

Technical Article

オーディオ アンプのための LLC 設計に関する考慮事項



Benjamin Genereaux

オーディオ アンプ用電源を設計する際は、特に注意深く検討する必要があります。オーディオ信号の非線形という性質は、標準的な絶縁型電源とは異なる設計上の課題を提起します。この [Power Tip](#) では、オーディオ アプリケーション向け ハーフブリッジ インダクタ - インダクタ - コンバータ (LLC) 直列共振コンバータ (HB LLC-SRC) を設計する際の必須事項について説明しています。

オーディオ用電源

電気工学の幅広い分野で目にする 1 つのことは、異なる業界、または企業でさえもが、同じ主題を言い表すために異なる言語を使う可能性があるということです。設計を成功させるには、電源エンジニアとオーディオ エンジニアの相互理解が不可欠です。

最初に定義する必要がある 2 つの用語は、ピーク電力と連続電力です。ピーク電力とは、オーディオ電力の瞬間的な最大値です。これにより、電源が物理的に出力する電力の大きさの設計値が決まります。連続電力とは、一定の期間にわたって平均化されたオーディオ電力です。電源設計の文脈で、連続電力とは、部品の温度および平均電流定格を超えずにシステムが供給できる出力電力の仕様値を意味します。[図 1](#) に、ピークおよび連続オーディオ レベルの例を示します。これらは波高率 (波形の 2 乗平均平方根 (RMS) 値に対するピーク値の比率) によって関連付けられます。

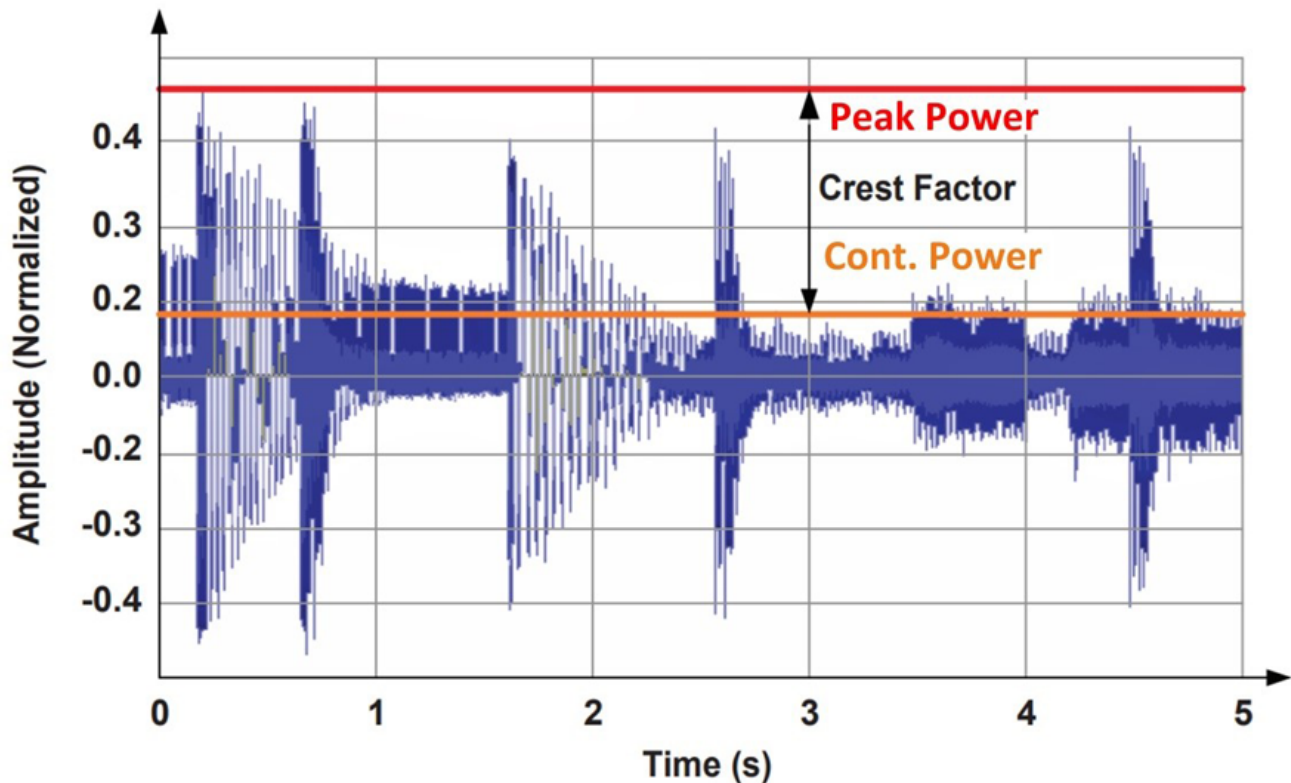


図 1. このグラフは連続電力とピーク電力のオーディオ レベルを示しています。

それは、デシベル単位では、式 1 で表すこともできます。

$$C_{db} = 20 \log_{10} \left(\frac{|P_{peak}|}{P_{rms}} \right) \quad (1)$$

その値は、厳密に言えば電力波形の RMS 計算値ではないため、オーディオ電力においては「RMS」は誤った名称です。オーディオ アンプの仕様に関する複雑さについては、別の記事をもう 1 つ執筆することもできるほどです。アンプの電力レベル定格に関する業界規格は、ピーク電力と連続電力という観点で電源要件を明確にしているとは限らないことをご理解ください。

たとえば、400W オーディオ アンプ用 LLC 直列共振コンバータ (LLC-SRC) 設計について考えてみましょう。オーディオシステムの予備知識がなくても、優れた 400W 電源を設計できるかもしれません。しかし、アンプの電源を投入しても、電源が機能せず、またはオーディオ品質が不十分です。LLC コンバータのゲイン曲線は通常、最大負荷に基づいて設計され、最小ライン条件では直列共振周波数の近くで動作します。この方法では通常、完璧に良好な 400W LLC-SRC が得られますが、現実のオーディオ システム内では、ピーク電力はアンプの 400W 定格よりも大きくなります。少なくとも、電源設計を開始する前に、連続電力とピーク電力の仕様を規定しておく必要があります。

400W のアンプの例では、圧縮された音楽を再生するコンシューマ製品に適切な電力レベルとして、200W の連続電力、15ms にわたって 800W のピーク電力を供給できます。これは 12dB の波高率を表しており、必要な処理が行われた音楽としては一般的です。未処理のオーディオでは約 18~20dB、映画のオーディオでは >20dB となる可能性があります。最終的に、連続電力に対するピーク電力の比率はアプリケーションによって異なるため、設計プロセスの早い段階でこれらを明確に定義することが重要です。各種負荷レベルに対する継続時間要件は、設計の最適化にも役立ちます。アンプ内では損失が発生し、結果として電源の負荷が増大するため、オーディオ アンプの効率を考慮する必要があることに注意します。

LLC-SRC の設計

仕様がまとまった時点で、電源の設計を開始することができます。地域とアプリケーションの電力品質規格によっては、この電力レベルの設計には力率補正 (PFC) 電源が必要になることがあります。PFC フロント エンドは、LLC-SRC への入力として機能する安定化された 400VDC バスを提供します。

ほとんどの共振コンバータと同様、LLC-SRC 設計の第一歩は、共振タンク部品の選択です。これにより共振周波数が設定され、ゲイン曲線の形状が決まります。この段階で、ピーク電力レベルの出力電圧を達成できることを確認します。共振タンクが要求ゲインを達成できない場合、ピーク オーディオ時に出力電圧が低下し、オーディオ品質が低下し、またはアンプがシャットダウンされます。通常、ピーク電力持続時間の要件は、出力コンデンサが出力電圧を保持するには長すぎるため、電源はピーク負荷時の全電力を実際に供給できる必要があります。

ピーク ゲインに余裕を持たせることが重要です。トランス構造の物理的制約のせいで、ぴったりの巻数 (インダクタンス) を実現できるとは限りません。大きなピーク電力を達成する必要があるオーディオ設計では、より正確な共振および磁化インダクタンスを確保するため、ディスクリートの共振インダクタを使うことが有利です。

ピーク電力に関しては、ピーク電流に対応できる定格を持った部品を選択することが重要です。磁気素子を設計する場合、磁気素子を飽和させないように注意します。連続電力に関しては、連続的な放熱性能に基づいて部品とパッケージを選択することが重要です。場合によっては小さいサイズのパッケージを使うことができ、また熱管理のために、ヒートシンクではなく PCB を使うことができます。

他の LLC-SRC と同様、ゲイン曲線の設定は反復的なプロセスです。特定の動作周波数、共振電流、共振電圧を達成すべく、設計のピーク電力レベルと連続電力レベルのバランスを取ることは 1 つの課題です。計算を進める過程で、磁化インダクタンス、共振インダクタンス、巻線比、共振静電容量を調整する必要があります。シリコン ベースの設計では、100kHz は共振周波数の一般的な目標値です。オーディオ アプリケーションの場合、連続電力の動作点として 100kHz を目標とするのは理にかなっています。図 2 に、上記の例のゲイン曲線を示します。動作周波数範囲は 83~139kHz です。

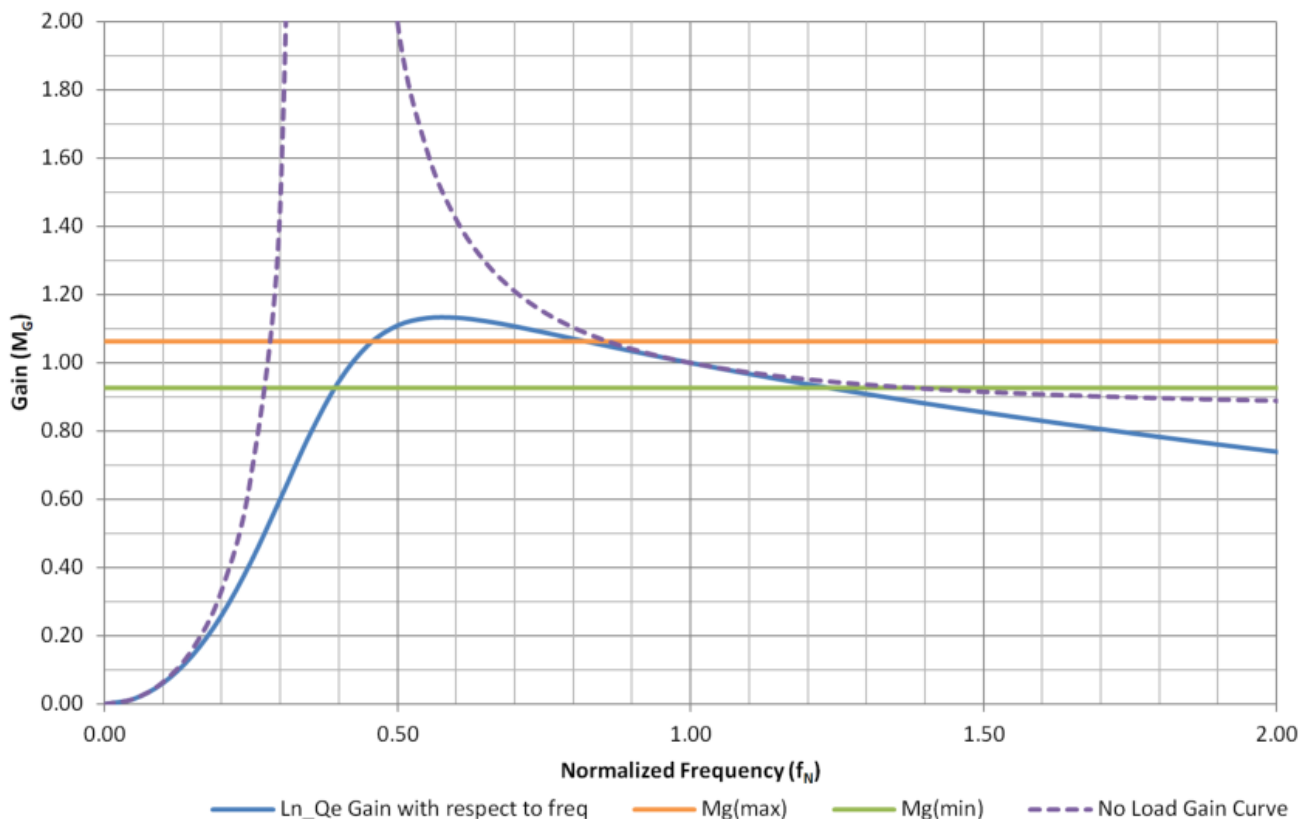


図 2. このゲイン曲線は本 LLC-SRC 設計に合わせて調整されています。

バーストモード

最新の LLC-SRC 設計の重要な要素は、軽負荷時の効率を高めるためのバーストモード動作です。また、バーストモードは、スタンバイ時の消費電力に関する業界の規制を満たすためにも使われます。バーストパケット周波数が可聴周波数範囲内にある場合、可聴ノイズが問題になりますが、UCC256404 など一部の LLC 共振コントローラでは、バースト周波数によって生成される可聴ノイズを防止するバーストモード制御機能を使用しています。3 つの方法と、それらを選択する理由を以下に示します。

1. バーストモードを有効化: メイン出力をシャットダウンせずにスタンバイ消費電力を低減するため、バーストモードを使用します。電源は瞬時にアンプに供給されるため、電源の起動による遅延はありません。
2. バーストモードを無効化: スタンバイ時には、コンバータは通常のスイッチング動作で出力をレギュレートする必要があります。その結果、軽負荷時の効率は低下します。しかし、複雑さを軽減することができ、さらに、可聴ノイズの懸念(2次側整流器の寄生素子がゲイン曲線に及ぼす影響など)もすべて取り除くことができます。図 2 に、より高い周波数でゲイン曲線が実際にどのように上がり始めるかを示します。最小ゲインに到達できない場合、電源はレギュレーションを失います。
3. 外部コントローラを無効化: オーディオアンプが動作していないときは、外部の無効化回路を使用してコントローラをターンオフします。この方法を使うと、バーストモードを使うよりも、スタンバイ消費電力をより低減させることができますが、システムに補助電源を追加する必要があるため、コストが増加します。アンプがオーディオを出力する際にも、起動遅延が発生します。

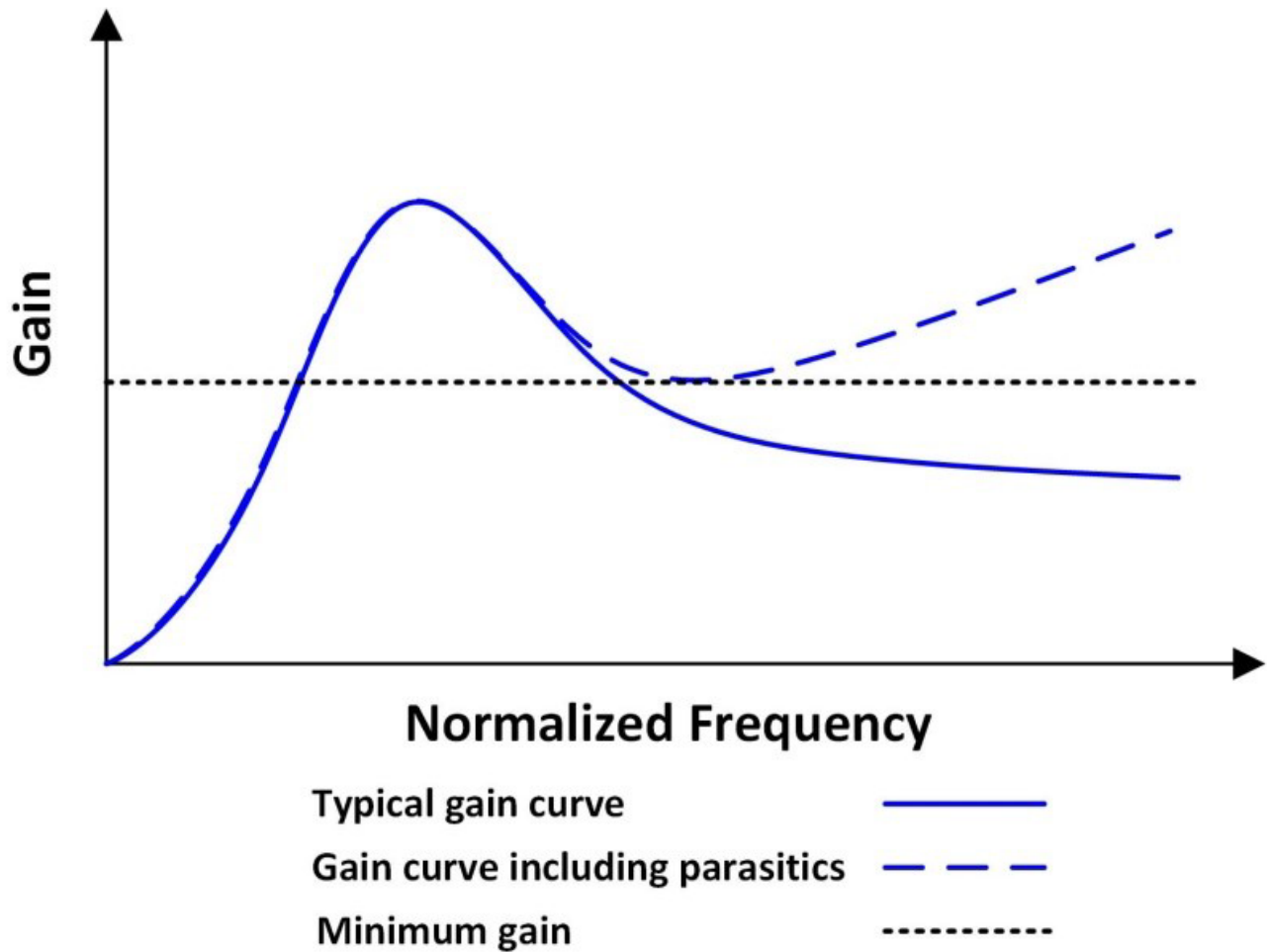


図 3. パーストモードを無効化すると、より高い周波数でゲイン曲線が上がり始めます。

LLC-SRC は、100~500W の連続電力範囲に対応する高性能トポロジであり、高効率と電磁干渉 (EMI) の最小化を必要とする AC-DC システムに最適なトポロジです。共振コンバータの設計は、複雑なオーディオシステムに適用しない場合でも、十分難易度が高い仕事です。最初にすべきことは、アンプに必要なピーク電力レベルと連続電力レベルに関する、電源エンジニアとオーディオエンジニアとの間の相互理解です。オーディオアプリケーションのための LLC-SRC 設計を成功させるための第一歩として、上述の方策を考慮してください。

出典:

1. 『Class-D オーディオ アンプ用電源ソリューション』、テキサス・インスツルメンツ
2. 『Class-D オーディオ アンプの選択方法』、テキサス・インスツルメンツ
3. [Pro Audio Reference](#), Audio Engineering Society

関連記事

- [Power Tips #84: LLC 直列共振コンバータの既成概念にとらわれない考え方](#)
- [Power Tips #97: バッテリチャージャの要求に合わせて LLC-SRC のゲイン曲線を調整する方法](#)
- [デシベル: 注意して使用します。](#)
- [オーディオレベル、dBu、dBV、その他: 知っておくべきこと](#)

この記事は、以前 [EDN.com](#) で公開された記事です。

重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、技術データと信頼性データ（データシートを含みます）、設計リソース（リファレンス デザインを含みます）、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、テキサス・インスツルメンツ製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとします。

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツはその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。テキサス・インスツルメンツや第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる テキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツの保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2024, Texas Instruments Incorporated

重要なお知らせと免責事項

TI は、技術データと信頼性データ (データシートを含みます)、設計リソース (リファレンス・デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、TI 製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した TI 製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとし、

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている TI 製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、TI はその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。TI や第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、TI およびその代理人を完全に補償するものとし、TI は一切の責任を拒否します。

TI の製品は、[TI の販売条件](#)、または [ti.com](#) やかかる TI 製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。TI がこれらのリソースを提供することは、適用される TI の保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、TI はそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所 : Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2024, Texas Instruments Incorporated