

レールスプリッタ入門(仮想 GND あれこれ)

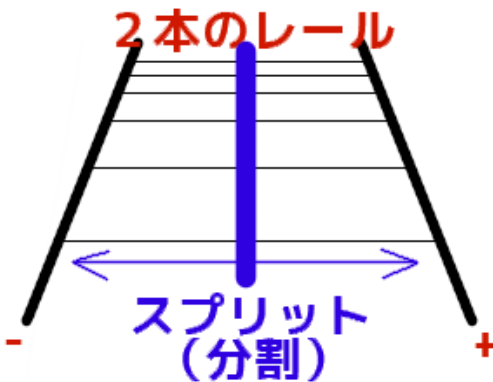
C79まで約半月です、こんにちはnabeです。風邪で高熱を出して寝込んでいたら、原稿の締切を大幅にぶっちしてしまいました。ごめんなさい。

この原稿が無事皆様のもとに届いているといいのですが……。

□レールスプリッタとは□

一般的に交流信号を増幅するアンプ回路を作るとき、正負電源が必要になります。簡単に言うと電池が複数必要になります。

Chu-Moy に代表される簡易ヘッドホンアンプでは、9V 電池1つで動作させるために、9V の電圧を±4.5V に切り分けて使用しています。このときの中間地点を仮想 GND といい、1つの電源をプラスマイナスの電源に切り分けることをレールスプリットといいます。



本来の GND は電池のマイナス側ですが、仮想 GND をあたかも GND のように使用し、1つの電源を正負電源に分割します。

オペアンプで、与えられた電源一杯ぐらまで出力できるものをフルスイングオペアンプやレールツーレール(Rail to Rail)オペアンプといいます。同じ意味のレールです。電源を線路のような2本のレールに

見立てると、回路はこのレールの範囲内でのみ動作します。レールの範囲内いっぱいまで動かすことができるよーというのがレールツーレールです。

レールスプリットというのは、このレールを中央で分割(Split/スプリット)して正負2つの電源として使いますよということです。

レールスプリットを実現する回路や IC をレールスプリッタ(回路)といいます。色々な方法がありどれも万能ではありません。

この記事ではよくあるレールスプリッタとその特徴を紹介していきます。

□レールスプリッタの必要性□

そもそも単純に電池を2つ用意すればいいだけじゃないと言われてしまいがちがレールスプリッタですが、そうも言えない事情もあります。

1. 電池が増えることで単純に邪魔
2. AC(AC-DC)アダプタなら2つ必要
3. もしくはトランスを内蔵

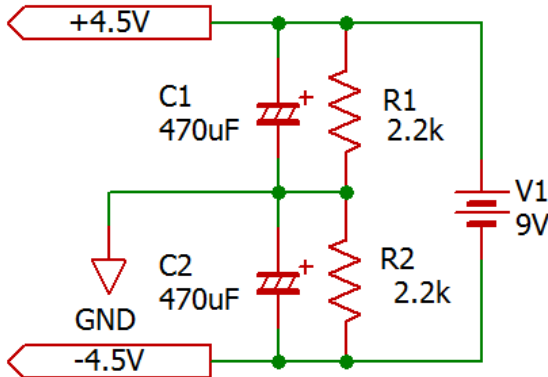
単3や単4電池なら4本内蔵という手もなくはないですが、006P(9V 電池)やリチウムイオン電池を2つ入れることはあまりやりたくはありませんし、AC-DC アダプタ2つというのは相当困りものです。最後のトランス内蔵は、慣れないと厄介だし危険です。

もちろん DCDC と呼ばれる別の方法もあるのですが、お手軽に、そして小型に正負電源を得てアンプを作りたいとなるとレールスプリッター一択になってしまうのは致し方ないところがあります。

レールスプリッタ入門(仮想 GND あれこれ)

□単純なレールスプリッタ□

前置きが大分長くなってしまいましたが、一番単純なレールスプリッタ回路を示します。



Chu-Moy 型などで使われる抵抗分圧によるスプリッタ回路です。GNDと書いてはありますが、これが仮想 GND になります。コンデンサの値は 470uF になっていますが、470uF よりも 1000uF や 1500uF などの大きな値のほうが仮想 GND の電圧が安定します。一般的には最低でも 470uF 程度は入れてほしいところです(これらは以降の回路でも同様です。以降の回路では触れずに省略しています)。

抵抗による分圧なので簡単ではあるのですが、電圧の**安定度**があまりよくありません。R1,R2 の値を 470Ω 等下げれば安定度が増しますが、それでは常時 10mA レールスプリッタに消費することになりますので電池を早く消耗してしまいます。

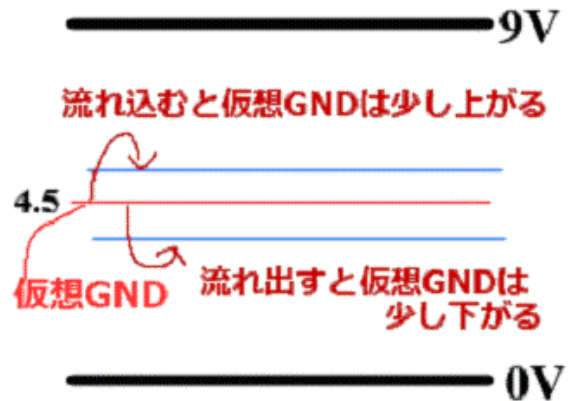
□非安定な仮想 GND□

なぜ仮想 GND は安定性が問題になるのか。そもそも安定しないと何が起こるのでしょうか。

アンプが扱う信号は交流信号です。交流

信号の定義は色々ですが、GND に対してプラス側にもマイナス側にも電流が流れることが交流信号の特徴と言えます。別の言い方をすれば GND へ電流が**流れこむ**こともあるし GND から外に電流が**流れ出す**こともあります。

例えば先程のように抵抗分圧された回路の**仮想 GND**に電流が**流れこむ**と少しだけ電位が**上昇**します。逆に**仮想 GND**から電流が**流れ出す**と少しだけ電位が**下**がります。



これが仮想 GND の変動です。この図では 0V を基準として見ているために仮想 GND の電位(電圧)が揺らいていると言うことができますが通常の回路は GND を基準として動作します。基準である仮想 GND がすこしばかり変動したところで何か問題が起きるのでしょうか？

仮想 GND を基準とする回路では、仮想 GND 電位のゆらぎは電源電圧のゆらぎとして観測されます。通常の両電源回路でも電源電圧はゆらぐものですが、それよりも 10 倍ぐらい大きな揺らぎが起こってしまいます。

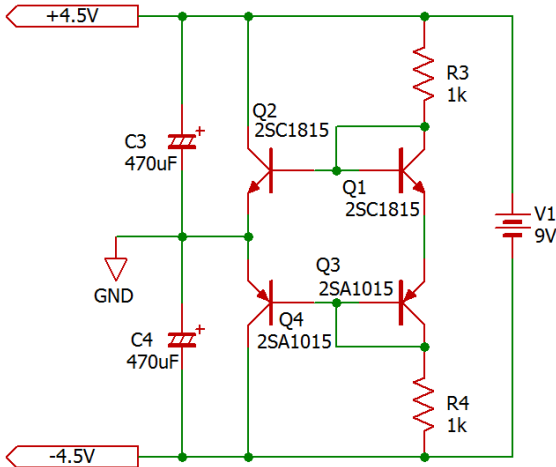
アンプ回路は万能ではないため出力は必ず電源の影響を受けます。電源電圧が

レールスプリッタ入門(仮想 GND あれこれ)

あまりゆらぐと再生音以外の余計な音まで出力して漏れてしまうことになり、問題があります。オーディオアンプなら、それは結果として音が悪くなります。

※いかに電源の影響を受けないか、またはどの程度影響をうけるかという基準がオペアンプなどのデータシートには書かれています。

□カレントミラー型□



ネットを見ていると結構好んで使われるカレントミラー型のレールスプリッタです。「Q1,Q3」と「Q2,Q4」がカレントミラーを構成しており、R3, R4 に設定した電流が Q2, Q4 および仮想 GND 引き出し点に流れる回路です。

アイドル電流の設定は、

$$I = (V - 1.4) / (R3 + R4)$$

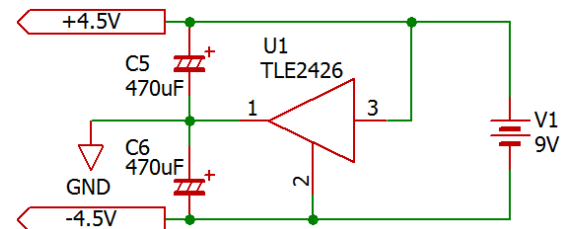
で設定します。この電流は「Q1,Q3」と「Q2,Q4」で同じように流れるので定常時の消費電流では倍になります。電圧が高いときはトランジスタを大きくするか、抵抗値を 2.2k や 3.3k などに増やす必要があります(熱暴走という現象が起き Q2 や Q4 が壊れ

ます。もしくは Q1 と Q2, Q3 と Q4 をそれぞれ熱結合する方法もあります)。

安定度はアイドル電流の設定によります。仮想 GND の大きな変動は Q2, Q4 による効果で抑えられますが、小さな変動(10mV 以下)はアイドル電流設定値によります。この部分では抵抗分圧とあまり変わりません。

余談ですが、トランジスタを4つではなく倍の8つ使った俗に高精度カレントミラーと呼ばれる分圧回路もあります。ですが、分圧が目的である回路のカレントミラー(Q1, Q3 の電流に対する Q2, Q4 の電流)の精度を上げて何の意味があるのか大いに疑問が残るところです。

□専用 IC TLE2426□



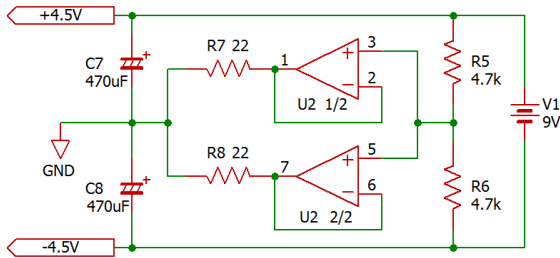
Ti 社が市販している、仮想 GND のためのレールスプリッタ専用の IC で TLE2426 があります。

見ての通り使用法がとても簡単で、電源を与えてあげると仮想 GND を単純に 1pin から出力してくれます。

売っているお店に限られるのが少々難点かもしれませんが、個人的に使ったことがないので、紹介程度に留めておきます。

レールスプリッタ入門(仮想 GND あれこれ)

□オペアンプ使用型□



※オペアンプの電源接続は省略しました。

オペアンプを使用した分圧回路です。R5, R6 で生成した中間電圧をオペアンプで増幅(1 倍バッファ)して分圧します。

オペアンプによるフィードバックがかかるため、仮想 GND が安定しやすいという利点があります。

オペアンプをシリアルにつないだり、全体をフィードバックに入れたり、オペアンプ 1 つで済ませたり、出力の抵抗を入れる位置がループ内だったりと色々やり方はあります。

掲載図は比較的トラブルが少ない方法です。2 回路入りオペアンプを想定していて、電流が 30mA ぐらい(できれば 50mA~)出せれば大抵のもので動くかと思います。R7, R8 のように出力に抵抗を入れるのが肝で、この処置をしないと多くのオペアンプで発振することがあります。オペアンプによっては 10Ω ぐらいまで下げても大丈夫でしょう。

R6 と並列に 1uF ぐらいのコンデンサを入れると良いような気がするのですが、あまり好まれないようです。

オペアンプは

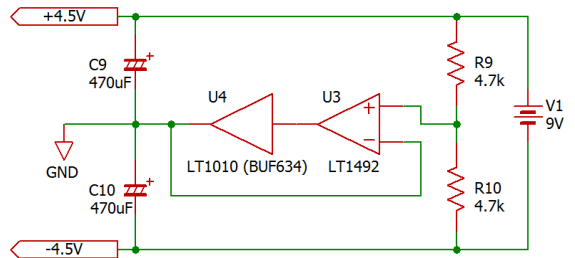
1. 出力にノイズを出す
2. 入力された信号(電圧)を出力するまでタイムラグがある(位相遅れ)

の理由から万能ではないのですが、これは見落とされることが多いようです。低周波における仮想 GND の変動は他の方法に比べ低いレベルで抑えることができますが、高周波における変動には無力ないしは位相遅れの影響で仮想 GND を必要以上に揺らすことがあります(使用するオペアンプやその他の回路条件によります)。

これらは微小な変動でさほど気にする必要はないのですが、完璧(万能)ではないという意味で知っておくといいのかも知れません。

オペアンプを使用するならば次のバッファと組み合わせる方法が優秀です。

□オペアンプ+バッファ型□



※U3, U4 の電源接続は省略しました。

オペアンプに LT1010 や BUF634 などのバッファ IC を組み合わせるのがこの方法です。オペアンプは色々なものが動作しますが、ちょっと検証する時間がないため某所より組み合わせを拝借しました(苦笑)

単純なオペアンプだけの回路に比べ、出力に抵抗を挟む必要がないため性能が優れています。電圧安定度もよいのですが、オペアンプ分圧と同様にオペアンプ自体のノイズや位相遅れの影響は受けます。ただ位相遅れの影響はオペアンプ単独よりも少なめです。

レールスプリッタ入門(仮想 GND あれこれ)

□両電源 vs レールスプリッタ□

例えば単3電池を4本用意できるとして、これを2本ずつの両電源として利用したほうがいいのか、4本直列の単電源としてレールスプリッタしたほうがいいのか。

両電源がいいに決まっています

レールスプリッタを入れる金銭的余裕もしくは場所があるならその分で電源コンデンサを追加したほうがよっぽどマシです。レールスプリッタは万能ではないので、そうせざるを得ない事情でもければわざわざ選択する必要はありません。

ただ、レールスプリッタにも利点がないわけではありません。それは電池の消費が平均化されやすいことです。アンプ回路の正電源側と負電源側の消費電流は微妙に異なっているため、その影響を受けないから平均化されやすくなります。

とはいえ、(電池を)単電源として使用しても、電池自体に容量や性能のバラつきがあるためまったく同じように放電するわけではなく、どこまで利点となりうるかは難しいところではあります。

□まとめ□

そんなわけで、この記事は2日ででっ上げました、ごめんなさい(苦笑)。熱はまだ37.0°Cを行ったり来たりしてますが(汗)

印刷して軽く見直しして、寝かせる時間がないので校正は考えないことに……(え

これで寄稿3回目ですが、今回はちょっ

と難しめだったかなあとと思います。本当は測定して、オシロの波形出したりして「こんな風に違いが出ます」ってやりたいところではあったのですが、できなかった。おかげで味気ない文字だらけの原稿に(苦笑)

デジタルオシロほしいなあ。デジタルオシロあるとこういうオシロの波形貼り付けるのがすごく楽なんです。

レールスプリッタ/仮想 GND の話はどこをみても体系的にまとめられていないので、少しは参考になりますでしょうか。お手軽に済ませたいならカレントミラーぐらい。ちょっと凝るならオペアンプやオペアンプ+バッファ構成ぐらいが良いかと思います。

なおレールスプリッタが通用するのはせいぜいヘッドホンアンプ程度までで、スピーカーアンプでやるのは無謀です。しかし、絶対無理かというところでもなくて、やってみると小型スピーカーぐらいならそれなりに動いたりします。大きめの電流による不均衡は全部電源ノイズとして出ていたはずなので、どうかとは思いますが(苦笑)

最後に DAC やらの宣伝でもしようかと思いましたが、それもどうかと思ったのでブログの URL だけ貼っときます。感想・質問あったらメールでも掲示板でもどうぞ。

<http://nabe.blog.abk.nu/>

<http://nabe.blog.abk.nu/bbs>

ギリギリなんてもんじゃない編集泣かせ的な入稿を根気よく待ってくださった strv さんと、読んで頂いたあなたに心から感謝いたします。