

MPSの車載用電動化 電源ソリューション

MPSジャパン合同会社
FAEマネージャー
合屋 俊介

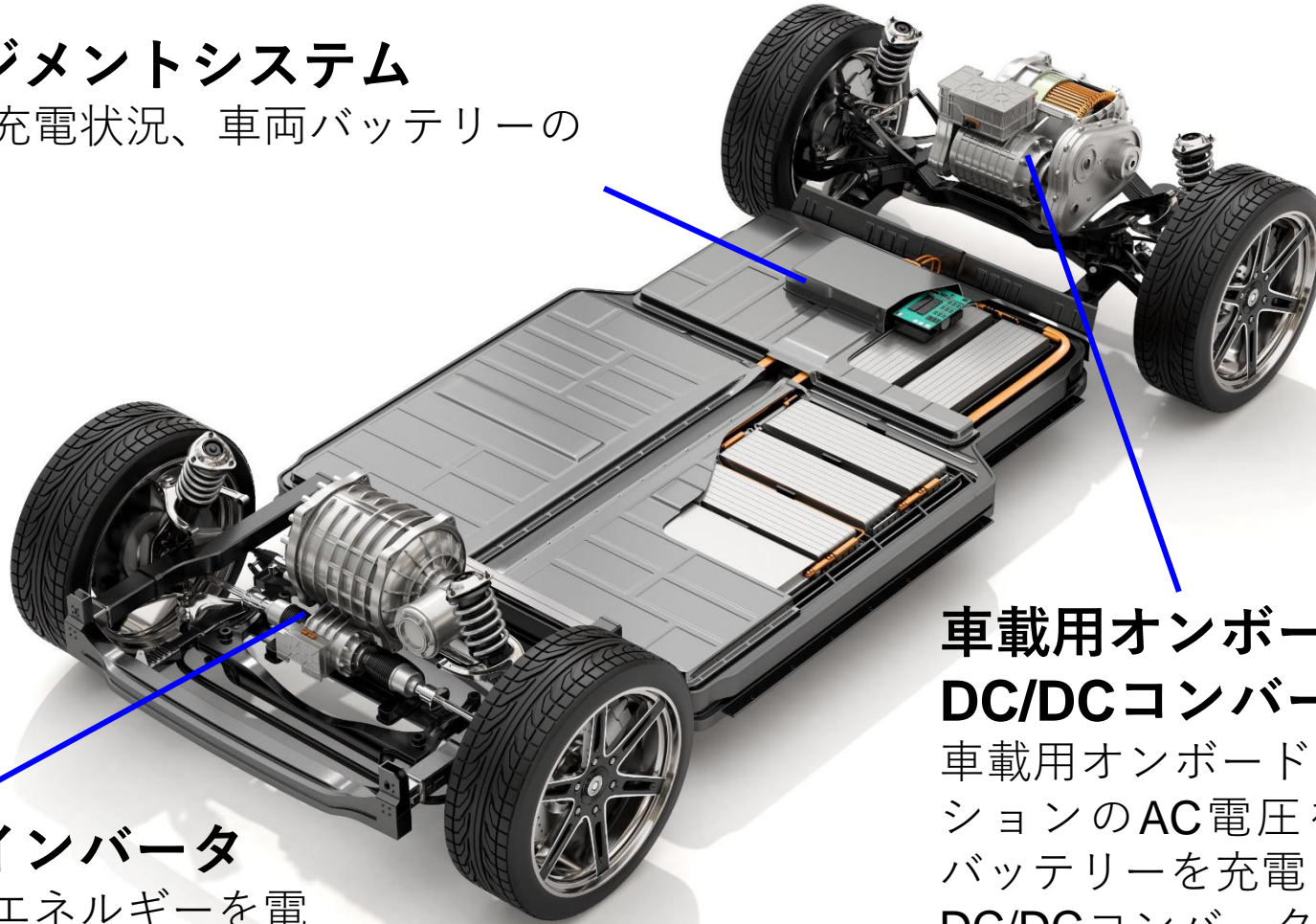
MPS

- 電気自動車(EV)サブシステム
- システムブロック図
 - 車載用オンボード・チャージャ & DC/DCコンバータ
 - トラクション・インバータ
 - 充電ステーション
- 電動化に向けたMPSの電源ソリューション
- 絶縁バイアス電源用LLC共振コンバータ
- まとめ

電気自動車(EV)のシステム

バッテリーマネジメントシステム

バッテリーの状態、充電状況、車両バッテリーのセルバランス管理



トラクション・インバータ

高電圧バッテリーのエネルギーを電気モータ駆動、およびブレーキのエネルギーを回生するために変換

車載用オンボード・チャージャとDC/DCコンバータ

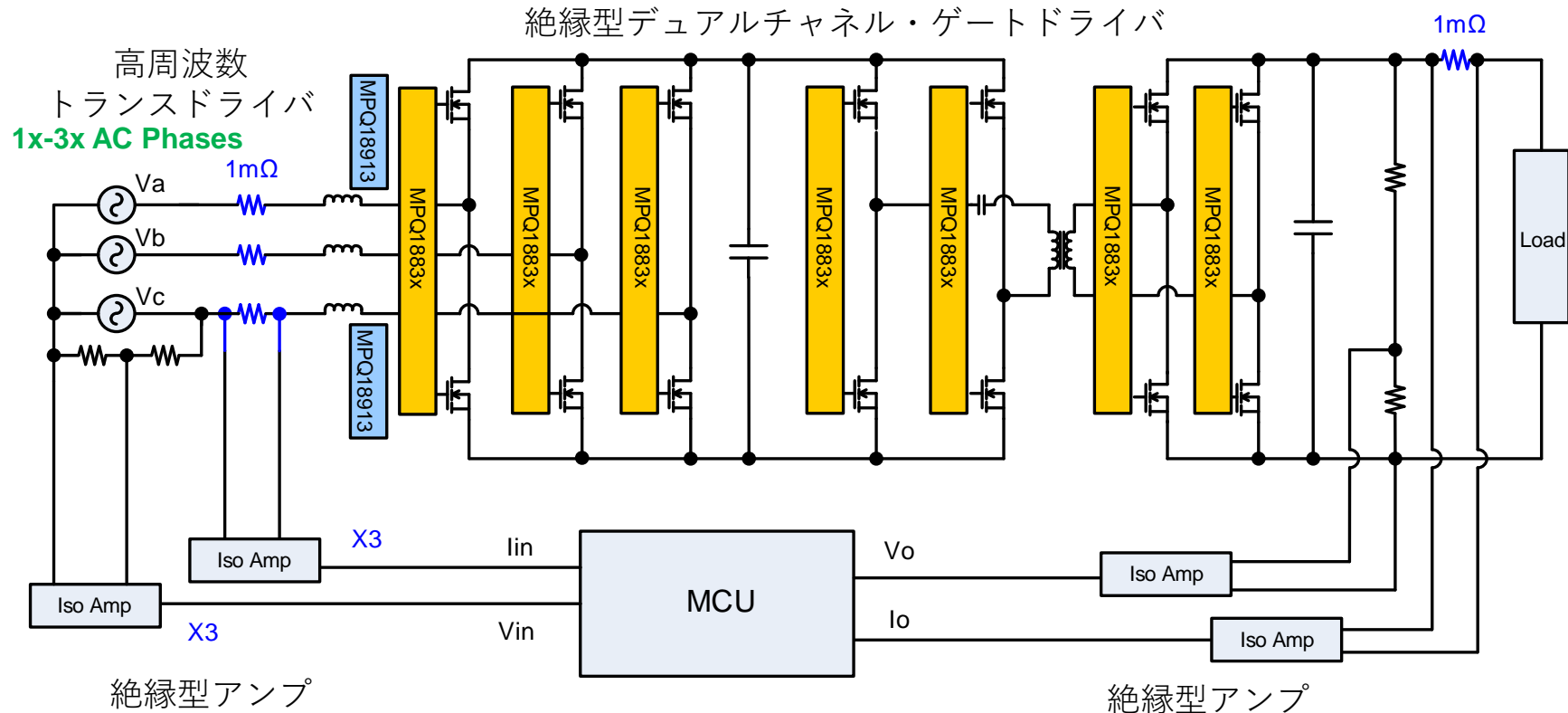
車載用オンボード・チャージャは、充電ステーションのAC電圧をDC電圧に変換し、高電圧バッテリーを充電

DC/DCコンバータは、車両のサブシステムを駆動するため高電圧バッテリーを48/12Vに変換するために使用

車載用オンボード・チャージャ / EVのDC/DCシステム

車載用オンボード・チャージャの設計

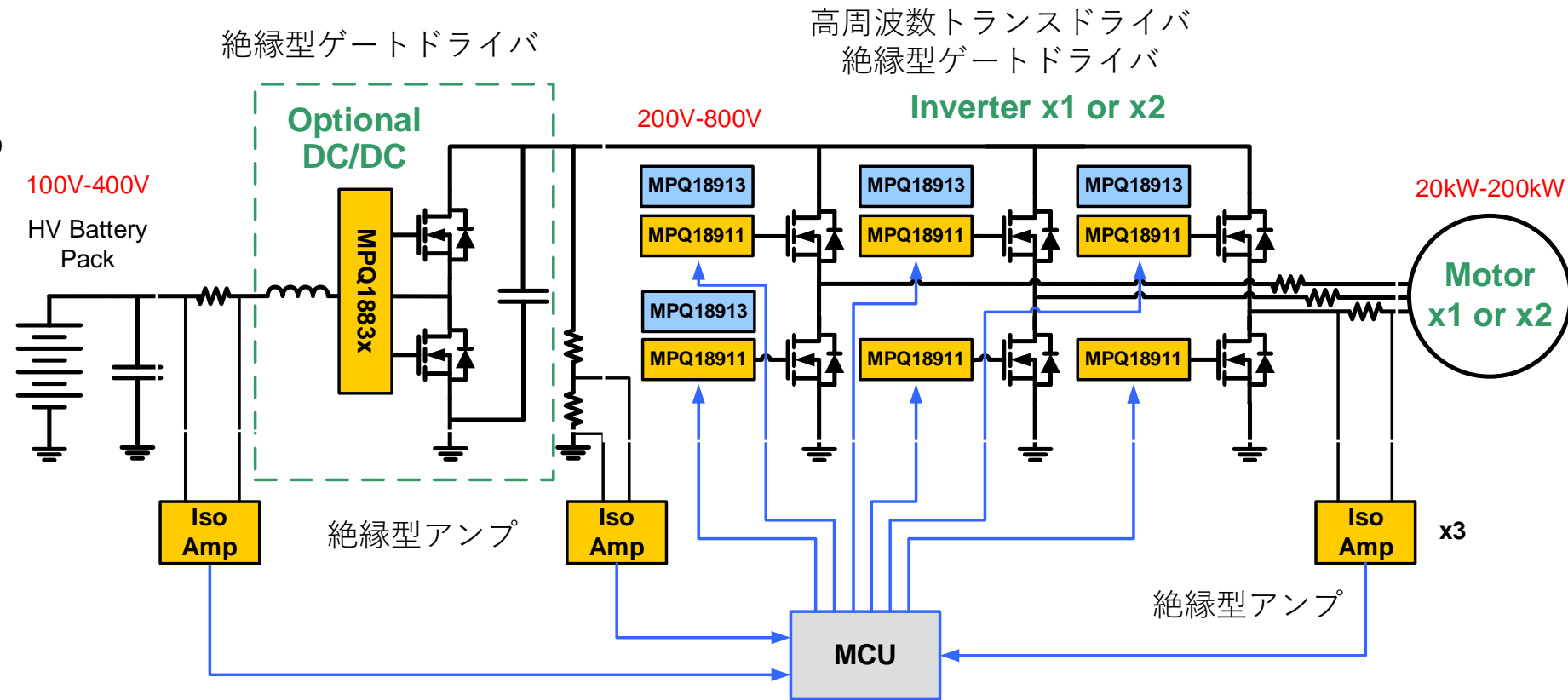
- 一般的に約10kW～約20kW
- プラグイン・ハイブリッド車両とバッテリー電気自動車の双方で使用
- 効率向上と多様なEV車種展開を見据えて、SiC FETに移行
- PFCの後段に絶縁型DC/DC段を配置



トラクション・インバータシステム

トラクション・インバータの設計

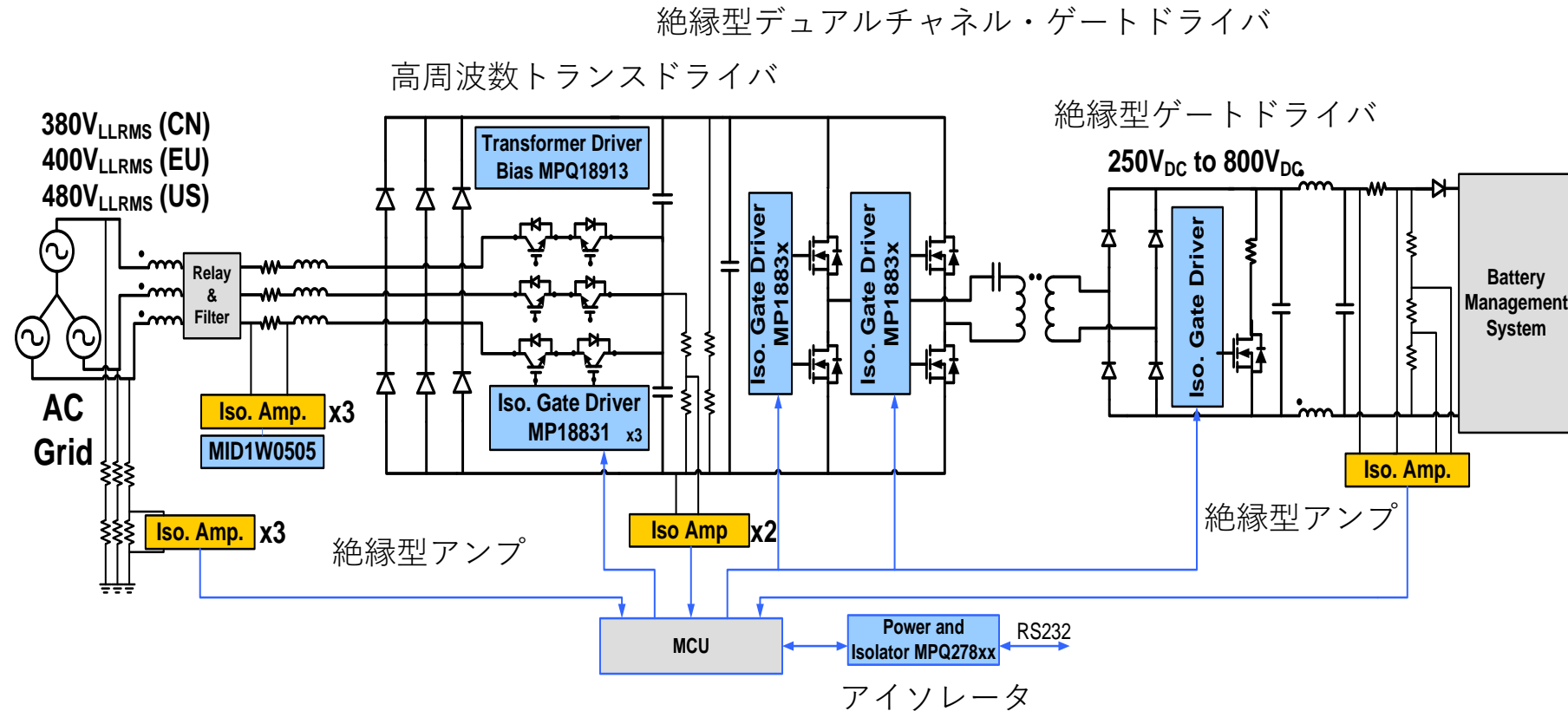
- 電気モータ駆動のため車両の高電圧バッテリーに接続
- 電力レベル: 数十kW-数百kW
- 効率向上と多様なEV車種展開を見据えて、SiC FETに移行
- 絶縁型ゲートドライバには高度な保護機能が必要



DC急速充電システム

DC急速充電ステーション

- 3フェーズのAC電圧を250V～800VのDC電圧に変換
- 350kW+出力を得るためにサブユニットを複数並列配置
- 2つの電圧変換ステージで構成
 - PFC段はAC電圧を中間DC電圧に変換
 - 3相3レベル (Viennaトポロジ) が大電力ではPFC段に一般的に使用される
 - 絶縁型DCDC段は中間DC電圧を任意のバッテリー充電電圧に変換



車載 EV / MHEV アプリケーション



- システムの安全レベルを最大化するため多様な絶縁要求に対応
- 業界をリードするパフォーマンス
- ソリューションサイズを最小化するため最大10MHzのスイッチング周波数

絶縁製品はさまざまな安全仕様に準拠:

- UL1577 – E322138
- VDE V 0884-11

AEC-Q100 対応製品

- 絶縁型ゲートドライバ
- デジタルアイソレータ
- 絶縁型電源
- 絶縁型アンプ
- ハーフブリッジGaNドライバ

絶縁型ゲートドライバ / 電源製品ロードマップ

シングル
チャンネル

MPQ18913

絶縁電源用LLC共振コンバータ
ハーフブリッジドライバ
最大5MHz
自動共振周波数検出
AEC-Q100グレード1

MPQ18914

絶縁電源用LLC共振コンバータ
ハーフブリッジドライバ
最大10MHz
自動共振周波数検出
AEC-Q100グレード1

MPQ18811

6A / 10A、3kVRMS
伝播遅延55ns(パーツ間+/-
5ns)、CMTI>100kV/ μ s、
AEC-Q100グレード1、
各種保護機能

MPQ1918

100VハーフブリッジGaN
ドライバ、3.7V~5.5VCC、
20ns伝播、
1.5ns伝播遅延マッチング

デュアル
チャンネル

MPQ18831

デュアル入力HB、4A / 8A、
2.5kV_{RMS} / 3kV_{RMS} /
5kV_{RMS}、50ns伝播遅延、
CMTI>100kV/ μ s
AEC-Q100グレード1

MPQ18851

独立したデュアル入力、
4A / 8A、2.5kV_{RMS} /
3kV_{RMS} / 5kV_{RMS}、50ns伝
播遅延、CMTI>100kV/ μ s
AEC-Q100グレード1

MPQ18871

PWM入力HB、4A / 8A、
2.5kV_{RMS} / 3kV_{RMS} /
5kV_{RMS}、50ns伝播遅延、
CMTI>100kV/ μ s
AEC-Q100グレード1

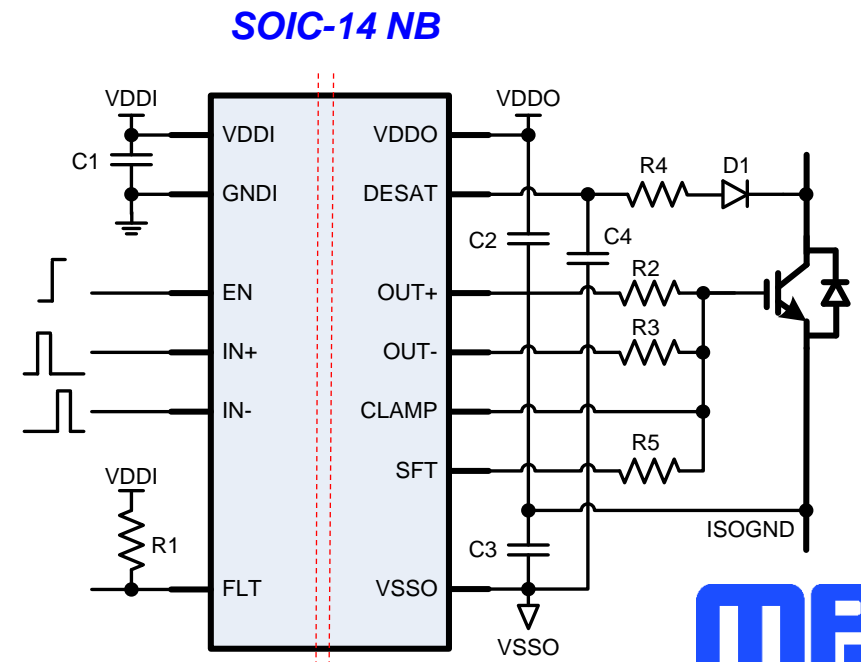
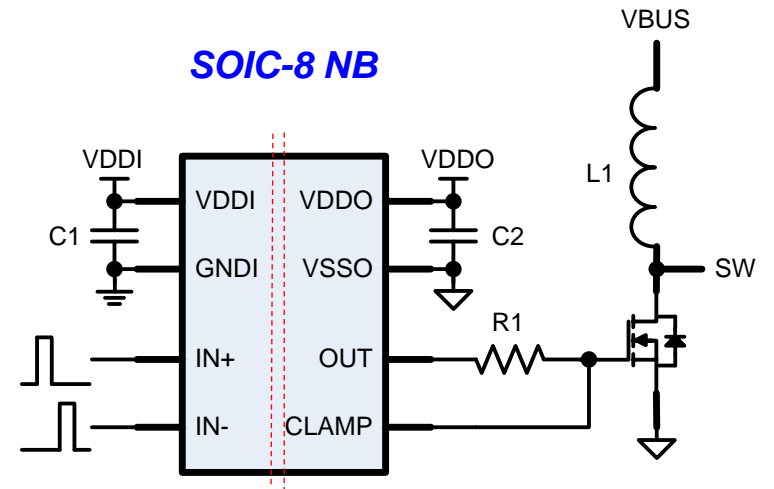
トランスドライバ (絶縁バイアス用電源)

ゲートドライバ

MPQ18811 - 絶縁型シングルチャネルゲートドライバ

特長

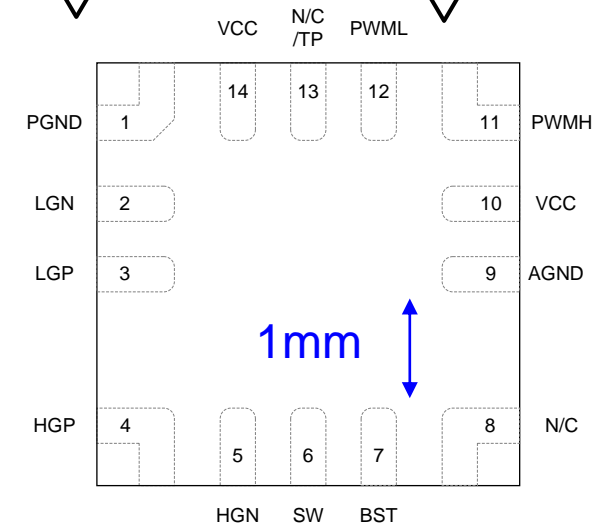
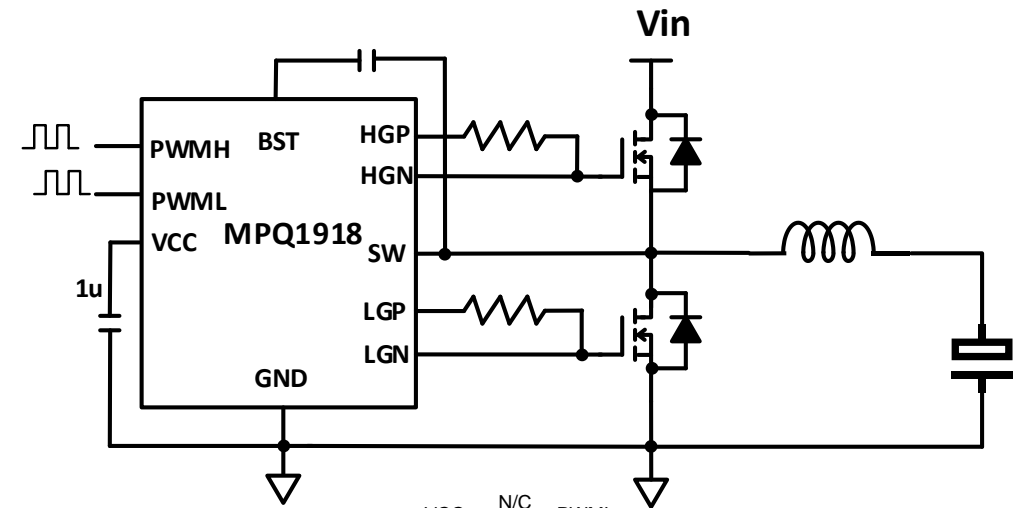
- 最大 $5kV_{RMS}$ の入力-出力間絶縁
- $CMTI > 100kV/\mu s$
- TTLおよびCMOSに対応した入力
- 差動入力制御
- オプション (5V / 8V / 10V / 12V / 15V) のUVLO付き最大30Vの出力駆動電源
- 出力オプション:
ミラーランプ付きのシングル出力またはスプリット出力
- 6Aソース / 10Aシンクのピーク電流出力
- 定格55nsの伝播遅延 (入力ハイ→出力立ち上がりエッジ)
部品間伝搬遅延時間差分: +/-5ns
- 非飽和 (DESAT) 機能搭載 (SOIC-14)
- 非飽和検出後の調整可能なソフト・ターンオフ機能 (SOIC-14)
- 動作ジャンクション温度範囲: $-40^{\circ}C \sim +150^{\circ}C$
- 小型のSOIC-8/SOIC-14 (3kV絶縁)、SOIC-8 WB (5kV絶縁)
- AEC-Q100準拠



MPQ1918-AEC1 (100V ハーフブリッジGaNドライバ)

特長

- 100 VDC定格
- 3.7V~5.5Vの V_{CC} 範囲
- **0.27 Ω シンク抵抗 / 1.2 Ω ソース抵抗**
- 独立したハイサイドおよびローサイドTTLロジック入力
- ターンオンとターンオフの独立したゲート出力
- 内部ブートストラップクランピング
- **定格20nsの高速な伝播時間**
(PWMH/PWML rising/falling vs HGP/HGL rising/falling)
- 定格1.5nsの優れた伝播遅延マッチング
(LGP on & HGN off, LGN off & HGP on)
- 1mmのピン間距離で最大100VのDCバス電圧をサポート
- **エンハンスモードGaN FETまたは、N-ch MOSFETドライブ**
- 低インダクタンス内部構造フリップチップパッケージ
- ドライバ電流ループを実現する小型パッケージサイズ
- ウェットブルフランク QFN-14 3mm x 3mmパッケージ
- AEC-Q100準拠

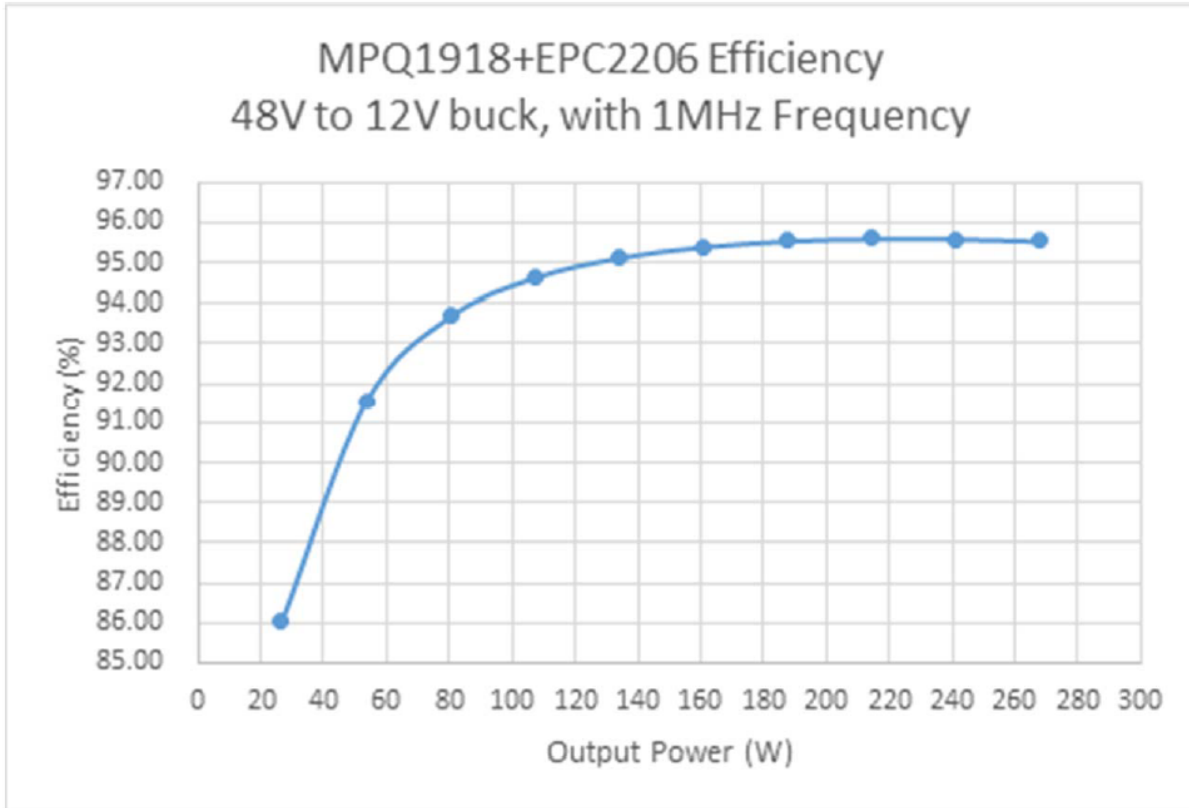


FCQFN 3mm x 3mm パッケージで提供

MPQ1918 + EPC2206のコラボレーション

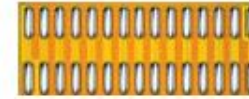


V_{CC} : 5V, V_{in} : 48V, V_{out} : 12V, F_{sw} : 1MHz



AEC Device Portfolio

6.05mm x 2.3mm



3.5mm x 1.95mm



2.5mm x 1.5mm



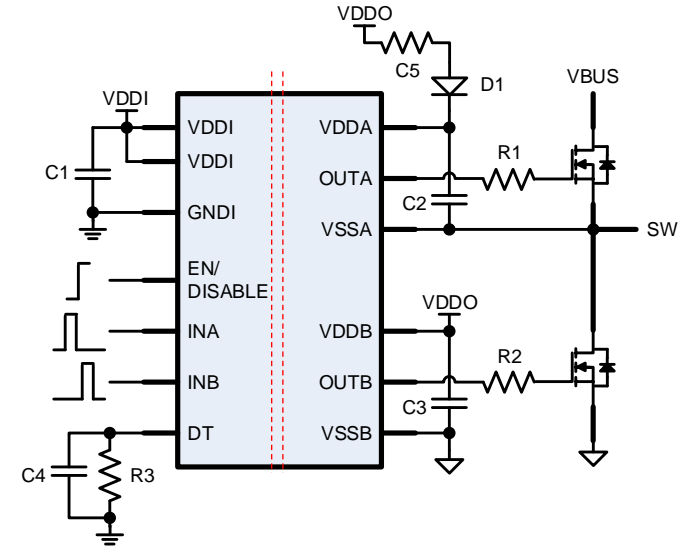
| Parameter | EPC2206 (@5V Vgs) | EPC2218 (@5V Vgs) | EPC2204 (@5V Vgs) |
|----------------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| Vds | 80V | 100V | 100V |
| Rds(on) typ | 1.8mOhm | 2.5mOhm | 4.5mOhm |
| Rds(on) max | 2.2mOhm | 3.2mOhm | 5.6mOhm |
| Qg typ @50% of rated Vds | 15nC | 10.5nC | 5.7nC |
| Qgd typ @50% of rated Vds | 3nC | 1.5nC | 0.8nC |
| Qoss typ @50% of rated Vds | 72nC | 46nC | 25nC |
| Qrr typ | 0nC | 0nC | 0nC |
| Device Size | 13.9mm ² | 6.8mm ² | 3.75mm ² |

MPQ18831 / 51 / 71 - 絶縁型デュアルチャネルゲートドライバ

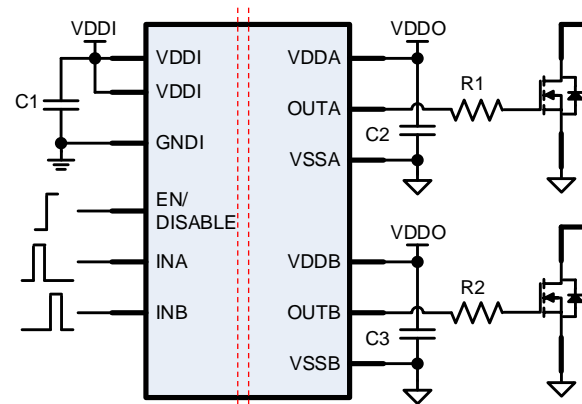
特長

- フレキシブルなコンフィギュレーション
 - 独立したデュアルチャネルドライバ: MPQ18851
 - デュアル入力のハーフブリッジドライバ: MPQ18831
 - PWM入力のハーフブリッジドライバ: MPQ18871
- 最大 $5kV_{RMS}$ の絶縁
- CMTI $>100kV/\mu s$
- TTLおよびCMOSに対応した入力
- UVLOオプション (5V / 8V / 10V / 12V / 15V)
- 最大30V出力駆動電源
- 4Aソース / 8Aシンクのピーク電流出力
- 定格50nsの伝播遅延(入力ハイ→出力立ち上がりエッジ)
部品間伝搬遅延時間差分: $\pm 5ns$
- 動作時ジャンクション温度幅: $-40^{\circ}C \sim +150^{\circ}C$
- 豊富なパッケージラインナップ
SOIC-16 WB / SOIC-16 NB /
ウェットブルフランク 5mm x 5mm LGA-13パッケージ
- AEC-Q100準拠

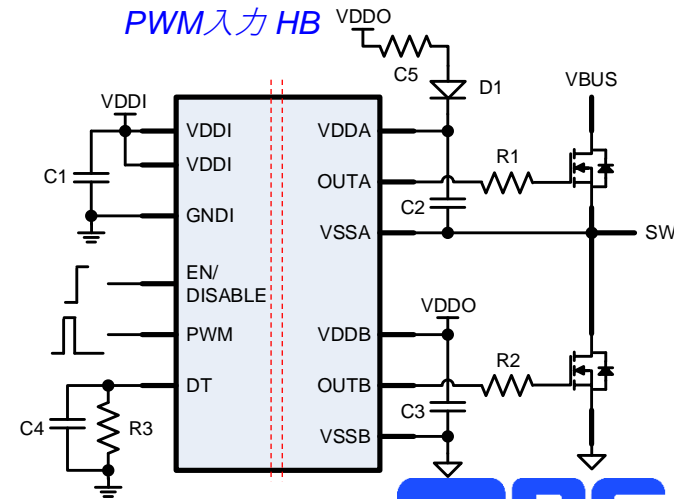
MPQ18831
デュアル入力HB



MPQ18851
独立デュアル入力ドライバ

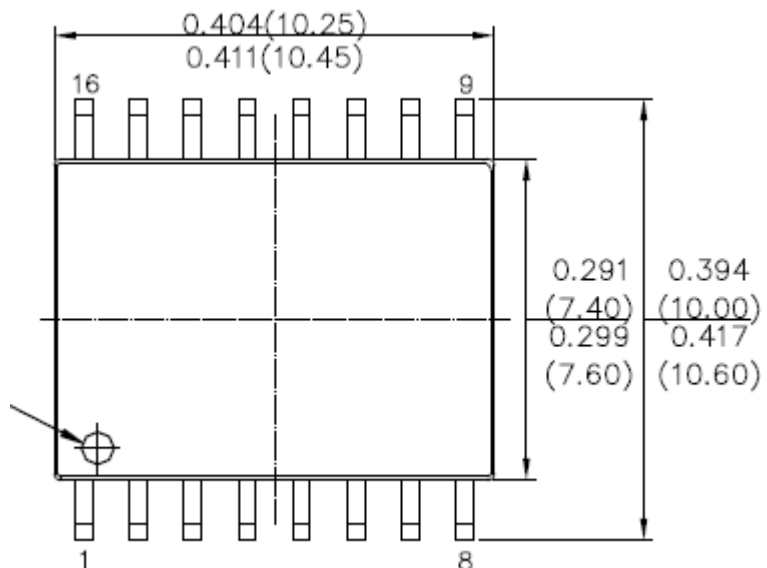


MPQ18871
PWM入力HB

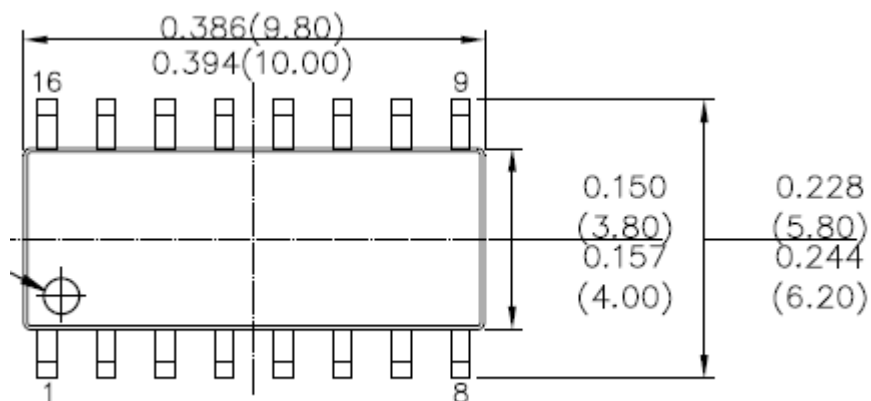


さまざまなパッケージにおける絶縁電圧定格

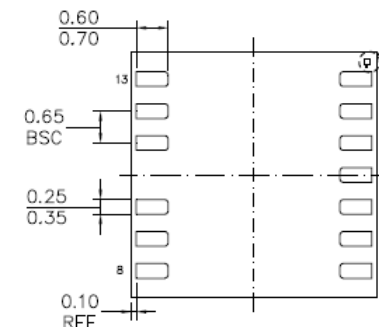
SOIC-16 WB



SOIC-16 NB



LGA-13



| パッケージ | 絶縁定格 |
|------------|----------------|
| SOIC-16 WB | 5k V_{rms} |
| SOIC-16 NB | 3k V_{rms} |
| LGA-13 | 2.5k V_{rms} |

ゲートドライバにおける電源デバイス要件

| | Si FET | IGBT | SiC FET | GaN FET |
|----------------|---|---|---------------------------------|---|
| スイッチング周波数 | 高 (>20kHz) | 低～中 (<100kHz) | 高 (>20kHz) | 非常に高い (>1MHz) |
| レール電圧 | 最大650V | > 650V / 1000V | > 650V | < 650V |
| 電力 | 低～中 (<10kW) | 中～高 (>3kW) | 中～高 (>3kW) | 低～中 (<10kW) |
| 動作時駆動電圧 | 10V～12V | 12V～15V | >20V (正 + 負) | ～5V |
| ネガティブゲートドライブ電圧 | 必要なし | 推奨 | 一般的に必要 | 重要視されない |
| 出力UVLO | 5V / 8V | 8V / 10V | 12V / 15V またはそれ以上 | 3V |
| 駆動電流要件 | アプリケーションに依存 高電力アプリケーション使用時には、より高いドライブ電流が必要 | | | 比較的低い |
| 伝播遅延 | 遅延が少ないほうが良い | 重要でない | 遅延が少ない | 遅延が少ない |
| アプリケーション | OBC 充電ステーション | 車載 / 産業機器 ・モータ駆動 ・サーボ ・レガシーOBC | OBC 充電ステーション トラクション・インバータ | ・ACアダプタ ・通信基地局・サーバー ・実用可能性分野 EV、MHEV |

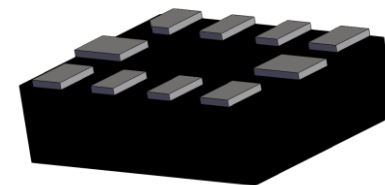
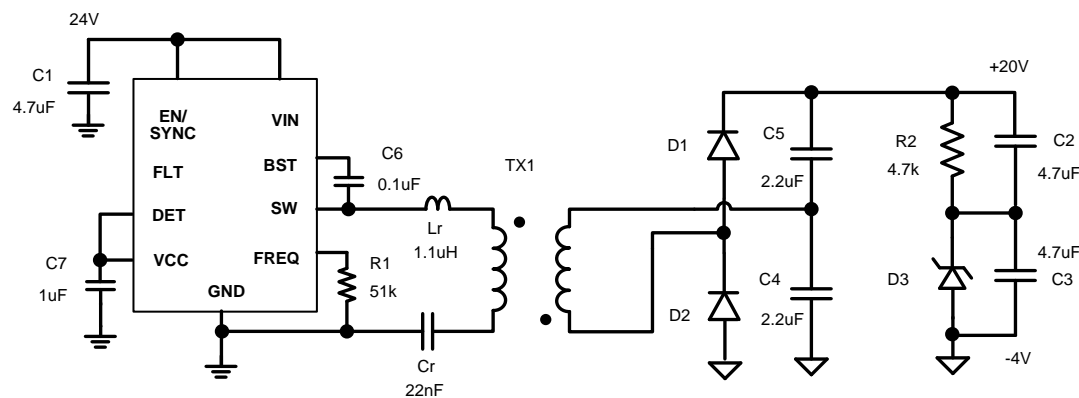
MPQ18913 - 30V、0.5A バイアス電源用絶縁LLC共振コンバータ

特長

- 5V~30Vの入力電圧範囲 (50Vサージ)
- ハーフブリッジトラン用ストライバ絶縁型LLC共振コンバータ
- **プログラム可能なスイッチング周波数: 750kHz-5 MHz (913)**
- **プログラム可能なスイッチング周波数: 750kHz-10MHz (914)**
- 周波数同期のための外部クロック入力
- 自動共振周波数検知
- EMI低減のためのスペクトラム拡散オプション
- 内部ソフトスタート
- OCP、SCP、OVP、OTPおよびFLTレポート機能
- **5W程度まで対応**
- Wettable Flank QFN-10 (2mm x 2.5mm) パッケージ

アプリケーション

- IGBT / SiC ゲートドライババイアス電源
- EV用DC急速充電ソリューション
- EV用トラクション・インバータ
- 車載用オンボード・チャージャ

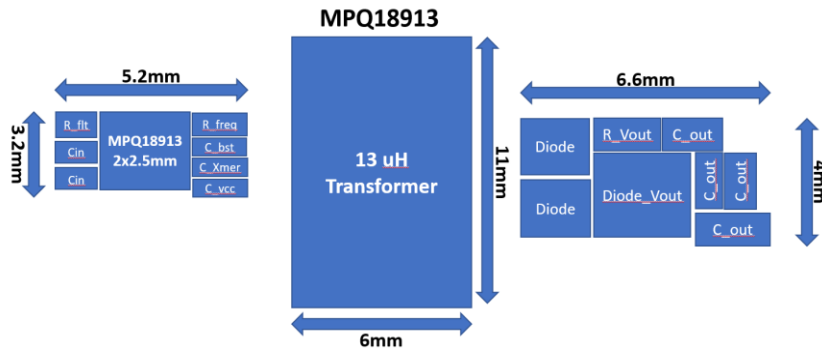


QFN-10 (2mm x 2.5mm) パッケージで提供

PCB実装面積比較 – 絶縁型バイアス電源

MPSソリューション

17.8mm

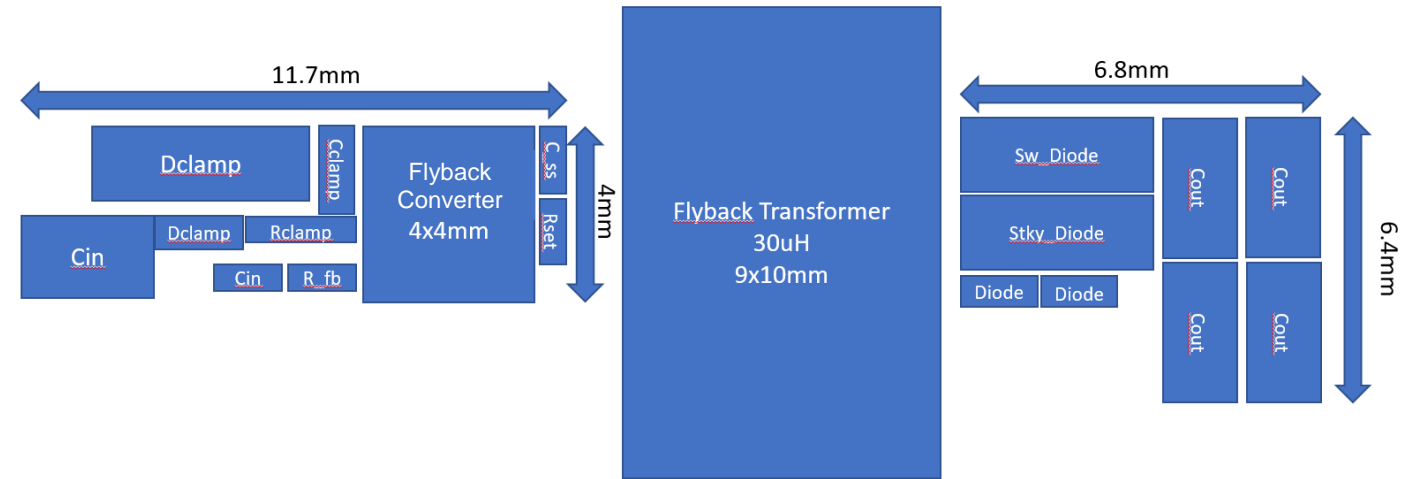


ソリューションサイズ: **109 mm²**
全面積: **196 mm²**
部品点数: **21**

40%も
面積を
縮小!

他社のフライバックソリューション

27.5mm



ソリューションサイズ: **180 mm²**
全面積: **275 mm²**
部品点数: **26**

MPQ18913 vs. フライバック : BOMコスト分析

| | MPQ18913 LLC共振トポロジー | PSR フライバックコンバータ トポロジー |
|-------------|--|-----------------------------|
| 高電圧コンデンサ | 11.6 uF (≒\$0.12) 4.7uF + 2.2uFx2 + 1uFx2+α | 4.7uF+0.1uF (≒\$0.05) |
| 低電圧コンデンサ | 1uF+0.47uF (≒\$0.01) | 64uF+47nF (≒\$0.32) |
| ショットキーダイオード | 2 (≒\$0.08) | 1 (≒0.04) |
| ツェナーダイオード | 0 | 3 (≒\$0.12) |
| スイッチングダイオード | 0 | 1 (≒\$0.04) |
| 抵抗 | 2 (≒\$0.02) | 3 (≒\$0.03) |
| トランス | 13uH、 11x6mm (≒\$0.36) | 30uH、 9 x 10mm (≒\$0.50) |
| IC | X | X |
| BOMコスト | ≒ \$0.59 + X | ≒ \$1.10 + X |

46%も
BOM
コストを
削減!

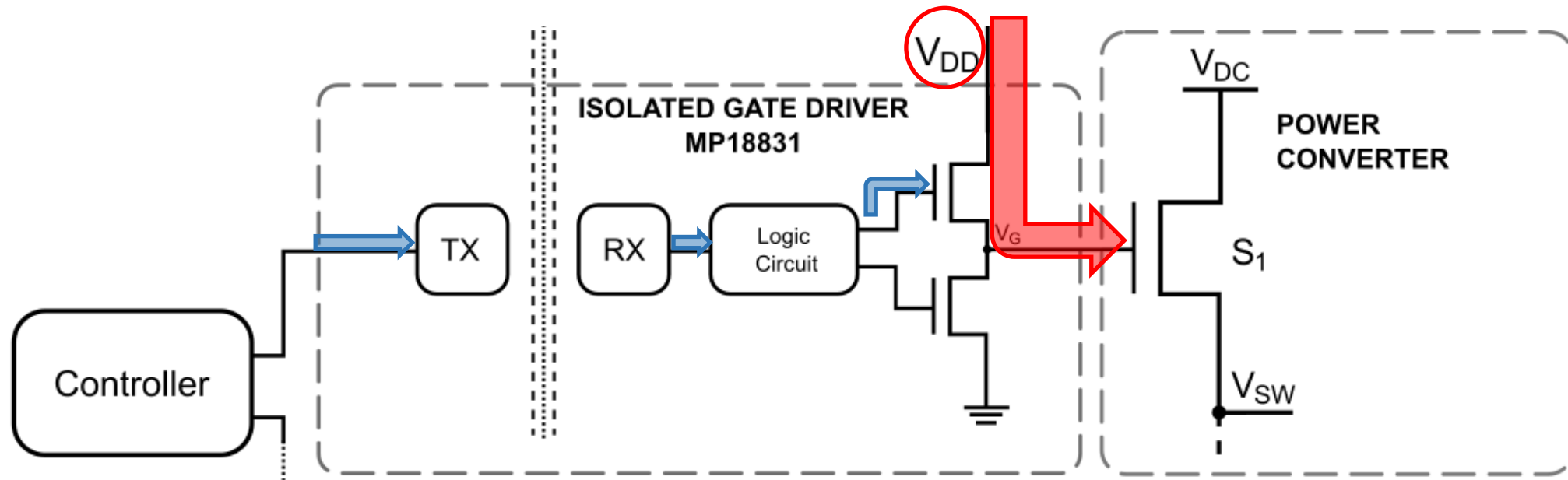
低電圧コンデンサは\$0.05 / 10uFと想定
高電圧コンデンサは\$0.10 / 10uFと想定



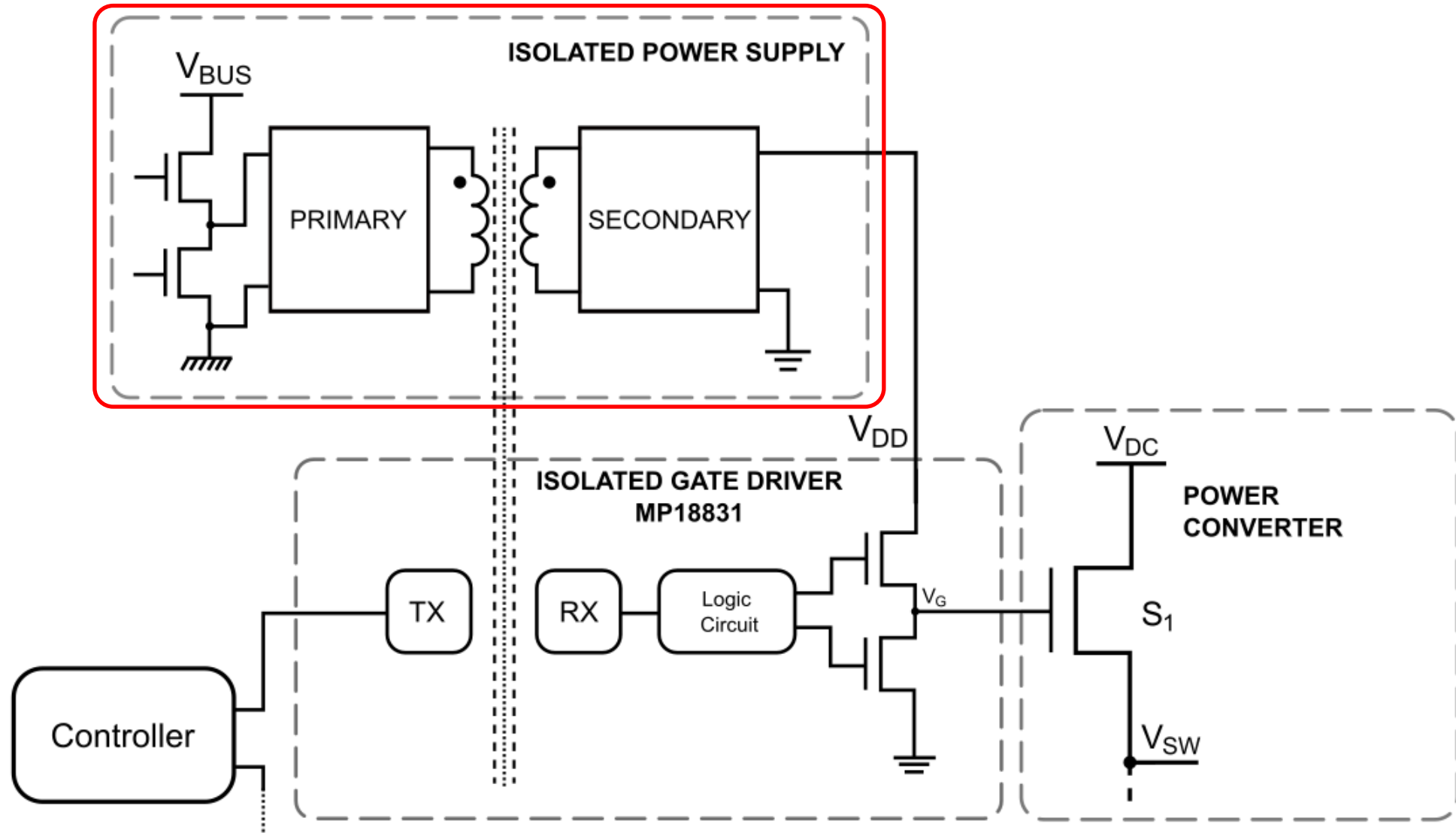
MPQ18913 vs. フライバックトポロジー

| | MPQ18913/4 LLC共振トポロジー | 他社のPSR フライバックトポロジー |
|-----------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| スイッチング周波数 | 高い (最大10MHz) | 低い (<400kHz) |
| トランスのサイズ | 13uH (11 x 6mm) | 30uH (10 x 10mm) |
| 漏れインダクタンス | 共振タンクの一部としてリー ケージインダクタンスを使用 | リーケージインダクタンスで電圧 スパイクと余分な損失が生じる |
| 絶縁電圧 | 高い (最大5kV) | 低い (1.5kV) |
| 絶縁容量 | 低い (6pF) | 高い (13-25pF) |
| EMIエミッション | 良い | 悪い |
| パッケージサイズ | 2 x 2.5mm | 4 x 4mm |
| ダイオード (ツェナーを含む) | 3 | 6 |
| ソリューションサイズ | 109mm ² | 180mm ² |
| BOM部品点数 | 21 | 26 |

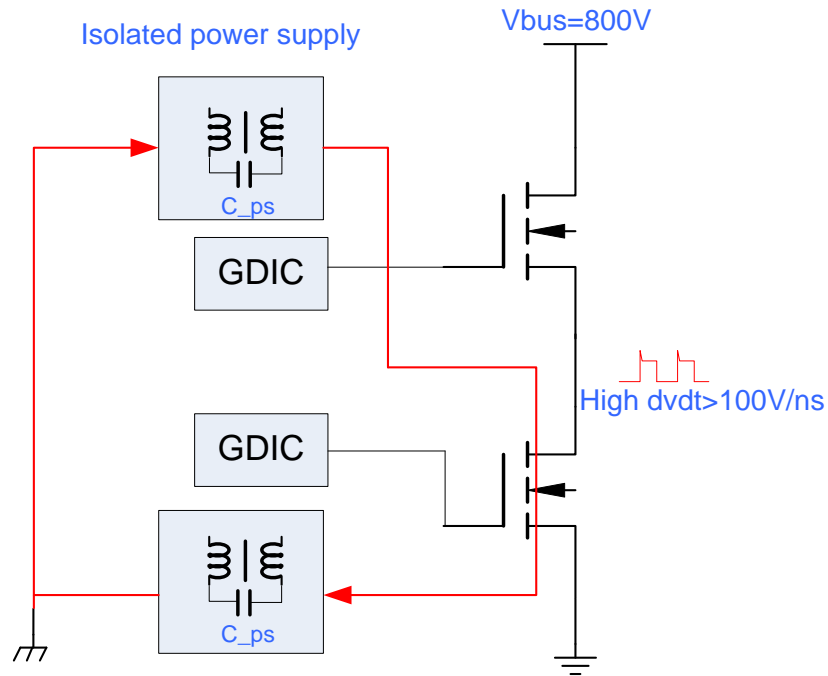
ゲートドライバ用絶縁型電源



ゲートドライバ用絶縁型電源 (続き)



ゲートドライバ電源用のトランス要件



高電力システムのトレンド

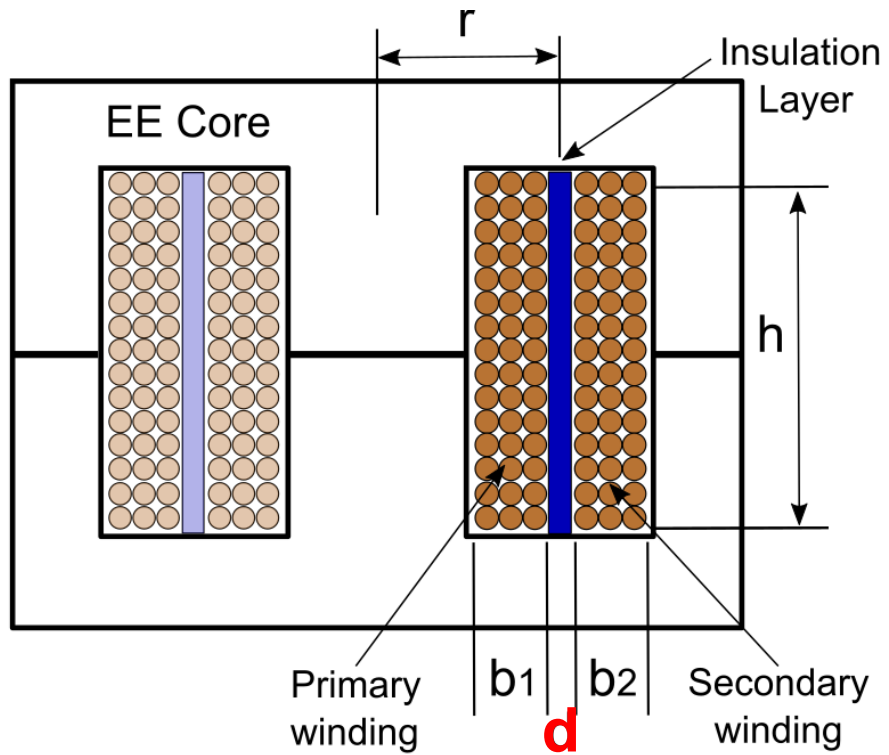
- バス電圧の増加 → トランスに高い絶縁耐圧が必要
- 高いdv/dt → 低い巻線間容量が必要

例)

- 線間容量20pF(仮)
- $I_{CM} = 100V/ns \times 20 pF / 2 = 1 A$

→ I_{CM} はMCU、GDIC (Gate Drive IC)、GDPS (Gate Drive Power Supply) 動作に悪影響をもたらす

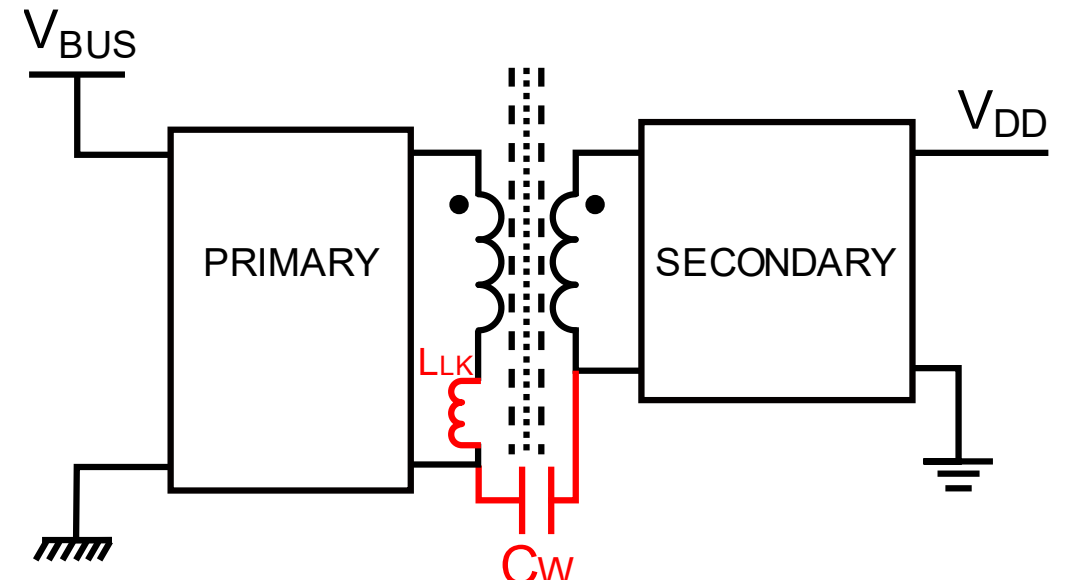
低容量トランスの設計



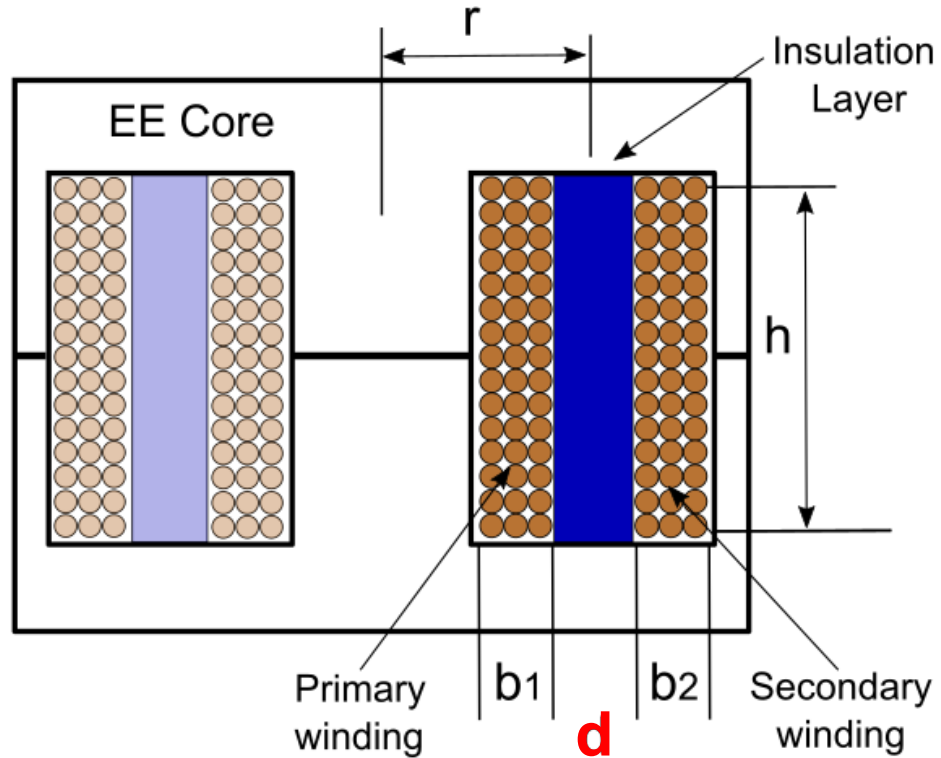
$$C_W = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d}$$

C_W を小さくするには → 巻線間の距離を広げる

※ ϵ_0 : 真空の誘電率、 ϵ_r : 誘電体の比誘電率、 A : 極板面積



絶縁容量とリーケージインダクタンス



$$C_W = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d}$$

C_W を小さくするには → 巻線間の距離を広げる

巻線間の距離を広げる → L_{LK} が大きくなる

$$L_{LK} = \frac{8\pi^2 \times r \times N_P^2}{h} \left(d + \frac{b_1 + b_2}{3} \right)$$

V_{BUS}

V_{DD}

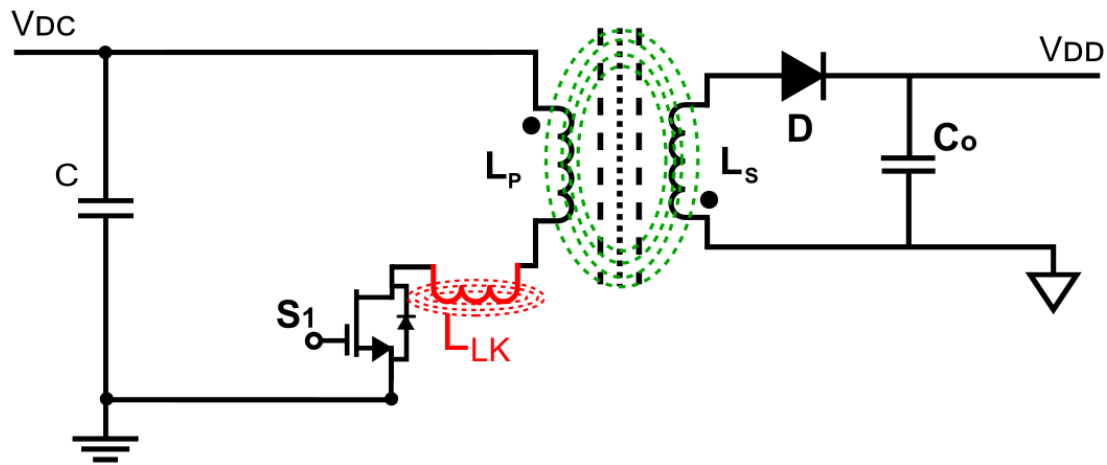
PRIMARY

SECONDARY

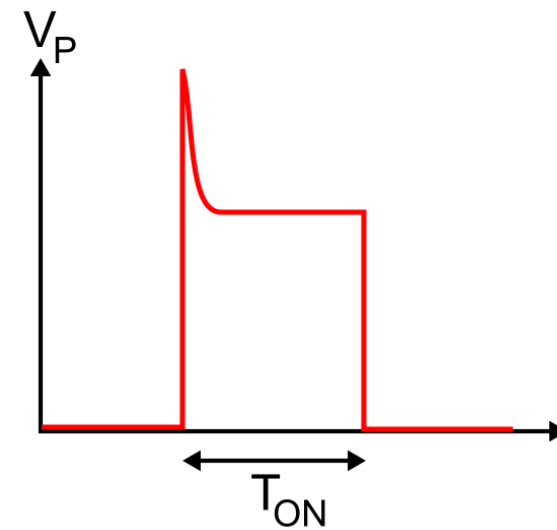
LLK

C_W

リーケージインダクタンスを伴うフライバックコンバータの駆動

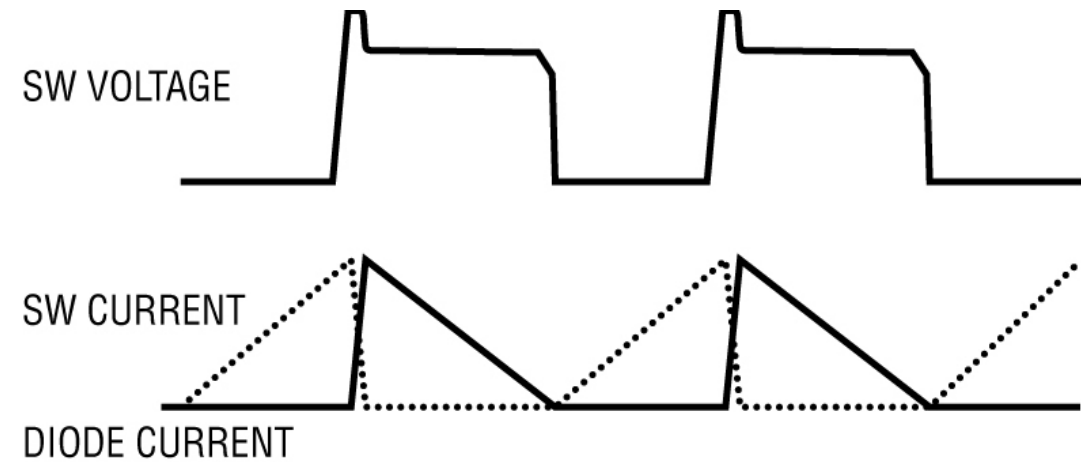
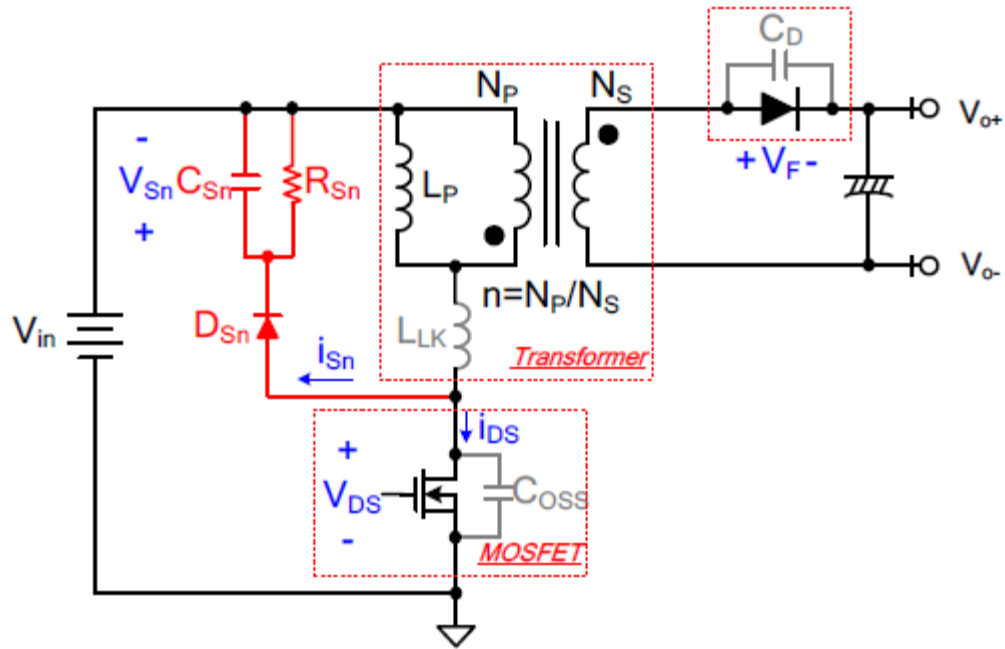


フライバックコンバータ



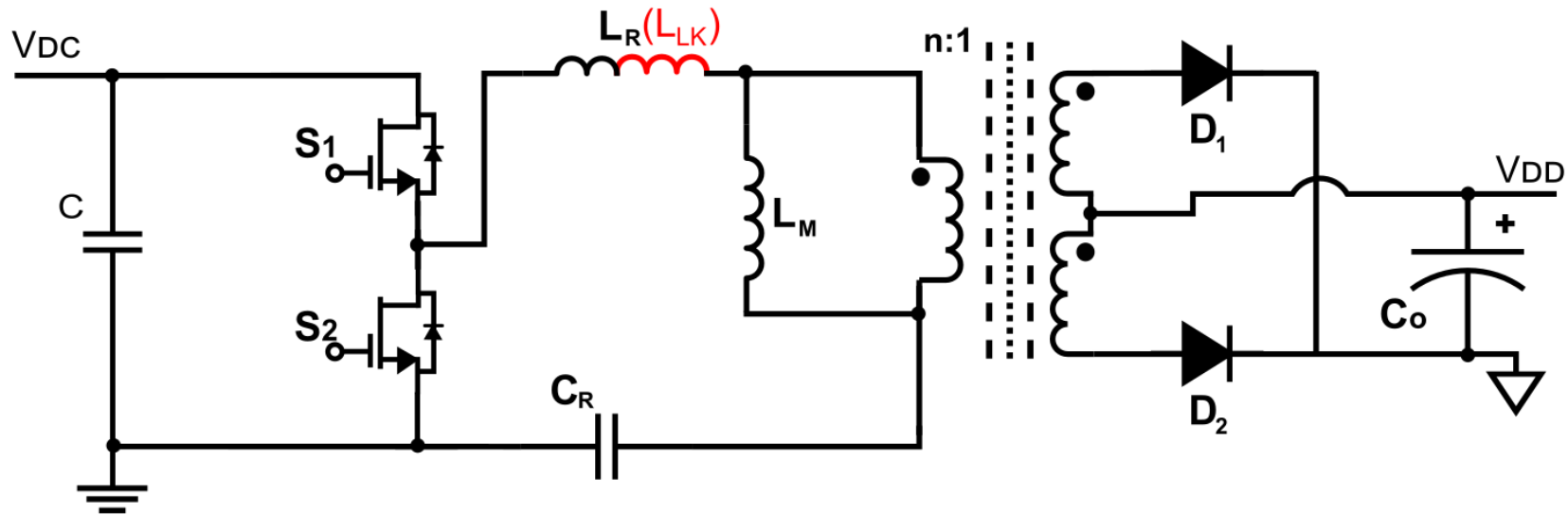
一次側を通過する電圧

スナバ回路付きフライバックコンバータ



- ◆ スイッチング電圧のスパイクはデバイス定格以内に抑える必要があり、スナバ設計の複雑化
- ◆ 損失とノイズ要因となり、最大動作周波数を制限
- ◆ 大きなリーケージインダクタンスは電源のパフォーマンス悪化

リーケージインダクタンスを伴うLLC共振コンバータの駆動

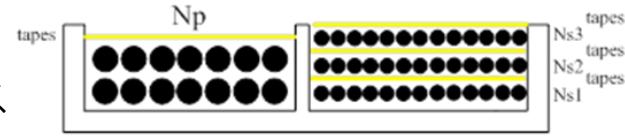


ソフトスイッチング ZVS -> LLCで高い周波数動作を実現

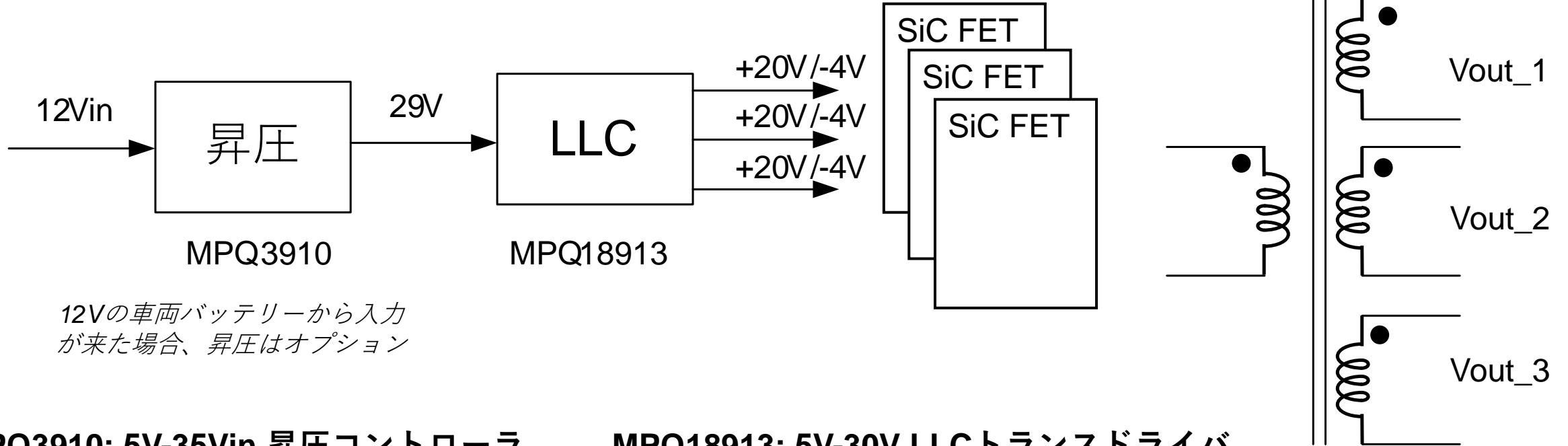
SiC FETをバイアスする設計サンプル

MPQ18913を使用したマルチ出力

- 1次側と2次側を分ける2スロット構成トランス
- $C_{ps} < 1pF$ 、 $L_m = 28\mu H$ 、 $L_k = 5\mu H$



5kV 強化絶縁



12Vの車両バッテリーから入力が来た場合、昇圧はオプション

MPQ3910: 5V-35Vin 昇圧コントローラ

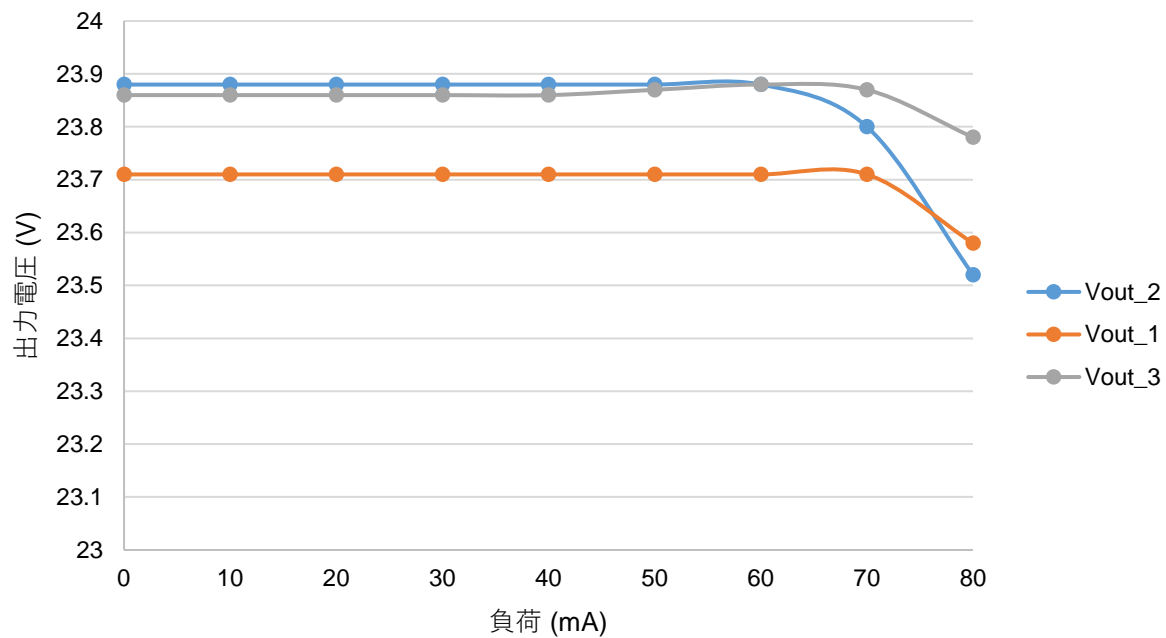
- 周波数: 30kHz~400kHz
- 1A MOSFETゲートドライバ
- 軽負荷時パルススキップモード
- 保護機能: OVP / SCP / OTP
- MSOP-10パッケージ、AECQ-100準拠

MPQ18913: 5V-30V LLCトランスドライバ

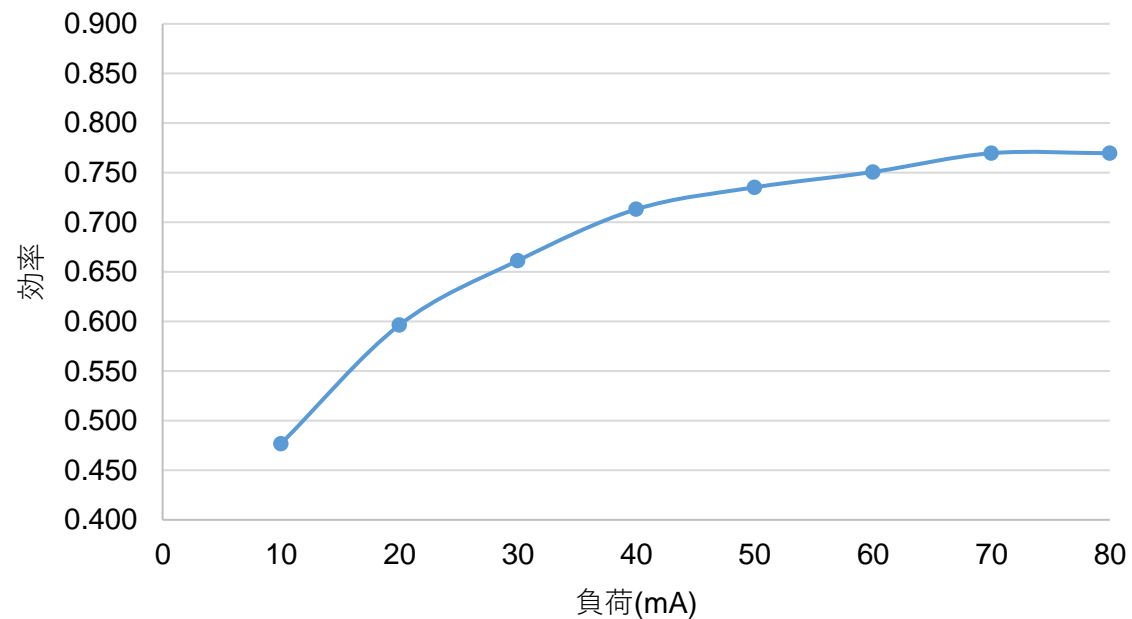
- 周波数: 750kHz to 5MHz
- 自動共振周波数検知
- スペクトラム拡散
- 最大6Wまで対応
- QFN-10 (2 x 2.5mm)、AECQ-100準拠

MPQ3910とMPQ18913使用時の性能

ロードレギュレーション: MPQ3910 + MPQ18913

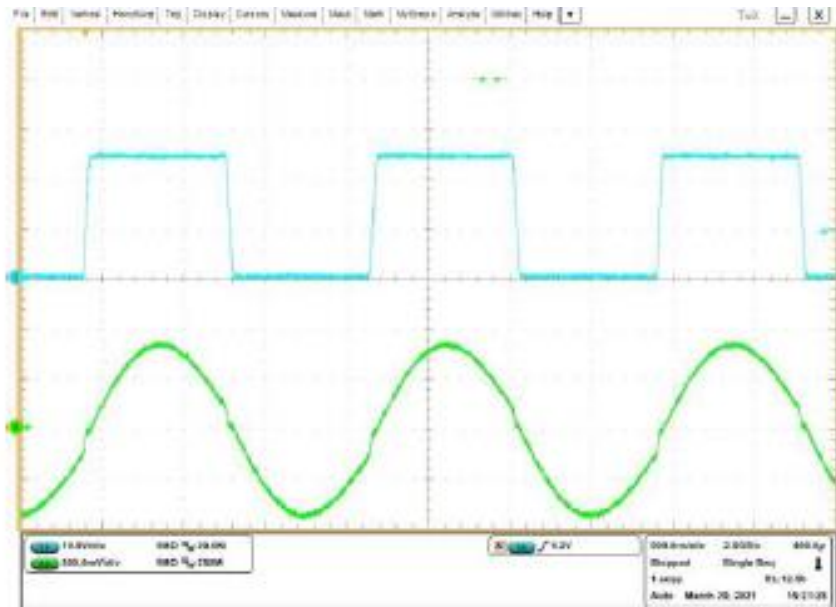


効率: MPQ3810 + MPQ18913



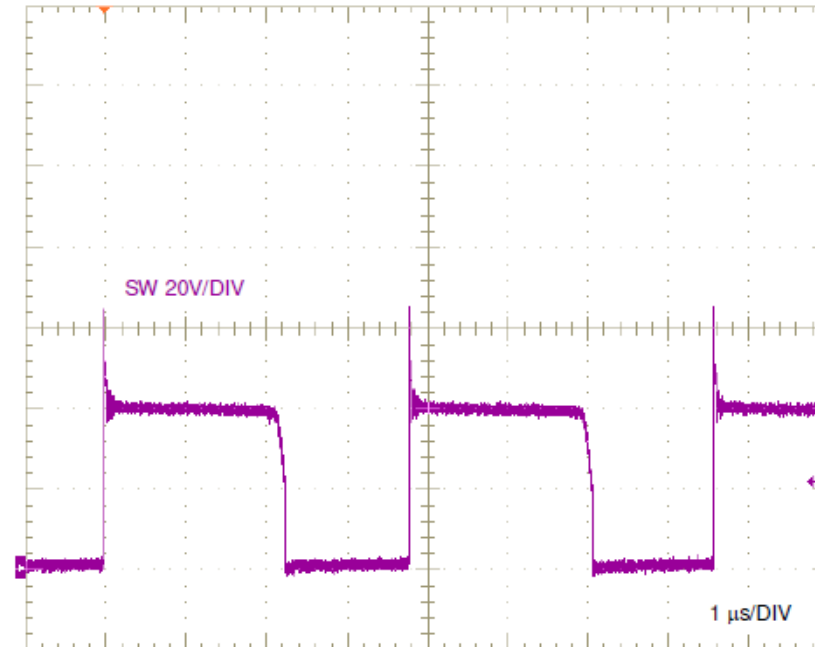
MPQ18913 vs. フライバックコンバータ

Ch2, SW
10V/div



Ch4, Ipri
500mA/div

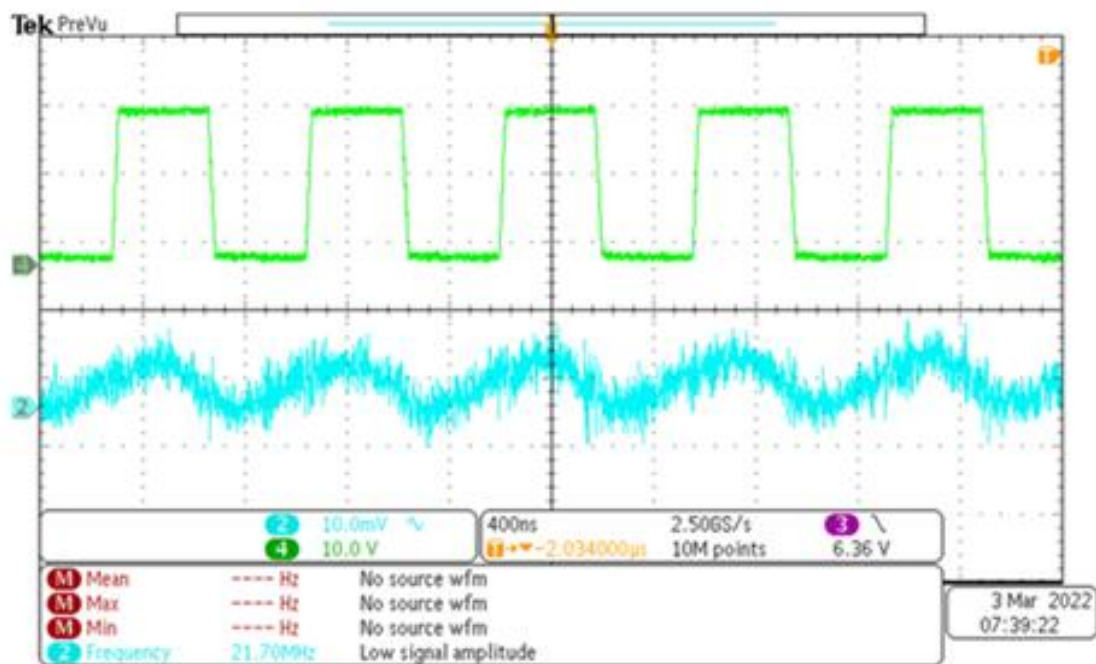
MPQ18913
スイッチング波形 (トップ)



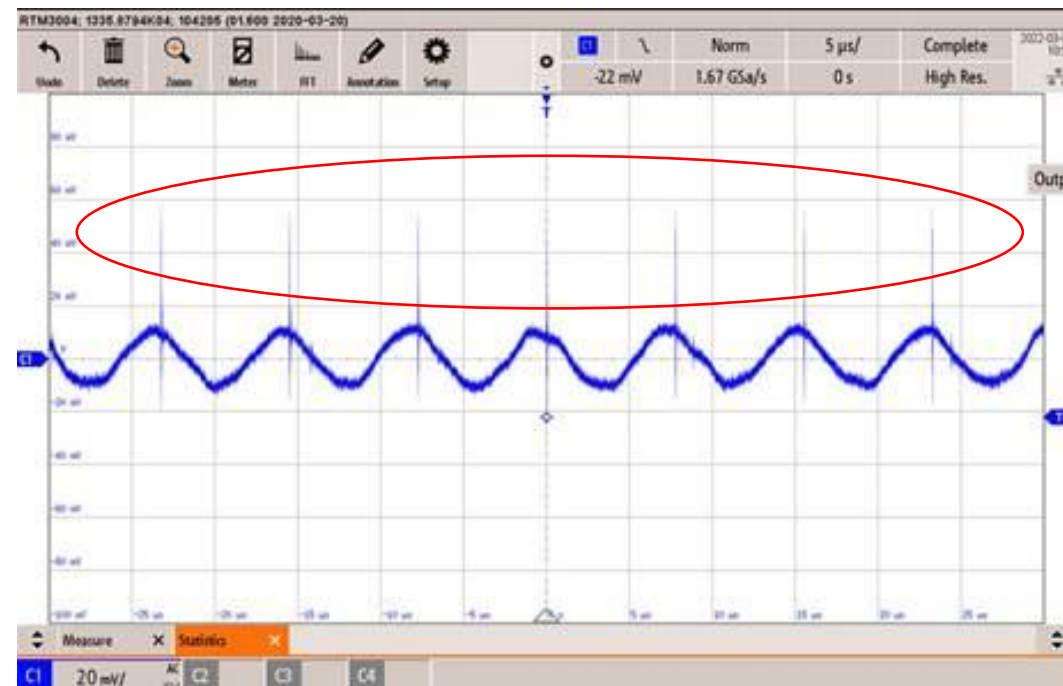
他社のフライバックの
スイッチング波形

MPQ18913 vs. フライバックコンバータ

MPQ18913は、フライバックにおいて入力レールにスイッチングノイズ (赤丸部分) をもたらずハードスイッチングに比べ、より良いEMIをもたらずソフトスイッチングトポロジを採用



MPQ18913 入力電圧波形 (下部)



他社のフライバック入力電圧波形

- **MPS**は車載用オンボード・チャージャ、トラクション・インバータ、充電ステーション向けに革新的なソリューションを提供し、車載電力化市場に注力しています
 - 絶縁型ゲートドライバ
 - **GaN**ドライバ
 - バイアス電源用トランスドライバ
- 絶縁型**LLC**共振コンバータは、**IGBT**や**SiC FET**などのバイアス電源に最適で、従来のフライバックを超えた次世代設計において電力密度を増加させるのに役立ちます