

半導体変圧器SSTにおけるDual Active Bridgeコンバータの設計

AE16053 登内さやか

指導教員 藤田吾郎

1. はじめに

近年、地球温暖化対策として太陽光発電や風力発電等の再生可能エネルギーが注目されており、大量導入が促進されている。しかし、大量導入に伴い電力系統全体でいくつか技術的課題が挙げられる。例えば、急激な出力変動に対する周波数の変動、太陽光発電や蓄電池から系統側への逆潮流が増加することによる系統電圧の上昇である。また、従来の配電システムでは、数 kV の電力系統から数百 Vへ降圧を行うため、ノイズや安全の観点から絶縁トランスを介す必要がある。商用周波数トランスを用いた場合、システム全体に対する体積や重量の占める割合が大きく、小型化の妨げとなる。これら技術的課題を解決すべく、また電力の効率的利用を行えるよう提案されたのがSolid State Transformer(SST)と呼ばれる機器である。

本研究ではSSTの系統導入に向け、SSTの中核にあたるDual Active Bridge(DAB)コンバータを製作し、電力融通を円滑に行うためのシステムを確立させることを目的とする。

2. Solid State Transformer

SSTは、高電圧交流を高電圧直流に変換するAC-DCコンバータ、調整された直流バスを生成するための高周波DC-DCコンバータ及び家庭や企業で使用するために低い交流電圧に変換するDC-ACコンバータから構成される。

DC-DCコンバータは双方向に電力融通可能なDual Active Bridgeコンバータを用いる。また、近年パワーデバイス技術の進歩によってトレンチゲートIGBTとナノ軟磁性材料を用いたDC-DCコンバータでは、直流入出力間電力交換効率97%が得られている^[1]。SSTの構成を図1に示す。

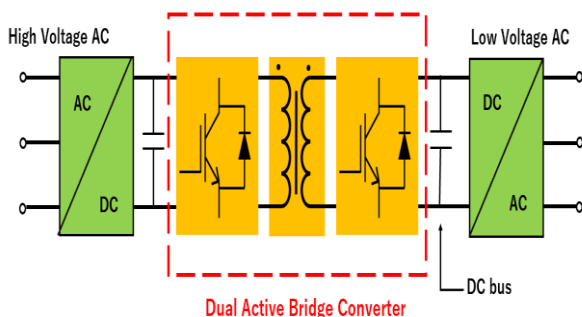


図1 SSTの構成

3. 制御方式

DABコンバータの二次側は直流バスとして扱われる。直流バスに太陽光発電やバッテリーが接続されることを考慮すると電圧の変動が予想される、そのため、DABコンバータは二次側の直流電圧を一定に保つように制御しなければならない。DABコンバータの電力式^[2]は(1)式で表される。

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

ここで V_{D1} は一次側直流電圧、 V_{D2} は二次側直流電圧、 ω はスイッチング角周波数、 L は外付けインダクタンスと高周波変圧器の漏れインダクタンスの合成インダクタンス、 δ は変圧器における一次側交流電圧と二次側交流電圧の位相差である。電力が送られる方向はこの δ [rad]によって決定される。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。反対に、一次側交流電圧の位相が二次側交流電圧の位相より遅れている場合、電力は逆方向に送られる。DABコンバータはトランスの一次側と二次側のフルブリッジインバータを位相シフト制御することで、双方向の電力融通を可能とする。図2にDABコンバータの主回路を示す。

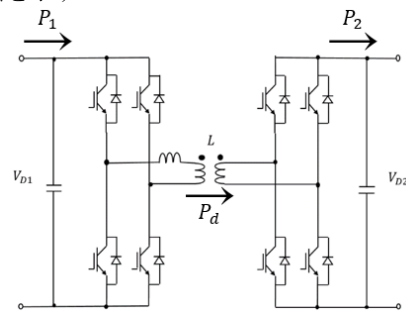


図2 DABコンバータの主回路

4. シミュレーションモデル

DABコンバータの位相制御のシミュレーションを行った。図3にDABコンバータのシミュレーションモデル、表1にシミュレーションに用いたDABコンバータのパラメータを示す。図3よりSystemで周波数を生成しPWM制御を行い、生成した信号を一次側・二次側に送り、それぞれの素子によるスイッチングでシミュレーション波形を観測する。また、位相制御は図3のPhase-shiftで行い、位相変化させた信号を二次側に送っている。

図3のシミュレーション回路において、位相変化 30° 設定時の一次側・二次側電圧位相差波形を図4に示す。

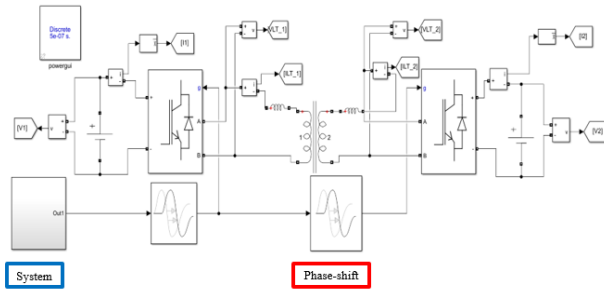


図3 シミュレーションモデル

表1 DABコンバータのパラメータ

一次側電圧 (V_1)	50 V
二次側電圧 (V_2)	45 V
変圧器巻き線比	1:1
スイッチング周波数 (f)	20 kHz
合成インダクタンス	31.5 μ H
フィルタキャパシタ	1500 μ F

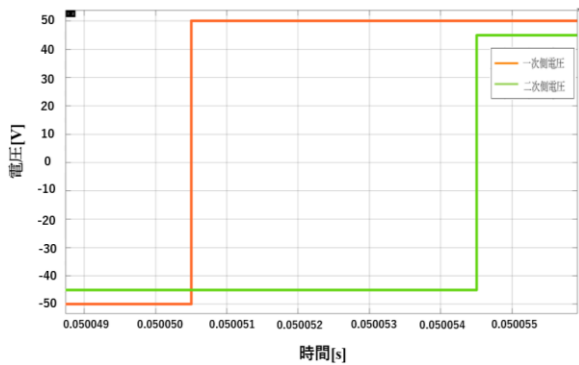


図4 シミュレーション結果

図4より一次側電圧と二次側電圧の位相差は約4.15 μ sである。これをラジアン表記にすると以下の式となる。

$$\delta = 2\pi f \times 4.15 \times 10^{-6} = \frac{\pi}{6} \text{ [rad]} \quad (2)$$

シミュレーション回路において、(2)式より設定した位相差の出力を確認した。

5. 実験結果

実験回路を図5に示す。

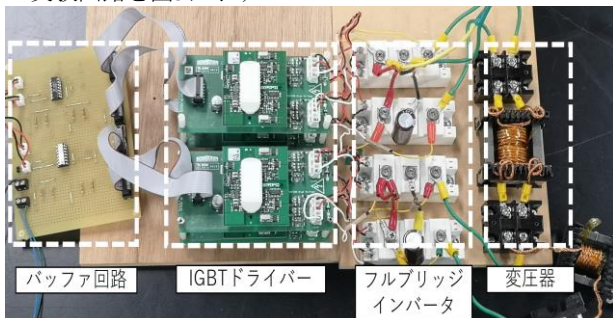


図5 DAB実験回路

実験では、位相差を20°から60°に限定し、表1のパラメータ時の電力測定を行いシミュレーション値との比較を行った。この時の一次側出力電力 P_1 、二次側出力電力 P_2 、式(1)より導出した電力値 P_d の波形を図6に示す。

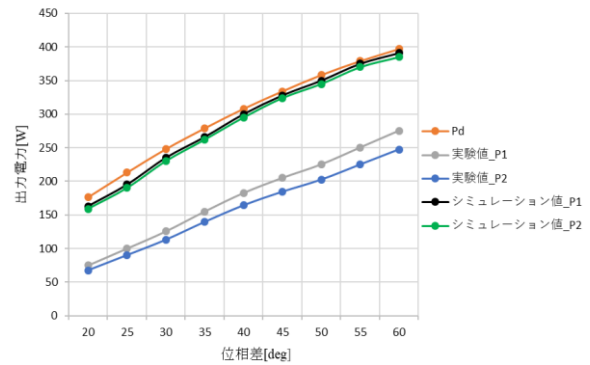


図6 電力変換効率測定

実験値がシミュレーション結果及び P_d より小さいことが確認できる。これは、シミュレーション結果及び(2)式を用いた P_d には抵抗損やスイッチング損失が考慮されていないためだと考えられる。

6. まとめ

本稿では、SSTにおけるDABコンバータの制御方式を明確にし、位相差を制御することによって電力の融通が可能であることを確認した。また、実験機の製作および効率評価を行った。実験を通して位相差によって伝送される電力が変化することを確認し、高効率での運用に向けて実験実機の整備や設計の見直しが必要であることを明らかにした。

今後は、上達した課題を検討するとともにAC-DCコンバータ、DC-ACコンバータと接続した際、潮流・逆潮流に対応した電圧や電流の波形や指令値通りの値となっているのか検証を行う。

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] Shigenori Inoue, Hirofumi Akagi, "A Bidirectional DC-DC Converter for an Energy Storage System With Galvanic Isolation" IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, Vol.22, No.6 p.2299-2306 (2007)