



120 V_{AC}、低コスト、調光可能、リニア、並列と直列の切替えCCRを使用したLED照明回路

Table 1. DEVICE DETAILS

Device	Application	Topology	Efficiency	Input Power	Power Factor	THD
NSIC2030JB, NSIC2050JB	AC LED Lighting	Linear	79%	7.9 W	0.99	12%

概要

この回路は、並列から直列トポロジへの切り替えを行う独創的な方式を使用し、有効な120 V_{AC}のLED照明ソリューションを実現します。主要な特長は、力率PFと全高調波歪THDの性能、調光可能、低コスト、高効率、および光出力です。

この回路は、並列から直列への切り替えを行うトポロジを使用しており、ブリッジの出力の変動に応じてLEDの順方向電圧を動的に調整します。また、この回路は2個のCCRを互いに独立して切り替え、PFとTHDの性能を向上させるために、入力電流の波形をブリッジの出力電圧に合わせます。

この回路は、110 V_{AC}~130 V_{AC}の間に入力電圧を意図して設計されています。

この回路はオン・セミコンダクターの定電流レギュレータCCRを採用して、LEDの電流を安定化し、

LEDを過電圧の条件から保護します。また、この回路は2番目のCCRも使用して、高電圧が印加された場合はLED電流を大きくし、PFとTHDの性能を向上させます。

回路の主要な特長

- 標準的な位相カット形式の調光器と組み合わせて動作
- 低コスト
- PF > 0.99
- THD = 12%
- さまざまなLED電圧に合わせて調整可能
- さまざまな電力レベル/電流に合わせて調整可能

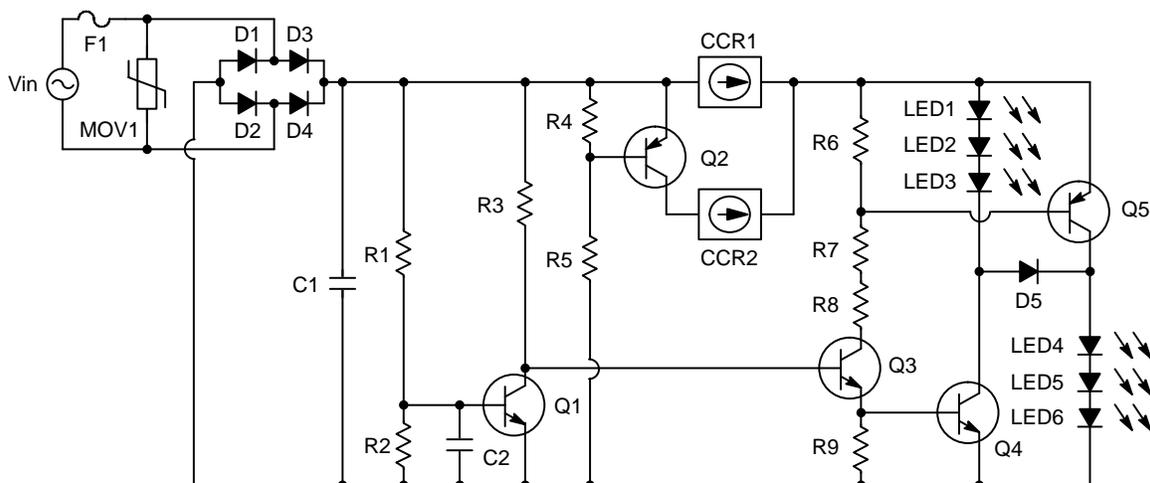


Figure 1. 2-stage Parallel-to-Series LED Lighting Circuit, with Switch-In CCR

回路の説明

この回路は、全波ブリッジ整流器(D1~D4)、並列から直列への切り替え回路(C1~C2、R1~R3、

R6~R9、Q1、Q3~Q5、D5)、CCRの切り替え回路(C3、R4~R5、Q2)、CCR(CCR1~CCR2)、およびLED(LED1~LED6)で形成されています。

回路の動作

全波ブリッジ整流器は、(120 V_{AC}の場合)に約170 Vをピークとする、正電圧を持つ半波の正弦波の波形を出力します。整流された供給電圧は、D3とD4のカソードと、D1とD2のアノードの間で参照されます。

この回路には、常時動作する2つの異なる切り替えメカニズムがあります。最初のメカニズムは、並列から直列への切り替えを行う要素であり、回路から見た有効的なLEDの順方向電圧(V_f)を制御します。並列から直列への切り替えを行う要素はトランジスタQ1によって駆動され、Q1のV_{BE}はR1/R2の電圧分割器によって駆動されます。この回路では、選択したR1/R2の値に基づいて、この切り替え電圧が122 V[†]になります。回路内にある2番目の切り替え要素は切り替えCCRであり、2番目のCCR(CCR2)は高電圧が印加されたときにオンに切り替わり、追加の入力電流を供給して、PFを向上させ、THDを小さくします。トランジスタQ2は、CCR2に対応するスイッチとして機能します。Q2のV_{BE}は、R4/R5の電圧分割器によって駆動されます。この回路でこれらの値を選択すると、この切り替え電圧は116 V^{††}になります。CCR2の両端に8 Vの電圧が印加している場合は、CCR2は最大の安定化を実行し、ブリッジの出力が約124 Vのときにこの追加の電流が供給されます。

電圧が低い場合(ブリッジの出力 < 122 V)は、LEDは並列構成になり、早期にターンオンされ、CCR2はオフになります。Q1はオフになり、Q3はオンのままで、Q4とQ5にベース電流を供給し、これらの各トランジスタは、2組のLEDストリングに対して個別の電流経路を提供します。

ブリッジの出力が122 Vを上回った場合は、LEDは直列モードに切り替わり、LEDの順方向電圧は有効的に2倍になり、回路内の過電圧からCCRを保護します。この時点で、CCR2は引き続きオフのままです。

ブリッジの出力が124 Vを上回った場合は、CCR2はオンへの切り替えを開始し、より多くの電流をLEDに供給します。入力電流波形をできるだけ正弦波に近い形状にするために、LEDが直接構成に変化した後でCCR2がターンオンになることを保証する必要があります。遅延を伴うターンオンにより、効率も向上します。

[†] Q1のV_{BE(sat)}に関する代表値として、オン・セミコンダクターのMMBT3904Lは25°C時に0.68 Vという値を示します。R1 = 1 MΩ、R2 = 5.6 kΩという値を想定すると、次の式を使用してQ1のターンオン電圧を求めることができます。

$$V_{\text{SWITCH}(Q1)} = V_{\text{BE(sat)}} \cdot \left(\frac{R1 + R2}{R2} \right)$$

これらの値を使用して、V_{SWITCH(Q1)}は約122 Vになります。

^{††}同様に、Q2、つまりオン・セミコンダクターのMMBT5401Lのターンオン電圧を計算できます。このデバイスの25°CにおけるV_{BE(sat)}の代表値は0.68 Vです。R4 = 590 Ω、R5 = 100 kΩという値を次の式で使用します。

$$V_{\text{SWITCH}(Q2)} = V_{\text{BE(sat)}} \cdot \left(\frac{R4 + R5}{R4} \right)$$

これらの値を使用して、V_{SWITCH(Q2)}は約116 Vになります。

設計の考慮事項

この回路に変更を加える場合は、その設計において幾つかの固有の仕様を考慮に入れることが重要です。

二つのストリングで60~160 V (1ストリングあたり30~80 V)のLEDをドライブすることができます。CCRを過電圧の条件から保護するために、直列ステージにあるすべてのLEDのV_fの合計を60 Vより高くする必要があります。並列構成ステージで利点を活用するために、1組のストリング内にあるLEDのV_fの合計を80 V未満にする必要があります(例1：それぞれ16個のLEDで形成される2組のストリングが存在する状況で、V_f = 3.2 Vの場合は、1組のストリングのV_f = 51.2 Vであり、直列の場合の合計V_f = 102.4 Vになります。例2：それぞれ3個のLEDで形成される2組のストリングが存在する状況で、V_f = 20 Vの場合は、1組のストリングのV_f = 60.0 V、直列の場合の合計V_f = 120.0 Vになります)。

V_fがより高いLEDストリングを使用する場合は、回路の効率は向上しますが、後者のLEDターンオン電圧を使用する場合は調光能力が低下し、PF/THDも低下します。

CCR2とQ2を流れる電流を大きくすることが望ましい場合は、ダーリントン接続された2個1組のPNPトランジスタ(2個のMMBT5401Lデバイスを使用することが可能)またはP型FETを使用して、ベース電流を小さくし、より大きいゲインを達成することもできます。回路に影響を与えずに、CCR1と並列に複数のCCRを追加することもできます。

回路の性能データ

Table 2. PERFORMANCE DATA ACROSS VOLTAGE RANGE OF THE CIRCUIT SHOWN IN FIGURE 1

	110 V _{AC}	120 V _{AC}	130 V _{AC}
I _{RMS(IN)} (mA)	64.00	66.07	69.33
PF	0.9911	0.9923	0.9931
THD (I _{RMS} , %)	13.01	12.02	11.52
P _{IN} (W)	6.99	7.88	8.90
Efficiency (%)	82.9	78.6	75.0

調光の適合性

Table 3. THE CIRCUIT DIMMED SMOOTHLY AND HELD OPERATION WITH NO FLICKER, FLASHES, ETC. WITH THESE AVAILABLE DIMMERS

Manufacturer	Serial Number
Lutron	500-15591A
Lutron	TGCL-153PH
Lutron	Skylark CTCL-153PDH
Pass & Seymour	450 W - CFL/LED
Leviton	IPL06-10Z
Leviton	6674-POW
Lutron	SCL-153P
Lutron	AYCL-153P

代表的な回路図

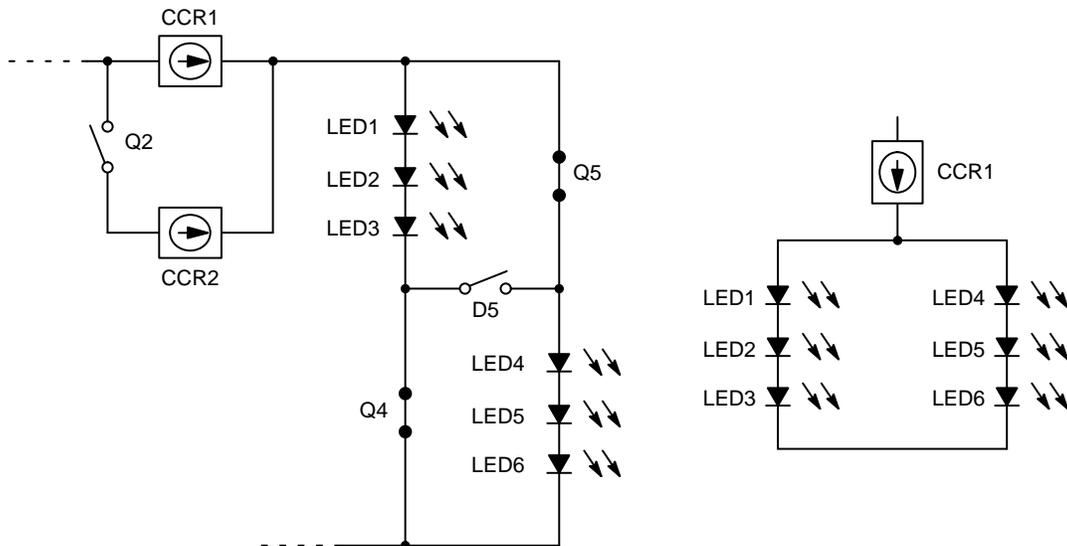


Figure 2. Stage 1, showing parallel configuration of LEDs and single CCR. Transistors Q4 and Q5 are on, and the D5 routing diode is reverse-biased. The LEDs are in parallel below the CCR and split the regulated current. The driver is in this configuration at bridge outputs below 122 V.

DN05052/D

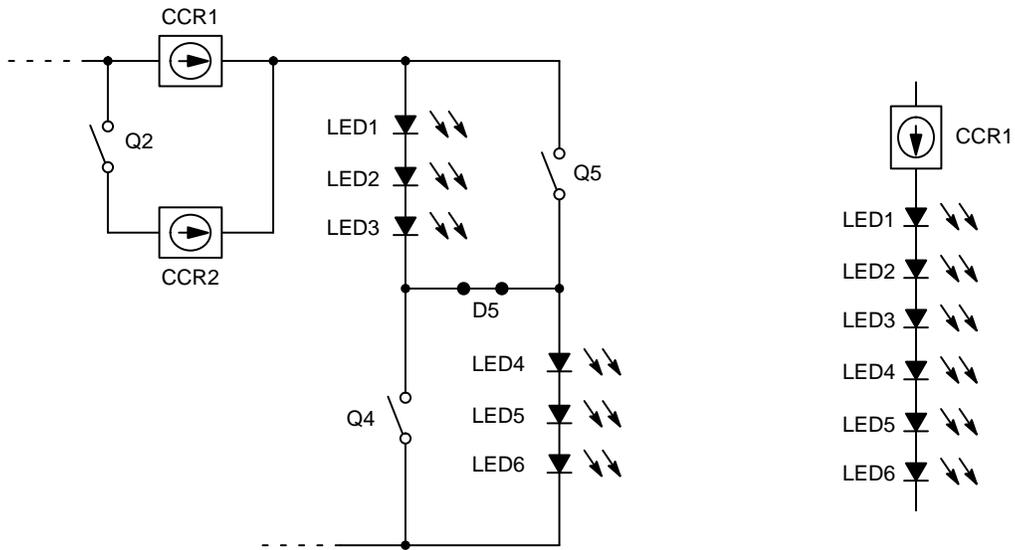


Figure 3. Stage 2, showing series LED configuration and single CCR operation. Transistors Q5 and Q6 are switched off and current flows through the D5 routing diode, enabling series configuration. The driver is in this configuration at bridge outputs between 122 V and 124 V.

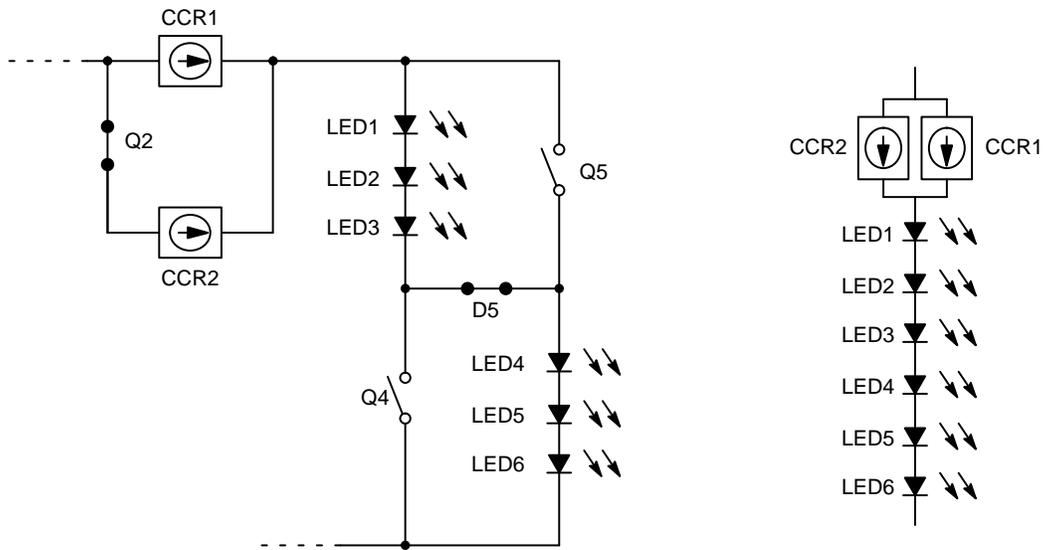


Figure 4. Stage 2, showing two parallel CCRs driving an LED series configuration. This occurs at bridge outputs above 124 V after the transistor Q2 has saturated.

波形

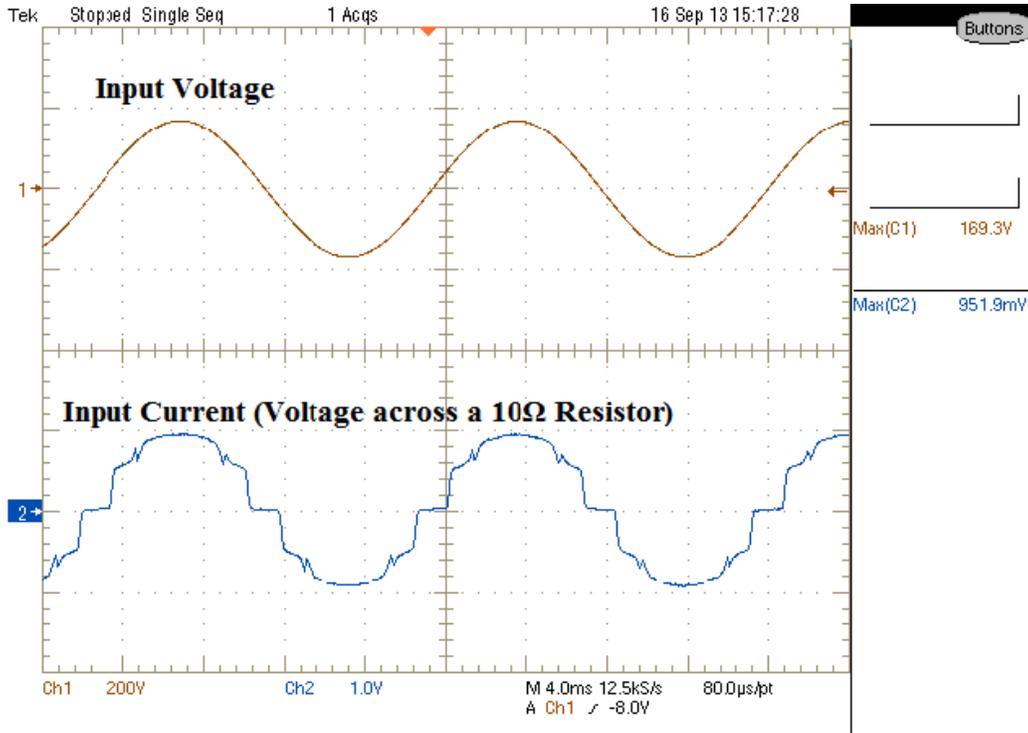


Figure 5. Transient capture of the total input voltage and current waveforms. Note the sinusoidal shape of the input current closely follows the voltage, resulting in good PF and THD performance.

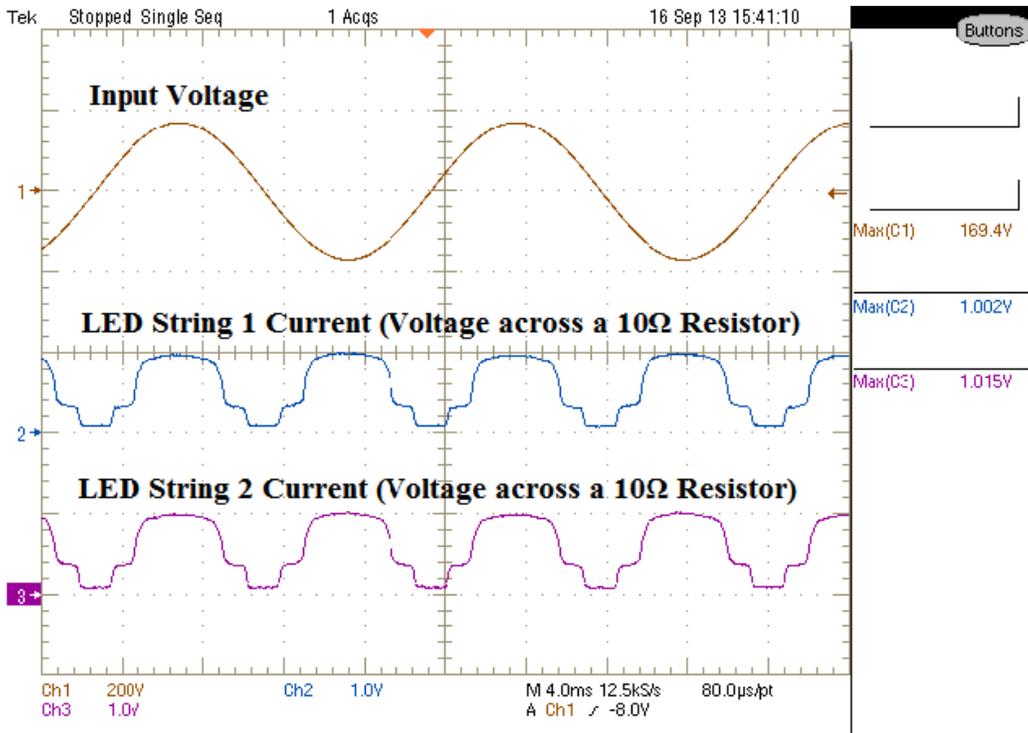


Figure 6. LED currents through both strings. LED String 1 contains LED1 through LED3, and String 2 contains LED4 through LED6. Note the identical current waveforms and the two distinct levels in current, corresponding to the parallel/series LED configurations.

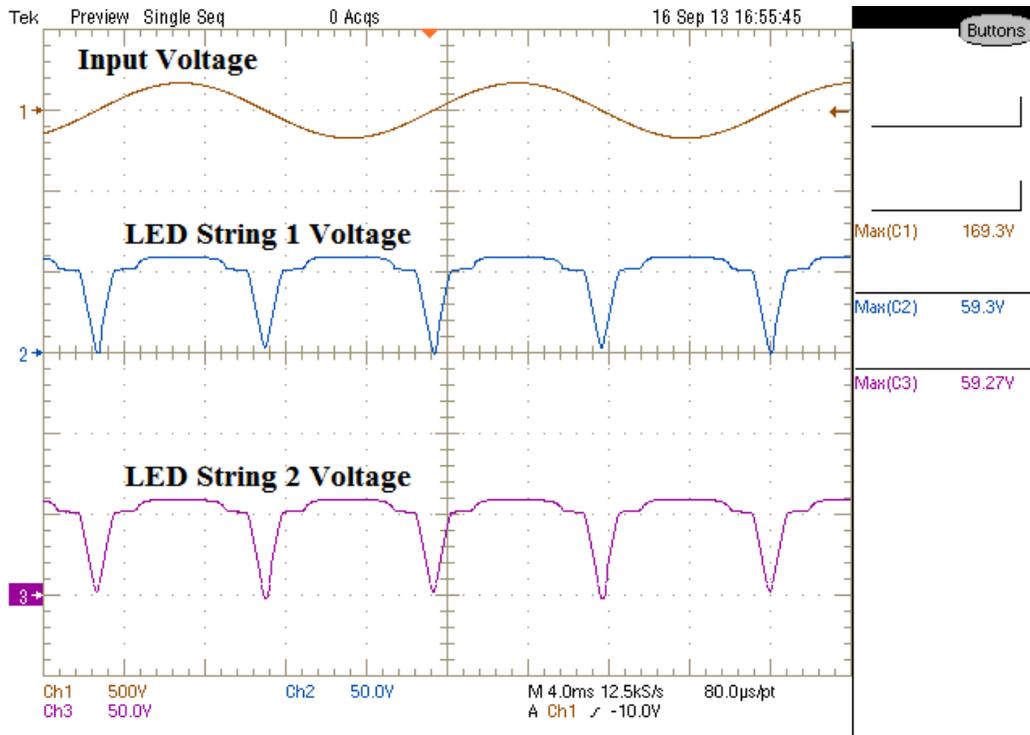


Figure 7. LED string voltages are equal at all times. The distinct levels in forward voltage are a result of the different LED current levels in the two stages of operation. Given an LED string V_f of 60 V, the LEDs are on about 81% of the time.

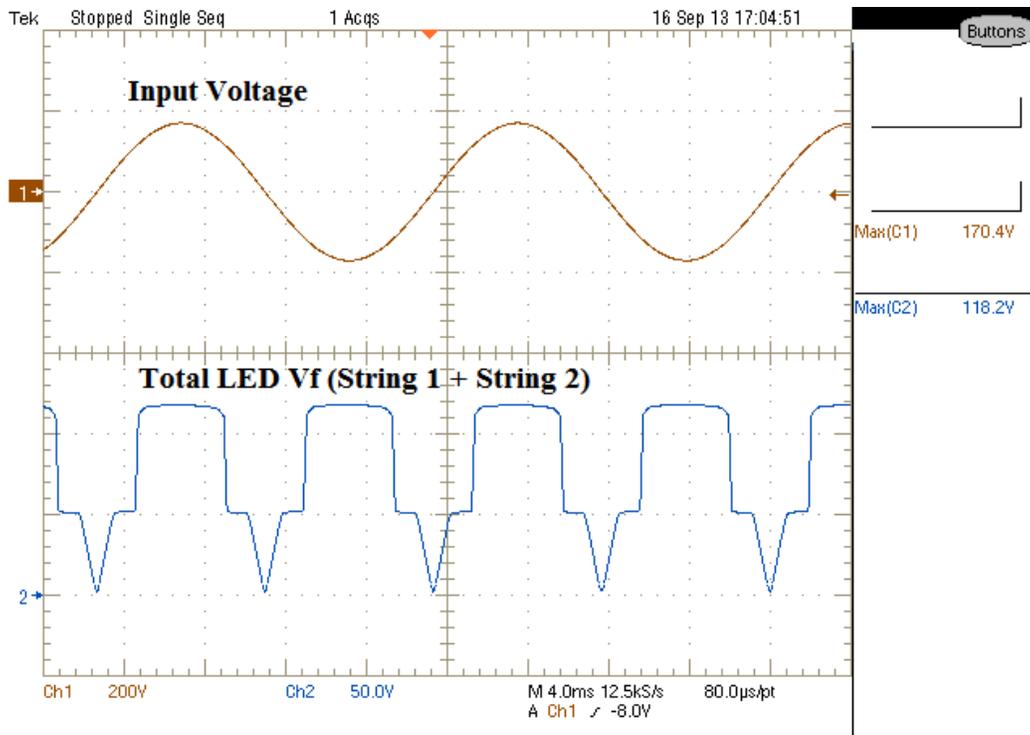


Figure 8. Total LED voltage. Measured from the anode of LED1 to the cathode of LED6 (bridge ground), the parallel and series configurations of the LEDs can be seen. The LEDs spend most of their time in the series configuration.

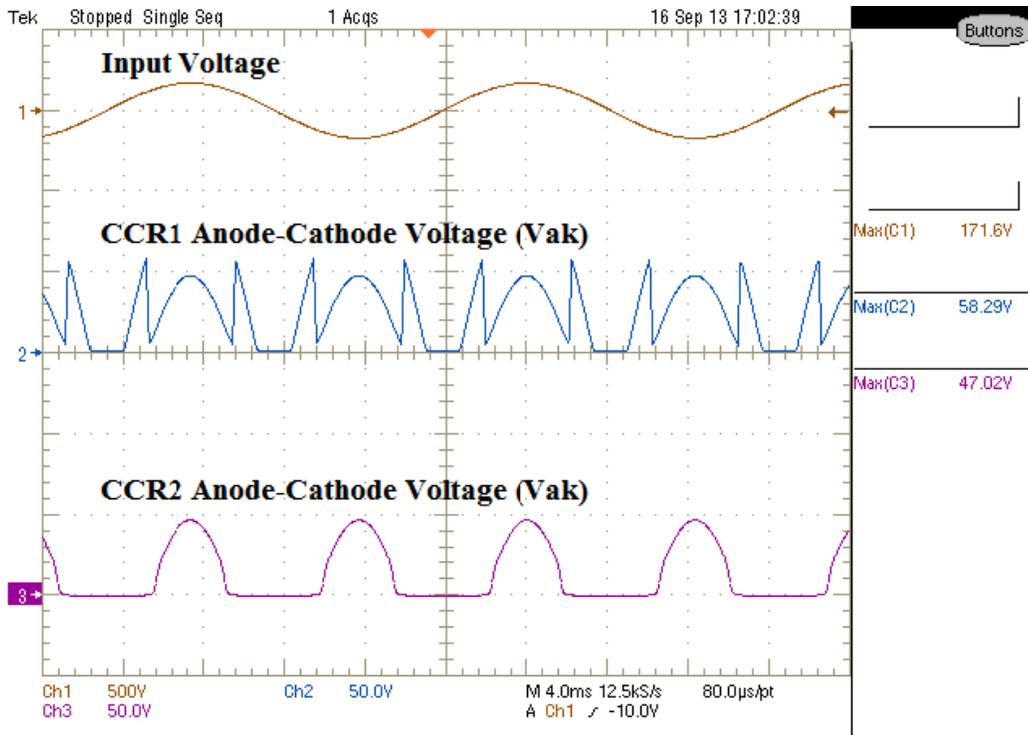


Figure 9. Anode-Cathode voltages for both CCRs. The sharp valleys in the CCR1 waveform are where the LED voltage increases, which reduces the V_{ak} across the device. CCR2 is left off until the bridge voltage is high and the LEDs are in series configuration.

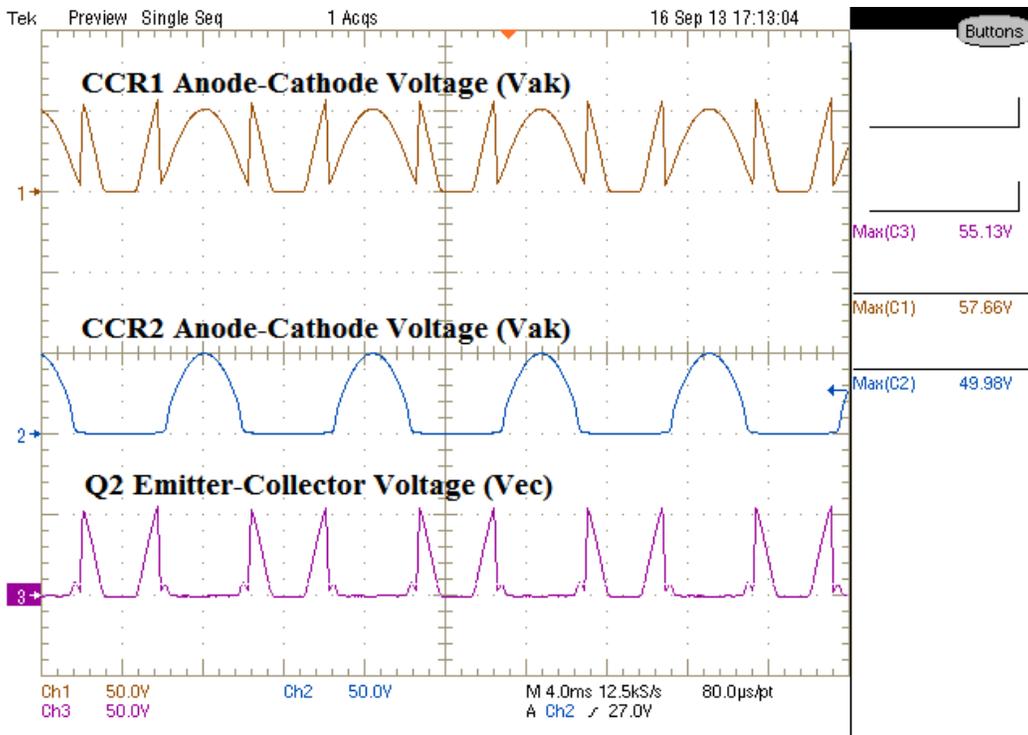


Figure 10. Q2 and CCR2 are in series, together paralleled with CCR1. Q2 blocks CCR2 from conducting during the parallel mode of operation, and after entering saturation, allows CCR2 to conduct.

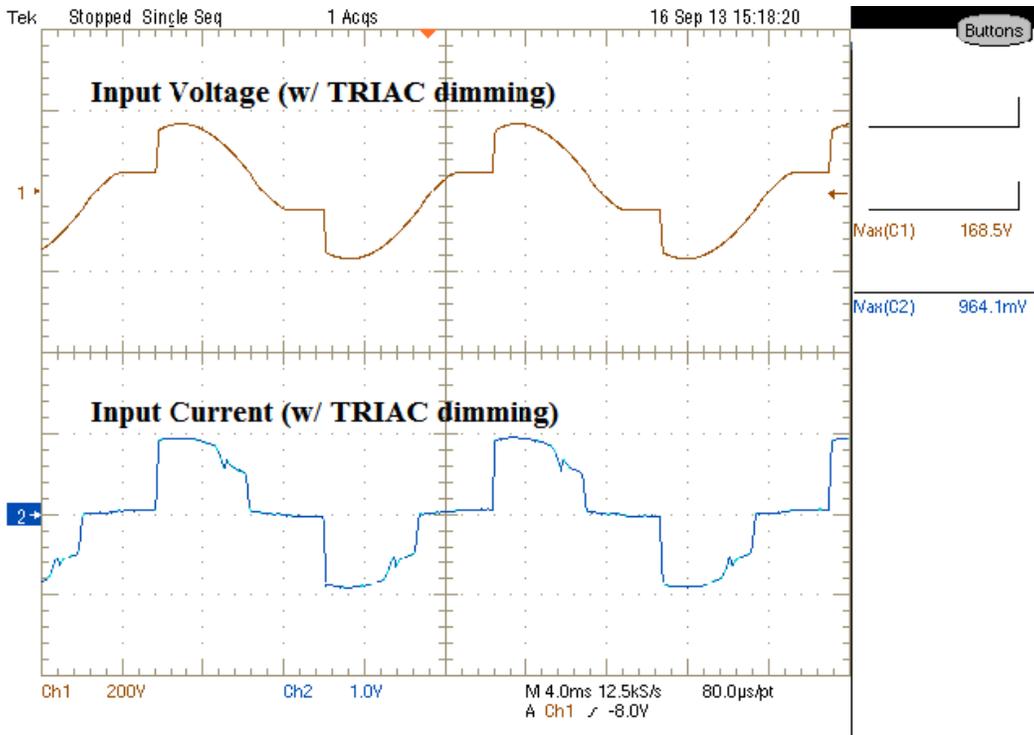


Figure 11. The circuit receives no current when the TRIAC is off, and the general shape of the input current waveform is preserved when the TRIAC is on.

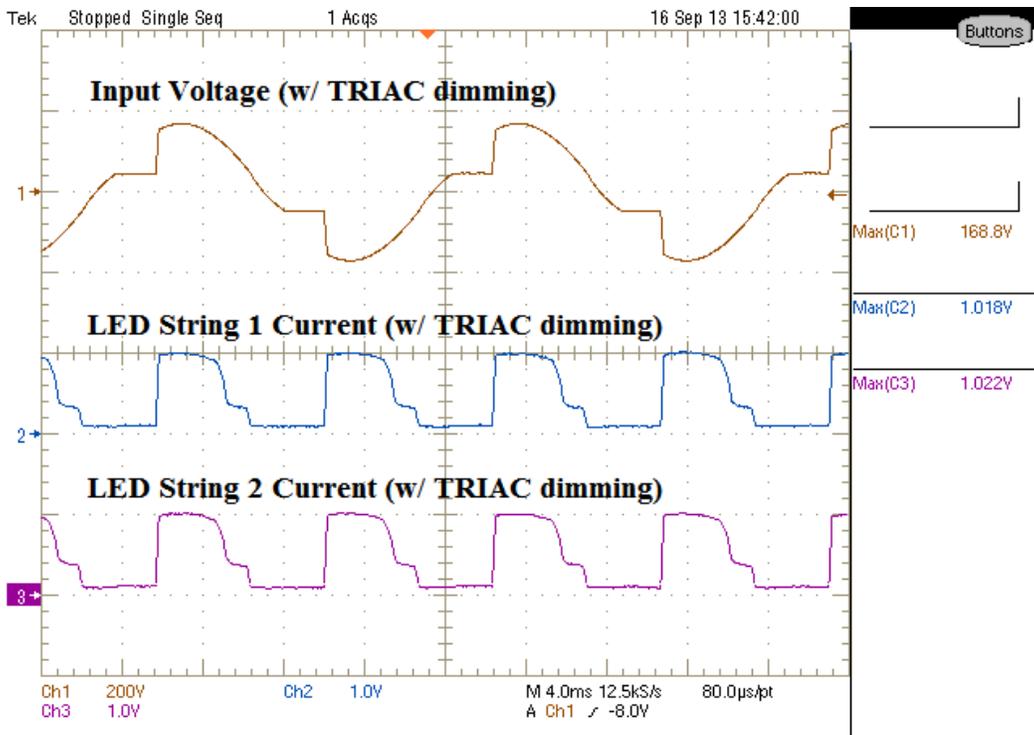


Figure 12. LED current turns off when the TRIAC is off, and the currents are identical every half-cycle, resulting in smooth, flicker-free dimming.

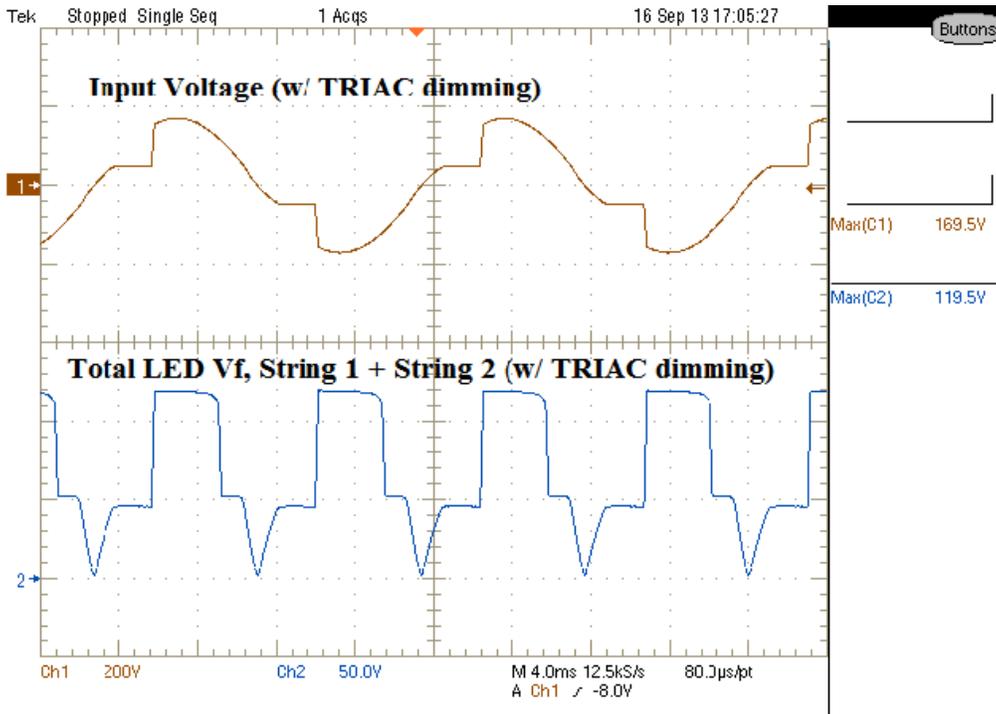


Figure 13. The LED total voltage continues to switch between parallel and series configurations normally, even with a TRIAC. The LEDs are off while the TRIAC is off.

設計の変更

LEDの負荷を変更する時は、ドライバのスイッチング動作点を、LED負荷の電圧レベルに応じて調整する必要があります。下記のグラフは、LEDストリング電圧に応じたスイッチング動作点調整抵抗(R2)の概算値です(これは迅速に設計をするためのもので

あり、より良いパフォーマンスのためには、さらに最適化が必要な場合があります)。このカーブは、2ページの $V_{SWITCH(Q1)}$ の公式が基になっています。スイッチング動作点調整抵抗を最適値に設定することは、効率の最適化とTHDの低減化にとって重要です。

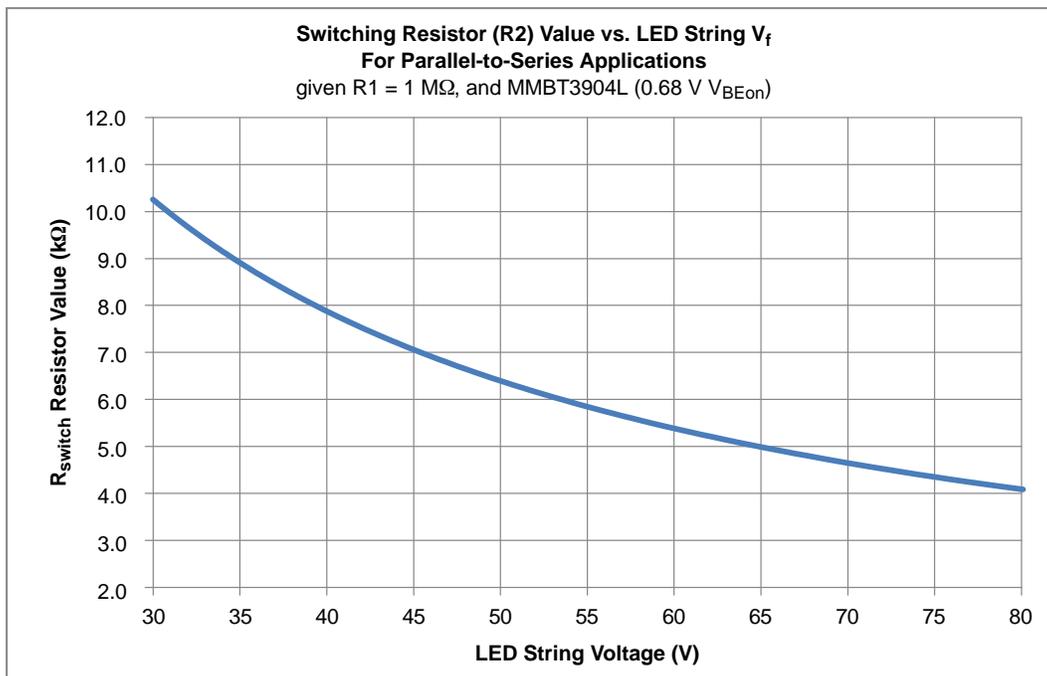


Figure 14. Plot showing suggested switching resistor value as a function of LED string voltage. The driver is tunable for strings between 30 and 80 V_f .

DN05052/D

より高い電力レベルの場合でも、性能に対するコストはほとんど変わらず、別のCCRをCCR1と並列に追加することで対応できます。下記は、CCR1の値を上げ、LED電力が増加したときの特性測定デー

タです。回路電力が高い場合、R2を調整してスイッチングスレッシュを下げるように最適化をすることで、THDを低減することが出来ます。

Table 4. PERFORMANCE EVALUATING AT VARIOUS CCR CONFIGURATIONS

CCR Config (CCR1 + CCR2)	Power Factor	Input Power	Output Power (Pin * 79%)	THD (% , Arms)	Input Current
50 + 30 mA (Original)	0.992	7.9 W	6.2 W	12.0%	70 mA _{rms}
80 + 30 mA	0.987	11 W	8.7 W	15.4%	93 mA _{rms}
100 + 30 mA	0.985	12.8 W	10.1 W	16.8%	105 mA _{rms}
130 + 30 mA	0.982	15.7 W	12.4 W	18.8%	134 mA _{rms}

CCR2を変更することで、R4/R5/Q2ターンオン回路の再設計が必要になります。また、より高い電力レベル(若しくは、より高いCCR2電流でのスイッチング)の場合では、DN05063/Dで示されるように、R4~R7, Q2~Q3で構成される回路を追加することが、より効果的です。

評価ボード

評価キットCCR120PS3GEVKは、金属で覆ったボードにこの回路を実装したものであり、ドライバとLEDボードも付属しています。ユーザが独自のLEDを使用することを希望する場合は、CCR120PS3AGEVB評価ボード(左に図示するドライバ回路)を通じて、ドライバ・ボードを単体で入手す

ることもできます。図14と2ページの式に従って、抵抗R2を変更する必要があることに注意してください。

回路のデータ

Table 5. USING METAL-CLAD EVALUATION BOARD

	110 V _{AC}	120 V _{AC}	130 V _{AC}
I _{RMS(IN)} (mA)	65.72	67.72	68.69
PF	0.9915	0.9927	0.9931
THD (I _{RMS} , %)	12.89	11.88	11.53
P _{IN} (W)	7.18	8.10	8.95
Efficiency (%)	81.4	77.2	72.6

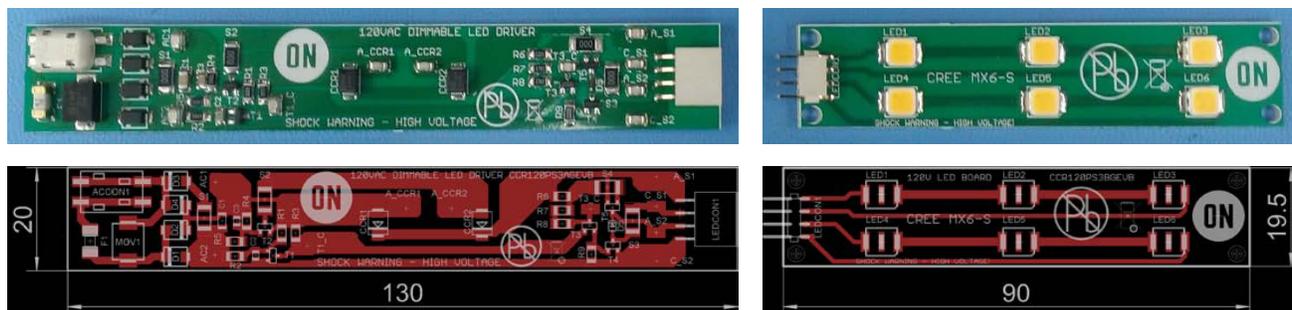


Figure 15. Driver and LED Boards

DN05052/D

部品表(BOM)

Table 6. BILL OF MATERIALS, AS DESIGNATED BY FIGURE 1 SCHEMATIC

Designator	Qty	Description	Value	Tolerance	Manufacturer	Part Number
CCR1	1	Constant Current Regulator	120 V, 50 mA	±15%	ON Semiconductor	NSIC2050JB
CCR2	1	Constant Current Regulator	120 V, 30 mA	±15%	ON Semiconductor	NSIC2030JB
F1	1	Fuse	250 V, 1 A	–	Any	–
MOV1	1	Varistor	150 V	–	Any	–
D1–D4	4	Diode	400 V, 1 A	–	ON Semiconductor	MRA4004
D5	1	Diode	75 V, 200 mA	–	ON Semiconductor	BAS16H
C1	1	Capacitor	2.2 nF, 200 V	–	Any	–
C2	1	Capacitor	1 nF, 10 V	–	Any	–
R1	1	Resistor	1 MΩ, 1/8 W	±1%	Any	–
R2	1	Resistor	5.6 kΩ, 1/8 W	±1%	Any	–
R3	1	Resistor	301 kΩ, 1/8 W	±1%	Any	–
R4	1	Resistor	590 Ω, 1/8 W	±1%	Any	–
R5	1	Resistor	100 kΩ, 1/8 W	±1%	Any	–
R6, R9	2	Resistor	2.2 kΩ, 1/8 W	±1%	Any	–
R7, R8	2	Resistor	27 kΩ, 1/8 W	±1%	Any	–
Q1	1	NPN Transistor	40 V, 200 mA	–	ON Semiconductor	MMBT3904L
Q2, Q5	2	PNP Transistor	150 V, 500 mA	–	ON Semiconductor	MMBT5401L
Q3	1	NPN Transistor	350 V, 100 mA	–	ON Semiconductor	MMBT6517L
Q4	1	NPN Transistor	140 V, 600 mA	–	ON Semiconductor	MMBT5550L
LED1–LED6	6	LEDs	20 V, 175 mA	–	Any	–

他の参考文献

CCRを使用した、類似の120 V_{AC}のLED照明ソリューションについては、次のような他のデザイン・ノートを参照してください。

- デザイン・ノート – [DN05046/D](#): 120 V_{AC}、低コスト、調光可能、リニア、並列と直列の切り替え可能なLED駆動回路

- デザインノート – [DN05063/D](#): 2ステージ、並列、直列切替え、ENERGY STAR®対応、低コストリニアLEDドライバ設計

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