

SSTにおけるDABコンバータの制御システム設計

AE14015 大久保達哉

指導教員 藤田吾郎

1. はじめに

近年、再生可能エネルギーからのエネルギーの流入を円滑にするスマートグリッドが注目されている。そこで、スマートグリッドを実現するためにSST(Solid State Transformer)と呼ばれる変圧システムが提案されている。変圧器の主な機能は、長距離を輸送するために使用される高電圧を家庭や企業が必要とする低電圧に低減することである。今日の変圧器はこの一方のみで動作する。分散型電源から、大規模な電力網と効率的に噛み合うために必要なより高い電圧まで上げるための設備はない。SSTは家庭や企業で使用するために電圧を下げることに加え、電圧を上げて電力を電力網に供給することも可能である。そして、必要に応じてそれらの2つの機能を切り替えることができる。^[1]

本研究ではラボスケールでSSTを製作し、再生可能エネルギー導入の面におけるスマートグリッドの柔軟性を向上させるシステムを確立することを目的とする。

2. SST

SSTは、高電圧AC-DCコンバータステージ、調整された直流バスを生成するための高周波DC-DCコンバータステージ及び低電圧に調整された交流バスを生成するDC-ACコンバータステージから構成される。ここで扱うDC-DCコンバータは双方向の電力融通が可能であり、一次側(高電圧側)と二次側(低電圧側)が絶縁されているDAB(Dual Active Bridge)コンバータである。SSTの構成を図1に示す。

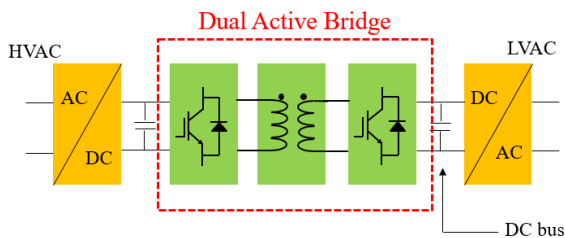


図1 SSTの構成

SSTはシステム内で直流バスを介して変圧するため、太陽光発電やバッテリーといった直流電源と直接、接続することが可能となる。そのため、再生可能エネルギーなどの分散型電源の利用が増え、スマートグリッドの拡大に貢献することができる。

本稿ではDABコンバータにおける制御方式やMATLAB Simulinkによって製作した制御システムのシミュレーション結果を報告する。

3. 制御方式

直流バスに太陽光発電や電力貯蔵装置を接続することを考慮すると、電圧の変動が予想される。そのため、直流電圧を一定に保つように制御する必要がある。そこで、本研究では一次側の直流電圧をAC-DCコンバータで、二次側の直流電圧をDC-ACコンバータで一定に制御し、DABコンバータで電力潮流制御を行う制御方式を提案する。図2にSSTの制御方式を示す。ここで、 P_2 は交流負荷の大きさを、 P_p は電流源コンバータ及び直流負荷によって値が決まるため、 P_D の値も決まる。したがって、DABコンバータによって電力潮流制御が可能となる。

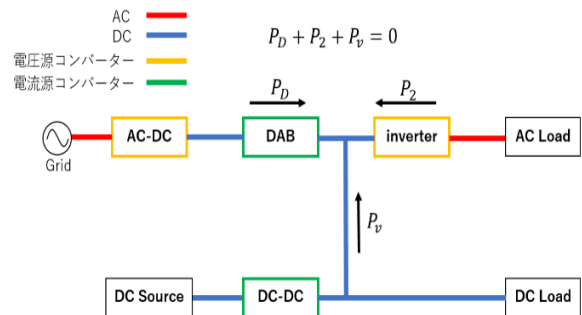


図2 SSTの制御方式

また、DABコンバータの一次側及び二次側の直流電圧はそれぞれAC-DCコンバータ、DC-ACコンバータで一定に保たれているため、DABコンバータでは電流を制御することで電力潮流を制御することができる。したがって、本稿では図2のような制御方式を提案する。DABコンバータの電力式は式(1)^[2]で表される。

$$P_D = \frac{V_{D1}V_{D2}}{\omega L} \left(\delta - \frac{\delta^2}{\pi} \right) \quad (1)$$

ここで、 V_{D1} 及び V_{D2} はそれぞれ一次側と二次側の交流電圧、 ω はスイッチング角周波数、 L は合成インダクタンス、 $\delta[\text{rad}]$ は変圧器における一次側交流電圧 V_{D1} と二次側交流電圧 V_{D2} の位相差である。電力が送られる方向はこの $\delta[\text{rad}]$ により決定される。二次側交流電圧の位相が一次側交流電圧の位相より遅れている場合、電力は一次側から二次側に送られる。一次側交流電圧が遅れている場合、電力は逆方向に送られる。この特性を踏まえ、希望の直

流電流値になるように位相差を制御する方式が図3である。希望の直流電流値と実際に出力されている値を比較し、PI制御により位相をどの程度遅らせるかを決定する。

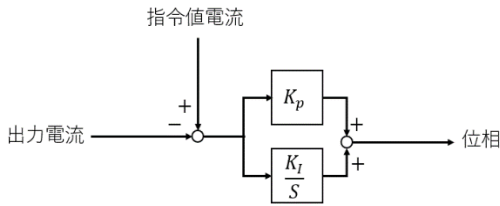


図3 DABコンバータの電流値による位相制御

4. シミュレーション結果

DABコンバータの電流値による位相制御のシミュレーションを行った。指令値電流を4Aから8Aに変化させて出力電流が制御されているかを確認する。図4に制御システム、表1に実験パラメータ、図5にシミュレーション結果を示す。

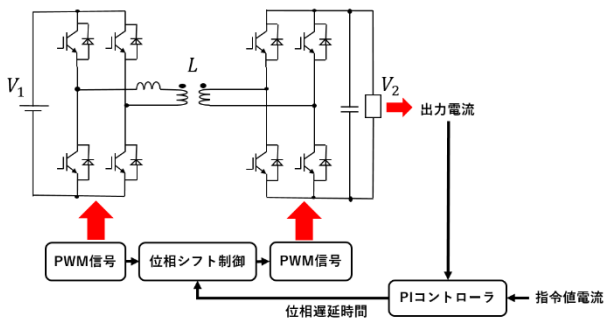


図4 制御システム

表1 DABコンバータのパラメータ

一次側電圧 (V_1)	25V
二次側電圧 (V_2)	22.5V
変圧器巻き線比	1:1
スイッチング周波数	10kHz
合成インダクタンス(L)	31.5 μ H
フィルタキャパシタ	1500 μ F

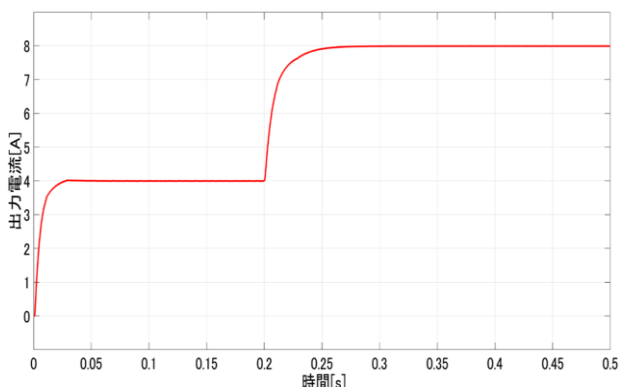


図5 出力電流

5. 実験結果

実験回路を図6に示す。実験では一次側電圧を25V、二次側電圧を22.5Vに固定し、位相差を30°、45°、60°に変化させて実験を行った。この時の一次側出力電力 P_1 、二次側出力電力 P_2 、式(1)より導出した電力の理論値 P_D の波形を図7に示す。

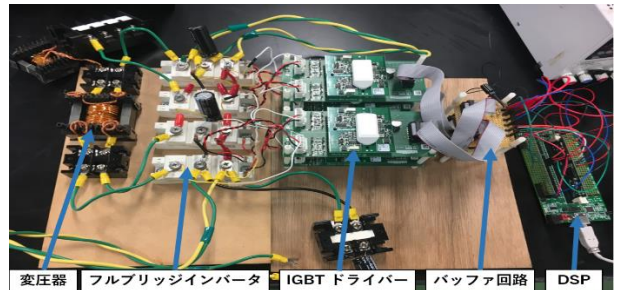


図6 実験回路

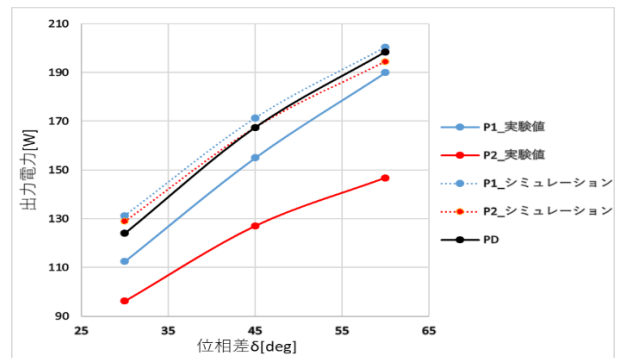


図7 出力電力波形

6. まとめ

本研究では、SSTにおけるDABコンバータの制御方式を明確にした。シミュレーション結果より、一次側交流と二次側交流の位相差を制御することによって直流電流を制御することが可能であることを確認した。また、実験を通して位相差により、送られる電力が変化することを確認した。

今後は実験機に適したPIパラメータになるように調整し、任意の出力電流に応じて位相差が変化し、電力潮流制御を行えることを確認する必要がある。

参考文献

- [1] Steve Hanley, "Solid State Transformers Could Be Key To Smart Grid Functionality"
<https://cleantechnica.com/2017/07/13/solid-state-transformers-key-smart-grid-functionality/>, 2018年1月17日アクセス
- [2] 井上重徳, 赤木泰文「双方向絶縁型DC/DCコンバータの動作電圧と損失解析」, 電学論D, Vol.127, No.2, pp.189-197 (2007)