

低消費電力LEDアプリケーション 向けオフライン力率補正付きバック ブースト・コンバータ



ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>

APPLICATION NOTE

はじめに

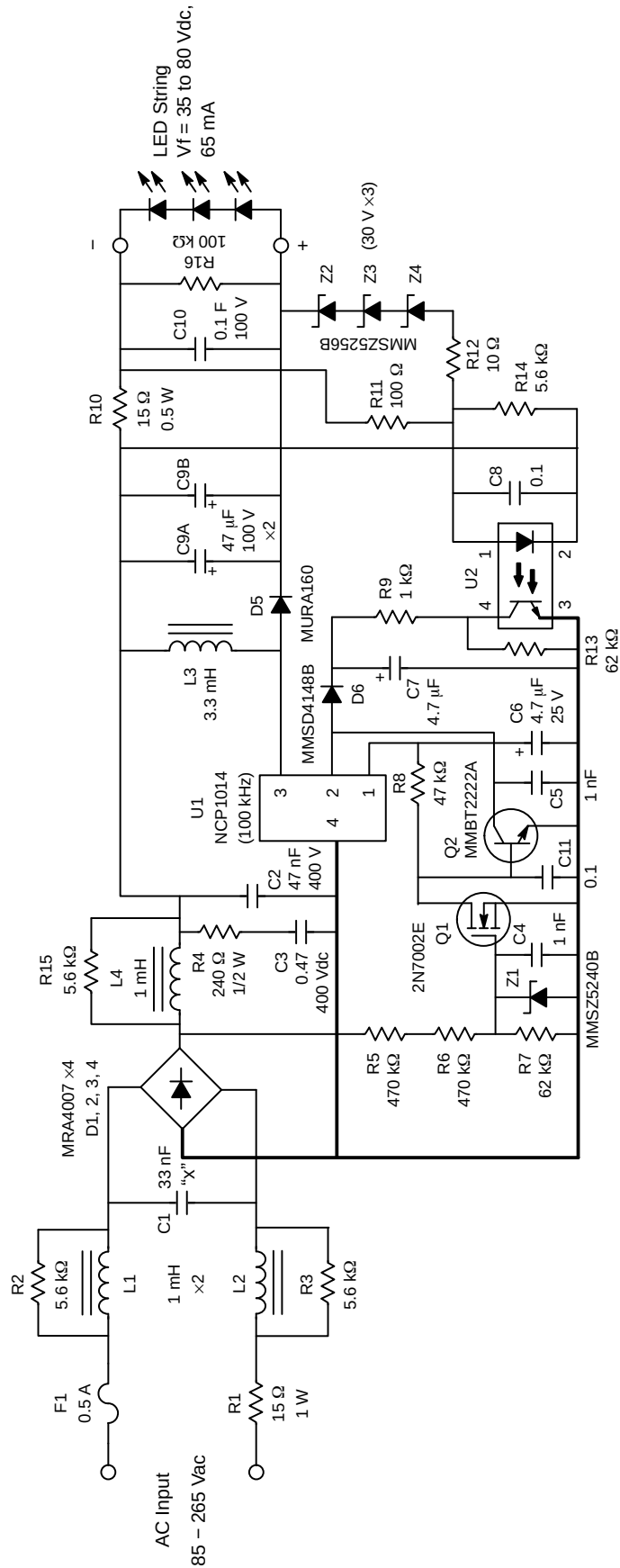
このアプリケーション・ノートでは、定電流LED照明アプリケーションを駆動するための固有の力率補正(PFC)付き汎用入力オフライン・バックブースト・コンバータを紹介します。このコンバータは、35~120 Vdcの直列順方向電圧降下で最大100 mAの電流が要求される、直列ストリングLEDアプリケーション向けのものです。LEDアプリケーションには、ACラインと出力の絶縁が不要なストリップ照明、直線蛍光管型照明、ウォール・パックなどがあります。この回路設計は大部分の既存のトライアック調光器とも互換性があり、出力電圧と出力電流の組み合わせに応じて、約8 Wまでの電力レベルに適用可能です。最大オープン回路の出力電圧は、出力電流と同様、容易に調整できます。バックブースト回路は、オン・セミコンダクターのNCP1014シリーズ・モノリシック・スイッチャICの周辺で使用するよう設計されており、LED照明アプリケーションに対するきわめてシンプルで低コストのアプローチを提供します。バックブースト・インダクタは標準部品としても入手可能です。

基本回路動作

NCP1014バックブースト・コンバータ回路をFigure 1に示します。この回路は65 mA出力に構成されており、 V_f 最大が80 Vで、オープン回路出力は約90 Vにクランプされています。出力電流は電流検知抵抗R10で設定されます($I_{out} = 0.95/R10$)。オプトカプラU2のフォト・ダイオードの順方向電圧降下は、電流検知のための効果的なリファレンス電圧を提供します。

出力電流はR14で上方向に調整できます。 $V_{out max}$ は、 $Z1 + Z2 + Z3 + 1 V$ の合計直列ツェナ・ダイオード電圧で設定されます。R16はコンバータがオフ時の出力コンデンサC9A/Bの放電用で、トライアック調光の使用時に最小ディム・レベルを設定するのに役立ちます。

バックブースト・コンバータは、モノリシック・コントローラU1 (NCP1014)、レクティファイヤD5、インダクタL3、出力コンデンサC9AとC9Bの周辺で構成されます。インダクタL3は連続導通モード(CCM)で動作し、ピーク値対平均値比を最小にして、総合的な回路効率を最大にします。各種出力の V_f 値および両方の公称ライン電圧の効率曲線を、以下のFigure 2に示します。



Notes:

1. Vout max set by Z2+ Z3 + Z4 (Vout = Vz + 1V)
2. I out max set by R10 (Iout = 0.95/R10); Imax = 100 mA
3. R14 is for trimming Iout (optional).
4. L1, L2, L4 are Wurth WE-TI 7447462102 or similar (1 mH).
5. L3 is Wurth part # WE-PD 7447709332 (or equivalent 3.3 mH inductor).
6. U1 should be heatsunk via ground tab (pin 4) to copper clad area.
7. Crossed schematic lines are not connected.
8. Thick lines are recommended ground plane/heatsink area.
9. For non-triac dimming applications R4, R5, R6, R7, R8, C3, C4, C5, Z1, Q1, and Q2 can be omitted. D6 can be replaced with a zero ohm resistor.

NCP1014 CVCC Off-line Buck-Boost with
Active PFC and Triac Dimming (Rev 9)

Figure 1. Buck-Boost Schematic

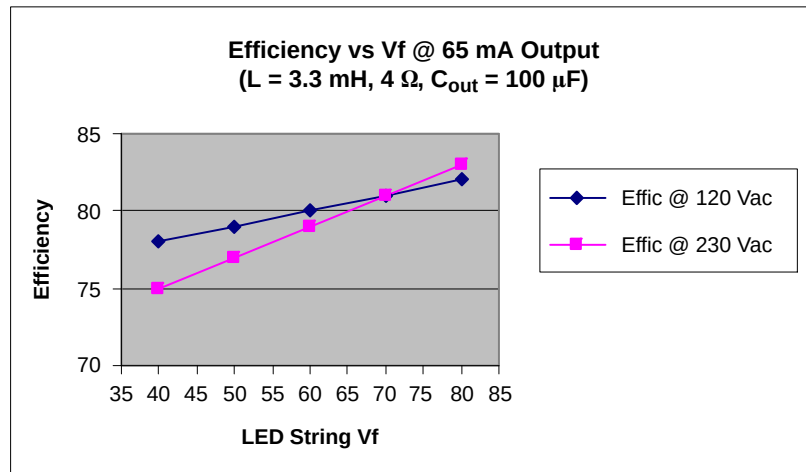


Figure 2. Efficiency versus Output Vf

コンバータ入力回路は、L1、L2、L4、C1で構成される伝導EMIフィルタを採用しています。このフィルタは、Figure 3の緑色のプロット(平均)で示すとおり、

FCCレベルBの伝導性放射要件に適合するのに十分です。このプロットは100 mAの最大定格出力電流に対するものです。

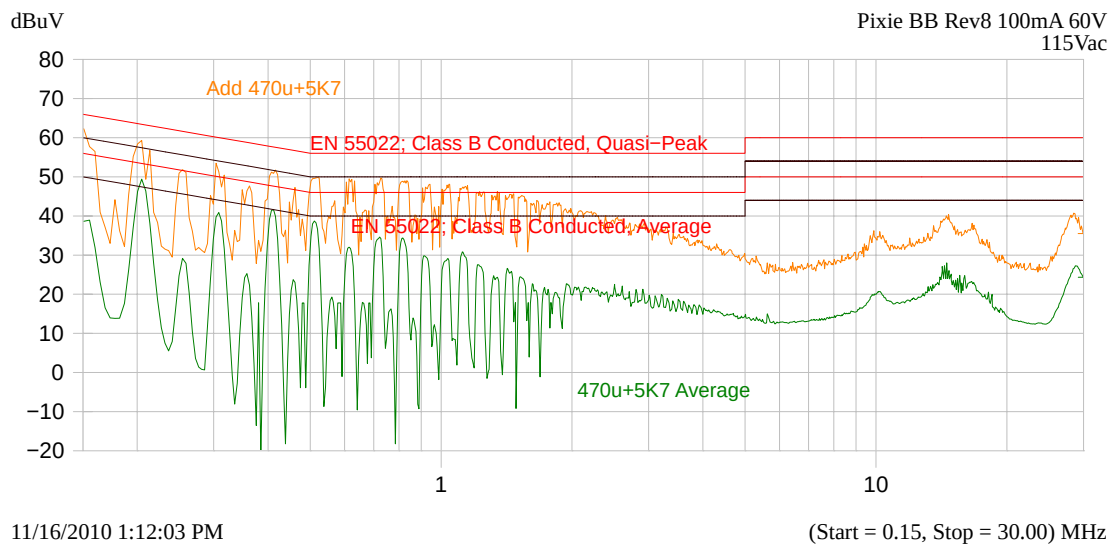


Figure 3. Conducted EMI for 100 mA with Vf = 60 Vdc (Green = Average; Orange = Peak)

C2の最小入力バルク容量とEMI “X” cap C1の低容量値を利用し、コンバータを全波整流されたライン電圧から直接スイッチングすることによって、比較的高い力率が得られます。コンバータのフィードバ

ック・ループのユニティ・ゲイン帯域幅もC7を介して40 Hz未満に設定され、これによってもスループット力率が改善されます。両方の公称ライン電圧に対する力率対Vfの曲線を、以下のFigure 4に示します。

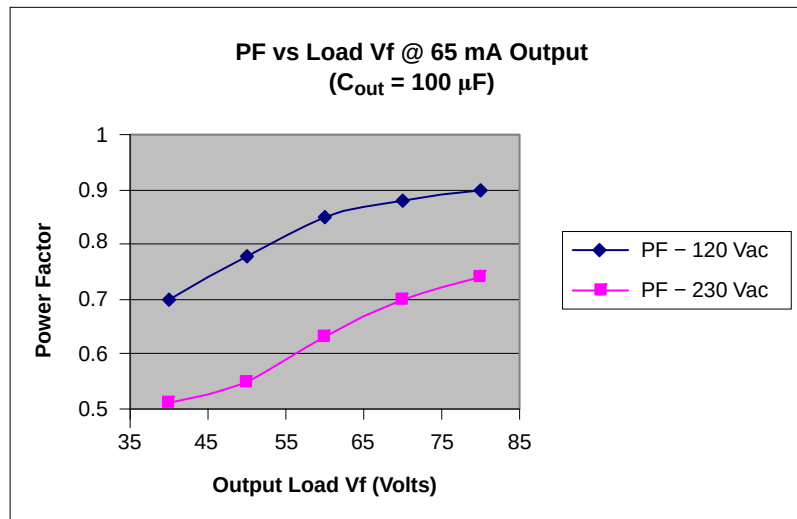


Figure 4. Power Factor versus LED Vf

シンプルな比較的 low ゲインの電流検知およびフィードバック設計にも係わらず、標準 Vf 範囲での電流

レギュレーションは、Figure 5 に示すとおり 4% より優れた値になります。

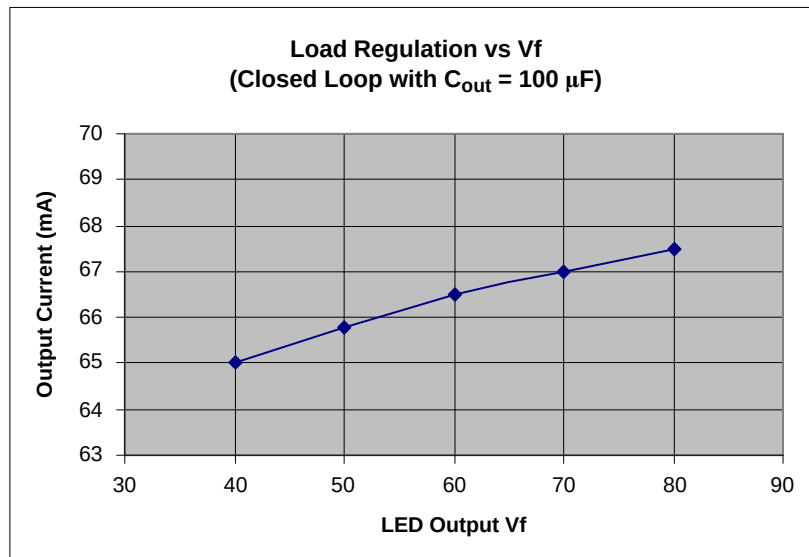


Figure 5. Current Regulation versus Vf

2個の $47 \mu F$ 出力コンデンサ ($C9A/B$) を並列に接続した LED 負荷に、100 mA を流した場合の 120 Hz 出力電流リップルを Figure 6 に示します。 $47 \mu F$ の単一出力コンデンサの出力電流リップルを Figure 7 に示します。スケールは 1 垂直目盛あたり 50 mA です。電流リップルの振幅は、コンバータの出力のフィルタ容量によって決まります。これは低速フィードバック

・ループのため、このリップルがコンバータを直接通過するからです。力率と電流レギュレーションは出力容量が減少すると低下することに注意してください。出力電流が 100 mA 以下の大部分のアプリケーションで、約 $47 \mu F$ (ピーク-ピーク・リップル = 30% 最大) の最小出力容量で十分であることが判明しました。

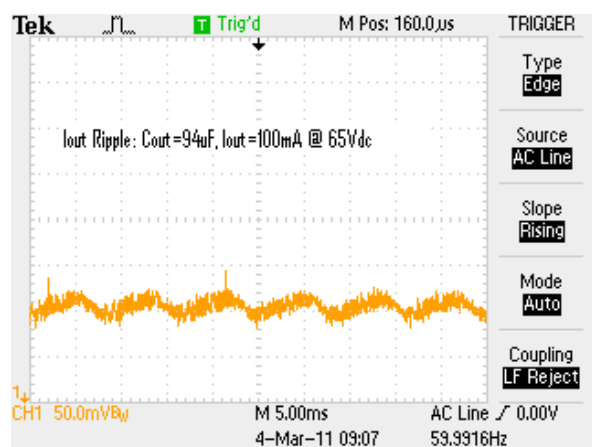


Figure 6. Output Current Ripple with $C_{out} = 94 \mu F$ and LED Load = 100 mA ($V_f = 65 V_{dc}$)

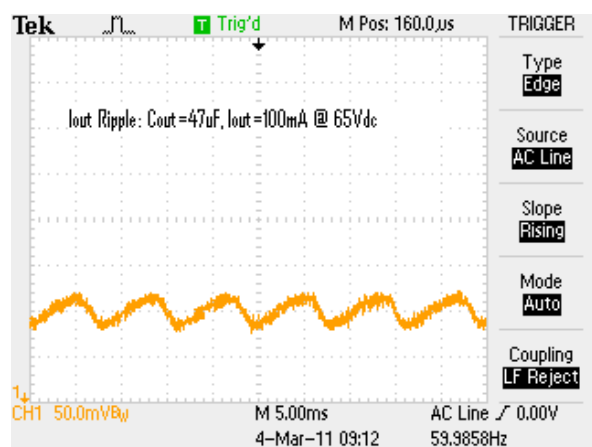


Figure 7. Output Current Ripple with $C_{out} = 47 \mu F$ and LED Load = 100 mA

インダクタの選択

コンバータのピーク値対平均電流比を最小にし、NCP1014の内部MOSFETの電流能力を最大限に活用するために、バックブースト・インダクタは連続導通モード(CCM)動作に選択されました。また、特注品のインダクタは高額なため市販インダクタの使用が希望でした。これに該当する製品として、公称インダクタンス3.3 mH、直流抵抗が約4 Ω のWürth Elektronik製市販インダクタが選択されましたが、このアプリケーションには十分でした。直流抵抗がさらに低い特注品のインダクタなら、総合効率も向上するでしょうが、おそらくコストも高くなるので注意してください。CCM動作に必要な最小インダクタンスは、次のとおり求めることができます。

NCP1014のMOSFET電流制限の最小許容下限は400 mAです。CCM動作の場合、インダクタの磁化電流がこの量の50%すなわち200 mAを超えないよう配慮します。最小公称交流入力を入90 Vacと仮定すると、これは120 Vdcピークになります。ここで、ピークまで充電できるバルク入力容量は使用しないの

で、入力の平均値は60 Vdcです。この例で、標準的な出力電圧 V_f を60 V、CCMバックブーストの伝達関数を $V_{in}/V_{out} = D/(1-D)$ 、(ここで、 D はデューティ比)と仮定すると、次のとおり D を解いて、低ac入力でのMOSFETの平均オン時間を求めることができます。

$$D/(1 - D) = V_{in}/V_{out} = 60 V/60 V = 1,$$

次式から D を解くと、 $D = 0.5$ が得られます。

したがって、スイッチング周波数が100 kHzの場合、平均オン時間は5 μs になります。これから、次のとおり最小インダクタンス値を計算することができます。

$$L = V_{pk} \times dt/dI = 120 \times 5 \mu s / 0.2 A = 3000 \mu H$$

ここで、 V_{pk} は低ラインでのインダクタ両端のピーク電圧、 dI はチョーク磁化電流の選択された最大ピーク-ピーク値です。3.3 mHが標準的な値なので、これが選択されました。

トライアック調光

希望の最小調光電流で安定動作を行えるだけトライアック保持電流が低い限り、このバックブースト回路でトライアック調光が可能です。調光時の安定動作に役立つこの回路の優位性の1つは、NCP1014が電流モード制御を利用していることです。この制御方式では、デューティ比を調整して120 Hzの出力リップルを瞬時に制御しようとするので、力率がいくぶん低下しますが、この影響はライン電流を台形波形として整形する傾向もあります。台形電流波形では、通常の正弦波で一般的な正弦曲線の「減衰」とは逆に、ライン・サイクル終了時の立ち下がりエッジは比較的高いままです。半サイクル電流パルスの終了時に電流が高いままであることが、低レベル調光に必要な非常に短い導通角に対して、トライアック保持電流を維持するのに有効です。Figures 8と9は、それぞれ導通角100°と22°に対する120 Vacの入力ライン電流(黄色)と調光中の電圧(青色)を示します。

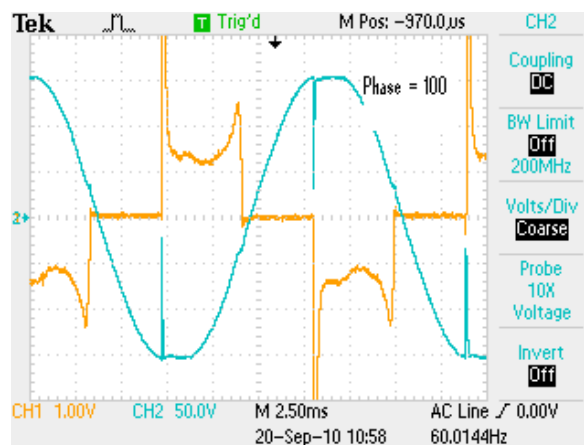


Figure 8. Line Current and Voltage – Triac Conduction Angle of 100°

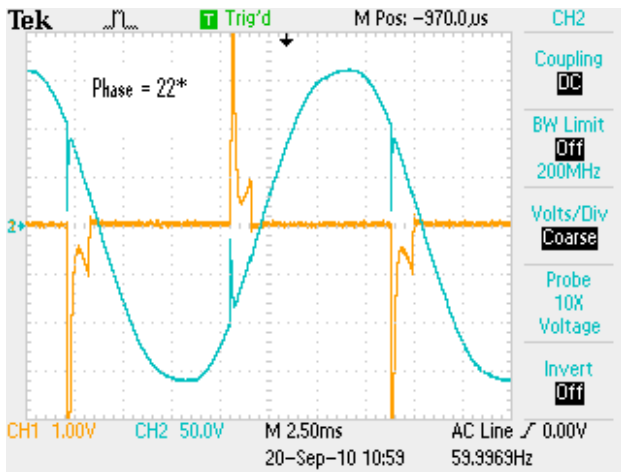


Figure 9. Line Current and Voltage – Conduction Angle of 22°

Figure 1の回路図を参照すると、入力電流制限抵抗R1、およびR4とC3のダンピング回路網により、コンバータが初期ターンオン時にトライアックに与える容量性負荷の影響を打ち消すのに役立ちます。Q1とQ2で構成される禁止回路は、ライン電圧をモニタし、トライアック調光時にライン電圧が約15 V未満になると、フィードバック・ピンを通じてU1を禁止します。ダイオードD6は、トライアックのゼロ導通期間中は周波数補償コンデンサC7の放電を防止します。この回路はトライアック調光使用時に、コンバータの安定性と性能を向上させます。調光が不要なアプリケーションの場合、禁止回路の部品をなくして、D6をゼロ・オーム抵抗に置き換えることができます。トライアック調光回路の特性に応じて、出力プレロード抵抗R16の抵抗値を調整して、最小トライアック位相角における希望の最小明るを設定する必要がある場合があります。

Figure 10に、120 Vac Leviton SureslideおよびRotary トライアック・ライン調光器(65 mA max、60 Vf LED 負荷)のコンバータ出力電流対ライン位相角を示します。

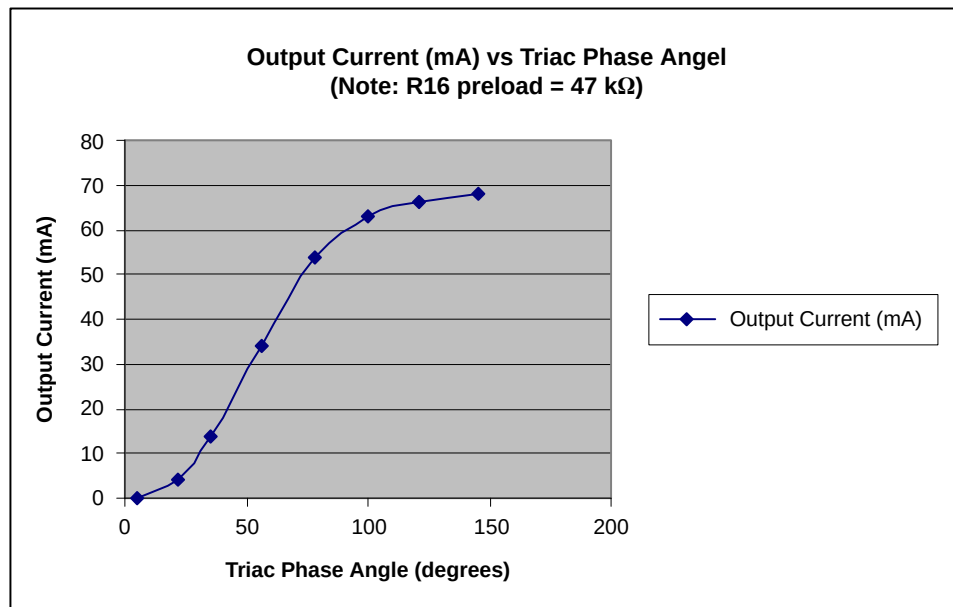


Figure 10. Converter Output Current versus Triac Phase Angle

参考文献

- [1] NCP1014 Data Sheet:
http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/NCP1010-D.PDF
- [2] NCP1014 Application Notes:
<http://www.onsemi.com/PowerSolutions/supportDoc.do?type=AppNotes&rpn=NCP1014>
- [3] NCP1014 Design Notes:
http://www.onsemi.com/PowerSolutions/supportDoc.do?type=Design_Notes&rpn=NCP1014

ON Semiconductor及びONのロゴはSemiconductor Components Industries, LLC (SCILLC)の登録商標です。SCILLCは特許、商標、著作権、トレードシークレット(営業秘密)と他の知的所有権に対する権利を保有します。SCILLCの製品/特許の適用対象リストについては、以下のリンクからご覧いただけます。www.onsemi.com/site/pdf/Patent-Marking.pdf。SCILLCは通告なしで、本書記載の製品の変更を行うことがあります。SCILLCは、いかなる特定の目的での製品の適合性について保証しておらず、また、お客様の製品において回路の応用や使用から生じた責任、特に、直接的、間接的、偶発的な損害に対して、いかなる責任も負うことはできません。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、アプリケーションによっては異なることもあり、実際の性能も時間の経過により変化する可能性があります。「標準的」パラメータを含むすべての動作パラメータは、ご使用になるアプリケーションに応じて、お客様の専門技術者において十分検証されるようお願い致します。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許諾しません。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、また、SCILLC製品の不具合による死傷等の事故が起こり得るようなアプリケーションなどへの使用を意図した設計はされておらず、また、これらを使用対象としておりません。お客様が、このような意図されたものではない、許可されていない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、SCILLCがその部品の設計または製造に関して過失があったと主張されたとしても、そのような意図せぬ使用、また未許可の使用に関連した死傷等から、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、および弁護士料などを、お客様の責任において補償をお願いいたします。また、SCILLCとその役員、従業員、子会社、関連会社、代理店に対して、いかなる損害も与えないものとします。SCILLCは雇用機会均等/差別撤廃雇用主です。この資料は適用される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することはできません。

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