

半導体変圧器 SST の設計

電気電子情報工学専攻
電力システム工学研究

MA15060 にしやゆうき 西谷優輝
指導教員 藤田 吾郎

1. はじめに

近年、地球温暖化や資源枯渇といった問題が深刻化している。そのため無駄の無い効率的な電力システムの運用が求められている。その一つの計画として、アメリカで提案されている将来の配電方式 FREEDM (Future Renewable Electric Energy Delivery and Management)が挙げられる^[1]。FREEDM では、発電側だけで需給バランスを調整するのではなく配電側でも調整が可能のため電力の効率的利用が期待される。FREEDM における配電用変圧器には半導体変圧器 SST (Solid State Transformer)と呼ばれる機器が使われており、システム内で直流バスを介して変圧するため、太陽光発電や風力発電といった直流電源を直接、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の利用が増え、スマートグリッドの拡大に大きく貢献すると考えられている。本研究ではこの半導体変圧器の制御方式を検討し、実際にラボスケールで製作することを目的とする。

2. 半導体変圧器

半導体変圧器は DC-AC コンバータ, DC-DC コンバータ, DC-AC コンバータから構成される。ここで扱う DC-DC コンバータは双方向に電力を送ることができ, DAB (Dual Active Bridge)コンバータと呼ばれる。DAB コンバータ内に高周波変圧器が含まれており、この変圧器で変圧を行う。また高周波変圧器を用いているため、変圧器の小型化が見込まれる。半導体変圧器の構成を図 1 に示す。

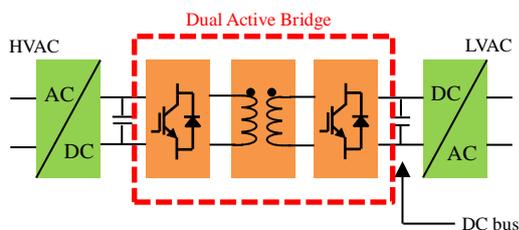


図 1. 半導体変圧器の構成

本稿では半導体変圧器における DAB コンバータの制御方式やシミュレーション結果、そして製作した実機の実験結果を報告する。図 2 に DAB コンバータの主回路、表 1 に DAB コンバータのパラメータを示す。

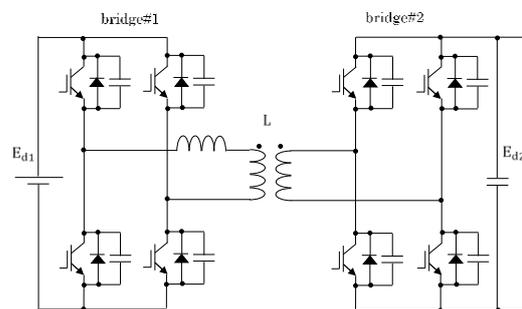


図 2. DAB コンバータの主回路

表 1 DAB コンバータのパラメータ

Parameter	Symbol	Value	Unit
Port voltage	E_{d1}	50	V
Port Voltage	E_{d2}	45	V
Trans turn ratio	n	1.1	-
Total inductance	L	25.38	μH
Total resistance	R	45.71	$\text{m}\Omega$
ON resistance	R_{DS}	2.3	$\text{m}\Omega$
Switching frequency	f_s	10	kHz

3. 制御方式

DAB コンバータにおける二次側は直流バスとして扱われる。図 1 において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たなければならない。そこで本稿が提案する制御方式は図 3 の制御方式である。DAB コンバータの電力式は(式 1)で表される^[2]。

$$P = \frac{E_{d1}E_{d2}}{\omega L} \left(\delta - \frac{\delta^2}{\pi} \right) \dots \dots \dots (式 1)$$

(式 1)における $\delta[\text{rad}]$ 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 $\delta[\text{rad}]$ により決定される。例えば二次側交流電圧が一次側交流電圧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では電力は逆方向に送られる。この特性を踏まえて、希望の直流電圧値になるように位相差を制御する方式が図 3 である。

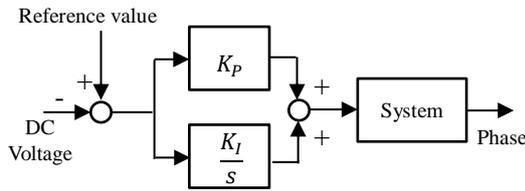


図 3. DAB コンバータにおける直流電圧一定制御

4. シミュレーション結果

直流電圧一定制御を用いた DAB コンバータのシミュレーションを行った。直流電圧の指令値を 45V から 50V に変化させて直流電圧が制御されているかを確認する。シミュレーション結果を図 4 に示す。

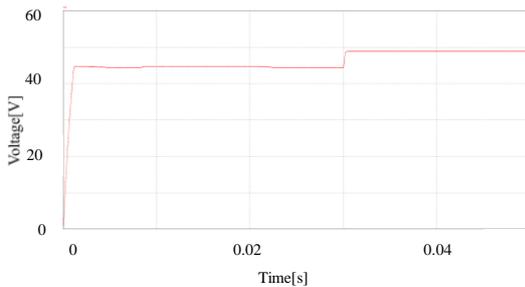


図 4. 二次側直流電圧

図 4 から指令値通りに直流電圧が制御されていることが確認できる。しかし積分制御係数が小さいためオフセットが残ってしまっているため、PI コントローラのパラメータ調整が必要である。

5. 実験結果

DAB コンバータの製作には SEMIKRON 社のハーフブリッジ SKM50GB063DDAB を用いた。

実験回路を図 5 に示す。実験では位相差を一定値の 14.4° , 28.8° で実験を行った。このときの二次側の波形を図 6 に示す。

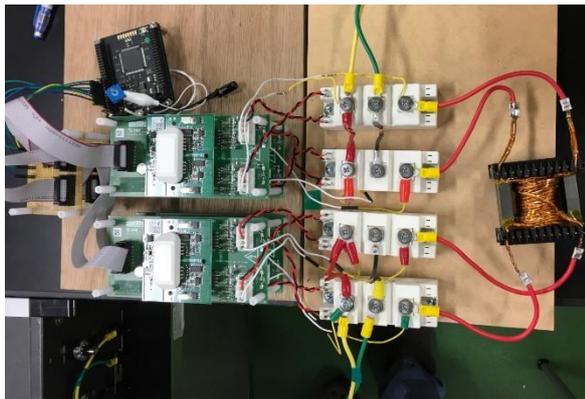


図 5. 実験回路

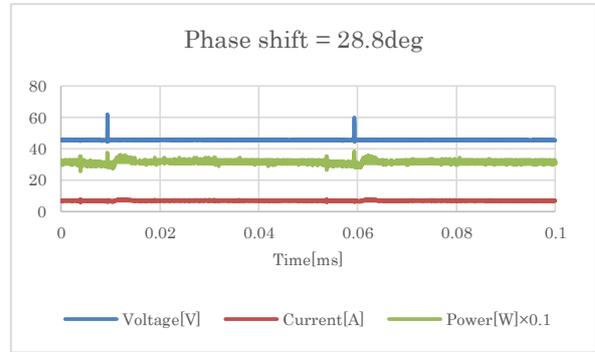
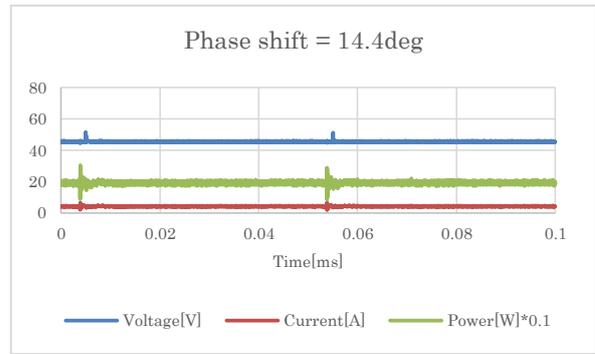


図 6. 実験結果

6. まとめ

本稿では、半導体変圧器における 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直流電圧一定制御を用いることで DAB コンバータの制御が可能である。また実験を通して位相差によって送られる電力が変化することを確認した。

今後は、直流電圧一定制御を用いた実験を行い、電圧波形を確認する必要がある。またこの DAB コンバータの効率がおよそ 80% であるので、変圧器の設計の見直しや IGBT のスイッチング方式の検討が課題である。

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] 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)

研究業績

1. 西谷 優輝, 藤田 吾郎 "半導体変圧器 SST の電圧制御に関する研究" 電気学会電力・エネルギー部門大会, No.309, 8-2p.9-10, (2015)
2. Yuki Nishiya, Goro Fujita, "Study on Voltage Controls of Solid State Transformer" The International Conference on Electrical Engineering, Informatics, and Its Education 2015 (CEIE), p.19 2015, Malang, Indonesia
3. Yuki Nishiya, Dinh Nguyen, Goro Fujita, "Comparison of two level PWM and three level PWM in Dual Active Bridge converter" The 4th IEEE International Conference on Sustainable Energy Technologies(IEEE-ICSET2016), Hanoi, Vietnam