と、リアクトルと、トランジスタ等で構成される第 1 のスイッチおよび第 2 のスイッチと、直列接続された第 1 のコンデンサおよび第 2 のコンデンサと、第 1 のダイオードおよび第 2 のダイオードとを備える電力変換器が開示されている。この電力変換器では、直流電源に、リアクトルと、第 1 のスイッチおよび第 2 のスイッチとが直列に接続されている。そして、第 1 のスイッチの両端に第 1 のダイオードと第 1 のコンデンサとから構成される直列回路が接続され、第 2 スwitchの両端に第 2 のコンデンサと第 2 のダイオードとから構成される直列回路が接続されている。

【 0 0 0 4 】

また、この電力変換器では、第 1 のコンデンサと第 2 のコンデンサとが直列接続されている点の電位（以下、中点電位という）を検出する故障検出手段が設けられている。そして、第 1 のコンデンサおよび第 2 のコンデンサのうちのいずれかが短絡故障したことに起因して、中点電位の値が予め設定された範囲を超えた場合、故障検出手段は、電力変換器の降圧を停止する信号を出力するように構成されている。

10

【 0 0 0 5 】

また、上記特許文献 1 に記載のような電力変換器（チョッパ装置）に故障が発生したときは、電力変換器の第 1 のスイッチおよび第 2 のスイッチを切断（オフ）したり、電力変換器に接続される負荷のインバータの半導体スイッチ素子を切断（オフ）したりして、負荷に電流が流れないようにして保護を図るのが一般的である。また、たとえば直列に接続されたスイッチのうちの一方のスイッチ（たとえば、第 1 のスイッチ）が全導通となるような短絡故障が発生した場合、通常対策として、電力変換器に接続される負荷のインバータの半導体スイッチ素子を切断することにより負荷を電力変換器から切り離し、電力変換器の他方のスイッチ（たとえば、第 2 のスイッチ）が切断される。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 0 6 】

【特許文献 1】特許第 4 8 8 6 5 6 2 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 7 】

しかしながら、従来の電力変換器のように、一方のスイッチとダイオードとが全導通となるような短絡故障が発生した際に、電力変換器に接続される負荷のインバータの半導体スイッチ素子を切断することにより負荷を電力変換器から切り離し、電力変換器の他方のスイッチを切断した場合には、故障により短絡した一方のスイッチとダイオードとを介して、直流電源に接続されるリアクトルと他方のコンデンサとに直列共振電流が流れる。このため、他方のコンデンサは、直流電源の電圧より高い電圧まで充電され、過電圧になるという問題点がある。

30

【 0 0 0 8 】

この発明は、上記のような課題を解決するためになされたものであり、この発明の 1 つの目的は、スイッチまたはダイオードに故障が発生した場合でも、コンデンサの充電電圧が過電圧になるのを抑制することができる 3 レベルチョッパ装置を提供することである。

40

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 9 】

上記目的を達成するために、この発明の一の局面による 3 レベルチョッパ装置は、直流電源と、第 1 のスイッチおよび第 2 のスイッチと、第 1 のダイオードおよび第 2 のダイオードと、第 1 のコンデンサ、第 2 のコンデンサおよび第 3 のコンデンサと、第 1 のリアクトルおよび第 2 のリアクトルと、接続経路と、保護スイッチ回路とを備え、第 1 のスイッチと、第 1 のダイオードと、第 2 のダイオードと、第 2 のスイッチと、第 2 のコンデンサと、第 1 のコンデンサとは、この順で一巡に直列に接続され、直流電源は、第 1 のリアクトルを介して、第 1 のコンデンサおよび第 1 のスイッチの接続点と、第 2 のスイッチおよび第 2 のコンデンサの接続点と、の間に並列に接続され、第 3 のコンデンサは、第 2 のリ

50

アクトルを介して、第1のダイオードおよび第1のスイッチの接続点と、第2のスイッチおよび第2のダイオードの接続点と、の間に並列に接続され、接続経路は、第1のダイオードおよび第2のダイオードの接続点と、第1のコンデンサおよび第2のコンデンサの接続点とを接続し、保護スイッチ回路は、第1のスイッチおよび第1のダイオードのうち少なくとも一方、または、第2のスイッチおよび第2のダイオードのうち少なくとも一方の故障時に、第2のコンデンサ、または、第1のコンデンサに過電圧が印加される電流経路を、過電圧とならない電流経路へと変更するように制御可能に構成されている。

【0010】

上記一の局面による3レベルチョッパ装置において、好ましくは、保護スイッチ回路は、接続経路に直列に接続されている双方向保護スイッチである。

10

【0011】

この場合、好ましくは、双方向保護スイッチは、IGBT、MOSFETおよびバイポーラトランジスタのうち少なくとも1つを含む半導体スイッチ素子とダイオードとを直列接続したスイッチ回路、または、逆阻止型IGBTが2個逆並列接続されることにより構成されている。

【0012】

上記保護スイッチ回路が双方向保護スイッチである3レベルチョッパ装置において、好ましくは、双方向スイッチは、IGBT、MOSFETおよびバイポーラトランジスタのうち少なくとも1つを含む半導体スイッチ素子とダイオードとを逆並列接続したスイッチ回路、または、MOSFET、または、逆導通型IGBTが2個逆直列接続されて構成されている。

20

【0013】

上記双方向スイッチがダイオードを含む3レベルチョッパ装置において、好ましくは、双方向保護スイッチを構成するダイオードは、シリコンダイオードを含む。

【0014】

上記双方向保護スイッチがダイオードを含む3レベルチョッパ装置において、好ましくは、双方向保護スイッチを構成するダイオードは、炭化珪素ダイオードを含む。

【0015】

上記双方向保護スイッチがダイオードを含む3レベルチョッパ装置において、好ましくは、双方向保護スイッチを構成するダイオードは、シリコンダイオードと炭化珪素ダイオードとを並列接続したダイオードを含む。

30

【0016】

上記保護スイッチ回路が双方向保護スイッチである3レベルチョッパ装置において、好ましくは、保護スイッチ回路は、双方向保護スイッチに並列に接続された第1の抵抗をさらに含む。

【0017】

上記保護スイッチ回路が双方向保護スイッチである3レベルチョッパ装置において、好ましくは、保護スイッチ回路は、双方向保護スイッチに並列に接続された第1の保護コンデンサをさらに含む。

【0018】

上記一の局面による3レベルチョッパ装置において、好ましくは、保護スイッチ回路は、第1のダイオードと接続経路の間に直列に接続される第1の保護スイッチと、第2のダイオードと接続経路の間に直列に接続される第2の保護スイッチと、第1のダイオードと第1の保護スイッチの接続点と、第2の保護スイッチと第2のダイオードの接続点との間に、並列に接続される第2の抵抗とを含む。

40

【0019】

上記一の局面による3レベルチョッパ装置において、好ましくは、保護スイッチ回路は、第1のダイオードと接続経路の間に直列に接続される第3の保護スイッチと、第2のダイオードと接続経路の間に直列に接続される第4の保護スイッチと、第1のダイオードと第3の保護スイッチの接続点と、第4の保護スイッチと第2のダイオードの接続点との間

50

に、並列に接続される第 2 の保護コンデンサとを含む。

【 0 0 2 0 】

上記一の局面による 3 レベルチョッパ装置において、好ましくは、保護スイッチ回路は、第 1 のコンデンサと接続経路の間に直列に接続される第 5 の保護スイッチと、第 2 のコンデンサと接続経路の間に直列に接続される第 6 の保護スイッチと、第 1 のコンデンサと第 5 の保護スイッチの接続点と、第 6 の保護スイッチと第 2 のコンデンサの接続点との間に、並列に接続される第 3 の抵抗とを含む。

【 0 0 2 1 】

上記一の局面による 3 レベルチョッパ装置において、好ましくは、保護スイッチ回路は、第 1 のコンデンサと接続経路の間に直列に接続される第 7 の保護スイッチと、第 2 のコンデンサと接続経路の間に直列に接続される第 8 の保護スイッチと、第 1 のコンデンサと第 7 の保護スイッチの接続点と、第 8 の保護スイッチと第 2 のコンデンサの接続点との間に、並列に接続される第 3 の保護コンデンサとを含む。

10

【 0 0 2 2 】

上記一の局面による 3 レベルチョッパ装置において、好ましくは、保護スイッチ回路は、第 1 のリアクトルに直列に接続される第 9 の保護スイッチと、第 9 の保護スイッチの両端に並列に接続される第 4 の抵抗とを含む。

【 0 0 2 3 】

上記一の局面による 3 レベルチョッパ装置において、好ましくは、保護スイッチ回路は、第 1 のリアクトルに直列に接続される第 10 の保護スイッチと、第 10 の保護スイッチの両端に並列に接続される第 4 の保護コンデンサとを含む。

20

【 0 0 2 4 】

上記保護スイッチ回路が第 3 の抵抗または第 4 の抵抗を含む 3 レベルチョッパ装置において、好ましくは、第 3 の抵抗、または、第 4 の抵抗の抵抗値を R とし、第 1 のリアクトルのインダクタンスを L とし、第 1 のコンデンサおよび第 2 のコンデンサのうちの容量の小さい方の容量を C としたとき、抵抗値 R は、下記の式 (1) を満たす。

$$R = 2 \times (2 \times L / C)^{1/2} \dots (1)$$

【 0 0 2 5 】

上記一の局面による 3 レベルチョッパ装置において、好ましくは、保護スイッチ回路は、第 1 のスイッチまたは第 2 のコンデンサまたは第 1 のダイオードまたは接続経路に直列に接続されている第 1 の保護スイッチ部分回路と、第 2 のスイッチまたは第 1 のコンデンサまたは第 2 のダイオードまたは接続経路に直列に接続されている第 2 の保護スイッチ部分回路との両方、または、いずれか一つを含む。

30

【 0 0 2 6 】

この場合、好ましくは、第 1 の保護スイッチ部分回路は、第 11 の保護スイッチを含み、第 1 のスイッチ、または、第 1 のダイオード、または、接続経路に直列に接続されている。

【 0 0 2 7 】

上記保護スイッチ回路が第 1 の保護スイッチ部分回路を含む 3 レベルチョッパ装置において、好ましくは、第 1 の保護スイッチ部分回路は、第 12 の保護スイッチと、第 12 の保護スイッチに並列接続された第 5 の抵抗とを含む。

40

【 0 0 2 8 】

上記保護スイッチ回路が第 1 の保護スイッチ部分回路を含む 3 レベルチョッパ装置において、好ましくは、第 1 の保護スイッチ部分回路は、第 2 のコンデンサに直列に接続されており、第 5 の抵抗の抵抗値を R_a とし、第 1 のリアクトルのインダクタンスを L とし、第 2 のコンデンサの容量を C_2 としたとき、第 5 の抵抗の抵抗値 R_a は、下記の式 (2) を満たす。

$$R_a = 2 \times (2 \times L / C_2)^{1/2} \dots (2)$$

【 0 0 2 9 】

上記保護スイッチ回路が第 1 の保護スイッチ部分回路を含む 3 レベルチョッパ装置にお

50

いて、好ましくは、第 1 の保護スイッチ部分回路は、第 1 3 の保護スイッチと、第 1 3 の保護スイッチに並列接続された第 5 の保護コンデンサを含む。

【 0 0 3 0 】

上記保護スイッチ回路が第 2 の保護スイッチ部分回路を含む 3 レベルチョッパ装置において、好ましくは、第 2 の保護スイッチ部分回路は、第 1 4 の保護スイッチを含み、第 2 のスイッチ、または、第 2 のダイオード、または、接続経路に直列に接続されている。

【 0 0 3 1 】

上記保護スイッチ回路が第 2 の保護スイッチ部分回路を含む 3 レベルチョッパ装置において、好ましくは、第 2 の保護スイッチ部分回路は、第 1 5 の保護スイッチと、第 1 5 の保護スイッチに並列接続された第 6 の抵抗とを含む。

10

【 0 0 3 2 】

この場合、好ましくは、第 2 の保護スイッチ部分回路は、第 1 のコンデンサに直列に接続されており、第 6 の抵抗の抵抗値を R_b とし、第 1 のリアクトルのインダクタンスを L とし、第 1 のコンデンサの容量を C_1 としたとき、第 6 の抵抗の抵抗値 R_b は、下記の式 (3) を満たす。

$$R_b = 2 \times (2 \times L / C_1)^{1/2} \cdots (3)$$

【 0 0 3 3 】

上記保護スイッチ回路が第 2 の保護スイッチ部分回路を含む 3 レベルチョッパ装置において、好ましくは、第 2 の保護スイッチ部分回路は、第 1 6 の保護スイッチと、第 1 6 の保護スイッチに並列接続された第 6 の保護コンデンサとを含む。

20

【 発明の効果 】

【 0 0 3 4 】

本発明によれば、上記のように、保護スイッチ回路は、第 1 のスイッチ、第 1 のダイオード、または、第 2 のスイッチ、第 2 のダイオードの短絡故障時に、第 2 のコンデンサ、または、第 1 のコンデンサに過電圧が印加される電流経路を、過電圧とされない電流経路へと変更するように制御可能に構成されている。これにより、コンデンサの充電電圧が過電圧になるのを抑制することができる。その結果、通常運転時の電圧より高い電圧に耐える高耐電圧仕様のコンデンサを使用する必要がない。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 3 5 】

30

【 図 1 】 本発明の第 1 実施形態による 3 レベルチョッパ装置の回路構成図である。

【 図 2 】 3 レベルチョッパ装置 (3 レベル降圧チョッパ回路) の回路構成図である。

【 図 3 】 図 2 の 3 レベル降圧チョッパにおいて片側のスイッチとダイオードとが短絡故障した場合の等価回路である。

【 図 4 】 図 3 から、負荷を切り離し、故障していないチョッパのスイッチをオフ状態とした場合の等価回路である。

【 図 5 】 図 1 の回路で、片側のチョッパのダイオードとスイッチとが短絡故障したときに、負荷を切り離し、故障していないスイッチと双方向保護スイッチとをオフ状態としたときの等価回路である。

【 図 6 】 3 レベル降圧チョッパ回路の動作時の状態の一つで、片側のスイッチをオン状態、もう片側をオフ状態としているモードを示す図である。

40

【 図 7 】 3 レベル降圧チョッパ回路の動作時の状態の一つで、図 6 とは逆側のスイッチをオン状態、もう片側をオフ状態としているモードを示す図である。

【 図 8 】 3 レベル降圧チョッパ回路の動作時の状態の一つで、両方のスイッチをオン状態としているモードを示す図である。

【 図 9 】 3 レベル降圧チョッパ回路の動作時の状態の一つで、両方のスイッチをオフ状態としているモードを示す図である。

【 図 1 0 】 図 1 の回路で、1 つのダイオードが短絡故障したときに、負荷を切り離し、故障していないスイッチと双方向保護スイッチとをオフ状態としたときの等価回路を示す図である。

50

【図11】図1の回路で、1つのスイッチが短絡故障したときに、負荷を切り離し、故障していないスイッチと双方向保護スイッチとをオフ状態としたときの等価回路を示す図である。

【図12】図2の回路で、1つのダイオードが短絡故障したときに、負荷を切り離し、故障していないスイッチをオフ状態としたときの等価回路を示す図である。

【図13】図2の回路で、1つのスイッチが短絡故障したときに、負荷を切り離し、故障していないスイッチをオフ状態としたときの等価回路を示す図である。

【図14】本発明の第2実施形態による3レベルチョッパ装置の回路構成図である。

【図15】本発明の第3実施形態による3レベルチョッパ装置の回路構成図である。

【図16】本発明の第4実施形態による3レベルチョッパ装置の回路構成図である。

【図17】本発明の第5実施形態による3レベルチョッパ装置の回路構成図である。

【図18】図17の回路で、片側のダイオードとスイッチとが短絡故障したときに、負荷を切り離し、故障していないスイッチと双方向保護スイッチとをオフ状態としたときの等価回路を示す図である。

【図19】図17の回路で、1つのダイオードが短絡故障したときに、負荷を切り離し、故障していないスイッチと双方向保護スイッチとをオフ状態としたときの等価回路を示す図である。

【図20】図17の回路で、1つのスイッチが短絡故障したときに、負荷を切り離し、故障していないスイッチと双方向保護スイッチとをオフ状態としたときの等価回路を示す図である。

【図21】本発明の第6実施形態による3レベルチョッパ装置の回路構成図である。

【図22】図21の回路で、片側のスイッチとダイオードとが短絡故障したときに、負荷を切り離し、故障していないスイッチと双方向保護スイッチとをオフ状態としたときの等価回路を示す図である。

【図23】本発明の第7実施形態による3レベルチョッパ装置の回路構成図である。

【図24】図23の回路で、片側のスイッチとダイオードとが短絡故障したときに、負荷を切り離し、故障していないスイッチと保護スイッチとをオフ状態としたときの等価回路を示す図である。

【図25】本発明の第8実施形態による3レベルチョッパ装置の回路構成図である。

【図26】図25の回路で、片側のスイッチとダイオードとが短絡故障したときに、負荷を切り離し、故障していないスイッチと保護スイッチとをオフ状態としたときの等価回路を示す図である。

【図27】本発明の第9実施形態による3レベルチョッパ装置の回路構成図である。

【図28】図27の回路で、片側のスイッチとダイオードとが短絡故障したときに、負荷を切り離し、故障していないスイッチと保護スイッチとをオフ状態としたときの等価回路を示す図である。

【図29】本発明の第10実施形態による3レベルチョッパ装置の回路構成図である。

【図30】図29の回路で、片側のスイッチとダイオードとが短絡故障したときに、負荷を切り離し、故障していないスイッチと保護スイッチとをオフ状態としたときの等価回路を示す図である。

【図31】本発明の第11実施形態による3レベルチョッパ装置の回路構成図である。

【図32】図31の回路で、片側のスイッチとダイオードとが短絡故障したときに、負荷を切り離し、故障していないスイッチと保護スイッチとをオフ状態としたときの等価回路を示す図である。

【図33】本発明の第12実施形態による3レベルチョッパ装置の回路構成図である。

【図34】図33の回路で、片側のスイッチとダイオードとが短絡故障したときに、負荷を切り離し、故障していないスイッチと保護スイッチとをオフ状態としたときの等価回路を示す図である。

【図35】本発明の第13実施形態による3レベルチョッパ装置の回路構成図である。

【図36】図35の回路で、片側のスイッチとダイオードとが短絡故障したときに、負荷

10

20

30

40

50

を切り離し、故障していないスイッチと保護スイッチとをオフ状態としたときの等価回路を示す図である。

【図 37】本発明の第 14 実施形態による 3 レベルチョッパ装置の回路構成図である。

【図 38】図 37 の回路で、片側のスイッチとダイオードとが短絡故障したときに、負荷を切り離し、故障していないスイッチと保護スイッチとをオフ状態としたときの等価回路を示す図である。

【図 39】本発明の第 15 実施形態による 3 レベルチョッパ装置の回路構成図である。

【図 40】図 39 の回路で、片側のスイッチとダイオードとが短絡故障したときに、負荷を切り離し、故障していないスイッチと保護スイッチとをオフ状態としたときの等価回路を示す図である。

10

【図 41】本発明の第 16 実施形態による 3 レベルチョッパ装置の回路構成図である。

【図 42】図 41 の回路で、片側のスイッチとダイオードとが短絡故障したときに、負荷を切り離し、故障していないスイッチと保護スイッチとをオフ状態としたときの等価回路を示す図である。

【図 43】本発明の第 17 実施形態による 3 レベルチョッパ装置の回路構成図である。

【図 44】図 43 の回路で、片側のスイッチとダイオードとが短絡故障したときに、負荷を切り離し、故障していないスイッチと保護スイッチとをオフ状態としたときの等価回路を示す図である。

【図 45】本発明の第 18 実施形態による 3 レベルチョッパ装置の回路構成図である。

【図 46】図 45 の回路で、片側のスイッチとダイオードとが短絡故障したときに、負荷を切り離し、故障していないスイッチと保護スイッチとをオフ状態としたときの等価回路を示す図である。

20

【図 47】本発明の第 19 実施形態による 3 レベルチョッパ装置の回路構成図である。

【図 48】図 47 の回路で、片側のスイッチとダイオードとが短絡故障したときに、負荷を切り離し、故障していないスイッチと保護スイッチとをオフ状態としたときの等価回路を示す図である。

【図 49】本発明の第 20 実施形態による 3 レベルチョッパ装置の回路構成図である。

【図 50】図 49 の回路で、片側のスイッチとダイオードとが短絡故障したときに、負荷を切り離し、故障していないスイッチと保護スイッチとをオフ状態としたときの等価回路を示す図である。

30

【図 51】本発明の第 21 実施形態による 3 レベルチョッパ装置の回路構成図である。

【図 52】図 51 の回路で、片側のスイッチとダイオードとが短絡故障したときに、負荷を切り離し、故障していないスイッチと保護スイッチとをオフ状態としたときの等価回路を示す図である。

【図 53】本発明の第 22 実施形態による 3 レベルチョッパ装置の回路構成図である。

【図 54】図 53 の回路で、片側のスイッチとダイオードとが短絡故障したときに、負荷を切り離し、故障していないスイッチと保護スイッチとをオフ状態としたときの等価回路を示す図である。

【図 55】本発明の第 23 実施形態による 3 レベルチョッパ装置の回路構成図である。

【図 56】図 55 の回路で、片側のスイッチとダイオードとが短絡故障したときに、負荷を切り離し、故障していないスイッチと保護スイッチとをオフ状態としたときの等価回路を示す図である。

40

【図 57】変形例による 3 レベルチョッパ装置の回路構成図である。

【発明を実施するための形態】

【0036】

以下、本発明を具体化した実施形態を図面に基づいて説明する。

【0037】

[第 1 実施形態]

次に、第 1 実施形態による 3 レベルチョッパ装置について説明する。

【0038】

50

第1実施形態では、図1に示すように、3レベルチョッパ装置は、直流電源8と、スイッチ101およびスイッチ102と、ダイオード103およびダイオード104と、コンデンサ401、コンデンサ402およびコンデンサ403と、リアクトル704およびリアクトル(チョッパリアクトル)703と、接続経路14と、保護スイッチ209とを備える。なお、保護スイッチ209は、特許請求の範囲の「双方向保護スイッチ」の一例である。

【0039】

スイッチ101と、ダイオード103と、ダイオード104と、スイッチ102と、コンデンサ402と、コンデンサ401とは、この順で一巡に直列に接続されている。また、直流電源8は、リアクトル704を介して、コンデンサ401およびスイッチ101の接続点と、スイッチ102およびコンデンサ402の接続点と、の間に並列に接続されている。また、コンデンサ403は、リアクトル703を介して、ダイオード103およびスイッチ101の接続点と、スイッチ102およびダイオード104の接続点と、の間に並列に接続されている。

10

【0040】

また、接続経路14は、ダイオード103およびダイオード104の接続点と、コンデンサ401およびコンデンサ402の接続点とを接続している。ここで、第1実施形態では、保護スイッチ209は、スイッチ101およびダイオード103のうちの少なくとも一方、または、スイッチ102およびダイオード104のうちの少なくとも一方の故障時に、コンデンサ402、または、コンデンサ401に過電圧が印加される電流経路を、過電圧とならない電流経路へと変更するように制御可能に構成されている。また、保護スイッチ209は、接続経路14に直列に接続されている。

20

【0041】

また、ダイオード103およびダイオード104により、ダイオード直列回路12が構成されている。また、コンデンサ401およびコンデンサ402により、コンデンサ直列回路41が形成されている。

【0042】

また、出力端PoおよびNoに、インバータ91と電動機92とにより構成された負荷9が接続されている。

【0043】

(3レベルチョッパ装置の動作(制御方法))

次に、3レベルチョッパ装置の動作(制御方法)について、詳細に説明する。

30

【0044】

3レベルチョッパ装置の通常の動作時には、保護スイッチ209は導通状態にされる。図6に示すスイッチ101がオン状態でかつスイッチ102がオフ状態の時に、コンデンサ401から、スイッチ101、リアクトル703、コンデンサ403、ダイオード104、保護スイッチ209を順次経由してコンデンサ401に戻る電流経路が形成される。また、図7に示すスイッチ101がオフ状態でかつスイッチ102がオン状態の時に、コンデンサ402から、保護スイッチ209、ダイオード103、リアクトル703、コンデンサ403、スイッチ102を順次経由してコンデンサ402に戻る電流経路が形成される。また、図8に示すスイッチ101、スイッチ102がともにオン状態の時に、コンデンサ401から、スイッチ101、リアクトル703、コンデンサ403、スイッチ102を順次経由してコンデンサ402に戻る電流経路が形成される。また、図9に示すスイッチ101、スイッチ102がともにオフ状態の時には、コンデンサ403はコンデンサ401、402から切り離されて充電されず、リアクトル703を流れる電流はコンデンサ403、ダイオード104、ダイオード103を順次経由して戻る経路で流れ続ける。

40

【0045】

出力電圧(コンデンサ403の電圧)が入力側のコンデンサ401および402の電圧以上、コンデンサ401と402の電圧の和未満の時は、スイッチ101および102の

50

切り替えによって、図6 図8 図7 図8の繰り返し、で動作する。出力電圧が入力側のコンデンサ401および402の電圧未満の時は、スイッチ101および102の切り替えによって、図6 図9 図7 図9の繰り返し、で動作している。

【0046】

図8および図9の期間では、保護スイッチ209が設けられる箇所には電流は流れないため、この期間は保護スイッチ209を切断状態にしても良い。図6、図7のモードのときには保護スイッチ209はオン状態にする必要がある。保護スイッチ209をオフにするときは、スイッチ101および102の切り替えから適当な切り替え期間を設けて、チョッパの動作に影響を与えないようにする。

【0047】

なお、図6 図9 図7 図9の経路を繰り返す場合、スイッチ101および102の切り替えるタイミングで経路を切り替える代わりに、保護スイッチ209で切り替えることでも同様の動作は可能である。図6 図9では、図6の状態からスイッチ101をオフする代わりに保護スイッチ209をオフすれば図9の状態(経路)とすることが可能である。その後電流が流れなくなったスイッチ101をオフし、スイッチ102をオンにし、その状態で保護スイッチ209をオンにすると図7の状態(経路)になる。しかし、この場合、スイッチ101および102には、両コンデンサ401および402の電圧がかかることから、一層高耐圧であることが必要になる。

【0048】

また、図6 図8 図7 図8の繰り返しで動作している場合は、保護スイッチ209による経路の切り替えは行えず、スイッチ101および102による切り替えで動かす必要がある。図8 図7の切り替えは、保護スイッチ209がオンの状態でスイッチ101をオフすることでしか行えない。図8の状態では保護スイッチ209を切り替えても電流経路は変化を受けない。また、保護スイッチ209をオフにした状態でスイッチ101をオフにすると経路は図9と同じになってしまう。

【0049】

通常に装置を停止するときは、インバータ91をオフ状態として負荷9をチョッパから切り離し、スイッチ101および102をオフ状態とする。直流電源8とリアクトル704と、コンデンサ401および402との共振回路により、コンデンサ401と402の電圧は、通常動作時よりも高くなる。コンデンサ401と402の耐圧は、この時に到達する電圧よりも高いように設計されている。また、リアクトル703を流れる電流は、コンデンサ403との共振電流となって、ダイオード104、103を順次経路して流れ続け、コンデンサ403の電圧を通常よりも高い電圧にまで充電する。リアクトル703の電流が0になるとコンデンサ403の電圧はダイオード103、104によって保持される。

【0050】

(3レベルチョッパ装置のスイッチ、ダイオード故障時の挙動)

次に、3レベルチョッパ装置において、スイッチ、ダイオードが短絡故障したときの挙動について、詳細に説明する。

【0051】

保護スイッチ209のない、従来の3レベル降圧チョッパにおいて、ダイオード103とスイッチ101とが短絡故障したときに、負荷9を切り離し、もう片側のスイッチ102を切断すると、回路は図4のようになる。経路A4で示す、コンデンサ402と、リアクトル704と、入力電源8との直列共振回路となり、コンデンサ402の電圧は入力電源8よりも高くなる。通常運転時、コンデンサ402の電圧は直流電源8の半分の電圧であるため、このような故障時には、コンデンサ402の電圧は、通常運転時の電圧の3倍以上に達しうる。従って、コンデンサ402の過電圧破壊のおそれが大きくなり、それを防止するためには通常運転時の電圧よりもはるかに高い耐圧とする必要がある。

【0052】

第1実施形態においては、ダイオード103とスイッチ101とが短絡故障したときに

10

20

30

40

50

、負荷 9 を切り離し、もう片側のスイッチ 102 を切断すると同時に、保護スイッチ 209 も切断すると、回路は図 5 のようになる。経路 A 5 で示す、2 つのコンデンサ 401 および 402 と、リアクトル 704 と、入力電源 8 との直列共振回路となり、2 つのコンデンサ 401 および 402 の電圧の和は入力電源 8 よりも高くなる。しかし、2 つのコンデンサで電圧を分担するため、保護スイッチ 209 で切断しない場合に比べて、コンデンサ 402 の電圧は低くなる。

【0053】

また、保護スイッチ 209 を切断しない場合は、入力側のコンデンサ 402 が出力側のコンデンサ 403 より低電圧の場合に、図 4 の点線矢印の経路 B 4 で電流が流れる。一方、保護スイッチ 209 を切断すると、その経路が存在しなくなる。そのかわり、保護スイッチ 209 を切断すると、入力側のコンデンサ 401 および 402 の電圧の和が、出力側のコンデンサ 403 の電圧より低い場合に、図 5 の点線矢印 B 5 のようなスイッチ 102 を還流する経路で電流が流れる場合がある。

10

【0054】

チョッパのダイオード 103 の短絡故障時に、負荷 9 を切り離し、もう片側のスイッチ 102 を切断すると同時に、保護スイッチ 209 も切断する場合は、等価回路は図 10 のようになる。破線矢印の経路 A 10 で示す、2 つのコンデンサ 401 および 402 と、リアクトル 704 と、入力電源 8 との直列共振回路となる。そして、2 つのコンデンサ 401 および 402 の電圧の和は、入力電源よりも高くなる。

【0055】

ここで、保護スイッチ 209 を切断しない場合、または、保護スイッチ 209 が設けられない比較例の 3 レベル降圧チョッパの場合は、図 12 に示されるように、その場合にも破線矢印の経路 A 12 で示す、2 つのコンデンサ 401 および 402 と、リアクトル 704 と、入力電源 8 との直列共振回路となる。そして、2 つのコンデンサ 401 および 402 の電圧の和は、入力電源よりも高くなる。従って、ダイオード 103 のみの短絡故障時には、保護スイッチ 209 をオフ状態とするのでも、オン状態のままとするのでも、入力側の片方のコンデンサ 402 にのみ電流が流れ込むようなことはないため、どちらでも良い。

20

【0056】

保護スイッチ 209 を切断しない場合は、入力側のコンデンサ 402 が出力側のコンデンサ 403 より低電圧の場合に、図 12 の点線矢印の経路 B 12 で示す経路で電流が流れる。一方、保護スイッチ 209 を切断すると、その経路 B 12 が存在しなくなる。そのかわり、保護スイッチ 209 を切断すると、入力側のコンデンサ 401 および 402 の電圧の和が、出力側コンデンサ 403 の電圧より低い場合に、図 10 の点線矢印の経路 B 10 のような経路で電流が流れる場合がある。

30

【0057】

チョッパのスイッチ 101 の短絡故障時に、負荷 9 を切り離し、もう片側のスイッチ 102 を切断すると同時に、保護スイッチ 209 も切断する場合は、等価回路は、図 11 のようになる。破線矢印の経路 A 11 で示す 2 つのコンデンサ 401 および 402 と、リアクトル 704 と、入力電源 8 との直列共振回路となる。そして、2 つのコンデンサ 401 および 402 の電圧の和は入力電源よりも高くなる。

40

【0058】

保護スイッチ 209 を切断しない場合、または、比較例の 3 レベル降圧チョッパの場合は図 13 のようになるが、その場合にも破線矢印の経路 A 13 で示す、2 つのコンデンサ 401 および 402 と、リアクトル 704 と、入力電源 8 との直列共振回路となる。コンデンサ 401 の電圧と、リアクトル 703 およびコンデンサ 403 の電圧が等しいことから経路 B 13 で示す、入力電源 8、リアクトル 703、リアクトル 704、コンデンサ 403、コンデンサ 402 の共振回路によっても電流が流れる。そして、2 つのコンデンサ 401 および 402 の電圧の和は入力電源よりも高くなる。従って、スイッチ 101 のみの短絡故障時には、保護スイッチ 209 をオフ状態とするのでも、オン状態のままとする

50

のでも、入力側の片方のコンデンサ 402 にのみ電流が流れ込むようなことはないため、どちらでも良い。

【0059】

保護スイッチ 209 を切断した場合には、保護スイッチ 209 を切断しないときに成立していた、図 13 の点線矢印の経路 B13 の共振回路がなくなる。リアクトル 703 を流れていた電流は、図 11 の経路 B11 に示すように、コンデンサ 403 と共振して流れて、やがて止まる。これにより、入力側から出力側のコンデンサ 403 を経由してコンデンサ 402 へ流れる電流がなくなり、コンデンサ 402 に蓄積される電荷も少なくなって、電圧も低下する。

【0060】

コンデンサ 401 の電荷は、ダイオード 103 があるために放電してしまうことはない。このため、出力側のコンデンサ 403 の電圧が、入力側コンデンサ 401 および 402 の電圧の和よりも高くなるようなことはなく、出力側のコンデンサ 403 から入力側のコンデンサ 401 および 402 へ電流が流れるようなことはない。また、保護スイッチ 209 を切断しないときは、ダイオード 103 とスイッチ 102 とで入力側のコンデンサ 401 および 402 の電圧を保っていた。一方、保護スイッチ 209 を切断すると、リアクトル 703 とコンデンサ 403 との共振電流が経路 B11 で流れている間はダイオード 103 に電流が流れるために、両コンデンサ 401 および 402 の電圧全体をスイッチ 102 で保つことになるため、デバイス耐圧に注意する必要がある。

【0061】

以上のように、ダイオード 103 とスイッチ 101 とが短絡破壊したときに、片側のコンデンサ 402 のみがリアクトル 704、直流電源 8 と直列共振回路を構成することによる過電圧を、保護スイッチ 209 の切断によって 2 つのコンデンサ 401 および 402 に電圧がかかるようにすることにより、低減することが出来る。

【0062】

チョッパの動作をするデバイスである、スイッチ 101 および 102 には、MOSFET、IGBT などの半導体デバイスを用いることが出来る。また、スイッチ 101 および 102 は、SiC-MOSFET でも良い。

【0063】

ダイオード 103 および 104 としては、Si (シリコン) - pn ダイオード、SiC (炭化珪素) - SB ダイオード、MOSFET の同期整流や、ボディダイオード、またそれらを並列したものをを用いることが出来る。

【0064】

上記の説明では、短絡故障するデバイスは、スイッチ 101 またはダイオード 103 としていたが、スイッチ 102 またはダイオード 104 の場合もコンデンサ 402 をコンデンサ 401 と読み替えることで同様になるので説明は省略する。以下の実施形態においても、スイッチ 101 またはダイオード 103 の短絡故障時を例として説明し、スイッチ 102 またはダイオード 104 の短絡故障の場合については必要のない限り説明は省略する。また、最もコンデンサ 402 の電圧が高くなるのはスイッチ 101 とダイオード 103 とが短絡故障する場合であるので、以下の実施形態でもスイッチ 101 とダイオード 103 とが短絡故障した場合を中心に説明する。

【0065】

また、上記の説明では、共振により電圧が高くなったコンデンサ 401、402 の側から入力電源 8 側へ電流が逆流することについては考慮していない。しばしば、実際の製品ではダイオード (図示しない) を直列接続して入力電源 8 へ電流が逆流しないようにしていることもあるように、議論を簡略化するため、入力電源 8 への逆流は議論しない。入力電源 8 側へ電流が逆流するようなことがある場合でも、共振によってまず、入力側のコンデンサ 401 および 402 が過電圧になる虞があることから、以上の議論は成立する。

【0066】

[第 2 実施形態]

10

20

30

40

50

次に、第2実施形態による3レベルチョッパ装置について説明する。

【0067】

第2実施形態では、図14(a)に示すように、接続経路14に置かれる双方向保護スイッチ209aとして、逆並列に接続したIGBTおよびダイオードからなるスイッチが逆直列に配置されている。保護スイッチ209aは図14(b)のように、IGBT309とダイオード312が逆直列接続されたモジュールと、IGBT311とダイオード310が逆直列接続されたモジュールを、逆並列接続することにより構成されていても良く、以下に説明する図14(a)の構成と同様の制御をすることにより、同様の効果が得られる。なお、第2実施形態のその他の構成は、上記第1実施形態と同様である。なお、保護スイッチ209aは、特許請求の範囲の「双方向保護スイッチ」の一例である。

10

【0068】

第2実施形態では、3レベルチョッパ装置の通常動作時には、IGBT309および311のゲートをオンの状態にする。図6に示すように、スイッチ101がオンでスイッチ102がオフのモードのとき、順バイアスとなるIGBT309のゲートはオンされて電流が流れるようにする必要がある。一方、逆バイアスとなるIGBT311のゲートはオフにしても良い。図7に示すように、スイッチ101がオフでスイッチ102がオンのモードのときは、順バイアスとなるIGBT311のゲートはオンされて電流が流れるようにする必要がある。一方、逆バイアスとなるIGBT309のゲートはオフにしても良い。保護スイッチ209aに電流が流れない図8および図9の期間は、2つのIGBT309および311のゲートはオフしても良い。通常動作時にも、3レベルチョッパ装置の動作に影響のない期間にはIGBT309および311のゲートをオフとすると、それらのゲートに電荷が蓄積されていくような懸念を減らすことが出来る。IGBT309および311のゲートをオフとする場合は、スイッチ101および102の切り替えから適当なデッドタイムを設けて3レベルチョッパ装置の動作に影響が無いようにする。

20

【0069】

スイッチ101とダイオード103とが短絡故障したときには、IGBT309および311のゲートをオフとすると、接続経路14を切断することができる。これにより、コンデンサ402のみ共振して、コンデンサ402の電圧が入力電源8よりも高くなることを防ぐことができる。特に、順バイアスとなるIGBT309のゲートをオフとすることが必要であるが、IGBT309および311の両方をオフとすることにより問題は生じない。

30

【0070】

保護スイッチ209aを構成するダイオード310および312はSiC-SBダイオードを使用しても良いが、Si-pnダイオードを用いるとより低損失である。通常運転時に、ダイオード310および312の電流が遮断されるときは、その逆バイアスは過渡的にも高々IGBT309、311の飽和電圧程度の数V程度であって、定常的にはバイアスはかからない状態となる。このため、逆回復損失はほとんど発生しない。そのため、SiC-SBダイオードを用いてもその逆回復損失は発生しないが、オン電圧がSi-pnダイオードよりも高いため、損失が大きくなる。

【0071】

保護スイッチ209aを構成するダイオード310および312にSiC-SBダイオードを用いると、Si-pnダイオードを用いる場合よりも、順方向回復電圧を小さくすることができる。ダイオード310および312は、3レベルチョッパ装置のスイッチ101および102を切り替えるたび、保護スイッチ209aもオンオフが切り替わる。保護スイッチ209aが点弧する場合は、片側のダイオード310または312がバイアスが掛かっていない状態から点弧し、保護スイッチ209aが消弧する場合は、一つのダイオード310または312が消弧する過渡応答時に伴いもう片方のダイオード312または310は逆バイアスだった状態から瞬間的に点弧する。このようなダイオード310および312の点弧時の順方向回復電圧が小さいと、電圧リップルが小さくなり、ノイズを小さくすることが出来る。ダイオード310および312を、SiC-SBダイオードおよ

40

50

び Si - p n ダイオードが並列した構成にすると、順方向回復電圧もオン電圧も低くすることができる。すなわち、低ノイズかつ低損失にすることができる。

【0072】

保護スイッチ209aを構成するIGBT309、311のかわりに、MOSFETやバイポーラトランジスタを用いた場合も同様の動作をすることにより、同様の効果が得られる。また、SiC-MOSFETを用いても良い。

【0073】

[第3実施形態]

次に、第3実施形態による3レベルチョッパ装置について説明する。

【0074】

第3実施形態では、図15に示すように、接続経路14に置かれる双方向保護スイッチ209bとして、逆並列に接続した逆阻止型IGBT313および314を配置している。なお、第3実施形態のその他の構成は、上記第1実施形態と同様である。上記第2実施形態では、接続経路14を導通するときIGBTとダイオードとの2つのデバイスを電流が流れていたが、電流が流れるデバイスを1つのデバイスとすることで損失を小さくすることが出来る。なお、保護スイッチ209bは、特許請求の範囲の「双方向保護スイッチ」の一例である。

【0075】

3レベルチョッパ装置の通常動作時には、逆阻止型IGBT313および314のゲートをオンの状態にする。接続経路14に電流を流すモードのとき、即ち図6と図7のモードのとき、順バイアスとなる逆阻止型IGBTのゲートはオンにして電流が流れるようにする必要がある。一方、逆バイアスとなる逆阻止型IGBTのゲートはオフにしても良い。図6のスイッチ101がオンでスイッチ102がオフのモードのときは、順バイアスとなる逆阻止型IGBT313のゲートはオンにして電流が流れるようにする必要がある。一方、逆バイアスとなる逆阻止型IGBT314のゲートはオフにしても良い。図7のスイッチ101がオフでスイッチ102がオンのモードのときは、順バイアスとなる逆阻止型IGBT314のゲートはオンとして電流が流れるようにする必要がある。一方、逆バイアスとなる逆阻止型IGBT313のゲートはオフにしても良い。

【0076】

接続経路14に電流を流さない図8と図9との期間では、2つの逆阻止型IGBT313および314のゲートはオフにして良い。通常動作時にも、3レベルチョッパ装置の動作に影響のない期間には、逆阻止型IGBT313および314のゲートをオフにとすると、ゲートに電荷が蓄積されていくような懸念を減らすことが出来る。逆阻止型IGBT313および314のゲートをオフにする場合は、スイッチ101および102の切り替えから適当な切り替え期間を設けて3レベルチョッパ装置の動作に影響が無いようにする。

【0077】

3レベルチョッパ装置のスイッチ101とダイオード103とが短絡故障したときには、逆阻止型IGBT313および314のゲートを両方オフにすると、接続経路14を切断することが出来る。また、逆阻止型IGBT313のゲートをオフにし、逆バイアスとなる逆阻止型IGBT314のゲートをオンにすれば、逆バイアスとなる逆阻止型IGBT314の漏れ電流をより小さくすることが出来るので、より好ましい。破壊したデバイスがスイッチ101、102、ダイオード103、104のいずれであるかを検知するような仕組みを組み込めば、スイッチ故障時に逆阻止型IGBT313および314のゲートのうちのいずれかをオンとし、いずれかをオフとするかの制御を行うことが可能となる。

【0078】

[第4実施形態]

次に、第4実施形態による3レベルチョッパ装置について説明する。

【0079】

10

20

30

40

50

第4実施形態では、図16に示すように、3レベルチョッパ装置において、接続経路14に置かれる保護スイッチ209cとして、MOSFETが逆直列に配置されている。なお、保護スイッチ209cは、特許請求の範囲の「双方向保護スイッチ」の一例である。

【0080】

3レベルチョッパ装置の通常の動作時には、両MOSFET315および316のゲートをオンの状態にする。接続経路14に電流を流すモードのとき、すなわち図6および図7のモードのとき、順バイアスとなるMOSFETのゲートはオンにして電流が流れるようにする。また、逆バイアスとなるMOSFETのゲートもオンにして同期整流とすることにより低損失にすることができる。

【0081】

逆バイアスになるMOSFETのゲートをオフにした場合には、電流はボディダイオードを流れ、損失が大きくなるので好ましくない。同期整流を利用するとき、インバータやチョッパのダイオードの用途の場合は、切り替え時に短絡しないように、スイッチングの前後にデッドタイムを設けてボディダイオードのみとする期間を設ける必要がある。一方、本発明の用途では、そういった短絡を懸念するようなことは不要であるので、ボディダイオードのみとするデッドタイムは設ける必要が無い。

【0082】

接続経路14に電流を流さない図8および図9の期間は、2つのMOSFET315および316のゲートはオフして良い。通常動作時にも、3レベルチョッパ装置の動作に影響のない期間には、MOSFET315および316のゲートをオフとすると、ゲートに電荷が蓄積されていくような懸念を減らすことができる。MOSFET315および316のゲートをオフにする場合は、スイッチ101および102の切り替えから適当な切り替え期間を設けてチョッパの動作に影響が無いようにする。同期整流を用いると第2実施形態のようにダイオードとの逆並列のモジュールを用いる場合に比べてダイオード素子を減らすことができる。

【0083】

スイッチ101とダイオード103とが短絡故障したときには、MOSFET315および316のゲートをオフにすることにより、接続経路14を切断することができる。特に、順バイアスとなるMOSFET315のゲートをオフにすることが必要である。一方、MOSFET315および316の両方をオフにすることでも問題なく、制御も容易である。

【0084】

また、第2実施形態のようにMOSFETに逆並列にダイオードを接続している構成でも、本実施形態で述べたように、MOSFETのゲートを制御して、同期整流を利用することもできる。特に、SiC-MOSFETでは、同期整流を利用した場合でも、そのオン電圧は大きいので、SiC-MOSFETとSi-pnダイオードとを並列にすると低損失となる。

【0085】

[第5実施形態]

次に、第5実施形態による3レベルチョッパ装置について説明する。

【0086】

第5実施形態では、図17に示すように、接続経路14に、双方向の保護スイッチ209と、それと並列に設けられる抵抗611とが配置されている。なお、抵抗611は、特許請求の範囲の「第1の抵抗」の一例である。

【0087】

3レベルチョッパ装置の通常の動作時には、保護スイッチ209は導通状態とし、抵抗611には電流は流さないようにする。その制御方法は第1～第4実施形態と同様である。

【0088】

3レベルチョッパ装置のスイッチ101とダイオード103とが短絡故障したとき、負

10

20

30

40

50

荷 9 を切り離し、もう片側のスイッチ 102 を切断すると同時に、保護スイッチ 209 を切断する。この状態の等価回路は図 18 のようになる。経路 A 18 で示した抵抗 611 を流れる減衰振動の回路と、経路 B 18 で示した 2 つのコンデンサ 401 および 402 を含む共振回路とが出来る。

【 0089 】

コンデンサ 401 の電圧は、保護スイッチ 209 と並列に接続された抵抗 611 の電圧と等しくなる。また、出力側のコンデンサ 403 の電圧が入力側のコンデンサ 401 および 402 の電圧の和よりも高くなっていた場合は、出力側のコンデンサ 403 から抵抗 611、または、コンデンサ 401 を通じてコンデンサ 402 に電流が流れ込み、スイッチ 102 を還流してコンデンサ 403 に戻る電流経路が出来る。出力側のコンデンサ 403 や入力電源 8 からコンデンサ 402 に流れる電流がなくなると、コンデンサ 401 は抵抗 611 を通じて放電する。以上の挙動では、保護スイッチ 209 と抵抗 611 のない場合よりもコンデンサ 402 に流れ込む電流、電荷が小さくなるため、保護スイッチ 209 と抵抗 611 のあることによりコンデンサ 402 の電圧上昇が抑制される。

10

【 0090 】

3 レベルチョッパ装置のダイオード 103 が短絡故障したとき、抵抗 611 を接続しない場合同様に、保護スイッチ 209 はオン状態のままとすることもできる。その場合は、保護スイッチ 209 や抵抗 611 を置かない場合の図 11 と同じ動作となる。保護スイッチ 209 を切断する場合、負荷 9 を切り離し、もう片側のスイッチ 102 を切断した等価回路は図 19 のようになる。リアクトル 704 を流れる電流は、B 19 の経路でコンデンサ 401、402 を充電する。また、コンデンサ 401 の電圧はスイッチ 101 と抵抗 611 とで持つ必要があるため、出力側のコンデンサ 403 の電圧が入力側のコンデンサよりも高くなって、入力側のコンデンサへ電流が流れる場合は、経路 A 19 のように抵抗 611 を通って入力側コンデンサ 402 へ流れ込む。保護スイッチ 209 を置かない場合よりもこの電流が小さくなるため、コンデンサ 402 の電圧は低くなる。出力側のコンデンサ 403 およびリアクトル 703 から入力側のコンデンサへ電流が流れないような電圧の場合は、保護スイッチ 209 や抵抗 611 を置いたことによる変化はない。

20

【 0091 】

3 レベルチョッパ装置のスイッチ 101 が短絡故障したとき、抵抗 611 を接続しない場合同様に、保護スイッチ 209 はオン状態のままとすることもできる。その場合は、保護スイッチ 209 と抵抗 611 を置かない場合の図 13 と同じ動作になる。双方向スイッチ 209 を切断する場合、負荷 9 を切り離し、もう片側のスイッチ 102 を切断した等価回路は図 20 のようになる。リアクトル 704 を流れる電流は、リアクトル 703、コンデンサ 403、ダイオード 104、抵抗 611 を通る経路 A 20 と、コンデンサ 401 を通る経路 B 20 で、コンデンサ 402 を充電する。保護スイッチ 209 と抵抗 611 を置かない場合も経路 A 20 は存在するが、抵抗 611 がある分この電流が小さくなるため、コンデンサ 402 の電圧は低くなる。

30

【 0092 】

上記のように、保護スイッチ 209 と抵抗 611 とを並列接続したものを接続経路 14 に配置することによっても、スイッチおよびダイオードの短絡故障時に片側のコンデンサだけに充電されることに起因する過電圧を抑制することができる。

40

【 0093 】

[第 6 実施形態]

次に、第 6 実施形態による 3 レベルチョッパ装置について説明する。

【 0094 】

第 6 実施形態では、図 21 に示すように、接続経路 14 に、保護スイッチ 209 と、それと並列に設けられる保護コンデンサ 511 とが配置されている。なお、保護コンデンサ 511 は、特許請求の範囲の「第 1 の保護コンデンサ」の一例である。

【 0095 】

3 レベルチョッパ装置の通常の動作時には、保護スイッチ 209 は導通状態とし、保護

50

コンデンサ 5 1 1 には電流は流さないようにする。その制御方法は第 1 ~ 第 4 実施形態と同様である。

【 0 0 9 6 】

図 2 2 に示すように、ダイオード 1 0 3 と、スイッチ 1 0 1 とが短絡故障した時は、保護スイッチ 2 0 9 をオフにする。これにより、コンデンサ 4 0 2 の充電経路 A 2 2 に、保護コンデンサ 5 1 1 が挿入される。保護コンデンサ 5 1 1 の電圧と、コンデンサ 4 0 1 の電圧とは等しくなければならないので、充電経路 B 2 2 にも電流が流れる。コンデンサ 4 0 2 の電圧と保護コンデンサ 5 1 1 の電圧との和は、直流電源 8 の電圧よりも高くなる一方、電圧がコンデンサ 4 0 2 と保護コンデンサ 5 1 1 とによって分担されるので、コンデンサ 4 0 2 の過電圧が防止される。

10

【 0 0 9 7 】

[第 7 実施形態]

次に、第 7 実施形態による 3 レベルチョッパ装置について説明する。

【 0 0 9 8 】

第 7 実施形態では、図 2 3 に示すように、ダイオード 1 0 3 と、ダイオード 1 0 4 とに、それぞれ、保護スイッチ 2 1 0 と、保護スイッチ 2 1 1 とを直列接続する。保護スイッチ 2 1 0 および 2 1 1 は、スイッチ 1 0 1 の側からスイッチ 1 0 2 の側へ向けての電流を切断出来れば良く、逆の向きについては還流可能な状態のままで問題はない。なお、保護スイッチ 2 1 0 と、保護スイッチ 2 1 1 とは、それぞれ、特許請求の範囲の「第 1 1 の保護スイッチ」と、「第 1 4 の保護スイッチ」の一例である。

20

【 0 0 9 9 】

通常動作時は、保護スイッチ 2 1 0 、 2 1 1 は還流可能な構成であることから、スイッチ 1 0 1 と 1 0 2 のオン、オフを切り替えることで、第 1 実施形態の図 6 、 7 、 8 、 9 と同様の電流経路の状態とすることができ、出力電圧を入力電圧よりも低い直流電圧へと変換することが可能である。

【 0 1 0 0 】

スイッチ 1 0 1 とダイオード 1 0 3 とが短絡故障したとき、負荷 9 を切り離しスイッチ 1 0 2 を切断すると、等価回路は図 2 4 のようになる。これは保護スイッチが無い場合にスイッチ 1 0 1 およびダイオード 1 0 3 のみ壊れた場合の回路と等価である。保護スイッチ 2 1 0 と、保護スイッチ 2 1 1 とを配置して、デバイス故障時にそれらを切断して、スイッチ 1 0 1 の側からスイッチ 1 0 2 の側へ向けての電流が流れないようにする。この状態は、保護スイッチが無い場合にスイッチ 1 0 1 のみ壊れた場合の回路と等価 (図 1 3 参照) になる。この場合には、入力側のコンデンサ 4 0 1 および 4 0 2 への入力電源 8 からの共振電流は、経路 A 2 4 に示すコンデンサ 4 0 1 および 4 0 2 と、経路 B 2 4 に示すリアクトル 7 0 3 とコンデンサ 4 0 3 とコンデンサ 4 0 2 とに流れるため、コンデンサ 4 0 2 のみに電流が流れることに起因する過電圧を回避することができる。

30

【 0 1 0 1 】

スイッチ 1 0 1 が短絡故障する一方ダイオード 1 0 3 には異常がないような場合は保護スイッチ 2 1 0 は影響を及ぼさない。また、ダイオード 1 0 3 が短絡破壊した場合は、保護スイッチ 2 1 0 がダイオードの役割を果たすため、直ちに保護スイッチ 2 1 0 がオフにされるならば、コンデンサ 4 0 1 の短絡が防止され、デバイスが非故障の状態から運転を停止した場合と同じことになる。

40

【 0 1 0 2 】

保護スイッチ 2 1 0 、 2 1 1 には、ダイオードを使用することが出来る。通常の動作時には保護スイッチとしてダイオードを使ったときの整流機能は、ダイオード 1 0 3 、 1 0 4 の整流機能と同じ向きであるので問題はない。ダイオード 1 0 3 、 1 0 4 が故障したときに保護スイッチ 2 1 0 、 2 1 1 をオフすることは、自動的にオフすることと見做すことが出来る。従って、MOSFET や IGBT を逆並列接続しなくても保護スイッチの機能を果たす。

【 0 1 0 3 】

50

また、保護スイッチとして、MOSFETを使用することが出来る。通常運転時はダイオード103および104に電流が流れるときには、このMOSFETのゲートをオンしておいて同期整流とする。ダイオード103および104が故障したときには、MOSFETのゲートをオフすれば良い。ダイオード103および104の故障時に保護スイッチの還流時の損失が大きいことは問題ではないので、MOSFETのボディダイオードに還流させることで代替することは問題が無い。

【0104】

通常運転時は、第2、第4実施形態のように接続経路14に双方向の保護スイッチ209a、209cを置く場合、図6、7の経路のモードのときに2つのデバイスが経路に追加されるのに対し、本実施形態では、図6、7の経路のモードのときには1つのデバイスしか経路に追加されない。一方、図9の経路のモードのときには2つのデバイスが経路に追加される。入力電圧と出力電圧の変動範囲と運転モードを考慮し、デバイス損失が小さくなるように保護スイッチの配置を選ぶことができる。また、接続経路14に置く双方向保護スイッチを切断する場合よりも、この場合の挙動は簡単なものになる。

10

【0105】

第7実施形態では、ダイオード103と保護スイッチ210との直列の順序、および、ダイオード104と保護スイッチ211との直列の順序は問わない。

【0106】

[第8実施形態]

次に、第8実施形態による3レベルチョッパ装置について説明する。

20

【0107】

第8実施形態では、図25に示すように、保護スイッチ210aおよび211aに並列に抵抗612および613を接続したものである。保護スイッチ210aおよび211aは、スイッチ101の側からスイッチ102の側へ向けての電流を切断出来れば良く、逆の向きについては還流可能な状態のままで問題はない。このため、保護スイッチ210aおよび211aとして、第7実施形態同様、ダイオード、MOSFETを使用することが出来る。なお、保護スイッチ210aおよび抵抗612は、それぞれ、特許請求の範囲の「第12の保護スイッチ」および「第5の抵抗」の一例である。また、保護スイッチ211aおよび抵抗613は、それぞれ、特許請求の範囲の「第15の保護スイッチ」および「第6の抵抗」の一例である。

30

【0108】

通常動作時は保護スイッチ210a、211aは還流可能な構成であることから、スイッチ101と102のオン、オフを切り替えることで、第1実施形態の図6、7、8、9と同様の電流経路の状態とすることができ、出力電圧を入力電圧よりも低い直流電圧へと変換することが可能である。抵抗612、613には電流は流れず、チョッパの動作に影響を及ぼさない。

【0109】

通常運転時は、ダイオード103および104に電流が流れるときには、保護スイッチ210および211を還流して電流が流れるので、抵抗612および613には電流は流れない。

40

【0110】

スイッチ101とダイオード103とが短絡故障したとき、負荷9を切り離しスイッチ102を切断すると、等価回路は図26のようになる。経路A26で示した抵抗612を流れる減衰振動の回路と、経路B26で示した2つのコンデンサ401および402を含む共振回路と、経路C26で示したリアクトル703とコンデンサ403とコンデンサ402を含む共振回路が出来る。コンデンサ402に流れる電流は、抵抗612のあることにより小さくなり、電圧の上昇が抑制される。

【0111】

第8実施形態では、ダイオード103と保護スイッチ210aとの直列の順序、および、ダイオード104と保護スイッチ211aとの直列の順序は問わない。

50

【 0 1 1 2 】

[第 9 実施形態]

次に、第 9 実施形態による 3 レベルチョッパ装置について説明する。

【 0 1 1 3 】

第 9 実施形態では、図 27 に示すように、ダイオード 103 と接続経路 14 との間に直列に接続される保護スイッチ 210b と、ダイオード 104 と接続経路 14 との間に直列に接続される保護スイッチ 211b と、ダイオード 103 と保護スイッチ 210b の接続点と、保護スイッチ 211b とダイオード 104 の接続点との間に、並列に接続される抵抗 614 とが設けられている。保護スイッチ 210b および 211b は、スイッチ 101 の側からスイッチ 102 の側へ向けての電流を切断出来れば良く、逆の向きについては還流可能のままで問題はない。このため、保護スイッチ 210b および 211b として、第 7 実施形態同様、ダイオード、MOSFET を使用することが出来る。なお、保護スイッチ 210b および保護スイッチ 211b は、それぞれ、特許請求の範囲の「第 1 の保護スイッチ」および「第 2 の保護スイッチ」の一例である。また、抵抗 614 は、特許請求の範囲の「第 2 の抵抗」の一例である。

10

【 0 1 1 4 】

通常運転時では、保護スイッチ 210b および 211b を還流して電流が流れるので、抵抗 614 には電流は流れない。スイッチ 101 と 102 のオン、オフを切り替えることで、第 1 実施形態の図 6、7、8、9 と同様の電流経路の状態とすることができ、出力電圧を入力電圧よりも低い直流電圧へと変換することが可能である。

20

【 0 1 1 5 】

スイッチ 101 とダイオード 103 とが短絡故障したとき、負荷 9 を切り離しスイッチ 102 を切断すると、等価回路は図 28 のようになる。経路 A 28 で示した抵抗 614 を流れる減衰振動の回路と、経路 B 28 で示した 2 つのコンデンサ 401 および 402 を含む共振回路と、経路 C 28 で示したリアクトル 703 とコンデンサ 403 とコンデンサ 402 を含む共振回路が出来ると、コンデンサ 402 に流れる電流は、抵抗 612 のあることにより小さくなり、電圧の上昇が抑制される。

【 0 1 1 6 】

[第 10 実施形態]

次に、第 10 実施形態による 3 レベルチョッパ装置について説明する。

30

【 0 1 1 7 】

第 10 実施形態では、図 29 に示すように、ダイオード 103 に直列に接続されている保護スイッチ 210c と、保護スイッチ 210c に並列接続された保護コンデンサ 512 とが設けられている。また、ダイオード 104 に直列に接続されている保護スイッチ 211c と、保護スイッチ 211c に並列接続された保護コンデンサ 513 とが設けられている。保護スイッチ 210c および 211c は、スイッチ 101 の側からスイッチ 102 の側へ向けての電流を切断出来れば良く、逆の向きについては還流可能のままで問題はない。このため、保護スイッチ 210c および 211c として、ダイオード、MOSFET を使用することが出来る。なお、保護スイッチ 210c および保護コンデンサ 512 は、それぞれ、特許請求の範囲の「第 13 の保護スイッチ」および「第 5 の保護コンデンサ」の一例である。また、保護スイッチ 211c および保護コンデンサ 513 は、それぞれ、特許請求の範囲の「第 16 の保護スイッチ」および「第 6 の保護コンデンサ」の一例である。

40

【 0 1 1 8 】

通常動作時は保護スイッチ 210c、211c は還流可能な構成であることから、スイッチ 101 と 102 のオン、オフを切り替えることで、第 1 実施形態の図 6、7、8、9 と同様の電流経路の状態とすることができ、出力電圧を入力電圧よりも低い直流電圧へと変換することが可能である。保護コンデンサ 512、513 には電流は流れず、チョッパの動作に影響は及ぼさない。

【 0 1 1 9 】

50

図30に示すように、ダイオード103とスイッチ101が短絡故障したとき、負荷9を切り離し、もう片側のスイッチ102を切断すると同時に、保護スイッチ210cをオフにすると、コンデンサ402の充電経路A30に保護コンデンサ512が挿入される。保護コンデンサ512の電圧とコンデンサ401の電圧とは等しくなければならないので充電経路B30にも電流が流れる。また、リアクトル703とコンデンサ403の電圧も保護コンデンサ512と等しくなることから経路C30により電流が流れる。コンデンサ402の電圧と保護コンデンサ512の電圧との和は、直流電源8の電圧より高くなる一方、電圧が分担されるので、コンデンサ402の過電圧を防止できる。

【0120】

第10実施形態では、ダイオード103と保護スイッチ210cとの直列の順序、および、ダイオード104と保護スイッチ211cとの直列の順序は問わない。

10

【0121】

[第11実施形態]

次に、第11実施形態による3レベルチョッパ装置について説明する。

【0122】

第11実施形態では、図31に示すように、ダイオード103と接続経路14との間に直列に接続される保護スイッチ210dと、ダイオード104と接続経路14との間に直列に接続される保護スイッチ211dと、ダイオード103と保護スイッチ210dの接続点と、保護スイッチ211dとダイオード104の接続点との間に、並列に接続される保護コンデンサ514とが設けられている。保護スイッチ210dおよび211dは、スイッチ101の側からスイッチ102の側へ向けての電流を切断出来れば良く、逆の向きについては還流可能のままで問題はない。このため、保護スイッチ210dおよび211dとして、ダイオード、MOSFETを使用することが出来る。なお、保護スイッチ210dおよび保護スイッチ211dは、それぞれ、特許請求の範囲の「第3の保護スイッチ」および「第4の保護スイッチ」の一例である。また、保護コンデンサ514は、特許請求の範囲の「第2の保護コンデンサ」の一例である。

20

【0123】

通常動作時は保護スイッチ210d、211dは還流可能な構成であることから、スイッチ101と102のオン、オフを切り替えることで、第1実施形態の図6、7、8、9と同様の電流経路の状態とすることができ、出力電圧を入力電圧よりも低い直流電圧へと変換することが可能である。保護コンデンサ514には電流は流れず、チョッパの動作に影響は及ぼさない。

30

【0124】

図32に示すように、ダイオード103とスイッチ101とが短絡故障したとき、負荷9を切り離し、もう片側のスイッチ102を切断すると同時に、保護スイッチ210dをオフにすると短絡故障したデバイスを通るコンデンサ402の充電経路A32に保護コンデンサ514が挿入される。保護コンデンサ514の電圧とコンデンサ401の電圧とは等しくなければならないので充電経路B32にも電流が流れる。また、リアクトル703とコンデンサ403の電圧も保護コンデンサ514と等しくなることから経路C32により電流が流れる。コンデンサ402の電圧と保護コンデンサ514の電圧との和は、直流電源8の電圧より高くなる一方、電圧が分担されるので、コンデンサ402の過電圧を防止できる。

40

【0125】

[第12実施形態]

次に、第12実施形態による3レベルチョッパ装置について説明する。

【0126】

第12実施形態では、図33に示すように、コンデンサ401に直列に接続されている保護スイッチ212aと、保護スイッチ212aに並列接続された抵抗615とが設けられている。また、コンデンサ402に直列に接続されている保護スイッチ213aと、保護スイッチ213aに並列接続された抵抗616とが設けられている。なお、保護スイッ

50

チ 2 1 2 a および抵抗 6 1 5 は、それぞれ、特許請求の範囲の「第 1 5 の保護スイッチ」および「第 6 の抵抗」の一例である。また、保護スイッチ 2 1 3 a および抵抗 6 1 6 は、それぞれ、特許請求の範囲の「第 1 2 の保護スイッチ」および「第 5 の抵抗」の一例である。

【 0 1 2 7 】

通常動作時は通常運転時は、保護スイッチ 2 1 2 a、2 1 3 a はオンの状態として、抵抗 6 1 5、6 1 6 の両端は短絡する。スイッチ 1 0 1 と 1 0 2 のオン、オフを切り替えることで、第 1 実施形態の図 6、7、8、9 と同様の電流経路の状態とすることができ、出力電圧を入力電圧よりも低い直流電圧へと変換することが可能である。

【 0 1 2 8 】

図 3 4 に示すように、ダイオード 1 0 3 とスイッチ 1 0 1 とが短絡故障したとき、負荷 9 を切り離し、もう片側のスイッチ 1 0 2 を切断すると同時に、保護スイッチ 2 1 3 a をオフにするとコンデンサ 4 0 2 の充電経路 A 3 4 に抵抗 6 1 6 が挿入される。この経路は、LCR 共振回路なので、減衰振動となる。これにより、コンデンサ 4 0 2 の到達する電圧は保護回路がない時よりも低いものになる。また、臨界減衰、過減衰の条件が成り立ち、抵抗 6 1 6 の抵抗値を R_a とし、リアクトル 7 0 4 のインダクタンスを L とし、コンデンサ 4 0 2 の容量を C_2 としたとき、抵抗 6 1 6 の抵抗値 R_a が、下記の式 (4) を満たすとき、コンデンサ 4 0 2 の到達する電圧は、直流電源 8 の電圧に抑えられる。

$$R_a = 2 \times (2 \times L / C_2)^{1/2} \cdots (4)$$

【 0 1 2 9 】

コンデンサ 4 0 2 が直流電源 8 からの電流により充電されている間に、コンデンサ 4 0 3 の電圧がコンデンサ 4 0 2 の電圧よりも高くなっている場合には、コンデンサ 4 0 3 からコンデンサ 4 0 2 へ、スイッチ 1 0 2 を還流してリアクトル 7 0 3 との共振電流が流れる。この経路 B 3 4 の電流が 0 になると、スイッチ 1 0 2 がオフとなっているので、コンデンサ 4 0 2 からコンデンサ 4 0 3 への電流は流れない。経路 B 3 4 の電流が経路 A 3 4 の電流より先に 0 になると、その後は充電経路 A 3 4 のみでコンデンサ 4 0 2 は充電されることから、式 (4) の条件を満たすときには、コンデンサ 4 0 2 の電圧は直流電源 8 の電圧で抑えられる。

【 0 1 3 0 】

保護スイッチ 2 1 3 a に抵抗 6 1 6 を接続しない場合は経路 A 3 4 を切断して、リアクトル 7 0 4 の電流を遮断しようとすることになるため、サージ破壊に繋がる。このため、抵抗 6 1 6 の並列接続が必要である。サージ破壊しないようにゆっくりと遮断するのは、コンデンサ 4 0 2 の充電が終わってしまうので、過電圧を防止できなくなる。また、ターンオフ損失増大による、発熱破壊の可能性もある。

【 0 1 3 1 】

保護スイッチ 2 1 3 a および、2 1 2 a は、還流できる構成である必要がある。通常運転時にもコンデンサ 4 0 1、4 0 2 は充放電を行うためである。還流ダイオードを使う構成の場合、通常動作時には逆回復が生じないので Si - p n ダイオードを用いると低損失である。また、SiC - S B ダイオードを用いると、順方向回復電圧を小さくすることができ、ノイズを小さくすることが出来る。SiC - S B ダイオードおよび Si - p n ダイオードが並列した構成にすると、順方向回復電圧もオン電圧も低く、すなわち、低ノイズかつ低損失にすることができる。保護スイッチ 2 1 2 a を双方向スイッチにして、ダイオード 1 0 3 とスイッチ 1 0 1 の短絡故障時に保護スイッチ 2 1 2 a もオフすると、コンデンサ 4 0 1 の短絡を抵抗 6 1 5 によって防止する効果も得るようにすることもできる。この場合、保護スイッチ 2 1 2 a を直ちにオフにすることが必要である。

【 0 1 3 2 】

ダイオード 1 0 4 とスイッチ 1 0 2 とが短絡故障したときは、保護スイッチ 2 1 2 a をオフにすることで、コンデンサ 4 0 1 の過電圧を防止できるが、保護スイッチ 2 1 3 a 同様に、臨界減衰、過減衰の条件が成り立つ。抵抗 6 1 5 の抵抗値を R_b とし、リアクトル 7 0 4 のインダクタンスを L とし、コンデンサ 4 0 1 の容量を C_1 としたとき、抵抗 6 1

10

20

30

40

50

5の抵抗値 R_b が、下記の式(5)を満たすとき、コンデンサ401の到達する電圧は、直流電源8の電圧に抑えられる。

$$R_b = 2 \times (2 \times L / C_1)^{1/2} \dots (5)$$

【0133】

第12実施形態では、コンデンサ401と保護スイッチ212aとの直列の順序、および、コンデンサ402と保護スイッチ213aとの直列の順序は問わない。

【0134】

[第13実施形態]

次に、第13実施形態による3レベルチョッパ装置について説明する。

【0135】

第13実施形態では、図35に示すように、コンデンサ401と接続経路14との間に直列に接続される保護スイッチ212bと、コンデンサ402と接続経路14との間に直列に接続される保護スイッチ213bと、コンデンサ401と保護スイッチ212bの接続点と、保護スイッチ213bとコンデンサ402の接続点との間に、並列に接続される抵抗617とが設けられている。なお、保護スイッチ212bおよび保護スイッチ213bは、それぞれ、特許請求の範囲の「第5の保護スイッチ」および「第6の保護スイッチ」の一例である。また、抵抗617は、特許請求の範囲の「第3の抵抗」の一例である。

【0136】

通常動作時は、保護スイッチ212b、213bはオンの状態として、抵抗617の両端は短絡する。スイッチ101と102のオン、オフを切り替えることで、第1実施形態の図6、7、8、9と同様の電流経路の状態とすることができ、出力電圧を入力電圧よりも低い直流電圧へと変換することが可能である。

【0137】

図36に示すように、ダイオード103とスイッチ101とが短絡故障したとき、負荷9を切り離し、もう片側のスイッチ102を切断すると同時に、保護スイッチ213bをオフにするとコンデンサ402の充電経路A36に抵抗617が挿入される。この経路は、LCR共振回路なので、減衰振動となる。これにより、コンデンサ402の到達する電圧は保護回路がない時よりも低いものになる。また、臨界減衰、過減衰の条件が成り立ち、抵抗617の抵抗値を R とし、リアクトル704のインダクタンスを L とし、コンデンサ402の容量を C_2 としたとき、抵抗値 R が、下記の式(6)を満たすとき、コンデンサ402の到達する電圧は、直流電源8の電圧に抑えられる。

$$R = 2 \times (2 \times L / C_2)^{1/2} \dots (6)$$

【0138】

コンデンサ402が直流電源8からの電流により充電されている間に、コンデンサ403の電圧がリアクトル703との共振によって電圧が高くなり、コンデンサ402の電圧よりも高くなるような場合には、コンデンサ403からコンデンサ402へ、スイッチ102を還流して経路B36でリアクトル703、抵抗617との減衰振動電流が流れる。この経路B36の電流が0になると、スイッチ102がオフとなっているので、コンデンサ402からコンデンサ403への電流は流れない。経路B36の電流が経路A36の電流より先に0になると、その後は充電経路A36のみでコンデンサ402は充電されることから、式(6)の条件を満たすときには、コンデンサ402の電圧は直流電源8の電圧で抑えられる。

【0139】

ダイオード104とスイッチ102とが短絡故障したときも、保護スイッチ212bをオフにすることでコンデンサ401の過電圧を防止できる。このときも臨界減衰、過減衰の条件が成り立つ。従って、コンデンサ401と402の容量のうち小さい方を C としたとき、抵抗617の抵抗値 R を下記の式(7)を満たすときには、ダイオード103とスイッチ101の短絡故障時、また、ダイオード104とスイッチ102の短絡故障時、いずれの場合も、コンデンサ401、または、402の到達する電圧は、直流電源8の電圧に抑えられる。

10

20

30

40

50

$$R = 2 \times (2 \times L / C)^{1/2} \dots (7)$$

【0140】

保護スイッチ213bおよび、212bは、還流できる構成である必要がある。通常運転時にもコンデンサ401、402は充放電を行うためであり、また、保護動作時にはコンデンサの充電経路は保護スイッチを還流する経路となるためである。還流ダイオードを使う構成の場合、通常動作時には逆回復が生じないのでSi-pnダイオードを用いると低損失である。また、SiC-SBダイオードを用いると、順方向回復電圧を小さくすることができ、ノイズを小さくすることが出来る。SiC-SBダイオードおよびSi-pnダイオードが並列した構成にすると、順方向回復電圧もオン電圧も低く、すなわち、低ノイズかつ低損失にすることができる。保護スイッチ212bを双方向スイッチにして、ダイオード103とスイッチ101の短絡故障時にスイッチ212bもオフするのは、経路A36を遮断することになる。このため、リアクトル704の電流を遮断しようとしてサージ破壊に繋がるので不都合である。

10

【0141】

[第14実施形態]

次に、第14実施形態による3レベルチョッパ装置について説明する。

【0142】

第14実施形態では、図37に示すように、コンデンサ401に直列に接続されている保護スイッチ212cと、保護スイッチ212cに並列接続された保護コンデンサ515とが設けられている。また、コンデンサ402に直列に接続されている保護スイッチ213cと、保護スイッチ213cに並列接続された保護コンデンサ516とが設けられている。なお、保護スイッチ212cおよび保護コンデンサ515は、それぞれ、特許請求の範囲の「第16の保護スイッチ」および「第6の保護コンデンサ」の一例である。また、保護スイッチ213cおよび保護コンデンサ516は、それぞれ、特許請求の範囲の「第13の保護スイッチ」および「第5の保護コンデンサ」の一例である。

20

【0143】

通常動作時は、保護スイッチ212c、213cはオンの状態として、保護コンデンサ515、516の両端は短絡する。スイッチ101と102のオン、オフを切り替えることで、第1実施形態の図6、7、8、9と同様の電流経路の状態とすることができ、出力電圧を入力電圧よりも低い直流電圧へと変換することが可能である。

30

【0144】

図38に示すように、ダイオード103とスイッチ101とが短絡故障したとき、負荷9を切り離し、もう片側のスイッチ102を切断すると同時に、保護スイッチ213cをオフにするとコンデンサ402の充電経路A38に、保護コンデンサ516が挿入される。コンデンサ402の電圧と保護コンデンサ516の電圧との和は、直流電源8の電圧より高くなる一方、電圧が分担されるので、コンデンサ402の過電圧を防止できる。

【0145】

保護スイッチ213cに保護コンデンサ516を接続しない場合は経路A38を切断して、リアクトル704の電流を遮断しようとするようになるため、サージ破壊に繋がる。このため、保護コンデンサ516の並列接続が必要である。サージ破壊しないようにゆっくりと遮断するのは、コンデンサ402の充電が終わってしまうので、過電圧を防止できなくなる。また、ターンオフ損失増大による、発熱破壊の可能性もある。

40

【0146】

保護スイッチ213cおよび、212cは、還流できる構成である必要がある。通常運転時にもコンデンサ401、402は充放電を行うためである。還流ダイオードを使う構成の場合、通常動作時には逆回復が生じないのでSi-pnダイオードを用いると低損失である。また、SiC-SBダイオードを用いると、順方向回復電圧を小さくすることができ、ノイズを小さくすることが出来る。SiC-SBダイオードおよびSi-pnダイオードが並列した構成にすると、順方向回復電圧もオン電圧も低く、すなわち、低ノイズかつ低損失にすることができる。

50

【 0 1 4 7 】

第 1 4 実施形態では、コンデンサ 4 0 1 と保護スイッチ 2 1 2 c との直列の順序、および、コンデンサ 4 0 2 と保護スイッチ 2 1 3 c との直列の順序は問わない。

【 0 1 4 8 】

[第 1 5 実施形態]

次に、第 1 5 実施形態による 3 レベルチョッパ装置について説明する。

【 0 1 4 9 】

第 1 5 実施形態では、図 3 9 に示すように、コンデンサ 4 0 1 と接続経路 1 4 との間に直列に接続される保護スイッチ 2 1 2 d と、コンデンサ 4 0 2 と接続経路 1 4 との間に直列に接続される保護スイッチ 2 1 3 d と、コンデンサ 4 0 1 と保護スイッチ 2 1 2 d の接続点と、保護スイッチ 2 1 3 d とコンデンサ 4 0 2 の接続点との間に、並列に接続される保護コンデンサ 5 1 7 とが設けられている。なお、保護スイッチ 2 1 2 d および保護スイッチ 2 1 3 d は、それぞれ、特許請求の範囲の「第 7 の保護スイッチ」および「第 8 の保護スイッチ」の一例である。また、保護コンデンサ 5 1 7 は、特許請求の範囲の「第 3 の保護コンデンサ」の一例である。

10

【 0 1 5 0 】

通常動作時は、保護スイッチ 2 1 2 d、2 1 3 d はオンの状態として、保護コンデンサ 5 1 7 の両端は短絡する。スイッチ 1 0 1 と 1 0 2 のオン、オフを切り替えることで、第 1 実施形態の図 6、7、8、9 と同様の電流経路の状態とすることができ、出力電圧を入力電圧よりも低い直流電圧へと変換することが可能である。

20

【 0 1 5 1 】

図 4 0 に示すように、ダイオード 1 0 3 とスイッチ 1 0 1 とが短絡故障したとき、負荷 9 を切り離し、もう片側のスイッチ 1 0 2 を切断すると同時に、保護スイッチ 2 1 3 d をオフにすると、コンデンサ 4 0 2 の充電経路 A 4 0 に、保護コンデンサ 5 1 7 が挿入される。コンデンサ 4 0 2 の電圧と保護コンデンサ 5 1 7 の電圧との和は、直流電源 8 の電圧より高くなる一方、電圧が分担されるので、コンデンサ 4 0 2 の過電圧を防止できる。

【 0 1 5 2 】

保護スイッチ 2 1 3 d および、2 1 2 d は、還流できる構成である必要がある。通常運転時にもコンデンサ 4 0 1、4 0 2 は充放電を行うためであり、また、保護動作時にはコンデンサの充電経路は保護スイッチを還流する経路となるためである。還流ダイオードを使う構成の場合、通常動作時には逆回復が生じないので Si - p n ダイオードを用いると低損失である。また、SiC - SB ダイオードを用いると、順方向回復電圧を小さくすることができ、ノイズを小さくすることが出来る。SiC - SB ダイオードおよび Si - p n ダイオードが並列した構成にすると、順方向回復電圧もオン電圧も低く、すなわち、低ノイズかつ低損失にすることができる。

30

【 0 1 5 3 】

[第 1 6 実施形態]

次に、第 1 6 実施形態による 3 レベルチョッパ装置について説明する。

【 0 1 5 4 】

第 1 6 実施形態では、図 4 1 に示すように、スイッチ 1 0 1 に直列に接続される保護スイッチ 2 1 4 と、スイッチ 1 0 2 に直列に接続される保護スイッチ 2 1 5 とが設けられている。なお、保護スイッチ 2 1 4 および保護スイッチ 2 1 5 は、それぞれ、特許請求の範囲の「第 1 1 の保護スイッチ」および「第 1 4 の保護スイッチ」の一例である。

40

【 0 1 5 5 】

通常動作時は、保護スイッチ 2 1 4、2 1 5 はオンの状態として、スイッチ 1 0 1 と 1 0 2 のオン、オフを切り替えることで、第 1 実施形態の図 6、7、8、9 と同様の電流経路の状態とすることができ、出力電圧を入力電圧よりも低い直流電圧へと変換することが可能である。

【 0 1 5 6 】

図 4 2 に示すように、ダイオード 1 0 3 とスイッチ 1 0 1 とが短絡故障したとき、負荷

50

9を切り離し、もう片側のスイッチ102を切断すると同時に、保護スイッチ214をオフにすると、コンデンサ402の充電経路は、コンデンサ401を通る経路A42になる。コンデンサ402の電圧とコンデンサ401の電圧との和は、直流電源8の電圧より高くなる一方、電圧が分担されるので、コンデンサ402の過電圧を防止できる。また、保護スイッチ214の遮断が、短絡故障後直ちに行われるならば、コンデンサ401の放電防止の効果を得ることもできる。

【0157】

保護スイッチ214、および、215は、デバイスの短絡故障時には、コンデンサ403からコンデンサ401、402へ電流が逆流する可能性があり、逆バイアスがかかる可能性がある。そのため逆阻止能を持たせるか、還流できる構成である必要がある。還流ダイオードを使う構成の場合、通常動作時には導通しないのでSi-pnダイオードを用いると安価である。

10

【0158】

第16実施形態では、スイッチ101と保護スイッチ214との直列の順序、および、スイッチ102と保護スイッチ215との直列の順序は問わない。

【0159】

[第17実施形態]

次に、第17実施形態による3レベルチョッパ装置について説明する。

【0160】

第17実施形態では、図43に示すように、スイッチ101に直列に接続されている保護スイッチ214aと、保護スイッチ214aに並列接続された抵抗618とが設けられている。また、スイッチ102に直列に接続されている保護スイッチ215aと、保護スイッチ215aに並列接続された抵抗619とが設けられている。なお、保護スイッチ214aおよび抵抗618は、それぞれ、特許請求の範囲の「第12の保護スイッチ」および「第5の抵抗」の一例である。また、保護スイッチ215aおよび抵抗619は、それぞれ、特許請求の範囲の「第15の保護スイッチ」および「第6の抵抗」の一例である。

20

【0161】

通常動作時は、保護スイッチ214a、215aはオンの状態として、抵抗618、619の両端は短絡する。スイッチ101と102のオン、オフを切り替えることで、第1実施形態の図6、7、8、9と同様の電流経路の状態とすることができ、出力電圧を入力電圧よりも低い直流電圧へと変換することが可能である。

30

【0162】

図44に示すように、ダイオード103とスイッチ101とが短絡故障したとき、負荷9を切り離し、もう片側のスイッチ102を切断すると同時に、保護スイッチ214aをオフにすると、コンデンサ402の充電経路A44に、抵抗618が挿入される。抵抗618の電圧とコンデンサ401の電圧とは等しくなければならないので、充電経路B44にも電流が流れる。保護回路がない時に比べてコンデンサ402の電圧は低くなる。また、保護スイッチ214aの遮断が、短絡故障後直ちに行われるならば、コンデンサ401の抵抗618による短絡防止の効果を得ることもできる。

【0163】

保護スイッチ214a、および、215aは、デバイスの短絡故障時には、コンデンサ403からコンデンサ401、402へ電流が逆流する可能性があり、逆バイアスがかかる可能性がある。そのため逆阻止能を持たせるか、還流できる構成である必要がある。還流ダイオードを使う構成の場合、通常動作時には導通しないのでSi-pnダイオードを用いると安価である。

40

【0164】

第17実施形態では、スイッチ101と保護スイッチ214aとの直列の順序、および、スイッチ102と保護スイッチ215aとの直列の順序は問わない。

【0165】

[第18実施形態]

50

次に、第 18 実施形態による 3 レベルチョッパ装置について説明する。

【 0 1 6 6 】

第 18 実施形態では、図 4 5 に示すように、スイッチ 1 0 1 に直列に接続されている保護スイッチ 2 1 4 c と、保護スイッチ 2 1 4 c に並列接続された保護コンデンサ 5 1 8 とが設けられている。また、スイッチ 1 0 2 に直列に接続されている保護スイッチ 2 1 5 c と、保護スイッチ 2 1 5 c に並列接続された保護コンデンサ 5 1 9 とが設けられている。なお、保護スイッチ 2 1 4 c および保護コンデンサ 5 1 8 は、それぞれ、特許請求の範囲の「第 13 の保護スイッチ」および「第 5 の保護コンデンサ」の一例である。また、保護スイッチ 2 1 5 c および保護コンデンサ 5 1 9 は、それぞれ、特許請求の範囲の「第 16 の保護スイッチ」および「第 6 の保護コンデンサ」の一例である。

10

【 0 1 6 7 】

通常動作時は、保護スイッチ 2 1 4 c、2 1 5 c はオンの状態として、保護コンデンサ 5 1 8、5 1 9 の両端は短絡する。スイッチ 1 0 1 と 1 0 2 のオン、オフを切り替えることで、第 1 実施形態の図 6、7、8、9 と同様の電流経路の状態とすることができ、出力電圧を入力電圧よりも低い直流電圧へと変換することが可能である。

【 0 1 6 8 】

図 4 6 に示すように、ダイオード 1 0 3 とスイッチ 1 0 1 とが短絡故障したとき、負荷 9 を切り離し、もう片側のスイッチ 1 0 2 を切断すると同時に、保護スイッチ 2 1 4 c をオフにすると、コンデンサ 4 0 2 の充電経路 A 4 6 に、保護コンデンサ 5 1 8 が挿入される。保護コンデンサ 5 1 8 の電圧とコンデンサ 4 0 1 の電圧とは、等しくなければならないので、充電経路 B 4 6 にも電流が流れる。コンデンサ 4 0 2 の電圧と保護コンデンサ 5 1 8 の電圧との和は、直流電源 8 の電圧より高くなるが、電圧が分担されるので、コンデンサ 4 0 2 の過電圧を防止できる。

20

【 0 1 6 9 】

保護スイッチ 2 1 4 c、および、2 1 5 c は、デバイスの短絡故障時には、コンデンサ 4 0 3 からコンデンサ 4 0 1、4 0 2 へ電流が逆流する可能性があり、逆バイアスがかかる可能性がある。そのため逆阻止能を持たせるか、還流できる構成である必要がある。還流ダイオードを使う構成の場合、通常動作時には導通しないので Si - p n ダイオードを用いると安価である。

【 0 1 7 0 】

第 18 実施形態では、スイッチ 1 0 1 と保護スイッチ 2 1 4 c との直列の順序、および、スイッチ 1 0 2 と保護スイッチ 2 1 5 c との直列の順序は問わない。

30

【 0 1 7 1 】

[第 19 実施形態]

次に、第 19 実施形態による 3 レベルチョッパ装置について説明する。

【 0 1 7 2 】

第 19 実施形態では、図 4 7 に示すように、リアクトル 7 0 4 に直列に接続される保護スイッチ 2 1 6 b と、保護スイッチ 2 1 6 b の両端に並列に接続される抵抗 6 2 0 とが設けられている。なお、保護スイッチ 2 1 6 b および抵抗 6 2 0 は、それぞれ、特許請求の範囲の「第 9 の保護スイッチ」および「第 4 の抵抗」の一例である。

40

【 0 1 7 3 】

通常動作時は、保護スイッチ 2 1 6 b はオンの状態として、抵抗 6 2 0 の両端は短絡する。スイッチ 1 0 1 と 1 0 2 のオン、オフを切り替えることで、第 1 実施形態の図 6、7、8、9 と同様の電流経路の状態とすることができ、出力電圧を入力電圧よりも低い直流電圧へと変換することが可能である。

【 0 1 7 4 】

図 4 8 に示すように、ダイオード 1 0 3 とスイッチ 1 0 1 とが短絡故障したとき、保護スイッチ 2 1 6 b をオフにすると、コンデンサ 4 0 2 の充電経路 A 4 8 に、抵抗 6 2 0 が挿入される。この経路は、LCR 共振回路なので、減衰振動となる。これにより、コンデンサ 4 0 2 の到達する電圧は保護回路がない時よりも低いものになる。また、臨界減衰、

50

過減衰の条件が成り立ち、抵抗 620 の抵抗値を R とし、リアクトル 704 のインダクタンスを L とし、コンデンサ 402 の容量を C2 としたとき、抵抗値 R が、下記の式 (8) を満たすときには、コンデンサ 402 の到達する電圧は、直流電源 8 の電圧に抑えられる。

$$R = 2 \times (2 \times L / C2)^{1/2} \dots (8)$$

【0175】

コンデンサ 402 が直流電源 8 からの電流により充電されている間に、コンデンサ 403 の電圧がコンデンサ 402 の電圧よりも高くなっている場合には、コンデンサ 403 からコンデンサ 402 へ、スイッチ 102 を還流してリアクトル 703 との共振電流が B48 の経路で流れる。この B48 の経路の電流が 0 になると、スイッチ 102 がオフとなっているので、コンデンサ 402 からコンデンサ 403 への電流は流れない。経路 B48 の電流が経路 A48 の電流より先に 0 になると、その後は充電経路 A48 のみでコンデンサ 402 は充電されることから、式 (8) の条件を満たすときには、コンデンサ 402 の電圧は直流電源 8 の電圧で抑えられる。

10

【0176】

ダイオード 104 とスイッチ 102 とが短絡故障したときも、保護スイッチ 216b をオフにすることでコンデンサ 401 の過電圧を防止できる。このときも臨界減衰、過減衰の条件が成り立つ。従って、コンデンサ 401 と 402 の容量のうち小さい方を C としたとき、抵抗 620 の抵抗値 R を下記の式 (9) を満たすときには、ダイオード 103 とスイッチ 101 の短絡故障時、また、ダイオード 104 とスイッチ 102 の短絡故障時、いずれの場合も、コンデンサ 401、または、402 の到達する電圧は、直流電源 8 の電圧に抑えられる。

20

$$R = 2 \times (2 \times L / C)^{1/2} \dots (9)$$

【0177】

[第20実施形態]

次に、第20実施形態による3レベルチョッパ装置について説明する。

【0178】

第20実施形態では、図49に示すように、リアクトル704に直列に接続される保護スイッチ216dと、保護スイッチ216dの両端に並列に接続される保護コンデンサ520とが設けられている。なお、保護スイッチ216dおよび保護コンデンサ520は、それぞれ、特許請求の範囲の「第10の保護スイッチ」および「第4の保護コンデンサ」の一例である。

30

【0179】

通常動作時は、保護スイッチ216dはオンの状態として、保護コンデンサ520の両端は短絡する。スイッチ101と102のオン、オフを切り替えることで、第1実施形態の図6、7、8、9と同様の電流経路の状態とすることができ、出力電圧を入力電圧よりも低い直流電圧へと変換することが可能である。

【0180】

図50に示すように、ダイオード103とスイッチ101とが短絡故障したとき、保護スイッチ216dをオフにすると、コンデンサ402の充電経路A50に、保護コンデンサ520が挿入される。コンデンサ402の電圧と保護コンデンサ520の電圧との和は、直流電源8の電圧より高くなる一方、電圧が分担されるので、コンデンサ402の過電圧を防止できる。

40

【0181】

[第21実施形態]

次に、第21実施形態による3レベルチョッパ装置について説明する。

【0182】

第21実施形態では、図51に示すように、接続経路14に直列に接続されている保護スイッチ217と、保護スイッチ218が設けられている。なお、保護スイッチ217および保護スイッチ218は、それぞれ、特許請求の範囲の「第11の保護スイッチ」およ

50

び「第14の保護スイッチ」の一例である。

【0183】

通常動作時は、保護スイッチ217、218はオンの状態として、スイッチ101と102のオン、オフを切り替えることで、第1実施形態の図6、7、8、9と同様の電流経路の状態とすることができ、出力電圧を入力電圧よりも低い直流電圧へと変換することが可能である。

【0184】

スイッチ101とダイオード103とが短絡破壊したとき、負荷9を切り離し、もう片側のスイッチ102を切断すると同時に、保護スイッチ217を切断する。この状態の等価回路は図52のようになる。経路A52で示した2つのコンデンサ401および402を含む共振回路により両コンデンサが充電される。コンデンサ402のみ充電されることがなくなるので、保護スイッチ217のあることによって、コンデンサ402の電圧上昇は抑制される。

【0185】

保護スイッチ217、218は、ダイオードが逆並列接続されたIGBT、RC-IGBT、MOSFETなど、還流できる構成である必要がある。通常運転時にも接続経路14は双方向に電流が流れるためである。還流ダイオードを使う構成の場合、通常動作時には逆回復が生じないのでSi-pnダイオードを用いると低損失である。また、SiC-SBダイオードを用いると、順方向回復電圧を小さくすることができ、ノイズを小さくすることが出来る。SiC-SBダイオードおよびSi-pnダイオードが並列した構成にすると、順方向回復電圧もオン電圧も低く、すなわち、低ノイズかつ低損失にすることができる。また、保護スイッチ217を直ちにオフにすることにより、コンデンサ401の短絡を防止する効果も得られる。

【0186】

[第22実施形態]

次に、第22実施形態による3レベルチョッパ装置について説明する。

【0187】

第22実施形態では、図53に示すように、接続経路14に直列に接続されている保護スイッチ217aと、保護スイッチ217aに並列接続された抵抗621とが設けられている。また、接続経路14に直列に接続されている保護スイッチ218aと、保護スイッチ218aに並列接続された抵抗622とが設けられている。なお、保護スイッチ217aおよび抵抗621は、それぞれ、特許請求の範囲の「第12の保護スイッチ」および「第5の抵抗」の一例である。また、保護スイッチ218aおよび抵抗622は、それぞれ、特許請求の範囲の「第15の保護スイッチ」および「第6の抵抗」の一例である。

【0188】

通常動作時は、保護スイッチ217a、218aはオンの状態として、抵抗621、622の両端は短絡する。スイッチ101と102のオン、オフを切り替えることで、第1実施形態の図6、7、8、9と同様の電流経路の状態とすることができ、出力電圧を入力電圧よりも低い直流電圧へと変換することが可能である。

【0189】

3レベルチョッパ装置のスイッチ101とダイオード103とが短絡破壊したとき、負荷9を切り離し、もう片側のスイッチ102を切断すると同時に、保護スイッチ217aを切断する。この状態の等価回路は図54のようになる。共振回路は、経路A54で示した抵抗621を流れる減衰振動の回路と、経路B54で示した2つのコンデンサ401および402を含む共振回路とが出来る。

【0190】

コンデンサ401の電圧は保護スイッチ217aと並列に接続された抵抗621の電圧と等しくなる。また、出力側のコンデンサ403の電圧が入力側のコンデンサ401および402の電圧の和よりも高くなっていた場合は、出力側のコンデンサ403から抵抗621、または、コンデンサ401を通じてコンデンサ402に電流が流れ込み、スイッチ

10

20

30

40

50

102を還流してコンデンサ403に戻る電流経路が出来る。出力側のコンデンサ403や入力電源8からコンデンサ402に流れる電流がなくなると、コンデンサ401は抵抗621を通じて放電する。以上の挙動では、保護スイッチ217aと抵抗621のない場合よりもコンデンサ402に流れ込む電流、電荷が小さくなるため、保護スイッチ217aと抵抗621のあることによって、コンデンサ402の電圧上昇は抑制される。

【0191】

保護スイッチ217a、218aは、ダイオードが逆並列接続されたIGBT、RC-IGBT、MOSFETなど、還流できる構成である必要がある。通常運転時にも接続経路14は双方向に電流が流れるためである。還流ダイオードを使う構成の場合、通常動作時には逆回復が生じないのでSi-pnダイオードを用いると低損失である。また、SiC-SBダイオードを用いると、順方向回復電圧を小さくすることができ、ノイズを小さくすることが出来る。SiC-SBダイオードおよびSi-pnダイオードが並列した構成にすると、順方向回復電圧もオン電圧も低く、すなわち、低ノイズかつ低損失にすることができる。また、保護スイッチ217aを直ちにオフにすることにより、コンデンサ401の短絡を抵抗621によって防止する効果も得られる。

【0192】

[第23実施形態]

次に、第23実施形態による3レベルチョッパ装置について説明する。

【0193】

第23実施形態では、図55に示すように、接続経路14に直列に接続されている保護スイッチ217cと、保護スイッチ217cに並列接続された保護コンデンサ521とが設けられている。また、接続経路14に直列に接続されている保護スイッチ218cと、保護スイッチ218cに並列接続された保護コンデンサ522とが設けられている。なお、保護スイッチ217cおよび保護コンデンサ521は、それぞれ、特許請求の範囲の「第13の保護スイッチ」および「第5の保護コンデンサ」の一例である。また、保護スイッチ218cおよび保護コンデンサ522は、それぞれ、特許請求の範囲の「第16の保護スイッチ」および「第6の保護コンデンサ」の一例である。

【0194】

通常動作時は、保護スイッチ217c、218cはオンの状態として、保護コンデンサ521、522の両端は短絡する。スイッチ101と102のオン、オフを切り替えることで、第1実施形態の図6、7、8、9と同様の電流経路の状態とすることができ、出力電圧を入力電圧よりも低い直流電圧へと変換することが可能である。

【0195】

図56に示すように、ダイオード103と、スイッチ101とが短絡故障した時は、負荷9を切り離し、もう片側のスイッチ102を切断すると同時に、保護スイッチ217cをオフにする。これにより、コンデンサ402の充電経路A56に、保護コンデンサ521が挿入される。保護コンデンサ521の電圧と、コンデンサ401の電圧とは等しくなければならないので、充電経路B56にも電流が流れる。コンデンサ402の電圧と保護コンデンサ521の電圧との和は、直流電源8の電圧よりも高くなる一方、電圧がコンデンサ402と保護コンデンサ521とによって分担されるので、コンデンサ402の過電圧が防止される。

【0196】

保護スイッチ217c、218cは、ダイオードが逆並列接続されたIGBT、RC-IGBT、MOSFETなど、還流できる構成である必要がある。通常運転時にも接続経路14は双方向に電流が流れるためである。還流ダイオードを使う構成の場合、通常動作時には逆回復が生じないのでSi-pnダイオードを用いると低損失である。また、SiC-SBダイオードを用いると、順方向回復電圧を小さくすることができ、ノイズを小さくすることが出来る。SiC-SBダイオードおよびSi-pnダイオードが並列した構成にすると、順方向回復電圧もオン電圧も低く、すなわち、低ノイズかつ低損失にすることができる。

10

20

30

40

50

【 0 1 9 7 】

[変形例]

なお、今回開示された実施形態は、すべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は、上記した実施形態の説明ではなく特許請求の範囲によって示され、さらに特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更（変形例）が含まれる。

【 0 1 9 8 】

たとえば、上記第 1 ~ 第 2 3 実施形態では、本発明の保護スイッチ回路が、接続経路に設けられているか、または、リアクトルまたはスイッチに直列に設けられている例を示したが、本発明はこれに限られない。本発明では、故障時に、コンデンサに過電圧が印加される経路を遮断するように保護スイッチ回路のオンオフが制御できれば、保護スイッチ回路を、接続経路、リアクトルまたはスイッチに直列の経路以外の経路に設けてもよい。

10

【 0 1 9 9 】

また、適宜上記第 1 ~ 第 2 3 実施形態を組み合わせ構成されていても良い。例えば、第 1 6 実施形態と第 2 1 実施形態とを組み合わせた図 5 7 に示すような 3 レベルチョッパ装置を考えることができる。図 5 7 の 3 レベルチョッパ装置では、スイッチ 1 0 2 に、保護スイッチ 2 1 5 が直列接続されている。また、接続経路 1 4 に、保護スイッチ 2 1 7 が直列接続されている。なお、保護スイッチ 2 1 5、2 1 7 は、それぞれ、特許請求の範囲の「第 1 4 の保護スイッチ」、「第 1 1 の保護スイッチ」の一例である。

【 0 2 0 0 】

ダイオード 1 0 3 とスイッチ 1 0 1 が短絡故障したときは、負荷 9 を切り離し、もう片側のスイッチ 1 0 2 を切断すると同時に、保護スイッチ 2 1 7 をオフにする。これにより、第 2 1 実施形態と同じく、充電経路はコンデンサ 4 0 1 とコンデンサ 4 0 2 を通るようになり、コンデンサ 4 0 2 の過電圧を防止できる。

20

【 0 2 0 1 】

ダイオード 1 0 4 とスイッチ 1 0 2 が短絡故障したときは、負荷 9 を切り離し、もう片側のスイッチ 1 0 1 を切断すると同時に、保護スイッチ 2 1 5 をオフにする。これにより、第 1 6 実施形態と同じく、充電経路はコンデンサ 4 0 1 とコンデンサ 4 0 2 を通るようになり、コンデンサ 4 0 1 の過電圧を防止できる。

【 符号の説明 】

30

【 0 2 0 2 】

8 直流電源

1 4 接続経路

1 0 1 スイッチ（第 1 のスイッチ）

1 0 2 スイッチ（第 2 のスイッチ）

1 0 3 ダイオード（第 1 のダイオード）

1 0 4 ダイオード（第 2 のダイオード）

2 0 9、2 0 9 a、2 0 9 b、2 0 9 c 保護スイッチ（双方向保護スイッチ）

2 1 0 b 保護スイッチ（第 1 の保護スイッチ）

2 1 1 b 保護スイッチ（第 2 の保護スイッチ）

2 1 0 d 保護スイッチ（第 3 の保護スイッチ）

2 1 1 d 保護スイッチ（第 4 の保護スイッチ）

2 1 2 b 保護スイッチ（第 5 の保護スイッチ）

2 1 3 b 保護スイッチ（第 6 の保護スイッチ）

2 1 2 d 保護スイッチ（第 7 の保護スイッチ）

2 1 3 d 保護スイッチ（第 8 の保護スイッチ）

2 1 6 b 保護スイッチ（第 9 の保護スイッチ）

2 1 6 d 保護スイッチ（第 1 0 の保護スイッチ）

2 1 0、2 1 4、2 1 7 保護スイッチ（第 1 1 の保護スイッチ）

2 1 0 a、2 1 3 a、2 1 4 a、2 1 7 a 保護スイッチ（第 1 2 の保護スイッチ）

40

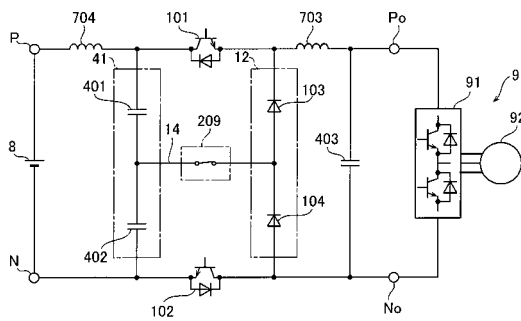
50

- 2 1 0 c、2 1 3 c、2 1 4 c、2 1 7 c 保護スイッチ (第 1 3 の保護スイッチ)
- 2 1 1、2 1 5、2 1 8 保護スイッチ (第 1 4 の保護スイッチ)
- 2 1 1 a、2 1 2 a、2 1 5 a、2 1 8 a 保護スイッチ (第 1 5 の保護スイッチ)
- 2 1 1 c、2 1 2 c、2 1 5 c、2 1 8 c 保護スイッチ (第 1 6 の保護スイッチ)
- 4 0 1 コンデンサ (第 1 のコンデンサ)
- 4 0 2 コンデンサ (第 2 のコンデンサ)
- 4 0 3 コンデンサ (第 3 のコンデンサ)
- 5 1 1 保護コンデンサ (第 1 の保護コンデンサ)
- 5 1 4 保護コンデンサ (第 2 の保護コンデンサ)
- 5 1 7 保護コンデンサ (第 3 の保護コンデンサ)
- 5 2 0 保護コンデンサ (第 4 の保護コンデンサ)
- 5 1 2、5 1 6、5 1 8、5 2 1 保護コンデンサ (第 5 の保護コンデンサ)
- 5 1 3、5 1 5、5 1 9、5 2 2 保護コンデンサ (第 6 の保護コンデンサ)
- 6 1 1 抵抗 (第 1 の抵抗)
- 6 1 4 抵抗 (第 2 の抵抗)
- 6 1 7 抵抗 (第 3 の抵抗)
- 6 2 0 抵抗 (第 4 の抵抗)
- 6 1 2、6 1 6、6 1 8、6 2 1 抵抗 (第 5 の抵抗)
- 6 1 3、6 1 5、6 1 9、6 2 2 抵抗 (第 6 の抵抗)
- 7 0 4 リアクトル (第 1 のリアクトル)
- 7 0 3 リアクトル (第 2 のリアクトル)

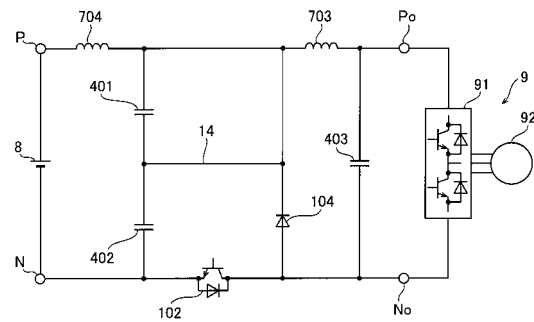
10

20

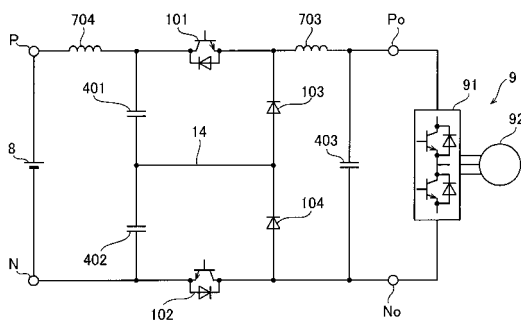
【 図 1 】



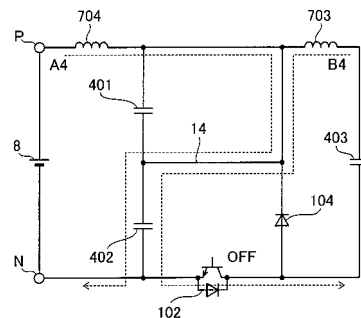
【 図 3 】



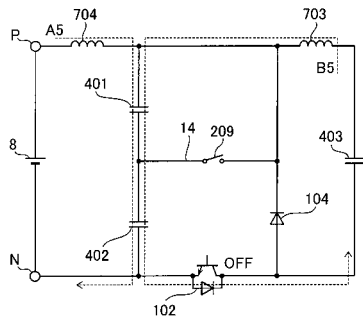
【 図 2 】



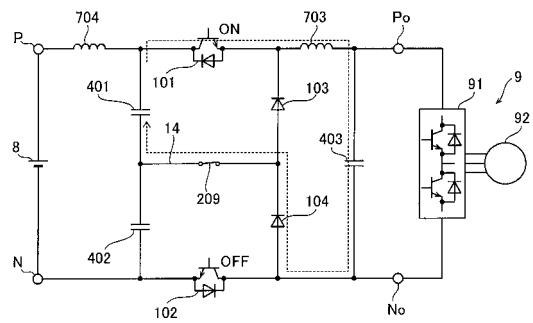
【 図 4 】



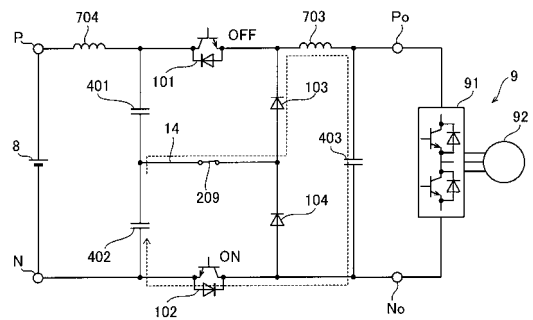
【 図 5 】



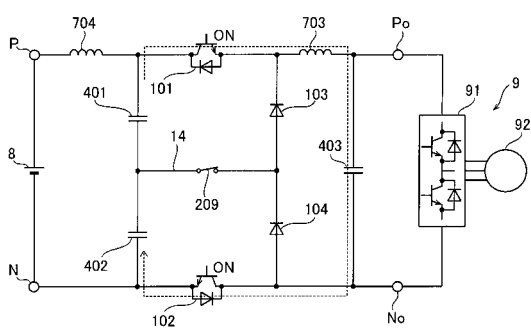
【 図 6 】



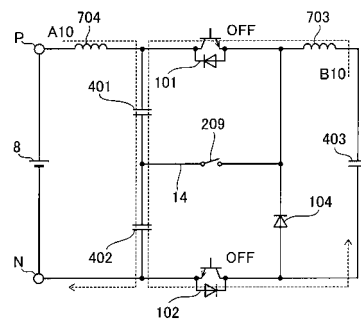
【 図 7 】



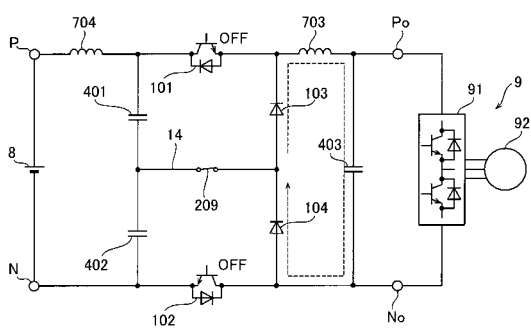
【 図 8 】



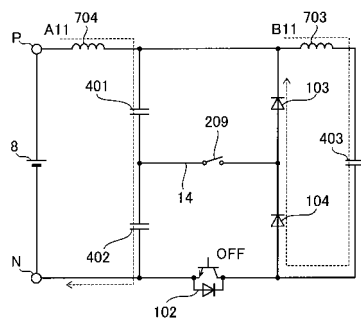
【 図 10 】



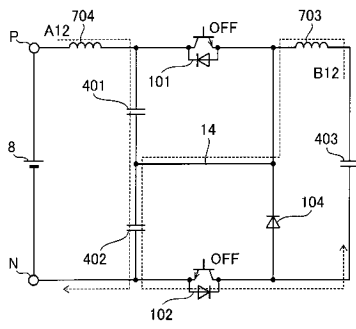
【 図 9 】



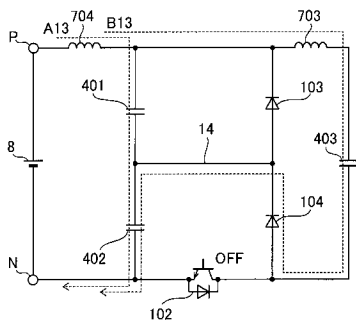
【 図 11 】



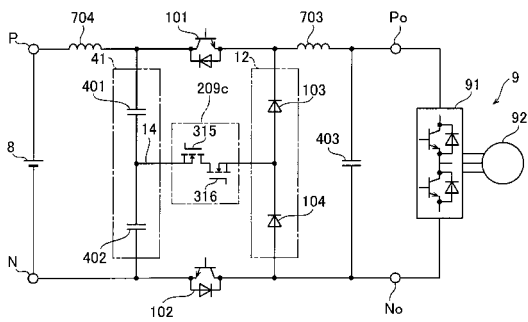
【 図 1 2 】



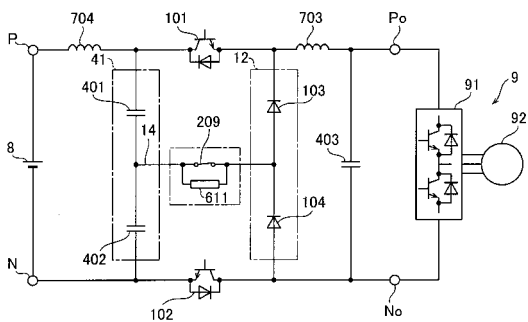
【 図 1 3 】



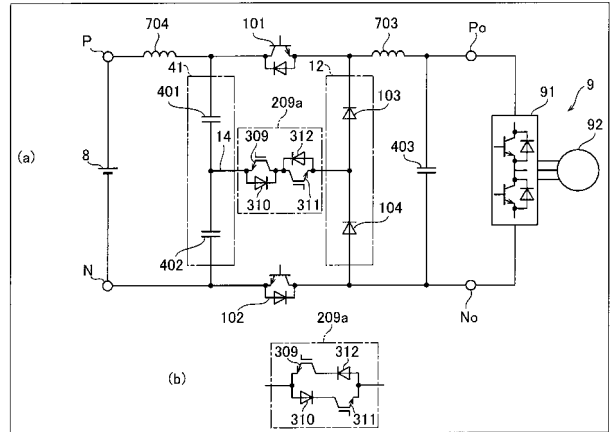
【 図 1 6 】



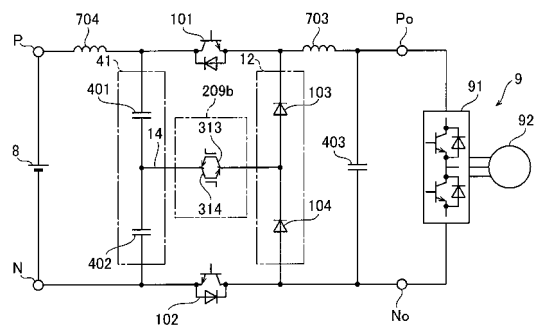
【 図 1 7 】



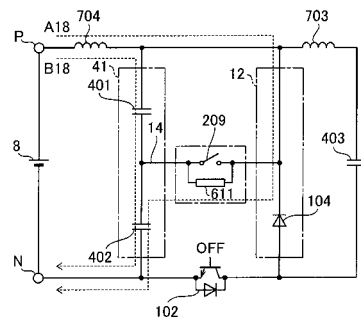
【 図 1 4 】



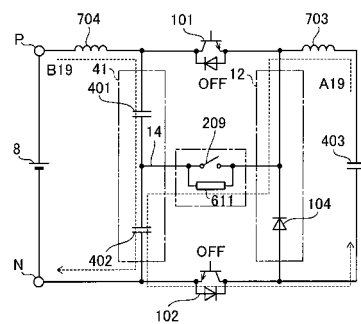
【 図 1 5 】



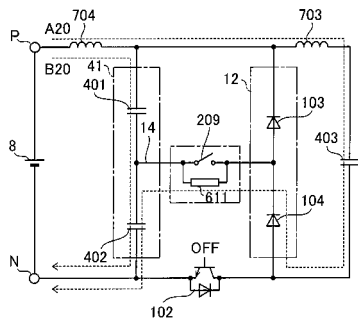
【 図 1 8 】



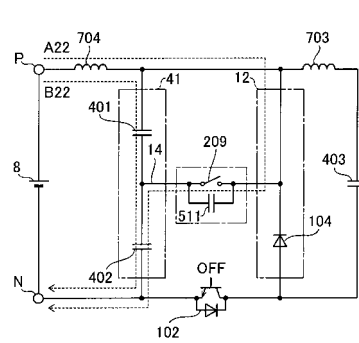
【 図 1 9 】



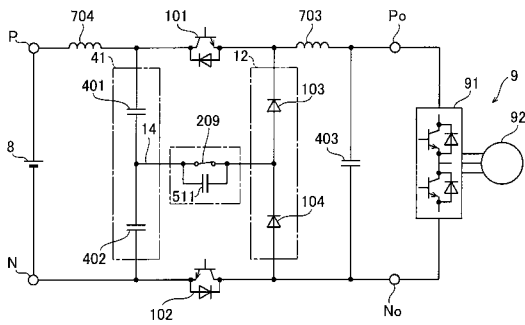
【 図 2 0 】



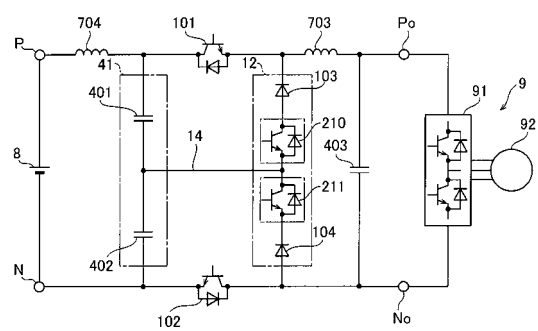
【 図 2 2 】



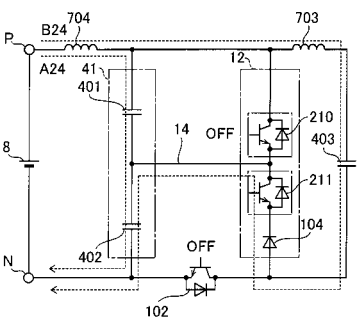
【 図 2 1 】



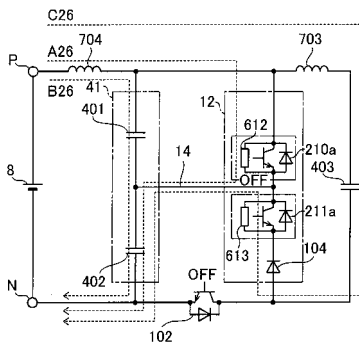
【 図 2 3 】



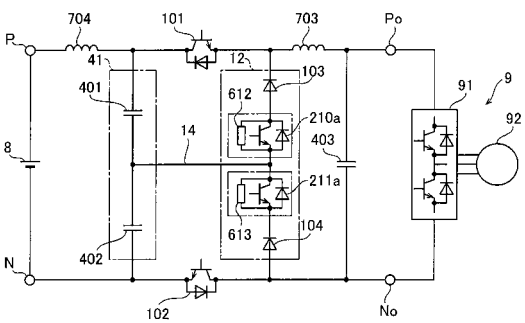
【 図 2 4 】



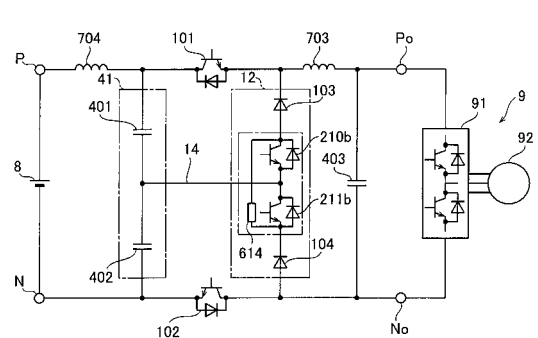
【 図 2 6 】



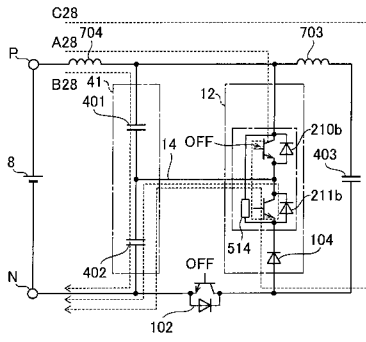
【 図 2 5 】



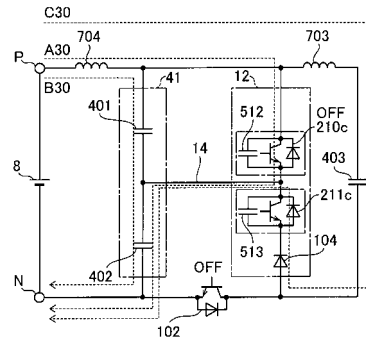
【 図 2 7 】



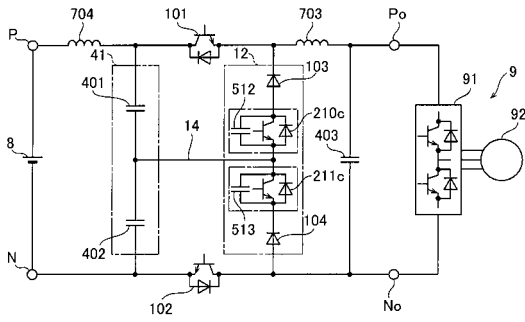
【 図 2 8 】



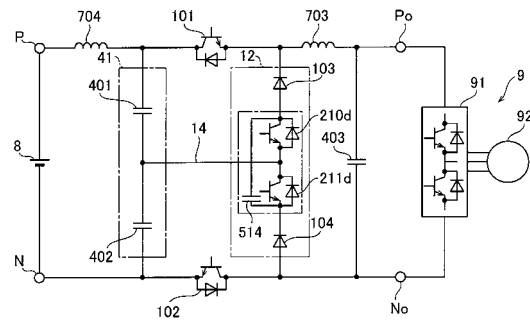
【 図 3 0 】



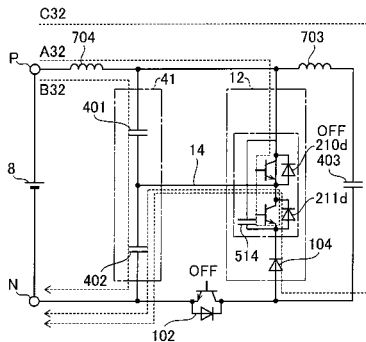
【 図 2 9 】



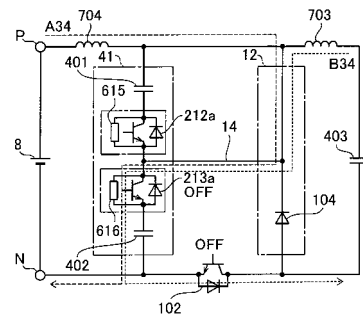
【 図 3 1 】



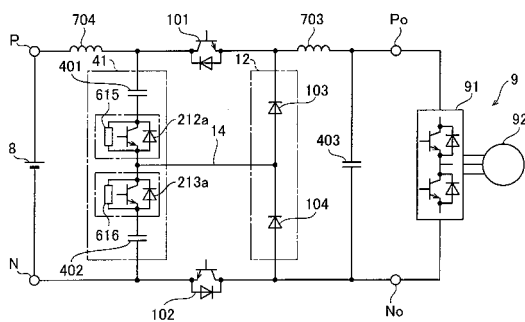
【 図 3 2 】



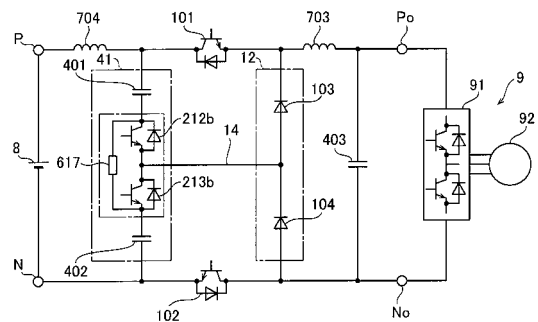
【 図 3 4 】



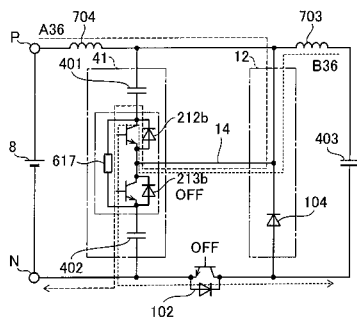
【 図 3 3 】



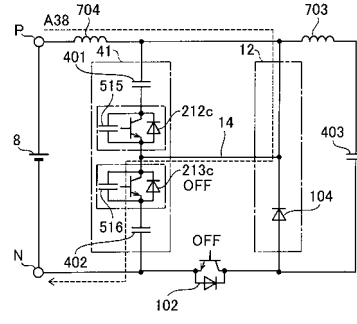
【 図 3 5 】



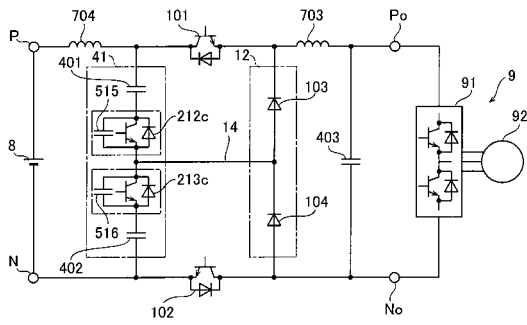
【 図 3 6 】



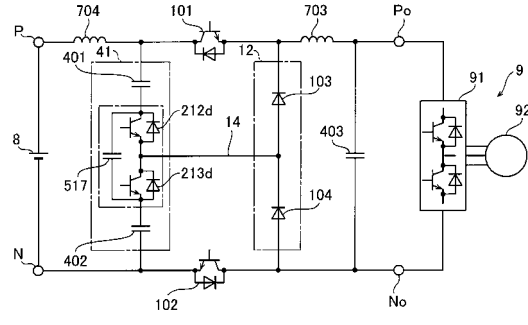
【 図 3 8 】



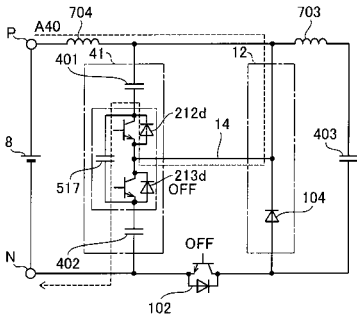
【 図 3 7 】



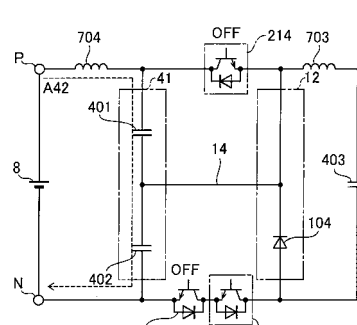
【 図 3 9 】



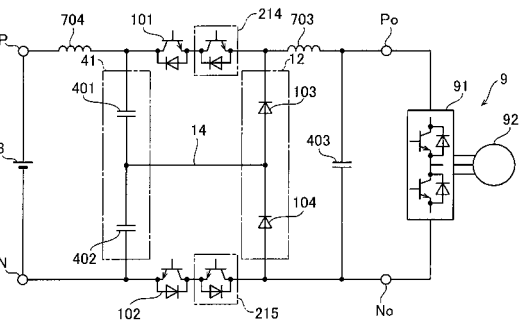
【 図 4 0 】



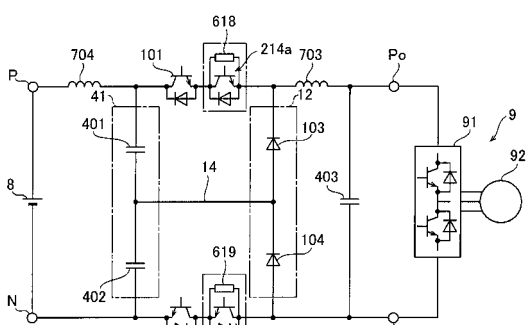
【 図 4 2 】



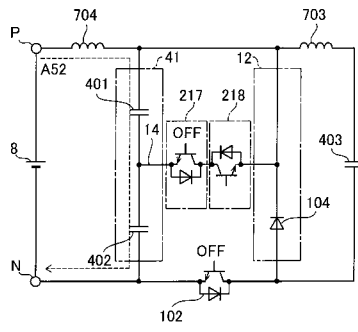
【 図 4 1 】



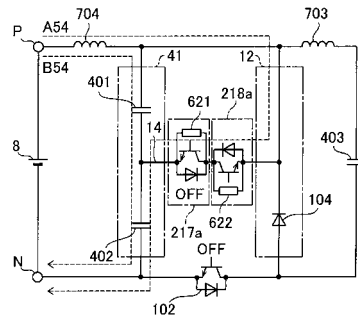
【 図 4 3 】



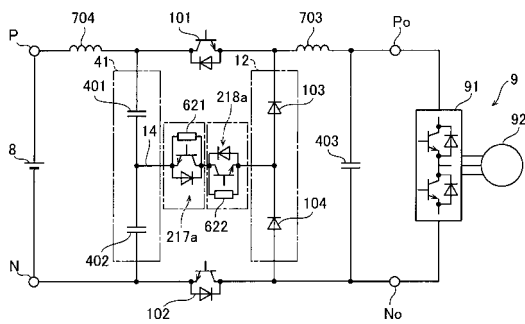
【 図 5 2 】



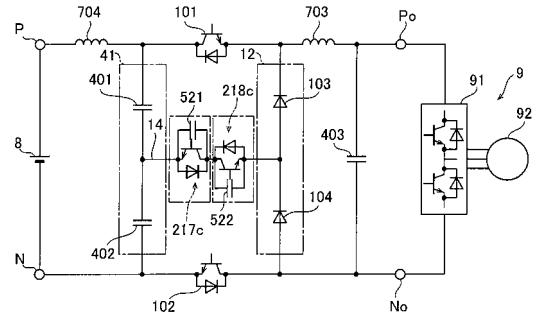
【 図 5 4 】



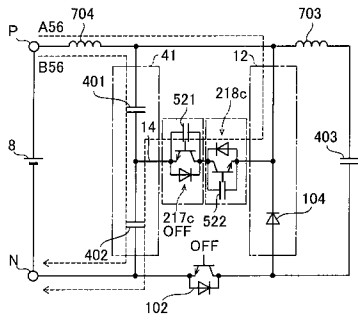
【 図 5 3 】



【 図 5 5 】



【 図 5 6 】



【 図 5 7 】

