

疑似共振と固定周波数フライバックの比較

60W電源におけるICE5xSxGおよびICE5QSxG

About this document

Scope and purpose

このドキュメントでは、フライバックトポロジで通常使用される疑似共振スイッチング方式と固定周波数スイッチング方式の比較を行います。定量的な比較をサポートするために、60 W デモンストレーションボード (P/N: DEMO_5QSAG_60W1) を、疑似共振 (ICE5QSxG) および固定周波数 (ICE5ASAG) の両方のフライバックコントローラーをサポートできるように変更しました。

Intended audience

このドキュメントは、フライバックトポロジで疑似共振または固定周波数の電源を設計したい電源設計エンジニアまたはアプリケーションエンジニアなどを対象とします。

Table of contents

About this document	1
Table of contents	1
1 はじめに	3
1.1 フライバックスイッチングモード	3
1.1.1 固定周波数フライバック	3
1.1.2 QR フライバック	5
1.1.3 FF DCM、FF CCM、QR の長所と短所	7
2 評価ボード	9
2.1 回路図	10
2.2 プリント基板レイアウト	11
2.3 部品表 (BOM)	12
3 QR および FFDCM の比較	14
3.1 テスト条件とセットアップ	14
3.2 周波数曲線	14
3.3 電気試験測定	15
3.3.1 電気試験測定	15
3.3.2 効率曲線	17
3.3.3 過負荷前の最大入力電力	18
3.4 波形とオシロスコープのプロット	18
3.4.1 ドレイン電圧と電流	18
3.4.2 出力リップル電圧	19
3.5 熱測定	20
3.6 EMI 測定	21
4 QR および FF CCM の比較	23
4.1 テスト条件とセットアップ	23
4.2 周波数曲線	23
4.3 電気試験測定	24
4.3.1 電気試験測定	24

Table of contents

4.3.2	効率曲線	26
4.3.3	過負荷前の最大入力電力.....	27
4.4	波形とオシロスコープのプロット	27
4.4.1	ドレイン電圧と電流.....	27
4.4.2	出力リップル電圧.....	28
4.5	熱測定.....	29
4.6	EMI 測定.....	30
5	まとめ.....	32
6	参考資料	33
改訂履歴		34

はじめに

1 はじめに

低出力電力アプリケーションの場合、フライバックコンバータは、システムコストが低く、設計が容易なため、ガバナニク絶縁や複数出力が必要な場合に最も広く使用されるトポロジです。これは、低電力の電化製品およびデバイス (TV、セットップボックス、充電器/アダプターなど) の主電源、および高電力アプリケーション (エアコン、PC 電源、サーバー電源、産業用 SMPS など) の補助電源として使用されます。簡略化された多出力フライバックコンバータのブロック図を **Figure 1** に示します。

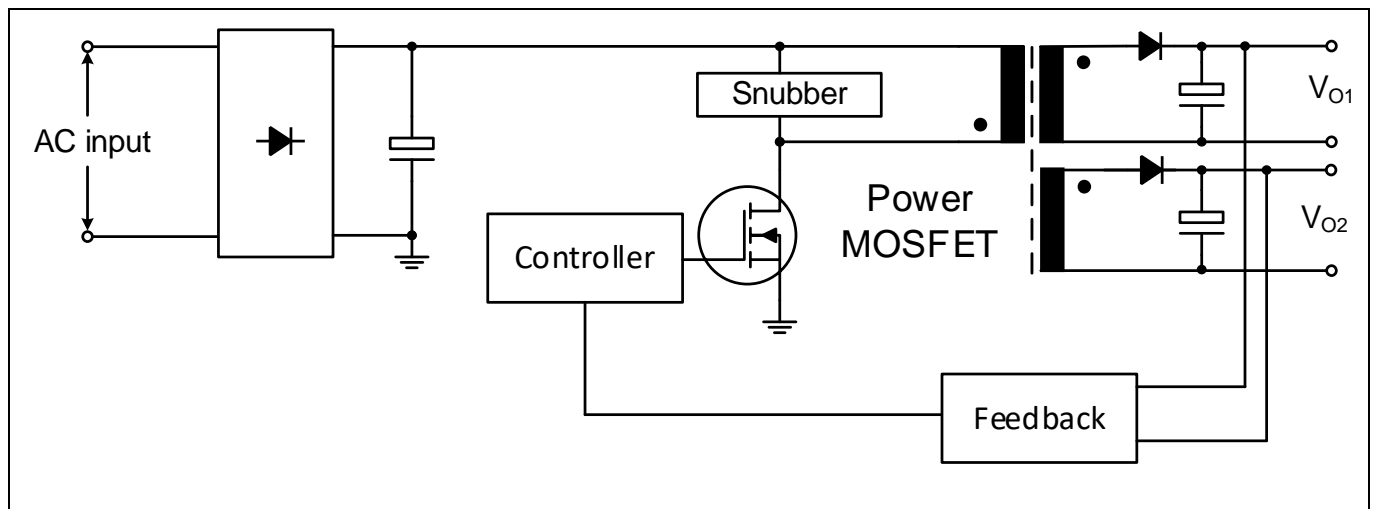


Figure 1 簡略化された多出力フライバックコンバータのブロック図

1.1 フライバックスイッチングモード

フライバックの 2 つの一般的なスイッチング動作モードは、固定周波数 (FF) と疑似共振 (QR) です。スイッチングモードの選択は、電力、効率、フォームファクタ、開発時間などの多くの要因に依存します。

1.1.1 固定周波数フライバック

名前が示すように、FF フライバックは事前定義された固定周波数でスイッチングします。FF フライバックは、不連続導通モード (DCM) または連続導通モード (CCM) のいずれかで動作します。

DCM では、変圧器に蓄えられたエネルギーは完全に二次側に伝達されます。CCM では、エネルギーは完全にセカンダリに転送されません。したがって、2 次電流 I_{SEC} は次のスイッチングサイクルの前にゼロに到達しません。DCM および CCM 動作の MOSFET ドレイン電圧 (V_{DS}) の一次電流 (I_{PRI}) および二次電流 (I_{SEC}) の波形については、**Figure 2** を参照してください。

疑似共振と固定周波数フライバックの比較

60W 電源における ICE5xSxG および ICE5QSxG

はじめに

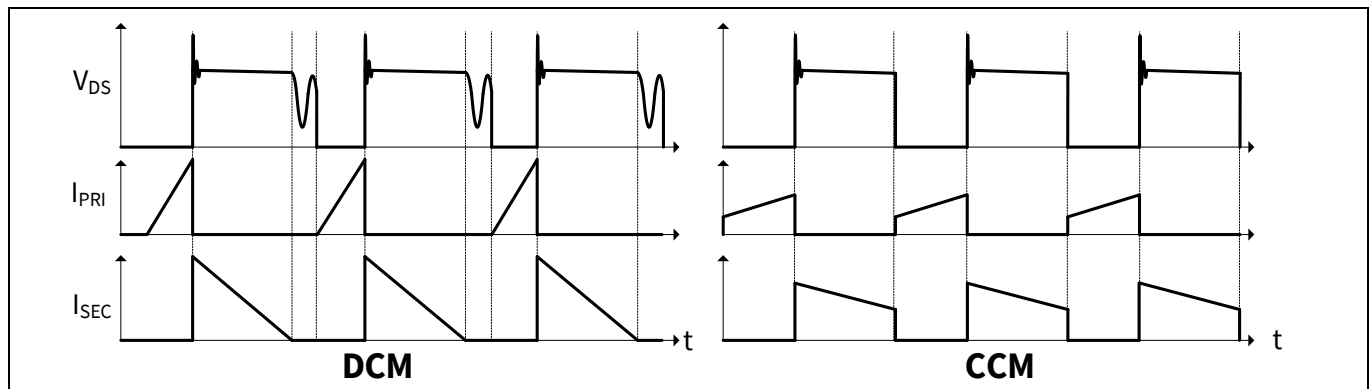


Figure 2 DCM と CCM の波形

インフィニオンの第 5 世代 FF コントローラー ICE5xSxG および CoolSET™ ICE5xRxxxAG は、中負荷から軽負荷での周波数低減機能を実装しました (Figure 3 を参照)。この方式により、スイッチング損失が減少し、軽負荷での効率が向上します。市場に出回っているほとんどのコントローラーは、全負荷範囲にわたって単一のスイッチング周波数で動作します。

周波数低減の他に、アクティブバーストモード (ABM) もインフィニオンの第 5 世代 FF に実装されており、低待機電力と超軽負荷時効率に貢献します。ABM には、3 つの選択可能な動作開始/解除電力レベルがあります (ABM の無効化を含む)。

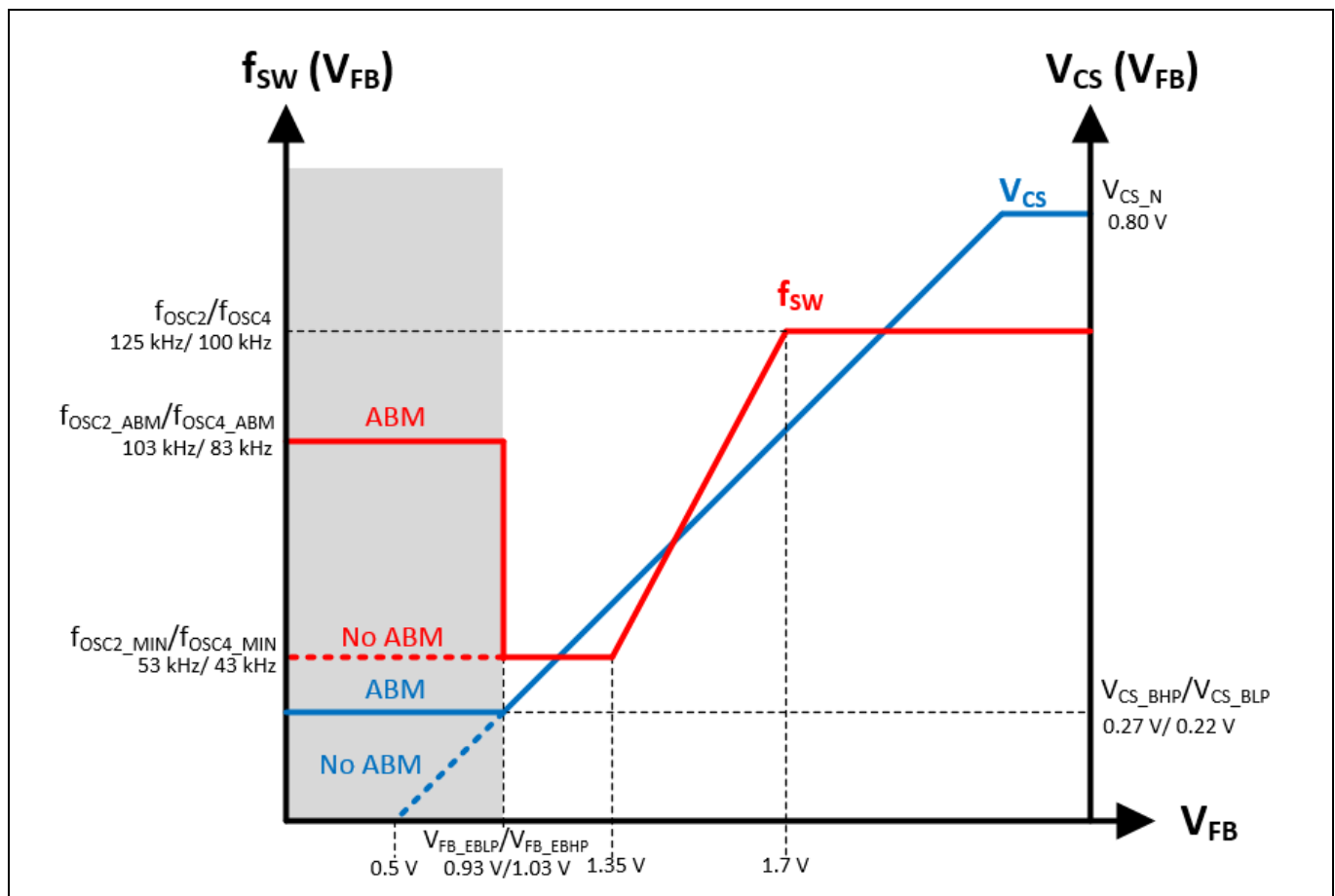


Figure 3 V_{FB} の関数としての第 5 世代 FF 周波数低減

はじめに

1.1.2 QR フライバック

トランスに蓄積されたエネルギーが二次側に完全に放電された後、MOSFET ドレイン端子で発振が発生します。これは、一次側インダクタンスと MOSFET のドレイン-ソース間容量によるものです。反射電圧 V_R に依存する電圧リングは、共振底部 (ボトム) を生成します。コントローラーがボトムを検出すると、QR またはバレースイッチングフライバック動作のために MOSFET をオンにします。QR 動作の MOSFET V_{DS} 、 I_{PRI} 、および I_{SEC} 波形については、[Figure 4](#) を参照してください。

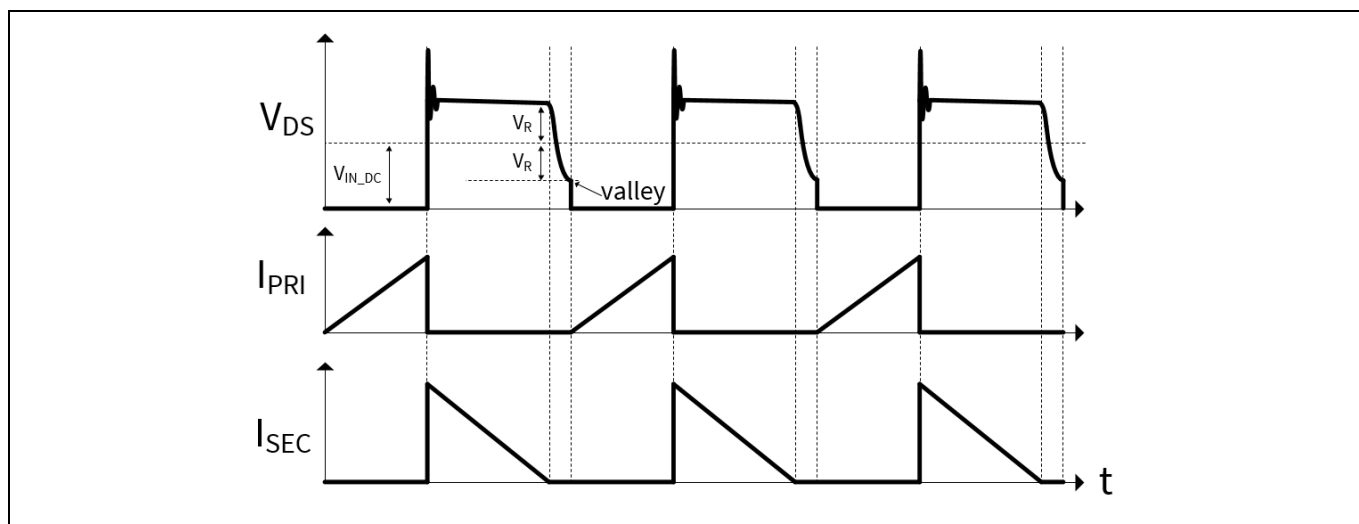


Figure 4 QR 波形

QR スイッチング周波数は可変です。従来の QR コントローラーのスイッチング周波数は、負荷が減少するにつれて指数関数的に増加します。インフィニオンの第 5 世代 QR コントローラー ICE5QSxG および CoolSET™ ICE5QRxxxAx は、スイッチング周波数が大幅に増加するのを防ぐために、デジタル周波数低減を備えた新しい QR スイッチングスキームを実装します。したがって、スイッチング損失が最小限に抑えられます。さらに、IC は軽負荷で ABM に入り、スイッチング周波数を制限し、最低の待機電力を実現します。ABM 中、操作は引き続き QR モードで動作します。[Figure 5](#) に、従来の QR コントローラーと比較した第 5 世代 QR のスイッチング周波数曲線の例を示します。

疑似共振と固定周波数フライバックの比較

60W 電源における ICE5xSxG および ICE5QSxG

はじめに

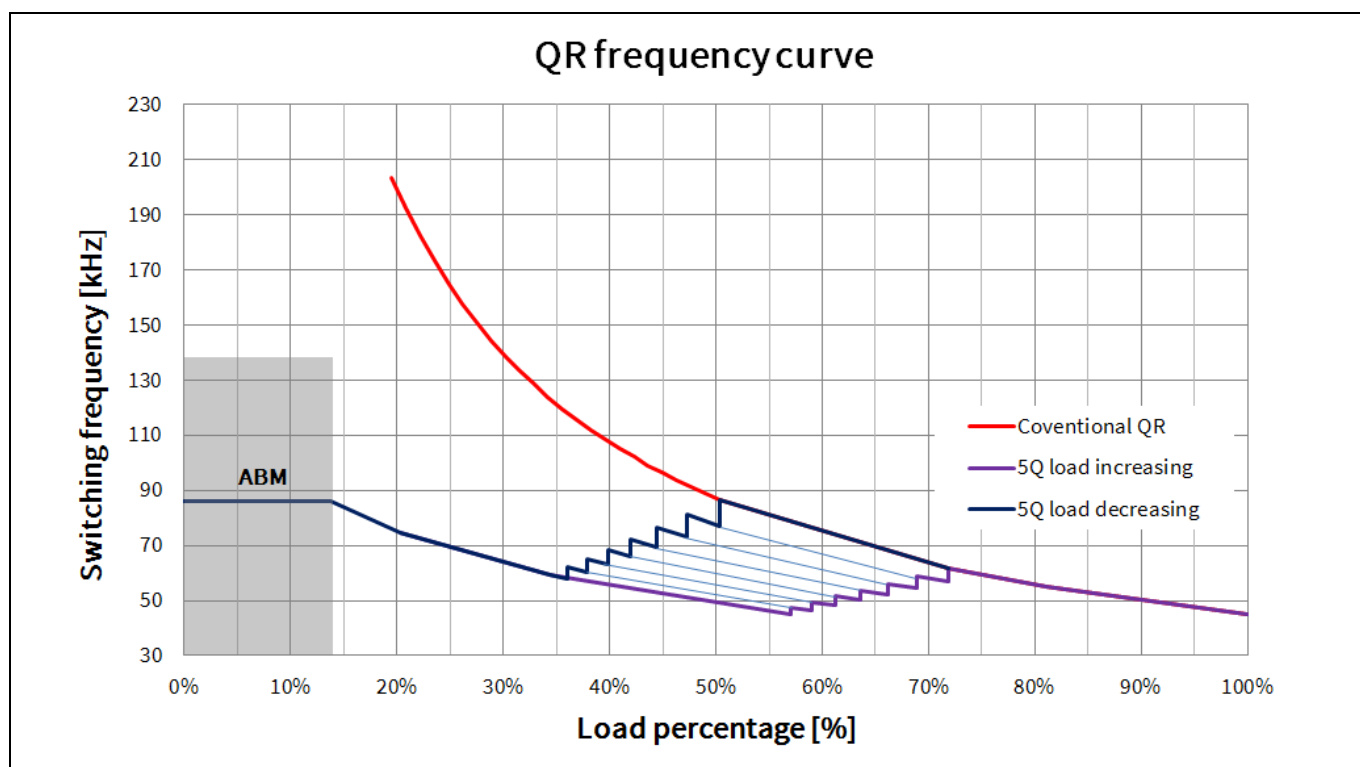


Figure 5 第 5 世代 QR と従来の QR フライバック周波数曲線の例

はじめに

1.1.3 FF DCM、FF CCM、QR の長所と短所

次の表に、各フライバックスイッチングモードの長所と短所を示します。これは、さまざまな条件によって異なります。

Table 1

アプリケーション パラメーター	FF DCM	FF CCM	QR
MOSFET の導通損失、トランスの巻線損失、および出力ダイオードの導通損失	最大 <ul style="list-style-type: none"> 一次ピーク電流が高いと、RMS 電流が高くなる 	小さい <ul style="list-style-type: none"> 一次ピーク電流が低いと、RMS 電流が低くなる 	大きい <ul style="list-style-type: none"> 全負荷時の FF DCM に匹敵 周波数の増加によりピーク電流が低くなるため、軽負荷では FF DCM よりも低損失
出力ダイオードの逆回復損失 (導通状態からブロッキング状態への遷移)	実質的にゼロ <ul style="list-style-type: none"> ダイオードブロッキング状態の前、ゼロ電流 高速ダイオードの使用が可能 	高い <ul style="list-style-type: none"> ダイオードブロッキング状態の前、非ゼロ電流 超高速またはショットキーダイオードが必要 	実質的にゼロ <ul style="list-style-type: none"> ダイオードブロッキング状態の前、ゼロ電流 高速ダイオードの使用が可能
MOSFET のターンオン損失	小さい <ul style="list-style-type: none"> C_{oss} 損失 ゼロドレイン電流によるターンオン損失なし 	最大 <ul style="list-style-type: none"> C_{oss} 損失とターンオン損失 (ゼロ以外のドレイン電流) 	最小 <ul style="list-style-type: none"> 最小のボトムスイッチによる C_{oss} 損失 ゼロドレイン電流によるターンオン損失なし より高い反射電圧設計による ZVS の可能性
出力コンデンサ	大きい <ul style="list-style-type: none"> 高リップル電流 高リップル電圧 	最小 <ul style="list-style-type: none"> 低リップル電流 低リップル電圧 	大きい <ul style="list-style-type: none"> 高リップル電流 高リップル電圧 出力に AC リップル
フィードバックと電流ループの安定性の設計	易しい <ul style="list-style-type: none"> スロープ補正は不要 	難しい <ul style="list-style-type: none"> 50%を超えるデューティサイクルでのサブハーモニック発振を回避するためにスロープ補償が必要 	中くらい <ul style="list-style-type: none"> スロープ補正は不要 可変周波数の考慮が必要
変圧器の設計	易しい <ul style="list-style-type: none"> 小さい変圧器 	中くらい <ul style="list-style-type: none"> より高いインダクタンス設計のため、より大きな変圧器 	易しい <ul style="list-style-type: none"> 追加の巻線ボトムを検出

疑似共振と固定周波数フライバックの比較

60W 電源における ICE5xSxG および ICE5QSxG



はじめに

アプリケーション パラメーター	FF DCM	FF CCM	QR
動作周波数	固定	固定	可変 <ul style="list-style-type: none">負荷を減らすと周波数が高くなるため、軽負荷での EMI を確認出力ピーク電力中に周波数が可聴範囲に入る可能性あり
最大供給電力の入力 ライン依存関係	正確	精度が低い <ul style="list-style-type: none">出力ピーク電力中の素子耐量について考慮	精度が低い <ul style="list-style-type: none">出力ピーク電力中の素子耐量について考慮
平均効率	低い <ul style="list-style-type: none">大きい導通損失 中負荷から最大負荷まで	高い <ul style="list-style-type: none">重負荷からの最大負荷までの最小損失	最も良い <ul style="list-style-type: none">軽負荷から重負荷までの損失が最小高入力ラインでの最小損失
電力範囲	低い <ul style="list-style-type: none">サイズと設計の容易さが優先される最大 100W	高い <ul style="list-style-type: none">導通損失が支配的な 100W 以上	中くらい <ul style="list-style-type: none">高効率が要求される場合は最大 100 W

2 評価ボード

性能比較に使用した評価ボードは DEMO_5QSAG_60W1 デモボードです。ICE5QSxG コントローラーと IPA80R600P7CoolMOSTM を使用して設計されます。ユニバーサル入力 (85 VAC~300 VAC) を備えたデュアル出力 (12 V/4.58A および 5 V/1 A) です。ここでは 12V 出力のみ使用されます。トランスに 5 V 出力巻線を追加しないことで 5V 出力を無効にします。出力検出抵抗 R25A はオープン、R25 は 9.5k Ω に変更されます。

より良い比較を行うために、1つの評価ボードのみが使用されます。ボードは、QR (ICE5QSxG) と FF (ICE5ASAG) の間で構成でき、入力ステージ (EMI ネットワーク、ブリッジダイオード、バルクコンデンサ)、電力変換ステージ (パワー-MOSFET、トランス)、出力ステージ (二次整流ダイオード、出力コンデンサ、LC フィルター) などの同じ主要コンポーネントを維持します。



Figure 6 DEMO_5QSAG_60W1 の上面図

疑似共振と固定周波数フライバックの比較

60W 電源における ICE5QSxG および ICE5QSxG

評価ボード

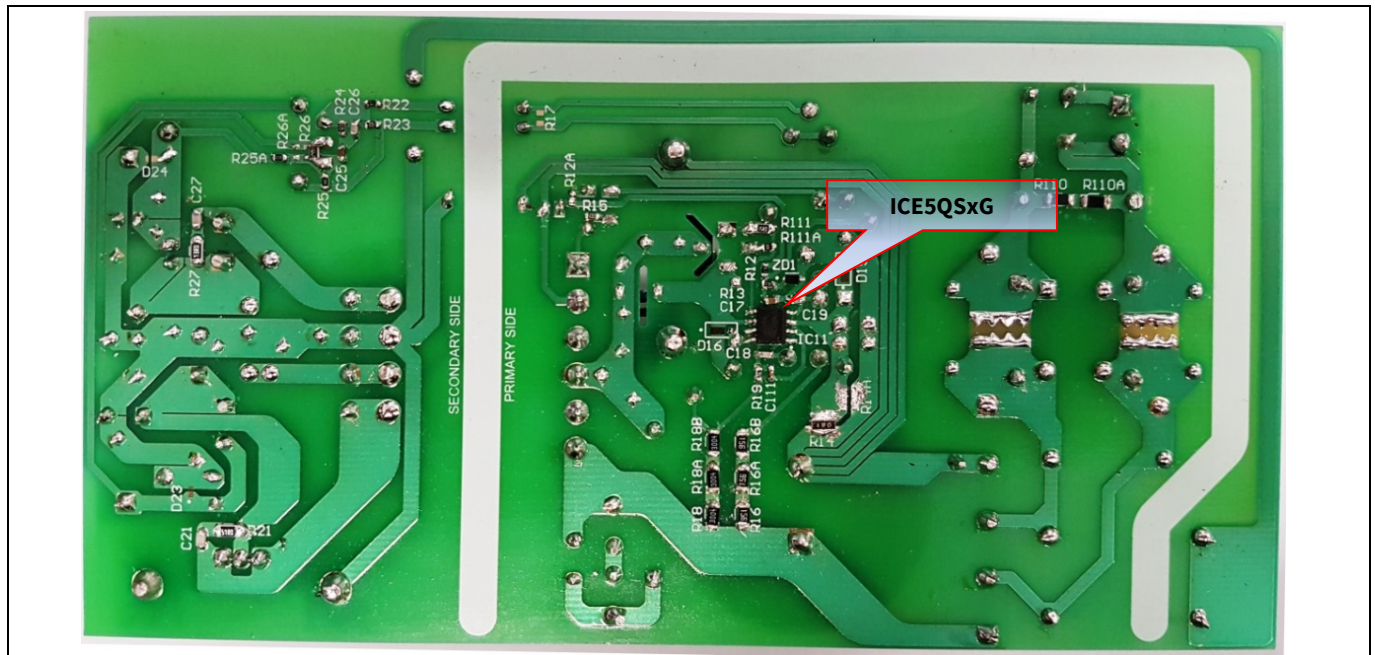


Figure 7 DEMO_5QSAG_60W1 の底面図

2.1 回路図

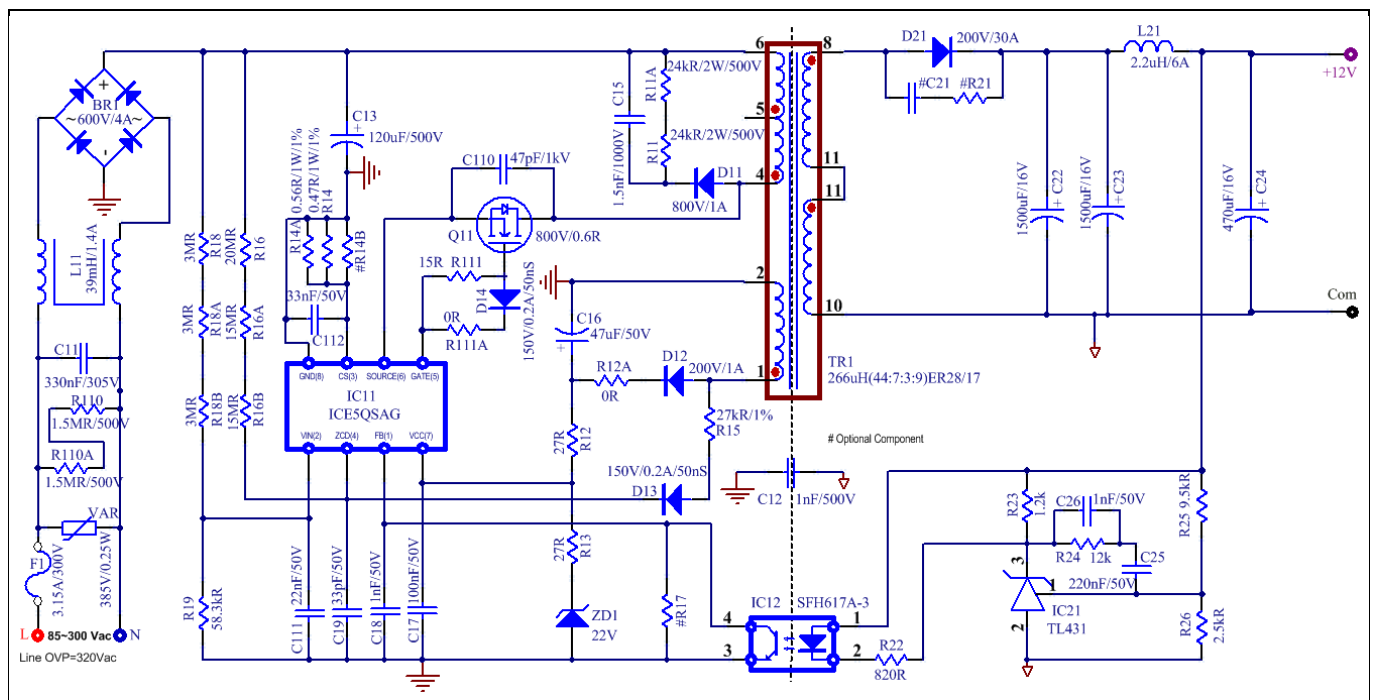


Figure 8 ICE5QSxG 回路図

疑似共振と固定周波数フライバックの比較

60W 電源における ICE5xSxG および ICE5QSxG

評価ボード

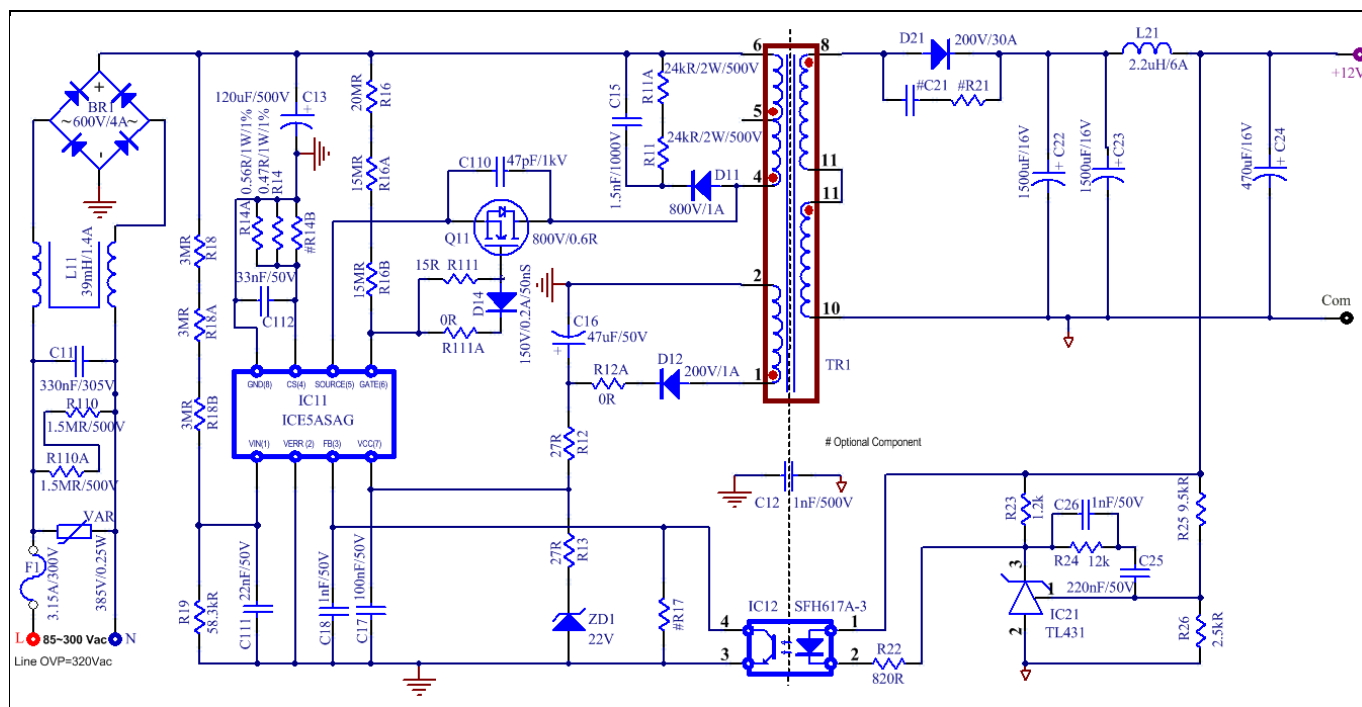


Figure 9 ICE5ASAG 回路図

2.2 プリント基板レイアウト

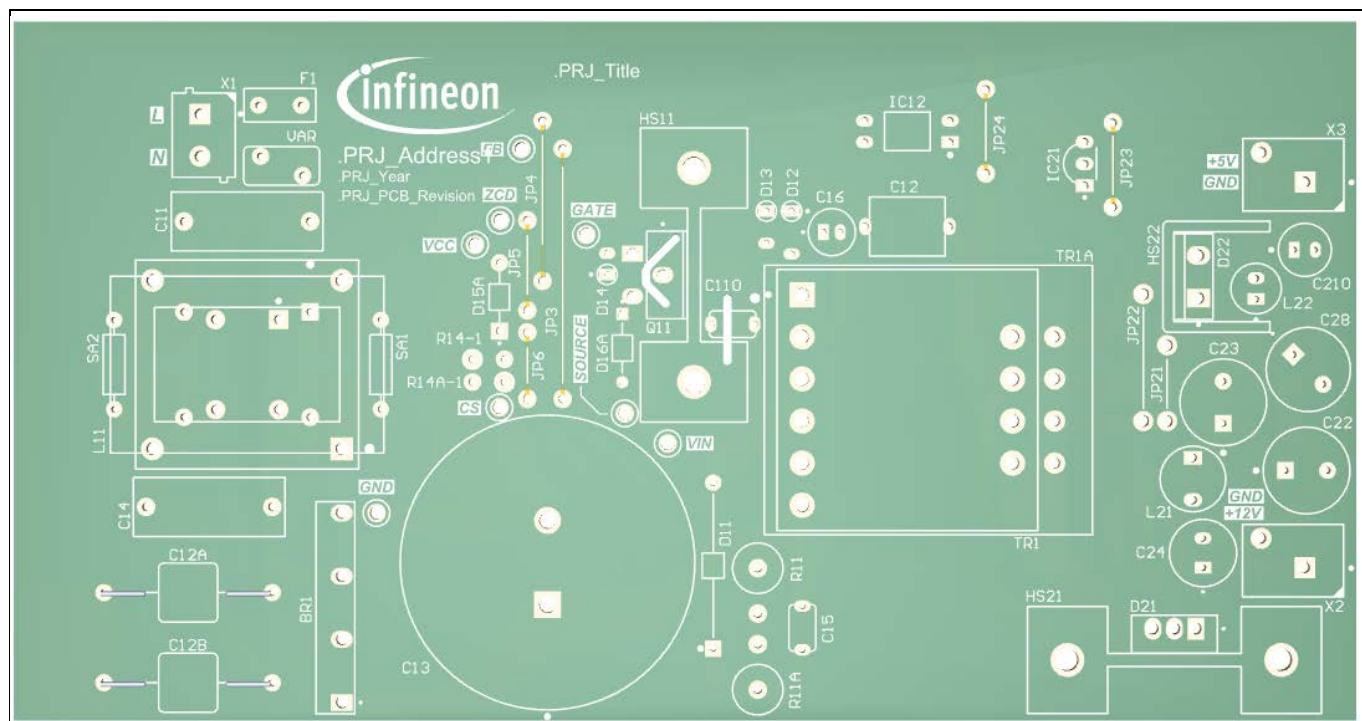


Figure 10 DEMO_5QSAG_60W1 の最上層

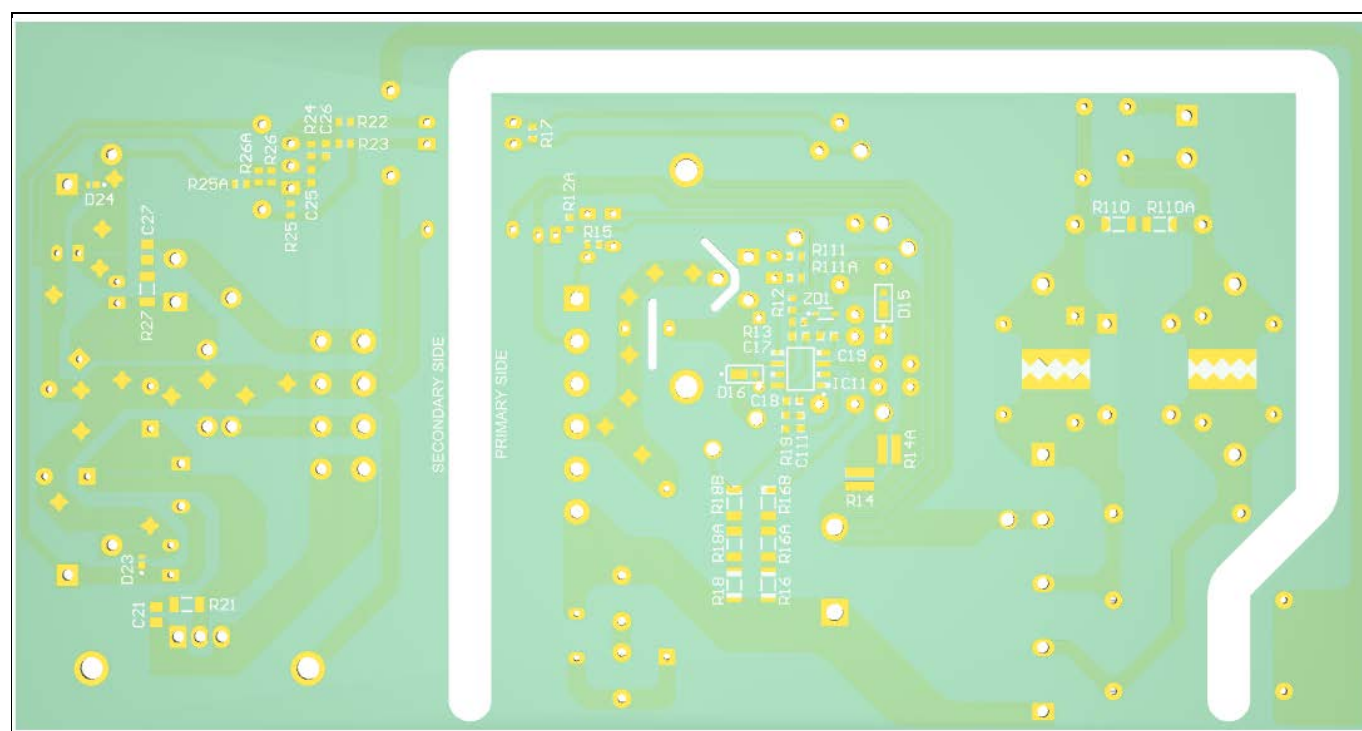


Figure 11 DEMO_5QSAG_60W1 の最下層

2.3 部品表 (BOM)

Table 2 BOM

番号	指示子	説明	製品番号	メーカー	数量
1	BR1	600 V/4 A	D4SB60L	Shindengen	1
2	C11	0.33 μ F/305 V	B32922C3334M000	Epcos	1
3	C12	1 nF/500 V	DE1E3RA102MA4BQ	村田製作所	1
4	C13	120 μ F/500 V	LGN2H121MELB30		1
5	C15	1.5 nF/1000 V	RDE7U3A152J3K1H03	村田製作所	1
6	C16	47 μ F/50 V	35PX47MEFC5X11	Rubycon	1
7	C17	100 nF/50 V	GRM188R71H104KA93D	村田製作所	1
8	C18, C26	1 nF/50 V	GRM1885C1H102GA01D	村田製作所	2
9	C19 ¹	33 pF/50 V	GRM1885C1H330GA01D	村田製作所	1
10	C110	47 pF/1000 V	RDE7U3A470J2K1H03	村田製作所	1
11	C111	22 nF/50 V	GCM188R71H223KA37D	村田製作所	1
12	C112	33 nF/50 V	GRM188R71H333KA61D	村田製作所	1
13	C22, C23	1500 μ F/16 V	16ZLH1500MEFC10X20	Rubycon	2
14	C24	470 μ F/16 V	16ZLH470MEFC8X11.5	Rubycon	1
15	C25	220 nF/50 V	GRM188R71H224KAC4D	村田製作所	1
19	D11	1 A/800 V	UF4006		1
20	D12	1 A/200 V	1N4003-E3/54		1

¹ FF セットアップには取り付けられていません。

疑似共振と固定周波数フライバックの比較

60W 電源における ICE5xSxG および ICE5QSxG

評価ボード



番号	指示子	説明	製品番号	メーカー	数量
21	D13 ¹ , D14	0.2 A/150 V/50 ns	FDH400		1
22	D21	30 A/200 V	VF30200C-E3/4W		1
24	F1	3.15 A/300 V	36913150000		1
25	HS11, HS21	Heatsink	513102B02500G		2
27	IC11	ICE5QSxG	ICE5QSxG	Infineon	1
28	IC12	Optocoupler	SFH617A-3		1
29	IC21	Shunt regulator	TL431BVLPG		1
30	JP3, JP4, JP5, JP6, JP23	ジャンパ			5
31	L11	39 mH/1.4 A	B82734R2142B030	Epcos	1
32	L21	2.2 μ H/6 A	744772022	Würth Electronics	1
34	Q11	800 V/600 m Ω	IPA80R600P7	Infineon	1
35	R11, R11A	24 k Ω /2 W/500 V	PR02000202402JR500		2
36	R12, R13	27 Ω	0603 抵抗器		2
37	R12A, R111A	0 Ω	0603 抵抗器		2
38	R14 ²	0.47 Ω / 0.75W / \pm 1 %	ERJ-B2BFR47V		1
39	R14A ²	0.56 Ω / 0.75W / \pm 1 %	ERJ-B2BFR56V		1
40	R15 ¹	27 k Ω / \pm 1 %	0603 抵抗器		1
41	R16	20 M Ω	1206 抵抗器		1
42	R16A, R16B	15 M Ω	1206 抵抗器		2
43	R18, R18A, R18B	3 M Ω	1206 抵抗器		3
44	R19	58.3 k Ω / 0.1 W /0.5 %	RT0603DRE0758K3L		1
45	R110, R110A	1.5 M Ω /500 V	1206 抵抗		2
46	R111	15 Ω	0603 抵抗器		1
47	R22	820 Ω	0603 抵抗器		1
48	R23	1.2 k Ω	0603 抵抗器		1
49	R24	12 k Ω	0603 抵抗器		1
50	R25	9.5 k Ω	0603 抵抗器		1
52	R26	2.5 k Ω	0603 抵抗器		1
54	TR1	266 μ H	750343773 (Rev. 02)	Würth Electronics	1
55	FB, VIN, CS, ZCD, GATE, SOURCE, VCC, GND	Test point	5010		8
56	VAR	0.25 W/385 V	B72207S0381K101	Epcos	1
57	ZD1	22 V	DZ2J220M0L		1
58	Con (L N)	コネクタ	691102710002	Würth Electronics	1
59	Con (+12 V com), Con (+5 V com)	コネクタ	691 412 120 002B	Würth Electronics	2

² 電流検出抵抗は、必要なテストに応じて調整されます。

3 QR および FFDCM の比較

3.1 テスト条件とセットアップ

デモンストレーションボード (P/N: DEMO_5QSAG_60W1) は元々QR (ICE5QSxG) コントローラーに基づいて設計されていたため、トランスは 40 kHz (85 V AC で全負荷) で設計されます。比較を容易にするために、FF コントローラー (ICE5ASAG) の 100kHz スイッチング周波数に対応するようにトランスを再設計する必要があります。元の設計からの 2 番目の出力 (+5 V) は、比較を簡単にするために削除しました。

Core: ER28/14 TP4A				
Primary inductance: 120 μ H				
Start	Stop	No. of turns	Wire size	Layer
4	5	12	4 x AWG#28	1/2 Primary
6		5	3 x AWG#28	Shield
8	10	4	1 x TIW LITZ (120x38)	Secondary
6		5	3 x AWG#28	Shield
5	6	12	4 x AWG#28	1/2 Primary
1	2	5	1 x AWG#28	Auxiliary

Figure 12 QR および FFDCM トランスの仕様

ICE5QSxG および ICE5xSxG ではピーク電流制限 (PCL) 閾値電圧 (V_{CS_N}) レベルが異なるため、電流検出 (CS) 抵抗も Table 3 に示すように変更され、過負荷電力を可能な限り近くします。

Table 3 ICE5QSxG および ICE5ASAG V_{CS_N} および CS 抵抗 (R14)

コントローラー	V_{CS_N}	CS 抵抗 (R14)
ICE5QSxG	1.0 V	0.273 Ω
ICE5ASAG	0.8 V	0.243 Ω

3.2 周波数曲線

負荷が減少しているとき、QR はより高いスイッチング周波数を持ちます。これは、スイッチング損失が高くなりますが、RMS 電流が低くなるため導通損失が低くなるのが原因である可能性があります。

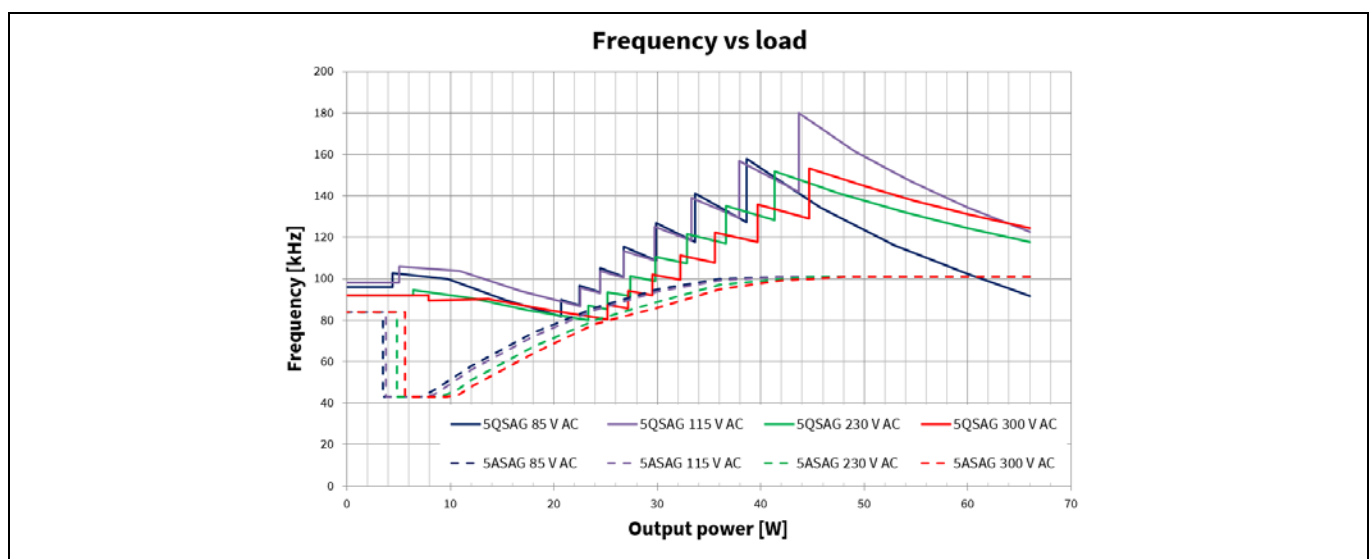


Figure 13 周波数と出力負荷

疑似共振と固定周波数フライバックの比較

60W 電源における ICE5xSxG および ICE5QSxG

QR および FFDCM の比較



3.3 電気試験測定

入力電力は、WT210 電力計統合機能を使用して測定されます。測定の順序は、全負荷から無負荷までであり、QR はより高いスイッチング周波数で動作します。

3.3.1 電気試験測定

Table 4 QR コントローラーに基づく電気測定 (100 kHz トランス設計の ICE5QSxG)

入力 (V AC/Hz)	P _{IN} (W)	V _{OUT} (V)	I _{OUT} (A)	P _{OUT} (W)	効率 (%)	平均効率 (%)	OLP P _{IN} (W)	OLP I _{OUT} (A)
85 V AC/ 60 Hz	0.05933	12.0647	0.0000				85.86	5.60
	7.492	12.0635	0.5000	6.03	80.51%			
	18.180	12.0614	1.2506	15.08	82.97%	81.77%		
	36.523	12.0580	2.5018	30.17	82.60%			
	55.325	12.0548	3.7531	45.24	81.78%			
	75.630	12.0510	5.0031	60.29	79.72%			
115 V AC/ 60 Hz	0.06310	12.0647	0.0000				97.60	6.54
	7.548	12.0637	0.5000	6.03	79.91%			
	18.044	12.0617	1.2506	15.08	83.60%	83.55%		
	35.971	12.0588	2.5018	30.17	83.87%			
	53.958	12.0553	3.7531	45.24	83.85%			
	72.762	12.0517	5.0031	60.30	82.87%			
230 V AC/ 50 Hz	0.08953	12.0648	0.0000				102.12	7.01
	7.556	12.0631	0.5000	6.03	79.83%			
	18.440	12.0617	1.2506	15.08	81.80%	83.43%		
	36.098	12.0583	2.5018	30.17	83.57%			
	53.788	12.0553	3.7531	45.24	84.12%			
	71.580	12.0518	5.0031	60.30	84.24%			
265 V AC/ 50 Hz	0.10167	12.0655	0.0000				106.27	7.31
	7.639	12.0632	0.5000	6.03	78.96%			
	18.653	12.0617	1.2506	15.08	80.87%	82.91%		
	36.304	12.0583	2.5018	30.17	83.10%			
	54.108	12.0549	3.7531	45.24	83.62%			
	71.718	12.0509	5.0031	60.29	84.07%			
300 V AC/ 50 Hz	0.12098	12.0652	0.0000				109.63	7.54
	7.727	12.0632	0.5000	6.03	78.06%			
	18.898	12.0616	1.2506	15.08	79.82%	82.26%		
	36.623	12.0580	2.5018	30.17	82.37%			
	54.400	12.0548	3.7531	45.24	83.17%			
	72.048	12.0515	5.0031	60.29	83.69%			

疑似共振と固定周波数フライバックの比較

60W 電源における ICE5xSxG および ICE5QSxG

QR および FFDCM の比較



Table 5 DCM の FF コントローラー (ICE5ASAG) に基づく電気測定

入力 (V AC/Hz)	P _{IN} (W)	V _{OUT} (V)	I _{OUT} (A)	P _{OUT} (W)	効率 (%)	平均効率 (%)	OLP P _{IN} (W)	OLP I _{OUT} (A)
85 V AC/ 60 Hz	0.06623	12.0656	0.0000				86.56	5.66
	7.355	12.0640	0.5000	6.03	82.01%			
	18.214	12.0618	1.2506	15.08	82.82%	81.39%		
	36.733	12.0585	2.5018	30.17	82.13%			
	55.835	12.0551	3.7531	45.24	81.03%			
	75.762	12.0514	5.0031	60.29	79.58%			
115 V AC/ 60 Hz	0.07006	12.0661	0.0000				86.07	5.80
	7.344	12.0644	0.5000	6.03	82.14%			
	18.029	12.0619	1.2506	15.08	83.67%	83.06%		
	36.106	12.0586	2.5018	30.17	83.56%			
	54.557	12.0553	3.7531	45.24	82.93%			
	73.464	12.0516	5.0031	60.30	82.07%			
230 V AC/ 50 Hz	0.10061	12.0656	0.0000				87.08	6.00
	7.606	12.0641	0.5000	6.03	79.30%			
	18.285	12.0618	1.2506	15.08	82.50%	83.40%		
	36.056	12.0584	2.5018	30.17	83.67%			
	54.028	12.0551	3.7531	45.24	83.74%			
	72.048	12.0514	5.0031	60.29	83.69%			
265 V AC/ 50 Hz	0.11470	12.0652	0.0000				89.16	6.13
	7.722	12.0639	0.5000	6.03	78.11%			
	18.416	12.0617	1.2506	15.08	81.91%	83.01%		
	36.361	12.0585	2.5018	30.17	82.97%			
	54.154	12.0548	3.7531	45.24	83.54%			
	72.096	12.0512	5.0031	60.29	83.63%			
300 V AC/ 50 Hz	0.13330	12.0659	0.0000				91.10	6.25
	7.853	12.0640	0.5000	6.03	76.81%			
	18.598	12.0619	1.2506	15.08	81.11%	82.51%		
	36.686	12.0585	2.5018	30.17	82.23%			
	54.365	12.0552	3.7531	45.24	83.22%			
	72.228	12.0515	5.0031	60.29	83.48%			

疑似共振と固定周波数フライバックの比較

60W 電源における ICE5xSxG および ICE5QSxG

QR および FFDCM の比較



3.3.2 効率曲線

QR の全負荷効率は FFDCM よりも高くなります (115 V AC で最大 0.8%)。これは、RMS 電流が低いために導通損失が低くなるためです。RMS 電流が低いのは、スイッチング周波数が高く、ピーク電流が低いからです。スイッチング周波数は高くなりますが、電力が高くなると導通損失が支配的になります。

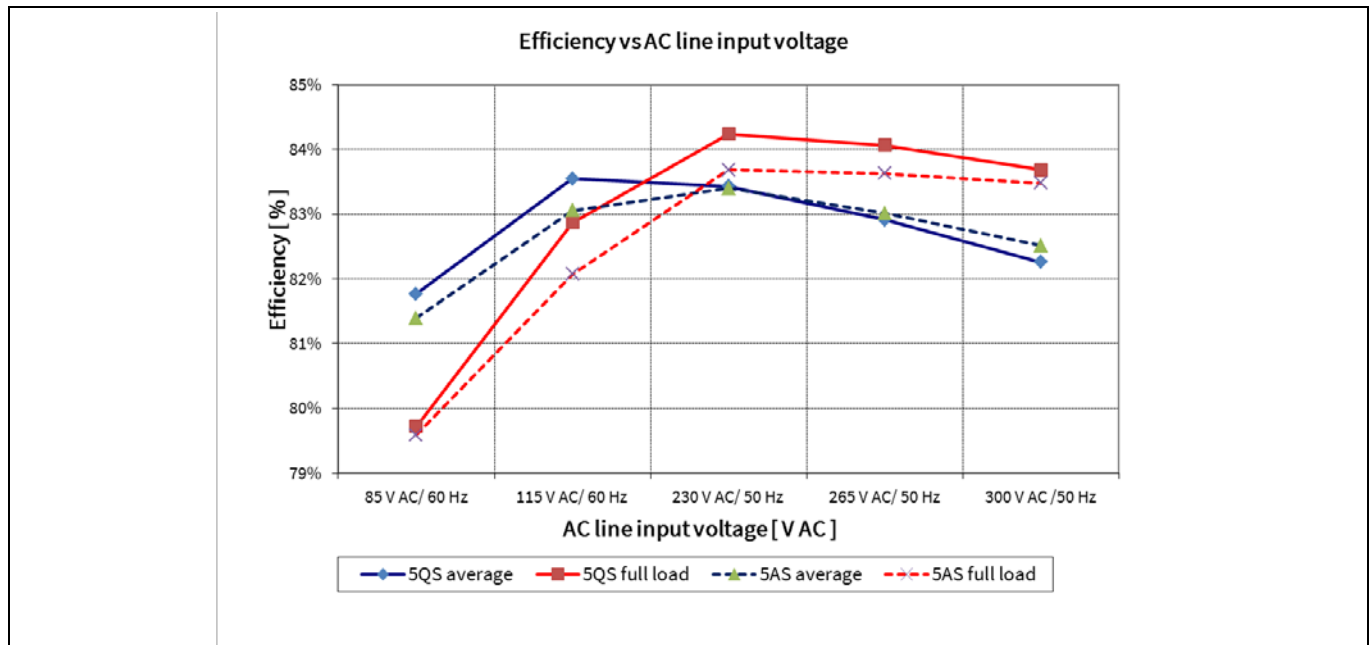


Figure 14 平均および全負荷効率

負荷が減少し、特に入力電圧が高くなると、スイッチング損失が支配的になり始めます。したがって、**Figure 15** に示すように、QR のスイッチング周波数が高くなると、効率が低下します。230 V AC では、25%と 50%の負荷スイッチング周波数の差はそれぞれ約 30kHz と 20kHz です。

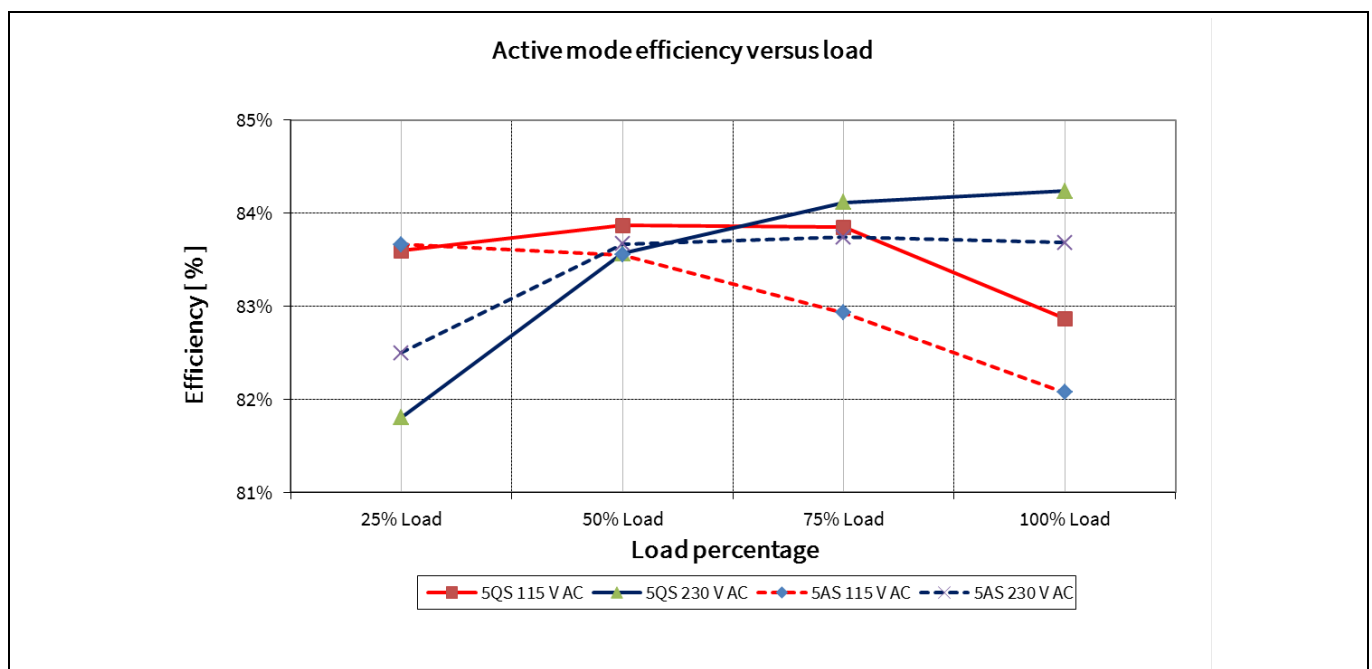


Figure 15 115 V AC および 230 V AC の効率

疑似共振と固定周波数フライバックの比較

60W 電源における ICE5xSxG および ICE5QSxG

QR および FFDCM の比較

3.3.3 過負荷前の最大入力電力

FF DCM の最大入力電力は、固有の FF スwitchングに伝搬遅延補償 PCL が追加されるため、QR と比較して AC ラインに対する許容誤差が小さくなります。

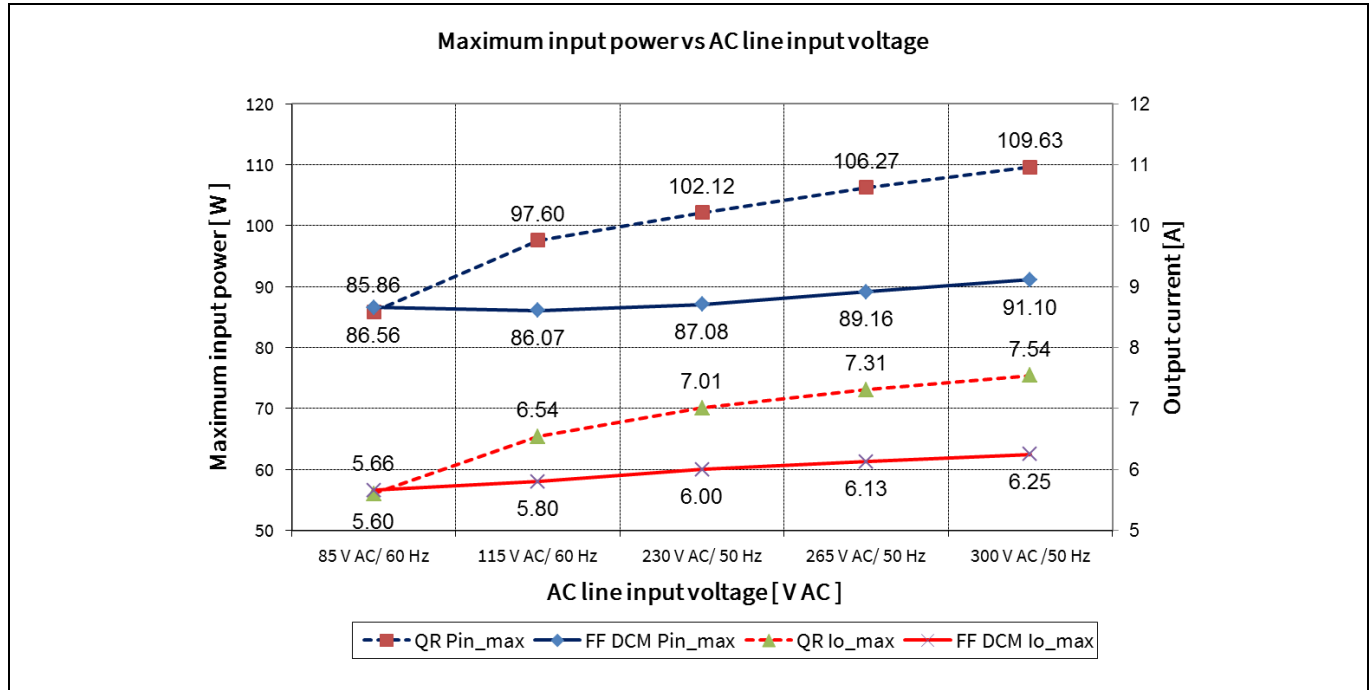


Figure 16 最大入力電力と AC ライン入力電圧

3.4 波形とオシロスコープのプロット

3.4.1 ドレイン電圧と電流

Figure 17 に示すように、QR と FF DCM の両方のドレインピーク電流とスイッチング周波数は同じです。これにより、QR と FF DCM の両方の全負荷効率が 85 V AC でほぼ等しくなります。

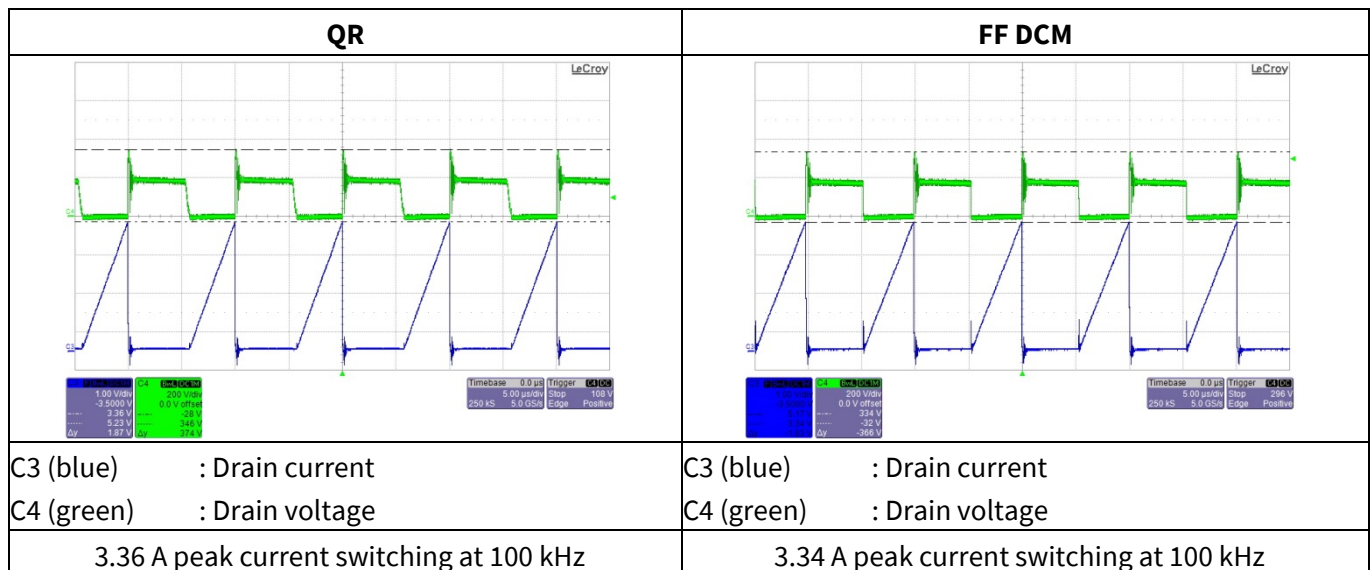


Figure 17 85 V AC 全負荷でのドレイン電圧および電流波形

疑似共振と固定周波数フライバックの比較

60W 電源における ICE5xSxG および ICE5QSxG

QR および FFDCM の比較

入力電圧が高くなると、QR スイッチング周波数が高くなります。したがって、ドレインピーク電流が低くなり、導通損失が低くなります。スイッチング周波数が高いほどスイッチング損失は高くなりますが、特に高いピーク電流では導通損失が支配的です。これにより、QR の全負荷効率が 300 V AC での FF DCM と比較して高くなります。

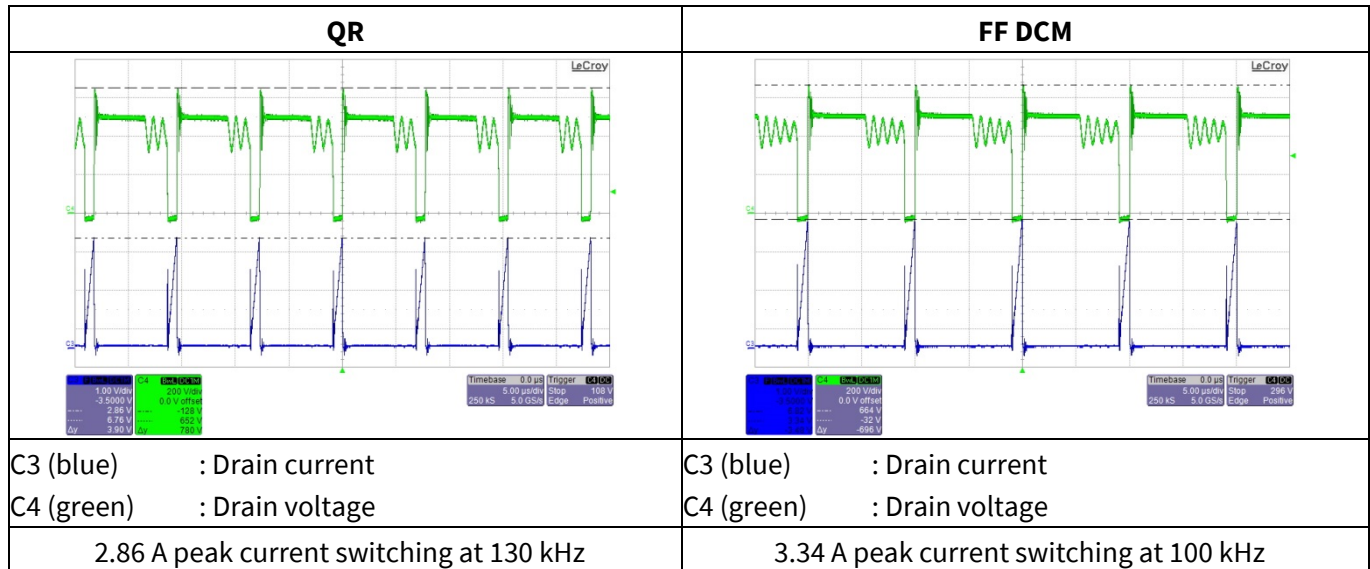


Figure 18 300 V AC 全負荷でのドレイン電圧および電流波形

3.4.2 出力リップル電圧

QR のスイッチング周波数は入力電圧に依存します。したがって、QR の出力電圧リップルは FF DCM よりも AC 成分リップルが大きくなります。出力電圧リップルは、バス電圧リップルが大きいためスイッチング周波数の変化が大きい低入力電圧でより顕著になります。

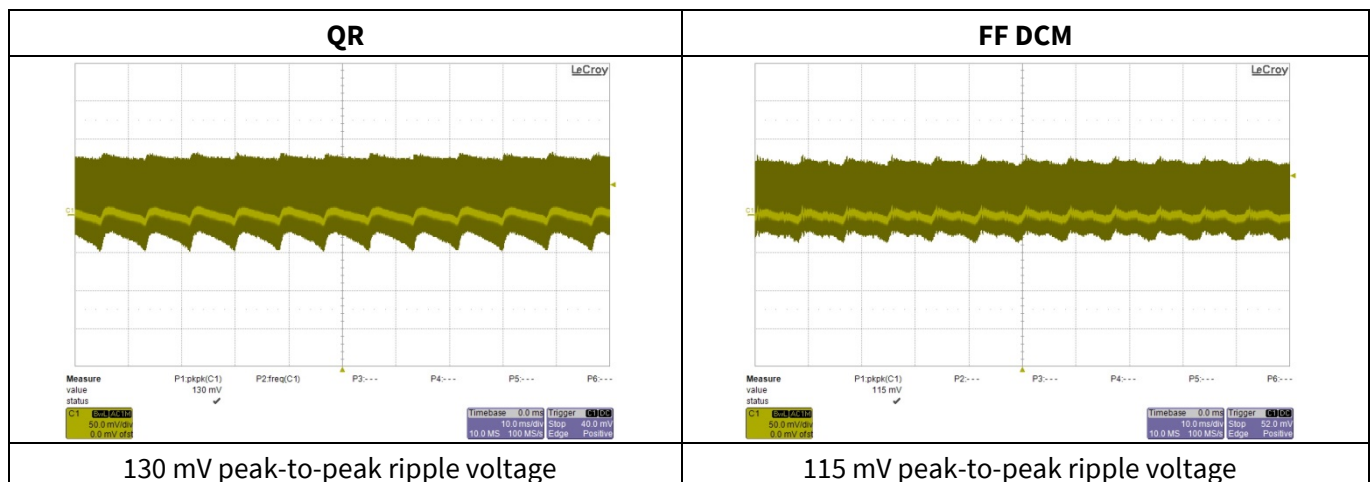


Figure 19 85 V AC 全負荷での出力電圧リップル。プローブ端子は、1 μ F のセラミックコンデンサでデカップリング。オシロスコープは、20MHz に制限された帯域幅フィルター。

疑似共振と固定周波数フライバックの比較

60W 電源における ICE5xSxG および ICE5QSxG

QR および FFDCM の比較

入力電圧が高い場合、バス電圧リップルが低いためスイッチング周波数の変化が非常に小さいので、QR の AC 成分リップルは無視できます。内蔵の周波数出力により、FF DCM には小さな 250Hz の電圧リップルがあります。

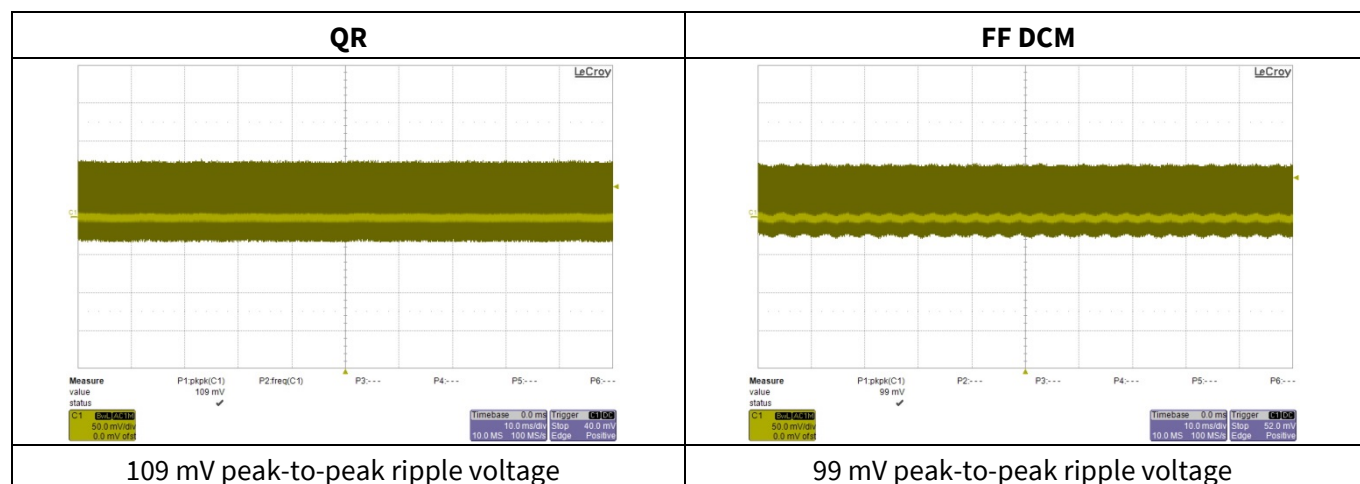


Figure 20 300 V AC 全負荷での出力電圧リップル。プローブ端子は、1 μ F のセラミックコンデンサでデカップリング。オシロスコープは、20MHz に制限された帯域幅フィルター。

3.5 熱測定

QR および FF DCM のパワーコンポーネント温度に大きな違い ($\pm 4^{\circ}\text{C}$ 未満) はありません。

Table 6 25 $^{\circ}\text{C}$ の周囲温度の下でのオープンケースでの熱測定

	85 V AC				300 V AC			
	コントローラー	MOSFET	変圧器	出力ダイオード	コントローラー	MOSFET	変圧器	出力ダイオード
QR	102.0	70.7	84.0	98.2	61.9	68.8	93.1	95.3
FF DCM	99.7	73.0	81.3	94.7	63.7	68.4	90.6	95.0

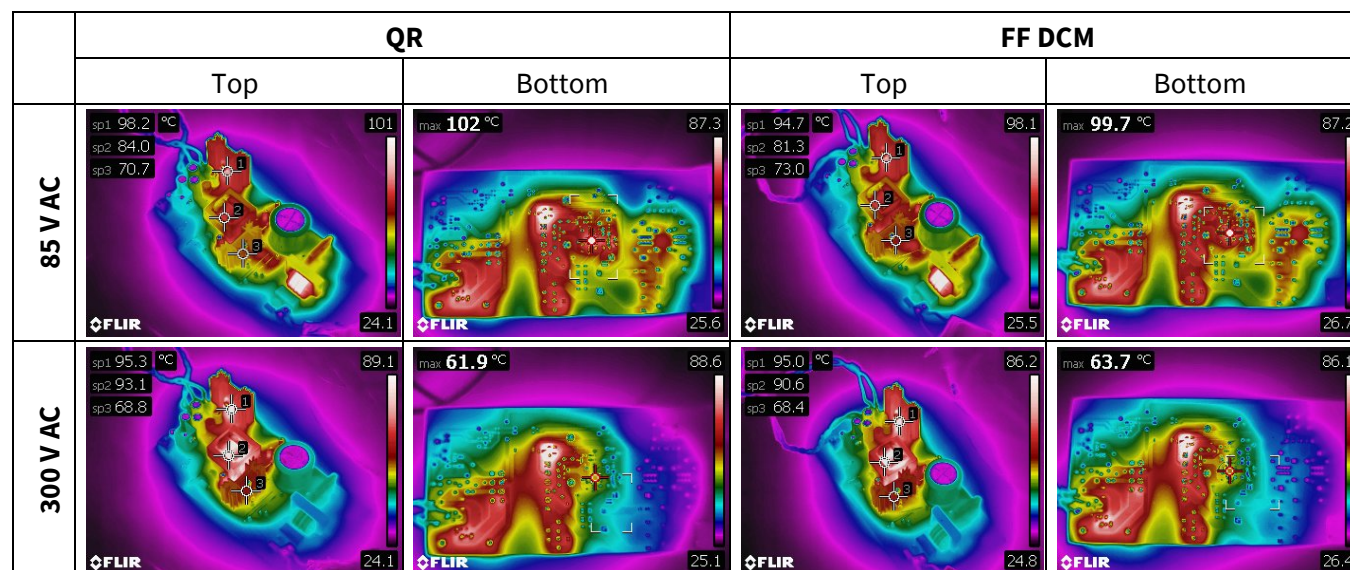


Figure 21 25 $^{\circ}\text{C}$ の周囲温度でのオープンケースの熱画像

疑似共振と固定周波数フライバックの比較

60W 電源における ICE5xSxG および ICE5QSxG

QR および FFDCM の比較



3.6 EMI 測定

Table 7 準ピークマージン測定

	115 V AC		230 V AC	
	Line	Neutral	Line	Neutral
QR	9.4 dB at 9.8 MHz	9.9 dB at 8.9 MHz	6 dB at 10.1 MHz	8.7 dB at 9.1 MHz
FF DCM	7.8 dB at 0.2 MHz	7.3 dB at 0.2 MHz	9.1 dB at 29.9 MHz	9.1 dB at 29.9 MHz

115 V AC では、QR の全負荷スイッチング周波数は 130 kHz ですが、FF DCM は 100kHz です。したがって、それらは低周波数帯域 (1 MHz 未満) で異なる EMI データを持ちます。より高い周波数 (1~30 MHz) では、QR と FF DCM の両方が同じ EMI 曲線を持ちますが、FF DCM は約 3dB 低くなります。全体として、QR と FF DCM の両方に十分なマージンがあります。

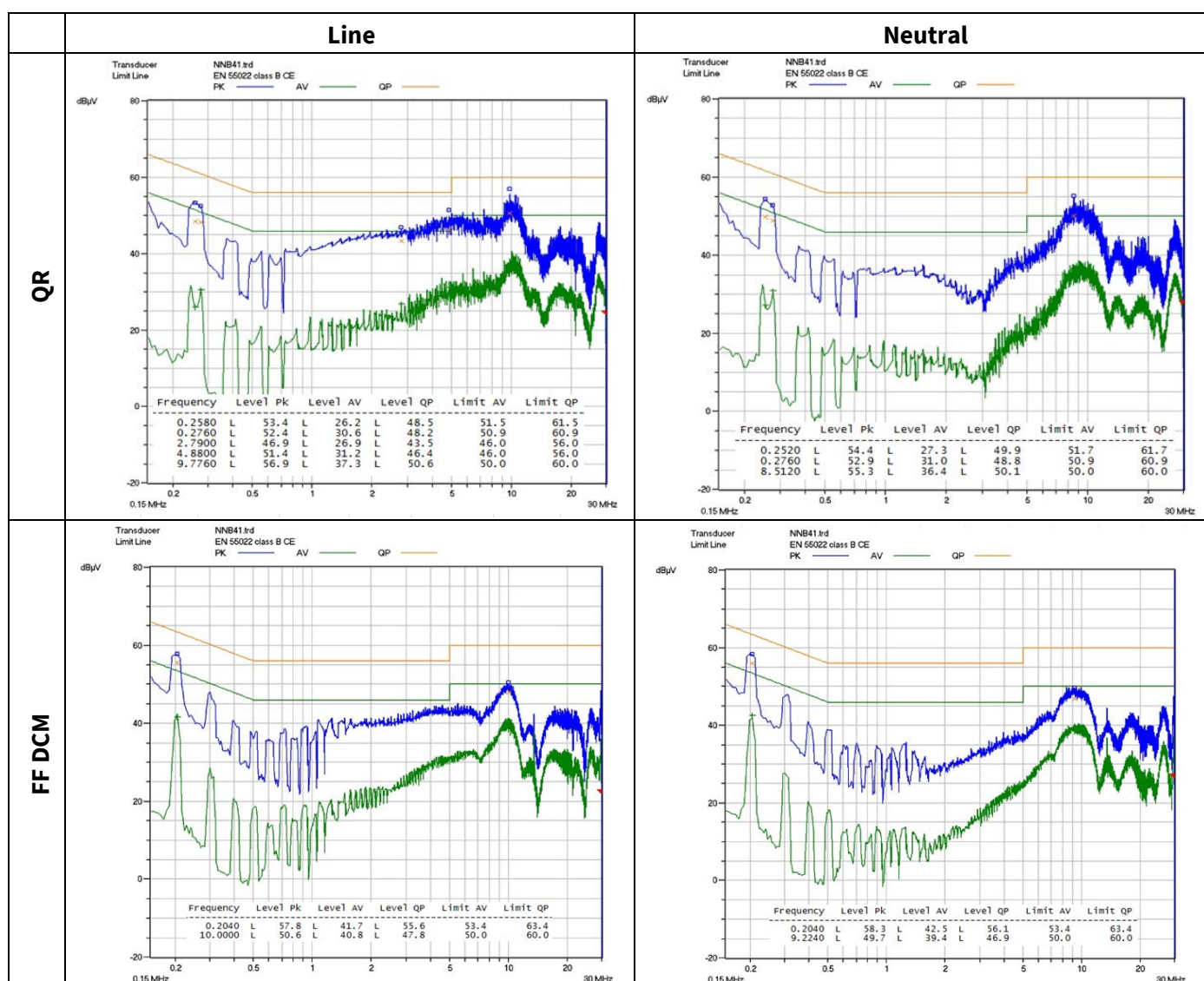


Figure 22 115 V AC での EMI スキャン

疑似共振と固定周波数フライバックの比較

60W 電源における ICE5xSxG および ICE5QSxG

QR および FFDCM の比較

230 VAC では、内蔵の周波数ジッタにより、FF DCM のピークが平均して低いことがわかります。QR は、より低い平均のジッタ効果をバス電圧リップルに依存します。ただし、ハイラインでの小さなバス電圧リップルはジッタ効果も非常に小さいため、QR の平均ピークは 230 VAC で高くなります。

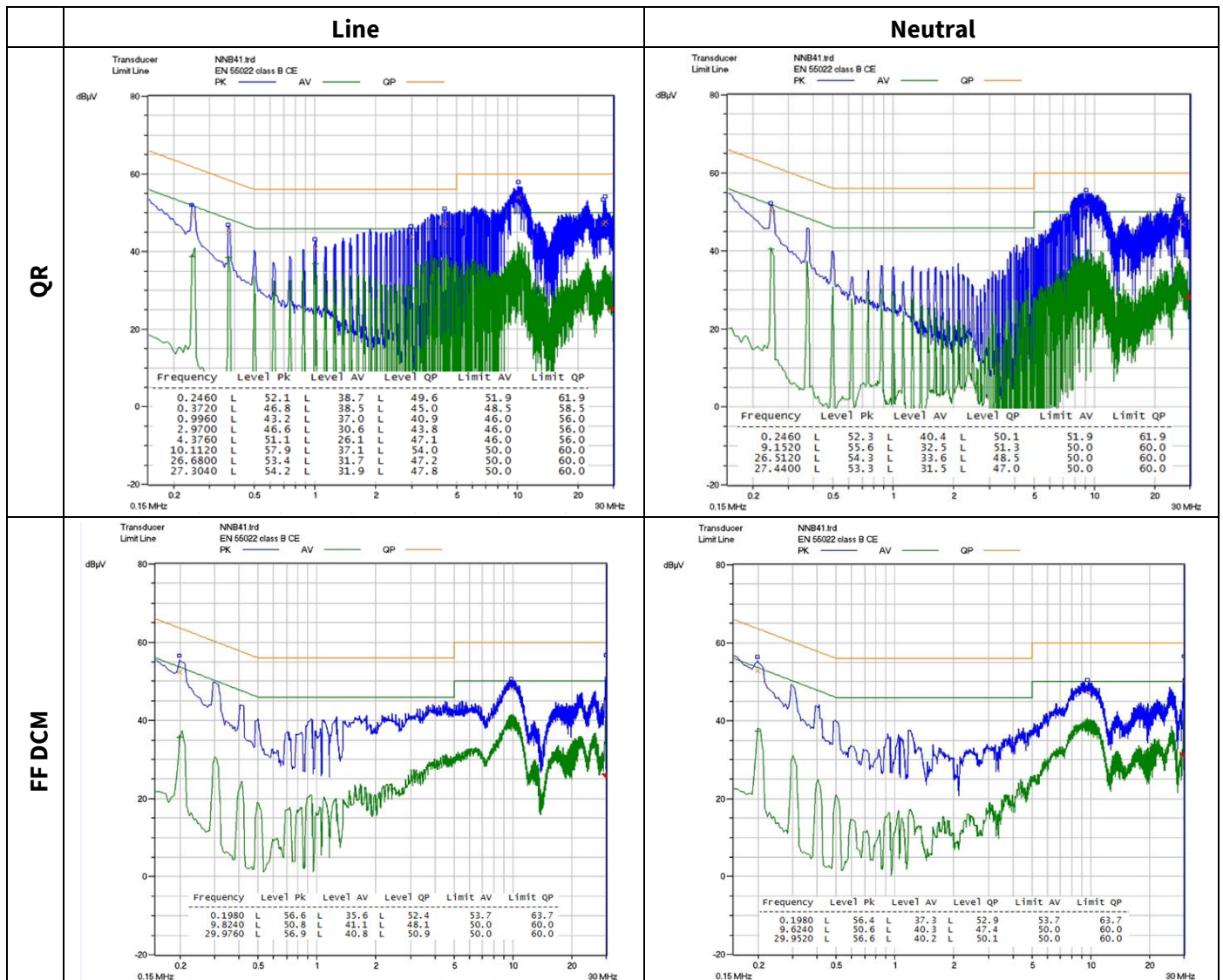


Figure 23 230 VAC での EMI スキャン

4 QR および FF CCM の比較

4.1 テスト条件とセットアップ

トランスは、85 VAC 全負荷で、FFCCM の KRF が 0.4、スイッチング周波数が 100kHz になるように再設計されます。同じトランス設計で、QR スwitchング周波数は 40kHz です。したがって、QR および FF CCM の両方の評価に同じトランスが使用されます。使用するトランスコアは、**Figure 24** に示す巻線仕様の ER28/17 TP4A です。インダクタンス要件が高いため、FF DCM で使用されるトランスと比較して大きくなります。これは、より多くの巻数を必要とし、したがってより大きな巻線面積を必要とします。

Core: ER28/17 TP4A				
Primary inductance: 270 μ H				
Start	Stop	No. of turns	Wire size	Layer
4	5	22	4 x AWG#29	1/2 Primary
6		9	3 x AWG#27	Shield
8	10	7	1 x LITZ (120x38)	Secondary
6		9	3 x AWG#27	Shield
5	6	22	4 x AWG#29	1/2 Primary
1	2	9	1 x AWG#20	Auxiliary

Figure 24 QR および FFCCM トランスの仕様

ICE5QSxG および ICE5xSxG は PCL 閾値電圧 V_{CS_N} レベルが異なるため、CS 抵抗も **Table 8** に示すように変更され、過負荷電力を可能な限り近くします。

Table 8 ICE5QSxG および ICE5ASAGVCS_N および CS 抵抗 (R14)

コントローラー	V_{CS_N}	CS 抵抗器 (R14)
ICE5QSxG	1.0 V	0.273 Ω
ICE5ASAG	0.8 V	0.319 Ω

4.2 周波数曲線

トランスの設計では、**Figure 25** に示すように、QR スwitchング周波数はすべての負荷条件で FF CCM よりも低くなります。これにより、スイッチング損失が低くなります。

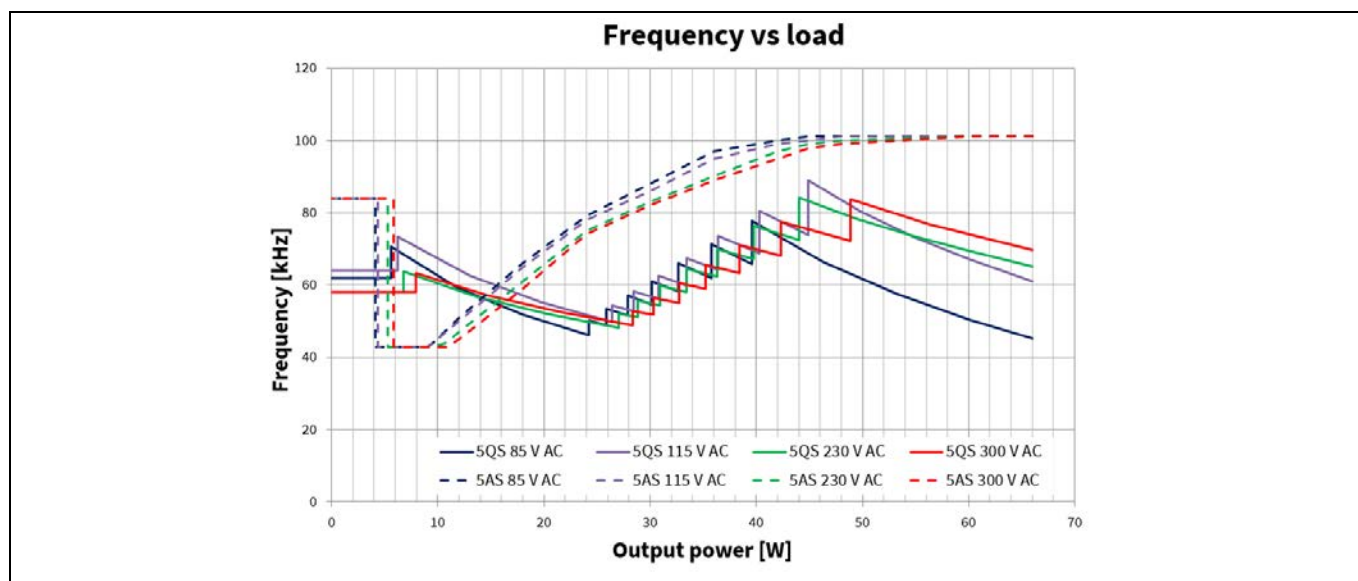


Figure 25 周波数と出力負荷

疑似共振と固定周波数フライバックの比較

60W 電源における ICE5xSxG および ICE5QSxG

QR および FF CCM の比較



4.3 電気試験測定

入力電力は、WT210 電力計統合機能を使用して測定されます。測定の順序は、全負荷から無負荷までであり、QR はより高いスイッチング周波数で動作します。

4.3.1 電気試験測定

Table 9 QR コントローラーに基づく電気測定 (40 kHz トランス設計の ICE5QSxG)

入力 (V AC/Hz)	P _{IN} (W)	V _{OUT} (V)	I _{OUT} (A)	P _{OUT} (W)	効率 (%)	平均効率 (%)	OLP P _{IN} (W)		OLP I _{OUT} (A)
85 V AC/ 60 Hz	0.05560	12.0649	0.0000				87.46	5.74	
	7.334	12.0639	0.5000	6.03	82.24%				
	17.920	12.0618	1.2506	15.08	84.18%	82.51%			
	36.273	12.0581	2.5018	30.17	83.17%				
	54.878	12.0548	3.7531	45.24	82.44%				
	75.114	12.0514	5.0031	60.29	80.27%				
115 V AC/ 60 Hz	0.05954	12.0646	0.0000				99.86	6.73	
	7.167	12.0630	0.5000	6.03	84.16%				
	17.773	12.0613	1.2506	15.08	84.87%	84.42%			
	35.622	12.0578	2.5018	30.17	84.68%				
	53.450	12.0544	3.7531	45.24	84.64%				
	72.234	12.0509	5.0031	60.29	83.47%				
230 V AC/ 50 Hz	0.08908	12.0642	0.0000				107.77	7.48	
	7.330	12.0626	0.5000	6.03	82.29%				
	17.997	12.0611	1.2506	15.08	83.81%	84.98%			
	35.396	12.0577	2.5018	30.17	85.22%				
	52.894	12.0544	3.7531	45.24	85.53%				
	70.632	12.0511	5.0031	60.29	85.36%				
265 V AC/ 50 Hz	0.10319	12.0643	0.0000				110.68	7.70	
	7.400	12.0626	0.5000	6.03	81.51%				
	18.157	12.0611	1.2506	15.08	83.07%	84.65%			
	35.536	12.0576	2.5018	30.17	84.89%				
	53.044	12.0543	3.7531	45.24	85.29%				
	70.656	12.0509	5.0031	60.29	85.33%				
300 V AC/ 50 Hz	0.12277	12.0627	0.0000				113.60	7.91	
	7.467	12.0623	0.5000	6.03	80.77%				
	18.325	12.0610	1.2506	15.08	82.31%	84.26%			
	35.680	12.0574	2.5018	30.17	84.54%				
	53.235	12.0542	3.7531	45.24	84.98%				
	70.758	12.0509	5.0031	60.29	85.21%				

疑似共振と固定周波数フライバックの比較

60W 電源における ICE5xSxG および ICE5QSxG

QR および FF CCM の比較



Table 10 Table 10CCM の FF コントローラー (ICE5ASAG) に基づく電気測定

入力 (V AC/Hz)	P _{IN} (W)	V _{OUT} (V)	I _{OUT} (A)	P _{OUT} (W)	効率 (%)	平均効率 (%)	OLP P _{IN} (W)	OLP I _{OUT} (A)
85 V AC/ 60 Hz	0.06455	12.0659	0.0000				87.35	5.77
	7.285	12.0643	0.5000	6.03	82.80%			
	17.936	12.0623	1.2506	15.09	84.10%	82.64%		
	36.114	12.0591	2.5018	30.17	83.54%			
	54.952	12.0551	3.7531	45.24	82.33%			
	74.814	12.0515	5.0031	60.29	80.59%			
115 V AC/ 60 Hz	0.06821	12.0659	0.0000				94.82	6.44
	7.292	12.0643	0.5000	6.03	82.72%			
	17.824	12.0622	1.2506	15.08	84.63%	84.13%		
	35.668	12.0588	2.5018	30.17	84.58%			
	53.795	12.0559	3.7531	45.25	84.11%			
	72.462	12.0518	5.0031	60.30	83.21%			
230 V AC/ 50 Hz	0.09889	12.0655	0.0000				103.56	7.20
	7.544	12.0636	0.5000	6.03	79.95%			
	18.034	12.0615	1.2506	15.08	83.64%	84.81%		
	35.602	12.0581	2.5018	30.17	84.73%			
	52.939	12.0548	3.7531	45.24	85.46%			
	70.602	12.0513	5.0031	60.29	85.40%			
265 V AC/ 50 Hz	0.11411	12.0656	0.0000				105.04	7.30
	7.656	12.0635	0.5000	6.03	78.78%			
	18.202	12.0615	1.2506	15.08	82.87%	84.31%		
	35.789	12.0583	2.5018	30.17	84.29%			
	53.376	12.0550	3.7531	45.24	84.76%			
	70.686	12.0518	5.0031	60.30	85.30%			
300 V AC/ 50 Hz	0.13349	12.0656	0.0000				106.41	7.38
	7.799	12.0630	0.5000	6.03	77.33%			
	18.275	12.0606	1.2506	15.08	82.53%	83.68%		
	36.128	12.0572	2.5018	30.16	83.49%			
	53.903	12.0535	3.7531	45.24	83.93%			
	71.130	12.0502	5.0031	60.29	84.76%			

疑似共振と固定周波数フライバックの比較

60W 電源における ICE5xSxG および ICE5QSxG

QR および FF CCM の比較

4.3.2 効率曲線

Figure 26 に示すように、FF CCM の全負荷効率は、RMS 電流が低いため、85 V AC で最大 0.3 % 高くなります。ただし、QR の平均効率は、入力ライン範囲全体でスイッチング周波数が低いため (230 V AC で最大 0.17 %)、FF CCM よりも高くなります。

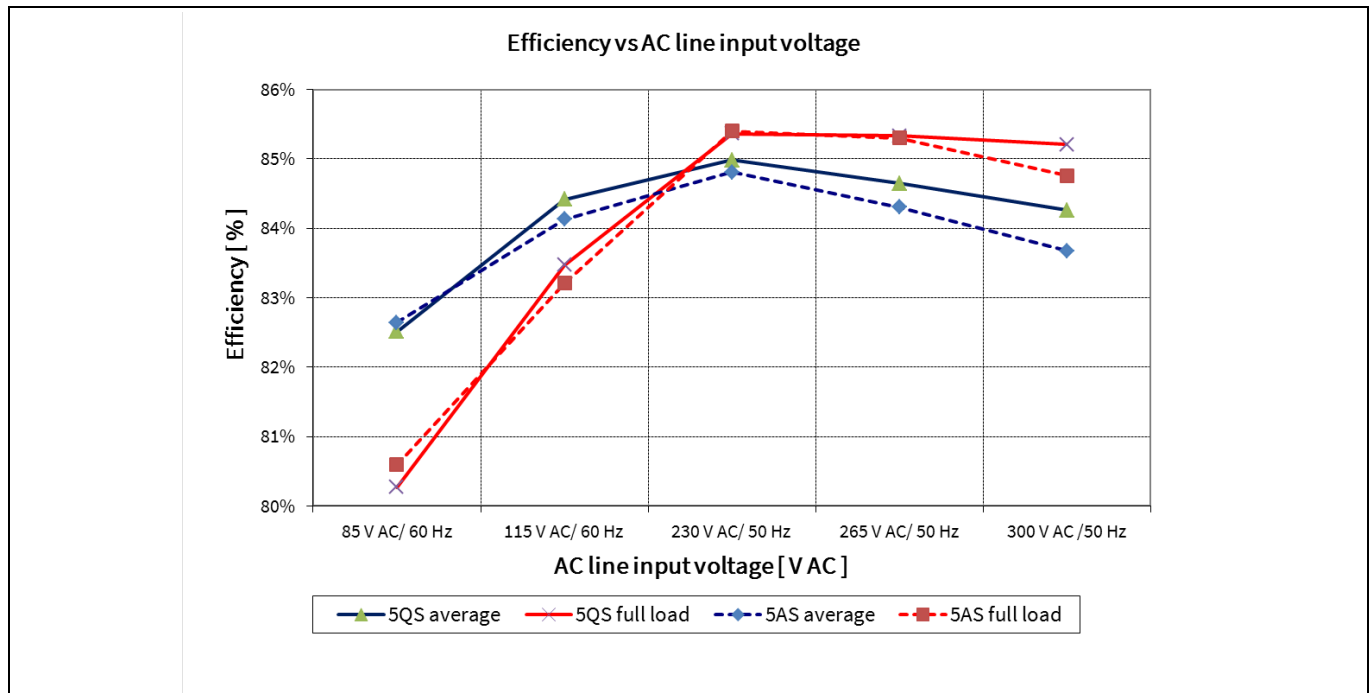


Figure 26 平均および全負荷効率

Figure 27 に示すように、公称ライン入力電圧でのスイッチング周波数が低いため、QR 効率は FF CCM よりも高くなります。

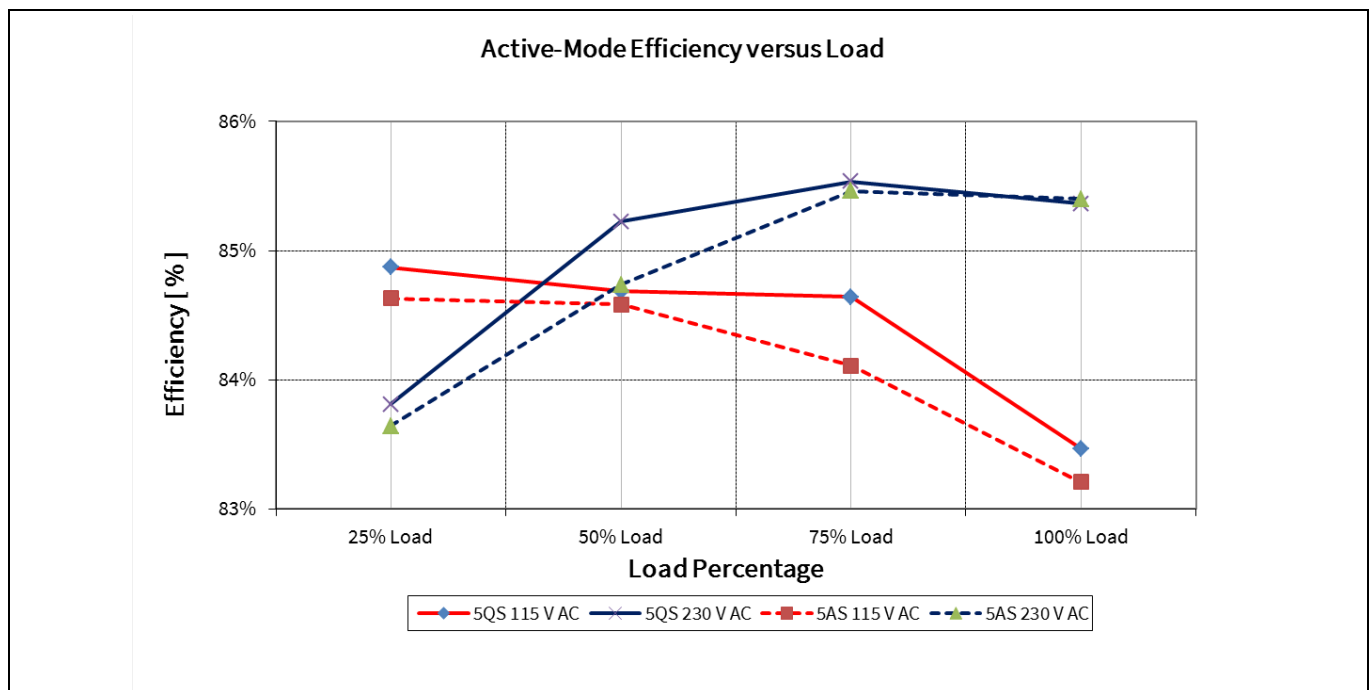


Figure 27 115 V AC および 230 V AC の効率

疑似共振と固定周波数フライバックの比較

60W 電源における ICE5xSxG および ICE5QSxG

QR および FF CCM の比較

4.3.3 過負荷前の最大入力電力

FF CCM の全体的な最大入力電力は、QR と比較して AC ラインに対する許容誤差が小さくなります。ローラインにある CCM 動作自体では、85 V AC から 230 V AC で見られるように、許容誤差は良くありません。ただし、230 V AC から 300 V AC に見られるように、動作はハイラインで DCM になり、許容誤差が改善されます。

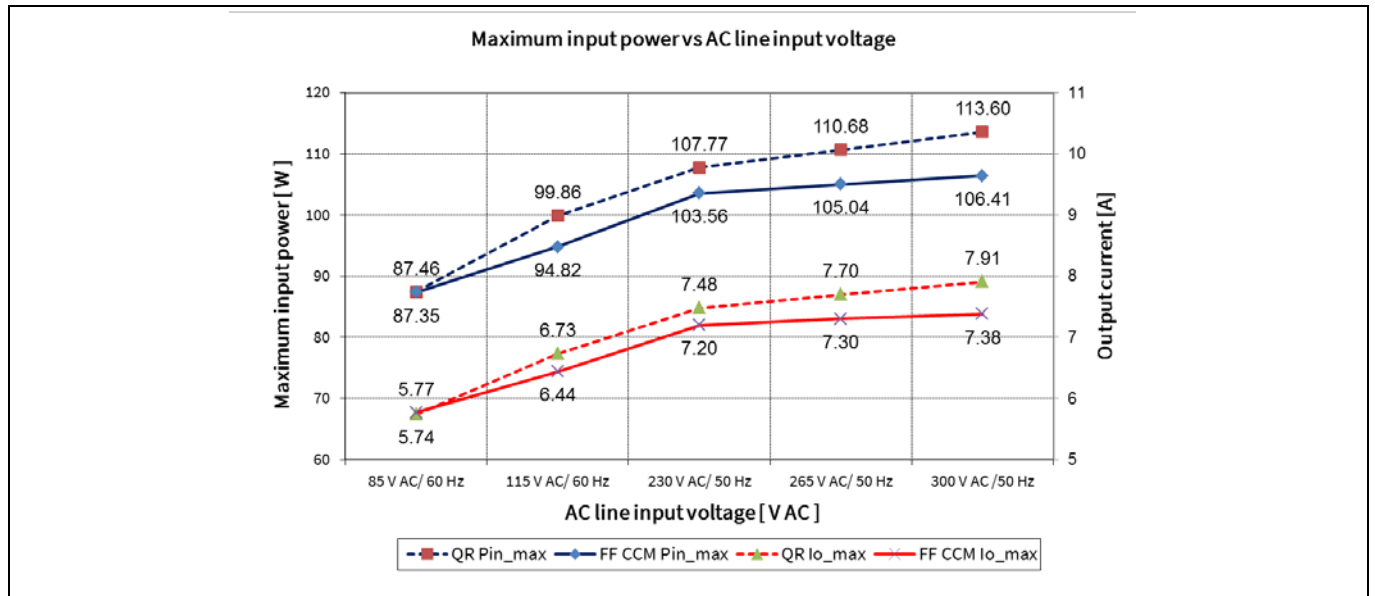


Figure 28 最大入力電力と AC ライン入力電圧

4.4 波形とオシロスコープのプロット

4.4.1 ドレイン電圧と電流

QR の RMS 電流は FF CCM よりも高くなります。したがって、QR の導通損失は、特に低い入力電圧で大きくなります。QR (50 kHz) のスイッチング周波数は FF CCM (100 kHz) の半分にすぎませんが、低入力 AC ラインではスイッチング損失は支配的ではありません。これにより、FF CCM の全負荷効率が 85 V AC での QR よりも高くなります。

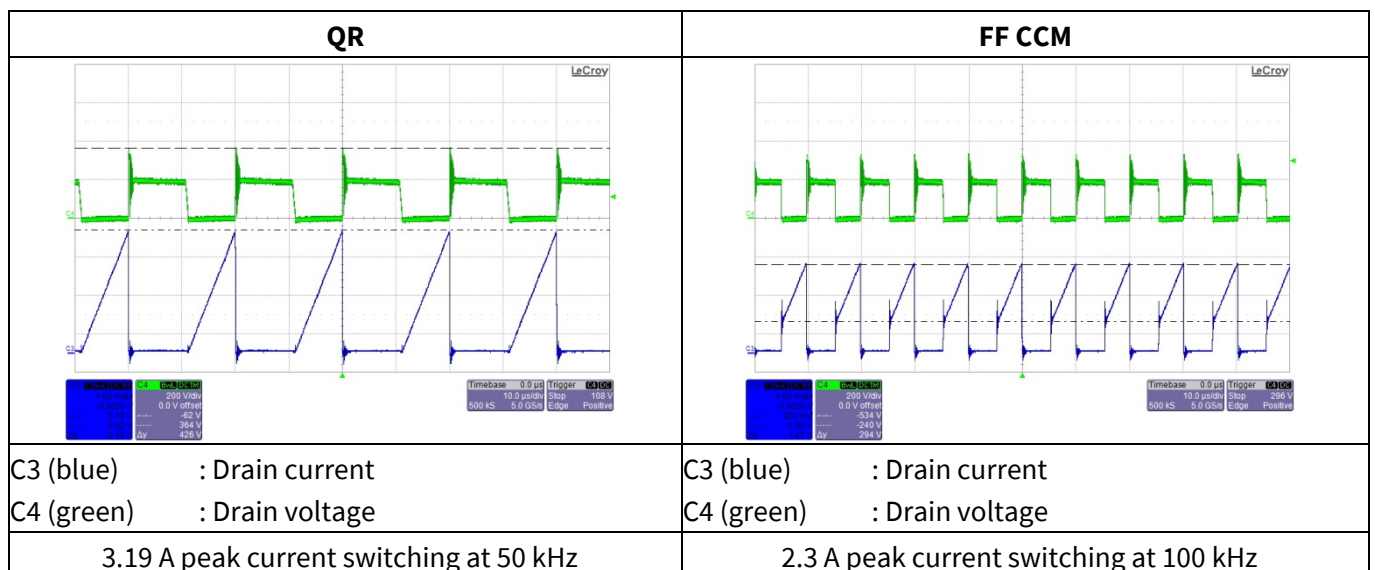


Figure 29 85 V AC 全負荷でのドレイン電圧および電流波形

疑似共振と固定周波数フライバックの比較

60W 電源における ICE5xSxG および ICE5QSxG

QR および FF CCM の比較

入力電圧が高くなると、QR スイッチング周波数は低くなります。したがって、ドレインピーク電流が大きくなり、導通損失が大きくなります。導通損失はスイッチング周波数が低いほど高くなりますが、ピーク電流が低く入力 AC ラインが高い場合にスイッチング損失が支配的になります。これにより、300 V AC での FF CCM と比較して QR の全負荷効率が高くなります。

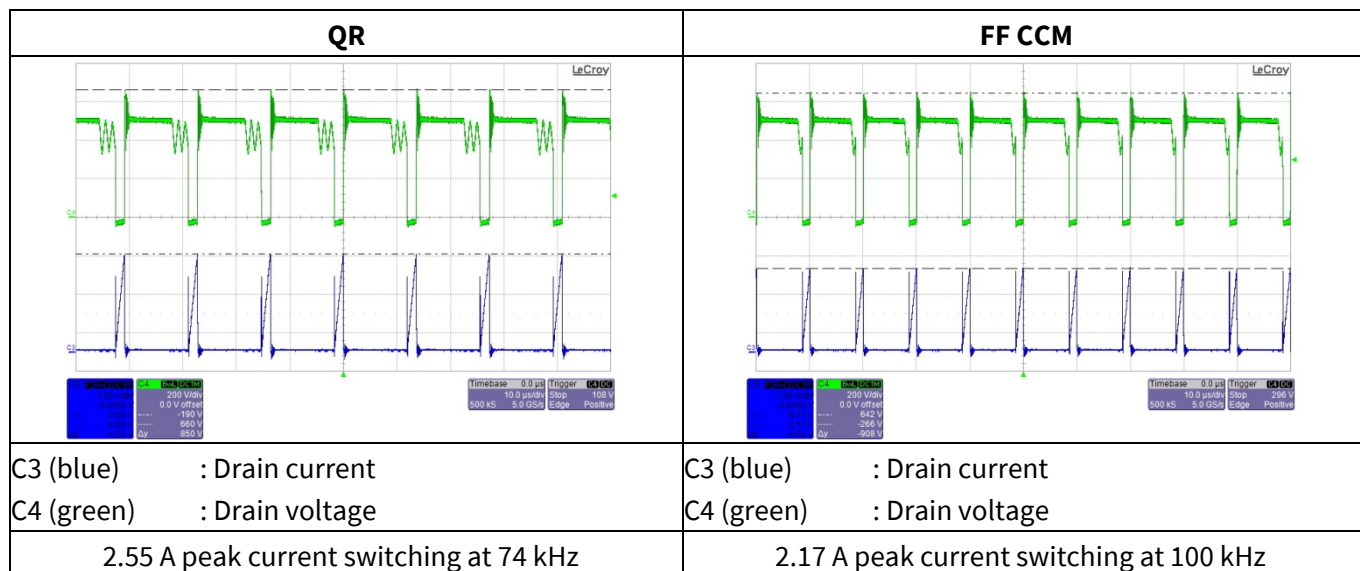


Figure 30 300 V AC 全負荷でのドレイン電圧および電流波形

4.4.2 出力リップル電圧

QR のスイッチング周波数は入力電圧に依存します。したがって、QR の出力電圧リップルは FF CCM よりも AC 成分リップルが大きくなります。出力電圧リップルは、バス電圧リップルが大きいためスイッチング周波数の変化が大きい低入力電圧でより顕著になります。

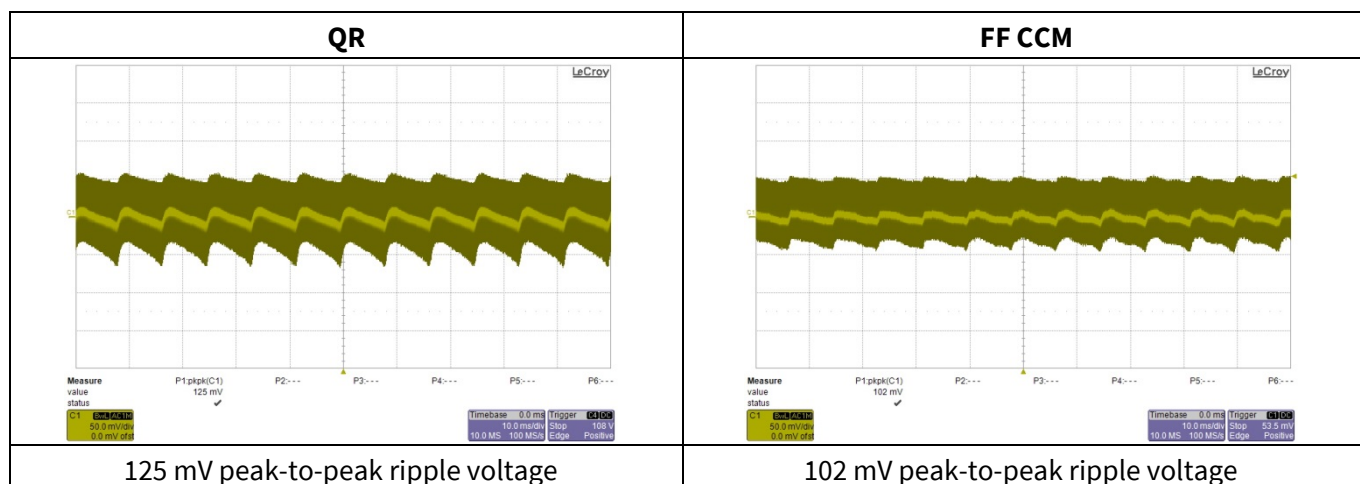


Figure 31 85 V AC 全負荷での出力電圧リップル。プローブ端子は、1 μ F のセラミックコンデンサでデカップリング。オシロスコープは、20MHz に制限された帯域幅フィルター。

入力電圧が高い場合、バス電圧リップルが小さいためスイッチング周波数の変化が非常に小さいため、QR の AC 成分リップルは無視できます。内蔵の周波数出力により、FF DCM には小さな 250Hz の電圧リップルがあります。

疑似共振と固定周波数フライバックの比較

60W 電源における ICE5xSxG および ICE5QSxG

QR および FF CCM の比較

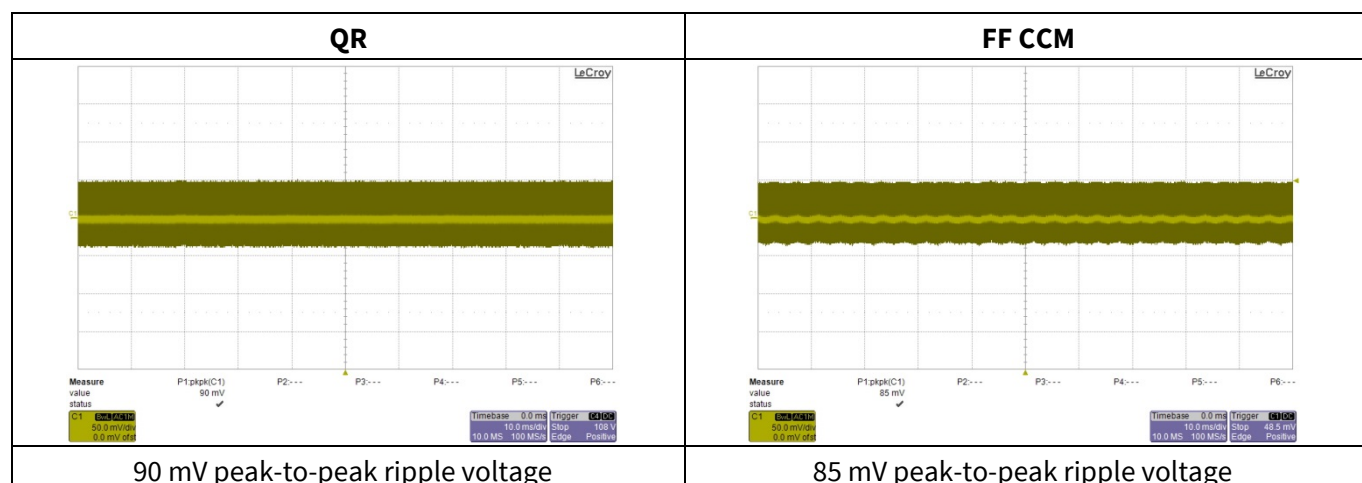


Figure 32 300 V AC 全負荷での出力電圧リップル。プローブ端子は、1 μ F のセラミックコンデンサでデカップリング。オシロスコープは、20MHz に制限された帯域幅フィルター。

4.5 熱測定

コントローラー内部のローサイド MOSFET を流れる RMS 電流が高いため、85 V AC での QR コントローラーの温度は 10 $^{\circ}$ C 高くなります。300 V AC での FF CCM MOSFET の温度は、スイッチング周波数が高いためスイッチング損失が大きくなるため、10 $^{\circ}$ C 高くなります。

Table 11 25 $^{\circ}$ C の周囲温度の下でのオープンケースでの熱測定

	85 V AC				300 V AC			
	コントローラー	MOSFET	変圧器	出力ダイオード	コントローラー	MOSFET	変圧器	出力ダイオード
QR	97.8	64.1	78.0	95.4	57.5	56.3	85.6	93.8
FF CCM	87.2	64.2	78.0	95.5	60.7	66.2	87.4	90.9

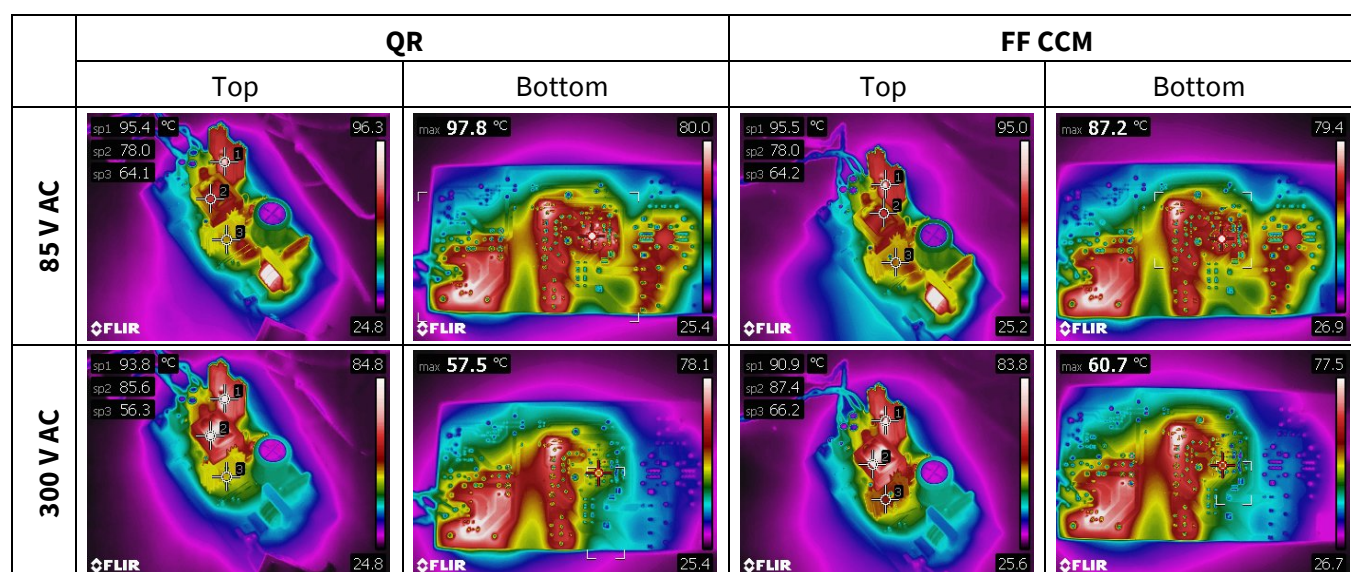


Figure 33 25 $^{\circ}$ C の周囲温度でのオープンケースの熱画像

疑似共振と固定周波数フライバックの比較

60W 電源における ICE5xSxG および ICE5QSxG

QR および FF CCM の比較



4.6 EMI 測定

Table 12 準尖頭値マージン測定

	115 V AC		230 V AC	
	Line	Neutral	Line	Neutral
QR	2.67MHz で 11.9dB	12dB 以上	2.64MHz で 9.2dB	0.2MHz で 10.3dB
FF CCM	-29.9MHz で 2.1dB (不合格)	29.8MHz で 0.4dB	-29.9MHz で 2.1dB (不合格)	-29.9MHz で 1.4dB (不合格)

115 V AC では、QR の 200 kHz EMI は、FF CCM の 2 次高調波であるのに対し、3 次高調波であるため低くなります。3 MHz から、FF CCM と QR の EMI 曲線は異なります。約 29MHz で、FF CCM は準尖頭値および平均モードで 2dB オーバーします。

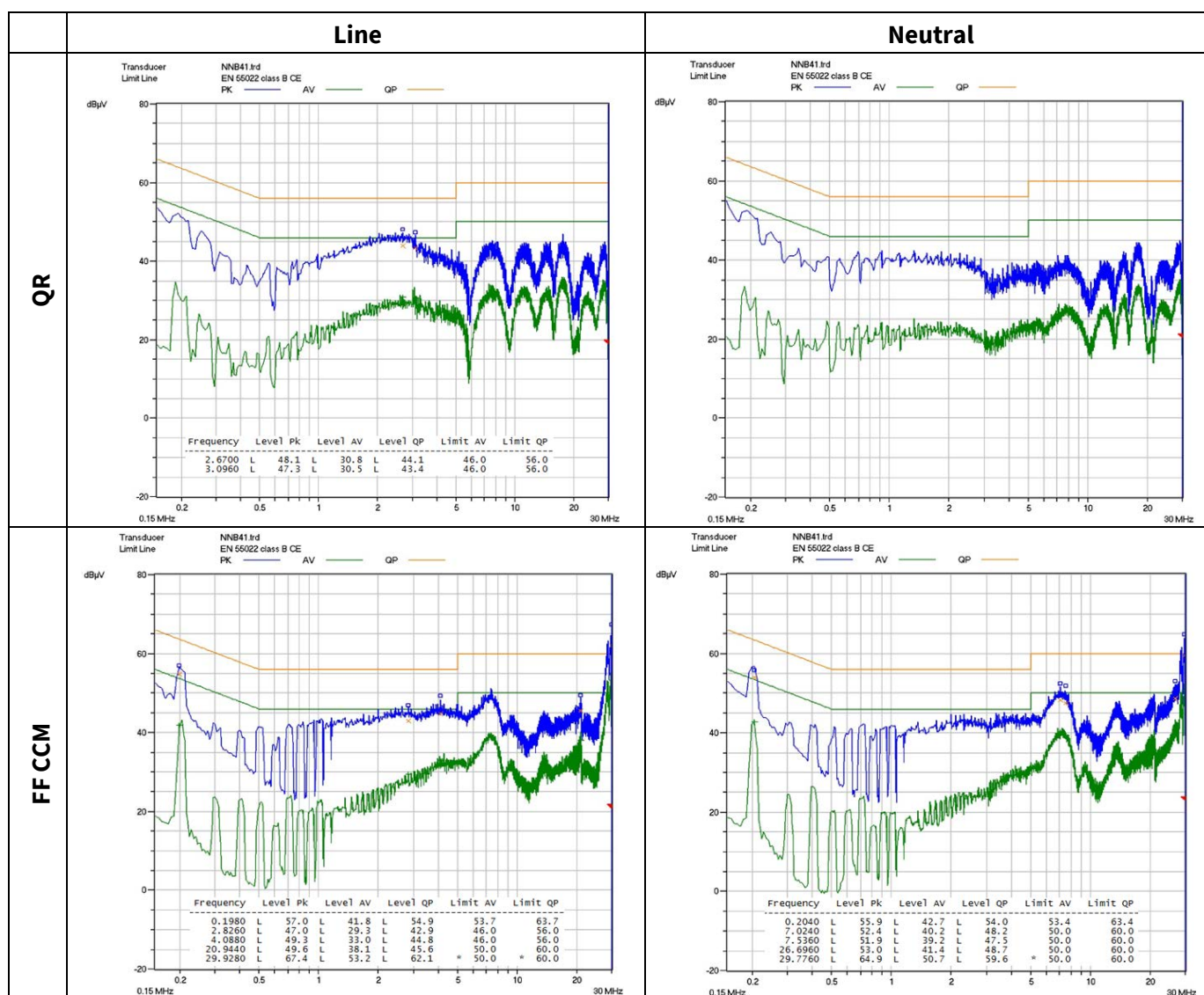


Figure 34 115 V AC での EMI スキャン

疑似共振と固定周波数フライバックの比較

60W 電源における ICE5xSxG および ICE5QSxG

QR および FF CCM の比較

230 V AC では、QR の 200 kHz EMI は、FF CCM の 2 次高調波であるのに対し、3 次高調波であるため低くなります。5 MHz から、FF CCM と QR の EMI 曲線は異なります。約 29MHz で、FF CCM は準尖頭値および平均モードで 2dB オーバーします。

内蔵の周波数ジッタにより、FF CCM は平均モードのピークが低いことがわかります。QR は、平均モード低減のためのジッタ効果をバス電圧リップルに依存します。ただし、ハイラインではバス電圧リップルが小さくジッタ効果が非常に小さいため、QR の平均モードにおけるピークは 230 V AC で高くなります。

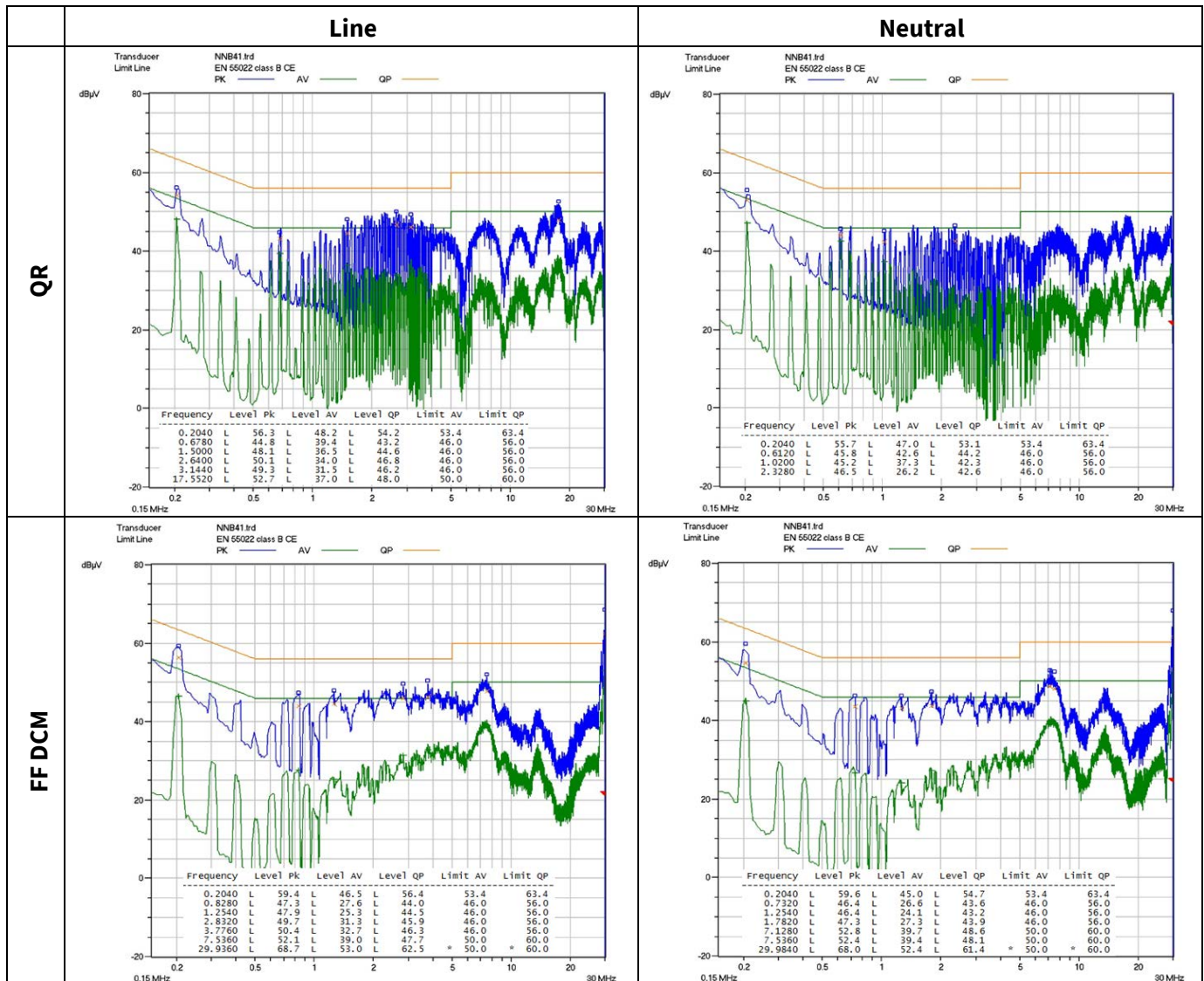


Figure 35 230 V AC での EMI スキャン

5 まとめ

60 W デモボードの評価から、結果は各スイッチング方式の長所と短所を示します。ラインおよび負荷範囲全体で、QR の効率は FF と比較して良好です。ただし、FF には、出力電圧リップルが低く、AC ライン変動に対し、最大出力電力がより制御されているという利点があります。FF CCM には、ワーストケースでの最小 AC ライン入力において熱的な利点があります。

設計者が使用するのに最適なスイッチング方式は、電氣的仕様 (入力電圧範囲、出力電力など)、効率基準への適合 (Energy Star、California Energy Commission、80 Plus など)、開発時間など、さまざまな要因によって異なります。したがって、設計者は各フライバックスイッチング方式の長所と短所を理解する必要があります。このアプリケーションノートは、設計者がフライバックスイッチング方式を選択するのに役立つガイドとしてのみ機能します。

パルス周波数変調 (PFM) 制御など、設計者が選択できる他のフライバックスイッチング方式オプションがあります。他のコントローラーはマルチモードで動作し、負荷状態などの特定の状態に応じて、QR、FF、または PFM の間でスイッチング方式が異なります。

最終的に、適切な選択は、仕様をより迅速かつ簡単に達成および満たす、開発時間の短縮など、多くの点で設計者に利益をもたらします。

6 参考資料

- [1] ICE5xSxG datasheet, Infineon Technologies AG
- [2] ICE5QSxG datasheet, Infineon Technologies AG
- [3] DEMO_5QSAG_60W1 application note, Infineon Technologies AG

改訂履歴

Document version	Date of release	Description of changes
1.0	2021-09-29	本版は英語版 AN_1806_PL83_1807_101936 v1.0 について、CYPRESS DEVELOPER COMMUNITY の参画者によって日本語に翻訳されたドキュメントです。

Trademarks

All referenced product or service names and trademarks are the property of their respective owners.

Edition 2021-09-29

Published by

Infineon Technologies AG

81726 Munich, Germany

© 2021 Infineon Technologies AG.

All Rights Reserved.

Do you have a question about this document?

Email: erratum@infineon.com

Document reference

AN_1806_PL83_1807_101936_JA

重要事項

本文書に記載された情報は、いかなる場合も、条件または特性の保証とみなされるものではありません（「品質の保証」）。本文に記載された一切の事例、手引き、もしくは一般的な価値、および／または本製品の用途に関する一切の情報に関し、インフィニオンテクノロジーズ（以下、「インフィニオン」）はここに、第三者の知的所有権の不侵害の保証を含むがこれに限らず、あらゆる種類の一切の保証および責任を否定いたします。

さらに、本文書に記載された一切の情報は、お客様の用途におけるお客様の製品およびインフィニオン製品の一切の使用に関し、本文書に記載された義務ならびに一切の関連する法的要件、規範、および基準をお客様が遵守することを条件としています。

本文書に含まれるデータは、技術的訓練を受けた従業員のみを対象としています。本製品の対象用途への適合性、およびこれら用途に関連して本文書に記載された製品情報の完全性についての評価は、お客様の技術部門の責任にて実施してください。

本製品、技術、納品条件、および価格についての詳しい情報は、インフィニオンの最寄りの営業所までお問い合わせください (www.infineon.com)。

警告事項

技術的要件に伴い、製品には危険物質が含まれる可能性があります。当該種別の詳細については、インフィニオンの最寄りの営業所までお問い合わせください。

インフィニオンの正式代表者が署名した書面を通じ、インフィニオンによる明示の承認が存在する場合を除き、インフィニオンの製品は、当該製品の障害またはその使用に関する一切の結果が、合理的に人的傷害を招く恐れのある一切の用途に使用することはできないことを予めご了承ください。