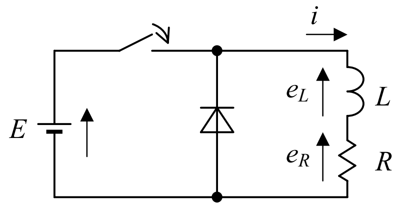
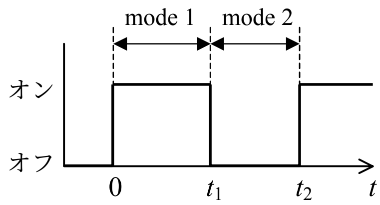
チョッパ回路の解析例

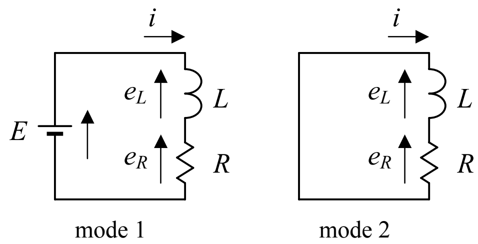
図に示す降圧チョッパ回路について状態方程式を導出する。降圧チョッパは，スイッチを一定周波数でオンオフさせることにより負荷へ電源電圧 E より低い電圧を出力する。



いま，図のように，時刻 t=0 でスイッチを閉じ，t=t_1 でスイッチを開き，t=t_2 で再びスイッチを閉じる動作を考える。この回路では，スイッチのオンとオフの状態があり，２つのモードが考えられる。時刻 t_2 以降は，これらのモードが繰り返される。モード１と２の回路状態は図に示すようになる。



スイッチがオンしているモード１では，電源電圧 E によってダイオードが逆バイアスを受けるためにダイオードはオンせず，したがって，電源と負荷が接続された回路となる。一方，スイッチがオフするモード２では，負荷インダクタに蓄えられたエネルギーを放出するためにダイオードが導通し, 負荷短絡回路となる。（ダイオードは負荷電流を循環させる働き有し, 還流ダイオードと呼ばれる）



降圧チョッパ回路では, ２つのモードについて状態方程式を導出する。状態変数の定義に従って，次のように状態変数ベクトルを選ぶ。

$$\boldsymbol{x}(t) = \begin{bmatrix} e(t) \\ i(t) \end{bmatrix} = col\left[e(t) \quad i(t)\right]$$

モード１では，回路図から次の電圧方程式が得られる。

$$L\,pi + R\,i = e$$

より

$$pi = \frac{1}{L}e - \frac{R}{L}i$$

また，電源電圧は理想電源で一定なので

$$pe = 0$$

したがって，状態方程式は次のように表される。

$$p\begin{bmatrix} e \\ i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \dfrac{1}{L} & -\dfrac{R}{L} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} e \\ i \end{bmatrix}$$

すなわち

$$p\,\boldsymbol{x} = \boldsymbol{A}_1\,\boldsymbol{x}$$

ただし,

$$\boldsymbol{A}_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \dfrac{1}{L} & -\dfrac{R}{L} \end{bmatrix}$$

モード２では，次のようになる。

$$L\,pi + R\,i = 0$$

より

$$pi = -\frac{R}{L}i$$

よって

$$p\,\boldsymbol{x} = \boldsymbol{A}_2\,\boldsymbol{x}$$

ただし，

$$\boldsymbol{A}_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & -\frac{R}{L} \end{bmatrix}$$

それぞれのモードの状態方程式の解は，遷移行列を用いて

モード１：

$$\boldsymbol{x}(t+\Delta t) = \boldsymbol{\Phi}_1(\Delta t)\,\boldsymbol{x}(t)$$

ただし，$\boldsymbol{\Phi}_1(\Delta t) = exp(\boldsymbol{A}_1 \Delta t)$

モード２：

$$\boldsymbol{x}(t+\Delta t) = \boldsymbol{\Phi}_2(\Delta t)\,\boldsymbol{x}(t)$$

ただし，$\boldsymbol{\Phi}_2(\Delta t) = exp(\boldsymbol{A}_2 \Delta t)$

で与えられる。

ある初期値，例えば i=0 から与えられたスイッチング時刻に対応してモード１とモード２の解の方程式を順次計算すれば，過渡電流が得られるとともに定常電流波形を求めることができる。

変数の瞬時値は，時間間隔Δt 毎の値が求まるので，より滑らかな瞬時波形を得るにはΔt は小さい方が良いが，演算時間が長くなる。Δt の値はスイッチング周波数を考慮して設定する。また，スイッチング時間は任意であり，Δt の整数倍に一致しない場合があるので，この時にはスイッチング時間をΔt の整数倍に最も近い値に置き換えて計算する。より厳密なスイッチング時間で瞬時値を求めるには，Δt の値を小さく設定する必要がある。

インバータなどスイッチング素子が多数ある場合には，素子の導通状態を考慮して考えられる動作モードについて，それぞれの状態方程式を導出する。各状態変数の瞬時値は，上記のチョッパ回路の場合と同様に動作モードを判別しながら，順次，遷移行列を乗じて求めることができる。