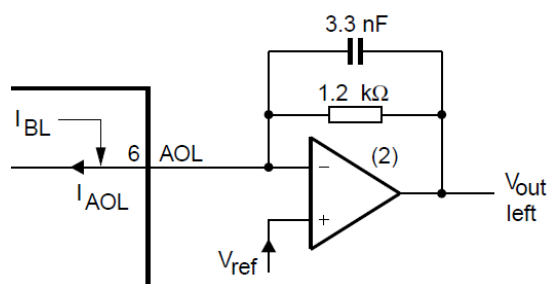


## TDA1543 のパッシブ I/V 変換

Philips 製の TDA1543 は、今となつては貴重な 16 ビットノンオーバーサンプリング DAC のひとつとして知られており、今日でも市場に流通していて多くの製作例もある。CD のフォーマットどおりに再生でき、素直で芯のある音質であるがゆえに、当社の CD プレーヤーなどでもこの DAC を重用している。

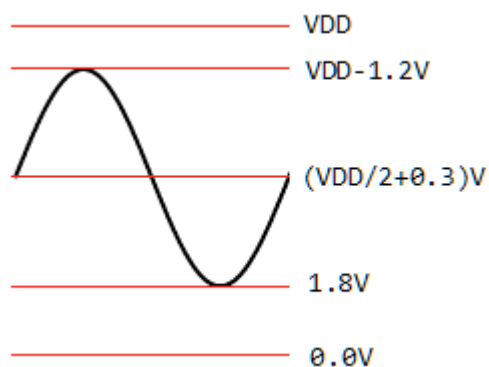
ところで、TDA1543 のアナログ信号は電流出力として得られるため、アンプに接続する前に電流を電圧に変換 (I/V 変換) する必要がある。そのデータシートを見ると、オペアンプによる I/V 変換を前提に設計したらしく、推奨回路として掲載されている。



ウェブ上で見かける自作派の間では、オペアンプによる音質の色付けを嫌い、抵抗器 1 本によるパッシブ I/V 変換をする例が多く見受けられるが、抵抗値の具体的な計算式が明記されていない場合がほとんどで、たいていは実験的に決められているようだ。そこで、TDA1543 のデータシートを正しく読み解き、正確に計算する手順をまとめてみた。もちろん、以下の内容は実際に試作したときの波形データで裏付けている。

$V_{DD}$  を電源電圧とし、フルスケール時に I/V 変換の抵抗器に発生する信号電圧が、1.8V から  $V_{DD}-1.2V$  の間をスウィングするように抵抗値を決めればよい。メーカー推奨の電源電圧 (標準) では  $V_{DD} = 5.0V$  とあるから、最大振幅電圧  $V_{FS}$  は、

$$V_{FS} = 5.0 - 1.2 - 1.8 = 2.0V_{P-P} \quad (0.707V_{RMS})$$

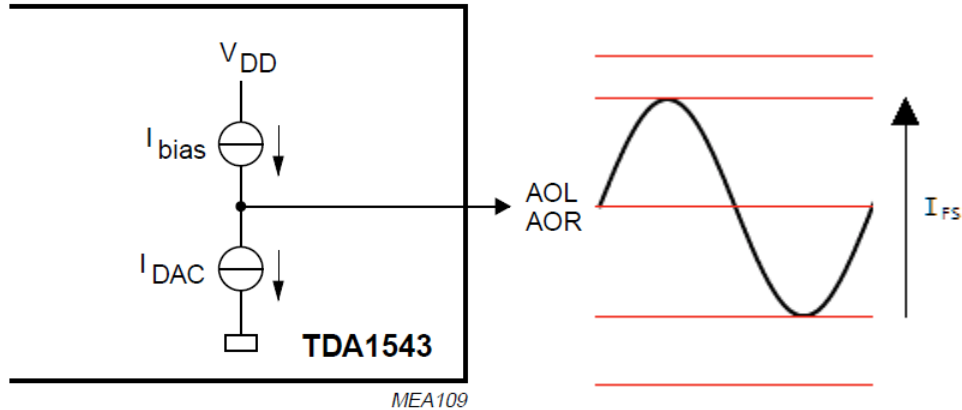


である。なお、無信号時の直流オフセット電圧  $V_0$  は、図より 2.8V である。パッシブによる I/V 変換では、得られる振幅が一般的な CD プレーヤー ( $2.0V_{RMS}$  程度) よりも小さく、DAC のあとにバッファアンプを設けるなどの必要が出てくる。さもなければ、定格の 9.0V 以内で電源電圧を上げて振幅を稼ぐしかないが、放熱を考慮しないと熱で DAC チップ自体を破損するおそれがある。

さて、I/V 変換の抵抗値だが、抵抗器に流れる電流がわかれば、オームの法則で自動的に決まる。データシートを見ると、フルスケール電流  $I_{FS}$  というデータがあり、標準で 2.3mA、DAC チップの個体差により 1.95~2.65mA の範囲のばらつき（約 15%）があるということだ。はじめ、この値の意味するところがよく理解できず、何度も計算してみたが、抵抗値をうまく求めることができなかった。結局、この値はフルスケール時の電流変化すなわちピーク・トゥー・ピークの電流値の変動分を意味することがわかった。しかもその電流は、DAC へ流入する方向へ流れる。

なお、下図によると、 $I_{bias}$  を定電流（後述）とすれば、デジタル信号に従って 16 個のスイッチに流れる合計電流  $I_{DAC}$  が決まるので、出力電流  $I_{OUT}$  も変化する。

$$I_{bias} = I_{DAC} + I_{OUT}$$



デジタル信号のデータが最大値のとき  $I_{DAC}$  は最大で、出力電流  $I_{OUT}$  は最小になるので、I/V 変換されたアナログ信号の位相は反転している。この式を当てはめると、フルスケール時の電流変化は、 $V_{DD} = 5.0V$  では  $2.0V_{p-p}$  の最大振幅として I/V 変換されて、出力端子 (PDIP の場合ピン 6/8) にアナログ信号電圧が現れるので、オームの法則により求める抵抗値  $R_{I/V}$  は、

$$R_{I/V} = V_{p-p} / I_{FS} = 2.0V_{p-p} / 2.3mA = 870\Omega$$

となる。ただし、 $I_{FS}$  は標準値で計算しているの、ばらつきにより最大値でクリップしないためには抵抗値を少し低めに設定する必要がある。電源電圧を変えた場合の各設計値は、下表のようになる。直流オフセット電圧  $V_0$  は、無信号時における出力電圧、すなわち振幅の中心電圧を示す。

電源電圧 $V_{DD}$	5.0V	8.0V	8.5V	9.0V
直流オフセット $V_0$	2.8V	4.3V	4.55V	4.8V
最大振幅電圧 $V_{FS}$	$2.0V_{p-p}$	$5.0V_{p-p}$	$5.5V_{p-p}$	$6.0V_{p-p}$
	$0.707V_{RMS}$	$1.768V_{RMS}$	$1.945V_{RMS}$	$2.121V_{RMS}$
I/V 変換抵抗 $R_{I/V}$	870 $\Omega$	2174 $\Omega$	2391 $\Omega$	2609 $\Omega$

厳密に言うと、負荷としてアンプの入力インピーダンスが  $R_{I/V}$  と並列に入るので、実際は設計値のとおりにはいかない。例えば電源電圧  $V_{DD} = 9.0V$  のとき、I/V 変換の抵抗器は 3.0k $\Omega$  とし、入力インピーダンス 20k $\Omega$  のアンプにつながると、

$$R_{OUT} = 3k // 20k = 2609\Omega (*1)$$

となり、ちょうど表の値と同じになる。逆に、20k $\Omega$  以上の軽い負荷をつないだり、DAC のばらつきがちょっとでもあると、波形は必ずクリップして盛大な歪が発生しているといえる。この場合、定格ぎりぎりなので、DAC 自体がかなり発熱する。もはや禁じ手といってもよい。おまけに、アンプの入力

インピーダンスが周波数で一定していないと、負荷が変動するから、音質に影響するということになる。パッシブ I/V 変換の泣き所は、こうした影響を受けやすいことで、定インピーダンスのアッテネータで受けるのか、バッファアンプを設けるか、ディスクリートで I/V 変換するほうがよいだろう。音の鮮度で言えばパッシブ I/V 変換に軍配は上がるが、別の I/V 変換方法を試してみる価値はある。

いっぽう、 $V_{REF}$  (PDIP の場合ピン 7) には基準電圧 (標準で 2.2V) が出ているので、ここに抵抗器を付けることで  $I_{bias}$  が決まる。求める抵抗値  $R_{REF}$  は、

$$R_{REF} = V_{REF} / I_{REF} = 2.3V / 2.5mA = 920\Omega$$

以上でなければならず、このときの  $I_{bias}$  は、係数 A (1.9~2.1) は bias current gain で

$$I_{bias} = A \times I_{REF} = 2.0 \times 2.5mA = 5.0mA$$

となり、 $R_{IV}$  に流れる電流は 5.0mA を超えてはならない。たとえば  $V_{DD} = 5.0V$  のとき、無信号時の直流オフセットだけのときは、表より

$$I_{OUT} = 2.8V / 870\Omega = 3.22mA$$

が I/V 変換の抵抗器に流れている。また、同じ条件で、 $I_{OUT}$  の取り得る範囲は、

$$1.8V/870\Omega = 2.07mA \quad \text{から} \quad 3.8V/870\Omega = 4.37mA$$

であり、とくに問題はない。実際には  $V_{REF}$  にも  $I_{REF}$  にもばらつきがあるのと、抵抗値  $R_{REF}$  により無信号時の直流オフセット (振幅の中心電圧) が上下するので、オシロスコープでテスト信号の波形を観測しながら調整 (2k $\Omega$  ほどの多回転半固定抵抗) すべきだろう。おもしろいことに、調整をしながら音楽を聴いてみると、歪っぽかった音がちょうどよいオフセットのあたりでがらりと変わり、透明で奥行きのある音になる。ただ、うまく調整をしても左右の出力電流には若干のばらつきがあるため、電圧に変換すると 0.1V 程度の誤差があるのは仕方ない。

TDA1543 を左右独立に 2 個使う、いわゆるデュアル DAC 方式の場合は、左右でそれぞれ PDIP の場合ピン 6 またはピン 8 をオープン (n/c) にするので、上記の計算式が若干異なるようで、シングル方式よりもなぜか発熱が大きいようだ。いずれの場合でも、波形観測しながら直流オフセットを正しく調整すれば、最も歪が少なく I/V 変換される。

TDA1543 のパッケージには PDIP と SOP の 2 種類があり、PDIP (8 ピン) の型番は TDA1543、面実装の SOP (16 ピン) は TDA1543T とある。一般に PDIP パッケージのほうが熱に強いので、定格ぎりぎり動作させる場合には PDIP タイプのほうをお奨めする。面実装タイプの場合、IC の裏面にシリコンを塗り、n/c (未接続) とあるピンをすべてグラウンドにはんだ付けし、放熱を兼ねてなるべく広いグラウンドパターンにするとよい。TDA1543 入力フォーマットは、今では業界標準ともいえる I<sup>2</sup>S format であるから、ほとんどの DAI (Digital Audio Interface) と接続できる。なお、TDA1543A の A というのは改良版という意味ではなく、入力フォーマットが異なる (Japanese input format) ものなので、気をつけてほしい。自分も間違えて買ったことがあり、もったいないのでいずれ使おうと思っている。

\*1: //は並列を表す演算子で、カシオの fx-61F という手持ちの電気・電子工学用関数電卓には、このキーが付いている。最近では残念ながらこの演算のできる電卓がない。