

MOSFET によるスイッチ回路の補足説明

p.319 で「原理図は図 7.33(a)であるが、実際に使う場合、図 7.33(b)のように組む必要がある」と書いている。図 7.33(b)の R_1 と R_2 について説明する。

R_2 の必要性

R_2 はゲートがどこにも接続されていないとき、ゲート電圧を 0 にする。

マイコンの出力で LED を on/off する図 1(a) の回路について考える。MOSFET を等価回路で置き換え、マイコンの出力端子をモデル化すると同図(b)となる。通常、 v_{GS} は 5V か 0V の二者択一の値をとる。

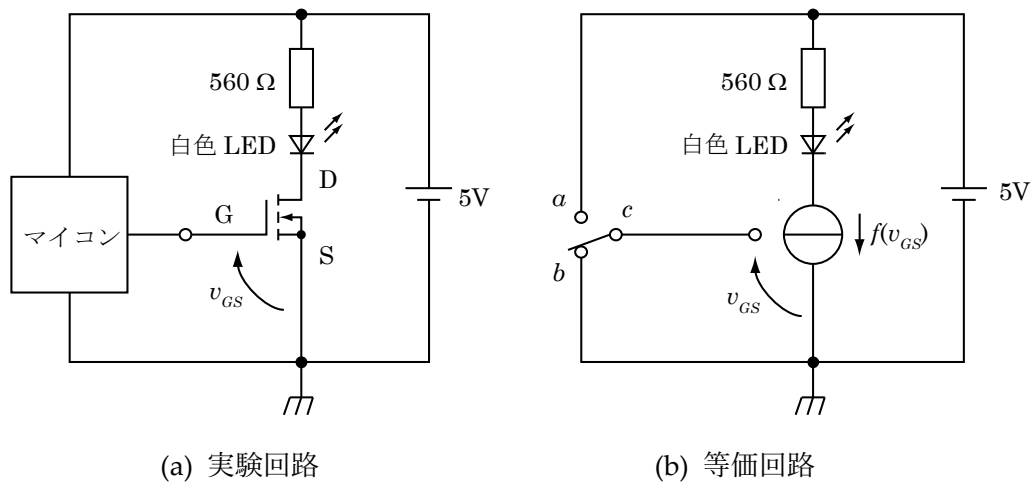


図1 マイコンで LED を on/off する

電源 on の瞬間にマイコンの出力端子 c は a と b のどちらにも接続されない状態になる可能性がある。そのとき、図 2(a)のような状況になり、 v_{GS} は不定となる。

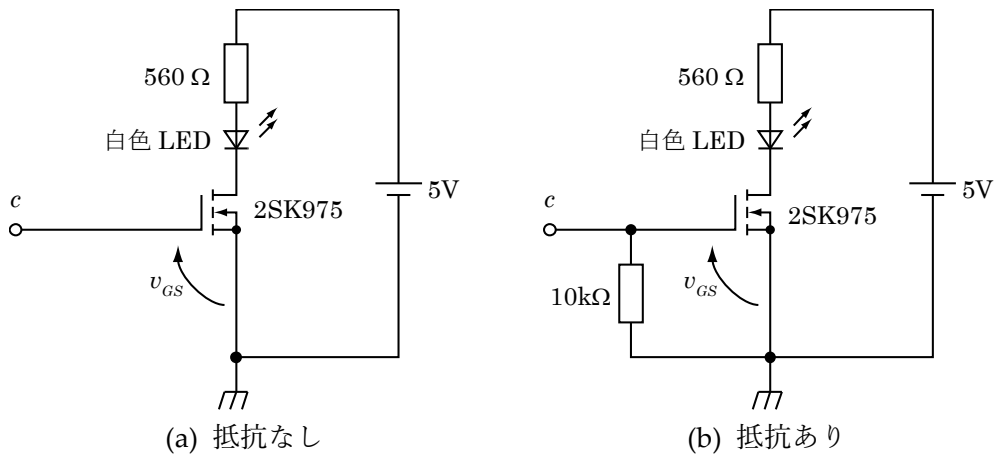


図2 ゲート電圧が不定のとき

図2(a)の回路をブレッドボード上に組み、2SK975 という型番の MOSFET を用いて実験したところ、電源 on の瞬間に LED が光り、数秒後に消灯するという現象が起こることがあった。また、端子 c に人間の手が触れると点灯し、手を離すと数秒後に消灯した（すぐに消灯することもある）。このことから、

v_{GS} が不定のとき、MOSFET は on/off のどちらになるか分からない

と言える。off であるべきときに on になると、まずいことが起こるかも知れない（この例では制御対象は LED 1 個だが、実際は大出力の機械かもしれない）。そこで、図2(b)のようにゲートとアースの間に抵抗を入れる。10kΩの抵抗を流れる電流は 0 なので、オームの法則（電圧＝電流×抵抗）より $v_{GS}=0$ となる。ゆえに MOSFET は off となる。

私の経験では、PIC16F819 というマイコンで図1(a)の回路を組んだとき、電源 on の瞬間に LED が数秒ふわっと光る現象に遭遇した。

R₁ の必要性

R₁ は寄生発振を防ぐためにある。

私は寄生発振の理論についてあまりよく理解できていない。しかし、経験より R₁ は必須であると考えます。

図3の回路をブレッドボード上に組み、寄生発振の実験を行った。

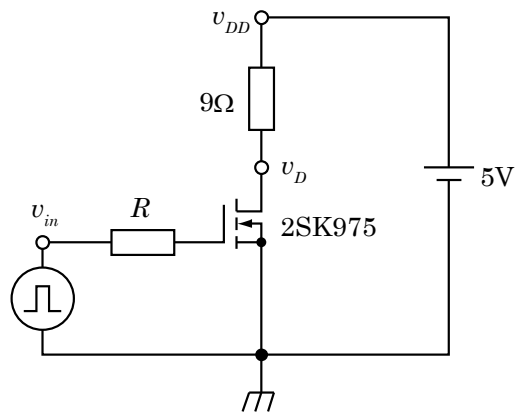


図3 寄生発振の実験回路

v_{in} として、発振器を用いて、2kHz の矩形波を与える。R の値を色々な値に変えて寄生発振の起こり方を調べる。

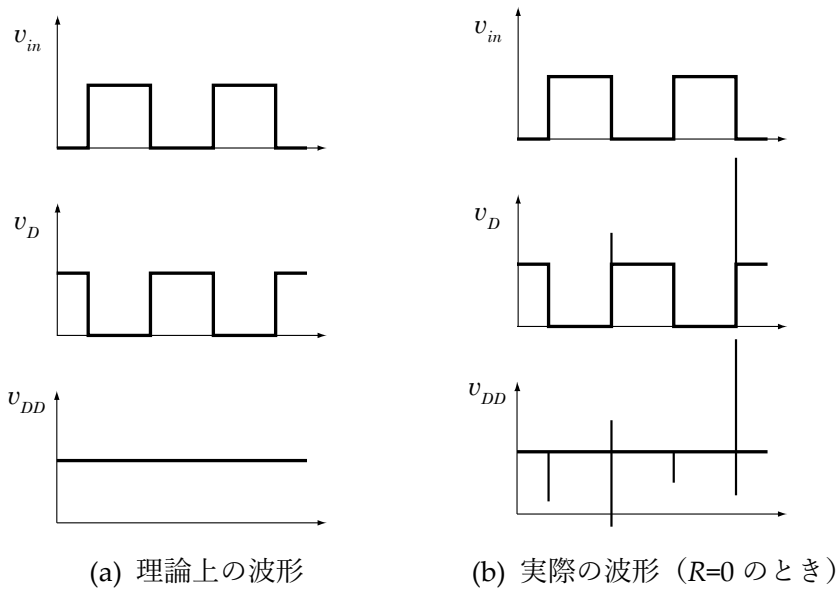


図3 寄生発振

$R=0$ のときの v_{in} , v_D , v_{DD} の波形を図3に示す。理論上の波形は図3(a)であるが、実験結果は同図(b)である。MOSFET が on になるときと、off になるときにスパイク状の波形が観測された。スパイクの高さは毎回同じではなく、最大 12V 程度であった。スパイクの高さは MOSFET の型番、on/off する電流の大きさ、配線の状況などによって異なる。

ゲートに接続する R の値を大きくしていくと、スパイクの高さは小さくなる。R=1kΩにするとスパイクの高さは 3V 程度になり、R=10kΩにすると、ほぼなくなった。

私は以下のような経験がある。

PICマイコンPIC16F819で図1(a)のような回路を組み、0.4Aの電流をon/offすると、マイコンに過電流が流れて発熱し、焦げ臭い匂いがし、マイコン直下のブレッドボードが溶けた。マイコンが異常発熱するしくみは不明である。この現象はブラウンアウトリセット（電源電圧が低くなったときにリセットする機能）の設定をon/offのどちらに設定しても発生した。

マイコンをPIC16F88に交換して、ブラウンアウトリセットをonにすると、発熱現象は起こらず、MOSFETをon/offするときにブラウンアウトリセットが起こった（ブラウンアウトリセットをoffにしての実験は行わなかったので、offのときに何が起こるかは不明である）。

上記の例より、電源電圧にスパイク状のノイズが乗ると、マイコンが誤動作する（あるいは壊れる）ことがある。

マイコンの誤動作は以下のようなパターンも起こりうると思われる（推測）。

- プログラムカウンタの値が書き換わり、本来実行するはずのない箇所のコードを実行する。
- 変数の値が書き換わる

上記の現象が起こると、offであるべきときにonになり、致命的な結果を引き起こすかもしれない。MOSFETを使ったスイッチ回路を組むときは寄生発振に対する注意が必要である。

寄生発振については、メーカーが提供している以下のテクニカルノート（PDF）に理論的な詳細が書かれている（難解）。

- 東芝 パワーMOSFET MOSFETの選び方及び回路設計上の注意点 p.7
<https://toshiba.semicon-storage.com/info/docget.jsp?did=13411>
- 東芝 パワーMOSFET 寄生発振、振動
<https://toshiba.semicon-storage.com/info/docget.jsp?did=59455>
- ルネサスエレクトロニクス パワーMOSFET アプリケーションノート p.34
https://www.renesas.com/ja-jp/doc/products/transistor/apn/rjj05g0003_power_mos.pdf

R₁のときとR₂の大きさ

以上の議論では図7.33(b)のR₁とR₂の必要性について、個別に検討した。図7.33(b)のようにR₁とR₂の両方が存在する場合、

$$v_G = \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_{in}$$

となり、 v_G は v_{in} を分圧した値となる。この値が MOSFET を導通状態にするための電圧より高くなるように、 R_1 と R_2 の値を選ぶ必要がある。

以上