

ENERGY STAR® 商業/住宅用 LED照明用オフライン高力率 TRIAC調光LEDドライバ



ON Semiconductor®

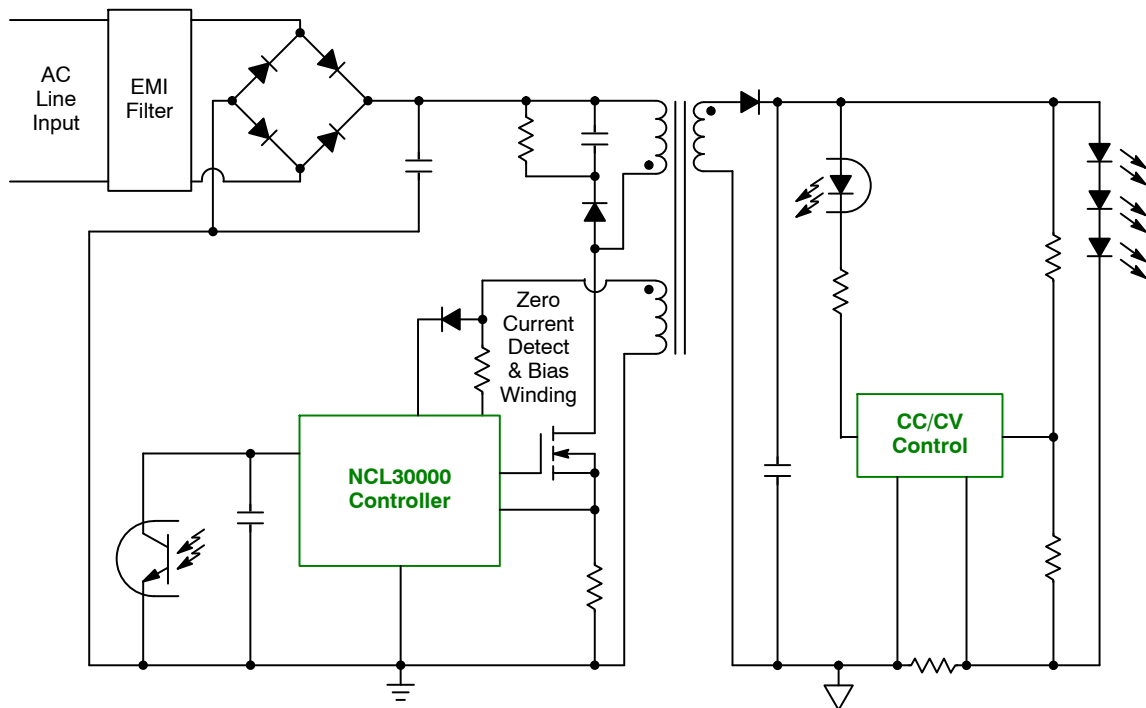
<http://onsemi.com>

TECHNICAL NOTE

概要

この参考文書では、組み立ておよびテスト済みの公称13 W定電流力率補正付きオフラインLEDドライバのGreenPoint®ソリューションについて説明します。これは、高効率、力率補正およびTRIAC調光制御が要求される商業/住宅用のLEDダウンライト、スポットライトなどのLED照明向けのもので、電源設計は、オン・セミコンダクターのNCL30000臨界導通モード固定オンタイム・フライバック・コントローラを中心に構築されます。2次側は、蛍光体変換1 W

「白色」LEDストリングを駆動できる350 mAの定電流を制御します。このレファレンス設計は12個のLEDを350 mAで駆動するのに最適ですが、わずかな部品の変更で4~15個のLEDの直列接続に適応できます。この設計の最大電源供給能力は15 Wです。この設計は出力の開放および短絡保護や動作温度超過時のサーマル・シャットダウン(オプション)など、柔軟かつ堅牢なものとなっています。



Single Stage High Power Factor Flyback

GreenPoint
From ON Semiconductor

Figure 1. Simplified Block Diagram

背景

国際エネルギー機関は、世界の電気エネルギー需要の19%以上が照明に使われていると推定しています。その結果、非効率な白熱光源をより効率の高いソリューションに置き換えるという世界的に大きな取り組みがなされてきました。事実、EUと米国ではすでに最も非効率な白熱光源の販売は徐々に廃止されてきており、今後5年間にわたってさらに加速するでしょう。この需要を抑える焦点の多くは、電球型蛍光灯の採用に拍車をかけるプログラムにありました。多くの照明アプリケーションでCFLの採用が成功してきましたが、白熱電球は優れた調光制御特性を備えているため、ライン調光が要求される用途では、依然として使用されています。これは多くの商業・住宅用および小売照明分野の主要な照明やアクセントに対して言えることです。さらに、調光白熱電球では、ユーザが適切な周囲レベルに対して光源レベルを設定できるため、エネルギーが節約されます。

大きな注目を集めている選択肢の1つに白色LEDがあります。LEDのルーメン出力および効率に関しては、ルーメン出力対入力電力の評価基準は年を追うごとに大きく進歩し、同時に\$/lumenのコストは低下しています。市販の1 W温白色LEDは>80 lm/Wのランプ効率で90ルーメンを発生できます。参考までに、標準60 Wの白熱電球は約14 lm/Wのランプ効率で約800ルーメンを発生しますが、これは約1/5の値です。生の光源効率の比較は全体をとらえていません。LEDのルーメン出力は温度に伴って減少しますが、LEDにはAC電源をLEDを駆動するDC電流に変換するドライバが必要であり、また灯具の光学的損失もあります。LEDは本質的に指向性があるので、全方向性光源を必要としないダウンライト、電気スタンド、戸棚照明などのアプリケーションでは、LED灯具の低い光学的損失が同等の白熱電球よりも低くなる可能性があります。そのため、例えば完成品または設置されたダウンライトでは、適切に設計されたLEDベースの製品は、同程度の光源出力を供給しながら、同等の白熱灯具の電力の1/3~1/4しか消費しません。

省エネルギーの域を超えて、高輝度LEDは適切に設計し使用すれば、動作寿命は50,000時間以上になり、電球を交換するための人件費が大幅に削減されます。例えば、フルサービスのレストランに目を向けると、営業時間を1日16時間と仮定すれば、50,000時間は8.5年以上使用したのと同様になります。その結果、使用頻度の高い用途に対する総所有コスト(エネルギーと保守費用を合算)を考慮した場合、LEDの回収期間は非常に有利です。

適用規格

省エネルギーの促進を支援するために、米国エネルギー省は、固体照明器具のENERGY STAR規格を作成し発表しました。この自主規格は、一般に使用される様々な住宅・商業用照明器具に対して一貫した要件を確立しています。これらの要件には、最小ルーメン出力、総合的な効率、信頼性目標、光色温度、およびその他一連の重要なシステム・レベルの要件が含まれます。この意図は、ENERGY STAR規格に適合するいかなる照明器具も、省エネルギーを達成しながら、光源への適用において同程度の光出力を達成することです。

現在の規格、バージョン1.1は2008年12月に最終決定され、住居の戸棚照明から商業用壁面照明まで15種類の住居・商業用アプリケーションを網羅しており、固体照明から省エネルギーの点で即時に恩恵が受けられるはずですが、この規格は電源効率要件を明確に規定していませんが、電力レベルにかかわらず住宅用アプリケーションに対して最低力率(PF)0.7、商業用アプリケーションに対しては0.9が盛り込まれています。これは最低力率が0.5のENERGY STAR電球型蛍光灯の規格から逸脱しています。

照明器具のランプ効率を確立する規格内に全般的な要件があります。この体系に基づく規格には、選別されたLED、現場の動作温度、光学系、およびドライバの電力変換効率が含まれます。そのため、照明器具の開発者は、LEDの選択、使用する光学系、および熱管理方法、および全般的な要件を満たすためのドライバ構成や設計においてトレードオフを図ることができます。下表は、バージョン1.1での住居用および商業用アプリケーション向けの埋め込み式ダウンライトの主要なシステム要件を示しています。

Table 1. KEY RECESSED, SURFACE AND PENDANT DOWNLIGHT CRITERIA

Aperture Size (in)	Minimum Lumen Output	Efficacy (lm/W)	Correlated Color Temperatures (CCT)	
≤ 4.5	345	35	2700K, 3000K, 3500K	Residential
> 4.5	575	35	2700K, 3000K, 3500K, 4000K, 4500K, 5000K	Commercial

NOTE: Power factor of residential fixtures is relaxed from ≥0.9 to ≥0.7.

最も一般的なダウンライトは、広い開口部カテゴリに分類されます。住居用および商業用アプリケーション間の力率差以上に留意すべきことは、設計者が暖白色LEDや中間色LEDを柔軟に使用できることです。最低要件から分かるように、最小ルーメン出力を入力壁コンセント電源に変換する場合、16.4 Wの最大入力電力閾値を確立します。

LEDドライバの効率に対する明確な規格がないため、代わりにENERGY STAR外部電源(EPS 2.0)規格があります。これによって、定格出力負荷の関数としての単一出力電源に対する効率目標が確立されます。EPS 2.0規格の意図は、市販製品の真の省エネルギーを表わす最小効率限界を確立することですが、主流のアプリケーションに対しても達成可能なはずで、厳格な規則ではありませんが、この規格の意図は上位25%の性能を表わす限界を確立することです。EPS 2.0は必ずしもオフラインLEDドライバに対する完璧な代用物ではありません。EPS 2.0の注目の1つは待機電力です。これは大多数のLED照明アプリケーションには関係ありません。事実、LED照明器具のガイドラインは、人感センサなどの組み込み制御がある場合を除いて、オフモードでは消費電力がゼロでなければならないと明確に規定しています。さらに、EPS 2.0規格は電源の動作範囲全体の効率に目を向けており、4つのデータ・ポイント、すなわち全負荷の25、50、75、100%における効率を平均化します。負荷は通常、LEDの個数と規定される駆動電流に固定されるので、25%および50%ポイントは照明器具にとってそれほど重要ではありません。ユーザが電気スタンドのように照明器具の光源出力を制御できる場合でも、LED電流が減少するとLEDの順方向電圧が実際に低下して接合部温度が低下し、LEDのランプ効率(lm/W)が改善されます。他方、75%および100%ポイントの効率は非常に重要です。固定駆動電流に関して、LEDの順方向電圧には製造公差、ロット間のバラツキ、動作温度のために、標準 $\pm 20\%$ 以上の広いウィンドウがあります。最後に、LED照明器具規格とは異なり、EPS 2.0は入力電力が >100 Wを超えるまでは、力率補正を要求しません。このような注意事項はあるものの、EPS 2.0は量産電源回路に対する良き実施法に基づいて限界が規定されているので、優れたベンチマークです。次式は、1~49 W間の定格標準電源の最小平均効率を示しています。

$$\text{効率} = 0.0626 \times \ln(P_{no}) + 0.622$$

銘板定格出力 P_{no} の25、50、75、100%での測定です。

したがって、12 W定格電源の場合、準拠すべき最小効率は77.7%であり、15 W定格電源の場合はこれが79.1%に増加します。LED照明器具規格は、入力プラグの効率に基づくため、ドライバ効率の目標を実効LED負荷に変換する必要があります。ある程度設計余裕を追加するために、80%の最低効率が目標となっています。

$$\begin{aligned} \text{LED負荷} &= \text{最大壁プラグ} \times \text{効率} \\ &= 16.4 \text{ W} \times 80\% = 13.1 \text{ W} \end{aligned}$$

これで最大負荷設計目標が確立されました。LEDの効率は、LEDメーカーの性能、駆動電流、および動作温度に左右されます。このGreenPoint設計に対しては、市場で最も一般的な高輝度パワーLEDを支援するために、350 mAの定電流源が選択されました。他の検討事項としては、照明器具の開発者は幅広いLEDから選択でき、選択したLEDのランプ効率が高いほど必要なLEDの個数が少なくて済むことが、GreenPoint設計が定格負荷の50~100%という高効率を必要とするもう1つの理由です。LEDのランプ効率が向上すると、同じ基本電源設計をより少数のLEDを駆動するよう容易に調整できるので、最小値よりもはるかに高い取付具有効性を実現できます。

方法

これで基本設計のガイドラインが確立されたので、最終用途のニーズに関連して他のシステム検討事項を考慮しなければなりません。前述のとおり、規格からは要求されていませんが、既存のライン調光インフラとの互換性が重要です。したがって、この設計はTRIAC壁調光装置に対して最適化されます。TRIAC調光は多くの課題に直面していますが、見落とされがちなのは、ドライバが低い断続AC入力波形から起動し、動作できなければならないことです。さらに、電源のサイズはダウンライト灯具の接続箱内に収まるものでなければなりません。対処すべき人的要因要件は起動時間です。LEDは事実上瞬時に光を放出しますが、ドライバは特定の起動時間で設計する必要があります。どのLED灯具も少なくとも標準CFL(電球型蛍光灯)製品と同等かそれより優れていなければならないため、CFL製品を基準として使用できます。ENERGY STAR電球型蛍光灯の起動時間要件は通常状態で最大1秒です。したがって、LEDドライバの設計目標は0.5秒に設定されています。これは住宅用または商業用アプリケーション向けの設計なので、より高度な仕様が目標となっていました。下表に、このGreenPointリファレンス設計の主要な設計目標が記載されています。

Table 2. SUMMARY OF DESIGN OBJECTIVES

Parameter	Design Specification	Comment
Maximum Output Power	15 W Maximum	Vin = 115 Vac
Output Current	350 mA \pm 5%	
Galvanic Isolation	Yes	
Forward Voltage Compliance Range	> 3:1	
Full Load Efficiency	> 80%	
Power Factor	> 0.95	Commercial Level, minimum is 0.90
THD	< 20%	
Startup Time	< 0.5 seconds	Vin = 115 Vac, CFL Bulb Spec < 1 sec
Triac Dimming Range	Minimum 10:1 (35 mA)	
Open Circuit Voltage	< 58 Vdc	UL1310 Class 2 < 60 Vdc

高い力率、効率目標、および小型化を達成するには、高い力率のシングル・ステージ・トポロジを採用する必要がありました。低消費電力目標、高効率および小型サイズのニーズにより、従来式の2ステージ (PFCブーストとフライバック)は問題外なので、NCL30000 CrMフライバック・コントローラに基づく臨界導通モード(CrM)のフライバックが使用されました。力率(PF > 0.95)のための設計により、SSL照明器具規格の商業用照明要件に容易に適合し、またドライバの入力電流波形は抵抗性負荷のようになります。この種の調光装置は抵抗に見える白熱電球を対象としているので、TRIAC調光の互換性にとって非常に重要です。最適に設計されたシングル・ステージCrMフライバックの基本電流波形をFigure 2に示します。見たとおり、入力電流(青色波形)は入力電圧波形と同位相です。

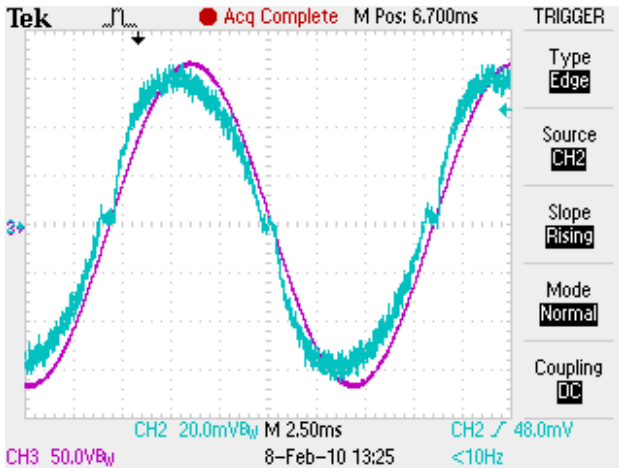


Figure 2. CrM Flyback Input Waveform

Figure 1で明らかなように、絶縁フライバックの2次側にはCCCV制御ブロックもあります。この制御ブロックには2つの主な機能があります。350 mAの定電流をしっかりと安定化し、また1次側にフィードバックを供給してオンタイムを調整し、LEDを流れる定電流を安定化させます。加えて、開回路になると、障害発生時に固定電圧を安定化する定電圧制御モードに入ります。オープン電圧は、安定化されてクラス2電源の最大電圧限界の60 Vdcより低くなります。最後に、不注意によって出力が短絡した場合、LEDドライバの損傷を回避するために電力が制限されます。

GreenPoint設計の詳細は、部品表、回路図、ガーバ・ファイル、およびデモ・ボード・マニュアルを含むNCL30000LED1GEVBデータ・セットの一部として、onsemi.comサイトで入手できます。設計の詳細は、NCL30000データシートと2冊の付属アプリケーション・ノートに説明されています。電力ステージ設計アプリケーション・ノートでは、CrMフライバックの設計に対する主な考察を述べます。また、TRIAC互換設計のアプリケーション・ノートでは、ライン調光制御を実現するのに必要なすべての検討事項について説明します。

結果

このセクションでは、以下のプロットとグラフで設計目標への適合性について説明しています。このリファレンス設計では、Table 2で強調されるすべての初期設計目標を上回りました。Figure 3は、90~135 Vacのライン電圧範囲におけるLEDドライバの力率と入

力電流の全高調波歪を示しています。図示するとおり、CrMフライバック構成は卓越した力率と低い歪みを達成します。この性能は、THD目標の20%以下だけでなく商用最小力率0.9も上回っています。

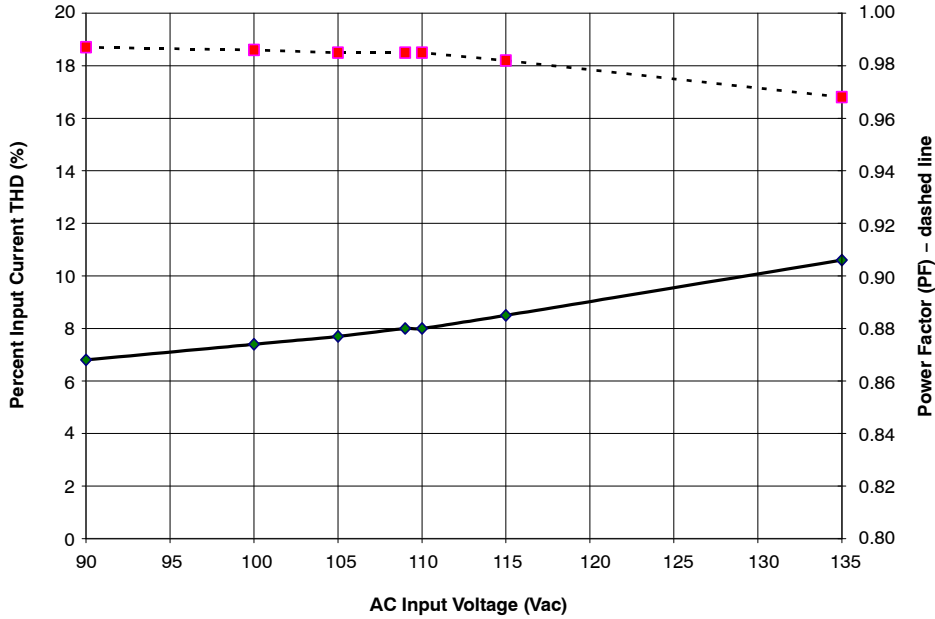


Figure 3. Power Factor and THD across input line voltage (Vf = 37.8 V)

Figure 4は、15 Wの最大Poutまでの異なるLED順方向電圧を表わす様々な負荷条件に対するLEDドライバの効率を示しています。25%、50%、75%、100%ポイントを平均化すると、全体の測定平均効率は80.7%、50~100%までの臨界領域での効率は81.1~82%です。

これは15 W電源に対するEPS 2.0限度の効率79.1%と、設計目標の効率80%を上回ります。損失には、TRIACの調光をサポートするのに必要な、入力EMIステージの電流制限抵抗15 Ωが含まれています。

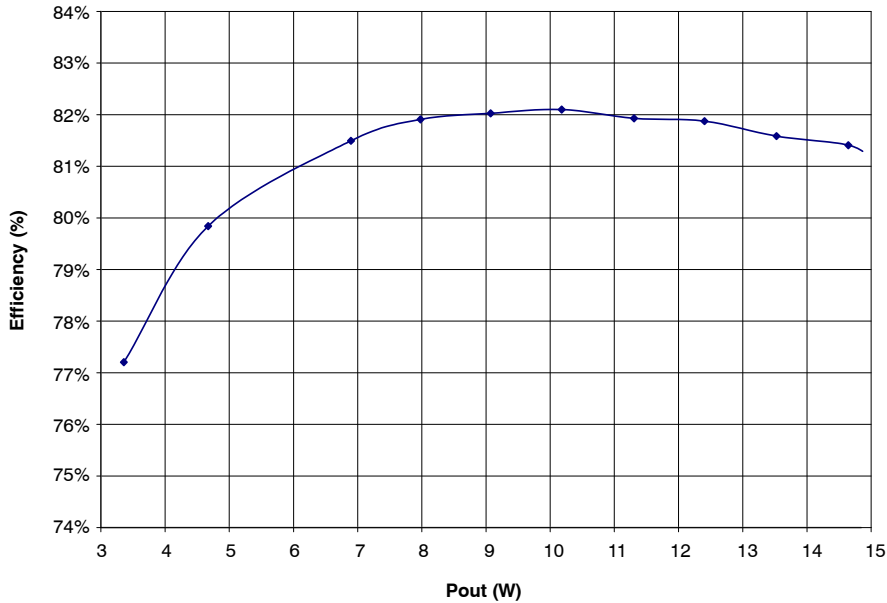


Figure 4. Efficiency versus load (Vin = 115 Vac)

Figure 5は一定範囲内のLED順方向電圧の電流レギュレーションを示しています。このGreenPoint設計は、公称15 Wまで電力制限されており、公称電流レギュレーションは350 mAです。この意図は、一連のLEDに対応できるように最小順方向電圧比3:1で定電流を安定化することでした。この曲線は3つの主要動作領域、すなわち電流レギュレーションが正確に

制御されている約10~42 Vの定電流範囲、電力がオンタイムで制限されていてレギュレーション制御が1次側コントロールに切り替えられる公称42 V以上、そして最後が出力電圧が固定されている定電圧領域を示しています。定電圧ポイントは仕様目標の最大定格60 Vdcより低くなります。

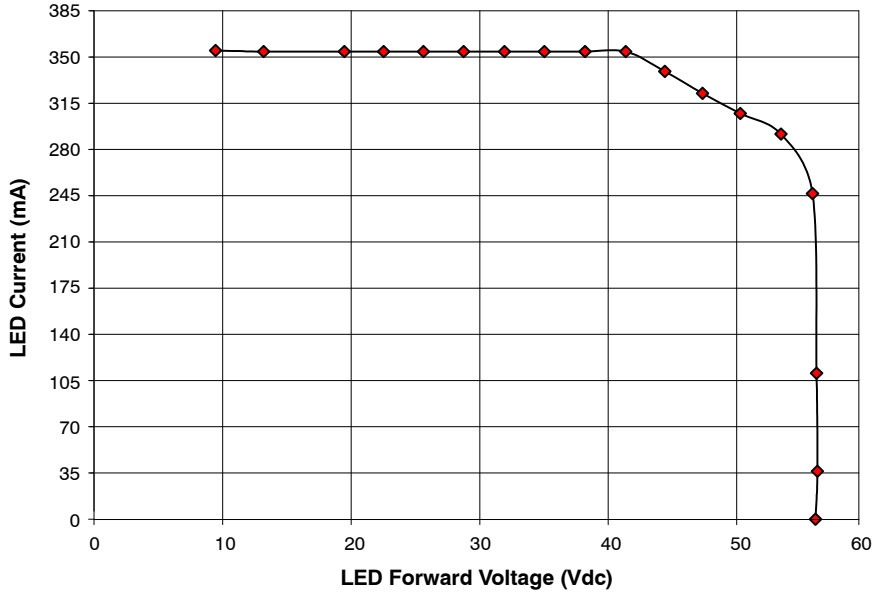


Figure 5. Current Load Regulation (Vin = 115 Vac)

Figure 6は、一連の市販調光装置により12個のLED負荷(Vf = 37.8 V @ 350 mA)で達成される調光範囲を示しています。図に示すとおり、この設計は調光装置が導通角で表される最大位置にあるときに、最大出力を供給することを目的としています。これは調光装置が最大導通角にあるときでも、光出力が減少する標準白熱電球とは対照的です。使用する調光装置によって、LEDの電流が事実上0になるまで調光範囲は下方に伸び、ほとんどのケースで最低5%までの調光が達成されました。この例外は点線で示され、パルス後縁制御による電子調光装置の性能を表しています。この調光装置は低電圧電子変成器を駆動するためのもので、約55度の非常に高い最小導通角を示していました。

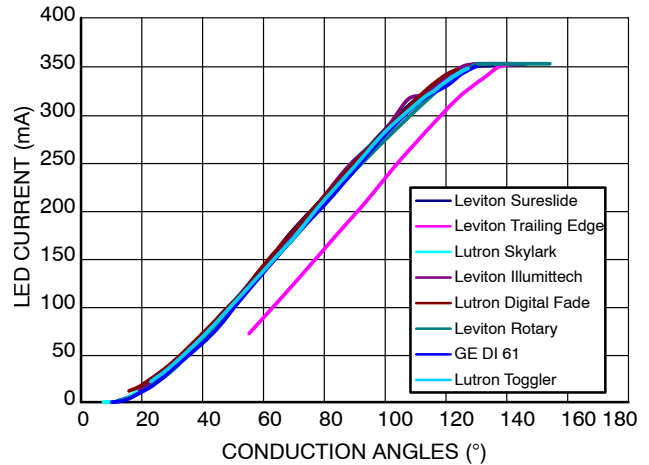


Figure 6. Dimmer Control Range (Vin = 115 Vac, 12 LED load)

Figure 7は起動時の波形を示しています。チャンネル3はAC入力で、チャンネル2はLEDに供給される安定化電流です。電源の起動と制御ループの安定化を行う2種類の領域があります。通常の状態では、起動時間は全負荷の50%に達するまでの約300 msです。設計上、力率制御ループの帯域幅は本質的に低くなっており、シングル・ステージ・トポロジでも同様に低くなります。その結果、電流安定化ループを完全に安定させるのにさらに300 msを要します。

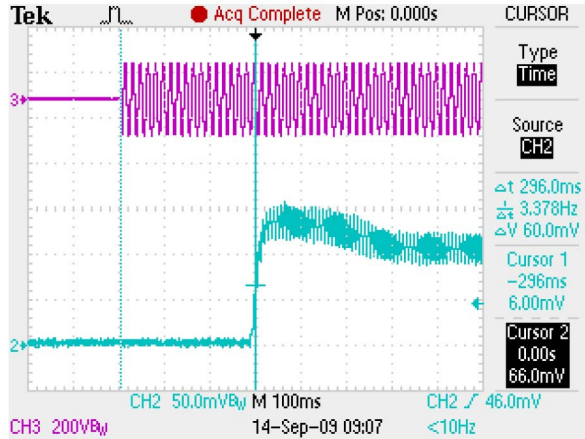


Figure 7. Startup Time ($V_{in} = 115 \text{ Vac}$, 12 LED load)

まとめ

次世代固体照明製品のすべての要件を満たすオフラインLEDドライバの設計には、多くの課題があります。図に示したとおり、すべての主要性能目標は、非常に低い出力電力レベルにおいて最も厳しい力率要件を満たすシングル・ステージ・アーキテクチャに基づいて達成されました。さらに、コントローラをベースにした設計では、システム開発者は高電力アプリケーションを扱う際に、電力レベルを増減できる柔軟性が得られます。この方法により設計者は、期待される光出力レベルを達成しながら、より少数のLEDで照明器具の設計が可能で、日々進化するLEDについていくことができます。

GreenPoint is a registered trademark of Semiconductor Components Industries, LLC (SCILLC).
ENERGY STAR and the ENERGY STAR mark are registered U.S. marks.

ON Semiconductor及びONのロゴはSemiconductor Components Industries, LLC (SCILLC)の登録商標である。SCILLCは特許、商標、著作権、企業秘密と他の知的所有権に対する権利を所有するものとする。SCILLCの製品/特許の適用対象リストについては、以下でアクセスできる。www.onsemi.com/site/pdf/Patent-Marking.pdf。SCILLCは通告なしでこのリストにある製品の変更を行う権利を保有する。SCILLCは、特定目的のための製品の適合性に関して保証、表明をせず、SCILLCはまた、製品や回路の応用や使用から生じるいかなる責任も負わず、特に特 別、結果的、付随的な損害を含むが、これらに限定されない全責任を否認するものとする。SCILLCデータシートや仕様書に示される可能性のある「標準的」パラメータは、異なるアプリケーションでは変化する可能性があり実際に変化した実際の性能は時間とともに徐々に変化する可能性がある。「標準的」を含むすべての動作パラメータは、顧客の技術専門家によって顧客アプリケーションごとに確認されなければならない。SCILLCは、その特許権やその他の権利の下、いかなるライセンスも譲渡しないものとする。SCILLC製品は、人体への外科的移植を目的とするシステムへの使用、生命維持を目的としたアプリケーション、SCILLC製品の故障により、怪我や死を引き起こす状況が起こり得るようなアプリケーションなどへの使用を目的に設計されておらず、また認可も受けていない。買手は、そのような意図されたものではない、未許可のアプリケーション用にSCILLC製品を購入または使用した場合、たとえ申し立てにおいて、SCILLCがその部品の設計または製造に関して怠慢だったと主張されたとしても、買手は、そのような意図せぬ使用、また未許可の使用に関連した怪我や死から、直接、又は間接的に生じるすべてのクレーム、費用、損害、経費、また妥当な弁護士料のすべてを補償し、SCILLCとその役員、従業員、子会社、関連会社、代理店に対して、何らの損害も与えないものとする。SCILLCは雇用機会均等/差別撤廃雇用主である。この資料はあらゆる著作権法の対象となっており、いかなる方法によっても再販不可とする。

PUBLICATION ORDERING INFORMATION

LITERATURE FULFILLMENT:

Literature Distribution Center for ON Semiconductor
P.O. Box 5163, Denver, Colorado 80217 USA
Phone: 303-675-2175 or 800-344-3860 Toll Free USA/Canada
Fax: 303-675-2176 or 800-344-3867 Toll Free USA/Canada
Email: orderlit@onsemi.com

N. American Technical Support: 800-282-9855 Toll Free
USA/Canada
Europe, Middle East and Africa Technical Support:
Phone: 421 33 790 2910
Japan Customer Focus Center
Phone: 81-3-5817-1050

ON Semiconductor Website: www.onsemi.com

Order Literature: <http://www.onsemi.com/orderlit>

For additional information, please contact your local Sales Representative

参考資料

- [1] [ENERGY STAR Program Requirements for Solid State Lighting Luminaires, Version 1.1](#)
- [2] [ENERGY STAR Program Requirements for CFLs](#)
- [3] [NCL30000 Power Factor Corrected Dimmable LED Driver](#)
- [4] [AND8448 Configuring the NCL30000 for TRIAC Dimming](#)
- [5] [AND8451 Power Stage Design Guidelines for the NCL30000 Single Stage CrM Flyback LED Driver](#)
- [6] [NCL30000 Evaluation Board Documentation](#)
- [7] [NCL30000LED1GEVB Manual](#)