

定電流レギュレータ充電回路

要約

本アプリケーション・ノートでは、充電式バッテリー用の低コスト充電回路に定電流レギュレータCCRを使用し、シンプルなコントローラを利用して充電を終了させる方法を説明します。

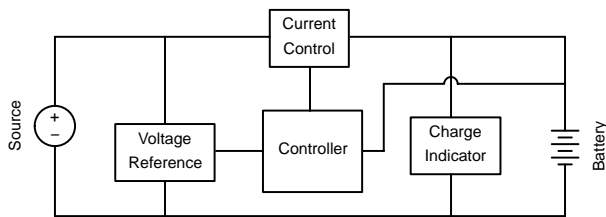


Figure 1. Block Diagram of Charging Circuit

充電式バッテリーの種類

最も一般的な充電式バッテリーは、ニッケル水素(NiMH)、ニッケルカドミウム(NiCad)、リチウムイオン(Li-Ion)の3種類です。バッテリーが充電されるレートに言及するときは、英文字「C」が使用されます。「C」は1.0時間単位のバッテリー容量を定義しています。例えば、定格800 mAhのバッテリーを0.5Cで充電できるとすると、バッテリーをフル充電するには400 mAの充電電流で2時間かかります。

ニッケル水素とニッケル・カドミウム

NiMHバッテリーの公称電圧は1.2 V/セルであり、最高1.5–1.6 V/セルまで充電する必要があります。充電の遮断タイミングを決定するための手法がいくつかあります。それには、ピーク電圧検出、負のデルタ電圧、デルタ温度(dT/dt)、温度閾値、タイマなどが含まれます。ハイエンド・チャージャの場合、これらをすべて1台の充電器に搭載できます。

CCRチャージャはピーク電圧検出回路で、規定のピーク電圧で充電を終了します。規定ピーク電圧は1.5 V/セルであり、バッテリーを≈97%に充電します。

ニッケル・カドミニウム・バッテリーはこの回路を使用して充電できます。これらの動作はNiMHバッテリーに非常に良く似ているため、この方法は十分に機能します。

リチウム・イオン

Li-Ionバッテリーの通常の充電方法は、バッテリーを0.5–1Cで4.2 V/セルまで充電し、その後でトリクル充電を行うことです。Li-Ionバッテリーの温度上昇は、充電中は5°C未満に抑えることが必要で、これよりも高いと発火の危険性があります。充電サイクルのトリクル充電部分では、バッテリー温度が十分に上昇しており、発火の可能性が最大になっています。この問題のために、ハイエンド充電ではNCP1835BなどのスマートICを使用してリチウム・イオン・バッテリーの充電を監視し、制御します。



ON Semiconductor®

www.onsemi.jp

APPLICATION NOTE

ここで説明したCCRコントローラは、充電サイクルにトリクル充電を含めないことで発火の危険性をなくし、バッテリーを安全動作領域内に維持してバッテリー寿命の延長に役立ちます。ただし、トリクル充電をなくすと、バッテリーには≈85%までの充電しか行われません。

基準電圧の設定

基準電圧は3端子プログラマブル・シャント・レギュレータTL431で設定されます。TL431はリファレンス・ピンに2.5 Vの一定出力を供給するように設計されています。Figure 2に示すとおり、2本の外付抵抗を接続したときは、2.5–36 Vの範囲で基準電圧を選択できます。本資料の目的のために、R₂を1.0 kΩに設定し、希望の基準電圧に合わせてR_{ref}を調整します。R₂/R_{ref}の比を見つけるための式は、次のとおりです。

$$V_{\text{ref}} = \left(1 + \frac{R_2}{R_{\text{ref}}}\right) 2.5$$

TL431のカソードに接続される抵抗は、電流を制限したり、入力電圧を基準電圧から分離するのに使用されます。

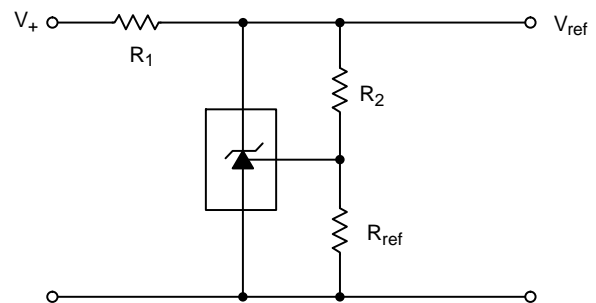


Figure 2. Setup of Reference Voltage

ヒステリシス・ループ付きコンパレータ

シングル・コンパレータLM311はバッテリーの電圧と基準電圧を比較するのに使用されます。反転入力にはバッテリー電圧が接続されます。出力と非反転入力との間のフィードバック抵抗(R_h)でヒステリシスが提供されます。1.0 kΩ抵抗のR₃を使用して、R₃/R_hの

比を単純にします。 R_h を調整すると、ヒステリシス・ループの帯域幅を変更できます。 R_h を増やすと帯域幅が減少し、その逆にもなります。充電が終了するとバッテリーの電圧がわずかに低下するため、ヒステリシスの帯域幅は200 mV以上が推奨されます。反転入力“H”電圧または“L”電圧を計算するための式は、次のとおりです。

$$V_{inL} = \frac{R_3}{R_3 + R_h}(V_{OL} - V_{ref}) + V_{ref}$$

$$V_{inH} = \frac{R_3}{R_3 + R_h}(V_{OH} - V_{ref}) + V_{ref}$$

1.0 k Ω 抵抗(R_4)がコンパレータの出力に接続され、プルアップ抵抗として働きます。

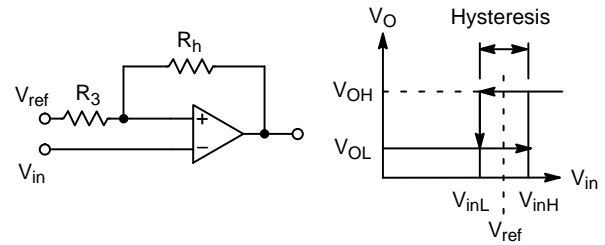


Figure 3. Hysteresis Setup

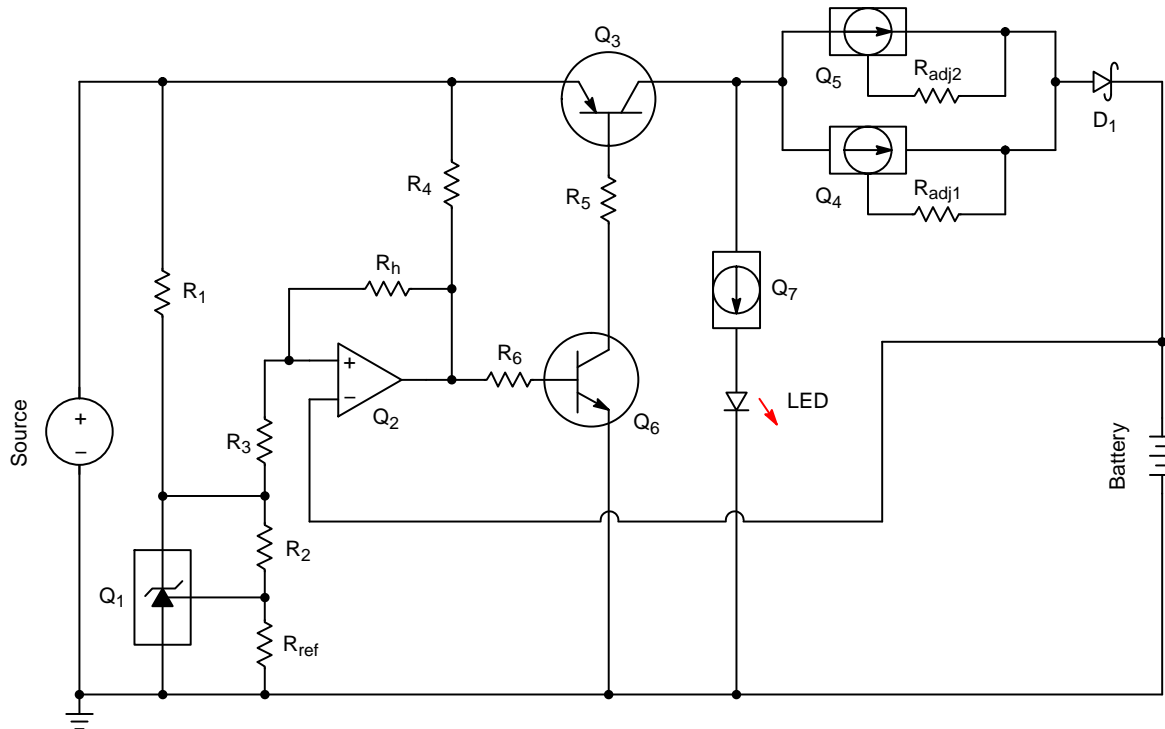


Figure 4. Schematic of Charging Circuit

電流スイッチ

回路内の2個のBJT (Q_3 と Q_6)は、充電電流を制御するためのスイッチとして働きます。 Q_6 のベースは5.6 k Ω 抵抗(R_6)を介してコンパレータ出力によって制御されます。 Q_6 のコレクタは1.0 k Ω 抵抗(R_5)を介して Q_3 のベースに接続されます。コンパレータの出力が“L”になると、 Q_6 がターンオフし、それによって Q_3 がターンオフして充電電流を停止します。

電流安定化

バッテリーの充電電流はCCRを使用して制御されます。電流は1個の可変CCRを使用するか複数のCCRを並列構成にして調整できます。このデモ・ボードは、 Q_4 と Q_5 の2個のCCRを並列接続で使用するように設計されています。(3個以上のCCRを並列に接続して、任意の電流値を得ることも可能です)。本アプリケーション・ノートで説明する回路例の場合、CCR

(NSI45090JDT4G)を90~160 mAの範囲で調整できます。データ分析には、90、180、300 mAの3種類の電流が使用されました。

インジケータLED

バッテリーが充電中であることを示すために、LEDとCCR、 Q_7 が使用されています。CCRはLEDに一定の電流を供給します。このLEDはチャージャにバッテリーが接続されていないときにも点灯します。LEDが消灯するとバッテリーがフル充電されたことを示します。

複数のテスト電流に対するセットアップ

Table 1に充電電流と充電終了電圧を決定する変動分を示します。180 mAでのテスト中は、2個のNSI45090JDT4G CCRを使用して、 $R_{adj} = 10 \Omega$ で90 mAの出力電流を与えます。

Table 1. RESISTANCE VALUES FOR TESTS

Battery Type/ Charge Current	R _{ref}	R _h	R _{adj1}	R _{adj2}
Li-Ion/90 mA	1.8 kΩ	18 kΩ	∞	*
Li-Ion/180 mA	1.8 kΩ	18 kΩ	∞	∞
Li-Ion/300 mA	1.8 kΩ	18 kΩ	5.0 Ω	5.0 Ω
NiMH/90 mA	1.4 kΩ	18 kΩ	∞	*
NiMH/180 mA	1.4 kΩ	18 kΩ	∞	∞
NiMH/300 mA	1.4 kΩ	18 kΩ	5.0 Ω	5.0 Ω

*Q5 is not used, no need for R_{adj2}

結果

CCR充電回路は、Li-ionバッテリーとNiMHバッテリーの両方を90 mA、180 mA、300 mAで充電することによってテストされました。Table 2にバッテリー充電中にモニタされた主な電圧を示します。Table 3には、回路がバッテリーの充電を終了した直後の主な電圧を示しています。

Table 3では、90 mAで充電中のNiMHバッテリーのデータは除外されています。このテスト中はバッテリーの温度が急激に上昇したため(Table 4を参照)、テストはバッテリー電圧が基準電圧に達する前に終了しました。この低電流で充電中のNiMHバッテリーの高温上昇については、TECHNIKウェブサイト www.technik.net で説明されています。

Table 2. VOLTAGES WHILE CHARGING

Battery Type/ Charge Current	Comparator Output Voltage (V)	PNP Collector Voltage (V)	PNP Emitter Voltage (V)	PNP Collector – Emitter Voltage (V)	PNP Base Voltage (V)	Diode Forward Voltage (V)
Li-Ion/90 mA	10.13	12.123	12.141	0.018	8.776	0.2914
Li-Ion/180 mA	10.124	12.102	12.134	0.032	8.785	0.3109
Li-Ion/300 mA	10.08	12.029	12.08	0.051	8.745	0.3247
NiMH/90 mA	10.155	12.132	12.151	0.019	8.782	0.2918
NiMH/180 mA	10.142	12.103	12.135	0.032	8.787	0.3107
NiMH/300 mA	10.109	12.045	120.94	0.049	8.746	0.3263

Table 3. VOLTAGES JUST AFTER CHARGING WAS TERMINATED

Battery Type/Charge Current	Comparator Output Voltage (V)	PNP Collector Voltage (V)	PNP Emitter Voltage (V)	PNP Collector – Emitter Voltage (V)	Diode Forward Voltage (V)
Li-Ion/90 mA	0.223	1.381	12.167	10.786	-2.764
Li-Ion/180 mA	0.223	1.3	12.165	10.865	-2.378
Li-Ion/300 mA	0.223	1.383	12.16	10.777	-2.679
NiMH/180 mA	0.223	1.37	12.165	10.795	-3.025
NiMH/300 mA	0.223	1.35	12.16	10.81	-2.936

Table 4にはバッテリーの温度データが掲載されています。すべてのケースで周囲温度は約25°Cでした。Li-ionバッテリーの場合、充電電流が大きいほどバッテリー温度が高くなると結論付けることができます。

0.1C以上で充電するとき、NiMHバッテリーについても同じことが言えます。使用する充電レートを選択するときは、このことを念頭に置いておくことが重要です。

Table 4. TEMPERATURES OF THE BATTERIES

Battery Type/Charge Current	Start Battery Temperature (°C)	Maximum Battery Temperature (°C)	Change in Battery Temperature (°C)
Li-Ion/90 mA	25.0	26.0	1.0
Li-Ion/180 mA	25.0	27.7	2.7
Li-Ion/300 mA	25.0	28.4	3.4
NiMH/90 mA	25.0	30.0	5.0
NiMH/180 mA	25.0	27.9	2.9
NiMH/300 mA	25.0	28.1	3.1

充電電流と時間

定電流レギュレータを使用すると、充電が終了するまで充電電流は一定に保持されます(Figure 5を参照)。

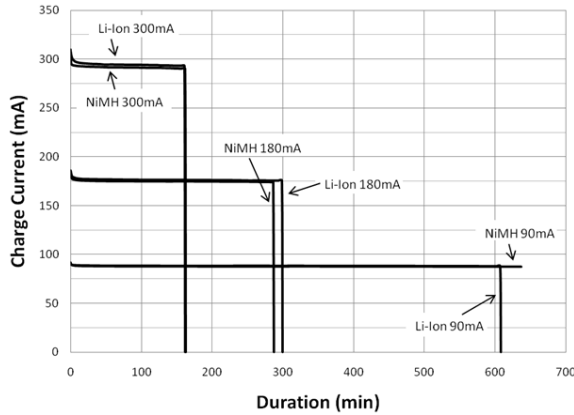


Figure 5. Charge Current vs. Time

BJTおよびダイオードの消費電力

今日使用されている回路では、消費電力が大きな問題となっています。入力電圧を下げることで回路性能を高くする1つの方法です。これが低 $V_{CE(sat)}$ トランジスタを使用した1つの理由です。Table 1に示すとおり、トランジスタの V_{CE} は非常に低くなっています。これはPNPトランジスタの消費電力と時間の関係を示すFigure 6によっても、裏付けられます。予想どおり、充電電流が増加するとPDが増加します。しかし、約300 mAの充電電流ではトランジスタの消費電力は15 mW未満です。低 $V_{CE(sat)}$ BJTの使用に加えて、DSN2低 V_F ショットキ・バリア・ダイオードを使用して消費電力を抑えています。このダイオードは逆電流保護に使用されます。NSR10F40NXT5Gを使用したのは、市販品で V_F が最低のダイオードの1つであるという理由からです。テストした最高充電電流では、ダイオードによる消費電力は95 mW前後です。Figure 7に、DSN2低 V_F ショットキ・バリア・ダイオードのバッテリー充電時の消費電力を示します。

低 $V_{CE(sat)}$ BJTと低 V_F ショットキ・バリア・ダイオードの両方を使用した場合、入力電圧は可能な最小値となります。

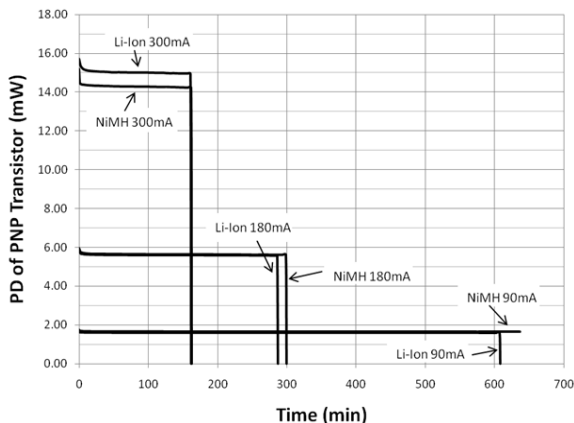


Figure 6. PD of PNP Transistor vs. Time

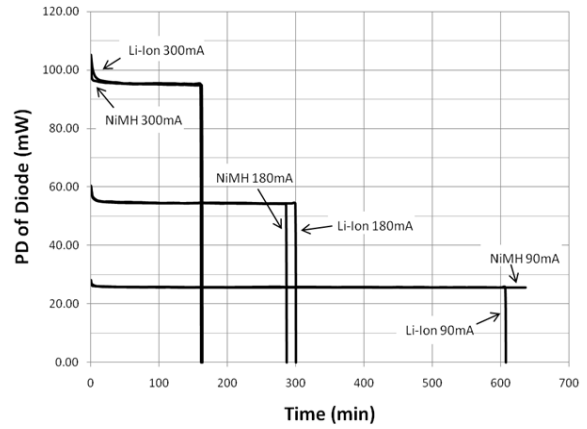


Figure 7. PD of Diode vs. Time

CCRの消費電力

CCRを使用するうえで消費電力は非常に重要なパラメータです。CCRはバッテリーが定電流で充電されるための全電圧降下デバイスです。このデバイスが加熱し始めると電流は減少し始めます。CCRの温度上昇を抑えるために、ボードの空き領域の大部分に銅が配置されています。CCRのカソードはヒートシンクとして働くよう、この銅領域に接続されます。複数のCCRを並列構成で使用するとき、個々のCCRの消費電力は、CCRを流れる個別電流によって増やされる電圧だけであることを忘れないでください。合計充電電流ではありません。Figure 8にCCRの消費電力と時間の関係を示します。より大きい充電電流を得るために複数のCCRを使用する場合で、CCRデータの1つのみを示しています。

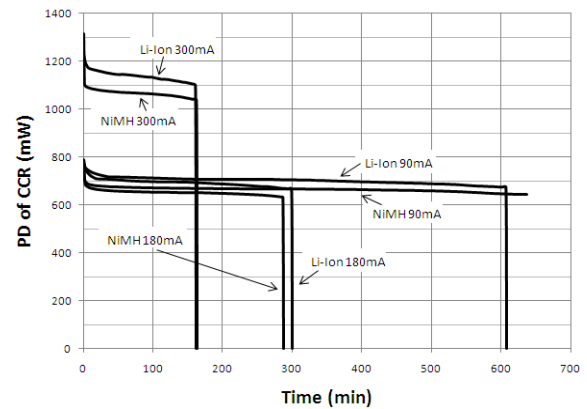


Figure 8. PD of CCR vs. Time

バッテリー電圧対時間

Figure 9は、6つのテスト事例すべてにおけるバッテリー電圧を示したものです。Li-Ionバッテリー電圧の場合、電圧が4.2 Vに達した時点で平坦になることが予測されます。より高機能の回路では、これはトリクル充電が行われるときです。しかし、「充電式バッテリーの種類」セクションで説明したとおり、この回路は予め決められた電圧(このケースでは4.15 V)で充電を停止するように設計されています。

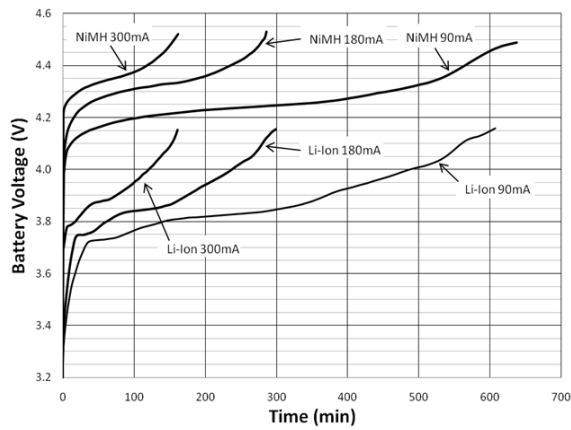


Figure 9. Battery Voltage vs. Time

まとめ

結論として、充電中にバッテリーに一定の電流を供給するのに、定電流レギュレータ(CCR)を使用できます。また、ここで説明したコントローラをCCRと併用すると、同一回路で異なる電流値により、多様な種類のバッテリーを充電することができます。

参考資料

- [1] [NSR10F20/D](#), “Schottky Barrier Diode”, Data Sheet, ON Semiconductor.
- [2] [NSS40200L/D](#), “40 V, 4.0 A, Low $V_{CE(sat)}$ PNP Transistor”, Data Sheet, ON Semiconductor.
- [3] [NSI45090DD/D](#), “Adjustable Constant Current Regulator & LED Driver”, Data Sheet, ON Semiconductor.
- [4] [LM211/D](#), “Single Comparators”, Data Sheet, ON Semiconductor.
- [5] [TL431/D](#), “Programmable Precision References”, Data Sheet, ON Semiconductor.
- [6] [MMBT3904LT1/D](#), “General Purpose Transistor”, Data Sheet, ON Semiconductor.
- [7] Battery University. “Charging Lithium-ion”.
http://batteryuniversity.com/learn/article/charging_lithium_ion_batteries
- [8] Battery University. “Charging Nickel-metal-hydride”.
http://batteryuniversity.com/learn/article/charging_nickel_metal_hydride
- [9] Battery University. “Charging Nickel-cadmium”.
http://batteryuniversity.com/learn/article/charging_nickel_based_batteries
- [10] TECHNIK. “Charging the Nickel-metal Hydride Battery”.
http://www.technik.net/public/code/cp_dpage.php?aiocp_dp=guide_bpw2_c04_05

AND9031/D

APPENDIX I – BILL OF MATERIALS FOR CCR CHARGING CIRCUIT DEMO BOARD

Qty	Location on PCB	Part No.	Description	Manufacturer
1	D ₁	NSR10F20NXT5G	DSN2 Low VF Schottky Diode	ON Semiconductor
1	Q ₃	NSS40200LT1G	Low VCE(sat) PNP Transistor	ON Semiconductor
1	Q ₆	MMBT3904LT1G	NPN Transistor	ON Semiconductor
1	Q ₂	LM311DG	Single Comparator	ON Semiconductor
1	Q ₁	TL431BCDG	Programmable Precision Reference	ON Semiconductor
1	Q ₄ , Q ₅	NSI45090JDT4G	90–160 mA CCR	ON Semiconductor
1	Q ₇	NSI45025AZT1G	25 mA CCR	ON Semiconductor
2	R ₄ , R ₅		1206 SMD Resistor, 1 kΩ 1/4 W 1%	
3	R ₁ , R ₂ , R ₃		0805 SMD Resistor, 1 kΩ 1/8 W 1%	
1	R ₆		0805 SMD Resistor, 5.6 kΩ 1/8 W 1%	
2	R _{adj1} , R _{adj2}		1210 SMD Resistor, 1/2 W 1%, value depends on design	
1	R _{ref}		0805 SMD Resistor, 1/8 W 1%, value depends on design	
1	R _h		0805 SMD Resistor, 1/8 W 1%, value depends on design	
1	LED		SMD 50 mA LED	
15	All TP's		Conn. Header	
1	V _{dc}	PJ-102A	Conn Jack Power 2.1 mm PCB	CUI Inc.
2	V _{in-} , V _{batt-}	571-0100	Banana Conn	Deltron
2	V _{in+} , V _{batt+}	571-0500	Banana Conn	Deltron

APPENDIX II – PCB LAYOUT OF CCR CHARGING CIRCUIT DEMO BOARD

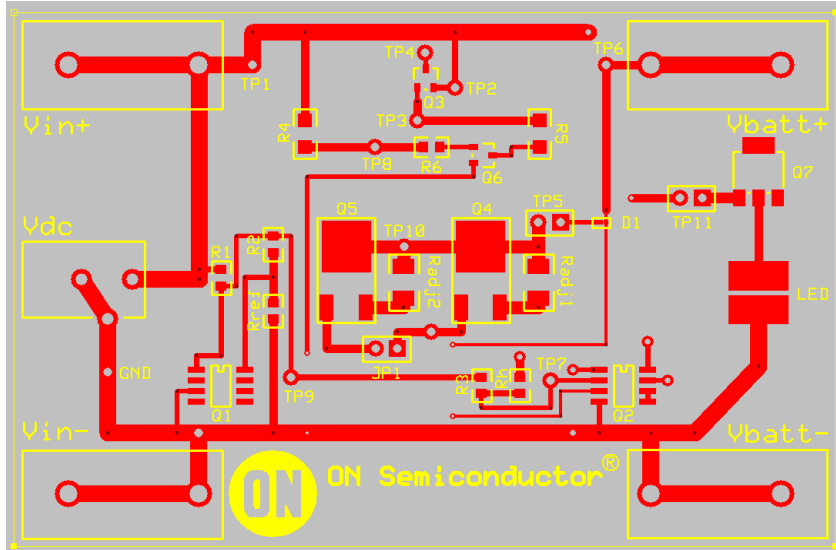


Figure 10. Top Layer Copper and Silkscreen

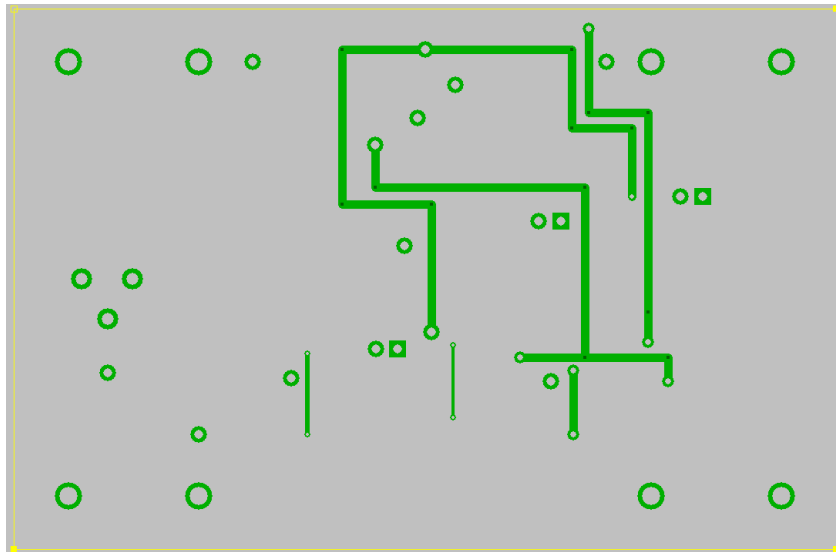


Figure 11. Bottom Layer Copper

ON Semiconductor及びON SemiconductorのロゴはON Semiconductorという商号を使うSemiconductor Components Industries, LLC 若しくはその子会社の米国及び/または他の国における商標です。ON Semiconductor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。ON Semiconductor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-Marketing.pdf。ON Semiconductor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。ON Semiconductor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、偶発的な損害など一切の損害に対して、いかなる責任も負うことはできません。お客様は、ON Semiconductorによって提供されたサポートやアプリケーション情報の如何にかかわらず、すべての法令、規制、安全性の要求あるいは標準の遵守を含む、ON Semiconductor製品を使用したお客様の製品とアプリケーションについて一切の責任を負うものとします。ON Semiconductor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。ON Semiconductor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。ON Semiconductor製品は、生命維持装置や、いかなるFDA (米国食品医薬品局)クラス3の医療機器、FDAが管轄しない地域において同一もしくは類似のものと分類される医療機器、あるいは、人体への移植を対象とした機器における重要部品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ON Semiconductor製品を購入または使用した場合、たとえ、ON Semiconductor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、ON Semiconductor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。ON Semiconductor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
19521 E. 32nd Pkwy, Aurora, Colorado 80011 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