

チョッパ回路の考え方

(読んでほしい人：電気系の高専生と大学生)

2006/9/18 舞鶴高専 平地克也

2007/9/17 一部修正

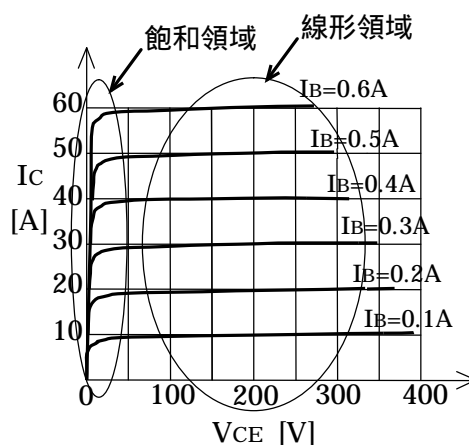
チョッパ回路とは

交流の電圧は変圧器を使えば容易に変えることができます。しかし直流では変圧器は使えないので直流の電圧を変えるには専用の電気回路が必要であり、その回路がチョッパ回路です。また、チョッパ回路はいろんな電力変換回路の中で最も簡単な回路であり、インバータ、高力率コンバータ、DC/DC コンバータなど各種の電力変換回路の基礎となる回路です。電力変換回路を理解するためにはまずチョッパ回路を理解する必要があります。

(電力変換回路については平地研究室技術メモ 2006年8月23日「パワーエレクトロニクスとは」を参照下さい)

チョッパ回路でのトランジスタの使い方

右の図に電子回路の授業で勉強するトランジスタの出力特性を示します。数 100mA の小さなベース電流を変化させることにより数 10A の大きなコレクタ電流を制御することができ、信号を増幅することができます。この場合、トランジスタは図の線形領域と記された領域で動作しています。一方、チョッパ回路ではトランジスタを図の飽和領域と記された領域で使用します。つまり、十分大きなベース電流を与えてトランジスタのコレクタ電圧が最小となった領域で使用します。例えば図の場合では、コレクタ電流を最大 40A で使用するならベース電流は常に 0.5A 以上流して使用します。このように、ベース電流を十分に与えてコレクタ電圧が最小となった状態をトランジスタの飽和状態と言います。



飽和状態のトランジスタはコレクタ電圧が十分小さいのでスイッチが ON した状態と等価と考えられます。よって、ベース電流を流すか流さないかでスイッチの ON/OFF を選択することができます。通常の機械的なスイッチでは ON/OFF は 1 秒間にせいぜい数回しか繰り返すことができませんが、トランジスタでは 1 秒間に数万回も繰り返すことができます。このような高周波で動作させることによりチョッパ回路のリアクトルやコンデンサを小型化することができます。

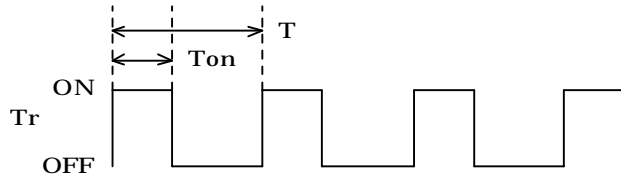


通流率

チョッパ回路ではトランジスタを高周波で ON / OFF させて使用しますが、ON / OFF の 1 周期に占める ON の期間の割合を通流率と言います。

$$\text{通流率} = T_{\text{on}} \div T$$

$T_{\text{on}} < T$ なので、 $0 < < 1$ となります。通流率は出力電圧などチョッパ回路の特性に大きな影響を与えます。なお、通流率は英語では duty factor と言い、日本語でもデューティーと言われます。



降圧チョッパと昇圧チョッパ

チョッパ回路にはいろんな種類がありますが、まずは降圧チョッパと昇圧チョッパを理解して下さい。降圧チョッパはその名前の通り電圧を降圧するチョッパであり、昇圧チョッパは電圧を昇圧するチョッパです。入力電圧を V_{in} 、出力電圧を V_{out} とすると次の関係があります。

$$\text{降圧チョッパ} \quad V_{\text{out}} = V_{\text{in}} \times$$

$$\text{昇圧チョッパ} \quad V_{\text{out}} = V_{\text{in}} \div (1 -)$$

$0 < < 1$ なので、降圧チョッパでは $V_{\text{out}} < V_{\text{in}}$ 、昇圧チョッパでは $V_{\text{out}} > V_{\text{in}}$ となることが分かります。

チョッパ回路の考え方

チョッパ回路に限らず、電力変換回路の動作は次の 3 つの step で考えます。

step1 動作モードを考える

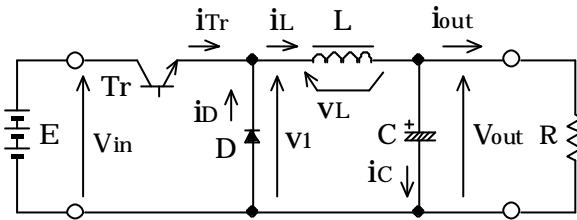
step2 電流経路を考える

step3 全部品の電圧、電流波形を考える

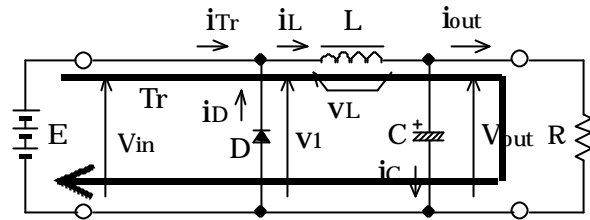
チョッパ回路ではトランジスタが ON の時、OFF の時の 2 つの動作モードが存在します。次に 2 つの動作モードそれぞれの場合の電流経路を考えます。電流経路が分かれば全部品の電圧、電流波形が分かります。そして、電圧、電流波形が分かれば部品を具体的に選択することができ、チョッパ回路を設計することができます。次頁以下に降圧チョッパと昇圧チョッパの電圧、電流波形を示します。

降圧チョップの波形の考え方

舞鶴高専 平地克也

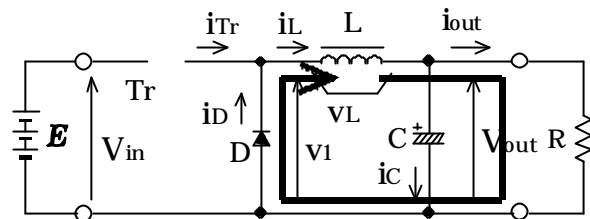
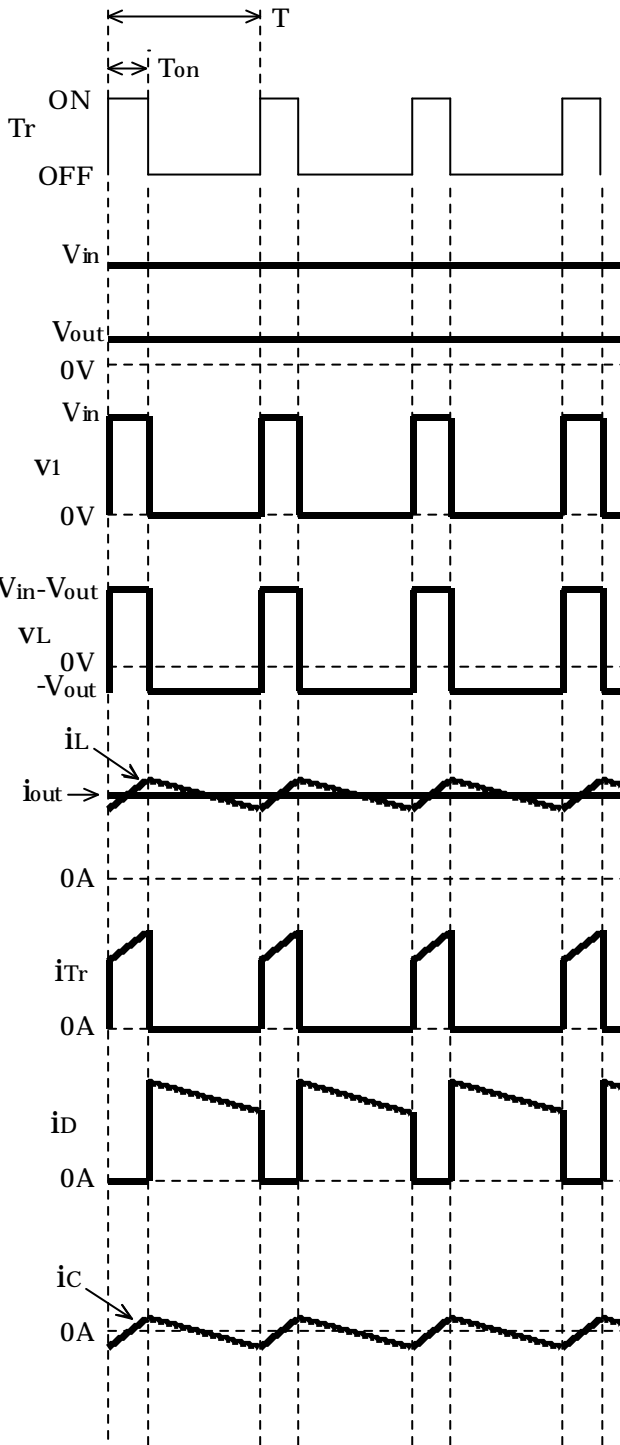


降圧チョップの回路図



TrがON時の電流経路

Trはshortと考える



TrがOFF時の電流経路

Trはopenと考える

$$V_{out} = V_{in} \times \frac{T_{on}}{T}$$

TrがON時は $v_1 = V_{in}$

TrがOFF時はDが導通しているので $v_1 = 0$

$$V_L = v_1 - V_{out}$$

TrがON直後の i_L は TrがON直前の i_L と同じ

TrがOFF直後の i_L は TrがOFF直前の i_L と同じ

i_L の平均値 = i_{out}

$$i_{out} = \frac{V_{out}}{R} \quad i_L = \frac{1}{L} (V_L \times T)$$

TrがON時は $i_{Tr} = i_L$

TrがOFF時は $i_{Tr} = 0$

TrがON時はDがOFFなので $i_D = 0$

TrがOFF時はDが導通しているので $i_D = i_L$

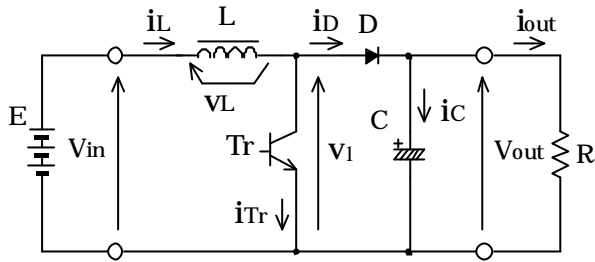
$$i_c = i_L - i_{out}$$

この図には示してませんがトランジスタTrの電圧波形 v_{Tr} も考える必要があります。

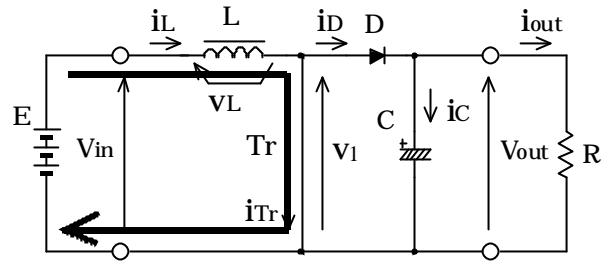
$v_{Tr} = V_{in} - v_1$ から容易に求まります。

昇圧チョップの波形の考え方

舞鶴高専 平地克也

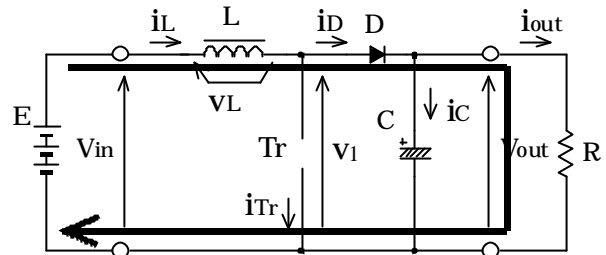


昇圧チョップの回路図



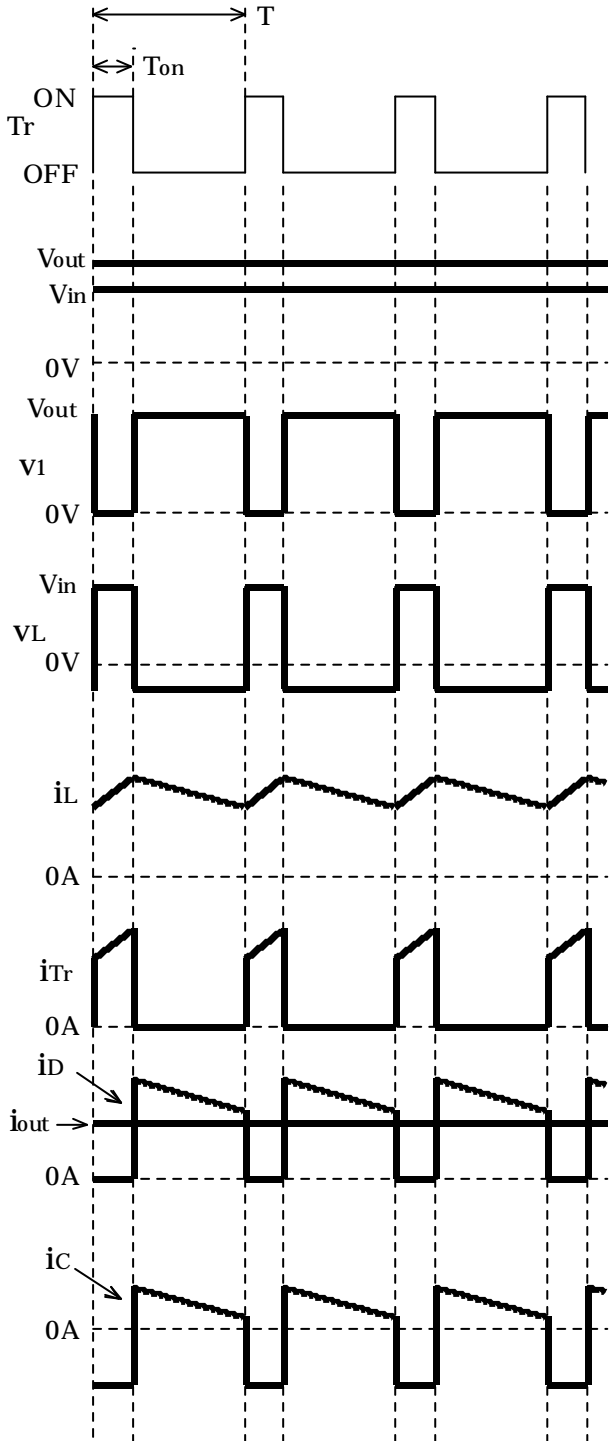
TrがON時の電流経路

Trはshortと考える



TrがOFF時の電流経路

Trはopenと考える



$$V_{out} = V_{in} \frac{1}{1 - \frac{T_{on}}{T}}$$

TrがON時は $v_1 = 0$
TrがOFF時はDが導通しているので $v_1 = V_{out}$

$$V_L = V_{in} - v_1$$

$$\leftarrow V_{in} - V_{out}$$

TがONの直後の i_L はTがONする直前の i_L と同じ
TがOFFの直後の i_L はTがOFFする直前の i_L と同じ

$$i_L = \frac{1}{L} (V_L \times T)$$

TrがON時は $i_{Tr} = i_L$
TrがOFF時は $i_{Tr} = 0$

TrがON時はDがOFFなので $i_D = 0$
TrがOFF時はDが導通しているので $i_D = i_L$

$$i_{out} = \frac{V_{out}}{R} \quad i_D \text{の平均値} = i_{out}$$

$$i_C = i_D - i_{out}$$

この図には示してませんがダイオードDの電圧波形 v_D も考える必要があります。
 $v_D = V_{out} - v_1$ から容易に求まります。