

真空管アンプ作り入門教室 資料

1 はじめに

真空管アンプには例えば「300B シングルアンプ」とか「KT88 プッシュプルアンプ」とか種類があるが、「300B」とか「KT88」というのは出力管の名前。出力管の種類は大きく二つある。

① 多極管（五極管、ビーム管）

- ・ KT88、6CA7 (EL34) など
- ・ 出力が大きい、そのままでは歪みが大きいので NFB（負帰還）を用いて、アンプの特性を改善している。

② 三極管特に直熱三極管

- ・ WE300B、2A3 など
- ・ 出力は小さいが、歪みが少ないので NFB なし（無帰還）でもいい。

注) 傍熱管と直熱管 ヒーターが裸のものが直熱管。ヒーターとは言わず、フィラメントという。

フィラメントがむき出しでは形状などばらつきがある点などを改良してフィラメントをカソードで包んだのが傍熱管。直熱管は 300B など三極出力管と 5U4 など整流管の一部がある。

2 アンプの基本は出力管の動作のやり方

出力管にはそれぞれ規格があって動作例が示されている。例えば直熱三極真空管 45 と傍熱五極管 6CA7 の動作例は次のとおり（「全日本真空管マニュアル」ラジオ技術社刊）

(582) 電力増幅管		(82) 受信管規格表	
接続		接続	
名称	RCA-10	名称	6CA7 (EL 34)
用途 種類 E _r I _t	発振・電力増幅用 3極管 7.5×1.25	用途 種類 E _r I _t	電力増幅用 高圧5極管 6.3×1.5
E _{bb}	—	E _{bb}	2000
E _b	425	E _b	800
P _p	—	P _p	25 (信号時 27.5W)
E _{cc2}	—	E _{cc2}	—
E _{c2}	(C _{gp} 7pF)	E _{c2}	500 (C _{in} 15.2)
P _{g2}	(C _{ef} 4pF)	P _{g2}	8 (C _{out} 8.4)
I _k	(C _{pf} 3pF)	I _k	150 (C _{gp} 1.1max)
E _{c1}	—	E _{c1}	— (C _{gb} 1.0max)
R _g C	—	R _g	{ 0.7 (A ₁ AB ₁ 級) 0.5 (B 級)
e _{hk}	—	e _{hk}	100
動作	静特性	動作	A ₁ S AB ₁ PP (F) (C)
E _b	250 350 425	E _b	*250 *250 355 350 *375 *400 420 400 375 370 350 325
E _{c2}	—	E _{c2}	(R _{g2} =2k) (R _{g2} =0) (R _{g2} =470Ω) (R _{g2} =1k) (R _{g2} =470Ω)
E _{c1}	-23.5 -32 -40	E _{c1}	-14.5 -13.5 — — — -38 -38 -38 -32 -32 -32
R _g	2350 2000 2220	R _g	1020 1470 1550 — — — — — — —
I _k	13 11 10.2	I _k	2.7 3.9 4.6 3.2 5.06 — — — — — — —
E _{g1}	—	E _{g1}	—
I _{b1}	10 16 18	I _{b1}	31 34 36 28 72 — — — — — — —
I _{b1g}	—	I _{b1g}	—
I _{c20}	—	I _{c20}	138 90 — — — — — — —
I _{c2sig}	—	I _{c2sig}	—
E _m	1.33 1.55 1.6	E _m	2.125 2.175 2.050 — — — — — — —
T _p	6 5.15 5	T _p	1.65 1.61 1.7 — — — — — — —
μ	8 8 8	μ	3.5 3.5 3.5 — — — — — — —
μ _{g1g2}	—	μ _{g1g2}	—
P _o	0.4 0.9 1.6	P _o	0.825 1.6 2.0 18 12 — — — — — — —
KF	—	KF	5 5 — — — — — — —
備考		備考	* または E _{bb} =265V E _{c2} =0V () 内は出力 50mW 時の入力電圧 R _{hk} =20kΩmax, T _b =200°Cmax (管壁) E _{bb} =375V E _{c2} =0V R _{g2} は同 G に共通 E _{c3} =0V E _{bb} の低いばあい R _{g2} は同 G に共通 E _{c3} =0V

(104)

海外著名出力管特性表

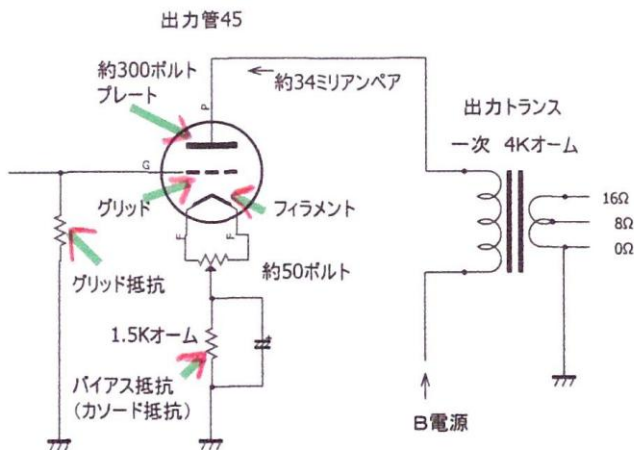
名 称	WE-300B	WE-350B	
用 途 ・ 種 類	電力増市用3極管	電力増市用ビーム管	
ヒータ規格 (V) × (A)	5.0 × 1.2	6.3 × 1.6	
最大定格			
プレート電圧 (V)	480	400	
スクリーン電圧 (V)	—	300	
プレート損失 (W)	40	30	
スクリーン損失 (W)	—	4.0	
ヒータ・カソード間電圧 (V)	—	150	
動作	A ₁ S	A ₁ PP	
プレート電圧 (V)	300	400	
スクリーン電圧 (V)	—	300	
第1グリッド電圧 (V)	-61	—	
プレート電流 (mA)	60	53	
相互コンダクタンス (mV)	5.4	6.25	
プレート抵抗 (kΩ)	0.7	64	
増巾率	3.8	—	
出力 (W)	6.0	15	

WE-300B
154mm×60mmWE-350B
130mm×51mm

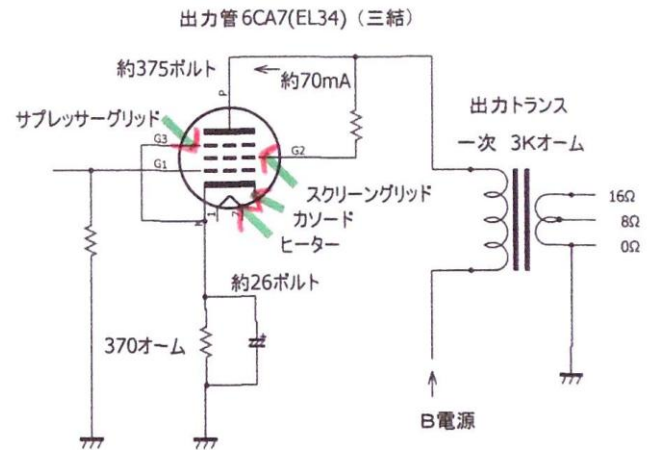
出力管 45 の動作の例ではプレート電圧 250 ボルト、バイアス抵抗 1470 オーム、プレート負荷抵抗 3.9K オーム、プレート電流 34 ミリアンペア、出力 1.6 ワットとなっている。同じく 6CA7 の三結シングル例ではプレート供給電圧 375 ボルト、カソード抵抗 370 オーム、プレート電流 70 ミリアンペア、出力 6 ワットとなってい

る。この二つの動作例を回路図で見ると、

出力管45の動作例



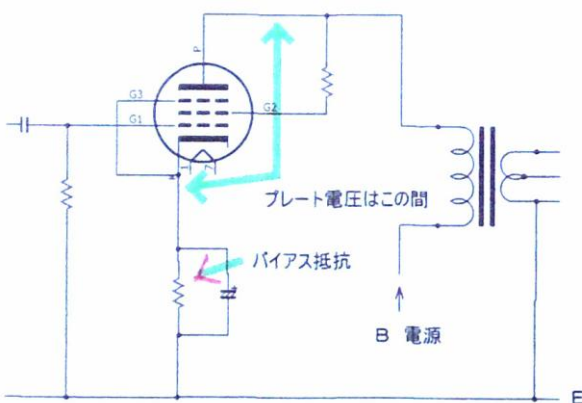
出力管6CA7(三結)の動作例



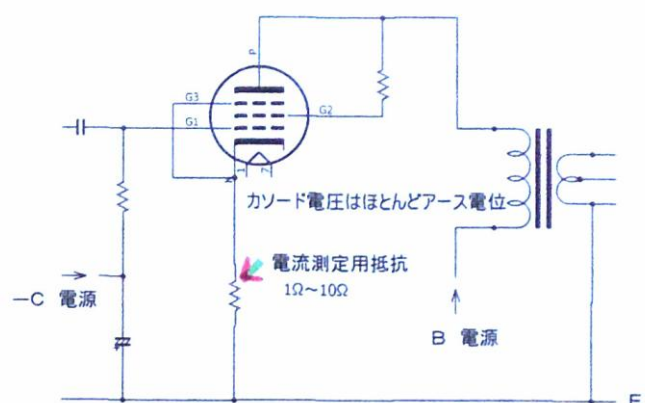
どちらの動作例も真空管とスピーカーの間にトランスをつないで、真空管のカソード（フィラメント）に一定の抵抗をつないでアースし、トランスの一次側から一定の直流電圧をかければカソードが一定の電圧（これをバイアス電圧という）になって出力管に一定の電流（プレート電流という）が流れるという動作。この状態でグリッドに信号を加えるとスピーカーから音が出る。

この2例ともカソード抵抗でグリッドのマイナス電位を得る「自己バイアス」方式だが、グリッドに直接マイナス電位を与える「固定バイアス」方式もある。

自己バイアス回路の例



固定バイアス回路の例

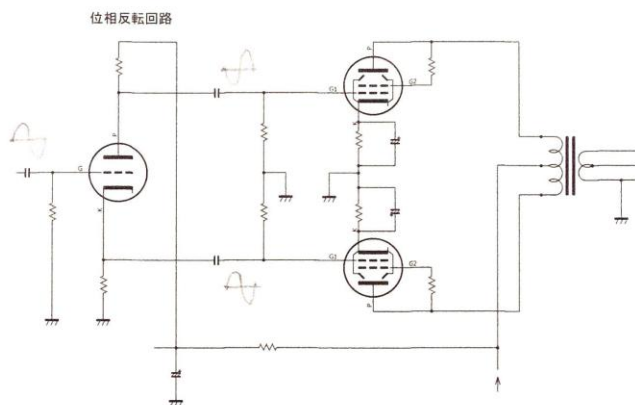


回路が簡単で、長時間の安定性もある。また、カソード抵抗の存在はプレート電流増加に抑制的に働くので、過大電流などの事故が起きにくい。一方、カソード電圧の分、B電圧から差し引かれるので、プレート電圧がその分低くなる。

B電圧がそのままプレート電圧（カソード・プレート間電圧）として生かせる。一方、余分にC電源を用意しなければならず、回路が複雑になる。また、出力管に過大電流が流れるような事故が生じた場合、歯止めがないので、注意。

これまでの例は真空管を1本使うシングル回路だが、出力管を2本使うプッシュプル回路もある。300Bの場合はウェスタンエレクトリック自体がシングルアンプを映画館用として多用したという経緯があり、最近もシングルアンプが主に作られているが、多極管のKT88や6CA7などはプッシュプルが主で、マッキントッシュやマランツの有名アンプは全てプッシュプル回路のアンプ。

プッシュプル動作の回路例



位相反転の方式にはいくつか種類があり、上の例は「PK分割」方式で、単純なためよく使われる。トランスを使う方式もあり、簡単な回路でできるが、トランスを必要とする。

シングル回路の特色

- ・出力管が1本でいいので、シンプル。
- ・一次電流が一方向のため磁化の影響があり、低域の低下を防ぐにはトランスを大きくする必要。

プッシュプル回路の特色

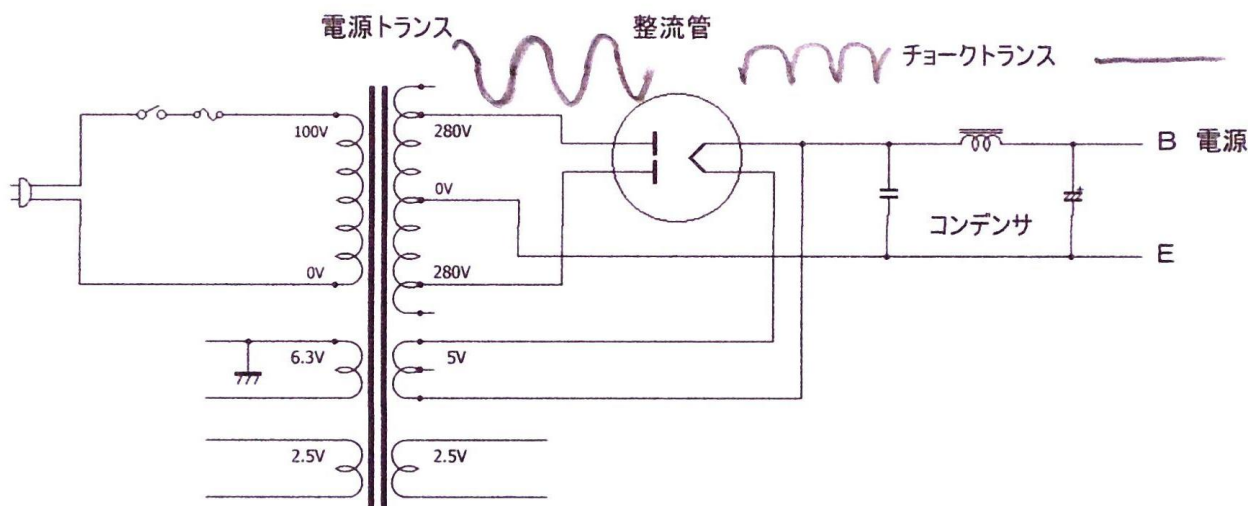
- ・大きな出力を得やすい。
- ・一次電流が中点から2方向に流れるので磁化はキャンセルされ、低域が伸びる。この点、シングルに比べていいトランスが得やすい。
- ・出力管で発生する歪みが打ち消される面があり、低歪化で有利。
- ・位相反転回路が余分に必要で、回路が複雑になる。

3 電源

上述のように出力管を動作させるためには電源が必要。出力管45の場合、2ページの図の「B電源」が約300ボルトの直流、あとフィラメントの電源として2.5ボルト1.5アンペアが必要。

(1ページの規格表の上の欄) いずれも家庭用100ボルトの交流をトランスで変圧して供給するが、直流は二極真空管(整流管)かダイオードを使って直流に変える。これをコンデンサやチョークトランスで平滑にしてい直流にする。

電源回路の一例



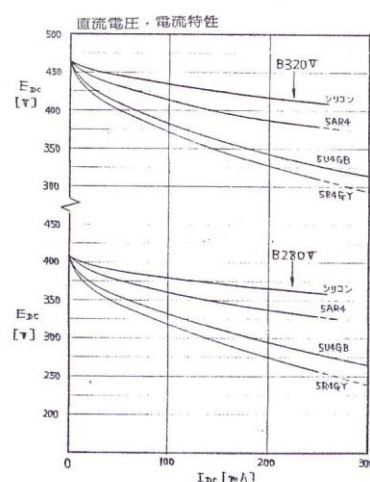
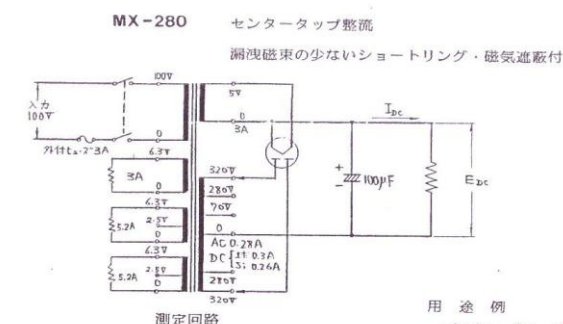
電源トランスの二次側の280ボルトに昇圧された交流を整流管のプレートに加えるとフィラメント(傍熱管ではカソード)側に直流として出て来る。ただし、直流とは言え図のように波打つ形なので、これをコンデンサとチョークトランスを通すことで平滑な直流に変える。トランスの280ボルト端子から整流したとき、電源トランスの特性や整流管の種類、それに消費電流によって、得られる直流電圧にはだいぶ違いが出る。次ページの参考資料を参照。

ヒーター(フィラメント)用の電源は45の場合には2.5ボルト巻線から供給。2ページの図のよ

うに、交流 2.5 ボルトの間にボリューム（100 オーム程度）を入れて、その中点をバイアス抵抗につなぐ。このボリュームがハムランサーで、60 ヘルツの雑音（ハム）が低下するように調節する。45 の場合は 2.5 ボルトで低圧なので、これでハム音は支障のない程度にまで低下するが、300B は 5 ボルトのため、交流ではハム音が強く、直流にして供給するのが普通。（直流点火という。）

参考資料

4. 4. トランス



用途例

プッシュプル・ステレオ

6L6GC 7591 VT-52

2A3 6B4G 6CA10

PX-4 (2.5V ~ 6.3V間 ≒ 4V)

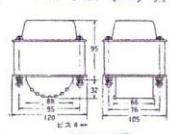
シングル・ステレオ or

プッシュプル・モノアンプ

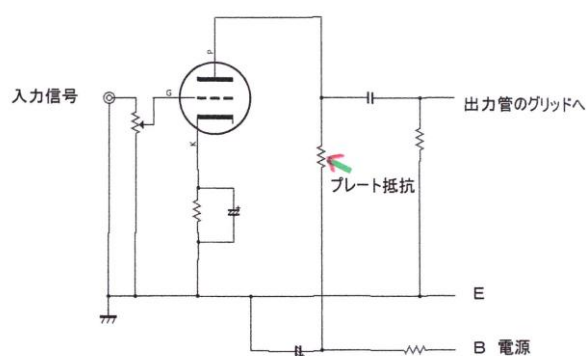
KT-88 KT-66 EL-34 (6CA7)

PX-25 (A) (2.5V ~ 6.3V間 ≒ 4V)

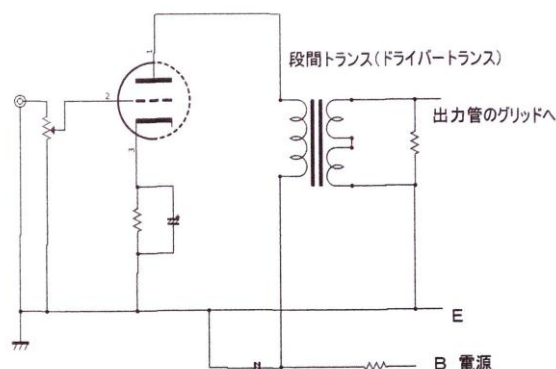
取付寸法 (mm)



電圧増幅管の動作例



トランス結合による電圧増幅の例

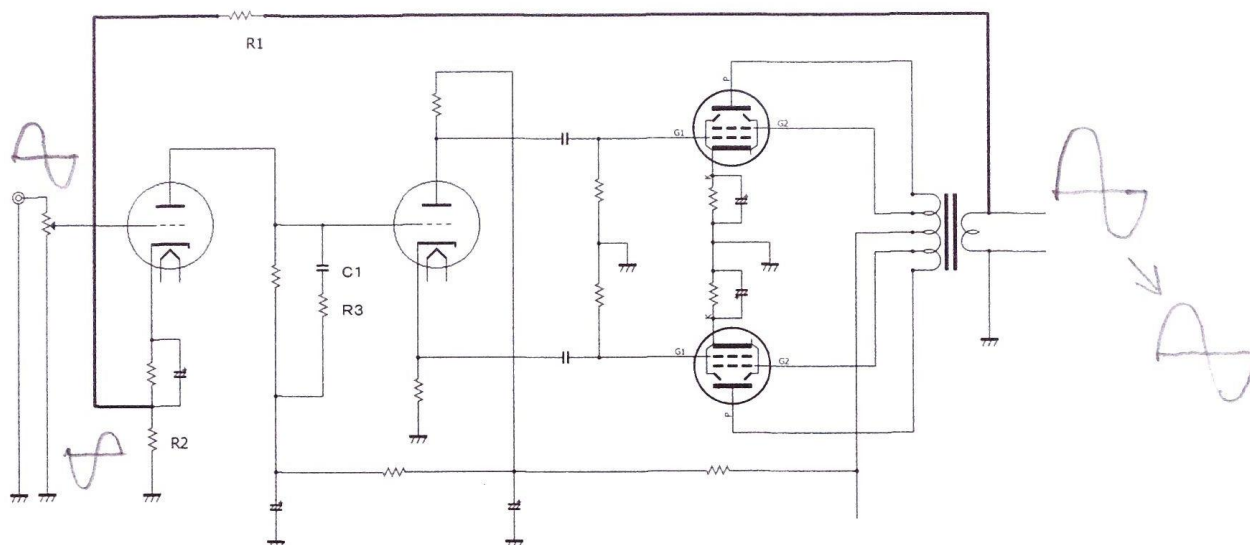


電圧増幅管には多くの種類があり、三極管では増幅率が 10 倍～20 倍程度の 6SN7、12AU7 など、増幅率が 50 倍～100 倍の 6SL7、12AT7、12AX7 などがよく使われる。五極管では 6SJ7、EF86 などがあり、増幅率が高い。真空管には増幅率のほか内部抵抗の大小があり、回路の特性に作用する（内容は省略）ので注意が必要。一般的には増幅率が低いほうが内部抵抗も低く、増幅率が 100 倍もある 12AX7 などは高く、五極管は相当高い。

5 負帰還 (NFB)

出力信号の一部を逆位相にして入力に加えることで歪みを減らす技術。下の図を参照。

自帰還 (NFB) の概要



$\frac{R_2}{R_1+R_2} = \beta$ として、帰還無しの際のオプ利得を A とすると負帰還オプの利得は $A \div (1 + A\beta)$ となる。

$1 + AB$ を還送差といい、デシベルで表す。

(何デシベルのNFBがかかっているかというのは、この $1 + A\beta$ のこと)

例えば20dBつまり10倍のNFBをかけるという場合、 $1 + A\beta = 10$ で、NFBによりアンプの利得は10分の1に低下する。

負帰還の効用

- ①歪みの改善 ②周波数特性の改善 ③ダンピングファクターの向上 ④雑音の減少

負帰還のデメリット

①回路の複雑化（負帰還で減る利得を加えた増幅度が必要など） ②安定性の減少（発振が起きるかも） ③過渡特性の悪化（何となく音が悪いなど） ほか「音が引っ込んだ感じ」など 負帰還なしのアンプを無帰還アンプと言い、特に直熱三極管は元々歪みが少ないことから無帰還アンプとすることが行われている。無帰還アンプは回路が簡単にでき、作りやすい。

6 アンプの回路図

以上のことを踏まえて、作るアンプの回路図を決める。2 ページの上左の出力管の動作例と 3 ページの下の電源回路の例と 4 ページの下左の電圧増幅の例を組み合わせで作ったのが別添の 300B シングルステレオアンプの回路図。

図書館にも真空管アンプ関係の本があり、またインターネットにも真空管アンプ関係のサイトは多いので、これらを参考にする。例えば「手作りアンプ工房」のサイトには真空管アンプの製作例がたくさん出ている。

7 実際の製作

真空管、トランス、抵抗、コンデンサなどのパーツ類を回路図のとおりシャーシに取り付けて線材でつなげばアンプができる。真空管の接続は規格表に図で示しており、ネットで調べることができる。

(1) 材料集め

トランスはヤフオクや店（ゼネラルトランス）などで入手する。ラックス、サンスイ、タムラ、タンゴが競っていいトランスを作っていたが、順次生産縮小、あるいは撤退。タムラ、サンスイ（橋本に移管）、タンゴ（ISO トランスが引き継ぎ）が生産販売しているが、高価。それで、ヤフオクで中古のいいものを入手するのが利口。電源トランスはタンゴがおすすめ。出力

トランスはタンゴ、サンスイ、タムラ、ラックスいずれもいいが、ラックスの一部には断線しやすいものがある。

真空管はヤフオクがおすすめ。出品者の評価などを見て、いいものを選ぶ。気長に普段から観察していると、相場も分かるし、いいものを入手するやり方が見えてくる。

抵抗、コンデンサ、スイッチ、入出力端子、ボリュームなどのパーツや配線材もヤフオクや店のネット販売を利用する。(三栄電波、秋月電子、若松通商など)。バンテックエレクトロニクスという店が島根県にあり、アメリカのコンデンサなどがそろっていて、通販で買える。シャーシはゼネラルトランスの「奥澤シャーシ」。線材はオヤイデなど。東京の秋葉原や大阪の日本橋などに行く機会があれば現物を見て買える。

(2) 工具類

ハンズマンなどで買える。工具はずっと使えることを考えれば安い。

- ・シャーシ工作用 ドリル、金切ノコ、ヤスリなど
- ・配線作業用 ハンダこて、ラジオペンチ、ニッパなど

(3) シャーシ工作

キットでの製作ではシャーシは既に加工作されているのでソケット、トランス、スイッチ等の部品の取り付けから始められるが、シャーシから自分で作る場合、まずトランス、真空管の配置を検討する。本やインターネットで製作例を調べて参考にする。アルミ製のシャーシが加工しやすい。

① 配置を決めたらサインペンなどで印しを書く。千枚通しなどでシャーシ表面にけがくやり方でもいい。

② 穴開け工作

ドリル、金切ノコ、ヤスリなどを使い、必要な穴を開ける。木工作に比べて板金工作はけっこうきつい、急がない。ドリルの穴開けも金切りノコも熱を発するし、急いだり激しくしたりすると刃が折れるのでゆっくり進める。

③ 塗装

穴開け加工ができたら目の細かいペーパーをかけて古布などで掃除する。油分を除く点では洗剤を使つての水洗いが完ぺきだが、手間がかかる。

スプレー缶の塗料(水性が手軽)を使って、好みの色に塗装する。十分乾燥させる。

(4) 部品取り付け

完成したシャーシにトランス、ソケット、スイッチ、入出力端子、ボリュームなどを取り付けるが、工作の過程でシャーシやトランスなどに傷付けないう注意が必要。ソケットなどの取り付けは方向にも注意。なお、ネジはしっかり締めるが、きつく締め過ぎるとネジをこわしたりするので適度に。

(5) 配線作業

回路図のとおり部品端子どうしを線材でつないで行く。線の長さや引き回し方は製作例を見習う。実体配線図や写真を参考にする。ハンダ付けはハンダでくっつけるのではなく、線を端子などからめてラジオペンチでぎゅっと締め、そこにハンダごてを当てて熱したところにハンダを流して固めるという感じで進める。

(6) 点検、測定

配線が終わったら回路図のとおりできているか点検する。急がずに、できれば2回ほど見る。テスターを抵抗レンジにして、テストリードの黒をシャーシに当て、赤リードを初段管(電

圧増幅管)のグリッドに当てる。ボリュームを回して抵抗値が変化するのを確認。同じようにして赤リードを電圧増幅管、出力管のカソード(フィラメント)に当て、バイアス抵抗の値になっているのを確認。同じようにB電源に赤リードを当てると0オームでなく、次第に変動して数秒後には200Kオームくらいに落ち着くことを確認。ヒーター(フィラメント)の両端子間の抵抗も0オームではなく、0.1オームとか0.2オームを示すはず。次に整流管以外の真空管を差し電源を入れ、ヒーター(フィラメント)が所定の交流電圧になっているか確認。プラスマイナス5パーセント程度の値であれば合格。最後に、整流管も差し、スピーカーも接続して電源を入れ、テスターの直流電圧レンジで出力管、電圧増幅管のプレート電圧(プレートとアース間)、バイアス電圧(カソード・フィラメントとアース間)を計り、おおむね回路図の値のプラスマイナス10パーセントであれば合格。

【参考】回路の基本数式

$$\begin{array}{ccccccc} \text{電 圧} & = & \text{電 流} & \times & \text{抵 抗} \\ V & = & i & \times & R \end{array}$$

$$\begin{array}{llllll} \text{(単位)} & V & = & \Omega & \times & A & \cdots \cdots \text{式 1} \\ & V & = & K\Omega & \times & mA & \cdots \cdots \text{式 2} \end{array}$$

2 ページの上左の回路例でカソード抵抗が1.5K Ω 、電流が34mA になっているのでカソードの電圧は上の式2から1.5 \times 34=51 になり、単位はVで回路例の「約 50 ボルト」と合っている。

同じように2 ページの上右の回路例ではカソード抵抗が370 Ω 、電流が70mA になっているのでカソードの電圧は式1から370 \times 0.07(70mA は0.07A だから)=25.9 になり「約 26 ボルト」になる。