

# 産業システムへの自励式インバータの適用—電圧フリッカ抑制装置

Application of Self-Commutated Inverters to Industrial Systems—Voltage Flicker Compensator

青山 文夫  
F. Aoyama

芦崎 祐介  
Y. Ashizaki

電圧フリッカ抑制装置は、製鋼用アーフ炉に代表される変動負荷のじょう乱に起因する電圧フリッカ、電圧変動を抑制する装置であり、自励式インバータを応用した方式が主流になりつつある。この電圧フリッカ抑制装置は自励式インバータを PWM (パルス幅変調) 制御することにより、無効電力だけでなく逆相電流、高調波電流も高速に補償できるので、高い電圧フリッカ抑制効果が得られる。

今回、新型の自励式電圧フリッカ抑制装置を開発したが、その自励式インバータは大容量 GTO (Gate Turn Off thyristor) を用いた単相ブリッジ回路を直列多重接続して構成され、18 MVA および 27 MVA の装置を実現している。

A voltage flicker compensator suppresses voltage fluctuations including flicker caused by varying load disturbance, as seen in electric arc furnaces in steel mills. By applying a self-commutated inverter and controlling it by pulse width modulation, a compensator having a high voltage flicker suppression effect is realized. This type of compensator is good for reactive power and negative phase current, and is fast enough to compensate harmonics current.

Inverters of 18 MVA and 27 MVA, consisting of single-phase bridges using large-capacity gate turn-off thyristors (GTOs), are in service.

## 1 まえがき

鉄鋼、化学などの産業システムにおける大容量の電力変換装置としてはサイリスタを用いた他励式が主流であった。近年の自己消弧デバイスの進歩により自励式電力変換装置の大容量化が可能になり、他励式に置き換わりつつある。その一例として製鋼用アーフ炉のような変動負荷に起因する電圧フリッカを抑制するための電圧フリッカ抑制装置がある。

電圧フリッカの抑制対策としてサイリスタ位相制御リアクトル (TCR: Thyristor Controlled shunt-Reactor) を用いた他励式電圧フリッカ抑制装置が従来から利用してきた。これはその原理から無効電力だけしか補償できず、また、応答性も十分ではないため、その効果には限界があった。

当社は、自励式インバータを応用した自励式電圧フリッカ抑制装置を 1987 年に世界に先駆け実用化<sup>(1)</sup>して以来、多数の製作実績をもつ。この自励式電圧フリッカ抑制装置は大容量 GTO を用いた電圧形インバータであり、定格容量の増加、機能の向上を目的として新型装置の開発を行った。

## 2 電圧フリッカとその抑制装置

電圧フリッカは電力系統における電圧変動のうち、特に照明のちらつきとして感じられるものであり、代表的な発生源として製鋼用アーフ炉がある。この電圧フリッカは負

荷の無効電力変動に起因すると考えられてきた。しかし、製鋼用アーフ炉は著しい不平衡負荷であり、また多くの高調波電流を生じ、これらも電圧フリッカの要因となる。したがって、電圧フリッカの発生因子として、有効電力、無効電力、逆相(不平衡)電流および高調波電流の四つを考慮する必要がある。

図 1 は電圧フリッカ発生源である変動負荷 (アーフ炉) と自励式電圧フリッカ抑制装置から成るシステムの構成である。電圧フリッカ抑制装置は変動負荷と並列に接続され、前述の電圧フリッカ因子のうち、無効電力変動、逆相変動

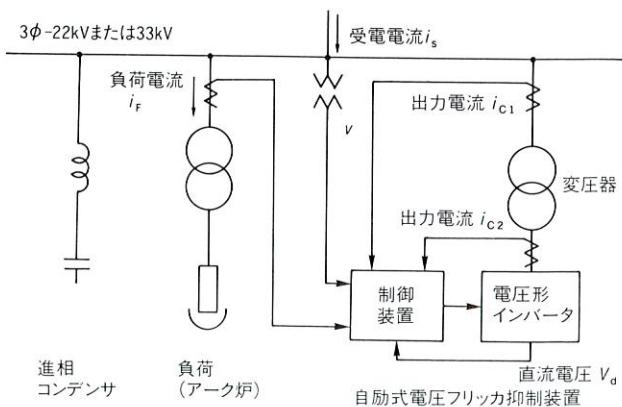


図 1. システム構成　自励式電圧フリッカ抑制装置は、変圧器、電圧形インバータおよび制御装置で構成され、負荷に並列に設置される。  
System configuration

電流および高調波電流を補償する。

### 3 自励式電圧フリッカ抑制装置

#### 3.1 主回路

自励式電圧フリッカ抑制装置は電圧形インバータとそれを系統に連系するための変圧器および制御装置から成る。電圧形インバータは、GTO を用いた単相ブリッジ回路を変圧器を利用して三相結線することにより構成される。定格容量 18 MVA の装置における主回路構成を図 2、主要定格を表 1 に示し、その特長を以下に説明する。

- (1) 電圧形インバータは单器容量 9 MVA の装置が 2 台または 3 台で構成される。1 台の装置には 6 個の単相ブリッジ回路が収納されており、変圧器の交流巻線で直列多重接続され、さらに各相の巻線を三角結線して三相回路を構成している。したがって、定格容量 18 MVA の装置では 4 台の単相ブリッジ回路を、27 MVA の装置では 6 台の単相ブリッジ回路を直列多重接続して構成する。
- (2) 単相ブリッジ回路には 6,000 V-3,000 A の大容量 GTO を使用しており、单器容量を大きくすることによ

表 1. 主要定格

Main ratings

系統電圧	三相 22 kV または 33 kV	
定格容量	18 MVA	27 MVA
方 式	直列多重電圧形 PWM	
直列多重数	4	6
GTO スイッチング周波数	390 Hz	
インバータ 单器定格	容量 9 MVA 構成 単相ブリッジ×6 回路 出力電圧 1,430 V 出力電流 1,050 A 直流電圧 3,000 V 素子構成 GTO : 6,000 V-3,000 A (単相分) 1 S-1 P-4 A 外形寸法 3,400(W) × 2,200(D) × 3,000(H)	
インバータ 冷却方式	純水循環水冷	

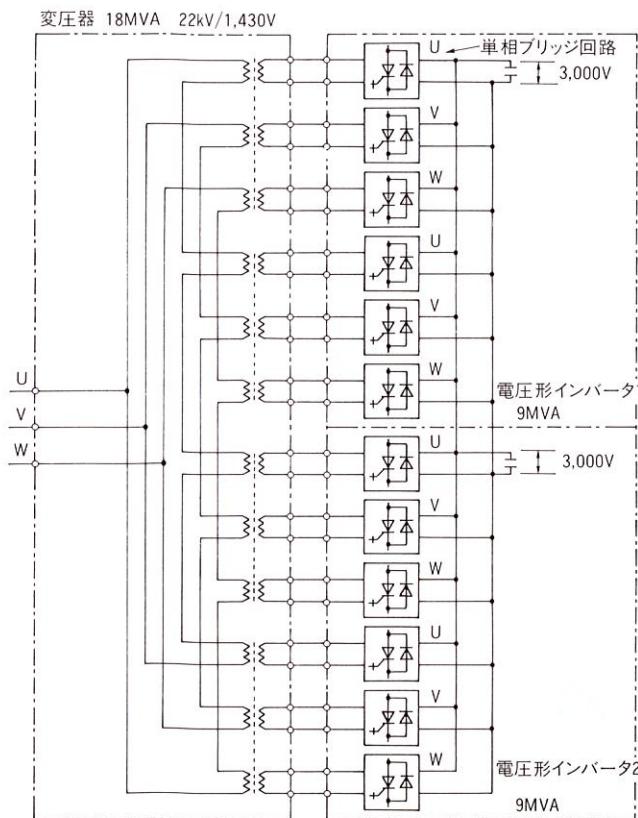


図 2. 主回路構成 単相ブリッジ回路から成る電圧形インバータは、変圧器の交流巻線で直列多重接続され、三相回路を構成する。

Configuration of main circuit

って装置の小型化を図っている。また、高電圧 GTO の採用により、電圧形インバータの直流電圧は 3,000 V を実現している。

- (3) 各単相ブリッジ回路は 390 Hz のキャリアにより PWM 制御される。直列多重化される単相ブリッジ回路のキャリアに位相差を設けることにより、等価的なキャリア周波数を高くして応答性の改善とリップル電流の低減を図っている。
- (4) この装置は電力系統との定常的な有効電力の授受がないため直流回路には電源を必要としない。逆相変動電流および高調波電流を補償する際に過渡的な有効電力を授受する必要があり、これによる直流電圧変動を規定値以内に抑制するために必要なコンデンサが設置されている。
- (5) GTO などの主要部品は冷却効率の高い純水循環水冷方式を採用しており、装置の小型化を実現した。
- (6) 変圧器においては三相四脚鉄心の採用、送油水冷方式の採用により小型化を実現した。

従来の 4 直列多重構成による自励式電圧フリッカ抑制装置の定格容量は 11 MVA であったが、今回開発した装置の定格容量は 4 直列多重構成の場合 18 MVA であり、約 1.6 倍に向かっている。その一方、電圧形インバータの单器容量の増加および変圧器の鉄心構造の合理化により、容積および質量は従来とほぼ同じであり、大幅な小型化に成功している。

#### 3.2 制御回路

制御回路は、電圧フリッカを抑制するための出力電流基準演算回路と、装置の出力電流を電流基準に一致させかつ直流電圧を一定値に維持する電流制御回路から構成される。図 3 に制御構成を示し、その特長を以下に説明する。

- (1) 補償対象負荷(アーク炉)の無効電力変動、逆相(不平衡)変動電流および高調波電流を補償する。そのため

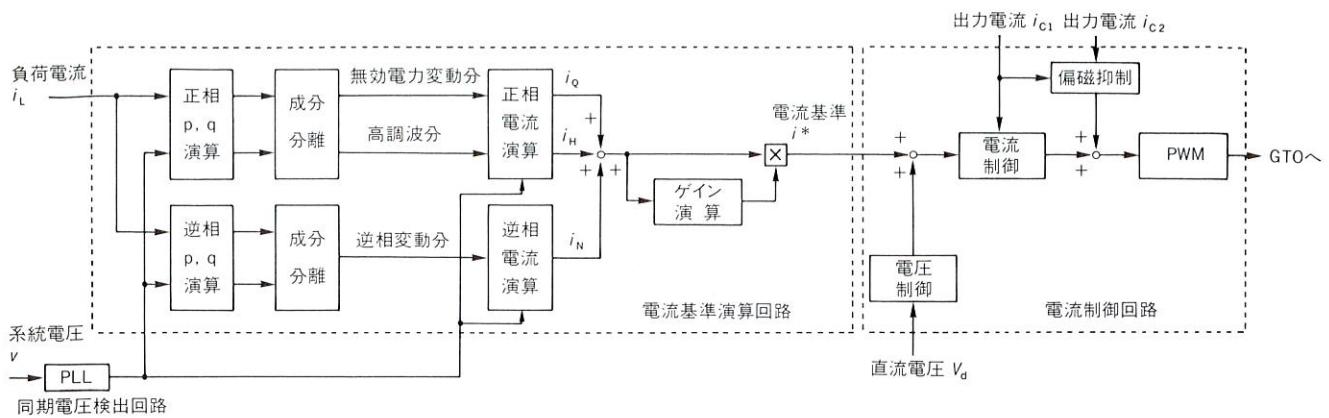


図3. 制御構成 負荷のじょう乱を補償するための電流基準に出力電流が追従するよう、電圧形インバータをPWM制御する。

Block diagram of control circuit

の電流基準の演算に瞬時実電力・虚電力の理論<sup>(2)</sup>を応用している。

- (2) 電流基準の大きさに応じて補償ゲインを最適に自動制御することにより、装置容量を有効に活用でき高い電圧フリッカ抑制効果が得られる。
- (3) 変圧器の直流偏磁を防止するため、各単相ブリッジ回路の出力電流を個別に制御し、変圧器の各巻線の励磁電流直流分を抑制している。

## 4 適用例

電圧フリッカ抑制効果の一例として、70トンアーク炉(ア

ーク炉変圧器容量50MVA:最大無効電力92.1MVar)に対して、18MVA電圧フリッカ抑制装置を適用したときの電圧フリッカチャートを図4に示す。補償度(最大無効電力に対する電圧フリッカ抑制装置容量の比)19.5%に対して電圧フリッカ改善率(改善前フリッカに対する改善後フリッカの比)は50.7%が得られている。

## 5 あとがき

大容量GTOを用いた新型の自励式電圧フリッカ抑制装置を開発し、良好な性能が得られた。また、電圧フリッカ抑制以外の用途として、電圧変動抑制、力率改善、不平衡補償にも適用が可能である。

## 文 献

- (1) 田上芳郎、他:5MVA GTO フリッカ抑制装置、東芝レビュー、43, 4, pp.339-342 (1988)
- (2) 赤木泰文、他:瞬時無効電力の一般化とその応用、電気学会論文誌、103, 7, pp.483-490 (1983)

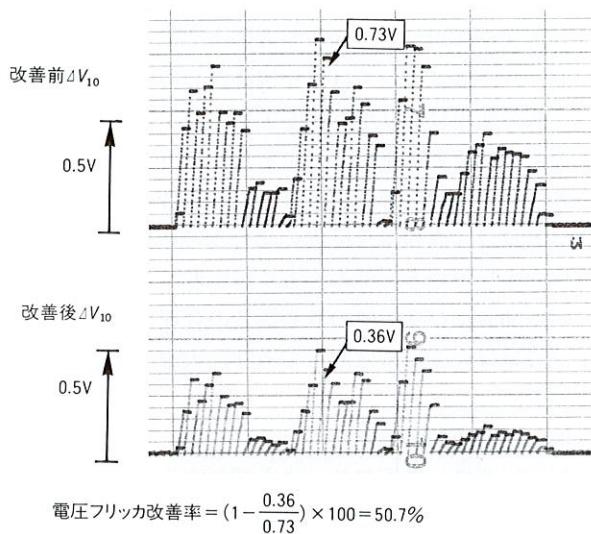


図4. 電圧フリッカ抑制効果の例 アーク炉が発生する改善前フリッカに対し、改善後フリッカは約1/2に低減されている。

Example of voltage flicker suppression

青山 文夫 Fumio Aoyama

府中工場パワーエレクトロニクス部主務。  
電圧フリッカ抑制装置の開発設計に従事。  
Fuchu Works

芦崎 祐介 Yusuke Ashizaki

産業機器事業部産業電力変換システム技術部主務。  
産業用電力変換装置のシステム設計に従事。  
Industrial Electric Equipment Div.