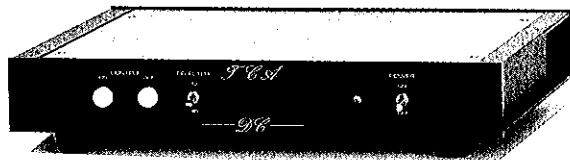




テクニクスSP-10 Mk1, SP-10 Mk2用, バッテリードライブ

ターンテーブル制御アンプ

N° 24



テクニクスSP-10シリーズ用ターンテーブル制御アンプは、乾電池駆動式から始まった。長い間大きな改良を受けずにいたが、完全対称アンプの導入でAC100V駆動式が音質的にも使い勝手の面でも優位となった。2009年にはこの技術を投入してSP-10用制御アンプを発表し、好結果を得たが、最近開発したリチウムイオンバッテリーによるプリアンプとパワーアンプの成果を導入すべく、ターンテーブル制御アンプも再度バッテリー電源を採用することになった。

はじめに

DCアンプの世界には、どんなに努力しても超えられない音の壁が存在する。例えば半導体アンプと真空管アンプの音の違いである。同一ポリシー、同一回路方式で設計・製作しても、半導体アンプと真空管アンプには歴然とした音の違いがある。これはどちらが良いとか悪いとかの問題ではない。それぞれのアンプに音の特徴があり、音楽表現と表情に差が出るのだ。しかもアンプが進化するほど、その差はいっそう鮮明になる。それが特に顕著に現れたのが、半導体D/Aコンバーターと真空管D/Aコンバーターである。

AC電源アンプとバッテリードライブアンプの音にも、一瞬聴いただけでわかる音の差がある。

と透明度に差が出てくる。バッテリードライブアンプは実用性を確保するために、厳しい条件が課せられているが、その音は自由奔放で生命力に溢れている。

優れた方式は信号経路の入力に近いほど効果が顕著に現れる。また最後まで残された箇所ほど、音の進化度が鮮明に出る。

アナログ再生系で最後に残されたバッテリードライブアンプはターンテーブル制御アンプであり、入口に近い箇所という条件でもターンテーブルになる。だからターンテーブル制御アンプこそ、最もバッテリードライブの効果が期待できるのだ。

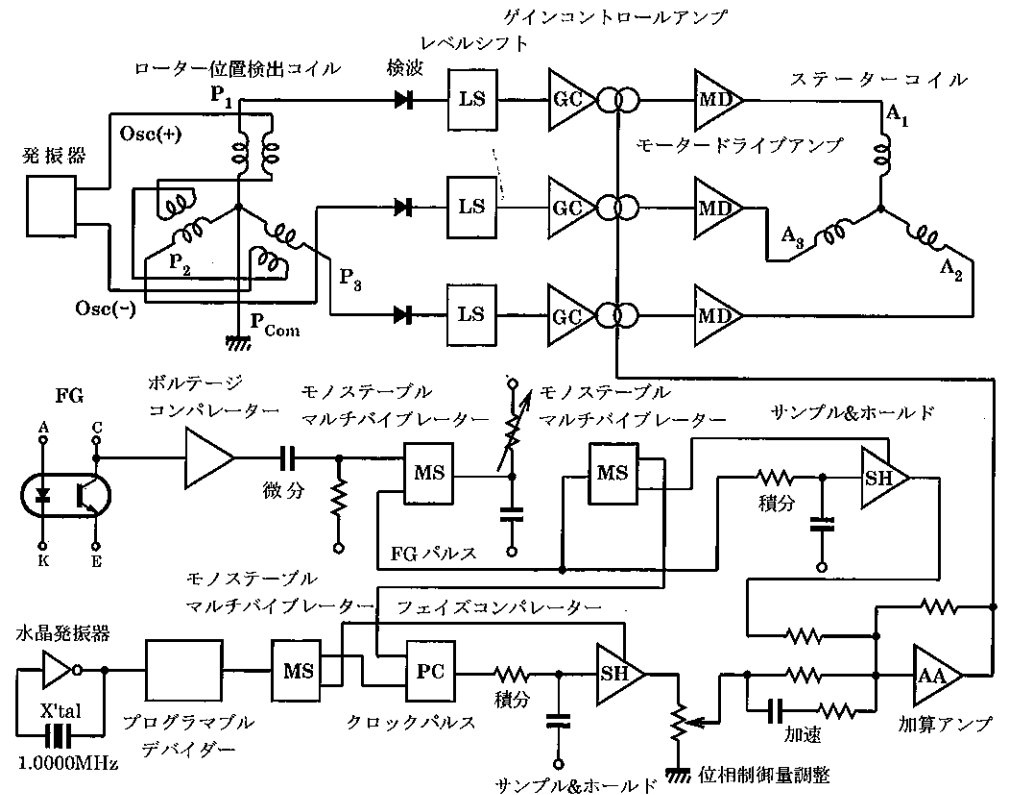
かつてのターンテーブル制御アンプはバッテリードライブであったが、その音をAC電源制御アンプが超えたのは、つい2年前のこと

に進むのだ。行く手にどんな音が待っているだろう。

本機的设计方針

本制御アンプはAC電源制御アンプとの比較を考慮して、テクニクスの最高峰ターンテーブルSP-10 Mk1を対象にする。設計に重点をおいて説明するが、最も製作する人が多いMk2についても取り上げる。

さて、いかにバッテリードライブの音が良くても、バッテリーの寿命が短く、充電間隔が短ければ実用性に乏しいシステムになる。バッテリーの残量を気にしながら聴いたのでは、音楽に対する集中力も、感動も半減するだろう。ターンテーブル制御アンプこそ最も実用性が求められるアンプである。そこで、本機ではすでに完成の域



【図1】ターンテーブル制御アンプのブロックダイアグラム

ターンテーブル制御アンプのブロックダイアグラム

図1はターンテーブル制御アンプに欠かせないブロックダイアグラムである。各ブロックの働き、ブロック間の関係、信号経路についてよく理解して欲しい。特にパルス回路では、電圧レベルはH（ハイレベル）とL（ローレベル）の2つだけだが、パルスの立ち上がりの時刻、継続時間、立ち下がるの時刻に大事な情報が含まれていることに注目しよう。

上段はモーターを一方方向に回転させるモータードライブ部である。SP-10シリーズのモーターは3相ブラシレスDCモーターでステ

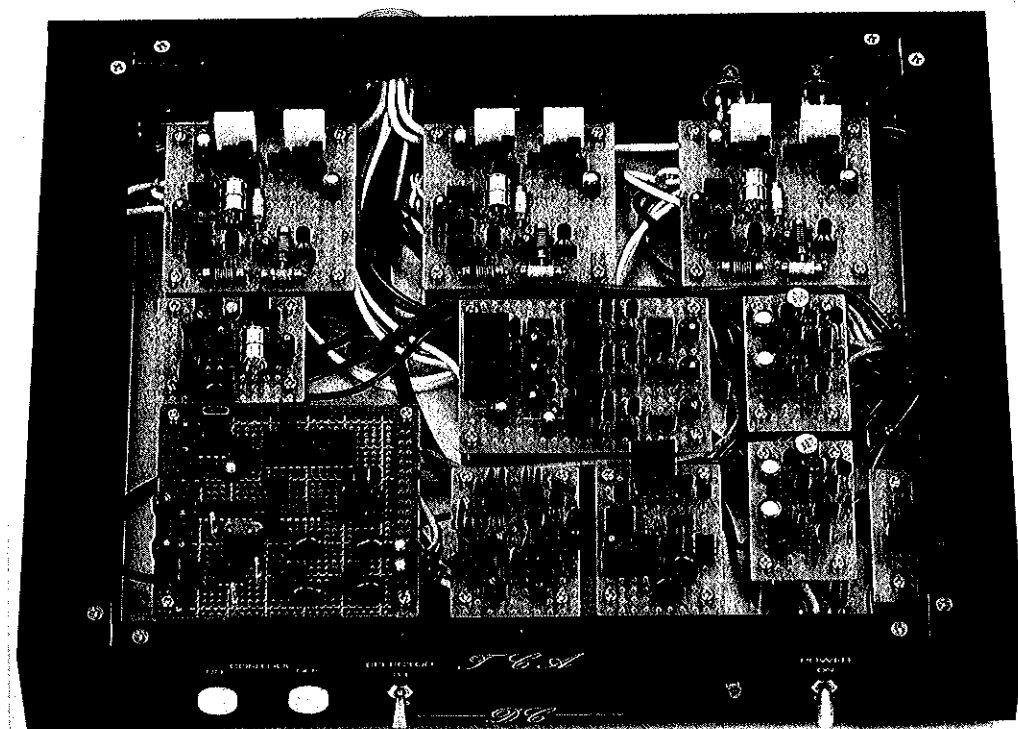
ータのローター（回転子）の外周に着磁された磁極が磁力を受けて回転する。正常な回転をさせるにはステーターに対するローターの位置（回転角）に対応する波形の電流を、フィールドコイルに流さなければならぬので、ローターの位置を正確に検出する必要がある。位置検出には電磁誘導を応用した高周波トランス方式を使用する。すなわちコイルP₁、P₂、P₃をステーターの内周に120°の角度で3組並べておく。各コイルはごく接近して並べられた1対のコイルからなり、3組共通の1次コイルに高周波電流（88kHz）を流す。独立した2次コイルには電磁誘導で

生じた電圧が出力される。この電圧はレベルシフト（LS）で除去すると、ローターの回転位置を表す位置信号が得られる。この位置信号は正弦波が変形したような波形であり、SP-10シリーズそれぞれに特有の波形になる。Mk1の場合は1周期の間に+側に2山、-側に1山の独自の波形になる。Mk2

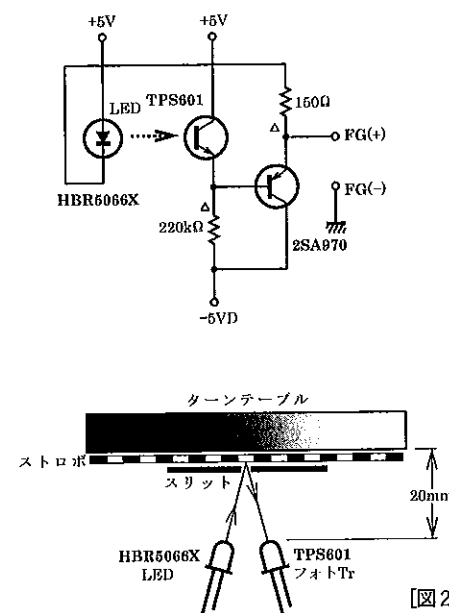
起電力が大きくなる。突起がコイルから遠ざかると起電力が弱くなる。

このように2次コイルにはローターの回転位置に従って振幅が変化する振幅変調波が発生する。

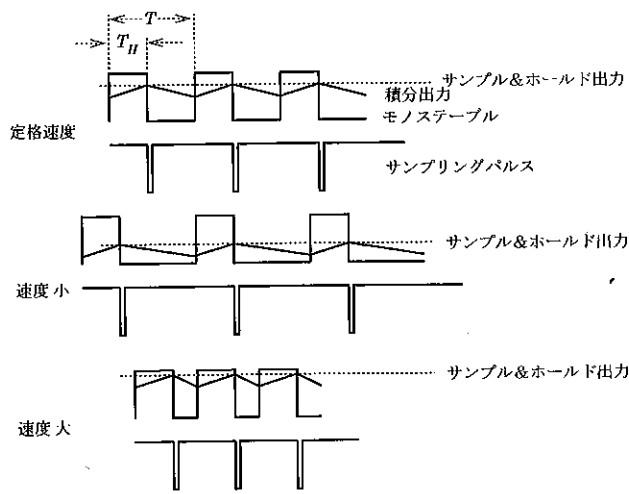
振幅変調波をダイオードで検出し、ローパスフィルターで高周波成分（搬送波）を取り除き、DC分をレベルシフト（LS）で除去すると、ローターの回転位置を表す位置信号が得られる。この位置信号は正弦波が変形したような波形であり、SP-10シリーズそれぞれに特有の波形になる。Mk1の場合は1周期の間に+側に2山、-側に1山の独自の波形になる。Mk2



プリアンプなどと同じサイズのシャーシに多数の基板を収容したターンテーブル制御アンプ。ほかのアンプと違って音を出すわけではないが、音質の追求方法は変わらない



【図2】 SP-10Mk1速度検出部



【図3】 速度制御部のタイミングチャート

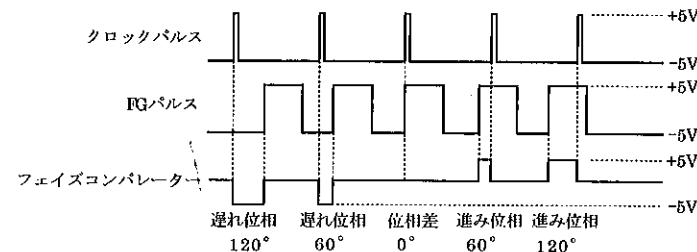
転状態を検出する。

フォトTrの出力波形をシャープな波形にするために、ストロボの直前に2mm×1mm角穴のスリットを設ける。ストロボ面の反射率や吸収率は均一ではないので、フォトTr出力波形の山や谷の部分は絶えず揺れている。そこで出力TrのエミッターからLEDに電流をフィードバックして、出力振幅の揺らぎを少なくする。反射光が弱ければ、エミッター電流が増えLEDを明るくして、反射光を強くする。本機では速度検出用LEDとフォトTrをFGと呼ぶ。

FG波形の振幅はデジタル回路が受け取る信号としては小さいので、ボルテージコンパレータ (VC) でシャープな方形波に変換する。VCはFG出力電圧を0Vと比較し、高ければH (+5V)、低ければL (-5V) を出力するゼロクロスデテクタとして機能する。

VC出力波形を微分回路で立ち下りの時刻を検出して、モノステープルマルチバイブレータ (MS) をトリガーする。MSはトリガー直後に一定時間幅 (T_H) の正パルスが発生する。 T_H の時間幅は速度調整VRで決まる。

図3は速度制御部のタイミングチャートである。MSはトリガーパルスが来るたびにトリガーされ、周期 (T) のパルス列が発生する。 T は回転速度に対応したFG周期であり、この逆数がFG周波数になる。 T_H は一定なので、回転が遅くなれば T が長くなれば T に対する T_H の時比率は小さくなる。回転が速くなれば T が短くなり、時比率は大き



【図4】 位相制御部のタイミングチャート

ンプリングパルス (SP) が入った時刻の電圧をサンプルし、その電圧を次のSPの入力時刻までホールドする。SPのパルス幅は T より遙かに短い時間だ。SPを作る役割がもう2台あるMSだ。

FGパルスの立ち下りの直後にSPがSHに送られる。と同時にFGパルスが積分回路で三角波に変換されてSHに入力される。サンプリングのタイミングは三角波のピーク時であり、この時刻の電圧がサンプルされホールドされる。定格速度で回転しているときは、SHの出力電圧は定格速度の時比率に対応する値になる。

三角波のスロープは立ち上がりも立ち下りも積分時定数とFGパルスのレベル (+5V, -5V) で決まり一定だ。

回転速度が定格速度より遅くなると、積分波がマイナスに移動し、SHのレベルもマイナスに移動する。これが加算アンプ (反転アンプ) で反転されて、プラスに移動する。この電圧がゲインコントロールアンプ (GC) のコレクター電流を増加させ、GCのゲインが大きくなって、モータードライブアンプ (MD) の出力電流が増加、トルクが増加してモーターが加速される。

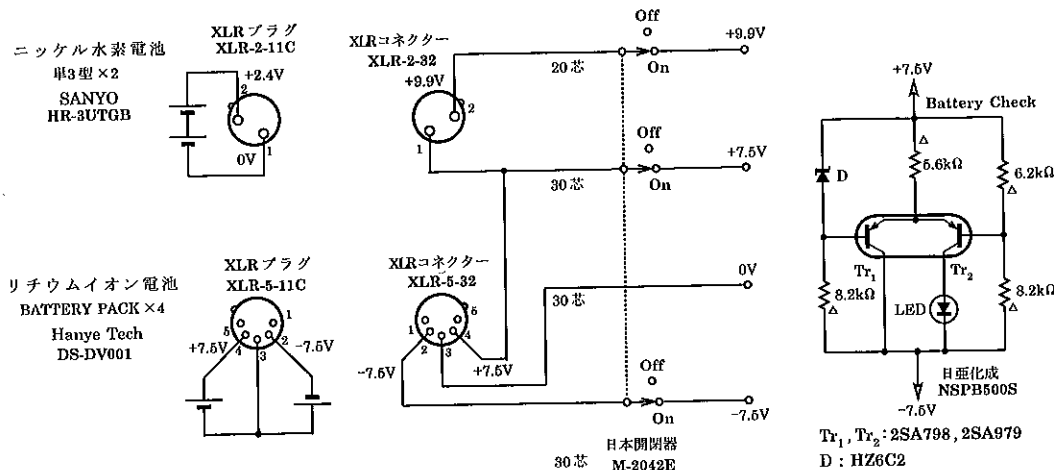
が減ってモーターの回転が遅くなる。

これらの変化は定格速度からの変化量に比例し、回転速度を常に定格速度に近づける動作をする。本方式では、速度の基準を電圧ではなく、 T_H で決めているのが特徴だ。

速度制御は目標の速度と現在の速度の誤差を検出し、この誤差をゼロに近づけるように制御する。しかしゼロに近づけることはできても、ゼロに等しくはできない。ゼロにするには無限大の制御量が必要で、NFBをかけ過ぎたアンプのように、系が不安定になったり、発振したりする。

速度誤差をゼロにするには、PLL (フェイズ・ロックド・ループ) を応用した位相制御が必要だ。図1の下段が位相制御部だ。水晶発振器とプログラマブルデバイダーで高精度のクロックパルスが発生し、そのパルスをMSに入力して、サンプリングパルスが発生する。

フェイズコンパレータ (PC) にクロックパルスとFGパルスを入力し、2つのパルスの位相差を検出する。PC出力パルスを積分回路に通して三角波に変換し、SHでピーク値をサンプル&ホールドする。



【図5】電源部

遅れているときは-5V、進んでいるときは+5Vを出力する。位相差がゼロのときは出力電圧が0Vになる。

SH出力には位相差に比例した電圧が出力される。この位相信号が加算アンプ（AA）で速度信号と加算されてGCに入力される。

FGパルスが遅れているときは、PC出力は-5Vで、SH出力はマイナズに移動し、AAで反転されて、AA出力は+に移動し、GCのゲインを増加させ、MDの出力電流が増加、モーターが加速される。これらの変化は位相差をゼロに近づける働きをする。

位相制御では位相差をゼロに近づけることはできてもゼロにはできず、位相誤差が生じる。しかし位相の時間微分（時間的変化率）である周波数、すなわちFG周波数はクロックパルス周波数に一致する。この状態が位相ロックの状態だ。

モーターやターンテーブルは慣

制御アンプの動作原理がわかったところで、本機の各ブロックを説明しよう。

電源部

図5は本機の電源部である。電源部の説明は通常、アンプ系の後になるのだが、バッテリードライブにとって、電源の規格はアンプ全体に影響しアンプの動作条件を決めるので、最初に説明しよう。

バッテリードライブでは実用性を重視して、電源電圧はできるだけ低く、消費電流もできるだけ低く抑えなければならないが、それだけでは不十分だ。大事なのはバッテリーの充電が簡単で、確実かつ安全にできなければならないことだ。

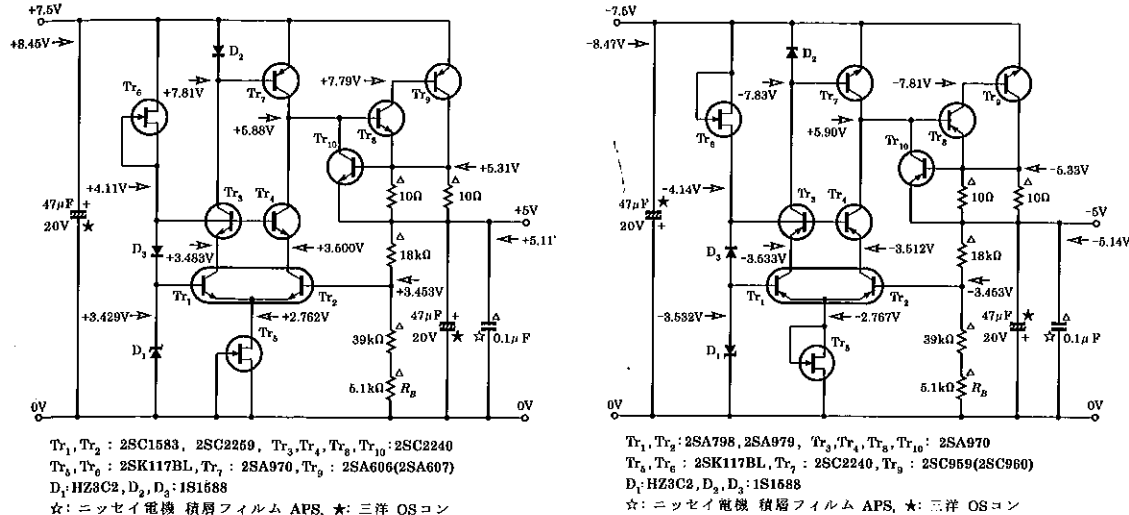
バッテリードライブパワーアンプで使ったリチウムイオン電池は過充電保護回路が内蔵されているので、スイッチング電源とシリーズ抵抗だけで自動充電ができる。また、単3型ニッケル水素電池も

7.5Vに+2.4Vを追加した3電源構成にする。+2.4V電源は±7.5Vのメイン電源の利用率を最大限に高めるためのサブ電源だ。

ターンテーブル制御アンプにはモータードライブアンプが3台必要だ。ドライブアンプはパワーアンプと同一回路構成になるので、電源もパワーアンプと同様に、出力段は±7.5V、電圧増幅段は+9.9Vと-7.5Vで動作する。

以前のバッテリードライブ制御アンプは±15Vのマンガン電池で動作した。それが±12Vのニッカド電池に移行し、AC電源では±24V、±15Vの4電源で、出力段電源は±15Vである。本機の電源電圧はAC電源制御アンプの1/2になる。このような低い電源電圧で制御アンプがまともに動作するか、チェックする必要がある。

AC電源SP-10 Mk1制御アンプで、動作時のモータードライブアンプの出力電圧波形をオシロスコープで観測する。波形のピーク電圧は定速回転状態で 33・



【図6】+5Vレギュレーター

【図7】-5Vレギュレーター

ある。この時間はごく短い、出力電圧の波形が大きくなり、電源電圧の制限から受ける飽和レベルに達してピーク波形がクリップ状態になる。

回転速度を、45RPMから33・1/3RPMに切り換えたときや定速回転からストップしたときは、ドライブアンプの出力電圧は0Vになり、アンプの制動力でモーターを減速する。

モーターの定速回転時に必要なドライブアンプの出力ピーク電圧は3V以内で、大きな出力電圧を必要とするのは、加速の瞬間だけだ。前回の制御アンプでは、スタートから1/4回転で定速回転になる。電源電圧を低くすると定速回転になるまでの時間は長くなるが、それが1/2回転とか1回転になっても、放送局用かプロユースでもない限り、特に問題は生じないだろう。加速時間を短くするために電源電圧を高くするのは、常時無駄

ら1/2回転で定速回転になる。これなら、よほど短気な人でない限りストレスを感じないだろう。

±5Vレギュレーター

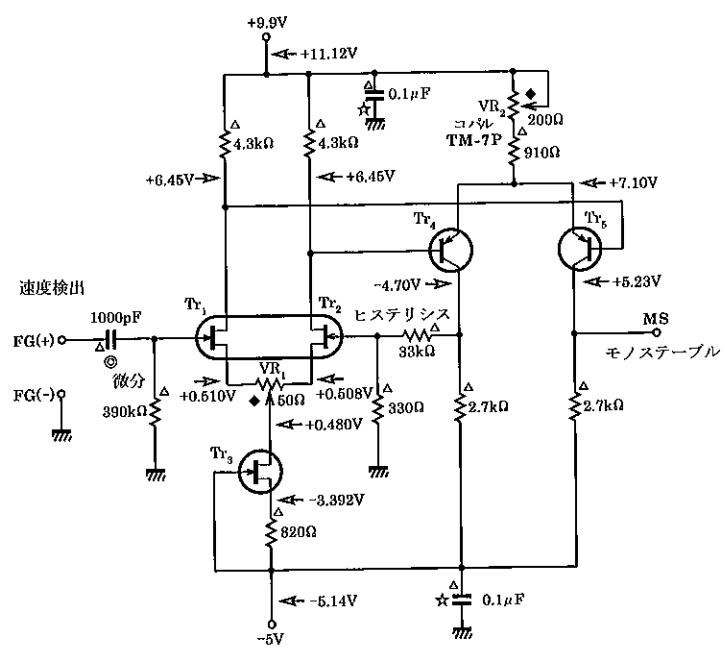
制御アンプにはレギュレーターが必要だ。制御部はもちろん、位置検出回路やGCを安定に動作させるには電源変動を排除するレギュレーターが不可欠だ。

バッテリーの電圧が±7.5Vなので、レギュレーターの出力電圧は±5Vより高くできない。図6は+5Vレギュレーター、図7は-5Vレギュレーターである。+5Vレギュレーターは前回の超多機能アナログデジタル再生システムのレギュレーターと同様だ。-5Vレギュレーターは+5Vのマイナス版だが、制御Tr（Tr₅）が2SC959で入手困難なので、2SA606を使ったダーリントン接続にしたいところだ。しかしダーリントン接続では入力出力間電圧が高くなり

ボルテージコンバーター

ボルテージコンバーター（VC）は前回の制御アンプからディスクリット構成に進化した。永年使用してきたLM319は高速・高感度の優れたVCだが、ターンテーブル制御アンプの目的には感度が高すぎて、マルチプルトリガーを起こすことが多かった。これをディスクリット化することで制御アンプの目的に適したゲインと速度のVCになり、マルチプルトリガーを起こさず、安定でシャープな方形波出力が得られるようになった。

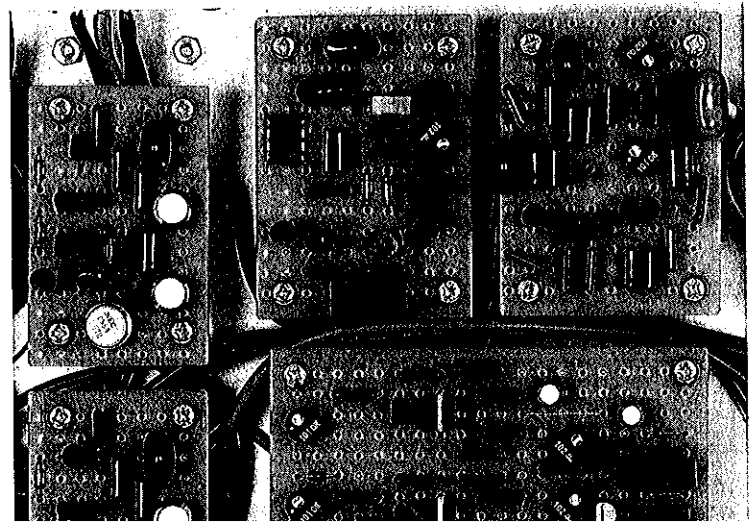
図8は本機のVCである。今回はさらなる性能向上を狙って初段差動アンプをデュアルFETの2N3954に変えた。VCは分解能を高めるために、無帰還動作の上、ヒステリシス（正帰還）をかけて使う。そのため初段差動アンプのドリフトが大きい場合は、まれに動作不安定になることがある。この現象を回避するために、初段FETを安



Tr₁, Tr₂: 2N3954, Tr₃: 2SK246BL, Tr₄, Tr₅: 2SA606
◎: 双信電機SE, ☆: ニッセイ電機 積層フィルム APS
◆: コバルTM-7P

【図8】 ボルテージコンパレータ

号を加算し、その出力電圧でGCを制御するのが加算アンプ (AA) の役割だ。さらにモーターストッ



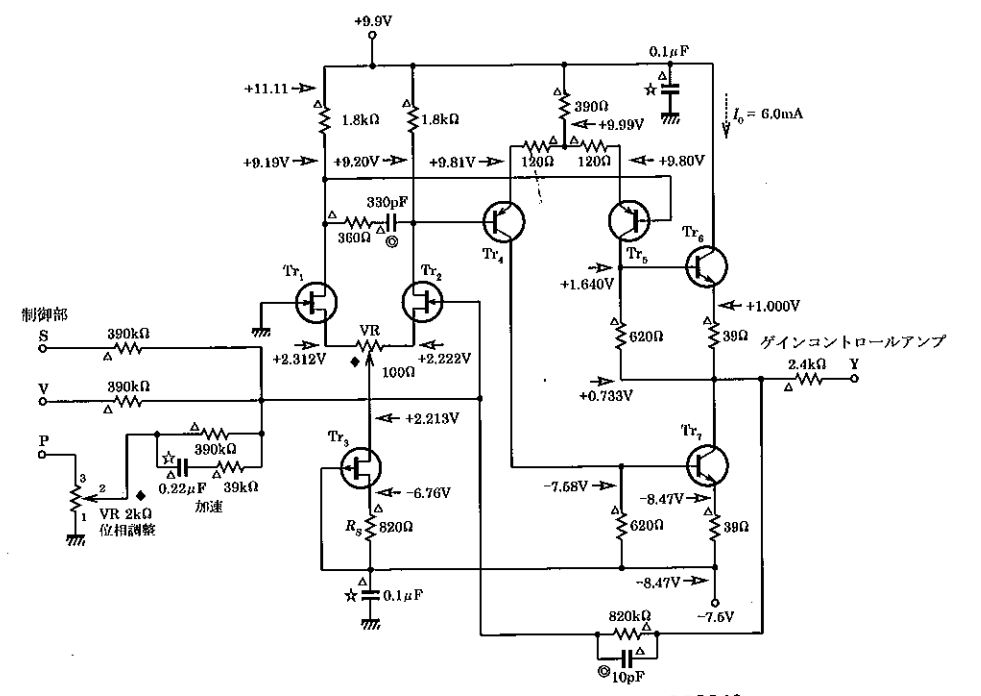
きもする。図9はAAである。前回は出力Trに音が良く、入手可能なメタルキャンTrの2SA606を使用するために、P-Type (初段PチャンネルFET, 出力段pnpTr) にした。しかし他のブロックがN-Type (初段NチャンネルFET, 出力段npnTr) なので、電源の配線には注意が必要だった。

今回は低い電源電圧を有効に活用するために、すべてのブロックをN-Typeで統一した。P-Typeが1箇所でもあると、負電源にも2.4V電源を追加しなければならないからだ。

AAの出力段2SC2240の音はバッテリードライブプリアンプや、超多機能アナログデジタル再生システムで確認済みだ。回路構成は前回と同一だが、低い電源電圧に合わせて、回路定数は変更してある。

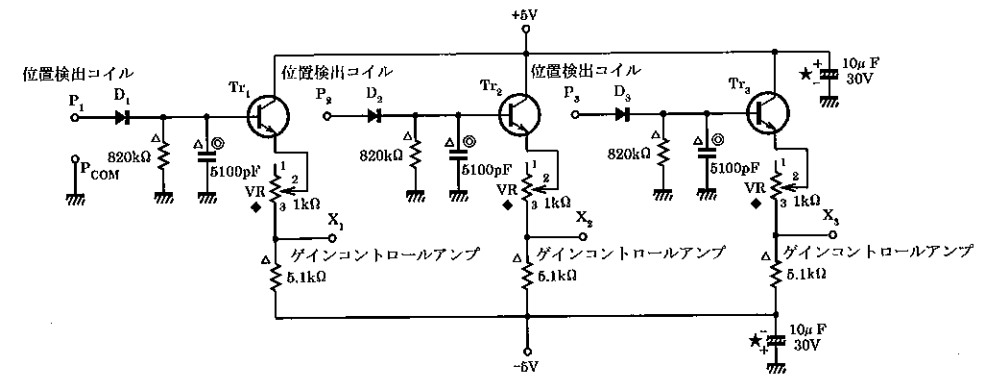
位置検出器

図10は位置検出器である。振幅変調波の検波とLSの働きをする。振幅変調波の振幅は2次コイルの感度によってバラツキがあり、検波で生じるDC成分にもバラツキがある。DC成分のバラツキを補正しつつ、マイナス側にシフトして、検波波形の平均値を0VにするのがLSだ。エミッター回路のVRはシフト量の調整用で、VRの値が小さいとシフト量が少なく、出力波形は+側にシフトし、VRの値が大きいと、シフト量も大きくなり、出力波形は-側にシフトする。平均値を0Vに合わせる調整は、出力波形を観測して容易にできる。



Tr₁, Tr₂, Tr₃: 2SK246BL, Tr₄, Tr₅: 2SA970, Tr₇: 2SC2240
◎: 双信電機SE, ☆: ニッセイ電機 積層フィルム APS
◆: コバルTM-7P

【図9】 加算アンプ



Tr₁, Tr₂, Tr₃: 2SC2240, D₁, D₂, D₃: 1S1688
◎: 双信電機SE, ☆: 三洋 OSコン, ◆: コバルTM-7P

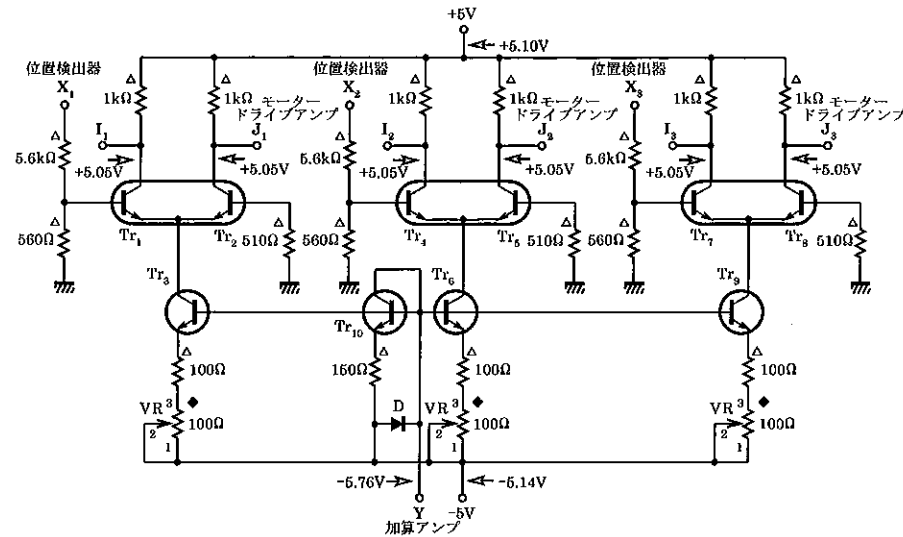
【図10】 位置検出器

ゲインコントロールアンプ

外部制御電流でゲインを自由に变化できるアンプがGCである。この部分がディスクリートになってから、信号経路がシンプルになり、

流をコントロールするカレントミラー (Tr₁₀) から構成されている。各差動アンプの入力には位置検出器からの位置信号 (X₁, X₂, X₃) が入力される。出力電圧 (I₁, I₂,

力電圧の振幅が同時に变化する。差動アンプのI_cが変化すると、出力DC電圧も变化する。しかしDC電圧は同時に同方向に変化する。差動入力MDでDC分が



Tr₁, Tr₂, Tr₄, Tr₅, Tr₇, Tr₈: 2SC1583, 2SC2259
Tr₃, Tr₆, Tr₉, Tr₁₀: 2SC2240, D: 1S1588
◆: コパルTM-7P

図11 ゲインコントロールアンプ

る。
エミッター回路のVRは I_C を変化させてゲインを調整し、フィールドコイル電流の振幅調整をする。VR値を小さくすると I_C が多くなり、ゲインが増加する。バランス調整用だから、どれか1つの抵抗

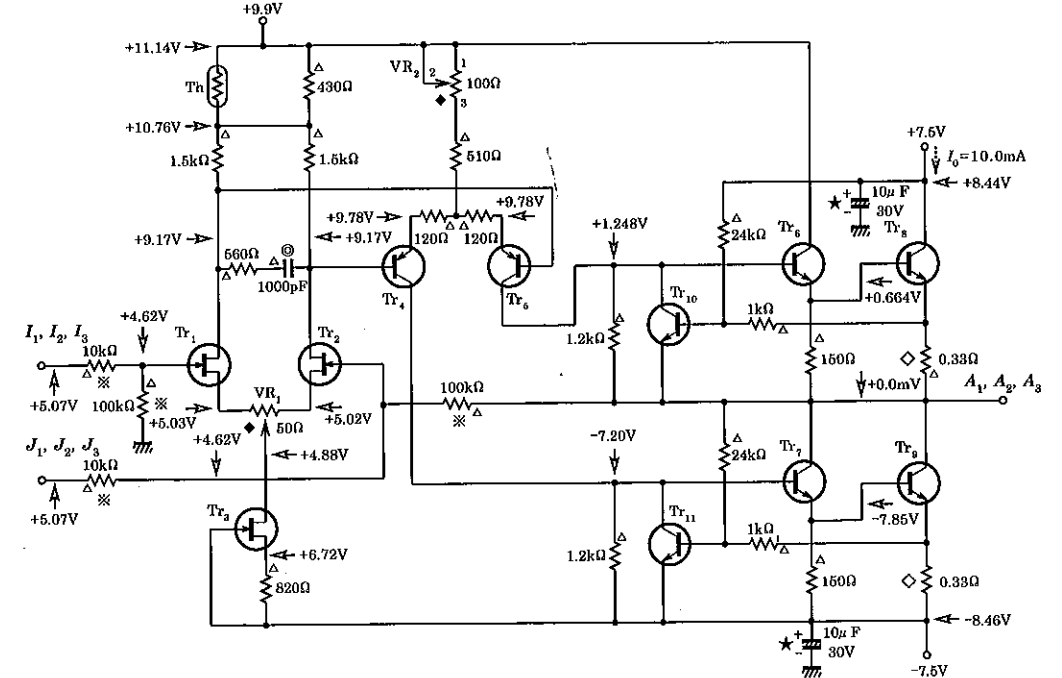
(100Ω + VR100Ω) を固定抵抗150Ωに置き換えてもよい。
GCも±5Vの電源電圧で動作する。-電源電圧が変化すると I_C が変化し、+電源電圧が変化すると出力DC電圧が変化する。だから安定化した電源が必要だ。

モータードライバアンプ

MDは巨大な慣性モーメントを持つターンテーブルを強制ドライブするという点で、スピーカーをドライブするパワーアンプに優るとも劣らないドライブ力が求められる。AC電源制御アンプがそれまでのバッテリードライブ制御アンプを超えたのは、MDが完全対称アンプ化された効果大きい。今回はバッテリードライブとの相乗効果が発揮されるMDなのだ。

MDは3台必要だ。バッテリードライブ制御アンプにとっては、このアンプこそ低電圧動作・低消費電流動作にしたいアンプである。フィールドコイルのインピーダンス Z_L の実測値は約20Ω。パワーアンプとしては高めの負荷になるから、アイドリング電流 I_0 をかなり減らせる。

図12はMDである。基本回路は

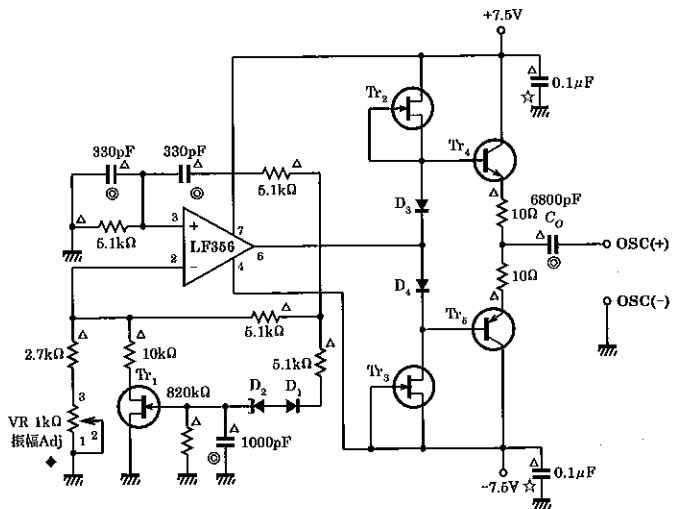


Tr₁, Tr₂: 2SK117BL, Tr₃: 2SK246BL, Tr₄, Tr₅: 2SA606, Tr₆, Tr₇: 2SC2230
Tr₈, Tr₉: 2SD188, Tr₁₀, Tr₁₁, Tr₁₂, Tr₁₃: 2SC2240, Th: 200D5A
Tr₄とTr₅, ThとTr₆は熱結合, Tr₈, Tr₉は底板に取り付ける
※: スケルトン, ◎: 双信電機SE, ◇: 福島双羽MPC74
★: 三洋OSコン, ◆: コパルTM-7P

図12 モータードライバアンプ

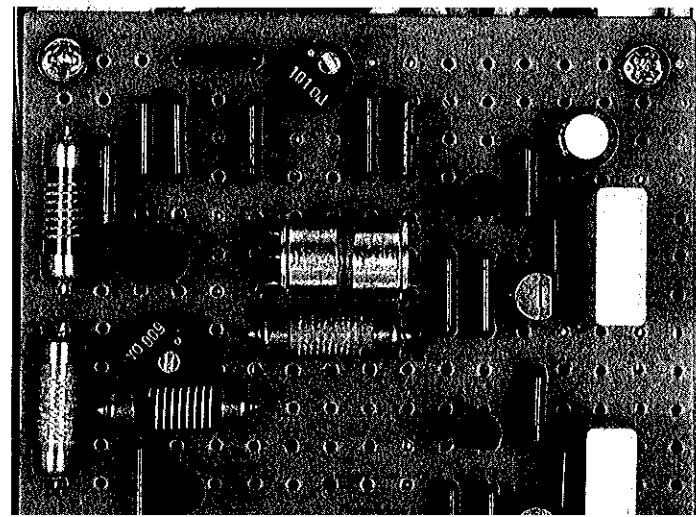
は出力段のドライブTrにTO-66タイプの2SC1161を使ったが、コンパクト化するには2SC959がよい。しかしこのTrは入手困難なので2SC2230を使う。最大コレクター電流は100mA、最大コレクター損失は800mWである。 Z_L が8Ωパワーアンプでは、 I_C 不足だが、 Z_L が20ΩのMDとしては十分な I_C だ。

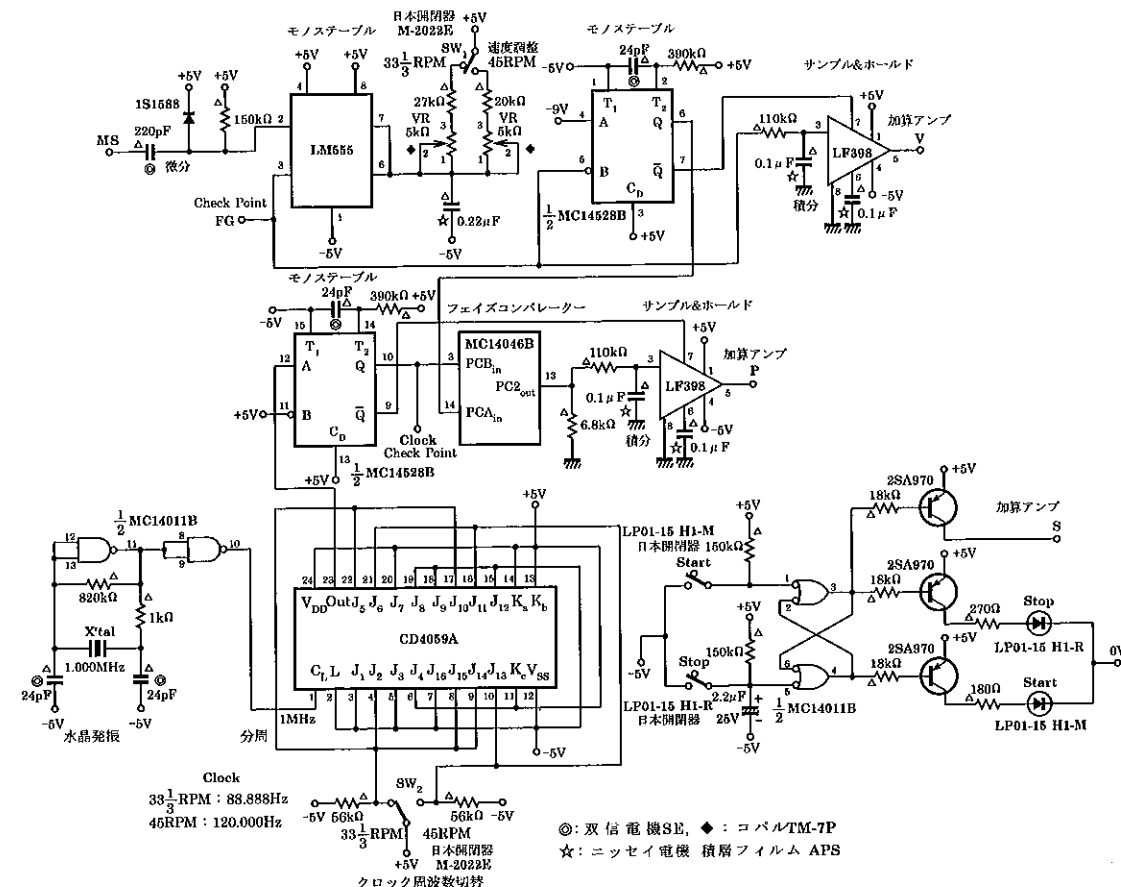
本アンプはドライブTr (Tr₆)のコレクターが出力段用電源の+7.5Vではなく、電圧増幅段用電源の+9.9Vに接続されている。出力電圧を電源電圧に近いところまでスイングできる回路であり、電源電圧をフルに利用できる。



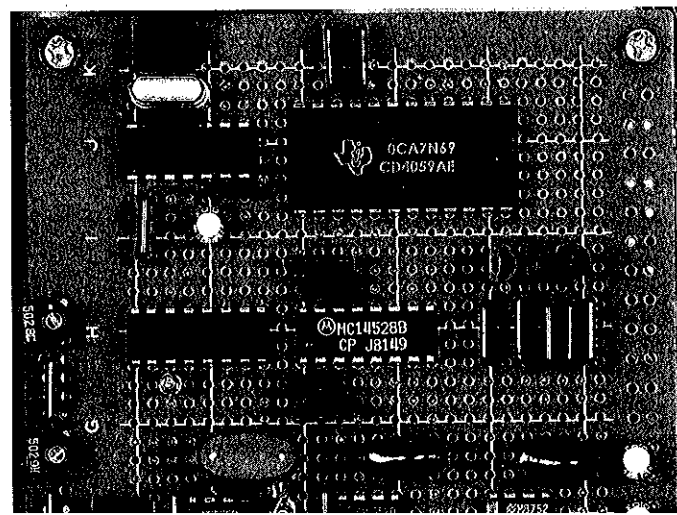
Tr₁, Tr₂, Tr₃: 2SK30ATM, Tr₄: 2SC2240, Tr₅: 2SA970
D₁, D₂, D₃: 1S1588, D₄: HZ4B1, D₅とTr₄, D₆とTr₅は熱結合
◎: 双信電機SE, ☆: ニッセイ電機 積層フィルム APS

図13 位置信号発振器





【図14】制御部



り、負荷の影響が発振器に及ばないようにになっている。発振器は発振周波数と振幅が安定でなければならない。振幅は D_1 , 1000pF, 820k Ω のピーク検出回路で負のピーク値を検出・直流化し、その電圧でFET (Tr_1) のゲート電圧 V_G を変化させ、等価抵抗をコントロールして安定化している。振幅が大きくなると V_G がマイナス方向に高くなり、FETの等価抵抗が大きくなるのでNFB量が増え、発振振幅が減少する。

出力コンデンサー C_O (6800pF) は1 μ Fフィルム82kH Ω で直列並振

源電圧から効率よくコイル電流を流す方法だ。

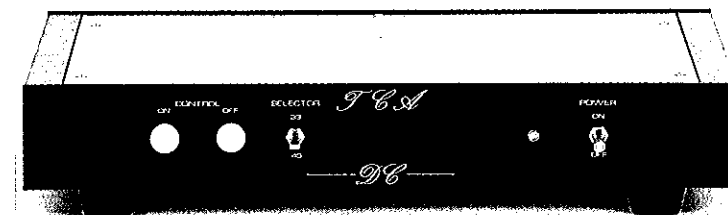
発振器は $\pm 7.5V$ で動作する。この電圧で出力電圧が飽和しないように、発振振幅を低めに設定する。振幅は定電圧ダイオード D_2 の電圧(4V)で決まる。

制御部

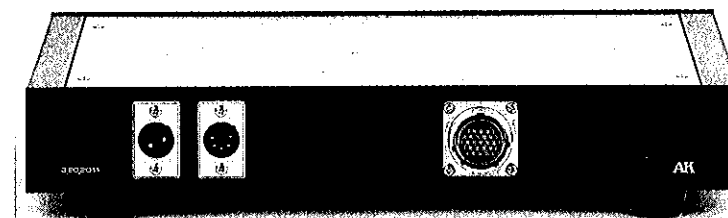
図14は制御部である。制御部の電源電圧は $\pm 9V$ から $\pm 5V$ に変わった。制御部の入力信号はFGパルスで、出力信号は速度信号Vと位相信号Pである。入力部の220pFと150k Ω は微分回路で、FGパルスの立ち下りの時間を検出し、負パルスを発生する。立ち上がりには生じる正パルスはダイオード1S1588で振幅制限される。負パルスはMS (LM555) をトリガーする。LM555の出力パルス幅はコンデンサー $0.22\mu F$ (VR5k Ω +シリーズ抵抗) で決まる。回転速度33 $\cdot 1/3RPM$ と45RPMの切り換えはSW $_1$ で行う。

LM555の出力パルスからMS (MC14523B) で幅の狭いサンプリングパルスが作られ、SH (LF398) に入力される。一方LM555の方形波出力は積分回路(110k Ω , 0.1 μF) で三角波に変換され、LF398に入力されてサンプリングパルスの入力時刻のレベルがサンプルされ、ホールドされる。

クロックパルスは水晶発振器とNANDゲートMC14011Bで作る、プログラマブルデバイダー (CD4059A) で分周して、33 $\cdot 1/3RPM$ では88.888Hz, 45RPMでは120.0



フロントパネルには回転数切り換え用のトグルスイッチと、スタート・ストップ用の押しボタンスイッチを配置。快適な操作性を実現した



リアパネルにはバッテリー接続端子と、モーターとの接続用マルチ端子が並ぶ。マルチ端子はテクニクスSP-10 Mk3のDCアンプ制御以来、同じものを使用している

狭いパルスだが、MC14523BでSHに適した幅のパルスに変換される。

MC14046BはPCで、クロックパルスとFGパルスとの位相差を検出し、位相差が生じている時間だけ正または負の出力パルスを出力する。

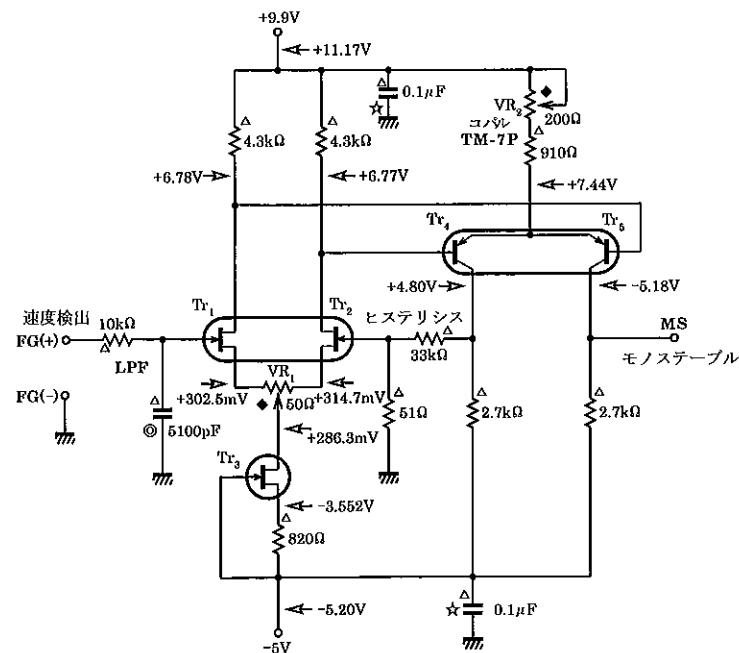
PCの出力方形波を積分回路(110k Ω , 0.1 μF) で三角波に変換して、SHが位置信号を出力する。図14右下の回路はスタート・ストップ制御回路だ。本機では操作性も重視し、押しボタンスイッチを使った。これは日本開閉器製のLED内蔵スイッチで、LEDの鮮明な照明と押し心地のよさが特徴だ。

押しボタンスイッチはトグルスイッチとは違って、手を離すと元

する。いまはスタートとストップに対応する。

状態反転に対するスイッチ操作は1回だけ有効で、2回以上押しでも反応しない。また2個のスイッチのうち、最後に押されたスイッチが優先する。電源をオンしたとき、必ずストップ状態にしたいので、ストップスイッチにパワーオンリセット (150k Ω , 2.2 μF) を入れる。電源オンでストップスイッチ側のラッチ入力電圧がゆっくり立ち上がり、ストップ状態にセットされる。

ラッチ出力側の Tr (2SA970) は上からストップ信号S, ストップ表示LED用, スタート表示LED用である。LEDの電流は赤と緑が同じ明るさに見えるようにシリ



Tr₁, Tr₂: 2SK97, Tr₃: 2SK246BL, Tr₄, Tr₆: 2SA798
 ◎: 双信電機SE, ☆: ニッセイ電機 積層フィルム APS
 ◆: コパルTM-7P

【図15】 SP-10Mk2ボルテージコンパレータ

SP-10Mk2

ボルテージコンパレータ

GOA時代のMk2制御アンプを使用している人は、この機会にぜひ本機にステップアップして欲しい。再生芸術の世界がいっそう広がるはずだ。

SP-10Mk2には電磁誘導を利用したFGが付いている。磁束の変化する速さに比例する起電力を検出するので、起電力の振幅は速度に比例する。スタート時の低速度時の起電力に対応して、VCの感度を高くし、ヒステリシスの幅を小さくする必要がある。

図15はSP-10Mk2用のVCである。ゲインを高くすると同時にドリフ

ヒステリシス幅は帰還抵抗33kΩ, 51Ωで決まる。この値では±8mVになる。±8mV以内の入力電圧には反応しない。Mk1の場合は帰還抵抗が33kΩ, 330Ωなのでヒステリシス幅は±50mVである。光を利用した検出方法は信号レベルが大きいので、VCの感度を低く、ヒステリシス幅を大きくする。

FGコイルはFG信号のほかに、位置信号の高周波まで拾ってしまう。この高周波を除去するために、ローパスフィルターLPFを入れる必要がある。入力部の10kΩと5100pFがその働きをする。

図15では出力電圧レベルが図8の場合と極性が反転しているが、

クロック周波数 f_s はMk1と異なり、33・1/3rpmでは105.5Hz, 45rpmでは142.4Hzである。 f_s に対応して、CD4059AのJ₁~J₁₆, K_a, K_b, K_cを図のようにセットする。

f_s が高く、FG周期が短いので、MS (LM555)の積分時定数を小さくする。積分コンデンサの値は0.22μFで同じだが、積分抵抗は33・1/3rpmでは20kΩ, 45rpmでは15kΩにする。これらの値はSH入力の積分回路の時定数とも関連する。

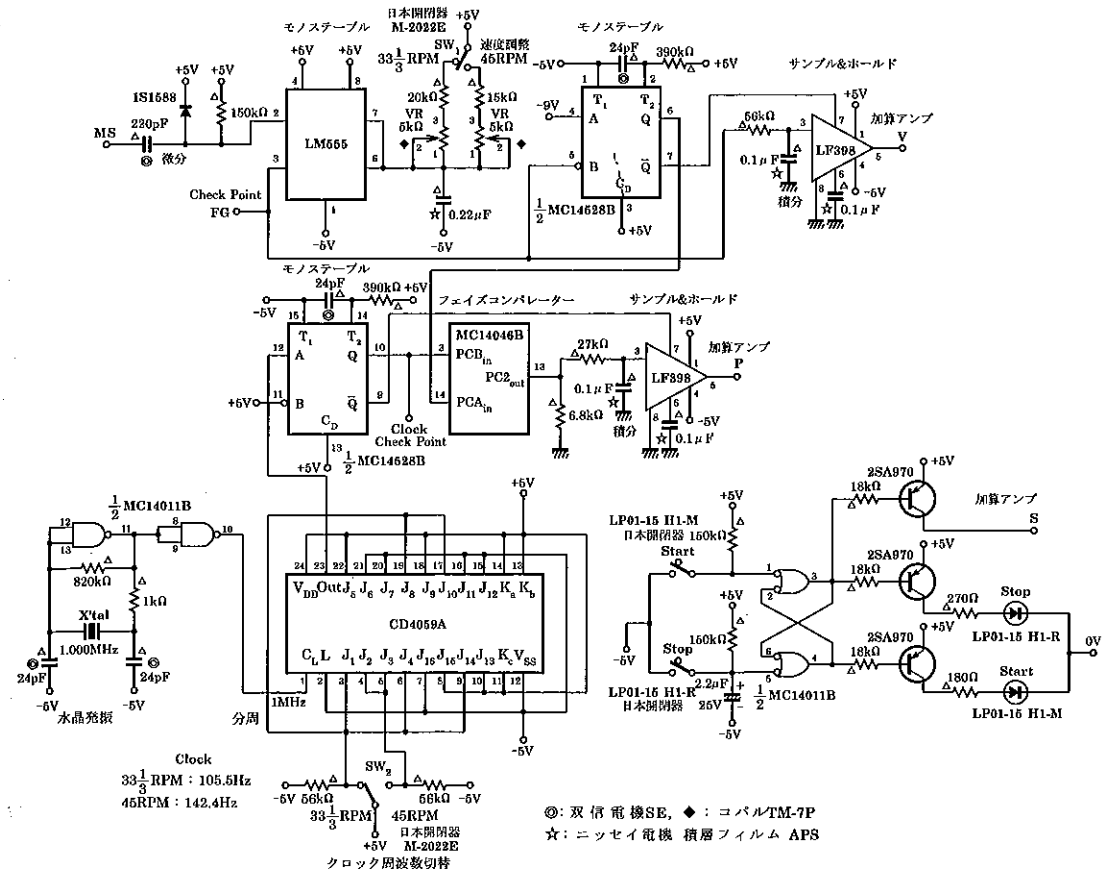
Mk2のターンテーブルはサーボに頼るためか、軽くて慣性モーメントが小さい。共振しやすいので、ダンプリングにゴムを貼り付けてあるが、音を悪くするので取り除いて使う。小さな慣性モーメントに対応して、速度制御の積分時定数と位相制御の積分時定数を小さめにする。積分抵抗値は速度制御では56kΩ, 位相制御では27kΩにする。最適制御の状態になる。

積分時定数を小さくすると、出力三角波の振幅が大きくなり、SHされるDC電圧も高くなる。そこでMSの積分抵抗値を小さくして、THを短くし、サンプリングのタイミングを速くして、サンプル出力電圧を低くし、DC出力電圧を適正値にする。

製作

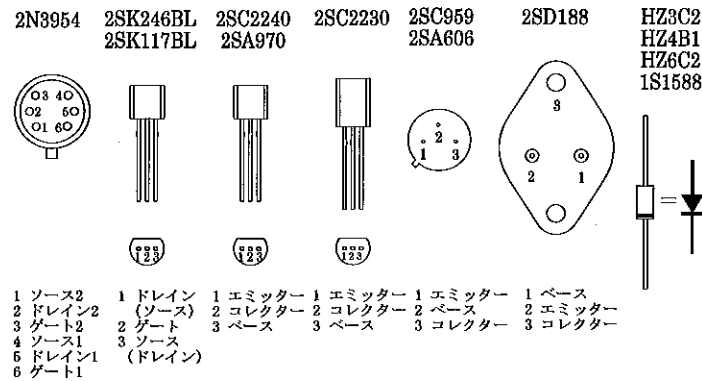
半導体電極接続

図17はFET, Trそしてダイオードの電極接続である。2N3954, 2SC959/2SA606, 2SD188はボトムビュー(底面から見た図)で2SK246, 2SK117, 2SC2240,



【図16】 SP-10Mk2制御部

べてトップビュー(上から見た図)で、半円状のカット面が1番ピンの目印で、反時計回りにピン番号を数える。 V_{DD} または $V+$ は基板上で+5Vに、 V_{SS} または $V-$ は-5Vに配線する。MC14046Bは、 V_{DD} , V_{SS} , PCA_{IN} , PCB_{IN} , $PC2_{OUT}$ 以外のピンは使用しない。MC14011Bは4個のNANDゲートが入っているが、そのうちの2個をインバートOR記号で表してある。動作はまったく同じで、回路上の働きで区別して表示した。



【図17】 半導体電極接続

を測り、その差が0.1mA以内のFETをペアにして差動アンプに使

の I_0 は10mAだが、測定時のコレクター電流は動作の対称性を重視

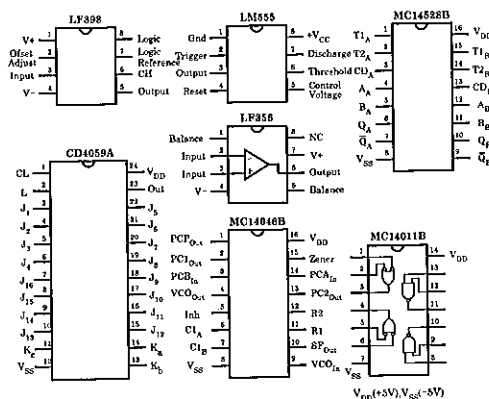


図18 IC電極接続

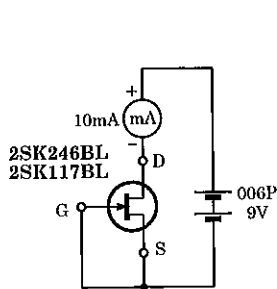


図19 FETの I_{DSS} 測定

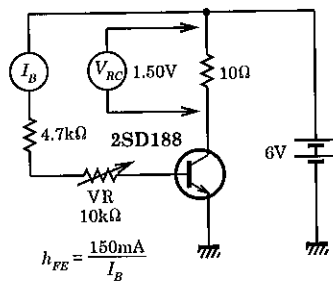


図20 2SD188の h_{FE} 測定

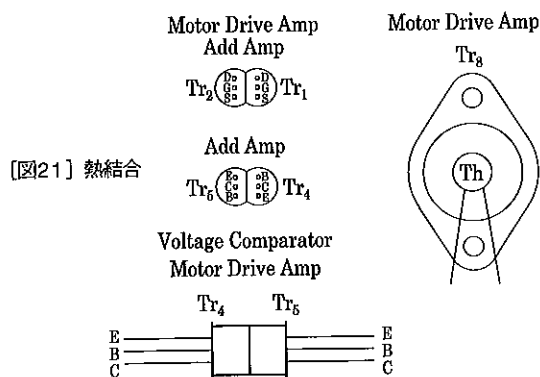


図21 熱結合

ンプ用FET, AA, VC, MDの2段目差動アンプ用Tr, そしてMD出力Trとサーミスターは速硬化性接着剤アラライトで接着する。ただしTrとサーミスターの熱結合は、取り付け時に行う。

基板

ターンテーブル制御アンプは基板の種類が多く、プリアンプやパワーアンプにはない特殊な基板

ら基板に差し込み配線する。熱結合済みの2SA606は基板とTr間にスペーサーを挟んで配線するとTrが基板に平行になる。スペーサーは配線後取り除く。基板の裏配線は、MDとレギュレーター以外はすべてモガミ電線2497の素線(φ0.18mm)の7本より線で配線する。

図23はMk2用VC基板である。2SK97はピン間隔を基板ピッチに広げてから基板に差し込む。2SA798は図のようにリード線を整えてから基板に差し込む。5100pFはリード線間隔に合うように、ランド間にφ1mmの孔をあけるとよい。

図24はAA基板である。Tr₁側の390kΩの片方のリード線は390kΩのリード線間のランドに差し込む。Tr₄のエミッター抵抗120Ωの片方のリード線は基板に平行に1ステップ伸ばしてから、ランドに差し込む。位相補正コンデンサー330pFと帰還コンデンサー10pFは基板裏に配線する。

図25は位置検出器&GC基板である。同一回路が3台並ぶので、同じ箇所を並行して作るとよい。基板表側に+5Vラインのジャンパー配線(7本より)がある。基板裏側には、20芯コードのジャンパー配線が6箇所ある。基板裏の+5V, 0V, -5Vラインは配線後にマークを付けておく。入力P, 出力I, Jなどもマークしておく。

図26はMD基板である。MDは差動入力だが、基本回路はパワーアンプと同じなので、パワーアンプと同様の方法で配線する。基板裏配線は電流の少ない電圧増幅段

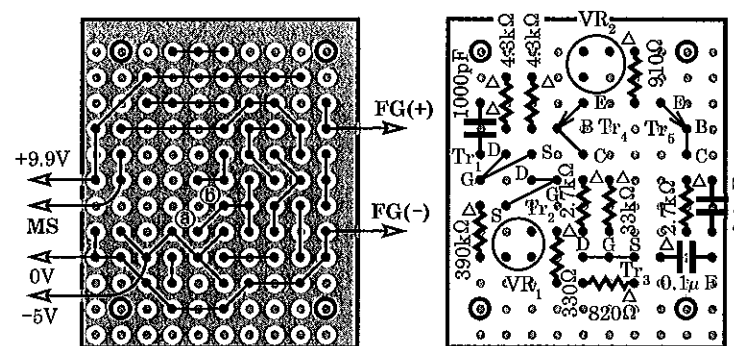
3台の基板を並べて、同じ箇所を並行して配線する。位相補正コンデンサー1000pFは基板裏に配線する。

図27は位置検出器発振器基板である。LF356のピン間隔は2.5mmなので、基板の4mmピッチに合わせて、ピンを広げてから基板に差し込む。Trとダイオードの熱結合は、先にTr₄, Tr₅を配線し、Trの平らな面に密着するようにD₃, D₄を配線して、隙間にアラライトを流し込む。

出力コンデンサーC₀はMk1では6800pF, Mk2では8200pFである。これらの値のコンデンサーがないときは、パラレル接続で近い値を作ればよい。

図28はMk1用、図29はMk2用の制御基板である。これらの基板はタカ電子製作所のユニバーサル基板IC-301-74を所定のサイズにカットして製作する。IC-301-74は2.5mmのICピッチで、3ランド続きのDIP用パターンを電源ラインとグランドラインが取り囲んでいる。本機では電源ラインを+5V, グランドラインを-5Vラインに使い、グランドラインの一部をカットして0Vラインにも使う。

まずICの向きに注意して各ICを配置する。半円状のカット面が1番ピン側の目印だが、CD4059Aは反対側に円形の窪みがあるので、これと間違えないように注意する。ICを基板に押し当てながら、両端(対角線上)の2つのピンにハンダ付けし、ICと基板間に隙間のないことを確認してから残りのすべてのピンをハンダ付けする。隣のピ



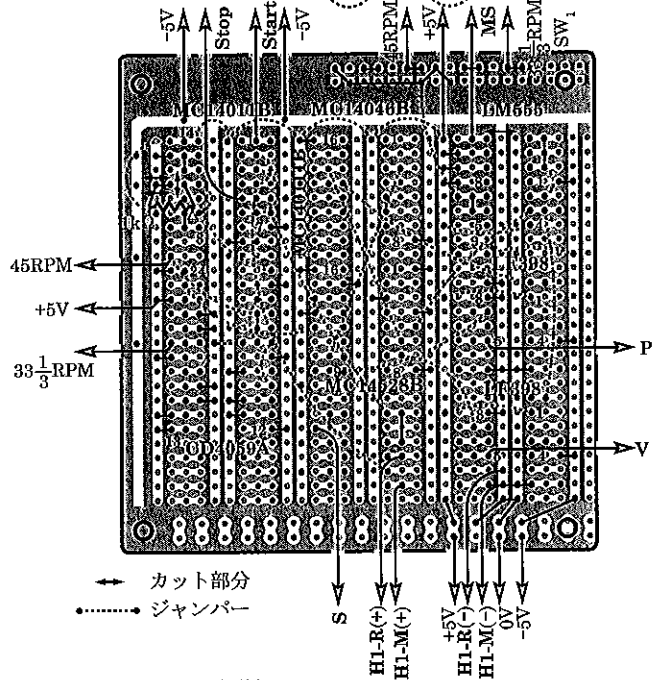
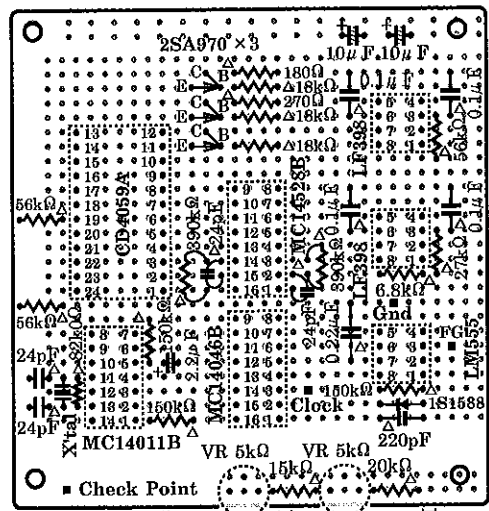


図29 SP-10Mk2制御部基板

しやすくなるからだ。

図34はフロントパネル、図35はリアパネルの加工寸法である。フロントパネルは操作性を配慮して、右側にパワースイッチとLED、左側に速度切り換えスイッチとス

ある。

図36は底板だ。この図だけ内側から見た図である。フロント側に制御基板、AA、位置信号発振器を配置、センターにVCと位置信号検出&GCを、右サイドにレギュ

ゴム脚に近いφ3mmのサポート取付孔4個は取り付けビスがゴム脚にぶつかるので、皿孔にする。

SP-10Mk1のモーター部配線

SP-10Mk1のモーター巻線はオリジナルの制御基板に図37のように接続されている。PC (黄)とA₁ (茶)の間の間隔が広いのを目印にする。同じ色がダブっているが、並びの順に気をつけて、茶、赤、橙をA₁、A₂、A₃、緑、青、紫、黄をP₁、P₂、P₃、PC、白、灰をOSCとすればよい。OSCには極性がない。灰～黄の5本は本機では使用しない。

図38はSP-10Mk1モーターリード線中継基板である。この基板をモーター底部のネジ穴にφ3mmのビスで固定する。基板とモーター底部間には5mmのスペーサーを入れる。モーターのリード線をオリジナル基板から1本ずつ外し、中継基板にすべて配線する。オリジナル基板は取り除く。

SP-10Mk2のモーター部配線

SP-10Mk2のモーター部は図39のように接続されている。A₁ (青)、A₂ (黄)間の間隔が広いのが目印だ。Mk1異なり、FGラインも出ている。ACはフィールドコイルの midpoint (コモン)なので、本機では使用しない。

図40はSP-10Mk2モーターリード線中継基板である。この基板をモーター底部のネジ穴に固定する。

SP-10Mk1速度検出アングル

SP-10Mk1の速度検出部は前号

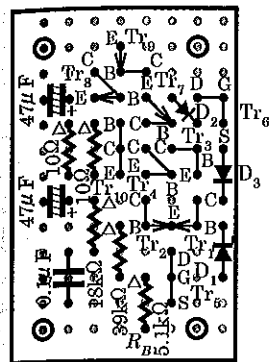


図30 +5Vレギュレーター基板

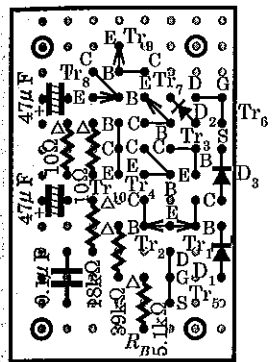


図31 -5Vレギュレーター基板

挿入する。LEDとフォトTrにリード線ハンダ付けし、リード線を緩やかに曲げて1L4Pラグ板にハンダ付けする。

ターンテーブルを天地逆にしてモーターに載せる。ストロボ面が上になるが、ストロボ面とスリット間の距離が1mmほどになるように、本やブロックを利用して検出部を仮固定する。

検出部に±5V電源を接続、ターンテーブルを手で回し、FG波形を観測する。FG波形にはDC分が含まれるが、オシロスコープをAC入力にして感度を上げ、波形を拡大して見る。方形波状波の振幅

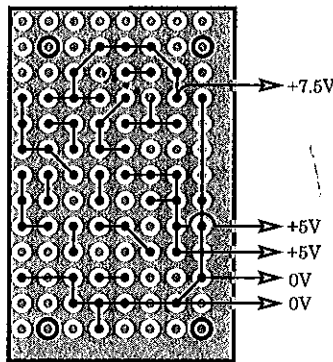


図32 バッテリーチェック基板

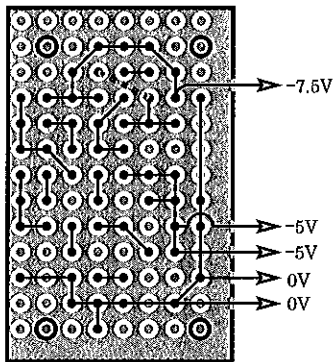
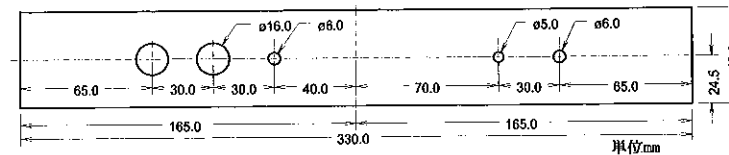


図33 電源中継基板

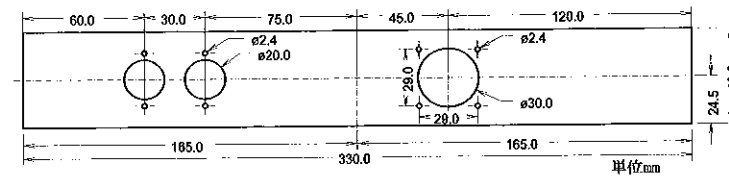
プレーヤーボード

ターンテーブル本体や制御アンプと同等に大事なのがプレーヤーボードである。図42はMk1用、図43はMk2用プレーヤーボードである。厚さ24mm、600mm×500mmの桜の集成材を4枚、接着材と木ネジで貼り合わせて作る。桜は体育館の床などにも使われ、非常に固い材質で、叩いたときの音の響きが美しい。集成材は長年使用しても狂いが少なく、ターンテーブルボードには持ってこいだ。図には、モーター、アーム、ケーブルの孔を記しているが、すべて孔加工してから貼り合わせる。最

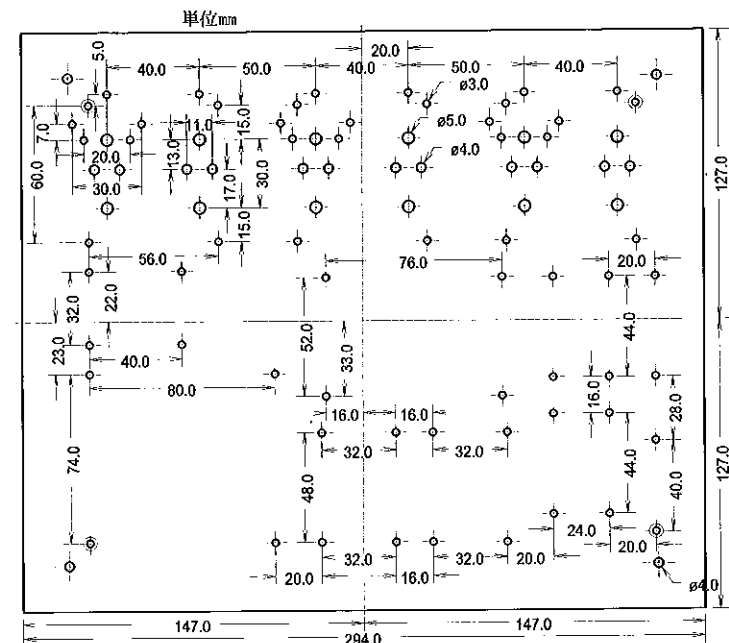
るために、今回はケース内部の基板配置、基板間配線、基板とコネクター、スイッチ間の配線と基板の調整を並行してやろう。各ブロックの調整には電源が必要なので、始めにバッテリーと電源部の配線をする。リチウムイオン電池には専用のコネクターがあるが、入手困難なので作例ではコードを電池に直接配線した。コードはダイエー電線、その向きはコード表面の印刷で“DAIEI”の“D”を電源側にする。±7.5Vライン、0Vラインは30芯、+9.9Vラインは20芯。以後電源と基板間の配線もこの区別である。



【図34】 フロントパネル



【図35】 リアパネル



【図36】 底板

ここにハンダを流し込み、リード線の先端を予備ハンダして、端子をハンダゴテで加熱して、ハンダを溶かしつつ、リード線を挿入する。この作業は電池メーカーの推奨する方法ではないため、自己責任で行う必要がある。配線が済んだらプラグにテストのテスト棒を入れて、電圧チェックをする。

最初に調整するのは、3台のモータードライブアンプである。出力Trと基板間の配線は、底板にフ

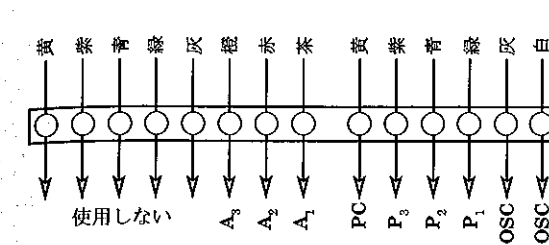
ロント、リアパネルを取り付ける前にする。底板にはゴム脚を取り付け、出力段Trを、絶縁マイカを介して底板に取り付ける。コレクターのリード線として、30芯コードに圧着端子を付け、Trのケースにビス留めする。サーミスターのリード線固定用に3pラグ端子を固定、リード線には絶縁用に20芯コードの外皮を被せ、底板の孔を通してから、Trのセンターに接着する。リード線をラグ端子に配線する。Trのベース(20芯)、エミッタ

ー(30芯)からリード線を引き出す。20mmの基板サポートをすべて底板に固定する。アンプ基板の出力側の1辺を軸として裏返しにし、サポートにビス2個で仮留めする。C, E, B, Thの配線をする。この配線も最短距離ではなく、多少ゆとりを持たせる。0V, +9.9V, +7.5V, -7.5V, I, J, Aのラインを引き出しておく。リード線の長さは所定の位置にゆとりをもって届く長さにする。

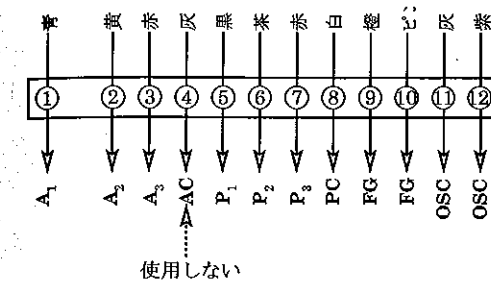
レタリング済みのフロントパネルとリアパネルにパーツを取り付け、底板に固定する。電源XLRコネクタにリード線を配線する。コネクタからの0Vラインを中継基板に配線する。±7.5Vラインと+9.9Vラインを電源スイッチに配線し、スイッチ、中継基板間の配線をする。

ドライブアンプの調整は1台ずつする。基板裏でI, Jをグランドにショート配線、Aには8Ωのダミーロード(酸化金属皮膜抵抗56Ω/5Wを7個パラ接続)を配線、VR₁をセンター、VR₂を左いっぱいセットする。+9.9V, 0Vラインを中継基板に接続、+7.5Vと基板間には1Aヒューズと100mA電流計をシリーズに接続、-7.5V電源と基板間には1Aヒューズを接続する。

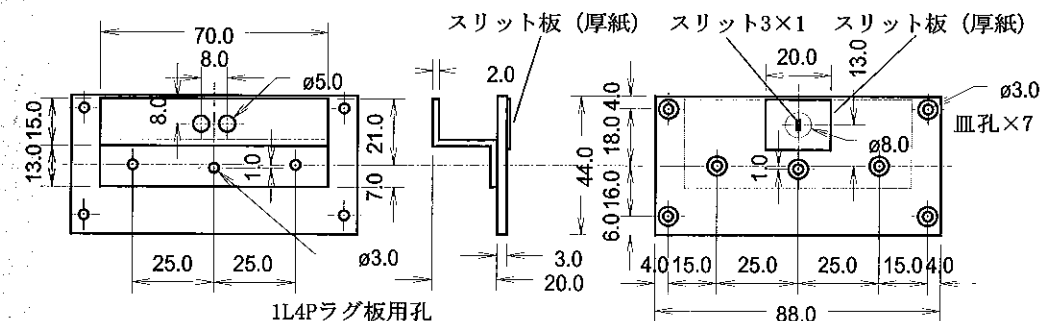
電源をオンにして、V₀とI₀を測定。I₀はほとんど0mAだろう。VR₁を調整して、V₀を0Vに合わせる。VR₂をゆっくり右回転すると、ある角度からI₀が流れ始めるので、さらに慎重に回して、I₀を10mAに合わせる。再度VR₁でV₀の調整をする。一度電源をオフにして、10分ほど経ってからオンにし、V₀とI₀をチェックする。多少ずれているときは修正する。調整が済んだら、±7.5V電源を正規に配線し、



【図37】 SP-10Mk1モーター接続



【図39】 SP-10Mk2モーター接続



【図41】 SP-10Mk1用速度検出部加工寸法

次のアンプの調整に移る。調整済みアンプの出力はオープンでよい。3台の調整が済んだら、I, Jのショート配線を外し、I, Jから位置検出器&GC基板に届く長さのリード線(20芯)を引き出す。Aからターンテーブルコネクタに届く長さのリード線(30芯)を引き出す。基板を正規の位置に固定する。

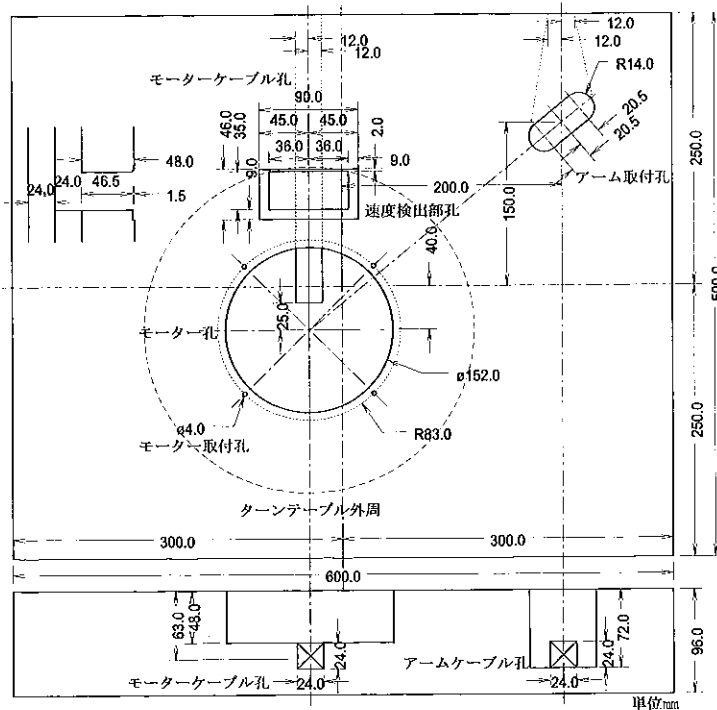
今度はレギュレーターの調整だ。+5Vレギュレーター基板の0Vラ

インと+7.5Vラインを中継基板に配線し、電源をオンにして出力電圧V₀を測る。V₀が+5Vより低いときは、R_Bをより小さな値の抵抗と交換し、高いときは大きな値と交換する。ちょうどよい値の抵抗が見つければ正規の位置に配線し、基板を固定する。

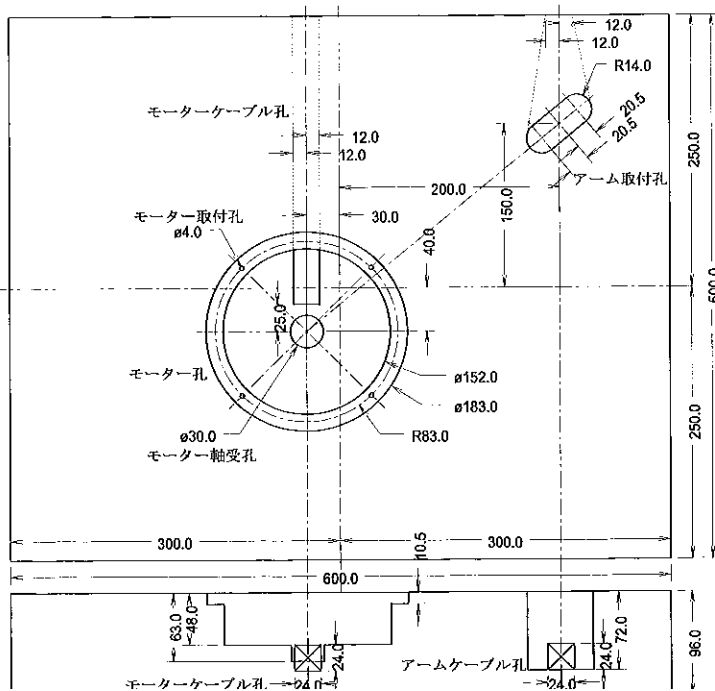
-5Vレギュレーター基板の0Vラインと-7.5Vラインを中継基板に配線し、+5Vレギュレーターと

同様にV₀が-5VになるようにR_Bを調整する。

VC基板に+9.9Vライン、0Vライン、-5Vラインを配線する。基板裏でTr₁のゲートをグランドにショート配線する。ヒステリシス抵抗33kΩの配線(図22, 23中の③・⑥間)を外し、Tr₄のコレクター電圧V_{C4}とTr₅のコレクター電圧V_{C5}を測る。V_{C4}とV_{C5}がともに0VになるようにVR₁とVR₂を交



[図42] SP-10Mk1用プレーヤーボード

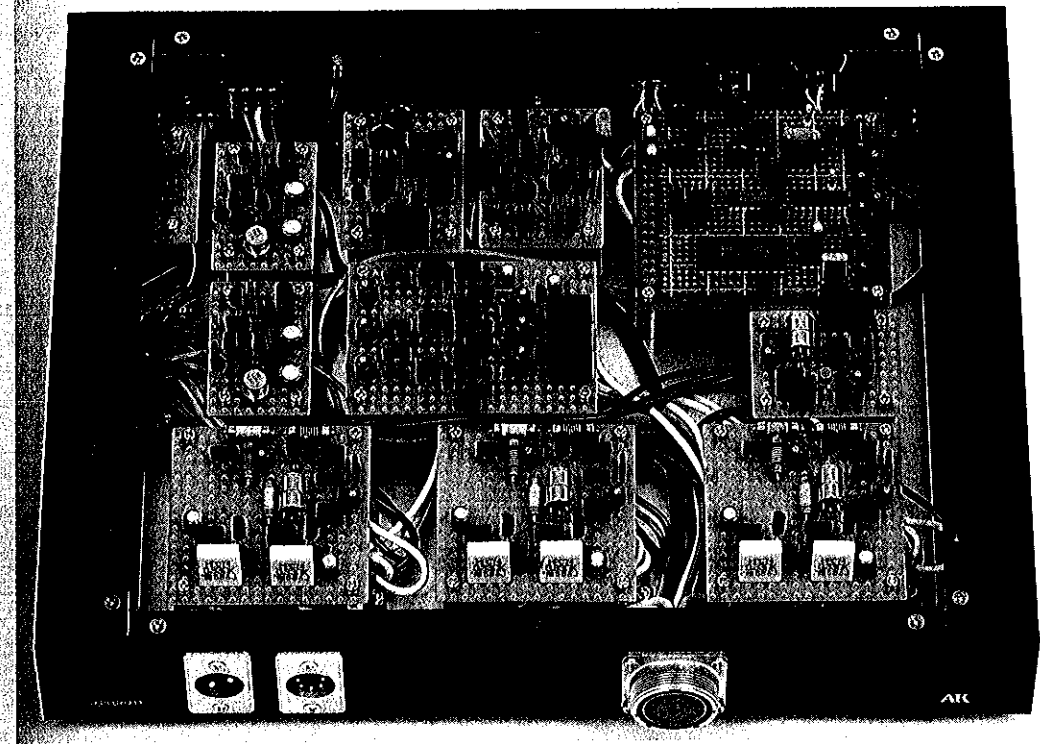


し、 Tr_1 のショート配線を外す。

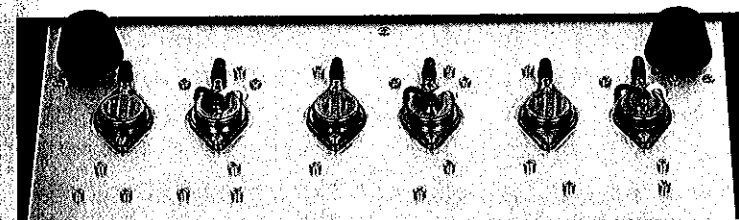
位置検出器&GC基板の調整はモーターを回転させた状態でするので、配線のチェックを入念しておく。チェックが済んだら+5V, 0V, -5Vラインと P_1 , P_2 , P_3 , PCOM, Yラインを引き出す。MDから引き出されたI, Jラインをそれぞれ配線し、基板を固定、電源ラインを中継基板に接続する。

AA基板から+9.9V, 0V, -7.5Vラインを引き出す。位相調整VRを左いっぱいに回し、 V_0 調整VRをセンターにセットする。図24中の⑧・⑨間の配線を外し、 I_0 検出抵抗 10Ω を配線する。この端子電圧が10mVなら I_0 は1mA流れている。電源をオンにして端子Yで V_0 を測る。 V_0 が0VになるようにVRを調整する。 10Ω の端子電圧から I_0 を算出する。 I_0 は5mA~7mAならOKだが、この範囲より少ないときは、 Tr_3 のソース抵抗 R_S を小さい値の抵抗と交換し、多いときは大きい値と交換する。調整が済んだら 10Ω を外し、正規の配線に戻す。S, V, Pラインを引き出し、GCからのYラインを接続する。

位置信号発振器基板から+7.5V, 0V, -7.5Vラインを引き出し、中継基板に配線する。振幅調整VRを左いっぱい回し、出力端子にオシロスコープを接続、電源をオンにする。この状態では0Vの水平ラインしか見えないが、VRをゆっくり右回転していくと、発振が始まり、正弦波が見える。VRの回転につれて振幅が大きくなり、回し過ぎると波形が傾いたように



300×250mm程度の底板に基板がギッシリと取り付けられた内部構造。フロントパネル側に制御部、ボルテージコンパレータ、位置信号発振器、位置検出器&ゲインコントロールアンプ、加算アンプ、電源基板があり、3台のモータードライバンプはリアパネル側に並ぶ



モータードライバンプの出力段は底板に取り付けて放熱する。温度補償のサーミスタはメタルキャンに接着し、リード線をケース内に引き込んで配線する

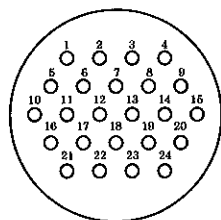
制御基板以外の各基板の調整、基板間の配線が済んだら、今度は、ターンテーブルコネクタにコードを配線する。図44はコネクタのピン配列である。このコネクタは24ピンだが、本機では9~14ピンと16~20ピンは使用しない。COM

入力へ接続、位置検出發振器からのOSC(+), OSC(-)をピンに配線する。次に15番ピンのFG(+5V)を配線、位置検出器からのPCOM, P_1 , P_2 , P_3 を配線する。上段のFG(-5V), とMDの A_1 , A_2 , A_3 を配線する。Mk2ではFG(+5V)とFG(-5V)は必要ないので配線し

5Vラインを引き出し、レギュレータ基板に配線する。基板とスイッチ間の配線は10色フラットケーブルをばらして使うが、すべてばらばらに配線するのではなく、2本または3本まとめて、次のようにグループ分けすると配線がわかりやすい。(33・1/3rpm, 45rpm, +5V)とロータリースイッチ間、(Start, -5V), (Stop, -5V)と押しボタンスイッチ間、(H1-M(+), H1-M(-))とStart LED間、そして(H1-R(+), H1-R(-))とStop LED間だ。

AAからのP, V, Sラインを制御基板に配線する。VC基板からのMSラインをMS入力へ接続する。

【図44】 ターンテーブルコネクタのピン配列



日本航空電子
コネクタ SRCN2A25-24S
プラグ SRCN6A25-24P

1: FG(-5V), 2: A₁, 3: A₂, 4: A₃
5: P_{COM}, 6: P₁, 7: P₂, 8: P₃
15: FG(+5V)
21: FG(+), 22: FG(-)
23: OSC(+), 24: OSC(-)

にセットする。ターンテーブルプラグをコネクタにつなぎ、電源をオンにする。RED LEDが点灯し、ターンテーブルは静止しているはずだ。この状態でクロックパルスをチェックポイントClockで観測する。Clockの波形は幅の狭い正パルスだが、Mk1では f_s が $33 \cdot 1/3\text{rpm}$ で88.8Hz、45rpmで120.0Hz、Mk2では $33 \cdot 1/3\text{rpm}$ で105.5Hz、45rpmで142.4HzになっていればOKだ。

次にStart SWをオンにする。Green LEDが点灯し、ターンテーブルがスタートして加速し、一定の速度になって安定する。感動の瞬間だ。まれにターンテーブルがスタートしないときがある。GCの出力DC電圧が+または-に大きく偏り、スタート時の大振幅駆動ができないときだ。このようなときは軽く手で回してやると連続的に回ようになる。

速度調整と位相調整は後にして、位置検出器とGCの調整をする。MDの出力波形をオシロスコープで観察する。SP-10Mk1は独自の正負非対称の波形で、SP-10Mk2は正負対称の波形だが、波形全体が+側または-側にずれて平均値が0Vにならず、+側の振幅と-

この調整を位置検出器3台についてやる。

次はA₁とA₂の波形を2現象オシロスコープのチョッパーモードで観測する。A₁の振幅とA₂の振幅が微妙に異なるだろう。そこでA₁に対して、A₂の振幅が等しくなるようにGCのA₂のVRを調整する。次にA₁とA₃を比較し、A₃の振幅がA₁の振幅に等しくなるようにA₃のVRを調整する。これで3台のMDの振幅が等しくなった。ターンテーブルがスタートしなかった場合も、今度は順調にスタートするはずだ。

今度は速度調整だ。オシロスコープのCh.1をClock、Ch.2をFGチェックポイントに接続、トリガーソースをCh.1にし、回転数を $33 \cdot 1/3\text{rpm}$ にして波形観測。Clockは静止しているが、FGは左右どちらかに流れているだろう。速度調整VRを回すと波形の流れる速さが変わり、静止する所があるが、静止位置を超えると逆方向に流れるようになる。FG波形の静止する位置でVRの回転を止める。回転数を45rpmにして同様の調整をする。FG波形は結構安定しているが、長時間静止させることは困難で、多少はドリフトがある。こ

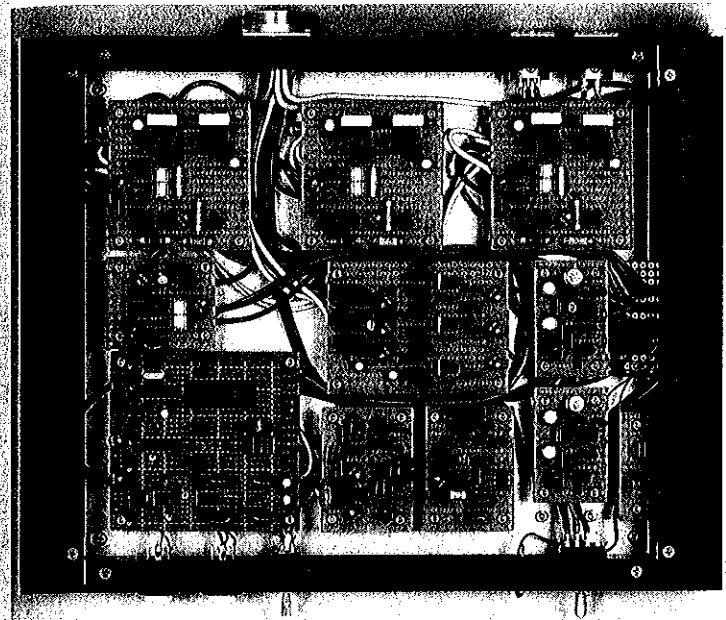
うにClockに接近し、ぴたりと同期する。位相ロックがかかった瞬間だ。VRをさらに回すとロック状態が続くが、回し過ぎると、不安定になり、振動するようになる。位相制御量が多過ぎる状態だ。VRを戻しスムーズにロックする状態にする。

位相制御がかかるとA₁、A₂、A₃波形のピーク部に小さな階段状の波形が乗る。階段の周期はClock周期に等しい。位相制御がゼロなら階段もゼロになり、制御量が多くなると階段の高さが高くなる。適正制御のときはわずかな階段波形が乗る。慣れてくると階段波形で適正制御量を判断できる。もちろん最終判断は音楽が鮮明に生き活きと鳴ることで行う。

本機の音

本機の音を最も正確に、客観的に評価する方法はAC電源の制御アンプと比較することだ。ターンテーブル本体も同じ、制御アンプの基本回路も同じ。主な違いは電源だ。バッテリーの効果を評価するために、他のすべてのアンプをバッテリードライブにする。717Aバッテリードライブプリアンプ+バッテリードライブパワーアンプによる、4ウェイマルチアンプで試聴する。

AC電源制御アンプから本機に切り換えると、音の鮮明度と分解能の高さに驚かされる。ソースから音と音楽を掘り起こす力がいっそう強くなった。オーケストラの実演を見ているとわかるが、オーボエやクラリネットなどのソロの



消費電流を抑えてバッテリー電源を実現できたため、レギュレーターの制御トランジスタは小さなもので済む。モーターが3相なので位置検出器&ゲインコントロールアンプとモータードライブアンプは3組ある

こえる。

ティンパニとバスドラムが音をやり取りして、メロディーを作るシーンなど、本機ではじめて発見できたことも多い。楽器には楽音と同時に多くの付帯音があるが、本機ではそれがリアルに再現できる。フルートに息を吹き込み、音が発せられる瞬間の音とか、クラリネットやファゴットのタンポの音など、それも大事な音楽に聴こえる。

楽器の種類と数を次第に増やしながら、クレッシェンドしていくシーンなどは、本機ならではのスリル感がある。どんなffでも実にスムーズで鮮やかだ。しかも高分解能を発揮する。これがすべて音楽表現に貢献する。

楽器の違いによるコントラスト、

奏を際立たせ、音楽の深さを表現する力になる。

3次元的空間構成員もいっそう強くなった。前に出る音、バックで支える音、前後左右はもちろん、上下にも音が分布する。幻想的な世界を表現する音楽では、空間構成員が大きな支えになる。

またしても乗り越えられない音の壁にぶつかってしまった。今度はAC電源アンプの音をバッテリーアンプの音に近づけるための努力が必要だろう。しかしバッテリーという目標があるからこそ、AC電源の音を最短距離で追求できる。その意味で我々は最良の手段を手に入れたのだ。