

## 金属接点とパワー半導体の併用による直流遮断器の寿命評価

日大生産工(院) ○成川 忠 日大生産工 加藤 修平

### 1. まえがき

近年の太陽光発電システムや電気自動車の普及により直流送配電に注目が集まっている。太陽光発電システムでは複数枚パネルを全て直列にする方法が一般的であり、直列に接続されたソーラーパネルは高い電圧での発電が可能だが、そのうちの一つのパネルの発電量が低下すると回路全体の発電量も大きく低下するため最も効率よく発電するためには日陰となっているソーラーパネルの遮断を行い、太陽光が十分当たっているパネルのみで発電を行う必要がある。そのためには直流電流の遮断を行う必要があるが直流遮断にはいくつかの課題が存在する。

### 2. 提案法

交流電流はプラス・ゼロ・マイナスと周期的な変化を繰り返しており、定期的に電流がゼロになるタイミングが存在する。この電流ゼロのタイミングでの電流遮断を行えば接点間の消耗がほぼ無い状態での電流遮断を行うことが可能だった。

一方で直流電流の場合は交流電流とは異なり、周期的な電流ゼロのタイミングが存在しない。そのため金属接点の物理的な開極による電流遮断を行おうとすると、接点間にアークと呼ばれる電流が発生し電流遮断の際の接点間の消耗が激しい。そのため金属接点による直流電流遮断の際には、ローレンツ力を利用しアーク経路を長くする、又はコンデンサバンクから逆電流を流すなど様々な方法でアーク消弧を行う必要がある。これらの方法による直流電流遮断では金属接点の寿命は数百回の開閉が限度であった。

一方でパワー半導体素子による遮断では、高速での遮断が可能であり接点の開極による物理的な電流遮断ではないためアーク電流は発生しないが、金属接点に比べ抵抗成分（オン抵抗）が1桁ほど大きく通電時の発熱を処理するための巨大な冷却装置の取り付けが必要であり、金属接点スイッチよりも装置が大型化してしまう問題点がある。

そこで、金属接点とパワー半導体素子両方の利点を取り入れるべく Fig.1 に示すように金属接

点と並列にパワー半導体素子（例えばMOS-FETなど）を接続し通常時は抵抗成分の小さい金属接点側に電流を流す。そして金属接点の遮断時のごく僅かな時間のみパワー半導体素子に即座に転流させ、その後パワー半導体により適切な傾きで電流をゼロまで絞り、電流遮断を行うハイブリッドスイッチをこれまでに提案してきている。

このハイブリッドスイッチの利点としては通常時は発熱の少ない金属接点を用いることで冷却装置を用いないため装置は小型化され、電流遮断は金属接点ではなくパワー半導体素子で行うため金属接点は無アークでの遮断が可能であり、接点消耗が小さく金属接点の長寿命化、高速な遮断動作などが期待できる。

本研究ではこのハイブリッドスイッチの高機能化を目指し、パワー半導体素子と金属接点を併用した際のアーク電流の観測、寿命評価を行ったので報告する。

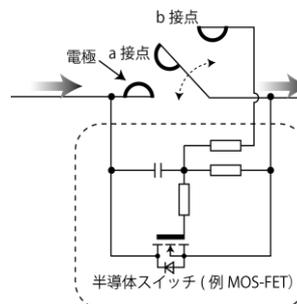


Fig. 1 直流ハイブリッドスイッチ回路構成

### 3. 試験方法

本実験ではハイブリッドスイッチのパワー半導体素子にIXYS社製NチャネルMOSFET(IXFH150N17T)を使用し、このパワー半導体素子と金属リレーを用いて実験回路を構築し回路全体に流れる電流と金属接点間に加わる電圧の観測および金属リレーのアークの発生有無の確認を行った。

また、パワー半導体素子に加わる熱を小さくすることで大電流の遮断を可能にすることを目的し、回路動作の高速化が可能かどうか検討した。回路の観測電圧と電流をFig. 2、実際に設計した回路図をFig 3に示す。

Lifetime Evaluation of DC Circuit Breakers with Metal Contacts and Power Semiconductors

Tadashi NARUKAWA and Shuhei KATO

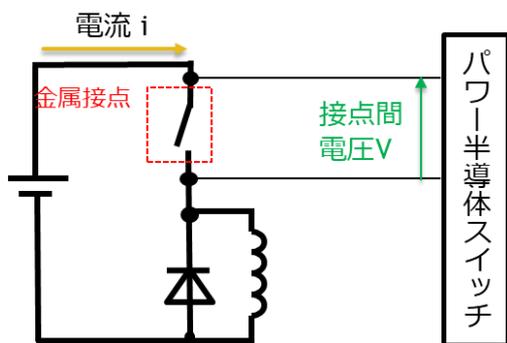


Fig. 2 回路模式図および測定電圧、測定電流

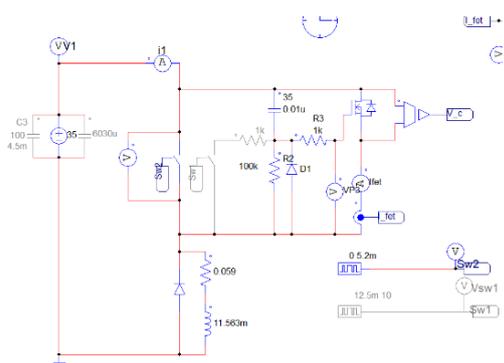


Fig. 3 回路図

#### 4. 実験結果および検討

ハイブリッドスイッチの動作確認のために観測した回路に流れる電流と金属接点間に加わる電圧の回路波形をFig.4に示す。



Fig. 4 実験回路波形

(緑:電圧 7 V/div 黄:電流 4 A/div 2.1m S/div)

今回の実験での電源電圧は35Vであり、この際のハイブリッドスイッチの遮断電流は22A程度となっていることが確認できる。また、MOSFETに再起電圧が加わってから電流遮断までに要する時間は約4ms秒であることがFig.4から読み取れる。また、さらなる大電流に対応させようとするとMOSFETに長時間熱が加わるため故障の危険性がある。大電流に対応させるために再起電圧の上昇速度を向上させる必要があるが、その傾きはパワー半導体素子に並列に接続されたコンデンサの容量と抵抗の容量を小さくする必要があ

る。動作の高速化を実現するためシミュレーション上で抵抗の値を100kΩから10kΩに変更し、同程度の電流遮断を行ったシミュレーション結果をFig.5に示す。

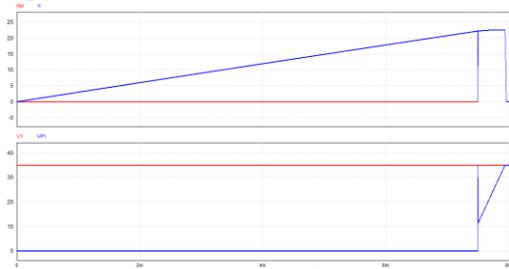


Fig. 5 シミュレーション波形

Fig.5より、測定実験と同じ電圧、同じ電流が回路に加わっているが、実験での再起電圧の上昇速度が4mS程度だったのに対しシミュレーションでは0.5mS程度まで向上していることが確認できる。

#### 5. まとめ

今後はハイブリッドスイッチの有無による金属接点の摩耗具合の変化を分光計測による寿命評価を行う予定である。

また、金属リレーを油中(絶縁破壊電圧:45kV,JIS C-2101)に沈めることで金属リレーの耐電圧を向上させることが可能であるため、空気中では12V耐圧300Aの金属リレーを利用し油中1000V,300A程度までの帯域に対応させたハイブリッドスイッチの実現を目指す。今までの金属接点による直流遮断器では開極時の接点間に生じるアークによる油の品質劣化が著しく実用は難しかったが、ハイブリッドスイッチによる無アーク遮断により油の劣化のない長寿命を実現させた直流遮断器を目指す。



Fig. 6 使用予定金属リレー

(耐電圧 12 V 耐電流 300 A)

#### 参考文献

- (1)嶋田：「半導体デバイスによるスマートスイッチ（ハイブリッド開閉・接続装置）」、パワーエレクトロニクス学会誌 Vol.42, pp53-57, 2017