

PWM 駆動と方形波駆動を併用した マルチセル Solid-State Transformer の制御法

◎菊地 尚斗, Hoai Nam Le, 宮下 充, 日下 佳祐, 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)

1. はじめに

近年, 柱上変圧器等の小型化を目的に, 高周波トランスを用いたSolid-State Transformer(SST)が注目されている⁽¹⁾。特に6.6kV系統に接続されるSSTでは, 半導体デバイスの耐圧を下げるために電力変換器を多段化して構成する⁽²⁾。しかし, 高次調波電圧を重畳し系統電圧を正弦波化するため, 全ての多段化構成した電力変換器は高周波スイッチングが必要がある。そのため, 高周波スイッチングが可能なデバイス数が増加し, 高コスト化の原因となる。

そこで本論文では, 多段化した電力変換器の1台のみPWM駆動する手法を提案する。提案駆動法は高周波スイッチングするデバイスを低周波スイッチングするデバイスに置き換えることで, 低コスト化できる。

2. 回路構成および制御手法

図1に論文で提案するSSTを示す。提案するSSTは, 入力側の力率改善回路(PFC)と共振形DC/DCコンバータから構成されるセルを, 1次側直列, 2次側並列接続となるように多段化する。多段構成によって, 1セルあたりの耐圧を低減でき, 低耐圧デバイスを適用できる。従来のSSTでは, 各セルのPFCをPWM駆動させることによって, 力率改善動作を実現しているが, 提案駆動法では, 1つのセルのみPWM駆動を行い, 他のセルが出力する方形波電圧を正弦波化するように動作する。

図2に提案駆動法における入力電流の制御ブロックを示す。PWM駆動するセルは, 方形波セルの出力電圧による高調波成分を補償し, インダクタ L_b の電流を出力電圧に起因する全波整流波形に制御する。ここでPI制御器の出力は, セルが出力するべき電圧の合計となるため, 方形波セルの出力電圧が外乱となる。そのため, 方形波セルの出力電圧をフィードフォワードすることにより, 外乱を補償する。

図3に提案駆動法における, 各セルの出力電圧の分担を示す。なお, セルは3段構成とし, 2段目, 3段目セルの直流電圧をそれぞれ V_{dc2} , V_{dc3} とする。方形波駆動するセルは, 系統電圧の2倍の周波数に同期した方形波電圧を出力する。スイッチング信号は, 系統電圧と各セルの直流電圧 V_{dc2} , V_{dc3} を比較して生成する。1段目セルは全波整流電圧と2段目, 3段目セルの出力電圧の差分を出力する。なお, 共振形DC/DCコンバータは, ZVSを達成するために, 共振周波数かつduty比を50%にしてオープンループ動作する⁽²⁾。2次側のスイッチング信号は全オフレグダイオード整流器として動作する。

3. 実機検証

図4に提案駆動法を適用した実験波形を示す。本実験は, セルは3段構成を, 入力電圧200V, 入力電力1.4kWの条件で行った。実験波形より, 2つの方形波セルは入力電圧に同期した方形波電圧波形を出力していることがわかる。また, PFCは電圧方形波駆動セルによる高調波成分を補償する電圧を出力していることがわかる。入力電流のTHDは4.54%であり, 方形波駆動とPWM駆動を組み合わせても入力電流を制御可能であることを確認した。加えて, 入力電圧, 電流より力率が0.993となり, 力率改善動作が可能であることを確認した。

今後は, 効率評価および損失解析を行う予定である。

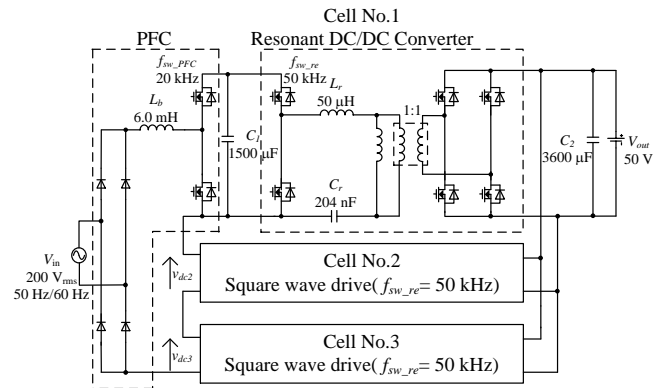


Fig. 1. Circuit configuration of the single-phase SST.

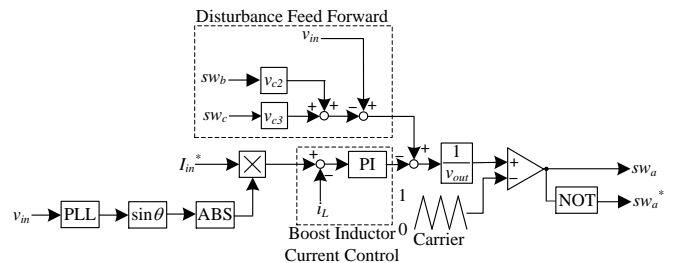


Fig. 2. Control block diagram of the PFC (Cell No. 1).

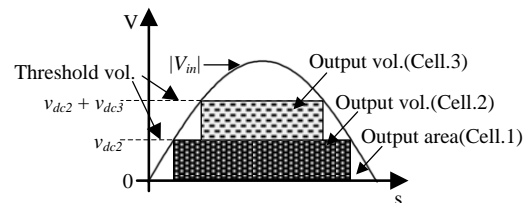


Fig. 3. Operation principle of the proposed method.

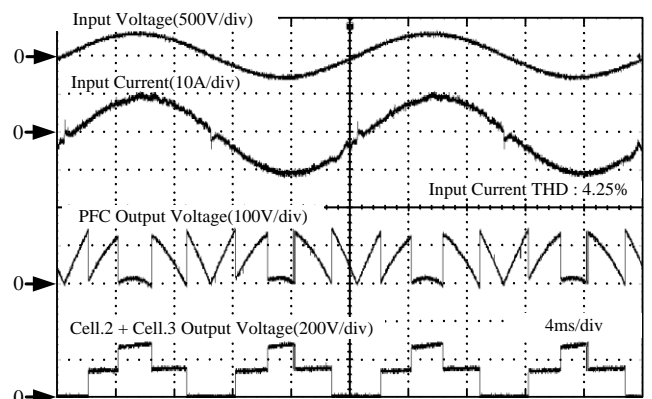


Fig. 4. Operation waveform of the SST with proposed method.

参考文献

- Jonas E.Huber, Johann W.Kolar, : IEEE Trans. VOL.10, pp. 317-326 (2019)
- 青柳, 日下, 伊東 : SPC, SPC-18-018, pp. 49-54 (2018)