



ON Semiconductor®

www.onsemi.jp

オールインワン・ワークステーション電源でのGaN HEMTの活用

DESIGN NOTE

はじめに

オールインワン・ワークステーションの新モデルが登場するたびに、薄型化と軽量化が進んでいます。このトレンドを実現可能にしている重要な要素の1つは、パワー・コンバータの軽量化と小型フォーム・ファクタであり、通常はパワー・コンバータを高い周波数でスイッチングすることによって達成しています。高周波スイッチングにより、トランス、インダクタ、コンデンサなどの受動部品の小型化・軽量化につながります。高周波スイッチング動作の妨げとなる重要な要素は、従来のシリコンMOSFETのスイッチング損失とドライブ損失です。GaN HEMTs(窒化ガリウム高電子移動度トランジスタ)には、従来型MOSFETに比べてゲート電荷およびオン抵抗が小さいという特性があり、高周波電力変換を実現できます。GaN HEMTのスイッチングは非常に高速なので dv/dt が高くなります。したがって、特別なプローブ技法が必要であり。このアプリケーション・ノートの後で、この点を取り上げています。

このアプリケーション・ノートでは、スイッチング・デバイスとしてGaN HEMTを使用したオールインワン・コンピュータ用の12 V/20 A電源の性能について説明します。パワー・コンバータのフロントエンドは汎用ACライン電圧を385 VDCバスに変換すると同時に、1.0に近い力率を達成します。2番目のステージはDC-DCステージで、385 VDCバスを12 V出力(最大負荷電流定格20 A)に変換します。

パワー・コンバータの仕様

デモ・ボードは汎用入力を受け入れる240 Wボードとして設計されています。12 VのDC出力電圧を生成し、最大20 Aの負荷電流を供給します。低いライン電圧の場合は力率は98%を上回り、全負荷時のT.H.D(全高調波歪)は17%未満です。Table 1に仕様全般を示します。

Table 1. DEMO BOARD SPECIFICATIONS

Requirement	Min	Max	Unit
Input Voltage (ac)	90	265	V
Output Voltage (dc)	-	12	V
Output Current(dc)	0	20	A
Output Power	0	240	W
Power Factor	-	> 98	%

アーキテクチャの概要

アーキテクチャの概要を次のFigure 1に示します。フロントエンドはACを安定化された385 VDCバスに変換します。この変換はトポロジを採用した力率補正(PFC) ICを使用して実行しています。ブースト・コンバータ内のインダクタ電流はCCM(連続導通モード)で動作します。ブーストPFCステージはオン・セミコンダクター製NCP1654コントローラを採用しています。第2ステージは絶縁型DC-DCコンバータで、385 VDCバスを12 VDC電圧出力に変換します。

絶縁型DC-DC変換は、LLCトポロジとして一般的に知られている共振トポロジを使用して実行します。高効率を達成するために、2次側で同期整流器を使用しています。LLCパワー・コンバータはオン・セミコンダクター製NCP1397を採用し、同期整流器ドライバはNCP4304です。NCP432は出力電圧を安定化するために帰還経路内で使用されます。このボードは、PFCステージとLLCステージの1次側の両方で、Transphorm Inc.製のGaN HEMTをスイッチング・デバイスとして利用しています。

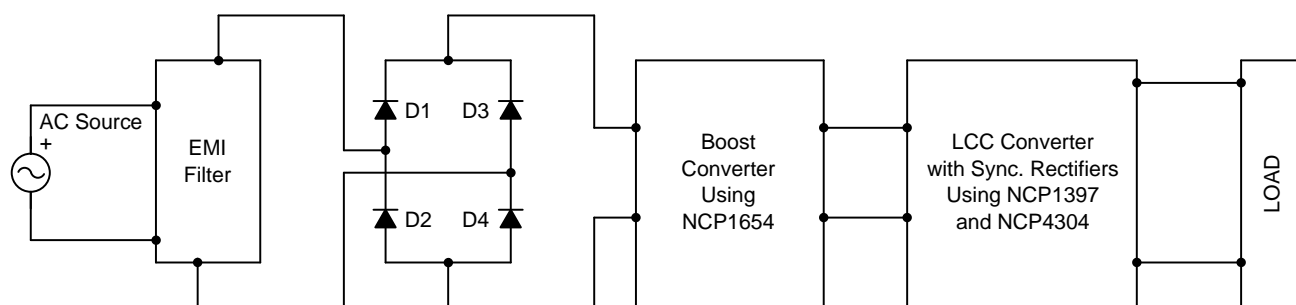


Figure 1. Block Diagram of the Demo Board

GaN HEMTs

デモボードでは、Transphorm Inc.製のTPH3002PS GaNベース・スイッチを使用しています。TPH3002PSは、図に示すとおりGaN HEMTと低電圧、低Rds(on)のシリコンFETをカスコード構造で実装しています。したがって、制御端子つまりゲートは標準的なシリコンFETのゲートと同様です。これらのデバイスは低Rds(on)、高dv/dtという特性を備えています。従来型シリコン・デバイスのdv/dtが50 V/ns以下であるのに対し、TPH3002PSのdv/dtは100 V/ns以上に達しています。このような要因によって、低スイッチング損失および低導通損失を実現しています。TPH3002PSではQrrが小さく、最小の逆回復損失が得られます。TPH3002PSのパラメータの一部を、Table 2に示します。

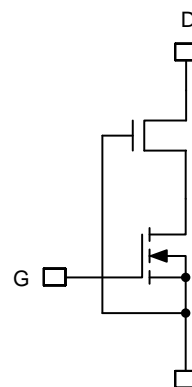


Figure 2. Cascaded GaN HEMT and Low Voltage Silicon FET

Table 2. TPH3002PS PARAMETERS [6]

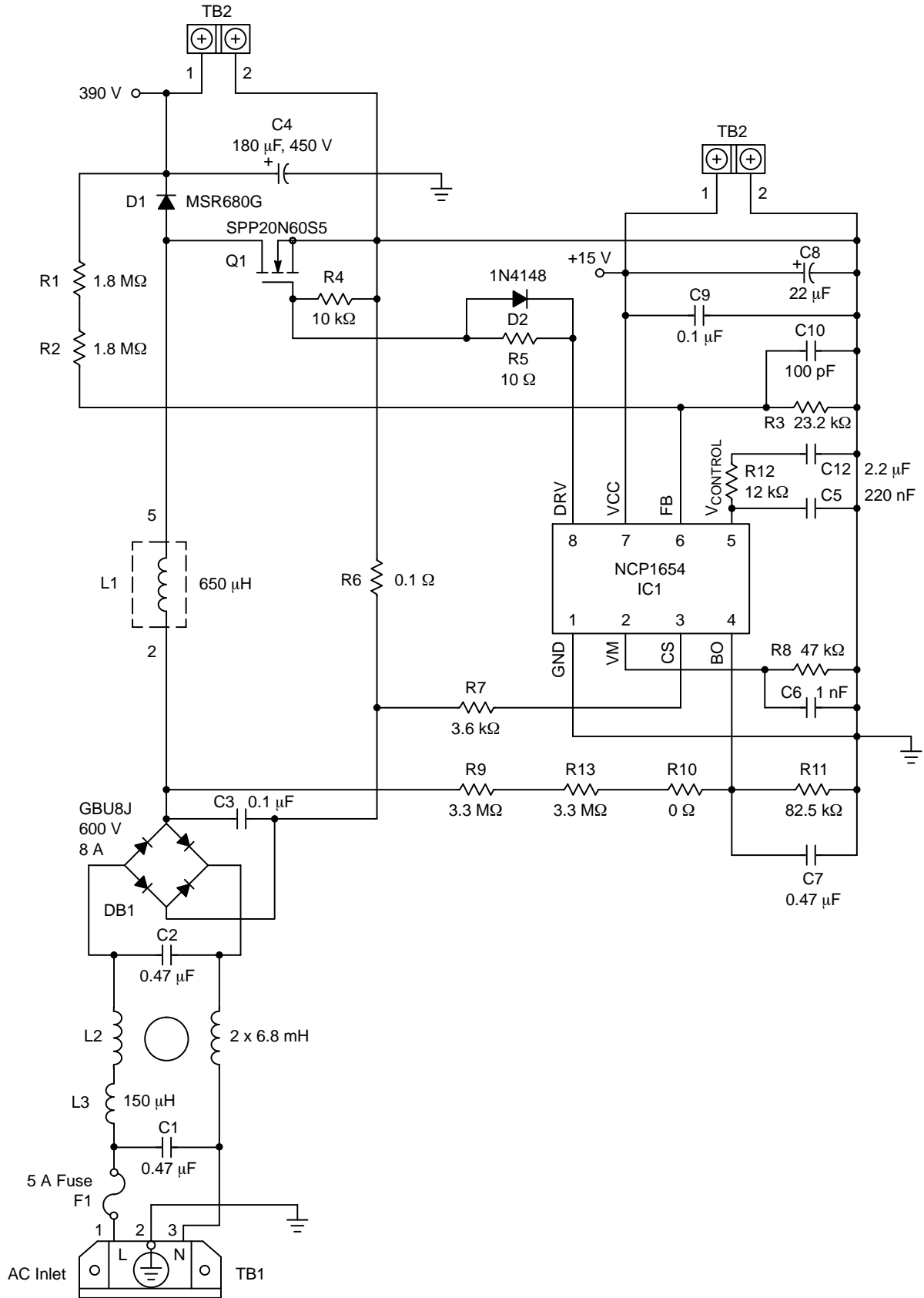
S. No	Parameter	Value	Unit	Conditions
1	Rds(on)	0.29	mΩ	Id = 9 A Continuous Current
2	Qg	6.2	nC	
3	Qrr	29	nC	
4	Eoss	3.1	μJ	

PFC回路の説明

すでに説明したように、ブーストPFC内のインダクタ電流はCCMで流れます。CCM動作の結果、臨界導通モード(CrM)に比べて、ピーク電流とRMS電流が小さくなります。CrM動作には他の多くの利点もありますが、それらは通常、電力レベルが小さい場合に達成されるものです。CCM動作を採用するとブースト・インダクタの設計が大幅に簡略化され、ブーストFETおよびブースト・ダイオードに加わるストレスが軽減されます。また、CCM昇圧は固定周波数で動作するので、EMIフィルタの設計が簡略化されます。NCP1654は簡略化されたCCMブーストPFCコンバータであり、外部部品点数を削減する8ピン・

パッケージに封止されています。次の3に、NCP1654ベースのPFC [1]を実装した代表的な応用回路を示します。NCP1654の主な特長を以下で説明します。

1. プログラマブル過電流保護
2. ブラウンアウト検出
3. 過電圧保護
4. ソフト・スタート
5. 連続導通モード
6. 平均電流モードまたはピーク電流モード動作
7. プログラマブル過電力制限
8. 開ループ検出(シャットダウン)用低電圧検出
9. 突入電流検出



Note: The design table of PFC circuit is given in [6].

Figure 3. Typical Application Circuit of NCP1654 Based PFC Circuit

LLC回路の説明

LLCパワー・コンバータは、直列共振コンバータの派生バージョンです。LLCという略称は、このコンバータが2個のインダクタ(磁化Lと共振L)および1個のコンデンサ(C)を使用して共振回路を形成していることに由来します。通常、トランスの漏れ磁束は、

外付けディスクリート・インダクタに代わる追加の共振インダクタンスとして働きます。LLCステージの設計はNCP1397とNCP4304Bをベースにし、[AND8460/D](#) [4]で説明されています。

Figure 4 [2]に、NCP1397の代表的な応用回路を示します。

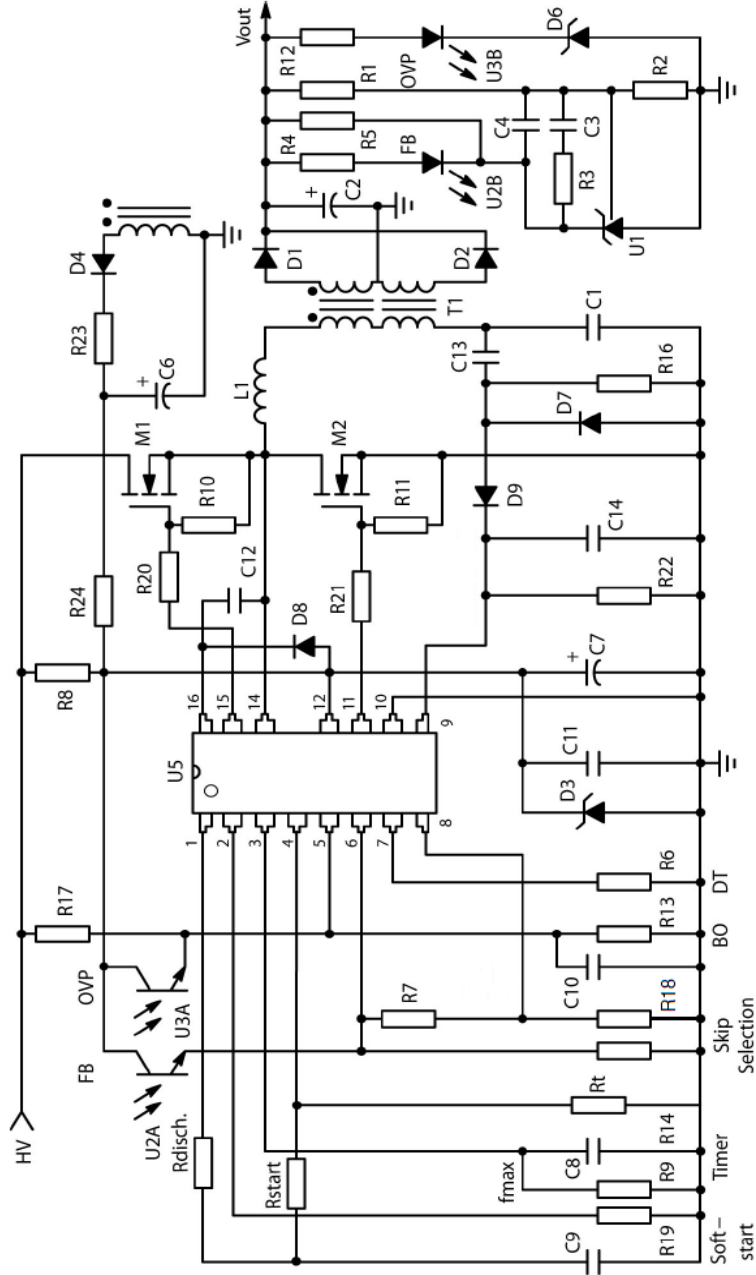


Figure 4. Typical Application Circuit of NCP1397

以下にNCP1397の主な特長を示します。

1. 可変最小スイッチング周波数、精度3%
2. ブラウンアウト入力
3. 1 A/0.5 Aピーク電流シンク/ソース・ドライブ
4. 自動回復機能付きタイマ・ベースOCP入力
5. 2次側ラッチOCPレベル
6. 100 ns～2 μsの範囲の可変デッドタイム
7. 可変ソフト・スタート

良好な効率を達成するために、LLCコンバータの2次側で同期整流器を使用しています。NCP4304 SR [3]コントローラは2次側FETを制御するために利用されています。NCP4304はオン・セミコンダクター独自のSRコントローラであり、真の2次側ゼロ電流検出

と自動的な寄生インダクタンス補償を実現します。NCP4304の代表的な応用回路をFigure 5 [3]に示します。この製品の主な特長は以下のとおりです。

1. 可変スレッシュホールド付きの高精度な真の2次側ゼロ電流検出
2. 自動寄生インダクタンス補償
3. 電流センス入力からドライブまでのターンオフ遅延：標準40 ns
4. ゼロ電流検出ピンは最大200 Vに対応
5. オプションの超高速トリガ入力
6. ディスエーブル入力
7. 可変最小オン時間および最小オフ時間
8. 5 A/2.5 Aピーク電流シンク/ソース・ドライブ
9. 最大30 Vの動作電圧範囲

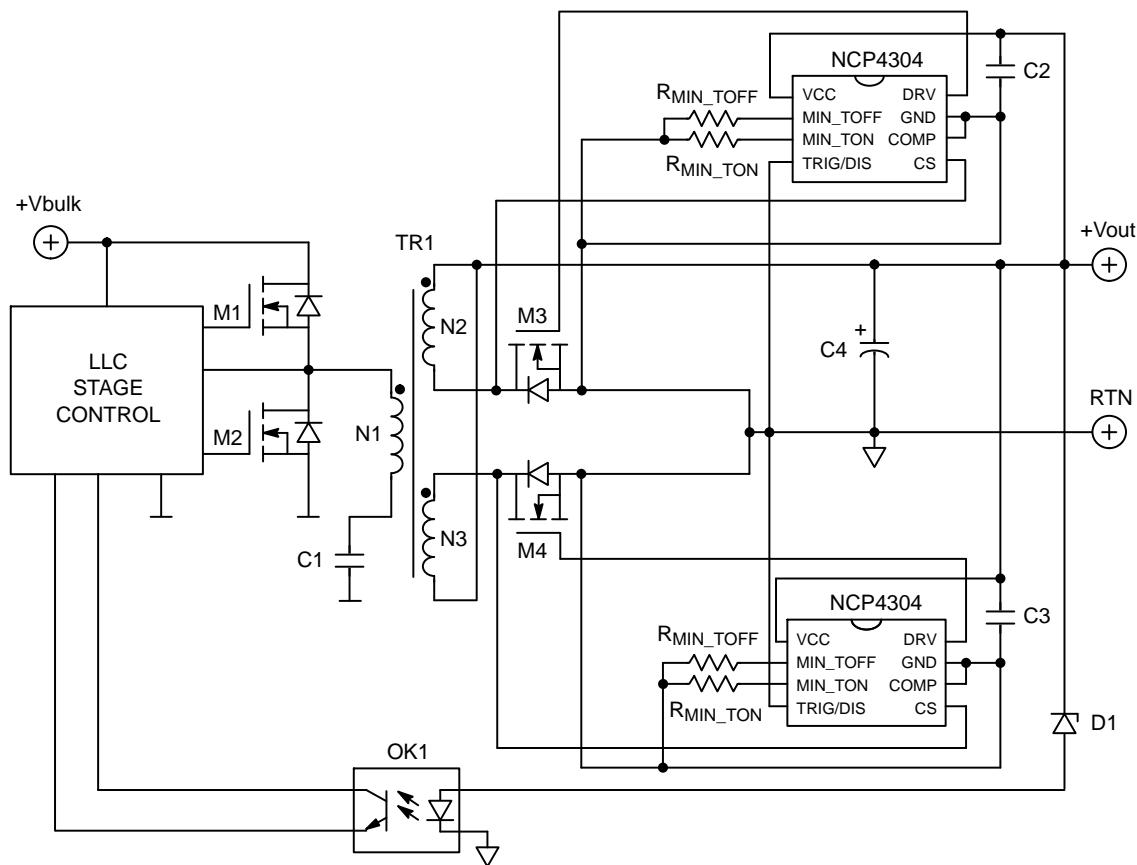


Figure 5. Typical Application Circuit of NCP4304B

性能

低いライン入力電圧および高いライン入力電圧で、効率、力率、THDを測定しました。測定のために、ChromaプログラマブルAC電源61604、Chroma電力計66202、Chroma電子負荷63107を使用しました。

Table 3とTable 4に、それぞれ低いライン電圧と高いライン電圧のT.H.Dおよび力率データを示します。以下のグラフに、ブースト・コンバータ、LLCコンバータ、ボード全体の効率を示します。

DN05067/D

P.F.C

Table 3. T.H.D. AND POWER FACTOR AT 115 V 60 HZ INPUT

115 V AC Input				
S. No	Output Voltage	Output Current	T.H.D	Power Factor
1	12.062	4.997	18.537	0.9705
2	12.053	9.9663	11.62	0.9837
3	12.06	14.95	8.8442	0.9877
4	12.04	19.94	7.8168	0.9892

Table 4. T.H.D. AND POWER FACTOR AT 230 V 50 HZ INPUT

230 V AC Input				
S. No	Output Voltage	Output Current	T.H.D	Power Factor
1	12.055	4.9975	19.936	0.9216
2	12.047	9.965	13.961	0.9659
3	12.04	14.953	13.594	0.9714
4	12.037	19.94	12.472	0.9737

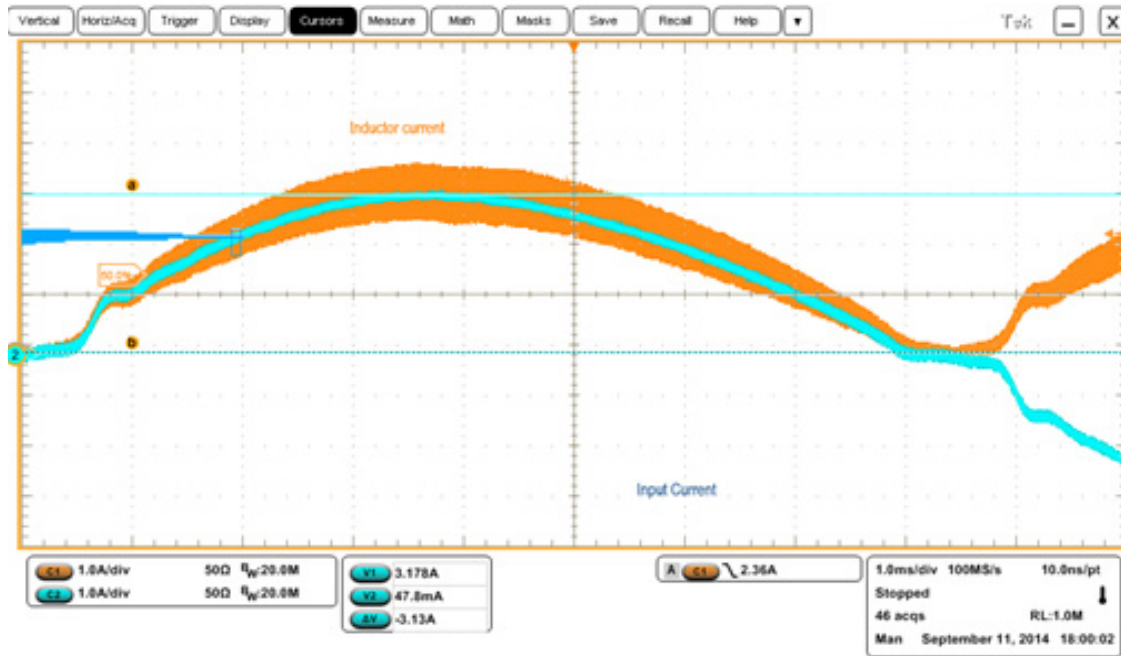


Figure 6. Inductor Current vs. Input Current

DN05067/D



Figure 7. Inductor Current

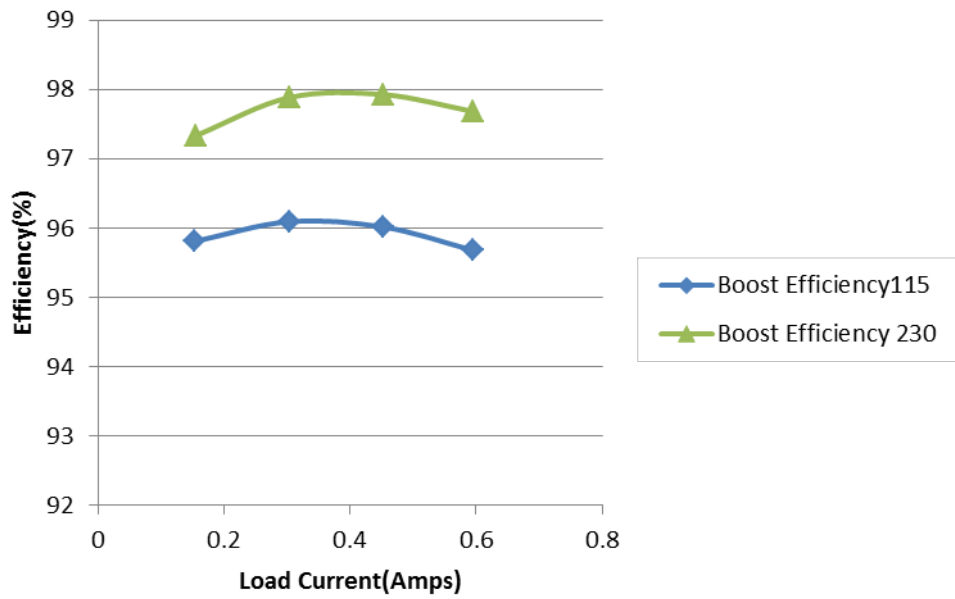


Figure 8. Boost Converter Efficiency

DN05067/D

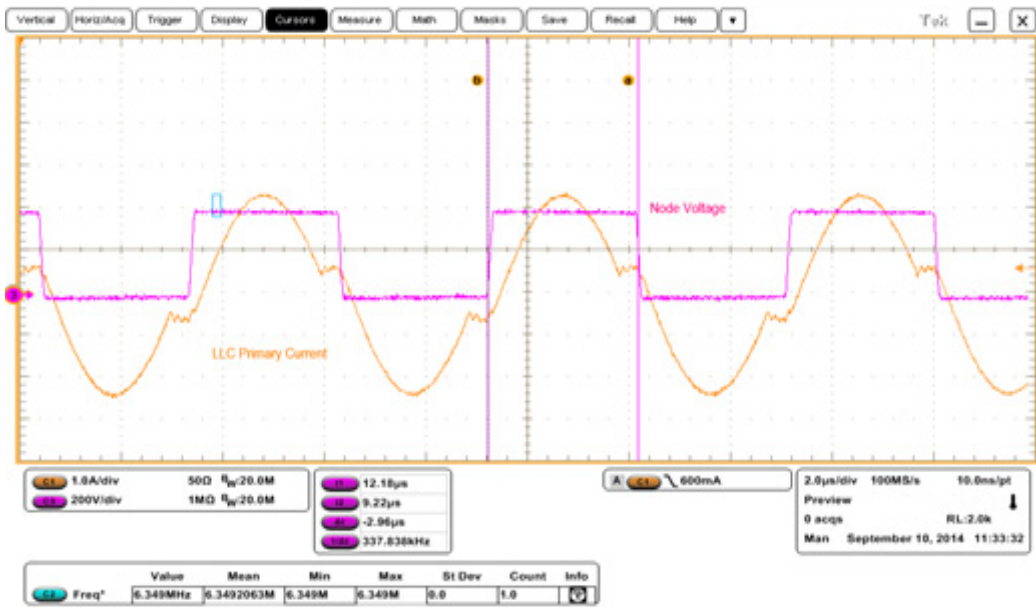


Figure 9. LLC Inductor Current vs. Node Voltage (20 A Load)

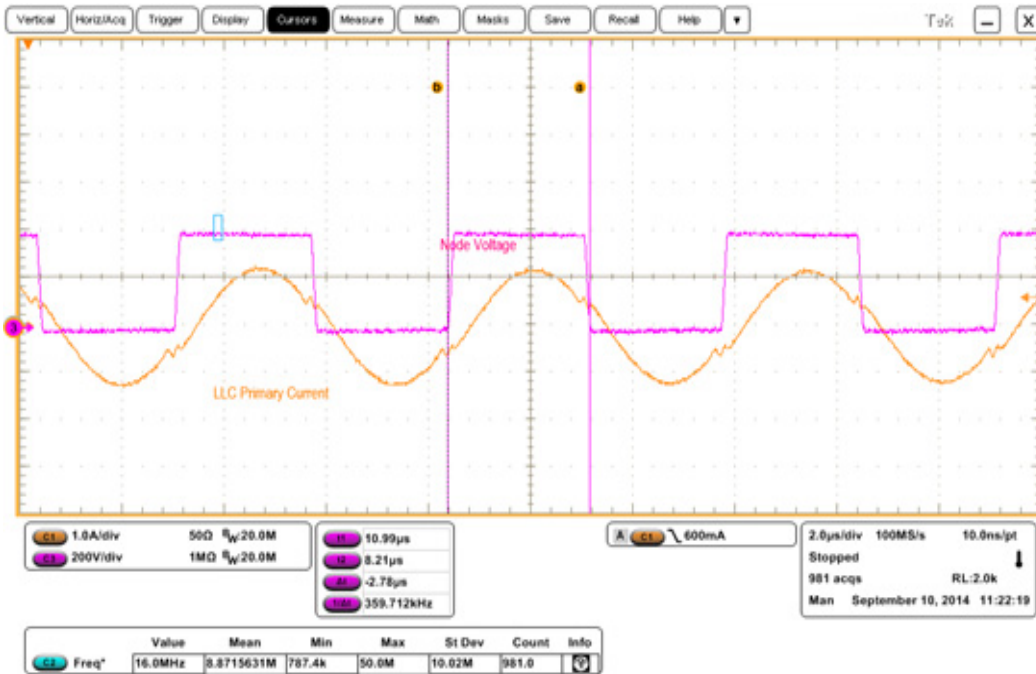


Figure 10. LLC Inductor Current vs. Node Voltage (10 A Load)

LLC Efficiency

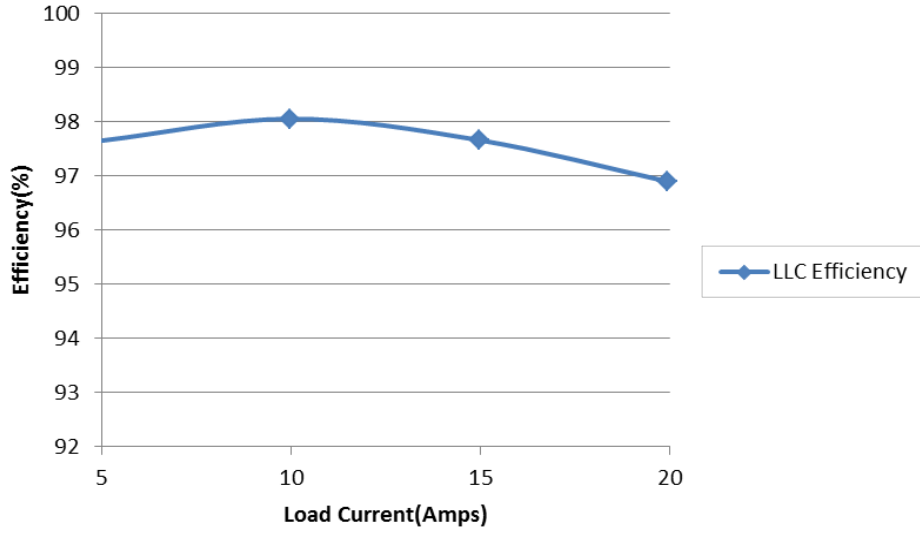


Figure 11. LLC Converter Efficiency

Board Efficiency

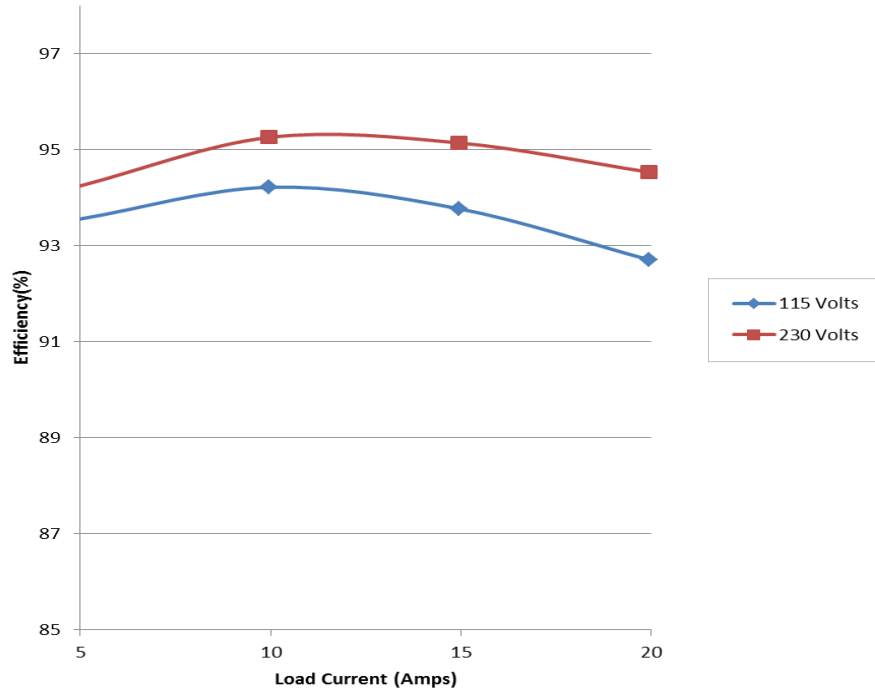


Figure 12. Complete Board Efficiency

DN05067/D

EMI性能

ボードのEMI性能は、スペクトラム・アナライザとLISNを使用して測定しました。このボードは

EN55022B規格に合格済みです。結果を以下に示します。

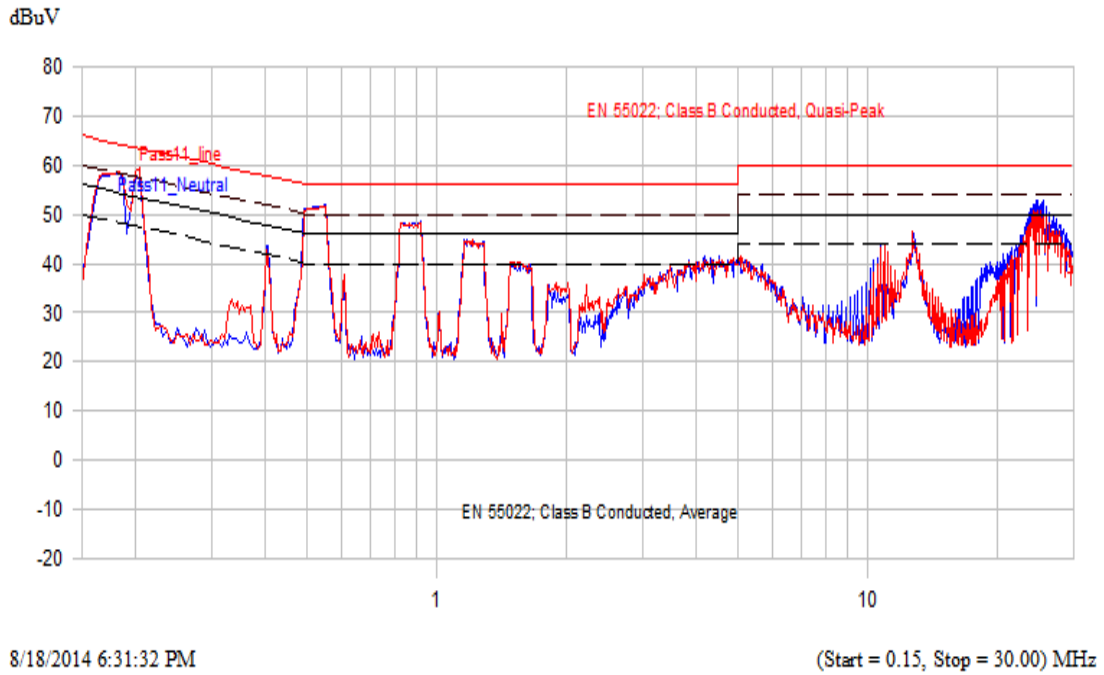


Figure 13. Conducted Emission Results as per EN55022

サージ試験

このボードは、同相モード設定で2.2 kV、差動モード設定で1.1 kVのサージ試験に合格済みです。

DN05067/D

全体の回路図

ボード全体の回路図を以下に示します。

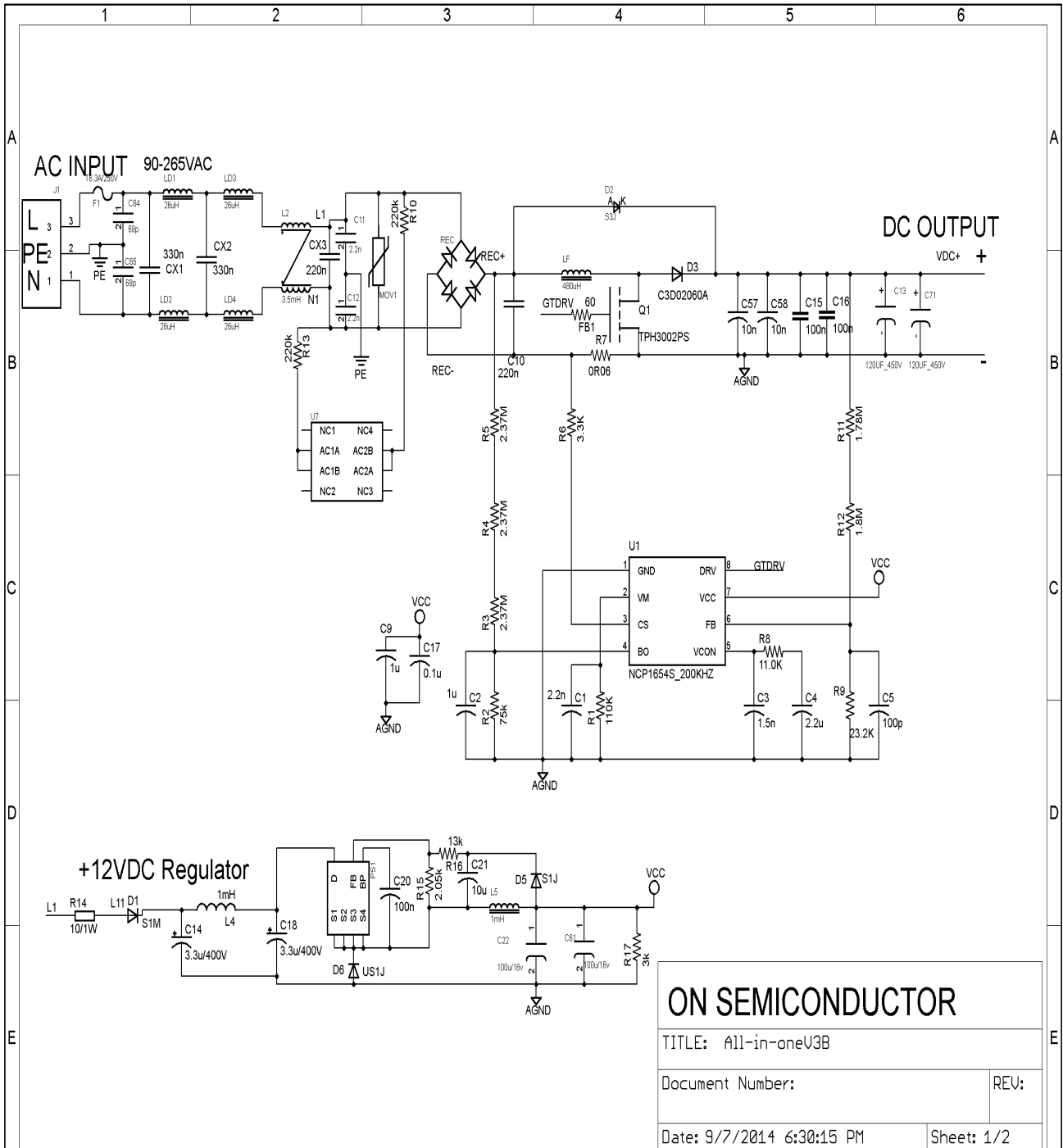


Figure 14. Complete Schematic (Page 1)

DN05067/D

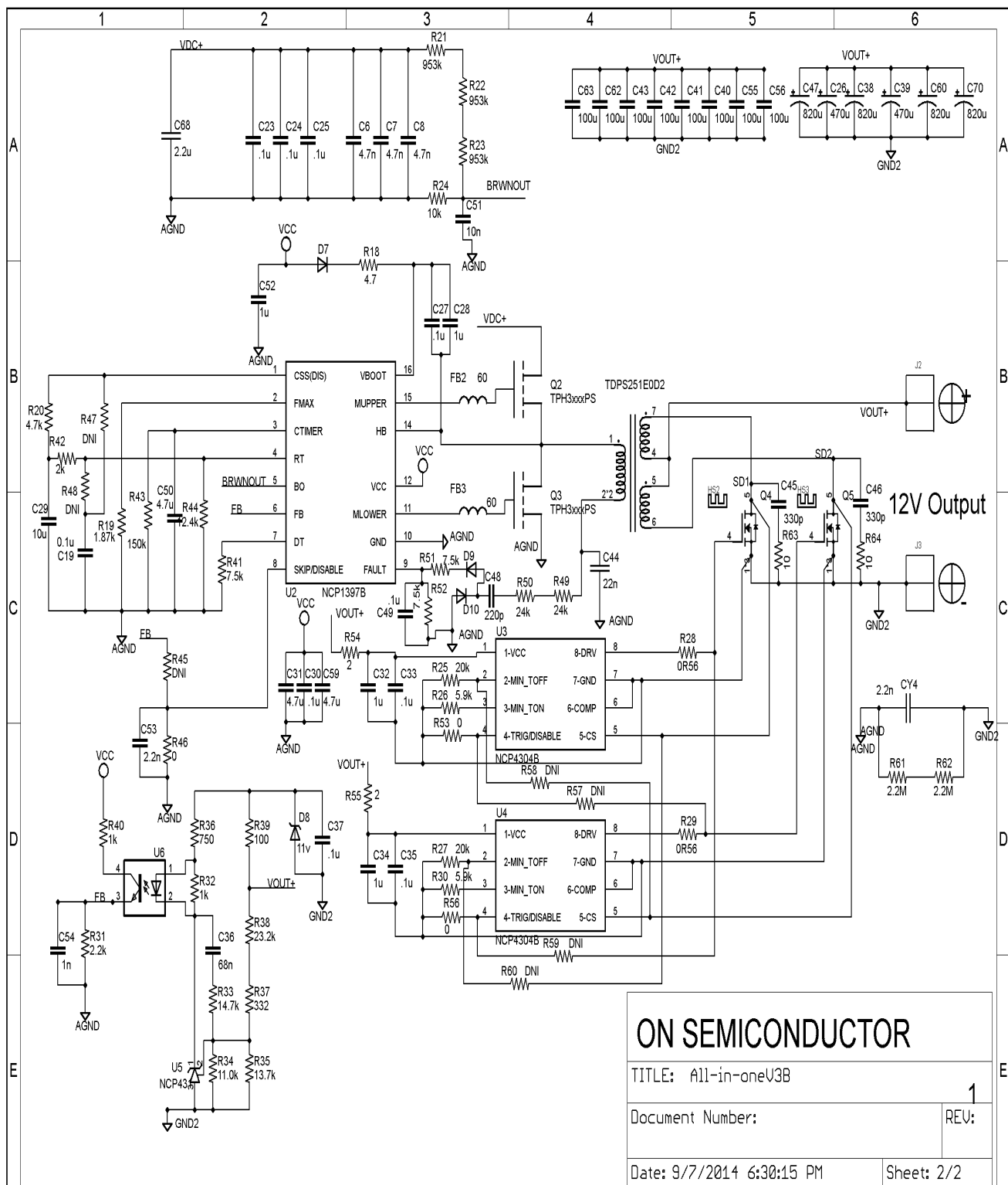


Figure 15. Complete Schematic (Page 2)

DN05067/D

部品表(BOM)

Table 5. BILL OF MATERIAL

Items	Qty.	Reference	Part Description	Manufacturer Part Number
1	2	C1, C53	CAP., X7R, 2.2 nF, 16 V, 10%, 0603	AVX, 0603YC222KAT2A
2	6	C2, C9, C28, C32, C34, C52	CAP., X7R, 1 μF, 16 V, 10%, 0603	Taiyo Yuden, EMK107B7105KA-T
3	1	C3	CAP., X7R, 1.5 nF, 16 V, 10%, 0603	Kemet, C0603C152K4RACTU
4	1	C4	CAP., X5R, 2.2 μF, 16 V, 10%, 0603	TDK, C1608X5R1C225K080AB
5	1	C5	CAP., NP0, 100 pF, 50 V, 5%, 0603	AVX, C1608C0G1H101J080AA
6	3	C6, C7, C8	CAP., NP0, 4.7 nF, 630 V, 5%, 1206	TDK, C3216C0G2J472J085AA
7	2	C10	CAP., Film, 0.22 μF, 630 V, 20%, 7 × 15 × 17.5 (mm)	Vishay, BFC233820224
8	3	CY1, CY2, CY4	CAP., X1Y2, 4.7 nF, 250 VAC, 20%, Rad.	Kemet, C947U472MYVDBA7317
9	2	C13, C71	CAP., Alum., 120 μF, 450 V, 20%, Rad. 18 × 33.5 (mm)	Rubycon, 450QXW120MEFC18X31.5
10	2	C14, C18	CAP., Alum., 3.3 μF, 400 V, 20%, E3.5-8	Rubycon, 400LLE3R3MEFC8X11R5
11	5	C15, C16, C23, C24, C25	CAP., X7R, 0.1 μF, 630 V, 10%, 1812	TDK, C4532X7R2J104K230KA
12	7	C17, C19, C27, C30, C33, C35, C37	CAP., X7R, 0.1 μF, 25 V, 10%, 0603	Kemet, C0603C104K3RACTU
13	1	C20	CAP., X7R, 0.1 μF, 25 V, 10%, 1206	Kemet, C1206F104K3RACTU
14	2	C21, C29	CAP., X5R, 10 μF, 16 V, 20%, 0805	Kemet, C0805C106M4PACTU
15	2	C22, C61	CAP., Alum., 100 μF, 16 V, 20%, Rad. 5 × 2 (mm)	Rubycon, 16PX100MEFCTA5X11
16	1	C26	CAP., Poly. Alum., 470 μF, 16 V, 20%, E3.5-8	Nichicon, PLG1C471MDO1
17	3	C31, C50, C59	CAP., X5R, 4.7 μF, 16 V, 10%, 0805	Kemet, C0805C475K4PACTU
18	1	C36	CAP., X7R, 68 nF, 16 V, 10%, 0603	Yageo, CC0603KRX7R7BB683
19	3	C38, C47, C70	CAP., Alum., 820 μF, 16 V, 20%, E5-10.5	Panasonic, EEU-FC1C821
20	1	C39	CAP., Alum., 680 μF, 16 V, 20%, E3.5-8	Panasonic, EEU-FC1C681L
21	8	C40, C41, C42, C43, C55, C56, C62, C63	CAP., X5R, 100 μF, 16 V, 20%, 1210	Taiyo Yuden, EMK325ABJ107MM-T
22	1	C44	CAP., Film, 22 nF, 1 kV, 5%, 26 × 6.5 (mm)	Kemet, PHE450PD5220JR06L2
23	2	C45, C46	CAP., NP0, 330 pF, 50 V, 5%, 0805	Kemet, C0805C331J5GACTU
24	1	C51	CAP., X7R, 10 nF, 16 V, 10%, 0603	TDK, CGJ3E2X7R1C103K080AA
25	1	C54	CAP., X7R, 1 nF, 16 V, 5%, 0603	Kemet, C0603C102J4RACTU
26	2	C57, C58	CAP., NP0, 10nF, 630V, 5%, 1206	TDK, C3216C0G2J103J160AA
27	2	CX1, CX2	CAP., Film, 0.47 μF, 630 V DC, 20%, 10 × 16.5 × 17.5 (mm)	Vishay, BFC233920474
28	1	C60	CAP., Poly. Alum., 820 μF, 16 V, 20%, E5-10.5	Nichicon, PLG1C821MDO1
29	1	C68	CAP., Flim, 2.2 μF, 450 V, 5%, 18.8 × 12.8 (mm)	Panasonic, ECW-F2W225JA
30	1	R1	RES., 110 kΩ, 0.1 W, 1%, 0603	Vishay, CRCW0603110KFKEA
31	1	R2	RES., 75 kΩ, 0.1 W, 5%, 0603	Vishay, CRCW060375K0JNEA
32	3	R3, R4, R5	RES., 2.37 M,Ω 1/8 W, 1%, 0805	Yageo, RC0805FR-072M37L
33	2	R6, R19	RES., 3.3 kΩ, 0.1 W, 1%, 0603	Stackpole, RMCF0603FT3K30
34	1	R7	RES., 60 mΩ, 1 W, 1%, 2512	Vishay, WSL2512R0600FEA
35	2	R8, R34	RES., 11 kΩ, 0.1 W, 1%, 0603	Panasonic, ERJ-3EKF1102V
36	2	R9, R38	RES., 23.2 kΩ, 0.1 W, 1%, 0603	Panasonic, ERA-3AEB2322V

DN05067/D

Table 5. BILL OF MATERIAL (continued)

Items	Qty.	Reference	Part Description	Manufacturer Part Number
37	2	R10, R13	RES., 220 k Ω , 1/4 W, 1%, 1206	Yageo, RC1206FR-07220KL
38	1	R11	RES., 1.8 M Ω , 1/8 W, 1%, 0805	Rohm, KTR10EZPF1804
39	1	R12	RES., 1.78 M Ω , 1/8 W, 1%, 0805	Vishay, CRCW08051M78FKEA
40	1	R14	RES., 10 Ω , 1 W, 1%, 2010	Stackpole, RMCP2010FT10R0
41	1	R15	RES., 2.05 k Ω , 0.1 W, 1%, 0603	Yageo, RC0603FR-072K05L
42	1	R16	RES., 13 k Ω , 0.1 W, 1%, 0603	Yageo, RC0603FR-0713KL
43	1	R17	RES., 13 k Ω , 1/4 W, 5%, 1206	Panasonic, ERJ-8GEYJ133V
44	1	R18	RES., 4.7 Ω , 1/8 W, 1%, 0805	Rohm, KTR10EZPF4R70
45	1	R20	RES., 4.7 k Ω , 0.1 W, 1%, 0603	Rohm, MCR03ERTF4701
46	3	R21, R22, R23	RES., 953 k Ω , 1/8 W, 1%, 0603	Panasonic, ERJ-6ENF9533V
47	1	R24	RES., 10 k Ω , 1/8 W, 1%, 0805	Panasonic, ERJ-6ENF1002V
48	2	R25, R27	RES., 20 k Ω , 0.1 W, 1%, 0603	Rohm, MCR03ERTF2002
49	2	R26, R30	RES., 5.9 k Ω , 0.1 W, 1%, 0603	Yageo, RC0603FR-075K9L
50	2	R28, R29	RES., 0.56 Ω , 1/8 W, 1%, 0805	Yageo, RL0805FR-070R56L
51	1	R31	RES., 2.2 k Ω , 0.1 W, 1%, 0603	Yageo, RC0603FR-072K2L
52	3	R32, R40, R46	RES., 1 k Ω , 0.1 W, 1%, 0603	Yageo, RC0603FR-071KL
53	1	R33	RES., 14.7 k Ω , 0.1 W, 1%, 0603	Panasonic, ERJ-3EKF1472V
54	1	R35	RES., 13.7 k Ω , 0.1 W, 1%, 0603	Panasonic, ERJ-3EKF1372V
55	1	R36	RES., 750 Ω , 0.1 W, 1%, 0603	Yageo, RC0603FR-07750RL
56	1	R37	RES., 332 Ω , 0.1 W, 1%, 0603	Vishay, CRCW0603332RFKEA
57	1	R39	RES., 100 Ω , 0.1 W, 1%, 0603	Yageo, RC0603FR-07100RL
58	1	R41	RES., 7.5 k Ω , 0.1 W, 1%, 0603	Yageo, MCR03ERTF7501
59	1	R42	RES., 2 k Ω , 0.1 W, 1%, 0603	Panasonic, ERJ-3EKF2001V
60	1	R43	RES., 150 k Ω , 0.1 W, 1%, 0603	Yageo, RC0603FR-07150KL
61	1	R44	RES., 12.4 k Ω , 0.1 W, 1%, 0603	Yageo, RC0603FR-0712K4L
62	6	R47, R48, R57, R58, R59, R60	RES., N/A, 0603	N/A
63	1	R45	RES., 6.8 k Ω , 0.1 W, 1%, 0603	Yageo, RC0603FR-076K8L
64	3	R53, R56, R52	RES., 0 Ω , 0.1 W, 0603	Yageo, RC0603JR-070RL
65	2	R49, R50	RES., 24 k Ω , 1/8 W, 5%, 0805	Yageo, RC0805JR-0724KL
66	2	R54, R55	RES., 4.7 Ω , 0.1 W, 1%, 0603	Panasonic, P4.7AJCT-ND
67	2	R61, R62	RES., 2.2 M Ω , 1/4 W, 5%, 1206	Yageo, RC1206JR-072M2L
68	2	R63, R64	RES., 10 Ω , 1/4 W, 5%, 0805	Stackpole, RPC0805JT10R0
69	1	D1	Diode, 1,000 V, 1 A, DO-214AC	Diode Inc, S1M-13-F
70	1	D2	Diode, 600 V, 3 A, DO-214AB	Fairchild, S3J
71	1	D3	Diode, SiC, 600 V, 2 A, TO220-2	Cree, C3D02060A
72	1	D5	Diode, 600 V, 1 A, DO-214AC	Diode Inc, S1J-13-F
73	1	D6	Diode, Ultra Fast, 600 V, 1 A, DO-214AC	Diode Inc, US1J-13-F
74	1	D7	Diode, Ultra Fast, 600 V, 1 A, DO-214AC	Micro Commercial Inc., ES1J-LTP
75	1	D8	Diode, Zener, 11 V, 0.5 W, SOD123	ON Semiconductor, MMSZ5241BT1G
76	2	D9, D10	Diode, 75 V, 0.15 A, SOD323F	Fairchild, 1N4148WS
77	3	Q1, Q2, Q3	GaN HEMT, 600 V, 9 A, TO220	Transphorm, TPH3002PS
78	2	Ld1, Ld2	IND., 90 μ H, DCR < 40 m Ω	Würth Elek., 7447013
79	1	L3	Common Mode Chk, 10 mH, 1.9 A, 22 \times 15 (mm)	Würth Elek., 744 824 310
80	1	L4	IND., 1 mH, 70 mA, 1812	Würth Elek., 744045102

Table 5. BILL OF MATERIAL (continued)

Items	Qty.	Reference	Part Description	Manufacturer Part Number
81	2	Ld3, Ld4	Shorted	N/A
82	1	L5	IND., 1 mH, 0.235 A, 7.6 × 7.6 (mm)	Cooper Buss., DRA73-102-R
83	1	LF	IND., 480 μH, 200 kHz, CC30/19	Precision, 019-8202-00R
84	1	J1	CONN., 300 V, 10 A, 3Pin_3.5mm	Würth Elek., 691214110003
85	2	J2, J3	BUSH, 54 A	Würth Elek., 7461093
86	2	HS2, HS3	HEATSINK, 10 × 10 (mm)	Assmann WSW Comp., V2017B
87	1	PS1	PowerChip, Offline, 12 V, 1.44 W, SO-8C	Power Integ., LNK304DG-TL
88	1	MOV1	MOV, 504 V, 3.5 kA, Disc 10.5 mm	Panasonic, ERZ-E08A561
89	1	U2	LLC Controller, 16-SOIC	ON Semiconductor, NCP1397BDR2G
90	1	U1	PFC Controller, CCM, 200 kHz, SO-08	ON Semiconductor, NCP1654BD200R2G
91	2	U3,U4	Synchronous Rectifier Driver, SO-08	ON Semiconductor, NCP4304BDR2G
92	1	U5	Voltage Reference, SOT23	ON Semiconductor, NCP432BCSNT1G
93	1	U6	Optoisolator, 5 kV, 4-SMD	Avargo, HCPL-817-50AE
94	1	U7	X2 CAP. DIS., SOIC-8	ON Semiconductor, NCP4810DR2G
95	1	F1	FUSE, SLOW, 250 V, 6.3 A	Littlefuse Inc, 39216300000
96	2	Q4, Q5	MOSFET, N-CH, 40 V, 100 A, PG-TDSON-8	Infineon, BSC017N04NS G
97	1	Transformer	Transformer, LLC, 240 W, 1 70 kHz – 200 kHz	Precision, 019-7896-00R
98	3	FB1, FB2, FB3	Ferrite Bead, 60 Ω@100 MHz, 500 mA, 0603	TDK, MMZ1608Y600B
99	1	REC	Rectifier Bridge, 600 V, 8 A, D-72	Vishay, VS-KBPC806PBF
100	1	N/A	Thermal Pad, 0.9 W/m-K, 18.42 × 13.21 (mm)	Aavid Thermalloy, 53-77-9G
101	1	N/A	Ferrite Core, 47 Ω@100 MHz, 4.2 mm OD	Würth Elek., 74270012

スタートアップ・シーケンス

1. 負荷を接続します。負荷は抵抗性とし、12 Vdc で最大240 Wを消費するものとします。
2. AC電源を接続し、90 Vより高い希望の電圧に設定します。
3. PFCのGaN HEMTヒート・シンクの真向かいに冷却ファンを取り付けます(30 CFM以上の風量を供給)。
4. 出力電力が155 Wより高い(> 70%負荷)場合は冷却ファンを作動させます。

プローブ測定に関する説明

測定時に追加されるインダクタンスを抑えるために、プローブの先端とグラウンドを直接センシング・ポイントに接続して、センシング・ループを最小化する必要があります。グラウンド線が長いとセンシング・ループが形成されノイズを拾うことがあるので、一般的な長いグラウンド線は避けてください。GaN信号の測定には、差動プローブは推奨されません。

参考資料

- [1] Datasheet [NCP1654JP/D](#), website: www.onsemi.jp, ON Semiconductor.
- [2] Datasheet [NCP1397JP/D](#), website: www.onsemi.jp, ON Semiconductor.
- [3] Datasheet [NCP4304JP/D](#), website: www.onsemi.jp, ON Semiconductor.
- [4] Application Note [AND8324/D](#), website: www.onsemi.com, ON Semiconductor.
- [5] Bo Yang, F.C. Lee, A.J. Zhang, H. Guisong, “LLC resonant converter for front end DC/DC conversion” *Proc. IEEE APEC'02*, pp.1108 – 1112, 2002.
- [6] Application Note. TDPS250E2D2 All in One Power Supply, website: www.transphorm.com, Transphorm Inc.
- [7] Datasheet of TPH3002PS, website www.transphorm.com

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-Marking.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