

(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2016-181383

(P2016-181383A)

(43) 公開日 平成28年10月13日(2016.10.13)

(51) Int.Cl. F I テーマコード(参考)
 HO 1 H 33/59 (2006.01) HO 1 H 33/59 C 5 G 0 2 8
 HO 1 H 33/59 D

審査請求 未請求 請求項の数 12 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2015-60684 (P2015-60684)
 (22) 出願日 平成27年3月24日 (2015.3.24)

(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
 (72) 発明者 坂口 互
 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) 5G028 FB01 FB03 FB06 FB07

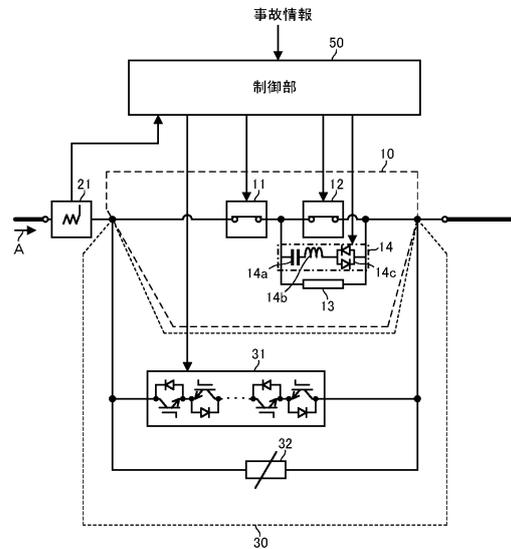
(54) 【発明の名称】 直流遮断装置

(57) 【要約】

【課題】通常時の通電損失を低く抑えかつ装置構成の大型化を回避することが可能な直流遮断装置を提供する。

【解決手段】実施形態の直流遮断装置は、通電路と電流遮断路とを備える。通電路は電流遮断路と並列に接続されている。通電路は第1の絶縁耐圧性を有する少なくとも1つの第1の開閉器と、第1の絶縁耐圧性より絶縁耐圧性が低い第2の絶縁耐圧性を有する少なくとも1つの第2の開閉器とが直列に接続された回路である。第1および第2の開閉器は半導体遮断器によらずに電流の通、不通を切り替えることが可能である。第2の開閉器の入出力端には転流回路が並列に接続されている。転流回路は遮断する電流の向きと逆向きの電流を出力する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

半導体遮断器とこの半導体遮断器と並列に接続された非線形抵抗器とを有する電流遮断路と、

前記電流遮断路と並列に接続され、第 1 の絶縁耐圧性を有し前記半導体遮断器によらずに電流の通、不通を切り替える第 1 の開閉器と、前記第 1 の絶縁耐圧性より絶縁耐圧性が低い第 2 の絶縁耐圧性を有し前記半導体遮断器によらずに電流の通、不通を切り替える第 2 の開閉器とが直列に接続され、かつ遮断する電流の向きと逆向きの電流を出力する転流回路と抵抗器が前記第 2 の開閉器に並列接続された通電路とを具備する直流遮断装置。

10

【請求項 2】

前記第 2 の開閉器に可飽和リアクトルが直列接続された直列回路と、コンデンサと半導体スイッチの直列接続体とを並列に接続した請求項 1 の直流遮断装置。

【請求項 3】

前記第 2 の開閉器が、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】

前記第 2 の開閉器が、縦磁界電極を有する真空開閉器である請求項 3 記載の直流遮断装置。

【請求項 5】

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。

20

【請求項 6】

前記抵抗器が、非線形抵抗である請求項 1 記載の直流遮断装置。

【請求項 7】

前記通電路を流れる電流の異常が検出された場合、前記第 1 および第 2 の開閉器の電極を遮断動作させるための遮断制御を開始し、

遮断制御を開始した後、前記転流回路を制御して、前記通電路に流れる電流とは逆向きの電流を前記第 2 の開閉器の側へ流し、前記第 2 の開閉器の電流を 0 とすることで、前記通電路を流れる電流を前記半導体遮断器へ転流させ、

転流後、オン状態の前記半導体遮断器を制御してオフに切り替える制御部を具備する請求項 1 乃至 6 いずれか 1 項に記載の直流遮断装置。

30

【請求項 8】

前記制御部は、

前記第 2 の開閉器の電極の開極から所定の時間後に、前記通電路に流れる電流とは逆向きの電流を前記第 2 の開閉器の側へ流すように前記転流回路を制御する請求項 7 記載の直流遮断装置。

【請求項 9】

前記第 2 の開閉器に設けられ、前記第 2 の開閉器の電極間距離を検出する電極間距離検出部を備え、

前記制御部は、

開極される前記第 2 の開閉器の、前記電極間距離検出部により検出された電極間距離に基づいて前記通電路に流れる電流とは逆向きの電流を前記第 2 の開閉器の側へ流すように前記転流回路を制御する請求項 7 項に記載の直流遮断装置。

40

【請求項 10】

前記制御部は、

前記第 1 の開閉器の電極の開極から所定の時間後に、前記半導体遮断器をオンからオフに切り替える請求項 7 項に記載の直流遮断装置。

【請求項 11】

前記第 1 の開閉器に設けられ、前記第 1 の開閉器の電極間距離を検出する電極間距離検出部を備え、

前記制御部は、

50

開極される前記第 1 の開閉器の、前記電極間距離検出部により検出された電極間距離に基づいて前記半導体遮断器をオンからオフに切り替える請求項 7 項に記載の直流遮断装置。

【請求項 1 2】

前記制御部は、

前記転流回路が逆向きの電流を前記第 2 の開閉器の側へ転流した後、前記電極間距離検出部により検出された前記第 1 の開閉器の電極間距離が所定の距離に到達した場合に前記半導体遮断器をオンからオフへ切り替える請求項 7 記載の直流遮断装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【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。この目的で遮断器が用いられるが、特に直流電力の送電では、送電される直流に電流零点がないため交流遮断の場合にはない困難さがある。

【0003】

直流遮断器には、公知の基本的構成として、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。

20

【0004】

通常時は、通電路上の開閉器（スイッチ）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。

【0005】

一方、開閉器（スイッチ）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。

【0006】

30

通常時、直流遮断器の通電路の電気抵抗は電力損失になるため、小さいほど好ましい。また、直流遮断器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。

【0007】

これは遅くなるほど事故時の電流が増加してゆき、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。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0008】

【非特許文献 1】 Juergen Haefner, Bjoern Jacobson, “Proactive Hybrid HVDC Breakers - A key innovation for reliable HVDC grids”, Cigre, 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”, Cigre, 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】

【0009】

従来の技術の場合、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、遮断器としての構成が大型化してしまう。

50

【 0 0 1 0 】

本発明が解決しようとする課題は、遮断すべき電流が大きい場合であっても小型で通常時の通電損失を低く抑えることができる直流遮断装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 1 】

実施形態の直流遮断装置は、通電路と電流遮断路とを備える。電流遮断路は半導体遮断器とこの半導体遮断器と並列に接続された非線形抵抗器とを有する。通電路は電流遮断路と並列に接続されている。通電路は第1の絶縁耐圧性を有する少なくとも1つの第1の開閉器と、第1の絶縁耐圧性より絶縁耐圧性が低い第2の絶縁耐圧性を有する少なくとも1つの第2の開閉器とが直列に接続された回路である。第1および第2の開閉器は半導体遮断器によらずに電流の通、不通を切り替えることが可能である。第2の開閉器の入出力端には転流回路が並列に接続されている。転流回路は遮断する電流の向きと逆向きの電流を出力する。

10

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 2 】

【図1】第1実施形態の直流遮断装置の構成を示す図である。

【図2】直流遮断装置の真空バルブの構成を示す断面図である。

【図3】図2の真空バルブの縦磁界電極部分の構成を示す斜視図である。

【図4】第1実施形態の直流遮断装置における各回路の電流の変化を示す図である。

【図5】第2実施形態の直流遮断装置の構成を示す図である。

20

【図6】第2実施形態の直流遮断装置における各回路の電流の変化を示す図である。

【図7】第3実施形態の直流遮断装置の構成を示す図である。

【図8】第3実施形態の直流遮断装置における各回路の電流の変化を示す図である。

【図9】第4実施形態の直流遮断装置の構成を示す図である。

【図10】第4実施形態の直流遮断装置における各回路の電流の変化を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 3 】

以下、図面を参照して実施形態を詳細に説明する。

(第1実施形態)

図1は第1実施形態の直流遮断装置の構成を示す図である。

30

【 0 0 1 4 】

図1に示すように、第1実施形態の直流遮断装置は、通電路10と、この通電路10に並列に接続された電流遮断路30と、これら通電路10および電流遮断路30全体の電流を検出する電流検出部21と、電流検出部21により検出された電流の値に基づいて通電路10および電流遮断路30への電流の流れを制御する制御部50とを有する。

【 0 0 1 5 】

通電路10には、第1の開閉器としての開閉器11、第2の開閉器としての開閉器12、抵抗器13、転流回路14、電流検出部21などが設けられている。

【 0 0 1 6 】

開閉器11と開閉器12は直列に接続されている。開閉器11は、第1の絶縁耐圧性を有しており、制御部50により閉制御または開制御されて半導体遮断器31によらずに(半導体遮断器31とは無関係に)電流の通、不通を切り替える。

40

【 0 0 1 7 】

具体的に、開閉器11には、例えばSF6ガスなどの絶縁性のガスを用いた開閉器(ガス開閉器)を適用する。この場合、開閉器11の電極を収納した容器内に、SF6ガスなど絶縁性のガスを充填した構成とする。このように開閉器11に絶縁性に優れたSF6ガスなどを用いることで、直流遮断装置に印加される電圧に対して絶縁耐圧性が増すため、その分、小型の開閉器11を用いることができる。

【 0 0 1 8 】

開閉器12は、第1の耐圧性より絶縁耐圧性が低い第2の耐圧性を有している。例えば

50

数 kV 程度の印加電圧に対して開閉器 12 は絶縁耐圧性を有している。開閉器 12 は、制御部 50 により閉制御または開制御されて半導体遮断器 31 によらずに（半導体遮断器 31 とは無関係に）電流の通、不通を切り替える。

具体的には、開閉器 12 に、例えば真空開閉器を適用する。真空開閉器のスイッチ部分には真空バルブ 120（図 2、図 3 参照）が用いられている。

【0019】

転流回路 14 は、開閉器 12 の入出力端に開閉器 12 と並列に接続されている。転流回路 14 は、遮断する電流（通電路 10 に流れる電流）の向きと逆向きの電流を出力する電流源である。

【0020】

電流遮断路 30 は、半導体スイッチとしての半導体遮断器 31 と、この半導体遮断器 31 と並列に接続された非線形抵抗器 32 とを有する。

【0021】

制御部 50 は、電流検出部 21 により検出された電流の値が予め設定された閾値を超えた場合、開閉器 11、12 の電極を開動作させる開制御（遮断制御）を開始する。

【0022】

また制御部 50 は、電極の開制御（遮断制御）を開始した後、転流回路 14 を制御して通電路 10 に流れる電流とは逆向きの電流を開閉器 12 の側へ流し、開閉器 12 の電流を 0 とすることで、通電路 10 を流れる電流を半導体遮断器 31 へ転流させる。

【0023】

制御部 50 は、開閉器 11、12 の電極の開制御の開始後、オンの状態の半導体遮断器 31 を制御しオフに切り替える。

【0024】

以下、この直流遮断装置の動作を説明する。

この直流遮断装置の場合、通常時は、通電路 10 の開閉器 11、12 を閉じて通電路 10 を通して電流を流す。事故等で電流遮断を要するときは、半導体遮断器 31 をオン状態にする。その一方で開閉器 11、12 を遮断し、転流回路 14 より開閉器 12 に電流を通電し、開閉器 12 の電流を 0 とし、通電路 10 の電流を不通にすることにより電流遮断路 30 の側に電流を転流する。その後、速やかに電流遮断路 30 に流れている電流を限流させて遮断を完了する。

【0025】

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装置は対応している。

【0026】

以下では、説明を分かりやすくするため、通常時の直流電流（遮断すべき電流）は、図示左から右の方向 A へ流れるものとする。

【0027】

開閉器 11 は、半導体遮断器 31 によらずに（半導体遮断器 31 とは無関係に）電流の通、不通を切り替える開閉器であり、所定の比較的大きな耐電圧性能（耐圧性）を有している。

【0028】

開閉器 12 は、半導体遮断器 31 によらずに電流の通、不通を切り替える開閉器であるが、開閉器 11 の耐圧性よりも耐圧性が低くその分開閉器 11 よりも瞬断性能（開閉の高速性）が高い。なお開閉器 12 の詳細については後述の図 3、図 4 で説明する。

【0029】

このように開閉器 11 と開閉器 12 とは、耐圧性（特性）の異なる開閉器とされており役割を分担している。開閉器 11 と開閉器 12 とは直列に接続されており、制御部 50 により制御されてそれぞれが有する電極を開閉する。

【0030】

抵抗器 13 は、開閉器 12 の入出力端に開閉器 12 と並列に接続されている。この抵抗

10

20

30

40

50

器 1 3 としては、電流遮断時の半導体遮断器 3 1 のオン抵抗より高く、半導体遮断器 3 1 に並列接続された非線形抵抗器 3 2 の抵抗値より低くなる抵抗値のものを用いている。

【 0 0 3 1 】

このような抵抗器 1 3 を用いた場合、電極を開状態にすると、開閉器 1 1 の両端は絶縁状態であり、両端の抵抗は、開閉器 1 2 に並列接続した抵抗器 1 3 の抵抗より十分大きいいため、開閉器 1 1 と開閉器 1 2 の両端に印加される電圧の大半は開閉器 1 1 に分担され、開閉器 1 2 の絶縁破壊を防ぐことができる。

【 0 0 3 2 】

電流検出部 2 1 は、通電路 1 0 全体に流れている電流を検出し、検出した電流の値を制御部 5 0 に伝える。このため電流検出部 2 1 は、電流が流れる回路上の通電路 1 0 と電流遮断路 3 0 との合流位置の手前に設けられている。

10

【 0 0 3 3 】

電流検出部 2 1 の具体例としては、例えばごく小さい抵抗値を有する抵抗器を通電路 1 0 に挿入しその両端電圧を検出する構成が考えられる他、ホール効果を利用し回路と非接触で回路に流れる電流を検出する電流センサなどであってもよい。

【 0 0 3 4 】

半導体遮断器 3 1 は、電流の通、不通を切り替えるスイッチであり、切り替えの制御は制御部 5 0 による。半導体遮断器 3 1 の具体例としては、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て接続して単位要素を構成し、この単位構成を多数直列に接続して全体として 2 つの端子を有するようにした構成物を用いている。

20

【 0 0 3 5 】

IGBT は、各ダイオードそれぞれのゲートに制御部 5 0 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) になり、制御の仕方によって電流を遮断し、また電流の方向を切り替えることが可能である。

【 0 0 3 6 】

半導体遮断器 3 1 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。半導体遮断器 3 1 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。

30

【 0 0 3 7 】

この電圧降下は、図 1 に示した半導体遮断器 3 1 の場合で言えば、上記の単位要素の直列数に依存して大きくなり、つまり半導体遮断器 3 1 全体のオン抵抗もこの直列数に依存して大きくなる。

【 0 0 3 8 】

単位要素の直列数については、その必要な数は、この半導体遮断器 3 1 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器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。これは、直流電圧が数 1 0 0 k V の場合、一般にある程度大きな数 (例えば数百など) になる。

40

【 0 0 3 9 】

半導体遮断器 3 1 を切り替える制御部 5 0 による制御は、通常時は半導体遮断器 3 1 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ものである。

【 0 0 4 0 】

但し、これに限らず、通常時に半導体遮断器 3 1 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遮断路 3 0 には電流は流れず、通電路 1 0 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遮断器 3 1 をオンとする制御もとれる選択である。

【 0 0 4 1 】

50

転流回路 1 4 は、開閉器 1 2 と並列に接続されている。転流回路 1 4 は、コンデンサ 1 4 a とリアクトル 1 4 b と半導体スイッチ 1 4 c を直列に接続した直列回路で構成されている。

【 0 0 4 2 】

転流回路 1 4 の電流通電動作は制御部 5 0 により制御される。転流回路 1 4 は制御部 5 0 により制御されて、遮断する電流とは逆方向へ電流を開閉器 1 2 へ流す。

【 0 0 4 3 】

コンデンサ 1 4 a は、図示していない充電装置により、所定の電圧に充電される。半導体スイッチ 1 4 c は、制御部 5 0 により、開（遮断）、閉（通電）状態が制御される。電流遮断時の動作とこの動作により変化する電流の波形は下記の図 4 の説明の欄で詳細に説明する。

10

【 0 0 4 4 】

事故等により電流遮断が必要になった場合、制御部 5 0 は、転流回路 1 4 により電流を強制的に発生させ、通電路 1 0 に流れている電流、すなわち遮断する電流、とは逆方向へ電流を流すことで、通電路 1 0 の開閉器 1 2 を流れる電流を 0 として、直流遮断装置への電流を電流遮断路 3 0 に素早く転流させる。

【 0 0 4 5 】

転流回路 1 4 が電流を強制的に流すことを、通電路 1 0 の開閉器 1 2 の電流を減じさせるための電流であることから、以下では「逆電流」と称する場合がある。

【 0 0 4 6 】

非線形抵抗器 3 2 は、半導体遮断器 3 1 と並列に接続されている。非線形抵抗器 3 2 は、この直流遮断装置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 1 0 が電流不通になり、半導体遮断器 3 1 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。

20

【 0 0 4 7 】

非線形抵抗器 3 2 に電流が一時的に流れる最初の段階では、その直前に半導体遮断器 3 1 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 3 2 に比較的大きな電圧降下が生じることから電流は減少し、電流が減少す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。

【 0 0 4 8 】

なお、制御部 5 0 には、電流検出部 2 1 で検出した電流が伝えられる。そして、制御部 5 0 は、開閉器 1 1、1 2 の電極開閉を制御し、半導体遮断器 3 1 のオン/オフを切り替え制御し、逆電流の発生源である転流回路 1 4 のオン/オフおよびその出力電流を制御する。

30

【 0 0 4 9 】

制御部 5 0 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は互いに接続され、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。

【 0 0 5 0 】

ここで、図 2、図 3 を参照して直流遮断装置の開閉器 1 2 の具体例（ハードウェア構成）を説明する。

40

図 2 は直流遮断装置の開閉器 1 2 のスイッチ部分である真空バルブ 1 2 0 のハードウェア構成を示す断面図、図 3 は図 2 の真空バルブ 1 2 0 の縦磁界電極部分の構成を示す斜視図である。開閉器 1 2 には、開閉器の一つである真空バルブ（真空開閉器）が用いられている。

図 2 に示すように、真空バルブ 1 2 0 は、主たる構成要素として、円筒状の碍管 1 2 1、固定側電極 1 2 2、可動側電極 1 2 3、固定側通電軸 1 2 4、可動側通電軸 1 2 5、ベローズ 1 2 6 などを有している。

【 0 0 5 1 】

ここでは真空バルブ 1 2 0 の主要構成を例示したが、この他、真空バルブ 1 2 0 には、

50

可動側通電軸 1 2 5 をその軸方向に所望に移動させるための駆動機構（不図示）なども備えられる。

【 0 0 5 2 】

円筒状の碍管 1 2 1 は両端の開口部分が封止され、筒型の容器の形状とされている。この容器の内部はほぼ真空に保持され、真空容器とされている。

【 0 0 5 3 】

この真空容器の真空状態を保持したまま（外部と遮断しつつ）可動側通電軸 1 2 5 を矢印方向へピストン駆動するため、碍管 1 2 1 と可動側通電軸 1 2 5 との摺動部分にペローズ 1 2 6 が設けられている。

【 0 0 5 4 】

一般に、真空開閉器は、絶縁耐圧性が高い開閉器とは言えないが、絶縁回復特性は優れている。そこで、開閉器 1 2 として真空開閉器を用いても、通電路 1 0 の電流をゼロに減じた後に生じ得る、オン状態の半導体遮断器 3 1 の電圧降下分による低印加電圧には開閉器 1 2 が耐えることができる上に、直流遮断装置として優れた絶縁回復特性を得ることができる。

【 0 0 5 5 】

この真空バルブ 1 2 0 は、固定側電極 1 2 2 と可動側電極 1 2 3 とで縦磁界電極を構成している。

【 0 0 5 6 】

図 3 に示すように、固定側電極 1 2 2 と可動側電極 1 2 3 の周縁部（外周面）には、中心軸に対して螺旋を描くようにスリット 1 2 7、1 2 8 が斜め方向に設けられており、電流 1 2 9、1 3 0 の向きを制御できるようになっている。つまり真空バルブ 1 2 0 は、電流 1 2 9、1 3 0 によりアーク 1 3 1 に縦磁界 1 3 2 を印加する構成となっている。

【 0 0 5 7 】

通電中に開閉器 1 2 において可動側通電軸 1 2 5 を駆動することで、可動側電極 1 2 3 と固定側電極 1 2 2 とを開く方向に制御（開制御、遮断制御ともいう）すると、固定側電極 1 2 2 と可動側電極 1 2 3 との間にアーク 1 3 1 が生じる。

【 0 0 5 8 】

この際、縦磁界 1 3 2 を印加すると、電極全体にアーク 1 3 1 を均一に分布させることができ、電極の部分的な損傷を抑制することができる。このようにアーク 1 3 1 による電極の損傷を抑制することで、優れた絶縁回復特性を得ることができる。

【 0 0 5 9 】

次に、図 4 を参照して第 1 実施形態の直流遮断装置の時系列的な動作を説明する。図 4 は直流遮断装置の各部の電流の時系列的な変化を示す図である。

【 0 0 6 0 】

図 4 では、通電路 1 0 に流れる電流と電流遮断路 3 0 に流れる電流との和の電流である全電流 4 1、半導体遮断器 3 1 の電流 4 2、開閉器 1 2 の電流 4 3、直流遮断器への電圧 4 5 それぞれの時系列的な変化を示す。

【 0 0 6 1 】

事故が発生する時刻 A 以前の最初の段階では、通常時の電流が流れているものとする。

【 0 0 6 2 】

その内訳は、開閉器 1 2 の電流を示し、すべて通電路 1 0 の側に流れている電流である。当然ながら、この最初の段階では半導体遮断器 3 1 の側（および電流遮断路 3 0）には電流 4 2 が流れていない。

【 0 0 6 3 】

そして、時刻 A において、直流送電系統に事故が発生すると、全電流 4 1 は増加していく。そして、電流検出部 2 1 により検出された通電路 1 0 を流れる電流の値が予め設定されている閾値を超えた場合、制御部 5 0 は、時刻 B の時点で異常と判定、つまり事故発生を検出する。

【 0 0 6 4 】

10

20

30

40

50

時刻 B の時点で事故が検出された場合、制御部 50 は、時刻 C の時点で、開閉器 11、12 に対してそれぞれの電極を開動作（遮断動作）させるための遮断制御（電極開制御）を開始する。

開閉器 11、12 の遮断制御（電極開制御）が開始されると、これらの開閉器 11、12 において電極間は物理的に離間していくが、離間当初は電極間にはアークが生じ電流が流れ続ける。

【0065】

遮断制御（電極開制御）の開始後、制御部 50 は、転流回路 14 を制御し、転流回路 14 から開閉器 12 の側に逆電流を通電する。逆電流を通電すると（時刻 D）、開閉器 12 の電流 43 は減少し、時刻 E の時点でゼロに至る。これにより通電路 10 を流れる電流の電流遮断路 30 への転流が完了する。

10

【0066】

時刻 E から時刻 F までの期間においては、半導体遮断器 31 に流れる電流 42 によりそのオン抵抗のため、ある程度の電圧降下 44 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っている。

【0067】

上述したように、開閉器 12 は、例えば数 kV 程度の印加電圧に対して絶縁耐圧性を有している。時刻 E から時刻 F までは、可能性として半導体遮断器 31 の両端間の電圧がほぼそのまま開閉器 12 に印加され得る状態になっている。開閉器 11 の側の電極開状態がまだ最終的に確立していない可能性があるためである。

20

【0068】

時刻 E の後、開閉器 11、12 の電極開状態が最終的に確立したと考えられる時点以後（時刻 F）で、半導体遮断器 31 をオフ（電流の流れを遮断した状態）にすべく、制御部 50 は半導体遮断器 31 をオフ制御する。

【0069】

時刻 E の時点で既に通電路 10 には電流が不通とされており、時刻 F で半導体遮断器 31 はオフ制御されて電流を不通にする状態に切り換えられるため、時刻 F 以降、非線形抵抗器 32 に電流が一時的に流れる。

【0070】

非線形抵抗器 32 に一時的に電流が流れる最初の段階では、その直前に半導体遮断器 31 に流れていた電流と同じ値の電流が流れる。これにより非線形抵抗器 32 に比較的大きな電圧降下（例えば 500 kV）が生じることから電流は減少する。

30

【0071】

電流が減少すると、非線形抵抗器 32 の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時刻 G の時点で全電流 41 が実質的にゼロに至って電流遮断が完了する。

【0072】

時刻 G 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）45 がこの直流遮断装置に印加された状態になる。

【0073】

図 4 に示したような標準的なタイミングで直流遮断装置を動作させることで、開閉器 11 または開閉器 12 において、その電極開制御後に電極間にアークが生じ、それによる電流が流れて、電気抵抗が増加する。この結果、通電路 10 の電流をより素早く電流遮断路 30 の側に遮断すべき電流として転流することができる。すなわち、その分だけ高速性のある直流遮断装置になる。

40

【0074】

このようにこの第 1 実施形態の直流遮断装置によれば、通電路 10 には半導体を用いた開閉器である半導体遮断器 31 を使わないことから、通電時の電力損失を大きく減じることができる。また、開閉器 12 に並列に転流回路 14 を設けたため、通電路 10 の電流を、強制的に素早く（一例として数 ms 程度で）電流遮断路 30 の側に遮断すべき電流として転流させることができる。

50

【0075】

したがって、電流遮断路30の側で遮断すべき電流の値を小さくすることが可能になり、遮断器として大型化を回避できる。より具体的には、半導体遮断器31の電流定格を小さく抑えることにより大型化を回避できる。

【0076】

すなわち、遮断すべき電流が大きい場合であっても、小型で通常時の通電損失を低く抑えることができるようになる。

【0077】

また上記第1実施形態では、抵抗器13として抵抗値が固定の抵抗器を用いたが、これ以外に例えば非線形抵抗器を用いてもよい。非線形抵抗器としては例えば避雷器素子を適用する。

10

【0078】

抵抗器13として用いる非線形抵抗器は、この非線形抵抗に生じる電圧が、半導体遮断器31のオン抵抗による電圧より高く、半導体遮断器31に並列接続された非線形抵抗器32より低くなる特性のものを使用する。またこの抵抗器13として用いる非線形抵抗器の抵抗は、開閉器12の絶縁耐圧の限界より低い電圧で低下する特性となるよう設定する。

【0079】

開閉器12に、絶縁耐圧より高い電圧が印加されると、抵抗器13として用いた非線形抵抗の抵抗値が低くなる、開閉器12に印加される電圧が低減され、開閉器12の絶縁破壊を防ぐことができる。

20

【0080】

(第2実施形態)

次に、図5を参照して第2実施形態の電流遮断装置を説明する。この第2実施形態は図1に示した第1実施形態の直流遮断装置の開閉器12近傍の回路を変形した例であり、第1実施形態と同じ構成には同一の符号を付しその説明は省略する。

【0081】

この第2実施形態は、開閉器12と直列に可飽和リアクトル16を接続している。転流回路14はコンデンサ14aと半導体スイッチ14cとの直列回路で構成している。

【0082】

30

すなわちこの第2実施形態は、開閉器12に可飽和リアクトル16が直列接続された直列回路と、コンデンサ14aと半導体スイッチ14cの直列接続体である転流回路14と抵抗器13とを並列に接続したものである。なお、この例では、転流回路14にリアクトル14b(図1参照)を設けていないが、図1のようにリアクトル14bを設けてもよい。

【0083】

この第2実施形態では、転流回路14、可飽和リアクトル16、開閉器12を含む回路により閉回路が構成されている。可飽和リアクトル16は、開閉器12で遮断すべき電流以下の電流値にて飽和状態と非飽和状態の変化点を持つ。この電流値は、通常の状態に通電される電流程度である。

40

【0084】

以下、図6を参照してこの第2実施形態の直流遮断装置の電流遮断時の動作のうち第1実施形態と電流の変化が異なる部分を説明する。

【0085】

この第2実施形態の場合、制御部50は、時刻Cにおいて開閉器12を開制御(遮断)した後、時刻Dの時点で転流回路14を制御して逆電流を通電する。

【0086】

これにより、可飽和リアクトル16には、開閉器12と同値の電流が流れ、この電流が減少し、飽和状態から非飽和状態に移行すると、可飽和リアクトル16のインダクタンスが増加し、図6に示す半導体遮断器31に流れる電流42の時系列的な変化のうちで、時

50

刻 D から時刻 E の間、例えば位置 6 2 など電流の変化が緩やかになる。このため、開閉器 1 2 を流れる電流 4 3 の変化率が電流零点直前の位置 6 3 で緩やかになる。

【 0 0 8 7 】

このようにこの第 2 実施形態によれば、第 1 実施形態と同様の効果が得られると共に、開閉器 1 2 と直列に可飽和リアクトル 1 6 を接続したことで、電流遮断時に開閉器 1 2 を流れる電流の変化率が電流零点直前で緩やかになり、小電流状態の期間が生じ、電流零点で電流を確実に電流遮断路 3 0 の側に転流させることができる。

【 0 0 8 8 】

(第 3 実施形態)

次に、図 7、図 8 を参照して第 3 実施形態の電流遮断装置を説明する。この第 3 実施形態は図 1 に示した第 1 実施形態の直流遮断装置の変形例であり、第 1 実施形態と同じ構成には同一の符号を付しその説明は省略する。

10

【 0 0 8 9 】

図 7 に示すように、この第 3 実施形態は、第 1 実施形態の開閉器 1 2 に電極間距離検出部 2 2 を増設した例である。電極間距離検出部 2 2 は、開閉器 1 2 の電極間距離を検出して制御部 5 0 に通知する。制御部 5 0 は電極間距離検出部 2 2 から通知された開閉器 1 2 の電極間距離に基づいて開閉器 1 2 および転流回路 1 4 を制御する。

【 0 0 9 0 】

この第 3 実施形態の場合、図 8 に示すように、開閉器 1 2 への電極開制御の開始の時刻 C から予想される、開閉器 1 2 の電極距離が所定の距離に到達する時刻 C 1 を考慮に入れて開閉器 1 2 の制御を行う。

20

【 0 0 9 1 】

制御部 5 0 は、この時刻 C 1 より遅い時点で通電路 1 0 から電流遮断路 3 0 への転流が完了するように (転流完了は時刻 E) 転流回路 1 4 の半導体スイッチ 1 4 c をオンするタイミングを決定し転流回路 1 4 を制御する。

【 0 0 9 2 】

すなわち、この第 3 実施形態では、電極間距離検出部 2 2 により検出された開閉器 1 2 の電極間距離が常に制御部 5 0 に伝えられるので、制御部 5 0 は、電極間距離検出部 2 2 により検出された開閉器 1 2 の電極距離が予め設定された所定の距離 (閾値) に到達する時刻 C 1 を予測演算し、その前の段階の開閉器 1 2 への電極開制御の開始タイミング (時刻 C) を決定し、開閉器 1 2 に対する電極開制御を行う。その後の動作は第 1 実施形態と同様である。

30

【 0 0 9 3 】

このようにこの第 3 実施形態によれば、開閉器 1 2 に電極間距離検出部 2 2 を設け、開閉器 1 2 の制御タイミングを取得することにより、開閉器 1 2 の耐圧性が十分に確保されるような状態になってから、半導体遮断器 3 1 による電圧降下分の開閉器 1 2 への電圧印加が生じることになるので (その期間は時刻 E 以降時刻 F まで) 、開閉器 1 2 の運用上、非常に好ましい結果を得ることができる。

【 0 0 9 4 】

なお、第 3 実施形態では、開閉器 1 2 に電極間距離検出部 2 2 を設けて開閉器 1 2 の電極間距離を検出して遮断制御したが、電極間の距離が所定の距離に到達する時間は予め判っているため、電極間距離検出部 2 2 を設けることなく、開閉器 1 2 の電極距離が所定の距離に到達する時刻 C 1 を開閉器 1 2 への電極開制御の開始の時刻 C から予測し、遮断動作開始後の経過時刻に従って制御してもよい。

40

【 0 0 9 5 】

(第 4 実施形態)

次に、図 9、図 1 0 を参照して第 4 実施形態の電流遮断装置を説明する。この第 4 実施形態は図 1、図 7 に示した第 1 および第 3 実施形態の直流遮断装置の変形例であり、第 1 および第 3 実施形態と同じ構成には同一の符号を付しその説明は省略する。

【 0 0 9 6 】

50

図 9 に示すように、この第 4 実施形態は、第 1 実施形態の開閉器 1 1 に電極間距離検出部 2 3 を増設した例である。電極間距離検出部 2 3 は、開閉器 1 1 の電極間距離を検出して制御部 5 0 に通知する。制御部 5 0 は電極間距離検出部 2 3 から通知された開閉器 1 1 の電極間距離または電極開制御後の経過時間に基づいて開閉器 1 1 および半導体遮断器 3 1 の動作を制御する。

【0097】

この第 4 実施形態の場合、図 10 に示すように、開閉器 1 1 への電極開制御の開始の時刻 C から予想される、開閉器 1 1 の電極距離が所定の距離に到達する時刻 C 2 を考慮に入れて開閉器 1 2 の制御を行う。制御部 5 0 はこの時刻 C 2 より遅い時点（例えば時刻 F）で、オン状態の半導体遮断器 3 1 をオフ（通電を切る状態）に切り替えるよう制御する。

10

【0098】

すなわち、この第 4 実施形態では、電極間距離検出部 2 2 により検出された開閉器 1 1 の電極間距離が常に制御部 5 0 に伝えられるので、制御部 5 0 は、電極間距離検出部 2 3 により検出された開閉器 1 1 の電極距離が予め設定された所定の距離（閾値）に到達する時刻 C 2 を予測演算し、その前の段階の開閉器 1 1 への電極開制御の開始タイミング（時刻 C）を決定し、開閉器 1 1 および半導体遮断器 3 1 に対する遮断制御を行う。その後の動作は第 1 および第 3 実施形態と同様である。

【0099】

このようにこの第 4 実施形態によれば、開閉器 1 1 に電極間距離検出部 2 3 を設け、開閉器 1 1 の制御タイミングを取得することにより、開閉器 1 1 の耐圧性が十分に確保されるような状態になってから、直流遮断装置への高印加電圧が生じることになるので（その期間は時刻 F 以降）、開閉器 1 1 の運用上、非常に好ましい結果を得ることができる。

20

【0100】

なお、第 4 実施形態では、開閉器 1 1 に電極間距離検出部 2 3 を設けて開閉器 1 1 の電極間距離を検出して遮断制御したが、電極間の距離が所定の距離に到達する時間は予め判っているため、電極間距離検出部 2 3 を設けることなく、開閉器 1 1 の電極距離が所定の距離に到達するまでの時刻 C 2 を、開閉器 1 1 への電極開制御の開始の時刻 C から予測し、遮断動作開始後（開閉器 1 1 の電極開制御開始後）の経過時刻に従って制御してもよい。

【0101】

以上説明した少なくとも一つの実施形態によれば、通常時の通電損失を低く抑えかつ装置構成の大型化を回避することができる。換言すると、遮断すべき電流が大きい場合であっても小型で通常時の通電損失を低く抑えることができる直流遮断装置を提供できる。

30

【0102】

本発明の実施形態を説明したが、この実施形態は、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。

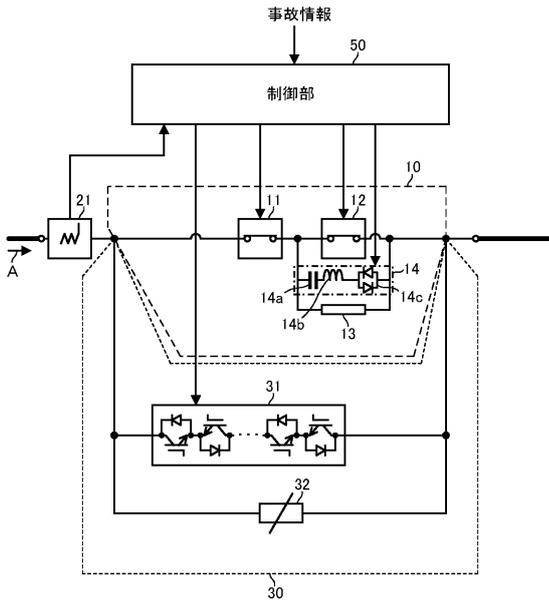
【符号の説明】

40

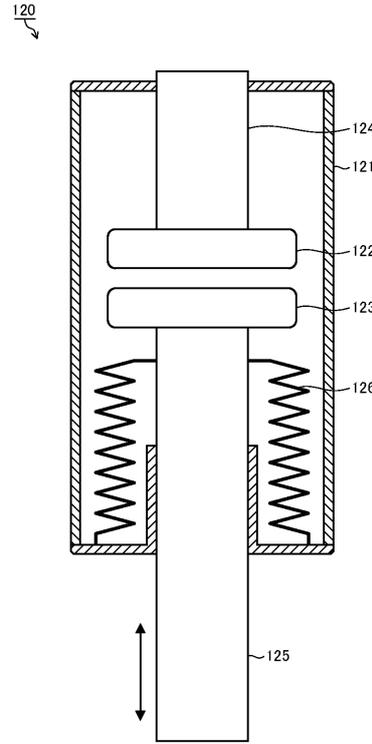
【0103】

1 0 ... 通電路、1 1 ... 開閉器（高耐圧）、1 2 ... 開閉器（低耐圧）、1 3 ... 抵抗器、1 4 ... 転流回路、1 4 a ... コンデンサ、1 4 b ... リアクトル、1 4 c ... 半導体スイッチ、1 6 ... 可飽和リアクトル、2 1 ... 電流検出部、2 2 , 2 3 ... 電極間距離検出部、3 0 ... 電流遮断路、3 1 ... 半導体遮断器、3 2 ... 非線形抵抗器、5 0 ... 制御部。

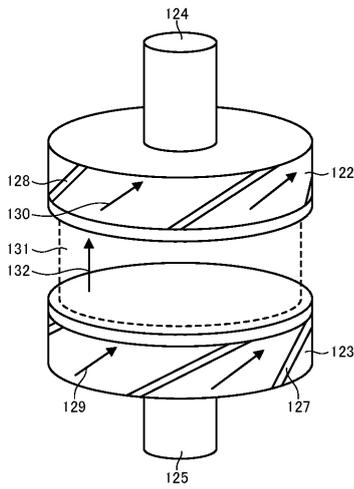
【 図 1 】



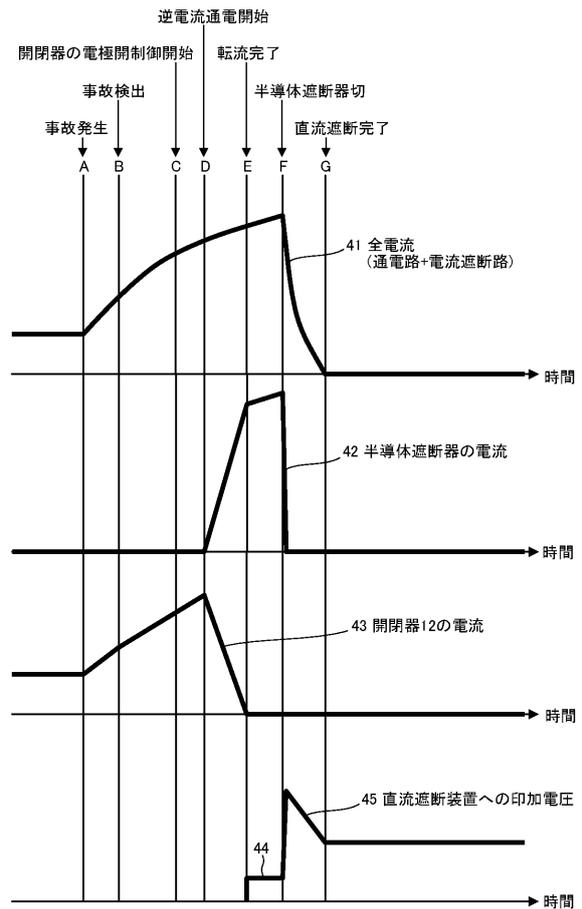
【 図 2 】



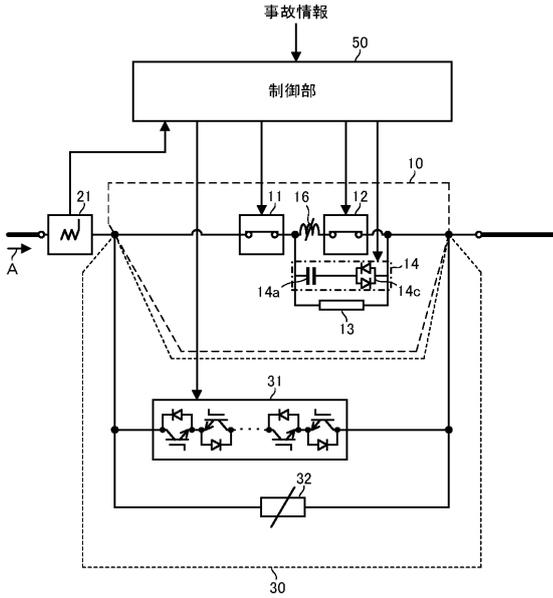
【 図 3 】



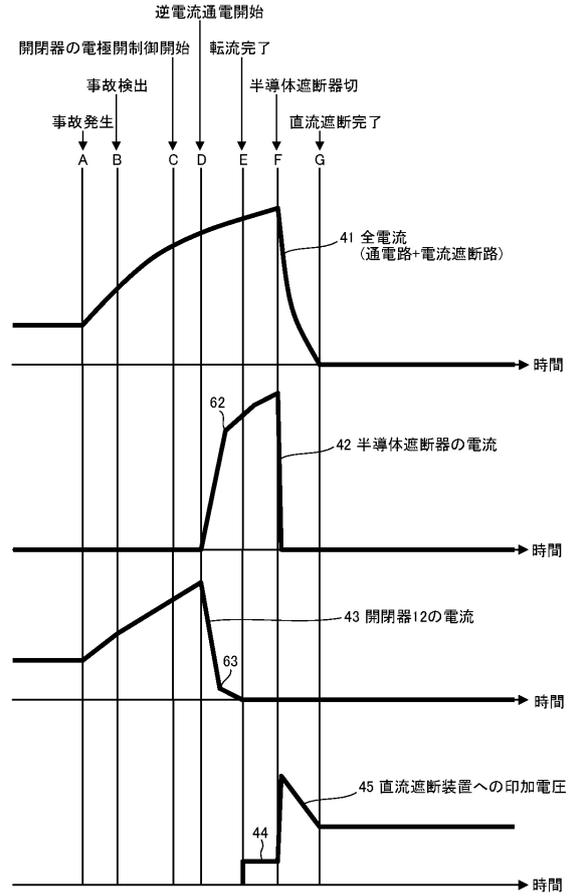
【 図 4 】



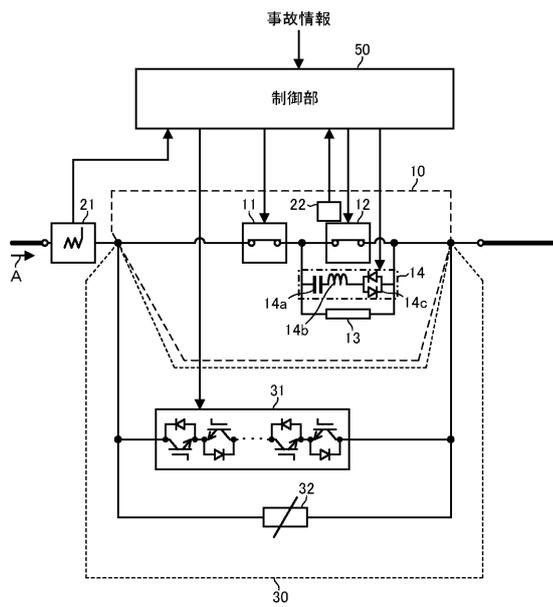
【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】

