

# スイッチング電源 1

## スイッチング電源 1

図 1 はプラス電源からマイナス電源を作り出す回路の例である。出力電圧Eoutが規定の電圧になるように、制御回路がTrのオン時間オフ時間を制御する。定常状態で安定しているときには、

Trがオンしている状態ではLには電圧Eがかかり、Lに流れる電流i(t)は変化率E/Lで増加する。このときダイオードDは逆バイアス状態であり、Dには電流は流れない。

Trがオフすると、Lはその時流れている電流i(t)を維持しようとするが、Trはオフしていて電流は供給しないから、電流はCとRの並列回路を通してDから流れこむことになる。このときEoutはマイナスであり、a点の電圧はそれよりもDの電圧降下分だけ低いマイナスの電圧となる。またCはマイナスに充電されるが、Trのオフ時間は短いのでEoutの変化は小さい。

この状態ではLにかかる電圧はマイナスであり、Lに流れる電流は変化率(-Eout-Vd)/Lで変化(減少)する。ここでVdはダイオードDの順方向電圧である。

Trがオフの状態である時間が経過すると、Trがオンに切り替わり、に戻る。Lに流れる電流は増加し、またTrがオンの間、負荷抵抗RにはCから電流が供給されるので、Cは放電してEoutは小さくなるが、C Rの時定数は大きく選んであるのでEoutがあまり変化しないうちにのサイクルに入る。

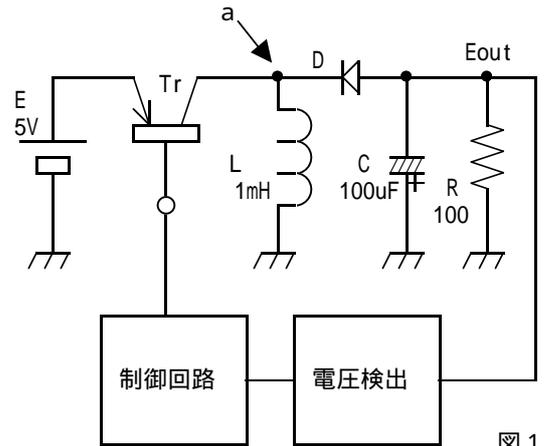


図 1

具体的な数字を当てはめて定常状態の動作を調べる。

Trがオン=10us、オフ=10usで動作している場合を考える。Trがオンの状態ではLの電流i(t)は計算1のように時間に比例して増加し、その増加率は5000A/sであり、10usのオンのあとでは  $i(t)=50\text{mA} + i(0)$  となっている。ここで  $i(0)$  はTrがオンした時点(時刻  $t = 0$ )でLに流れていた電流値の初期値である。

次にTrがオフしたら、 $i(t)=50\text{mA} + i(0)$ の電流がCとRの並列回路を通してDからLに流れこむことになる。Cの初期電圧をEout(0)とし、50mA + i(0)の電流で100uFのCを10usの時間充電しても電圧の変化は5mV + であり、a点の電圧はほぼ  $-0.65\text{V} - E_{\text{out}}(0)$  一定と見てよいとすると、Trがオフの間のLの電流の式は計算2のようになる。

定常状態で と を繰り返しているとする、 $i(0)=i(20\text{us})$ であるから、計算2のようにEout(0)=4.35Vとなる。

$$L \times \frac{di(t)}{dt} = E$$

$$\frac{di(t)}{dt} = \frac{E}{L}$$

$$i(t) = \frac{E}{L} \times t + i(0)$$

$$= 5/0.001 \times t + i(0)$$

$$= 5000 \times t + i(0)$$

$$i(10\text{us}) = 50\text{mA} + i(0)$$

計算 1 (0<=t<=10us)

$$L \times \frac{di(t)}{dt} = -0.65 - E_{\text{out}}(0)$$

$$i(t) = -(650 + E_{\text{out}}(0)/L)(t - 10\text{us}) + i(0) + 50\text{mA}$$

$$i(20\text{us}) = -6.5\text{mA} - E_{\text{out}}(0)/L \times 10\text{us} + i(0) + 50\text{mA}$$

$$E_{\text{out}}(0)/L \times 10\text{us} = -6.5\text{mA} + 50\text{mA}$$

$$E_{\text{out}}(0) = 4.35\text{V}$$

計算 2 (10us<=t<=20us)

$E_{out}=4.35V$ とすると負荷  $R$  の電流は  $43.5mA$  となる。

$C$  の電流を考えると、

$Tr$  がオンのあいだは、 $C$  から  $R$  に電流が供給される。これによる  $E_{out}$  の電圧低下は  $43.5mA \times 10\mu S / 100\mu F = 4.35mV$  である。

$Tr$  がオフのあいだ、 $D$  に流れる電流は  $t=10\mu s$  のとき  $i(0)+50mA$ 、 $t=20\mu s$  のとき  $i(0)mA$  で、その間直線的に変化するから、平均値は  $i(0)+25mA$  である。この  $D$  の電流から  $R$  の電流を引いた残りが  $C$  をマイナス方向に充電する電流であり、この電流による充電電圧が の放電電圧と等しくなければならないから、

$$(i(0)+25mA-43.5mA) \times 10\mu s / 100\mu F = 4.35mV$$

となり、 $i(0)=62mA$  となる。

定常状態における電圧電流波形を図 2 に、各電流のプラスの方向を図 3 に示す。

以上は  $Tr$  のオン時間 = オフ時間 =  $10\mu s$  で安定しているという条件で動作を調べたが、ここで負荷が変動して大きくなった場合 ( $R$  の値が小さくなって電流が増加した場合) を考えると、

$Tr$  のオン期間に  $R$  に流れる電流が増加して、 $C$  が放電する電荷量が増えるので、 $Tr$  がオフして  $C$  が充電されても、 $C$  の電圧が元に戻らず少し小さくなり、時間が経過すると  $E_{out}$  が下がってしまう。

$E_{out}$  が下がると、図 1 の電圧検出回路が制御回路に司令を送り  $Tr$  のオン時間を少し長くする。これにより  $Tr$  のオン期間の最終電流が増加し、オフ期間で  $C$  を充電する電流がすこし大きくなる。 $R$  に流れる電流の増加した分に見合うだけ、 $C$  の充電電流が増えるように  $Tr$  のオン時間を長くすることにより、 $E_{out}$  は規定の電圧に戻る。

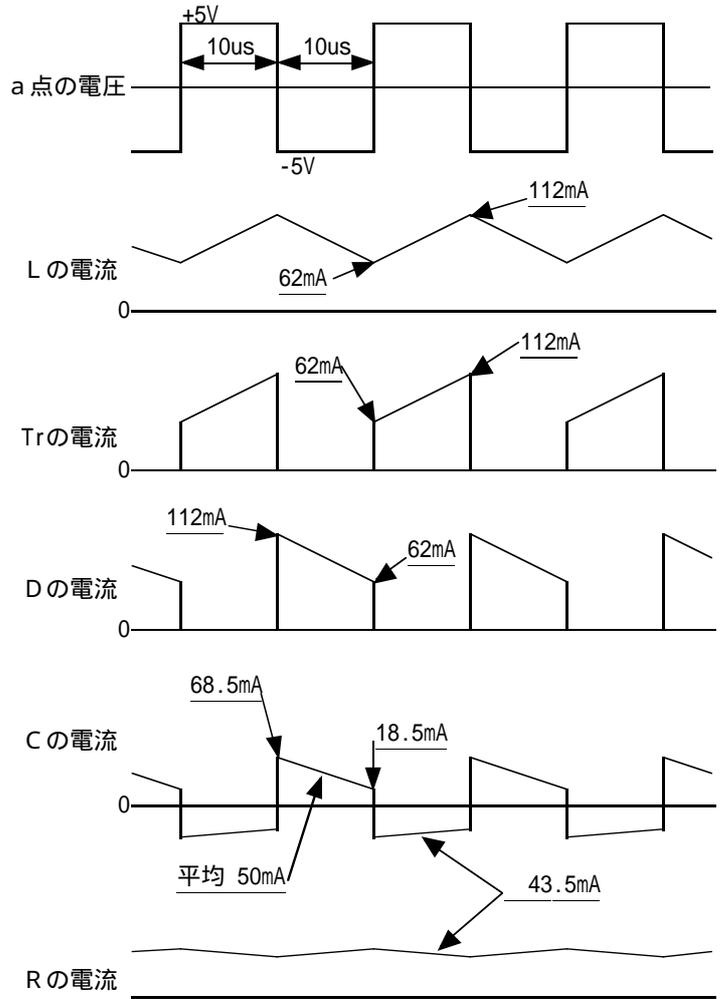


図 2

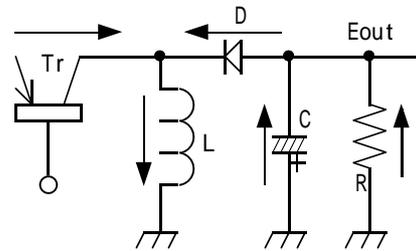


図 3 電流の方向

図 1 の回路が上のように  $Tr$  のオン時間 = オフ時間 =  $10\mu s$  で安定状態となるのに必要な  $L$  の条件を考えると

$L$  の電流は常に  $> 0$  である。また  $L$  の平均電流は負荷電流の 2 倍に等しい。そのためは、オン期間、オフ期間での  $L$  の電流変化量が負荷電流の 4 倍以下でなければならない。したがって  $E/L \cdot 10\mu s \leq \text{負荷電流} \cdot 4$ 、すなわち  $L > 287\mu H$  でなければならない。 $L$  がこれより小さいと電流変化が大きすぎて  $> 0$  の条件を満たせなくなる。

次に、Trのオン時間 = 11.3us、オフ時間 = 10usの場合について、同様に計算1、2をあてはめて考える。Trのオン期間におけるLの電流の増加率5000A/sは以前と同じであり、オン時間 = 11.3usのあいだに増加する電流値は 56.5mAであるから、 $i(11.3\mu s) = i(0) + 56.5\text{mA}$ となる。オフ期間ではLの電流は  $i(t) = -(0.65 + E_{out})/L * (t - 11.3\mu s) + i(11.3\mu s)$  であり、 $i(21.3\mu s) = i(0)$  を使うと、 $E_{out} = 5.0\text{V}$  となる。

さらに、オン期間のCの放電電圧 =  $50\text{mA} * 11.3\mu s / 100\mu\text{F} = 5.65\text{mV}$  が、オフ期間の充電電圧と等しいから、 $(i(0) + 56.5\text{mA} / 2 - 50\text{mA}) * 10\mu s / 100\mu\text{F} = 5.65\text{mV}$  となり、これより  $i(0) = 78.25\text{mA}$  となる。

よって、Trのオン時間 = 11.3us、オフ時間 = 10usの場合の電流電圧波形は図4のようになる。

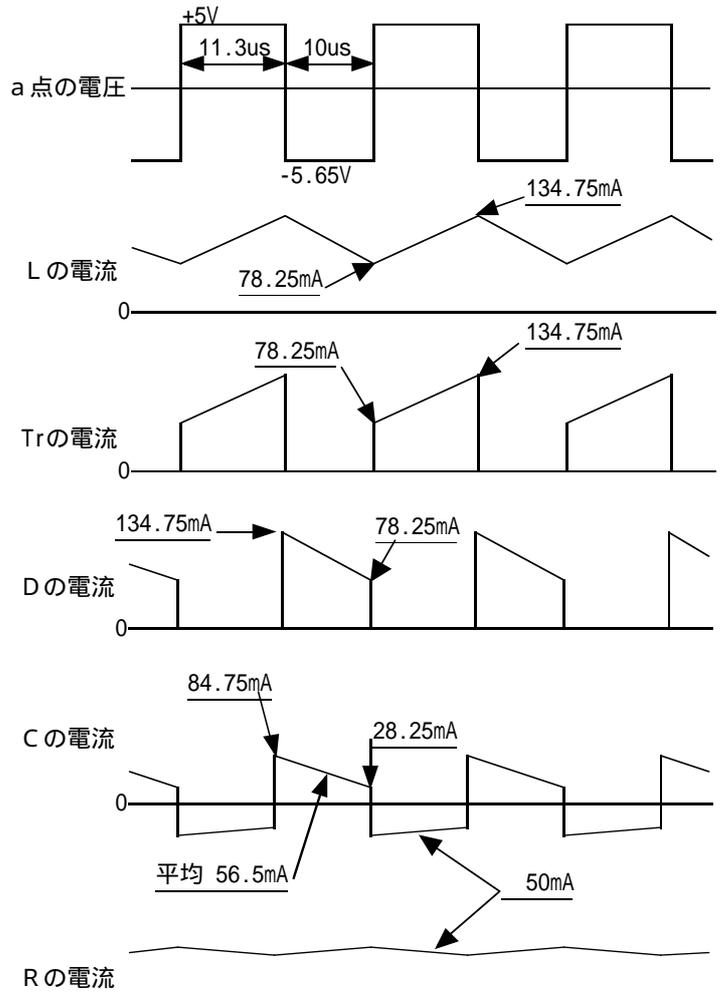


図4

Lに電流が流れている状態では、Lはエネルギーを貯えている。そのエネルギーを利用した例が図1の回路であり、TrはLに電流を流してエネルギーをLに貯え、その後オフして、Lが貯えたエネルギーを負荷側へ吐き出すような動作となっている。

図5に+12Vから+5Vを作る場合のスイッチング電源の回路例を示す。基本動作は図1と同じであり、TrがオンしているあいだにLに電流の形でエネルギーを貯え、オフ期間にはそのエネルギーを使って負荷に電流を供給する。ただし図5のばあいでは、Trがオンのあいだ、Trは負荷に対する電流をも供給している。

また、図6に+5Vから+12Vを作る場合のスイッチング電源の回路例を示す。TrがオンしているときにLに貯えられた電流が、TrがオフするとDをとおして負荷に供給される。このとき、Lの働きにより  $E_{out} > +5\text{V}$  となる。

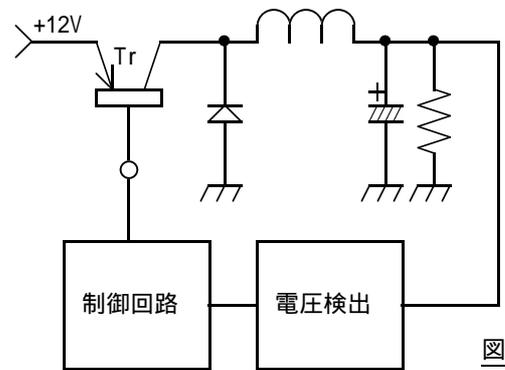


図5

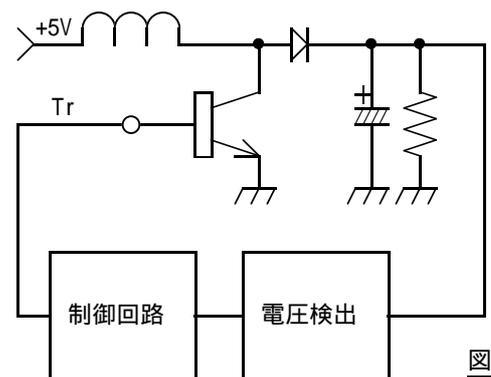
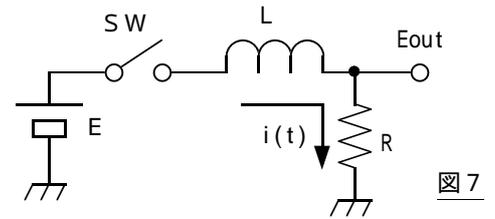


図6

補足

図7のLR回路では電流*i(t)*と電圧Eの関係を表す式は、A式のように時間に対して指数関数の形となる。

$$i(t) = \frac{E}{R} \left( 1 - \exp\left(-\frac{R}{L}t\right) \right) \dots (A)$$



これに対して図8の回路では電流*i(t)*と電圧Eの関係を表すB式にはRが含まれないので、電流*i(t)*はC式のように時間に対して比例する一次関数となる。

$$L \times \frac{di(t)}{dt} = E \dots (B)$$

$$i(t) = \frac{E}{L} \times t + i(0) \dots (C)$$

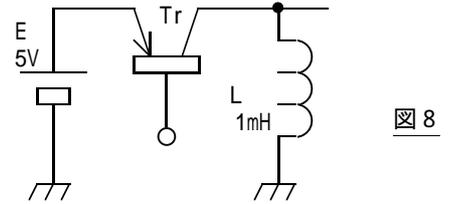


図8の回路では、Lを純粋なインダクタンスと考えていて、実際のコイルの場合に存在する直流抵抗を、Trのオン電圧や電源の内部抵抗とともに無視している。そのために、一定の電圧がかかっていると、式の上からは、Lの電流は時間とともに無限に増加または減少してゆくことになる。コイルの直流抵抗が例えば10Ωとすると、時定数  $L/R = 100\mu\text{s}$  となり、例に挙げた10usでスイッチングする場合の動作時間よりも十分に長いので、B式、C式のように考えてもよい近似が得られる。