

金属接点と半導体の併用による摩耗しない直流電流遮断器の基礎検討

日大生産工 ○加藤 修平 日大生産工(非常勤) 川口 卓志

1. 序論

電気自動車のバッテリー、太陽光発電（メガソーラ）、水素製造の電気分解は直流のため、これらの切替や遮断のための直流電流遮断器のニーズが年々増加している。金属接点は単純に開く（開極）するだけで交流電流を遮断することができるが、直流電流を遮断することはできない。これは交流には50/60 Hzに1回必ず電流ゼロ点があるためである。電流ゼロ点がない直流電流を無理に遮断するとアークにより金属接点が摩耗し単寿命となるだけでなく、最悪の場合アークが消えることなく連続し火災事故に繋がる恐るべき現象として技術者の間で広く知られている。本稿では直流電流遮断器の既存技術と提案法との比較、提案法の実験結果について述べる。提案法は現在まで交流電流の遮断に利用されてきた大量生産されている安価な金属接点に僅かな半導体スイッチを付加することにより直流電流の遮断を実現することを目的としている。これにより電流を遮断してもアークが発生せず長寿命で安全で安価な直流電流遮断器が実現できる。

2. 直流電流遮断器の既存技術

直流電流遮断器は大きく分けて2つの既存技術が提案・実用化されている。

1つ目は図1に示すように遮断器内部に配置した永久磁石によるローレンツ力でアークを引き伸ばし、アーク電圧を直流の電源電圧以上に増加させることで直流電流を遮断する技術である。しかし、そのローレ

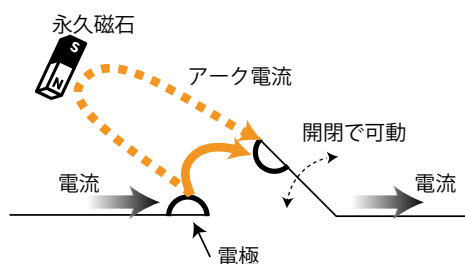


図1 アーク駆動力による遮断技術⁽¹⁾

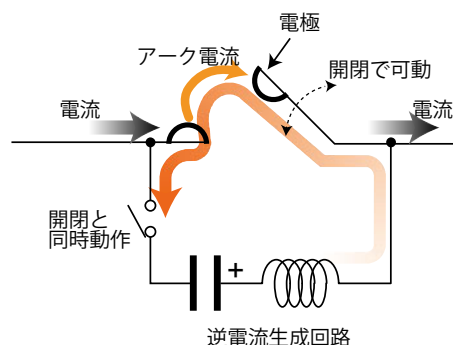


図2 逆電流による遮断技術⁽²⁾

ンツ力（アーク駆動力）はアーク電流の大きさにより変動するので比較的電流が小さい領域では遮断が不安定（遮断時間が非常に長くなる）になる。また、必ずアークが発生するので遮断回数に限界があり、単寿命である。

2つ目は図2に示すように予めキャパシタに充電した電荷により遮断器と逆方向に電流を流すことで遮断電流そのものを相殺する技術である。しかし、遮断電流が変化する場合はその都度、キャパシタの充電量を変化させる必要があり、予め蓄えた充電量と遮断電流にミスマッチがあると正常に直流電流を遮断できない。また、キャパシタが比較的大型となる欠点もある。

3. 金属接点と半導体による提案法

前述の通り既存技術ではアークにより必ず電極が摩耗する欠点がある。一方、一切摩耗しない半導体スイッチ（例えばIGBTやMOS-FET）のみでも直流電流を遮断することはできるが、金属接点と比較して導通抵抗値が1桁以上大きいため発熱が避けられず半導体スイッチに巨大な放熱器が必要となる欠点がある。

そこで図3の金属接点と半導体スイッチによるハイブリッド構成の直流電流遮断器を提案する。提案回路はC接点の金属接点構成で描かれているが、細部を除けばA接点のみの金属接点でも提案回路は実現可能である。

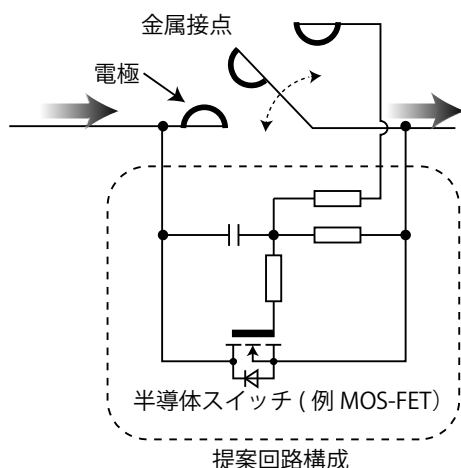


図3 金属接点と半導体スイッチを併用した提案回路構成

提案回路の動作はまず、直流電流が流れている状態から金属接点を遮断する瞬間を考える。この時、金属接点の両電極が僅かに離れた際に発生する僅かな数Vのアーケ電圧を用いて半導体（図3ではMOS-FET）のゲートがオンになる。これにより直流電流は全て半導体スイッチ側に転流する。その後、金属接点の電極間が次第に広がっていくが、直流電流は全て半導体スイッチに流れているので電極間にアーケは発生せず摩耗しない。同時に半導体スイッチに転流した電流は半導体スイッチのゲートをプルダウンしている抵抗を通じて徐々にゲートを絞り直流電流を徐々に減少させる動作を行う。そして、金属接点の電極がC接点の反対側の電極に到達すると同時に前述のプルダウン抵抗値が並列接続で小さくなるためゲートを絞るスピードが増加し直流電流は急激に減少しゼロ電流に至る。

ここで金属接点にC接点を使用する理由は直流電流を遮断する最初の一瞬の金属接点の電極間距離が非常に短い状態では転流後に再びアーケが発生してしまうのを防ぐため半導体スイッチをほぼオン状態（つまり半導体スイッチ両端の電位差は数十V程度）としておき、電極間距離が十分保たれたC接点の反対側の電極に到達してから半導体スイッチで急速に直流電流を絞るためである。また、これは半導体スイッチの活性領域での発熱を抑えるためでもある。ただ、提案回路の半導体スイッチには常時直流電流が流れているわけではなく、金属接点の電極が移動する数ms程度のため、発熱は非常に少なく放熱器も不要である。

4. 提案回路の電流遮断実験結果

図4に300 V/30 A定格の提案回路（金属接点と半導体スイッチの外観を示す。前述の通り提案回路では交流用の安価な金属接点を利用している。

図5に定格30 Aの遮断時の実験結果を示す。同図より直流電流が半導体スイッチに転流後に電流が徐々に減少し、電極がC接点の反対側に到達した後に急速に直流電流が減少しゼロ電流となっていることが分かる。また、金属接点両端の電圧は開極後に再度アーケが発生しないように開極直後は数十V程度の低い電圧となっていることも確認できる。

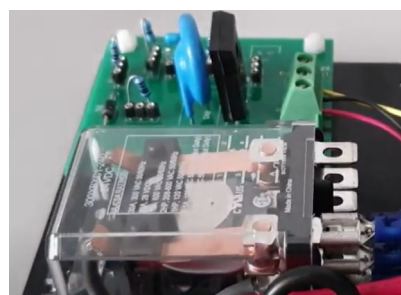


図4 直流 300 V, 30 A 定格の提案回路（交流用金属接点と半導体スイッチ）

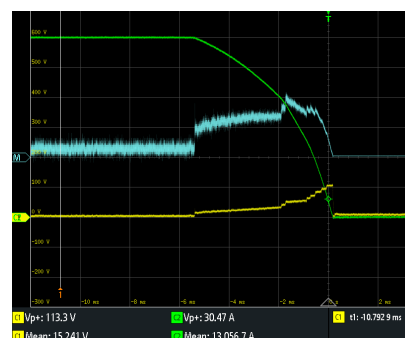


図5 提案回路による電流遮断実験結果（緑：主回路電流 5 A/div、黄色：金属接点両端電圧 100 V/div）

5. 結論

安価な交流用の金属接点と半導体スイッチの併用により摩耗しない直流電流遮断器を実験検証し有効性を確認した。今後は逆方向の直流電流を遮断する回路を検討する予定である。

参考文献

- 1) 森合、直流高電圧用ブレーカの遮断技術、富士時報、pp.158-163、Vol.85、No.2、2012
- 2) 恩地、工藤、外山、直流配電システムの開閉保護技術、pp.154-157、Vol.85、No.2、2012