

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2014年10月9日(09.10.2014)



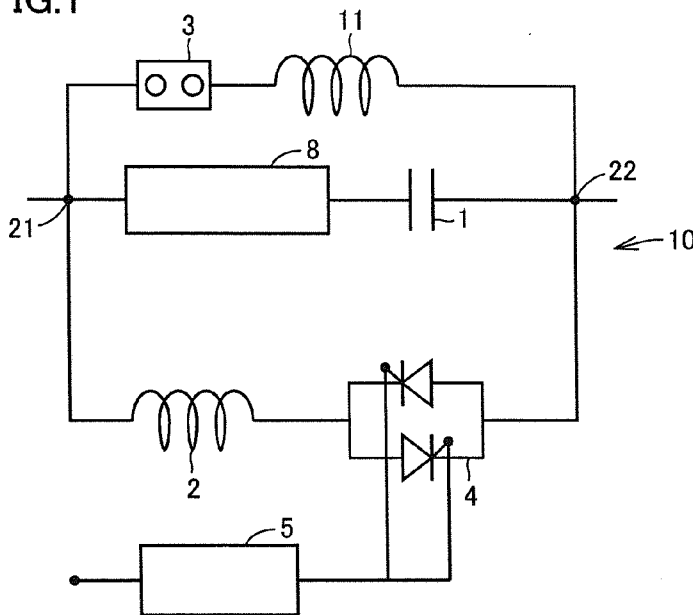
(10) 国際公開番号
WO 2014/162949 A1

- (51) 国際特許分類:
H02H 9/02 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/058535
- (22) 国際出願日: 2014年3月26日(26.03.2014)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2013-075938 2013年4月1日(01.04.2013) JP
- (71) 出願人: 住友電気工業株式会社 (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号 Osaka (JP).
- (72) 発明者: 磯嶋 茂樹 (ISOJIMA, Shigeki); 〒5540024 大阪府大阪市此花区島屋一丁目1番3号 住友電気工業株式会社 大阪製作所内 Osaka (JP). 野川 修一 (NOGAWA, Shuichi); 〒5540024 大阪府大阪市此花区島屋一丁目1番3号 住友電気工業株式会社 大阪製作所内 Osaka (JP). 野口 浩二 (NOGUCHI, Kouji); 〒6158686 京都府京都市右京区梅津高畝町47番地 日新電機株式会社内 Kyoto (JP). 黒田 和宏 (KURODA, Kazuhiro); 〒6158686 京都府京都市右京区梅津高畝町47番地 日新電機株式会社内 Kyoto (JP).
- (74) 代理人: 特許業務法人深見特許事務所 (FUKAMI PATENT OFFICE, P.C.); 〒5300005 大阪府大阪市北区中之島二丁目2番7号 中之島セントラルタワー Osaka (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: CURRENT-LIMITING/FLOW CONTROL DEVICE
(54) 発明の名称: 限流・潮流制御装置

FIG.1



(57) Abstract: This current-limiting/flow control device (10) is provided with the following: a superconducting current-limiting element (8) that contains a superconductor; a series capacitor (1); and a parallel circuit. The series capacitor (1) is connected in series with the superconducting current-limiting element (8). The parallel circuit contains an inductor (2) that is connected in parallel with the series circuit containing the superconducting current-emitting element (8) and the series capacitor (1). As such, if a fault occurs, the superconducting current-limiting element (8) limits the current flow autonomously as the overcurrent resulting from the fault causes the superconductor in the superconducting current-limiting element (8) to transition to a normal conduction state. This makes it possible to reliably prevent an excessive load (an excessive voltage) from being applied across the terminals of the series capacitor (1) as a result of the fault. This in turn obviates the need to provide an arrester to protect the series capacitor (1) as in conventional devices, making it possible to simplify the architecture of this current-limiting/flow control device (10).

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2014/162949 A1



添付公開書類:

- 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

この発明に従った限流・潮流制御装置 (10) は、超電導体を含む超電導限流素子 (8) と、直列コンデンサ (1) と、並列回路とを備える。直列コンデンサ (1) は超電導限流素子 (8) と直列に接続されている。並列回路は、超電導限流素子 (8) と直列コンデンサ (1) とを含む直列回路に並列に接続されたリアクトル (2) を含む。このようにすれば、事故発生時の過電流によって超電導限流素子 (8) の超電導体が常電導状態へ移行することにより、超電導限流素子 (8) が自律的に限流動作を行なう。そのため、上記事故に起因して直列コンデンサ (1) の端子間に過大な負荷 (過大な電圧) が加えられることを確実に防止できる。したがって、従来の装置のように直列コンデンサ (1) の保護のためのアレスタを設置する必要が無く、限流・潮流制御装置 (10) の構成を簡略化できる。

明 細 書

発明の名称： 限流・潮流制御装置

技術分野

[0001] この発明は、限流・潮流制御装置に関し、より特定的には超電導体を利用した限流・潮流制御装置に関する。

背景技術

[0002] 従来、電力系統に設置されるLC並列型の潮流制御装置が知られている。このような潮流制御装置の運用においては、コンデンサの挿入効果によってインピーダンスが補償された系統の短絡容量が増加する場合がある。このように短絡容量が大きい系統へ潮流制御装置を適用する場合、潮流制御に加えて短絡故障時の限流機能も当該装置に付与し、短絡電流対策を行なうことが望ましい。このような装置の1つとして、サイリスタ制御直列コンデンサ（TCSC）に、限流リアクトルを直列に接続して限流機能を付与した装置（限流・潮流制御装置）が提案されている（たとえば、山崎雄二 他4名、「サイリスタ制御直列コンデンサ応用限流器の開発」、電気学会論文誌B、一般社団法人電気学会、平成13年、121第4巻、p. 514-519（非特許文献1）参照）。

先行技術文献

非特許文献

[0003] 非特許文献1：山崎雄二 他4名、「サイリスタ制御直列コンデンサ応用限流器の開発」、電気学会論文誌B、一般社団法人電気学会、平成13年、121第4巻、p. 514-519

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] しかし、上述した従来の限流・潮流制御装置では、限流動作を行なうときに、事故電流を制御回路で検出する場合の時間遅れに起因して、サイリスタスイッチがフル導通するまでに遅れが発生する。このため、TCSCのコン

デンサを保護するためにアレスタなどの保護装置を設置する必要があった。このようなアレスタの設置は限流・潮流制御装置の装置構成を複雑化し、コストの増大要因となる。さらに、アレスタの復帰にはある程度の時間が必要であるため、その時間についてはTCSCをバイパスする必要があり、装置を設置した送電線の送電電力を制限するといった制約が発生するケースが考えられる。

[0005] 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、この発明の目的は、装置構成が複雑化することなく、制御上の制約の少ない限流・潮流制御装置を提供することである。

課題を解決するための手段

[0006] この発明に従った限流・潮流制御装置は、超電導体を利用した限流・潮流制御装置であって、超電導体を含む超電導限流素子と、コンデンサと、並列回路とを備える。コンデンサは超電導限流素子と直列に接続されている。並列回路は、超電導限流素子とコンデンサとを含む直列回路に並列に接続されたリアクトルを含む。

[0007] このようにすれば、事故発生時の過電流（短絡電流）によって超電導限流素子の超電導体が常電導状態へ移行することにより、超電導限流素子が自律的に限流動作を行なう。そのため、上記事故に起因してコンデンサの端子間に過大な負荷（過大な電圧）が加えられることを確実に防止できる。したがって、従来の装置のようにコンデンサ保護のためのアレスタを設置する必要が無く、限流・潮流制御装置の構成を簡略化できる。さらに、従来の装置のようにアレスタを用いていないため、当該アレスタの復帰時間に起因する制御上の制約はない。また、超電導限流素子は過電流によって自律的に常電導状態へと移行するため、確実な限流動作を行なうことができる。

発明の効果

[0008] 本発明によれば、装置構成が複雑化することなく、制御上の制約の少ない限流・潮流制御装置を提供できる。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]本発明に従った限流・潮流制御装置の実施の形態1を説明するための回路図である。

[図2]本発明に従った限流・潮流制御装置の実施の形態2を説明するための回路図である。

[図3]検討したモデルシステムを示す模式図である。

[図4]本発明の実施例に関するシミュレーション結果を示すグラフである。

[図5]本発明の実施例に関するシミュレーション結果を示すグラフである。

[図6]本発明の実施例に関するシミュレーション結果を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0010] 以下、図面に基づいて本発明の実施の形態を説明する。なお、以下の図面において同一または相当する部分には同一の参照番号を付し、その説明は繰返さない。

[0011] (実施の形態1)

図1を参照して、本発明による限流・潮流制御装置を説明する。本発明による限流・潮流制御装置10は、直列コンデンサ1と、超電導限流素子8と、リアクトル2、11と、バイパススイッチ3と、サイリスタスイッチ4と、制御回路5とを備える。超電導限流素子8は直列コンデンサ1と接続されている。直列コンデンサ1と超電導限流素子8とからなる直列回路と並列に接続されるように、サイリスタスイッチ4およびリアクトル2を含む並列回路が形成されている。この並列回路は、超電導限流素子8と直列コンデンサ1とからなる上記直列回路と、接続ポイント21、22において接続されている。並列回路においては、リアクトル2と直列にサイリスタスイッチ4が接続されている。サイリスタスイッチ4には制御回路5が接続されている。上記直列回路と並列に接続されるように、バイパススイッチ3およびリアクトル11を含む他の並列回路が形成されている。当該他の並列回路は、超電導限流素子8と直列コンデンサ1とからなる上記直列回路と、接続ポイント21、22において接続されている。当該他の並列回路においては、リアクトル11と直列にバイパススイッチ3が接続されている。バイパススイッチ

3は、装置の点検時に超電導限流素子8などをバイパスするために設けられている。

[0012] 次に、図1に示した限流・潮流制御装置10の動作について説明する。通常運転時では、超電導限流素子8に含まれる超電導体は超電導状態に維持される。そのため、直列コンデンサ1、リアクトル2およびサイリスタスイッチ4によりTCSCが構成される。当該TCSCでは、制御角を変更することによってそのインピーダンス特性を容量性から誘導性にまでほぼ連続的に変更できる。したがって、当該TCSCのインピーダンス特性を調整することにより、限流・潮流制御装置10が接続された電力系統の潮流を制御することができる。

[0013] 一方、限流・潮流制御装置10が接続された電力系統において事故（たとえば短絡事故）が発生した場合、当該事故に起因する過電流によって超電導限流素子8が常電導状態へ移行する。この結果、超電導限流素子8が自律的に限流動作を行なう。そして、サイリスタスイッチ4を導通させることで、超電導限流素子8に流れる電流をリアクトル2を含む並列回路に流すことができる。この結果、リアクトル2が限流リアクトルとして機能するとともに、超電導限流素子8を確実に超電導状態へと復帰させることができる。また、直列コンデンサ1の保護のための別途保護装置（たとえばアレスタ）を設置する必要が無いため、限流・潮流制御装置10の構成を簡略化できるとともにアレスタなどに起因する制御上の制約を無くすることができる。

[0014] 図1に示した限流・潮流制御装置10によれば、限流・潮流制御装置10が設置された電力系統における事故などにより限流・潮流制御装置10に過大な電流が流れた場合に、超電導限流素子8がクエンチすることによって迅速かつ自律的に限流動作するので、直列コンデンサ1の端子間に過電圧が印加されることを確実に抑制することができる。また、上述のような限流動作の後には、サイリスタスイッチ4を含む並列回路によって電流が超電導限流素子8をバイパスして流れることになるので、リアクトル2でのインピーダンス（限流インピーダンス）により過電流を限流するとともに、超電導限流素

子8において発生する処理熱エネルギーを小さくすることができる。この結果、超電導限流素子8の高速復帰が可能となる。

[0015] (実施の形態2)

図2を参照して、本発明による限流・潮流制御装置の実施の形態2を説明する。

[0016] 図2を参照して、限流・潮流制御装置10は基本的には図1に示した限流・潮流制御装置10と同様の構成を備えるが、並列回路の構成が図1に示した限流・潮流制御装置10とは異なっている。すなわち、図2に示した限流・潮流制御装置10においては、並列回路にサイリスタスイッチ4が配置されておらず、当該並列回路にはリアクトル2およびタップ付きリアクトル9が直列に接続されている。タップ付きリアクトル9には制御回路5が接続されている。このような構成の限流・潮流制御装置10によっても、図1に示した限流・潮流制御装置10と同様に、直列コンデンサ1の端子間過電圧を抑制するとともに、限流・潮流制御装置10の構成を簡略化してアレスタなどに起因する制御上の制約を無くすることができる。

[0017] なお、図2に示した構成の限流・潮流制御装置10では、図1に示したサイリスタスイッチ4を用いた場合に比べて、同じ潮流制御に必要となる並列回路のリアクトルのインダクタンスは大きくなるため、図1に示した装置構成より故障電流を抑制する効果が得られる。ただし、図2に示した構成のタップ付きリアクトル9においては、図1に示したサイリスタスイッチ4に比べてインダクタンス(L)の変化速度が遅いため、特に故障除去後の1回線送電時における電圧の維持や安定性に問題が無く、タップ付きリアクトル9のタップ操作時間中の送電線リアクタンス補償度の低下がある程度許容されるような場合に、図2に示した構成の限流・潮流制御装置10を適用することが考えられる。

[0018] 以下、上述した実施の形態と一部重複する部分もあるが、本発明の特徴的な構成を列挙する。

[0019] この発明に従った限流・潮流制御装置10は、超電導体を利用した限流・

潮流制御装置 10 であって、超電導体を含む超電導限流素子 8 と、コンデンサ（直列コンデンサ 1）と、並列回路とを備える。直列コンデンサ 1 は超電導限流素子 8 と直列に接続されている。並列回路は、超電導限流素子 8 と直列コンデンサ 1 とを含む直列回路に並列に接続されたリアクトル 2 を含む。

[0020] このようにすれば、事故発生時の過電流（短絡電流）によって超電導限流素子 8 の超電導体が常電導状態へ移行することにより、超電導限流素子 8 が自律的に限流動作を行なう。そのため、上記事故に起因して直列コンデンサ 1 の端子間に過大な負荷（過大な電圧）が加えられることを確実に防止できる。したがって、従来の装置のように直列コンデンサ 1 の保護のためのアレスタを設置する必要が無く、限流・潮流制御装置 10 の構成を簡略化できる。さらに、従来の装置のようにアレスタを用いていないため、当該アレスタの復帰時間に起因する制御上の制約はない。また、超電導限流素子 8 は過電流によって自律的に常電導状態へと移行するため、確実な限流動作を行なうことができる。

[0021] 上記限流・潮流制御装置 10 において、並列回路に含まれるリアクトル 2 は限流リアクトルとしても機能する。この場合、事故発生時の過電流によって超電導限流素子 8 が限流動作を行なうことで、超電導限流素子 8 と直列コンデンサ 1 とを含む直列回路と並列に接続された並列回路へ電流が流れたときに、当該並列回路のリアクトル 2 によって限流動作を行なうことができる。

[0022] 上記限流・潮流制御装置 10 において、並列回路は、リアクトル 2 と直列に接続されたサイリスタスイッチ 4 を含んでもよい。この場合、事故発生直後では超電導限流素子 8 の自律的な動作によって直列コンデンサ 1 への負荷の印加を防止するとともに、サイリスタスイッチ 4 を動作させる（フル導通させる）ことによって超電導限流素子 8 に流れる電流を確実に並列回路へと流すことができる。この結果、超電導限流素子 8 に流れる事故電流を少なくでき、超電導限流素子 8 を早期かつ確実に復帰させることができる。

[0023] 上記限流・潮流制御装置 10 において、並列回路は、リアクトル 2 と直列

に接続されたタップ付きリアクトル9を含んでいてもよい。この場合、上述のようなサイリスタスイッチ4を用いる場合より並列回路におけるインダクタンスが大きくなるため、サイリスタスイッチ4を用いた場合より故障電流をより抑制できる。

[0024] (実験例)

以下、本発明の効果を確認するためシミュレーションを行なった。

[0025] <シミュレーション条件>

(1) シミュレーションに用いたモデル系統について

図3を参照して、シミュレーションにおいて検討したモデル系統は、電源14から変圧器15を介して送電している系統であり、変圧器15の2次母線に新しく電源13が設置されたケースを想定している。変圧器2次母線12の定格電圧は77kVとした。変圧器15は、定格容量250MVAの3台運用を想定した。変圧器15の短絡インピーダンスは22%（自己容量ベース）と想定した。

[0026] 新設の電源13の条件としては、容量が300MVAという条件を想定した。また、新設される電源13の過渡リアクタンス X_d' は20%（自己容量ベース）と想定した。

[0027] 限流・潮流制御装置10は、母線12から送電線16へと繋がる線路の送電端に設置される。つまり、限流・潮流制御装置10を介して母線12と2回線の送電線16が接続されている。

[0028] 送電線16の両端には遮断器18が設置されている。各送電線16のリアクタンスはインピーダンス $L = 1 \text{ mH} / \text{km}$ とし、R成分およびC成分は無視した。さらに各送電線16の長さは50km、適用周波数を60Hzとした。

[0029] 図3に示したモデル系統は、後述するように限流・潮流制御装置10を設置しなければ短絡電流が遮断器の定格遮断電流31.5kAを超過するケースとした。系統の背後インピーダンスを変圧器15の短絡インピーダンスから29.33%@1000MVA、新設の電源13の過渡リアクタンスを6

6. 7% @ 1000 MVA とすると、新設の電源 13 と背後系統との合成インピーダンスは 20.4% @ 1000 MVA となる。この系統における母線 12 至近端 3 相短絡時の短絡電流 I_s は 36.8 kA となる。

[0030] また、モデル系統については、限流動作の検証のため、検討が比較的容易な放射状系統とした。

[0031] また、限流・潮流制御装置 10 の構成は図 1 に示した限流・潮流制御装置 10 と同様とした。以下のシミュレーションにおいては、限流動作の検証を容易にするため、図 3 に示すように限流・潮流制御装置 10 により 2 回線一括補償を行なう条件でシミュレーションを行なった。

[0032] (2) 負荷および送電線潮流について

送電線 16 の送電容量については、77 kV 用の送電線として適用される送電線のうち比較的容量の大きい送電線を想定し、熱的な条件で決まる 1 回線の常時容量は 170 MW とした。

[0033] 本シミュレーションでは、放射状系統で負荷を切り替えられないケースを想定する。この場合、1 回線故障時には健全回線側に全電流が流れることになる。したがって、最大送電容量は 2 回線で 170 MW となる。

[0034] 一方、送電線の安定度として相差角 15° を想定すると、安定度上の送電電力は 80 MW 以下 (1 回線あたり) が目安となる。したがって、1 回線送電時でも、線路リアクタンス X_1 (50 km) を 50% 補償すれば、160 MW の送電が可能である。

[0035] 上述した検討に基づき、シミュレーションに用いる系統については送電線 16 の X_1 (50 km) を 50% (25 km 相当) 補償することで送電容量を増加し、77 kV 送電線 2 回線の送電電力を 160 MW とする、という条件とした。

[0036] (3) 限流・潮流制御装置の条件について

限流・潮流制御装置 10 の直列コンデンサ 1 の容量性リアクタンス X_c 、およびリアクトル 2 の誘導性リアクタンス X_L について、以下のように検討した。

- [0037] まず、定常時のリアクタンスは、線路リアクタンスの50%補償とした。2回線状態では、線路リアクタンス $X_1 = \omega \times 1 \text{ mH} \times 50 \text{ km} / 2 \text{ 回線} = 9.42 \Omega$ であり、77 kV、1000 MVAベースでは $X_1 = 1.59 \text{ pu}$ である。よって、50%補償時の限流・潮流制御装置10のリアクタンス X_{FCL} は $-j0.8 \text{ pu}$ となる。さらに、故障除去後の1回線送電時には、 $X_{FCL} = -j1.6 \text{ pu}$ として1回線の送電線リアクタンス $X (= 3.18 \text{ pu})$ の50%補償とする。
- [0038] また、直列コンデンサ1およびリアクトル2に流れる定常電流について、LC並列型の場合、線路電流に対して限流・潮流制御装置10の直列コンデンサ1およびリアクトル2に流れる電流が増加し、装置コストの増加要因となる。そこで、2回線送電時での直列コンデンサ1およびリアクトル2に流れる常時電流を、線路電流の2倍以下にすることとした。
- [0039] よって、2回線送電時は容量性リアクタンス $X_c = -j0.4 \text{ pu}$ 、誘導性リアクタンス $X_L = j0.8 \text{ pu}$ とし、1回線送電時は $X_L = j0.53 \text{ pu}$ に調整することとした。
- [0040] 図1に示した限流・潮流制御装置10では、この条件は、固定のリアクタンス(X)は $j0.2 \text{ pu}$ とし、電圧ピークからの角度を β とした場合に $30^\circ \leq \text{点弧角 } \beta \leq 40^\circ$ の範囲で使用することで実現する事とした。また、この場合、サイリスタスイッチ4をフル導通した時の X_L は、固定のリアクタンス(X) $j0.2 \text{ pu}$ である。
- [0041] 次に、短絡電流抑制に必要なリアクトル2の誘導性リアクタンス X_L について検討した。上記のようなモデル系統において、図3の事故点17にて3相短絡が発生することにより電流値が最大となったときの故障電流を30 kA以下に抑制することを検討した。このような条件を満足する限流・潮流制御装置10の特性は、以下のように決定した。具体的には、実施例である限流・潮流制御装置10の限流リアクトルとして機能するリアクトル2の誘導性リアクタンス(X_L)と、上述の電源13と背後系統との合成インピーダンス $20.4\% @ 1000 \text{ MVA}$ から故障電流 $I_s = 1 / (X_L + 0.20$

4) $\times 10000000 \text{ kVA} / (\sqrt{3} \times 77 \text{ kV}) \leq 30 \text{ kA}$ となる条件は $X_L \geq 0.046 \text{ pu}$ となる。したがって、リアクトル2の誘導性リアクタンス X_L は 0.046 pu 以上となる。

[0042] サイリスタスイッチ4をフル導通した時の誘導性リアクタンス X_L = 固定のリアクタンス $X = j0.2 \text{ pu}$ は、 0.046 pu 以上という条件を満足する。つまり、サイリスタスイッチ4をフル導通したときの限流効果は十分であることがわかる。

[0043] また、図1に示した限流・潮流制御装置10における超電導限流素子8の解析用モデルとしては、電気学会技術報告第1088号の4.3.1 (SN 転位型超電導限流器のEMTP解析簡易モデル)を用いた。また、故障除去後の限流抵抗は、故障除去から200msまでの間で直線的に減少するように設定した。そして、金属系NbTi線材からなる6.6kV 1.5kA級クエンチ型限流器用超電導コイルによる抵抗発生波形(発生した抵抗値の時間変化)を参考にして、超電導限流素子8の動作時間 T_{op} は1msとした。

[0044] また、限流・潮流制御装置10における超電導限流素子8の動作開始電流は 4800 Arms (6.7 kAp)とした。この値は、超電導限流素子に流れる定常電流 (2400 A)の2倍となる値である。また、超電導限流素子8の常電導状態における限流抵抗は 8Ω とした。

[0045] (4) シミュレーションで想定した条件

想定した故障種別としては、図3に示した事故点17において3相短絡(3LS)が発生したと想定した(電源側母線至近端3LS)。故障シーケンスとしては、時刻 $T = 0.3$ 秒において3相短絡が発生し、時刻 $T = 0.4$ 秒において遮断器18が動作し(CB両端開放)、故障回線が遮断される。そして、時刻 $T = 0.6$ 秒において、限流器(超電導限流素子8)が定常状態へ復帰するとした。

[0046] <結果>

図4~6に、本発明による限流・潮流制御装置10を適用した場合のシミュレーションの結果を示す。図4~6において、各グラフの横軸は時間であ

り、図4のグラフの縦軸は故障電流（限流・潮流制御装置通過電流）を表わしている。なお、故障電流の単位はk Aである。また、図5の縦軸は限流・潮流制御装置10の直列コンデンサにおけるコンデンサ端子間電圧であり、その単位はk Vである。また、図6の縦軸は限流抵抗を示しており、その単位は Ω である。図4から分かるように、本発明の実施例においては、直流分を除いた短絡電流の交流成分は30 k A r m s（=42.4 k A p以下に抑制されており、適切に限流されている。なお、図4～図6では、限流・潮流制御装置の通過電流における3相のそれぞれの成分をグラフA、グラフB、グラフCとして示している。

[0047] また、図5から分かるように、故障時における限流・潮流制御装置10での直列コンデンサ1のコンデンサ端子間電圧の大きさは、限流器の若干の動作遅れなどの影響のため、故障直後の半波において3.2 p u程度の過電圧が発生しているが、それ以降は定常電圧と同程度に抑制されている。

[0048] このように、限流・潮流制御装置10において自律的かつ高速な限流効果を示す超電導限流素子8を適用することで、直列コンデンサ1を過剰な端子間電圧から保護するためのアレスタを設置する必要が無く、また故障時に直列コンデンサ1をバイパスするためのバイパススイッチ動作が不要となる。

[0049] なお、上述したシミュレーションにおいて、図1に示した構成の限流・潮流制御装置10を用いた場合を検討したが、図2に示すようなタップ付きリアクトル9を備える限流・潮流制御装置10を用いても、同様の効果を得ることができる。具体的には、図2に示した限流・潮流制御装置10の直列コンデンサ1の容量性リアクタンス X_c 、リアクトル2の誘導性リアクタンス X_{L1} 、タップ付きリアクトル9の誘導性リアクタンス X_{L2} について、容量性リアクタンス $X_c = -j0.4 \text{ pu}$ 、誘導性リアクタンス $X_{L1} = j0.53 \text{ pu}$ 、誘導性リアクタンス $X_{L2} = 0 \sim j0.27 \text{ pu}$ とした。なお、2回線定常時の誘導性リアクタンス $X_{L2} = j0.27 \text{ pu}$ とした。このときも、 $X_{L2} = j0.8 \text{ pu}$ であり、0.046 pu以上という条件を満足する。このような条件を用いてシミュレーションを行なっても、図1に示し

た構成の限流・潮流制御装置 10 を用いた場合と同様の効果を得られた。

[0050] 今回開示された実施の形態および実施例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説明ではなくて請求の範囲によって示され、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が含まれることが意図される。

産業上の利用可能性

[0051] この発明は、超電導限流素子を含む限流・潮流制御装置に特に有利に適用される。

符号の説明

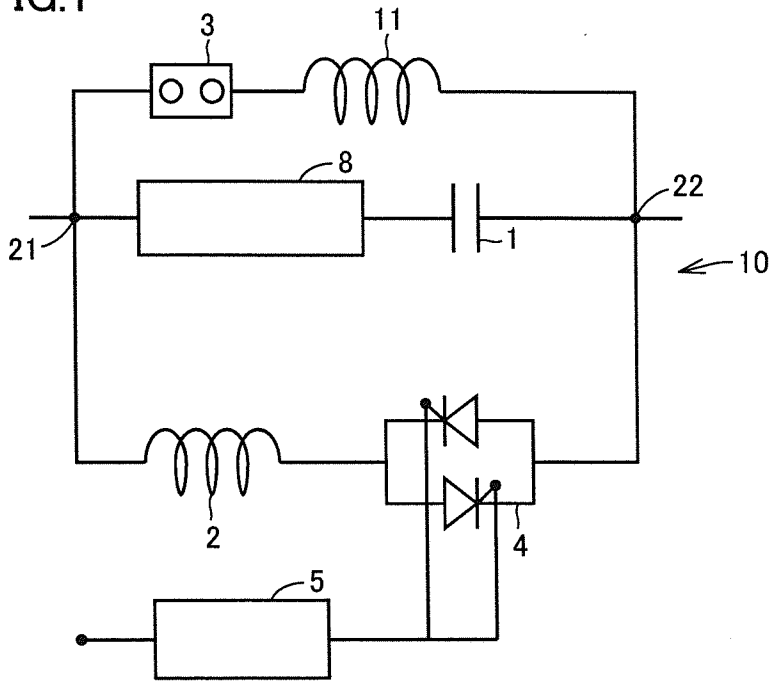
[0052] 1 直列コンデンサ、2, 11 リアクトル、3 バイパススイッチ、4 サイリスタスイッチ、5 制御回路、6 限流リアクトル、8 超電導限流素子、9 タップ付きリアクトル、10, 100 限流・潮流制御装置、12 変電所母線、16 送電線、13 新設電源、14 電源、15 変圧器、17 事故点、18 遮断器、21, 22 接続ポイント。

請求の範囲

- [請求項1] 超電導体を利用した限流・潮流制御装置であって、
前記超電導体を含む超電導限流素子と、
前記超電導限流素子と直列に接続されたコンデンサと、
前記超電導限流素子と前記コンデンサとを含む直列回路に並列に接続されたリアクトルを含む並列回路とを備える、限流・潮流制御装置。
- [請求項2] 前記並列回路に含まれる前記リアクトルは限流リアクトルとして機能する、請求項1に記載の限流・潮流制御装置。
- [請求項3] 前記並列回路は、前記リアクトルと直列に接続されたサイリスタスイッチを含む、請求項1または2に記載の限流・潮流制御装置。
- [請求項4] 前記並列回路は、前記リアクトルと直列に接続されたタップ付きリアクトルを含む、請求項1または2に記載の限流・潮流制御装置。

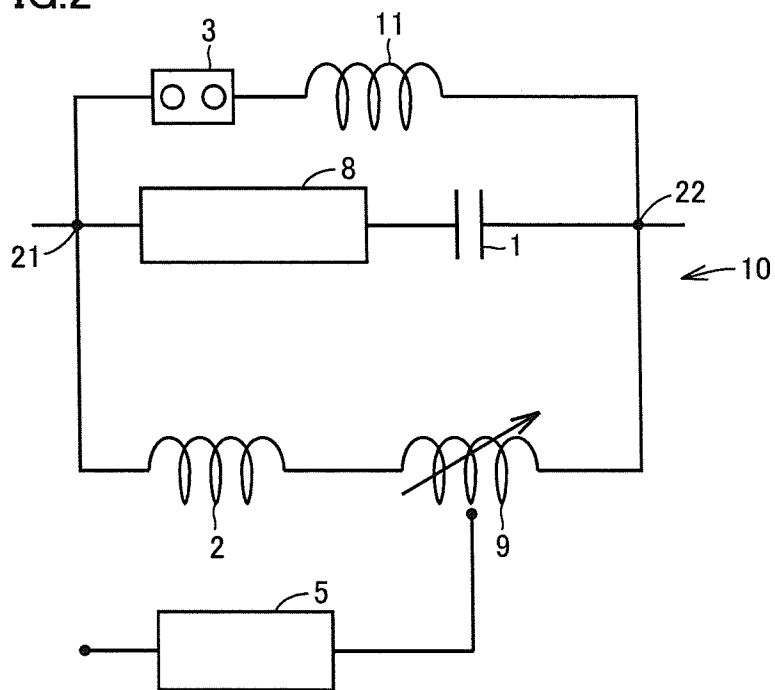
[図1]

FIG.1



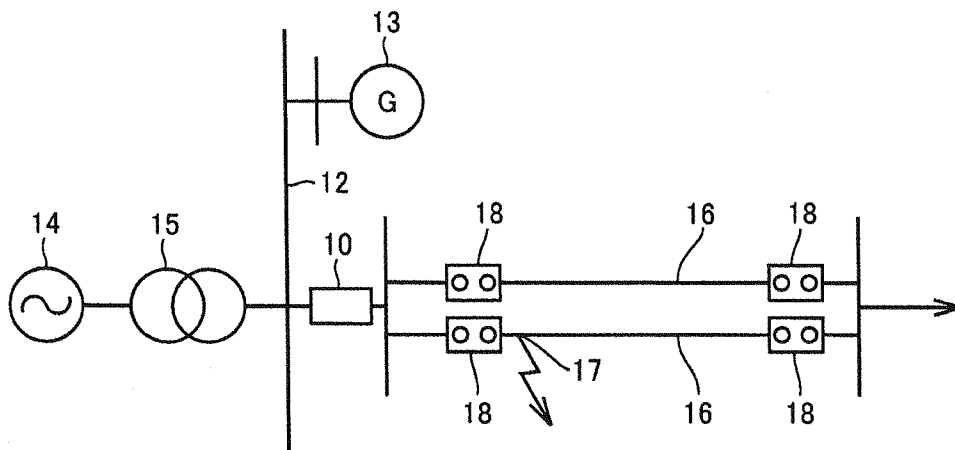
[図2]

FIG.2



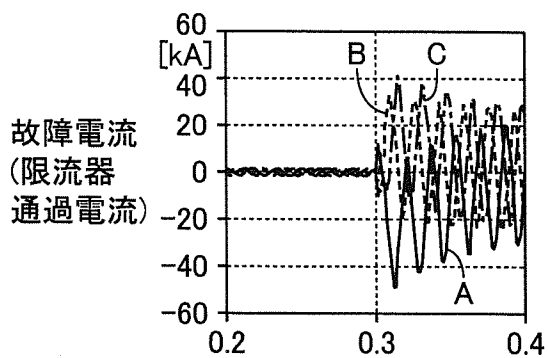
[図3]

FIG.3



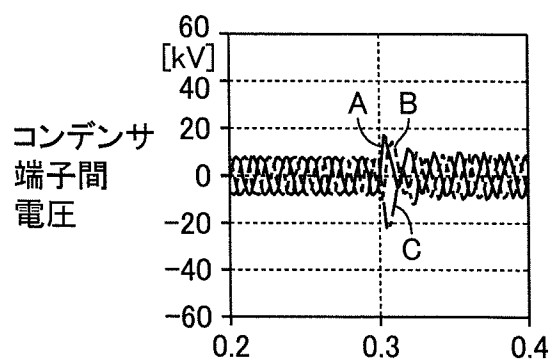
[図4]

FIG.4



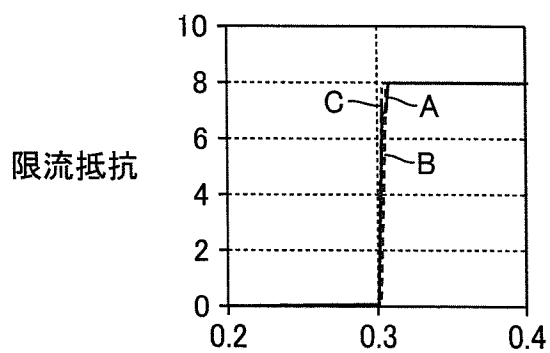
[図5]

FIG.5



[図6]

FIG.6



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2014/058535

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H02H9/02 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H02H9/02

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

| | | | |
|---------------------------|-----------|----------------------------|-----------|
| Jitsuyo Shinan Koho | 1922-1996 | Jitsuyo Shinan Toroku Koho | 1996-2014 |
| Kokai Jitsuyo Shinan Koho | 1971-2014 | Toroku Jitsuyo Shinan Koho | 1994-2014 |

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|-----------|---|-----------------------|
| X | JP 2004-350337 A (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology), 09 December 2004 (09.12.2004), paragraphs [0005] to [0008]; fig. 2 (Family: none) | 1, 2 |
| A | JP 4-207924 A (The Tokyo Electric Power Co., Inc.), 29 July 1992 (29.07.1992), entire text; all drawings (Family: none) | 1-4 |
| A | JP 9-130966 A (Nissin Electric Co., Ltd.), 16 May 1997 (16.05.1997), entire text; all drawings (Family: none) | 1-4 |

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

| | |
|---|--|
| * Special categories of cited documents: | "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention |
| "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance | "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone |
| "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date | "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art |
| "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) | "&" document member of the same patent family |
| "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means | |
| "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed | |

| | |
|--|---|
| Date of the actual completion of the international search 28 April, 2014 (28.04.14) | Date of mailing of the international search report 13 May, 2014 (13.05.14) |
|--|---|

| | |
|--|--------------------|
| Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office | Authorized officer |
| Facsimile No. | Telephone No. |

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/058535

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|-----------|---|-----------------------|
| A | JP 11-146555 A (Toshiba Corp.), 28 May 1999 (28.05.1999), entire text; all drawings (Family: none) | 1-4 |
| A | JP 2007-236108 A (Toshiba Corp.), 13 September 2007 (13.09.2007), entire text; all drawings (Family: none) | 1-4 |

| | | |
|--|---|--|
| A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. H02H9/02(2006.01)i | | |
| B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. H02H9/02 | | |
| 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2014年 日本国実用新案登録公報 1996-2014年 日本国登録実用新案公報 1994-2014年 | | |
| 国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語) | | |
| C. 関連すると認められる文献 | | |
| 引用文献の カテゴリー* | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示 | 関連する 請求項の番号 |
| X | JP 2004-350337 A (独立行政法人産業技術総合研究所) 2004.12.09, 【0005】-【0008】【図2】 (ファミリーなし) | 1, 2 |
| A | JP 4-207924 A (東京電力株式会社) 1992.07.29, 全文、全図 (ファミ リリーなし) | 1-4 |
| A | JP 9-130966 A (日新電機株式会社) 1997.05.16, 全文、全図 (ファミ リリーなし) | 1-4 |
| <input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。 | | |
| * 引用文献のカテゴリー 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願 | | の日の後に公表された文献 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」同一パテントファミリー文献 |
| 国際調査を完了した日 28.04.2014 | 国際調査報告の発送日 13.05.2014 | |
| 国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号 | 特許庁審査官 (権限のある職員) 石川 晃 電話番号 03-3581-1101 内線 3568 | 5 T 3986 |

| C (続き) . 関連すると認められる文献 | | |
|-----------------------|---|----------------|
| 引用文献の カテゴリー* | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示 | 関連する 請求項の番号 |
| A | JP 11-146555 A (株式会社東芝) 1999.05.28, 全文、全図 (ファミリーなし) | 1-4 |
| A | JP 2007-236108 A (株式会社東芝) 2007.09.13, 全文、全図 (ファミリーなし) | 1-4 |