

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7016949号
(P7016949)

(45)発行日 令和4年2月7日(2022.2.7)

(24)登録日 令和4年1月28日(2022.1.28)

| | | | | | |
|----------------|-------------|------------------|----------------|-------------|----------|
| (51)国際特許分類 | | F I | | | |
| B 6 0 L | 3/00 | (2019.01) | B 6 0 L | 3/00 | C |
| B 6 0 L | 9/18 | (2006.01) | B 6 0 L | 9/18 | A |
| H 0 2 M | 7/48 | (2007.01) | H 0 2 M | 7/48 | M |

請求項の数 17 (全17頁)

| | | | |
|-------------------|-----------------------------|----------|---|
| (21)出願番号 | 特願2020-509670(P2020-509670) | (73)特許権者 | 000005108 株式会社日立製作所 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 |
| (86)(22)出願日 | 平成30年12月28日(2018.12.28) | (74)代理人 | 110002365 特許業務法人サンネクスト国際特許事務所 |
| (86)国際出願番号 | PCT/JP2018/048453 | (72)発明者 | 成木 航 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内 |
| (87)国際公開番号 | WO2019/187454 | (72)発明者 | 安東 正登 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内 |
| (87)国際公開日 | 令和1年10月3日(2019.10.3) | 審査官 | 西井 香織 |
| 審査請求日 | 令和2年9月24日(2020.9.24) | | |
| (31)優先権主張番号 | 特願2018-60169(P2018-60169) | | |
| (32)優先日 | 平成30年3月27日(2018.3.27) | | |
| (33)優先権主張国・地域又は機関 | 日本国(JP) | | |

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 電気車用駆動システム、半導体減流器、およびその故障検知方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

架線からの直流電力を遮断する断流器と、直流電力を交流電力に変換するインバータと、前記断流器と前記インバータとの間に介在し前記インバータを動作する際に発生する電圧の脈動を抑えるフィルタリアクトル及びフィルタコンデンサと、過電流検出用の電流検出器であり第1の電流値を検出する第1の電流検出器とを有する電気車用駆動システムにおいて、

前記断流器と前記インバータとに直列に接続された半導体スイッチ素子と、前記半導体スイッチ素子に並列に接続され1以上の抵抗を含む抵抗部とを有する半導体減流器と、前記半導体スイッチ素子と前記抵抗部とのうちのいずれかを流れる電流を検出する第2の電流検出器と、

過電流を検出した場合に前記半導体スイッチ素子をオフにすることで当該過電流を前記抵抗部における少なくとも1つの抵抗に転流し、転流され当該少なくとも1つの抵抗により減流された電流を、前記断流器をオフにすることで遮断するようになっており、第2の電流値に関して設けられた所定の条件が満たされているならば前記半導体スイッチ素子が故障していると検知する制御装置と

を有し、

前記第2の電流値は、前記第1の電流検出器及び前記第2の電流検出器のうちの少なくとも前記第2の電流検出器が検出した電流値又は当該電流値を基に得られる電流値であって、前記抵抗部を流れる電流の電流値である、

ことを特徴とする電気車用駆動システム。

【請求項 2】

前記制御装置は、前記半導体スイッチ素子が故障していることを検知した場合、主電流を遮断する断流器をオフにする

ことを特徴とする請求項 1 に記載の電気車用駆動システム。

【請求項 3】

前記制御装置は、前記フィルタコンデンサの充電中には前記半導体スイッチ素子をオフ状態とし、

前記所定の条件は、前記フィルタコンデンサの充電中に、前記第 1 の電流値と前記第 2 の電流値との差が第 1 閾値を超えていることである

10

ことを特徴とする請求項 1 に記載の電気車用駆動システム。

【請求項 4】

前記制御装置は、前記フィルタコンデンサの充電中には前記半導体スイッチ素子をオフ状態とし、

前記所定の条件は、

前記フィルタコンデンサの充電中に、前記第 2 の電流値が第 2 の閾値よりも低いことと、

前記フィルタコンデンサの充電中に、架線電圧と前記フィルタコンデンサの電圧との差から想定される正常時の充電電流値と前記第 2 の電流値との差が第 3 の閾値よりも大きいこととのうちの少なくとも 1 つである

ことを特徴とする請求項 1 に記載の電気車用駆動システム。

20

【請求項 5】

前記制御装置は、前記インバータの動作中には前記半導体スイッチ素子をオン状態とし、

前記所定の条件は、前記インバータの動作中に、前記第 2 の電流値が第 4 の閾値よりも高いことである

ことを特徴とする請求項 1 に記載の電気車用駆動システム。

【請求項 6】

前記半導体減流器を前記フィルタリアクトルよりも前記架線側に有する

ことを特徴とする請求項 1 に記載の電気車用駆動システム。

【請求項 7】

前記フィルタコンデンサへの充電電流が流れる経路に設けられた第 1 の抵抗を更に有し、

前記半導体減流器における前記抵抗部は、

前記第 1 の抵抗と、

前記転流された電流が流れる経路に設けられ前記第 1 の抵抗に並列に接続された第 2 の抵抗と

を有する

ことを特徴とする請求項 1 に記載の電気車用駆動システム。

30

【請求項 8】

前記フィルタコンデンサへの充電電流が流れる経路に設けられた第 1 の抵抗を、前記抵抗部の中又は外に有し、

前記半導体減流器における前記抵抗部は、前記転流された電流が流れる経路に設けられ前記第 1 の抵抗に直列に接続された第 2 の抵抗を有する

ことを特徴とする請求項 1 に記載の電気車用駆動システム。

40

【請求項 9】

断流器とインバータとに直列に接続された半導体スイッチ素子に並列に接続された 1 以上の抵抗を含む抵抗部を流れる電流の電流値を制御装置が取得するステップと、

前記制御装置は、取得した前記電流値が、前記抵抗部を流れる電流値に関して設けられた所定の条件を満たしているならば、前記半導体スイッチ素子が故障していると検知するステップと

を有することを特徴とする半導体減流器の故障検知方法。

【請求項 10】

50

前記半導体スイッチ素子が故障していることを検知した場合、主電流を遮断することを特徴とする請求項 9 に記載の半導体減流器の故障検知方法。

【請求項 1 1】

前記所定の条件は、前記半導体スイッチ素子がオフ状態であるコンデンサ充電中に、過電流検出用の電流検出器が検出する電流値と、前記抵抗部を流れる電流値との差が第 1 閾値を超えていることである

ことを特徴とする請求項 9 に記載の半導体減流器の故障検知方法。

【請求項 1 2】

前記所定の条件は、

前記半導体スイッチ素子がオフ状態であるコンデンサ充電中に、前記抵抗部を流れる電流値が第 2 の閾値よりも低いことと、

前記コンデンサ充電中に、想定される正常時の充電電流値と、前記抵抗部を流れる電流値との差が第 3 の閾値よりも大きいこと

とのうちの少なくとも 1 つである

ことを特徴とする請求項 9 に記載の半導体減流器の故障検知方法。

【請求項 1 3】

前記所定の条件は、前記半導体スイッチ素子がオン状態である電力変換器動作中に、前記抵抗部を流れる電流値が第 4 の閾値よりも高いことである

ことを特徴とする請求項 9 に記載の半導体減流器の故障検知方法。

【請求項 1 4】

断流器とインバータとの間に直列に接続される半導体スイッチ素子と、前記半導体スイッチ素子に並列に接続され 1 以上の抵抗を含む抵抗部とを有する半導体減流器において、前記半導体スイッチ素子と前記抵抗部とのうちのいずれかを流れる電流の電流値を検出し、
検出された前記電流値を制御装置に出力できる電流検出器を備え、

前記制御装置は、前記抵抗部を流れる電流の電流値に関して設けられた所定の条件が満たされていれば前記半導体スイッチ素子が故障していると検知するようになっている、
ことを特徴とする半導体減流器。

【請求項 1 5】

前記半導体スイッチ素子と、回生電力を通流する方向に並列接続したダイオードとの並列体であるパワーモジュールを備え、

コンデンサ充電中には前記パワーモジュールが前記半導体スイッチ素子のオフ指令を受信し、

前記所定の条件は、前記コンデンサ充電中に、過電流を検出する別の電流検出器が検出した電流値と、前記抵抗部を流れる電流値との差が、第 1 閾値を超えていることである

ことを特徴とする請求項 1 4 に記載の半導体減流器。

【請求項 1 6】

前記半導体スイッチ素子と、回生電力を通流する方向に並列接続したダイオードとの並列体であるパワーモジュールを備え、

コンデンサ充電中には前記パワーモジュールが前記半導体スイッチ素子のオフ指令を受信し、

前記所定の条件は、

前記コンデンサ充電中に、前記抵抗部を流れる電流値が第 2 の閾値よりも低いことと、

前記コンデンサ充電中に、想定される正常時の充電電流値と前記抵抗部を流れる電流値との差が第 3 の閾値よりも大きいこと

とのうちの少なくとも 1 つである

ことを特徴とする請求項 1 4 に記載の半導体減流器。

【請求項 1 7】

前記半導体スイッチ素子と、回生電力を通流する方向に並列接続したダイオードとの並列体であるパワーモジュールを備え、

電力変換器動作中には前記パワーモジュールが前記半導体スイッチ素子のオン指令を受信

10

20

30

40

50

し、

前記所定の条件は、前記電力変換器動作中に、前記抵抗部を流れる電流値が第4の閾値よりも高いことである

ことを特徴とする請求項14に記載の半導体減流器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、概して、電気車（鉄道車両）用の駆動システムの半導体減流器に関する。

【背景技術】

【0002】

電気車用の駆動システムには、一般に、電流遮断器が設けられる。電流遮断器の一例として、例えば、特許文献1～2に開示の電流遮断器が知られている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開2004-096877号公報

特開2006-067732号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

本願発明者が、電流遮断器として半導体減流器を採用してフィルタリアクトルを小型化した電気車用駆動システムの実用化について鋭意検討した結果、次の知見を得るに至った。

【0005】

電気車用の駆動システムは、一般に、フィルタリアクトルを有する。フィルタリアクトルは、走行時に発生する電流及び電圧の脈動の低減や、主回路中で高電位と低電位が短絡した際に大きな短絡電流が架線側から流れるのを抑える役割を担っている。このような役割に必要なインダクタンス値は、一般に、8mH～12mHであり、故に、フィルタリアクトルの体積や質量が大きい。例えば、フィルタリアクトルの体積や質量は、モータを除けば、駆動システム全体の1/2から1/3程度を占める。

【0006】

このため、フィルタリアクトルの小型化が実現できると駆動システム全体の小型化に寄与する。

【0007】

フィルタリアクトルを小型化するためには、インダクタンス値を小さく設定することが必要である。しかし、フィルタリアクトルを低インダクタンス化すると、地絡事故等が発生した際の事故電流増加速度が大きくなり、電流遮断器が、一般的な機械式高速度遮断器であると、遮断完了時の電流が大きくなってしまふ。これは変電所の遮断器トリップ等、変電所の動作を不安定にする可能性がある。

【0008】

電気車用駆動システムに搭載される電流遮断器は、高い信頼性と安全性が求められる。

【0009】

特許文献1及び2には、電気車用の駆動システムに半導体減流器を適用した構成が開示されている。

【0010】

しかし、特許文献1及び2には、電流遮断器として半導体減流器を採用してフィルタリアクトルを小型化した電気車用駆動システムの実用化に際してフィルタリアクトルの小型化と大電流の流入を抑えることとを両立する技術は、開示も示唆もされていない。また、特許文献1及び2には、電流遮断器として採用された半導体減流器の信頼性と安全性を維持するための技術も、開示も示唆もされていない。

【0011】

10

20

30

40

50

従って、本発明の目的は、フィルタリアクトルの小型化と大電流の流入を抑えることとを両立しつつ、半導体減流器の信頼性及び安全性を維持することにある。

【課題を解決するための手段】

【0012】

電気車用駆動システムの制御装置が、過電流を検出した場合に半導体減流器における半導体スイッチ素子（断流器とインバータとに直列に接続された半導体スイッチ素子）をオフにすることで当該過電流を抵抗部における少なくとも1つの抵抗に転流し、転流され当該少なくとも1つの抵抗により減流された電流を、断流器をオフにすることで遮断するようになっている。電気車用駆動システムは、過電流検出用の第1の電流検出器に加えて、半導体減流器における半導体スイッチ素子と抵抗部とのうちのいずれかを流れる電流値を検出する第2の電流検出器を備える。制御装置は、少なくとも第2の電流検出器を基に得られる電流値であって抵抗部を流れる電流の電流値に関して設けられた所定の条件が満たされているならば半導体スイッチ素子が故障していると検知する。

10

【発明の効果】

【0013】

本発明によれば、フィルタリアクトルの小型化と大電流の流入を抑えることとを両立しつつ、半導体減流器の信頼性及び安全性を維持することができる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】実施例1に係る電気車用駆動システムの構成図である。

20

【図2】図1に記載した電気車用駆動システムにおけるスイッチング動作を示す波形チャートである。

【図3】図1に記載した電気車用駆動システムにおけるスイッチング動作を示す波形チャートである。

【図4】図1に記載した電気車用駆動システムにおけるスイッチング動作を示す波形チャートである。

【図5】図1に記載した電気車用駆動システムにおけるスイッチング動作を示す波形チャートである。

【図6】図1に記載した電気車用駆動システムにおけるスイッチング動作を示す波形チャートである。

30

【図7】実施例2に係る電気車用駆動システムの構成図である。

【図8】実施例3に係る電気車用駆動システムの構成図である。

【図9】実施例4に係る電気車用駆動システムにおける第2の電流検出器の配置例を示す図である。

【図10】実施例5に係る電気車用駆動システムにおける半導体減流器の構成と第2の電流検出器の配置例を示す図である。

【図11】実施例6に係る電気車用駆動システムにおける半導体減流器の構成と第2の電流検出器の配置例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

40

以下の説明においては、便宜上その必要があるときは、複数のセクションまたは実施例に分割して説明するが、特に明示した場合を除き、それらは互いに無関係なものではなく、一方は他方の一部または全部の変形例、詳細、補足説明等の関係にある。また、以下の説明において、要素の数等（個数、数値、量、範囲等を含む）に言及する場合、特に明示した場合及び原理的に明らかに特定の数に限定される場合等を除き、その特定の数に限定されるものではなく、特性の数以上でも以下でもよい。

【0016】

さらに、以下の説明において、その構成要素（要素ステップ等も含む）は、特に明示した場合及び原理的に明らかに必須であると考えられる場合等を除き、必ずしも必須のものではないことは言うまでもない。同様に、以下の説明において、構成要素等の形状、位置関

50

係等に言及するときは、特に明示した場合及び原理的に明らかにそうでないと考えられる場合等を除き、実質的にその形状等に近似または類似するもの等を含むものとする。このことは、上記数値及び範囲についても同様である。

【実施例 1】

【0017】

図 1 は、実施例 1 に係る電気車用駆動システムの構成図である。

【0018】

図 1 において、電気車用駆動システム 100 には、直流架線から電気車へ電力をとるパンタグラフ 1 と、電気車を駆動する電動機 11 とが接続されている。電気車用駆動システム 100 は、断流器 2、3 及び 4（1 以上の断流器の一例）と、充電抵抗 5（第 1 の抵抗の一例）と、減流抵抗 6（第 2 の抵抗の一例）と、パワーモジュール 7（半導体スイッチ素子と、回生電力を通流する方向に並列接続したダイオードとの並列体）と、インバータ 10 と、インバータ 10 を動作する際に発生する電圧の脈動を抑えるフィルタリアクトル 8 及びフィルタコンデンサ 9 と、半導体スイッチ制御装置（以下、制御装置）12 と、直流電流を検出する過電流検出用の第 1 の電流検出器 21 と、減流抵抗 6 を流れる電流を検出する第 2 の電流検出器 22 とを有する。減流抵抗 6 とパワーモジュール 7 との並列体が、半導体減流器 110 である。第 1 の電流検出器 21 及び第 2 の電流検出器 22 で検出された電流値はそれぞれ制御装置 12 に入力される。制御装置 12 は、パワーモジュール 7 における半導体スイッチ素子のオン及びオフを制御する。本実施例では、制御装置 12 は、更に、断流器 2～4 のオン（閉成）及びオフ（開放）も制御できる。

【0019】

断流器 2 及び 3 は直列に接続されている。複数の断流器を直列接続することにより、1 台の断流器を単体で使用した場合に比べ、遮断電流容量を増加させることができる。

【0020】

断流器 4 と充電抵抗 5 の直列体は、断流器 3 と並列に接続する。本構成とすることにより、例えば以下 2 つの効果が得られる。

【0021】

第 1 の効果は、充電抵抗 5 と減流抵抗 6 の抵抗値を最適な値に選択できる点である。減流動作時には、パワーモジュール 7 を流れていた電流が減流抵抗 6 に転流する。ゆえに転流した電流の大きさと減流抵抗 6 の抵抗値の積が、パワーモジュール 7 の両端に印加される電圧となる。減流抵抗 6 の値が大きいほど、パワーモジュール 7 の素子耐圧を高くする必要があり、素子の高価格化及び大型化を招く。よって減流抵抗 6 の値は減流動作に問題を与えない範囲で小さいことが望ましい。一方で、フィルタコンデンサ 9 の充電時の充電電流を制限する充電抵抗 5 は、その抵抗値が小さいと充電電流が充電開始時に急峻に立ち上がり、信号機器等に影響を与えるノイズ源となる懸念がある。特にフィルタリアクトル 8 の容量が小さい場合はその傾向が強い。よって充電抵抗 5 の値は、ノイズ源とならないように十分大きい抵抗値を設定することが望ましい。以上より、断流器 4 と充電抵抗 5 を有さず減流抵抗を充電抵抗としても利用した一比較例では、減流抵抗と充電抵抗それぞれの最適抵抗値が異なるために、減流抵抗の値を最適化することができない。本実施例では、断流器 4 と充電抵抗 5 があることで、充電抵抗 5 と減流抵抗 6 の直列体を、フィルタコンデンサ 9 の充電抵抗として利用する。これにより、減流抵抗 6 の抵抗値とフィルタコンデンサ 9 の充電抵抗 5 の抵抗値を個別に決定することが可能である。ゆえに、パワーモジュール 7 に要求される素子耐圧が高くなることの抑制と、フィルタコンデンサ 9 の充電時の急峻な電流変化を要因とするノイズの発生抑制を両立することができる。なお、フィルタコンデンサ 9 の充電の際に半導体スイッチ素子が制御装置 12 によりオンにされて、充電電流が充電抵抗 5 を流れ減流抵抗 6 を流れないでもよい。

【0022】

第 2 の効果は、フィルタコンデンサ 9 の充電時における本駆動システム 100 の安全性を向上できる点である。フィルタコンデンサ 9 の充電シーケンスでは、断流器 3 をオフにした状態で、断流器 2 及び断流器 4 をオンにすることができる。充電シーケンスでは、充電

10

20

30

40

50

電流が必ず充電抵抗 5 を経由するため、万一パワーモジュール 7 が短絡モード故障であった場合でも、大きな突入電流が発生せず、突入電流による変電所の遮断器トリップやノイズ発生等の悪影響が抑えられる。

【 0 0 2 3 】

断流器 4 と充電抵抗 5 の位置は入れ替えられてもよい。パワーモジュール 7 を構成する半導体スイッチ素子は、例えば IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) であるが、MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) 等他のパワーデバイスとしてもよい。MOSFET 等のボディダイオードを有するパワーデバイスが用いられる場合には、ダイオードは省略されてもよい。

【 0 0 2 4 】

減流抵抗 6 を流れる電流の値を検出する第 2 の電流検出器 2 2 は、減流抵抗 6 とパワーモジュール 7 を接続する 2 本の経路のどちらに存在してもよい。

【 0 0 2 5 】

減流抵抗 6 とパワーモジュール 7 の並列体には、フィルタリアクトル 8 とフィルタコンデンサ 9 から構成されるフィルタ回路が接続され、フィルタコンデンサ 9 の一端は架線帰路に接続されるので、フィルタコンデンサ 9 には通常架線電圧が充電される。フィルタコンデンサ 9 には、インバータ 1 0 と、電動機 1 1 が接続される。

【 0 0 2 6 】

インバータ 1 0 は、IGBT や MOSFET 等の半導体素子で 2 レベルあるいは 3 レベル回路を構成し、直流電力を三相の可変周波数及び可変電圧に変換する既に周知のインバータでよいから、その詳細は省略する。インバータ 1 0 の負荷となる電動機 1 1 も公知でよい。なお、この電動機 1 1 は同期電動機としてもよい。

【 0 0 2 7 】

フィルタリアクトル 8 のインダクタンスは、低インダクタンス、例えば、一般的なインダクタンス値 (8mH ~ 12mH) の 1/2 ~ 1/8 程度、具体的には、1mH 以上 4mH 以下でよい。これにより、フィルタリアクトル 8 を小型化できる。フィルタリアクトル 8 が低インダクタンスでなくても (例えばインダクタンス値が一般的でも)、後述の故障検知、すなわち、減流抵抗 6 を流れる電流の電流値を基に半導体スイッチ素子が故障していることを検知できる。

【 0 0 2 8 】

次に、図 2 ~ 図 6 を参照して、本駆動システム 1 0 0 の動作シーケンスについて述べる。なお、以下の説明において、フィルタコンデンサ 9 の「充電中」とは、充電開始時 ~ 充電終了時のうちのいずれかの時である (従って、「充電中」は、「充電開始時」であってもよい)。同様に、インバータ 1 0 の「動作中」とは、動作開始時 ~ 動作終了時のうちのいずれかの時である (従って、「動作中」は、「動作開始時」であってもよい)。

【 0 0 2 9 】

以下、図内の記号「H」及び「L」は断流器 2、3、4 への動作指令及び、制御装置 1 2 がパワーモジュール 7 を構成する半導体スイッチ素子のゲートへ伝達する動作指令の状態を示す。「H」はオン、「L」はオフを表す。言い換えれば、制御装置 1 2 が半導体スイッチ素子をオンするとは、半導体減流器 1 1 0 のパワーモジュール 7 が、半導体スイッチ素子のオン指令を受信することである。制御装置 1 2 が半導体スイッチ素子をオフするとは、半導体減流器 1 1 0 のパワーモジュール 7 が、半導体スイッチ素子のオフ指令を受信することである。また、図内の E_{cf} は、フィルタコンデンサ 9 の電圧を表す。 I_0 は、第 1 の電流検出器 2 1 を流れる電流又はその電流値を表す。 I_1 は、第 2 の電流検出器 2 2 を流れる電流又はその電流値を表す。また、 t は、時刻を表す。

【 0 0 3 0 】

最初に、パワーモジュール 7 が正常状態である場合のシステム 1 0 0 における制御シーケンスを説明する。電気車を起動し、インバータ 1 0 を起動するために必要な初期シーケンスを経た後、インバータ 1 0 の動作中に地絡事故が発生し、半導体減流器 1 1 0 で事故電流を遮断するまでのシーケンスを、図 2 を用いて説明する。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 1 】

電気車のインバータ 1 0 を起動するにあたり、最初にフィルタコンデンサ 9 を充電する必要がある。制御装置 1 2 は、断流器 3 及びパワーモジュール 7 がオフの状態では断流器 2 をオン後、断流器 4 をオンする (t_{21})。パンタグラフ 1 から断流器 2、断流器 4、充電抵抗 5、減流抵抗 6 及びフィルタリアクトル 8 の経路でフィルタコンデンサ 9 が充電される ($t_{21} \sim t_{22}$)。フィルタコンデンサ 9 の充電完了後、制御装置 1 2 は、断流器 4 をオフ (t_{22})、次に断流器 3 をオン、続いてパワーモジュール 7 をオンする (t_{23})。これにより、パンタグラフ 1 からインバータ 1 0 に至る直流電流経路が導通する。インバータ 1 0 が動作すると (t_{24})、電動機 1 1 が動作し、電気車は走行する。

【 0 0 3 2 】

地絡事故 (t_{25}) 等により第 1 の電流検出器 2 1 を流れる電流の値が過電流検出閾値 I_{h0} を超過したことを制御装置 1 2 により検出された時、つまり過電流が制御装置 1 2 により検出された時 (t_{26})、制御装置 1 2 は、電流経路の遮断動作を開始する。具体的には、制御装置 1 2 は、パワーモジュール 7 をオフすることで電流を減流抵抗 6 に転流する。結果、電流が減流する。電流が断流器 2 及び断流器 3 の直列体で遮断可能なレベルまで減流したら、制御装置 1 2 は、断流器 2 及び断流器 3 をオフすることで電流経路 (主電流) を遮断する (t_{27})。

【 0 0 3 3 】

一般的な機械式高速遮断器では、事故電流の遮断に 10ms 程度の時間を要するのに対し、パワーモジュール 7 は数 μs の短時間でオフし、減流動作に移行することができる。このため、フィルタリアクトル 8 を低インダクタンス化することで事故時の電流増加速度が増加しても、変電所の動作に影響を与えない、低い電流値で遮断完了することができる。

【 0 0 3 4 】

なお、一比較例では、半導体減流器における半導体スイッチ素子の故障検知機能が備わっておらず、半導体スイッチ素子が故障した場合には、機器の焼損等を引き起こす恐れがある。

【 0 0 3 5 】

一方、本実施例では、半導体スイッチ素子の故障検知機能が備えられる。具体的には、減流抵抗 6 を流れる電流を検出する第 2 の電流検出器 2 2 が設けられ、制御装置 1 2 は、減流抵抗 6 を流れる電流の電流値を基に半導体スイッチ素子が故障していることを検知し、断流器 2 ~ 4 のうち少なくとも断流器 2 (主電流を遮断する断流器の一例) をオフする。

【 0 0 3 6 】

次に、半導体減流器 1 1 0 を構成するパワーモジュール 7 が故障した場合の保護シーケンスについて述べる。フィルタコンデンサ 9 の充電時及びインバータ 1 0 の動作時のそれぞれの状況下において、パワーモジュール 7 が短絡モード故障及び開放モード故障となった場合についてそれぞれ述べる。

【 0 0 3 7 】

まず、フィルタコンデンサ 9 の充電時にパワーモジュール 7 が短絡モード故障であった場合について図 3 を用いて述べる。パワーモジュール 7 の短絡故障を、インバータ 1 0 動作前に検知可能である。なお、 t_{31} は、フィルタコンデンサ 9 の充電開始時であり、 t_{32} は、遮断完了時である。

【 0 0 3 8 】

フィルタコンデンサ 9 の充電時にパワーモジュール 7 が短絡モード故障であることは、次の 2 つの方法のうちの少なくとも 1 つの方法で検知可能である。パワーモジュール 7 の短絡モード故障を検知したら、制御装置 1 2 は、断流器 2 及び 4 をオフすることで、電流を遮断する。

【 0 0 3 9 】

第 1 の方法は、第 1 の電流検出器 2 1 及び第 2 の電流検出器 2 2 を使用した方法である。フィルタコンデンサ 9 の充電開始時において、パワーモジュール 7 が正常である時は、パワーモジュール 7 を電流が流れないため、第 1 の電流検出器 2 1 と第 2 の電流検出器 2 2

10

20

30

40

50

を通過する電流（主電流の電流値である第1の電流値 I_0 と減流抵抗6を流れる電流の電流値である第2の電流値 I_1 ）が等しい。一方で、パワーモジュール7が短絡モード故障している場合には、パワーモジュール7を通過する電流が、第1の電流検出器21及び第2の電流検出器22の電流差（ $I_0 - I_1$ ）として検出される。 $I_0 - I_1$ の閾値（以下、第1の閾値 Th_1 ）が設けられる。フィルタコンデンサ9の充電中（例えば充電開始時）に、 $I_0 - I_1$ が Th_1 を超過したことを、制御装置12は、パワーモジュール7の短絡モード故障として検知する。

【0040】

第2の方法は、第2の電流検出器22を使用し第1の電流検出器21を使用しない方法（ I_1 を使用し I_0 を使用しない方法）である。パワーモジュール7が短絡モード故障であるとき、フィルタコンデンサ9を充電開始しても、第2の電流検出器22で I_1 の立ち上がりが見出されない、及び、 I_1 は、架線電圧 E_s とフィルタコンデンサ9の電圧 E_{cf} との差から想定される通常の充電電流値 I_E よりも低い電流値となる、のうちの少なくとも1つが生じる。よって、制御装置12は、フィルタコンデンサ9の充電中（例えば充電開始時）に、 I_1 が第2の閾値 Th_2 未満、及び、 $I_E - I_1$ が第3の閾値 Th_3 よりも大きい、のうちの少なくとも1つに該当することを、パワーモジュール7の短絡モード故障として検知する。

10

【0041】

次に、フィルタコンデンサ9の充電中にパワーモジュール7が開放モード故障であった場合について図4を用いて述べる。

20

【0042】

フィルタコンデンサ9の充電開始時（ t_{41} ）には、パワーモジュール7は正常時でもオフ状態である。そのため、パワーモジュール7が開放モード故障状態であっても充電電流の経路は変化せず、故に、開放モード故障を検知することができない。しかしながら、充電電流は正常時と同じ経路を流れるため危険は無く、この時点でパワーモジュール7の開放モード故障を検知できないことは問題無い。

【0043】

パワーモジュール7の開放モード故障は、フィルタコンデンサ9の充電（ $t_{41} \sim t_{42}$ ）の次のシーケンスである、インバータ10の動作中（例えば動作開始時）に検出可能である。パワーモジュール7が正常ならば、インバータ10の動作開始前にパワーモジュール7が制御装置12によりオンし（ t_{43} ）、インバータ10の駆動電力はパワーモジュール7を通過する。パワーモジュール7が開放モード故障であった場合、電流は減流抵抗6を流れる。パワーモジュール7が正常な場合は減流抵抗6に電流が流れない。そのため、インバータ10の動作開始時において第2の電流検出器22で検出される I_1 に閾値（以下、第4の閾値 Th_4 ）が設けられる。制御装置12は、インバータ10の動作中（例えば動作開始時）に I_1 が Th_4 を超過したことを（ t_{44} ）、パワーモジュール7の開放モード故障であると検知する。パワーモジュール7の開放モード故障を検知したら、制御装置12は、インバータ10の動作を停止した後にパワーモジュール7をオフし、断流器2及び3をオフすることで、電流遮断を行う（ t_{45} ）。

30

【0044】

インバータ10の動作中におけるパワーモジュール7の故障検知については、例えば次の通りである。

40

【0045】

電気車の力行中にパワーモジュール7が短絡モード故障した場合は、短絡モード故障後のパワーモジュール7両端間の抵抗値ごとに、以下のシーケンスとなる。

【0046】

故障後のパワーモジュール7両端間の抵抗値が十分低く、減流抵抗6を経由して流れる電流が大きく増加しない場合のシーケンスを図5に示す。この場合には、 t_{51} で動作開始したインバータ10の動作を停止し（ t_{52} ）、断流器2及び3とパワーモジュール7とをオフし（ t_{53} ）、再びフィルタコンデンサ9の充電が行われるまで（ t_{54} ）、制御

50

装置 1 2 は短絡モード故障を検知できない。しかしながら、前記の状況において、直流電流が流れる経路は短絡モード故障の発生前後で変化せず、危険性は無いため、問題無い。

【 0 0 4 7 】

短絡モード故障は、再びフィルタコンデンサ 9 を充電する時に、 $I_0 - I_1 > Th_1$ 、 $I_1 < Th_2$ 、及び、 $I_E - I_1 > Th_3$ 、の少なくとも 1 つが検知されたことで、検知される。本短絡モード故障を検知した場合、制御装置 1 2 は、断流器 2 及び 4 をオフすることで、電流遮断を行う (t 5 5)。

【 0 0 4 8 】

一方、パワーモジュール 7 両端間の故障後における抵抗値が高く、インバータ 1 0 へ供給される電流のうち減流抵抗 6 に流れる電流が、パワーモジュール 7 のオン電圧を減流抵抗 6 で割った値に比べて十分大きい場合には、減流抵抗 6 に流れる電流が生じるため、次に説明する、力行中にパワーモジュール 7 が開放モード故障した場合と同様の方法で検知することができる。本短絡モード故障を検知した場合、制御装置 1 2 は、パワーモジュール 7 をオフし、断流器 2 及び 3 をオフすることで電流遮断を行う。

【 0 0 4 9 】

充電抵抗 5 に断流器 2 及び 4 が直列に接続されており、フィルタコンデンサ 9 の充電電流が必ず充電抵抗 5 を経由する。これにより、パワーモジュール 7 (半導体スイッチ素子) が短絡モード故障であっても、フィルタコンデンサ 9 の充電開始時における大電流サージを抑制することができる。

【 0 0 5 0 】

また、インバータ 1 0 の動作の停止は、例えば営業走行終了の際に行われる。インバータ 1 0 の動作の停止後に充電シーケンスが発生し、短絡モード故障がある場合、この充電シーケンス中にその短絡モード故障を検知できる。このため、営業走行を開始する前に半導体減流器 1 1 0 の故障を検知することが期待できる。

【 0 0 5 1 】

力行中にパワーモジュール 7 が開放モード故障した場合のシーケンスを、図 6 を用いて説明する。

【 0 0 5 2 】

t 6 1 で動作開始したインバータ 1 0 の動作中にパワーモジュール 7 が開放モード故障した時 (t 6 2)、パワーモジュール 7 のオン電圧を減流抵抗 6 で割った値よりもはるかに大きい電流が、第 2 の電流検出器 2 2 で検出される。第 2 の電流検出器 2 2 で検出された I_1 は、第 4 の閾値 Th_4 を超過する。制御装置 1 2 は、インバータ 1 0 の動作中において、パワーモジュール 7 がオン状態であり $I_1 > Th_4$ を検知したら、パワーモジュール 7 が開放モード故障であると検知する。パワーモジュール 7 の開放モード故障を検知したら、制御装置 1 2 は、パワーモジュール 7 をオフし、断流器 2 及び 3 をオフすることで、電流遮断を行う (t 6 3)。

【 実施例 2 】

【 0 0 5 3 】

実施例 2 を説明する。その際、実施例 1 との相違点を主に説明し、実施例 1 との共通点については説明を省略又は簡略する。

【 0 0 5 4 】

図 7 は、実施例 2 に係る電気車用駆動システムの構成図である。

【 0 0 5 5 】

実施例 2 に係る電気車用駆動システム 7 0 0 において、実施例 1 と異なる点は、第 2 の電流検出器 2 2 の位置である。

【 0 0 5 6 】

すなわち、実施例 1 では、第 2 の電流検出器 2 2 は、半導体スイッチ素子のエミッタ側と接続されているが (図 1 参照)、実施例 2 では、第 2 の電流検出器 2 2 は、半導体スイッチ素子のコレクタ側と接続されている (減流抵抗 6 の架線に近い側に設置されている)。検出対象の電流は実施例 1 と 2 で同一であるため、制御シーケンスに変更は起こらない。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 7 】

実施例 1 及び 2 によれば、第 2 の電流検出器 2 2 を、絶縁空間又はその他の環境要素を考慮して配置することが可能である。

【 実施例 3 】

【 0 0 5 8 】

実施例 3 を説明する。その際、実施例 2 との相違点を主に説明し、実施例 2 との共通点については説明を省略又は簡略する。

【 0 0 5 9 】

図 8 は、実施例 3 に係る電気車用駆動システムの構成図である。

【 0 0 6 0 】

実施例 3 に係る電気車用駆動システム 8 0 0 において、実施例 2 と異なる点は、並列体（断流器 4 及び充電抵抗 5 の直列体と、断流器 3 とから構成された並列体）と、半導体減流器 1 1 0（減流抵抗 6 とパワーモジュール 7 とから構成された並列体）の位置が入れ替わっている点である。本構成とすることで、半導体減流器 1 1 0 がより架線側に位置するため、実施例 2（及び実施例 1）に比べて半導体減流器 1 1 0 による保護範囲を拡大することができる。

【 実施例 4 】

【 0 0 6 1 】

実施例 4 を説明する。その際、実施例 1～3 との相違点を主に説明し、実施例 1～3 との共通点については説明を省略又は簡略する。

【 0 0 6 2 】

図 9 は、実施例 4 に係る電気車用駆動システムにおける第 2 の電流検出器 2 2 の配置例を示す図である。

【 0 0 6 3 】

半導体減流器 1 1 0 は、並列回路における第 1 の分岐路に設けられた減流抵抗 6 と、当該並列回路における第 2 の分岐路に設けられたパワーモジュール 7 とを有する。半導体減流器 1 1 0 を構成する並列回路に入る電流 I_0 は、パワーモジュール 7 がオンの場合、第 1 の分岐路を流れる電流 I_1 と、第 2 の分岐路を流れる電流 I_2 とに分かれる（つまり、 $I_0 = I_1 + I_2$ ）。実施例 1～3 によれば、 I_0 が第 1 の電流値であり、 I_1 が第 2 の電流値である。第 2 の電流検出器 2 2 は、第 1 の分岐路に設けられる。つまり、第 2 の電流検出器 2 2 は、 I_1 を検出する。第 2 の電流検出器 2 2 は、半導体スイッチ素子のエミッタ側の位置 9 0 D と、半導体スイッチ素子のコレクタ側の位置 9 0 C とのいずれに配置されてもよい。そして、半導体スイッチ素子の短絡モード故障と開放モード故障は、それぞれ下記である。なお、フィルタコンデンサ 9 の充電のために半導体スイッチ素子はオフとされ、インバータ 1 0 の動作を開始するために半導体スイッチ素子はオンとされる。実施例 4 において、短絡モード故障及び開放モード故障は、いずれも、実施例 1～3 と同じである。

【 0 0 6 4 】

実施例 4 では、第 2 の電流検出器 2 2 が、第 2 の分岐路に代えて、第 1 の分岐路に設けられる。つまり、第 2 の電流検出器 2 2 は、 I_2 を検出する。制御装置 1 2 には、 I_2 の他に、第 1 の電流検出器 2 1 が検出した I_0 が入力されるので、制御装置 1 2 は、 I_0 から I_2 を減算することにより I_1 を算出できる。制御装置 1 2 は、算出された I_1 を基に、短絡モード故障及び開放モード故障のいずれも検知できる。

【 実施例 5 】

【 0 0 6 5 】

実施例 5 を説明する。その際、実施例 1～4 との相違点を主に説明し、実施例 1～4 との共通点については説明を省略又は簡略する。

【 0 0 6 6 】

図 1 0 は、実施例 5 に係る電気車用駆動システムにおける半導体減流器の構成と第 2 の電流検出器の配置例を示す図である。

10

20

30

40

50

【 0 0 6 7 】

実施例 1 ~ 4 では、半導体減流器 1 1 0 において、第 1 の分岐路に設けられた抵抗部が、減流抵抗 6 であるが、実施例 5 に係る半導体減流器 1 0 1 0 では、抵抗部は、減流抵抗 6 の他に、減流抵抗 6 に並列に接続された充電抵抗 5 を有する（このため、半導体減流器 1 0 1 0 の外部に充電抵抗 5 は無くてもよい）。具体的には、抵抗部は、第 1 のサブ分岐路と第 2 のサブ分岐路で構成された並列回路に相当する。第 1 のサブ分岐路に、減流抵抗 6 が設けられ、第 2 のサブ分岐路に、充電抵抗 5 が設けられる。また、抵抗部は、減流抵抗 6 の接続と切断を切り替えるスイッチを有する。当該スイッチの一例が、第 1 のサブ分岐路に設けられた（減流抵抗 6 と直列に接続された）断流器 1 0 7 である。断流器 1 0 7 は、例えば、フィルタコンデンサ 9 の充電が完了したときに制御装置 1 2 によってオンにされ、結果、減流抵抗 6 の接続となる。断流器 1 0 7 は、フィルタコンデンサ 9 の充電のときに制御装置 1 2 によってオフにされ、結果、減流抵抗 6 の切断となる。

10

【 0 0 6 8 】

このような半導体減流器 1 0 1 0 では、 I_0 が、 I_1 と I_2 に分かち、 I_1 が、断流器 1 0 7 がオンのとき、第 1 のサブ分岐路を流れる電流 I_3 と、第 2 のサブ分岐路を流れる電流 I_4 とに分かれる。第 2 の電流検出器 2 2 は、上述した位置 9 0 A ~ 9 0 D のいずれかに代えて、第 1 及び第 2 のサブ分岐路のうち切断の無い第 2 のサブ分岐路における位置 9 0 E（半導体スイッチ素子のコレクタ側の位置）又は位置 9 0 F（半導体スイッチ素子のエミッタ側の位置）に配置されてよい。

【 0 0 6 9 】

位置 9 0 A ~ 9 0 E の各々について、 I_1 は、下記の通りである。

20

【 0 0 7 0 】

すなわち、第 2 の電流検出器 2 2 が位置 9 0 C 又は 9 0 D に配置されている場合、制御装置 1 2 において、 I_1 は、第 2 の電流検出器 2 2 により検出された電流値である。

【 0 0 7 1 】

第 2 の電流検出器 2 2 が位置 9 0 A 又は 9 0 B に配置されている場合、 $I_0 - I_2$ （第 2 の電流検出器 2 2 により検出された電流値）= I_1 である。

【 0 0 7 2 】

第 2 の電流検出器 2 2 が位置 9 0 E 又は 9 0 F に配置されている場合、断流器 1 0 7 がオンであるかオフであるかによって、分流比が異なるため、 I_1 の定義が異なる。断流器 1 0 7 がオフの場合、 I_4 （第 2 の電流検出器 2 2 により検出された電流値）= I_1 である。断流器 1 0 7 がオンの場合、 $I_4 \times \{ (\text{減流抵抗 } 6 + \text{充電抵抗 } 5) / \text{減流抵抗 } 6 \} = I_1$ である。

30

【 実施例 6 】

【 0 0 7 3 】

実施例 6 を説明する。その際、実施例 1 ~ 5 との相違点を主に説明し、実施例 1 ~ 5 との共通点については説明を省略又は簡略する。

【 0 0 7 4 】

図 1 1 は、実施例 6 に係る電気車用駆動システムにおける半導体減流器の構成と第 2 の電流検出器の配置例を示す図である。

40

【 0 0 7 5 】

実施例 6 に係る半導体減流器 1 1 1 0 において、第 1 の分岐路にあるパワーモジュール 7 は、減流用のパワーモジュールであり、第 2 の分岐路にある（パワーモジュール 7 に並列に接続された）抵抗部は、減流抵抗 6 と、減流抵抗 6 に直列に接続された並列体を有する。並列体は、充電抵抗 5 と、充電抵抗 5 に並列に接続された充電用のパワーモジュール 1 1 7 とを有する。過電流が検出されたときに、制御装置 1 2 によりパワーモジュール 1 1 7 がオン、パワーモジュール 7 がオフとされ、結果、転流された電流は、減流抵抗 6 を流れる。フィルタコンデンサ 9 の充電のときに、パワーモジュール 7 およびパワーモジュール 1 1 7 が制御装置 1 2 によりオフとされ、充電電流が、減流抵抗 6 と充電抵抗 5 を経由する。

50

【 0 0 7 6 】

このような半導体減流器 1 1 1 0 においても、第 2 の分岐路を流れる電流 I_1 の値を基に、パワーモジュール 7 の故障を検知することができる。

【 0 0 7 7 】

以上、実施例 1 ~ 6 で説明したように、抵抗体（減流抵抗 6 を含んだ 1 以上の抵抗）とパワーモジュール 7 の並列体からなる半導体減流器は、フィルタリアクトル 8 よりもパンタグラフ 1 側（架線側）に配置される。パンタグラフ 1 に近い位置に半導体減流器を配置することで、地絡等による事故電流の遮断可能範囲を広げることができる。言い換えれば、実施例 1 ~ 6 によれば、フィルタリアクトル 8 よりも電動機 1 1 側で発生した事故電流の遮断が可能となり、駆動システムの高信頼化が可能となる。

10

【 0 0 7 8 】

また、実施例 1 ~ 6 においては、事故電流（過電流）を検出する第 1 の電流検出器 2 1 は、半導体減流器よりもパンタグラフ 1 側に配置することが望ましい。フィルタリアクトル 8 よりも架線側に半導体減流器が配置され、さらに第 1 の電流検出器 2 1 が半導体減流器よりも架線側に配置されることから、事故電流発生ポイントが半導体減流器よりもインバータ 1 0 側で発生した場合は、その事故電流を検知することができる。また、半導体減流器による高速遮断が可能であるため、事故電流を高速に遮断できる。

【 0 0 7 9 】

このように、実施例 1 ~ 6 に係る駆動システムは、フィルタリアクトル 8 の小型軽量化と短絡電流の抑制との両立と、半導体減流器における半導体スイッチ素子が故障している場合にはその故障の検知とを実現することができる。そのため、1 編成あたりの車両重量の軽量化が図れ、電気車の安定した省エネ運転に寄与できると共に、電流遮断器としての半導体減流器の信頼性と安全性に寄与することができる。

20

【 0 0 8 0 】

以上説明したように、実施例 1 ~ 6 によれば、半導体減流器の低損失化が可能となる。すなわち、フィルタリアクトル 8 を低インダクタンス化した電気車において、地絡発生時に増加する短絡電流を効果的に遮断可能となり、変電所に与える影響を小さい追加コストで抑えることができる。

【 0 0 8 1 】

以上、幾つかの実施例を説明したが、本発明はこれらの実施例に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々変更可能であることはいうまでもない。上記した実施例は、本発明を分かり易く説明するために詳細に例示的に説明したものであり、必ずしも説明した全ての構成を備えるものに本発明が限定されるものではない。また、実施例の構成の一部について、他の構成の追加、削除及び置換のうちの少なくとも 1 つをすることが可能である。例えば、本発明は、リアクトル（例えば上述したフィルタリアクトル）、コンデンサ及び電力変換器（例えばインバータ）のうちの少なくとも 1 つを含むシステム（例えば電力制御システム）全般に適用することが期待できる。また、制御装置 1 2 が、いずれの実施例の半導体減流器に含まれていてもよい。

30

【 符号の説明 】

【 0 0 8 2 】

2、3、4 ... 断流器、5、6 ... 抵抗器、7 ... パワーモジュール、8 ... フィルタリアクトル、9 ... フィルタコンデンサ、1 0 ... インバータ、1 2 ... 半導体スイッチ制御装置、2 1、2 2 ... 電流検出器、1 1 0、1 0 1 0、1 1 1 0 ... 半導体減流器

40

【 図面 】

【 図 1 】

【 図 2 】

図 1

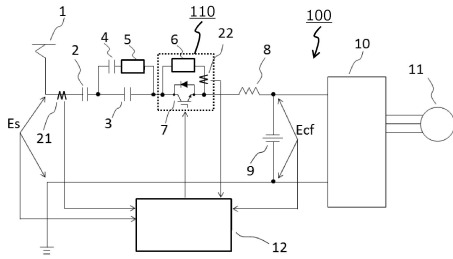
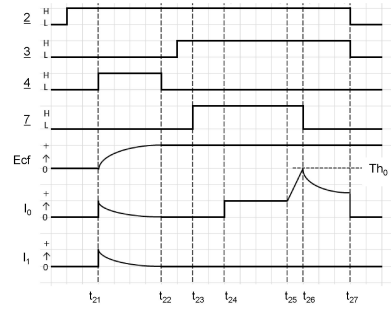


図 2



10

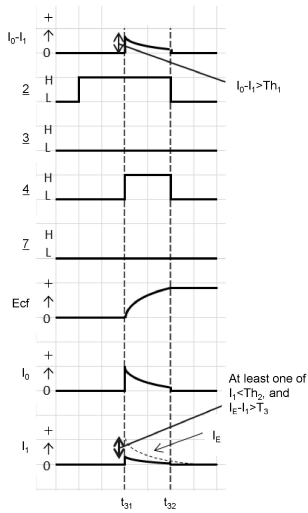
20

【 図 3 】

【 図 4 】

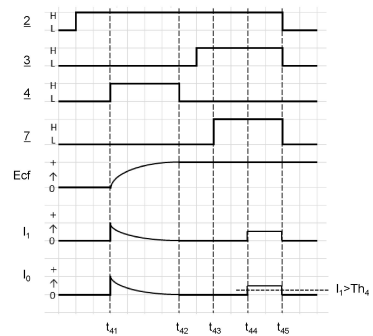
図 3

図 4



30

40



50

【 図 5 】

【 図 6 】

図5

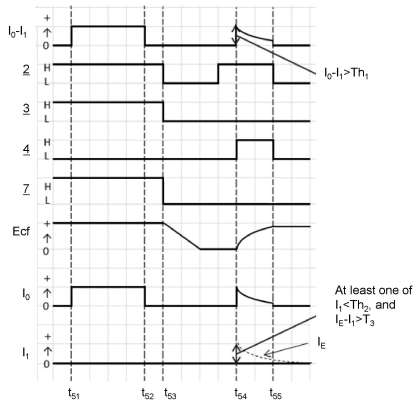
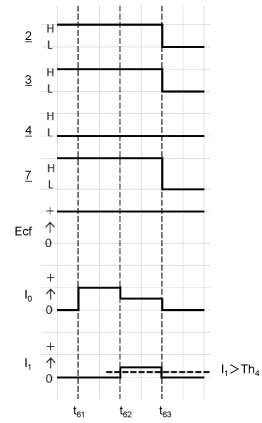


図6



10

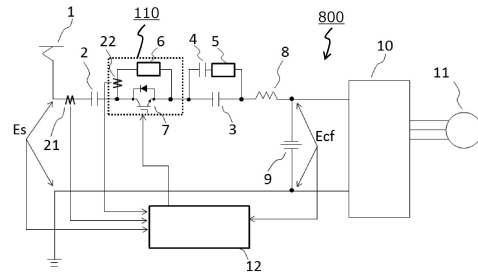
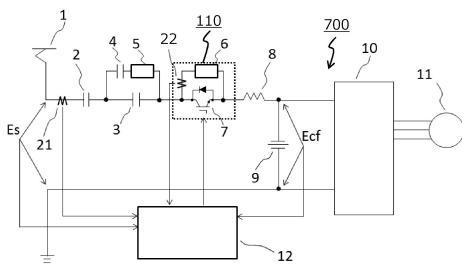
20

【 図 7 】

【 図 8 】

図7

図8

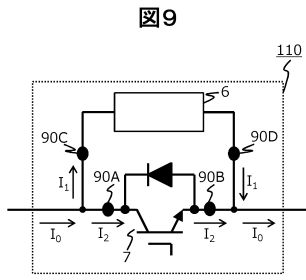


30

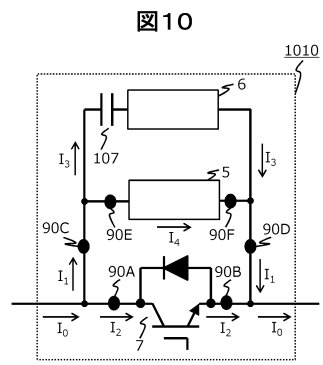
40

50

【 図 9 】

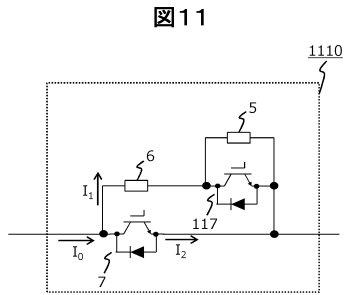


【 図 10 】



10

【 図 11 】



20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開 2 0 1 2 - 2 1 7 2 5 3 (J P , A)
特開 2 0 0 6 - 0 6 7 7 3 2 (J P , A)
特開 2 0 0 4 - 0 9 6 8 7 7 (J P , A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
- | | |
|---------|---------|
| B 6 0 L | 3 / 0 0 |
| B 6 0 L | 9 / 1 8 |
| H 0 2 M | 7 / 4 8 |