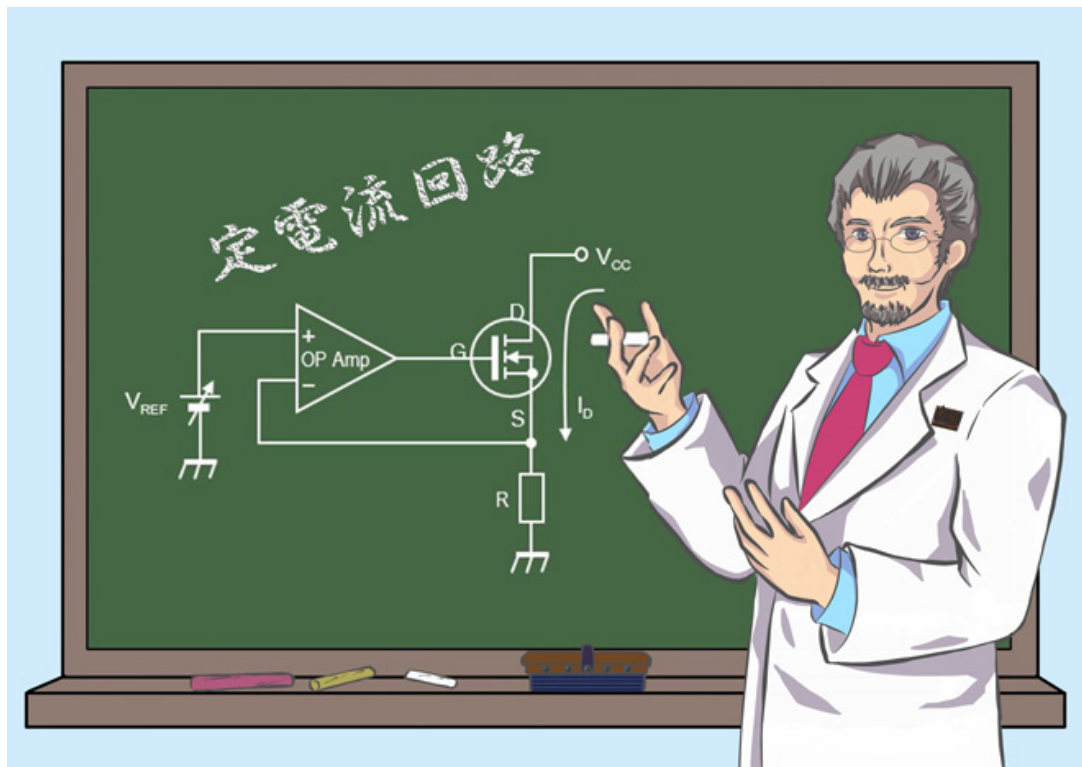


## 第二十九回 オペアンプを使った定電流回路について



Dr. FB

月刊FB NEWS 9月公開号に「20A 電子負荷装置の製作」の記事が掲載されています。回路にはオペアンプを使った定電流回路が組み込まれています。定電流回路は文字通り電圧が変化しても一定の電流を流す回路です。オームの法則によると電圧が変化すると当然回路に流れる電流は変化するのですが、この回路を組み込むと回路に流れる電流を一定にすることができます。定電流回路を構成する電子回路にはいろいろな方式がありますが、今回はオペアンプを使った定電流回路について簡単に説明します。

### ■IDの制御

エンハンスメント型 MOSFET の  $I_D$  を制御する回路を図 1 に示します。この回路では電源電圧  $V_{CC}$  を一定とし、 $R_2$  で  $V_{GS}$  の電圧を変化させて  $I_D$  を制御します。ところが  $V_{CC}$  は、何らかの原因で変動することがあります。  $V_{CC}$  が変動すると  $I_D$  も変動します。常に  $I_D$  を監視し、電子的に  $I_D$  を一定にしようとするのが定電流回路です。図 1 の回路では N チャネルの MOSFET が使われています。エンハンスメントタイプの N チャネル MOSFET は、 $V_{GS}$  が正の電圧となったときに  $V_{GS}$  の電圧の大きさに伴って下のグラフにあるように  $I_D$  が変化する特性を持っています。

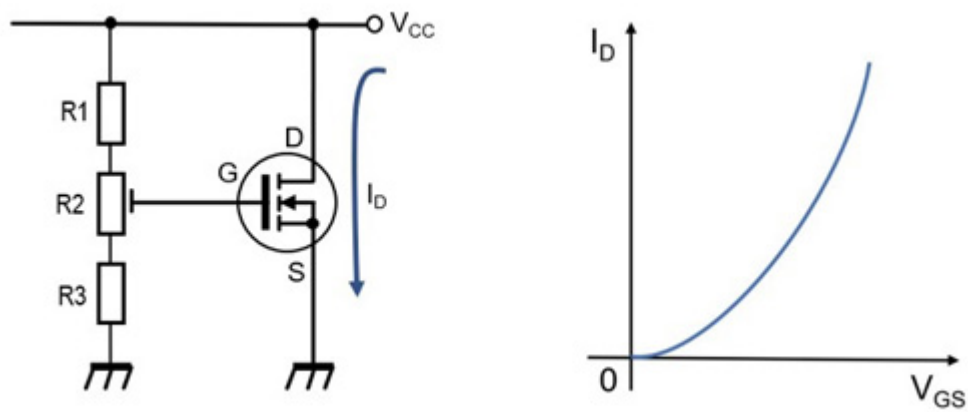


図 1 VGS 対 ID の特性

### ■オペアンプを使った定電流回路

20A 電子負荷装置の回路図を図 2 に示します。赤色の網掛け部分がこの回路で定電流回路を構成している部分です。

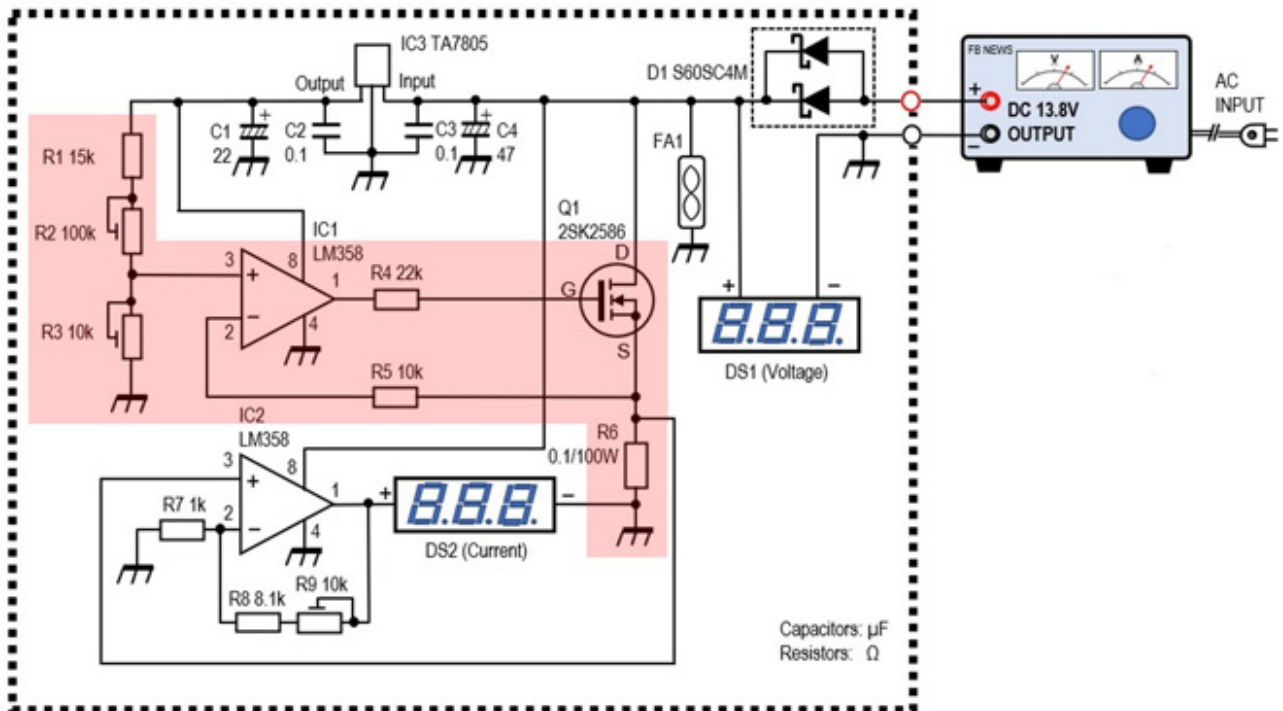


図 2 20A 電子負荷装置の回路図

### ■オペアンプのイマジナルショートについて

オペアンプを使った定電流回路を理解するためには、オペアンプの基本的な動作の理解が欠かせません。オペアンプを「アンプ」と呼ぶぐらいですから、部品そのものは増幅器 (Amplifier) です。オペアンプが持っているオープンゲインは非常に高く 100dB (10 の 5 乗) ぐらいあります。とはいえ、1V の電圧を入力すると出力には 100dB も増幅された何十万 V の電圧が出力されるというわけではありません。出力は、電源電圧以上は出ません。オペアンプは通常、図 3 のように負帰還をかけ、安定したゲインで使用します。

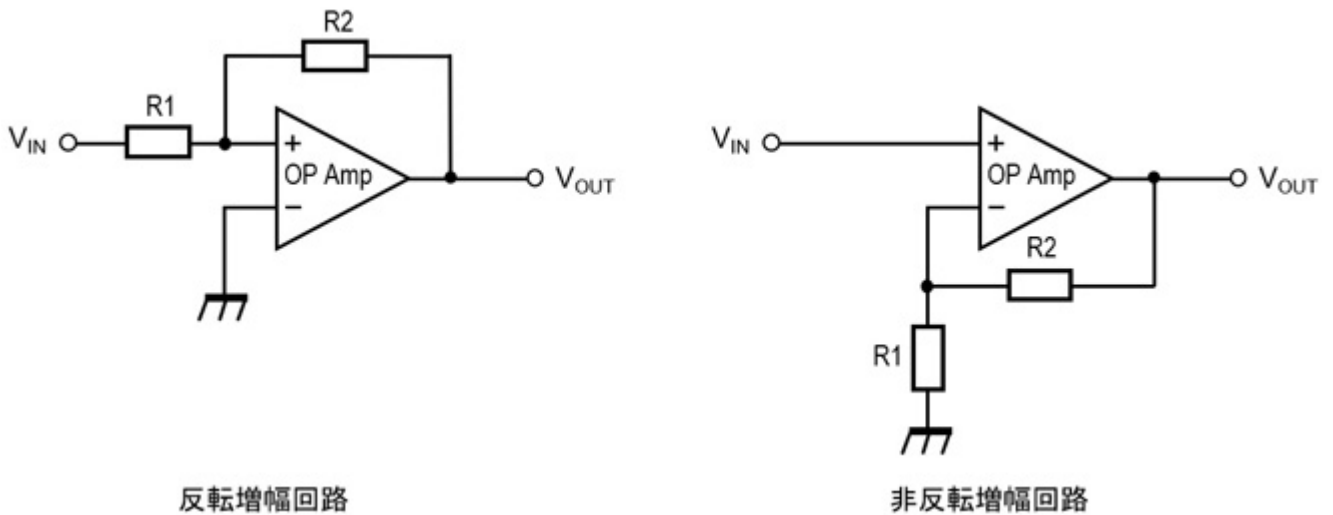


図 3 オペアンプの負帰還の原理図

オペアンプは、入力端子として(+)端子と(-)端子を持っています。前者を非反転増幅端子といい、後者を反転増幅端子と呼んでいます。ここで大事なことは、オペアンプの出力の一部を入力端子に負帰還を掛けて戻すとオペアンプの(+)端子と(-)端子の電位差がゼロになる現象を生じるということです。同電位であるということは、仮想的に両端子がショートしている状態と考えることができます。あまり聞きなれない言葉ですが、このことをイマジナルショートと呼びます。別の言い方をするとオペアンプは、(+)端子と(-)端子の電圧が同電位となるように IC 内部が動作しているということになります。このイマジナルショートの動作がオペアンプを使った定電流回路の基本となっています。

### ■シャント抵抗の電圧 = 基準電圧

オペアンプを使った定電流回路の原理図を図 4 に示します。

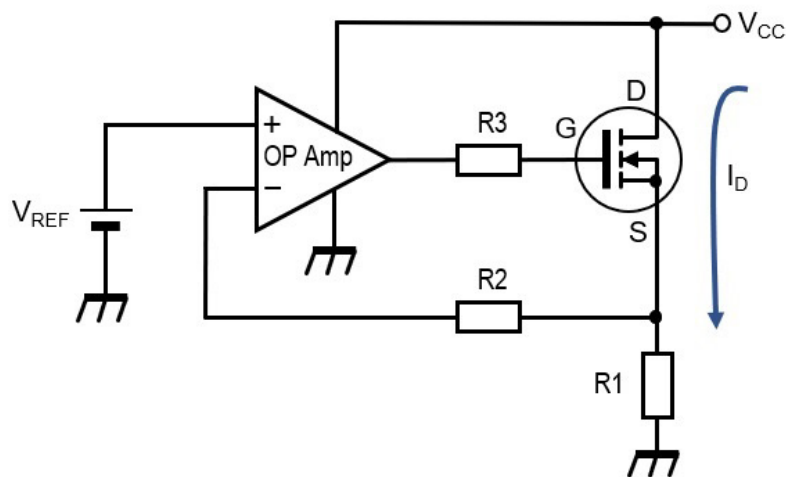


図 4 オペアンプを使った定電流回路の原理図

MOSFET のゲートに正の電圧  $V_{GS}$  が加わると、 $I_D$  が流れます。 $I_D$  が流れるとシャント抵抗( $R1$ )の両端には(1)式で示した電圧を生じます。

$$V_{R1} = R1 \times I_D \text{ ----- (1)}$$

R1 で生じた電圧 VR1 をオペアンプの反転端子(-)に入力します。一方オペアンプの非反転入力端子(+)  
には基準となる電圧を入力します。この電圧を VREF とします。先に述べたようにオペアンプにはイマ  
ジナルショート動作がありますので、反転入力端子(-)が非反転入力端子(+)  
の電圧(VREF)と同じ電圧になるようにオペアンプが動作します。そこで R1 の両端の電圧(VR1)と基準となる VREF との間には次の(2)式が成り立ちます。

$$V_{REF} = R1 \times I_D \text{ ----- (2)}$$

(1)式と(2)式より(3)式が成り立ちます。

$$VR1 = V_{REF} \text{ ----- (3)}$$

つまり、基準となる電圧に沿って VR1 が決まり、VR1 が決まるということは、シャント抵抗 R1 が決まっているのであれば、ID は必然と決まってしまうことになります。

### ■20A 電子負荷装置に組み込まれた定電流回路の検証

(3)式の関係から VREF と R1 が決まると ID が決まると述べました。ここで図 2 の回路図から、定電流回路の部分だけを取り出したものが下の図 5 です。

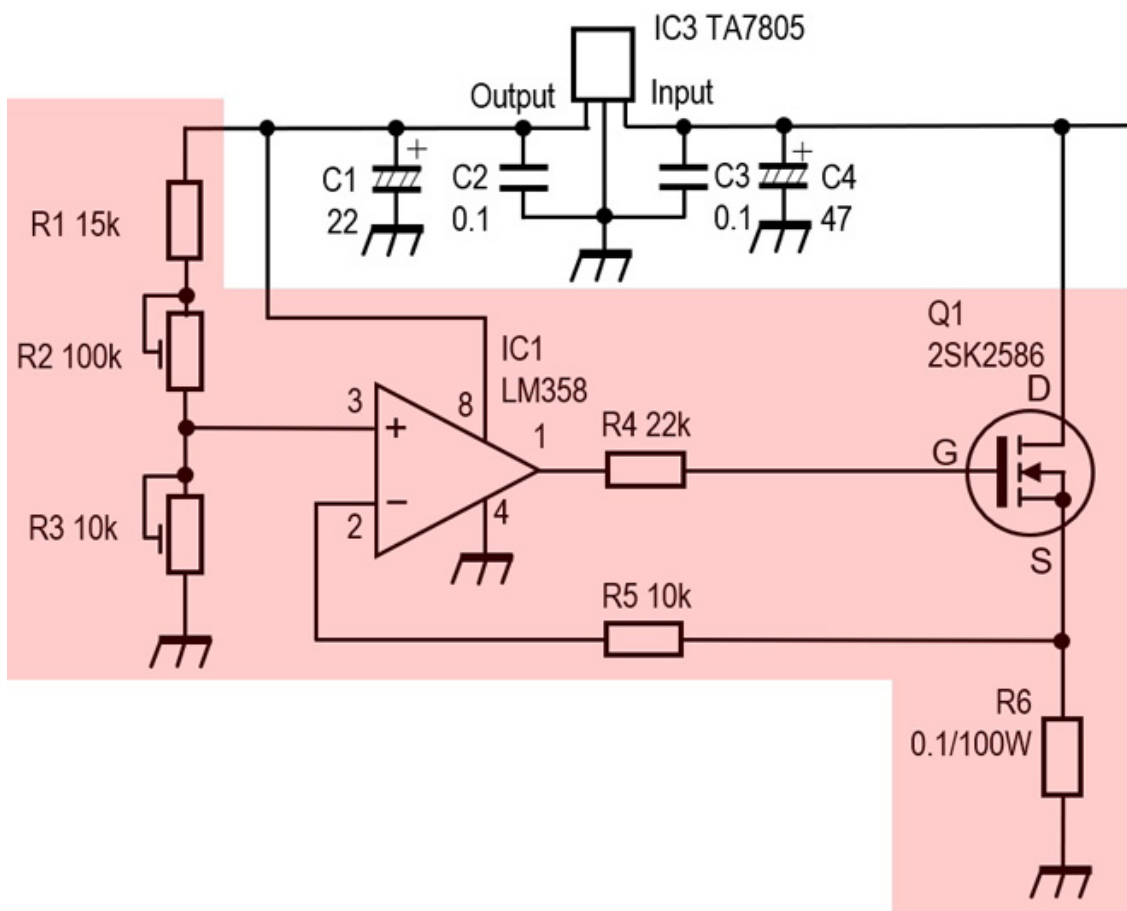


図 5 20A 電子負荷装置の定電流回路

この電子負荷装置には最大で 20A が流れるとした仕様が設定されています。図 5 のソース・アース間に挿入されているシャント抵抗(R6)は、0.1Ω ですが例えばこれを 1Ω とすると R6 の両端の電圧 VR6 は(1)式より  $VR6 = 1 \times 20 = 20(V)$  となります。(3)式の R1 を実回路の R6 に置き換えると、 $VR6 = VREF$  となります。このことから基準となる電圧を 20V と設定し、その電圧と VR6 の 20V とをオペアンプの(+)端子と(-)端子で比較することになりますが、これは回路の電源電圧より高くなり構成上適切ではありません。

そこで R6 を 0.1Ω としてみます。すると VR6 は、 $VR6 = 0.1 \times 20 = 2(V)$  となり、これなら適度な電圧ですから、VREF を 2V とすることでオペアンプのイマジナルショート 동작を利用して VGS を制御できます。ID が低ければ VGS を上昇させ、ID が高ければ VGS を低下させるようにすれば、自動的に ID を制御できます。

仮に ID を 1A としたいのであれば、R6 の両端の電圧(VR6)から VREF を求めると、 $VREF = 0.1 \times 1 = 0.1(V)$  となります。基準となる電圧が 0.1V ですから精度が必要です。そこで基準となる電圧にはよくツェナーダイオードを用いられますが、図 5 の回路では三端子レギュレータを使って基準電圧をさらに安定させています。

余談ですが、R6 の抵抗値が 0.1Ω、そしてその抵抗に流れる電流が最大で 20A ですから、その抵抗で消費する電力は、 $P = I^2 \times R = 40W$  となります。40W といえばハンダごて並の熱量です。この熱量に耐えうる抵抗や放熱が必要になることは言うまでもありません。

FBDX