International
IOR Rectifier

APPLICATION NOTE

アプリケーション・ノート：AN-1171

評価基板IRPLLED7
LEDrivIR™ IRS2980搭載のオフラインLED駆動回路
（交流90V～250V）

*Peter B. Green*著

目次

ページ

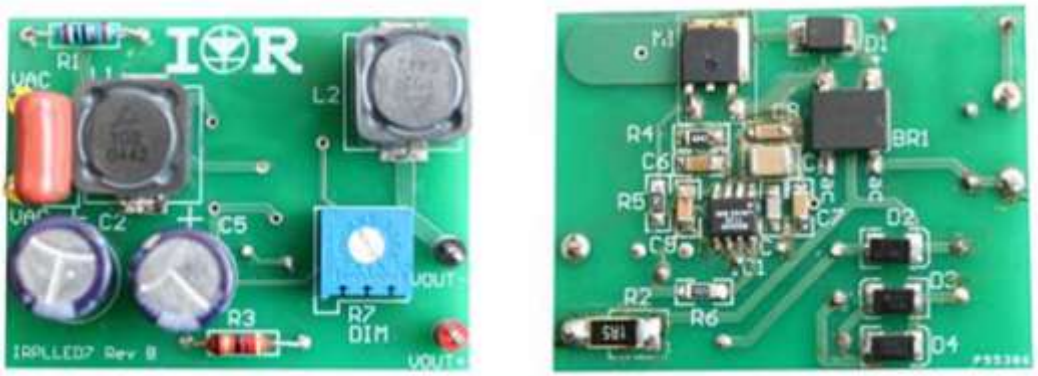
1. はじめに…… 2
2. 定電流制御…… 3
3. 高耐圧レギュレータ…… 8
4. 電流検出レベルシフト回路…… 15
5. PWM調光…… 23
6. IRPLLED7の回路図…… 27
7. 部品表（BOM）…… 28
8. プリント回路基板のレイアウト…… 31
9. テスト結果…… 32
10. 部品の温度…… 33
11. 設計手順のまとめ…… 37

安全性に対する警告

LED駆動回路の評価基板IRPLLED7は、ガルバニックアイソレーションしていません。動作中、LEDへの駆動出力は、潜在的に危険な電圧を生じる可能性があります。この回路基板は評価を目的としているため、適格な電子技術者に取扱い頂くようお願いします。

© インターナショナル・レクティファイアー・ジャパン
この文献の無断複製・転載を禁じます。

評価基板**IRPLLED7**



1. はじめに

半導体光源は現在、利用可能で、蛍光灯や HID（高輝度放電管）ランプの代替品になることができ、白熱灯よりも遥かに優れています。1W 当たりのルーメンで表現される光源の効率でみると、現在、LED（発光ダイオード）は一般照明に使えるレベルに達しています。高輝度 LED も、最大 5 万時間のより長い寿命、および、それほど効率的でない他の光源よりも非常に丈夫であるという付加価値を持っています。このため、街灯などの屋外の用途に適しています。

大電力 LED は、理想的には、安定化した一定の直流電流で駆動されます。この駆動電流は、交流または直流の電源から必要な電流を供給する「駆動回路」または「コンバータ」によって供給されます。LED 駆動 IC である IRS2980 の周辺回路に基づいた単純な 1 段の電力コンバータは、交流ライン電圧または直流電圧の広い入力範囲にわたって制御された電流出力を提供します。

評価基板 IRPLLED7 は、オフラインで非絶縁型の定電流バック・レギュレータの LED 駆動回路で、350mA の直流出力電流を供給するように設計されています。LED への出力電圧は最大で入力電圧の 90%です。50／60Hz で 90V～250V の交流ライン入力電圧で動作します。さらに、回路基板上のポテンショメータによって制御された 10%から 100%の光出力を PWM（パルス幅変調）調光する機能も備えています。

重要な安全情報

評価基板 IRPLLED7 は、ライン入力からの LED 駆動出力にガルバニック絶縁を備えていません。従って、もしシステム電源が絶縁されていない入力から直接供給される場合、LED 出力に感電の危険性があります。動作中は、これに触らないでください。出力電圧が低くても、感電の危険性はまだ存在します。

IRPLLED7 は、絶縁された交流または直流の入力電源で使われる実験室評価に推奨されます。IRS2980 の直列バック・トポロジは、絶縁がシステムの他のところで必要なくても、または提供されなくても、最終的なアプリケーションのためだけに適しています。

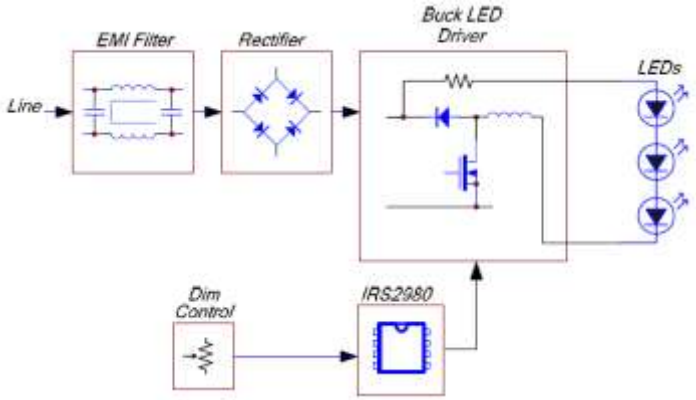


図1. IRPLLED7の回路ブロック図

2. 定電流制御

IRS2980は、電流連続モード（CCM）で動作し、ヒステリシスを持つバック・コントローラです。制御されたスイッチとしてローサイドにスイッチングMOSFETを使い、正のDCバスに接続された制御されないスイッチとしてファスト・リカバリ・ダイオードを使います。この動作モードはIRS25401と反対です。IRS2980は、差動のフローティング（回路の基準電位がシリコン基板の電位に対して浮いた状態）・ハイサイド電流検出回路を備えています。これは、検出抵抗に加わる電圧降下を検出し、平均0.5Vに安定化することによって、出力電流をヒステリシス制御するために使われます。IRS2980は、電流の安定化回路に使うために設計され、電圧を安定化する回路ではありません。

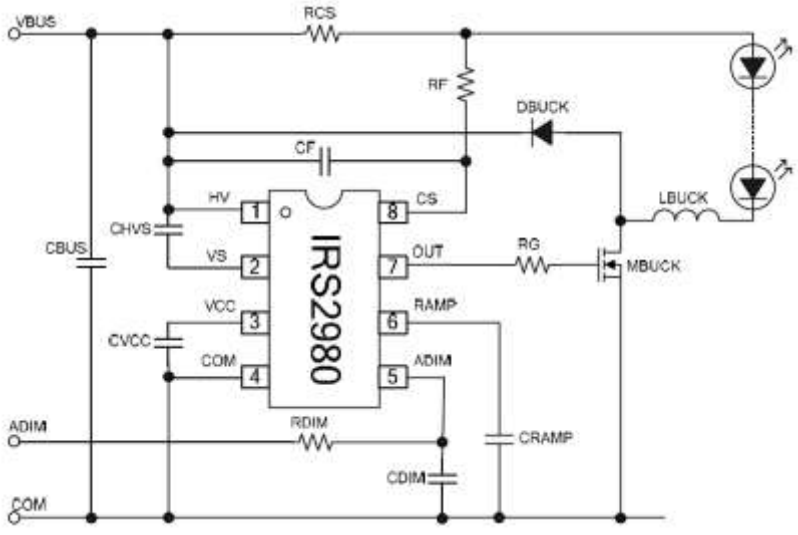


図2. IRS2980の周辺回路

図2は、HV入力とCS入力との間の電圧を差動で測定することによって、どのように電流が検出されるかを示しています。RFとCFは、雑音のフィルタリングのために付け加えられています。MOSFET（MBUCK）がオンに切り換えられると、コイルLBUCKの電流は次式の関係によって直線的に上昇します。

$$Vin - Vout = Lbuck.\frac{di}{dt}$$

V_{in} が交流ライン電圧からの整流されたバス電圧のとき、V_{out} は負荷を構成する LED 列全体の直列電圧です。
HVの電圧がCSに対して0.55Vまで上昇すると、MBUCKへのゲート駆動はオフに切り換わります。MBUCKがオフすると、コイルの電流は、MBUCKの代わりにDBUCKを介して流れます。この期間に、電流は次式の関係によって直線的に減少します。

$$Vout = -Lbuck.\frac{di}{dt}$$

HV の電圧が CS に対して 0.45V まで下がると、MBUCK へのゲート駆動はオンに切り換わります。この周期は、LED 負荷に供給する LBUCK の平均電流を供給するために連続的に繰り返します。周波数とデューティ比は、式から推定できるように、入出力電圧と LBUCK の値に依存します。
出力電流は、次式の関係に従ってRCSの適切な値を選択することによって設定できます。

$$Iout(avg) = \frac{VCS}{RCS}$$

V_{CS} が 0.5V なので、1.5Ω の RCS に対して、出力電流は計算値で 333mA になるでしょう。実際、回路のいくらかの伝播遅延があり、これが電流の安定化においてある誤りを生じさせ、入力電圧にある変化を生じさせます。しかし、特性は、テスト結果の章の中で示されるような LED の用途に対して、十二分に適切です。安定化の正確さと電流リップルの振幅は、コイルの大きさに対するトレードオフになります。
IRS2980は、周波数が約150kHzを超えることを防ぐ、周波数制限機能を備えています。これは、内蔵の高耐圧レギュレータが、ゲート駆動電流が支配的な制限された電流（I_{CC}）だけを供給することができるので、V_{CC}の消費電流を制限するために必要です。ゲート電流は、各スイッチング周期中にMOSFETのゲート容量を充放電し、従って周波数と共に増加します。

3. 高耐圧レギュレータ

IRS2980 は、高電圧 DC バスから V_{CC} を供給するために、高耐圧レギュレータを内蔵しています。図 2 は、1 番ピン（HV）が DC バスに直接接続されることを示します。電流は、最大 450V まで動作する内蔵電流源を介して 3 番ピンの V_{CC} 電源に供給されます。内蔵レギュレータは最大 3mA 供給でき、LED 駆動回路に通常要求されるほとんどの MOSFET のゲート容量や周波数に V_{CC} を供給するのに十分です。低いゲート容量（25nC 以下）を備えた MOSFET やコイル（LBUCK）の選択によって、I_{CC} は低減でき、レギュレータの動作周波数を下げることができるでしょう。例えば、60kHz で動作するレギュレータは、120kHz で動作するときよりも非常に少ない I_{CC} で済むでしょう。以前に説明したように、これはコイルの大きさに対するトレードオフです。IRS2980 の温度上昇を考慮することも重要です。内蔵レギュレータが線形に動作するので、関連する電力損失は、バス電圧や I_{CC} に依存します。
ICの動作温度を最小化するために、I_{CC}と周波数を最小化してバス電圧を高くしたときは、より注意しなければなりません。プリント回路基板上に銅の広い領域を形成することによる放熱の強化、または熱伝導性の埋め込み用樹脂は、著しく温度を下げることができます。スイッチング周波数を下げるために、コイルの値は一般に、オフラインの交流用途では、120Vよりも220Vの方がより大きい値になります。これは回路の消費電力を低下させます。

4. 電流検出レベルシフト回路

IRS2980 は、電源回路のハイサイドで LED 電流を測定するために、フローティングの差動電流検出回路を使います。バック・レギュレータ構成では、ローサイド・スイッチを使います。これは IRS25401 と反対です。平均電流制御を実現するために、電流は、MOSFET（MBUCK）のスイッチがオンに切り換えられたとき、およびスイッチがオフされたときの両方で検出されなければなりません。従って、ハイサイドで検出されなければなりません。これを実現するために、IRS2980 内のヒステリシスを持つ電流検出回路は､インターナショナル･レクティファイアー(IR)社の高耐圧 IC(HVIC)技術を使ってウエルに構成されたフローティング・ハイサイド内に配置されています。このウエル内に形成された回路用のフローティング電源電圧（名目 8V）は、IC の HV ピンと VS ピンの間に現われます。電源は、VS と COM の間にある電流源によって供給されます。
ハイサイドには、定義されたヒステリシスを持つコンパレータを備えています。このコンパレータは、HVを基準とする－0.5Vの基準電圧に接続されています。コンパレータの出力は、高耐圧レベルシフト回路を介してゲート駆動回路に伝送されます。これはCOMを基準としています。フローティング・ハイサイド・ウエルの導入によって、COMに対して最大450Vの電圧でLED電流を検出できます。

5. PWM調光

IRS2980 は、RAMP への外付けコンデンサ（CRAMP）によって決まる周波数で、RAMP ピンにおいて線形ランプ波形を供給する PWM 調光発振器を備えています。評価基板 IRPLLED7 は、アクティブ段を追加する費用なしで高い力率（0.9 以上）を提供するために、2 個の電解コンデンサ、3 個のダイオード、および 1 個の抵抗で構成される受動素子のバレー・フィル（valley fill）回路を使っています。この回路（C2、C5、D2、D3、D4、R3）は、6 章の回路図（図 4）に示してあります。しかし、受動のバレー・フィル回路は、ライン周波数（50Hz～60Hz）の 2 倍で DC バス上に大きなリップルを生じます。定電流バック・レギュレータは、容易にこれを補償することができますが、PWM 調光設計では、LED の可視フリッカを回避するために、PWM 周波数を 120Hz よりも十分高くする必要があります。評価基板 IRPLLED7 の中の PWM 調光周波数は、10nF の CRAMP によって決まる約 800Hz です。調光ランプ信号は、0V～2V の間で変わり、5 番ピンの ADIM 入力に印加され、0V から 2V までの直流調光制御電圧と比較されます。IRPLLED7 は、調光の全範囲を提供するために 0V～2V の範囲にわたって ADIM 入力を調整するポット（可変抵抗）を備えています。

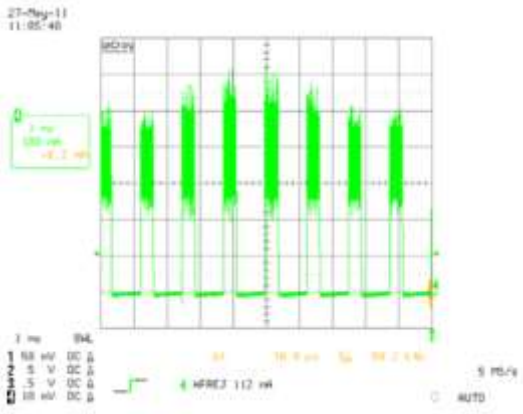


図3. IRPLLED7のPWM調光

図 3 は、調光レベル約 30%での LED 負荷への出力電流を示します。受動のバレー・フィル回路によって生成された DC バス電圧によって、電流リップルの量がわずかに変わることが分かります。この PWM 周波数では、調光の間に、顕著なフリッカはありません。

IRS2980は、線形でないPWM調光のために設計されています。線形な調光の用途には、IRS25401が使用でき、どちらかのモード、あるいは両方のモードで動作することができます。IRS2980ベースの回路は、トライアックに基づいた調光器から調光可能ですが、これには、外付けの位相検出とブリード回路（この用途に関してはIRS2981を参照してください）を追加する必要があるでしょう。

6. IRPLLED7の回路図

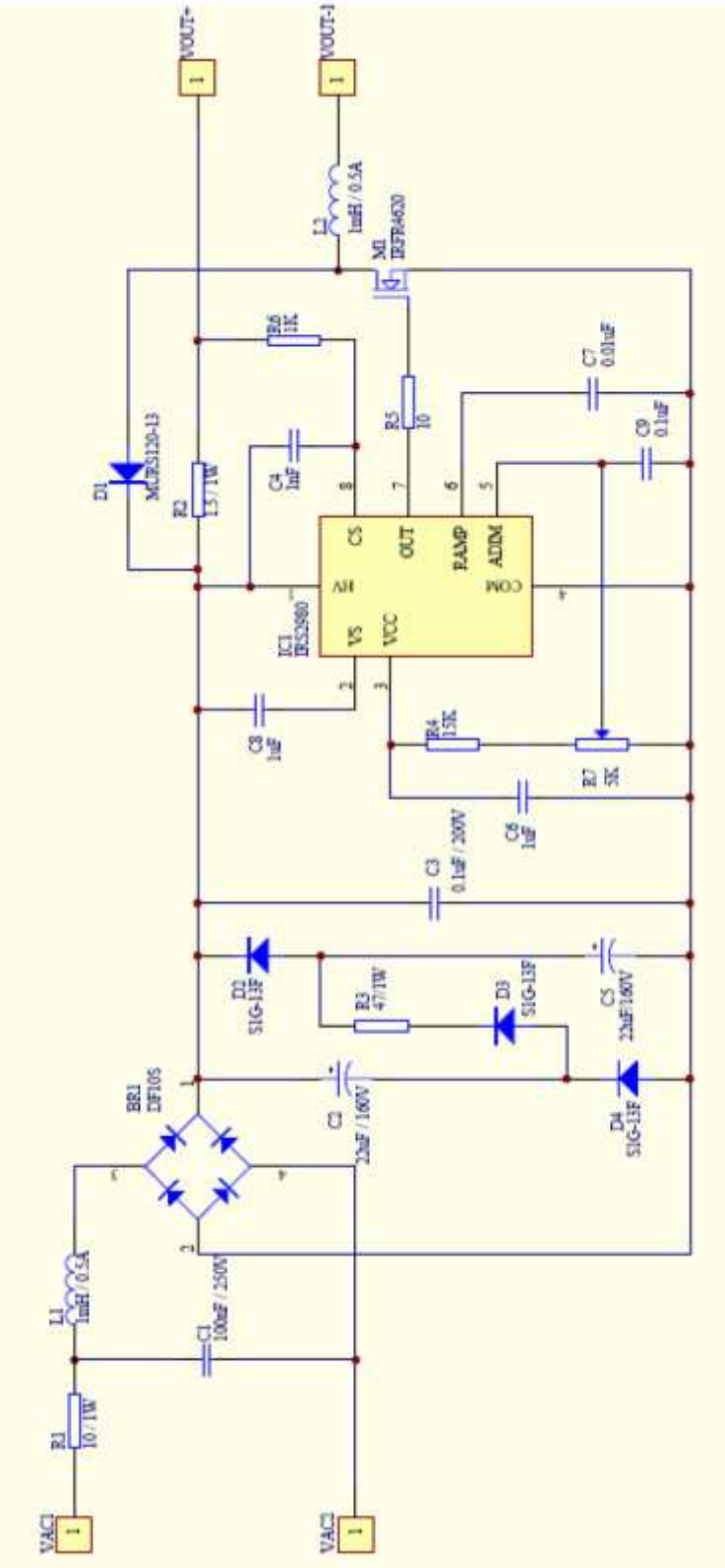
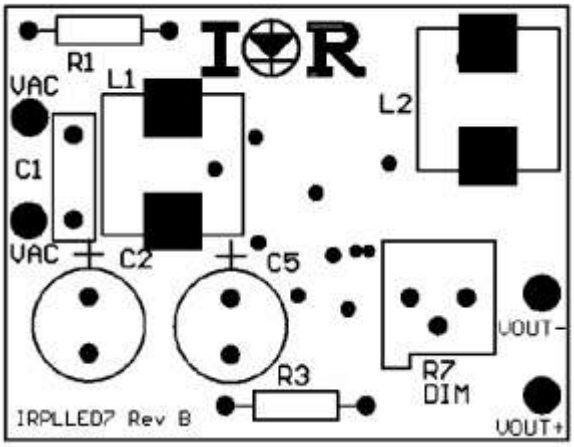


図4. IRPLLED7の完全な回路図

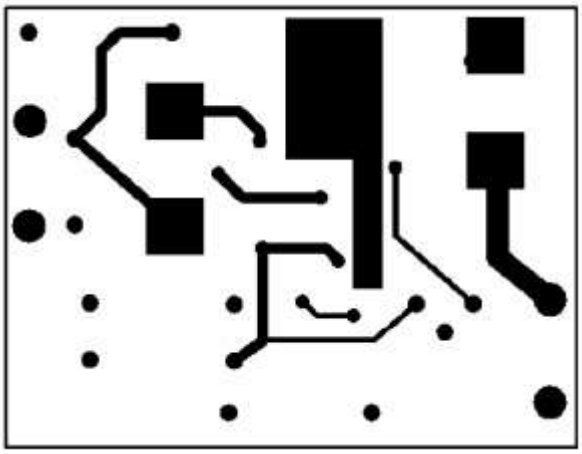
7. 部品表（BOM）

番号	概要	型番	メーカー	数量	参照記号
1	IC, LED Controller	IRS2980S	International Rectifier	1	IC1
2	Rectifier ,1A , 400V, SMA	S1G-13-F	Diodes Inc	3	D2,D3,D4
3	Diode, 1A, 600V, 35nS, SMB	MURHS160T3G	On Semiconductor	1	D1
4	Bridge, 1000V, 1.5A, 4SDIP	DF10S	Fairchild	1	BR1
5	MOSFET, 500V, 2.2Ohm, DPAK	IRFR812	International Rectifier	1	M1
6	Capacitor, 100nF, 250VAC, Radial	B32652A3104J	Epcos	1	C1
7	Capacitor, 1nF, 50V, 5%, 1206	1206A102JAT2A	AVX	1	C4
8	Capacitor, 0.1uF, 50V, 10%, 1206	GRM319R71H104KA01D	Murata	2	C6, C9
9	Capacitor, 22uF, 250VDC, 20%	EEU-EB2E220	Panasonic	2	C2, C5
10	Capacitor, 0.22uF, 500VDC, 2225	VJ2225Y224KXEAT	Vishay	1	C3
11	Capacitor, 22nF, 50V, 1206	12065C223KAT2A	AVX	1	C8
12	Capacitor, 0.01uF, 50V, 10%, 1206	GRM319R71H103KA01D	Murata	1	C7
13	Resistor, 1.5Ohm, 1W, 5%, 2512	ERJ-1TYJ1R5U	Panasonic	1	R2
14	Resistor, 10Ohm, 1W, 5%, Axial	PR01000101009JR500	Vishay	2	R1, R3
15	Resistor, 15K, 0.25W, 5%, 1206	ERJ-8GEYJ153V	Panasonic	1	R4
16	Resistor, 10, 0.25W, 5%, 1206	ERJ-8GEYJ100V	Panasonic	1	R5
17	Resistor, 1K, 0.25W, 5%, 1206	ERJ-8GEYJ102V	Panasonic	1	R6
18	Pot, 5K, 0.5W, Single, Top adjust	3386P-1-502LF	Bourns Inc	1	R7
19	Inductor, 1mH, 0.55A, 1.68Ohm	B82477G4105M	Epcos	2	L1, L2
20	Test point, 0.063"D Yellow	5009	Keystone	2	
21	Test point, 0.063"D Red	5005	Keystone	1	
22	Test point, 0.063"D Black	5006	Keystone	1	
23	PCB	IRPLLED7 Rev C		1	
24					

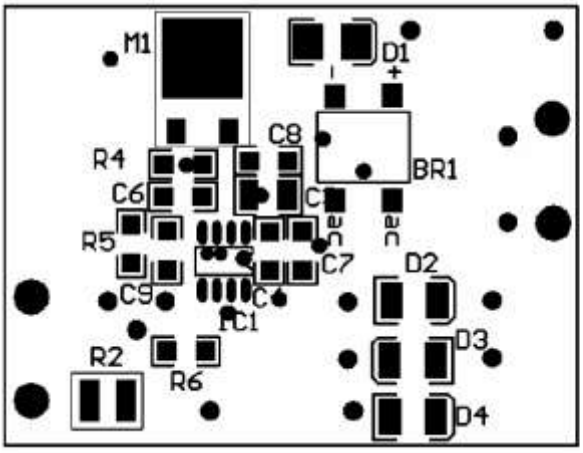
8. プリント回路基板のレイアウト



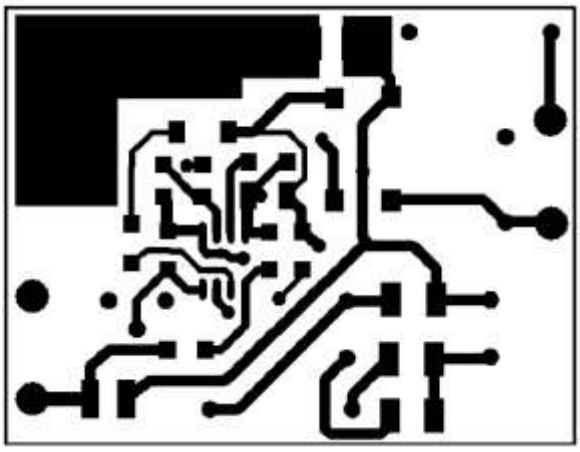
表面処理パターン



表面の銅配線パターン



裏面処理パターン



裏面の銅配線パターン

<u>レイアウトの考察</u>

IRS2980 ベースの LED 駆動回路のためのプリント回路基板をレイアウトするときは、以下の点を考慮することが非常に重要です。

1. CVCC（C6）と CHVS（C8）は、できる限り IC1 に近づけなければなりません。
2. 帰還経路は最小の長さにし、CS 入力の雑音を最小化するために、高い周波数スイッチングの配線からできるだけ離してください。
3. 電流検出フィルタ部品の RF（R6）と CF（C4）は、短い直接配線で IRS2980 の近くに配置してください。
4. 雑音が制御環境に入らないように、すべての信号グラウンドと電源グラウンドは、お互いに離しておくことが必須です。信号グラウンドと電源グラウンドは、1 カ所だけで接続してください。それは、IRS2980 の COM ピンでなければなりません。もし、これらのガイドラインに沿わないときは、IRS2980 は安定して動作しないかもしれません。

IC に関連したすべてのローサイド部品は、可能な限り最短経路で IC の信号グラウンド（COM）に接続してください。

5. 負荷電流を運ぶすべての配線は、適宜に分類する必要があります。
6. ゲート駆動の配線も最小の長さに維持してください。

9. テスト結果

測定は、可変の直流電源と、名目350mAで駆動される7個の白色LED負荷を使って行なわれました。

直流入力電圧（V）	直流入力電流（A）	出力電圧（V）	出力電流（mAav）	リップル（mApp）	周波数（kHz）	デューティ比（%）
60	0.14	20.1	335	120	98	40
70	0.12	20.1	340	140	99	36
80	0.11	20.1	344	150	99	30
90	0.10	20.1	349	160	97	26
100	0.09	20.1	353	180	95	23
110	0.08	20.1	357	190	94	21
120	0.07	20.1	360	190	92	19
130	0.07	20.1	364	200	89	17.6
140	0.07	20.1	367	200	87	16.2
150	0.06	20.1	370	210	85	15.2
160	0.06	20.1	373	220	83	14.2
170	0.06	20.1	375	230	81	13.4
180	0.05	20.1	377	240	80	12.6

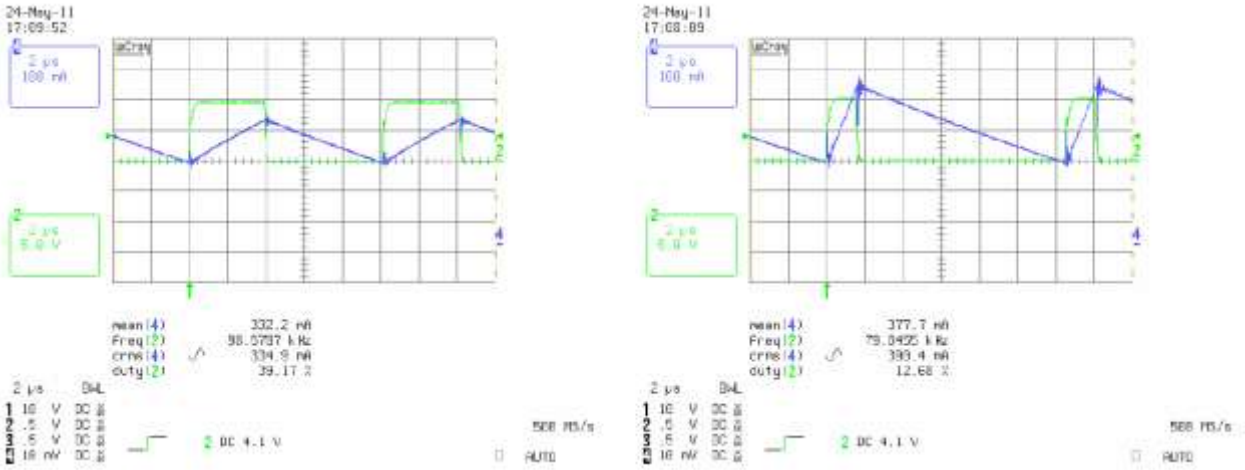
表1. IRPLLED7のテスト結果

予想通り、表 1 は、デューティ比が V_{out}／V_{in}（LED 全体の電圧降下を電源電圧で割った値）とほぼ等しいことを示しています。電圧差が増加すると、デューティ比が小さくなり、電流リップルが増加することが分かります。
これは、すなわち、

$$Vin - Vout = Lbuck.\frac{di}{dt}$$

から、di／dtが大きくなれば、避けられないシステムの伝播遅延によって、ヒステリシスを持つコンパレータに、より大きなオーバーシュートをもたらすことになります。I_{CC}を制限する入力電圧を高くすると動作周波数が下がり、MBUCK（M1）とDBUCK（D1）の両方のスイッチング損失を減らすので、これらの遅延は実際に利点を提供します。

ゲート駆動と出力電流波形を図5に示します。



入力＝直流 **60V**　　入力＝直流 **180V**
効率＝**80.2**%　　効率＝**75.3**%

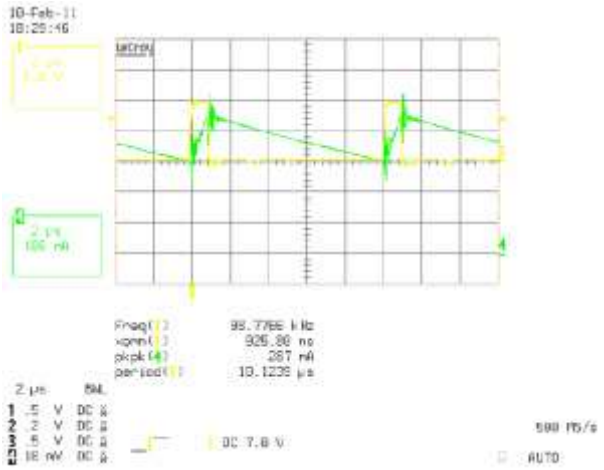
緑色の波形＝ゲート駆動
青色の波形＝出力電流

図5. IRPLLED7のテスト波形

表 1 に示される例において、効率は、電流が 335mA で直流 60V 入力、20V 出力のときに 80.2%と計算されます。同じ負荷に対する入力を直流 180V に増やすと、効率は 75.3%に下がり、出力電流は平均 377mA に増えます。これらの効率は、9W の LED 負荷には妥当な結果です。もし評価基板が交流 120V のライン入力に接続されれば、効率は、ほぼ交流周期にわたって受動のバレー・フィル回路によって供給される低下したバス電圧によって 80%近くになるでしょう。

評価基板 IRPLLED7 は、1mH のコイルを使います。この値を増加させると、周波数とリップルが低下するでしょう。ほとんどの用途において必要ありませんが、リップルも、出力にコンデンサを加えることによって低減できますが、PWM 調光範囲を狭めるかもしれません。

下の図6に示される例では、より少数の直列LEDが接続された負荷で、効率は86%と計算されました。



黄色の波形＝ゲート、緑色の波形＝LED 電流
V_{in} ＝ 60V、I_{in} ＝ 0.09A、P_{in} ＝ 5.4W
V_{out} ＝ 13.87、I_{out} ＝ 0.338A、P_{out} ＝ 4.66W
効率 ＝ 86.0%

図6. IRPLLED7の効率の測定

10. 部品の温度

以下の例において、LEDの組み合わせは、ほぼ30Vの結合した電圧降下で接続されました。評価基板は、直流60V入力（それ以下では高耐圧レギュレータは動作しません）まで下げても動作します。より低い入力電圧を要求する用途では、V_{CC}は、補助電源から直接供給することができ、DCバスから抵抗を介してV_{CC}に供給することが最も簡単な選択肢です。

DC バス電圧（V）	出力電圧（V）	出力電流（mAav）	リップル（mApp）	周波数（kHz）	デューティ比（%）
60	30.76	334	100	150	54.4
70	30.60	330	110	154	46
80	30.55	329	120	155	41.8
90	30.52	329	130	155	37.3
100	30.43	331	140	157	33.0
110	30.43	332	150	157	30.3
120	30.43	335	150	158	27.4
130	30.43	337	160	159	25.2
140	30.44	340	170	159	25
150	30.45	343	170	160	23.1
160	30.47	346	170	160	21.6
170	30.49	349	170	161	20.5
180	30.51	353	170	161	19.6

表2. IRPLLED7の追加テスト結果

この場合、周囲温度 25℃のフリー・エアー中のボディ温度は、熱電対を使った測定で、180V 入力で 73℃という結果でした。交流 120V 電源については、バス電圧がほとんどのライン周期に対してより低いので、温度上昇はより小さいと予想されます。
IRS2980が内蔵の高耐圧のレギュレータやレベルシフト回路を組み込んでいるので、動作中にいくらかの熱を発生し、これは周波数やライン電圧と共に増加します。MOSFET（MBUCK）やダイオード（DBUCK）と同様に、これらの部品がその用途で過熱しないことを保証することが必要です。プリント回路基板上で部品の回りに追加の銅を敷くことで、デバイスからの熱伝導性を良くすることができます。交流220Vのオフラインの用途では、30kHz～60kHzの範囲の低い動作周波数を維持するために、十分大きなコイル（LBUCK）を使う必要があります。これは実質的に、言及されたすべての部品の放熱を減少するでしょう。評価基板IRPLLED7で使われる1mHのコイルは、十分なヒートシンクなしでは、交流220V入力の設計に適切でないかもしれません。一般的には3.3mHが、交流220Vで350mAのLED出力電流に使われます。

11. 設計手順のまとめ

1 システムの必要条件を決定してください：入出力の電圧と電流が必要です。
2 電流検出抵抗を計算してください。
3 所望の動作周波数を決めてください。
4 それらが t_HO_on の間に負荷への供給を維持するように LBUCK を選択してください。
5 ゲート駆動電流とスイッチング損失を最小化するために、スイッチング MOSFET とダイオードを選択してください。