

# PURE SPEED

## Universal integrated amplifier

### UIA5100

## 技術解説



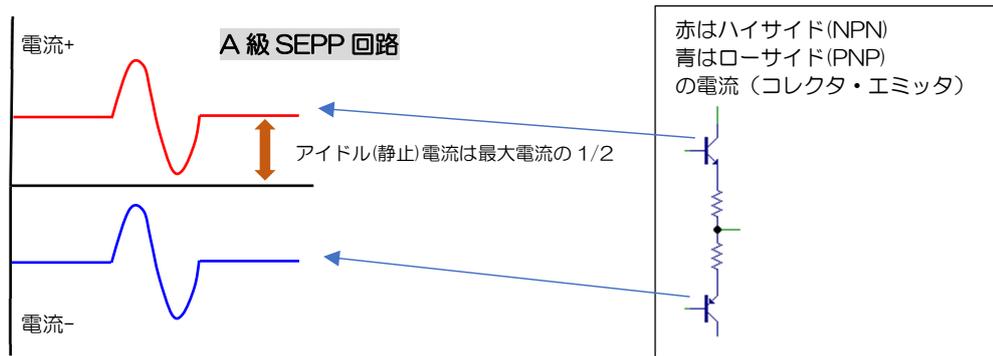
SAYA Inc.

# 1.ニアフィールド用 AB 級パワーアンプ

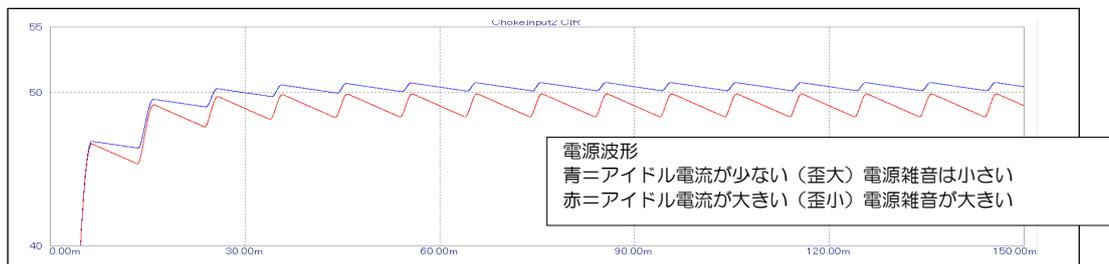
## 1. A 級パワーアンプと AB 級パワーアンプ

### <A 級アンプ>

A 級アンプは出力段のハイサイド (NPN) 側と、ローサイド (PNP) 側のトランジスタが、常時カットオフせず並列動作する方式で、スイッチング歪が発生しません。反面、最大電流の 1/2 のアイドル (静止) 電流が必要で、巨大な電源と放熱器が必要です。この巨大なリソースは、A 級動作成立に必要なもので、音質に直接寄与しない点が重要です。なおパワーアンプ出力段以外は、基本全て A 級です。負荷の軽い他のステージで A 級動作に必要なアイドル電流は微小だからです。例えば 5V で 10K $\Omega$  の負荷を駆動する場合、A 級動作に必要なアイドル電流は 250 $\mu$ A で、プリアンプが A 級なのは当然です。ところがパワーアンプで最大電圧 11Vrms (15W) で 8 $\Omega$  を駆動する場合、A 級動作に必要なアイドル電流は 0.98A です。±24V 電源でステレオ構成だと 0.98A $\times$ 48V $\times$ 2CH=94W の待機電力が必要です。日常的な 1W の出力でも、最大出力時の 6 倍もの消費電力が必要と、A 級アンプは途方もなく無駄多い方式です。

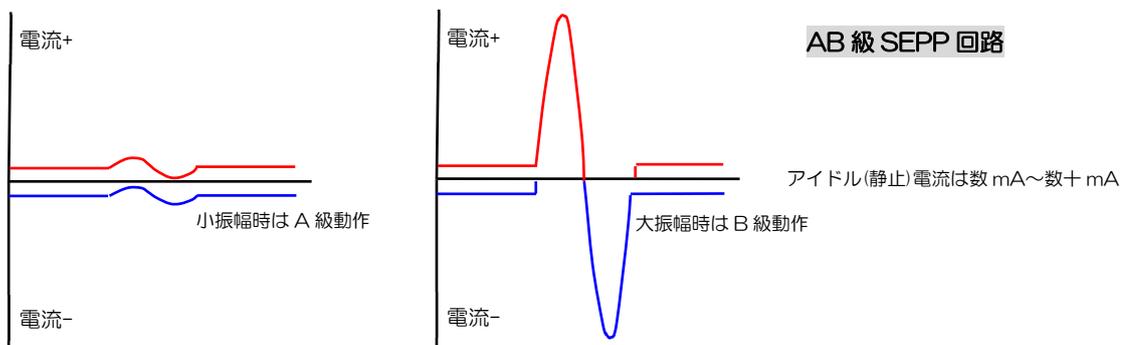


この大きなアイドル電流は、電源の平滑コンデンサから、容赦なく電荷を抜き取って電圧降下させるので、電源雑音 (リップル) が増大、S/N が悪化します。これを回避する為に、大容量の平滑コンデンサの搭載が考えられますが、すると力率が悪化し、強力なパルス電流 (充電電流) によって雑音を生じたり、交流電源波形を歪ませる弊害があります。



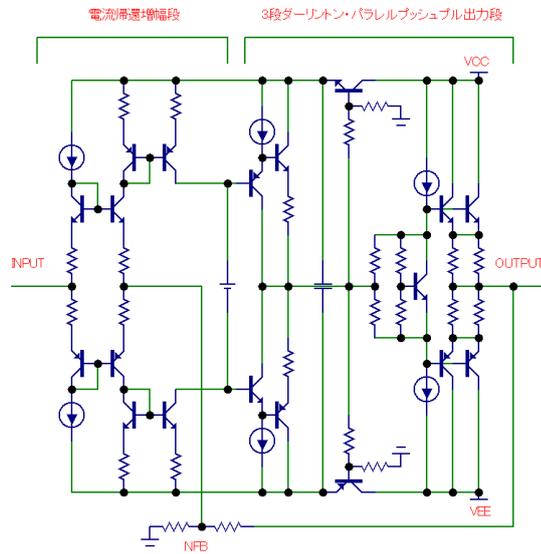
### <AB 級アンプ>

AB 級アンプの回路は A 級アンプと同等で、違いはアイドル電流が、数 mA~数十 mA と少ない点です。±24V 電源ステレオ構成でアイドル電流 20mA だと 0.02A $\times$ 48V $\times$ 2CH=1.92W と待機電力が 49 分の 1 に軽減します。よって電源や放熱器を小型にでき、小容量コンデンサでも電源雑音は小さく、高 S/N 比にできます。AB 級アンプでは微小振幅時は、A 級アンプとして振る舞い、スイッチング歪が発生しません。アイドル電流の 2 倍の出力電流になると、ハイサイドかローサイド一方がカットオフし、B 級動作に移行します。B 級動作時の、つなぎ目でスイッチング歪が発生します。これらは NFB 技術の発達で軽減されましたが、スイッチング周波数は、入力周波数の数倍の及ぶ為、NFB を深く掛けられず (高域ほど NFB が減る) 高域の歪率データの悪化に現れます。



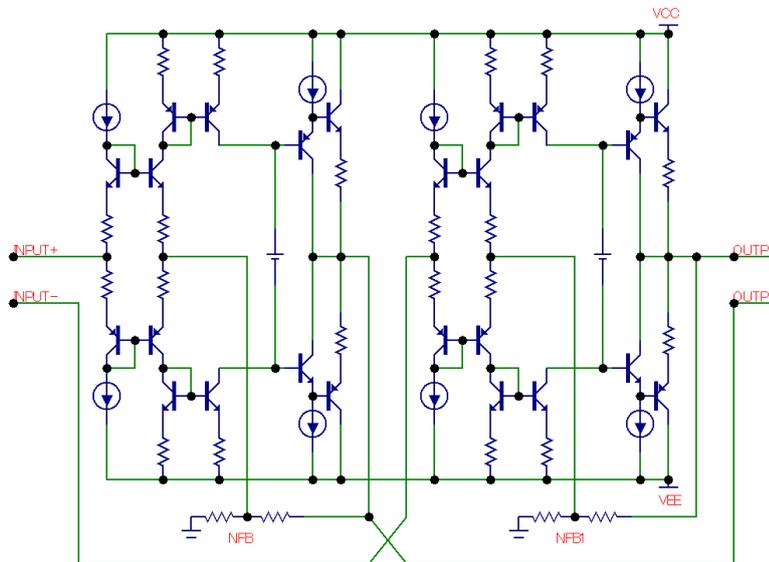
## 2. ニアフィールド用小出力 AB 級パワーアンプ

UIA5100 はバランス型ヘッドフォンアンプに加え、ニアフィールド・リスニング向けの小出力パワーアンプの組合せです。そのため UIA5100 のパワーアンプ出力段は、14W+14W の AB 級でとてもコンパクトにまとめています。小パワーなので電源電圧も小さく、アイドル電流を多めにしても、発熱を抑えることが出来、A 級動作範囲を広く設定できます。そして高速広帯域の電流帰還型オペアンプとの組み合わせで、高周波のスイッチング歪を軽減して高性能化します。パワー段は、前段の電流帰還オペアンプとの組み合わせで、3 段ダーリントン・パラレルプッシュプル形式と本格的です。



## 3. バランス型ヘッドフォンアンプ

バランス型ヘッドフォンアンプは高速広帯域の電流帰還型パワーオペアンプをバランス構成としています。通常は A 級ですが、インピーダンスの低いヘッドフォンでは AB 級になります。



## 4. パワーアンプの電源・放熱器・パワーデバイス設計

### <小型アンプの設計で価値観が変わる>

弊社の SP192DT (廃盤) は手のひらサイズの ClassD アンプで 45W+45W のパワーが出ます。ClassAB アンプと比較すれば測定データは見劣りしますが、音質はなかなかで、大型スピーカーを余裕で鳴らします。後継の SP192AB (廃盤) は、最大出力はたったの 6W+6W ですが、一般家庭なら能率の悪い小型スピーカーでも十分な音量で鳴らします。こんなアンプと出会った人はこう思うでしょう。

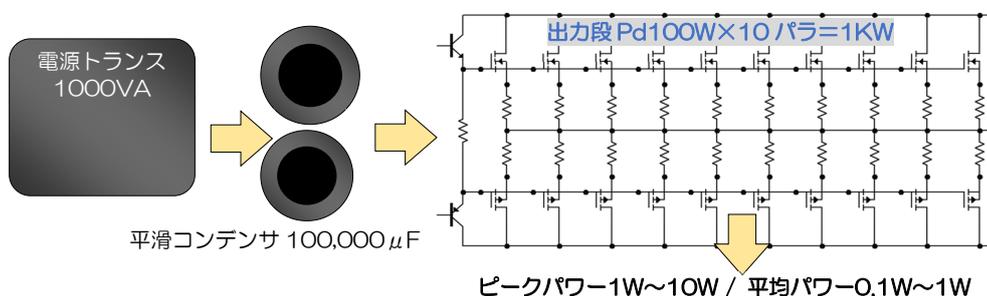
「従来の巨大アンプは、一体なんだったのか。デカさ、重さは音質に貢献しているのか」

### <巨大電源&超パラレル接続&巨大放熱器・・・高性能アンプに不可欠と信じられた要素>

巨大電源は、リップル雑音を軽減し、電流供給能力を高め、連続最大出力能力を高めます。またパワートランジスタの超パラレル接続とアイドル電流を増大は、A 級範囲と Gm (相互コンダクタンス) を増大、1 石あたりの負担を減らし歪を軽減します。これに伴って巨大放熱器も不可欠です。結果、高性能アンプは巨大で重いのが当然でした。

### <オーディオのピークパワーは 1W~10W、平均は 0.1W~1W>

さぞパワーアンプにかかる負担は途方もないに思われがちです。ところが、ホームオーディオにおけるピークパワーは 1W~10W 程、平均パワーは 0.1W~1W 程にすぎません。またスピーカーのインピーダンスは低域や高域で上昇し、f0 (共振周波数) 付近の低音再生に必要なパワーはより小さくて済みます。よってパワーアンプにかかる負担は以外と軽く、一般的なホームユースで巨大アンプのリソースを使い切る事はまずありません。



### <クレストファクタ>

ピークパワーと平均パワーの比率を、クレストファクタと呼びます。サインウェーブでは 1.4 ですが、音楽信号や音声は、ほぼ 10 です。つまり音楽信号はピークが一瞬で、大半が微弱信号です。このことは大変重要で、電源や放熱器には積分作用があり、ピークパワーではなく、平均パワーによる設計が可能だからです。もし連続サインを禁止 (クレストファクタ 1.4) すれば、パワーアンプの電源や放熱器は、ピークパワーの 1/10 程度に小型化できるのです。(※レベルメーターは、ピークに対し、緩やかな時定数 (250msec~1sec) を持つので、平均パワーが過剰に表示される)

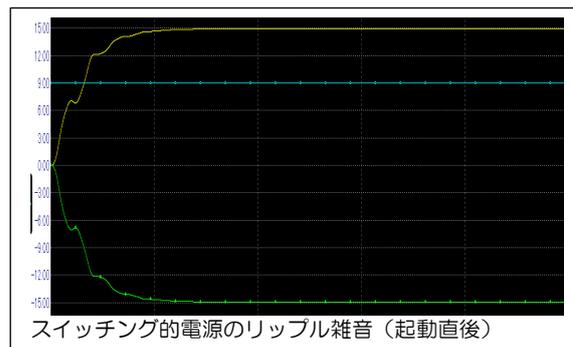
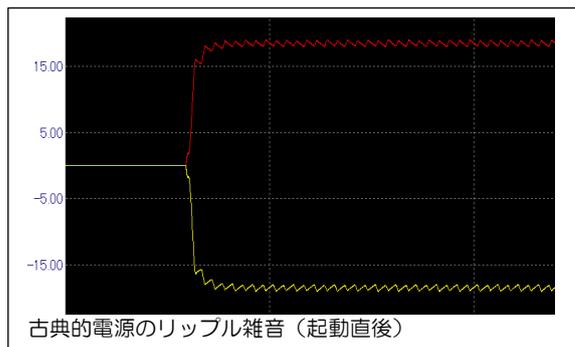
## 5. スイッチング電源こそオーディオアンプ向き

### <スイッチング電源へのアレルギー>

変圧・整流・平滑で構成される古典的電源は大きく、負荷変動、入力変動、雑音などの諸性能も良くありません。近年 D 級アンプの普及や、欧州の薄型アンプの普及で、知らぬ間にスイッチング電源が普及しています。それでも尚、スイッチング電源へのアレルギー、巨大電源への妄信があります。まずは固定概念を捨て、電源方式による違いを整理してみます。

### <古典的電源とスイッチング電源のノイズ比較>

スイッチングという言葉の印象は、オーディオ愛好家に悪影響を与えていますが、多くが主観によるものです。従来の古典的電源でも、リップル (ハム) ノイズが発生します。このハムノイズは、50/60Hz とその倍音で構成され、可聴域内の重要な部分に展開され有害ですが、スイッチング電源のノイズは可聴域外にあり、そもそも聞こえません。またハムノイズは周波数が低い為、物量投入を行っても低雑音化が困難です。例えばコンデンサを大容量化して、ハムノイズを軽減しようとする、コンデンサへの充電電流が増大、充電時間が減少して、ピーキーなパルス電流になります。この電流は配線インピーダンスで雑音電圧に変換されるのです。対して、スイッチングノイズは周波数が高い為、小容量のフィルタでノイズ対策できます。実際、数 mV 程のデリケートな微小信号を扱う計測機器でもスイッチング電源を使い、十分な S/N を確保しています。複数電源のスイッチング周波数の干渉で発生するビートノイズも抑制技術は確立されています。

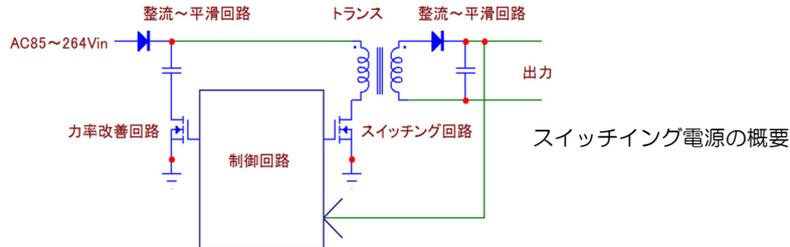


### <古典的電源とスイッチング電源の安定度比較>

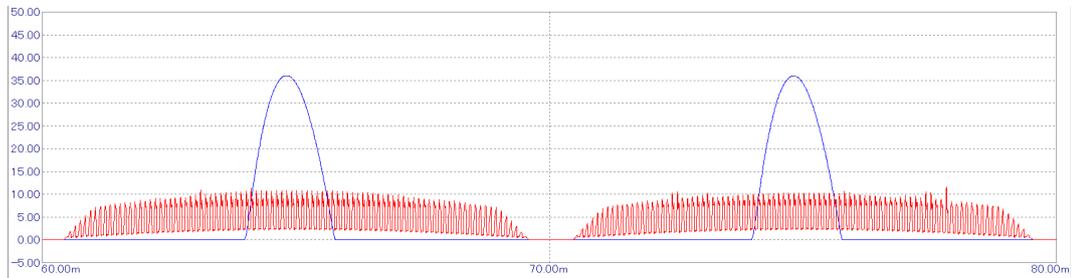
古典的電源は、入力変動安定性は皆無で、入力が 5% 降圧すると、出力電圧も 5% 降圧します。また負荷変動も低く、最大出力時に 5% 以上電源電圧が低下することは普通です。一方、スイッチング電源は安定化電源なので、こうした入力変動や、負荷変動によらず、出力電圧は一定です。

### <古典的電源とスイッチング電源の力率比較>

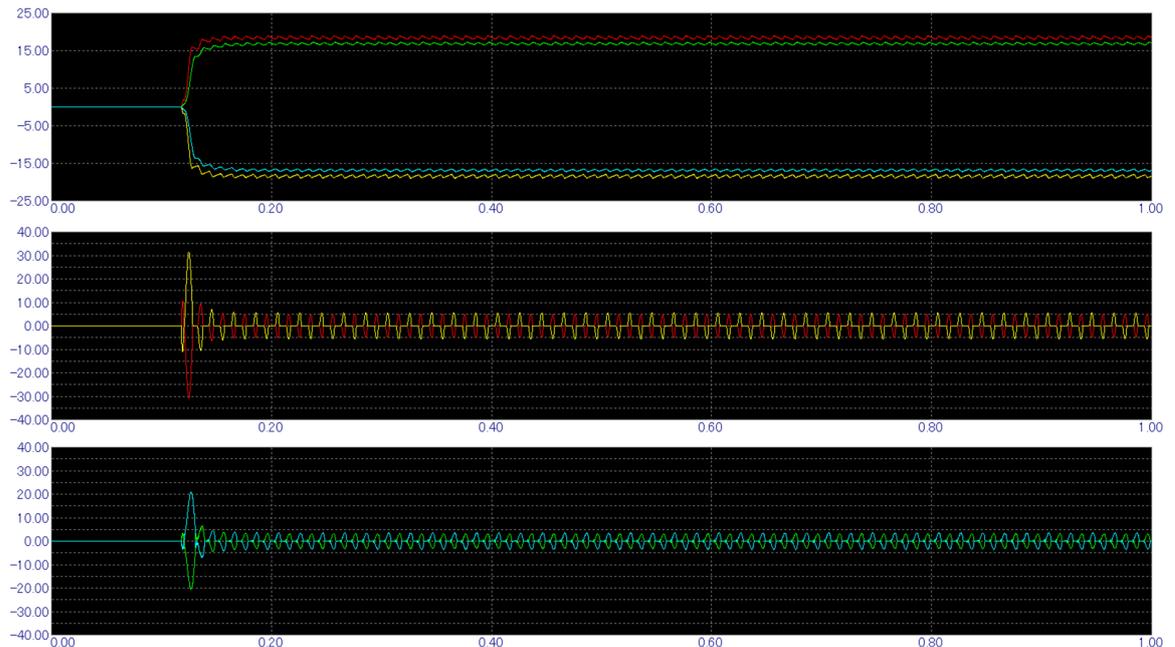
スイッチング電源は交流電源を、トランス無しで直接整流平滑し、直流電圧を生成、これをスイッチングして再度交流に戻し、変圧整流平滑して所定の電源電圧を作り出すシステムです。同じ電力を得るなら、スイッチング周波数を高いほど、トランスやコンデンサは小型・軽量化できるからです。特に大容量のスイッチング電源は、入力部の平滑コンデンサに、力率改善回路 (=PFC) が接続され、コンデンサの充電サイクルを分散、ピーク電流を抑え、力率を向上させています。



下はその様子で、青は通常の平滑、赤は PFC 付きスイッチング電源です。青はピーク電流が集中し 35A にも達します。この大電流が、短時間に AC ラインに流れると、電源波形のピークを潰してサイン波を崩しますし、回路上に流れれば雑音になります。赤の PFC を追加した側は、充電サイクルが分散、ピーク電流は 35A→10A 以下に低下しています。



交流電源サイクル (50/60Hz=20/16.6msec) に対し、電力を消費している (≒コンデンサ充電) 時間の割合を力率と呼びます。PFC 付き電源は 0.95 (1 が 100% で最高値) に達します。対して、小容量コンデンサを使った古典的電源の力率で 0.4~0.6 程、大容量のコンデンサを使うと力率は 0.3 以下に悪化、音質云々以前に、怖いものがあります。以下は古典的電源に於いて、コンデンサの大小による力率を比較した様子です。黄赤は大容量コンデンサ、緑黄が小容量コンデンサ、上が出力電圧 (V)、下 2 段が入力電流 (A) です。見やすくするため、電圧を変えています。小容量コンデンサに比べ大容量コンデンサは充電時間が短く力率が悪い事が分かります。また電源投入の突入電流も、大容量コンデンサのほうが大きくなっており交流電源に負担を掛けています。



### <レギュレータ>

プリアンプや DAC 等はレギュレータを追加して安定化する事で、負荷変動・入力変動・雑音を軽減できます。実際 UIA5100 でも、スイッチング電源にレギュレータを追加して諸元性能を向上させています。しかしパワーアンプの安定化電源の導入は、大電流ゆえ大掛かりになってしまい現実的ではありません。つまり古典的電源に固執する限り、パワーアンプの安定化電源は夢の話ですが、スイッチング電源なら簡単に実現できるのです。

### <まとめ>

|          | スイッチ周波数 | ノイズ対策・負荷変動対策 | 力率 | サイズ・重量 | 負荷変動 | 入力変動      |
|----------|---------|--------------|----|--------|------|-----------|
| 古典的電源    | 低い=可聴域  | 物量投入しないと無理   | 低い | 大きい・重い | 悪い   | ほぼゼロ=100% |
| スイッチング電源 | 高い=可聴域外 | 小容量で対策可能     | 高い | 小さい・軽い | 1%以下 | 1%以下      |

### <UIA5100 搭載電源の力率>

±24V60W (パワーアンプ出力段)

## 6. 電源容量と放熱器容量

### <ClassAB にスイッチング電源を組み合わせる=小型高性能>

パワーアンプを ClassAB と ClassD、電源を古典式とスイッチング、これらの組み合わせ 4 種類を比較します。

|     | アンプ     | 電源     | 歪率             | サイズ |
|-----|---------|--------|----------------|-----|
| (1) | ClassAB | 古典式    | 0.005%~0.0003% | 大   |
| (2) | ClassAB | スイッチング | 0.005%~0.0003% | 小~中 |
| (3) | ClassD  | 古典式    | 0.1%~0.003%    | 中~大 |
| (4) | ClassD  | スイッチング | 0.1%~0.003%    | 小   |

UIA5100 は (2) ClassAB パワーアンプを、スイッチング電源でドライブするコンセプトです。この方式はコンパクトで歪率性能が優れています。

### <電源容量を考える>

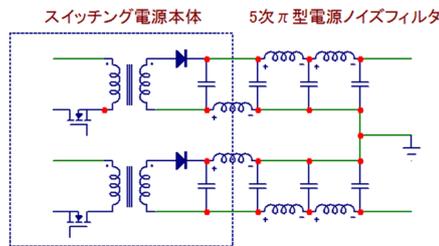
UIA5100 の理論上最大出力は 15W/8Ωステレオで最大電流は 1.96A です。AB 級アンプの平均電流(実効値)は、次式で計算できます。

$$\text{平均電流} = (\text{ピーク電流} \div (2 \times \text{クレストファクタ}) + \text{アイドル電流}) \times \text{チャンネル数}$$

ここにピーク電流 1.96A、クレストファクタ 10、アイドル電流を 0.02A 代入すると、平均電流は 0.236A で、±24V 電源で 11.3W 相当、4Ωを考慮しても 20.7W の平均電力があれば十分です。ただし電源フィルタで横分できないような低周波のピーク電流 1.96A が流れる可能性があり UIA5100 では、±24V/±1.25A/60W のスイッチング電源を搭載しています。ピーク電流で考えれば定格オーバーですが、クレストファクタ 10 を考慮した実効値で考えれば、4Ωでも 20.7W なので、3 倍近い余裕があります。連続 sin を考慮しなければ十分なスペックです。

### <スイッチングノイズを抑圧し、最大ピーク電流を潰す>

UIA5100 は、ノイズ除去用の 5 次 π 型フィルタ (総容量 898μF+200μH) をスイッチング電源の出力に接続し雑音を軽減しピーク電流を潰して軽減します。



電源ノイズはこのフィルターで激減。  
中高域の駆動電流は、このコンデンサ群で  
ギャランティできスイッチング電源の  
ピーク電流が減少。

### <放熱部は連続サイン最大出力は考慮する必要がない>

UIA5100 は音楽信号や音声信号に限った設計で、連続サインで最大出力を出すことは禁止です。AB 級 SEEP 回路のパワートランジスタ 1 個の平均電力損失は以下の通りで

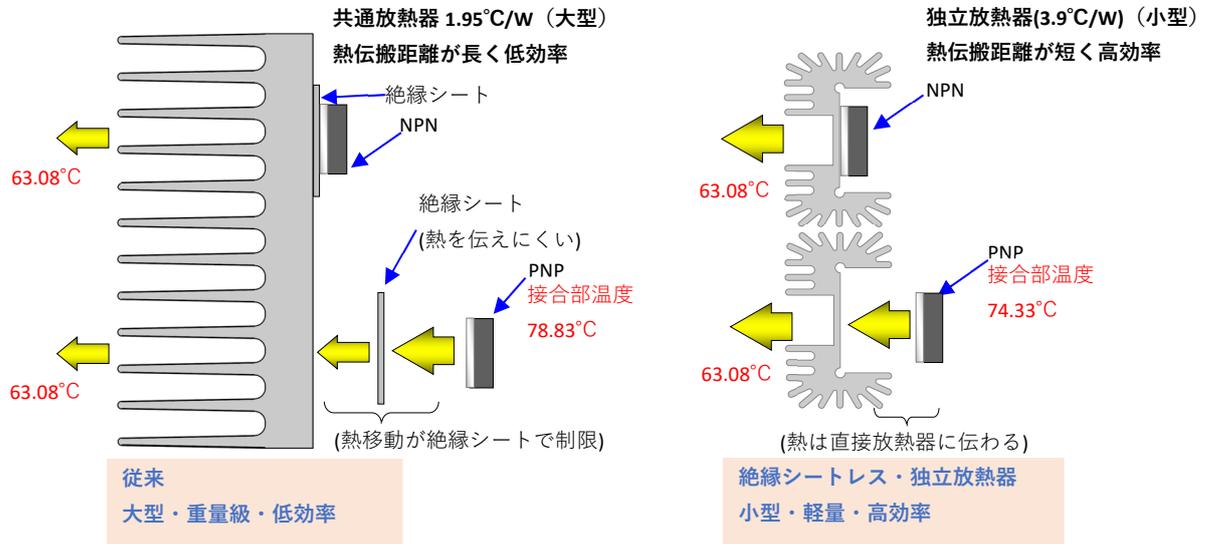
$$\text{平均電力損失} = (((\text{ピーク電流} \div (2 \times \text{クレストファクタ})) + (1 \text{ 石あたりアイドル電流})) / \text{パラレル数}) \times \text{電源電圧}$$

ピーク電流 1.96A、クレストファクタ 10、アイドル電流 0.02A、パラレル数 2、電源電圧 24V を代入すると 1.416W の平均電力です。放熱器は 17.3°C/W なので温度上昇は 24.5°C で安全です。一方 sin 波のクレストファクタは√2 で計算すると 8.56W の平均電力、温度上昇は 148.09°C となり、sin 波で最大出力を出し続けると破損します。こんなヤワな設計で大丈夫かと思われるかもしれませんが問題ありません。能率 90dB/W/m (一般的なスピーカーの代表値)、出力 15W (片 CH) で得られる音圧は 101.8dB 程で、電車が通る時のガード下の音量に匹敵し、連続で聞き続けると、難聴になります。この音圧をニアフィールドで、かつ連続サイン波で鳴らし続ける人は居ないでしょう。改めてパワーと電源電流の関係性をまとめます。UIA5100 は下図①に対し余裕をもった設計になっていますが、実際の使用は②となります。従来は③に対し余裕をもった設計で、実際の運用は②であったため、余裕があり過ぎました。これが音質に貢献するように思えたのは、単なる思い込みで、ヒアリングでも計測でも①と③の能力差はありません。



### <独立型ヒートシンクと絶縁シートの排除>

通常パワートランジスタは、1つの放熱器に多数取り付けられ、トランジスタと放熱器の間に、短絡を防ぐ絶縁シートを挟みますが、これが熱を伝えにくく放熱効率を悪化させます。UIA5100では、放熱器をトランジスタ毎に分離させ、絶縁シートを排除し放熱効率を高め、放熱器を大幅に小型化しています。下図は気温 35°C、損失 7.2W×2個のトランジスタを使い、絶縁シート+共有型放熱器と、独立型放熱器の比較実験の様子で、放熱器が大幅に小型であるにも関わらず接合部温度が 4.5°C低下しています。接合部温度を、同じにするには、絶縁シート+共有型放熱器側の熱抵抗を 1.63°C/W に下げることがあり体積は 1.5 倍以上膨らみます。



### <放熱器は小さいほど高効率！>

加熱部（パワートランジスタ）に比べ、放熱器のサイズが小さいほど、放熱効率が向上します。前図右の 3.9°C/W に比べ、前図左の 1.7°C/W では、熱抵抗 2.3 倍に対し、体積は 8.2 倍大きくなります。小型の放熱器は熱伝播経路が短く、放熱器全体が高温となって冷却に貢献するのに対し、大型の放熱器は、パワー素子から遠い場所では温度が下がるので放熱効率が悪化するのです。外気との温度差が小さければ、それだけ、熱が移動しにくいのです。

### <プリント基板で放熱効果を高める>

UIA5100の放熱器は基板に半田付けしています。これによって放熱器の熱が基板に伝わる仕組みです。プリント基板には表裏が大面積の銅箔で覆われているため、放熱器としても機能します。

# 2.DAC・VOLUME 回路を含めた全体像

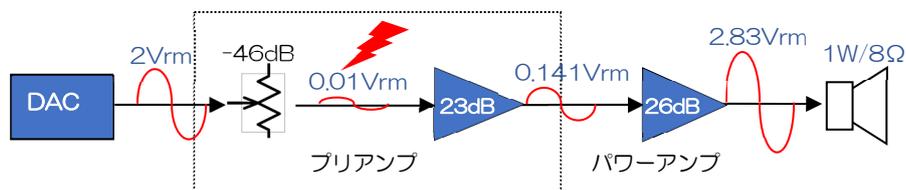
## 1. 従来のゲイン配分は無駄が多く雑音に弱い

### <定格レベルの変化>

プリメインアンプ（プリアンプ+パワーアンプ）は、1980年以前の古い機器の定格出力である、0.15Vrms 程の小レベルを前提に設計され、50dB程度（300x）のゲインとするのが定番です。ところが、CDプレーヤー登場以降、2Vrms 程度の機器が大半を占め、 $2Vrms \div 0.15Vrms = 22.5dB$ （13x）ものゲインが無駄になっています。果たしてボリュームを12時以上回すような人がどれだけ要るでしょう。

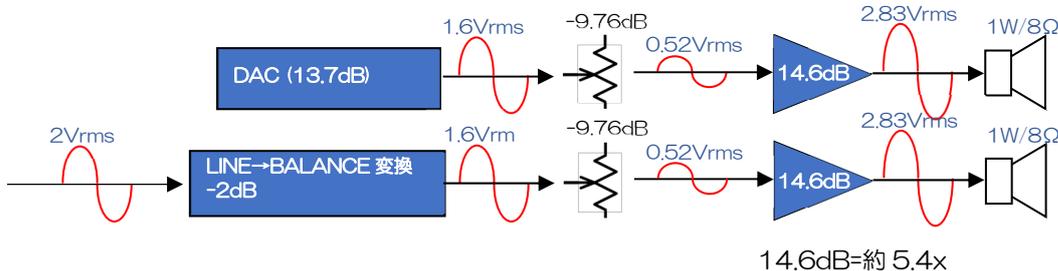
### <古典的なアンプのレベルダイアグラム>

下図は古典的なプリメインアンプのレベルダイアグラムです。プリアンプはボリュームと23dBのアンプで構築され、ここにパワーアンプのゲイン26dBを加えた49dBが最大ゲインになります。1W再生に必要なゲインは3dBなので、ボリュームを-46dB絞ります。ボリューム後のレベルは0.01Vrmsと微小で、ノイズの影響に弱いです。ほぼスピーカーと同等の電圧を出力しているDACがあるのに、ボリュームで0.01Vrmsまで絞り、その後ゲインを稼ぐ。従来のアンプは無駄だらけです。更にセパレートアンプだと、0.141Vrmsの小振幅信号が引回され、S/N的には尚更不利です。このような古いレベルダイアグラムに固執する限り、セパレートアンプはプリメインアンプより、音質的に不利です。



## 2.ゲイン配分

UIA5100は、無駄なゲインを極力排除した設計で、バランス型DAC → バランス型電子ボリューム → 12.6dBのインストルメンテーション・パワーアンプの3段構成で、レベルダイアグラムは以下の通りです。上のアンプと比較すると、最小電圧が0.01Vrms→0.52Vrmsに増大しており、ノイズフロアが同等ならS/N的には34dB有利です。



## 3. DAC 搭載のメリットと DAC 構成

### <DAC を載せても陳腐化しない>

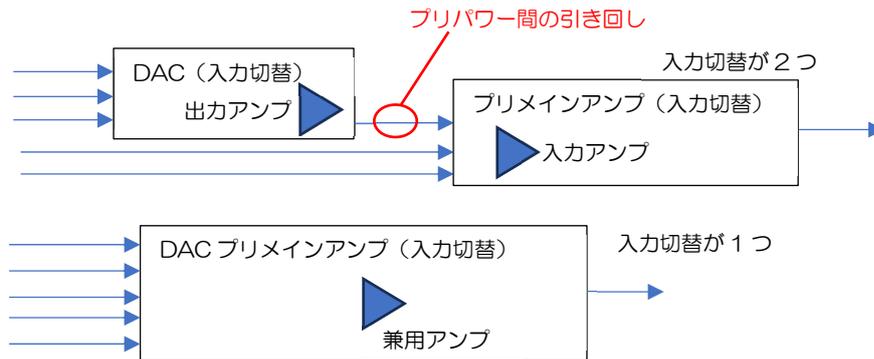
DACの雑音は、内部インピーダンスと周波数帯域に比例しますが、モノリシックICである以上、インピーダンス低減には消費電力上の限界がありサンプリング周波数（帯域）が決まると、S/N=分解能の物理限界が決定します。（①低インピーダンス化→電流増→電源ノイズおよび発熱増→精度悪化、②低インピーダンス化→容量増→速度低下）既にオーディオ用DACは2002年頃に性能が行き詰まり、物理限界に肉薄、DACを乗せて陳腐化する次代は終わっています。一見DACチップの表向きビット数やサンプリングレートを見ると進化しているように思えますが、実際の雑音電圧を見る限り2002年ぐらいで進化は止まり、以降は言葉遊びと思えます。

nビットに必要なDACのS/N比、THDは $(n * 6.02) + 1.76dB$ です。

例えば24bitなら146.24dB、32Bitなら194.4dB以上のS/N比、THD(-)が必要ですが、そんなチップは世の中に存在しません。定格の2Vrms超の電圧でS/NのSを稼げば、S/Nは稼げますが、雑音電圧に進歩は見られません。

### <DAC 搭載のメリット>

今日はデジタル入力機器のほうが多いので、それらを含め入力切替機能を持たせるには必然的にDAC内蔵アンプになります。DACとプリメイン、双方で入力切替をするのでは煩雑です。DAC搭載の音質的メリットはアンプ数を減らせ、無駄な引き回しがなくなる点です。高インピーダンスボリュームの駆動には、前段にバッファを配置するのが理想ですが、DAC搭載なら、それ自体がバッファの役割を兼ね、専用バッファは不要です。また増幅回路構成を全段で揃える事で、アンプの音質方向性を揃えることもできます。



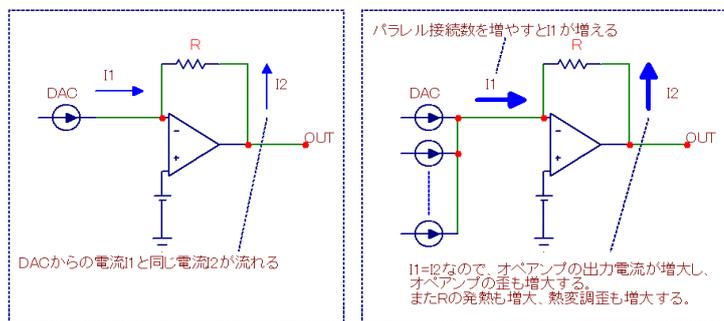
### <Parallel・Balance type・Left-Right Independent DAC>

DAC is composed of 2 parallel・Left-Right Independent structures, using 1 chip on each side. The reason for using PCM1796 is as follows.

- ◆ Amp is not built-in, design freedom is high.
- ◆ Power consumption is small, high S/N design with power included is easy.
- ◆ 2 power sources only, few external components. (Many power sources are used)
- ◆ Small size, small board area, low EMI (noise) design is easy.
- ◆ 192KHz/24bit, DSD256 supported.
- ◆ 2Vrms high sampling rate up to 17-18bit accuracy is achieved.  
(Many ICs that degrade performance in high sampling rate are used, S/N is not good, 2Vrms is not good)
- ◆ Data sheet reliability・Information disclosure is clear. (Ambiguous manufacturer)

### <DAC Parallel connection performance and damage>

When DAC is connected in parallel, S/N ratio is improved by "20Log√Parallel number". This is only for white noise, not for noise with a peak at a specific frequency. Also, if the number of parallel DACs is excessive, the distortion of the 1/V (current to voltage) conversion amp increases. The model of DAC and 1/V conversion amp is as shown in the figure below, where  $I_1 = I_2$ , and the same current  $I_1$  and  $I_2$  flows through the op-amp. Therefore, if the number of parallel DACs is excessive, the current of the op-amp increases and the distortion increases. Since the output current of DAC is large, the number of parallel DACs should be controlled, so 2 parallel connection is recommended.



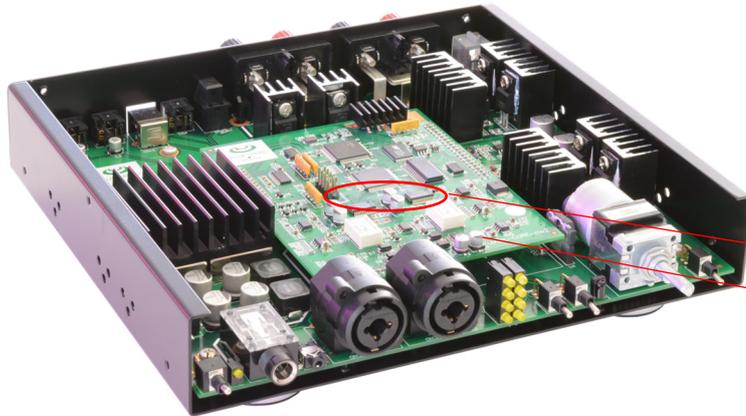
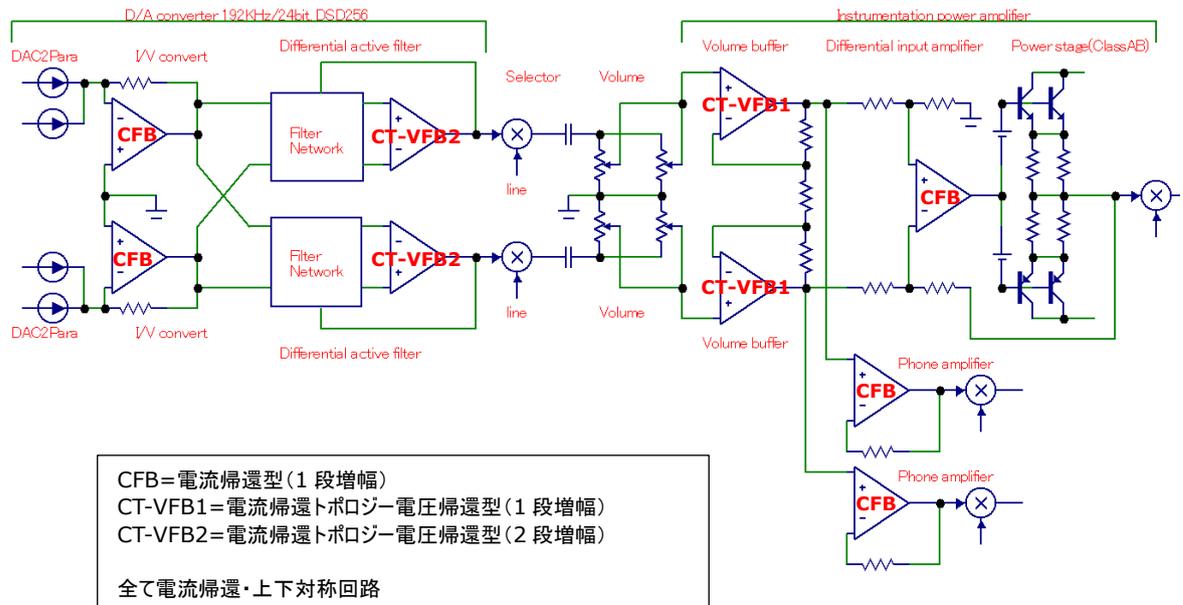
## 4.ブロックダイアグラム

### <ローゲイン設計・DAC内蔵>

UIA5100のブロックダイアグラムは以下の通りです。DAC、ボリューム、インストルメンテーション・パワーアンプで構成され、ローゲイン設計で高S/Nです。インストルメンテーションアンプはボリュームバッファの役割、差動合成、パワーアンプのゲインの一部を受け持つなど複合的な役割を果たしています。

### <バランス伝送>

DAC～パワーアンプ入り口まで全段がバランス型伝送になっており、同相ノイズや、偶数次高調波歪が相殺され、諸特性が向上します。回路規模が倍近く増えますが、高密度設計で、コンパクトにまとめています。



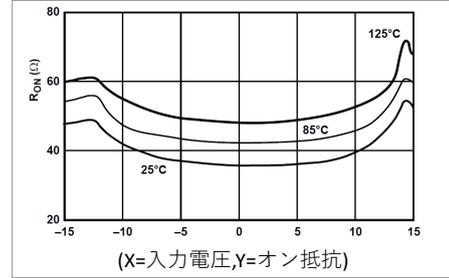
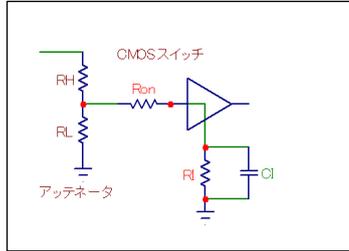
左右でDACを独立  
 DAI,USB,FPGA,  
 DAC,VOLUME,  
 IR CONTROLLERを  
 モジュール化。

### <バランス型・パッシブ・パラレル・電子ボリューム>

ボリュームは、抵抗式アッテネータを、CMOS(半導体)スイッチで切り替えるパッシブ型電子式でアンプを介しません。これをバランス・パラレル接続とすることで、諸特性を向上させています。可変抵抗を使わないので、配線引き回しによるノイズやギャングエラー、摺動音の問題などが軽減します。

下図左は、簡略化した電子ボリュームのモデルで、CMOSスイッチのRon（オン抵抗）、次段アンプの入力抵抗RIがあります。Ronは信号電圧で下図右のように変化します。このRonの変動で、減衰比（RI/(RI+Ron)）が、信号電圧により変化し歪が発生します。Ronは大電圧時に増えるので、波形の上下が潰れる奇数次高調波歪で、バランス伝送では相殺できません。

例えばRH=RL=10KΩ、RI=100KΩ、Ronを9~11Ωで変動させると、約0.0018%の歪が発生します。歪率はRI/Ronの大きさ反比例するので、Ronを減らすか、RIを大きくする必要があります。UIA5100はアッテネータを2パラレルとしてRonを半減させ、次段を入力インピーダンス（RI）の極めて大きな（15MΩ）インストゥメンテーションアンプとすることで、この問題を無視できるレベルに軽減しています。



### <インストゥメンテーションアンプ>

パワーアンプ入力は、前段までの（DACと電子ボリューム）バランス伝送を差動合成するため、またボリュームの出力を高インピーダンスで受ける為に、インストゥメンテーションアンプ構成になっています。差動合成により、これ以前のステージで生じた、偶数次高調波歪や同相雑音を除去する仕組みになっています。

### <パワーアンプのゲインを3分割>

パワーアンプ部分のゲイン24dBは、①ボリュームバッファ段（インストゥメンテーションアンプ1段目）、②差動増幅段（インストゥメンテーションアンプ2段目）、③パワーアンプ段の3ステージでゲインを分配します。これにより、歪の大きなパワーアンプ段のゲインを下げて大きなNFBを掛けることができ低歪になります。

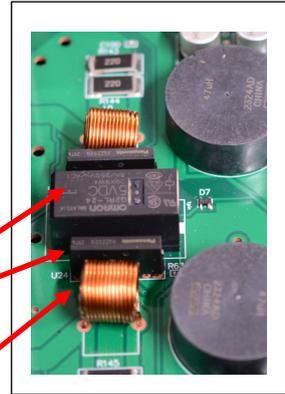
### <パワーアンプの出力リレーをメカニカル・ソリッドステートのバラ接続>

大容量のメカニカルリレーは、微小振幅信号の伝達性能が悪く、ソリッドステートリレーは、大振幅信号で歪が発生します。そこでこの両者をパラレル接続して、両者のデメリットを打ち消しています。

ソリッドステートリレー

メカニカルリレー

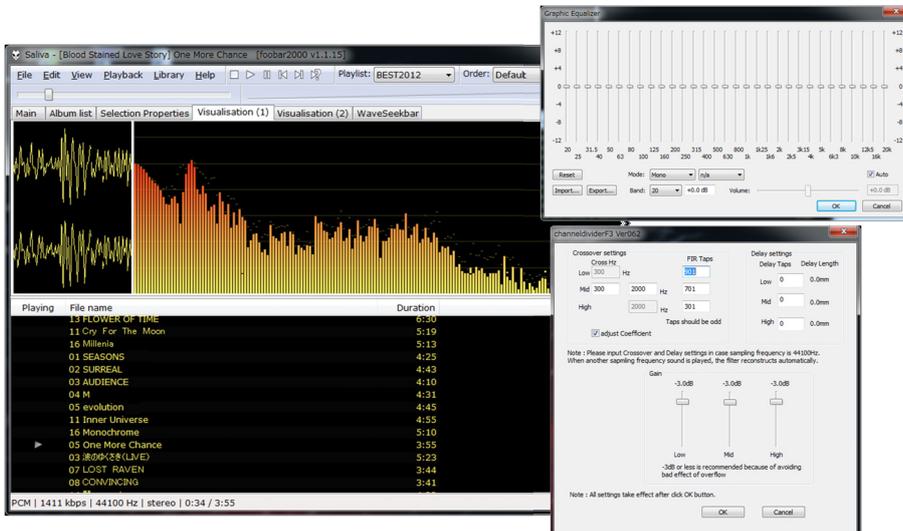
ソリッドステートリレー



## 5. 機能はソフトウェアで実現

### <音楽再生ソフトウェアには本格的な機能が満載>

foobar2000など音楽再生ソフトには豊富な機能を満載しています。31band1/3octグラフィックイコライザ、3wayチャンネルデバイタ、リバーブ、DolbyHeadphone、真空管エミュレータ、リサンプラー、ピッチチェンジ、キーチェンジ、リミッタ、コンプレッサ、ピークホールドメーター、スペアナ、スペクトログラム、ウェーブフォームシークバーなど強力な機能が無償です。音質的に有利なデジタル信号処理で構成され、こうした機能を使えば、アンプ本体の機能は最小限で良いと考えます。なのでUIA5100は、入力切替、音量調整、アンプリング以外の機能は搭載しません。CDなどのレガシーソースであってもPCで再生、リップングすれば、豊富な機能の恩恵を受けられます。



# 3.超高性能アナログアンプ

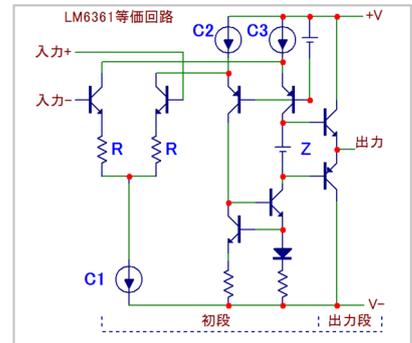
## 1. 全段電流トポロジーアンプ

### <電流帰還と電圧帰還>

増幅回路は、電圧帰還型と電流帰還型の2つに分類されます。電流帰還型は、高スルーレートでTIM歪が発生しない、電源変動抑圧比が高い(低雑音)、GB積を自由に設定できるなど優れた特徴があります。UIA5100は、DAC~パワーアンプの全段に、電流帰還トポロジー型アンプを導入しています。

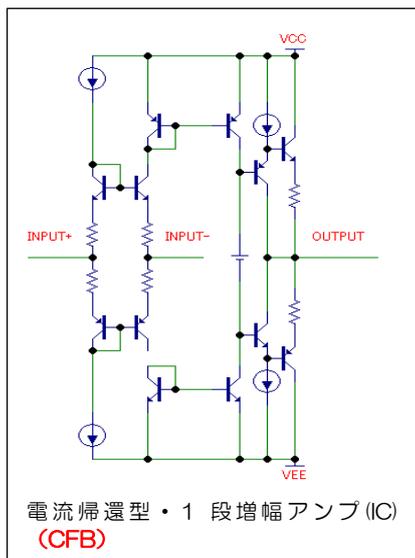
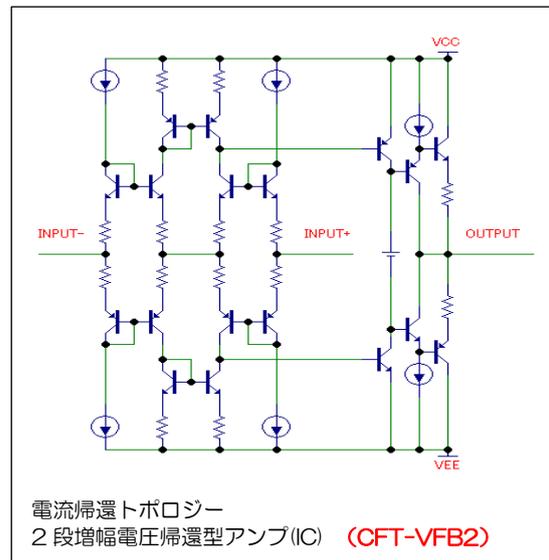
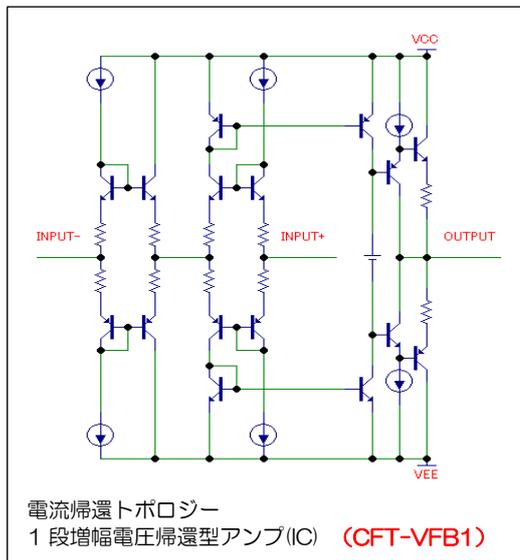
### <電圧帰還型>

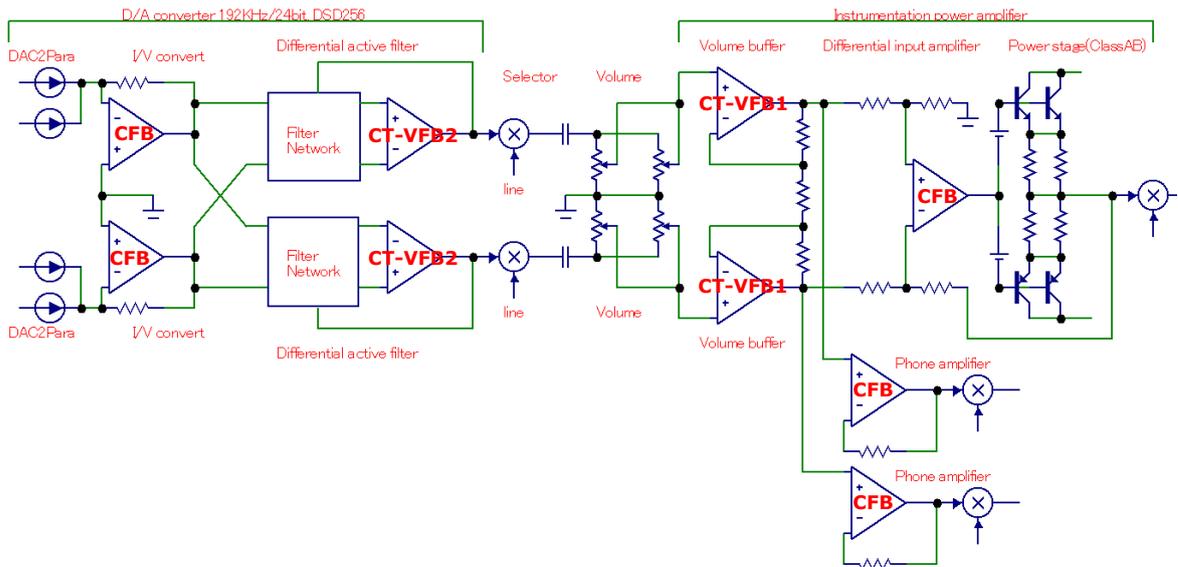
電圧帰還型オペアンプの等価回路(例)は右の通りで、最大電流は、初段の差動回路の電流源C1、折り返しカスコードの電流源C2、C3を超で制限されます。この最大電流とZ部の静電容量で現わされる最大スルーレート以上の高速信号を印加するとTIM歪が発生します。スルーレート範囲内の信号であっても、スルーレートと3次高調波歪率は比例関係にあり、低スルーレートでは歪が多いです。



### <UIA5100の電流帰還トポロジー型アンプ>

UIA5100に増幅回路は以下の4通りで、全て電流帰還構造です。電流帰還トポロジー・電圧帰還型は、電流帰還型の一入力(この部分のインピーダンスでGB積と安定性が決まる)にバッファを追加し電圧帰還のように扱えるアンプです。図中の電流源は、アイドル電流(静止電流)を決めるだけで最大電流を既定しないので、スルーレートに上限はなくTIM歪が発生しません。高速大振幅の信号が印加された場合、上下片側がカットオフレバ級動作に移り動作を続けます。

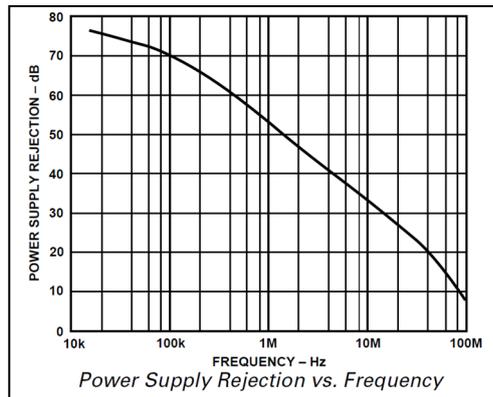
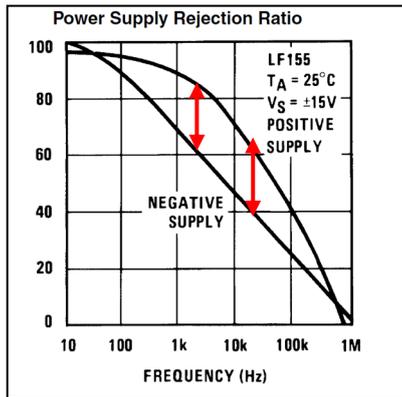




ブロックダイアグラム上、使っているアンプの種類を示したのが上図で、CFB=電流帰還型・1段増幅アンプ、CFT-VFBn=電流帰還トポロジーn段増幅電圧帰還型アンプを現します。全ステージで、電流帰還トポロジー型を採用、ポトルネックを解消し、設計コンセプトを統一します。

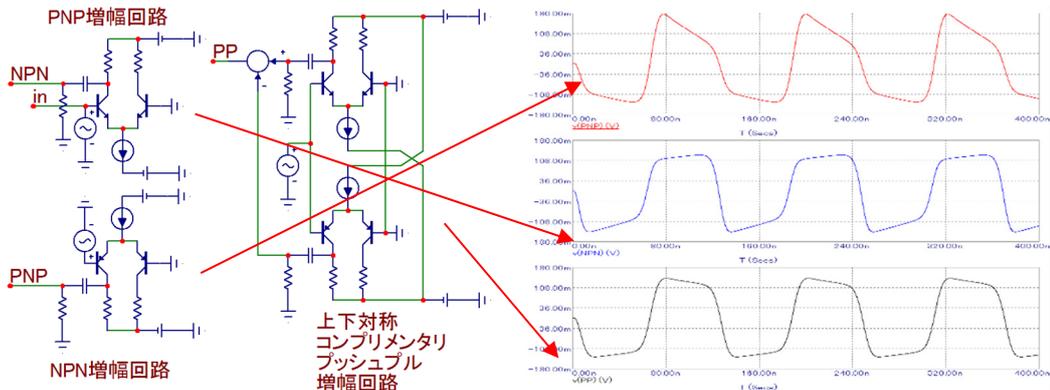
<電源変動抑圧比>

電流帰還型オペアンプは、上下対称のコンプリメンタリプッシュプル回路（以降、上下対称回路と略す）です。電圧帰還型オペアンプでも上下対称回路構成も可能ですが、多くがビデオ帯域用の品種であり、オーディオ性能は考慮されません。よって音響用のオペアンプICは、ほぼ上下非対称回路で、これらの電源変動抑圧比は、下図左の通り正負どちらか一方が10~40dB程度悪く、そこから電源雑音が混入します。上下対称回路の(下図右)は、正負の電源変動抑圧比が一致しており、電源雑音に強く高S/Nです。



<スルーレートの対称性>

下図はNPN、PNP、上下対称の各種増幅回路における、高速信号を印加時の比較です。PNPとNPNでは、立上りと立下りのいずれかが低速で非対称性が見られ、2次高調波歪の要因となります。一方、上下対称回路では、立上りと立下りが対称的で波形が綺麗です。以下は8MHzの高速信号を印加して波形を強調していますが、可聴域では見た目ではわかりませんが、歪率に影響が出ます。



### <その他のメリット>

上下対称回路は、NPNとPNPの平行接続なので、電圧雑音密度が3dB改善するほか、Gmが2倍になって裸利得が6dB(2倍)増える、NPNとPNPのベース電流は流れる方向が異なるので、ベース電流が相殺して、入力バイアス電流が低減するなど、様々な恩恵があります。

## 2. 各ステージ独立電源フィルタと、電源システム

### <30系統電源フィルタ>

UIA5100は、増幅段1段単位でクロストークと雑音を抑えるため、ローカル電源フィルタを、30基配置しています。更にリニアレギュレータ6系統、スイッチング電源6系統で全電源を安定化。スイッチング電源には電源干渉で生じるビートを防ぐノイズサプレッサ、出力ノイズをリニア電源並みに減衰させる $\pi$ 型フィルタを搭載。またアナログ部もリニアレギュレータはダブル形式で、段階的に降圧して、特性を向上させています。

|  |   |
|--|---|
| ローカル電源フィルタの配置<br>(リップルフィルタ)<br>*は正負2電源なので<br>これらが2組ある。<br>合計30組のフィルタ | Lch-DAC デジタル部                               |
|  | Rch-DAC デジタル部                               |
|  | Lch-DAC アナログ部                               |
|  | Rch-DAC アナログ部                               |
|  | Lch-DAC-I/V 変換部*                            |
|  | Rch-DAC-I/V 変換部*                            |
|  | Lch-DAC-LPF (スムージング・ローパスフィルタ) 部*            |
|  | Rch-DAC-LPF (スムージング・ローパスフィルタ) 部*            |
|  | Lch-ボリューム部*                                 |
|  | Rch-ボリューム部*                                 |
|  | Lch ボリュームバッファ (インスツルメンテーションパワーアンプ初段) *      |
|  | Rch ボリュームバッファ (インスツルメンテーションパワーアンプ初段) *      |
|  | Lch 差動合成アンプ (インスツルメンテーションパワーアンプ次段) *        |
|  | Rch 差動合成アンプ (インスツルメンテーションパワーアンプ次段) *        |
|  | Lch ヘッドフォンアンプ*                              |
| Rch ヘッドフォンアンプ*   |   |
| ライン入力バランス変換アンプ*  |   |
| リニアレギュレータ  | DAC~ボリュームバッファ +15V (ダブルレギュレータ)              |
|  | DAC~ボリュームバッファ -15V (ダブルレギュレータ)              |
|  | DAC+5V (ダブルレギュレータ)                          |
|  | デジタル系 +3.3V                                 |
| スイッチング電源   | +24V30W (ビート防止ノイズサプレッサ) (5次 $\pi$ 型出力フィルタ)  |
|  | -24V30W (ビート防止ノイズサプレッサ) (5次 $\pi$ 型出力フィルタ)  |
|  | デジタル系+5V (ビート防止ノイズサプレッサ) (3次 $\pi$ 型出力フィルタ) |

### <デジタル系の電源を5V/3.3Vに統一>

今日、デジタル系の電源は5V,3.3V,2.5V,1.8V,1.2Vなど様々でノイズ対策の複雑化、電源効率の低下、実装面積の増大など弊害が大きいです。UIA5100のデジタル系電源は5V、3.3Vの2系統のみでシンプルです。3.3Vは5Vからリニアレギュレータで降圧しているので実質一系統です。

### <3系統グラウンドプレーン>

グラウンドは、アナログ部、デジタル部、スイッチング電源部の3系統で独立、グラウンドループを防止しています。

## 4. パーツ・コンストラクション

### 1. 信号経路のコンデンサ

一部のコンデンサは直線性が悪く、大きな歪が発生します。問題点への対処方法は、古くから確立されています。UIA5100 は以下の方法で、コンデンサによる音質劣化を回避しています。

- DC 精度の高いオペアンプをバランス構成にして、DC アンプ化（低オフセット電圧化）。
- 前記により、カップリングコンデンサを 1 箇所集中、直線性の良いフィルムコンデンサを使用。
- 位相補償など小容量コンデンサは、直線性の良い COH/COG セラミックコンデンサを使用。

### 2. 電源コンデンサ

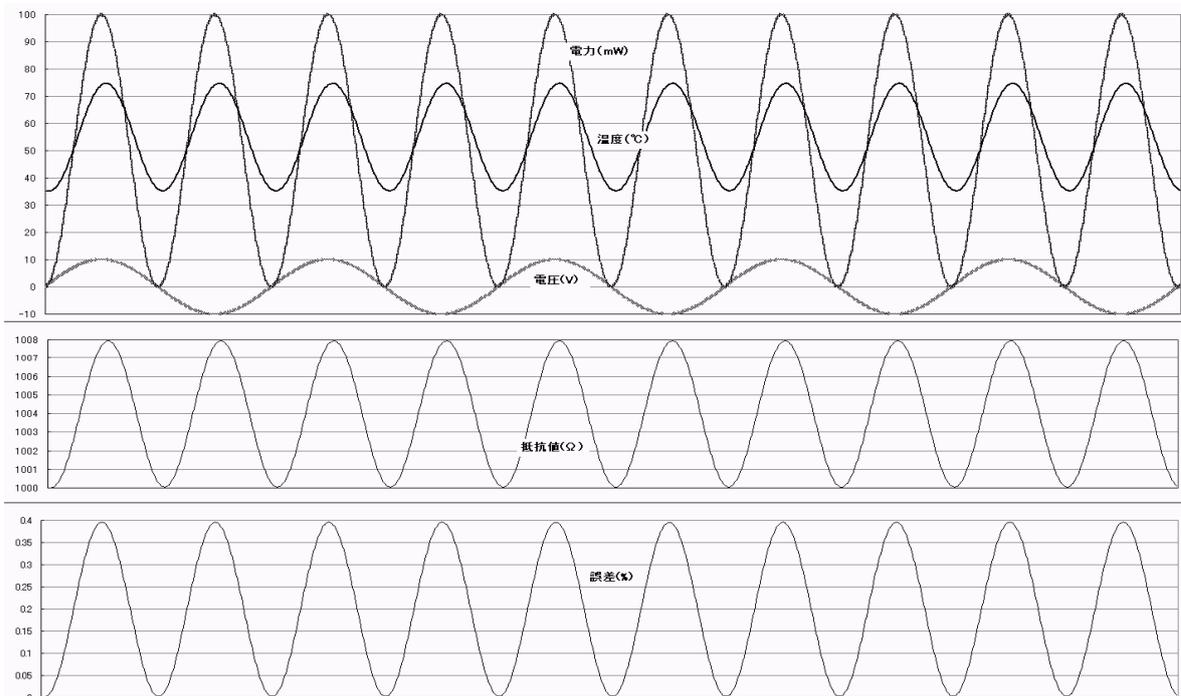
電源コンデンサに要求される性能は、ESR（抵抗成分）、ESL（インダクタンス成分）が低く（＝低雑音）、寿命が長いことです。電子機器の寿命を左右するのは、電解コンデンサなので、高信頼性品を使うようにしています。

- 電解コンデンサは、最低 105°Cグレードとし、スイッチング電源を考慮した低 ESR/低 ESL 品。
- 電解コンデンサの ESL（インダクタンス）の影響をキャンセルするため、積層セラミックコンデンサをパラレル接続。（※フィルムコンデンサは ESL の大きなものが多い）

### 3. 抵抗の熱変調歪とエクセルノイズ

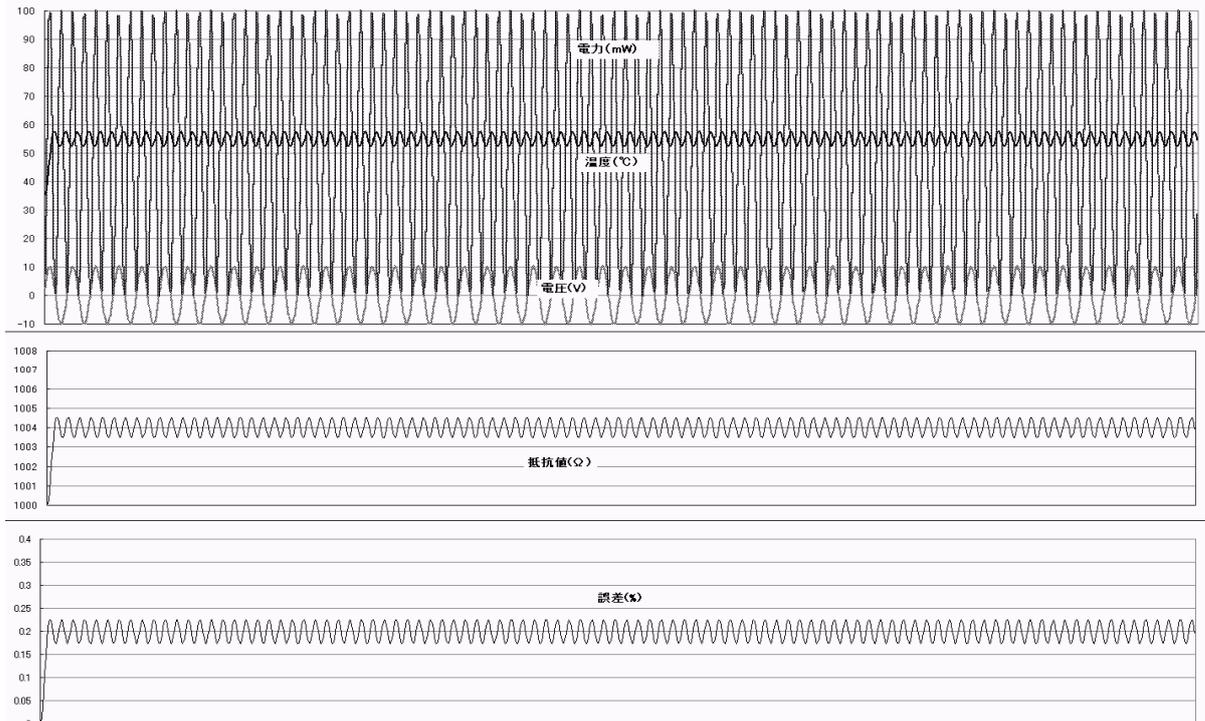
#### <抵抗で生じる歪>

パッシブ素子である抵抗は無歪と考えている人は多いですが、抵抗は、使い方次第で、大きな歪や雑音を生じます。厚膜やカーボン、酸化金属皮膜などの抵抗は、温度係数が $\pm 200\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 程度で、温度変化 $1^\circ\text{C}$ で抵抗値が $0.02\%$ 変化します。つまり抵抗に音楽信号を印加すると→電圧変化→電力変化→温度変化→抵抗値変化に繋がります。言い換えると音楽信号で抵抗値が変動するのです。下図は、温度係数 $200\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 、熱抵抗 $400^\circ\text{C}/\text{W}$ の $1\text{K}\Omega$ 抵抗に $\pm 10\text{V}$ の低速 SIN 波（下図・電圧）を印加した様子です。0~100mW の電力変動（下図・電力）、 $35\sim 75^\circ\text{C}$ の温度変動（下図・温度）が生じ、温度係数により抵抗値が $1000\Omega\sim 1008\Omega$ （下図・抵抗）変動します。グラフ下段は、 $1\text{K}\Omega-0\text{ppm}/^\circ\text{C}$ の抵抗と、前述の $1\text{K}\Omega 200\text{ppm}/^\circ\text{C}$ の抵抗で分圧した場合の利得変動（%）を表します。横軸の周期が、入力 $2$ 倍なので $2$ 次歪が $0.4\%$ 生じています。実際には温度係数は抵抗同士が基板で熱結合されて相殺し、影響は軽減されますが、無視できません。



#### <熱変調歪は低域でのみ問題>

次の図は、周波数を 10 倍にした様子です。熱時定数により温度変化が積分され、抵抗変化は $1\Omega$ に軽減、歪は $0.05\%$ に減少します。逆に先ほどの周波数でも熱時定数が大きければ（熱抵抗が小さい）、歪は軽減されるのです。



抵抗による歪を軽減するため、UIA5100 以下の対策を行っています。

- ◆ 抵抗の温度係数を小さくする（利得を左右する箇所は 25ppm/°C 薄膜抵抗を使用）
- ◆ 大電流の箇所は抵抗のサイズを大きくする（ワット数を増やす）
- ◆ 抵抗から基板への熱経路を太く、厚くする。（チップ抵抗の使用、35μm 厚）
- ◆ 抵抗同士を熱結合する。（チップ抵抗の使用、最短配線、太く厚い配線）

#### <熱雑音とエクセルノイズ>

抵抗が発する雑音は、抵抗値に比例する熱雑音が有名で、これは抵抗値を下げることで軽減しますが、設計上、限界があり、できる範囲でローインピーダンス設計を心掛けています。他にエクセルノイズと呼ばれる雑音もありますが、これは電流経路の散乱で発生する雑音で、直流電圧が大きく、周波数が低いほど増大する雑音です。エクセルノイズはカーボン抵抗や厚膜抵抗だけ発生し、UIA5100 で使用している薄膜抵抗では発生しません。

## 4. アナログ信号の切替はリレー

ボリュームの項で説明した通り、CMOS（半導体）スイッチはオン抵抗の電圧依存があり、後段をハイインピーダンス・ローキャパシタンスとしないと大きな歪が発生します。このためローインピーダンスのボリュームの前段に配置される入力切替部（DAC と LINE の切替）にはリレーを使っています。



## 5. 半導体

#### <ディスクリート>

信号経路に使用しているダイオードやトランジスタは、超低雑音・電極間容量(Cob)の小さいものを厳選、SMD 化（表面実装）も進めインダクタンスを軽減しています。

#### <デジタル>

可能な限りのロジック回路を 1FPGA、1 マイコンに集積。デジタル部を極小にまとめて、小さな実装面積、小さなレジューラル（輻射雑音）、小さなノイズループの悪影響を最小にします。

## 6. 省ワイヤ・シングルボード化

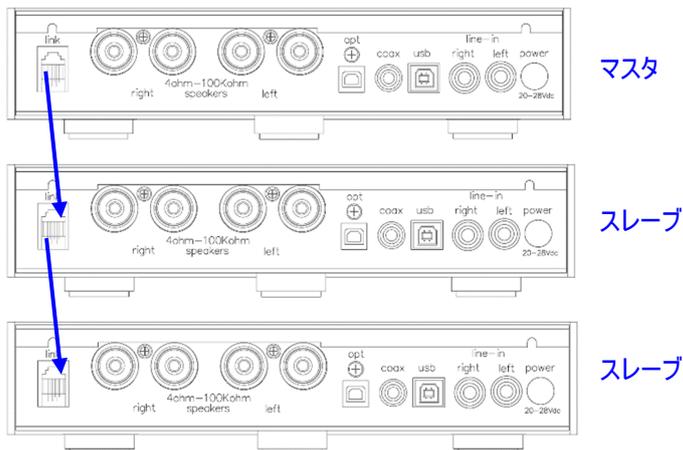
UIA5100 は、ほぼ 1 枚の基板に、全回路・全機能を集積しており、配線の引き回しは最小です。配線は、フロントの表示部、電動ボリューム、±36V スッチング電源、パワースwitchのみです。また 4 レイヤーガラスエポキシ基板により、内層 2 プレーンと表裏の空きエリアを使い、電源やグラウンドを大面積（低インピーダンス）で、かつ理想的に引き回しています。また表裏の表面層には太い電源パターンを引き回さずに済むので、信号線を最短にすることができます。

# 5.ファンクション

## 1. アンプリク

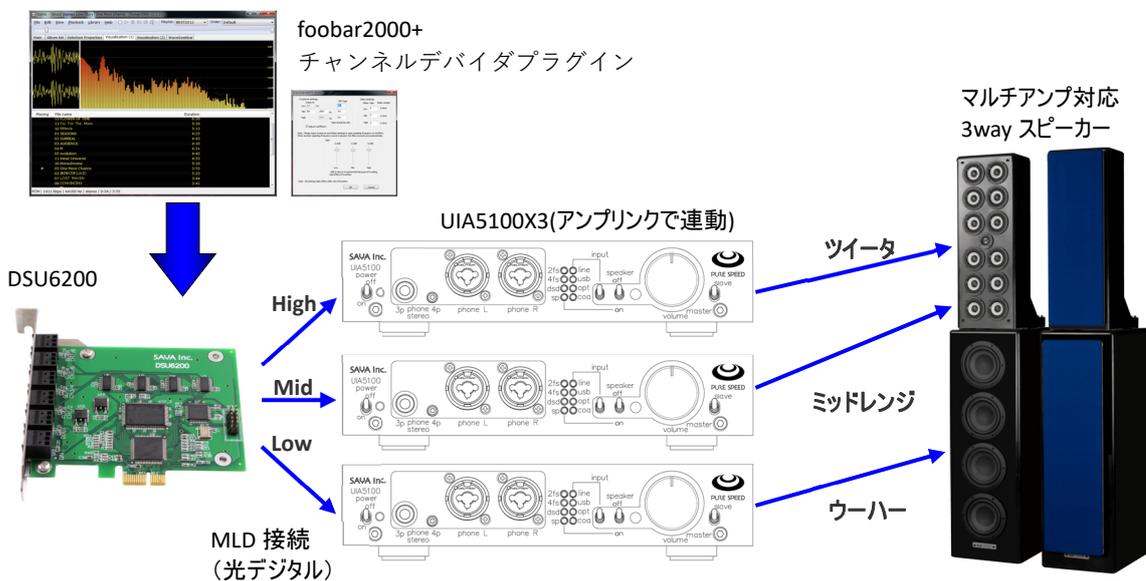
＜アンプリクで、音量・入力切替を連携＞

UIA5100 はマルチアンプ、マルチチャンネルサラウンド、AV ユース等を視野に入れており、最大 5 台を 10 チャンネルを連動できるアンプリクを搭載します。複数台の UIA5100 を連動させた場合、マスター設定された UIA5100 が、残りの UIA5100 をコントロールします。アンプリクケーブルは以下のようにディージーチェーン接続とします。



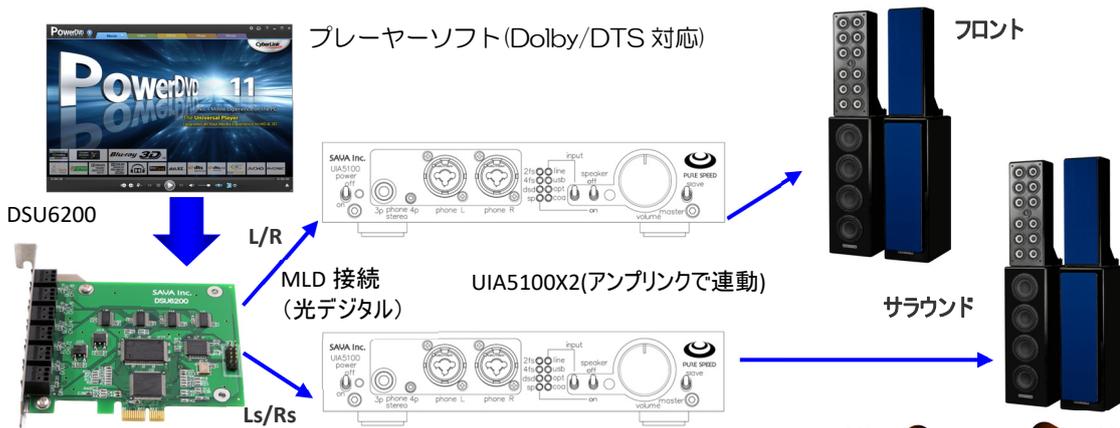
＜DSU6200 (MLD)と foobar2000 の組み合わせでマルチアンプ＞

DSU6200 はマルチチャンネル出力を 2ch 毎に独立して PCM 光デジタル出力する MLD 機能を搭載しています。ここに foobar2000 のチャンネルバイダプラグインにより周波数分割された信号を割当て可能で、下のようなデジタル接続によるマルチアンプを構築できます。[\(チャンネルバイダプラグインの使い方は PURE SPEED の Web サイトの foobar2000 パーフェクトガイドをご参照ください\)](#)

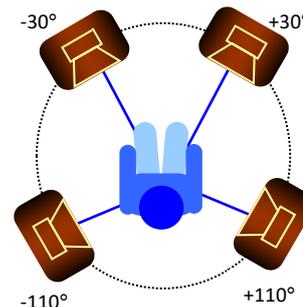


＜DSU6200 (MLD)との組み合わせで Dolby/DTS＞

DSU6200 は MLD 機能に、DolbyDigital や DTS 等マルチチャンネルサラウンド音声を最大 8CH 割当てられます。DolbyDigital や DTS の基本は 5.1ch で、ここからスピーカーを増やしていきますが、ピュアオーディオスピーカーなら、音像定位が良いのでセンタースピーカーは不要で、高品位な低音再生ができるのでサブウーハーも不要です。5.1ch からサブウーハーとセンタースピーカーをなくし、これらをフロントスピーカーにダウンミックスした再生方法を 4.0ch といいますが、以下は 4.0ch サラウンドシステムを DSU6200 と UIA5100 で構築した場合の構成図です。



スピーカーの配置は右の通りです。L/R は $\pm 30^\circ$ 、Ls/Rs は $\pm 110^\circ$ の角度で設置します。センタスピーカーを加える場合には $0^\circ$ 、バックサラウンドスピーカーを加える場合 $\pm 142.5^\circ$ の位置にスピーカーを加えます。 $\pm 5^\circ$ 程度の誤差が理想です。



#### <AV コントロールアンプとの組み合わせで Dolby/DTS>

前述の PC のプレイヤーソフト、DSU6200 を、AV コントロールアンプ (AV プリアンプ) に置換した例です。DAC は AV コントロールアンプのものを使いますが、AV ユースなら十分です。AV コントロールアンプでも 4.0CH のダウンミックス機能があるので、4CH レイアウトも実現できます。



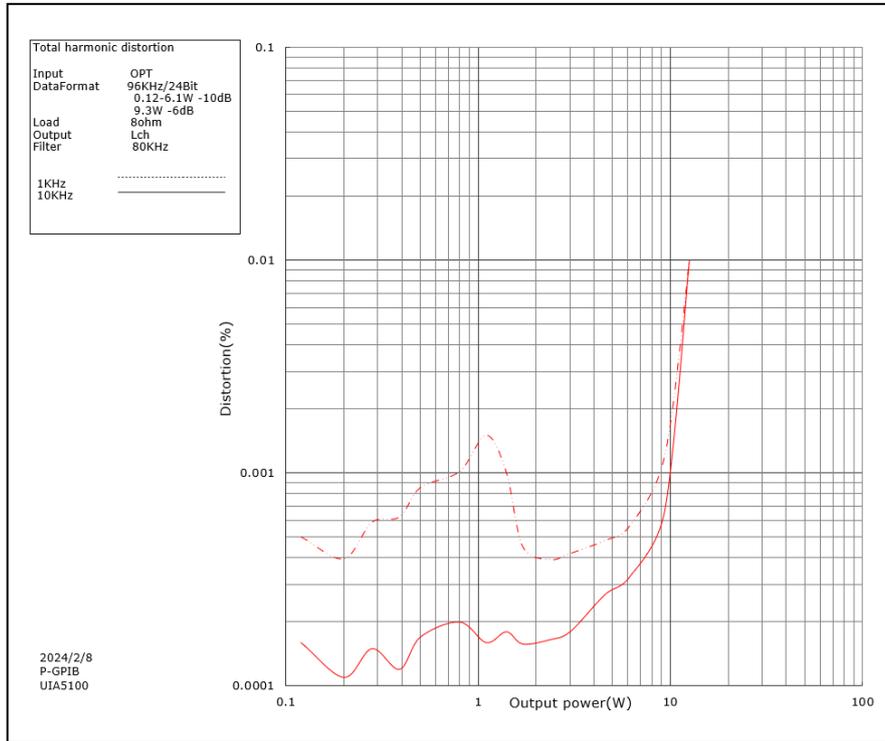
## 2. プロテクション

以下の保護回路が装備されています。保護回路による音質悪化は測定限界値で、聞き分け困難です。一部の保護回路はラッチ(保持)されますので、保護回路動作時には、電源を切り、原因を取り除き、音量を絞ってから、再起動してください。

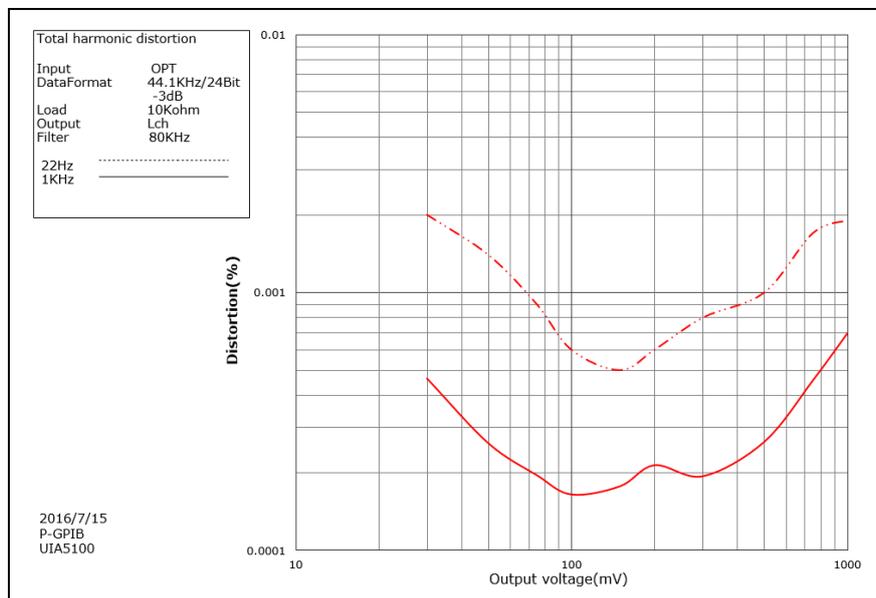
- ◆スピーカー出力・過電流保護回路
- ◆ヘッドフォン出力・電流抑制回路
- ◆同軸デジタル入力・過電圧保護回路+サージ鈍化回路
- ◆アンブリック回路・過電圧保護回路+サージ鈍化回路
- ◆電源部・過電流保護回路
- ◆電源部・温度保護回路
- ◆ヘッドフォン出力・ポップ音防止回路
- ◆スピーカー出力・DC 保護回路
- ◆ライン入力・過電圧保護回路+サージ鈍化回路
- ◆USB 入力・過電圧保護回路+サージ鈍化回路
- ◆アンブリック回路・電流抑制回路
- ◆電源部・突入防止回路
- ◆スピーカー出力・ポップ音防止回路

# 6.諸元性能

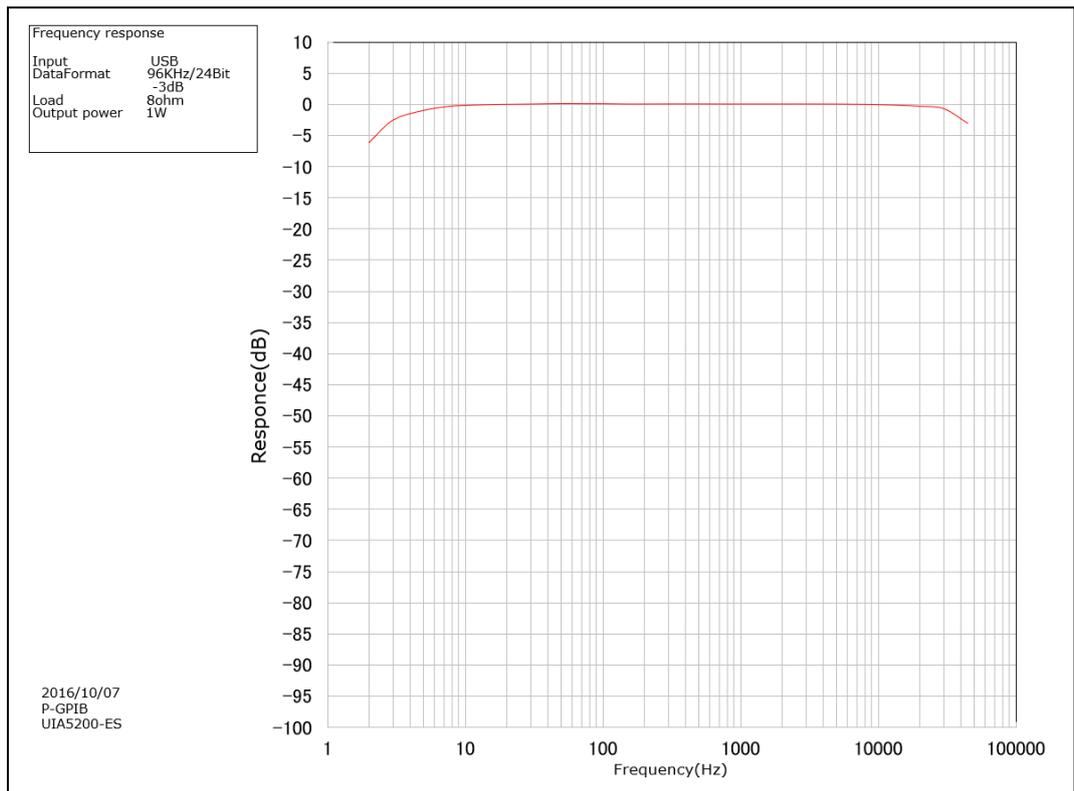
◇ 高調波歪率 (f2+f3+f4+f5) / 光デジタル入力 44.1KHz24Bit→スピーカー8Ω (抵抗負荷)



◇ 高調波歪率 (f2+f3+f4+f5) / 光デジタル入力 44.1KHz24Bit→ヘッドフォン (抵抗負荷)

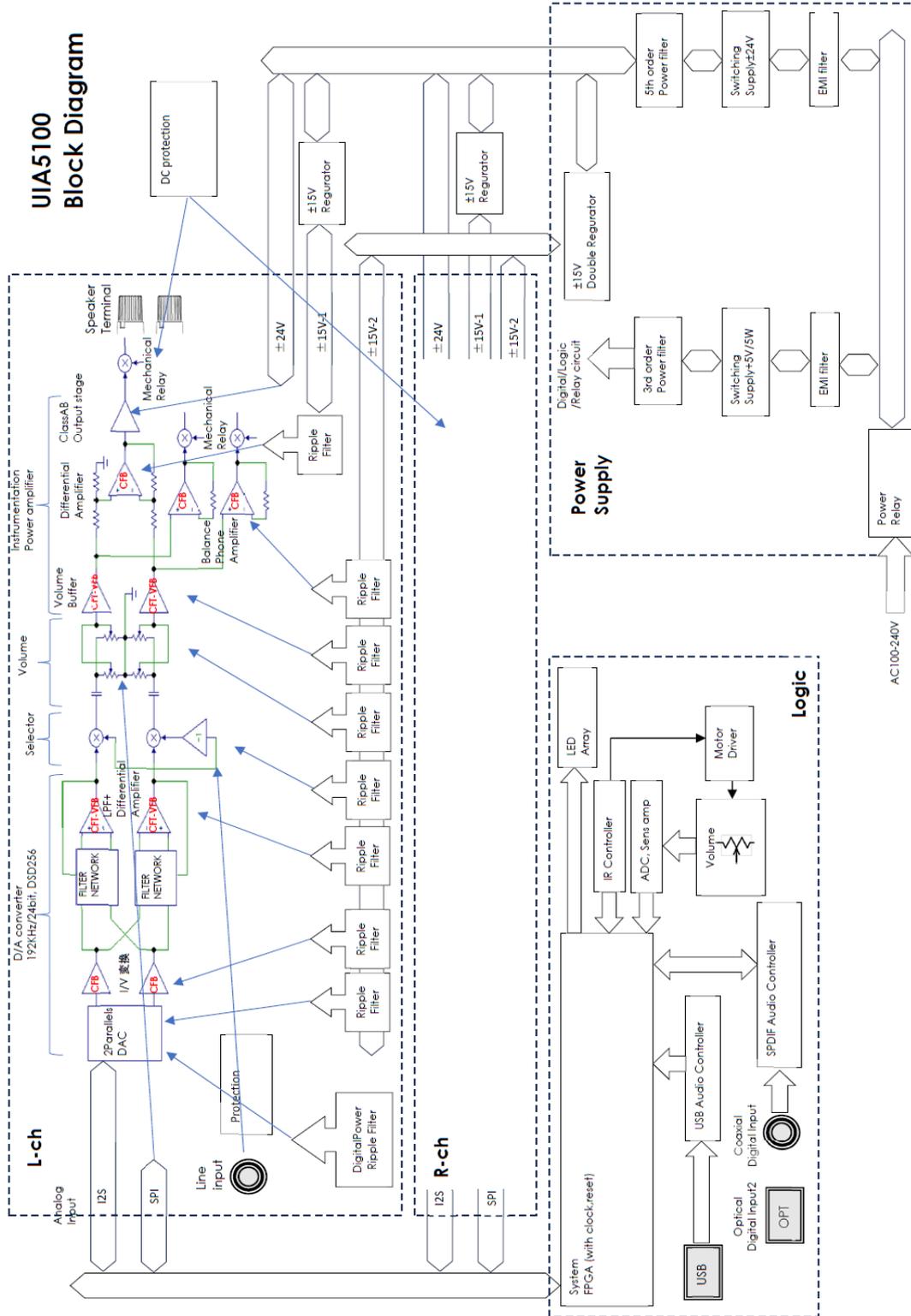


◇ 周波数特性 : 3Hz~45KHz -3dB



- ◇ 定格出力 : 14W+14W (8Ωスピーカー・音楽信号のみ)
- ◇ 周波数特性 : 3.15Hz~48KHz +0.15dB / -3dB
- ◇ 位相特性 : 20Hz +8.9°
- ◇ S/N比 : 99dB (出力 1W/8Ω、A ウェイト、光入力-3dB)  
: 103dB (出力 14W/8ΩA ウェイト、光入力-3dB)
- ◇ セパレーション : 91dB (出力 1W 時のリーク/8Ω/1KHz)
- ◇ ダンピングファクタ : 40 (出力 40W/8Ω/1KHz)
- ◇ ゲイン : 12.6dB (ライン⇒スピーカー インピーダンス 8Ω)  
: 12.6dB (ライン⇒ヘッドホン インピーダンス∞・バランス)
- ◇ 定格入力 : 2Vrms (ライン)
- ◇ 入力インピーダンス : 12.75KΩ (ライン)
- ◇ 負荷インピーダンス : 4Ω~64Ω (スピーカー) 16Ω~100KΩ (ヘッドホン)
- ◇ サンプリング周波数 : 光デジタル入力、同軸デジタル入力 44.1KHz~192KHz (16/24Bit)  
: USB (16Bit) 44.1KHz,48KHz,88.2KHz,96KHz,176.4KHz,192KHz  
: USB (24Bit) 44.1KHz,48KHz,88.2KHz,96KHz,192KHz  
: USB (1Bit/DSD) 2.8224MHz,5.6448MHz,11.2896MHz
- ◇ 消費電力 : 15.6W (無入力時)/66W (電気用品安全法)
- ◇ 寸法・質量 : W229.6 X H53.5 X D205.1mm (スピーカー端子・ノブ含まず)  
: 1.4Kg

# UIA5100 Block Diagram



<http://www.saya-net.com>  
<http://saya-audio.com/>

# PURE SPEED