

効率を改善する： 車載システムでの 理想ダイオードコントローラ

岩本純一

シニアFAEマネージャー

MPSジャパン

2024年12月

トピック

はじめに

理想ダイオードコントローラとは

理想ダイオードコントローラとショットキーダイオードの電力および電圧降下

さまざまなダイオードコントローラ – MPQ5850-AEC1、MPQ5852-AEC1およびMPQ5816-AEC1

整流器 – AC重畳交流電圧、逆極性, 自動車試験

ORing – 並列バッテリーと電源

PチャネルMOSFET vs. 理想ダイオードコントローラ

EMCおよびレイアウト上の推奨事項

部品選定、設計、計測のヒント

結論

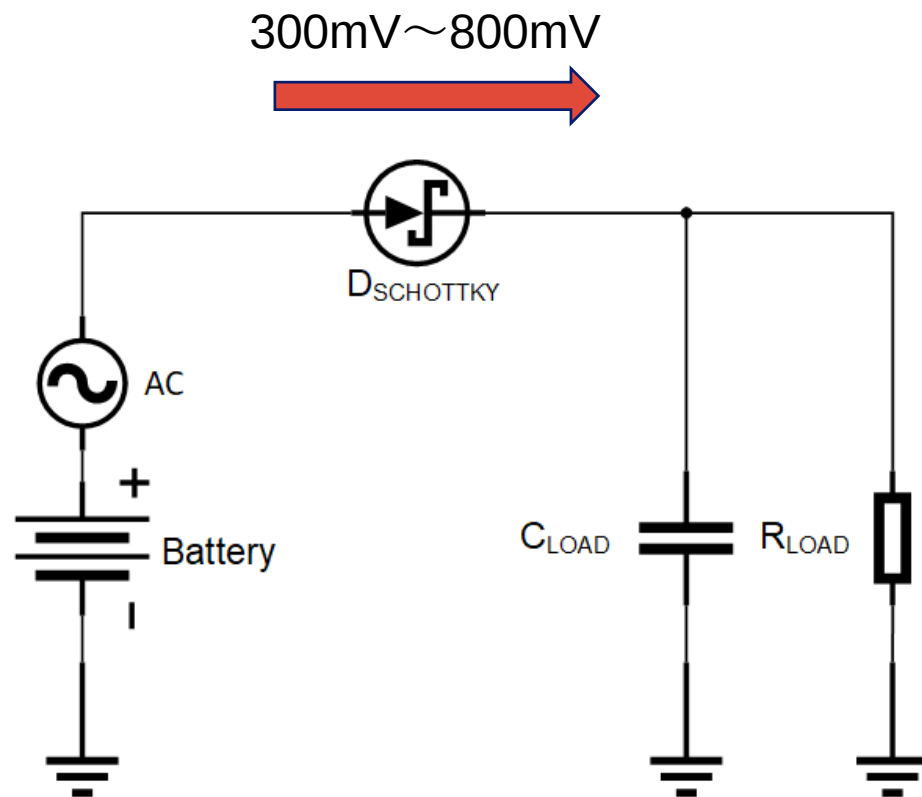
はじめに

当入門ウェビナーは、今日のハードウェア・エンジニアにとって、いかに外部部品を選択するか、いかに実践的に設計に組み込んでいくかなど、理想ダイオードコントローラの機能を理解するのに役立ちます。

当ウェビナーでは、理想ダイオードコントローラ、ショットキーダイオード整流器、**P**チャネル **MOSFET**整流器を使用したアプリケーションの比較も行います。

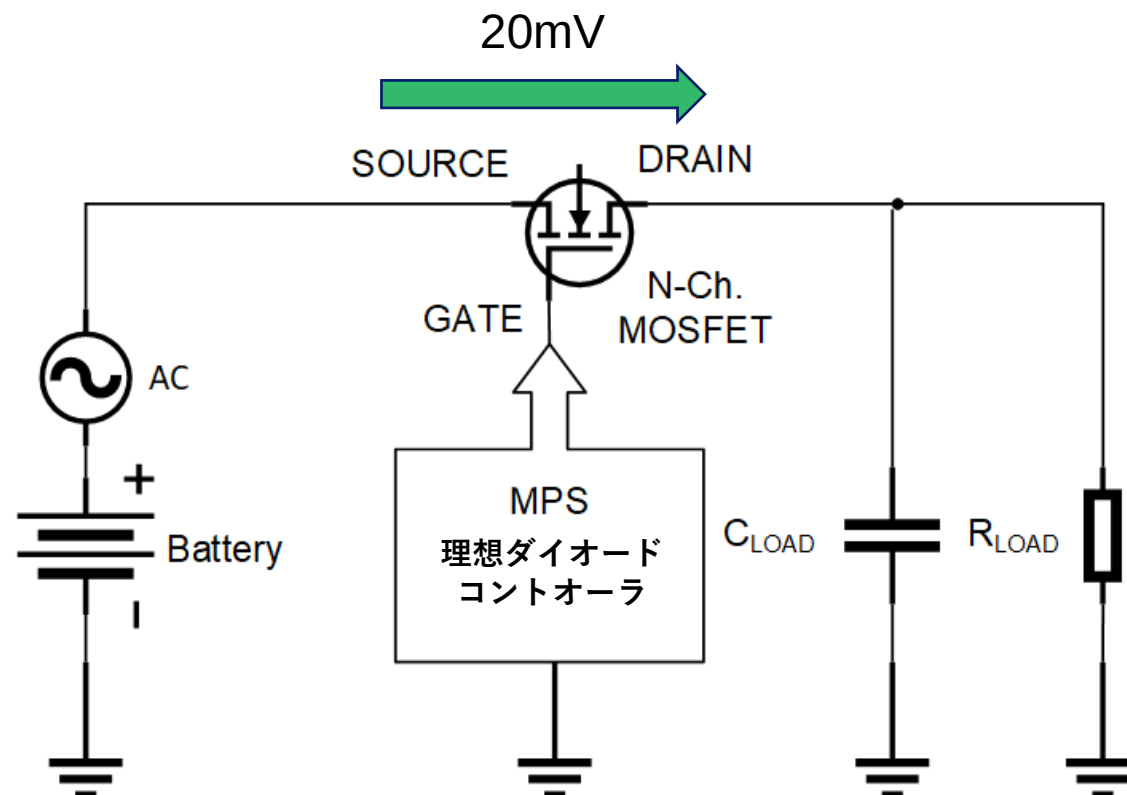
最後に、正確な測定方法とともに、クールランニングとコスト最適化を実現する理想的ダイオードコントローラの使用方法について説明します。

理想ダイオードコントローラとは



パッシブ・ショットキーダイオード

従来



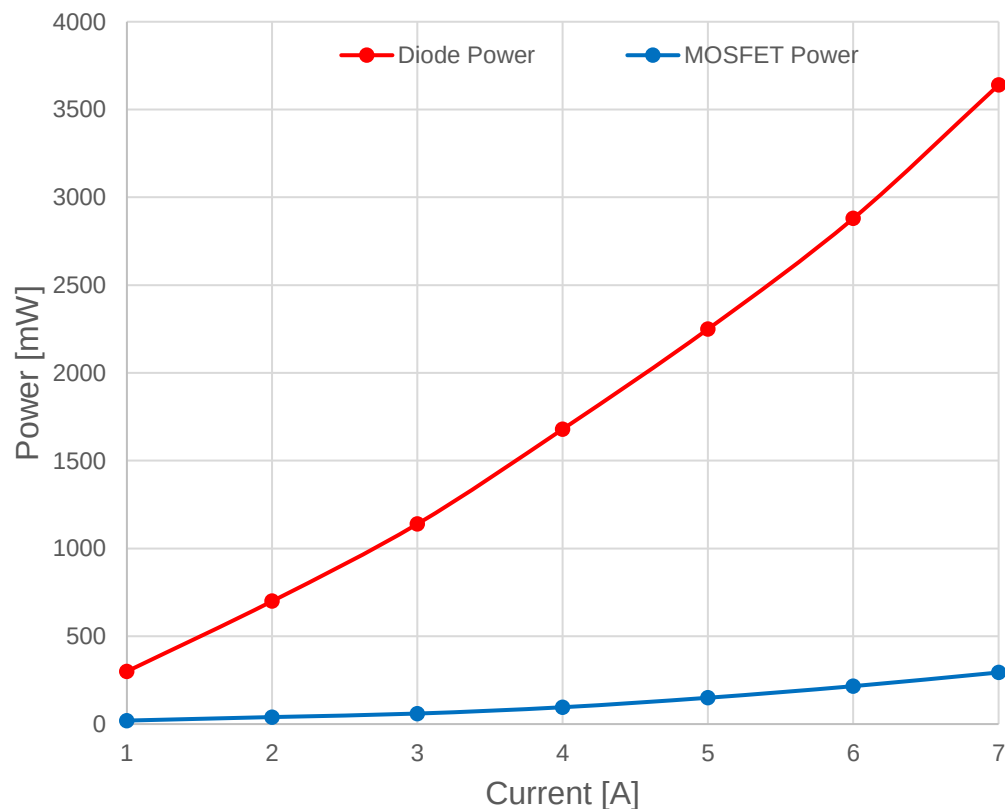
理想ダイオードコントローラ

現在

理想ダイオードコントローラでは、
電圧降下が20mVに制御されたNチャンネルMOSFETを使用。

理想ダイオードコントローラとショットキーダイオードの電力比較

Power Schottky vs. Ideal Diode Controller
 $T_{\text{JUNCTION}} = 75^{\circ}\text{C}$



MPQ5850-AEC1 と MPQ5852-AEC1

- 外部NチャネルMOSFETを使用
- MOSFET: $R_{\text{DS(ON)}} = 6\text{m}\Omega$ 、 $I_{\text{DRAIN MAX}} = 80\text{A}$ 、 $\text{BV}_{\text{DSS}} = 60\text{V}$
- MOSFETパッケージ: 3.3mm x 3.3mm
- MOSFET 最大: 2.2Wあたり1in²、2オンス銅、FR4

パッシブ・ショットキーダイオード

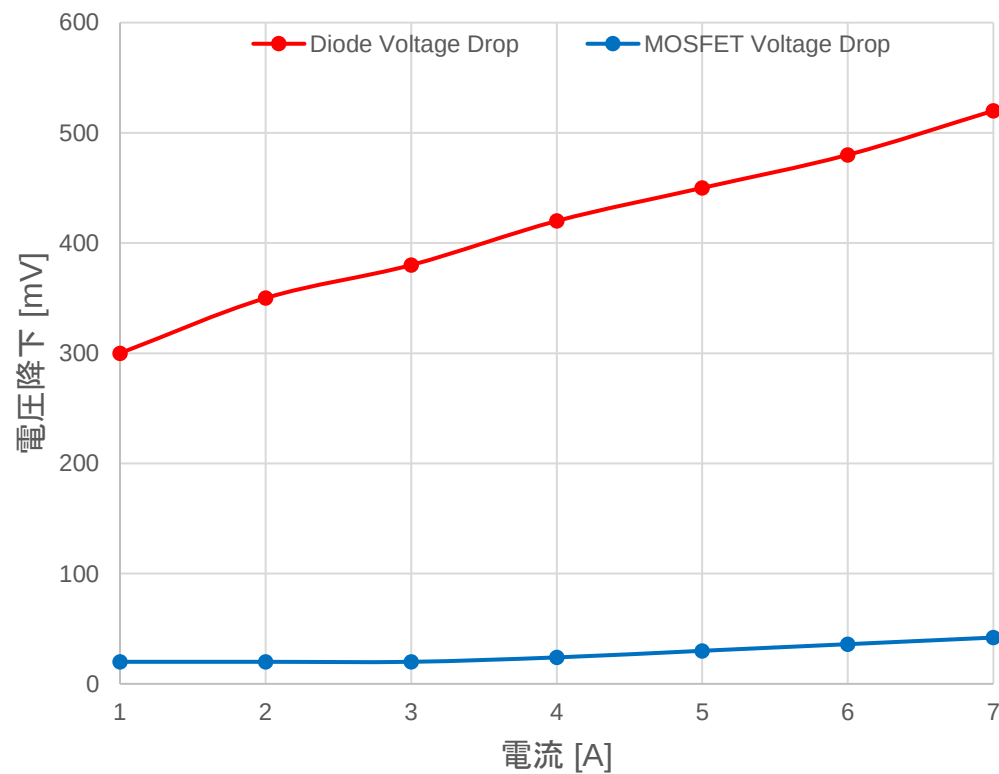
- ショットキーダイオード: $I_{\text{FORWARD}} = 5\text{A}$ 、 $I_{\text{FORWARD PEAK}} = 100\text{A}$ 、 $V_{\text{REVERSE}} = 60\text{V}$
- ショットキーダイオードのパッケージ: 4.7mm x 2.5mm
- ショットキーダイオード 最大: 1.5W、 $T_{\text{J}} = 150^{\circ}\text{C}$ で4A

NチャネルMOSFETはその熱をPCBに移動させるが、5Aのショットキーダイオードではそのようなことは起こらない

理想ダイオードコントローラとショットキーダイオードの 電圧降下の比較

電圧降下 ショットキー vs. 理想ダイオードコントローラ

$T_{\text{JUNCTION}} = 75^{\circ}\text{C}$



ショットキーダイオードは
より大きく電圧降下する

MPQ5850-AEC1 と MPQ5852-AEC1

- 外部NチャネルMOSFETを使用
- MOSFET: $R_{\text{DS(ON)}} = 6\text{m}\Omega$ 、 $I_{\text{DRAIN MAX}} = 80\text{A}$ 、 $\text{BV}_{\text{DSS}} = 60\text{V}$
- MOSFET パッケージ: $3.3\text{mm} \times 3.3\text{mm}$
- MOSFET 最大: 1in^2 あたり 2.2W 、2オンス銅、FR4

パッシブ・ショットキーダイオード

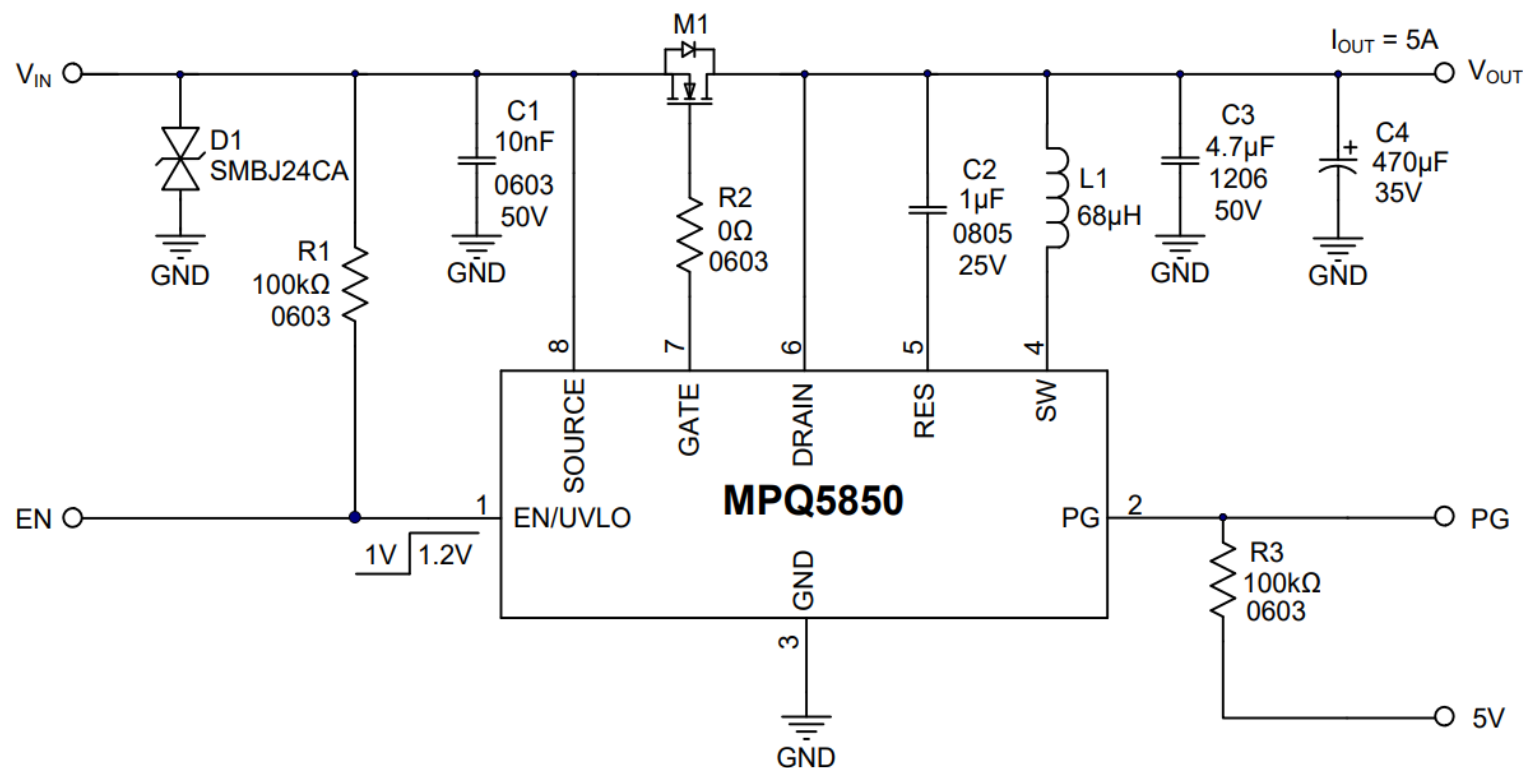
- ショットキーダイオード: $I_{\text{FORWARD}} = 5\text{A}$ 、 $I_{\text{FORWARD PEAK}} = 100\text{A}$ 、 $V_{\text{REVERSE}} = 60\text{V}$
- ショットキーダイオードのパッケージ: $4.7\text{mm} \times 2.5\text{mm}$
- ショットキーダイオード 最大: 1.5W 、 $T_{\text{J}} = 150^{\circ}\text{C}$ で 4A

ショットキーダイオードの電圧降下は
U vs. I カーブ特性に追随する。

MPQ5850-AEC1 – 外部MOSFET付きダイオードコントローラ

ACTIVE

最大100kHzまで整流



代表的なアプリケーション回路: 12V車載バッテリー、 $I_{OUT} = 5A$

特長	用途
-36V～+42V	車載システム Prot.
低ドロップアウト: 20mV	自動車用ADAS
ゲート昇圧コンバータ	車載インフォテインメント
ゲートドライブ: 430mA	デジタル・ヘッドユニット
ゲートシンク: 170mA	バッテリー駆動システム
スタンバイ: 4μA	ORing ホットスワップ
定常状態: 30μA	
パワーグッド	
TSOT-23-8 (2mm x 3mm)	
AEC-Q100	

VW80000 LV124

AC重畳

最大42Vのロードダンプ

0Vまでのコールドクランク

逆極性

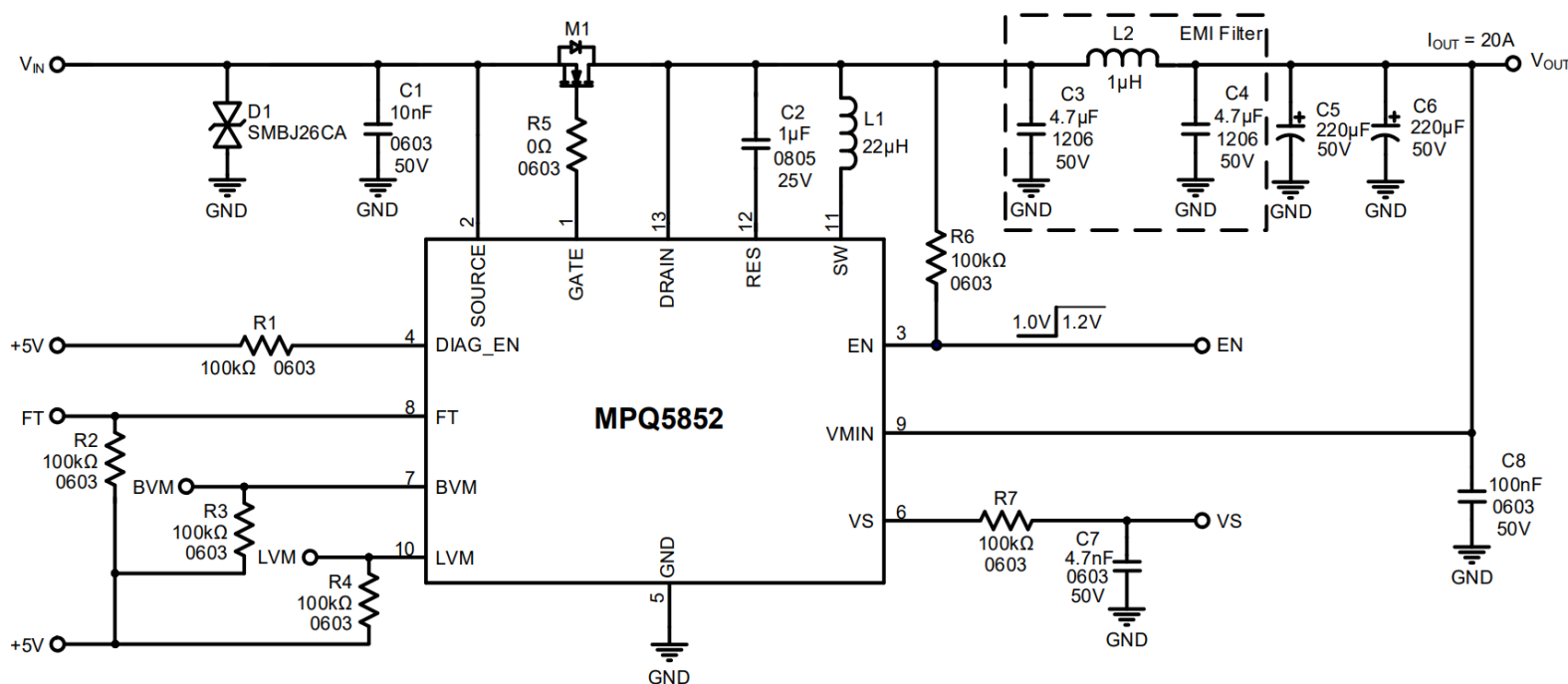
過渡ISOパルス

MPQ5852-AEC1 – ダイオードコントローラ、外部MOSFETモニタ

PRE-RELEASE

最大100kHzまで整流

EMIフィルタはC5とC6の
MOSFETとピーク電流を縮小



代表的なアプリケーション回路:
 $V_{IN} = V_{OUT} = 5V \sim 36V$ 、 $I_{OUT} = 20A$

特長	用途
-40V~+42V 低ドロップアウト: 20mV	Automotive System Prot. 自動車用ADAS
ゲート昇圧コンバータ 強固なゲートドライブ	車載インフォテインメント デジタル・ヘッドユニット
スタンバイ: 4μA 定常状態: 30μA	バッテリー駆動システム ORing・ホットスワップ
バッテリーの低電圧 / 過電圧を監視 負荷の低電圧/過電圧を監視	
バッテリー電圧検知	VW80000 LV124
過熱警告	AC重畳
故障表示	最大42Vのロードダンプ
機能安全性	0Vまでのコールドクランク
QFN-13 (3mm x 3mm) AEC-Q100	逆極性 過渡ISOパルス

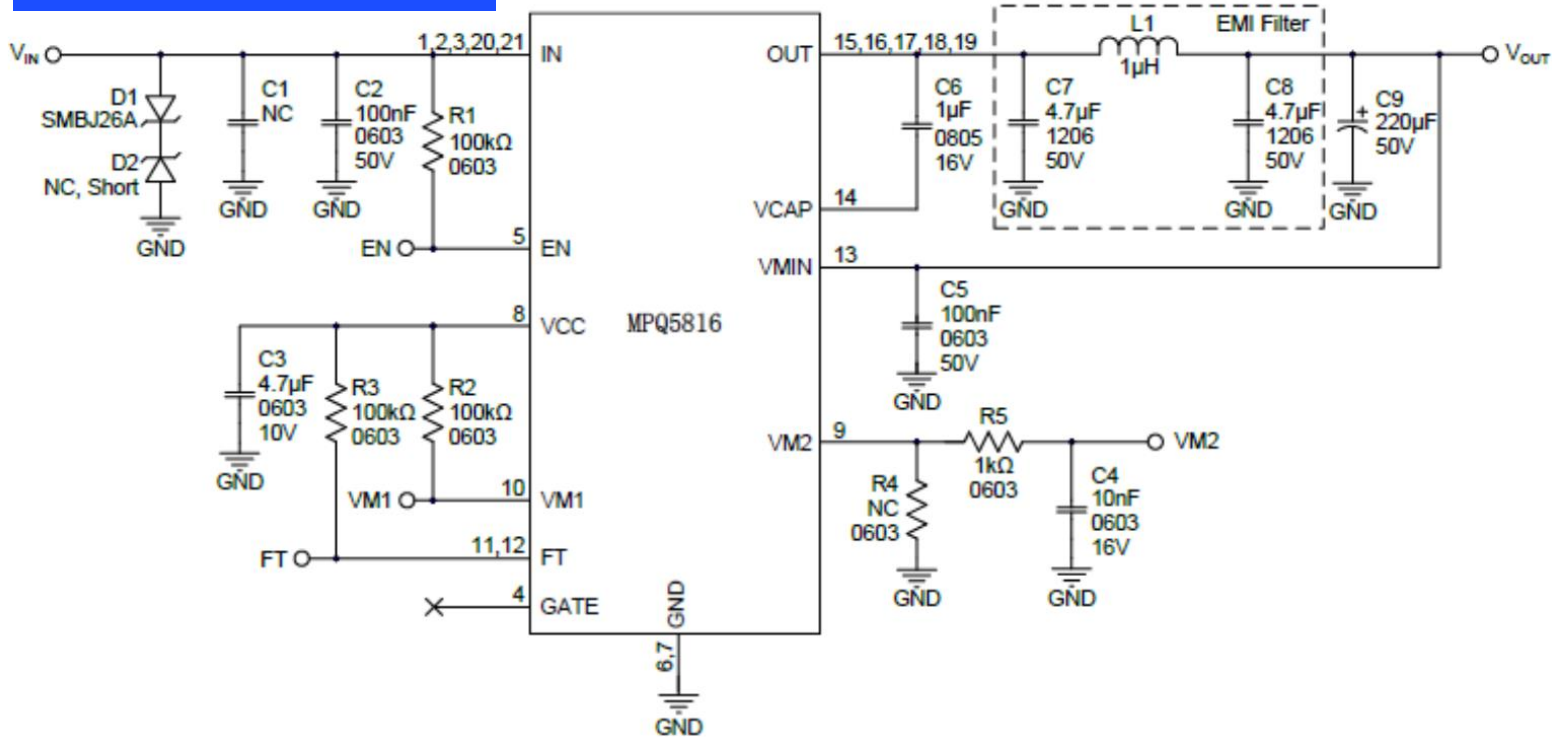
MPQ5816-AEC1 – ダイオードコントローラ、内部MOSFET、チャージポンプ

PRE-RELEASE

ゲートチャージポンプ

内部10mΩ MOSFETが最大100kHzまで整流

スタンバイ電流: 1μA



代表的なアプリケーション回路:
 $V_{IN} = V_{OUT} = 5V \sim 42V$ 、 $I_{OUT} = 9A$

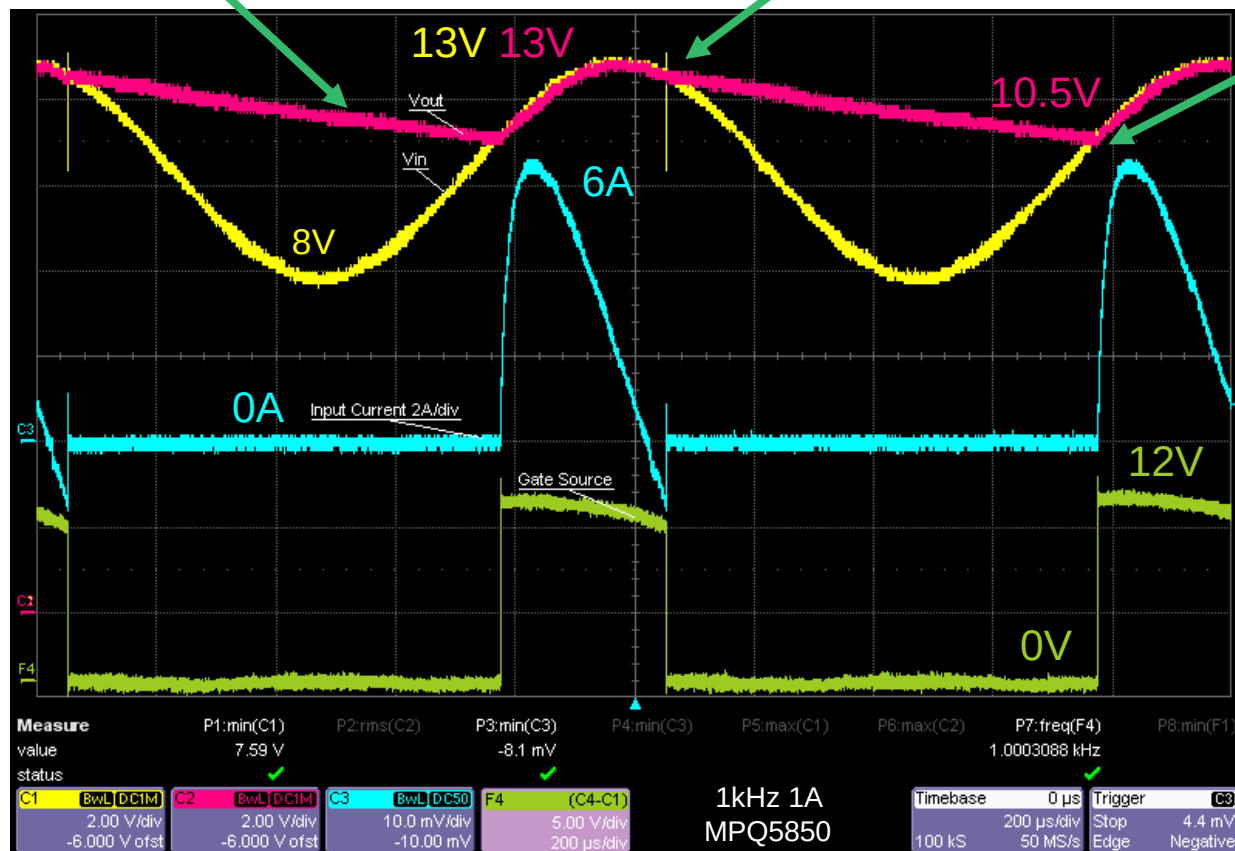
特長	用途
-40V~+42V	Automotive System Prot.
3V~2V 起動	自動車用ADAS
ゲートオン、2A オフ、0.11A	車載インフォテインメント
定常状態: 75μA	デジタル・ヘッドユニット
負荷の低電圧/過電圧を監視	バッテリー駆動システム
バッテリーの低電圧 / 過電圧を監視	ORing・ホットスワップ
バッテリー電圧検知	
独立した電圧監視と低電圧表示	
選択可能な過電圧 / 低電圧スレッシュホールド	
過電流警告	VW80000 LV124
過熱警告	AC重畳
故障表示	最大42Vのロードダンプ
機能安全性	0Vまでのコールドクランク
QFN-21 (3mm x 4mm)	逆極性
AEC-Q100	過渡ISOパルス

整流器 – AC重畳

V_{OUT} 470 μ Fのコンデンサは 1Aの負荷を供給

$V_{IN} < V_{OUT}$
ゲートオフ

$V_{IN} > V_{OUT}$
ゲートオン



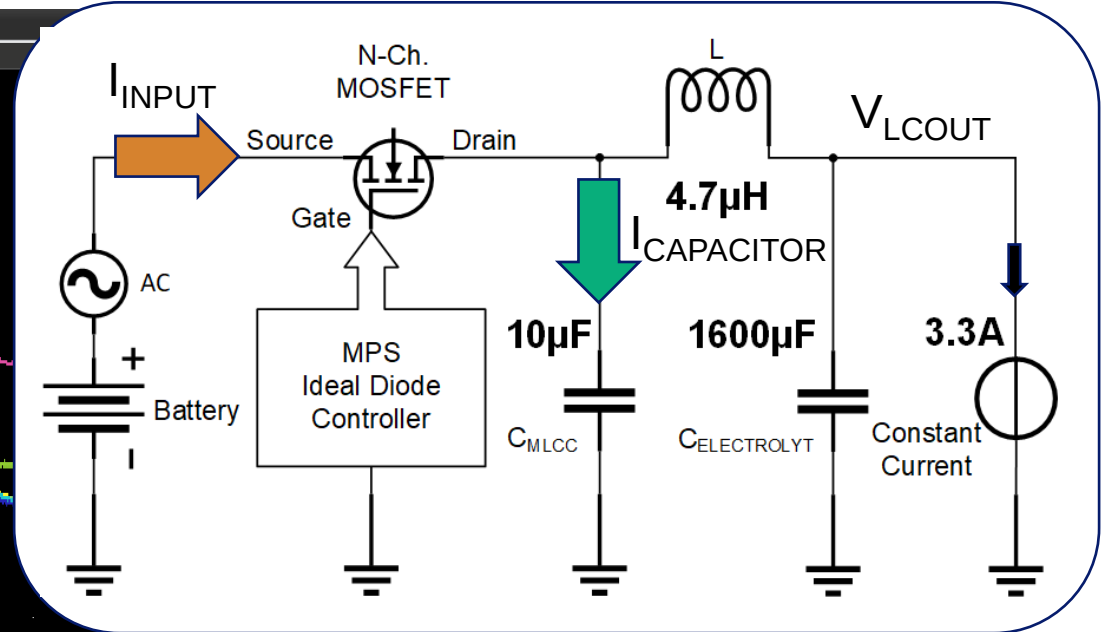
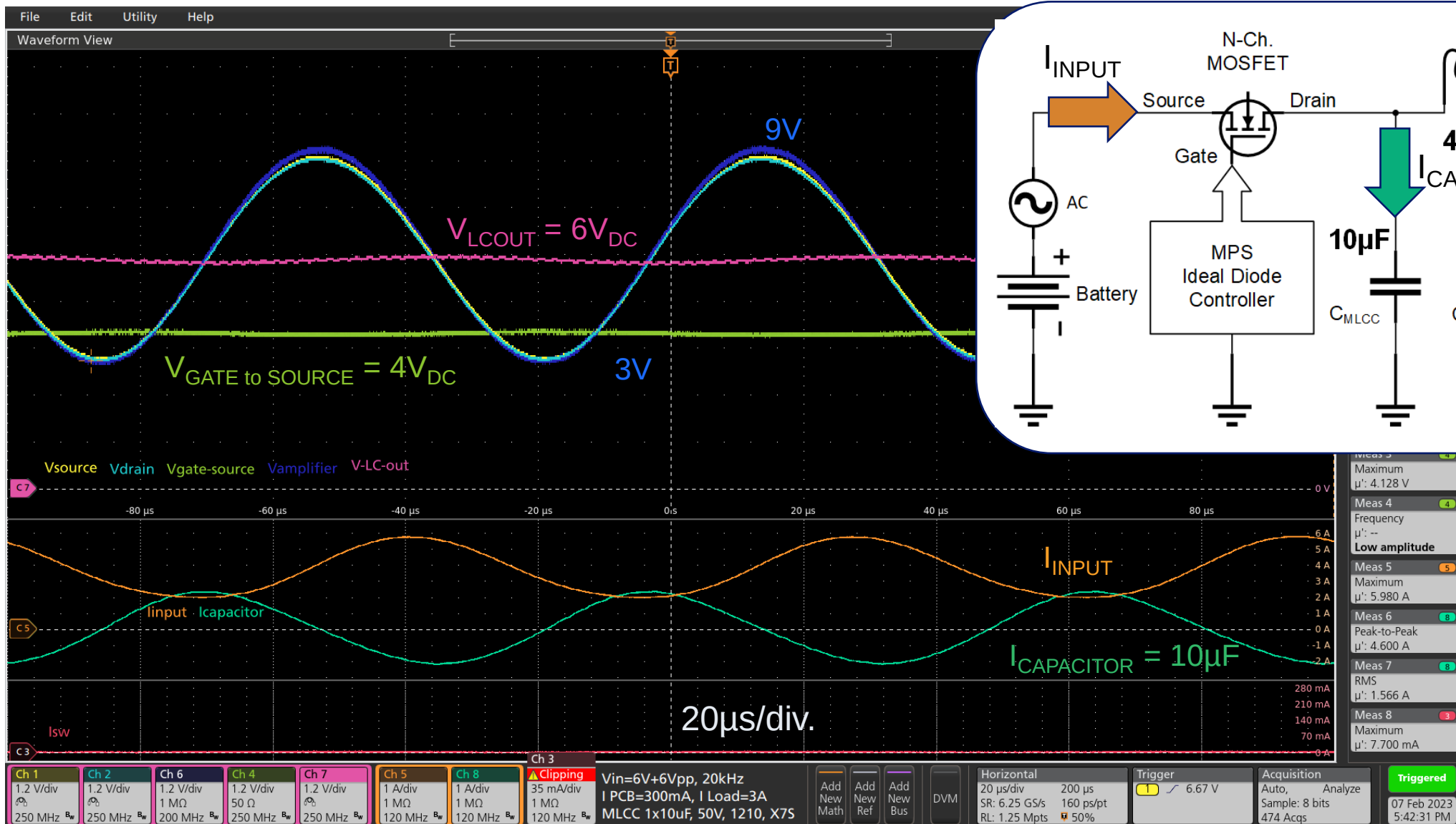
クリアな整流波形

チャンネル

- C1: V_{IN} (2V/div.)
- C2: V_{OUT} (2V/div.)
- C3: 入力電流 (2A/div.)
- F4: $V_{GATE \text{ to } SOURCE}$ (5V/div.)

$V_{IN} = 10.5V_{DC} + 5V_{PEAKPEAK}$ 、1kHz、 $I_{OUT} = 1A$ の電子定負荷

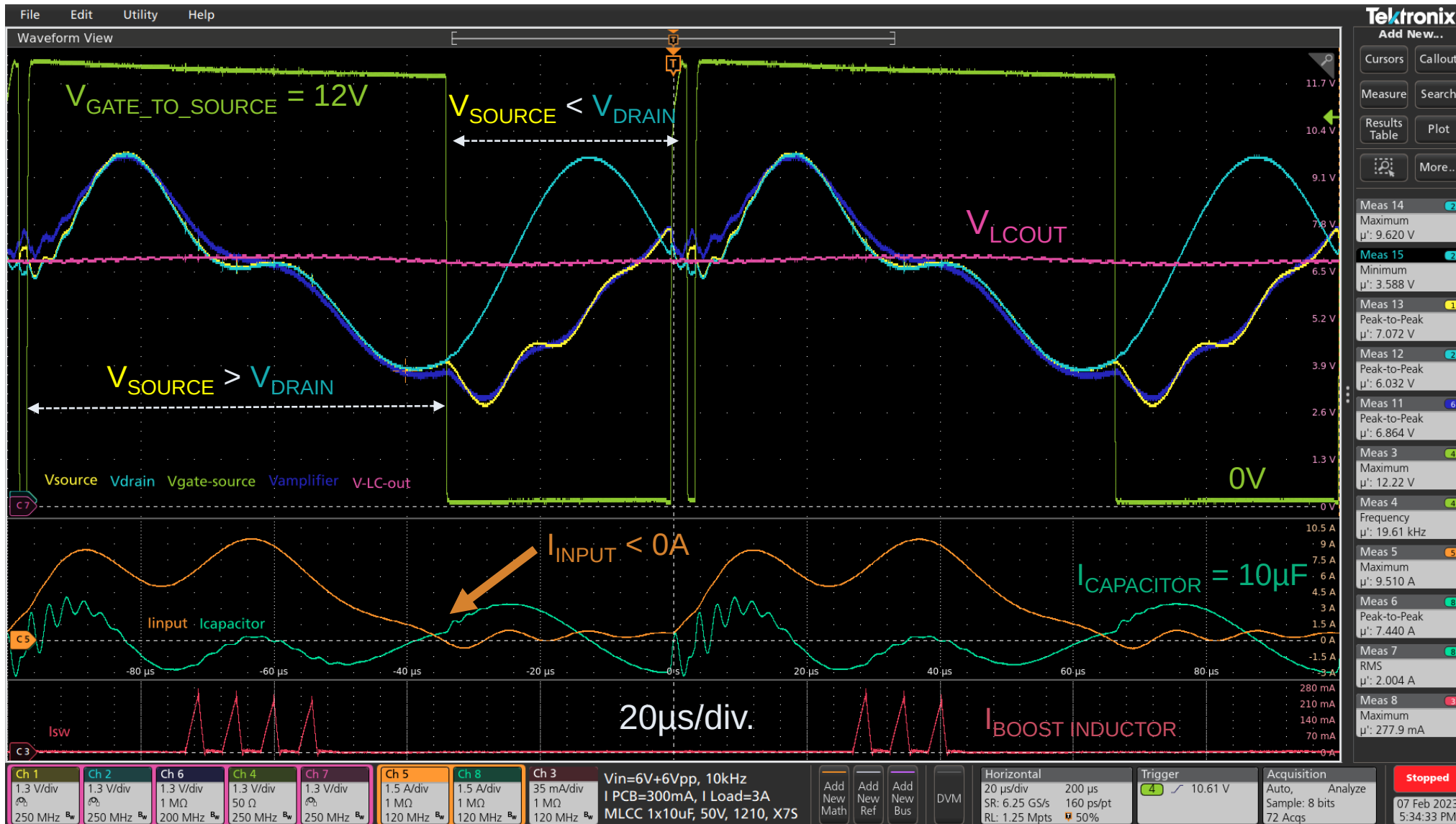
整流器 – AC重畳 – LC_{OUT}フィルタを使用



AC重畳
20kHz

電解コンデンサの熱を
抑えるために
インダクタを使用

整流器 – AC重畳 – LC_{OUT}フィルタを使用



AC重畳
10kHz

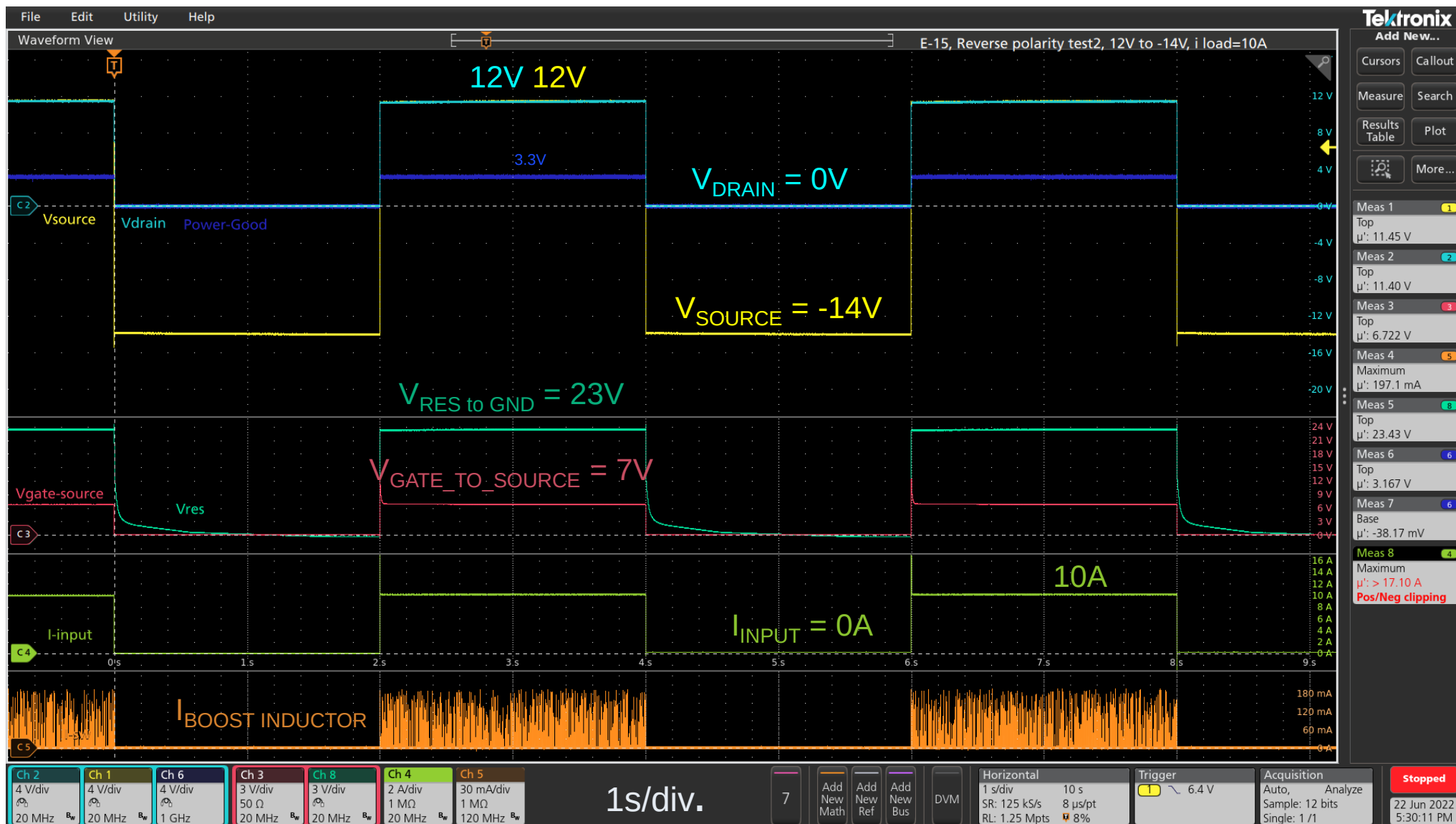
クリアな V_{LCOUT}

C-L-C
出力フィルタ

10 μF
4.7 μH
1600 μF

バッテリーへの
電流の逆流無し

逆極性、LV124、E-15、+12V~-14V



逆極性交流
+12V~-14V

逆極性は
ブロックされる

テスト時間
8秒
 $I_{LOAD} = 10A$

バッテリーへの
電流の逆流無し

自動車試験 – VW80000 LV124

MPSの理想ダイオードコントローラ

自動車業界規格LV124に合格するよう設計

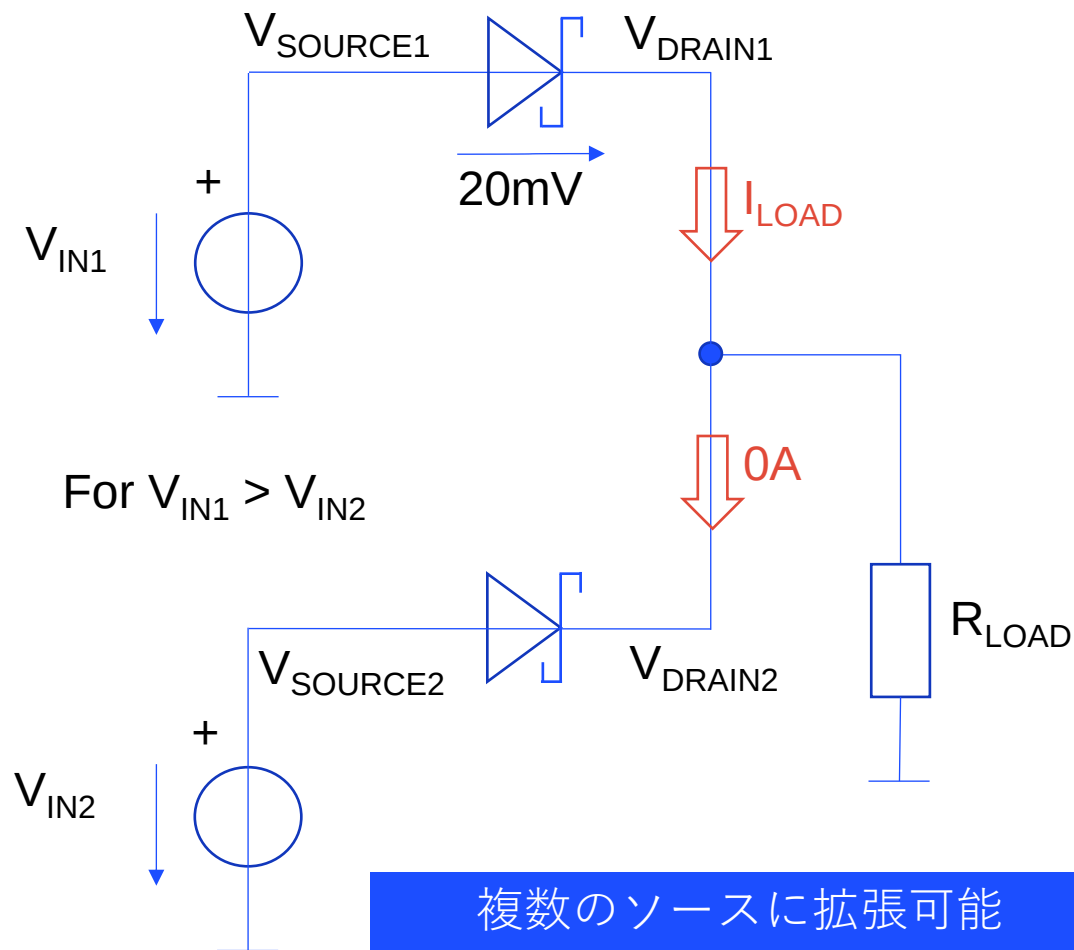
- E-01: 長期過電圧
- E-02: 過渡過電圧
- E-03: 過渡低電圧
- E-04: ジャンプスタート
- E-05: ロードダンプ
- E-06: 重畳交流電圧
- E-07: 電源電圧の緩やかな低下と上昇
- E-08: 電源電圧の緩やかな低下と急速な上昇
- E-09: リセット動作
- E-11: スターとパルス
- E-15: 逆極性
- TL81000、ISO7637-2およびISO16750-2: 過渡パルス、正パルス、負パルス

理想ダイオードコントローラ – ORing

ORing

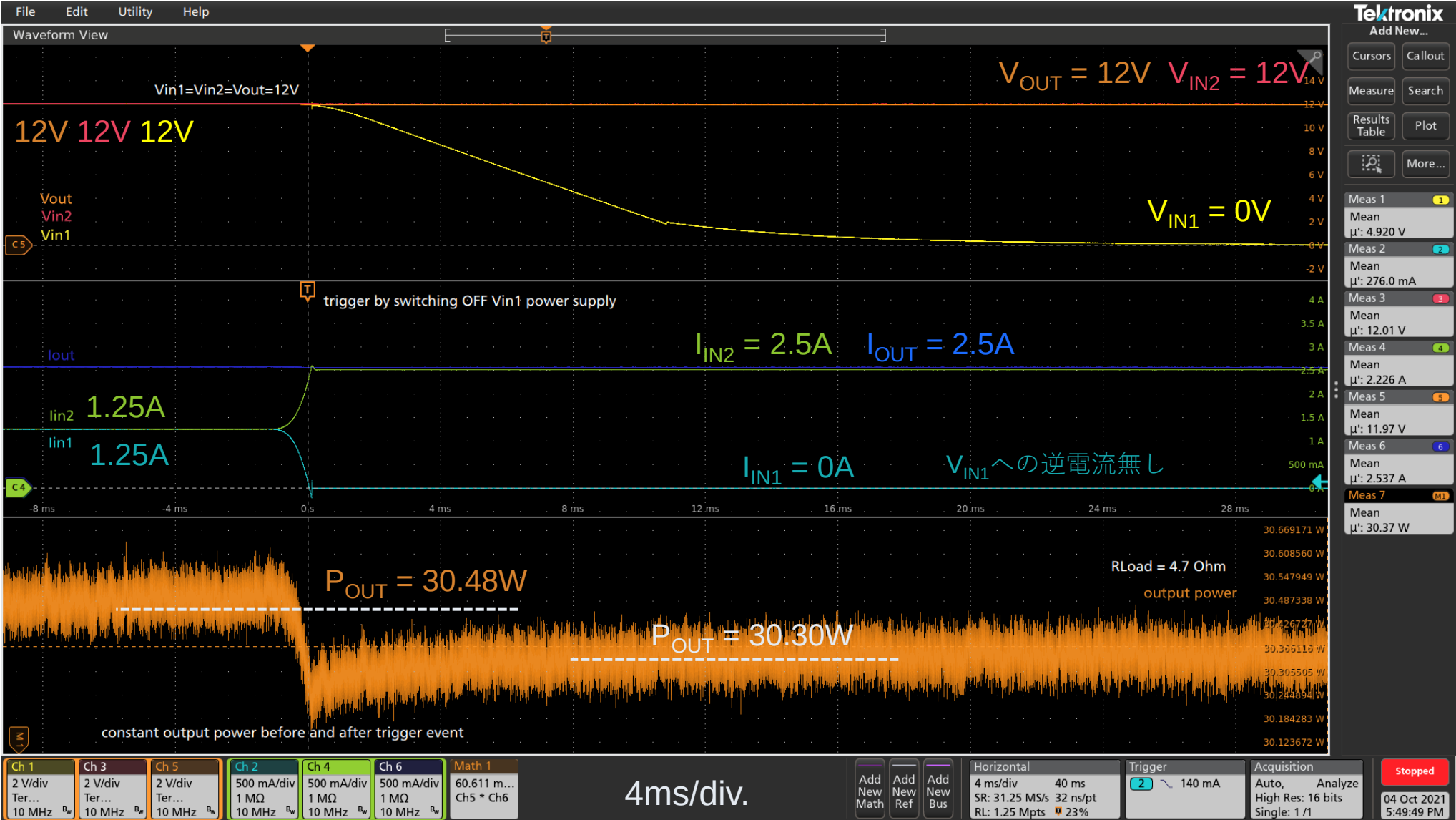
- 並列バッテリーまたは電源
- 逆電流から電源を保護
- ホットスワップ
- 最も高い電圧が負荷を供給
- 負荷電流を共有する等価電圧

ORing ブロック図



複数のソースに拡張可能

ORing – クリアなV_{IN1}

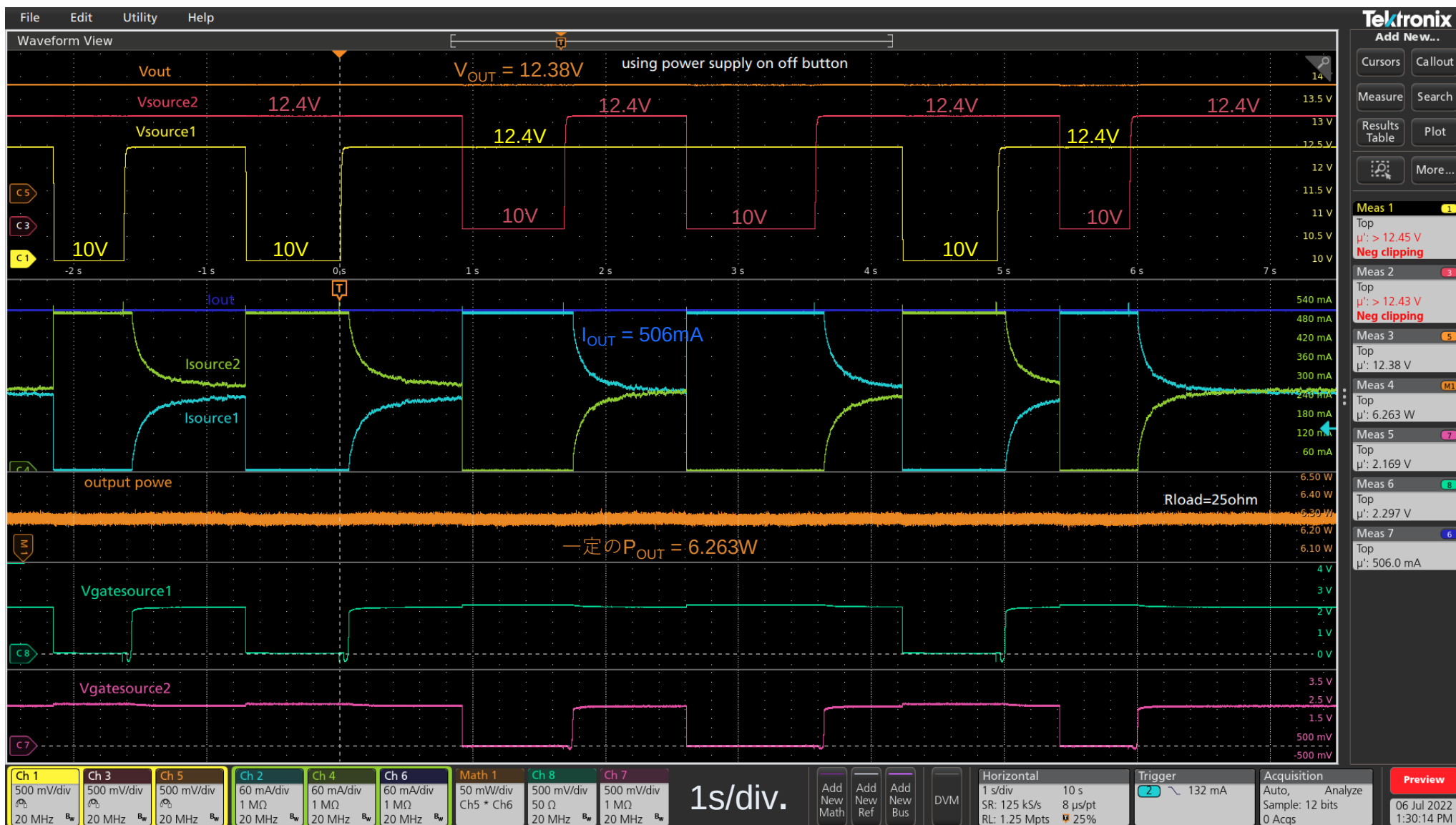


電源オフ
V_{IN1}

電源 (V_{IN1}) 削除後の
ORing

出力電力は一定

ORing – $V_{SOURCE1}$ および $V_{SOURCE2}$ におけるオン / オフ オフセット

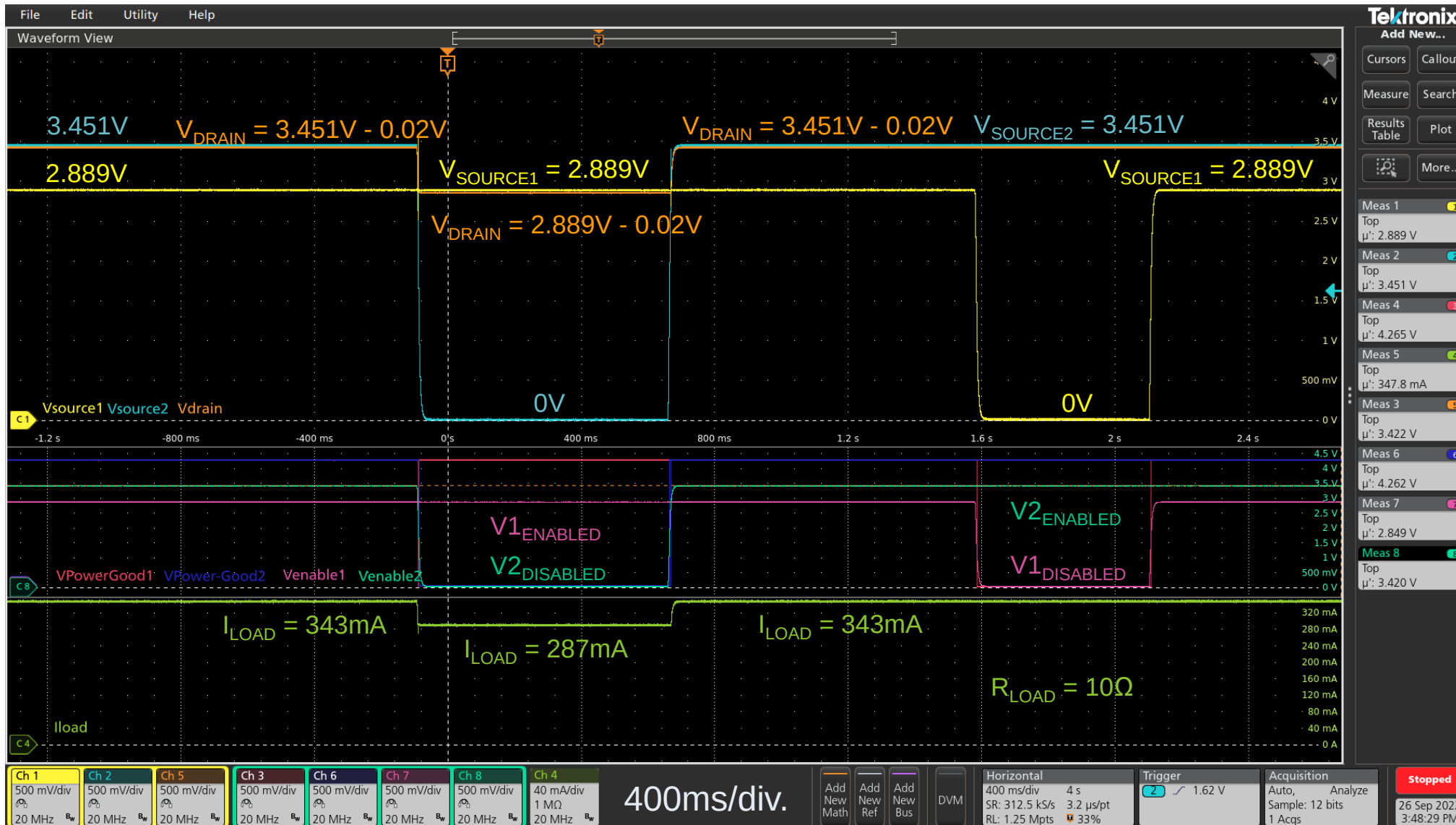


オン-オフ-オン
でスイッチング

10V_{DC} オフセット
電圧での
ORing電源

出力電力は一定

ORing – 低電圧ソース用

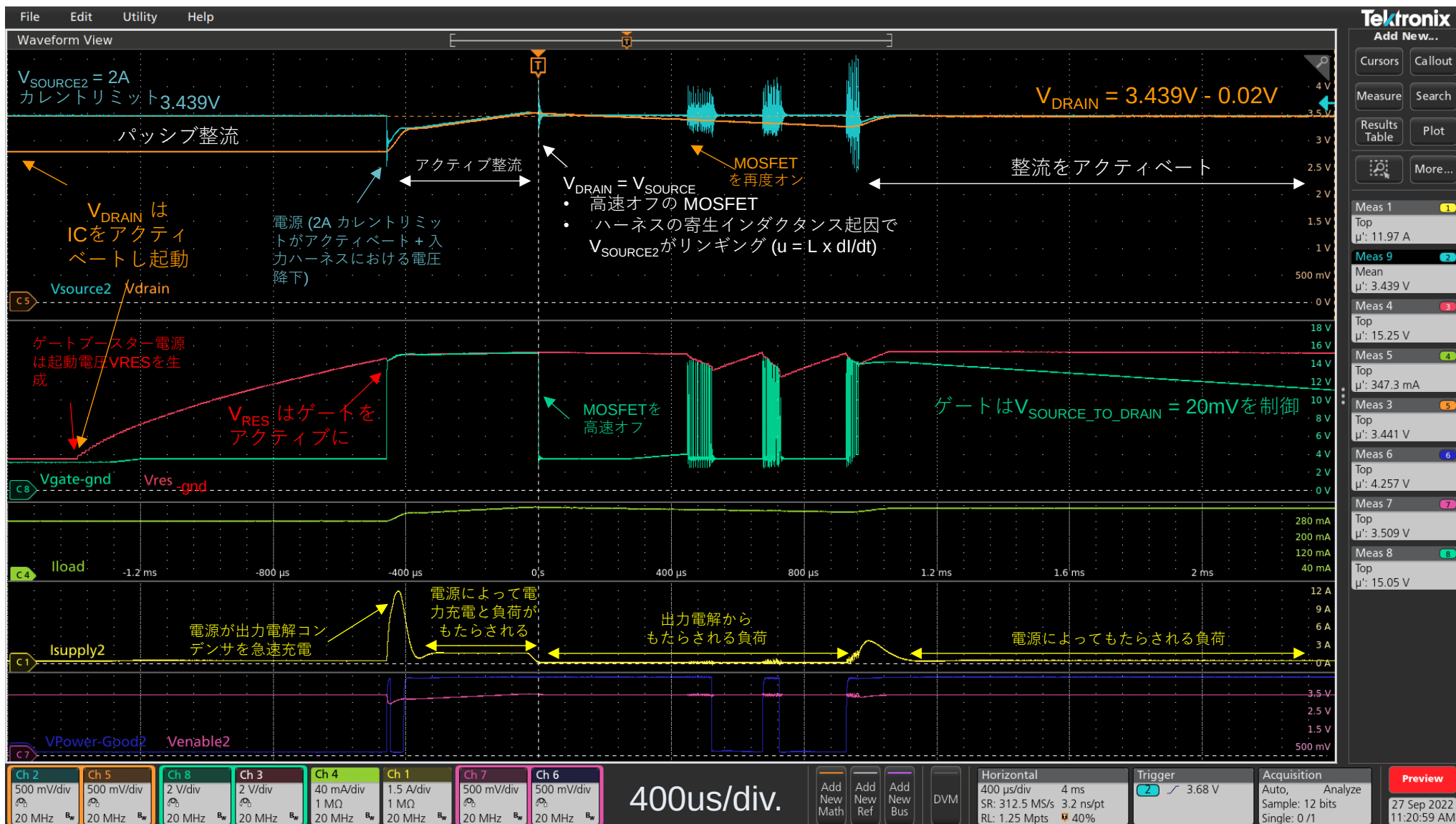


定電圧動作

$V_{SOURCE1}$: 2.889V
 $V_{SOURCE2}$: 3.451V

V_{DRAIN} (代表値 2.6V)
まで低下して動作

$V_{DRAIN} < UVLO$ になってからICが起動

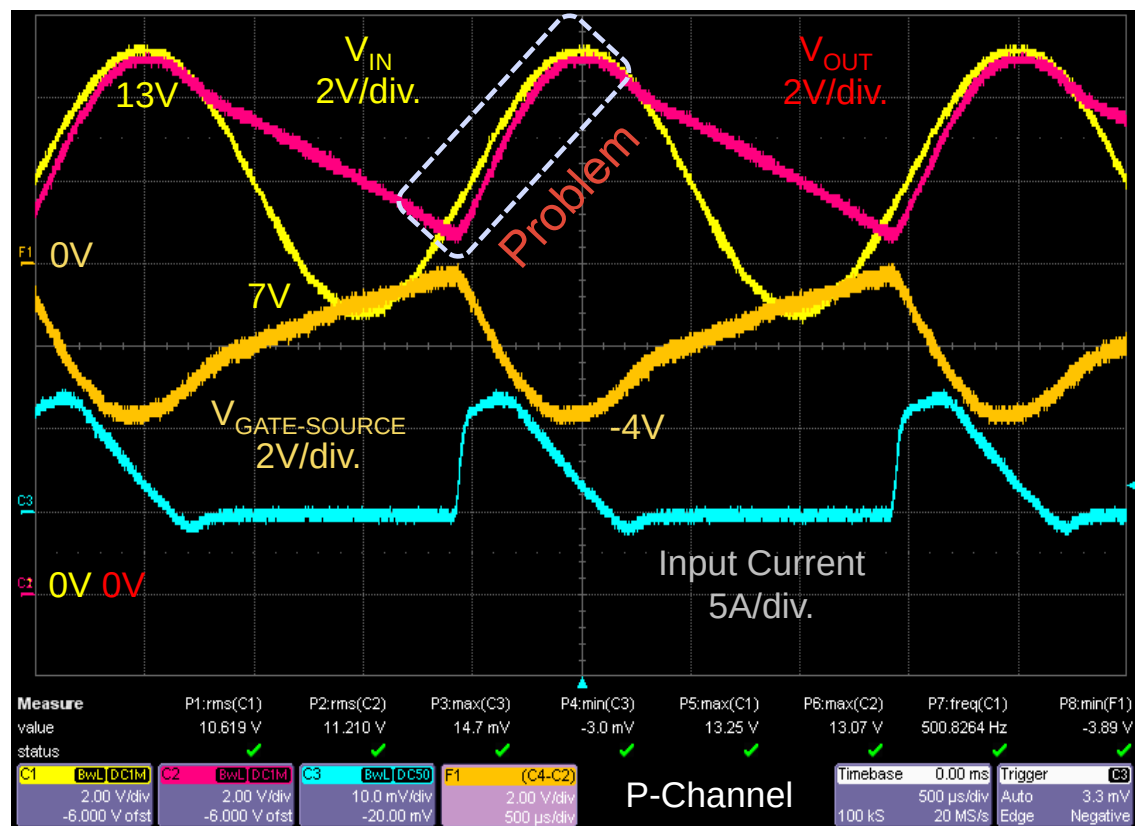


ICは
 $V_{DRAIN} < V_{UVLO}$ になってから起動

理想ダイオード
コントローラは
低電圧ロックアウト
(UVLO) 後に
リセット

起動時間は
代表値で
たったの1ms

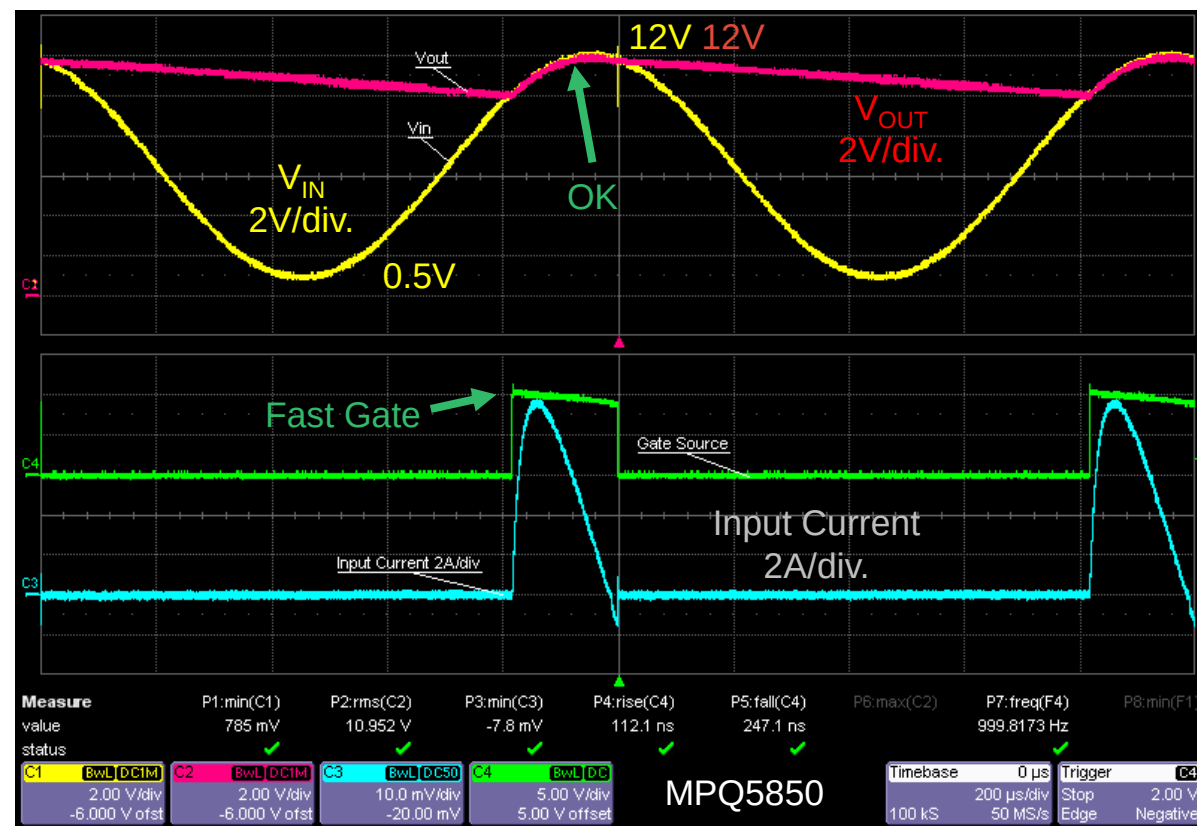
パッシブPチャネルMOSFET整流器 vs. 理想ダイオードコントローラ



従来

PチャネルMOSFET整流器

- AC波形で問題あり
- 使用可能な V_{IN} 範囲が少ない
- MOSFETの温度が高い
- 高コスト (Pチャネル MOSFET)



現在

MPQ5850-AEC1

- きれいなAC波形
- 広い V_{IN} 範囲
- MOSFETの温度が低い
- 低コスト

なぜゲートブースターとチャージポンプの組み合わせなのか

ゲートブースター付き MPQ5850-AEC1 と MPQ5852-AEC1

- ゲートブースターは、さまざまなサイズの外付けNチャネルMOSFETを幅広く駆動できる。
- ゲートブースターは、低いゲート電圧や高いゲート電圧を簡単に出力できる。
- ゲートブースターは、外付けMOSFETの速い立ち上がり時間と立ち下がり時間だけでなく、大きなゲート電流を可能にする。

ゲートチャージポンプ付き MPQ5816-AEC1

- ゲートチャージポンプの設計は、内部のNチャネルMOSFETのゲート容量とカーブ特性に合わせて特に最適化することができる。

理想ダイオードコントローラはEMC問題を引き起こすか

いいえ – 無視できるレベル

- ゲートブースターとチャージポンプは、過渡ゲート負荷で最も活性が高くなる。これは交流が重畳された電源の場合です。**EMC**試験は、通常の動作条件下で定義され、測定されます。
- ゲートブースターとチャージポンプのピーク電流は低く、低kHz帯の周波数でゲートブースターは約 $200\text{mA}_{\text{PEAK}}$ である。ゲートブースターのインダクタは物理的サイズが小さいため、放射エミッションが少なくなります。
- ゲートブースターとチャージポンプからの放射磁界と電界は少なく、一般的な降圧コンバータからの高い電界とは比較になりません。
- EMC**測定については、ダイオードコントローラのデータシートを確認してください。すべての測定値は**EMC**レシーバのノイズレベルに近いいため、問題はありません。

ダイオードコントローラには特別なPCBレイアウトが必要か

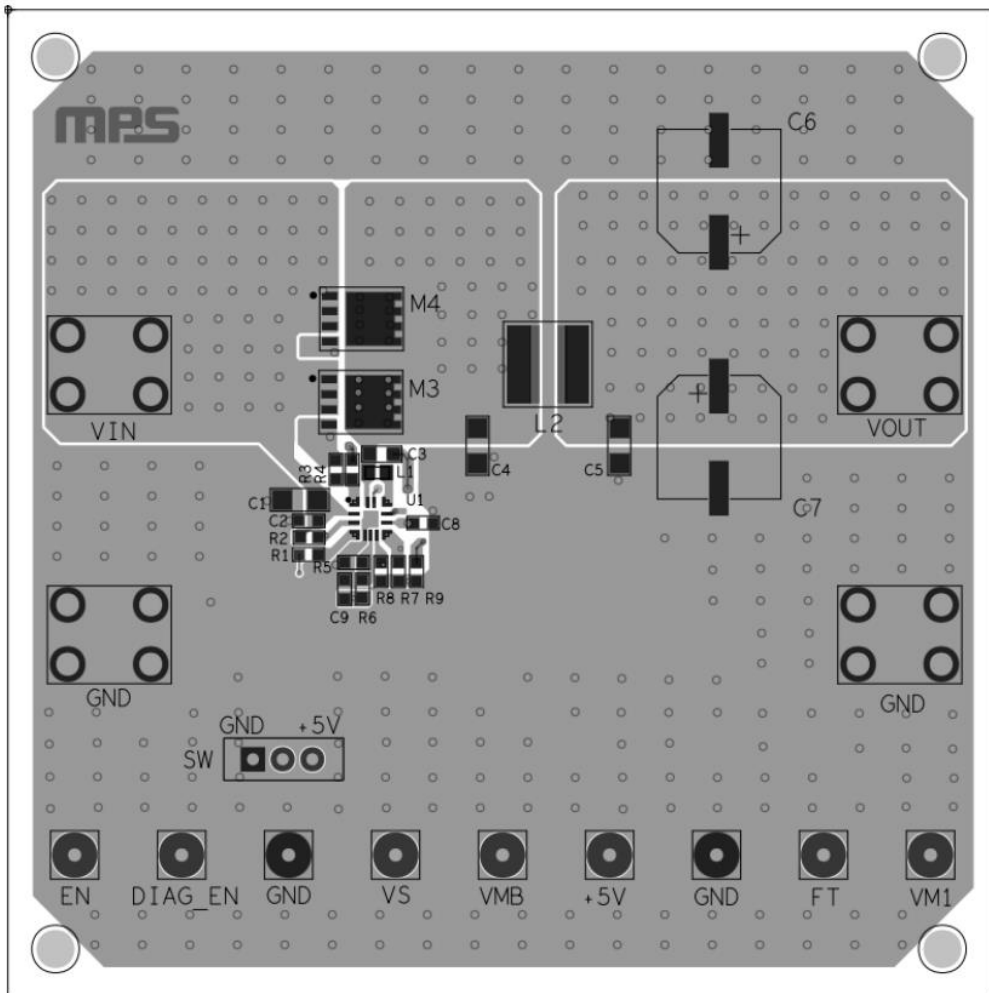
いいえーいくつかの点を考慮する

- パッケージのできるだけ近くにゲートブースター用の V_{RES} (MPQ5850-AEC1、MPQ5852-AEC1) またはチャージポンプ用の V_{CAP} MLCC (MPQ5816-AEC1) を配置してください。
- パッケージのできるだけ近くにゲートブースターのスイッチングインダクタを配置してください。
- GNDで封止するためゲート短絡をトレースできるように計画しましょう。
- VDRAIN およびVSOURCE ピンの近くにバイパスMLCCを配置してください。
- 外部と内部のNチャネルMOSFETの近くに銅のポリゴンを配置する。PCBの銅ポリゴンは部品のヒートシンクになります。

ダイオードコントローラには特別なPCBレイアウトが必要か

4層PCB上のMPQ5852-AEC1

- 基板は $I_{OUT} = 20A$ で設計
- ポリゴンはMOSFET、EMCフィルタのインダクタンスおよび電解コンデンサを冷却
- ポリゴンのサイズとビアの数は、想定 I_{OUT} 、温度条件および過渡 V_{IN} 仕様に合わせて選択
- MPQ5852-AEC1の周辺に小さな部品を配置するのは簡単
- 下層にVINフィルタ用のTVSを配置。上層にも配置可能



上層部

理想ダイオードコントローラのレイアウトは簡単。

NチャネルMOSFETの選び方

MOSFETの選択

- I_{DRAIN} に合う最小のNチャネルMOSFETを使用しましょう。
- 12V車載アプリケーションには $BV_{DSS} = 40V \sim 60V$; その他の BV_{DSS} 値は産業機器、コンピュータまたはバッテリーマネジメントシステム用に選択します。
- MPSの理想ダイオードコントローラは、 $V_{GATE-SOURCE_MAX} > 14V$ の標準ロジックレベルMOSFET用に設計されています。
- より低い $V_{GATE-SOURCE_MAX}$ のロジックレベルMOSFETは使用しないでください。
- すべてのMOSFETサイズが可能です。10nFゲート容量は可能で、より高い電力の MOSFET (一般的に1m Ω , 400A) に相当します。
- MOSFET (同じタイプの) は、並列につなげることができます。 $R_{DS(ON)}$ と T_J を増加させると、ゲートにフィードバックが生じ、カレントシェアリングのバランスをとるのに役立ちます。可能であれば、単一のMOSFETを使用してください。

設計のヒント

回路の詳細

- ワイヤーハーネスは過渡VIN波形を減衰させるのに役立ちます。ハーネスの長さの寄生インダクタンスと10nFの V_{IN} MLCCが、HFを減衰させる2次ローパスを作り出します。
- ゲートブースター用のインダクタを選択する際は、データシートの推奨事項に従ってください。温度と適用されたVIN_MAXを考慮してください。ゲート活性が高く、VINまたはILOADが頻繁に変化する状態で、インダクタの電流波形 (I_{PEAK} と I_{RMS}) を測定してください。CISPR25 クラス5合格のためにはシールド・インダクタは特に必要ありません。
- 安定した V_{DRAIN} を重視し、負荷に十分な容量を使用しましょう。 $V_{DRAIN} < UVLO$ (約2.6V) でコントローラは強制的にリセットされる。リセット状態では、ゲートは約1msの間非アクティブになります。ゲートが非アクティブになると、MOSFETの寄生ボディダイオードが導通します。このダイオードは I_{LOAD} を担い、その結果 T_J が高くなります。コントローラの内部VCCは V_{DRAIN} から供給されるので、VDRAINピンを安定に保ち、バイパス MLCCでRF干渉を減衰させます。
- V_{SOURCE} は急激に変化する波形用に設計されており、逆極性にも耐性があります。
- VIN上のネガティブTVSダイオードは、 V_{SOURCE} 上の負電圧スパイクを防ぐために必要です。これはMOSFETが I_{LOAD} を素早くオフにするときに発生します。電流の急激な変化により、回路基板とワイヤーハーネスの寄生インダクタンスに負電圧が発生します。

計測のヒント

試験用機器の詳細

- ダイオードコントローラの測定には、マルチチャネルのオシロスコープを推奨; 100MHz帯域幅で十分です。
- オシロスコープでV_{SOURCE}を測定する場合、高速の過渡信号が基板やワイヤーハーネスに電圧降下を引き起こすため、常にINまたはSOURCEピンで直接測定しましょう。ピンの波形を見たいのであって、銅のどこかを見たいわけではありません。ICのGNDピン付近のグラウンドを参照してください。
- 過渡V_{IN}波形のテストには、安定した、MLCCを駆動できる高速スルーレートのパワーアンプが必要です。
- オシロスコープではV_{DRAIN} および V_{SOURCE}にフォーカスしてください。
- V_{GATE-SOURCE}、 V_{RES} または V_{CAP}を測定するには、差動プローブまたはMATH機能を使用します。
- I_{SOURCE}は重要な波形です。MOSFETのSOURCEピンで直接測定してみてください。ワイヤーハーネスの電流プローブには、10nF V_{IN} MLCCのAC部分が含まれていることに注意してください。
- 特に長いワイヤーハーネスを使用する場合は、差動プローブを使用して過渡V_{BATTERY}波形を測定しましょう。

結論

- MPSの[MPQ5850-AEC1](#)は、どのNチャネルMOSFETサイズでも利用できます。
- [MPQ5852-AEC1](#)はMPQ5850-AEC1と同様の整流器機能を持ち、2つの電圧モニタ、故障表示、機能安全が追加されています。
- [MPQ5816-AEC1](#)は、内蔵NチャネルMOSFET、2つの電圧モニタ、故障報告、機能安全を備えたソリューションを提供します。

当ICは、自動車、産業、コンピュータ、バッテリーマネジメントシステムなど、幅広い用途をカバーしています。

MPQ5850-AEC1およびMPQ5852-AEC1は、外付けのNチャネルMOSFETを選択することで、広い電流範囲を可能にします。

MPQ5816-AEC1は、9AのNチャネルMOSFETを内蔵した優れた製品です。最小限の基板スペース、部品表の削減、および購入の簡素化を実現するために設計されています。