VS-RC003HV 向け
外部マイコンを使用しない脱力回路
（通称：アナログ脱力回路）
仕様解説

Release 1

大阪電気通信大学 自由工房 HRP
関 悠伍

1. はじめに

ヒューマノイド用ではないサーボモータ（飛行機やカーラジコンに使用される RC サーボ）には、フェイルセーフの設定により、PWM 信号がオフになったときに脱力（トルクオフ）にならない製品が多く存在します。

これらのサーボモータはロボット用コントロールボードから脱力させることができない為、ROBO-ONE、ロボファイトなどのロボットバトル大会をはじめ、ロボットを取り扱う上で危険を伴います。

この問題を解決するため、サーボモータへ供給される電源を遮断することで、脱力を可能にする電子回路が必要となります。具体的にはパワーMOS FET によりサーボモータの＋側(VBAT)または－側（GND）を遮断することで機能を実現します。

このような機能を実現する回路の FET を駆動するには、汎用マイコンの GPIO のように連続した出力をオンオフできる必要があります（例：ずっと 5[v]／ずっと 0[v]）。しかし VS-RC003HV でこのような出力を得る場合は VS-RC003 用 デジタル入出力拡張ボード（VS-IX007）が必要となり、搭載する基板が 1 枚増えてしまうことになります。

よって、サーボモータ向けに出力される PWM 信号をスイッチング用の信号へと変換し使用する方法が考えられます。変換には VS-RC003HV とは別のマイコン（外部マイコン）を用いて PWM 信号を入力し GPIO よりスイッチング用の信号を出力するデジタル回路を用いたものがノイズ・処理速度の観点から望ましいです。しかし、マイコンを使用する場合は環境が整っていない場合は、これらを使用可能にするための時間とコストがかかることになります。

本資料で紹介する脱力回路は外部マイコンを使わずに電子回路のはんだづけのみで機能する脱力回路になっているので、組み立てることさえできれば脱力回路を実現することができます。外部マイコンを使用したものと比べて劣る性能もありますが、手軽に構成できる良さを持ちます。

本資料では、PWM 信号をオフにしたときに脱力（トルクオフ）にすることができないサーボモータを、電源を遮断することによって脱力を可能にするアナログ回路について解説します。

2. 動作解説

※この項では脱力回路の動作原理を解説します。
　脱力回路を作成・使用するだけの場合はこの項の知識は不要です。

脱力回路は以下の回路構成によって実現されます。

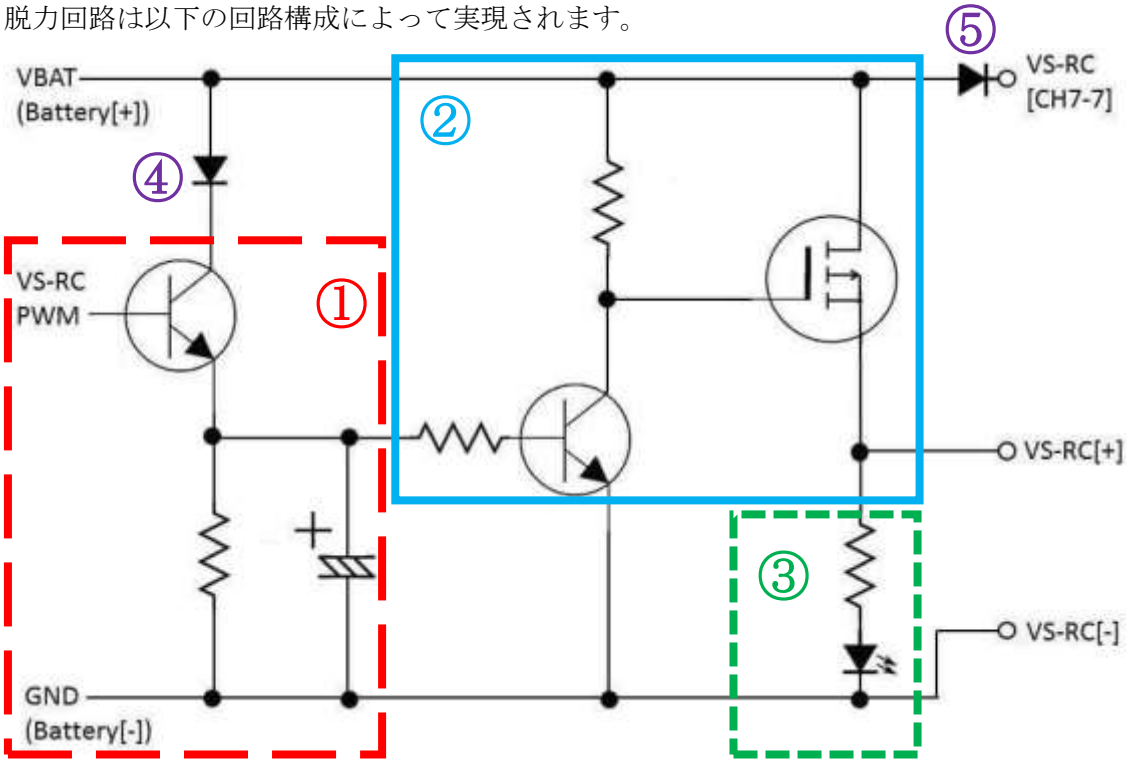

図１　アナログ脱力回路

① エミッタホロワ（コレクタ接地回路）

PWM 信号から連続した信号（例；ずっと 5[v]）を構成するには、電解コンデンサで信号を平滑すれば、すぐに実現できます。しかし VS-RC003HV の PWM 出力はコンデンサを充電できるほどの出力を持っておらず、直接コンデンサを接続しても十分に充電することができません。そのため、エミッタホロワを用いてインピーダンス変換を行い、十分に電解コンデンサを充電できるようにしてから平滑します。この部分により PWM 信号から FET をスイッチングするための信号を得ることができます。

VS-RC003HV の PWM 信号は約 5[v]です。エミッタホロワによる帰還作用により、トランジスタのエミッタ電圧はベース電圧より約 0.65[v]ほど小さい値となりますので、電解コンデンサを充電できる約 4.35[v]の PWM 信号が得られます。ここで電解コンデンサによって平滑をすることで、ずっと 4.35[v]前後を保った出力を得ることができます。

② Pch MOSFET 駆動回路

エミッタホロワから送られてきた“ずっと 4.35[v]前後”をトランジスタへ入力します。このトランジスタは通常のエミッタ接地回路ですので、ベースに電圧がかかるとベース抵抗に応じて電流が流れ、コレクタ電流もそれに伴って電流が流れ始めます。すると、コレクタ抵抗により電圧降下が発生し、Pch MOSFET のゲートとソースに電位差が発生します。ゲートとソースの電圧の差（V_{GS}）が閾値を超えると FET に電流が流れるのでサーボモータが動作します。

③ パイロットランプ

サーボモータと並列に接続されている LED です。FET がオンになるとサーボモータが動作するのと同時に LED が点灯します。動作確認用ですので、使用しないという場合は省略できます、

④ 逆流防止用ダイオード

PWM を平滑するための電解コンデンサの電荷が、通常の動力としてサーボモータに吸収されてしまうのを防止します。

⑤ 逆流防止用ダイオード（VS-RC003HV 用）

VS-RC003HV からこの回路に電流が逆流するのを防止します。VS-RC003HV の電源ラインに脱力回路の電源ではなくバッテリの電圧を用いる場合は省略できます。

～電解コンデンサと抵抗の値について～

部品の選定に関して、電解コンデンサの耐圧は、最低 6[v]、余裕をもって 10[v]以上あれば問題ありません。しかし、電解コンデンサの容量、隣にある抵抗の値、真ん中のトランジスタのベース抵抗の値は、脱力回路の動作時間に関係してきます。

脱力をする際には、PWM 信号をオフにして回路を停止させるわけですが、FET を遮断しようと思うと電解コンデンサにためられている電荷をすべて消費する必要があります。電解コンデンサの電荷がすべて消費されると FET がオフになるので脱力します。つまり、PWM 信号をオフにしてから脱力されるまですこし時間がかかるということになります。

電解コンデンサの容量を少なくすれば、消費する必要のある電荷の量が少なくなるので脱力までの時間を短くすることができます。しかし、オンの時にずっと 4.35[v]前後を保った出力を安定して得るためにはある程度の容量が必要です。

抵抗の値を小さくすれば、PWM 信号がオフになったときに電解コンデンサから流れ出る電流の量が多くなり早く電荷を消費することができ、脱力までの時間を短くすることができます。しかし、放電が早すぎると PWM 信号を平滑することができなくなります。

以上の点を踏まえると、オンの時は安定して平滑、オフの時は素早く電荷を消費できる最適な時間を算出することができれば、適切な部品の値を検討することができます。すなわち、理想的な放電時間から抵抗と電解コンデンサの積である“時定数”（じていすう／ときじょうすう：**C×R**）を算出し、それをもとに部品の値を選択します。

コンデンサの放電時間は

$$\mathrm{t} = -\mathbf{C} \times \mathbf{R} \times \log_e\left(\frac{V1}{V0}\right)$$

によって算出できます。オンの時は 4.35[v]から放電が始まり、徐々に電圧が低下していきます。次に PWM 信号が送られてくるまで、この 4.35[v]からの電圧の低下を一定の値にまで抑えることができれば、その先の回路を安定して動作させることができるということになります。今回の回路では Pch のパワーMOS FET を動作させるためのトランジスタが接続されているだけなので、無理に 4.35v 前後を保たなかったとしても問題なく動作しますが、一般的な Nch のパワーMOS FET を接続することを加味し、4[v]以上を保つように計算を行ってみます。 VS-RC03HV の PWM の周期はデフォルトで 16.667[ms]、その中でオンになっている時間は 1.5[ms]、よって電解コンデ

ンサによって平滑させる時間は 16.667-1.5=15.167[ms]となります。充電電圧 V0 は 4.35[v]、放電後電圧 V1（ここまで下がってもよいとする電圧）は 4[v]としたので、

$$15.167 \times 10^{-3} = -\mathbf{C} \times \mathbf{R} \times \log_e(\frac{4}{4.35})$$

となり、理想的な時定数 CR は約 0.181[s]と算出することができます。また、今回の回路では、放電後に電圧が約 0.65[v]を下回ると右側のトランジスタの動作が停止するので、これより電解コンデンサの電圧が 0.65[v]になるまで放電するのにかかる時間は、

$$\mathrm{t} = -\mathbf{0.181} \times \log_e(\frac{0.65}{4.35})$$

となり、脱力するのにかかる時間は約 0.343 秒となります。

従って、電解コンデンサと抵抗の値の積を時定数 CR=0.181[s]に近づけることができれば理想的な動作を実現できるということになります。