SMES用並列接続電流形変換器の無効電力補償

正員 伊藤 良三 (福岡大)

正員 石坂 耕一 (福岡大)

正員 岡田 英彦 (大分大)

Reactive Power Compensation of Parallel-Connected Current-Source Converter for SMES

Ryozo Itoh, Member, Kouichi Ishizaka, Member (Fukuoka University), Hidehiko Okada, Member (Oita University)

キーワード：SMES，電流形変換器，並列接続，無効電力補償，補償リアクトル，力率

電力系統用超電導磁気エネルギー貯蔵 (SMES) システムを実用化へ向けて大容量化するには，現状では低電圧，低電流の超電導コイルと交直変換器を単位とするモジュール型が妥当とされている⁽¹⁾。筆者らは，このようなモジュールを構成する交直変換器として相間リアクトルを介して並列接続された電流形変換器を考え，これに多重パルス幅変調 (PWM) を適用することによって系統電流の低次高調波を十分抑制できることを明らかにした⁽²⁾。一方，電流形変換器は系統と超電導コイルの間で直接電力の交直変換が可能であるが，転流エネルギーを吸収させるために大容量の AC キャパシタが必要となり，結果的に無効電力の調整領域が進み力率側へ移行する。本レターは，このような観点から，進み無効電力を補償するためのリアクトルを付加し，状態空間法によるシミュレーション結果から，その有用性を明らかにしたものである。

図1は補償リアクトル L_c を付加した SMES システムのモデル図であり，モジュール型では図1の構成が単位モジュールとなる。図示のように交直変換器はゲートターンオフサイリスタを用いた2組のブリッジから成り， L は変圧器漏れインダクタンスを代表するインダクタ， C は転流エネルギーを吸収させるキャパシタ， L_i は相間リアクトル， L_s は超電導コイルである。なお，本レターでは文献2と同じく，超電導コイル電流を並列接続された変換器に平等に分担させると同時に PWM パターンの低次高調波を消去するようにスイッチング角度の最適化を行った多重 PWM を用いることとする。このとき，11 次以下の高調波成分は十分小さくできるので，13 次高調波吸収用のフィルタ L_f ， C_f を設けている⁽²⁾。また，PWM の基礎となる三角波搬送波の大きさに対する正弦波変調波の大きさの比を変調率と定義する。

本レターの目的は C による進み無効電力を L_c で補償することであり，これを実現するためには，既知の C に対して

$$L_c = 1 / (2\pi f)^2 C \cdots \cdots (1)$$

となるように L_c を設定すればよい。ただし， f は電源周波数である。超電導コイルの最大電流を 1000 A に想定

図1 補償リアクトル付並列接続電流形変換器
Fig.1. Parallel-connected current-source converter with compensating reactors.

図2 L_c が無いときの系統電圧・電流波形
Fig.2. Line voltage and current waveforms without L_c .

図3 L_c が有るときの系統電圧・電流波形
Fig. 3. Line voltage and current waveforms with L_c .

し、電源端子電圧 $V=530$ V, $f=60$ Hz, 変調率 $M=0.4$, 制御遅れ角 $\alpha=\pi/6$ としたときのシミュレーションによる系統電圧・電流波形を L_c が無い場合と有る場合について各々図2および図3に示す。ただし、主な回路定数は $L=0.39$ mH, $C=500$ μ F, $L_i=2$ mH, $L_s=3.6$ H とした。このとき、(1)式から、補償リアクトルは $L_c=14.07$ mH である。なお、 L は C との共振周波数が6次高調波周波数に一致するように設計されている。これによって電圧変動率が若干大きくなるが、低次の奇数次高調波の抑制に効果がある。図から、 L_c が無い場合には i_a の位相が設定値より進んでいるのに対し、 L_c を付加した場合にはほぼ設定値に等しい。他方、 i_a に含まれる高調波成分の基本波に対する割合は、 L_c が無いとき2.04% (5次), 1.57% (7次), 0.21% (11次), 3.00% (13次), 1.32% (17次), 6.44% (19次) であり、 L_c が有る場合には2.11% (5次), 0.66% (7次), 0.75% (11次), 2.75% (13次), 0.93% (17次), 5.70% (19次) である。したがって、 L_c を付加しても系統電流の高調波にはほとんど影響がないことがわかる。

補償リアクトルの効果を詳細に検討するために、 $M=0.4$ に固定し α を変化させたときの「有効電力/皮相電力」から求めた力率を表1に示す。表1から、 L_c が無い場合には C による進み無効電力によって $\alpha=\pi/6$ 近傍で最も力率が高く、 $\alpha<0$ の領域で設定値 $\cos \alpha$ より低くなる。一方、 L_c が有る場合には α の正負に対して力率はほぼ対称となり、 L_c の付加が進み無効電力の補償に有効であることがわかる。なお、 L_c 付加時で $|\alpha|$ が大きいとき力率と $\cos \alpha$ の差が大きくなるのは、 $|\alpha|$ の増大に従って回路損失の有効電力に占める割合が大きくなるためと考えられる。

以上、SMESシステムを対象とした補償リアクトル付並列接続電流形変換器のシミュレーションを行い、補償リアクトルの付加によって所記の目的が達成されることを示した。今後、システムの一層の大容量化を目指して、変換

表1 制御遅れ角を変えたときの力率
Table 1 Power factor when varying delay angle.

α (rad)	$\cos \alpha$	L_c 無し	L_c 有り
$-5\pi/12$	0.259(進み)	0.106(進み)	0.371(進み)
$-\pi/3$	0.5 (進み)	0.287(進み)	0.541(進み)
$-\pi/4$	0.707(進み)	0.483(進み)	0.722(進み)
$-\pi/6$	0.866(進み)	0.665(進み)	0.869(進み)
$-\pi/12$	0.966(進み)	0.816(進み)	0.964(進み)
0	1	0.924(進み)	0.998(進み)
$\pi/12$	0.966(遅れ)	0.983(進み)	0.968(遅れ)
$\pi/6$	0.866(遅れ)	0.997(遅れ)	0.877(遅れ)
$\pi/4$	0.707(遅れ)	0.982(遅れ)	0.734(遅れ)
$\pi/3$	0.5 (遅れ)	0.984(遅れ)	0.556(遅れ)
$5\pi/12$	0.259(遅れ)	0.346(遅れ)	0.394(遅れ)

器の回路構成やパルス幅変調法を検討していきたい。最後に、本研究は九州電力の補助金を受けて行われたことを付記し、関係各位に深謝する。

(平成8年4月10日受付)

文 献

- (1) 岡田・江崎・竹尾・入江・堤・徳永：「モジュール型SMESに関する検討」, 電学論B, 115, 52 (平7)
- (2) 伊藤・石坂・岡田：「SMES用並列接続電流形変換器の多重PWM法」, 電学論D, 116, 216 (平8)

伊藤 良三 (正員) 1947年10月9日生まれ。75年3月九州大学大学院工学研究科電気工学専攻博士課程修了。同年4月福岡大学工学部講師, 79年4月同助教授, 88年4月同教授, 現在に至る。工学博士。パワーエレクトロニクスに関する研究に従事。

石坂 耕一 (正員) 1953年11月13日生まれ。76年3月福岡大学工学部電気工学科卒業。同年4月同大学工学部教育技術職員, 現在に至る。パワーエレクトロニクスに関する研究に従事。

岡田 英彦 (正員) 1940年3月20日生まれ。68年3月九州大学大学院工学研究科電気工学専攻博士課程修了。同年4月九州大学工学部講師, 74年4月大分大学工学部助教授, 78年1月同教授, 現在に至る。工学博士。パワーエレクトロニクス, 超電導応用に関する研究に従事。