

# 電流三角波モードを用いたパワーデカップリング機能を有するLED駆動回路向けAC/DCコンバータ

渡辺 大貴\*, 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)  
 泉本 尚人, 後藤 弘通 (パナソニック株式会社)

AC/DC Converter with Small Capacitor Applying Triangular Current Mode for LED applications  
 Hiroki Watanabe, Jun-ichi Itoh (Nagaoka University of Technology)  
 Naoto Izumoto, Hiromichi Goto (Panasonic Co., Ltd.)

## 1 はじめに

近年, 発光ダイオード(以下LED)の効率向上と低価格化, および長寿命特性により従来の蛍光灯照明器具からの置き換えが進んでいる<sup>(1)</sup>。LED 駆動回路には定電流制御を行うDC/DCコンバータ, および力率改善用のPFC回路を組み合わせた回路方式が広く採用されている。これらの回路にはエネルギー蓄積要素としてインダクタやキャパシタが必要となり, 回路の大型化の要因となりやすい。

本論文では三角波電流モード(TCM)によりゼロ電圧スイッチング(ZVS)を行うAC/DCコンバータを提案する。またパワーデカップリングと電流平均値誤差補償を行う定電流制御法について検討したので報告する。

## 2 回路構成および動作原理

図1に検討回路構成を示す。本回路は力率改善用のPWM整流器と, パワーデカップリング, および定電流制御を行う降圧形パワーデカップリング回路, 電力脈動補償用のキャパシタ  $C_{buf}$  から構成される。

図2にTCMにおけるインダクタ電流とスイッチング波形を示す。臨界モード制御ではインダクタ電流がゼロとなるタイミングを検出し, スwitchingを行う。一方, TCMでは負電流期間を設けることでターンオン直前のデッドタイムで各MOSFETの電荷を引き抜き, ZVSを行う。そのためゼロ電流検出後に遅延時間  $T_d$  を設けることで負電流期間を生成し, TCMを実現する。

## 3 制御方式

図3にパワーデカップリング回路の制御ブロック図を示す。提案制御は臨界モード制御を基に実装する。インダクタ電流を充電する期間に相当するオン期間  $T_{on}^*$  は(1)式となる。

$$T_{on}^* = \frac{2L_{dc}}{V_{dc} - V_{load}} I_{ave}^* \dots \dots \dots (1)$$

ここで  $I_{ave}^*$  は平均電流指令値,  $V_{dc}$  はDCリンク電圧,  $V_{load}$  は負荷電圧である。 $T_{on}^*$  に基づきインダクタを充電したのち, デッドタイムを介してインダクタが放電するように上下ア

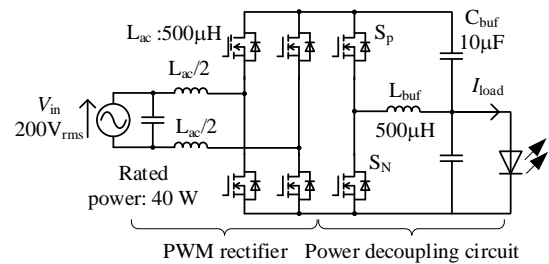


Fig.1. Circuit configuration of AC/DC converter.

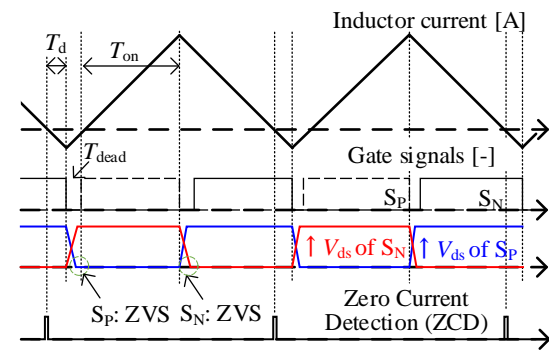


Fig.2. Inductor current waveform with TCM operation.

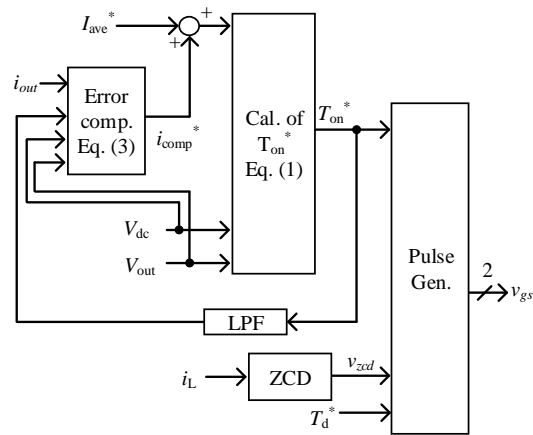


Fig.3. Control block diagram of power decoupling circuit.

ームのオンオフを切り替える。ここで、上述した通り TCM では ZVS を達成するために負電流期間を設ける必要がある。そのためゼロ電流検出信号  $v_{zcd}$  を用いて、 $v_{zcd}$  立ち上がり後にスイッチングタイミングを調整する遅延期間指令  $T_d^*$  を与えることで、放電期間を調整し負電流期間を設ける。

一方で、(1)式は負電流を考慮していないため、負電流が発生した場合、電流平均値が低下し指令値との間に誤差が発生する。またデッドタイムや、ゲートドライバの遅延等によるスイッチング遅延も誤差の要因となる。そこで負荷電流を用いた平均電流誤差補償を提案する。(1)式を負荷電流  $I_{load}$  と誤差電流  $I_{error}$  を用いて表すと(2)式となる。

$$T_{on}^* = \frac{2L_{dc}}{V_{dc} - V_{load}} (I_{load} + I_{error}) \dots\dots\dots (2)$$

負荷電流を指令値に一致させるには(2)式における誤差電流分がゼロとなればよい。したがって補償指令  $I_{comp}^*$  は(3)式となる。

$$I_{comp}^* = \frac{T_{on}^* (V_{dc} - V_{load})}{2L_{dc}} - I_{load} \dots\dots\dots (3)$$

なお、補償指令の演算にはオン期間を用いているため、再帰演算が発生する。そのためオン期間のフィードバック部には一次遅れのフィルタを設ける。

単相交流に接続する回路において直流側の電力を一定にするためには、単相電力脈動を補償するエネルギーバッファが必要となり、従来回路では DC リンク部に大容量キャパシタを用いることが多い。一方、提案制御を適用した場合、単相電力脈動に起因した負荷電流の脈動においても平均電流値指令に対する誤差として考えることができる。したがって提案制御では上述した電流誤差補償に加え、小容量キャパシタによるパワーデカップリングも可能である。

#### 4 シミュレーション結果

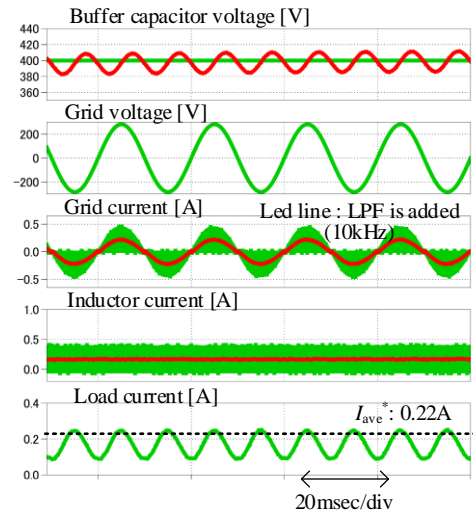
図 4 にシミュレーション結果を示す。なお、負荷電流の平均値指令は 0.22A とした。また本回路では整流器においても ZVS を達成するために TCM 制御を適用している。こちらの具体的な制御については稿を改めて報告する。

図 4 より、提案制御適用前では電流平均値指令に対して電流平均値に誤差が発生している。一方提案制御を適用することで負荷電流が目標値に一致することを確認した。

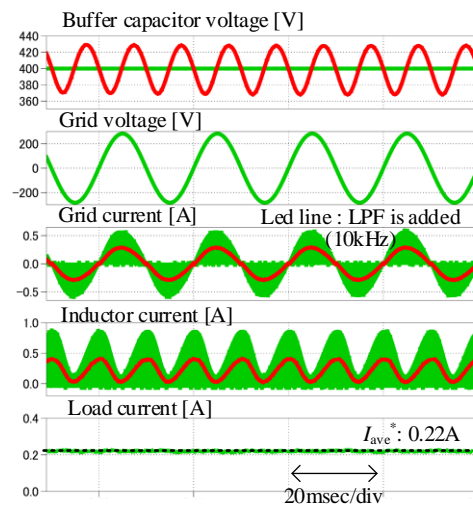
図 5 に負荷電流の高調波解析結果を示す。結果より、提案制御適用後は直流成分が指令値と一致した。また 2 次高調波成分は 96.3% 低減できていることを確認した。今後の予定として実機検証を行い、効率などを評価する。

文 献

(1) Y. Wang, et al., *IEEE Trans. Circuits Syst. II, Exp. Briefs*,



(a) Without proposed control



(b) With proposed control

Fig.4. Simulation results.

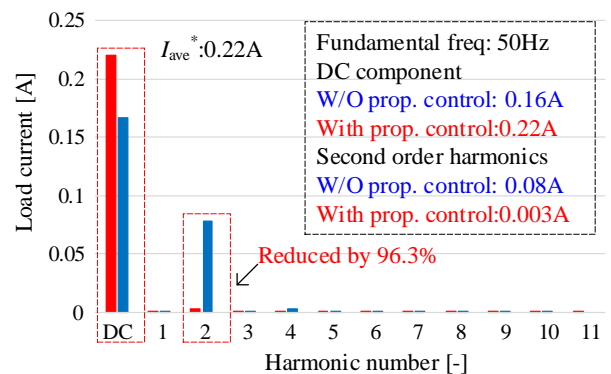


Fig.5. Harmonic analysis result of load current.