

車載用無線通信 IC とオーディオパワーアンプの低消費電力化技術

Technologies to Reduce Power Consumption of Wireless Communication ICs and Audio Power Amplifiers for Automotive Use

小藤 剛 KOTO Tsuyoshi 福留 和徳 FUKUDOME Kazunori

電気自動車 (EV) などエコカーの普及に伴って、車載用半導体にも低消費電力化が求められている。無線通信分野では、スマートフォンとカーエンターテインメント機器との通信接続に加え、車両情報取得 (バッテリー残量、空気圧確認) などにユースケースが広がり、Bluetooth® Low Energy (Bluetooth® LE) への対応が、また、オーディオ用パワーアンプ分野では、低消費電力化とともに発熱抑制が、求められる。

東芝デバイス&ストレージ(株)は、低消費電力化に適した受信アーキテクチャーの採用とRF (Radio Frequency) 回路の開発によって低消費電力化を実現したBluetooth® LE対応IC、及び部品点数が従来のリニアアンプと同等で、デジタルアンプ並みの低消費電力化や発熱抑制に対応した独自方式のリニアパワーアンプを製品化している。これらの製品はエコカーのニーズに応えるとともに、車載システムの小型化に貢献する。

Accompanying the expanding dissemination of eco-friendly automobiles including electric vehicles, demand has been increasing for reduction of the power consumption of automotive semiconductor devices. In the wireless communication field, attention has been focused on Bluetooth® Low Energy (Bluetooth® LE) integrated circuits (ICs) that make it possible to connect a smartphone not only to car entertainment equipment but also to various in-vehicle electronic systems in order to provide diagnostic information, including remaining battery charge and tire air pressure, with low power consumption. In the field of power amplifiers for in-vehicle audio equipment, both the reduction of power consumption and the suppression of heat generation for space-saving purposes are increasingly required.

Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation has released Bluetooth® LE ICs that achieve low power consumption through the application of a low-current receiver architecture and a newly developed low-current radio-frequency (RF) circuit. We have also released a high-efficiency linear power amplifier that achieves both low power consumption and heat generation suppression comparable to those of a digital power amplifier, despite its smaller number of parts similar to the number in a conventional linear power amplifier, through the application of our proprietary technologies. These products are expected to facilitate reduction of the size of in-vehicle electronic systems while meeting the requirements of eco-friendly automobiles.

1. まえがき

自動車市場では、従来の走る、曲がる、止まるという機能だけでなく、環境への配慮、安全の確保、情報の活用による快適さの実現という新しい機能への期待が高まっている。このような中で、車載用半導体にはこれまで以上に幅広い役割が求められるが、低消費電力化は共通の基本的要求である。

近年、自動車とスマートフォンの連携など、車載機器での無線通信のユースケースが増えてきている (図1)。東芝デバイス&ストレージ(株)は、車載用無線ICでは、Bluetooth®を中心に20年以上の開発実績がある。カーエンターテインメント機器とスマートフォンをつなぐBluetooth®対応ICに加え、リモートキーレスエントリー (RKE) やETC (自動料

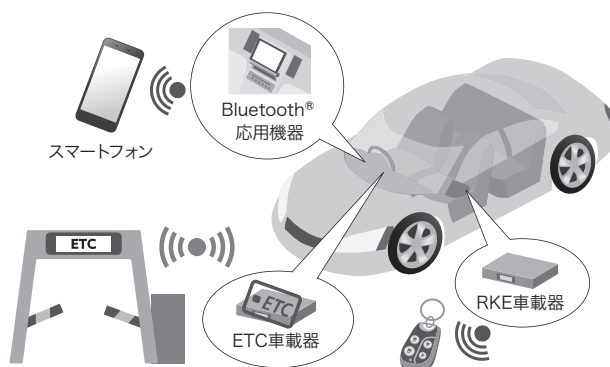
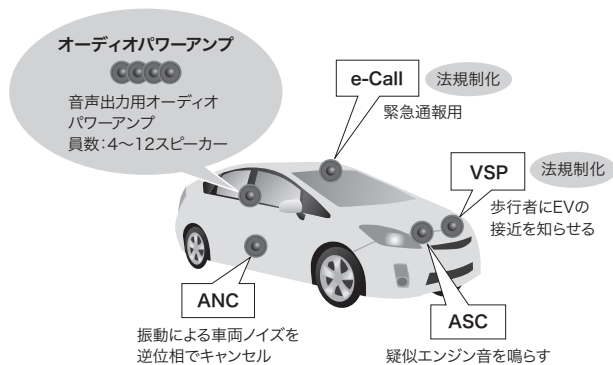


図1. 車載用無線通信アプリケーション

車両に搭載されている無線通信アプリケーションには、Bluetooth® 応用機器、RKE 車載器、ETC 車載器などの製品群がある。

Application of wireless communication technologies for automotive use



e-Call : 緊急通報システム
 VSP : Vehicle Sound for Pedestrian (車両接近警報装置)
 ANC : Active Noise Controller (アクティブノイズコントローラー)
 ASC : Active Sound Controller (疑似エンジン音発生装置)

図2. 新たな車載用音声出力アプリケーション

自動車の進化に伴い、カーオーディオやナビゲーション以外にも音声出力が必要となる装置の需要が増加している。

Growing demand for application of audio technologies for automotive use

金収受システム)などのアプリケーション向け製品群があり、ここでは、低消費電力を特長とするBluetooth® LE対応ICについて述べる。

また、自動車のスピーカーから音声を出力することを目的として搭載されるカーオーディオパワーアンプ分野では、従来のオーディオ再生以外にも様々な新規アプリケーションで採用分野が広がっている(図2)。ここでも低消費電力化が要求されており、当社が独自に開発したりニア高効率オーディオパワーアンプ技術についても述べる。

2. 車載用無線IC (Bluetooth® LE 対応 IC) の低消費電力化

従来のBluetooth®は、法規制化されたスマートフォンのハンズフリー通話や、オーディオストリーミングなどのカーエンターテインメントが主な用途として使われてきた。今後は、最新規格であるBluetooth® Ver.5.0などの普及に伴い、Bluetooth® LE規格が普及していくこととなる。

スマートフォン連携の新しいアプリケーションとして、カーシェアリング向けのスマートフォンキーや、駐車中に車両情報などのスマートフォンへの転送などがある。このような用途では、エンジン停止中に使われることが多いため、低消費電力システムのBluetooth® LEが適しており、更に、従来の音声やオーディオなども、今後、Bluetooth® LEに置き換わっていくことが予想される。

表1に、当社製の車載用Bluetooth® LE対応ICの特徴

表1. 車載用Bluetooth® LE 対応 ICの特徴

Features of Bluetooth® LE ICs for automotive use

型番	TC35679IFTG	TC35681IFTG
量産時期	2017年	2019年
Bluetooth®規格	Ver.4.2準拠	Ver.5.0準拠
動作温度範囲	-40 ~ 105 °C	-40 ~ 125 °C
外付け部品点数	7個	11個
ピーク電流	3.3 mA@±0 dBm	11 mA@+8 dBm
送信出力	±0 dBm	+8 dBm
実効データレート	700 kビット/s	1 Mビット/s
通信距離	130.0 m	603.4 m

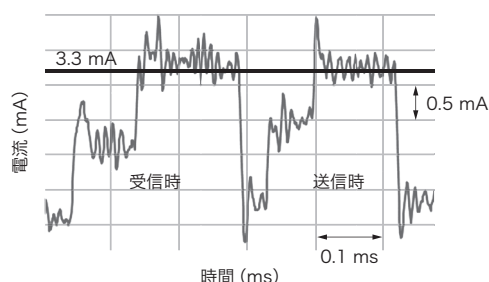


図3. TC35679IFTGの接続イベント時の電流波形例

Ver.4.2規格に対応するTC35679IFTGは、送受信時の消費電流を3.3 mAに抑えている。

Example of current waveform of TC35679IFTG at time of connection event

を、新旧モデルについて比較して示す。

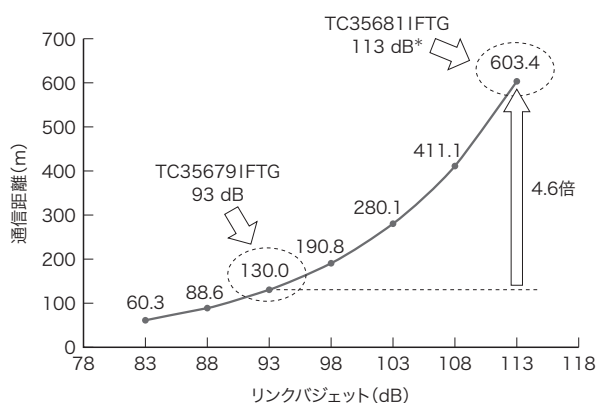
2017年に量産開始したTC35679IFTGは、Bluetooth® Ver.4.2規格に準拠し、-40~105 °Cという車載用での広い温度範囲で動作を実現した。また、低消費電流化に適した受信アーキテクチャーを採用し、高効率で低スイッチング雑音の電源システムと、電力増幅器をはじめとする低消費電流RF回路の開発により、送受信時ともに、3.3 mAの低消費電力動作を実現した(図3)⁽¹⁾。

更に、Ver.5.0規格に準拠したTC35681IFTGも開発した。2019年に量産開始予定であり、-40~125 °Cと更に広い動作温度範囲や、TC35679IFTGと同じ低消費電流が特長である。

このように、TC35681IFTGとTC35679IFTGは、送受信時のピーク電流が非常に少なく、RKEなどに適している。

図4にTC35681IFTGとTC35679IFTGの通信距離とリンクバジェット^(注1)を示す。TC35681IFTGのリンクバジェット

(注1) 送信電力(単位: dBm)と受信感度(単位: dBm)の差であり、大きいほど長距離通信が可能であることを示す指標。



*実測値をベースにした計算値

図4. リンクバジェットと通信距離のトレンド

TC356811FTGは、リンクバジェットが113 dBと大幅に向上し、通信距離をTC356791FTGの4.6倍に改善した。

Trends in communication distance vs. link budget

トは、TC356791FTGの93 dBに比べて、113 dBと大幅に改善し、通信距離が4.6倍に増えた。これは電力増幅器に、

- (1) 送信電力の増加に伴い増大する不要波を抑制する能力の向上
- (2) 出力段にある二つのスイッチトランジスタのオン/オフタイミングの調整による効率改善

の二つの技術を適用することで、実現した⁽²⁾。

長距離通信が可能になると、大規模駐車場での駐車位置の探索や、家の中など自動車から離れた場所からの自動車情報(バッテリー残量、空気圧)の取得など、ユースケースが広がる。

3. リニア高効率オーディオパワーアンプIC

車両の進化に伴って必要になった、音声出力を用いる新しいアプリケーションは、法規制の整備とともに、世界的な普及が予想される、e-Callと呼ばれる緊急通報システムや、歩行者に車の接近を知らせる車両接近警報装置VSP (Vehicle Sound for Pedestrian)、車両の雑音を打ち消すアクティブノイズコントローラーANC (Active Noise Controller)、エンジン音を電的に再現する疑似エンジン音発生装置ASC (Active Sound Controller)などがその代表例として挙げられる。これらに搭載されるオーディオパワーアンプには、車両の燃費を損なわないように低消費電力での動作が求められる。また、各車載機器の機能・性能向上に伴って、マルチタスク可能な高速プロセッサが採用されるケースが増え、セット内部温度が従来に比べ高くなることも問題

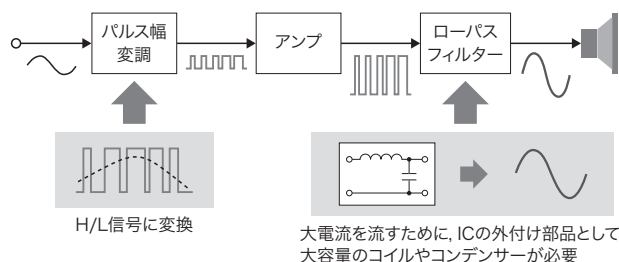


図5. デジタルアンプ方式のオーディオパワーアンプの構成

デジタルアンプは、アナログ入力信号をパルス幅変調でH/L信号に変換し、アンプで増幅した後、ローパスフィルターでアナログ音声信号に復調する。

Configuration of digital power amplifier

となっており、発熱を抑えるためにも消費電力を低くする必要があります。

一般に、オーディオパワーアンプは、音声入力信号を線形増幅するリニアアンプと、音声入力信号を一旦H/L(ハイ/ロー)信号に変換してスイッチング増幅するデジタルアンプに大別される。低消費電力が必要な場合には、アンプ効率の観点から後者が用いられることが多い。しかし、後者のシステムは、スイッチング増幅した後の信号をローパスフィルターに通してアナログ音声信号に再変換しなければならず、大容量のコイルやコンデンサーが必要である。このため、システムコストの上昇と、基板上に搭載する周辺部品用のスペース拡大が問題となる(図5)。

これを解決するために、周辺部品は従来のリニアアンプと同等で、実使用条件(連続正弦波駆動換算時の出力パワーが4 W以下の領域)ではデジタルアンプに相当する低消費電力を実現できる、新たなリニア高効率パワーアンプ技術を開発した。一般に、オーディオパワーアンプでは、動作方式の違いを“級”で呼ぶ(デジタルアンプは“D級”など)ことから、当社ではこの新たなリニア高効率パワーアンプをTB級(Tied BTL (Bridge Tied Load))と呼称している。

一方、リニア高効率パワーアンプ技術自体は既存であり、当社の前世代方式はKB (Knit BTL)級、他社方式はSBI (Single Ended BTL improved)級とそれぞれ呼称しているが、いずれもD級ほどの消費電力は実現できていない。

異なる動作方式を用いたときの、オーディオパワーアンプの消費電力の具体例を図6に示す。ここでは、連続正弦波駆動時の出力パワーが0.8 Wのときの、級ごとのIC内部消費電力を示している。つまり、これらの消費電力の差分が、発熱量の差となる。TB級のパワーアンプであるTCB701FNG、

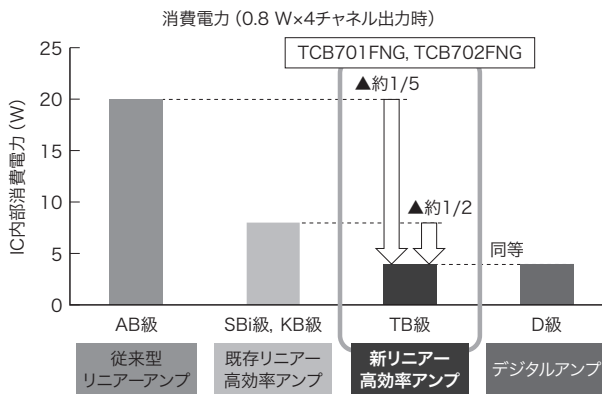
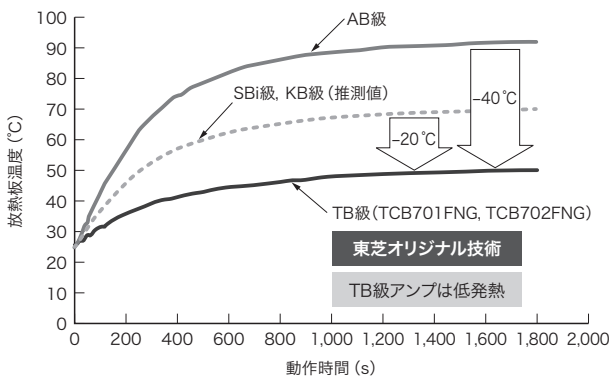


図6. 動作方式が異なるパワーアンプの消費電力比較

開発したTB級のオーディオパワーアンプは、AB級と同等の周辺回路で、D級と同等の消費電力を実現している。

Comparison of power consumption of different types of power amplifiers



*試験条件 電源電圧:13.2V 入力周波数:1 kHz
 負荷抵抗:4Ω 出力電力:0.4 W×4チャンネル動作
 周囲温度:25°C
 放熱板熱抵抗:6.5°C/W (サイズ:85×85×2 mm, アルミニウム板)

図7. 放熱板の温度上昇特性

同じ出力条件で放熱板の温度を測定した結果、TB級の温度上昇は、ほかの方式より約20～40°C少ないことが分かった。

Temperature rise curves of heat sinks for different types of power amplifiers

TCB702FNGは、内部消費電力による損失を、従来型リニアアンプ (AB級) に比べて約1/5、また、SBI級やKB級に比べて約1/2に削減でき、D級とほぼ同等の効率特性が、追加周辺部品なしで得られていることが分かる。

開発したTB級の基本原理は、車載オーディオパワーアンプの構成を基にしている。車載オーディオスピーカーは、通常、前と後ろの左右それぞれの全4台で構成されている。従来のシステムでは、一つのスピーカーに出力される信号振幅は、駆動するパワーアンプに印加されている電源電圧とGND

(接地)の間を行き来し、スピーカー用のパワーアンプは4チャンネル独立で動いている。しかし、TB級では出力パワーに応じて4チャンネルのパワーアンプの接続を切り替え、パワーアンプに印加される電源とGNDの間に1チャンネル、2チャンネル、4チャンネルとパワーアンプを縦積みする構成としている。これにより、スピーカー1チャンネルあたりに流れる電流を、1→1/2→1/4と低減することで低消費電力化している。

実際に測定した温度上昇特性例を図7に示す。このデータは、AB級、SBI級、KB級、TB級のそれぞれに、同一サイズの放熱板を取り付け、出力パワー0.4 Wを4チャンネルに出力した状態で、放熱板の温度上昇を時間の経過とともに測定したものである。これにより、TB級のパワーアンプの飽和温度は、AB級に比べて約40°C、SBI級とKB級に比べて約20°C低減できていることが分かる。

4. あとがき

低消費電力及び長距離通信のBluetooth® LE対応ICや、リニア高効率オーディオパワーアンプICなどのラインアップは、今後のエコカー市場のニーズに応える製品である。

車載用半導体のユースケースが広がるとともに、自動車へのIC搭載比率はますます増えていくことになる。今後も、需要動向を的確に捉えてタイムリーな開発を行い、高品質・高信頼性の車載用半導体デバイスを市場投入していく。

文献

- (1) Oshiro, M. et al. "A 3.2 mA-RX 3.5 mA-TX Fully Integrated SoC for Bluetooth Low Energy". 2016 IEEE Asian Solid-State Circuits Conference (A-SSCC) Proceedings of Technical Papers. Toyama, 2016-11, IEEE, 2012, p.1-4.
- (2) 東芝デバイス&ストレージ. "長距離通信と低消費電力を両立したBluetooth® low energy SoCの開発について". ニュース. <<https://toshiba.semicon-storage.com/jp/company/news/news-topics/2018/06/wireless-20180620-1.html>>, (参照2018-07-13).

・Bluetoothは、Bluetooth SIG, Inc.の登録商標。



小藤 剛 KOTO Tsuyoshi
 東芝デバイス&ストレージ(株)
 ミックスドシグナル IC 事業部
 マイコン開発部
 Toshiba Electronic Devices & Storage Corp.



福留 和徳 FUKUDOME Kazunori
 東芝デバイス&ストレージ(株)
 ミックスドシグナル IC 事業部
 アナログ開発第一部
 Toshiba Electronic Devices & Storage Corp.