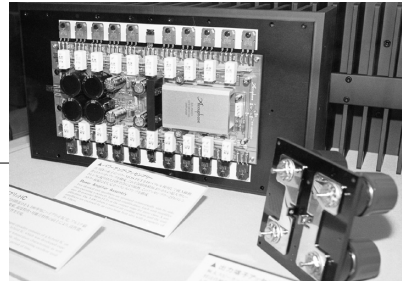


アキュフェーズ40年の歩み(2)

パワーアンプ回路技術の変遷 [前編]

柴崎 功 SHIBAZAKI Isao

パワーアンプ第1弾のP-300から純A級モノラルアンプA-100までの「電圧フィードバック型パワーアンプ」の注目モデルに絞って、回路技術を中心に振り返ってみよう。その後、同社のパワーアンプは現行モデルにも採用されている電流フィードバック方式が主流となっていく。



1991年全日本オーディオフェアで注目された、純A級100WアンプA-100のパワーアンプアッセンブリーとスピーカー端子

パワーアンプの第1弾 P-300

コントロールアンプC-200とペアになるデビュー作のパワーアンプP-300は、大型パワーメーターを装備した150W + 150Wのステレオアンプで、写真1~3に示す

造りとなっている。1973年8月に発売された当時の価格は、物品税込195,000円であったが、1973年の末以降オイルショックで諸物価が急騰したため、翌年には23万円に値上げされた。

トリオ（現JVCケンウッド）は、1970年代には山水電気やパイオニ

アと並んで「オーディオ御三家」と呼ばれ、日本オーディオ界の先頭集団の一角であった。そのトリオの中でもトップクラスの技術者陣が、1972年にスピニアウトして集結した新進オーディオメーカーがケンソニック（アキュフェーズの前身）なので、前号で述べたC-200と同様に、P-300にも当時としては最先端の技術と機能とアイデアが盛り込まれている。

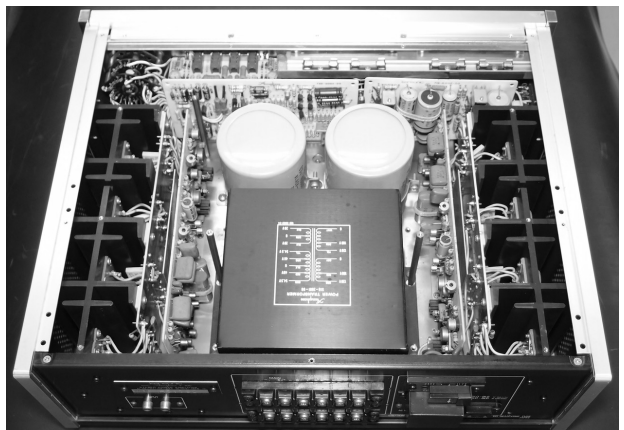
図1は信号系ブロック図であるが、入力端子はフロントとリアに装備され、入力アンプの後には可聴帯域外成分を急峻にカットする、



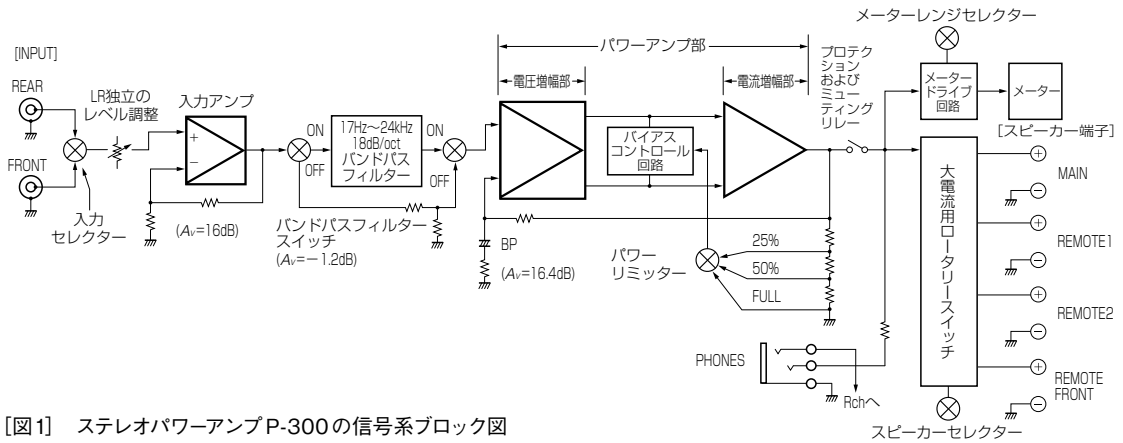
[写真1] 1973年8月に発売されたパワーアンプの第1弾P-300（150W/ch、物品税込195,000円→23万円）のサブパネルカバーを開けたフロント外観。入力端子とスピーカー端子は、リアパネルだけでなくフロントのサブパネルにも装備



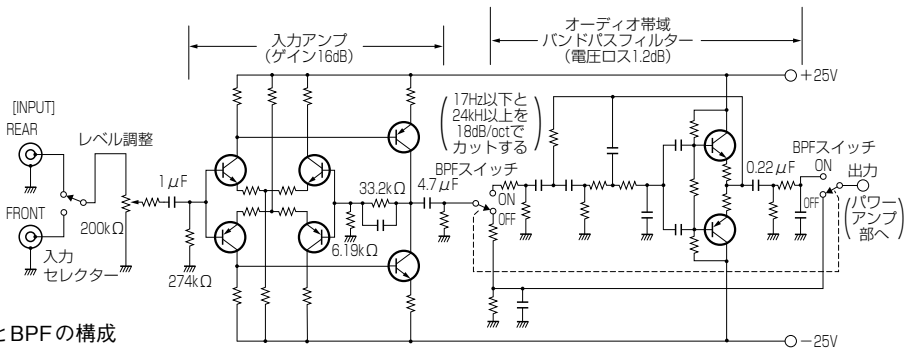
[写真2] 天板を外したP-300の後ろ姿。各ブロックはシールドケースで覆われている。リアパネルのスピーカー端子はプラスネジ型で、MAIN/REMOTE1/REMOTE2の3系統を装備



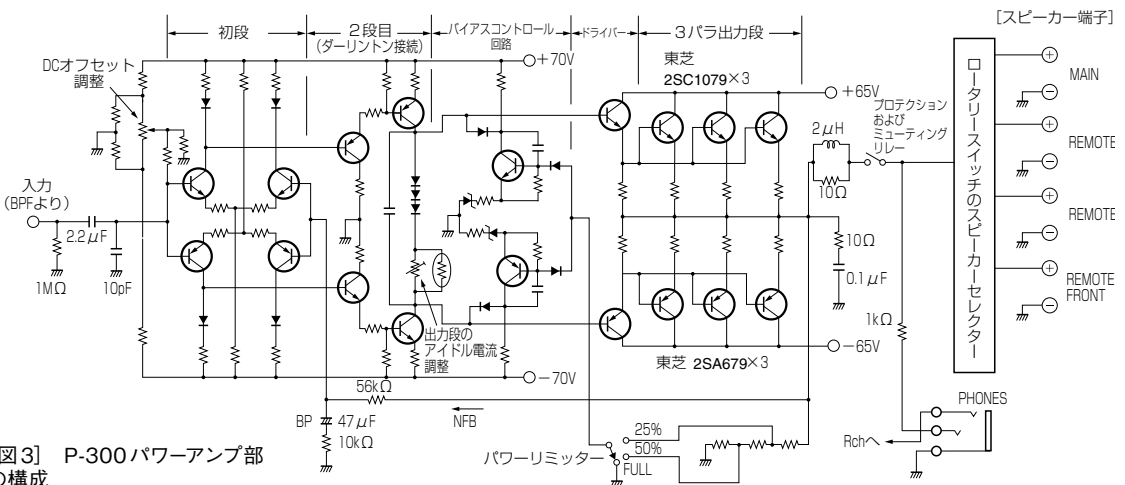
[写真3] シールドケースを外したP-300の内部。中央が電源部で、左右にパワーアンプブロック、フロントパネルの裏側に入力アンプ、フィルター回路、安定化電源回路の基板が配置されている



【図1】ステレオパワーアンプP-300の信号系ブロック図



【図2】入力アンプとBPFの構成



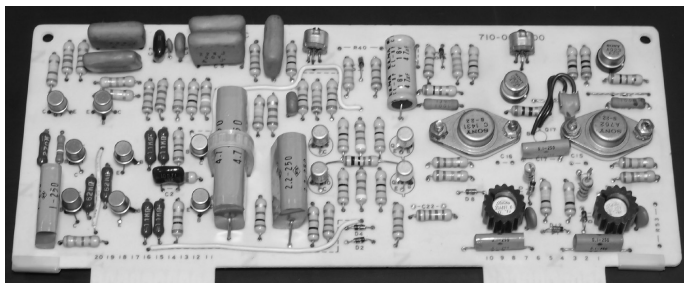
【図3】P-300パワーアンプ部の構成

バイパス可能なBPF（バンドパスフィルター）を装備。パワーアンプ部には最大出力を8Ω定格出力の1/2と1/4に制限するパワーリミッターが装備され、スピーカー端子はリアに3系統、フロントのサブパネルに1系統装備されている。

入力端子からBPFまでの構成は

図2のようになっており、入力アンプは差動回路+エミッター接地回路の上下対称プッシュプル構成になっている。上下対称プッシュプル構成は、同じ出力電圧を得るための電流変化量が半分となり、偶数次歪みを相殺し、交流的には上下のアンプが並列になるので、ラ

ンダムノイズ低減効果もある。唯一の欠点は、コストが高くなるということぐらいだろう。BPFはコンプリメンタリーSEPPバッファーを用いた正帰還型アクティブ2次フィルターの後に、1次CRフィルターを追加した構成で、17Hz以下と24kHz以上を18dB/octでカ



【写真4】 P-300の電圧増幅回路基板。この当時のモールドトランジスターには信頼性の低い製品があったので、信号系には高価なメタルキャン型高信頼トランジスターを全面採用



【写真5】 P-300の放熱器まわり。左端2個のTO-66パッケージトランジスターはドライバー一段の東芝2SC783と2SA483、残り6個のTO-3パッケージは3バラ出力段の東芝2SC1079と2SA679



【写真6】 出力段まわりの配線。トランジスターソケットとつながっている奥の基板がドライバー以降の電流増幅回路で、手前の基板が電圧増幅回路。基板間の中央部には、出力段から初段への飛び付きを防ぐシールド板が設けてある



【写真8】 P-400の内部。電源トランスからLRを分けたデュアルモノラル構成で、中央部にTO-3パッケージMOS-FET群とパワーアンプ基板を取り付けた放熱器、左右にLR独立の電源を配置。フロントパネル裏の基板には、安定化電源回路/保護回路/メーター駆動回路が搭載されている



【写真7】 1979年6月に発売されたP-400（物品税込41万円）の外観。第2世代のパワーアンプで、右端のプッシュスイッチがA級/AB級の動作モードセレクター。8Ω出力はA級モードが50W/ch、AB級は200W/ch。リアパネルには、放熱器温度に応じて回転速度が連続的に変わる空冷ファンを装備

ットする。

パワーアンプ部は図3の構成で、出力段はPc（コレクター損失）が100WのTO-3パッケージトランジスターを3パラレルプッシュプル接続。パワーリミッターは、ドライバートランジスターのベース電圧振幅を制限する構成だ。図3の電圧増幅部の基板は写真4、ドライバーと出力段の実装状態は写真5、6のようにになっている。

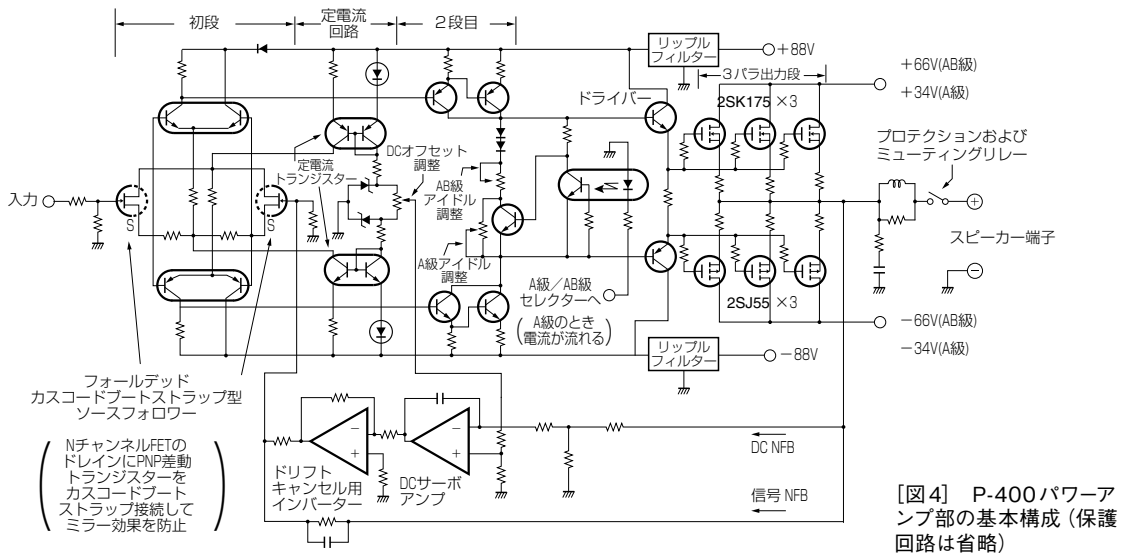
第2世代機 P-400

P-300が発売された翌年の1974年9月には110W/chのステレオパワーアンプP-250、1975年7月には初のモノラルパワーアンプM-60（300W/8Ω）、1976年5月には70W/chのステレオパワーアンプP-20が発売された。そして「第2世代機」と呼ばれているパワーアンプが、1979年6月に発売されたP-400である。

P-400の外観と内部は写真7、8のようにになっている。本機は電源トランスからLRを完全に分離したデュアルモノラル構成である点と、出力段にパワー MOS-FETを採用して、A級（50W/ch）とAB級（200W/ch）の動作モード切り換えができる点が大きな特徴である。

図4は、電流リミッターなどの保護回路や位相補正回路を省いたパワーアンプ部の基本構成で、「次世代機」ということでP-300とは回路が一新され、斬新な技術が随所に盛り込まれている。

初段はトランジスター差動回路の上下対称プッシュプル構成であ



【図4】 P-400パワーアンプ部の基本構成 (保護回路は省略)

るが、共通エミッター回路が定電流化されてコモンモード成分除去能力が強化され、ソースフォロワーの入力バッファが追加されて低インピーダンス駆動され、高域リニアリティも改善された。

しかもこのソースフォロワーは、上下の差動回路の共通エミッターが入力信号と同位相・同振幅で動く点に着目し、FETのドレインにPNP差動トランジスタのエミッターを接続して正帰還を掛けた、フォールデッド（折り返し）カスコードブートストラップ型ソースフォロワーとなっており、ゲート・ドレイン間電圧が一定となるのでミラー効果が防止される。

A級とAB級のバイアス電圧切り換えには、信号経路と制御回路を絶縁するためにフォトカプラーが用いられている。ノーマルモードのAB級ではLEDに電流を流さないため、フォトカプラー内のトランジスタはOFFとなり、そのコレクターにつながっているトランジスタがONになってA級アイドル調整ボリュームをショートする。LEDに電流を流すと、フォトカプラー内のトランジスタがON

になり、そのコレクターにつながっているトランジスタがOFFになるので、A級アイドル調整ボリュームが機能する。そして出力段の電源電圧は、A級動作時は34V、AB級動作時は66Vに切り換わるというしくみだ。

P-300では、帰還抵抗のアース側にコンデンサーを入れて100%のDC帰還を掛け、DC安定度を確保していたが、P-400ではDCサーボを導入して、帰還回路のアース側コンデンサーを追放しているのが特徴だ。しかもこの当時は現在のような超低オフセットオペアンプICが入手困難であったため、デュアルオペアンプICを用いてDCサーボアンプと反転アンプを組み合わせ、DCオフセットの温度ドリフトを相殺するという工夫が凝らされている。

なおP-400の弟分に、A級出力30W/ch、AB級出力130W/chのP-260（物品税込21万円）があり、これは1979年4月に発売された。

第3世代機 P-600

1981年7月には500WのモノラルアンプM-100、1983年3月に

はP-260と同出力の後継機P-266が発売されたが、1983年4月には「第3世代機」と呼ばれる300W/chのステレオパワーアンプP-600が発売された。

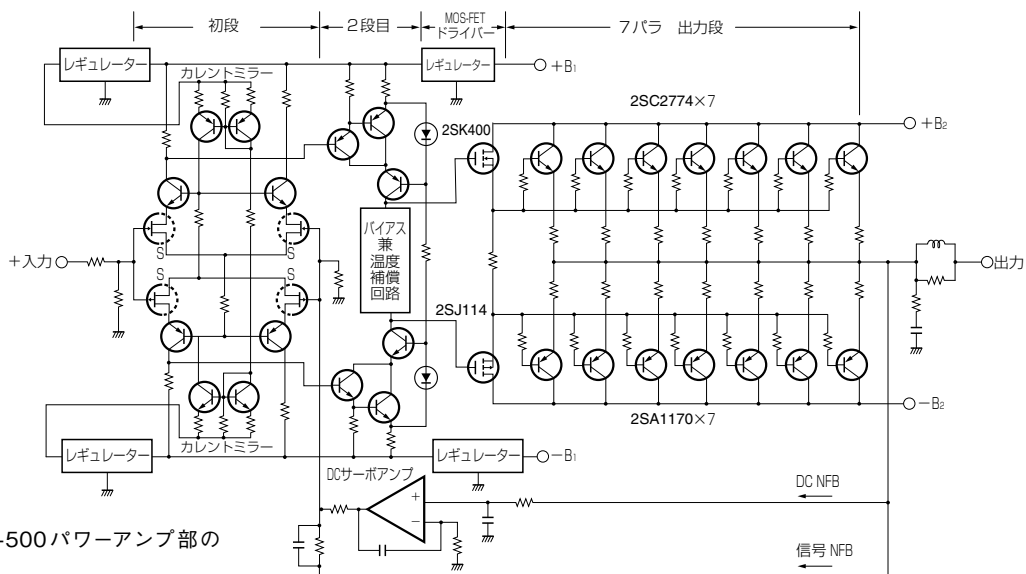
1982年10月にCDが登場してデジタルオーディオの時代が来ると、アナログオーディオより広いダイナミックレンジが得られるため、そのメリットが生かせるCD対応アンプが必要になる。そこで瞬時電流供給能力を強化して低インピーダンス負荷に強くし、再生中にインピーダンスが大きく変化する鳴らしにくいスピーカーでも、より入力信号に忠実な再生ができるように配慮したのがP-600である。外観は写真9のように大型で、内部は写真10のようになっている。

パワーアンプ部は図5の基本構成で、初段はバイポーラートランジスタをカスコードブートストラップ接続した差動回路の上下対称プッシュプル構成、2段目はダーリントン接続エミッター接地トランジスタに同極性トランジスタをカスコードブートストラップ接続した上下対称プッシュプル構成で、カスコードブートストラップを



【写真9】 1983年4月に発売されたP-600（物品税込65万円）の外観。第3世代のパワーアンプで、デジタルのパワーメーターを搭載。低インピーダンス負荷駆動能力重視設計で、保証出力は8Ω300W/ch, 2Ω700W。ブリッジ接続にすれば1000W/8Ωのモノラルアンプになる。リアパネル中央のカバーを外せばオプションの空冷ファンが取り付け可能

【写真10】 P-600の内部。大型トロイダル電源トランスと大容量ブロックコンデンサーを中央に置き、MT-200樹脂パッケージトランジスター群を取り付けたパワーアンプ基板と合体した放熱器を左右に配置。中央部の3基板は、フロントパネル側から順にデジタルパワーメーター回路、ロジックコントロール回路、安定化電源と保護回路という配置だ



【図5】 P-500パワーアンプ部の基本構成

導入して、高域特性とリニアリティの改善が図られている。

ドライバーには日立（ルネサスエレクトロニクス）の電力増幅用MOS-FET, 2SK400と2SJ114が投入されているのが特徴で、バイポーラトランジスターだと3段ダーリントンにする必要があるところを、高入力インピーダンス、低

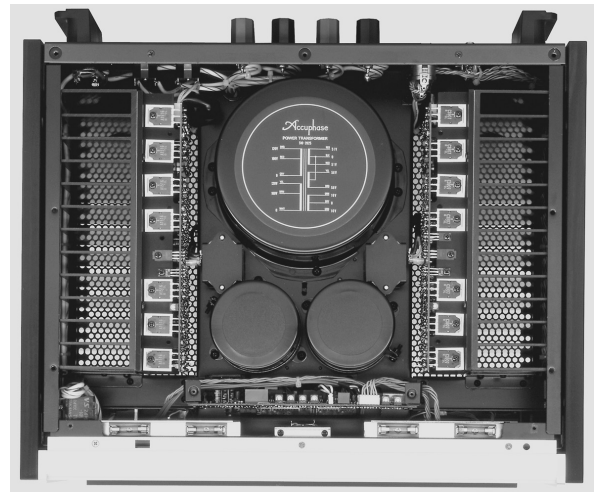
出力インピーダンスでピークで12Aも流せるMOS-FETを用いて、2段ダーリントンで済ませている。

出力段には200Wで17Aという最大定格で、放熱性の良い2点留め大型樹脂パッケージMT-200を採用したサンケン2SC2774と2SA1170を7パラレルプッシュプルで用い、2チャンネル同時駆動で

8Ωで300W/ch, 2Ωで700W/chの出力を保証。ブリッジ接続（BTL接続）モードにすれば8Ωで1000W, 4Ωで1400Wのモノラルアンプになる。また低インピーダンス負荷動作スイッチが装備されているので、これをONにすると出力段の電源電圧を下げ、1Ωという超低インピーダンス負荷



[写真11] 1991年3月に発売されたP-360(税別37万円)の外観。P-300シリーズの後継機で機能等の基本は300シリーズを踏襲。フロントパネルは左右対称配置に変更され、スピーカー端子を2系統装備。保証出力は8Ω200W/ch, 2Ω400W/chで、ブリッジ接続で600W/8Ωモノラルアンプになる



[写真12] P-360の内部。パワーアンプ基板に取り付けたTO-3P樹脂パッケージの出力トランジスター群を、L形金具を介して放熱器に取り付けている。電源部を中央に置き、パワーアンプブロックを左右、メーター回路/保護回路/ヘッドフォンアンプなどを搭載した基板をフロントパネルの裏側に配置している

に対して450W/chの出力が保証されている。さらに、通風の良くない環境でも安心して大パワーが出せるよう、リアパネルは別売空冷ファンを増設できる構造になっている。

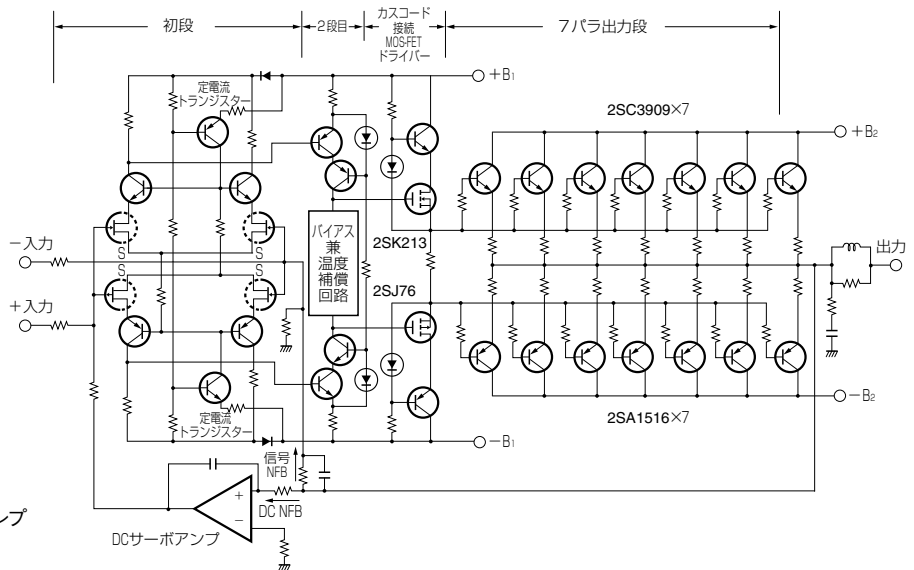
P-300シリーズの後継機 P-360

P-300シリーズは、1973年8月のP-300から始まって、1977年9

月にP-300S, 1980年6月にP-300X, 1984年6月にP-300L, 1987年7月にはP-300Vに進化した。しかし一連のアキュフェーズパワーアンプが左右対称デザインに移行したので、機能などの基本部分はP-300シリーズを踏襲しつつデザインを写真11のように一新し、当時の最先端技術を採用入れたP-300シリーズの後継機P-360が登場した。写真12はその内部構造で、パワー

アンプ部の基本構成は図6のようになっている。

一見すると図5の回路と似ているが、P-600はパワーアンプ部が+入力端子だけのアンバランス入力で、バランス入力信号はバランス/アンバランス変換回路でアンバランス信号に変換していた。それに対してP-360は、パワーアンプ部を+と-の入力端子を備えたバランス入力型にしてバランス信号を



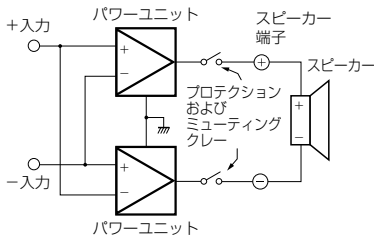
[図6] P-360パワーアンプ部の基本回路



[写真13] 1991年12月に発売された純A級100WモノラルアンプA-100(税別95万円)の外観。両サイドに大型放熱器を配置して自然空冷で純A級100Wを実現。大型スピーカー端子を2系統装備してバイワイヤリングに対応。57kgと重いので、運搬用にフロントには頑丈なハンドル、リアには縦置き時にスピーカー端子を保護するスタンドが付いている



[写真14] A-100の内部。約1kVAの大型トイダル電源トランスと68000 μ Fの大型電源コンデンサーが内部の大半を占有。左右に配置された大型放熱器には、ハイブリッドIC化した電圧増幅回路と、10パラ接続のパワーMOS-FET群を搭載したパワーアンプ基板(タイトル写真参照)が取り付けられている。フロントパネル裏側の基板に搭載されているのは、メーター駆動回路/保護回路/安定化電源回路だ



[図7] A-100のバランス接続

直接入力できるようにし、バランス入力のクオリティが改善されている。

差動アンプの定電流回路は、ダイオードとトランジスターを少々変わった形で組み合わせた変形カレントミラーである。これは+側定電流トランジスターの電流を-電源側ダイオードに流し、-側定電流トランジスターの電流を+電源側ダイオードに流して相互に帰還させ、+側と-側の定電流値を自動的にバランスさせる構成だ。

ドライバー段は、P-600はMOS-FETが単独で用いられているが、P-360ではバイポーラトランジス

ターをカスコードブートストラップ接続したMOS-FETにグレードアップされてリニアリティがより向上した。

DCサーボは、P-600では正相アンプを用いて-入力側にDC NFBと信号NFBをかけているが、P-360では反転アンプを用いて+入力側にDC NFBをかけ、-入力には信号NFBだけをかける構成になった。

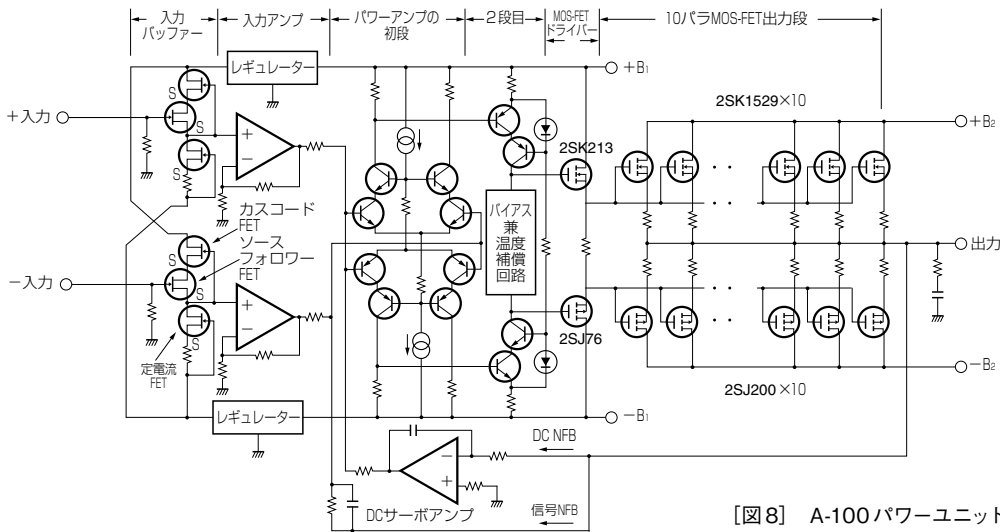
純A級ハイパワーアンプ A-100

1991年10月に池袋サンシャインシティで行われた全日本オーディオフェアでは、アキュフェーズブースに8 Ω 100Wの純A級モノラルパワーアンプA-100(写真13)とその構成部品(タイトル写真)が展示されて注目された。

純A級アンプは出力段の効率が

30%程度と低い。そのため、周辺回路の電力消費を含めると出力電力の3.5倍前後の電力を消費し、放熱が大変なのでハイパワーアンプの実現は非常に困難である。そこでアキュフェーズは、写真14のように大型筐体の両サイドに大型放熱器を配置し、10パラレルプッシュプルMOS-FET出力段のパワーアンプ2個をブリッジ接続にして、保証出力が8 Ω 100Wの自然空冷純A級モノラルパワーアンプを実現した。

ブリッジ接続はアンプを2台用い、正相アンプと逆相アンプの出力端子間に負荷を接続するため、同じ出力を得るアンプ出力電圧が1/2で済む。このため電源電圧が低くできて低耐圧大容量のコンデンサーが使用でき、半導体は2次破壊しにくくなって信頼性が向上し、A級動作領域では電源電流が



【図8】 A-100パワーユニットの基本構成

一定となって、信号で出力段電源電圧が振られなくなるというメリットがある。

A-100はバランス入力のパワーユニット2個を図7に示すバランス接続で使用して、アンプ内部で発生するノイズを相殺し、より高S/Nで高純度の出力信号が得られるよう配慮されている。

パワーユニットは図8の基本構成で、入力バッファー/レギュレーター/パワーアンプの初段と2段目/オペアンプ群はハイブリッドIC化されている。このハイブリッドICは、60×35mmの高熱伝導アルミナ磁器回路基板上にチップ部品を取り付けてモールド処理し、厚手のアルミシールドカバーを取り付けたもので、温度特性や耐雑音性の向上に大きく寄与しているそうだ。アルミカバーは金色アルマイト処理なので、見た目も豪華である。

入力バッファーはNチャンネルFETの3石構成で、ソースフォロワーFETのドレイン側にカスコードFET、ソース側には定電流FETを付けて、高域特性やリニアリティの改善と、ゲートリーク電

流の低減が図られている。パワーアンプの初段は、カスコードブートストラップ型トランジスタ差動回路の上下対称プッシュプル構成、2段目はエミッター接地トランジスタに同極性トランジスタをカスコードブートストラップ接続した上下対称プッシュプル構成である。

ドライバー段は、MOS-FETのシンプルなプッシュプル構成になっている。P-360のようにMOS-FETをカスコードブートストラップ接続にしなかったのは、ブリッジ接続の100Wアンプは各ユニットアンプの出力振幅が25Wアンプ並みと小さいため、わざわざカスコードブートストラップ接続にしろなくても十分なりニアリティが得られるためだろう。出力段には最大定格が120Wで10Aの東芝2SK1529と2SJ200が、10パラレルプッシュプルで用いられている。

NFBはP-360と同様に、出力から初段の+入力側に反転型DCサーボアンプを用いたDC NFB、-入力側には信号NEBがかけられている。A-100の保証出力は8Ωで100W、4Ωで200W、2Ωで400Wとな

っている。

純A級パワーアンプは、2年後の1993年5月に50W/chのステレオアンプA-50が発売されたが、アキュフェーズのパワーアンプはこのA-50までが「電圧フィードバック型」で、1994年に登場したP-550以降の製品には「電流フィードバック」が採用されている。

今回は、「電流フィードバック」を採用したP-550以降のパワーアンプ群を紹介する。

【取材協力】

アキュフェーズ株式会社
社長：齋藤重正氏、副社長：伊藤英晴氏
専務取締役：鈴木雅臣氏

【参考文献】

- アキュフェーズ提供資料
 - 羽山和寛：ステレオパワーアンプ アキュフェーズP-400、電波科学、1979年、日本放送出版協会
 - 羽山和寛・高島徹：A-100にみるパワーアンプのA級オペレーションと回路ブロックの詳細と特性測定、ラジオ技術、1992年3月号
- ※写真1、および写真7～14は、アキュフェーズ提供