

# 電力系統教育のための双方向電力変換器の構築

AE16067 波多野 豪

指導教員 藤田 吾郎

## 1. はじめに

近年、再生可能エネルギーの普及による電力系統の複雑化に伴い、柔軟な交流送電システムや高電圧直流送電に関する問題が懸念されている。そのため、2008年に近代的な電力系統を構築する目的で将来の自然エネルギー電力供給管理(Future Renewable Electrical Energy Delivery and Management=FREEDM)システムが提案されている<sup>[1]</sup>。FREEDMシステムにおける装置の一部である半導体変圧器(Solid State Transformer=SST)は、AC-DCコンバータ、DC-DCコンバータ、およびDC-ACコンバータの組み合わせで構築される。SSTはACとDCの両方をACまたはDCに変換できる機器として注目され、配電システムのために幅広く研究されてきた。しかし、学生にとって、近代的な電力システムをしっかりと理解すること、あるいは少なくともこれらの基礎が実際の系統にどのように実装されているかを理解することは困難である。したがって、本研究の目的は、学生がこのパワーエレクトロニクス装置を深く理解するのを助けるために、実験室規模のSST応用のための双方向AC-DCコンバータモジュールを構築することである。

## 2. 半導体変圧器(SST)

SSTは、AC-DCコンバータ、DC-DCコンバータ、DC-ACコンバータの3種類の電力変換器で構成されている。図1にSSTの構成を示す。

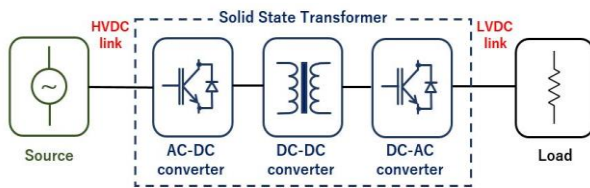


図1 SSTの構成

従来の変圧器は入力と出力に同じ周波数を使用する必要があるが、SSTは両側で異なる周波数を使用できる。また、従来の変圧器では電圧比が固定されているが、SSTの電圧比は柔軟である。しかし、効率に関しては、従来の変圧器の99.5%よりわずかに低い98.7%がSSTの最高効率となっている<sup>[2]</sup>。

## 3. AC-DCコンバータモジュールの構成

### 3.1 概要

本稿におけるAC-DCコンバータは、SSTとしての利用だけでなく、通常のAC-DCコンバータ基本要件を満たす必要がある。そのため、双方向電力伝送、調整可能なDC出力電圧、単一力率、高効率、使用の容易さを満たすことに焦点を当てる。構築したAC-DCコンバータの構成概略図を図2に示す。

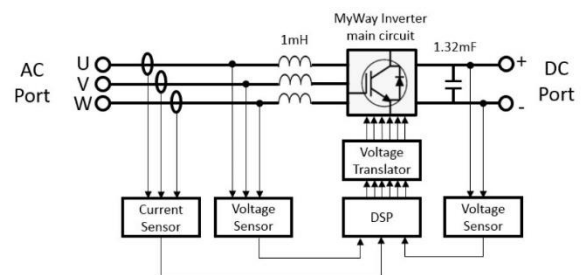


図2 AC-DCコンバータの構成概略図

AC-DCコンバータは、双方向機能を持つMyWayインバータMWINV-1R022(スイッチング信号の要求電圧5V)、制御プラットフォームとして機能するDSP制御ボードTMS320F28335 Experimenter's Kit(信号出力3.3V)、インバータのスイッチングに必要な電圧を満たすための電圧レベル変換回路、電流センサ、電圧センサで構成される。

### 3.2 制御回路

制御回路の構築には、MATLAB/SimulinkとDSP制御ボードをサポートしているEmbedded Coder Toolboxを用いる。このツールボックスは、制御回路の設計において、Simulink上で構築したブロック図による制御回路を、DSP制御ボードで使用されるC言語コードに自動的に生成することができ、従来のC言語による手法に代わり、組み込みシステムの設計を容易にすることが可能となる。

図3に、AC-DCコンバータモジュール制御回路の概略図を示す。この制御回路ではまず、線間電圧 $v_{abc}$ 、線電流 $i_{abc}$ からそれぞれ電圧値、電流値を求める。これらの値をabc軸からdq軸に変換する。dq軸上に変換されたdq電流 $i_{dq}$ はdq基準電流と比較する。このときd基準電流 $i^*_d$ は、直流基準電圧 $V^*_{DC}$ と実直流電圧 $V_{DC}$ を比較して求める。一方、q軸基準電流 $i^*_q$ は、力率が1になるよう設定するため、 $i^*_q = 0$ に設定する。これにより求められるdq電流とdq基準電流の差は、それぞれPIコントローラによ

って制御され、この信号をdq軸からabc軸に逆変換を行う。最後に、AC-DCコンバータのスイッチングに必要な信号に変換するため、パルス幅変調(Pulse Width Modulation=PWM)ブロックに送られる。また、PIコントローラのパラメータを表1に示す。

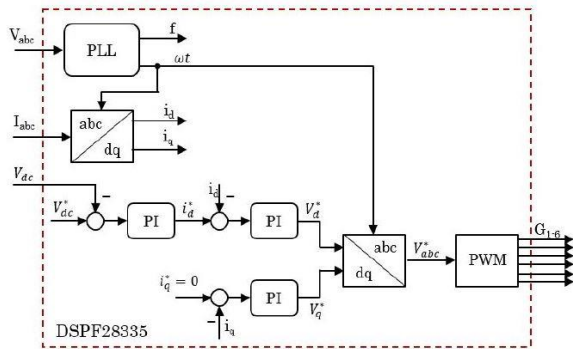


図3 AC-DCコンバータモジュール制御回路の概略図

表1 PIコントローラのパラメータ

項目	パラメータ	
電流コントローラ	$k_p$	1
	$k_i$	10
電圧コントローラ	$k_p$	0.1
	$k_i$	1

## 4. 実験結果

### 4.1 コンバータ試験

コンバータ試験の結線図を図4に示す。ここでは、目標直流電圧値を変更した場合の試験を行う。この試験では、入力交流電圧25 V、負荷を100 Ωに設定し、目標直流電圧値を40、50、60 Vに変更した場合の、出力直流電圧、電流・電圧THD、力率を計測する。試験結果を表2に示す。

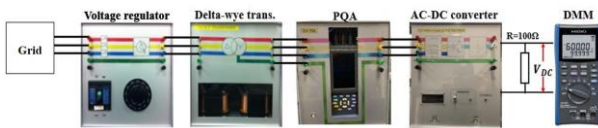


図4 コンバータ試験の結線図

表2 コンバータ試験結果

項目	計測値		
目標直流電圧	40 V	50 V	60 V
出力直流電圧	39.8 V	49.7 V	59.7 V
電圧THD	2.4 %	2.8 %	3.1 %
電流THD	8.8 %	6.2 %	5.8 %
力率	0.987	0.991	0.991

### 4.2 インバータ試験

インバータ試験の結線図を図5に示す。この構成は、AC-DCコンバータモジュールの直流側で入力直流電圧を供給するため直流電源を用いること以外は、コンバータ試験と同様である。入力直流電圧は50 V、交流側では入力交流電圧10 Vを供給する。また、制御系ではd軸電流目標値を負の値に設定し、-0.8、-1.0、-1.2 Aに変更した場合の出力d軸電流、電流・電圧THD、力率を計測する。負の値に設定するのは、電力フローが直流側からグリッドへ流れるためである。試験結果を表3に示す。

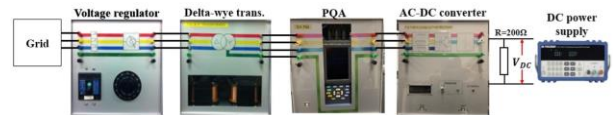


図5 インバータ試験の結線図

表3 インバータ試験

項目	計測値		
目標d軸電流	-0.8 A	-1.0 A	-1.2 A
出力d軸電流	-0.807 A	-0.989 A	-1.210 A
電圧THD	3.8 %	3.9 %	3.8 %
電流THD	8.0 %	7.2 %	5.8 %
力率	0.981	0.984	0.987

## 5. まとめ

以上の結果から、AC-DCコンバータモジュールは、双方向電力伝送、調整可能なDC出力電圧、単一力率の必要条件を満たした。そのため、通常のAC-DCコンバータ基本要件を満たしたと評価することができる。さらに、AC-DCコンバータモジュールの性能を確認するため、高電圧範囲での実験試験を行うことが今後の課題だと考える。

## 参考文献

- [1] Alex Q. Huang, Mariesa L. Crow, Gerald Thomas Heydt, Jim P. Zheng, Steiner J. Dale, "The Future Renewable Electric Energy Delivery and Management (FREEDM) System: The Energy Internet" IEEE, Vol.99, No.1, p.133-148, 2011
- [2] C.P. Vineetha, C.A. Babu: Smart Grid Challenge, Issues and Solutions, 2014 International Conference on Intelligent Green Building and Smart Grid (IGBSG), June 2014