

スイッチングレギュレータシリーズ

非同期整流コンバータのダイオード選定手法

非同期整流コンバータの設計において、フリーホイールダイオードの選定は、コンバータの効率等の性能に影響を与えます。また、発熱や破壊のリスクに対する考慮も必要となります。このアプリケーションノートでは、非同期整流コンバータにおけるフリーホイールダイオードの部品選定のガイドラインについて、解説していますので、適正な部品選定の一助となれば幸いです。

ダイオードの役割

降圧コンバータを例にして、非同期整流と同期整流を比較して説明します。Figure 1-a が非同期方式、Figure 1-b が、同期整流方式の回路構成です。

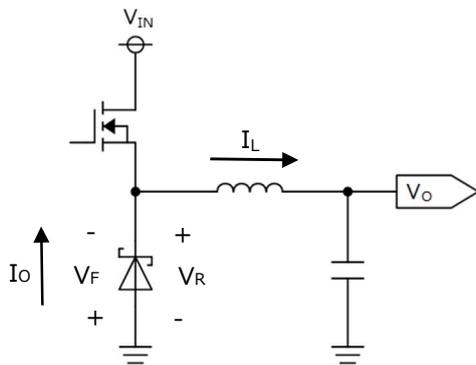


Figure 1-a. 非同期整流降圧コンバータ

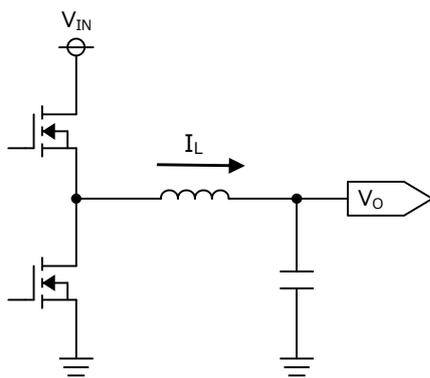


Figure 1-b. 同期整流降圧コンバータ

Figure 1 a,b の違いは、ローサイド素子が、非同期整流方式ではダイオード、同期整流方式では MOSFET です。ローサイド素子の役割

はどちらも、ハイサイドスイッチが ON してインダクタに蓄積した入力エネルギーをハイサイドスイッチが OFF 中に出力側へ供給するための整流動作を行います。この出力整流ダイオードは、フリーホイールダイオード、またはキャッチダイオードと呼ばれます。

ダイオード特性のコンバータへの影響

出力電圧はインダクタに入力エネルギーが多く蓄積されると高くなるので、出力電圧を高くするにはスイッチング周期に対してハイサイドスイッチの ON 時間(On Duty)を長くします。逆に出力電圧が低い時は、ハイサイドの On Duty は小さく、ローサイドの On Duty は大きくなります。

この時、インダクタが供給するエネルギーは、{出力電圧(V_O) + ダイオードの順方向電圧(V_F)} \times コイル電流(I_L)となりますが、 V_F の部分は損失になります。 V_F が大きいほど損失は大きくなり、出力電圧が低いほど、 V_F による損失の割合が大きくなります。一方、ハイサイドスイッチが ON している期間は、入力エネルギーを全てインダクタに蓄積したいのですが、この時、ダイオードに逆方向電流 (I_R) が流れることにより、エネルギーを漏らしてしまいます。以上のことから、低 V_F かつ、低 I_R が理想ですが、 V_F と I_R は、反比例する関係にあります。ロームの非同期整流コンバータは低 V_F 重視の観点から、ショットキーバリアダイオードを推奨ダイオードにしています。

また、ダイオードの部品保証の観点からは、ハイサイドスイッチが ON している期間にかかる逆方向電圧 (V_R) と、インダクタエネルギーの伝達時に流れる順方向電流 (I_O) を考慮する必要があります。(これらについては、後の章で説明します。)

ダイオードのカタログ値を見る

Table 1 は、ローム HP の汎用ショットキーバリアダイオードを、 $V_F \leq 0.6[V]$ 、 $I_o \leq 10[A]$ で、パラメトリックサーチした結果(該当多数のため、代表型名抜粋)です。おおよそこの表中のデバイスから選定できます。

ここでは、Table 1 の項目から部品選定を行うスキームを紹介します。Figure 2-a/b に降圧/昇圧コンバータの回路特性定数を示します。

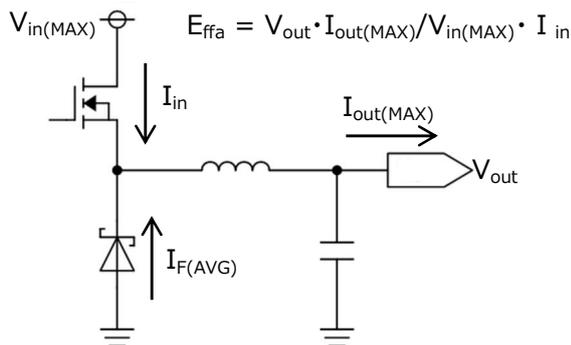


Figure 2-a. 降圧コンバータ

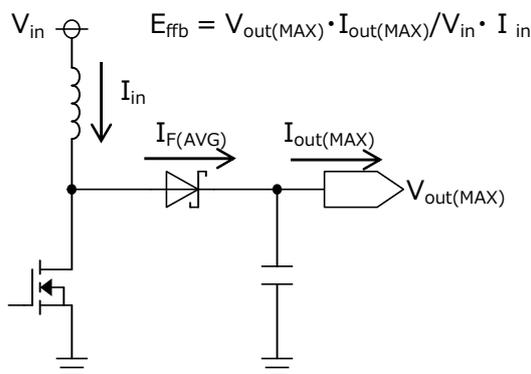


Figure 2-b. 昇圧コンバータ

Table 1. ローム 汎用ショットキーバリアダイオードの候補とキー特性

汎用ショットキーバリアダイオード型名	尖頭逆方向電圧 V_{RRM} [V]	直流逆方向電圧 V_s [V]	平均整流電流 I_s [A]	尖頭順サージ電流 I_{FSM} シングル [A]	順方向電圧 $V_f(\text{Max.})$ [V]	I_f @順方向電圧 V_f [A]	逆方向電流 $I_s(\text{Max.})$ [mA]	V_s @逆方向電流 I_s [V]
RB050LAM-40	40	40	3	80	0.5	1.5	0.1	40
RB050LAM-60	60	60	3	80	0.52	2	0.1	60
RB051LAM-40	40	20	3	80	0.35	1	0.15	15
RB055LAM-40	40	40	3	70	0.55	1.5	0.1	40
RB056LAM-40	40	40	3	50	0.58	2	0.05	40
RB060LAM-40	40	40	2	80	0.45	1	0.1	40
RB060MM-60	60	60	2	30	0.52	1	0.05	60
RB070MM-30	30	30	1.5	30	0.43	0.5	0.05	30
RB080LAM-30	30	30	5	100	0.51	5	0.15	30
RB081LAM-20	25	20	5	80	0.45	5	0.7	20
RB160LAM-40	40	40	1	50	0.55	1	0.01	6
RB160MM-60	60	60	1	30	0.55	1	0.05	60
RB160VAM-60	60	60	1	3	0.43	0.1	0.04	60
RB161MM-20	25	20	1	30	0.32	0.5	0.7	20
RB162LAM-40	40	40	1	40	0.55	1	0.1	40
RB162MM-40	40	40	1	30	0.55	1	0.1	40
RB215T-60NZ	60	60	20	100	0.58	10	0.6	60
RB400VAM-50	50	40	0.5	3	0.55	0.5	0.03	10
RB411VAM-50	50	20	0.5	3	0.5	0.5	0.03	10
RB500VM-40	45	40	0.1	1	0.45	0.01	0.001	10
RB501VM-40	45	40	0.1	1	0.55	0.1	0.03	10
RB510VM-40	40	40	0.1	0.5	0.48	0.01	0.4	10
RB511VM-40	40	40	0.1	0.5	0.41	0.01	0.004	10
RB520CM-60	60	60	0.1	0.5	0.44	0.01	0.003	60
RB520SM-40	40	40	0.2	1	0.55	0.1	0.01	40
RB520VM-40	40	40	0.2	1	0.39	0.01	0.001	10
RB521SM-30	30	30	0.2	1	0.47	0.2	0.03	10
RB521SM-60	60	60	0.2	1	0.6	0.2	0.1	60
RB521VM-40	40	40	0.2	1	0.3	0.01	0.02	10
RB530CM-60	60	60	0.1	0.2	0.54	0.01	0.001	60
RB531CM-40	40	40	0.1	0.5	0.41	0.01	0.004	10
RB540VM-30	30	30	0.2	1	0.45	0.01	0.0005	10
RB541VM-30	30	30	0.2	1	0.35	0.01	0.01	10
RB550VM-40	40	40	0.2	1	0.51	0.2	0.012	10
RB551VM-40	40	40	0.2	1	0.43	0.2	0.08	10
RB751CM-40	40	30	0.03	0.2	0.37	0.001	0.0005	30
RB751SM-40	40	30	0.03	0.2	0.37	0.001	0.0005	30
RB751VM-40	40	30	0.03	0.2	0.37	0.001	0.0005	30
RBR3LAM30B	30	30	3	45	0.53	3	0.08	30
RBR3LAM40C	40	40	3	75	0.55	3	0.1	40
RBR3LAM60B	60	60	3	75	0.56	3	0.15	60
RBR3MM40B	40	40	3	30	0.58	3	0.1	40
RBR5LAM60A	60	60	5	100	0.55	5	0.25	60
RSX101VAM30	30	30	1	5	0.42	0.7	0.04	5
RSX201LAM30	30	30	2	60	0.44	2	0.15	30
RSX201VAM30	30	30	1.5	8	0.42	1	0.06	5
RSX205LAM30	30	30	2	60	0.49	2	0.2	30
RSX301LAM30	30	30	3	100	0.42	3	0.09	15
RSX501LAM20	25	20	5	100	0.39	3	0.5	20

以下 1) から 4) の項目は、Table 1 中のショットキーバリアダイオードのキー特性(V_R, I_o, V_F, I_R)について、フリーホイールダイオードとして考慮すべき優先順に考慮すべき内容に関して記載していきます。

1) 順方向電圧 V_F

通常 0.6[V]以下 (個々に推奨がある場合を除き) を選択してください (Table 1 は、すでに 0.6[V]で選別してあります)。それより大きいものを使用するとコンバータ IC の内部素子を破壊する恐れがあります。

V_F は、順方向電流に依存して変化しますので、ショットキーバリアダイオード (SBD) のデータシートには、通常 2 種類の順方向電流を条件として記載されることが多いです。Table 1 では、大きい方の値 (SBD データシート中では、 V_{F2} 等と記載) を記載しています。この理由は、 V_{F2} の順方向電流条件が、2) の I_o の値に近いことが多いからです。

上記の状況 (順方向電流に依存して順方向電圧が増大する) は、コンバータ IC 内の保護素子でも起こり、フリーホイールダイオードの順方向電圧が、保護素子のそれより大きい場合、保護素子を経由して電流が流れ、コンバータ IC を破壊する場合があります。

2) 平均整流電流 I_o

$I_o > I_{F(AVG)} \times 1.2 \dots$ ダイオードに流れる順方向平均電流 $I_{F(AVG)}$ の 1.2 倍以上

降圧コンバータの場合 $I_{F(AVG)}$ は、

$$I_{F(AVG)} = I_{out(MAX)} - I_{in} = I_{out(MAX)} \times \frac{(V_{in(MAX)} - (V_{out}/Eff_a))}{V_{in(MAX)}}$$

昇圧コンバータの場合 $I_{F(AVG)}$ は、

$$I_{F(AVG)} = I_{out(MAX)} = I_{in} \times Eff_b \times \frac{V_{in}}{V_{out(MAX)}}$$

リップル電流も含めて、尖頭順サージ電流 I_{FSM} 以下にしてください。 I_{FSM} は、 I_o の 5 倍以上の場合が多いので、特にシビアな特性ではありません。リップル電流については、Figure 2-a. 降圧コンバータを例に、Figure 2 中の記号を用いて Figure 3 で、説明します。

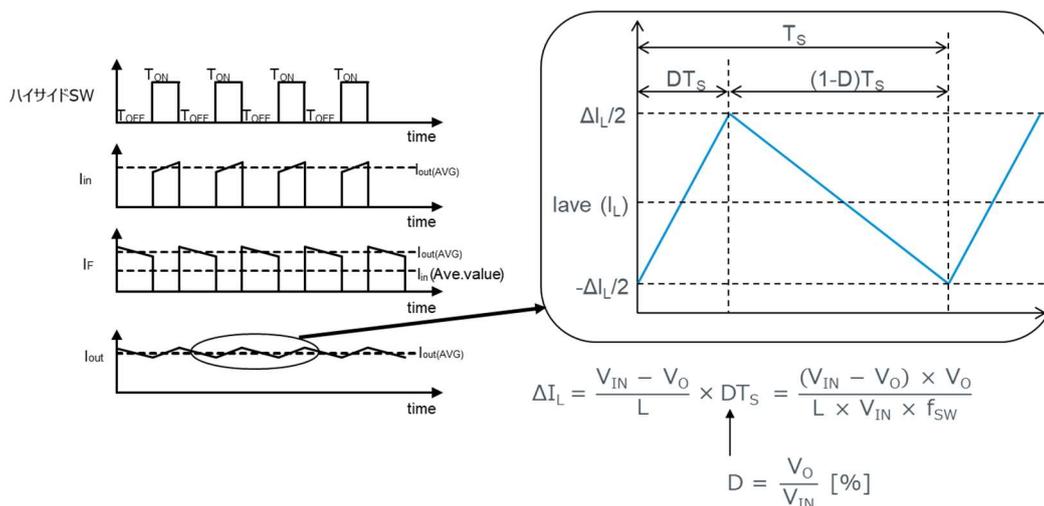


Figure 3. リップル電流の説明図

順方向損失 P_F は、降圧コンバータの場合、

$$P_F = I_{F(AVG)} \times V_F@I_{out(MAX)} = I_{out(MAX)} \times \frac{(V_{in(MAX)} - (V_{out}/Eff_a))}{V_{in(MAX)}} \times V_F@I_{out(MAX)}$$

同様に、昇圧コンバータの場合は、

$$P_F = I_{in} \times Eff_b \times \frac{V_{in}}{V_{out(MAX)}} \times V_F@I_{in}$$

SBD 単体では、Table 1 の最下から 2 段目“RSX301LAW30”のデータシートを見ると以下の順方向特性カーブがあります。

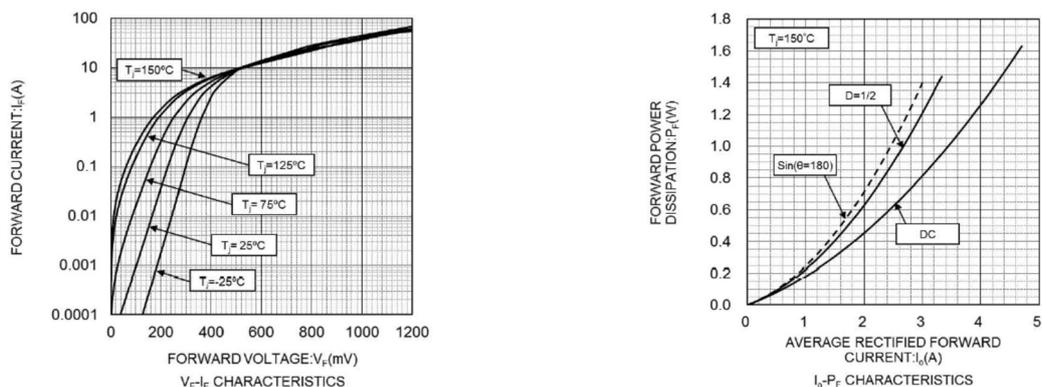


Figure 4. 順方向の損失に関するロームショットキーバリアダイオード RSX301LAW30 の特性カーブ

Figure 4 で、 $T_j=150[^\circ\text{C}]$ 、DC の条件で、 $I_F=3[\text{A}]$ の損失を読むと、

$$3[\text{A}] \times \text{約 } 270[\text{mV}] \text{ (Figure 4 左図)} = 0.8[\text{W}] \text{ (Figure 4 右図)}$$

となります。 T_j や Duty 条件（上記計算例では、DC : Duty=100%）は、使用条件に合わせて Figure 4 から内挿してください。

3) 直流逆方向電圧 V_R

コンバータで使用する最大電圧の 1.2 倍以上が必要です。

降圧コンバータの場合、

$$V_R > V_{in(\text{MAX})} \times 1.2$$

昇圧コンバータの場合、

$$V_R > V_{out(\text{MAX})} \times 1.2$$

スイッチングスパイクも含めて、尖頭逆方向電圧 V_{RM} 以下にしてください。 $V_{RM}=V_R$ の場合は、スパイクノイズ含めて、 V_R 以下にしてください。

4) 逆方向電流 I_R

上記 1) から 3) をクリアしたの中から、できるだけ小さいものを選んでください。ただし、小さい V_F の SBD は、 I_R が大きい傾向があります。 I_R は、温度に対してドラスティックに変動しますので、高温動作が必要な機器の設計においては、注意が必要です。“RSX301LAW30”の逆方向特性カーブでは、以下に様になります。

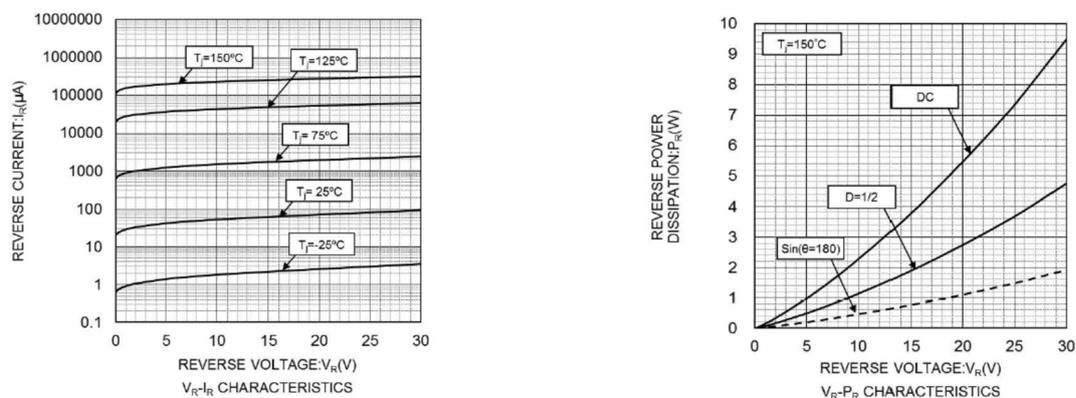


Figure 5. 逆方向の損失に関するロームショットキーバリアダイオード RSX301LAW30 の特性カーブ

同様に、 $T_j=150^\circ\text{C}$ 、DC の条件で、Figure 5 を読むと、 P_R は約 9 [W] となり、 P_F の 10 倍に相当します。フリーホイールダイオードの損失については、使用温度を考慮して P_F と P_R を見積もり、Duty 比を考慮して合算する必要があります。

主要対象製品と推奨ダイオード

ローム HP より主要な非同期整流コンバータをリストアップし、コンバータ IC のデータシート記載の推奨ダイオードを併記したのが、Table 2 です。コンバータ IC のデータシート記載の推奨ダイオードは、多くが“新規設計非推奨”になっており、'19/8 現在の推奨品とそのキー特性をさらに併記しました。データシート推奨品と今推奨品は、型名は異なりますが、素子特性は変更ありません。

Table 2. 本ドキュメントが対象としている非同期整流コンバータ IC と推奨 SBD('19/8 現在)

コンバータIC型名	グレード	データシート推奨Di	新推奨Di (2019/8/26時点)	V _{RM} [V]	V _R [V]	I _O [A]	I _{FSM} [A]	V _F (Max)[V]	I _R (Max)[uA]
BD8152FVM	Standard	RB161M-20	RB161MM-20	25	20	1	30	0.32	700
BD8158FVM	Standard	RB161M-20	RB161MM-20	25	20	1	30	0.35	700
BD8311NUV	Standard	RSX201L-30	RSX201LAM30	30	30	2	60	0.44	150
BD8314NUV	Standard	RSX201L-30	RSX201LAM30	30	30	2	60	0.44	150
BD8316GWL	Standard	RSX101VA-30	RSX101VAM30	30	30	1	5	0.42	40
BD8317GWL	Standard	RB521S-30	RB521SM-30	-	30	0.2	1	0.47	30
BD9035AEFV-C	Automotive	RB225NS-40	RB225NS-40XX	40	40	30	100	0.63	50
BD9060F-C	Automotive	RB095B-40	RB095BM-40XX	45	40	6	45	0.55	100
BD9060HFP-C	Automotive	RB095B-40	RB095BM-40XX	45	40	6	45	0.55	100
BD90610EFJ-C	Automotive	RB055L-40TF	RB055LAM-40XX	40	40	3	70	0.55	100
BD90620EFJ-C	Automotive	RB095BM-40FH	RB095BM-40XX	45	40	6	50	0.55	100
BD90620HFP-C	Automotive	RB095BM-40FH	RB095BM-40XX	45	40	6	50	0.55	100
BD90640EFJ-C	Automotive	RB095BM-40FH	RB095BM-40XX	45	40	6	50	0.55	100
BD90640HFP-C	Automotive	RB095BM-40FH	RB095BM-40XX	45	40	6	50	0.55	100
BD9227F	Standard	RB060MM-30	同左	30	30	2	55	0.45	50
BD9701CP-V5	Standard	RB050LA-40	RBR3LAM40C	40	40	3	75	0.55	100
BD9701FP	Standard	RB050LA-40	RBR3LAM40C	40	40	3	75	0.55	100
BD9701T	Standard	RB050LA-40	RBR3LAM40C	40	40	3	75	0.55	100
BD9701T-V5	Standard	RB050LA-40	RBR3LAM40C	40	40	3	75	0.55	100
BD9702CP-V5	Standard	RB050LA-40	RBR3LAM40C	40	40	3	75	0.55	100
BD9702T	Standard	RB050LA-40	RBR3LAM40C	40	40	3	75	0.55	100
BD9702T-V5	Standard	RB050LA-40	RBR3LAM40C	40	40	3	75	0.55	100
BD9703CP-V5	Standard	RB050LA-40	RBR3LAM40C	40	40	3	75	0.55	100
BD9703FP	Standard	RB050LA-40	RBR3LAM40C	40	40	3	75	0.55	100
BD9703T	Standard	RB050LA-40	RBR3LAM40C	40	40	3	75	0.55	100
BD9703T-V5	Standard	RB050LA-40	RBR3LAM40C	40	40	3	75	0.55	100
BD9778F	Automotive	RB050L-40	RBR3LAM40CXX	40	40	3	75	0.55	1000
BD9778HFP	Automotive	RB050L-40	RBR3LAM40CXX	40	40	3	75	0.55	1000
BD9859EFJ	Standard	RSX301LA-30	RSX301LAM30	30	30	3	100	0.42	90
BD9870FPS	Standard	RB050LA-40	RBR3LAM40C	40	40	3	75	0.55	100
BD9873CP-V5	Standard	RB050LA-40	RBR3LAM40C	40	40	3	75	0.55	100
BD9874CP-V5	Standard	RB050LA-40	RBR3LAM40C	40	40	3	75	0.55	100
BD9E151NUX	Standard	RSX101VA-30	RSX101VAM30	30	30	1	5	0.42	40
BD9G101G	Standard	RB060M-60	RB060MM-60	60	60	2	30	0.52	50
BD9G102G-LB	Industrial	RB060MM-60	同左	60	60	2	30	0.52	50
BD9G201EFJ-LB	Industrial	RB050LAM-60TFTR	同左	60	60	3	80	0.56	100
BD9G201EFJ-M	Automotive	RB050LAM-60TFTR	同左	60	60	3	80	0.56	100
BD9G341AEFJ	Standard	RB095B-90	RB095BGE-90	90	90	6	45	0.75	150
BD9G341AEFJ-LB	Industrial	RB095B-90	RB095BGE-90	90	90	6	45	0.75	150
BD9G401EFJ-M	Automotive	RB050L-60	RBR3LAM60BXX	60	60	2	75	0.56	150

表中の“新推奨 Di”列の型名末尾“XX”は、車載品名を示す記号として記載しており、2 文字以上のアルファベット（例：TF）が入ります。

変更履歴

Date	Revision	Changes
2019.9.30	001	New Release

ご 注 意

- 1) 本資料の記載内容は改良などのため予告なく変更することがあります。
- 2) 本資料に記載されている内容は製品のご紹介資料です。ご使用に際しては、別途最新の仕様書を必ずご請求のうえ、ご確認ください。
- 3) ロームは常に品質・信頼性の向上に取り組んでおりますが、半導体製品は種々の要因で故障・誤作動する可能性があります。
万が一、本製品が故障・誤作動した場合であっても、その影響により人身事故、火災損害等が起こらないようご使用機器でのディレーティング、冗長設計、延焼防止、バックアップ、フェイルセーフ等の安全確保をお願いします。定格を超えたご使用や使用上の注意書が守られていない場合、いかなる責任もロームは負うものではありません。
- 4) 本資料に記載されております応用回路例やその定数などの情報につきましては、本製品の標準的な動作や使い方を説明するものです。
したがって、量産設計をされる場合には、外部諸条件を考慮していただきますようお願いいたします。
- 5) 本資料に記載されております技術情報は、製品の代表的動作および応用回路例などを示したものであり、ロームまたは他社の知的財産権その他のあらゆる権利について明示的にも黙示的にも、その実施または利用を許諾するものではありません。上記技術情報の使用に起因して紛争が発生した場合、ロームはその責任を負うものではありません。
- 6) 本資料に掲載されております製品は、耐放射線設計はなされていません。
- 7) 本製品を下記のような特に高い信頼性が要求される機器等に使用される際には、ロームへ必ずご連絡の上、承諾を得てください。
・輸送機器（車載、船舶、鉄道など）、幹線用通信機器、交通信号機器、防災・防犯装置、安全確保のための装置、医療機器、サーバー、太陽電池、送電システム
- 8) 本製品を極めて高い信頼性を要求される下記のような機器等には、使用しないでください。
・航空宇宙機器、原子力制御機器、海底中継機器
- 9) 本資料の記載に従わないために生じたいかなる事故、損害もロームはその責任を負うものではありません。
- 10) 本資料に記載されております情報は、正確を期すため慎重に作成したのですが、万が一、当該情報の誤り・誤植に起因する損害がお客様に生じた場合においても、ロームはその責任を負うものではありません。
- 11) 本製品のご使用に際しては、RoHS 指令など適用される環境関連法令を遵守の上ご使用ください。
お客様がかかる法令を順守しないことにより生じた損害に関して、ロームは一切の責任を負いません。
本製品の RoHS 適合性などの詳細につきましては、セールス・オフィスまでお問合せください。
- 12) 本製品および本資料に記載の技術を輸出又は国外へ提供する際には、「外国為替及び外国貿易法」、「米国輸出管理規則」など適用される輸出関連法令を遵守し、それらの定めにしたがって必要な手続を行ってください。
- 13) 本資料の一部または全部をロームの許可なく、転載・複写することを堅くお断りします。



ローム製品のご検討ありがとうございます。
より詳しい資料やカタログなどご用意しておりますので、お問合せください。

ROHM Customer Support System

<http://www.rohm.co.jp/contact/>