1. はじめに

本ドキュメントは，[スイッチング基板\_回路図v1.0.0\_20210707.pdf]の回路についての  
設計解説書です．

　この回路は非産業用ロボットプロジェクトで開発中のレスキューロボット内に搭載することを“想定”し，**既存の回路を再設計**したものです．この回路はまだ作成・組込まれていないことに留意してください．

　本ドキュメントでは，スイッチング基板について以下の項目を取り上げます．

* 基板の役割
* 回路設計
* 製造上の注意
* 設計者の考える追加改良案

電気的知識があまりない人にも可能な限り分かりやすく説明しているつもりです．

本ドキュメントの内容に関して不明点等あれば以下までご連絡ください．

|  |
| --- |
| 送信先：田中邦明　アドレス：[tkknnka1114@gmail.com](mailto:tkknnka1114@gmail.com) |

目次

[1. 基板の役割 2](#_Toc76644832)

[1.1. ロボット全体における基板類の概略 2](#_Toc76644833)

[1.2. スイッチング基板の役割 3](#_Toc76644834)

[2. 回路設計 5](#_Toc76644835)

[2.1. 電源出力 6](#_Toc76644836)

[2.1.1 n-MOSFET 7](#_Toc76644837)

[2.1.2 ゲート抵抗 8](#_Toc76644838)

[2.1.3 ゲートソース間抵抗 11](#_Toc76644839)

[2.1.4 ヒューズ 11](#_Toc76644840)

[2.2. 電源入力 11](#_Toc76644841)

[2.3 電圧監視回路 11](#_Toc76644842)

# 基板の役割

## ロボット全体における基板類の概略

まず基板の説明をする前に，図1にロボット全体の基板類の概略図を示します．

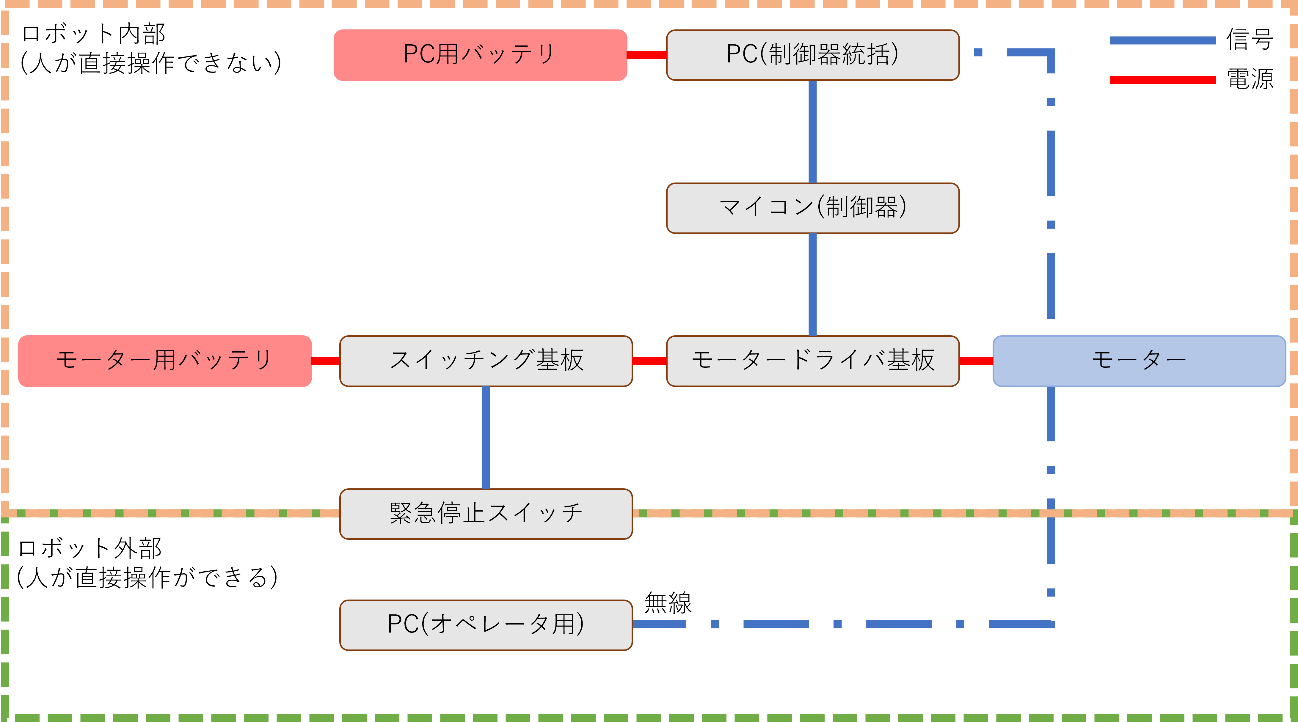


図1　ロボットシステム概略図

この中でスイッチング基板が接続しているのは

* モーター用バッテリ
* 緊急停止スイッチ
* モータードライバ基板（モーターを制御する基板）

の3つです．緊急停止スイッチが操作されたとき，バッテリからモータードライバ基板への電力供給が遮断され，ロボットが停止するようになっています．

## スイッチング基板の役割

レスキューロボットに採用している緊急停止スイッチは図2のように，通常時は導通しており，緊急時にはスイッチを押し込むことで切断する仕組みになっています．

(大半の緊急停止スイッチはは押して切断するNCタイプですが，稀にそうでないものも)

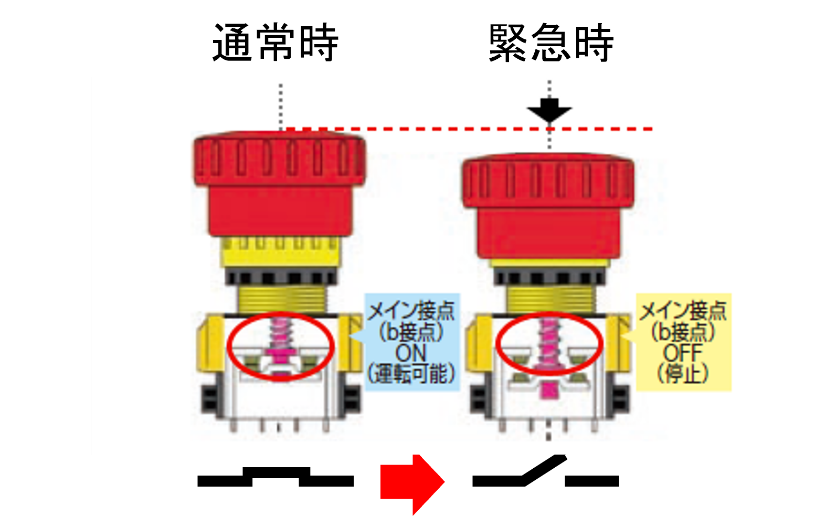


図2　緊急停止スイッチ内部構造

　ならば，バッテリを直接緊急停止スイッチにつなげても同じことになるのでは？と考える人もいると思います．しかし，図3のようにつなげるのは場合によっては危険です．

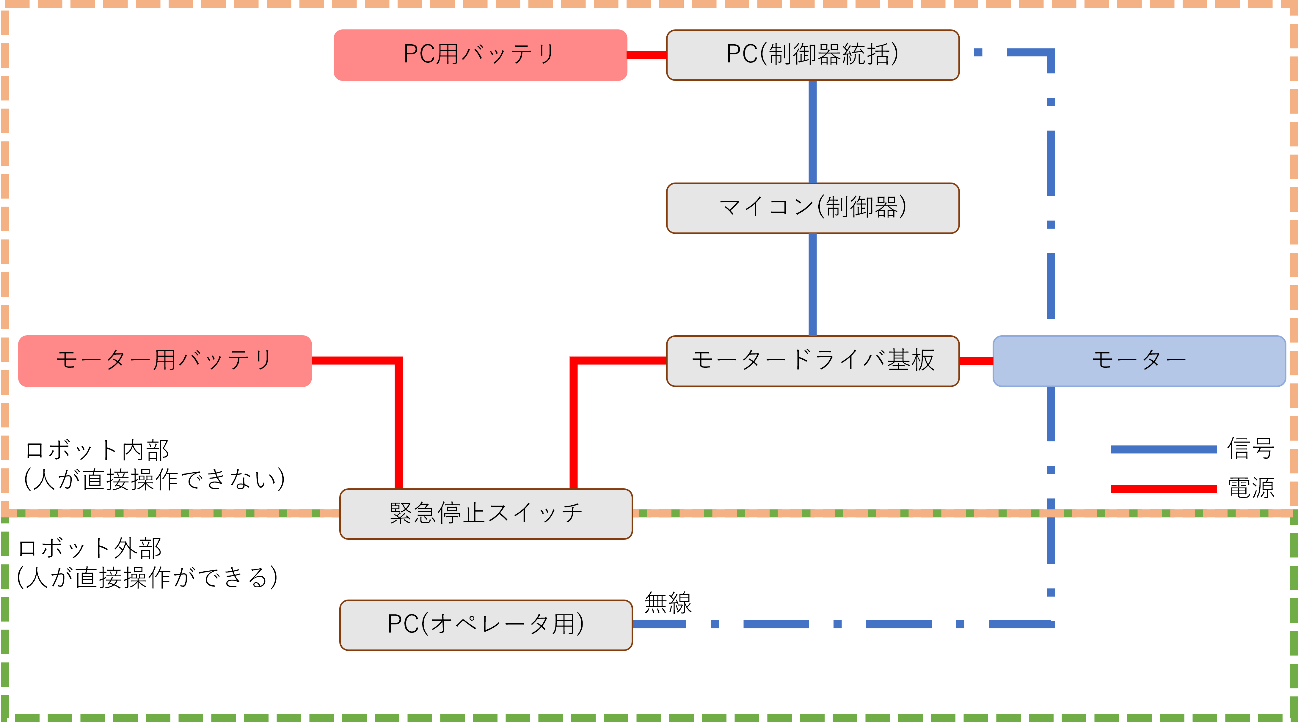


図3　バッテリ接続のダメな例

　なぜダメなのでしょうか？それは，スイッチにも流せる電流の上限があるからです．

　機械的な構造を持つスイッチは，接点部に抵抗があります．そのため電気が流れる際に接点部で発熱します．大電流が流れると異常発熱し，接点同士が溶けてくっついてしまう，つまり常にON状態に陥ります．そうなってしまってはスイッチの意味がありません．

　モーターは，動かすのに非常に大きな電流 (数A以上) が必要です．そのためバッテリとモーターの間に機械的スイッチをつなげてしまうと，スイッチを壊してしまう可能性が非常に高いです．

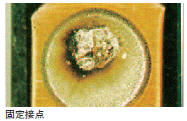
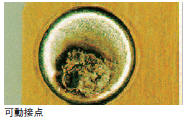


図4　スイッチ接点の溶解の様子

　そこで大電流が流れる回路でもスイッチングを行うために，“電気的”スイッチを利用します．その名の通り，電気で電気のスイッチ操作するわけです．このような機能を持つ素子のことをトランジスタといいます．

トランジスタは機械的な構造を持たないので接点がなく，大電流のスイッチングを小電力で行うことができます．

（ここではトランジスタの原理については説明しません．  
インターネット上に様々な解説資料がありますので，参考にしてください ）

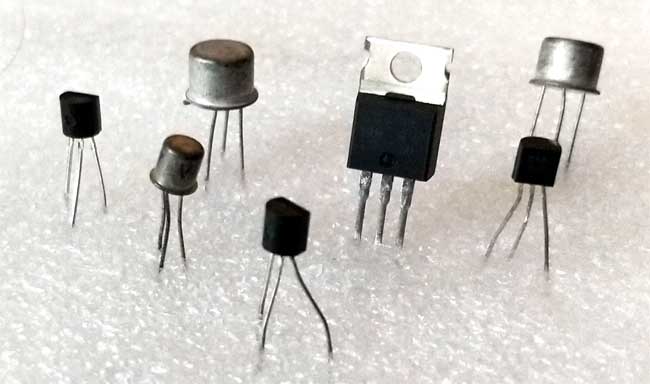


図5　トランジスタ

スイッチング基板はつまり，機械的スイッチで電気的スイッチの操作を行い，電気的スイッチがバッテリからの大電流を制御する基板です．こうすることで初めて，人が操作しやすい機械的スイッチを使って大電流を制御できるようになるわけです．

# 回路設計

ここからは，設計者が作成した回路と合わせて詳細に説明していきます．

この回路は大きく分けて3つの領域に分かれています．

[スイッチング基板\_回路図v1.0.0\_20210707.pdf]を開き，適宜拡大等して確認してください．

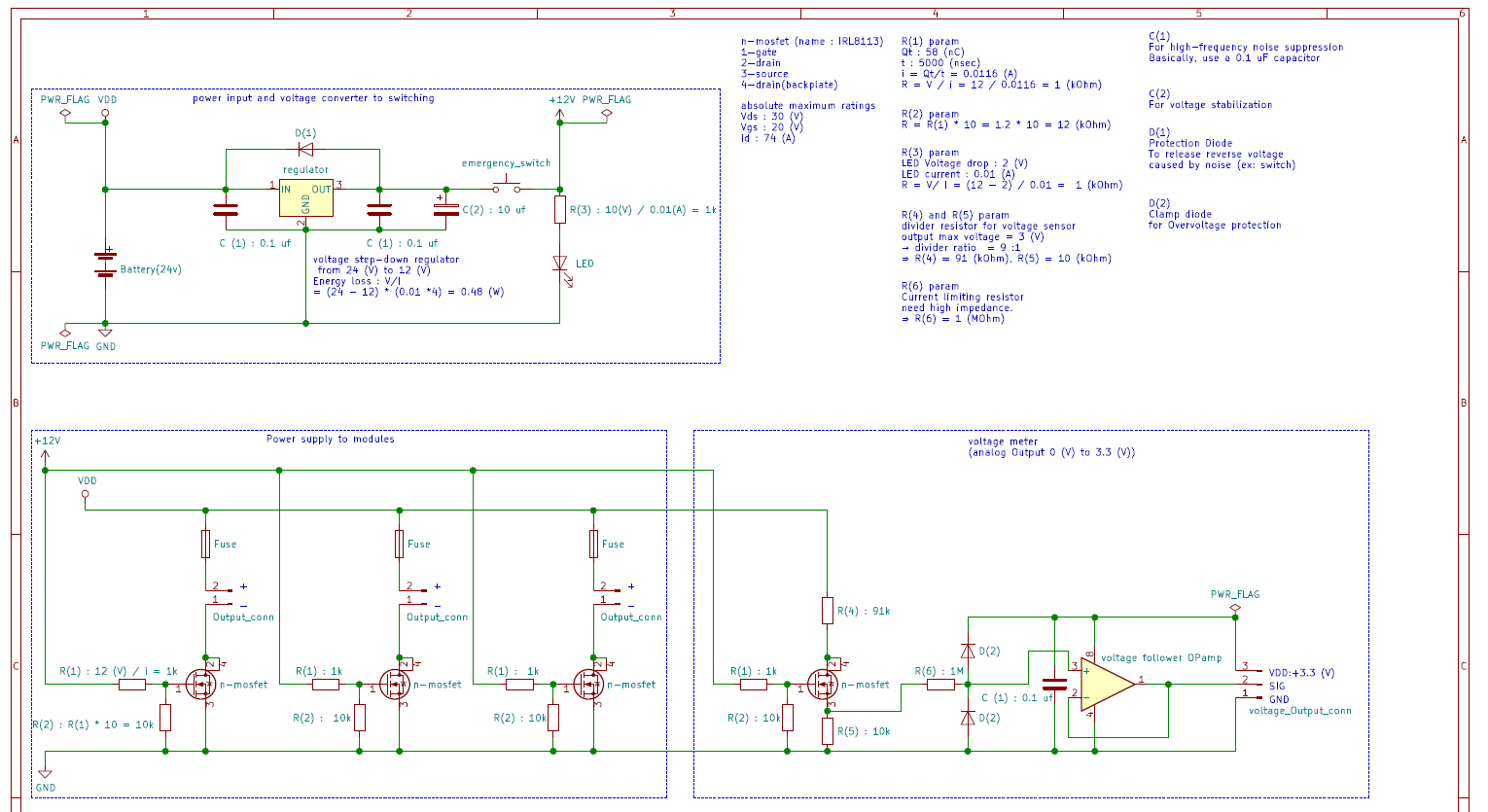


図6　回路図全体

## 電源出力

まずはこの基板における最重要区画，電源出力部を見てみます．

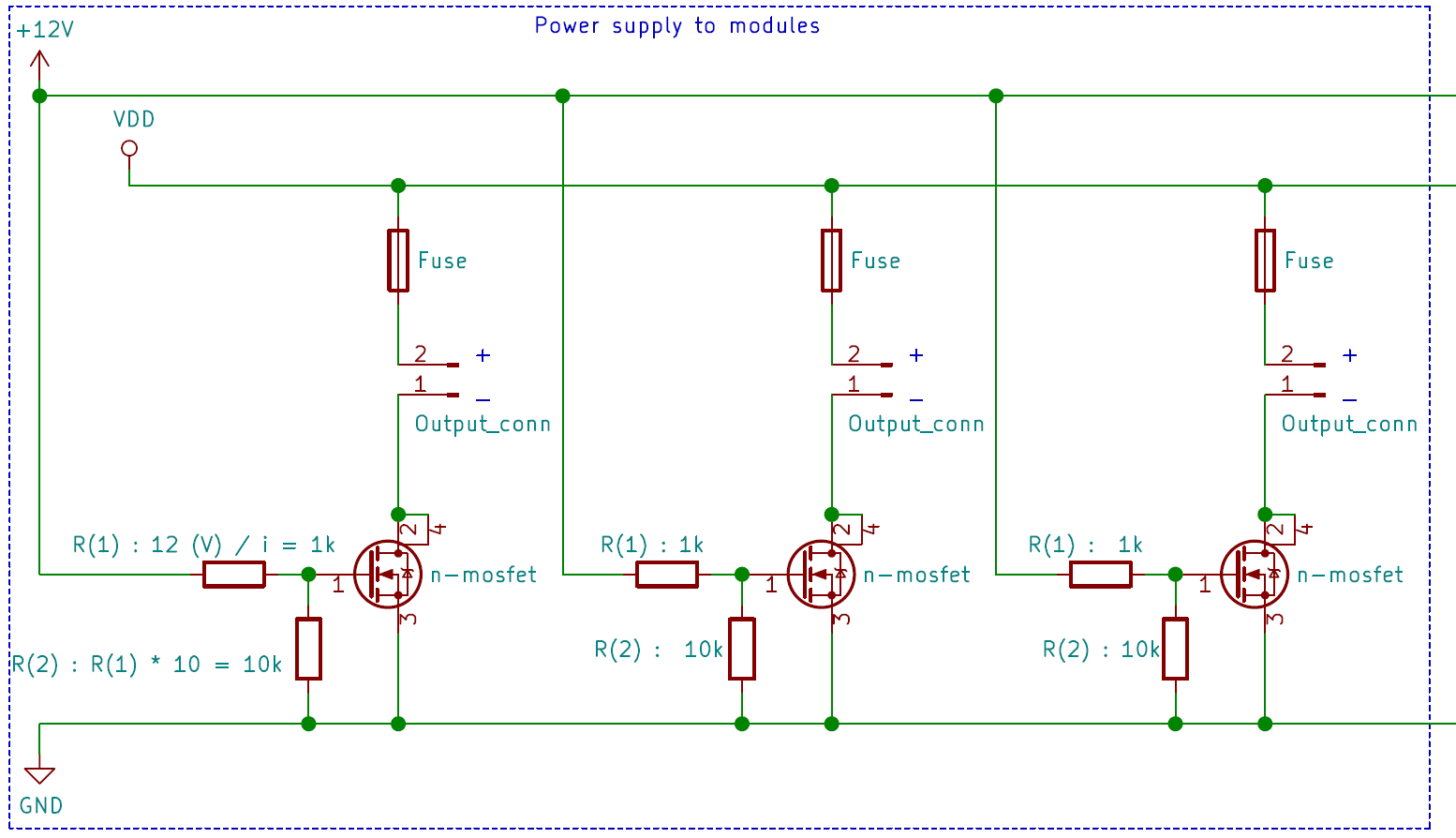
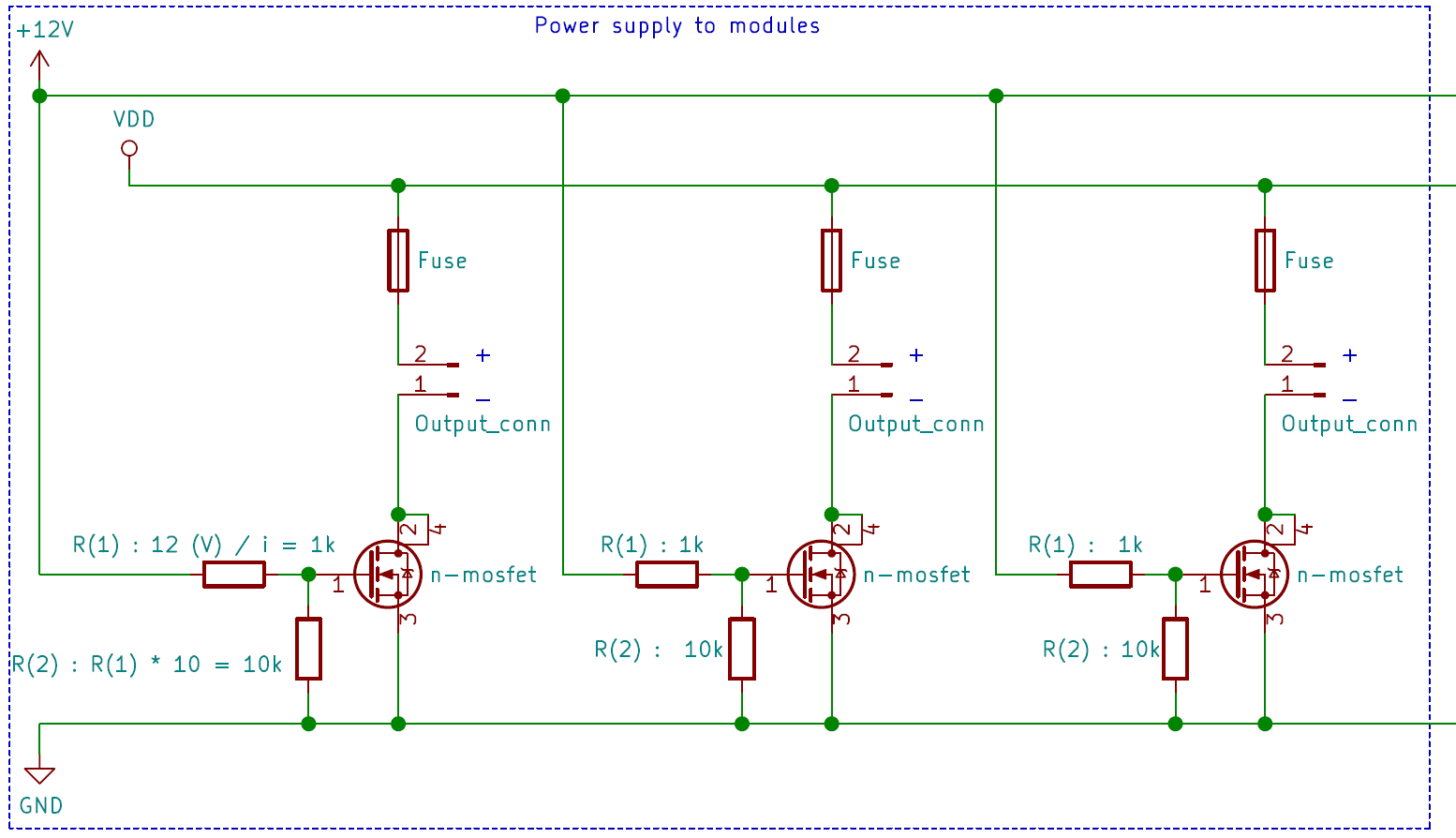


図7　電源出力部

この回路では，電源出力コネクタ(Output\_conn)を3つ用意しています．このコネクタからモータードライバへ電力を供給します(図8)．



モーター

モータードライバ基板

図8　電源出力部(1 unit)

### 2.1.1 n-MOSFET

この基板における最重要素子です．この素子によって電源のスイッチング操作を行います．

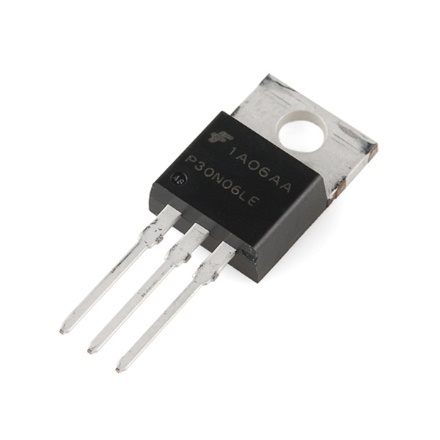


図9　MOSFET

MOSFETには2種類 (P channel, N channel) あります．どちらもスイッチング可能な素子ですが，若干使い方が異なります．普通に使う分にはN channelの方が使いやすいと思いますので，ここではN channelのMOSFETのみ解説します．

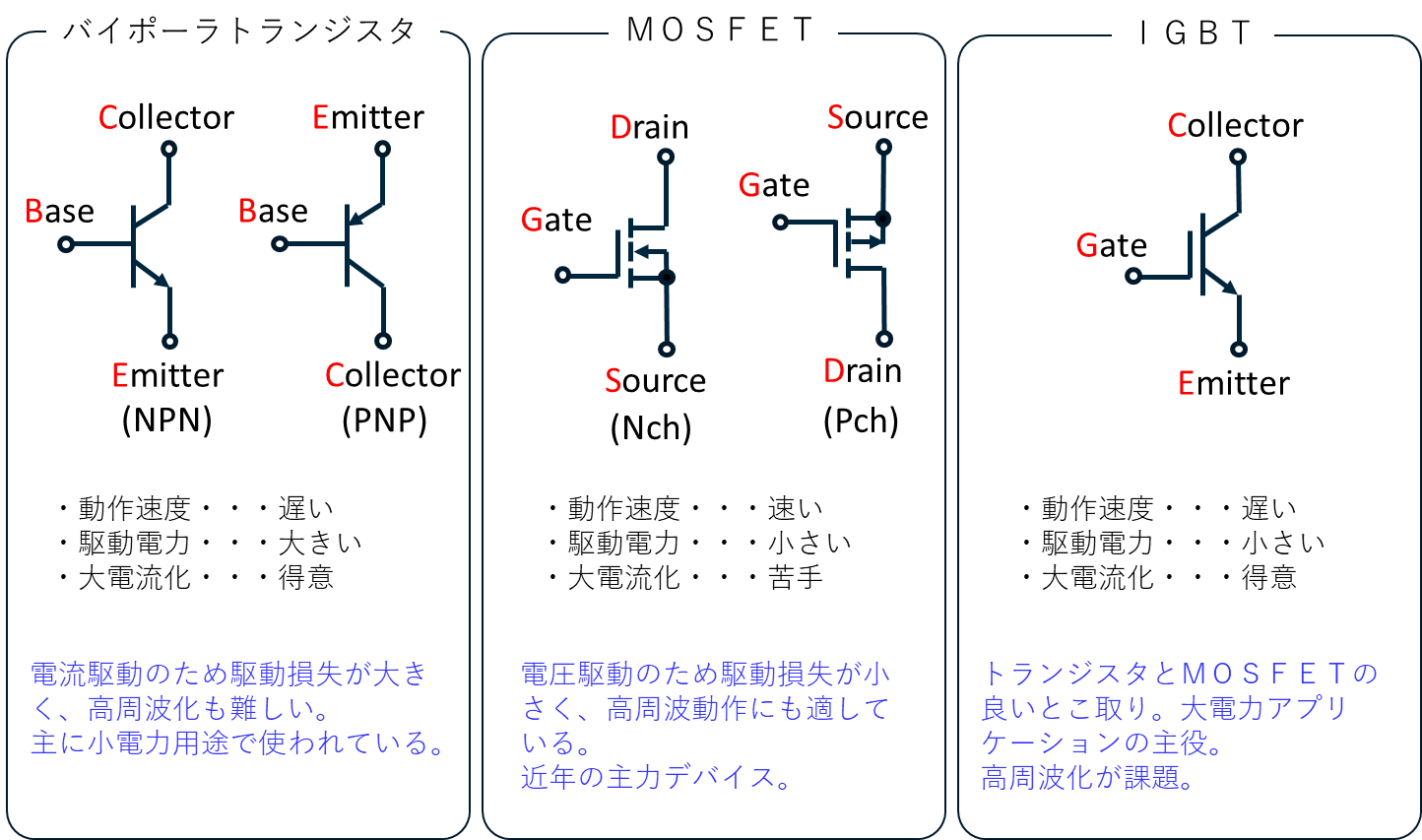


図10　n-MOSFET回路記号

n-MOSFETは，図9からわかる通り3つの端子が出ています．これらはそれぞれ，Drain, Gate, Sourceの端子となっています．モーター用バッテリの電流はDrainからSourceにかけて流れ，その流れをGate-Source間電圧によって制御します．

⇒　Gate-Source間電圧が0 V であればDrain-Source間は遮断

Gate-Source間電圧が閾値以上であれば，Drain-Source間が導通

MOSFETを選定する際には，耐圧，耐電流，Gate-Source間の閾値電圧に注意してください．この回路で使用を想定したIRL8113であれば，Drain-Source間の最大耐電圧は30V, 耐電流は74 A, Gate-Source間の耐電圧は20 V，閾値電圧は1.35 ~2.25 Vです．

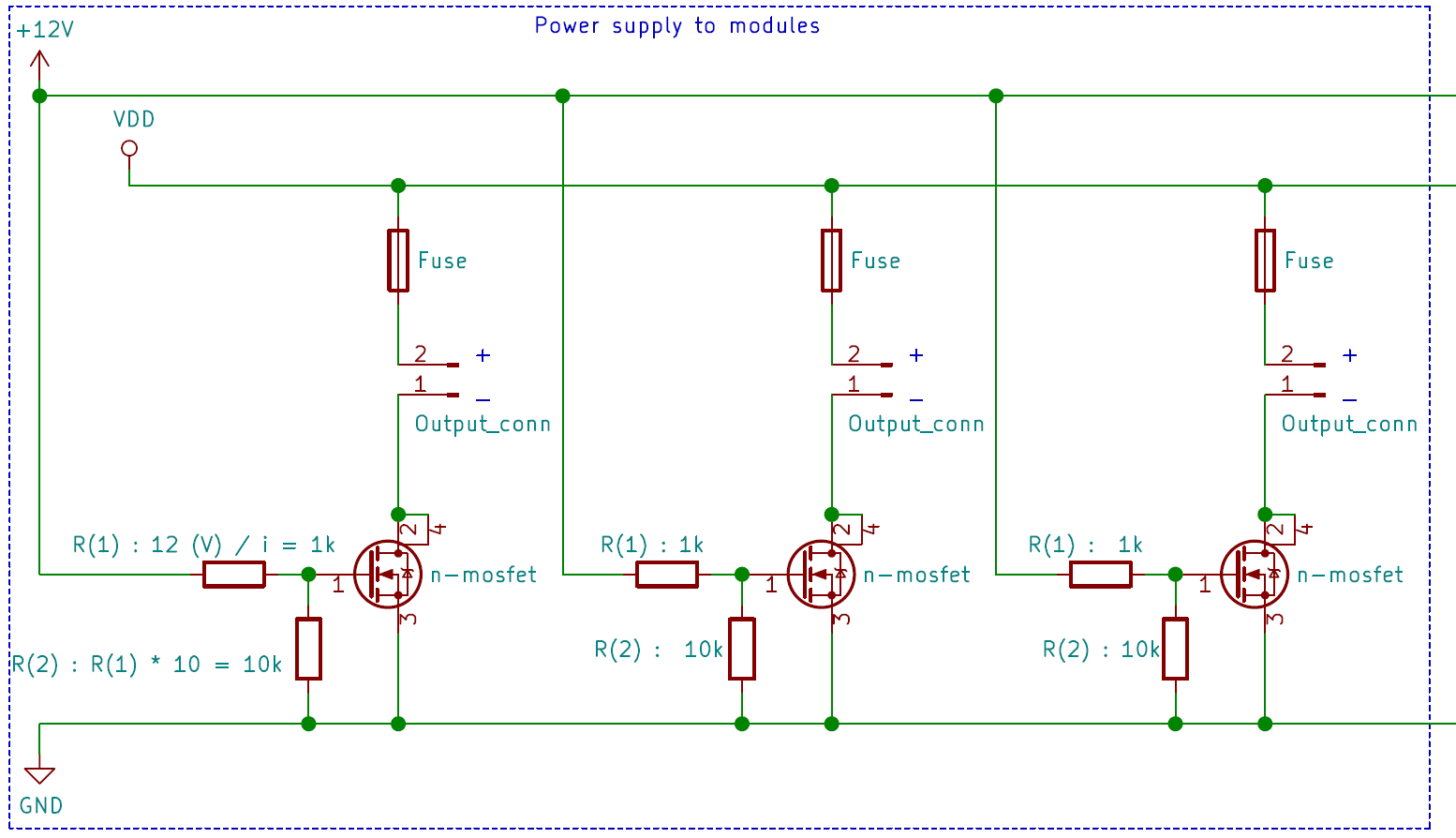
参考サイト : <https://ana-dig.com/transistor_fet/>

### 2.1.2 ゲート抵抗

参考サイト : [https://ana-dig.com/fet\_gate1/](%20https:/ana-dig.com/fet_gate1/)

参考資料 : [TOSHIBA MOSFET設計](https://toshiba.semicon-storage.com/content/dam/toshiba-ss-v2/master/en/semiconductor/knowledge/faq/mosfet/MOSFET-Gate-Drive-Circuit-Application-Notes_JA_36266.pdf)

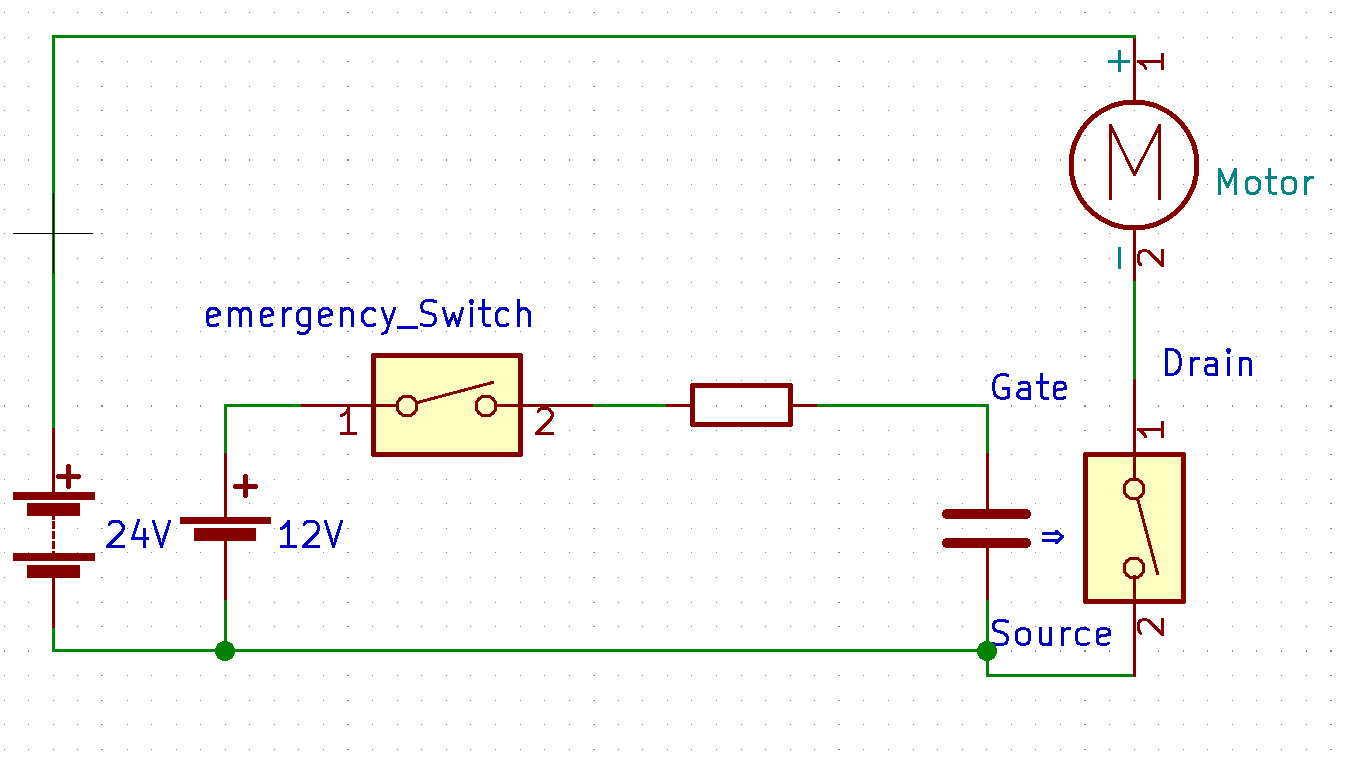
n-MOSFETを使用するためには，Gate-Source間に電圧をかける必要があることを前項で説明しました．ここで回路全体を見ると，n-MOSFETには2つの抵抗が接続されていることがわかります．この項では，下図に示されている，スイッチからの  
12 VとGate間に接続されている抵抗（ゲート抵抗）について解説します．



ゲート抵抗

図11　ゲート抵抗の位置

n-MOSFETのGate-Source間はコンデンサのような働きを持ち，このコンデンサが閾値電圧()以上になった時，Drain-Source間が導通すると理解してください．  
下図はn-MOSFETを他の素子で簡略的に示したものです．



ゲート抵抗

図12　n-MOSFETの概略

ここでコンデンサの働きについて確認しましょう．

直流電源におけるコンデンサは，充電が空っぽの時，抵抗値は0（短絡）として考え，満充電の時の抵抗値は無限大（解放）と考えます．

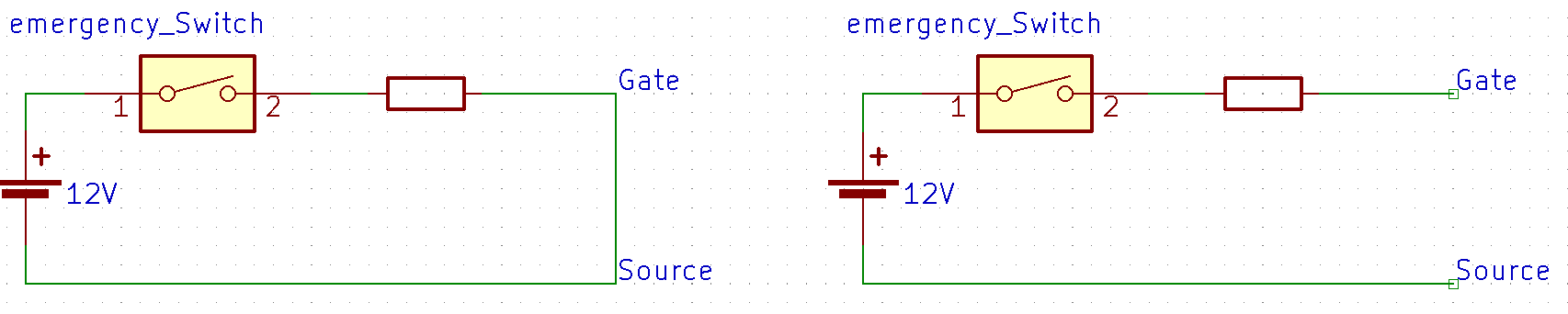


図13　コンデンサの充電状態による回路表現  
左：コンデンサが空　右：コンデンサ満充電

仮にゲート抵抗がない場合，コンデンサが空ならば，バッテリがショートしていると考えることができます．この状態は無制限に電流を流せるということであり，**バッテリが異常発熱したり回路を焼損させたり**する要因になり**非常に危険**です．ショートにならないようにゲート抵抗が必要というわけです．

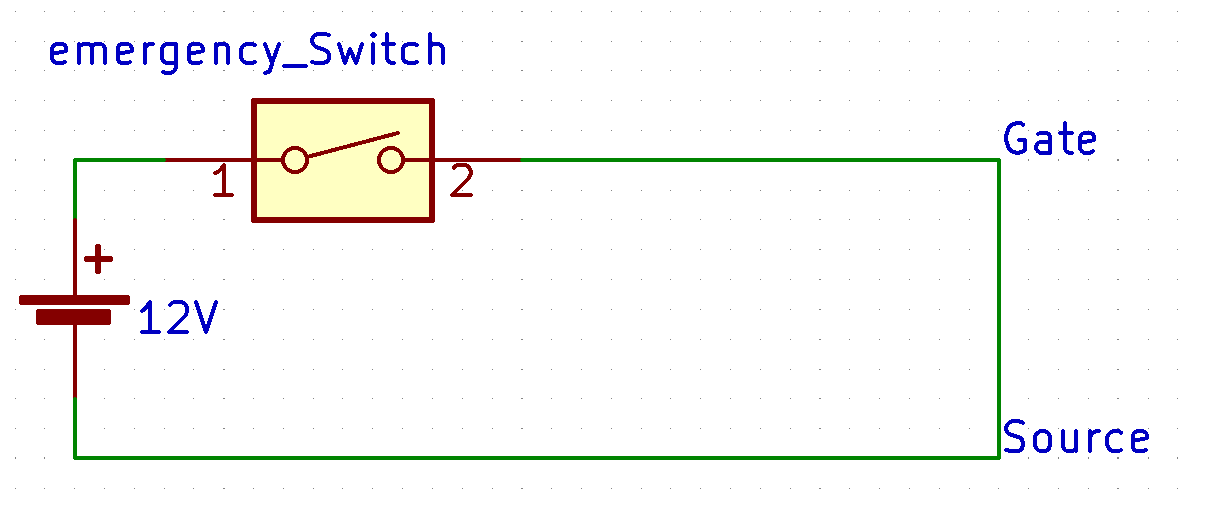


図14　バッテリがショートしている危険な状態

**このようなつなぎ方をしては絶対にダメです**

では次に，どの値の抵抗を使えばよいのかについて説明します．

先ほどn-MOSFETのGate-Source間はコンデンサのような役割を持つことを説明しました．コンデンサの充電速度は流れ込む電流量によって変化します．コンデンサの充電が早ければそれだけ早くDrain-Source間は導通します．

コンデンサの充電時間を計算するためには，Gateの電荷量を見ます．

n-MOSFETのデータシートより，グラフを確認します．今回はIRL8113のパラメータを確認します．

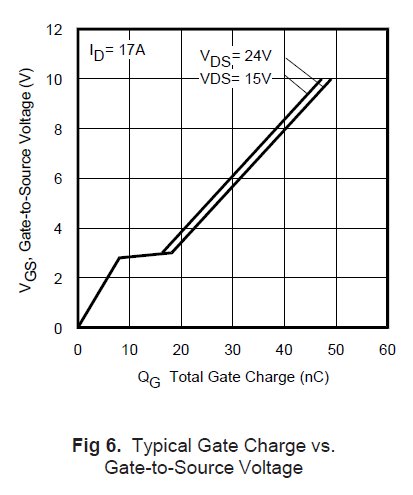


図15　n-MOSFETのグラフ

今回の回路では，に12 Vを印加します．図15より，が12 V付近のを見ると，およそ58 nC と読み取れます．

(グラフが途中で切れているように見えますが，一般的にMOSFETはが10 Vで駆動することが基本のようで，このデータシートではそこまでしか記入されていないようです．今回の場合は直線を延長して考えて問題ありません)

はある電流をある時間だけ流した時の電荷量であり，(1)式で表されます．

ここからわかるように，が与えられている今，充電時間あるいは流す電流量を決定すればもう一方の変数が一意に定まります．今回は時間を5000 nsecと定めてみましょう．すると計算結果は(1)式より

よって，(2)式よりGateに流れ込む電流量が11.6 mAとわかりました．

今回は時間を5000 nsecと定めましたが，この値は今までの制作経験則からであり，また最終的に計算結果の電流量が約10 mA程度になる範囲として定めたので，かなり適当です．精度が必要な回路であれば厳密に決定すべきでしょうが，今回は接続される機器にそこまで電気的な精度が求められていないので，ある程度適当で問題ありません．逆に電流量を定め，それにかかる時間を計算しても構いません．

(10 mAを流すと定めるなら，充電時間が5800 nsecとなります)

詳細な設計を行いたい場合はTOSHIBAの参考資料をご覧ください．

必要な電流量が求まったら，あとは単純なオームの法則で解くことができます．

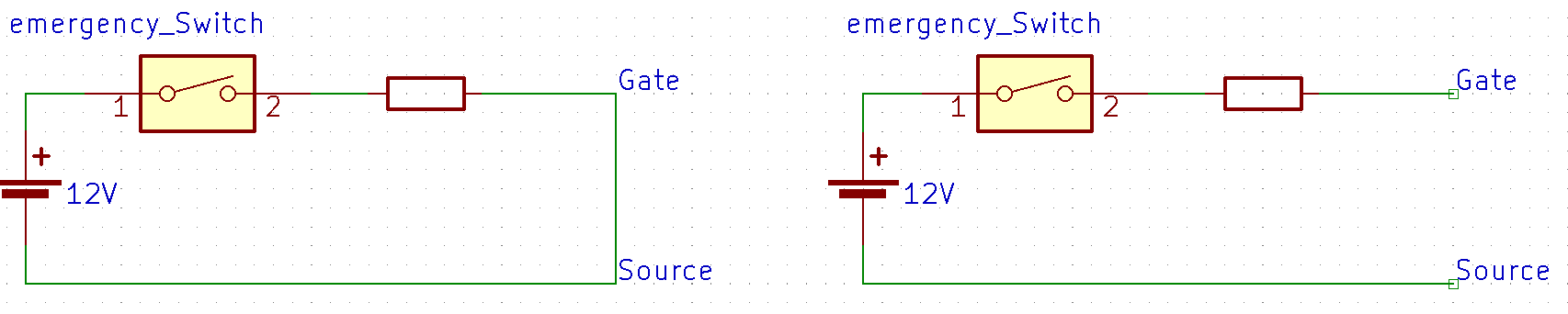


図16　抵抗値計算

図16を見れば単純ですね．オームの法則(3)式より

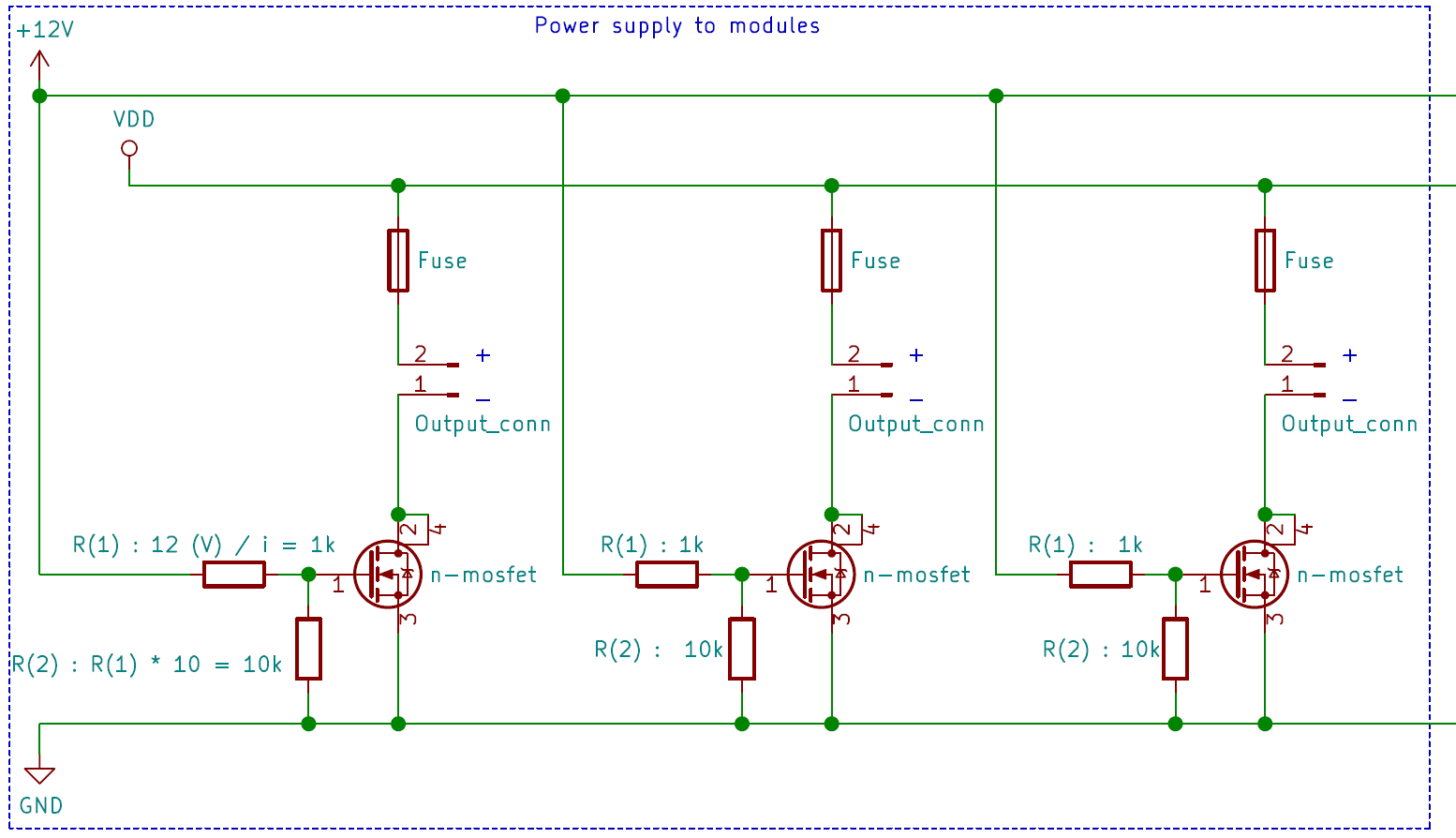
この計算結果から，実際に販売されている抵抗を選択し，をゲート抵抗として使用することが決定しました．

### 2.1.3 ゲートソース間抵抗

　　　参考サイト : <https://ana-dig.com/fet_gate2/>

つぎにGate-Source間に並列して接続されているゲートソース間抵抗を考えます．

前項では，ゲートソース間抵抗はないものとして取り扱っていました．それはこの抵抗が持つ役割がゲート抵抗とは全く異なり，またゲート抵抗に対して非常に高い抵抗値のため電流路への影響が非常に小さいためです．



ゲートソース間抵抗

図11　ゲートソース間抵抗の位置

ゲートソース間抵抗の役割は，回路の安定性を高めるためです．Gateに制御用の電圧が与えられていない場合，n-MOSFETから見たGate電位が不明になります．

### 2.1.4 ヒューズ

## 電源入力

## 2.3 電圧監視回路