

# 分布定数線路における MMC の故障除去特性

金城 亮汰\* 又吉 秀人\*\* 千住 智信\*  
(琉球大学 \*工学部電気電子工学科 \*\*大学院理工学研究科)

## 1 まえがき

近年、自然環境への配慮やエネルギー資源の枯渇の問題から再生可能エネルギーを利用した分散型電源の導入が進められている。しかし、再生可能エネルギーは気象状況に応じて出力変動が生じるため、安定した電力系統運転を図るためには導入量に限界がある。導入量増加のための解決策として、電力系統規模を大きくし、出力変動を抑制するならば効果を利用した方法がある。そのため、損失が少なく、電圧安定度の問題がない、多端子 HVDC システム (MTDC) の導入が期待されている。従来 HVDC には電圧源コンバータ (VSC) が用いられてきたが、VSC を構成する自励式の半導体素子は耐圧が低く、大容量コンバータとしての利用は容易ではない。そこで、VSC にかわり、キャパシタを持つセルをサブモジュールとして直列に接続したモジュラーマルチレベルコンバータ (MMC) の適用が検討されている。

本研究では、分布定数線路における MMC-MTDC システムの短絡故障除去後の再始動法について提案する。Chopper bridge (CB) セルをサブモジュールとした CB MMC-MTDC システムにおいて、故障除去後、系統に再接続する際に、還流ダイオードから流れる過剰な充電電流を抑えることができない。そこで Full bridge (FB) セルをサブモジュールとした FB MMC-MTDC システムを用いることで、片側の遮断器のみを接続し、電圧を徐々に増加して回路を充電した後に健全な系統に接続することで、充電電流の抑制と、再接続時の電圧の変動の抑制が達成できることを示した。

## 2 システム構成

### 2.1 MTDC システム

図 1 は MMC-HVDC を 3 端子 MTDC システムとした構成を示す。最長送電距離は 400km で、遮断器 A, B 間の距離は 300km、遮断器 C, D 間の距離は 100km である。また、直流送電電圧は 150kV である。分布定数線路の等価回路を、図 4 に示す。遮断器は文献 [1] で提案する共振型 DC 遮断器を適用する。

### 2.2 MMC の構成

図 2 に MMC の構成を示す。各アームのセルの段数はシミュレーションを簡略化するために 2 段とした。

図 3 に CB セルと FB セルの違いを示す。CB セルを用いると交流系統側から流れ込む電流を抑えることができないため、遮断器をオンにした直後に、分布定数線路に存在するキャパシタ成分に、図 5 のような充電電流  $i_{dcf}$  が流れこむ。FB セルを用いることで、交流系統側から流れ込む電流を抑制し、電圧を徐々に上昇させることで、 $i_{dcf}$  を抑制する。

## 3 シミュレーション

### 3.1 シミュレーション条件

本シミュレーションでは、 $t=2.5s$  で遮断器 A, B 間で正極-負極短絡故障を発生させ、故障除去から再始動までをシミュレーションした。消磁回路を動作させ故障除去を行った後、 $t=2.82s$  でコンバータ 1 の動作を停止し、 $t=3.1s$  で

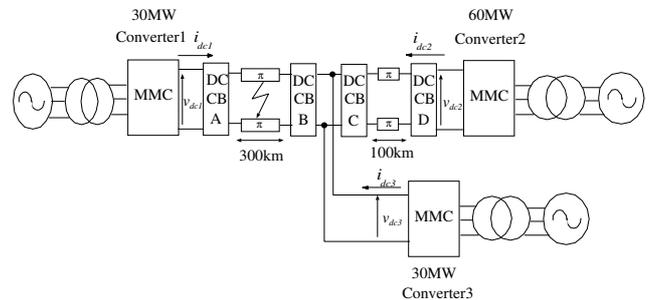


図 1: MMC-MTDC

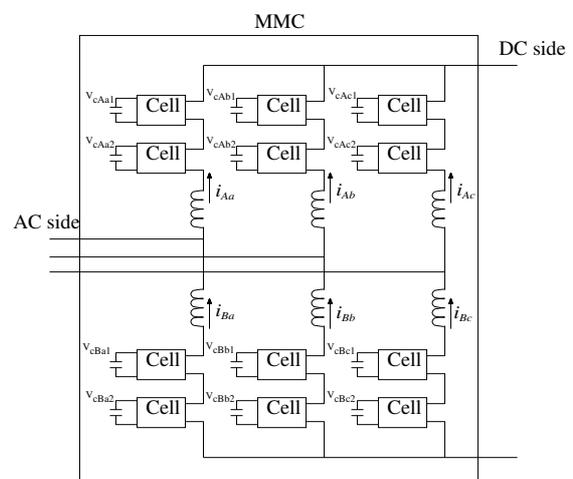


図 2: MMC の構成

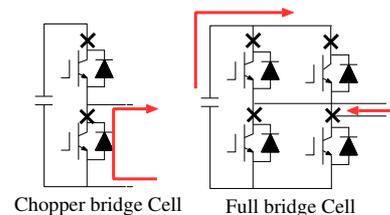


図 3: CB セルと FB セル

遮断器 A を接続した。その後、 $t=3.3s$  でコンバータ 1 の電圧を 0 から上昇させた後、健全な系統と電圧が一致する  $t=3.85s$  で遮断器 B を接続した。また、各コンバータの有効電力の指令値は表 1 のように変化させた。

表 1: 有効電力指令値

	Fault		Reclose	
P1:	30MW	→	0MW	→ 30MW
P2:	-60MW	→	-30MW	→ -60MW
P3:	30MW	→	30MW	→ 30MW

### 3.2 シミュレーション結果

図 5 に CB MMC の場合の遮断器 A 及び B に流れる電流を示し、図 6 に FB MMC の場合の同様の電流を示す。電流の向きは、図 1 の  $i_{dc1}$  と等しい。どちらの MMC にお

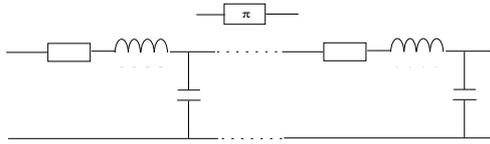


図 4: 分布定数線路

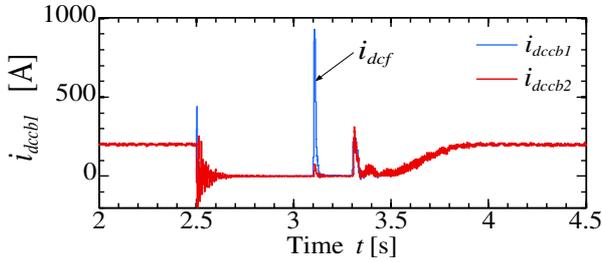


図 5: 三端子 CBMMC の遮断機に流れ込む電流  $i_{dcf}$

いても線路短絡故障によって遮断器が直ちに動作し、遮断器に流れ込む電流  $i_{dccb}$  が 0A に低下することが確認できる。また、遮断器を再接続するとき、CB MMC では充電電流  $i_{dcf}$  が流れるのに対して、FB MMC では  $i_{dcf}$  が流れないことが確認できる。これは、図 3 に示すように、FB セルを用いた場合において、スイッチングを停止すると交流系統側から流れこむ電流を抑制できるためである。

また、図 7~11 に FB MMC のシミュレーション波形を示す。短絡故障が発生すると、図 6 の直流電流  $i_{dc1}$  が 0A へ低下し、図 9 の有効電力  $P$  が表 1 に従って変化していることが確認できる。また、図 10 の遮断器 A に生じる電圧  $v_{IGBT A}$  と図 11 の遮断器 B に生じる電圧  $v_{IGBT B}$  が 150kV まで増加することが確認できる。このことから、短絡故障区間を遮断器 A, B により除去していることがわかる。また、図 10 の  $v_{IGBT A}$  おいて、 $t=2.82s$  で、電圧の変動が収束したことから、コンバータ 1 が停止していることがわかる。また、コンバータ 1 が停止している  $t=3.2s$  で遮断器 A のみを接続すると、 $v_{IGBT 1}$  と図 8 の  $v_{dc1}$  が直ちに 0V に低下するが、 $i_{dc1}$  に変化がないことがわかる。このことから、 $i_{dcf}$  が抑制されていることがわかる。また、 $t=3.3s$  から  $v_{dc1}$  を増加させていき、健全な系統と電圧が一致した時に、遮断器 B をオンにし、直流電流  $i_{dc1}$  を増加させていくことで、 $i_{dcf}$  の抑制に加えて、系統全体の電圧の変動が抑制されることがわかる。以上より提案した手法を用いることで、過度の充電電流  $i_{dcf}$  を抑制し、電圧の変動を抑制できる。

#### 4 むすび

本研究では、分布定数線路における MMC-MTDC システムの再始動法を提案した。本提案手法により、MMC のセルに FB セルを用いることで、交流系統側から流れこむ充電電流を抑制し、再接続時の電圧の変動を抑えることが可能となる。

#### 参考文献

- [1] 池間大記, 又吉秀仁, 千住智信:「MMC-HVDC に適用した DC 遮断器」, 平成 27 年度電気学会九州支部沖縄支所講演会公演論文集, OKI-2015-43, pp.96-101, Dec. 2015.
- [2] Bin Wu, “High-Power Converters And AC Drives”, Wiley-IEEE Press, pp.119-142, Mar. 2006.

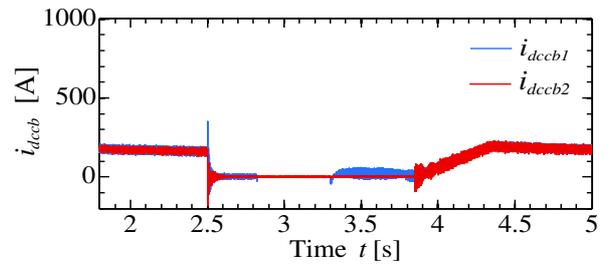


図 6: FBMMC における  $i_{dcf}$

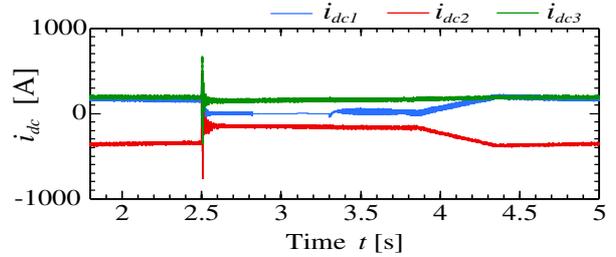


図 7:  $i_{dc}$

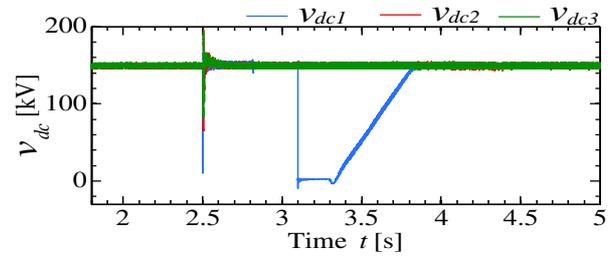


図 8:  $v_{dc}$

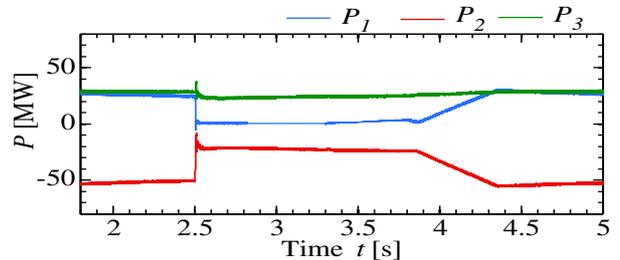


図 9:  $P$

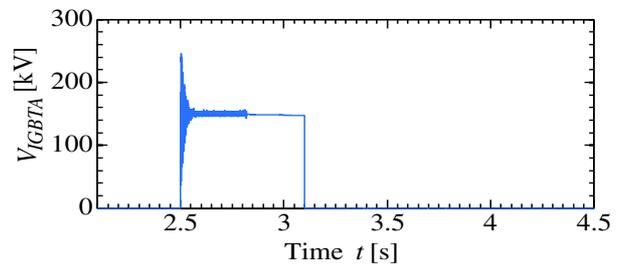


図 10:  $v_{IGBT A}$

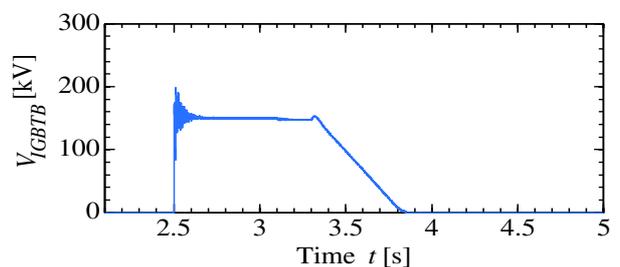


図 11:  $v_{IGBT B}$