

車載用の低 $V_{CE(sat)}$ BJT



ON Semiconductor®

www.onsemi.jp

TECHNICAL NOTE

はじめに

低 $V_{CE(sat)}$ バイポーラ・トランジスタ(BJT)は、自動車管理回路のパワー・スイッチング用としてプレーナ型MOSFETに代わる別の魅力的な選択肢です。これらのトランジスタは、同等サイズのプレーナ型MOSFETよりも、高ESD耐性、低消費電力、低コストの場合が多いため、結果的にシステム・コストが低減されます。本テクニカル・ノートでは、自動車の電力管理回路での低 $V_{CE(sat)}$ BJTの使用について説明します。

オン・セミコンダクターの低 $V_{CE(sat)}$ バイポーラ・ジャンクション・トランジスタ(BJT)は、熱効率にすぐれたパッケージに収納されており、超低飽和電圧 $V_{CE(sat)}$ と高電流利得性能を実現しています。自動車産業における用途としては、エア・バッグ展開時の負荷スイッチ、燃料ポンプにおける大電流トレンチ型MOSFET用のプリドライバ、過電圧保護、低ドロップ・アウト・レギュレーション、LEDバックライト・スイッチング、メータ・パネルのLCDバックライト用Royerコンバータなどがあります。低 $V_{CE(sat)}$ BJTの線形利得Betaは、アナログ・アンプの部品としてもロジック回路による直接駆動用としても理想的です。

テクノロジー

低 $V_{CE(sat)}$ BJTデバイスは、30年以上前に開発され、本来小さなダイ(ダイ・シュリンク)で同等性能を達成するために使用されていた技術を活用しています。この技術は「パーフォレーテッド・エミッタ」と呼ばれ、今日では順方向飽和電圧を下げて順方向抵抗を極力低くする目的で使用されています。パーフォレーテッド・エミッタとは、ダイ全体にベース層を拡げることにより、エミッタを介して複数のパーフォレーションに接触させる方法のことです。これらのパーフォレーションのそれぞれがデバイス内で小型トランジスタを形成し、非常に効率よく均等に電流を分散させることができます。

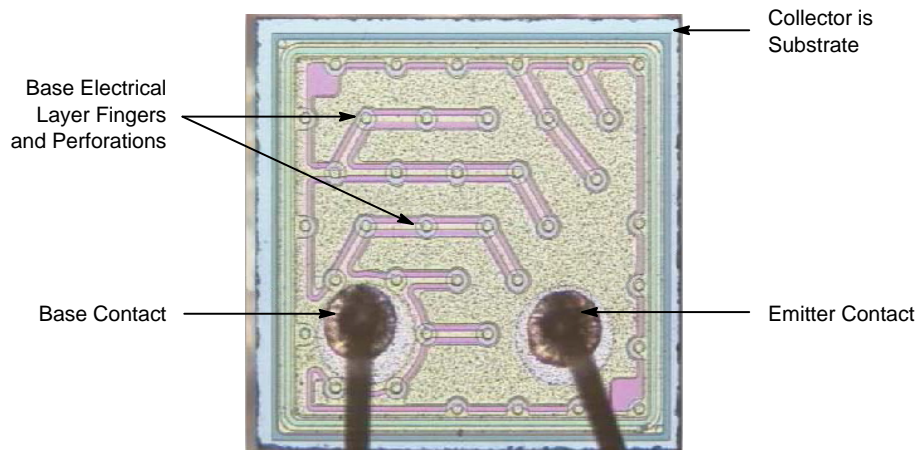


Figure 1. Photograph 1

低 $V_{CE(sat)}$ BJTの新製品の中には、1 Aのときの飽和電圧が50 mVを十分下回るものもあります。この値は順方向抵抗として見れば50 mΩ未満で、よりコストの高いMOSFETの競合品として非常に有力であることを示しています。

低 $V_{CE(sat)}$ BJTは、抵抗の温度係数がMOSFETの約半分なので、動作温度での効率化が図れるほか、大電流密度で動作させたときの温度が低くなり、

ダイの単位面積あたりの電流を増やすことができます。低 $V_{CE(sat)}$ BJTでは両方向で電圧が遮断されます($V_{(BR)EBO}$ または $V_{(BR)ECO}$ 特性で規定)。そのため直列ダイオードは不要です。低 $V_{CE(sat)}$ BJTは、ESD損傷に対してきわめて耐久性が高いため、人体モデルの放電試験に難なく合格します。それに比べると、MOSFETにとってESD損傷は常にリスクの1つであり、ゲートの破裂、損傷がよく起こります。

基板の設計

パッケージ熱設計の検討事項

MOSFETは電圧駆動デバイスですが、低 $V_{CE(sat)}$ BJTは電流駆動デバイスです。この理由から、使用している電力制御回路の制約を理解しない限り、低 $V_{CE(sat)}$ BJTで設計する際の具体的な回路要件を決定することはできません。例えば、低 $V_{CE(sat)}$ BJTで電流1 Aを制御する場合、最悪ケース利得(h_{FE})を100とすると、ベース電流(I_B)を最低でも10 mA流さない限り、この低 $V_{CE(sat)}$ BJTは飽和状態にはなりません。したがって、低 $V_{CE(sat)}$ BJTを直接駆動するには、電力制御回路の出力から10 mAを供給できなければならない、できない場合は別の駆動回路を設ける必要があります。

低 $V_{CE(sat)}$ BJTのパッケージの電力定格について検討しなければなりません。例えば、オン・セミコンダクターの低 $V_{CE(sat)}$ BJTであるNSS40200LT1G (SOT-23パッケージ)をFR4材のプリント基板(銅箔面積500 mm²、銅箔厚1オンス)に実装するとします。この銅箔上に実装した場合の最大電力定格(P_D)は540 mWです。

スイッチする入力電圧は40 V未満です。周囲温度は25°Cです。NSS40200LT1Gの標準的な $V_{CE(sat)}$ は、1.0 Aのときに80 mVです。これは電力損失80 mWに相当します。1.0 Aのときの最小利得(h_{FE})は180です。したがって、駆動電流(I_B)は6.0 mAを少し上回る必要があります。1.0 Aのときの $V_{CE(sat)}$ の最大制限値は170 mVです(データシートから引用。Beta = 100のときの値)。これは170 mWに相当しますので、25°CのときのSOT-23パッケージの定格である540 mWを十分に下回ります。

デバイスの温度ディレーティング

面積500 mm²、厚さ1オンスの銅箔は、熱抵抗ディレーティング率が4.3 mW/°Cです(データシートから引用)。SOT-23パッケージの最大電力ディレーティングは次式で求められます。

$$P_D @ 25^\circ\text{C} - ((\text{Board Temp} - 25^\circ\text{C}) \times \text{De-rate}) \quad (\text{eq. 1})$$

最大温度が85°Cのアプリケーションの場合、パッケージの最大許容電力損失は次のようになります。

$$P_D = 540 - ((85 - 25) \times 4.3) = 282 \text{ mW} \quad (\text{eq. 2})$$

これより高い85°Cの温度に対してディレーティングしたときでも、まだ最大電力の計算値170 mWはディレーティング適用後の電力を下回っています。

PCB上の実装面積、パッケージの高さ、駆動回路の構成が、要求が強まる一方の高密度化への対応に大きな役割を果たす要素です。PCBに実装するデバイス数が少ないほど、また部品サイズが小さいほど、最終製品が小型になります。SOT-723パッケージは、厚さ0.55 mmと極薄で占有面積も小さく(1.2×1.2 mm)、今日のインフォテインメント・システムにとって最良のソリューションと言えます。パッケージの高さと占有面積に対する要件が厳しくなければ、デザイナーのデバイスの選択肢は広がります。

ESD耐性は、コネクタ付近またはコネクタ本体への帯電が目立ってきているため、以前よりも重要性が高まりつつあります。BJT (HB > 8000 V)は構造上、MOSFET (HB > 300 V)よりもESD耐性が非常に高いため、外付けESD保護対策が不要な場合が多く、部品点数を低減できます。

スイッチング効率、通過素子のスイッチング時間に起因する損失が回路動作に悪影響を及ぼす回路にとって重要です。高パルス電流性能はハイ・パワーMOSFETを駆動するのに理想的です。低 $V_{CE(sat)}$ BJTは、小さなコンデンサを使用すれば簡単にスイッチング速度を遅くでき、スイッチングの痕跡が減るため、EMIと高調波ノイズが問題になる可能性がある車載用としても適しています。

低ターン・オン電圧は、MOSFET(通常4.0~10.0 V)と比べた場合に $V_{CE(sat)}$ BJT(通常0.7 V)の魅力的な特徴の1つです。バッテリー電圧の低下時に安全に電源を切る必要のある場合や、ごく短時間だけバッテリー電圧が低下する新しい「Stop Start」モードでは、ターン・オン電圧の低さは低電圧回路にとって非常に魅力的です。ターン・オン電圧が低いため、MOSFETに通常必要なオシレータやチャージ・ポンプも不要になります。

低 $V_{CE(sat)}$ BJTの温度係数は一般に、MOSFETと比べて優れています。温度が変化しても特性はほとんど変動しないので、MOSFETを使用した設計に比べて安定した設計が行えます。低 $V_{CE(sat)}$ BJTの温度係数はわずかに正であるため、温度が上昇すると回路の効率が向上します。他方、MOSFET回路は高温時にRDS-ONの値が倍になるので効率が低下します。

低 $V_{CE(sat)}$ BJTは利得が高いため、低電圧ロジック回路から直接駆動するのに理想的です。低 $V_{CE(sat)}$ BJTをロジック・ゲートに接続すると、回路はパワー・ロジック回路となります。

低 $V_{CE(sat)}$ BJTはコストが低いシステム全体のコストが低下します。同等のMOSFETと比べて定価が\$0.24低くなります。

NTF2955T1G 60 V 2.6 A SOT-223のWeb通販価格：
\$0.42

NSS60600MZ4T1G 60 V 6.0 A SOT-223のWeb通販価格：
\$0.18

用途

ASICと外付けパス・トランジスタを併用

制御回路の小型化、高機能化に対するニーズの高まりに対応して、車両の機能分野ごとに専用ASICに移行しつつあります。制御電流が500 mA未満の制御回路は、一般に最終段のパス・トランジスタも含めてすべてをASICに組み込んでいます。ただし、500 mA～5 Aの電流制御の場合、外付けパス・トランジスタ(MOSFET)を使用する設計が一般的です。MOSFETに代わる方法の一つが低コストの低 $V_{CE(sat)}$ BJTを使用することです。新しい低 $V_{CE(sat)}$ BJTファミリは、MOSFETの設計に比べて5～20セント安くな

る可能性があります。低 $V_{CE(sat)}$ BJTは、より低いコストでMOSFETと同じ機能を実行できるだけでなく、多くの場合、消費電力を低減することも可能です。

負荷スイッチ・自動車ダッシュボードのバック・ライト制御

ダッシュボードは、様々な機能の照明に複数のLEDアレイを使用する場合があります。Figure 2に、低 $V_{CE(sat)}$ BJTを使用してLEDバックライトを制御する回路を示します。

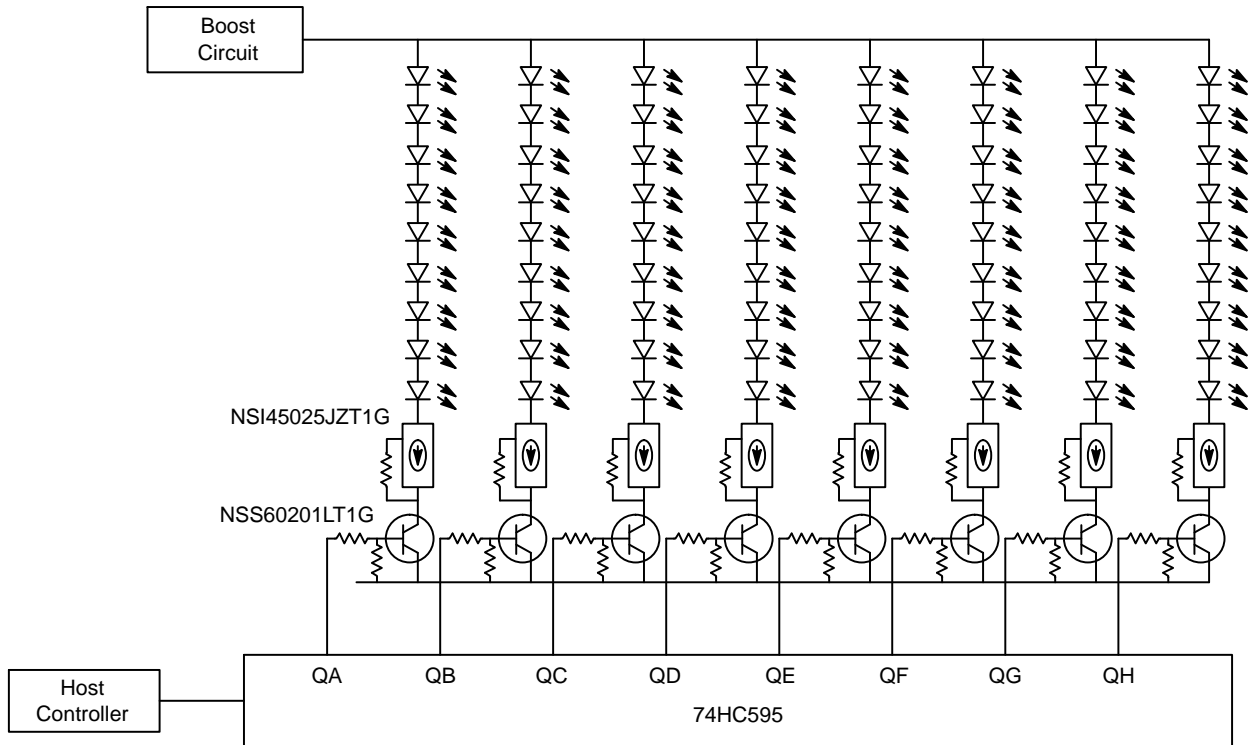


Figure 2. Large LED Array using a Logic Gate to Control the Low $V_{CE(sat)}$ BJT Switch

負荷スイッチ・シート・ヒータ

低 $V_{CE(sat)}$ BJTは、車両内のオン/オフ・スイッチとして理想的です。シート・ヒータがその好例です。

Figure 3に、デジタル・トランジスタで制御する低 $V_{CE(sat)}$ BJTを使用してシート・ヒータのオン/オフを切り替えるための回路図を示します。

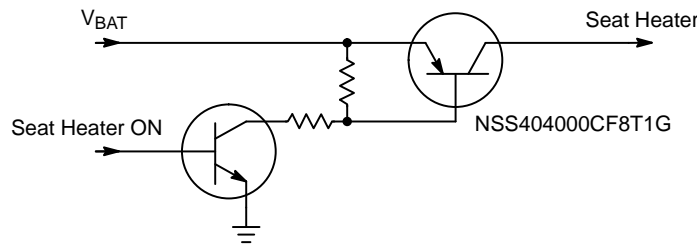


Figure 3. Load Switch – Seat Warmer

MOSFETゲートの駆動

低 $R_{DS(on)}$ のハイ・パワーMOSFETは、高周波数でスイッチングしないと、高効率の電力変換要件を満たすことはできません。これを達成するには、ゲート・ドライバ回路から瞬間的に数アンペアの電流を供給しなければなりません。低 $V_{CE(sat)}$ BJTは、リニア・モードでのスイッチング特性が優れ、高電流密度を活かした高パルス電流性能を備えているため、非常に適しています。

最もよく使用されていてコスト効果の高い駆動回路の1つが、バイポーラ型の非反転トータムポール・ドライバです。この回路構成は電力損失が小さいため、小型の表面実装パッケージにコンプリメンタリ・ペアを一緒に搭載して(NSS40302PDR2G)使用できます。

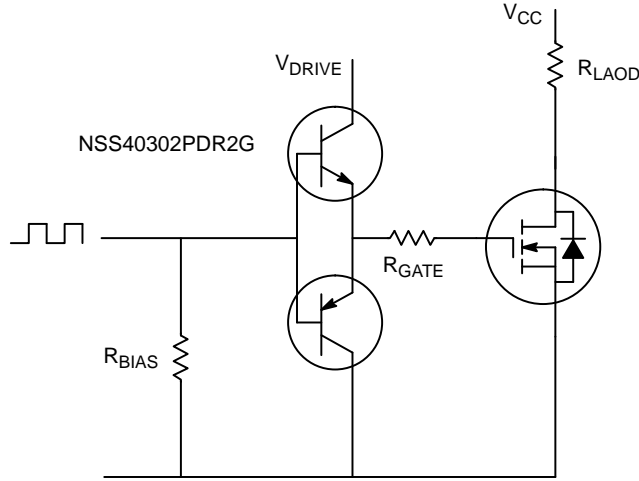


Figure 4. MOSFET Gate Driving

ウィンドウ・モータのためのHブリッジ・ドライブ

Q1とQ4をターンオンするとモータは正転します。
Q2とQ3をターンオンするとモータは反転します。

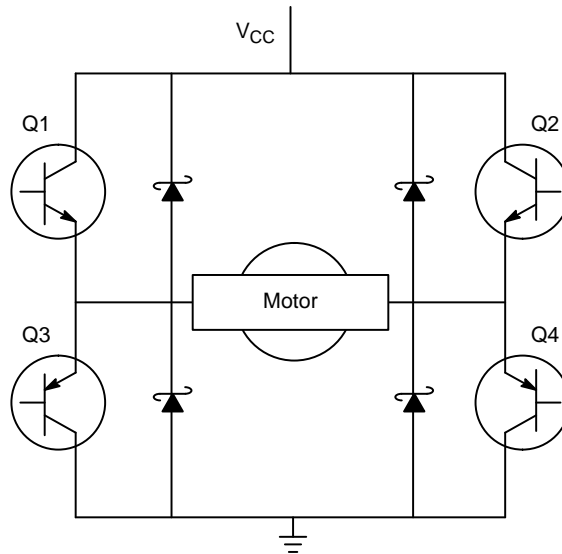


Figure 5. H-Bridge Drive for Window Motors

TND6093/D

過電圧保護

低 $V_{CE(sat)}$ BJTは、シンプルな過電圧保護回路に理想的です。ツェナ・ダイオードD1でトリップ電圧が設定されます。ツェナ・ダイオードD2はより大きな

ピーク値がBJTを通過しても、負荷まで到達しないようにします。ダイオードD3は、Q1のスイッチング時間を100 ns未満にまで改善するベーク・クランプとして機能します。

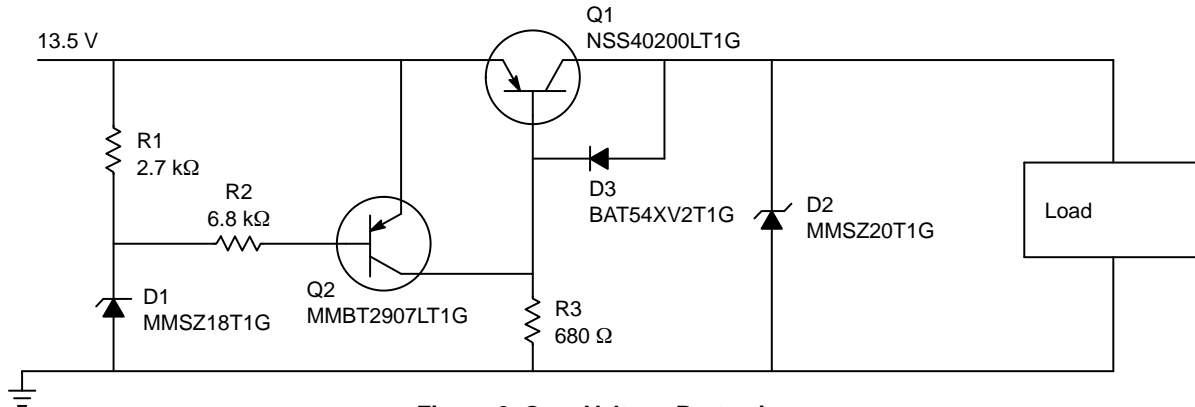


Figure 6. Over Voltage Protection

まとめ

低 $V_{CE(sat)}$ バイポーラ・トランジスタ(BJT)は、自動車管理回路のパワー・スイッチング用としてプレーナ型MOSFETに代わる別の魅力的な選択肢です。

これらのトランジスタは、高ESD耐性、低消費電力で、BOMコストが抑えられる場合も多いため、結果的にシステム・コストが低減されます。

Table 1.

Application	Feature	Benefit
Load Switch	<ul style="list-style-type: none"> • Low $V_{CE(sat)}$ • $h_{FE} > 200$ • Low R_{CE}/mm^2 • Small Size – 5.4 mm² • Low Profile – 1.0 mm • PNP Transistor 	<ul style="list-style-type: none"> • High Efficiency • High Gain • Low Cost vs. MOSFET • Less Board Space • More Compact Design • High Side Control
MosFET Gate Drive	<ul style="list-style-type: none"> • High Pulse Current • High Frequency • $h_{FE} > 200$ • Low R_{CE}/mm^2 • Small Size – 5.4 mm² • Low Profile – 1.0 mm • PNP/NPN Transistor 	<ul style="list-style-type: none"> • Fast Switching Time • High Current gain • Low Cost vs. MOSFET • Less Board Space • More Compact Design • High/Low Switch
Low Drop Out (LDO) Regulator	<ul style="list-style-type: none"> • Low $V_{CE(sat)}$ • High Power Dissipation/mm² • $h_{FE} > 200$ • Low R_{CE}/mm^2 • Small Size – 5.4 mm² • Low Profile – 1.0 mm • PNP/NPN Transistor 	<ul style="list-style-type: none"> • High Efficiency • High Current Control • High Gain • Low Cost vs. MOSFET • Less Board Space • More Compact Design • High or Low Side Control
Servo Motor Drive	<ul style="list-style-type: none"> • PNP/NPN Transistor • Low $V_{CE(sat)}$ • High Frequency • $h_{FE} > 200$ • Low R_{CE}/mm^2 • Small Size – 5.4 mm² • Low Profile – 1.0 mm 	<ul style="list-style-type: none"> • High/Low Bridge • High Efficiency • Low Switching Losses • High Current Gain – Lower Control Current • Low Cost vs. MOSFET • Less Board Space • Design Flexibility
Over Voltage Protection	<ul style="list-style-type: none"> • PNP/NPN Transistor • Low $V_{CE(sat)}$ • High Power Dissipation/mm² • High Frequency • $h_{FE} > 200$ • Low R_{CE}/mm^2 • Small Size – 5.4 mm² • Low Profile – 1.0 mm 	<ul style="list-style-type: none"> • High/Low Bridge • High Efficiency • High Current Control • Low Switching Losses • High Current Gain – Lower Control Current • Low Cost vs. MOSFET • Less Board Space • Design Flexibility

TND6093/D

Table 2. PNP PORTFOLIO OF LOW $V_{CE(sat)}$ BJT

Part Number	V_{CE} (V)	I_C DC (A)	I_C Peak (A)	Package	Typical $V_{CE(sat)}$ 1 A Beta 10	Typical h_{FE} @ 5 V, 100 mA	Status
NSS12100UW3	12	1	2	WDFN3	400 mV	300	Released
NSS12100M3	12	1	2	SOT-723	280 mV	250	Released
NSS12100XV6	12	1	2	SOT-563	280 mV	250	Released
NSS12200W	12	2	3	SC-88	150 mV	250	Released
NSS12200L	12	2	4	SOT-23	65 mV	250	Released
NSS12500UW3	12	5	7	WDFN3	55 mV	250	Released
NSS20200L	20	2	4	SOT-23	65 mV	250	Released
NSS20300MR6	20	3	5	TSOP-6	80 mV	250	Released
NSS20500UW3	20	5	7	WDFN3	60 mV	250	Released
NSS30070MR6	30	0.7	2	SC-74	205 mV	310	Released
NSS30100L	30	1	2	SOT-23	200 mV	98	Released
NSS35200MR6	35	2	5	TSOP-6	78 mV	234	Released
NSS35200CF8	35	2	7	ChipFET	79 mV	253	Released
NSS40200L	40	2	4	SOT-23	80 mV	300	Released
NSS40200UW6	40	2	4	WDFN6	100 mV	250	Released
NSS40300MZ4	40	3	5	SOT-223	50 mV	250	Released
NSS40500UW3	40	5	6	WDFN3	65 mV	250	Released
NSS40600CF8	40	6	8	ChipFET	50 mV	250	Released
NSS60200L	60	2	4	SOT-23	80 mV	250	Released
NSS60600MZ4	60	6	12	SOT-223	80 mV	250	Released
NSS1C200L	100	2	4	SOT-23	100 mV	300	Released
NSS1C200MZ4	100	2	3	SOT-223	125 mV	250	Released
NSS1C300E	100	3	6	DPAK	150 mV	180	Released

Table 3. NPN PORTFOLIO OF LOW $V_{CE(sat)}$ BJT

Part Number	V_{CE} (V)	I_C DC (A)	I_C Peak (A)	Package	Typical $V_{CE(sat)}$ 1 A Beta 10	Typical h_{FE} @ 5 V, 100 mA	Status
NSS12201L	12	2	4	SOT-23	35 mV	300	Released
NSS12501UW3	12	5	7	WDFN3	31 mV	300	Released
NSS12601CF8	12	6	8	ChipFET	30 mV	300	Released
NSS20101J	20	1	2	SC-89	220 mV	500	Released
NSS20201L	20	2	4	SOT-23	37 mV	300	Released
NSS20201MR6	20	2	3	TSOP-6	103 mV	200	Released
NSS20501UW3	20	5	7	WDFN3	31 mV	300	Released
NSS20601CF8	20	6	8	ChipFET	31 mV	300	Released
NSS30071MR6	30	0.7	2	SC-74	205 mV	317	Released
NSS30101L	30	1	2	SOT-23	103 mV	200	Released
NSS30201MR6	30	2	3	TSOP-6	103 mV	200	Released
NSS40201L	40	2	4	SOT-23	44 mV	300	Released
NSS40301MZ4	40	3	5	SOT-223	50 mV	250	Released
NSS40501UW3	40	5	7	WDFN3	38 mV	300	Released
NSS40601CF8	40	6	8	ChipFET	31 mV	300	Released
NSS60201L	60	2	4	SOT-23	80 mV	250	Released

TND6093/D

Table 3. NPN PORTFOLIO OF LOW $V_{CE(sat)}$ BJT (continued)

Part Number	V_{CE} (V)	I_C DC (A)	I_C Peak (A)	Package	Typical $V_{CE(sat)}$ 1 A Beta 10	Typical h_{FE} @ 5 V, 100 mA	Status
NSS60601MZ4	60	6	12	SOT-223	80 mV	250	Released
NSS1C201L	100	2	4	SOT-23	100 mV	250	Released
NSS1C201MZ4	100	2	3	SOT-223	100 mV	250	Released
NSS1C301E	100	2	6	DPAK	45 mV	200	Released

Table 4. DUAL PNP/NPN/COMPLEMENTARY PORTFOLIO OF LOW $V_{CE(sat)}$ BJT

Part Number	Polarity	V_{CE} (V)	I_C DC (A)	I_C Peak (A)	Package	Typical $V_{CE(sat)}$ 1 A Beta 10	Typical h_{FE} @ 2 V, 1 A	Status
NSS40301MD	NPN	40	3	6	SOIC-8	44 mV	340	Released
NSS40300MD	PNP	40	3	6	SOIC-8	75 mV	300	Released
NSS40300DD	PNP	40	3	6	SOIC-8	75 mV	300	Released
NSS40302PD	NPN/PNP	40	3	6	SOIC-8	44/75 mV	340/300	Released

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-Markings.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