

## 電解コンデンサレス・フリッカ補正型 AC-DC ダイレクト LED 駆動回路

### Electrolytic Capacitor less Valley Fill AC/DC Converter

### Compatible with LED Driver Circuit

権力 小堀康功 趙峰 李慕容 朱秋霖 吳澍 小林春夫 高井伸和 (群馬大学)

LI Quan, Yasunori Kobori, Feng Zhao, Murong Li, Qiulin Zhu, Shu Wu, Haruo Kobayashi, Nobukazu Takai (Gunma University)

1-5-1 Tenjin-cho Kiryu Gunma 376-8517 JAPAN

キーワード : LED 駆動回路, ケミコンレス、PWM 制御、昇降圧コンバータ、谷埋め補正 (LED Driver, Electrolytic-capacitor less、Pulse-Width Modulation、Buck-boost converter、Valley Fill)

#### 1. はじめに

本論文ではテーマに電解コンデンサおよびトランスを用いずに、代わりに小容量のコンデンサを使って、AC-DC ダイレクト、フリッカ補正型 LED 駆動回路について検討したので報告する。

電解コンデンサを用いない LED 駆動回路ではパルス幅変調 (PWM 制御) を行ない、スイッチング周期に合わせて適切なタイミングでスイッチングを行なう。平滑回路 (電解コンデンサ) は必要なくなり、小容量セラミック・コンデンサに置き替えても、正常に動作する。

いきなり小容量のコンデンサを使うと、フリッカが発生してしまうので、まず電流充放電型リプル制御方式を検討し、回路の動作とリプル状況を確認した。そして、電圧谷埋め補正回路により、各種のリプル低減方式でリプルを最小限に抑えた。最後に回路を実装しやすいため、新型電流充放電リプル制御方式を検討した。

#### 2. 電流充放電型リプル制御方式

##### 2.1 基本制御回路 (参考文献)

電流充放電型リプル制御方式の基本回路構成を図 1 に示す。商用電源から交

流電圧が入り、順番に整流器とトランスを通して、メインコンデンサと双方向昇降圧コンバータがあり、LED は一番右側にある。Q1、Q2 と Q3 三つのスイッチがあつて、Q1 は入力側を ON/OFF するメインスイッチである。

Q2 と Q3 は交互に ON/OFF することでコイルとコンデンサの充放電をコントロールするスイッチである。Co と Lo は出力の高周波数フィルタであり、Lb と Cb は双方向昇降圧コンバータの予備タンクのような役目をする。例えば、入力から出力に必要以上の水が流れてくると、いらない分の水が予備タンクに蓄積される。それに対し、出力側はたくさんの水が必要の時、しかし入力側の水が足りなくて、供給できない場合、予備タンクから借りて出力する。

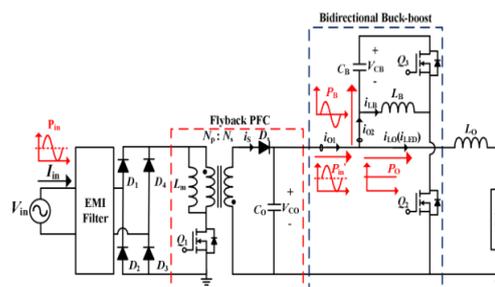


図 1 基本 LED 駆動回路図

回路動作は図2のようになる。動作は4つのモードに分けられる。

**モード1 [ $t_0 \sim t_1$ ]** : Q1とQ2はONで、Q3はOFFになる。入力側は電源からインダクタ  $L_m$  に充電し、出力側はメインコンデンサ  $C_o$  からLEDに放電するとともに、インダクタ  $L_B$  にも電流を供給する。

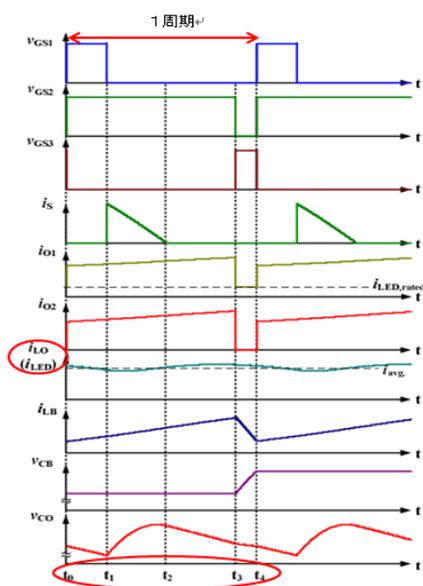


図2 LED 駆動回路動作

**モード2 [ $t_1 \sim t_2$ ]** : Q1はOFFになって、Q2だけはON状態になる。モード1で充電された  $L_m$  からメインコンデンサ  $C_o$  や出力側などに放電する。 $L_m$  が放電し終わったら、次のモード3に入る。

**モード3 [ $t_2 \sim t_3$ ]** : スwitchの状態はモード2と同じで、違うのはインダクタ  $L_m$  は全部放電し終わったので、動作しないことである。充電されたメインコンデンサ  $C_o$  から出力側に電流を供給する。いったんQ2がターンOFFになって、Q3がターンONになったら、モード4に入る。

**モード4 [ $t_3 \sim t_4$ ]** : Q3だけがONする。充電されたサブインダクタ  $L_B$  からサブコンデンサ  $C_B$  に放電する。出力側の電流はメインコンデンサ  $C_o$  から供給

される。モード4は、Q3がターンOFFまでである。

## 2.2 新電流充放電型リプル制御方式

本節では、新しい電流充放電型リプル制御方式を紹介する。新型では、上にあるサブ回路の補正コンデンサの位置を変えることで、コンデンサのピーク電圧  $V_c$  を低減し、実装しやすいためもある。回路の基本構成は図3のようになる。

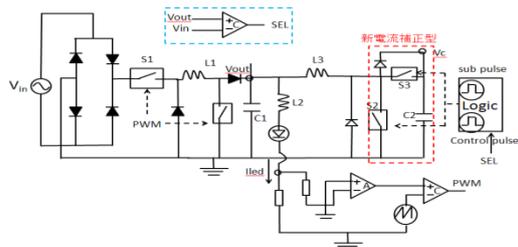


図3 新電流充放電型リプル制御回路

## 3. 電圧谷埋め補正回路

### 3.1 基本補正方式

A) 電圧フィードバック PWM 制御 (電流検出型)

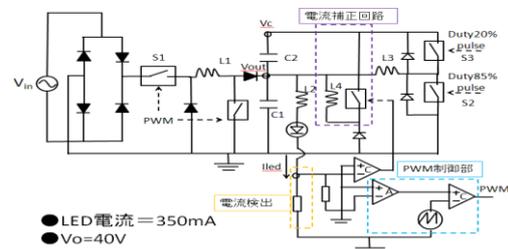


図5 電圧フィードバック PWM 制御回路

パラメータ :  $L_1=50\mu\text{H}$   $L_2=2\text{mH}$   
 $L_3=2.2\text{mH}$   $C_1=10\mu\text{F}$   $C_2=8\mu\text{F}$   
 $Ds_3=20\%$   $Ds_2=85\%$

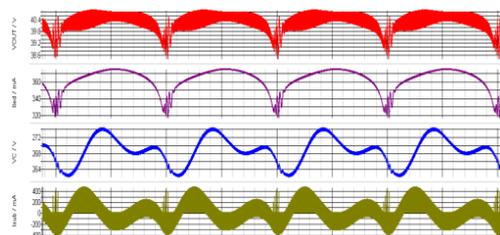


図6 シミュレーション結果

結果 :

Vout:38.5V~40.8V  $\Delta V_{out}=2.3V$

(5.8%)

Iled: 320mA~375mA  $\Delta I_{led}=55mA$

(15.7)

- LED 電流リップルはまだ大きい、ほかのリップル低減方法必要

### 3.2 各種リップル低減方法

#### 1) リプル制御回路の Duty 可変

- まずはサブ回路 Duty をもともとの 85%から 80%、90%に変えてみる。

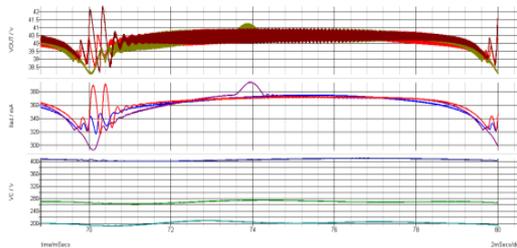


図 10 サブ回路 Duty を変える

Vo: 赤 50KHz 黄 40KHz 濃赤 10KHz

Iled: 青 50KHz 紫 40KHz 赤

10KHz

Vc: 緑 50KHz 水 40KHz 青 10KHz

- 結果: サブ Duty 下がると、出力の谷が落ち込む (リップル大きくなる)、Vc は小さくなる。

サブ Duty 上がると、出力リップルが大きくなり、Vc も大きくなる。

結果には 85%の方が良い。

- 谷埋め回路の Duty を 20%から 15%、13%、10%まで変えてみる。

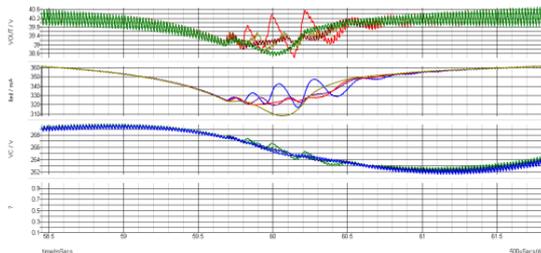


図 11 谷埋め回路 Duty を変える

Vo: 赤 20KHz 黄 15KHz 濃赤 13KHz 緑

10KHz

Iled: 青 50KHz 紫 15KHz 赤 13KHz 黄

10KHz

Vc: 緑 50KHz 水 15KHz 青 13KHz 青 10KHz

- 結果: 谷埋め回路 Duty を 20%から 10%まで小さくしていくと、谷はだんだん滑らかになるが、10%まですると、谷の電流が落ち込んでいる。結果には、谷埋め回路の Duty は 13%の方が一番良い。

#### 2) 谷埋め制御期間の幅可変

谷埋め制御期間の幅を変える前に、回路を変更した。

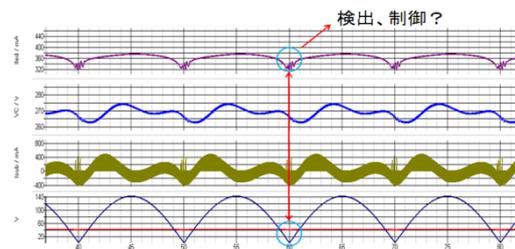


図 12 入力&出力電圧を重ねて表示

出力電圧と入力電圧を重ねて見ると、出力電圧は入力電圧より高い時、リップル発生した。そこだけ自動的に検出して制御する方法がないかと、回路を変えて検討した。

サブ信号 Duty(Ds)を 84%、83%、82%、81%、80%に固定し、コントロール信号 Duty (Dc) を変えてみた。最も良い結果を示す。

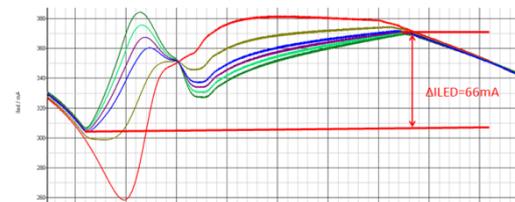


図 13 Ds を 81%に固定し、Dc を変える

赤: 81% 黄: 80.5% 水: 80%

緑: 79.9% 紫: 80.1% 青: 80.2%

- 結果: Dc を 80.1% (紫) の時、リップルが一番小さい。

Iled: 305mA~371mA

$\Delta I_{led}=66mA$

### 3) 谷埋め制御期間の位相可変

ここでは、制御期間の位相可変により、制御時間を早くしたり、長くしたりする等で、谷間 ( $V_{out} > V_{in}$ ) のりプルを更に抑えることを検討した。

- 制御期間を早くして、長くする場合を検討した。
- 方法： $V_o$  を固定電源に変え、電圧を上げる。

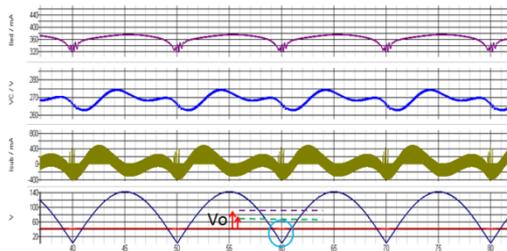


図 14 制御期間を早く・長くする

シミュレーション結果は以下になる。

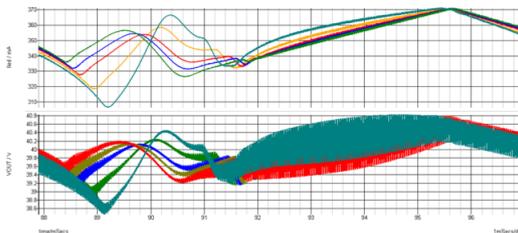


図 15  $V_o$  を上げた場合

水：40V 黄：50V 赤：60V 青：65V 緑：70V

- 結果： $V_o$  を 65V (青) まで上げると、電流リプルは一番小さい。

$I_{LED}$  : 331mA~370mA  $\Delta I_{LED} = 39mA$

$V_o$  : 39.4V~40.4V  $\Delta V_o = 1V$

### まとめ&今後の課題

電解コンデンサレス・フリッカ補正型 LED 駆動回路について検討した。基本の電流充放電型に PWM フィードバック制御をかけ、そして電圧谷埋め補正回路と各種のりプル低減方法で電流リプルを最小限に抑えた。最後に実装しやすい、新電流充放電型リプル制御方式を開発した。

今後の課題としては、回路を実装し、

性能を実装回路で確認する。

### 参考文献

- 1) K. Lee , Y. Hsieh and T. Liang , “A Current Ripple Cancellation Circuit for Electrolytic Capacitorless AC-DC LED Driver” IEEE Trans. on Power Electron., vol.978, no.1 Aug.2013
- 2) J. Marcos Alonso, “Analysis and design of the integrated double buck-boost converter as a high-power factor driver for power –LED lamps,” IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 59, no. 4, pp. 1689-1697, April 2012.
- 3) Linlin Gu, Xinbo Ruan, Ming Xu, and Kai Yao, “Means of eliminating electrolytic capacitor in AC/DC power supplies for LED lightings,” IEEE Trans. Power Electron., vol.24, no.5, pp. 1399-1408, May 2009.