

(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2017-4792

(P2017-4792A)

(43) 公開日 平成29年1月5日(2017.1.5)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO1H 33/59 (2006.01)	HO1H 33/59	C 5G026
HO1H 33/664 (2006.01)	HO1H 33/664	D 5G028
HO1H 33/64 (2006.01)	HO1H 33/64	Z 5G034
HO1H 9/54 (2006.01)	HO1H 9/54	A

審査請求 未請求 請求項の数 17 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2015-118430 (P2015-118430)  
 (22) 出願日 平成27年6月11日 (2015.6.11)

(71) 出願人 000003078  
 株式会社東芝  
 東京都港区芝浦一丁目1番1号  
 (74) 代理人 110001092  
 特許業務法人サクラ国際特許事務所  
 (72) 発明者 丹羽 芳充  
 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内  
 (72) 発明者 安藤 正将  
 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内  
 Fターム(参考) 5G026 DA07  
 5G028 AA08 FB06 FB07 FC01 FC02  
 5G034 AA04 AA07 AA09 AE04

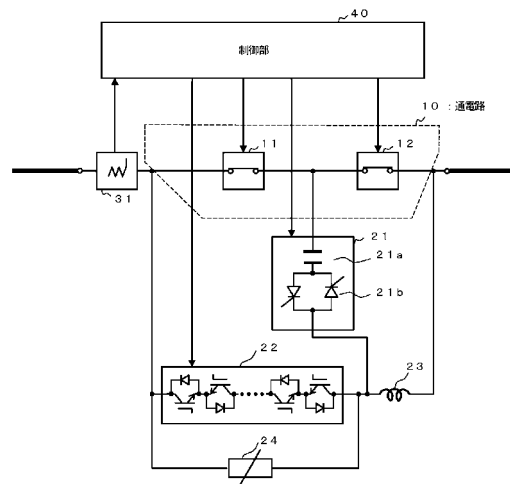
(54) 【発明の名称】 直流遮断装置、直流遮断方法

(57) 【要約】

【課題】低通電損失でかつ大型化を回避できる直流遮断装置および方法を提供すること。

【解決手段】この直流遮断装置は、通電路と、第1の半導体スイッチを有する転流要素と、第2の半導体スイッチと、導電経路と、非線形抵抗器とを持つ。通電路は、ともに非半導体デバイスである第1の耐圧性の第1の開閉器と、第1の耐圧性より低い耐圧性の第2の開閉器との直列接続である。転流要素は、第1、第2の開閉器の接続ノードに一端が接続された、充放電機能を有する素子と第1の半導体スイッチとの直列接続要素である。第2の半導体スイッチは、転流要素の他端と、第2の開閉器に接続される側の端部とは反対の第1の開閉器の端部と間に接続して設けられている。導電経路は、転流要素の他端と、第1の開閉器に接続される側の端部とは反対の第2の開閉器の端部との間に接続して設けられている。非線形抵抗器は、第2の半導体スイッチと並列に接続して設けられている。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

非半導体デバイスである、所定の第 1 の耐圧性を有する第 1 の開閉器と、非半導体デバイスである、前記第 1 の耐圧性より耐圧性が低い第 2 の耐圧性を有する第 2 の開閉器とが直列に接続された通電路と、

前記第 1 の開閉器と前記第 2 の開閉器との接続ノードに一端が接続された、充放電機能を有する機能素子と第 1 の半導体スイッチとが直列に接続された要素である転流要素と、

前記転流要素の他端と、前記第 2 の開閉器に接続される側の端部とは反対の側の前記第 1 の開閉器の端部と間に接続して設けられた第 2 の半導体スイッチと、

前記転流要素の前記他端と、前記第 1 の開閉器に接続される側の端部とは反対の側の前記第 2 の開閉器の端部との間に接続して設けられた導電経路と、

前記第 2 の半導体スイッチと並列に接続して設けられた非線形抵抗器とを具備する直流遮断装置。

10

## 【請求項 2】

前記第 1 の開閉器が、ガス開閉器である請求項 1 記載の直流遮断装置。

## 【請求項 3】

前記第 2 の開閉器が、平板電極を有する真空開閉器または縦磁界電極を有する真空開閉器である請求項 1 記載の直流遮断装置。

## 【請求項 4】

前記導電経路にシリーズに挿入されたリアクトルをさらに具備する請求項 1 記載の直流遮断装置。

20

## 【請求項 5】

前記非線形抵抗器が、前記第 2 の半導体スイッチと前記リアクトルとの直列要素に対して並列に接続して設けられている請求項 4 記載の直流遮断装置。

## 【請求項 6】

前記転流要素が、前記機能素子と前記第 1 の半導体スイッチとさらにリアクトルとが直列に接続された要素である請求項 1 記載の直流遮断装置。

## 【請求項 7】

前記第 2 の開閉器に並列に接続された、前記第 2 の開閉器に印加され得る最大電圧を軽減させるように機能する付加要素をさらに具備する請求項 1 記載の直流遮断装置。

30

## 【請求項 8】

前記付加要素が、抵抗器、非線形抵抗器、キャパシタ、およびキャパシタと抵抗器との直列接続要素からなる群より選択された 1 種または 2 種以上である請求項 7 記載の直流遮断装置。

## 【請求項 9】

前記第 1 の開閉器に接続された、該第 1 の開閉器の電極開閉を制御する第 1 の制御部と、

前記第 2 の開閉器に接続された、該第 2 の開閉器の電極開閉を制御する第 2 の制御部と、

前記転流要素の前記第 1 の半導体スイッチをオンオフ制御するとともに、該転流要素の前記機能素子にあらかじめ充電しかつ所定のタイミングで放電する制御機能を有する、前記転流要素および前記第 1、第 2 の制御部に接続された第 3 の制御部と、

40

前記第 2 の半導体スイッチおよび前記第 3 の制御部に接続された、該第 2 の半導体スイッチをオンオフ制御する第 4 の制御部と、をさらに具備し、

前記第 3 の制御部が、前記第 1 の制御部による前記第 1 の開閉器の電極開制御の開始および前記第 2 の制御部による前記第 2 の開閉器の電極開制御の開始より前に、前記機能素子にあらかじめ充電する充電制御を行い、かつ、前記第 1 の制御部による前記第 1 の開閉器の電極開制御の開始および前記第 2 の制御部による前記第 2 の開閉器の電極開制御の開始より後に、前記機能素子を放電する放電制御を行い、かつ、該放電制御を行った後に、前記第 1 の半導体スイッチをオフに移行するオフ移行制御を行う各機能を少なくとも有し

50

前記第4の制御部が、前記第3の制御部により前記オフ移行制御がなされた後に、前記第2の半導体スイッチをオフに移行する制御を行う機能を少なくとも有する

請求項1記載の直流遮断装置。

【請求項10】

前記第3の制御部が、前記第1の制御部による前記第1の開閉器の電極開制御の開始および前記第2の制御部による前記第2の開閉器の電極開制御の開始より後で、かつ、前記第2の開閉器の電極間距離が所定の距離になったと想定される開極時以降に、前記放電制御を行う請求項9記載の直流遮断装置。

【請求項11】

前記第3の制御部が、前記機能素子を放電する制御を行った後で、かつ、前記第2の開閉器を流れる電流がゼロに至ったと想定される転流時以降に、前記オフ移行制御を行う請求項9記載の直流遮断装置。

【請求項12】

前記第4の制御部が、前記第3の制御部による前記オフ移行制御がなされた後で、かつ、前記第1の開閉器の電極間距離が所定の距離になったと想定される開極時以降に、前記第2の半導体スイッチをオフに移行する前記制御を行う請求項9記載の直流遮断装置。

【請求項13】

前記第2の開閉器に設けられた、該第2の開閉器の電極間距離を検出して前記第3の制御部に伝える距離検出部をさらに具備し、

前記第3の制御部が、前記第1の制御部による前記第1の開閉器の電極開制御の開始および前記第2の制御部による前記第2の開閉器の電極開制御の開始より後で、かつ、前記第2の開閉器の電極間距離が所定の距離になったことが前記距離検出部によって検出された開極時以降に、前記放電制御を行う請求項9記載の直流遮断装置。

【請求項14】

前記第2の開閉器と直列に接続して設けられた、該第2の開閉器を流れる電流を検出して前記第3の制御部に伝える電流検出部をさらに具備し、

前記第3の制御部が、前記機能素子を放電する制御を行った後で、かつ、前記第2の開閉器を流れる電流がゼロに至ったことが前記電流検出部によって検出された転流時以降に、前記オフ移行制御を行う請求項9記載の直流遮断装置。

【請求項15】

前記第1の開閉器に設けられた、該第1の開閉器の電極間距離を検出して前記第4の制御部に伝える距離検出部をさらに具備し、

前記第4の制御部が、前記第3の制御部による前記第1の半導体スイッチをオフに移行する前記オフ移行制御がなされた後で、かつ、前記第1の開閉器の電極間距離が所定の距離になったことが前記距離検出部によって検出された開極時以降に、前記第2の半導体スイッチをオフに移行する前記制御を行う請求項9記載の直流遮断装置。

【請求項16】

前記第1の開閉器と直列に接続して設けられた、該第1の開閉器を流れる電流を検出して前記第4の制御部に伝える電流検出部をさらに具備し、

前記第4の制御部が、前記第3の制御部による前記第1の半導体スイッチをオフに移行する前記オフ移行制御がなされた後で、かつ、前記第1の開閉器を流れる電流がゼロに至ったことが前記電流検出部によって検出された転流時以降に、前記第2の半導体スイッチをオフに移行する前記制御を行う請求項9記載の直流遮断装置。

【請求項17】

非半導体デバイスである、所定の第1の耐圧性を有する第1の開閉器と、非半導体デバイスである、前記第1の耐圧性より耐圧性が低い第2の耐圧性を有する第2の開閉器とが直列に接続された通電路と；前記第1の開閉器と前記第2の開閉器との接続ノードに一端が接続された、充放電機能を有する機能素子と第1の半導体スイッチとが直列に接続された要素である転流要素と；前記転流要素の他端と、前記第2の開閉器に接続される側の端

10

20

30

40

50

部とは反対の側の前記第 1 の開閉器の端部と間に接続して設けられた第 2 の半導体スイッチと；前記転流要素の前記他端と、前記第 1 の開閉器に接続される側の端部とは反対の側の前記第 2 の開閉器の端部との間に接続して設けられた導電経路と；前記第 2 の半導体スイッチと並列に接続して設けられた非線形抵抗器と；を具備する直流遮断装置による直流遮断方法であって、

前記転流要素の前記機能素子にあらかじめ充電し、

前記第 1 の開閉器の電極開制御の開始および前記第 2 の開閉器の電極開制御の開始より後に、前記機能素子を放電し、

前記機能素子を放電した後に、前記第 1 の半導体スイッチをオフに移行し、

前記第 1 の半導体スイッチをオフに移行した後に、前記第 2 の半導体スイッチをオフに移行する

10

直流遮断方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の実施形態は、直流電流を遮断するために用いられる直流遮断装置および直流遮断方法に関する。

【背景技術】

【0002】

一般に電力を送るには、事故等に備え送電電流を遮断する機能を系統として有していることが求められる。この目的で遮断装置が用いられるが、特に直流送電では、送電される直流に電流ゼロ点がないため交流遮断の場合にはない困難さがある。

20

【0003】

現状の直流遮断装置には、例えば、開閉器（スイッチ）を有する通電路と、通電路と並列に設けられた、電流を漸減させることができる電流遮断路とが備えられる。通常時は、通電路上の開閉器を閉じて通電路を通して電流を流す。事故時は、電流遮断路を一時的に導通させることにより通電路に代わって事故時の電流を流せる状態にする。その一方で開閉器を開き通電路の電流を不通にすることにより電流遮断路の側に事故時の電流を転流し、その後速やかに電流遮断路の電流を限流させて遮断を完了する。

【0004】

30

直流遮断装置の通電路は、電気抵抗が小さいほど好ましい。この電気抵抗は、通常時の電力損失になるためである。また、直流遮断装置の通電路から電流遮断路への電流切り替えは速いほど好ましい。遅くなるほど事故時の電流が増加していき、電流遮断路が遮断すべき電流の値が大きくなるためである。遮断すべき電流が大きくなると電流遮断路として大容量のものが必要になり、遮断装置として大型化する。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0005】

【非特許文献 1】 Juergen Haefner, Bjoern Jacobson, “ Proactive Hybrid HVDC Breakers - A key innovation for reliable HVDC grids ”, The electric power system of the future - Integrating supergrids and microgrids International Symposium in Bologna, Italy 13-15 September, 2011

40

【非特許文献 2】 Per Skarby, Ueli Steiger “ An Ultra-fast Disconnecting Switch for a Hybrid HVDC Breaker - a technical breakthrough ”, Ciger, Canada conference, Calgary, Canada 9-11 September, 2013

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

本発明が解決しようとする課題は、通常時の通電損失を低く抑えかつ大型化を回避することが可能な直流遮断装置および直流遮断方法を提供することである。

50

## 【課題を解決するための手段】

## 【0007】

実施形態の直流遮断装置は、通電路と、第1の半導体スイッチを有する転流要素と、第2の半導体スイッチと、導電経路と、非線形抵抗器とを持つ。通電路は、非半導体デバイスである、所定の第1の耐圧性を有する第1の開閉器と、非半導体デバイスである、前記第1の耐圧性より耐圧性が低い第2の耐圧性を有する第2の開閉器とが直列に接続されて構成される。

## 【0008】

転流要素は、前記第1の開閉器と前記第2の開閉器との接続ノードに一端が接続された、充放電機能を有する機能素子と第1の半導体スイッチとが直列に接続された要素である。第2の半導体スイッチは、前記転流要素の他端と、前記第2の開閉器に接続される側の端部とは反対の側の前記第1の開閉器の端部と間に接続して設けられている。導電経路は、前記転流要素の前記他端と、前記第1の開閉器に接続される側の端部とは反対の側の前記第2の開閉器の端部との間に接続して設けられている。非線形抵抗器は、前記第2の半導体スイッチと並列に接続して設けられている。

10

## 【0009】

また、実施形態の直流遮断装置は、上記の直流遮断装置による直流遮断方法であって次のような方法である。すなわち、(1)前記転流要素の前記機能素子にあらかじめ充電し、(2)前記第1の開閉器の電極開制御の開始および前記第2の開閉器の電極開制御の開始より後に、前記機能素子を放電し、(3)前記機能素子を放電した後に、前記第1の半導体スイッチをオフに移行し、(4)前記第1の半導体スイッチをオフに移行した後に、前記第2の半導体スイッチをオフに移行する。

20

## 【図面の簡単な説明】

## 【0010】

【図1】実施形態1の直流遮断装置を示す構成図。

【図2】図1に示した直流遮断装置の動作を説明するタイミングチャート。

【図3】図1中に示した開閉器12に含まれ得る要素である真空バルブを模式的に示す断面図。

【図4】図3に示した真空バルブが有する電極の変形例を模式的に示す斜視図。

【図5】実施形態2(その1)の直流遮断装置を示す構成図。

30

【図6】実施形態2(その2)の直流遮断装置を示す構成図。

【図7】実施形態3の直流遮断装置を示す構成図。

【図8】実施形態4の直流遮断装置を示す構成図。

【図9】図8に示した直流遮断装置の動作を説明するタイミングチャート。

【図10】実施形態5の直流遮断装置を示す構成図。

【図11】図10に示した直流遮断装置の動作を説明するタイミングチャート。

## 【発明を実施するための形態】

## 【0011】

(実施形態1)

以上を踏まえ、以下では実施形態の直流遮断装置を図面を参照しながら説明する。図1は、実施形態1の直流遮断装置の構成を示している。図1に示すように、この直流遮断装置は、通電路10、転流要素21、半導体スイッチ22、リアクトル23、非線形抵抗器24、電流検出部31、制御部40を有する。転流要素21は、充放電機能素子21aと半導体スイッチ21bとが直列に接続され構成されている。

40

## 【0012】

通電路10は、所定の大きな耐圧性(後述)を有する開閉器11と、それより耐圧性が低い開閉器12とが直列に接続され構成されている。開閉器11、12は、両者とも非半導体デバイスであり、開閉器11と開閉器12と比較すると開閉器12の方が電極開制御に対する応答が速い。ただし、開閉器12とはいえども非半導体デバイスであるため、半導体デバイスほどには高速に応答できない。以下の説明で開閉器11と開閉器12とを合

50

わせて開閉器群と称する場合がある。

【0013】

この直流遮断装置の概略の動作は以下である。通常時は、開閉器11、12を閉じて通電路10に電流を流す。事故等で電流遮断を要するときは、速やかに開閉器11、12の電極開制御を開始するが、先に電極開の状態に至る開閉器12に対応して、その流れていた電流を転流要素21を機能させて素早く転流要素21を通る経路に転流する。

【0014】

この転流直後は開閉器11の電極開制御は完了しておらず開閉器11に電流が流れている。そこで、その後速やかに転流要素21にある半導体スイッチ21bをオフに移行すると、開閉器11に引き続き流れていた電流が、電流が流れるように制御されている半導体スイッチ22を通る経路に転流する。そして、さらにその後半導体スイッチ22をオフに移行することによりその電流を限流させて遮断を完了する。

10

【0015】

図1において、通常時の直流電流は、一般的には、図示左から右の場合、図示右から左の場合、両者が考えられるが、その両者の場合にこの直流遮断器は対応している。以下では、説明便宜のため、通常時の直流電流は図示左から右へ流れているものとして説明する。まず、図1中に示した各構成物について説明する。

【0016】

開閉器11は、電流の通、不通を切り替えることができる、すでに述べたように非半導体デバイス(機械式のデバイス)である。開閉器12も非半導体デバイスで、電流の通、不通を切り替えることができる。開閉器11と開閉器12とは、耐圧性と電極開制御に対する応答速度とにおいて互いに利点を補完し合う関係になっており、このように特性の異なる開閉器を直列に接続して役割を分担している。開閉器11と開閉器12とは、ともにその有する電極の開閉が制御部40により制御される。

20

【0017】

転流要素21は、開閉器11と開閉器12との接続ノードに一端が接続された、開閉器12に流れていた電流を素早く転流要素21(およびリアクトル23)を通る経路に転流するための要素である。転流要素21は、充放電機能素子21a(例えばキャパシタ)と半導体スイッチ21bとが直列に接続され構成されている。

【0018】

充放電機能素子21aには、制御部40によってあらかじめ充電がされており、この状態で半導体スイッチ21bをオンに移行すると、充放電機能素子21aの両電極間の電圧をゼロに向かわせるように充電電荷が放電され、これにより開閉器12に流れていた電流が素早く転流要素21を通過する電流として転流する。転流要素21の充電および放電の制御は制御部40によりなされる。

30

【0019】

半導体スイッチ22は、転流要素21の他端と、開閉器12に接続される側の端部とは反対の側の開閉器11の端部と間に接続して設けられている。半導体スイッチ22は、電流の通、不通を切り替える半導体のスイッチであり、切り替えの制御(オンオフ制御)は制御部40による。

40

【0020】

半導体スイッチ22の具体例として、図示するように、ここでは、IGBT(insulated gate bipolar transistor)とダイオードとの逆並列接続(順方向が互いに逆になる並列接続)要素を2つ逆方向に直列に向い合せに接続して単位要素を構成し、この単位要素を多数直列に接続して全体として2つの主電極端子を有するようにした構成物を用いている。IGBTそれぞれのゲートに制御部40からの制御信号に起因する電圧が印加されると各単位要素は、いずれの方向にも電流が流れる状態(つまりオン状態)になる。

【0021】

半導体スイッチ22の具体的構成物については、図示以外にも種々採用することが可能である。例えば、逆並列接続のサイリスタを単位要素として、これを多数直列に接続して

50

全体として2つの主電極端子を有するようにした構成物も採用できる。半導体スイッチは一般にオン状態において等価的に抵抗（オン抵抗）があり、通電により電圧降下が生じる。この電圧降下は、上記の単位要素の直列数に依存して大きくなり、つまり半導体スイッチ22全体のオン抵抗もこの直列数に依存して大きくなる。

#### 【0022】

単位要素の直列数については、その必要な数は、この半導体スイッチ22が電流遮断のためオフ状態に至ったとき以降においてこの遮断装置に印加され得る高電圧に耐えられることを条件に決め得る。このためには、一般にある程度大きな（例えば数百）の直列数が必要になる。

#### 【0023】

半導体スイッチ22を切り替える制御部40による制御は、通常時は半導体スイッチ22をオフ、遮断動作時には一度オンに切り替えてその後速やかにオフに戻すことが標準的な移行である。ただし、これに限らず、通常時に半導体スイッチ22をオンとするように制御しても実際にはそのオン抵抗のため電流は流れず、通電路10の側に全電流が流れることになるのでこのように通常時に半導体スイッチ22をオンとする制御も採り得る選択である。

#### 【0024】

リアクトル23は、転流要素21の他端と、開閉器11に接続される側の端部とは反対の側の開閉器12の端部との間に接続して設けられている。リアクトル23は、転流要素21の放電が開始されてから開閉器12の電流をゼロに至らせるまでの時間を調整するため挿入されている。開閉器12の電流をゼロに至らせるタイミングは、その電極開制御が完了、確立した後が好ましいので、リアクトル23を図示するように設けそのリアクタンスを加減することで放電電流を抑制し上記の調整が可能になる。調整の必要性が低い場合には、リアクトル23を設けず単なる導線に代えることもできる。

#### 【0025】

非線形抵抗器24は、半導体スイッチ22と並列に接続して設けられている。非線形抵抗器24は、この直流遮断器の遮断動作の最終段階で機能するものであり、具体的には通電路10が電流不通になり、半導体スイッチ22も電流不通になった状態において電流が一時的に流れる。一時的に流れる最初の段階では、その直前に半導体スイッチ22に流れていた電流と同じ値の電流が流れる。電流が流れると抵抗の非線形性により抵抗値が増大し、増大した抵抗値により実質的に電流ゼロに至って電流遮断が完了する。

#### 【0026】

電流検出部31は、この直流遮断器に流れる電流を検出し、これを制御部40に伝える。このため、電流検出部31は、開閉器11、21と半導体スイッチ22と非線形抵抗器24との並列接続の外側に直列に設けられている。電流検出の具体例として、例えば、ごく小さい抵抗値を有する抵抗器を挿入しその両端電圧を検出する構成や、電流によって生じる磁束を検出する構成（直流CT）などが挙げられる。

#### 【0027】

制御部40は、開閉器11、21の電極開、電極閉の制御、転流要素21の充放電の制御、および半導体スイッチ22のオンオフ制御を行う。制御部40の内部には、これらの各制御に対応してそれぞれ下位の制御部が存在するが、それらの下位の制御部間ではそれらの制御に必要な情報が互いに共有されるように伝えられる。また、制御部40は、不図示の事故検出装置から事故に関する情報を得るが、事故発生の旨は、電流検出部31からの検出電流を活用することにより制御部40において判断するようにしてもよい。

#### 【0028】

図2は、図1に示した直流遮断装置の動作をタイミングチャートで示している。図2をも参照して、図1に示した直流遮断装置についてその動作を時系列的に説明する。

#### 【0029】

図2(a)には、全電流（つまり、電流検出部31により検出される電流）の時系列的な変化が示されている。図示の最初の段階（時刻A以前の段階）は、通常時の電流が流れ

10

20

30

40

50

ている状態であり、その内訳はすべて開閉器 1 1、1 2 に流れている電流である。当然と言えるが時刻 A 以前の段階で半導体スイッチ 2 2、そして転流要素 2 1、リアクトル 2 3、非線形抵抗器 2 4 には電流は流れていない。

【0030】

時刻 A において直流送電系統に事故が発生すると、図 2 ( a ) に示すように全電流は増加していく。事故発生の際は不図示の事故検出装置または電流検出部 3 1 からの検出電流により制御部 4 0 で了知される (時刻 B)。これを受けて制御部 4 0 は、開閉器 1 1、2 1 の電極開制御を開始する (時刻 C)。電極開制御を開始しても、開閉器 1 1、1 2 にはアーク電流が流れ続ける。その状態において制御部 4 0 からの制御で転流要素 2 1 の放電を開始する (時刻 D)。

10

【0031】

転流要素 2 1 の放電は、具体的には、半導体スイッチ 2 1 b をオンに移行して開始する。半導体スイッチ 2 1 b をオンに移行すると、あらかじめ充放電機能素子 2 1 a に充電されていた電荷が、充放電機能素子 2 1 a の両電極間の電圧をゼロに向かわせるように放電され、これにより開閉器 1 2 に流れていた電流が素早く転流要素 2 1 を通る電流として転流する。さらに具体的に説明すると以下である。

【0032】

充放電機能素子 2 1 a の図示下側の電極をプラス、図示上側をマイナスの電荷であらかじめ充電しておく、半導体スイッチ 2 1 b がオフになっている間は、充放電機能素子 2 1 a の片方の電極が電氣的にオープンにされているのと等価でありほぼ放電は起こらない。この状態から半導体スイッチ 2 1 b をオンに移行すると、充放電機能素子 2 1 a の図示下側電極から、半導体スイッチ 2 1 b、リアクトル 2 3、開閉器 1 2 を経て充放電機能素子 2 1 a の図示上側の電極へと放電が生じる。

20

【0033】

この放電電流は開閉器 1 2 においてはそれまで流れていた電流とは逆向きであり、したがって、開閉器 1 2 に流れていた電流が素早く転流要素 2 1 を通る電流として転流する。これにより開閉器 1 2 の電流遮断は完了する (時刻 E : 図 2 ( b ) を参照)。

【0034】

なお、転流要素 2 1 の放電が開始される時刻 D 以降は、半導体スイッチ 2 1 b のオン抵抗により、開閉器 1 2 の両端に電圧が生じ始める (図 2 ( d ) 参照)。ここで時刻 D から時刻 E までの時間はリアクトル 2 3 のインダクタンスにより調整可能である点はすでに概略説明している。しかし、時刻 D 以降であれば開閉器 1 2 の両端に電圧が生じ得るので、時刻 D は、開閉器 1 2 の電極間距離が所定の距離になったと想定される開極時以降であることが好ましい。

30

【0035】

上記の時刻 E 後も、開閉器 1 1 の側はその電極開制御に対する応答が遅いことにも起因して電流が流れ続ける (図 2 ( c ) を参照)。その状態において、次に、制御部 4 0 からの制御により転流要素 2 1 の半導体スイッチ 2 1 b をオフに切り替える (時刻 F)。すなわち、制御部 4 0 は、時刻 D から時刻 E までの時間を想定して、開閉器 1 2 を流れる電流がゼロに至ったと想定される転流時 (時刻 E) 以降に、半導体スイッチ 2 1 b のオフ移行制御を行う。

40

【0036】

制御部 4 0 による半導体スイッチ 2 1 b のオフ移行制御により、半導体スイッチ 2 1 b につながる開閉器 1 1 を通過する電流経路が遮断される。よって、今度はそれまで開閉器 1 1 に流れていた電流が、電流が流れる状態にされている半導体スイッチ 2 2 の側の電流として転流する (時刻 F ; 図 2 ( c ) を参照)。おおよそ時刻 F から次に説明する時刻 G までの期間においては、半導体スイッチ 2 2 のオン抵抗のため半導体スイッチ 2 2 に一定程度の電圧降下が生じており、これがこの直流遮断装置への印加電圧になる (図 2 ( d ) を参照)。

【0037】

50

時刻 F のあと、開閉器 11 の電極間距離が所定の距離になったと想定される開極時以降（時刻 G）に、半導体スイッチ 22 をオフ状態にすべく制御部 40 は半導体スイッチ 22 を制御する。このときすでに、時刻 F から間もないタイミングで遮断器群 11、12 を有する通電路 10 が電流不通であり、かつ、時刻 G で半導体スイッチ 22 も電流不通に変換されるため、時刻 G 以降、非線形抵抗器 24 に電流が一時的に流れる。

【0038】

一時的に流れる最初の段階では、その直前に半導体スイッチ 22 に流れていた電流と同じ値の電流が流れる。それにより非線形抵抗器 24 に比較的大きな電圧降下（例えば 500 kV）が生じる。非線形抵抗器 24 に電流が流れると抵抗の非線形性により抵抗値が増大し、増大した抵抗値により実質的に電流ゼロに至って電流遮断が完了する（時刻 H；時刻 A から例えば数 ms）。時刻 H 以降は、この直流送電システムに応じた直流電圧（例えば 300 kV）がこの直流遮断装置に印加された状態になる（図 2（d）を参照）。

10

【0039】

以上のような制御部 40 による時系列的な制御により、直流遮断装置として一連の遮断制御を行うことが可能になる。この制御手順は、この直流遮断装置において基本的な手順と言えるものであり、これを逸脱しないようにさらに厳密に好ましいタイミングで遮断時の制御を行うことも可能である（後述する）。

【0040】

以上説明したように、この実施形態の直流遮断装置によれば、通電路 10 に半導体スイッチが使われないことから、通電時の電力損失を大きく減じることができる。開閉器 11 は、その電極開制御に対する応答として、開閉器 12 のそれより遅いが、耐圧性が高い。逆に、開閉器 12 は、その電極開制御に対する応答として、開閉器 11 のそれより速いが、耐圧性が低い。高耐圧の開閉器 11 を開閉器 12 と直列に接続して設けることにより、直流遮断装置として必要な高耐圧性を確保している。

20

【0041】

また、一方の開閉器 12 に並列に転流要素 21 を挿入しているので、転流要素 21 のはたらきにより、速い応答の開閉器 12 に応じてその電流を強制的に素早く転流要素 21 の側に転流することができる。しかる後、転流要素 21 にある半導体スイッチ 21b をオフに移行することにより、今度は開閉器 11 の電流を素早く遮断すべき電流として半導体スイッチ 22 の側に転流することができる。したがって、半導体スイッチ 22 に移った遮断すべき電流においてその値があまり増大しないうちに半導体スイッチ 22 をオフに移行することが可能であり、遮断装置として大型化を回避できる。

30

【0042】

次に、図 3 は、図 1 中に示した開閉器 12 に含まれ得る要素である真空バルブを模式的に示す断面図である。図 3 に示すように、この真空バルブ 50 は、碍管 51、固定側電極 52、可動側電極 53、固定側通電軸 54、可動側通電軸 55、ペローズ 56 を主たる構成要素として有している。

【0043】

図 1、図 2 の説明においては開閉器 12 の具体例について言及しなかったが、開閉器 12 としては、真空開閉器を利用することができる。真空開閉器は、一般に耐圧性が高い開閉器とは言えないが応答性は比較的優れている。そこで、開閉器 12 として真空開閉器を用いても、通電路 10 の電流をゼロに減じた後に生じ得る、オン状態の半導体スイッチ 21b を含む転流要素 21 による低印加電圧には開閉器 12 は耐えることができる上に、開閉器 12 の転流までに要する時間を短縮できる点が利点になる。

40

【0044】

真空開閉器は、図 3 に示すような真空バルブ 50 を有しており、これ以外に、可動側通電軸 55 をその軸方向に所望に移動させるための機構（不図示）などが備えられる。円筒状の碍管 51 の内部はほぼ真空に保たれ、この真空を外と遮断するため、可動側通電軸 55 および碍管 51 に固定してペローズ 56 が設けられている。真空バルブ 50 の構成について以下説明する。

50

## 【 0 0 4 5 】

碍管 5 1 の円筒上面に貫通するように固定側通電軸 5 4 が設けられ、固定側通電軸 5 4 は、碍管 5 1 への貫通部で碍管 5 1 に固定されている。碍管 5 1 の円筒上面を貫通して突起している固定側通電軸 5 4 の部分が開閉器としての一方の端子になる。碍管 5 1 の内部に位置する固定側通電軸 5 4 の端部には、その軸と共通する軸を有するような、扁平な円盤状の固定側電極 5 2 が設けられている。固定側通電軸 5 4 が位置する側とは反対の側の固定側電極 5 2 の面に対向して、固定側電極 5 2 と同様な形状を有しかつその軸と共通する軸を有する可動側電極 5 3 の面が位置している。

## 【 0 0 4 6 】

可動側電極 5 3 の、固定側電極 5 2 と対向する面の側とは反対の側には、固定側通電軸 5 4、固定側電極 5 2、可動側電極 5 3 のそれぞれと軸を共通に可動側通電軸 5 5 が設けられている。可動側通電軸 5 5 は、碍管 5 1 の円筒下面を貫通するように設けられ、その貫通して飛び出している部分が開閉器としての他方の端子になる。なお、すでに説明したようにベローズ 5 6 はその一方の側が可動側通電軸 5 5 に固定して設けられているとともに、その他方の側が碍管 5 1 に固定されている。ベローズ 5 6 により、可動側通電軸 5 5 が、電流の開閉のためその軸方向に移動されても、常に碍管 5 1 内は気密が保たれる。

10

## 【 0 0 4 7 】

図 1 に示した直流遮断装置を、例えば直流 3 0 0 k V 程度の系統に使用した場合を考えると、開閉器 1 2 に対して高耐圧の開閉器 1 1 が直列に設けられている等のこの装置の構成上、開閉器 1 2 としては、オン状態の半導体スイッチ 2 1 b を含む転流要素 2 1 による電圧降下分に耐えられればほぼ足りると考えられる。この電圧降下は大きくとも数 k V と見積もられ、真空開閉器である開閉器 1 2 でもこの程度の電圧には容易に耐えられる。そして、真空開閉器である開閉器 1 2 の使用により、開閉器 1 2 の転流までに要する時間を短縮することができる。

20

## 【 0 0 4 8 】

なお、真空開閉器の中でも特に電極 5 2、5 3 として平板電極を有するものは閉状態での電気抵抗が低く、これにより通電時の電力損失を低減できることが利点になる。また、特に電極 5 2、5 3 として縦磁界電極を有する真空開閉器は、その電極開制御後に電極間に流れるアーク電流を縦磁界により拡散制御して遮断性能を向上させまた電極の損傷を抑制することができる。

30

## 【 0 0 4 9 】

縦磁界電極とは、例えば、図 4 に示した模式図を参照して、固定側電極 5 2 a、通電側電極 5 3 a のそれぞれの側面にスリットを設けて、電流の向きに周方向成分を加えるように構成した電極である。電極 5 2 a、5 3 a 間の電流が周方向成分を持つと電極 5 2 a、5 3 a 間のアーク電流に縦磁界が加わり、これにより、荷電粒子が磁界中に閉じ込められて電極 5 2 a、5 3 a 全体に平等に分散するため、遮断性能が向上しまた電極の損傷を抑制することができる。

## 【 0 0 5 0 】

なお、図 1、図 2 の説明において開閉器 1 1 の具体例にも言及しなかったが、開閉器 1 1 としては、例えば絶縁ガスとして S F<sub>6</sub> が封入されたガス開閉器を利用することができる。ガス開閉器は、一般に耐圧性が高い。そこで、開閉器 1 1 としてガス開閉器を用いれば、電流遮断後に生じ得る直流遮断装置への高印加電圧を受け止めて耐えることが可能である。なお、このとき、他方の開閉器 1 2 の側はオフ状態の転流要素 2 1 (高抵抗ではあるが無大ではない) が並列に設けられているため、直流遮断装置への高印加電圧は主に開閉器 1 1 の側が負担することになる。

40

## 【 0 0 5 1 】

(実施形態 2)

次に、実施形態 2 の直流遮断装置について図 5 (その 1)、図 6 (その 2) を参照して説明する。図 5 は、実施形態 2 (その 1) の直流遮断装置の構成を示している。同図において、図 1 中に示した構成物と同一のものには同一符号を付しその説明は省略する。

50

## 【 0 0 5 2 】

この形態は、非線形抵抗器 2 4 が、半導体スイッチ 2 2 とリアクトル 2 3 との直列要素に対して並列に接続して設けられている点で、図 1 に示したものと構成が異なる。この非線形抵抗器 2 4 は、図 1 に示したように半導体スイッチ 2 2 のみに対して並列に接続して設けるほかに、このように、半導体スイッチ 2 2 とリアクトル 2 3 との直列要素に対して並列に接続して設けることもできる。

## 【 0 0 5 3 】

リアクトル 2 3 を設けた目的は、転流要素 2 1 の放電が開始されてから開閉器 1 2 の電流をゼロに至らせるまでの時間を調整することであり、一方、非線形抵抗器 2 4 は、直流遮断の最後の段階で一時的に電流が流れるに過ぎないので、いずれのように非線形抵抗器 2 4 を設けても、一時的に電流が流れる機能、ひいては直流遮断動作に対して影響はほぼない。

10

## 【 0 0 5 4 】

次に、図 6 は、実施形態 2 ( その 2 ) の直流遮断装置の構成を示している。同図において、図 1 中に示した構成物と同一のものには同一符号を付しその説明は省略する。

## 【 0 0 5 5 】

この形態は、リアクトル 2 3 を設ける位置が、転流要素 2 1 にのみシリーズになるように挿入されている点で、図 1 に示したものと構成が異なる。すなわち、リアクトル 2 3 は、半導体スイッチ 2 2 とはシリーズの配置関係にはなっておらず、非線形抵抗器 2 4 と同シリーズの配置関係にはなっていない。これは、転流要素 2 1 が充放電機能素子 2 1 a と半導体スイッチ 2 1 b とさらにリアクトル 2 3 とが直列に接続された要素に置き換わっているとも言える。リアクトル 2 3 はこのような配置で設けることもできる。

20

## 【 0 0 5 6 】

リアクトル 2 3 を設けた目的は、転流要素 2 1 の放電が開始されてから開閉器 1 2 の電流をゼロに至らせるまでの時間を調整することであり、よって、図 6 に示す配置でリアクトル 2 3 を設けてもよいことは容易な帰結である。

## 【 0 0 5 7 】

( 実施形態 3 )

次に、実施形態 3 の直流遮断装置について図 7 を参照して説明する。図 7 は、実施形態 3 の直流遮断装置の構成を示している。同図において、図 1 中に示した構成物と同一のものには同一符号を付しその説明は省略する。

30

## 【 0 0 5 8 】

この形態は、通電路 1 0 A として、開閉器 1 2 に並列に接続された、開閉器 1 2 に印加され得る最大電圧を軽減させるように機能する付加要素 1 3 をさらに有する点で図 1 に示したものと構成が異なる。開閉器 1 2 に並列に付加要素 1 3 を設けると、このような付加要素がない開閉器 1 1 との構成上の相違から、開閉器 1 2 の側に印加される最大電圧をさらに明確に低下させることができる。

## 【 0 0 5 9 】

ここで、付加要素 1 3 は、例えば、抵抗器、非線形抵抗器、キャパシタ、およびキャパシタと抵抗器との直列接続要素の中から、そのひとつまたは 2 つ以上を並列に接続したものを採用できる。付加要素 1 3 が抵抗器あるいは非線形抵抗器 ( 例えば酸化亜鉛素子など ) の場合、開閉器 1 1 との構成上の相違から、抵抗分圧された電圧が開閉器 1 2 に印加される ( 抵抗小で、印加電圧小 ) 。

40

## 【 0 0 6 0 】

同様に、付加要素 1 3 がキャパシタの場合は、開閉器 1 1 との構成上の相違から、容量分圧された電圧が開閉器 1 2 に印加される ( 静電容量大で、印加電圧小 ) 。付加要素 1 3 がキャパシタと抵抗器との直列接続要素の場合、開閉器 1 1 との構成上の相違から、インピーダンスにより分圧された電圧が開閉器 1 2 に印加される ( インピーダンス小で、印加電圧小 ) 。

## 【 0 0 6 1 】

50

(実施形態 4)

次に、実施形態 4 の直流遮断装置について図 8 を参照して説明する。図 8 は、実施形態 4 の直流遮断装置の構成を示している。同図において、図 1 中に示した構成物と同一のものには同一符号を付しその説明は省略する。

【0062】

この形態は、通電路 10B として、開閉器 11 の電極間距離を検出して制御部 40 に伝える距離検出部 14 を開閉器 11 に設け、かつ、開閉器 12 の電極間距離を検出して制御部 40 に伝える距離検出部 15 を開閉器 12 に設けた点で図 1 に示したものと構成が異なる。

【0063】

開閉器 12 においては、すでに説明したように、転流要素 21 に対して制御部 40 が放電制御を行うと、開閉器 12 に流れる電流が減少し始め、開閉器 12 には電圧が印加され始める。したがって、この形態によれば、開閉器 12 の電極間距離を検出した結果に基づき転流要素 21 に対して制御部 40 が放電制御を行うことができるので、発生電圧に対して問題ないような電極間距離を得た開閉器 12 に電圧が印加されることになり好ましい。

【0064】

また、開閉器 11 においては、すでに説明したように、半導体スイッチ 22 をオフに移行する制御を行うと、流れる電流の経路は非線形抵抗器 24 を通る経路のみになり、したがって、この直流遮断装置には非常に大きな電圧が印加される。この形態によれば、開閉器 11 の電極間距離を検出した結果に基づき半導体スイッチ 22 をオフに移行する制御を行うことができるので、耐圧性の高い開閉器 11 の電極間距離はその時点で所定の距離に開いており好ましい。

【0065】

図 9 は、図 8 に示した直流遮断装置の動作をタイミングチャートで示している。図 9 は、図 2 の図示とほとんど同じであり、同じ点に関してはすでに説明した内容を参照することができる。図 8 で説明した点をもう一度図 9 を参照して説明すると、開閉器 12 が開極したタイミング (= 耐圧性を得たタイミング; 時刻 C1) よりあとのタイミングである時刻 D で転流要素 21 の放電が開始されており、これは好ましいタイミングである。また、開閉器 11 が開極したタイミング (= 耐圧性を得たタイミング; 時刻 C2) よりあとのタイミングである時刻 G で半導体スイッチ 22 をオフ移行しており、これは好ましいタイミングである。

【0066】

(実施形態 5)

次に、実施形態 5 の直流遮断装置について図 10 を参照して説明する。図 10 は、実施形態 5 の直流遮断装置の構成を示している。同図において、図 1 中に示した構成物と同一のものには同一符号を付しその説明は省略する。

【0067】

この形態は、通電路 10C として、開閉器 11 を流れる電流を検出して制御部 40 に伝える電流検出部 16 を開閉器 11 と直列に接続して設け、かつ、開閉器 12 を流れる電流を検出して制御部 40 に伝える電流検出部 17 を開閉器 12 と直列に接続して設けた点で図 1 に示したものと構成が異なる。電流検出部 16、17 については、具体的に、電流検出部 31 と同様の構成を採用できる。

【0068】

開閉器 12 に直列に電流検出部 17 を設けることによる利点は以下である。制御部 40 による転流要素 21 の機能素子 21a を放電する制御は、開閉器 12 を流れる電流をゼロにするように行う。これにより開閉器 12 に流れる電流の転流を完了する。放電制御から実際に開閉器 12 に流れる電流をゼロに至らせるまでには多少時間がかかる。したがって、その時間を算入して、次の制御である半導体スイッチ 21b のオフ移行制御を行うことが好ましい。この形態によれば、電流検出部 17 により電流がゼロに至ったことを了知できるので、より良好にこれに対応できる。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 6 9 】

また、開閉器 1 1 に直列に電流検出部 1 6 を設けることによる利点は以下である。このように構成すれば、開閉器 1 1 を流れる電流がゼロに至ったことが電流検出部 1 1 によって検出された時点と、開閉器 1 1 の電極間距離がすでに所定の距離になっている時点と擬制できる。開閉器 1 1 の電極開の応答性は開閉器 1 2 のそれより遅いが、それらの電極開制御の開始は同時であり、開始後に開閉器 1 2 が電極開に至ったことを前提に各制御がなされているため、さらにその後開閉器 1 1 を流れる電流がゼロに至ったことが電流検出部 1 6 によって検出された時点は、開閉器 1 1 の電極間距離がすでに所定の距離になっている確度が十分に高いと考えられるためである。

## 【 0 0 7 0 】

図 1 1 は、図 1 0 に示した直流遮断装置の動作をタイミングチャートで示している。図 1 1 は、図 2 の図示とほとんど同じであり、同じ点に関してはすでに説明した内容を参照することができる。図 1 0 で説明した点をもう一度図 1 1 を参照して説明すると、開閉器 1 2 の遮断が完了したタイミング (= 開閉器 1 2 の電流がゼロ; 時刻 E) よりあとのタイミングである時刻 F で転流要素 2 1 をオフに制御しており、これは好ましいタイミングである。また、半導体スイッチ 2 2 への転流が完了したタイミング (= 開閉器 1 1 の電流がゼロ = 開閉器 1 1 の電極間距離がすでに所定の距離になっている時点と擬制; 時刻 F 1) よりあとのタイミングである時刻 G で半導体スイッチ 2 2 をオフ移行しており、これは好ましいタイミングである。

## 【 0 0 7 1 】

以上説明のように、各実施形態の直流遮断装置によれば、通電路に半導体スイッチが使われないことから、通電時の電力損失を大きく減じることができる。第 1 の開閉器は、その電極開制御に対する応答として、第 2 の開閉器のそれより遅いが、耐圧性が高い。逆に、第 2 の開閉器は、その電極開制御に対する応答として、第 1 の開閉器のそれより速いが、耐圧性が低い。高耐圧の開閉器を低耐圧の開閉器と直列に接続して設けることにより、直流遮断装置として必要な高耐圧性を確保している。

## 【 0 0 7 2 】

また、第 2 の開閉器に並列に転流要素を挿入しているので、転流要素のはたらきにより、速い応答の開閉器に応じてその電流を強制的に素早く転流要素の側に転流することができる。しかる後、転流要素にある第 1 の半導体スイッチをオフに移行することにより、今度は第 1 の開閉器の電流を素早く遮断すべき電流として第 2 の半導体スイッチの側に転流することができる。したがって、第 2 の半導体スイッチに移った遮断すべき電流においてその値があまり増大しないうちに第 2 の半導体スイッチをオフに移行することが可能であり、遮断装置として大型化を回避できる。

## 【 0 0 7 3 】

以上、本発明のいくつかの実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これらの新規な実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更を行うことができる。これら実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれるとともに、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれる。

## 【 符号の説明 】

## 【 0 0 7 4 】

1 0 , 1 0 A , 1 0 B , 1 0 C ... 通電路、 1 1 ... 開閉器 ( 高耐圧 ; 第 1 の開閉器 )、 1 2 ... 開閉器 ( 低耐圧 ; 第 2 の開閉器 )、 1 3 ... 付加要素、 1 4 ... 電極間距離検出部、 1 5 ... 電極間距離検出部、 1 6 ... 電流検出部、 1 7 ... 電流検出部、 2 1 ... 転流要素、 2 1 a ... 充放電機能素子、 2 1 b ... 半導体スイッチ ( 第 1 の半導体スイッチ )、 2 2 ... 半導体スイッチ ( 第 2 の半導体スイッチ )、 2 3 ... リアクトル、 2 4 ... 非線形抵抗器、 3 1 ... 電流検出部、 4 0 ... 制御部、 5 1 ... 碍管、 5 2 ... 固定側平板電極、 5 2 a ... 固定側縦磁界電極、 5 3 ... 可動側平板電極、 5 3 a ... 可動側縦磁界電極、 5 4 ... 固定側通電軸、 5 5 ... 可動側

10

20

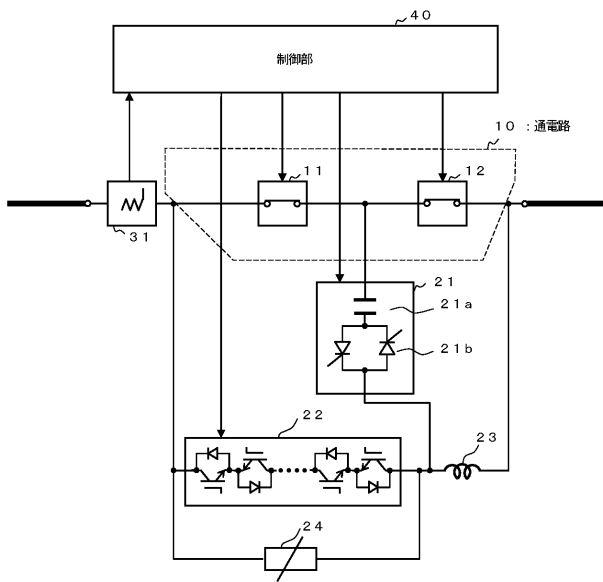
30

40

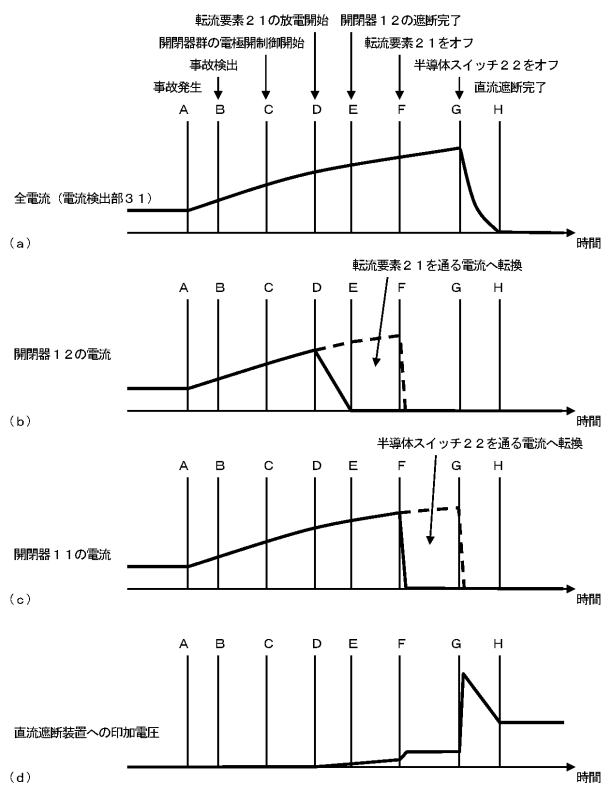
50

通電軸、5 6 ... ベローズ。

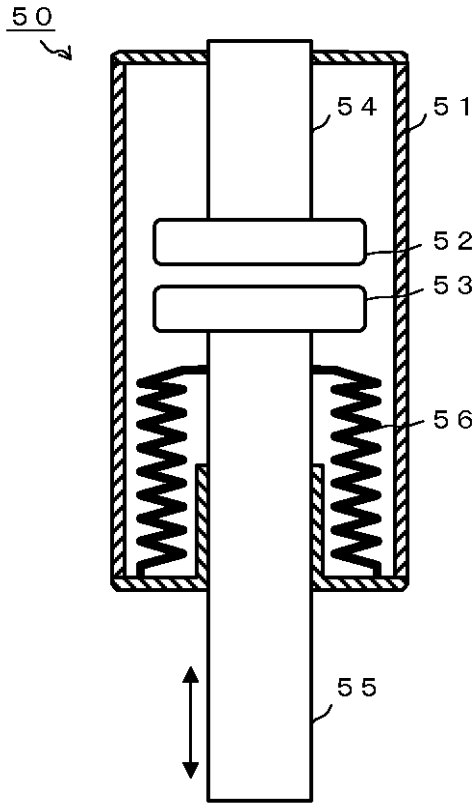
【 図 1 】



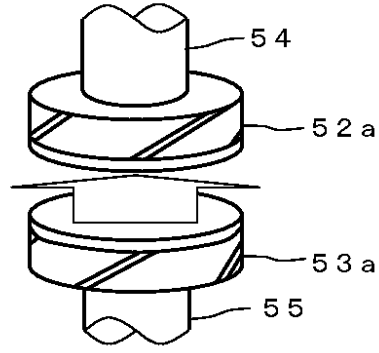
【 図 2 】



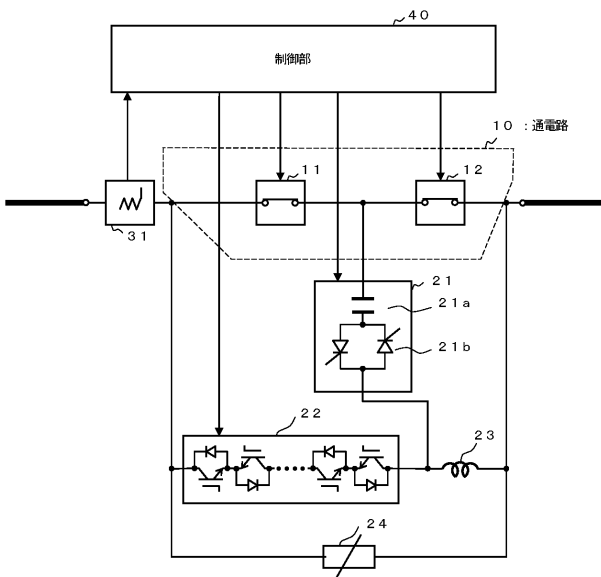
【 図 3 】



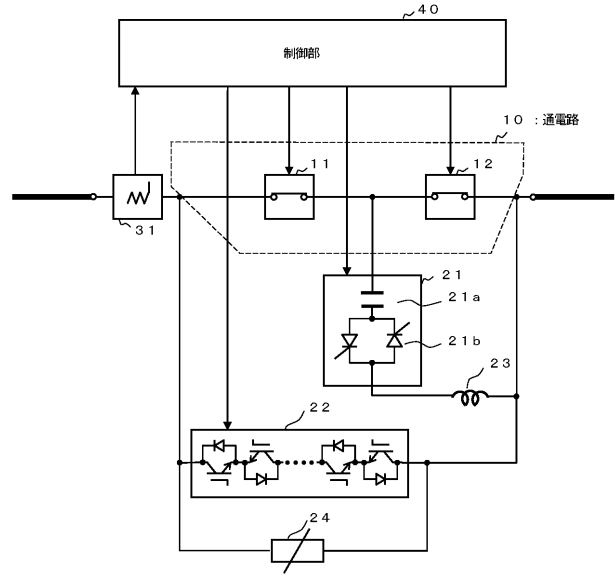
【 図 4 】



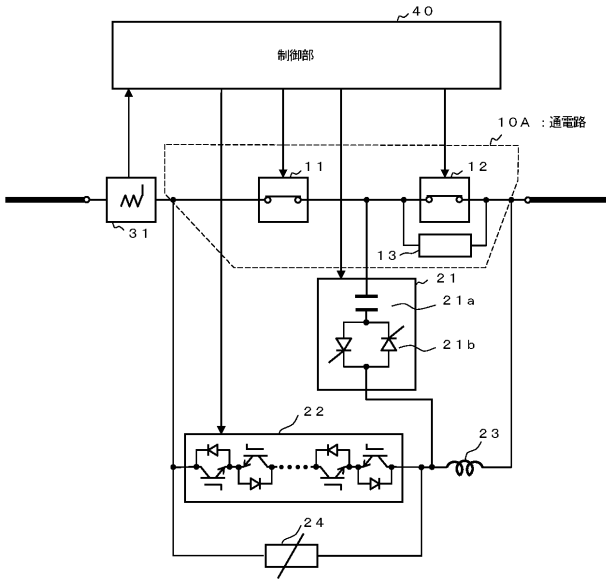
【 図 5 】



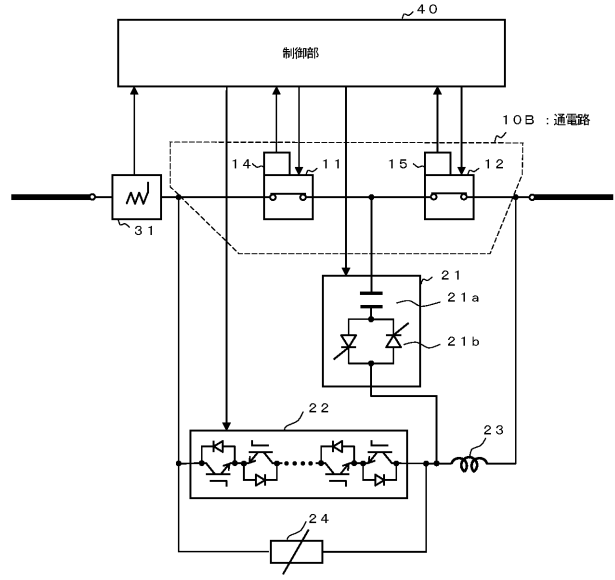
【 図 6 】



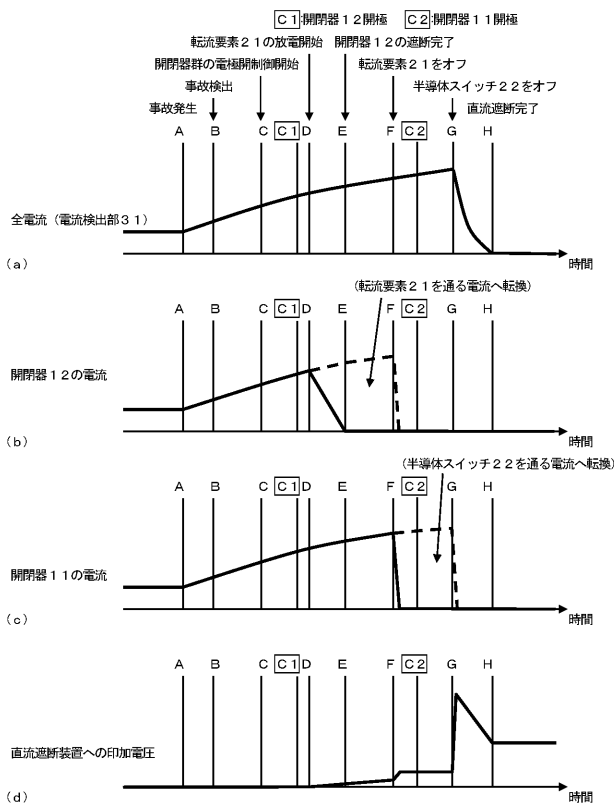
【 図 7 】



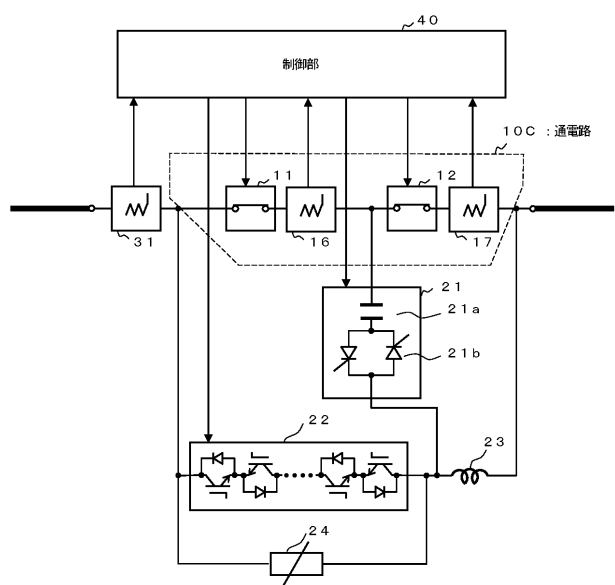
【 図 8 】



【 図 9 】



【 図 10 】



【 図 1 1 】

