

ご注意：この日本語データシートは参考資料として提供しており、内容が最新でない場合があります。製品のご検討およびご採用に際しては、必ず最新の英文データシートをご確認ください。



2000年8月

LM4863

Boomer[®] オーディオ・パワーアンプ・シリーズ

ステレオ・ヘッドフォン機能付き、デュアル 2.2W オーディオアンプ

概要

LM4863 は、電源電圧 5V 時 (THD = 1%時) 4 負荷にて 2.2W (Note 1 参照)、3 負荷にて 2.5W (Note 2 参照) の連続出力を取り出せる、デュアル・ブリッジ・オーディオ・パワーアンプです。ヘッドフォン・コントロール入力端子は、内蔵アンプの動作モードを、ヘッドフォンのドライブを行うときにシングル・エンド出力とする付加機能になります。

Boomer オーディオ・パワーアンプは、表面実装パッケージを使用し、外付け部品を最小限に抑え、なおかつ高品位なサウンドを供給するように設計されています。また、デュアル・ブリッジ・スピーカーアンプ及び、ステレオ・ヘッドフォン・アンプを同一チップ上に構成しており、マルチメディア機器に最適化されています。

LM4863 は、外部制御できる低消費電力シャットダウン、ステレオ・ヘッドフォン・モード、及びサーマル・シャットダウン（熱暴走）保護機能を内蔵しています。また、デバイスの電源印加時の“クリック及びポップ音”を低減するための機能も備えています。LM4863 は、ユニティ・ゲインで安定した動作が得られ、外部抵抗によりゲイン設定が可能です。

Note 1: LM4863MTE または LM4863LQ にて、適切に基板実装された場合、4 負荷にて 2.2W の出力が得られます。他のパッケージでは、8 負荷にて 1.1W 出力となります。LM4863MTE と LM4863LQ に関する詳細な情報についてはアプリケーション情報を参照下さい。

Note 2: LM4863MTE または LM4863LQ にて、適切に基板実装され、強制空冷した場合、3 負荷にて 2.5W の出力が得られます。

主な仕様

出力電力 (THD + N = 1%)

LM4863LQ、3、4 負荷	2.5W (typ)、2.2W (typ)
LM4863MTE、3、4 負荷	2.5W (typ)、2.2W (typ)
LM4863MTE、8 負荷	1.1W (typ)
LM4863、8	1.1W (typ)
シングルエンド・モード THD + N (75mW 連続出力時、RL = 32)	0.5% (max)
シャットダウン電流	0.7µA (typ)
電源電圧範囲	2.0V ~ 5.5V

特長

ステレオ・ブリッジアンプ (BTL) モード

ステレオ・ヘッドフォンアンプ・モード

“クリック、ポップ音”低減回路

ユニティ・ゲインにて安定動作

サーマル・シャットダウン保護

パッケージ：SOIC、DIP、TSSOP、Exposed-DAP TSSOP、Exposed-DAP LLP

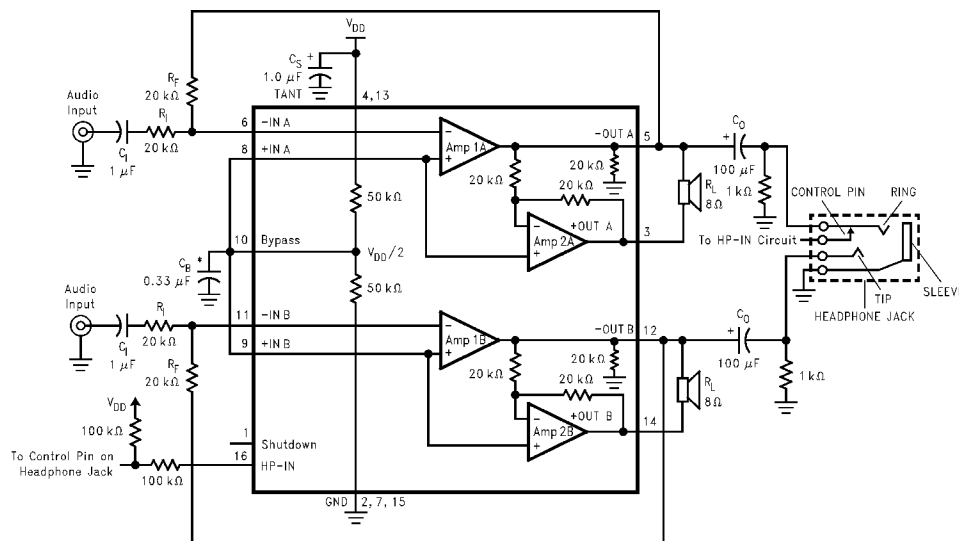
アプリケーション

ノートブック PC

マルチメディア・モニタ

ポータブル・テレビ

代表的なアプリケーション

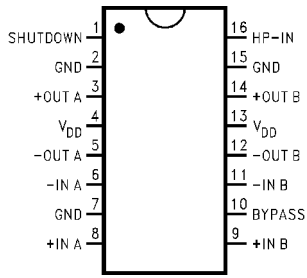


Note: DIP および SO パッケージの出力端子を示しています。TSSOP、Exposed-DAP TSSOP、および Exposed-DAP LLP パッケージの出力端子については、「ピン配置図」を参照して下さい。

「Boomer」は、(株)パーテックススタンダードからナショナル セミコンダクター ジャパン (株) に使用を許諾されている商標です。

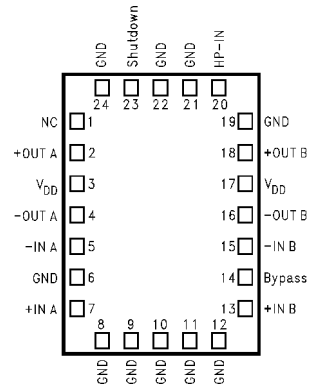
LM4863 Boomer[®] ステレオ・ヘッドフォン機能付き、デュアル 2.2W オーディオアンプ

配置図



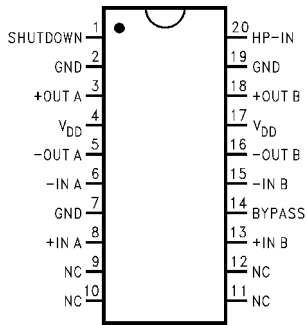
Top View

Order Number LM4863M, LM4863N
See NS Package Number M16B for SO
See NS Package Number N16E for DIP



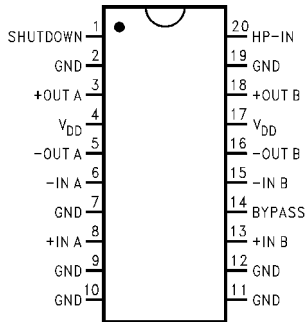
Top View

Order Number LM4863LQ
See NS Package Number LQA24A for Exposed-DAP
LLP



Top View

Order Number LM4863MT
See NS Package Number MTC20 for TSSOP



Top View

Order Number LM4863MTE
See NS Package Number MXA20A for Exposed-DAP
TSSOP

絶対最大定格 (Note 3)

本データシートには軍用・航空宇宙用の規格は記載されていません。
関連する電気的信頼性試験方法の規格を参照下さい。

電源電圧	6.0V	JA (typ) M16B	80	/W
保存温度範囲	- 65 ~ + 150	JC (typ) N16A	20	/W
入力電圧	- 0.3V ~ $V_{DD} + 0.3V$	JA (typ) N16A	63	/W
消費電力 (Note 4)	内部にて制限	JC (typ) MTC20	20	/W
ESD 耐圧 (Note 5)	2000V	JA (typ) MTC20	80	/W
ESD 耐圧 (Note 6)	200V	JC (typ) MXA20A	2	/W
接合部温度	150	JA (typ) MXA20A	41	/W (Note 7)
ハンダ付け		JA (typ) MXA20A	51	/W (Note 8)
スモール・アウト・ライン・パッケージ		JA (typ) MXA20A	90	/W (Note 9)
ペーパー・フェイズ (60 秒)	215	JA (typ) LQ24A	TBD	/W (Note 10)
赤外線 (15 秒)	220	JA (typ) LQ24A	TBD	/W (Note 11)
その他の表面実装法については、アプリケーション・ノート AN-450 “スモールアウトライン (SO) パッケージ表面実装と製品信頼性に於ける効果” を参照下さい。		JA (typ) LQ24A	TBD	/W (Note 12)
熱抵抗				
JC (typ) M16B	20			/W

動作定格

温度範囲

T_{MIN}	T_A	T_{MAX}	- 40	T_A	85
電源電圧	2.0V	V_{DD}	5.5V		

電気的特性〔IC 全般〕 (Note 3, 13)

特記のない限り、以下の規格値は $V_{DD} = 5V$ に対して適用されます。リミット値は $T_A = 25$ にて適用されます。

Symbol	Parameter	Conditions	LM4863		Units (Limits)
			Typical (Note 14)	Limit (Note 15)	
V_{DD}	Supply Voltage			2	V (min)
				5.5	V (max)
I_{DD}	Quiescent Power Supply Current	$V_{IN} = 0V, I_O = 0A$ (Note 16), HP-IN = 0V	11.5	20	mA (max)
		$V_{IN} = 0V, I_O = 0A$ (Note 16), HP-IN = 4V	5.8	6	mA (min)
I_{SD}	Shutdown Current	V_{DD} applied to the SHUTDOWN pin	0.7	2	μA (min)
V_{IH}	Headphone High Input Voltage			4	V (min)
V_{IL}	Headphone Low Input Voltage			0.8	V (max)

電気的特性〔ブリッジ動作〕 (Note 3, 13)

特記のない限り、以下の規格値は $V_{DD} = 5V$ に対して適用されます。リミット値は $T_A = 25$ にて適用されます。

Symbol	Parameter	Conditions	LM4863		Units (Limits)	
			Typical (Note 14)	Limit (Note 15)		
V_{OS}	Output Offset Voltage	$V_{IN} = 0V$	5	50	mV (max)	
P_O	Output Power (Note 17)	THD + N = 1%, f = 1kHz				
		LM4863MTE, $R_L = 3$ (Note 18)	2.5		W	
		LM4863LQ, $R_L = 3$ (Note 18)	2.5		W	
		LM4863MTE, $R_L = 4$ (Note 19)	2.2		W	
		LM4863LQ, $R_L = 4$ (Note 19)	2.2		W	
		LM4863, $R_L = 8$	1.1	1.0	W (min)	
		THD + N = 10%, f = 1kHz				
		LM4863MTE, $R_L = 3$ (Note 18)	3.2		W	
LM4863LQ, $R_L = 3$ (Note 18)	3.2		W			
LM4863MTE, $R_L = 4$ (Note 19)	2.7		W			
LM4863LQ, $R_L = 4$ (Note 19)	2.7		W			

電気的特性〔ブリッジ動作〕 (Note 3, 13) (つづき)

特記のない限り、以下の規格値は $V_{DD} = 5V$ に対して適用されます。リミット値は $T_A = 25$ にて適用されます。

Symbol	Parameter	Conditions	LM4863		Units (Limits)
			Typical (Note 14)	Limit (Note 15)	
		LM4863, $R_L = 8$	1.5		W
		THD + N = 1%, $f = 1\text{kHz}$, $R_L = 32$	0.34		W
THD + N	Total Harmonic Distortion + Noise	20Hz f 20kHz, $A_{VD} = 2$ LM4863MTE, $R_L = 4$, $P_O = 2W$ LM4863LQ, $R_L = 4$, $P_O = 2W$	0.3	0.3	%
PSRR	Power Supply Rejection Ratio	LM4863, $R_L = 8$, $P_O = 1W$ $V_{DD} = 5V$, $V_{RIPPLE} = 200\text{mV}_{RMS}$, $R_L = 8$, $C_B = 1.0\mu\text{F}$	0.3		%
			67		dB
X_{TALK}	Channel Separation	$f = 1\text{kHz}$, $C_B = 1.0\mu\text{F}$	90		dB
SNR	Signal To Noise Ratio	$V_{DD} = 5V$, $P_O = 1.1W$, $R_L = 8$	98		dB

電気的特性〔シングルエンド動作〕 (Note 3, 4)

特記のない限り、以下の規格値は $V_{DD} = 5V$ に対して適用されます。リミット値は $T_A = 25$ にて適用されます。

Symbol	Parameter	Conditions	LM4863		Units (Limits)
			Typical (Note 14)	Limit (Note 15)	
V_{OS}	Output Offset Voltage	$V_{IN} = 0V$	5	50	mV (max)
P_O	Output Power	THD + N = 0.5%, $f = 1\text{kHz}$, $R_L = 32$	85	75	mW (min)
		THD + N = 1%, $f = 1\text{kHz}$, $R_L = 8$	340		mW
		THD + N = 10%, $f = 1\text{kHz}$, $R_L = 8$	440		mW
THD + N	Total Harmonic Distortion + Noise	$A_V = -1$, $P_O = 75\text{mW}$, 20Hz f 20kHz, $R_L = 32$	0.2		%
PSRR	Power Supply Rejection Ratio	$C_B = 1.0\mu\text{F}$, $V_{RIPPLE} = 200\text{mV}_{RMS}$, $f = 1\text{kHz}$	52		dB
X_{TALK}	Channel Separation	$f = 1\text{kHz}$, $C_B = 1.0\mu\text{F}$	60		dB
SNR	Signal To Noise Ratio	$V_{DD} = 5V$, $P_O = 340\text{mW}$, $R_L = 8$	95		dB

Note 3: 「絶対最大定格」とは、デバイスが破壊する可能性のあるリミット値をいいます。「動作定格」とはデバイスが機能する条件を示しますが、特定の性能リミット値を保証する物ではありません。仕様及び試験条件の保証値に関しては、「電気的特性」を参照下さい。これはデバイスが、動作定格内と仮定しています。リミット値のないパラメータについては仕様は保証されません。しかし、代表値によってデバイスのパフォーマンスが解ります。

Note 4: 温度上昇時の動作では、最大消費電力の定格を T_{JMAX} (最大接合部温度)、 J_A (接合部・周囲温度間熱抵抗) 及び、 T_A (周囲温度) に従って下げなければなりません。最大許容消費電力は $P_{DMAX} = (T_{JMAX} - T_A) / J_A$ 、または絶対最大定格で示される値のうち、いずれか低い方の値です。LM4863 の場合、 $T_{JMAX} = +150$ 、熱抵抗は、パッケージによって異なりますので、最大定格の項を参照下さい。

Note 5: 使用した試験回路は、人体モデルに基づき、直列抵抗 1.5k と 100pF のコンデンサからなる回路を使用し、各端子に放電させます。

Note 6: マシン・モデルでは、220pF ~ 240pF のコンデンサを介して直接各端子に放電させます。

Note 7: MXA20A (Exposed-DAP) パッケージの J_A は、2 平方インチ、1 オンス厚に実装した場合の熱抵抗です。

Note 8: MXA20A (Exposed-DAP) パッケージの J_A は、1 平方インチ、1 オンス厚に実装した場合の熱抵抗です。

Note 9: MXA20A (Exposed-DAP) パッケージの J_A は、放熱用の銅箔を使用しない場合の熱抵抗です。

Note 10: LQA24A (Exposed-DAP) パッケージの J_A は、2 平方インチ、1 オンス厚に実装した場合の熱抵抗です。

Note 11: LQA24A (Exposed-DAP) パッケージの J_A は、1 平方インチ、1 オンス厚に実装した場合の熱抵抗です。

Note 12: LQA24A (Exposed-DAP) パッケージの J_A は、放熱用の銅箔を使用しない場合の熱抵抗です。

Note 13: 特記のない限り、すべての電圧は、グラウンド (GND) ピンを基準に測定されます。

Note 14: 代表値 (Typical) は、 $T_A = 25$ で得られるもっとも標準的な数値です。

Note 15: リミット値 (Limit) は、ナショナル セミコンダクター社の AOQL (平均出荷品質レベル) に基づき保証されます。

Note 16: 待機時消費電流は、実際の負荷をアンプに接続しているときのオフセット電圧により異なります。

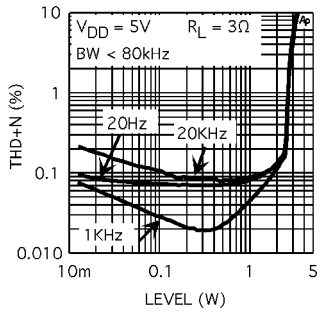
Note 17: 出力電力は、IC の端子にて測定されます。

Note 18: 電源電圧 5V、負荷 3 とする時、LM4863LQ と LM4863MTE は、強制空冷 (450 linear-feet per minute) しなければならない。

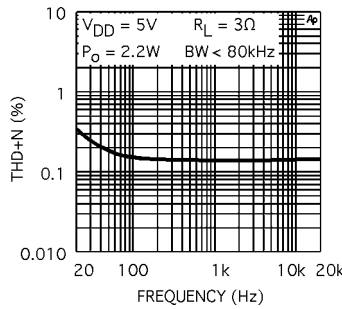
Note 19: 電源電圧 5V、負荷 4 とする時、LM4863LQ と LM4863MTE は、適切に基板実装しなければならない。

代表的な性能特性 MTE and LQ Specific Characteristics

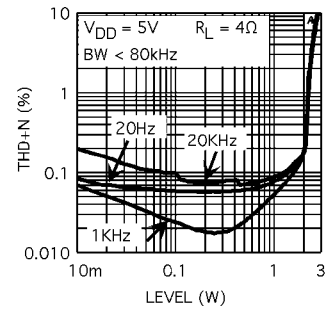
LM4863MTE
THD + N vs Output Power



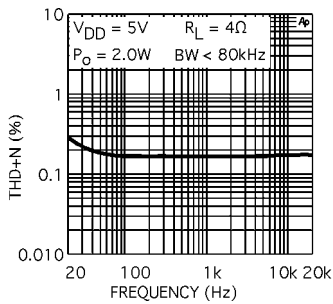
LM4863MTE
THD + N vs Frequency



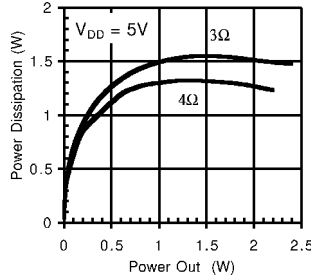
LM4863MTE
THD + N vs Output Power



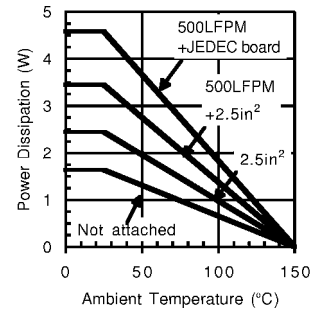
LM4863MTE
THD + N vs Frequency



LM4863MTE
Power Dissipation vs Power Output



LM4863MTE (Note 20)
Power Derating Curve



Note 20: 上記の特性カーブは、LM4863MTEを次の放熱条件にした場合の異なる周囲温度に対する消費電力を示します。

500LFPM + JEDEC board: 基板に実装された状態で 500 liner feet per minute の強制空冷を行います。実装基板の銅箔エリアは、内層に 74 × 74mm を、表面および裏面は内層の 12%とし、それぞれをデバイスの下で、16 個のスレーホールで接続されたものを使用します。

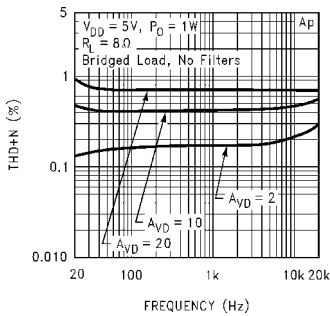
500LFPM + 2.5in²: 2.5 平方インチ (1 オンス厚) の基板に実装された状態で 500 liner feet per minute の強制空冷を行います。

2.5in²: 2.5 平方インチ (1 オンス厚) の基板に実装します。

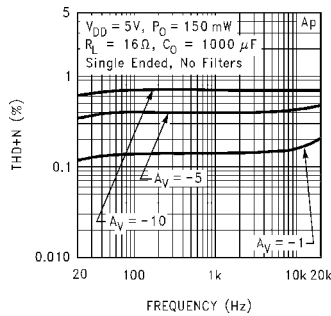
Not Attached: 強制空冷および基板実装なしに測定します。

代表的な性能特性

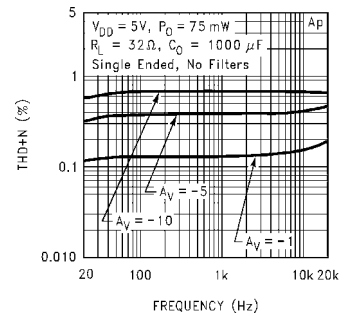
THD + N vs Frequency



THD + N vs Frequency

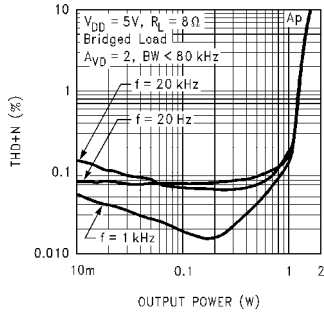


THD + N vs Frequency

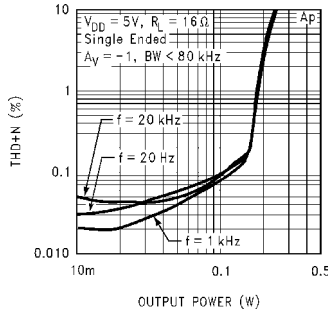


代表的な性能特性 (つぎ)

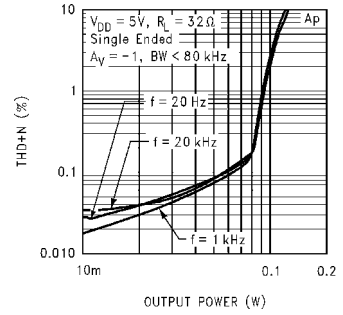
THD + N vs Output Power



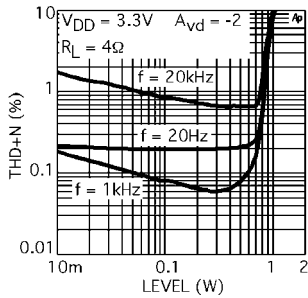
THD + N vs Output Power



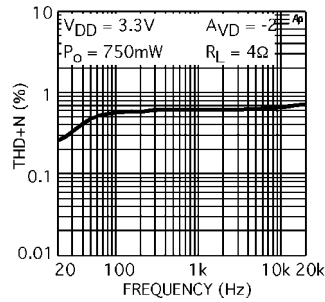
THD + N vs Output Power



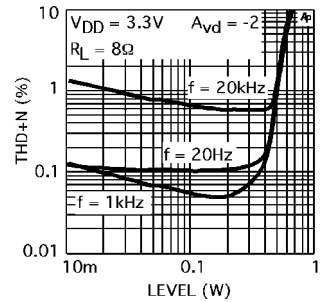
THD + N vs Output Power



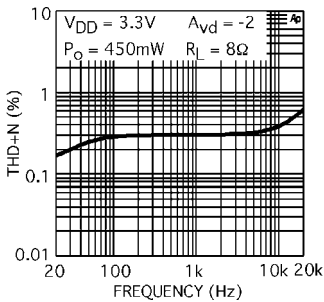
THD + N vs Frequency



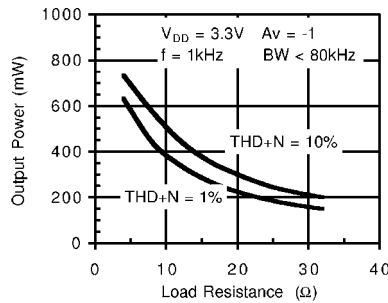
THD + N vs Output Power



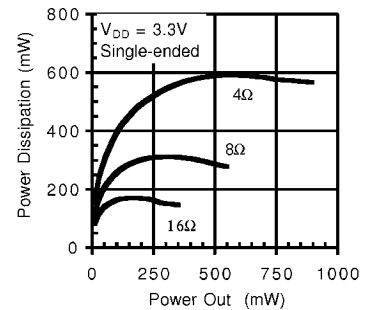
THD + N vs Frequency



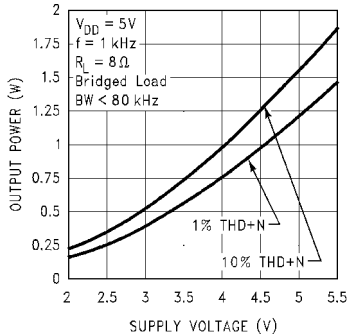
Output Power vs Load Resistance



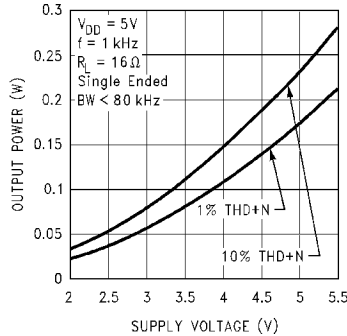
Power Dissipation vs Supply Voltage



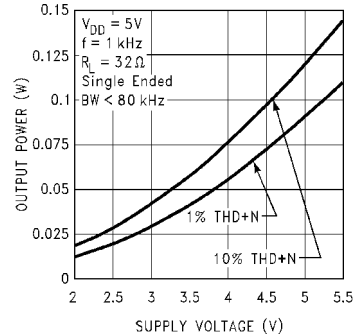
Output Power vs Supply Voltage



Output Power vs Supply Voltage

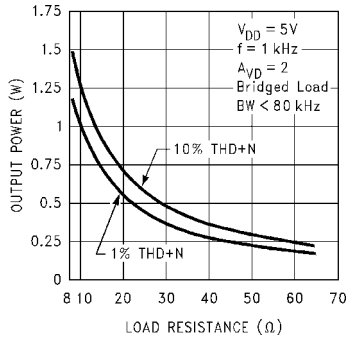


Output Power vs Supply Voltage

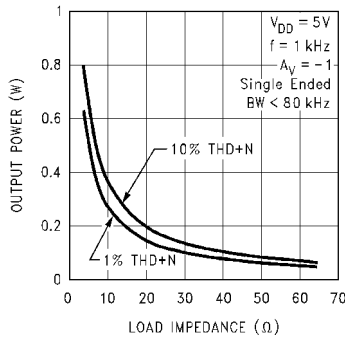


代表的な性能特性 (つづき)

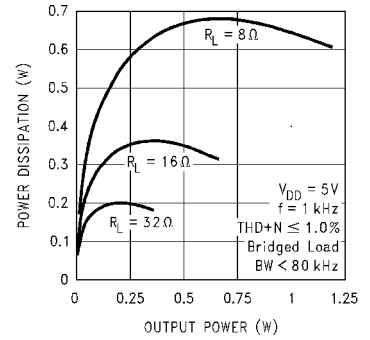
Output Power vs Load Resistance



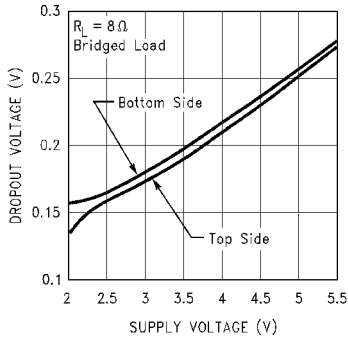
Output Power vs Load Impedance



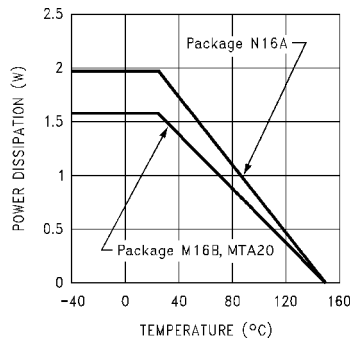
Power Dissipation vs Output Power



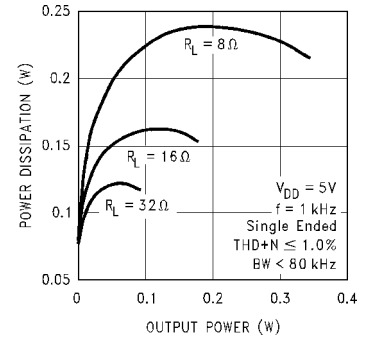
Dropout Voltage vs Supply Voltage



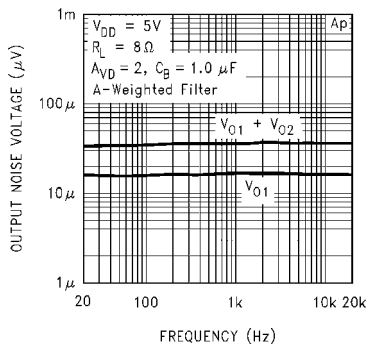
Power Derating Curve



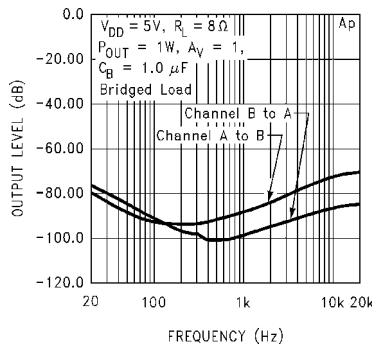
Power Dissipation vs Output Power



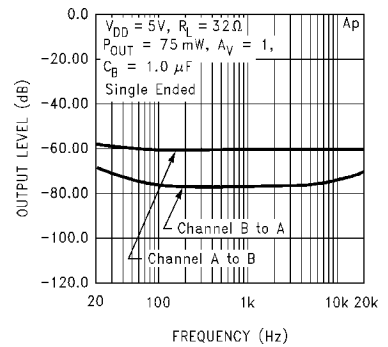
Noise Floor



Channel Separation

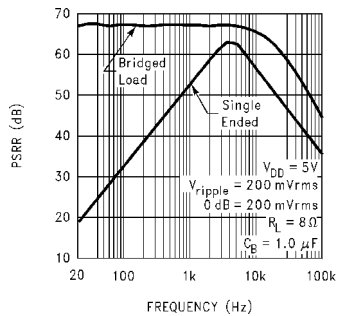


Channel Separation

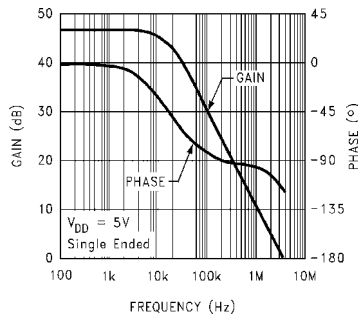


代表的な性能特性 (つづき)

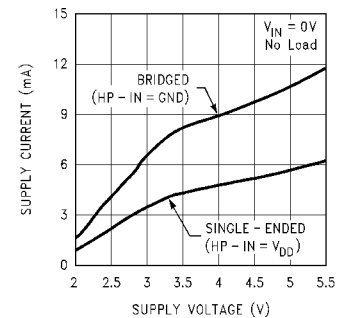
Power Supply Rejection Ratio



Open Loop Frequency Response



Supply Current vs Supply Voltage



外付け部品

(Figure 1 を参照)

外部部品	機能説明
1. R_i	R_i とともに閉ループ利得を設定する反転入力抵抗です。 R_i は、 C_i とともにハイパス・フィルタ ($f_c = 1/(2 R_i C_i)$) を構成します。
2. C_i	アンプの入力端子を外部からの DC 電圧を制限するための入力カップリング・コンデンサです。 C_i は、 R_i とともにハイパス・フィルタ ($f_c = 1/(2 R_i C_i)$) を構成します。 C_i の値の設定方法については、「外付け部品の選定」の項を参照下さい。
3. R_f	R_f とともに閉ループ利得を設定します。
4. C_s	バイパス・コンデンサです。このコンデンサの適切な配置法 / その値の選択については「電源のバイパス」の項を参照下さい。
5. C_B	コンデンサ C_B は BYPASS 端子に現れる中間電位をフィルタします。 C_B の容量の選択と正しい配置については、「外付け部品の選定」の項を参照して下さい。

アプリケーション情報

Exposed-DAP パッケージを PCB に実装する際の配慮事項

LM4863 の Exposed-DAP(ダイ・アタッチ・パドル) パッケージ (MTE、LQ) には、ダイとそのハンダ付け実装先となる PCB との間の熱抵抗が低いという特長があります。そのため、ダイから発生した熱は、周囲の PCB 銅箔面からグラウンド層に伝わり最後には空気中へと短時間で逃げていくことができます。このようなパッケージを採用することにより、THD が 1%以下で 4 負荷に 2.2W を出力できる低電圧オーディオ・パワーアンプが実現できました。これほどのハイ・パワーを達成するには熱設計に特に配慮する必要があります。熱設計が不適切だと、LM4863 のハイ・パワー性能が損なわれたり、必要ではあるが本来は働いてほしくないサーマル・シャットダウン保護機能が働いたりすることにもなりかねません。

MTE、LQ の両パッケージの場合は PCB の銅箔面に DAP をハンダ付けする必要があります。DAP を実装する PCB 銅箔面は、途切れのない広い面積の銅箔層に接続して下さい。この銅箔層が熱を吸収して放散する役割を果たします。この銅箔層すなわちヒートシンク領域は、両面 PCB の場合には外側の層に設け、3 層以上の PCB の場合には内層のいずれかに設けて下さい。DAP を実装する銅箔面については、銅箔ヒートシンク領域を内層か裏面に設けたときはそこまでスルーホールでつないで下さい。スルーホールの個数は、MTE の場合は 32 個 (4 × 8)、LQ の場合は 6 個 (3 × 2) とします。スルーホールの直径は 0.012 インチ ~ 0.013 インチとし、1.27mm 間隔で並べます。効率良く熱が逃げていくよう、スルーホールの内壁はメッキし、ハンダを充填して下さい。

放熱性能を最良にするには、実現可能な限り最大の銅箔ヒートシンク領域を設けることです。部品実装面にヒートシンク領域を設け

る場合は、電源電圧 5V、負荷 4 とすると、最低でも公称 2.5 平方インチの面積が必要です。部品実装面以外の層にヒートシンク領域を設ける場合は、電源電圧も負荷抵抗も同じ条件とすると、最低でも 5 平方インチの面積が必要です。この 2 つの推奨面積は周囲温度が 25 のときの数値です。周囲温度が 25 より高い場合はこの面積を拡げて下さい。冷却ファンを使用する装置では、LM4863MTE は強制空冷が利用できます。空気の流量が毎分 450 リニア・フィートで、2.5 平方インチの露出銅箔ヒートシンクか 5.0 平方インチの内層銅箔ヒートシンクを設けた場合、LM4863MTE では 3 負荷をフルパワーで連続駆動できます。LM4863LQ では、強制空冷をしなくても同じ出力電力レベルが達成されます。どのような環境、条件であっても LM4863 のサーマル・シャットダウン保護機能が作動しないよう、接合部温度は 150 より低く保つ必要があります。LM4863 のパワー・デレーティング曲線を「代表的な性能特性」に示します。これにより最大消費電力の温度特性がわかります。Exposed-DAP を採用した TSSOP、LLP 両パッケージの PCB レイアウトの例を「プリント回路基板の推奨レイアウト」の項に示します。PCB のレイアウト、製作、LLP パッケージの実装に関するより詳しく具体的な情報はナショナル セミコンダクター社のアプリケーション・ノート:AN-1187 を参照してください。

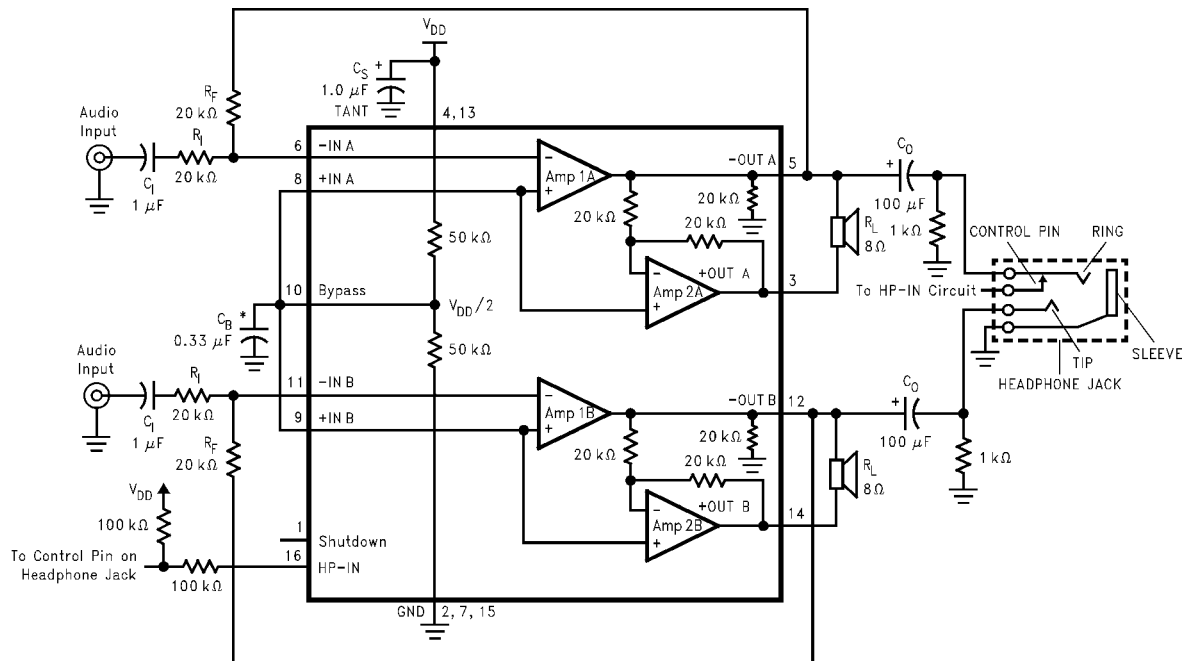
アプリケーション情報 (つづき)

3、4 負荷を駆動する場合の PCB レイアウトと電源電圧変動に対する配慮事項

負荷で消費される電力は、その負荷の両端に加わる電圧振幅とその負荷のインピーダンスの関数です。負荷で消費される電力は、その負荷のインピーダンスが小さくなるほど、アンプ出力端子から負荷の接続部までを結ぶ相互接続路 (PCB 配線パターン、ワイヤ) の抵抗値に大きく影響されます。配線パターンの残留抵抗により電圧降下が起こり、その結果、負荷ではなく配線パターンに電力が消費されてしまい、期待通りの出力電力が得られなくなります。例えば配線パターンの抵抗値が 0.1 の場合、4 の負荷で消費される出力電力は 2.1W から 2.0W に減ります。負荷で消費される電力が下がるこの問題は、負荷インピーダンスが小

さいときほど悪化します。したがって、負荷で消費される電力と出力電圧の振幅を最大に維持するためには、出力端子と負荷をつないでいる PCB 配線パターンをできるだけ広くする必要があります。

電源電圧が不安定の場合、最大出力電力に悪影響が及びます。しっかり調整されていない電源の出力電圧は負荷電流が増えると下がります。電源電圧が下がると、ヘッドルームの減少、出力信号のクリッピング、および出力電力の低下につながります。電源の調節が適切に行われているかどうかに関係なく、配線パターンの抵抗成分は同じ影響を及ぼします。したがって、出力電圧を最大振幅にするには、給電パターンをできるだけ広くします。



* C_B の容量の詳細については、「外部部品の選定」の項を参照して下さい。

FIGURE 1. Typical Audio Amplifier Application Circuit
Pin out shown for DIP and SO packages. Refer to the Connection Diagrams for the pinout of the TSSOP, Exposed-DAP TSSOP, and Exposed-DAP LLP packages.

ブリッジ構成の説明

Figure 1 に示すように、LM4863 はオペアンプを 2 組内蔵した 2 チャンネル (チャンネル A とチャンネル B) のステレオ・アンプです。以下、チャンネル A について述べていきますが、チャンネル B についても同じです。Amp1A の閉ループ利得は外付け抵抗 R_f と R_i で設定します。一方、Amp2A の利得は、内蔵の 20kΩ 抵抗 2 個で -1 に設定されています。LM4863 は、-OUTA、+OUTA という 2 本のアンプ出力端子間に接続したスピーカなどの負荷を駆動します。

Figure 1 では、Amp1A の出力信号が Amp2A の入力信号として使用されています。つまり、両方のアンプは、大きさが同じで位相が 180° ずれている信号を生成します。この位相のずれを利用するため、負荷を -OUTA と +OUTA の間に配置して差動方式で駆動します。通常はこれをブリッジ・モードと言います。ブリッジ・モードにすると、差動利得は次のようになります。

$$A_{VD} = 2 \times (R_f / R_i) \quad (1)$$

ブリッジ・モード・アンプは、アンプ 1 個の出力とグラウンドの間に接続した負荷を駆動するシングルエンド・アンプとは異なります。電源電圧が同じであれば、ブリッジ・モードの場合は差動出力が得られるため、負荷の両端に掛かる電圧の振幅が 2 倍になります。これは、シングルエンド構成では得られない利点です。条件が同じであれば、シングルエンド・アンプに比べて 4 倍の出力電力が得られます。アンプに電流制限が掛からず、出力信号がクリッピングしないという条件では、こうしたしくみにより達成可能出力電力が増えます。アンプの閉ループ利得をどのように設定すれば出力信号のクリッピングが最小になるかについては、「オーディオ・パワーアンプの設計」の項を参照して下さい。

差動ブリッジ出力のもう 1 つの利点は、負荷の両端に正味 DC 電圧が掛からないことです。これを実現するため、電源電圧の中間電位でチャンネル A とチャンネル B の出力端子にバイアスを掛けています。これにより、単一電源のシングルエンド・アンプでは必要なカップリング・コンデンサが不要になります。シングルエンド構成では、出力カップリング・コンデンサがないと、電源電圧の半分の電圧がバイアスとして負荷の両端に掛かります。そうすると、IC 内部での消費電力が増えるばかりか、場合によってはスピーカなどの負荷が完全に壊れてしまうことがあります。

アプリケーション情報 (つづき)

消費電力

アンプを設計する場合、その構成をブリッジ型またはシングルエンド型にするかに関わらず、まず消費電力について検討する必要があります。式 1 に供給電圧と特定の出力負荷によるシングルエンド・アンプの最大消費電力を表します。

$$P_{DMAX} = (V_{DD})^2 / (2 \cdot R_L) \text{ シングルエンド} \quad (2)$$

ブリッジ・アンプにおいても負荷供給する出力を増加させると、同じ条件では内部の電力損失が大きくなります。

LM4863 にはチャンネル 1 本につき 2 つのオペアンプがあります。ブリッジ・モードで動作しているチャンネル 1 本あたりの最大内部消費電力はシングルエンド・アンプの 4 倍です。式 (3) で、電源電圧を 5V とし、負荷を 4 とすると、チャンネル 1 本あたりの最大消費電力は 1.27W、すなわちステレオ動作では 2.54W になります。

$$P_{DMAX} = 4 \times (V_{DD})^2 / (2 \cdot R_L) \text{ ブリッジ・モード} \quad (3)$$

LM4863 の消費電力は、シングルエンド・モード動作時は式 (2) の 2 倍、ブリッジ・モード動作時は式 (3) の 2 倍になります。式 (3) で与えられる最大消費電力点を 2 倍した数値が、式 (4) で与えられる消費電力を超えてはなりません。

$$P_{DMAX}' = (T_{JMAX} - T_A) / J_A \quad (4)$$

LM4863 の T_{JMAX} は 150 です。LQ (LLP) パッケージでは、PCB 上に設けた 5 平方インチの銅箔領域を持つ DAP 実装用パッドにハンダ付けする場合、LM4863 の J_A は 20 /W です。MTE パッケージでは、PCB 上に設けた 2 平方インチの銅箔領域を持つ DAP 実装用パッドにハンダ付けする場合、LM4863 の J_A は 41 /W です。任意の周囲温度 T_A のとき各パッケージで許容できる最大内部消費電力を計算するには式 (4) を使用して下さい。式 (4) を変形し、 P_{DMAX} を P_{DMAX}' に代入すると、式 (5) が導かれます。この式から、LM4863 の最大接合部温度を超えることなく最大ステレオ消費電力を許容できる最大周囲温度がわかります。

$$T_A = T_{JMAX} - 2 \times P_{DMAX} J_A \quad (5)$$

電源電圧を 5V とし、負荷を 4 とする通常のアプリケーションでは、最大接合部温度を超えることなく最大ステレオ消費電力を許容できる最大周囲温度は、LLP パッケージでは約 99、MTE パッケージでは約 45 です。

$$T_{JMAX} = P_{DMAX} J_A + T_A \quad (6)$$

式 (6) からは最大接合部温度 T_{JMAX} が求められます。この計算結果が LM4863 の最大接合部温度 150 を超える場合は、電源電圧を下げるか負荷抵抗を増やして、最大接合部温度を下げて下さい。周囲温度が高い場合は、さらに余裕を持たせたほうが良いでしょう。

以上の各例は、表面実装部品を最大消費電力点の前後で動作させる場合を想定しています。内部消費電力は出力電力の値によって違って来るため、出力電力がデューティ・サイクルを下げれば、より高い周囲温度も許容できます。

IC 全体での消費電力が最大許容消費電力を上回る場合は、電源電圧を下げるか負荷インピーダンスを上げるか周囲温度を下げて下さい。この方策を採っても足りないときは、ヒートシンクを使って J_A を下げることができます。パッケージ周囲に余分に銅箔領域を設け、そこにグラウンド端子、電源端子、アンプ出力端子をつなぐと、その銅箔領域がヒートシンクとして働きます。ほかに、Thermalloy 製の 7106D など、ハンダ付け型 SMT ヒートシンクを外側に取り付けた場合も消費電力が改善できます。ヒートシンクを取り付けると、 J_A は J_C 、 J_{CS} 、 J_{SA} を加算した値になります。 J_C は接合部 - ケース間の熱インピーダンス、 J_{CS} はケース - ヒートシンク間の熱インピーダンス、 J_{SA} はヒートシンク - 大気間の熱インピーダンスです。出力電力が低いときの消費電力については、「代表的な性能特性」の各グラフを参照して下さい。

電源のバイパス

どのようなパワーアンプでも、低ノイズ特性と高い電源変動除去比を引き出すために電源のバイパス処理が必要です。5V レギュレータを使用する回路では、通常 10 μ F と 0.1 μ F のコンデンサを 1 個ずつ並列に接続して作った電源フィルタを使用して、レギュレータ出力を安定させ、給電線に乗るノイズを減らし、電源の過渡応答を改善します。ただし、それだけでは不十分です。やはり、LM4863 の電源端子とグラウンドとの間を 1.0 μ F のタンタル・コンデンサで個別にバイパスする必要があります。タンタル・コンデンサの代わりにセラミック・コンデンサを使用してはなりません。出力信号が発振するおそれがあるからです。LM4863 の電源端子とグラウンドとの間に接続するコンデンサのリード線も配線パターンも極力短くして下さい。BYPASS 端子とグラウンドとの間に 1 μ F のコンデンサ C_B を接続すると、内部バイパス電圧の安定度が増し、アンプの PSRR が改善されます。BYPASS 端子に接続するコンデンサの容量を大きくするほど、PSRR が改善される度合いも大きくなります。ただし、大きくしすぎると、ターンオン時間が延び、アンプのクリック & ポップ除去性能が劣化することがあります。バイパス・コンデンサ (C_B) は、要求される PSRR、「外付け部品の選定」の項に説明されているクリック・ポップノイズ、システム・コスト、サイズなどを考慮した上で選択します。

マイクロパワー・シャットダウン

SHUTDOWN 端子に印加する電圧で LM4863 のシャットダウン機能を制御します。SHUTDOWN 端子に V_{DD} を印加すると、マイクロパワー・シャットダウン機能が働きます。LM4863 のマイクロパワー・シャットダウン機能が有効になると、アンプのバイパス回路がオフになり、電源電流が小さくなります。同制御信号の論理しきい値電圧は、通常は $V_{DD}/2$ です。シャットダウン電流を 0.7 μ A (代表値) と低い値にするには、できるだけ V_{DD} に近い値を SHUTDOWN 端子に印加します。印加する電圧が V_{DD} より低いとシャットダウン電流が増えることがあります。

マイクロパワー・シャットダウン機能を制御する方法はいくつかあります。例えば、単極単投 (single-pole-single-throw、SPST) スイッチや、マイクロプロセッサ、マイクロコントローラを使用する方法などです。スイッチを使用するときは、SHUTDOWN 端子と V_{DD} との間に 10k のプルアップ抵抗を 1 個外付けて下さい。スイッチは、SHUTDOWN 端子とグラウンドとの間に接続します。このスイッチを閉じるとアンプは通常どおりの動作となります。スイッチを開くと、プルアップ抵抗を通じて SHUTDOWN 端子と V_{DD} がつながり、マイクロパワー・シャットダウン機能が働きます。このスイッチと抵抗が、SHUTDOWN 端子がフローティング状態になることを防いでいます。これにより、状態が不必要に変化するのを防ぐことができます。マイクロプロセッサやマイクロコントローラを搭載している装置では、デジタル出力を使用して SHUTDOWN 端子に制御電圧を印加します。アクティブ回路で SHUTDOWN 端子を駆動する場合、プルアップ抵抗は要りません。

アプリケーション情報 (つづき)

Table 1. Logic level truth table for SHUTDOWN and HP-IN operation

SHUTDOWN	HP-IN PIN	OPERATIONAL MODE
Low	logic Low	Bridged amplifiers
Low	logic High	Single-Ended amplifiers
High	logic Low	Micro-power Shutdown
High	logic High	Micro-power Shutdown

ヘッドフォン感知機能

LM4863 の HP-IN 端子に $4V \sim V_{DD}$ の電圧を印加すると、Amp2A と Amp2B がオフになり、ブリッジ接続された負荷がミュートされます。このようなシングルエンド・モードになると、待機時消費電流が減ります。

Figure 2 に、LM4863 でヘッドフォン制御機構を具体化した例を示します。ヘッドフォン・ジャックにヘッドフォンが接続されていないときは、R1、R2 から成る分圧器により、HP-IN 端子 (DIP、SOP パッケージでは端子 16) に印加される電圧が約 50mV に設定されます。この 50mV によって Amp1B と Amp2B が有効になり、LM4863 はブリッジ・モードで作動します。アンプ出力は電源電圧の半分の電圧でオフセットされていますが、出力カップリング・コンデンサによって DC 成分が阻止されます。これにより、ヘッドフォンを保護します。

HP-IN 端子に入力する制御信号のしきい値電圧は 4V に設定されています。LM4863 がブリッジ・モードで作動している間、負荷の両端に生ずる DC 電位は基本的に 0V です。したがって、非現実的な状況であっても、出力スイングによってシングルエンド式のドリフトが掛かることはありません。ヘッドフォン・ジャックにヘッドフォンを接続すると、-OUTA からヘッドフォン・ジャックの接点端子が外れ、R1 を通じて HP-IN 端子が V_{DD} にプルアップされます。これによって、ヘッドフォン機能が働き、Amp2A と Amp2B がオフになり、ブリッジ接続されているスピーカがミュートされます。このときアンプはヘッドフォンを駆動していますが、アンプから見えるインピーダンスは、ヘッドフォン自体のインピーダンスと抵抗 R2 および R3 を並列に接続した値です。ヘッドフォンのインピーダンスは通常 32 Ω なので、これらの抵抗があっても、LM4863 の出力駆動能力に影響はほとんどありません。

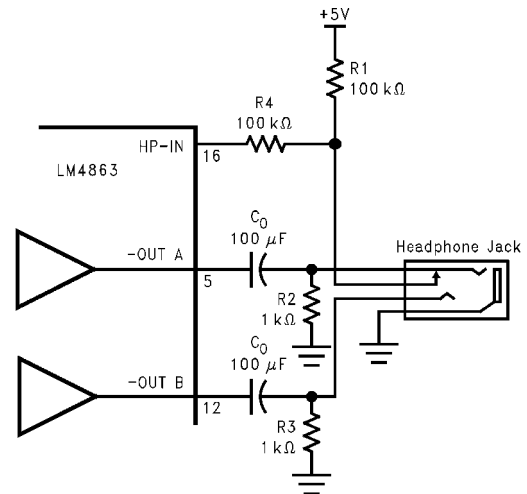


FIGURE 2. Headphone Circuit

Figure 2 には、ヘッドフォン・ジャックの電氣的接続として推奨される構成も示してあります。このジャックは 3 線式プラグが挿し込めるようにできています。プラグのチップとリングはそれぞれステレオ出力信号の左右片方ずつに使用し、スリーブはグラウンド・リターンに使用します。ヘッドフォン・ジャックは、ヘッドフォンを接続しているときは、制御用の端子接点が 1 つあれば、HP-IN 端子を十分に駆動できます。

マイクロプロセッサまたはスイッチをヘッドフォン・ジャックの接点端子の代わりに使用できます。マイクロプロセッサまたはスイッチで 4V より高い電圧を HP-IN 端子に印加すると、ブリッジ接続されたスピーカがミュート状態になり、Amp1A と Amp2A でヘッドフォンが駆動されます。

外付け部品の選定

LM4863 の性能を最大に引き出すには、外付け部品を正しく選ぶ必要があります。外付け部品の公差が広くても LM4863 は正常に作動しますが、最良の性能を得るには部品の値を正しく設定しなければなりません。

LM4863 はユニティ・ゲインでも安定して作動するため、設計の自由度はかなり高くなっています。利得は、必要以上に高い値には設定しないで下さい。そうすれば、アンプの THD + N が最小になり、信号対ノイズ比が最大になります。こうした要素は閉ループ利得が高くなるほど劣化します。そうかと言って利得を低く設定すると、入力信号の電圧の振り幅を大きくしない限り最大出力電力が得られません。幸運にも、オーディオ・コーデックをはじめとする多くの信号源は、 $1V_{RMS}$ ($2.83V_{P-P}$) の信号が出力できます。利得の正しい設定方法の詳細については、「オーディオ・パワーアンプの設計」の項を参照して下さい。

入力コンデンサの値の選定

可聴周波数範囲の最も低い周波数を増幅するには、大きな容量を持つ入力カップリング・コンデンサ (Figure 1 の C_i) が必要です。大容量コンデンサは高価であり、携帯機器の空間効率を損なうおそれがあります。しかし、携帯機器に使用されるようなスピーカは多くの場合、内蔵であるか外付けであるかに関係なく、150Hz よりも低い信号を再生する能力はほとんどありません。このように周波数応答に限界があるスピーカを使用する場合、大きな容量の入力コンデンサを使用してもシステム性能に改善はほとんど見込めません。

アプリケーション情報 (つづき)

C_i は、システムの費用と寸法に影響するだけでなく、LM4863 のクリック & ポップ除去性能にも関係します。電源電圧を初めて印加する場合は、入力コンデンサに蓄えられる電荷がゼロから待機状態まで変化するとき過渡電流 (ポップ) が発生します。このポップの大きさは入力コンデンサの容量に比例します。一定の電流値で充電する場合、コンデンサの容量が大きいほど、待機時 DC 電圧 (通常は $V_{DD}/2$) に達するまでの時間が長くなります。アンプの出力信号が帰還抵抗 R_i を通って入力コンデンサを充電します。したがって、ポップを極力小さくするには、このコンデンサの容量を所望の -3dB 減衰周波数を満足する値より大きくしないようにします。

Figure 1 に示した入力抵抗 R_i と入力コンデンサ C_i で構成されるハイパス・フィルタの -3dB 減衰遮断周波数は、式 (7) で計算できます。

$$f_{-3\text{dB}} = \frac{1}{2\pi R_{iN} C_i} \quad (7)$$

周波数帯域の下限が 150Hz のスピーカを使用する場合の C_i は、式 (7) から $0.063\mu\text{F}$ と求められます。Figure 1 では C_i は $1.0\mu\text{F}$ となっていますが、これは周波数特性が 30Hz まで延びている高効率フル・レンジ・スピーカを LM4863 で駆動する場合を考慮したものです。

バイパス・コンデンサの値の選定

入力コンデンサの容量をできるだけ小さくすることももちろん大切ですが、BYPASS 端子に接続するコンデンサ C_B の値を選ぶときにも十分に検討する必要があります。LM4863 が待機時状態に安定するまでの速度を決めるのは C_B ですから、ターンオン・ポップを最小にするには C_B の値が重要になります。LM4863 の出力がその待機時 DC 電圧 (通常は V_{DD} の 1/2) に安定するまでの速度が遅くなるほど、ターンオン・ポップは小さくなります。 C_B を $1.0\mu\text{F}$ にし、 C_i を $0.1\mu\text{F} \sim 0.39\mu\text{F}$ の小さい値にすれば、クリックとポップ・ノイズは低減できます。クリックとポップ・ノイズを最小限にするには、可能な限り C_i を小さく選定します。

クリック & ポップ除去性能の最適化

LM4863 には、ターンオン時およびシャットダウン時の過渡電流、すなわちクリック & ポップを最小限に抑える回路が内蔵されています。ここでは、電源電圧を投入することも、シャットダウン・モードを解除することも、どちらも「ターンオン」と呼ぶことにします。電源電圧がその最終的な値まで徐々に上昇している間、LM4863 に内蔵されている各アンプはユニティ利得バッファとして働きます。内蔵されている電流源の 1 つによって、BYPASS 端子の電圧が制御され直線的に変化していきます。理論上は、入出力とも、BYPASS 端子の電圧に追従します。内蔵されている各アンプの利得は、BYPASS 端子の電圧が V_{DD} の 1/2 に達するまでユニティ利得のまま変わりません。BYPASS 端子の電圧が安定するとすぐに完全作動状態になります。BYPASS 端子の電流を変えることはできませんが、 C_B の容量を変えるとターンオン時間とクリック & ポップの大きさが変わります。 C_B の容量を増やすとターンオン・ポップが小さくなります。ただし、 C_B の容量を増やすほどターンオン時間が長くなるため、どこかで折り合いを付けなければなりません。 C_B の容量とターン・オン時間との間には比例関係があり、以下さまざまな C_B の値に対するターン・オン時間 (typ) の例を示します。

C_B	T_{ON}
0.01 μF	20 ms
0.1 μF	200 ms
0.22 μF	440 ms
0.47 μF	940 ms
1.0 μF	2 Sec

クリック及びポップ音を減少させるためには、ターン・オンする前にすべてのコンデンサを放電する必要があります。 V_{DD} をあまり急速に切り替えると、コンデンサが十分に放電できず、その結果クリック & ポップが発生することがあります。シングルエンド構成での出力は、 C_{OUT} を介して負荷に結合されています。このコンデンサは、通常大きな容量を持っています。 C_{OUT} は、内部の 20k を介して放電され、 C_{OUT} のサイズに比例して、この放電時定数は長くなります。シングルエンド・モードでのトランジエントを減少させるためには、内部抵抗 20k と並列に 1 ~ 5k の外部抵抗を接続します。しかし、この抵抗を使用することにより、自己消費電流は増加します。

無負荷時の安定性

LM4863 は、負荷抵抗が 10k より大きいと低レベルの発振を起こすことがあります。この発振が起きるのは、出力信号が電源電圧の近くまで振れたときだけです。発振を防ぐには、各出力端子とグラウンドとの間に 5k 抵抗を 1 個ずつ接続します。

オーディオ・パワーアンプの設計

オーディオアンプの設計: 1W で 8 負荷を駆動する

必要な動作パラメータを以下に示します。

出力電力:	1Wrms
負荷インピーダンス:	8
入力レベル:	1Wrms
入力インピーダンス:	20k
帯域幅:	100Hz ~ 20 kHz \pm 0.25 dB

まず、所望の出力電力を得るのに必要な最小電源電圧を決めます。最小電源電圧を決める方法の 1 つは「代表的な性能特性」の項に示した「Output Power vs Supply Voltage」のグラフを使用する方法です。もう 1 つは式 (8) を使用する方法です。これは、負荷インピーダンスの値がわかっているときに、尖頭出力電圧をいくつに設定すれば目的の出力電力が得られるかを計算する方法です。アンプのドロップアウト電圧を考慮するため、「代表的な性能特性」の項に示した「Dropout Voltage vs Supply Voltage」のグラフから求めた 2 つの電圧値を式 (8) の計算結果に加算する必要があります。すると式 (9) ができます。

$$V_{\text{opeak}} = \sqrt{2R_L P_O} \quad (8)$$

$$V_{DD} = (V_{\text{OUTPEAK}} + (V_{\text{ODTOP}} + V_{\text{ODBOT}})) \quad (9)$$

アプリケーション情報 (つづき)

負荷が 8 Ω ときの「Output Power vs Supply Voltage」のグラフを見ると、最小電源電圧が 4.6V であればよいことがわかります。この電圧値であれば、広く使用されている 5V 電源で十分に間に合います。電源電圧に余裕があるためヘッドルームが十分に確保され、クリッピングなどの音声歪みを発生することなく 1W を超える尖頭出力電力が得られます。また、電源電圧を選択するときは、先の「消費電力」の項で述べたとおり、最大消費電力を超えない値にする必要もあります。

LM4863 の消費電力に関する諸要件が満足できたら、式 (10) を用いて最小差動利得を計算します。

$$A_{VD} \geq \sqrt{(P_{O_{RD}}/V_{IN})} = V_{orms}/V_{inrms} \quad (10)$$

例えば、最小利得を 2.83 にすると、LM4863 では出力をフルスイングまで振ることができ、ノイズも THD + N も低く保つことができます。この例では $A_{VD} = 3$ にして下さい。

アンプ全体の利得については入力抵抗 R_i と帰還抵抗 R_f で設定します。入力インピーダンスを仕様値である 20k Ω に設定して式 (11) を計算すると帰還抵抗の値が求められます。

$$R_f/R_i = A_{VD}/2 \quad (11)$$

R_f は 30k Ω になります。

この設計例での最後の手順はアンプの -3dB 減衰周波数を設定することです。通過域での振幅変動幅の仕様値を ±0.25dB としているので、それを達成するには、最低でも帯域幅の下限周波数の 5 分の 1 の周波数から上限周波数の 5 倍の周波数までは周波数応答特性が延びていなければなりません。応答帯域両端での利得のばらつきは 0.17dB ですから、±0.25dB という仕様値を十分満足しています。下限周波数は次のように計算されます。

$$f_L = 100\text{Hz}/5 = 20\text{Hz} \quad (12)$$

上限周波数は次のように計算されます。

$$f_H = 20\text{kHz} \times 5 = 100\text{kHz} \quad (13)$$

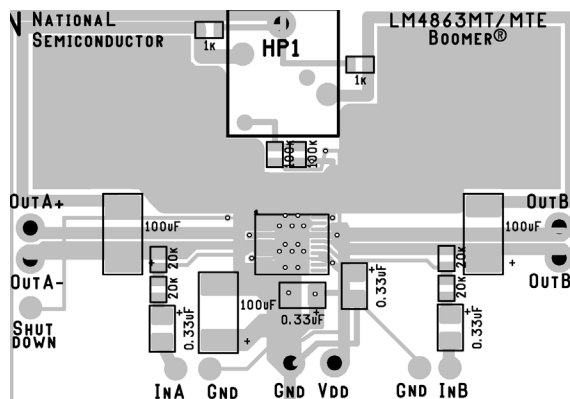


Figure 3. MTE PC board layout: all layers superimposed

「外付け部品の選定」の項で述べたとおり、 R_i と C_i により、アンプ帯域幅の下限周波数を決めるハイパス・フィルタが形成されます。カップリング・コンデンサの値は式 (14) で求めて下さい。

$$C_i \geq \frac{1}{2\pi R_i f_c} \quad (14)$$

実際の値を代入して計算すると次のようになります。

$$1/(2 \cdot 20\text{k} \cdot 20\text{Hz}) = 0.398\mu\text{F} \quad (15)$$

標準系列の中で最も近い値である 0.39 µF を使用して下さい。

所望の高域側遮断周波数(この例では 100kHz)と差動利得 A_{VD} との積により、どの程度高い周波数まで応答できるかが計算できます。 $A_{VD} = 3$ 、 $f_H = 100\text{kHz}$ とすると、閉ループ利得の利得帯域幅積 (GBWP) は 300kHz です。これは、LM4863 の GBWP である 3.5MHz より低い値です。これだけ余裕があれば、もっと高い差動利得が必要な回路に使用することもでき、そのうえ、帯域幅の制約もゆるいためさらに性能向上が期待できます。

プリント回路基板の推奨レイアウト

Figure 3 ~ 6 に、20 端子 MTE パッケージ版の LM4863 と関連外付け部品について最適化した 2 層 PC 基板の推奨レイアウト例を示します。Figure 7 ~ 11 に、24 端子 LQ パッケージ版の LM4863 と関連外付け部品について最適化した 4 層 PC 基板の推奨レイアウト例を示します。これらの回路は、1 台の外部 5V 電源といくつかの 4 Ω スピーカを組み合わせて使用する設計になっています。

この回路基板を使用するのは簡単です。5V 電源を V_{DD} パッドに接続し、グラウンドを GND パッドに接続して、基板の - OUTA、+ OUTA パッド間、および - OUTB、+ OUTB パッド間にそれぞれ 4 Ω スピーカを接続するだけです。

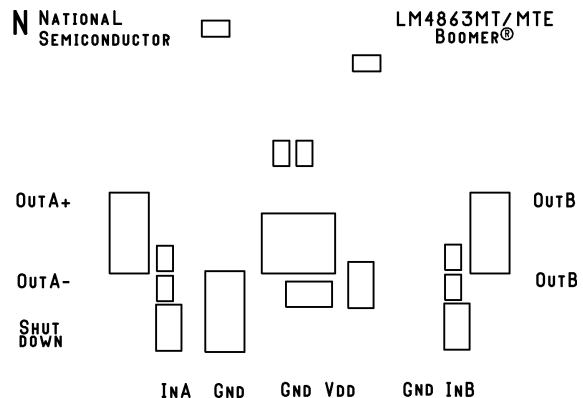


Figure 4. MTE PC board layout: Component-side Silkscreen

アプリケーション情報 (つづき)

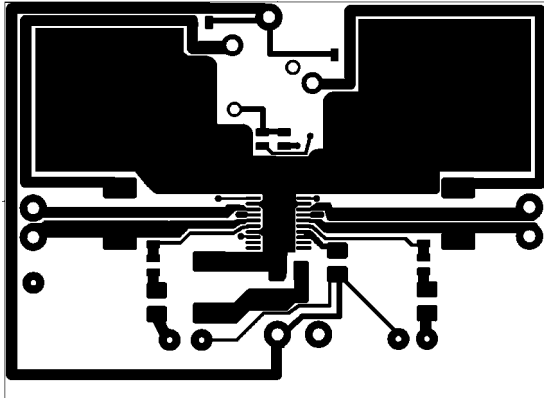


Figure 5. Recommended MTE PC board layout: Component-side layout

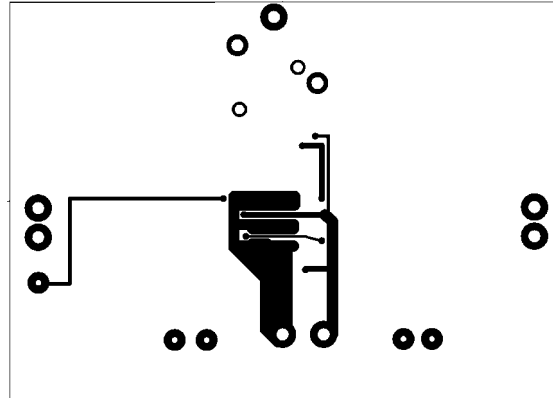


Figure 6. Recommended MTE PC board layout: bottom-side layout

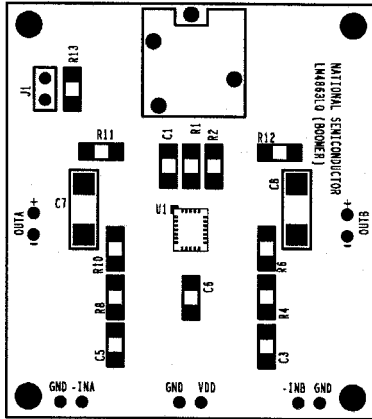


Figure 7. Recommended LQ PC board layout: Component-side Silkscreen

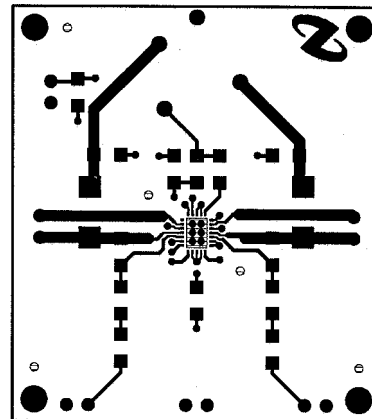


Figure 8. Recommended LQ PC board layout: Component-side layout

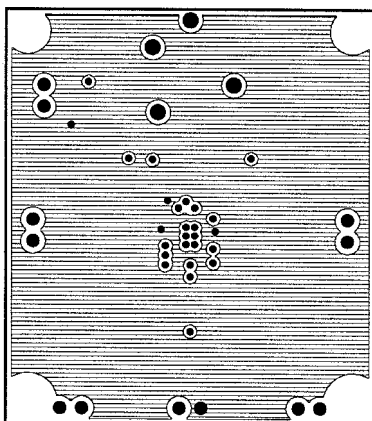


Figure 9. Recommended LQ PC board layout: upper inner-layer layout

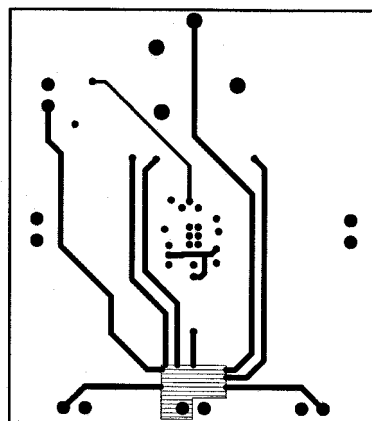


Figure 10. Recommended LQ PC board layout: lower inner-layer layout

アプリケーション情報 (つづき)

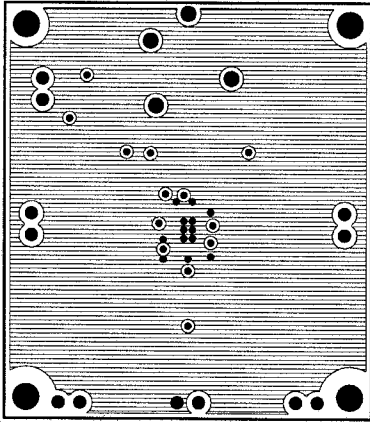
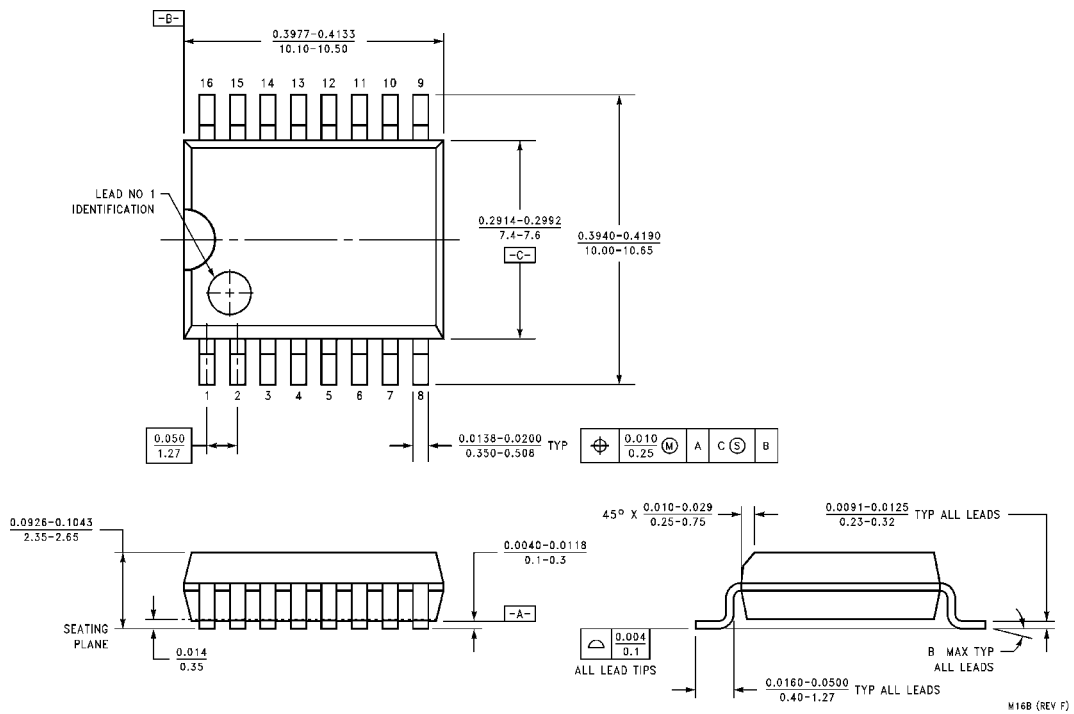
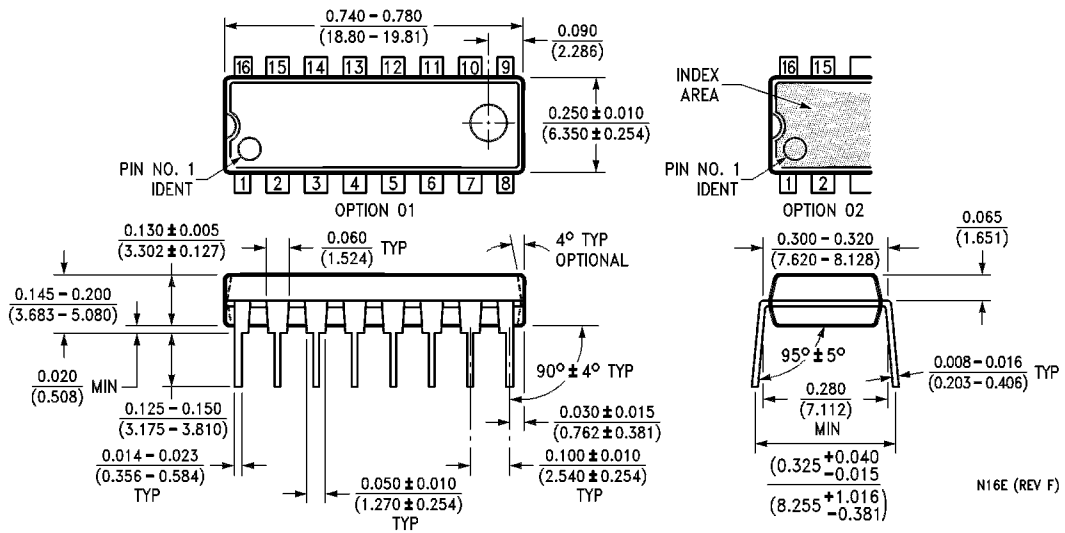


Figure 11. Recommended LQ PC board layout:
bottom-side layout

外形寸法図 特記のない限り inches(millimeters)



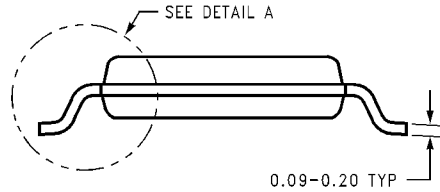
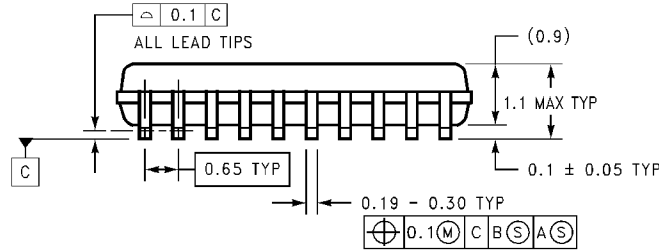
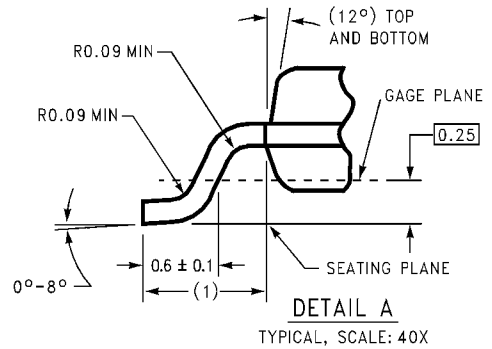
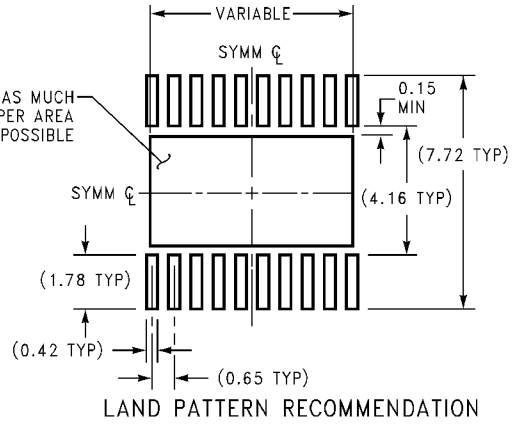
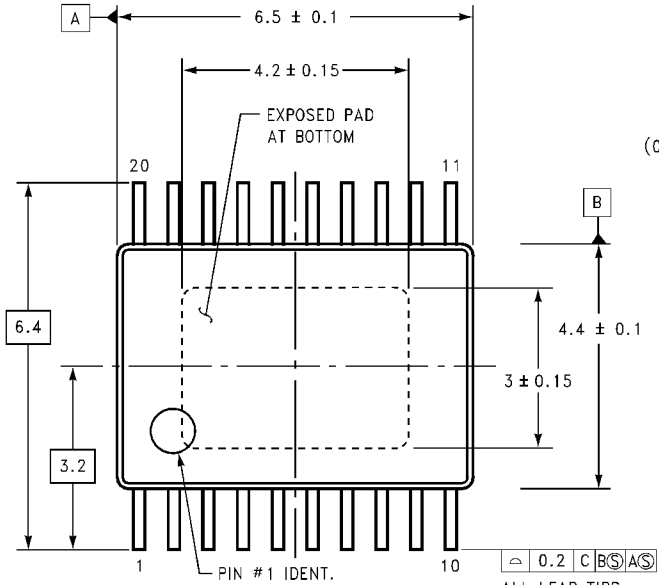
16-Lead (0.300 Wide) Molded Small Outline Package, JEDEC
Order Number LM4863M
NS Package Number M16B



16-Lead (0.300 Wide) Molded Dual-In-Line Package
Order Number LM4863N
NS Package Number N16E

外形寸法図 単位は millimeters (つづき)

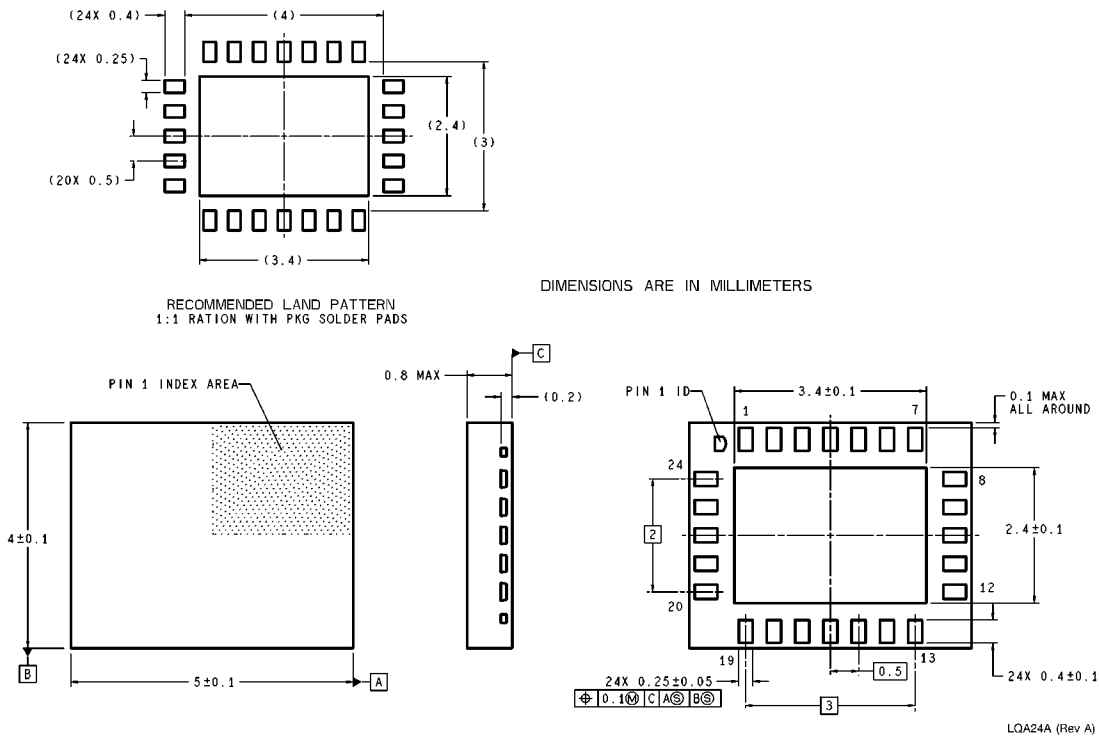
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS



MXA20A (REV A)

20-Lead Molded TSSOP, Exposed Pad, 6.5x4.4x0.9mm
Order Number LM4863MTE
NS Package Number MXA20A

外形寸法図 単位は millimeters (つづき)



24-Lead Molded pkg, Leadframe Package LLP
Order Number LM4863LQ
NS Package Number LQA24A

生命維持装置への使用について

弊社の製品はナショナル セミコンダクター社の書面による許可なくしては、生命維持用の装置またはシステム内の重要な部品として使用することはできません。

1. 生命維持用の装置またはシステムとは (a) 体内に外科的に使用されることを意図されたもの、または (b) 生命を維持あるいは支持するものをいい、ラベルにより表示される使用方法に従って適切に使用された場合に、これの不具合が使用者に身体的障害を与えると予想されるものをいいます。
2. 重要な部品とは、生命維持にかかわる装置またはシステム内のすべての部品をいい、これの不具合が生命維持用の装置またはシステムの不具合の原因となりそれらの安全性や機能に影響を及ぼすことが予想されるものをいいます。

ナショナル セミコンダクター ジャパン株式会社

本社 / 〒 135-0042 東京都江東区木場 2-17-16 TEL.(03)5639-7300

技術資料 (日本語 / 英語) はホームページより入手可能です。

<http://www.national.com/JPN/>

その他のお問い合わせはフリーダイヤルをご利用下さい。

フリーダイヤル
0120-666-116