

電子工学例題研究

あおば物理塾

2023年2月9日

昇圧チョップ回路の例を示し、その回路で昇圧できる理由を説明せよ。
また、出力電圧の式を導出せよ。

ポイント

トランジスタの部分はスイッチング素子なら何でもよい。連立微分方程式の問題として扱おうと大変なので、エネルギー保存則をうまく使う。

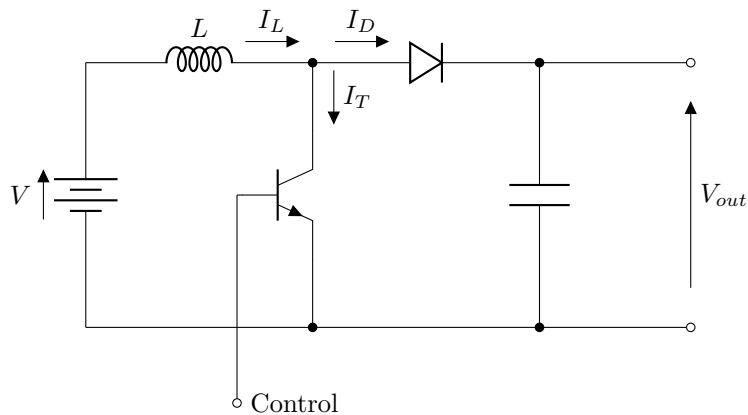


図1 昇圧チョップ回路の例

回路例は図1の通り。今回はNPN型トランジスタをスイッチング素子として書いてみた。

スイッチがONのとき

$I_L = I_T$ 、 $I_D = 0$ になる。したがって、スイッチによる損失を無視すると、電源から供給されたエネルギーはすべてコイルに貯えられる。

ONになっている時間を T_{ON} とすると、貯えられたエネルギー U_1 は「 $U = Pt$ 」「 $P = VI$ 」より

$$U_1 = V \cdot I_L \cdot T_{ON} \quad (1)$$

になる。

スイッチが OFF のとき

$I_L = I_D$ 、 $I_T = 0$ となるが、 I_D の流れ出した先はコンデンサや負荷がついているので、ON 時のトランジスタのように $0[\Omega]$ とみなすわけにはいかない。したがって I_L は ON 時より流れにくくなる。

よってコイルに貯えられたエネルギー $\frac{1}{2}LI_L^2$ も ON 時より小さくなり、コイルからエネルギーが放出されることとなる。

OFF になっている時間を T_{OFF} とすると、放出されたエネルギー U_2 は「 $U = Pt$ 」「 $P = VI$ 」より

$$U_2 = -L \frac{dI_L}{dt} \cdot I_L \cdot T_{OFF} \quad (2)$$

とかける*1。

V_{out} の導出

以上を元に V_{out} を導出する。 $\frac{dI_L}{dt}$ が一定とみなせるくらいにスイッチが速く切り替わるとし、動作を始めてから十分時間が経った平衡状態を考える。

$U_1 = U_2$ であるから

$$V \cdot I_L \cdot T_{ON} = -L \frac{dI_L}{dt} \cdot I_L \cdot T_{OFF} \quad (3)$$

となり

$$L \frac{dI_L}{dt} = -\frac{T_{ON}}{T_{OFF}} V \quad (4)$$

を得る。

ところで、スイッチが OFF のときの回路の最外周について、キルヒホッフの第 2 法則 (電圧則) を考える。簡単のためダイオード D の両端の電位差を $0[V]$ とすると

$$V - L \frac{dI_L}{dt} - V_{out} = 0 \quad (5)$$

となる。さらに (4) を代入すると

$$V + \frac{T_{ON}}{T_{OFF}} V - V_{out} = 0 \quad (6)$$

$$\begin{aligned} V_{out} &= V + \frac{T_{ON}}{T_{OFF}} V \\ &= \frac{T_{ON} + T_{OFF}}{T_{OFF}} V \end{aligned} \quad (7)$$

を得る。

T_{ON} および T_{OFF} はもちろん正であるから、出力電圧 V_{out} は入力電圧 V より昇圧されることとなる。

参考文献

- [1] 岸敬二. パワーエレクトロニクスの基礎. 東京電機大学出版局, 1996, 新しいパワーデバイスとその応用 (理工学講座)

*1 I_L が負であるため、量を表現するのにマイナスをつけておいた。