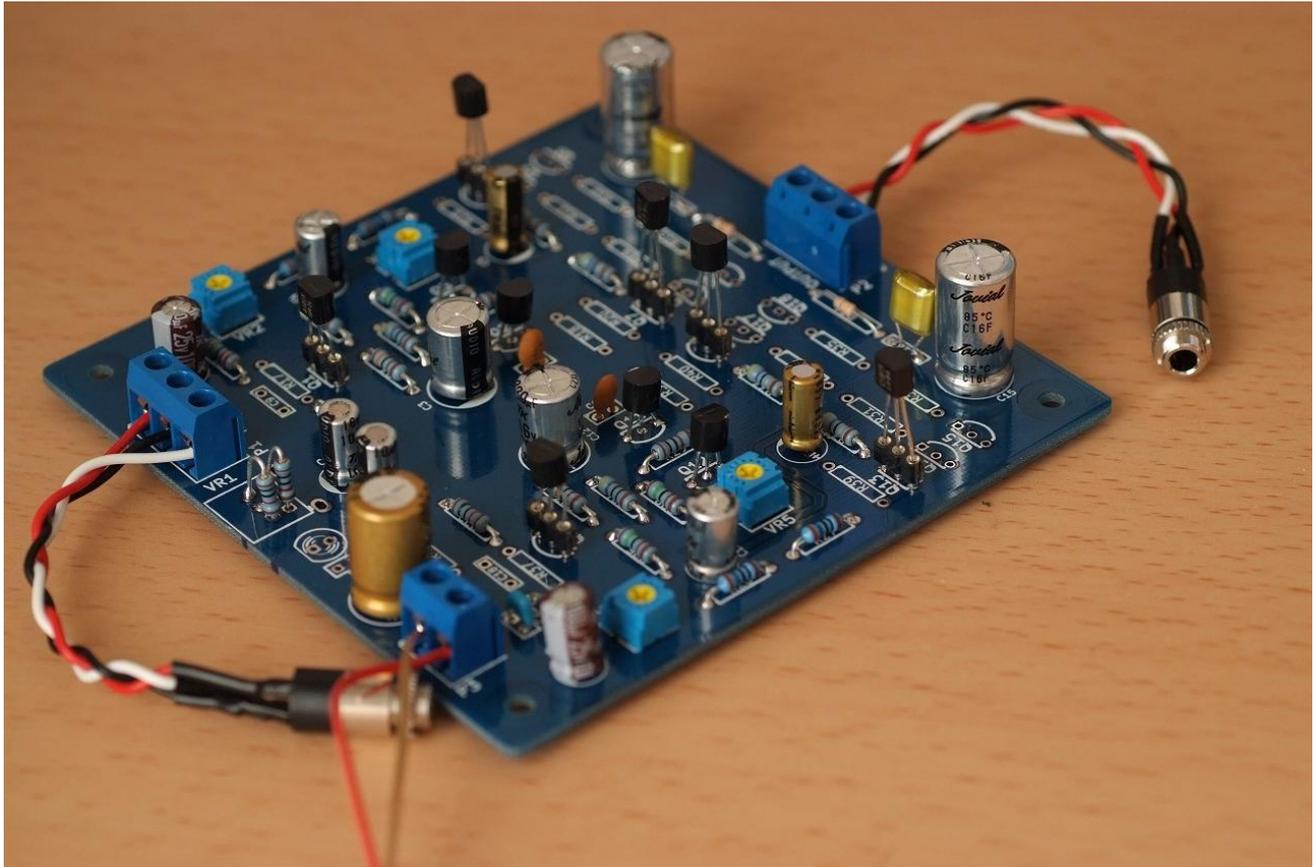


実験しながら楽しむ

# ヘッドホンアンプ基板

Rel. 2013/09/01 Ver. 1.2



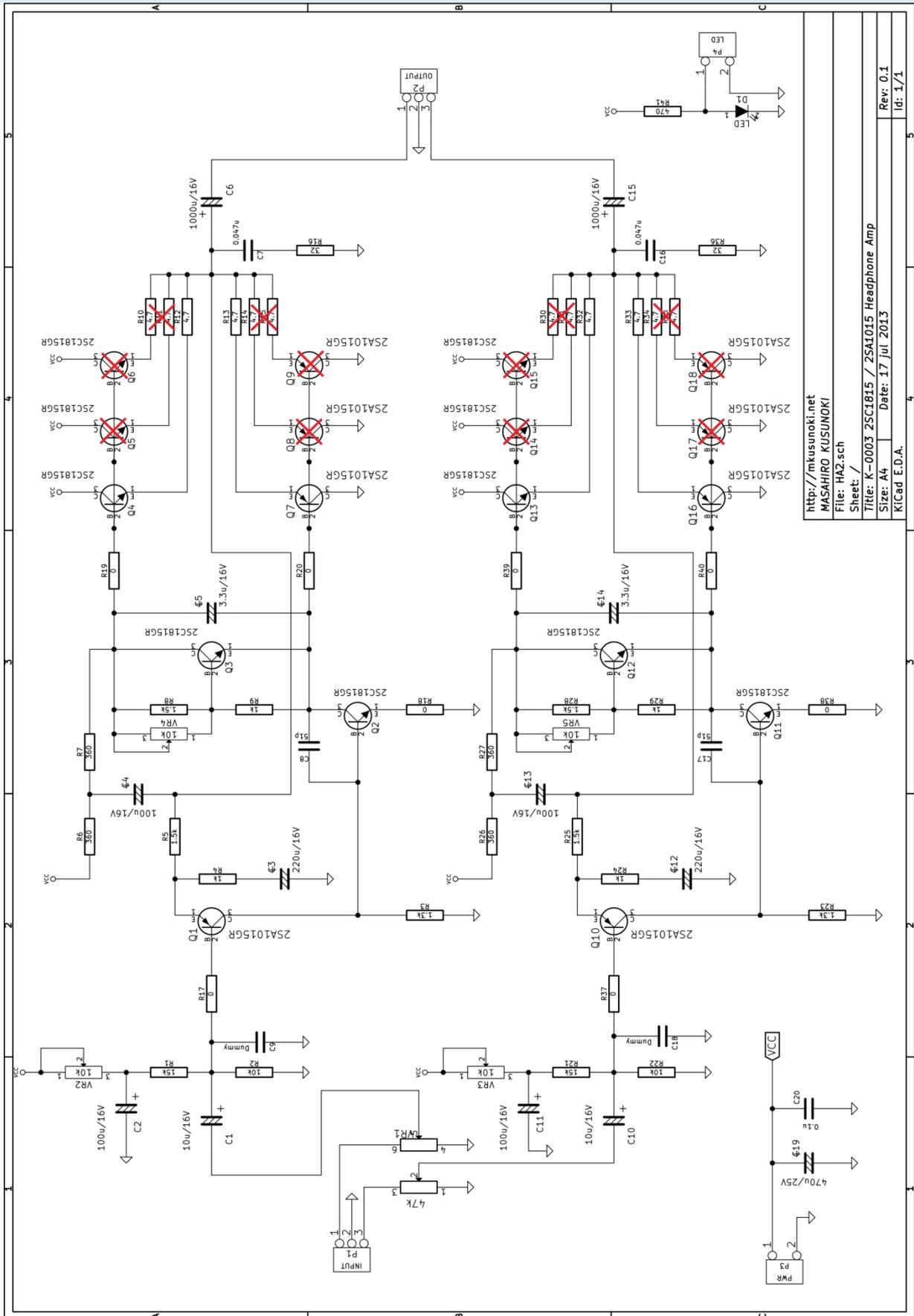
**基板の配布だけです部品はついていません**

## この基板について

- とりあえず作ってみたいと思われた方向けに小出力ヘッドホンアンプ基板を提供させていただくものです
- OPAMP, 専用 IC など使用しないディスクリートアンプキットです
- トランジスタを違うものに交換してカスタマイズも可能です(差し替えだけでいける場合もありますが、チェックは必要です)
- 定番の回路を使用していますので、設計の基礎が学べます

電源電圧は 9V で計算していますが 12V 程度でも動作可能です。

# 回路図(サンプル回路図)



<http://mkusunoki.net>  
 MASAHIRO KUSUNOKI  
 File: HA2.sch  
 Sheet: /  
 Title: K-0003 2SC1815 / 2SA1015 Headphone Amp  
 Size: A4  
 Date: 17 Jul 2013  
 Rev: 0.1  
 id: 1/1  
 KiCad E.D.A.

## 部品表(サンプル回路図)

部品番号	数量	型番	備考
Q1,Q10	2	2SA1015	GR / Y ランク可
Q2~Q3 Q11~Q12	4	2SC1815	GR / Y ランク可
Q4,Q13	2	2SC1815	GR / Y ランク可。2SC2120 なども可
Q7,Q16	2	2SA1015	GR / Y ランク可。2SA950 なども可
Q5~Q6 Q8~Q9		----	未使用
Q14~Q15 Q17~Q18		----	未使用
R1,R21	2	15k $\Omega$	金属皮膜抵抗
R2,R22	2	10k $\Omega$	金属皮膜抵抗
R3,R23	2	1.3k $\Omega$	金属皮膜抵抗
R4,R9 R24,R29	4	1k $\Omega$	金属皮膜抵抗
R5,R8 R25,R28	4	1.5k $\Omega$	金属皮膜抵抗
R6,R7 R26,R27	4	360 $\Omega$	金属皮膜抵抗
R12,R13 R32,R33	4	4.7 $\Omega$	金属皮膜抵抗。1 $\Omega$ ~4.7 $\Omega$ 程度で調整
R10,11,14,15 R30,31,34,35		----	未使用
R16,R36	2	33 $\Omega$	ヘッドホンにあわせて 33 $\Omega$ や 62 $\Omega$ など
R17,R18,R19,R20 R37,R38,R39,R40		0 $\Omega$	ハンダブリッジ
R41	1	470 $\Omega$	使う LED と電源電圧にあわせて値は調整
VR1	1	50k $\Omega$	基板から線を出して VR と接続
VR2~5	4	10k $\Omega$	半固定抵抗
C1,C10	2	10 $\mu$ F/16V	オーディオ用
C2,C11	2	100 $\mu$ F/25V	一般用、低 ESR 品だとより良い
C3,C12	2	220 $\mu$ F/16V	オーディオ用
C4,C13	2	100 $\mu$ F/16V	オーディオ用
C5,C14	2	3.3 $\mu$ F/16V	オーディオ用
C6,C15	2	1000 $\mu$ F/16V	オーディオ用
C7,C16	2	0.047 $\mu$ F	フィルム系など
C8,C17	2	51p	
C9,C18		----	未使用
C19	1	470 $\mu$ F/25V	一般用、低 ESR 品だとより良い
C20	1	0.1 $\mu$ F/50V	一般的なセラミックコンデンサ
D1	1	LED	
P1,P2	2	ターミナルブロック 3 端子	
P3	1	ターミナルブロック 2 端子	
P4	1	----	LED の予備穴
ステレオジャック	2	3.5mm や標準ジャックなど	パネル取り付け用
ボリューム	1	47k $\Omega$	パネル取り付け用
DC ジャック	1	2.1mm や極性統一など	パネル取り付け用

電解コンデンサは全てオーディオ用のもので製作されたほうが結果良くなると考えられますが、試作段階では手持ちの関係もあったため下記コンデンサを使用しています。

オーディオ用と書いたコンデンサは東信工業 1HUTSJ シリーズを使用(銀色のコンデンサ)

C2,C11 東信工業 1EUTWRZ シリーズを使用

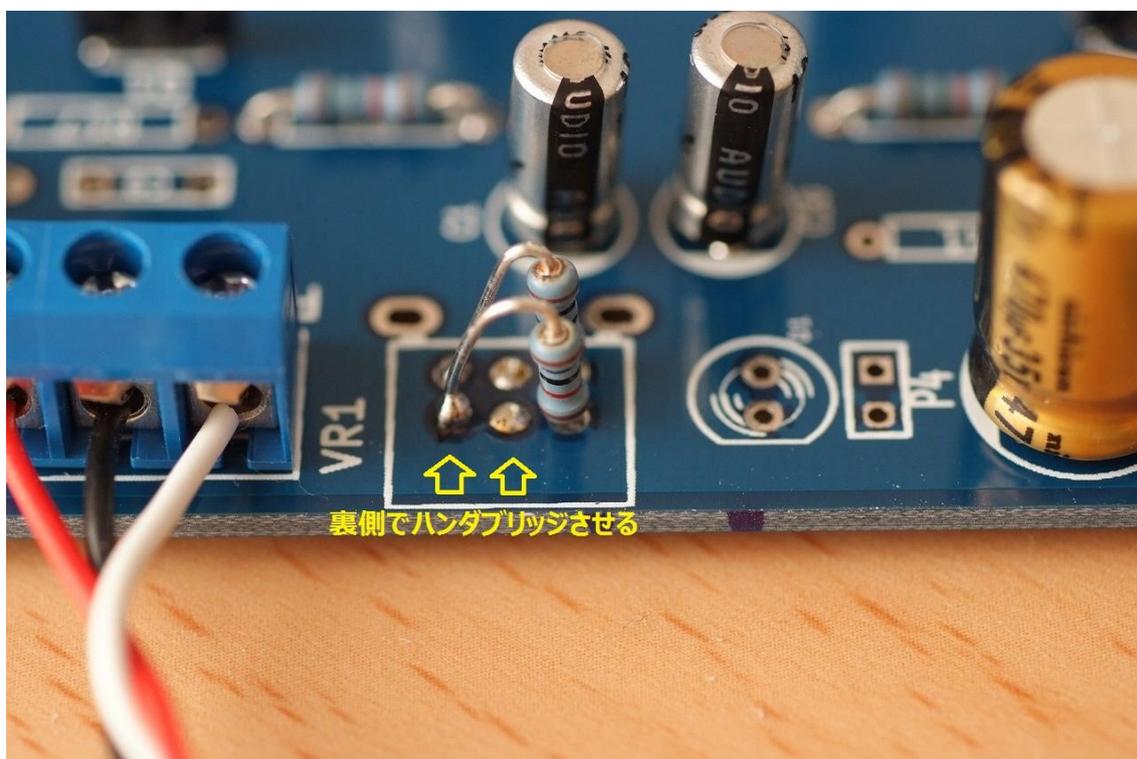
C19 ニチコンの FW シリーズを使用

## 組立手順

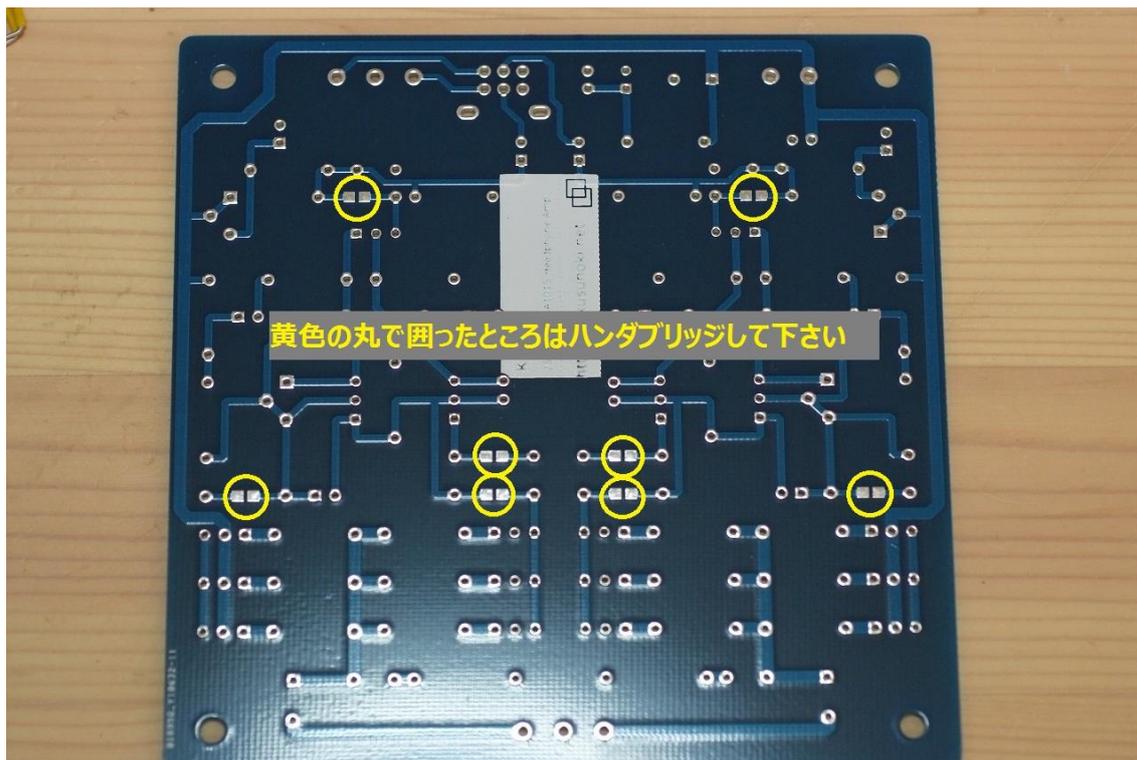
ハンダ付けの仕方や一般的な電子部品の取り扱いなどはこちらでは説明しません。必要なら Web サイトを検索するなどしてご確認ください。また、回路図の部品番号と部品配置図をよく確認していただき部品の取り付けをお願いします。

## プリント基板の注意点

- トランジスタの足は全て ECB の順になっています。実験などで違うトランジスタに交換する場合は注意して下さい
- P3 のコネクタ部分は電源入力ですが +- の表示がありません。P3 と書かれているほうのスルーホールが +(プラス) で C19 のコンデンサ側のスルーホールが -(GND) です。
- P1, P2 はオーディオ入力・出力の端子です。3つあるうちの真ん中が GND です。
- VR1 は 2.54mm ピッチ間隔でスルーホール作ってあります。ボリューム不要の場合は次の写真のように 10k $\Omega$  程度の抵抗で受けて下さい。取り付け例は以下の写真参照下さい。



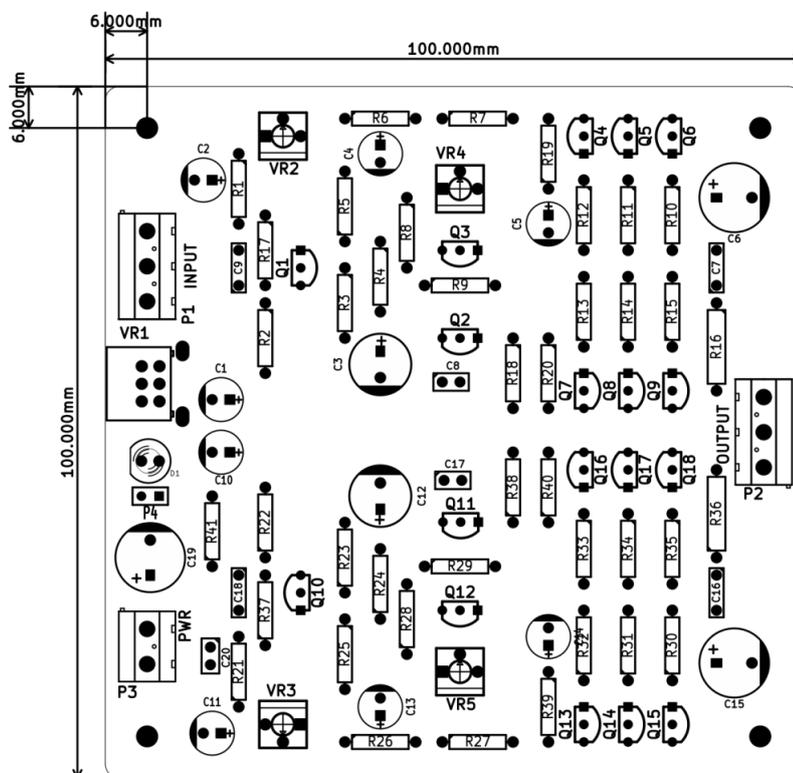
- ・回路図上 0Ω の場所はハンダブリッジさせて下さい。



- ・ Q4~Q6,Q7~Q9 : 終段のトランジスタですが、Q4, Q7 のペア 1 組だけで小型ヘッドホンは十分駆動出来ます。モニタ用ヘッドホンなどある程度出力が必要な場合に備えて 3 パラまで行けるよう基板を作っております。

## 部品面シルク印刷

抵抗などを取り付けますと部品番号のシルク印刷がかくれるので掲載しておきます。



## 組立後の調整

初めて電源投入する前に基板上の VR2, VR3, VR4, VR5 は左側一杯にまわしておいてください。

### 終段の出力部分の電圧調整

終段のプッシュプル部分の電圧調整。サンプルの回路図では電源電圧を 9V にしていますので、電源電圧の半分である 4.5V になるよう VR2 で調整します。もう一方のチャンネルも同様に VR3 で調整します。

### 終段のアイドル電流の調整

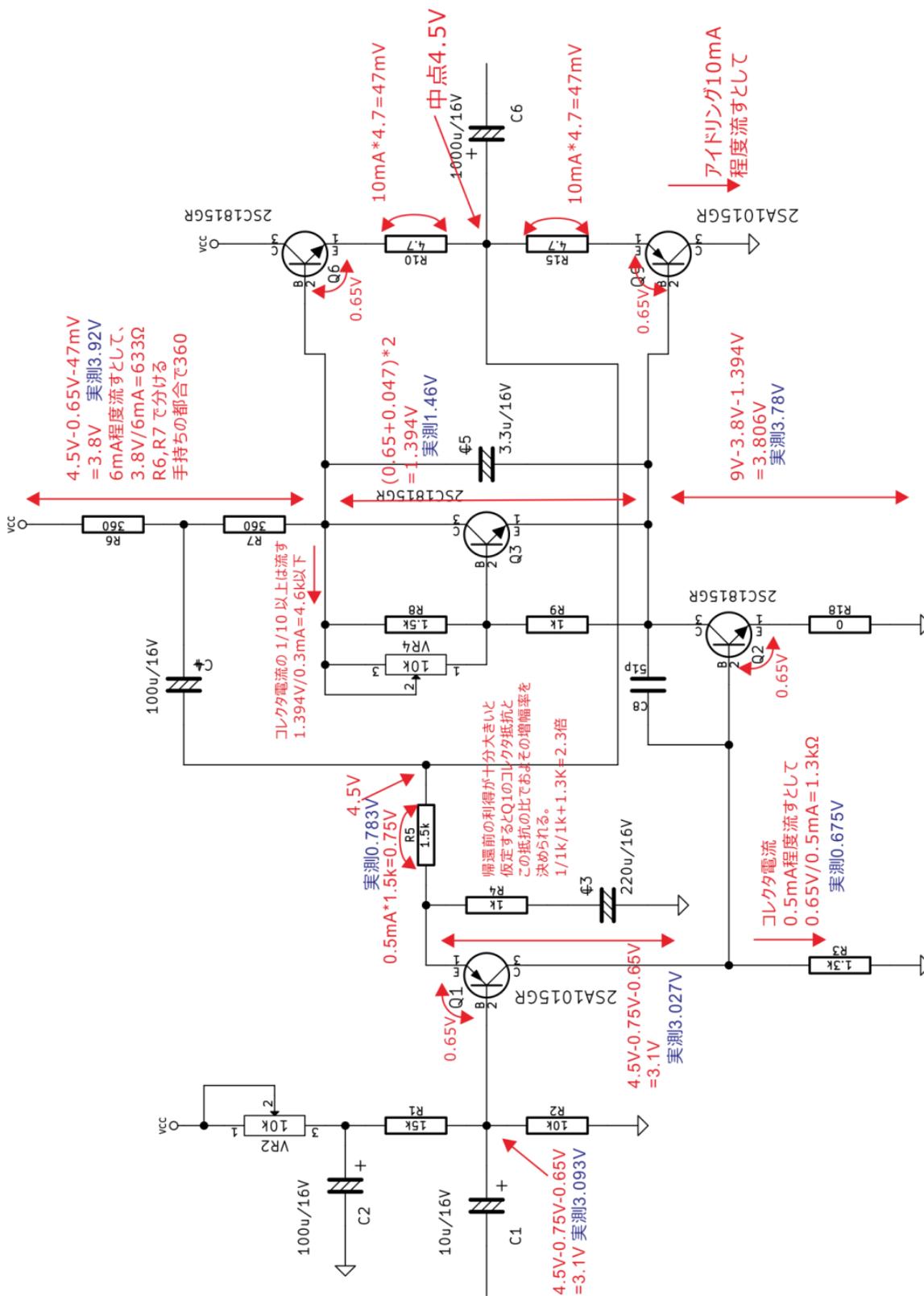
次に、終段のアイドル電流の調整を行ないます。これはテストを R12 などのエミッタ抵抗の電圧を測ることによって確認します。5mA のアイドル電流を流す場合は  $5\text{mA} \times 4.7\Omega = 23.5\text{mV}$  です。希望する電圧値になるよう VR4 を調整します。もう一方のチャンネルは VR5 で調整します。

アイドル電流を増やすと歪み率など改善する部分もありますが、トランジスタの発熱も大きくなります。最初は 5mA 程度で経過観察してみてください。

# サンプル回路での計算例と補足など

## 直流回路の電位を試算

基本的には終段から初段に向けて計算していきます。



## 終段のエミッタ抵抗

上図右側の 4.7Ω ですが熱暴走を抑えるための簡易対策のために入れてあります。

トランジスタの  $V_{BE}$  は温度が上がると  $-2.5\text{mV}/^\circ\text{C}$  の割合で下がっていきます。終段のトランジスタは歪み対策のためにアイドリング電流を流します。電流が流れると徐々にですがトランジスタの温度は上がっていきます。トランジスタのベースに加わるバイアス電圧はほぼ変わらないために、この  $2.5\text{mV}$  の差分だけ余計にコレクタ電流が流れるようになり、またそれがトランジスタの温度を上げることとなります。これが繰り返えされるとトランジスタには非常に大きなコレクタ電流が流れるようになり最終的には熱で壊れます。熱暴走という状態です。

熱暴走を防ぐために、エミッタ抵抗を挿入してトランジスタのベースバイアス電圧と  $V_{BE}$  の差をキャンセルさせています。終段のトランジスタとバイアス用トランジスタの温度差が  $40^\circ\text{C}$  あれば  $100\text{mV}$  の余計な電圧が終段のベースに加わります。 $(\text{ベースバイアス電圧} - V_{BE}) / \text{エミッタ抵抗}$  の式でアイドリング時のコレクタ電流は制限されます。この場合は  $21\text{mA}$  のアイドリング電流が最大です。

バイアスを決めるトランジスタと終段のトランジスタの温度差による  $V_{BE}$  変動を抵抗で吸収しているだけなので、終段トランジスタのアイドリング電流の変化を根本対策しようとするれば、終段トランジスタとバイアス用トランジスタの熱結合が必要な対策になります。

今回はヘッドホン対象の小出力アンプを考えていますので、エミッタ抵抗だけの対策とします。

終段はエミッタフォロワに抵抗が 2 つあります。4.7Ω を並列にした合成抵抗値  $2.3\Omega$ 。負荷になる 30 数 Ω のヘッドホンの  $1/10$  以下なので十分電力は伝えられます。

## 出力のカットオフ周波数

サンプルの回路では  $1000\mu\text{F}$  のコンデンサを入れていますが、出力のカットオフ周波数は  $4.98\text{Hz}$  となりました。

$$\frac{1}{2\pi \cdot C \cdot R} = \frac{1}{2\pi \times 1000\mu\text{F} \times 32\Omega} = 4.98\text{Hz}$$

## 入力のカットオフ周波数

サンプルの回路では  $10\mu\text{F}$  のコンデンサを入れていますが、入力のカットオフ周波数は  $2.65\text{Hz}$  となりました。6kΩ は、バイアス用抵抗 10k と 15k を並列にした合成抵抗値です。

$$\frac{1}{2\pi \cdot C \cdot R} = \frac{1}{2\pi \times 10\mu\text{F} \times 6\text{k}\Omega} = 2.65\text{Hz}$$

## バイアス回路に入っているコンデンサ

C5: バイアス回路をバイパスするコンデンサ。出力段のトランジスタのベースから見たインピーダンスを等しくさせ高域の歪み率を改善するコンデンサ。3.3 $\mu$ F でも十分と思います。このコンデンサを付けなくても動きます。(私の悪い耳では違いはわかりません)

## 負荷(ヘッドホン)の位相補償

サンプル回路図 C7, R16 が直列に接続された回路です。ヘッドホンやスピーカーは抵抗とコイルで構成された部品に置き換えられます。周波数が上るほどコイルのインダクタンスによって全体のインピーダンスは上がります。R16 にはヘッドホンやスピーカーなどのインピーダンスと同等の値を入れます。多くのヘッドホンであれば 32 $\Omega$  のが多いので、30 $\Omega$ とか 33 $\Omega$ などの抵抗を入れます。コンデンサは、ヘッドホンのインダクタンスがまちまちな為一概に決まりませんが、一般的には 0.047 $\mu$ F 程度のものを入れてヘッドホンのインダクタンスをキャンセルします。

## ブートストラップ回路

Q2 のトランジスタは終段のドライブのために電圧増幅を行います。そのコレクタ側の負荷になっているのが R6, R7, C4 で構成されたブートストラップ回路です。コンデンサ C4 が無い場合は R6 + R7 = 720 $\Omega$  と低いため増幅率はそれほど得られません。また、この小さな抵抗値のコレクタ抵抗が終段への入力へ接続されますが、終段の駆動も十分に行なえないこととなります。

C4 が接続されることによって、R6 R7 の間には終段のプッシュプル出力からコンデンサを通じて戻ってきた電圧がかかるようになります。そうすると R7 両端の電圧の波形はほぼ同じになるので、抵抗に流れる電流が小さくなります。言いかえると抵抗値が大きくなったように見えます(交流的に)。このことから Q2 の増幅率を上げることが出来ます。

現代では定電流回路などに置き換えられてさらに性能向上が図られた回路が主流となっています。

## 電源電圧と出力電力の補足

ヘッドホンなどのインピーダンスは 32 $\Omega$ 程度のもので多いと思いますが個人所有では 64 $\Omega$  500mW などのものもありました。出力電圧 (VO) は常に RMS 値 (実効値) が使用されるため出力電力は

$$\text{出力電力}(P_o) = \frac{[V_{o(RMS)}]^2}{\text{負荷インピーダンス}(R_L)}$$

と表わされます。また  $V_o(RMS)$  は次の式で決まります。

$$V_{o(RMS)} = \frac{V_{o(PP)}}{2\sqrt{2}}$$

この式を逆に使って、出力電力から必要な電圧を求めることができます。32Ω負荷に 0.3W 出力する場合は次の式から Vo(RMS) を求めます。

$$V_o = \sqrt{P_o \cdot Z} = \sqrt{0.3W \cdot 32\Omega} = 3.1 [V_{rms}]$$

次に最大出力電圧のピーク・ツー・ピーク出力電圧 Vo(P-P)

$$3.1 \times \sqrt{2} \times 2 = 8.77 V_{p-p}$$

必要であると求められます。電源電圧から求めた場合の結果だけ示しますと

$$V_o(RMS) = 3.18$$

$$P_o = 0.316W$$

という感じで求めることができます。

## 歪率

歪み率測定結果

W	V(RMS)	V(p-p)	電源9V アイドリング 5mA			電源9V アイドリング 10mA			電源12V アイドリング 5mA			電源12V アイドリング 10mA		
			100Hz	1kHz	10kHz	100Hz	1kHz	10kHz	100Hz	1kHz	10kHz	100Hz	1kHz	10kHz
0.010	0.57	1.60	0.0352	0.0353	0.0464	0.0350	0.0353	0.0455	0.0343	0.0349	0.0456	0.0353	0.0355	0.0474
0.025	0.89	2.53	0.0342	0.0331	0.0435	0.0329	0.0328	0.0447	0.0336	0.0328	0.0426	0.0336	0.0327	0.0421
0.050	1.26	3.58	0.0336	0.0330	0.0437	0.0329	0.0322	0.0432	0.0322	0.0320	0.0435	0.0323	0.0318	0.0420
0.075	1.55	4.38	0.0356	0.0345	0.0454	0.0330	0.0327	0.0451	0.0331	0.0330	0.0439	0.0325	0.0319	0.0420
0.100	1.79	5.06	0.0364	0.0343	0.0441	0.0341	0.0336	0.0441	0.0330	0.0348	0.0463	0.0336	0.0324	0.0430
0.125	2.00	5.66	0.0362	0.0355	0.0492	0.0357	0.0359	0.0478	0.0353	0.0357	0.0449	0.0335	0.0332	0.0457
0.150	2.19	6.20	0.1071	0.1096	0.1116	0.1102	0.1094	0.1271	0.0375	0.0354	0.0495	0.0380	0.0371	0.0491
0.200	2.53	7.16	2.4080	2.3148	2.0419	2.4632	2.3856	2.1058	0.1124	0.0381	0.0528	0.1136	0.0401	0.0500
0.225	2.68	7.59	2.4023	2.3205	2.0478	2.4701	2.3843	2.1142	0.1406	0.0385	0.0551	0.1141	0.0401	0.0505
0.250	2.83	8.00												
0.275	2.97	8.39												
0.300	3.10	8.76												
0.325	3.22	9.12												

終段は 2SC1815GR / 2SA1015GR 3パラ。HFE の選定なし

アンプ回路の増幅率は、 $1/R_4/(R_3+R_4) = 1/1000/2300 = 2.3$  倍の設定。

PCのライン出力限界が 3.2Vp-p が最大だったため  $3.2V \times 2.3 = 7.36Vp-p$  が最大出力(オシロ実測では7.28Vp-p)となる表では出力0.2W 付近がその電圧に近いので、これ以上の出力の測定は出来ず。

電源電圧9V で稼働させたときに、0.2W 出力だと電源電圧に近くなるため歪み率が急にわるくなっていくのわかるイヤホン、ヘッドホンの効率は 100db前後 / mW と非常によく、表の上のほうの良好な動作領域で使用出来ます。

## 使用上の注意点

- 本基板にポリスイッチなど電源保護するための部品など付けておりません。組み立て後の動作確認をしっかりとさせていただきますようお願いします。
- 電源電圧に関しましては、9V で、計算しております。定数そのまま、12V でも使用可能なことは確認しております。(電源電圧によって、半固定抵抗の再調整が必要です)
- 本基板には出力のリレー回路などを搭載していませんので、ヘッドホン装着したまま電源 OFF/ON するとポップノイズで耳を痛める可能性があります。
- ヘッドホンを変える場合なども同様にヘッドホンを頭から外し、電源 OFF 後に違うものと差し変えるようお願いします。

## 注意事項

- 本キットは、電子工作経験者を対象にした製品です。お使いになる場合にはある程度の電氣的な知識が必要になります
- 本キットはホビー用途として設計しています、電源の逆接続や IC への信号の過大入力への保護回路はありません。電源電圧の間違いや入力信号レベルを間違えないよう十分注意して下さい。間違った使い方は故障の原因になります。
- 本キットを使用したことによる損害・損失につきましては一切の補償をいたしません。使用にあたっては、すべて使用者ご本人の責任とさせていただきます。

## そのた

### 引用

トランジスタ技術 2006 年 7 月号

実用ミニ電子回路集 その 3 トランジスタで作るオーディオ・アンプ(渡辺 明禎著)

### 改訂履歴

2013 年 07 月 23 日 2 版(Release 2013/7/23 Version 1.1) 歪み率の表を追加

2013 年 07 月 19 日 初版(Release 2013/7/19 Version 1.0)

Copyright© 2013 mkusunoki.net 責任者: 楠 昌浩

Blog <http://mkusunoki.net>

Twitter <http://twitter.com/ngc6589>

Mail [masahiro.kusunoki@gmail.com](mailto:masahiro.kusunoki@gmail.com)

# 目次

この基板について.....	1
回路図(サンプル回路図).....	2
部品表(サンプル回路図).....	3
組立手順.....	4
プリント基板の注意点.....	4
部品面シルク印刷.....	6
組立後の調整.....	6
終段の出力部分の電圧調整.....	6
終段のアイドル電流の調整.....	6
サンプル回路での計算例と補足など.....	7
直流回路の電位を試算.....	7
終段のエミッタ抵抗.....	8
出力のカットオフ周波数.....	8
入力のカットオフ周波数.....	8
バイアス回路に入っているコンデンサ.....	9
負荷(ヘッドホン)の位相補償.....	9
ブートストラップ回路.....	9
電源電圧と出力電力の補足.....	9
歪率.....	10
使用上の注意点.....	11
注意事項.....	11
その他.....	12
引用.....	12
改訂履歴.....	12
目次.....	13