



PLECS *DEMO MODEL*

Two Stage LED driver

2ステージLEDドライバ

Last updated in PLECS 4.3.1

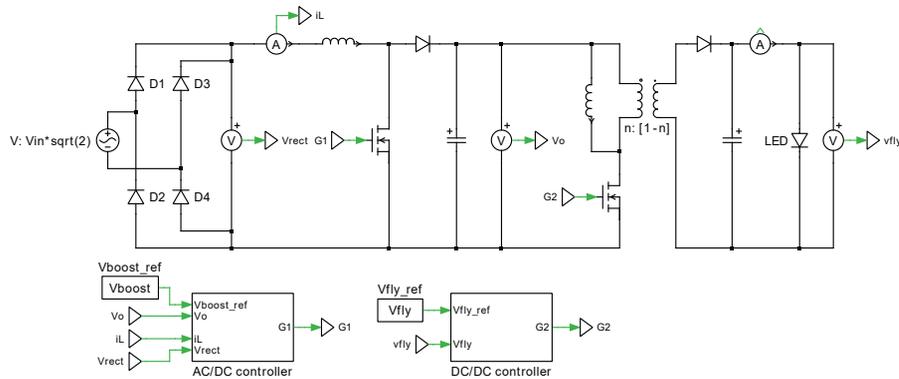
KESCO KEISOKU ENGINEERING SYSTEM

計測エンジニアリングシステム株式会社
<https://kesco.co.jp>

1 概要

このデモでは、AC/DC変換用の昇圧型PFCと、それに続くDC/DC変換用のフライバックコンバータで構成する2ステージLEDドライバ回路の設計を紹介します。

図1: コントローラ付き2ステージLEDドライバ



Note このモデルには、次からアクセスできるモデル初期化コマンドが含まれています。

PLECS Standalone: シミュレーションメニュー + シミュレーション・パラメータ... → 初期化

PLECS Blockset: Simulinkモデルウィンドウで右クリック → モデル プロパティ → コールバック → InitFcn*

2 モデル

2.1 電源回路

一般照明用途のLEDドライバの場合、誘導される電源ラインの高調波電流はIEEE規格の519-2014に準拠する必要があります。一般に、力率補正(Power Factor Correction: PFC)技術なしではこれらの要件を満たすことは困難です。このモデルで設計した2ステージLEDドライバ回路では、最初のステージでほぼ1の力率と低い全高調波歪み(Total Harmonic Distortion: THD)を実現し、次のステージのDC/DCコンバータで出力を厳密に制御します。昇圧型PFCコンバータは、出力で一定のDCバス電圧を維持しながら、線間電圧と常に同位相で同じ基本周波数の電流を引き込もうとします。

LED負荷は、データシート[1]に記載されているforward current characteristic curve(forward voltage vs forward current)から得られた非線形のV-I曲線で表されます。このモデルで考慮されているLEDの場合、標準的な順電圧は3.2V、標準的な順電流は35mAです。これらのLEDを10個直列に接続して"light engine"を形成します。

2.2 制御

2ステージLEDドライバには、独立して制御できる2つの電源スイッチと、AC/DCおよびDC/DC変換用の2つの制御回路が必要です。

AC/DC controllerは、外側の電圧ループと、より高速に動作する内側の電流ループで構成しています。Voltage compensatorは、検出したDC出力信号をリファレンスと比較することで、DC出力電圧を調整します。電圧ループの出力は、PFCコンバータによって伝送される電力量に比例します。この出力は、整流された入力電圧とRMS入力電圧の2乗の逆数が乗算され、高速フィードフォワード制御を実現します。これにより、PFC入力電流とPFC入力電圧が同位相になるように電圧コントローラの出力を調整します。結果の積は、検出したPFC整流入力電流と比較します。この誤差は電流ループへの入力となります。電流コントローラは、PFC入力電流がリファレンス電流に追従するようにPFCデューティ比コマンドを生成します。

DC/DC controllerは電圧調整に使用します。測定した出力電圧(DC)を電圧設定値と比較し、得られた誤差信号は、Voltage compensatorに送られます。結果の値は、PWM生成のために変調器に供給されます。

これら両方の場合のコントローラは、コンバータのそれぞれのプラント伝達関数に基づいて、Kファクタ法を使用して解析的に調整されています。Kファクタ法はループ整形の技術であり、指定した位相マージンとクロスオーバー周波数に合わせてコントローラを正確に設計できます。Kファクタ法を使用したコントローラの設計については、[2]を参照してください。

たとえば、DC/DCコンバータのKファクタ法の実装を以下に示します。

フライバックコンバータの出力電圧対デューティ伝達関数は、ワーストケースのデューティ比0.5を使用し、2次側に反映されるインダクタンスは次のようになります：

$$G_p(s) = \frac{16 \cdot V_{out} \cdot (0.5 \cdot R - sL)}{R + 4 \cdot sL + 4 \cdot s^2 RLC}$$

望ましいクロスオーバー周波数 ω_c が300Hzの場合、システムの位相は -33.2° です。目的の位相マージンが 60° の場合、必要な位相ブースト(ϕ boost)は 3.2° です。そのため、Type IIコントローラを使用します。Type IIコントローラの伝達関数は次のとおりです：

$$G_c(s) = \frac{K_c}{s} \frac{1 + \frac{s}{\omega_z}}{1 + \frac{s}{\omega_p}}$$

ここで、 K_c はコントローラのゲイン、 ω_z はゼロの位置、 ω_p は極の位置です。 k 、 ω_z 、 ω_p の値は次の式から計算します：

$$k = \tan \left(\frac{\phi_{boost}}{2} + 45^\circ \right); \omega_z = \frac{\omega_c}{k}; \omega_p = k \cdot \omega_c$$

$$\frac{1}{K_c} = \text{abs} \left(\frac{1}{j\omega_c} \cdot \frac{1 + \frac{j\omega_c}{\omega_z}}{1 + \frac{j\omega_c}{\omega_p}} \cdot G_p(j\omega_c) \right)$$

フライバックコンバータの K_c の値は2.7094と計算されます。

3 シミュレーション

添付したモデルを使用してシミュレーションを実行し、入力信号と出力信号を表示します。定常状態では、PLECSスコープの上部にある**カーソル**ボタンを使用して、出力電圧のリップル、出力電流、および入力電流のTHDを測定できます。

Inputsというラベルの付いたPLECSスコープで、**カーソルボタンのドロップダウンメニュー**から**差**と**THD**を選択します。差の値をライン周波数の逆数(1/F)に手動で設定します。データテーブルには、カーソル間の信号のTHDの値が表示されます。入力電流の結果のTHDは4.7%になります。入力電流に関連する歪み力率は、次のように計算すると0.999です:

$$DPF = \frac{1}{\sqrt{1 + THD^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 0.047^2}}$$

Outputsというラベルの付いたPLECSスコープで、**カーソルボタンのドロップダウンメニュー**から**最大値**、**最小値**、および**平均値**を選択します。結果として得られる出力のピークツーピーク電流リップル($I_{o\text{pk-pk}}$)は10.3%です。

$$I_{o\text{pk-pk}} = \frac{I_{o\text{max}} - I_{o\text{min}}}{I_{o\text{avg}}} \cdot 100\% = 10.3\%$$

図2: Inputsのシミュレーション結果

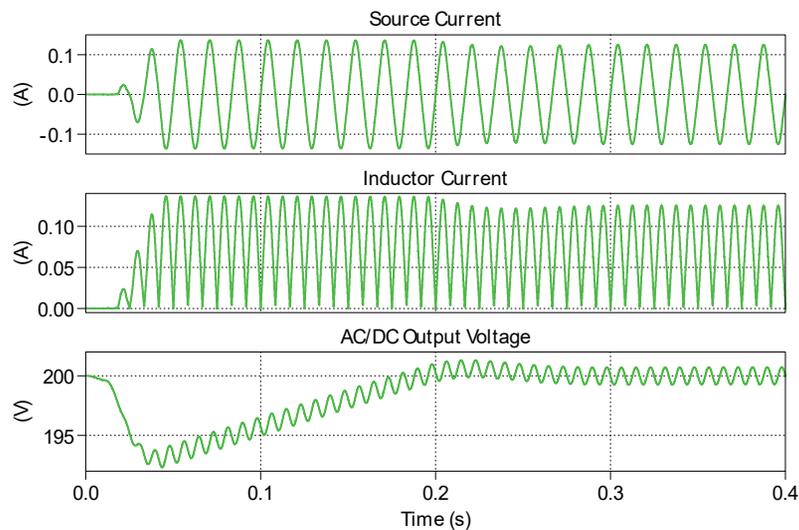
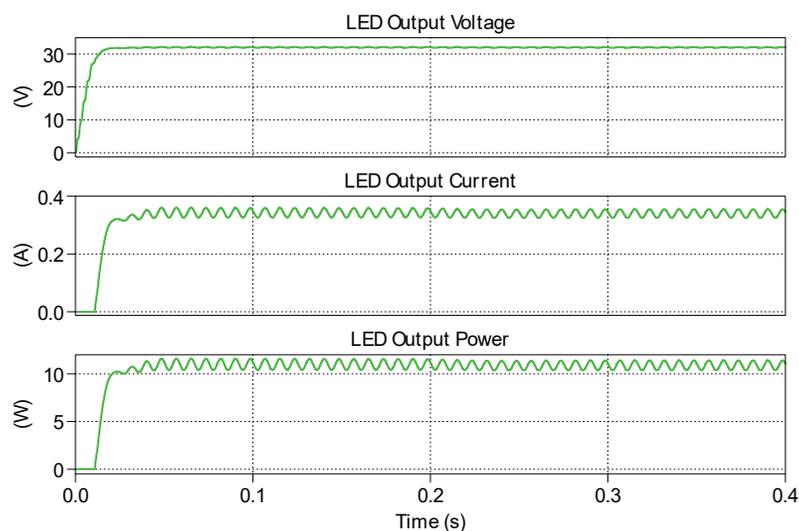


図3: Outputsのシミュレーション結果



これらの波形の高調波次数は、PLECSスコープの上部にある**フーリエ解析**ボタンを使用して表示することもできます。

参考文献

- [1] Datasheet for “Golden DRAGON, LW W5SM”. Click to access online: [Osram LW W5SM datasheet](#).
- [2] Videos on K-factor controller design by Dr. Raja Ayyanar. Click to access online:
[k-factor control design method: part 1](#)
[k-factor control design method for dc dc part2](#)

改訂履歴:

PLECS 4.3.1 初版



Pleximへの連絡方法:

☎ +41 44 533 51 00	Phone
+41 44 533 51 01	Fax
✉ Plexim GmbH	Mail
Technoparkstrasse 1	
8005 Zurich	
Switzerland	
@ info@plexim.com	Email
http://www.plexim.com	Web



計測エンジニアリングシステム株式会社

<https://kesco.co.jp>

PLECS Demo Model

© 2002-2023 by Plexim GmbH

このマニュアルに記載されているソフトウェアPLECSは、ライセンス契約に基づいて提供されています。ソフトウェアは、ライセンス契約の条件の下でのみ使用またはコピーできます。Plexim GmbHの事前の書面による同意なしに、このマニュアルのいかなる部分も、いかなる形式でもコピーまたは複製することはできません。

PLECSはPlexim GmbHの登録商標です。MATLAB、Simulink、およびSimulink Coderは、The MathWorks, Inc.の登録商標です。その他の製品名またはブランド名は、それぞれの所有者の商標または登録商標です。
