

特集論文

関連するSDGs



高圧大容量瞬低対策装置 MEGASAFEの再開発について

Re-development of MEGASAFE, a Voltage Dip Compensator for Medium-Voltege/Large-Capacity Systems

平林 祐作
Hirabayashi Yusaku
佐野 耕市
Sano Koichi

福田 有貴
Fukuda Yuki
河崎 吉則
Kawasaki Yoshinori

概要

本稿では、当社のパワーエレクトロニクス技術を応用して開発した高圧仕様の瞬時電圧低下対策装置について、更なる省スペース化と高効率化を目指し、再開発を行ったことを紹介する。

Synopsis

This paper introduces the re-development of a medium-voltage voltage dip compensator for medium-voltage/large-capacity systems based on our power electronics technology, the aim of which was to achieve further space savings and improved efficiency.

キーワード：瞬低、パワエレ、電力品質

1. まえがき

当社のMEGASAFE^(*)（以下、メガセーフ）は、大容量高圧用の瞬時電圧低下（以下、瞬低）対策装置であり、瞬低による設備の停止から運転状態を保守するための瞬低補償専用機器である。

当社の瞬低対策装置の歴史は、電解コンデンサを採用した低圧用の「UNISAFE」（以下、ユニセーフ）の登場（1986年）から始まる。ユニセーフに加え、高圧重要負荷回線を一括で補償するために大容量化かつ高圧仕様として2001年に販売されたのがメガセーフである。これらの装置は、現在に至るまで、重要負荷設備を瞬低による停止被害から守り続けている⁽¹⁾。

瞬低による被害としては、設備停止による製品や材料の廃棄損失、生産機会の損失、納期遅延、さらには設備故障による修理費の発生が挙げられる。

近年、製品に対する品質要求の高度化や、自動化・省人化による生産設備の精密化が進む中、瞬低による設備への被害が発生しやすくなっている。さらに、異常気象による瞬低発生頻度も増加していることから、

瞬低対策装置の需要は今後増加すると想定される。

しかし、メガセーフを構成する主要機器の中には納期の長い部品を使うものがある。そのため、使用機器の見直しを行うことで納入までの期間を現在の2/3に削減した。また設置面積を現行から30%削減することを目標に再開発を行ったので紹介する。

2. 製品紹介

図1にメガセーフの全体構成および瞬低補償時の動作を示す。メガセーフは、事前に電解コンデンサに電荷を蓄えることで瞬低発生時の系統電圧の不足エネルギーを出力する。この動作には不足電圧補償方式が採用されている。これは、系統電圧に直列に接続された機器が、瞬低によって不足した電圧分を出力する方式であり、電圧低下幅の小さい瞬低ほど補償時間が長いという特性をもつ。また、不足電圧のみを補償するようにエネルギーを利用するため、繰り返し発生する瞬低に対して対応することができる。

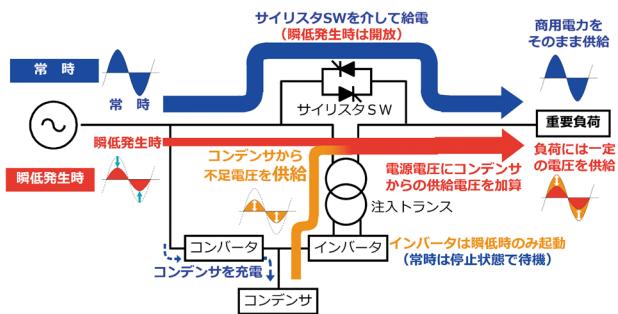


図1 メガセーフの全体構成と瞬低補償時の動作

3. 開発経緯

メガセーフの主要機器であるサイリスタスイッチは、近年の半導体市場における需給逼迫の影響を受けて長納期化が進んでいる。さらに、素材価格の高騰により製品コストも上昇している。

そこで当社では、サイリスタスイッチの代替として、次章で紹介する高速開極型の真空電磁接触器（以下、高速VMC）と高速遮断制御を組み合わせた新たな高速遮断技術を開発した。従来のサイリスタスイッチに依存しない新たなスイッチソリューションを確立したことにより、部品調達が安定し、かつ、大幅な小型化とコスト競争力をもつ製品の実現に成功した。さらに、従来のサイリスタスイッチで発生していた通常時の通電損失をほぼゼロに低減し、ファンレス化も実現することで、システム全体の高効率化を達成している。

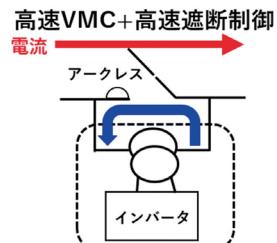
4. 導入技術

本章では、メガセーフを再開発するにあたって、新たに導入した技術について説明する。

4. 1 高速VMC化

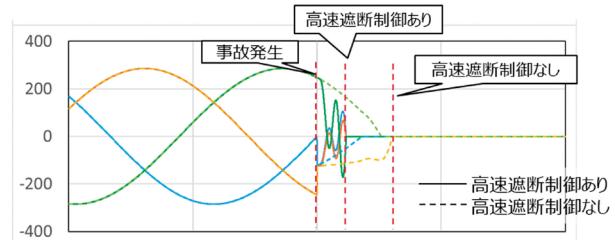
メガセーフでは、特に瞬低動作時の切替え時間^{※1}において、電圧が0Vになる時間が商用周波数の1/4サイクル以内の無遮断^{※2}であることが求められる。しかしながら、開発品の高速VMCは、接点の開極動作自体は約1msecで完了する高速性を有しているが、単に接点を高速に開極するだけではアーカ放電^{※2}の発生を抑制できないため、1/4サイクル以内に切替えを実現することが困難であった。この課題に対し、当社では、現行のメガセーフ構成に着目した。図2に示すように、スイッチと並列に接続されたインバータ回路を積極的に活用する高速遮断制御を導入した。本方式では、接点開極指令と同時に、スイッチに流れる電流と逆方向の電流をインバータから供給することで電流ゼロ点を創出することにより、機械式の接点でありながら半導体スイッチに匹敵する高速かつアーカレスな遮断が実現できる。

図3に、高速遮断制御の有無による動作波形のシミュレーション結果を示す。高速遮断制御ありの場合は、フィードバック制御^{※3}により、より早くゼロ点が創出されていることが確認できる。



スイッチに流れる電流と逆方向の電流を
インバータから供給することで
電流ゼロ点を創出し高速遮断を実現

図2 高速遮断制御（概念）

図3 高速遮断制御の有無による動作波形の
シミュレーション結果

4. 2 三相インバータ化

メガセーフの開発は単相回路から開始された経緯から、現行のメガセーフでは、各相に単相インバータを3セット組み合わせた構成が採用されていた。今回、単相インバータ構成で使用されるインバータユニット（INV）で三相インバータの回路構成に変更した場合、単相インバータの回路構成と比べて、理論的に約15%の出力容量向上が見込まれた。そこで、インバータ台数の削減可能性に着目し、新たに三相インバータ化を図った。この変更により、必要なインバータ台数の削減が可能になり、システム全体の構成簡素化およびコスト削減への寄与が期待できる。図4に単相インバータ構成と三相インバータ構成の比較を示す。

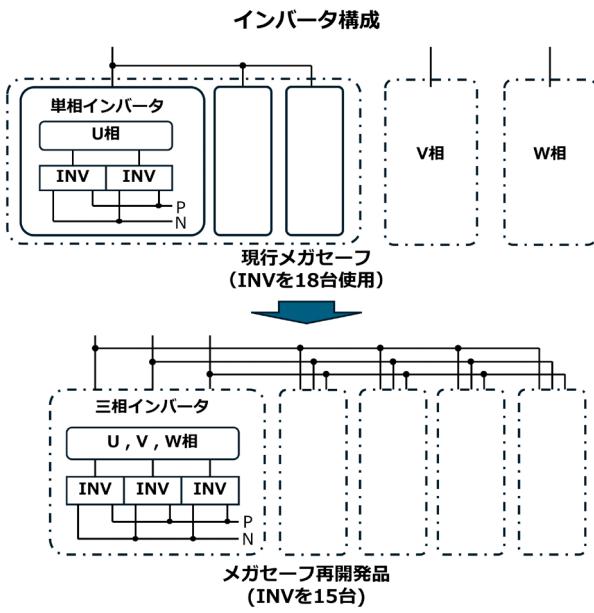


図4 インバータ構成の比較

三相インバータにおいては、直流電圧の利用率を向上させる手法として三次高調波重畠法^{※4}が一般的である。今回、三相インバータ化することにより、三次高調波重畠法を適用できるようになり、これにより補償時間の延長や、補償エネルギーを蓄える電解コンデンサの容量削減といった効果が期待される。しかしながら、メガセーフのようなシステムでは、二線間短絡事故などにおいて補償すべき電圧波形に逆相成分が含まれる場合がある。そのため、従来の三次高調波重畠法をそのまま適用するのではなく、逆相成分を適切に考慮する必要があった。

図5に逆相成分を考慮した三次高調波重畠法のブロック図を示す。本方式を適用した結果、二線短絡事故においても補償時間の延長効果が確認できた。

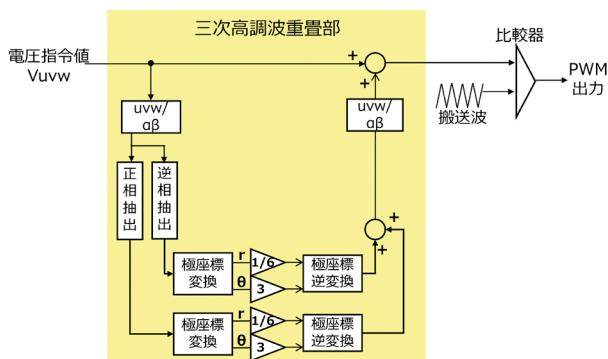


図5 逆相成分を考慮した三次高調波重畠法ブロック図

5. 検証結果

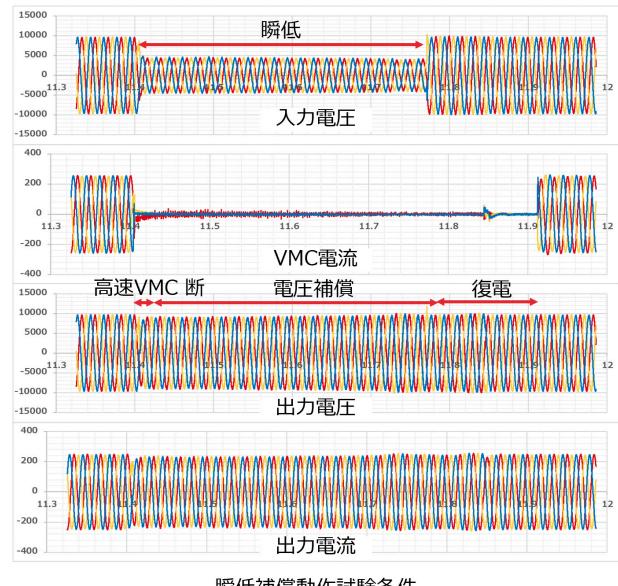
本章では、再開発したメガセーフの瞬低動作時の性能および再開発に伴う目標値の結果について説明する。

5. 1 瞬低補償動作

図6に再開発したメガセーフの瞬低補償動作試験時の波形を示す。

模擬的に瞬低を発生させて動作検証を行った結果、低下した入力電圧に対して、現行のメガセーフ同様に瞬低補償動作により瞬低前と同等の出力電圧を給電できることが確認できた。

図7は図6の瞬低発生前後の入力電圧と入力電流および出力電圧を拡大した波形を示す。瞬低検出後、



瞬低補償動作試験条件
瞬低様相: 3LS 60%低下 0.35秒継続

図6 瞬低補償動作波形

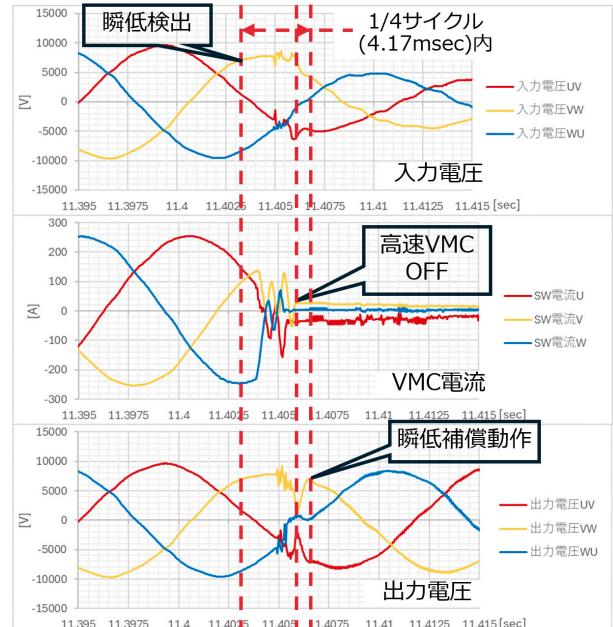


図7 瞬低補償動作波形 瞬低検出時拡大

約3.5msecで高速VMCが開放するとともに速やかに補償運転動作に切り替わり、1/4サイクル以内の切替え時間を確認した。

サイリスタスイッチの代替となる高速VMCと高速遮断制御による瞬低補償動作の実現を確認できた。

図8は瞬低補償動作時の出力電圧維持時間を比較したグラフである。実線が逆相成分を考慮した三次高調波重畠法適用時、破線が適用なしを示す。出力電圧90%を基準に各相の電圧を比較すると、適用時の約90msec長く電圧を維持していることが見受けられ、補償エネルギーを効率よく運用できていることが確認できた。

■ 線間UV(三次高調波重畠法適用) 線間UV(三次高調波重畠法なし)
■ 線間VW(三次高調波重畠法適用) 線間VW(三次高調波重畠法なし)
■ 線間WU(三次高調波重畠法適用) 線間WU(三次高調波重畠法なし)

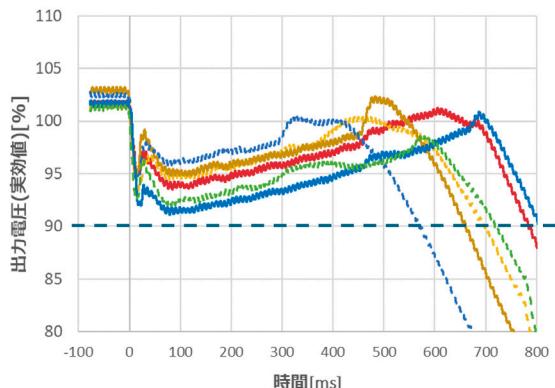


図8 瞬低補償動作時の出力電圧維持時間

5. 2 効率測定

表1に冒頭に掲げていた再開発に伴う目標値および検証結果の値を示す。

新たに導入した技術や高速機械SWなど使用機器を見直した結果、目標値を上回る結果が得られた。

図9にメガセーフ再開発品の外観を示す。

表1 再開発品目標値および検証結果

	メガセーフ再開発品	
	目標値	検証結果
小型化	30%縮小	31.7%縮小
軽量化	30%軽量	31.5%軽量
納期	30%以上短縮	40%程度短縮
効率	99.6%	99.8%



図9 メガセーフ再開発品外観

6. 展望

新たに導入した高速VMCと三相インバータ化の有用性について検証した結果、現行のメガセーフと同等以上の性能であることが確認でき、高効率化が実現した。

今後も瞬低被害に対する課題に積極的に取組み、瞬低被害の低減を目指したい。

用語集

- ※1 瞬低動作時の切替え時間
事故発生から補償運転動作に切り替わり、所定の電圧になるまでの時間。
- ※2 アーク放電
電極間の電位差により絶縁破壊が発生し、気体中を電流が流れること。
- ※3 フィードバック制御
出力値を測定し、その結果を基に入力値を調整することで、目標の出力値を維持または達成する制御方法。
- ※4 三次高調波重畠法
インバータの電圧制御においてPWM信号生成時に発生する第三次高調波を重畠させることで電圧指令値のピーク値を下げて、出力電圧の増加、インバータの電圧利用率を向上させる制御方法。

参考文献

- (1) 河崎、川上、佐野：「電力品質を改善する製品」
日新電機技報、Vol.59 No.2, pp.40-41 (2014)
- (2) 日本電気工業会：JEM-TR186「無停電電源装置
(UPS)のカタログ用語集(2021)」

(*) 「MEGASAFE」は、日新電機株の登録商標です。

執筆者紹介



平林 祐作 Hirabayashi Yusaku
電力・環境システム事業本部
システム装置事業部
パワエレ機器部



福田 有貴 Fukuda Yuki
住友電気工業株式会社
送配電機器・エネルギー・ソリューション事業部
日新住電エネルギー・システム開発センター
主査



佐野 耕市 Sano Koichi
電力・環境システム事業本部
システム装置事業部
パワエレ機器部
参与



河崎 吉則 Kawasaki Yoshinori
住友電気工業株式会社
送配電機器・エネルギー・ソリューション事業部
日新住電エネルギー・システム開発センター
主幹