

電気二重層コンデンサを用いた瞬低補償装置の開発

金尾 則一^{*1} 青木 孝典^{*2}

1. はじめに

IT 情報化社会の進展により、パワーエレクトロニクス機器やコンピュータが広い分野で利用され、特に、工場の製造ラインや精密加工をしている製造現場では、落雷・風雪などによる停電や瞬時電圧低下（瞬低）が生産ラインに多大な影響を与える場合が多く、高い電力品質が求められている。この対応として、現在は蓄電部に鉛蓄電池を用いた無停電電源装置が主流となっている。

一方、近年環境問題への関心の高まりから、有害物質である鉛を無くそうという「鉛フリー」の社会的要求が欧州をはじめ日本国内でも高まってきている。

このような状況の中、大容量コンデンサである電気二重層コンデンサが、瞬低・短時間停電の対策に限定すれば、鉛蓄電池に代わるエネルギー源としてランニングコストの面からも有望である。当社は、コンデンサメーカーであるニチコン(株)と共同でこの電気二重層コンデンサを用いた瞬低補償装置の開発に取り組み、お客さまでのフィールド試験により商品化できたので、その概要を紹介する。

2. 瞬低補償装置の概要

今回開発した瞬低補償装置の仕様を第1表に、装置外観・構成を第1図に示す。本装置は、主に、蓄電部の電気二重層コンデンサ、そのコンデンサのエネルギーを充放電させる双方向インバータ、そして瞬低発生時商用電源から切り離す半導体スイッチとから構成されている。また、保守点検、負荷の始動電流の回避や万一の装置故障等を考慮してバイパス回路を設け、バイパス運転中に1秒間の瞬低が発生しても負荷機器側は停電しないようになっている。

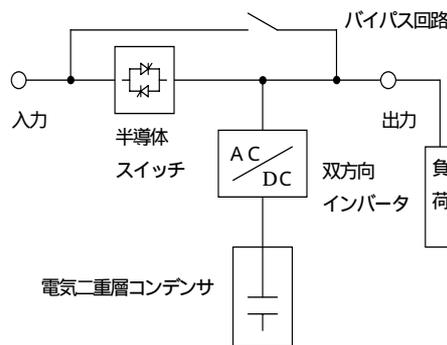
本装置は平成16年9月から開発に着手し、平成16年度に切換スイッチに自励式半導体素子 IGBT

第1表 開発した瞬低補償装置の概略仕様

項目	定格・仕様	備考
容量	50kVA	
電圧	三相 200V	
周波数	50/60Hz	自動検出
補償時間	1秒	定格負荷にて
補償方式	常時商用給電	常時効率 97%以上
切換時間	2ms 以内	
切換スイッチ	半導体スイッチ	サイリスタ (または IGBT)
電気二重層コンデンサ	捲回形 552V, 2.91F	
寸法・重量	W1200 × D800 × H1950, 600kg	



(a) 装置外観と電気二重層コンデンサ（捲回形）



(b) 装置構成

第1図 開発した 50kVA 瞬低補償装置

を用いた 10kVA 器を試作してインバータ制御の設計評価を行い、平成17年度、20kVA 器によるフィールド試験を福井県のニチコン(株)富田工場内

^{*1} 技術開発研究所 電力品質チーム

^{*2} ニチコン草津株式会社 技術部

にて実施し基本性能を確認した。そして、平成 18 年度、商品化に向けての量産仕様品として、インバータ制御系に改良を加えるとともに、切換スイッチに IGBT よりも過電流耐量のあるサイリスタを用いた 50kVA 器を開発した。

以下に、本装置の主な特徴を述べる。

(1) 電気二重層コンデンサ（捲回形）の採用

現在一般に用いられている鉛蓄電池式に比べ電気二重層コンデンサを用いた場合の主な特徴は、

- 環境に優しい
鉛蓄電池と違い、構成材料に重金属などの有害物質を含まないため、環境負荷を軽減できる。
- メンテナンスフリー
鉛蓄電池は約 5～8 年程度で取替が必要であるのに対し、電気二重層コンデンサの場合、充放電に化学反応を伴わず、これによる特性劣化が殆どないことから（期待寿命 15 年）蓄電部の取替コストが不要となる。

などが挙げられる。電気二重層コンデンサを用いた瞬低補償装置は、既に他社先行開発メーカー等にて開発されてきている^{(1),(2)}が、これらの電気二重層コンデンサには積層形が用いられてきており、量産化や品質の面で課題が多い。

これに対し捲回形は、現状のアルミ電解コンデンサと同じ製造技術をベースに大量生産・低コスト化が可能であり、積層形に比べ内部抵抗を低くできる（約 1/10）ため、大電流・高出力が可能であり、品質も安定している。

なお、採用した捲回形は、2.5V 品を直列接続し、個々の単体のコンデンサには電圧バランス回路、過電圧検出回路を付加している。第 2 図にコンデンサの一部を示す。



第 2 図 電気二重層コンデンサ（捲回形）部

(2) 半導体スイッチの選定

本装置の補償方式には、常時の運転効率を高めるため常時商用給電方式を採用している。これに伴い、瞬低発生時に商用電源と切り離す切換スイッチが必要となる。この際、切換時には僅かながら瞬断が発生するが、この瞬断時間（切換時間）は極力短いことが望ましい。この時間が 1/4 サイクル（60Hz の場合は約 4.2ms）以内であれば「無瞬断」と称してもよいこととなっており⁽³⁾、本装置では、一般的に負荷側の影響を受けにくいと考えられる 2ms 以内を目標とした*。このため、交流切換スイッチ部には半導体スイッチを採用した。

半導体スイッチの弱点は過電流に弱いことである。そこで半導体スイッチを、切換時間は短いが高電流耐量の小さくて済む自励式の IGBT か、もしくは切換時間を多少犠牲にしても過電流耐量の大きい他励式のサイリスタかのいずれかを、接続される負荷の要求仕様等（瞬断の有無、突入電流の有無など）に応じて選定することとした。なお、サイリスタの場合、電流を遮断するためには最長 1/2 サイクル要するが、強制転流回路を付加して切換時間 2ms 以内を実現している。

瞬低の検出には、三相入力電圧瞬時値を三相二相変換により実効値換算する方式を用い、瞬低検出レベルを定格電圧の 90%、復電検出レベルを 92.5%（+5V）に設定している。この設定レベルは変更可能である。

また、瞬低復帰後の商用電源への切換には、並列切換制御を行い、復電から商用電源に戻す時間（揃速時間）を 200ms 以内とした。200ms は送電線の再閉路時間と揃速制御速度を考慮して設定した値である。

3. 瞬低発生装置による瞬低試験

本装置の基本試験として、JEC2440-1993「自励半導体変換装置」に準拠したインバータ単体試験、JEC2433-2003「無停電電源システム」に準拠した型式試験、出荷試験の工場試験をメーカーにて実施した後、当社の瞬低発生装置⁽⁴⁾を用い、実フィールドを想定した各種試験（第 2 表）を実施した。

本稿では、第 2 表の補償限界試験と繰り返し瞬低試験の結果を紹介する。

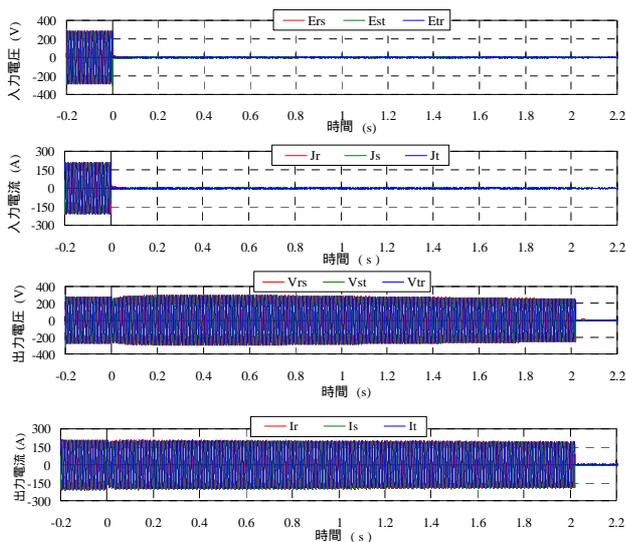
* 瞬低補償装置の負荷側に変圧器が接続された場合、1/4～1 サイクル以下の瞬断時間があると、変圧器が偏磁現象を引き起こし電圧が歪む恐れがある。

補償限界試験（第3図）は最大負荷 50kW の抵抗負荷を接続して実施したもので、補償時間は約 2 秒であり裕度のあるものとなっている。

繰り返し瞬低試験は、瞬低補償装置の瞬低検出から瞬低復電後の商用給電戻りまで一連の動作を繰り返し動作させることで、瞬低補償制御の即応性や安定性を見るために実施したものである。一例として、50kW の抵抗負荷を接続した状態で瞬低継続時間 0.2 秒 瞬低間隔 0.2 秒の 5 回繰り返した試験結果を第 4 図に示す。切替時間は最大で 1.6ms、揃速時間は 18ms と仕様を十分満たしており、繰り返し瞬低に強い補償装置と言える。なお、同図で入力電流の振幅が大きくなっているのは、電気二重層コンデンサに充電しているためである。

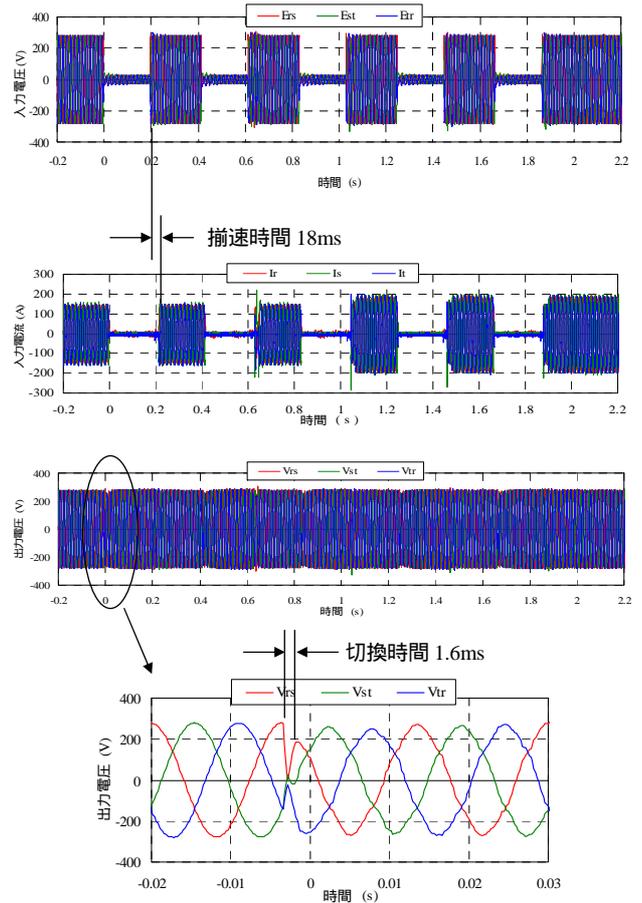
第 2 表 当研究所で実施した各種試験

区分	試験項目
コールドスタート試験	補償限界試験 自動再起動試験
瞬低試験	三相平衡瞬低試験 繰り返し瞬低試験 実波形による瞬低試験 位相変動を伴う瞬低試験 周波数変動を伴う瞬低試験
その他 瞬低を伴わない試験	負荷急変試験 電圧不平衡試験 高調波重畳試験 フリッカ試験 位相急変試験 周波数変動試験 保護連動試験 突入試験



第 3 図 補償限界試験（抵抗負荷約 50kW 時）

（上から順に、入力電圧、入力電流、出力電圧、出力電流波形）

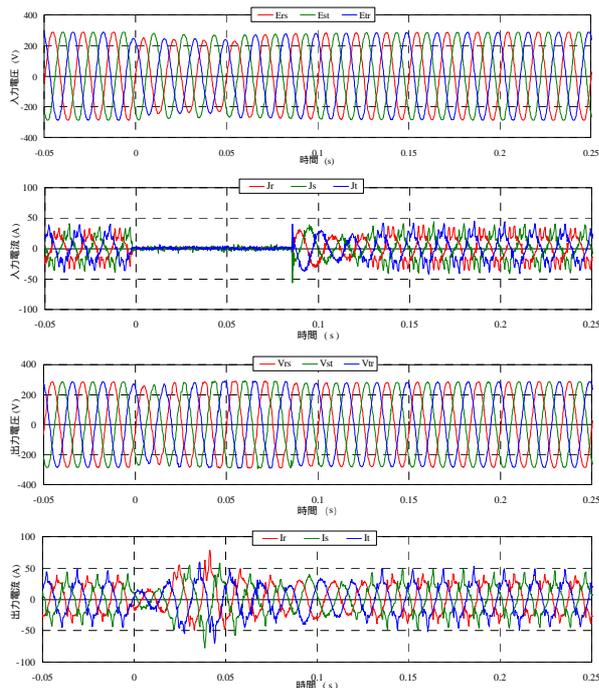


第 4 図 繰り返し瞬低試験結果の一例

4. フィールド試験

本装置のフィールド試験を平成 18 年 7 月から富山県内のお客さま工場にて実施した。お客さま工場の主な負荷は、インバータを使用した NC 工作機械であり、瞬低に非常に敏感である⁽⁵⁾（一般的に電圧低下量 20% 以上で停止に至る）。フィールド試験前に、お客さま工場の瞬低補償対象負荷を調査した結果、ある負荷の起動電流ピーク値が定格電流ピーク値の 4 倍にも及ぶものがあったため、切替スイッチ部には過電流耐量の大きなサイリスタ（1500Apeak: 定格電流ピーク値の約 730%）で対応することとした。

平成 18 年 7 月から平成 19 年 3 月までのフィールド試験の間、10% 以上の瞬時電圧低下が発生した回数は 13 回であった。そのうちバイパス運転中が 1 回あり、本装置が瞬低補償動作した回数は 12 回であった。いずれも瞬低補償動作に成功し、負荷機器への影響も無かった。第 5 図にフィールド試験結果の一例を示す。入力電圧の電圧低下量は最大 17%、瞬低継続時間 65ms であった。



第5図 フィールド試験結果の一例

(上から順に、入力電圧、入力電流、出力電圧、出力電流波形)

これまでのフィールド試験で発生した課題と対策を以下に記す。

a. インバータ出力フィルタと負荷との共振の発生

20kVA 器のフィールド試験では、瞬低補償動作中に出力電圧に振動波形が確認された。原因を分析した結果、インバータ出力フィルタ LC 回路のコンデンサと負荷側のリアクタンス成分により共振が発生したためと推察され、コンデンサに共振抑制のダンピング抵抗を挿入することとした。

b. ノイズによるシーケンサ通信異常の発生

50kVA 器のフィールド試験では、シーケンサと CPU 間の通信異常が 2 件発生した。原因はノイズによる誤動作と考えられ、信号確認処理等のソフト変更を行った。

c. 瞬低誤検出による不要動作の発生

50kVA 器のフィールド試験中、系統に瞬低が発生していないにも関わらず、瞬低補償動作に至る不要動作が数件発生していた。これは負荷の急変や高調波等による電圧の波形歪みにより瞬低検出が動作したものと考えられた。瞬低を素早く検出して切り換えることと誤検出防止とはトレードオフの関係にあり、

今回は、切換時間は 2ms 以内を確保する範囲で、瞬低検出確認時間（電圧サンプリングから制御演算までの周期 $0.125\text{ms} \times 2 \text{ 回分} = 0.25\text{ms}$ ）を設けて誤検出を回避するようにした。

以上、フィールド試験での対策により、本装置が商用器として十分性能を有していることを確認した。

最後に、平成 19 年 10 月、本装置が、競技場等で使用されている高圧放電ランプ（1kW 級の 3 メーカー品：いずれも瞬低補償装置が無いと電圧低下量 100%、瞬低継続時間 10~33ms で消灯する）にも有効であることを当所での瞬低試験により確認した。

5. まとめ

環境負荷の軽減、鉛フリーの観点から、蓄電部に電気二重層コンデンサ（巻回形）を用いた瞬低補償装置（容量 50kVA、瞬低補償時間 1 秒、切換時間 2ms 以内）を開発し、お客さま工場内でフィールド試験により、商用器としての性能を十分有していることを確認した。

本装置は、平成 19 年 4 月に、定格電圧 200 / 240V、容量 50, 100, 200kVA のラインナップで、ニチコン(株)で販売を開始した。

今後、ハード構成、制御方式の改善などフェールセーフを考慮した更なる製品の安定化、量産化に向けたコストダウンや遠隔監視通信システムなどの多機能化を図っていく予定である。

参考文献

- (1) 小川重明, 杉本重幸, 田端康人著:「電気二重層キャパシタ適用 UPS の開発」, 明電時報, No. 5, pp.5-9, (2003 年)
- (2) 坂井良孝, 杉本重幸, 波多野良介著:「キャパシタ式瞬低補償装置の開発」, 電気評論 7 月号, pp.28-30 (2007 年)
- (3) 日本電機工業会技術資料:「汎用半導体交流無停電電源装置（汎用 UPS）のカタログ用語集」, (社)日本電機工業会, JEM-TR186 (1993 年)
- (4) 金尾則一, 山下益功, 柳田孫尚, 金光植, 菊原聡著:「電力再生機能付き瞬低発生装置の開発」, H14 年電気学会電力エネルギー部門大会, No223 (2002 年)
- (5) 電気協同研究会:「瞬時電圧低下対策」, 第 46 巻, 第 3 号 (平成 2 年 7 月)