

●はじめに

真のパワーアンプを開発しました。今後、100年以上に渡ってこの革新的な技術は使われることが予想され、後世に伝承するため、開発者自らその技術を解説します。

●公開の意義

この技術を広く浸透させ、いずれは知らぬ間にこの技術を利用する社会が訪れることを願っています。多くの方が知らぬ間に恩恵を受けるでしょう。できるだけ原音に近い音をお楽しみください。

●特許や著作権

本件は特許技術です。また特許が消滅しても著作権があります。公開によって著作権を放棄するものではありません。書籍を出版し公開したとしても著作権を放棄したことにはなりません。著作権隣接権もあるのでご注意ください。

特許技術であるため、公開にあたって条件を定めました。人伝に聞き、特許技術と知らずに誤って商用利用すると特許侵害にあたるため、防止策を施します。

- (1)電圧アンプではなく電力アンプである。
- (2)特許技術のLIIE技術を採用している。
- (3)個人利用に限り、LIIE技術を利用可能。
- (4)商用利用の場合はライセンスが必要。

(5)詳細は <http://einstlab.web.fc2.com> を参照

個人でこの技術を応用したり、改良したりして情報公開する場合(二次的著作物)は、上記を明記してください。

不正利用を確認した場合、ご一報ください。不正利用が横行するなら、個人利用も禁止する可能性もあります。一部の不正が原因で、個人利用者が不利益を被らないことを期待しています。

●免責事項

直接間接に関わらず、使用によって生じたいかなる損害も筆者は責任を負いません。

●ワクワク

科学的に正しい音色を聞いてみませんか。原音に近い音を楽しみませんか。ワクワクしてみませんか。

2017-07-01 第1版

●常識を疑おう

何をいまさらと思うかもしれませんが、これからパワーアンプのお話しをします。何寝ぼけたことってんだ、何勘違いしているんだ、そんなの知ってるよと言わず、お付き合いいただければ最後に目から鱗が落ちます。ドキドキが止まらなくなります。

突然ですが、「確信犯」の意味をご存じでしょうか。そんなの知っているよと言わず、辞書を引いてみると驚きます。文部省の調査によれば、正解率は約3割です。大半の人が誤用しています。人間の常識なんてそんなものです。常識が正しいとは限りません。

では「パワーアンプ」をご存じでしょうか。あなたがお持ちのパワーアンプ、本物でしょうか？それがパワーアンプの代用品としたら、どうでしょう？そんなの嘘だと言わず、これから科学的な事実を確認してみましよう。科学的な事実は残酷な一面があり、人が認めようと認めまいとに関わらず、科学的な事実に従わなければなりません。

私だけは天動説(地球が静止、天体が移動する説)を信じると言っても、科学的な事実である地動説(地球が移動する説)に逆らえません。地球上にいる限り、科学的な事実である地動説に従わなければなりません。

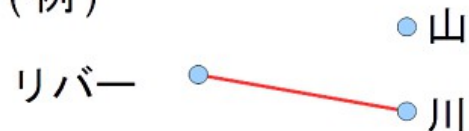
信じることは個人の自由ですが、科学的な事実には逆らえません。有無を言わせません。

●パワーアンプとは

クイズです。パワーアンプを日本語でなんと呼ぶでしょうか。

クイズ
正しいものを結びなさい

(例)



パワーアンプ ●

●電圧増幅器

●電流増幅器

●電力増幅器

ヒントは

電力=Electric Power

増幅器=Amplifier

です。英語辞書を引いても、物理の教科書で確認してもよいでしょう。英語は科学的な事実に基づき明確に表現します。

Amplifier を略してアンプと呼びます。

●今販売されているパワーアンプとは何？

では今販売されているパワーアンプと称しているモノは何でしょうか？この答えはその入出力特性を測定すると判明します。現在販売されているモノは電圧増幅器です。負荷に影響されず、入力電圧に比例した電圧を出力します。例えば入力 1Vrms の時、3 倍の 3Vrms を出力します。嘘だというなら、実際に測定してみるとよいでしょう。そう、現在販売しているモノは電圧増幅器であり、ボルテージアンプです。あれ、パワーアンプじゃないのと気付いたあなたは鋭いです。ボルテージアンプでパワーアンプを代用していたのです。科学的に電力は次の式で表現します。

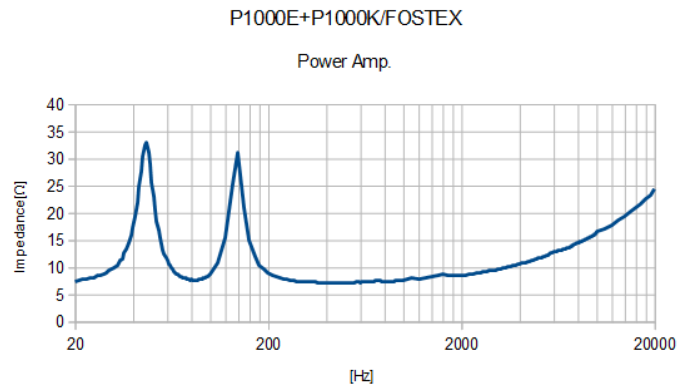
$$P = \frac{V^2}{R}$$

P=電力

V=電圧

R=抵抗(交流の場合は Z=インピーダンス)

電圧増幅器は負荷 R に影響されず、電圧 V を出力するので、負荷である R が変化しなければ電力 P は一意的に決まり電力増幅器の代用になります。では、負荷であるスピーカーのインピーダンス Z は変化しないのでしょうか？公称インピーダンス 8Ω のスピーカーの例を示します。



低音では 32Ω、高音では 24Ω と公称インピーダンスの 3 倍から 4 倍の変動があります。このようにスピーカーのインピーダンスは周波数によって大きく変動し、とても一定とは言えません。

例えば 1kHz で 1W の出力をしたとしましょう。1kHz のインピーダンスが 8Ω ですから、そのときの電圧 V は 2.83Vrms です。同じ電圧を 100Hz で出力するとその時のインピーダンスが 32Ω なので、出力電力 P は 0.25W です。同様に 20kHz の出力電力 P は 0.33W です。

これが低音不足や高音不足の原因です。インピーダンスの高くなる低音や高音の音量が小さくなります。科学的に当然のことです。

さて電圧増幅器の**入力電圧は同じにも関わらず**、周波数によって出力電力が何倍も変動します。どの周波数でも 1W 出力しません。本来の電力増幅器であるなら、どの周波数でも同じ 1W を出力しなければなりません。

つまり、**電圧増幅器は不完全な電力増幅器の代用です**。負荷が変化しないことを前提に電圧増幅器

で代用していたのです。

●革新技術

長年、パワーアンプに関する書籍を読み漁りましたが、どれもボルテージアンプであり、真のパワーアンプを解説した書籍を見つけることができませんでした。パワーアンプは電力を出力すると解説していながら、実際には電圧を出力するボルテージアンプの解説でした。この矛盾を不思議に感じていました。

そこで真の電力増幅器(パワーアンプ)を開発しました。

かつて牛乳の代わりに脱脂粉乳を使いました。

同様に電力増幅器の代わりに電圧増幅器を使ってきました。電圧増幅器による代用の時代はもう終わりです。

さあワクワクしてきましたね。

●なぜパワーアンプを必要とするのか

そもそも論ですが、なぜスピーカーの駆動にパワーアンプを必要とするのでしょうか。

これにも科学的な理由があるからです。一般的なボイスコイルによるスピーカーを前提にします。ヘッドホンやイヤホンもスピーカーを小型化しただけで、その動作原理は同じです。

ボイスコイルに電気を流すと電磁石になり、永久磁石と引き合ったり、反発したりします。そして

ボイスコイルに固定されたコーンが振動します。

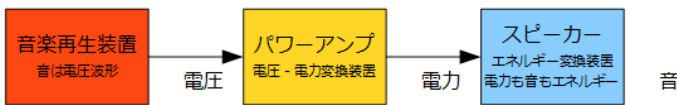
この仕組みはモーターと同じです。モーターの仕事量は電力に比例します。同様にスピーカーの仕事量は電力に比例します。

そもそも論になりますが、スピーカーは電気エネルギー(電力)を音の振動エネルギーに変換する装置です。電圧を音に変換する装置ではありません。エネルギー変換装置です。電圧はエネルギーではありません。スピーカーが仕事をして音を出力します。音はスピーカーの仕事量に比例します。スピーカーが仕事をしなければ音は出ません。ここでの仕事とは「物理学の仕事」です。エネルギーによって仕事をします。エネルギーは形を変えることができ、例えば位置エネルギーを運動エネルギーに変換することができます。電気エネルギーをスピーカーの振動板を動かす運動エネルギーに変換します。この運動エネルギーによってスピーカーが仕事をします。※さらに振動板が空気を動かし音になります。

それゆえ、スピーカーの駆動にパワー(=電力)アンプ(=増幅器)を必要とします。パワーとは電力という意味です。物理学の電気エネルギーは電力です。これは科学的な事実であり、真実です。物理学では電力も音も同じエネルギーです。

科学的に必要としているのはパワーアンプであり、電力増幅器です。もし、電圧(=ボルテージ)増幅器(=アンプ)をパワーアンプというなら、それは

論理矛盾します。電圧増幅器はボルテージアンプであり、パワーアンプではありません。スピーカーの駆動にボルテージアンプが必要ということになります。これは科学的な真実に反します。そもそもスピーカーの駆動に必要なとしているのは電力増幅器です。

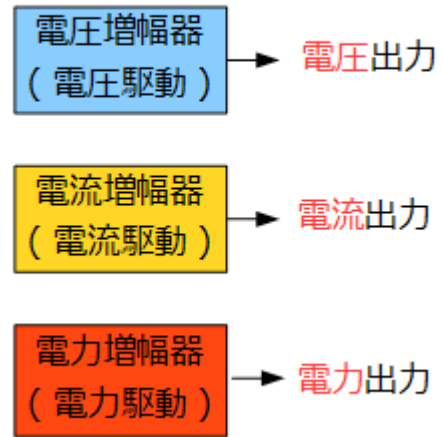


●パワーアンプとは電力駆動方式

パワーアンプとは電力増幅器であり、スピーカーを電力駆動します。パワーアンプが電圧駆動なら、それはもはやパワーアンプといわずボルテージアンプです。パワーアンプとは電力駆動方式しかありません。厳密にはパワーアンプに電圧駆動方式も電流駆動方式もありません。

電力増幅器 = パワーアンプ	電力駆動
電圧増幅器 = ボルテージアンプ	電圧駆動
電流増幅器 = カレントアンプ	電流駆動

出力の違い



●発想の転換

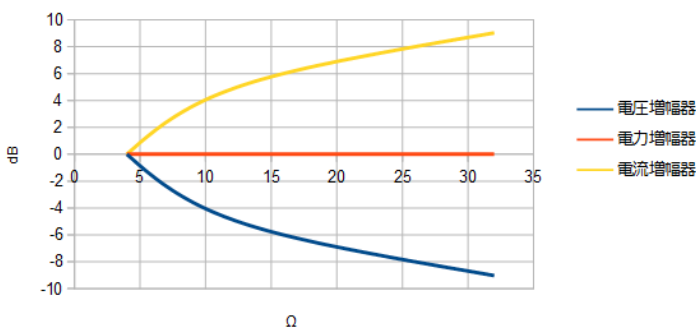
子供のころからたくさんのアンプを作ってきました。たくさんのアンプの専門書を読み漁ってきました。しかしどれも電圧増幅器であって電力増幅器ではありませんでした。実際に特性を測定してみると、負荷の影響を受けて電力増幅していません。スピーカーへいかに電圧を伝えるかであって、いかに電力を伝えるかに注目した専門書はありませんでした。代表的なスピーカーの公称インピーダンスは8Ωであり、出力バッファはアンプの内部抵抗をいかに下げるかにしか注目していません。今風に言えばいかにダンピングファクタを上げるかです。これはインピーダンス変換(あるいはインピーダンス・マッチング)ともいえ、真空管時代の出力トランスと発想としてはなんら代わるものではありません。スピーカーのインピーダンスは固定を前提としてアンプが設計されてきま

した。しかし、現実のスピーカーのインピーダンスは何倍も変動します。**インピーダンス変動の影響を受け、低音と高音が再現できないばかりでなく、音色も再現できません。**前提を誤れば結果も誤ります。当然のことです。スピーカーの音量は電力に比例します。これは音も電力もエネルギーだからです。簡単にいえばスピーカーはエネルギー変換装置です。スピーカーへ入力する電力を間違えば、出力する音も間違えます。

そこで、発想を転換し、スピーカーのインピーダンスは変動することを前提に、電力増幅器の実現を目指しました。これは画期的なアイデアであり、功を奏しました。

●アンプの出力電力特性

アンプの出力電力特性



アンプの駆動方式の違いを模式化(イメージ化)したグラフです。横軸はスピーカーのインピーダンス、縦軸は出力電力です。電圧駆動アンプはインピーダンスが増えると出力電力が低下します。

$$P = \frac{V^2}{R}$$

公称インピーダンスの4倍で6dBも低下します。このため低音不足と高音不足となります。スピーカーのインピーダンスは低音と高音で高くなるからです。電圧駆動アンプはインピーダンス変動がなければスピーカーへ正しく電力を伝えます。電流出力アンプはインピーダンスが増えると出力電力が増加します。

$$P = I^2 R$$

このため低音と高音が強調されすぎてドンシャリとなります。電力アンプは出力電力が一定になるように工夫しています。低音と高音が正しく再現されます。電力アンプに副作用はなく、インピーダンス変動があってもなくても正しく電力を伝えます。

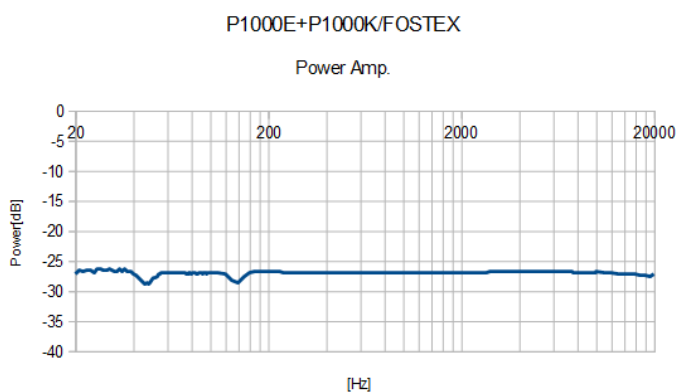
●パワーアンプ(電力増幅器)の再発明

さてアンプの出力電力特性の違いをみると**電力増幅器の特性は電圧増幅器と電流増幅器の中間**にあることがわかります。ここに発明のヒントがあります。電圧帰還と電流帰還のバランスをとると電力増幅器になります。ただし単純に電圧増幅器と電流増幅器を組み合わせても電力増幅器にはなりません。もっと正確に言えば、電圧増幅の性質と電流増幅の性質をブレンドしたと思ってください。ですので、電圧増幅でもなく電流増幅でもありません。電力増幅器です。

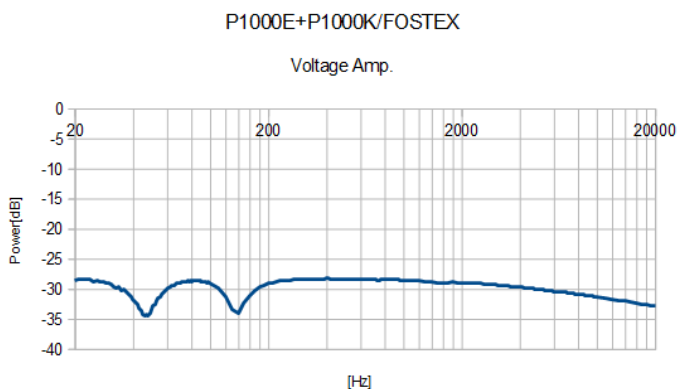
この発想を基に、本物のパワーアンプを開発しました。ついに求めていた電力増幅器(パワーアンプ)を実現したのです。パワーアンプの再発明といってもよいでしょう。

画期的であり、革新的な理由がここにあります。緻密な理論に裏付けられています。

実際に開発したパワーアンプでスピーカーを駆動したときの出力電力特性を示します。スピーカーのインピーダンスに影響されずほとんどフラットであるのがわかります。電圧増幅器ではこうなりません。

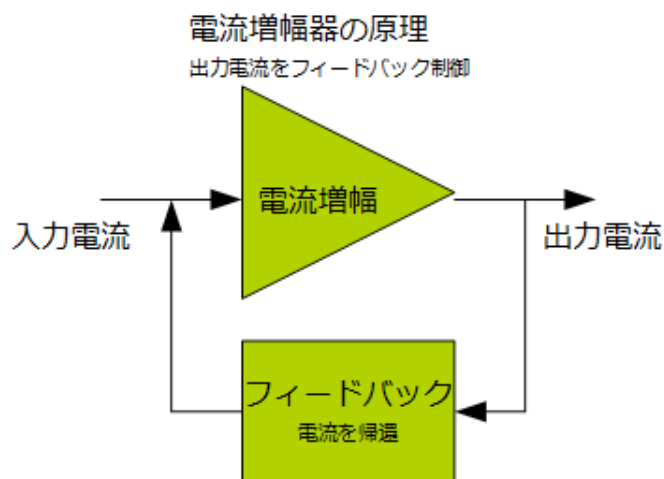
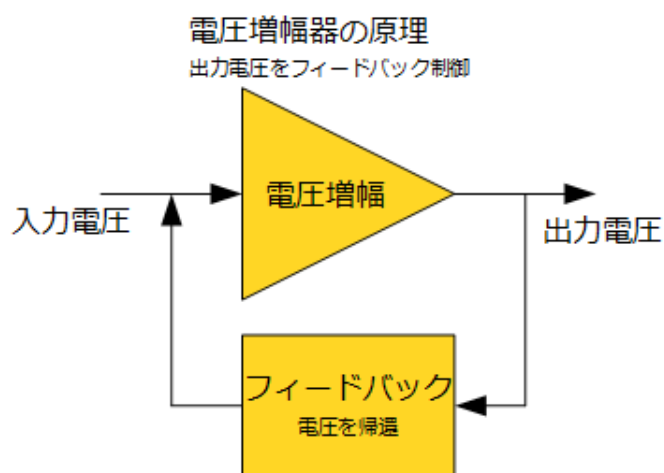


比較のため電圧増幅器でスピーカーを駆動したときの出力電力特性を示します。



●電力増幅の原理

まずは電圧増幅器と電流増幅器の原理を示します。電圧増幅器は負帰還をかけて安定させます。電流増幅器も同様の原理です。電力増幅器は電圧増幅器と電流増幅器の中間的な動作をします。

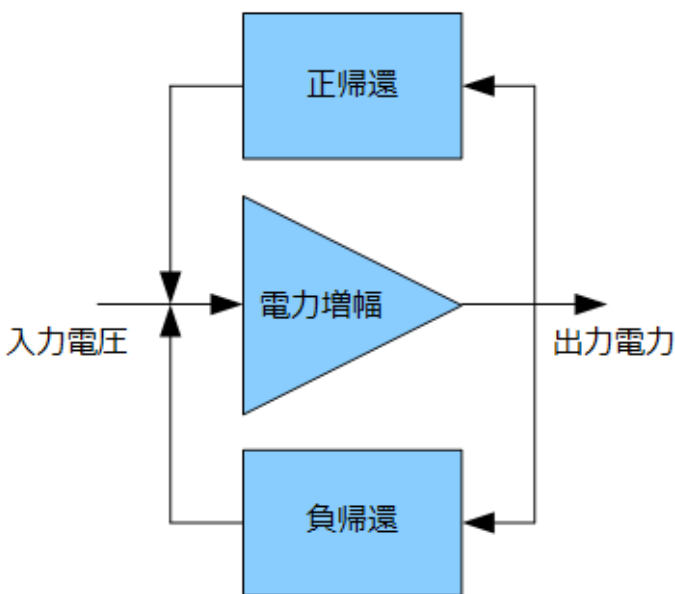


電力増幅器では負帰還と正帰還を絶妙のバランスで両立させます。負帰還は電圧増幅の役割、正帰

還は電流増幅の役割を担います。**正帰還部に電流検出部があり、負荷であるスピーカのインピーダンスに応じて帰還量を制御します。**スピーカのインピーダンスは公称インピーダンスよりも大きくなることを利用しています。正方向の帰還だけでよいのです。もし、インピーダンスが変動しなければ、正帰還量は一定ですから、電圧増幅器と同じ動作をします。

このようにしてアナログで負荷インピーダンスを監視し、電力増幅するように制御します。イコライザなどの疑似的な操作をすることなく、自動でインピーダンス変動を検出して制御します。だからスピーカの種類を選びません。

電力増幅器の原理
負帰還と正帰還



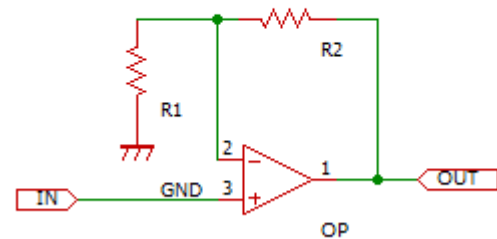
※ただし電力アンプであってもスピーカ本来の

性能を超えることはできません。

●回路

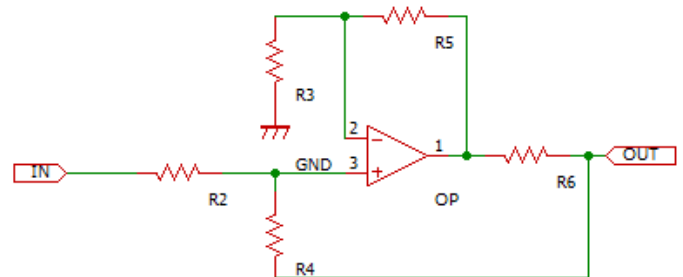
まず電圧増幅器(非反転増幅)を示します。

電圧増幅器(非反転増幅器)
負帰還



定電流回路を示します。

定電流回路

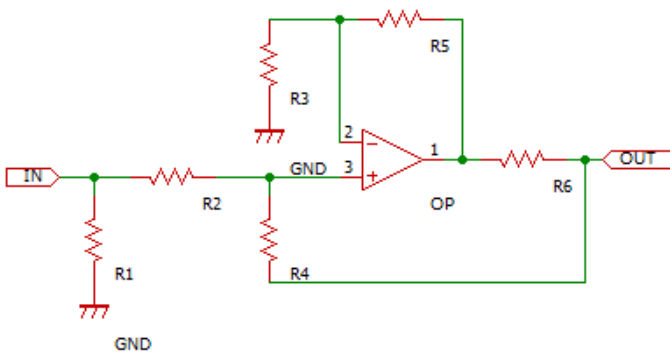


$R2=R3=R4=R5$
 $R6$ =電流検出抵抗

$R6$ で電流検出することにより、出力電流が一定になります。電力増幅器は電圧増幅器と定電流回路の中間的な回路です。

電力増幅器は負荷に影響されず、正しい電力を出
力することから、この技術を LIIE:Load
Impedance Independent Engine と名付けまし
た。

LIIEの基本構造



R1=入力接地抵抗
R2,R4=正帰還抵抗
R3,R5=負帰還抵抗
R6=電流検出抵抗

一見すると定電流回路と同じに見えますが、**電力増幅するために正帰還と負帰還の絶妙のバランスがあります。抵抗に魔法の組み合わせがあります。**

特別な組み合わせの時のみ電力増幅します。それ以外の組み合わせでは電力増幅しません。

この組み合わせの発見こそが発明です。

※ガソリンエンジンの理論空燃比が 14.7 と同じようなイメージです。

(1)魔法の組み合わせ 1 (スピーカー向き)

R6=**公称インピーダンスの 1/8**

R1=1kΩ

R2=R3=R5=10kΩ

R4=12kΩ

メリットは無効電力が小さいです。約 12%が無効電力です。デメリットとしては帰還量が大きい
ため、ホワイトノイズが若干あります。

(2)魔法の組み合わせ 2(ヘッドホン向き)

R6=**公称インピーダンスの 1/2**

R1=1kΩ

R2=R3=R5=10kΩ

R4=20kΩ

メリットは帰還量が小さいため、ホワイトノイズが小さいです。デメリットとしては無効電力が大きい
です。約 50%が無効電力です。

この他にも公称インピーダンスの 1/4 設定の組み合わせもあります。

もちろん電流検出抵抗 R6 の耐電力に注意してください。

●応用例

入力インピーダンスを決定する R1 をボルテージ・フォロアに置き換えれば、入力インピーダンスを変更できます。

また帰還部をフィルタ構成にしてもよいでしょう。シングルエンド駆動だけでなく、バランス駆動 (BLT)にも応用できます。

構造が簡単なため、その応用は無限です。簡単に実現できることが最大のメリットです。

●LIIEの意義

従来の電圧増幅器に数本の抵抗を追加するだけで、電力増幅器を実現できます。簡単に実現できます。これは画期的であり、最小限のコストで大きなリターン(メリット)を得られます。大規模な設計変更を必要としません。例え、電力増幅器を高コストで実現したとしても意味がありません。

抵抗数本のコストですから、高が知れています。これによって得られるメリットは非常に大きいです。例えば、従来3ウェイ・スピーカーであったところをフルレンジ・スピーカーで済みます。電力増幅器であれば、フルレンジ・スピーカーを正しく制御するので、低音不足や高音不足にならず、3ウェイ・スピーカーである必要もありません。スピーカー側のコストを削減できるでしょう。

音量不足の解消だけでなく、全域にわたって正しい音色になります。

今後のデファクト・スタンダードになるでしょう。

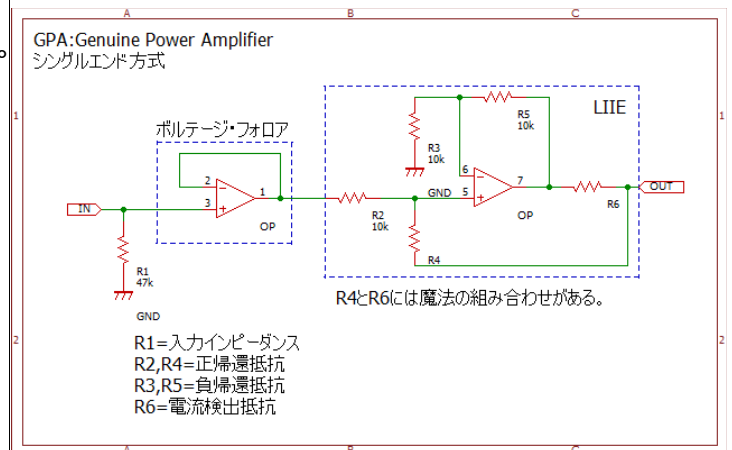
LIIE を搭載した電力増幅器をパワーアンプと呼ぶと従来の代用品としてのパワーアンプ(本当はボ

ルテージアンプ)と区別が付きません。

そこで GPA:Genuine Power Amplifier と呼ぶことにしました。

●具体例

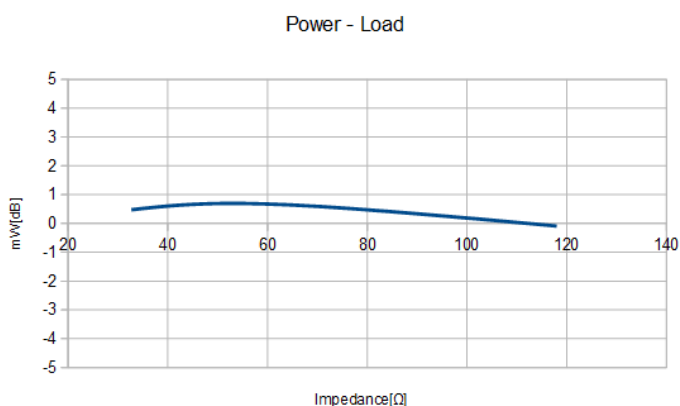
ヘッドホン用の電力増幅器(シングルエンド駆動)の具体例を示します。



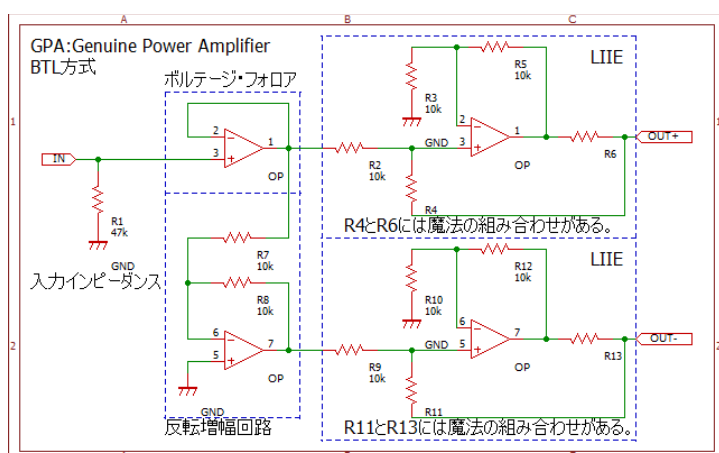
ヘッドホンの公称インピーダンスが 32Ω なら、 $R4=20k\Omega$ 、 $R6=15\Omega$ です。

ボルテージ・フォロアはオフセットの小さい NJM4580、出力 OP アンプは出力電流の大きい NJM4556 がよいでしょう。NJM4556 ならバッファなしに直接ヘッドホンを駆動できます。電源電圧は $\pm 3V$ で、電池駆動できます。

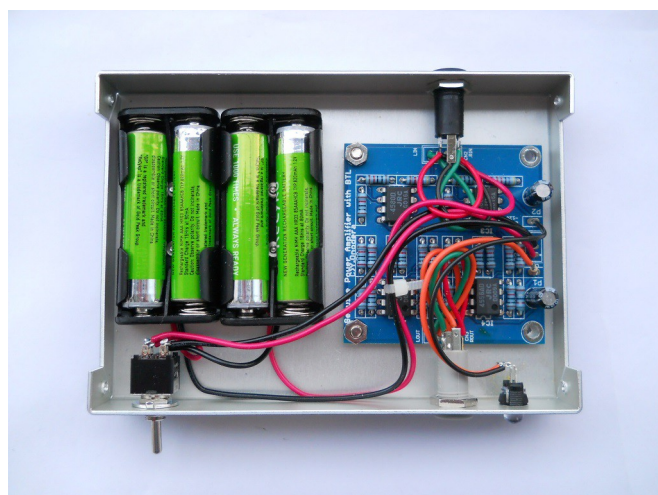
実際の電力特性を計測した結果を示します。すでにお話しした「アンプの出力電力特性」と比較してみてください。電力アンプの動作をしています。



次にヘッドホン用の電力増幅器(バランス駆動)の例です。(アンバランス入力、バランス出力)



ヘッドホンの公称インピーダンスが 24Ω なら、
 $R4=R11=20k\Omega$ 、 $R6=R13=6.2\Omega$ です。
 ボルテージ・フォロアはオフセットの小さい NJM4580、出力 OP アンプは出力電流の大きい NJM4556 がよいでしょう。NJM4556 ならバッファなしに直接ヘッドホンを駆動できます。電源電圧は±3V で、電池駆動できます。



魔法の組み合わせ一覧です。

シングルエンド方式

正帰還抵抗	電流検出抵抗
R4	R6
20k	負荷公称インピーダンスの1/2設定
15k	負荷公称インピーダンスの1/4設定
12k	負荷公称インピーダンスの1/8設定

BTL方式

正帰還抵抗	電流検出抵抗
R4=R11	R6=R13
20k	負荷公称インピーダンスの1/4設定
15k	負荷公称インピーダンスの1/8設定
12k	負荷公称インピーダンスの1/16設定

この魔法の組み合わせのとき、負荷のインピーダンス変動に影響されず、正しい電力を出力します。スピーカー用の電力増幅器でも同じ考え方で実現できます。