

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6683716号  
(P6683716)

(45) 発行日 令和2年4月22日(2020.4.22)

(24) 登録日 令和2年3月30日(2020.3.30)

(51) Int.Cl.	F I
HO 1 H 33/59 (2006.01)	HO 1 H 33/59 C
HO 1 H 9/54 (2006.01)	HO 1 H 9/54 A

請求項の数 6 (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2017-537914 (P2017-537914)	(73) 特許権者	515322297
(86) (22) 出願日	平成28年1月28日 (2016.1.28)		ゼネラル エレクトリック テクノロジー
(65) 公表番号	特表2018-503952 (P2018-503952A)		ゲゼルシャフト ミット ベシュレンク
(43) 公表日	平成30年2月8日 (2018.2.8)		テル ハフツング
(86) 国際出願番号	PCT/EP2016/051745		General Electric Te
(87) 国際公開番号	W02016/120357		chnology GmbH
(87) 国際公開日	平成28年8月4日 (2016.8.4)		スイス国 バーデン ブラウン ボヴェリ
審査請求日	平成31年1月11日 (2019.1.11)		シュトラッセ 7
(31) 優先権主張番号	15153334.6		Brown Boveri Strass
(32) 優先日	平成27年1月30日 (2015.1.30)	(74) 代理人	100105588
(33) 優先権主張国・地域又は機関	欧州特許庁 (EP)		弁理士 小倉 博
		(74) 代理人	100129779
			弁理士 黒川 俊久

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 対向電流の発生を有するDC回路遮断器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

回路遮断器装置(10)であって、主分岐(B<sub>M</sub>)と、前記主分岐(B<sub>M</sub>)と電氣的に並列な補助分岐(B<sub>A</sub>)と、を含み、前記主分岐(B<sub>M</sub>)は、少なくとも1つの半導体スイッチ(Q<sub>p</sub>)で構成された遮断器セルと直列の少なくとも1つの機械的スイッチ-断路器(S1、S2)と、前記少なくとも1つの遮断器セルと並列であって、エネルギー蓄積素子(C<sub>p</sub>)を含むスナバ回路(S<sub>n2</sub>)と、を含み、前記機械的スイッチ-断路器(S1、S2)は、第1の動作モードでは前記主分岐(B<sub>M</sub>)に電流を選択的に流すことができ、または第2の動作モードでは前記主分岐(B<sub>M</sub>)から前記補助分岐(B<sub>A</sub>)に電流を転流するように切り替えることができ、

前記スナバ回路(S<sub>n2</sub>)は、前記エネルギー蓄積素子(C<sub>p</sub>)を放電することによって電流が前記主分岐(B<sub>M</sub>)から前記補助分岐(B<sub>A</sub>)へ転流された場合に、前記主分岐(B<sub>M</sub>)に対向電流を生成するように構成されたブリーダ抵抗器(R2)をさらに含むことを特徴とする回路遮断器装置(10)。

【請求項2】

前記スナバ回路(S<sub>n</sub>)は、前記エネルギー蓄積素子(C<sub>p</sub>)と直列に接続されたダイオード(D<sub>p</sub>)を含み、前記ブリーダ抵抗器(R2)は前記ダイオードと並列に配置される、請求項1に記載の回路遮断器装置(10)。

【請求項3】

前記少なくとも1つの遮断器セルと並列のサージアレスタ(R<sub>p</sub>)をさらに含む、請求

項 1 または 2 に記載の回路遮断器装置 ( 1 0 ) 。

【請求項 4】

前記補助分岐 (  $B_A$  ) は、キャパシタ (  $C$  )、抵抗器 (  $R$  )、およびサージアRESTA (  $P$  ) の並列接続によって構成されたスイッチング支援モジュールと直列の少なくとも 1 つのサイリスタ (  $T_1$  ) をさらに含む、請求項 1 または 2 に記載の回路遮断器装置 ( 1 0 ) 。

【請求項 5】

直流電流を運ぶように構成された送電線と、前記送電線における直流電流の流れを制御可能に中断させるために前記送電線に結合された、請求項 1 乃至 4 のいずれか一項に記載の回路遮断器装置 ( 1 0 ) と、を含む電力システム。

10

【請求項 6】

高電圧直流電力送電システムを含む、請求項 5 に記載の電力システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、高電圧直流 ( HVDC ) 電力伝送に使用される回路遮断器装置に関する。

【背景技術】

【0002】

送電網事業者は、高い電力を長距離にわたって効率的に運ぶために高電圧直流 ( HVDC ) をますます使用している。主な理由は、このような高電力長距離リンクの場合には、直流 ( DC ) は容量性または誘導性の損失なしに電力を伝送できるので、交流 ( AC ) より優れているということである。

20

【0003】

DC コンバータステーションはまた、AC 回路網の周波数および位相を切り離すことによって、関連する AC 回路網の安定性を改善する。したがって、HVDC リンクは、風力や太陽エネルギーなどの分散型供給源および間欠型供給源からの電力の寄与が増加することによって挑戦される送電網の安定化に非常に有用である。

【0004】

電力回路網の重要な要素は、回路遮断器である。その役割は、誤動作した要素 (例えば、落雷または海底ケーブルの破損に続く) の電流を急速に切断することによって、回路網を保護し、障害および停電を防止することである。このようにして、障害を残りの送電網から分離する。回路遮断器は、複雑な相互接続された送電網を AC または DC として保護するために不可欠である。

30

【0005】

AC 回路網では、電流は周期的にゼロを通過して ( 50 Hz 回路網では 100 回 / 秒 ) 駆動され、電流ゼロは遮断の理想的な瞬間である。

【0006】

しかし、DC 回路網では、自然な電流ゼロが存在せず、1 つの大きな技術的課題は、障害電流が上昇を止めないということである。

【0007】

40

電流ゼロが存在しない場合には、回路遮断器のスイッチによって分離される接点の間に電気アークが発生する。これは接点を侵食して劣化させ、それによって絶縁耐性に悪影響を及ぼし、スイッチの寿命を低下させる可能性がある。

【0008】

したがって、人工的な電流ゼロを生成することができる素子を備えた DC 遮断器が開発されている。

【0009】

図 1 に示すように、例えば Dag Andersson 博士と Anders Henriksson の論文「Passive and Active DC Breakers in the Three Gorges - Changzhou HVDC Proj

50

ect」(Cigre International Conference on Power Systems, Wuhan, China, 3-5 September, 2001, Page 391)に記載されているように、そのような人工的な電流ゼロは、回路遮断器BにLC発振回路を並列に付加することによって達成することができる。ここで、LC回路は、インダクタL、断続器I、および永久にプリチャージされるキャパシタCの直列配置を含む。

【0010】

図1のDC遮断器は、電流が定常状態で流れる遮断器Bを有する低インピーダンス分岐(主分岐)と、LC回路を有する補助分岐と、サージアレスタPを有するエネルギー吸収器分岐と、の3つの分岐を含む。

10

【0011】

スイッチングのシナリオは、2つのステップのプロセスである。

【0012】

ステップ1: 遮断器Bの閉鎖位置では、電流は主分岐を流れて流れ、補助分岐およびエネルギー吸収器分岐は何の役割も果たさない。トリップの順序では、主分岐から補助分岐への電流の転流を開始するために、電流が依然として主分岐を流れる間に遮断器の接点が発離される。これにより、遮断器の接点の間に長さが増大するアークが生じる。接点が十分に分離されると、補助分岐の断続器Iが閉じられる。プリチャージされたキャパシタCは、この発振回路のキャパシタンスおよびインダクタンスによって課される周波数でインダクタLおよび遮断器Bを介して放電する。キャパシタの電圧が十分に高い場合には、放電電流は直流電流を超え、電流はゼロを横切り、主分岐の電流は1周期未満で中断される。さもなければ、放電は主分岐および補助分岐によって形成されるループ内で電流振動を開始する。発振電流が増加し、最終的には遮断されるべき直流電流を超える。ここで、主分岐を流れる電流はゼロ交差を有し、遮断器は電流を遮断することができる。

20

【0013】

ステップ2: アーク電流が遮断されると、電流は補助分岐だけに流れる。ライン(またはケーブル)のエネルギーは依然として高すぎ、キャパシタを充電し続ける。サージアレスタの二ポイント電圧に達すると、それは導通を開始し、エネルギーを吸収し、電圧をクランプする。この電圧は、ラインがゼロ電流に対応するエネルギーをそれ以上持たないようにするまで、回路遮断器を流れる電流に対抗する。電圧がサージアレスタの二ポイント電圧まで低下し、電流が確実に遮断される。

30

【0014】

LC回路による人工的な電流ゼロ生成を伴うDC遮断器の別の例は、図2に示してあり、Yeqi WangとRainer Marquardtの論文「A fast switching, scalable DC-Breaker for meshed HVDC-Super-Grids」、PCIM-Europe、20-22 May 2014に記載されている。

【0015】

主分岐上の2つの遮断器 $B_{in}$ 、 $B_{out}$ の閉位置において、キャパシタ $C_{PG}$ は回路網電圧に充電される。この回路遮断器が遮断に設定されると、機構は遮断器 $B_{in}$ および $B_{out}$ を開き、それによって両方の遮断器に電気アークを生成する。接点の分離が電圧安定性を保証するのに十分大きい場合には、サイリスタ $T_{PG}$ は閉じられ、キャパシタ $C_{PG}$ (プリチャージされた)およびインダクタ $L_{PG}$ によって形成されるループ内で電流を発生させる。電流が反転しようとする(すなわち、半周期後)、サイリスタは、ターンオフ命令を必要とせず自然にターンオフする。サイリスタがブロックした後、キャパシタ $C_{PG}$ はほぼ同じ充電で終わるが、電圧は逆転する。次に、キャパシタ $C_{PG}$ と、回路遮断器の外部のインダクタンス $L_{in}$ および $L_{out}$ との間で、第2の電流振動が開始される。キャパシタ $C_{PG}$ に向かう回路遮断器の左右の回路網の一部の高い突入電流は、障害の側にある遮断器にゼロ電流を生成する。突入電流がスイッチングの瞬間に流れる電流よりもはるかに高い場合には、遮断器と並列のダイオード $D_{in}$ 、 $D_{out}$ はアークの再点弧なしに電流を流すことがで

40

50

き、DBとラベル付けされた分岐は、回路を閉じてループインダクタンスを低くし、突入電流を高く保つ。回路網のインダクタンス $L_{in}$ 、 $L_{out}$ が依然として磁気エネルギーを有する場合には、それはサージアレスタ $VDR_{PG}$ 内で散逸することができる。電流がゼロに減少し、障害が分離される。

【0016】

これらの従来技術の解決策は、切断される電流よりも高い対向電流を生成するという欠点を有する。実際に、対向電流は、{j}図1の回路遮断器ではキロアンペアの大きさを超え、図2の回路ブレーカでは10キロアンペアを超えなければならない。電流が流れなければならないループ内のインダクタンスのために、大きな量のキャパシタを必要とする一定量のエネルギーを蓄えなければならない。このようなキャパシタは、第2の従来技術では、それらを接地から絶縁して取り付け、かつ、互いに絶縁しなければならないという点で特に厄介である。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0017】

【特許文献1】米国特許出願公開第2015/002977号明細書

【発明の概要】

【0018】

本発明は、従来技術の解決策の欠点を克服しつつ、HVDC回路遮断器におけるアーク消滅を加速することを目的とする。この目的のために、本発明は、回路遮断器装置を提案し、回路遮断器装置は、主分岐と、主分岐と電氣的に並列な補助分岐と、を含み、主分岐は、少なくとも1つの半導体スイッチで構成された遮断器セルと直列の少なくとも1つの機械的スイッチ-断路器と、少なくとも1つの遮断器セルと並列であって、エネルギー蓄積素子を含むスナバ回路と、を含み、機械的スイッチ-断路器は、第1の動作モードでは主分岐に電流を選択的に流すことができ、または第2の動作モードでは主分岐から補助分岐に電流を転流するように切り替えることができ、スナバ回路は、エネルギー蓄積素子を放電することによって電流が主分岐から補助分岐へ転流された場合に、主分岐に対向電流を生成するように構成されたブリーダ抵抗器をさらに含むことを特徴とする。

20

【0019】

この回路遮断器装置の特定の好ましいが限定されない特徴は、以下の通りである。

30

【0020】

スナバ回路は、エネルギー蓄積素子と直列に接続されたダイオードを含み、ブリーダ抵抗器はダイオードと並列に配置される。

【0021】

それはさらに、少なくとも1つの遮断器セルと並列のサージアレスタを含む。

【0022】

補助分岐は、キャパシタ、抵抗器、およびサージアレスタの並列接続によって構成されたスイッチング支援モジュールと直列の少なくとも1つのサイリスタ(T1)をさらに含む。

【0023】

本発明はさらに、直流電流を運ぶように構成された送電線と、送電線における直流電流の流れを制御可能に中断させるために送電線に結合された、本発明による回路遮断器装置と、を含む電力システムに関する。電力システムは、高電圧直流電力送電システムを含むことができる。

40

【0024】

本発明の他の態様、目的、利点および特徴は、非限定的な例として、添付の図面を参照して、以下の好ましい実施形態の詳細な説明を読むことにより、より明確になるであろう。

【図面の簡単な説明】

【0025】

50

【図 1】すでに上で議論した、従来技術の回路遮断器装置を示す図である。

【図 2】すでに上で議論した、従来技術の回路遮断器装置を示す図である。

【図 2 a】別の従来技術の回路遮断器装置の動作モードを示す図である。

【図 2 b】別の従来技術の回路遮断器装置の動作モードを示す図である。

【図 2 c】別の従来技術の回路遮断器装置の動作モードを示す図である。

【図 2 d】図 2 a ~ 図 2 c の従来技術の回路遮断器装置の主分岐から補助分岐への電流転流を示す図である。

【図 3 a】本発明の可能な実施形態による回路遮断器装置を示す図である。

【図 3 b】図 3 a の回路遮断器の主分岐から補助分岐への電流転流を示す図である。

【発明を実施するための形態】

10

【0026】

図 2 a ~ 図 2 c は、アーク消滅を加速するための対向電流の発生のない従来技術の回路遮断器装置 1 の動作モードを示す。図 3 a は、本発明の可能な実施形態による回路遮断器装置 10 を示す。以下の説明から明らかなように、回路遮断器装置 10 は、従来技術の回路遮断器装置 1 と同じトポロジーを有するが、対向電流を生成することができる追加のブリーダ抵抗器を有する。このため、回路遮断器装置 1、10 における共通の要素は、同じ符号を共有する。

【0027】

回路遮断器装置 1、10 は、送電線における直流電流の流れを制御可能に中断させるために、直流電流を流すように構成された電力システムの送電線に結合されるようにそれぞれ適合される。電力システムは、高電圧直流電力送電システムを含むことができる。

20

【0028】

回路遮断器装置 1、10 の各々は、使用時に電流が定常状態で流れる主分岐  $B_M$  と、主分岐と電氣的に並列な補助分岐  $B_A$  と、を含む。主分岐  $B_M$  および補助分岐  $B_A$  の各々は、使用時に DC 電気回路網 4 に接続される第 1 の端子 2 および第 2 の端子 3 の間に延在する。

【0029】

主分岐  $B_M$  は、少なくとも 1 つの半導体スイッチ  $Q_p$  によって構成された少なくとも 1 つの遮断器セルと直列の少なくとも 1 つの機械的スイッチ - 断路器  $S_1$ 、 $S_2$  を含む。少なくとも 1 つの機械的スイッチ - 断路器  $S_1$ 、 $S_2$  は、例えば真空断続器である。各半導体スイッチ  $Q_p$  は、例えば、ケイ素ベースの絶縁ゲートバイポーラトランジスタ (IGBT) とすることができる。あるいは、JFET、MOSFET またはバイポーラトランジスタなどの他のタイプのターンオフ半導体デバイスを使用することもでき、炭化ケイ素または窒化ガリウムなどの他のワイドバンドギャップ半導体材料を使用してもよい。

30

【0030】

回路遮断器装置 1、10 は、少なくとも 1 つの機械的スイッチ - 断路器  $S_1$ 、 $S_2$  と少なくとも 1 つの半導体スイッチ  $Q_p$  とのスイッチングを制御するためのスイッチング制御ユニット 5 をさらに備える。

【0031】

したがって、スイッチング制御ユニット 5 によって、少なくとも 1 つの機械的スイッチ - 断路器  $S_1$ 、 $S_2$  は、第 1 の動作モードでは主分岐  $B_M$  に電流を選択的に流すことができ、または第 2 の動作モードでは主分岐から補助分岐  $B_A$  に電流を転流するように切り替えることができる。

40

【0032】

主分岐  $B_M$  は、少なくとも 1 つの遮断器セル  $Q_p$  と並列のスナバ回路  $S_{n1}$ 、 $S_{n2}$  をさらに備える。スナバ回路は、放電抵抗  $R_1$  と電氣的に並列なキャパシタ  $C_p$  などのエネルギー蓄積素子と電氣的に直列のダイオード  $D_p$  を含む。

【0033】

エネルギー蓄積素子  $C_p$  は、スイッチング制御ユニット 5 によって遮断器セル  $Q_p$  がオフ状態に切り替えられたときの端子の電圧の上昇率を制御する。ダイオード  $D_p$  は、遮断器

50

セル $Q_p$ が導通し始めるときにキャパシタ $C_p$ の激しい放電を防止する。最後に、放電抵抗 $R_1$ はエネルギー蓄積素子 $C_p$ の放電を遅くすることができる。

【0034】

したがって、スナバ回路は、それが導通（オン）状態から非導通（オフ）状態に切り替わるときに端子間の電圧が上昇する速度を制御することによって、関連する遮断器セルを保護する。この電圧上昇率のこの制限はまた、前記分岐内の電流の $di/dt$ の制御に寄与するという意味で、主分岐から補助分岐への電流の切り替えに有益な効果を有する。

【0035】

また、遮断器セル $Q_p$ と電氣的に並列に、サージアレスタ $R_p$ がある。これは、遮断器セル $Q_p$ の耐圧より低い値に電圧を制限するように設計されている。

10

【0036】

補助分岐 $B_A$ は、主分岐 $B_M$ と並列に設けられ、キャパシタ $C$ とキャパシタを放電するための抵抗 $R$ とサージアレスタ $P$ との並列接続により構成されるスイッチング支援モジュールと直列に接続された少なくとも1つのサイリスタ $T_1$ を含む。スイッチング制御モジュール5は、少なくとも1つのサイリスタ $T_1$ を非導通（オフ）状態と導通（オン）状態との間で切り替えるようにさらに構成される。

【0037】

回路遮断器装置1、10が主分岐から補助分岐に切り替わるときに、サージアレスタ $R_p$ 、 $P$ は両方の分岐で次々に使用される。

【0038】

図2aは、主分岐 $B_M$ に流れる電流 $I_p$ による第1の動作モードを示す。

20

【0039】

回路網4に電氣的な障害が発生すると、主分岐 $B_M$ において電流 $I_p$ が増加する。この障害を解消するためには、電流を遮断しなければならない。電流遮断は、スイッチング制御ユニット5が以下の一連の動作を実行することによって行われる。

【0040】

図2bに示すように、まず、主分岐 $B_M$ 内の少なくとも1つの遮断器セル $Q_p$ がスイッチオフされ、電流がスナバ回路 $S_{n1}$ に迂回される。スナバ回路 $S_{n1}$ は、電圧の上昇率を制限し、並列サージアレスタ $R_p$ が導通するまでそのエネルギー蓄積素子 $C_p$ を充電する。

【0041】

第2のステップでは、図2cに示すように、補助分岐 $B_A$ の少なくとも1つのサイリスタ $T_1$ が導通状態に切り替えられる。同時に、主分岐の少なくとも1つの機械的スイッチ-断路器 $S_1$ 、 $S_2$ の開放が開始される。

30

【0042】

したがって、電流は補助分岐 $B_A$ に迂回される。図2dは、主分岐から補助分岐へのこの電流転流を示しており、 $I_M$ は経時的な主分岐の電流値を表し、 $I_A$ は経時的な補助分岐の電流値を表す。

【0043】

この転流に続いて、並列サージアレスタ $P$ が導通するまで、補助分岐 $B_A$ のキャパシタ $C$ が充電される。この最後のサージアレスタ $P$ は、電圧を最初のサージアレスタ $R_p$ よりも小さな値に制限する。スナバ回路 $S_{n1}$ のエネルギー蓄積素子 $C_p$ は、並列放電抵抗 $R_1$ を介してゆっくりと放電する。使用される電圧差および技術（高い非線形過渡電圧サプレッサ対非線形サージアレスタ）に応じて、電流は、第2のステップの前と同じ方向に、従来技術の回路遮断器装置1の主分岐 $B_M$ の少なくとも1つの機械的スイッチ-断路器 $S_1$ 、 $S_2$ を通過して流れ、電気アーク6が形成される。

40

【0044】

分岐内に電流ゼロを確立し、アークが消滅することを確実にするために、本発明は、スナバ回路のエネルギー蓄積素子 $C_p$ に蓄積された電荷を利用して、主分岐に対向電流を生成する。本発明による回路遮断器装置10を表す図3aに示すように、スナバ回路 $S_{n2}$ は、エネルギー蓄積素子 $C_p$ を放電することによって電流が主分岐から補助分岐へ転流さ

50

れた場合に、主分岐  $B_M$  に対向電流  $I_c$  を生成するように構成されたブリーダ抵抗器  $R_2$  をさらにも含む。

【0045】

エネルギー蓄積素子  $C_p$  が完全に放電すると、対向電流はゼロに安定する。

【0046】

図3aに示すように、ブリーダ抵抗器  $R_2$  は、スナバ回路  $S_{n2}$  のダイオード  $D_p$  と並列に配置されてもよい。

【0047】

ブリーダ抵抗器  $R_2$  は、放電抵抗器  $R_1$  と同一であってもよいが、対向電流  $I_c$  を調整するために、より小さく選択することができる。

10

【0048】

ブリーダ抵抗器  $R_2$  を少なくとも1つの機械的スイッチ - 断路器  $S_1$ 、 $S_2$  の電流に加えることの効果は、経時的な主分岐の電流値  $I_M$  と経時的な補助分岐の電流値  $I_A$  とを表す図3bに見ることができる。数十アンペアの負の電流のピークが非常に短い持続時間（1ミリ秒未満）で観測され、それは主分岐  $B_M$  に生成された対向電流  $I_c$  に対応する。この対向電流  $I_c$  は、遮断すべき電流と比較して非常に低い値であるが、ゼロ交差を生成し、アークの消滅を加速するには十分な値である。したがって、少なくとも1つの機械的スイッチ - 断路器の接点の寿命が改善されるが、対向電流を生成するためには小さいキャパシタのみでよい。

【符号の説明】

20

【0049】

- 1 回路遮断器装置
- 2 第1の端子
- 3 第2の端子
- 4 DC電気回路網
- 5 スイッチング制御ユニット、スイッチング制御モジュール
- 6 電気アーク
- 10 回路遮断器装置
- $B_M$  主分岐
- $B_A$  補助分岐
- $I_c$  対向電流
- $C_p$  エネルギー蓄積素子
- $Q_p$  半導体スイッチ

30

【 図 1 】

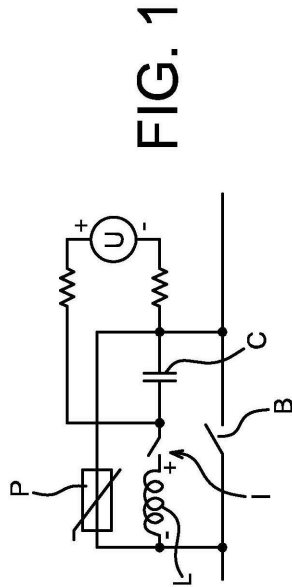


FIG. 1

【 図 2 】

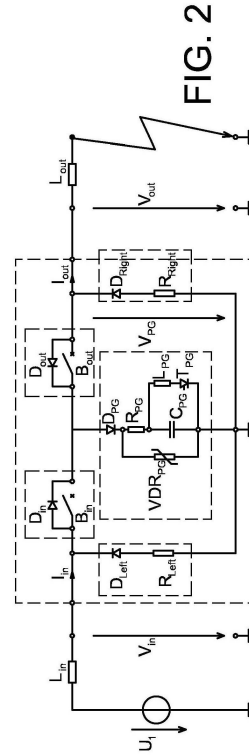


FIG. 2

【 図 2 a ） 】

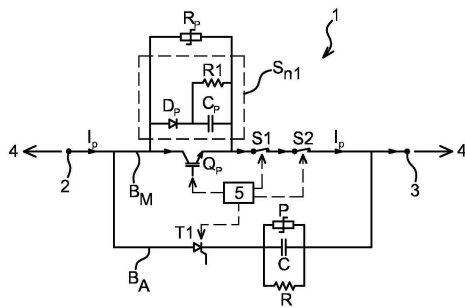


FIG. 2a

【 図 2 c ） 】

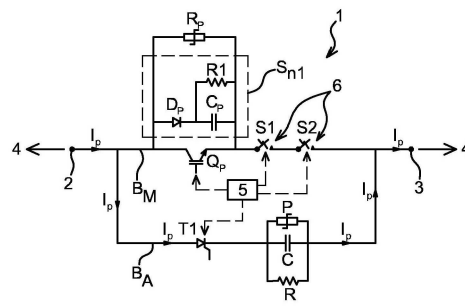


FIG. 2c

【 図 2 b ） 】

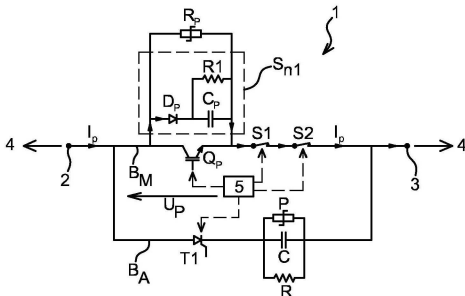


FIG. 2b

【 図 2 d ） 】

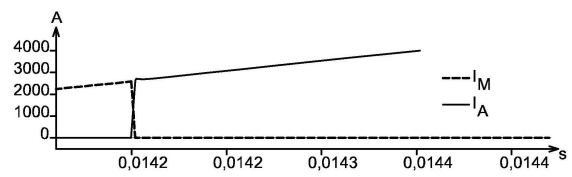


FIG. 2d

【 3 a 】

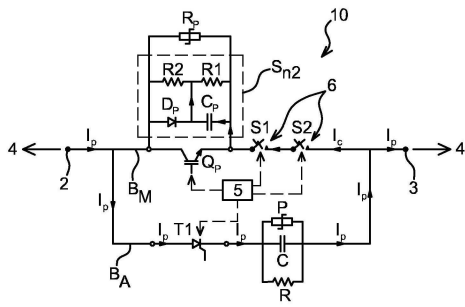


FIG. 3a

【 3 b 】

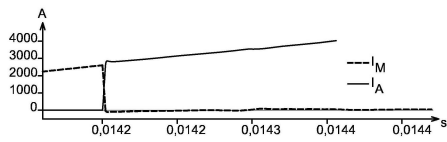


FIG. 3b

---

フロントページの続き

(74)代理人 100113974

弁理士 田中 拓人

(72)発明者 デュブラッツ, ジャン - ピエール

フランス、ブレッソル・01360、ルート・ドゥ・ダニュー、534

審査官 内田 勝久

(56)参考文献 米国特許出願公開第2014/0313628 (US, A1)

特表2015-507325 (JP, A)

特開昭52-054174 (JP, A)

米国特許第05517378 (US, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01H 9/54 ~ 9/56

H01H 33/28 ~ 33/59