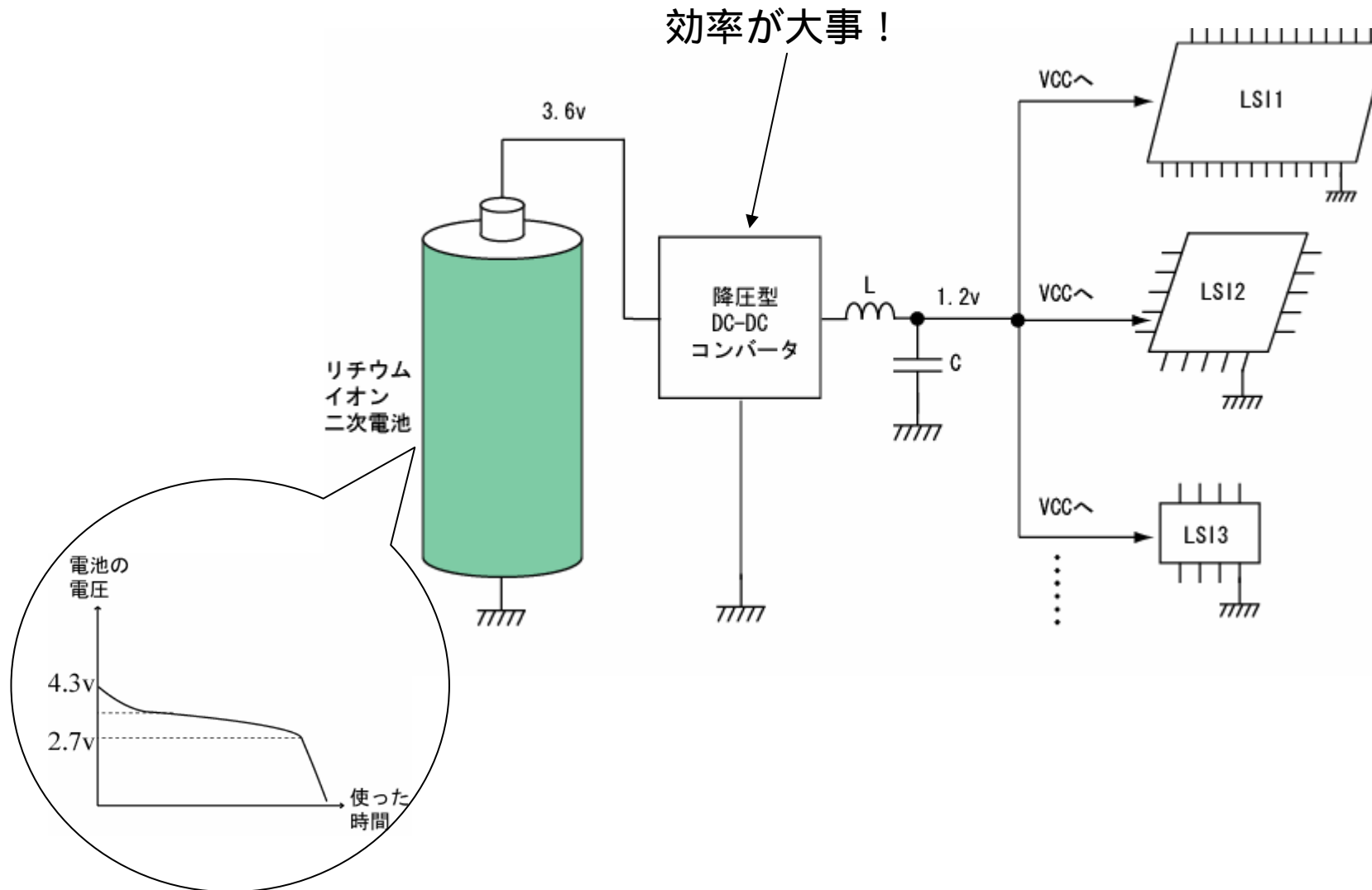


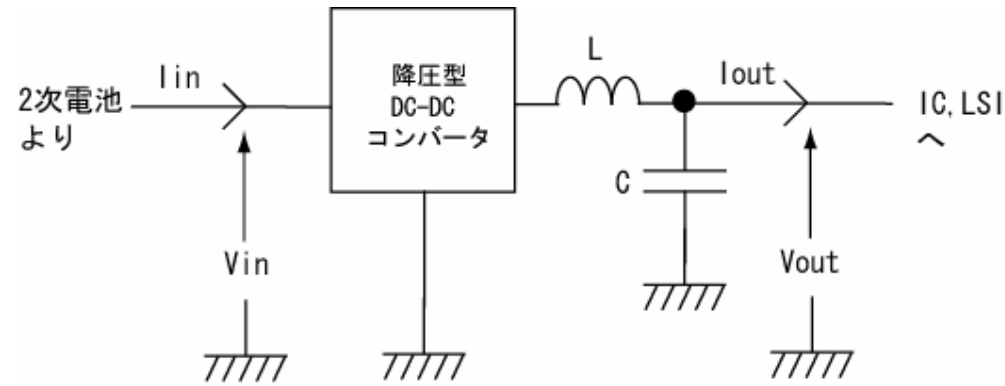
集積回路設計 第9回目 講義資料

杉本 泰博

スイッチング電源回路が必要なわけ ～ 降圧型DC-DCコンバータ



DC-DCコンバータの電力効率



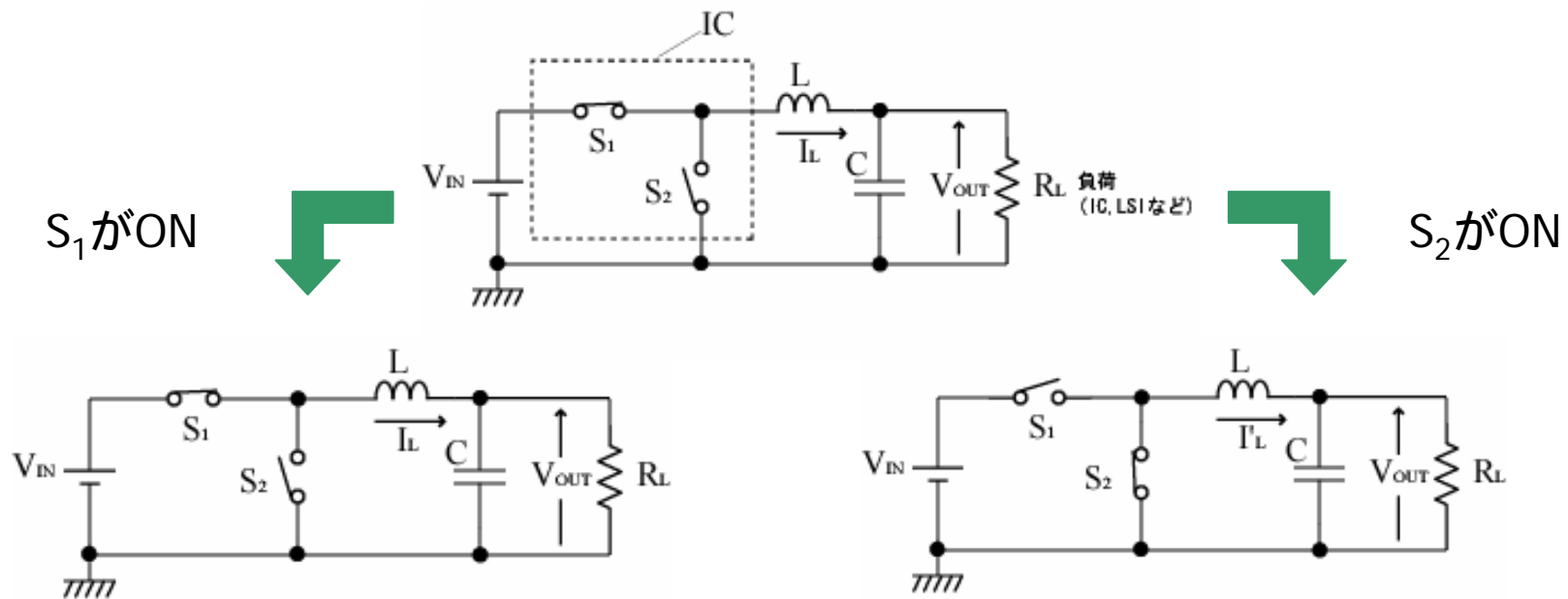
DC-DCコンバータに求められることは → { 電圧を変換すること
入力された電力を100%出力すること

電力効率とは $\eta = \frac{\text{出力電力}}{\text{入力電力}} = \frac{V_{out} I_{out}}{V_{in} I_{in}} \times 100[\%]$

自分自身で電力を消費してしまっては元も子もない。

降压型DC-DCコンバータの動作原理

インダクタはエネルギーを貯める素子である。



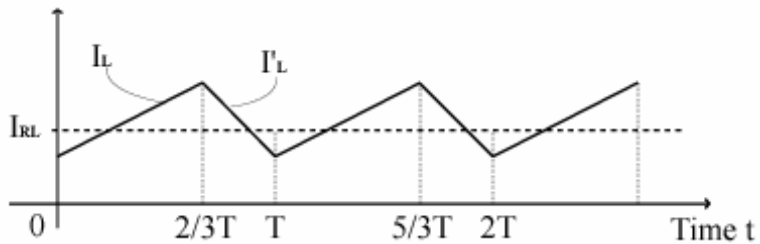
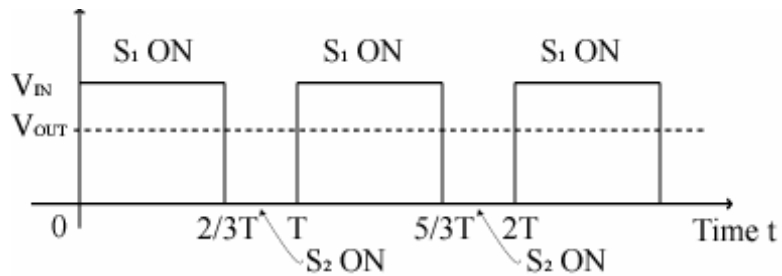
$$\Delta I_L = \frac{V}{L} \Delta t = \frac{V_{IN} - V_{OUT}}{L} \Delta t$$

電流増加 エネルギーを貯める

$$\Delta I'_L = \frac{V}{L} \Delta t = \frac{0 - V_{OUT}}{L} \Delta t = -\frac{V_{OUT}}{L} \Delta t$$

電流減少 エネルギーを放出

出力電圧の決定



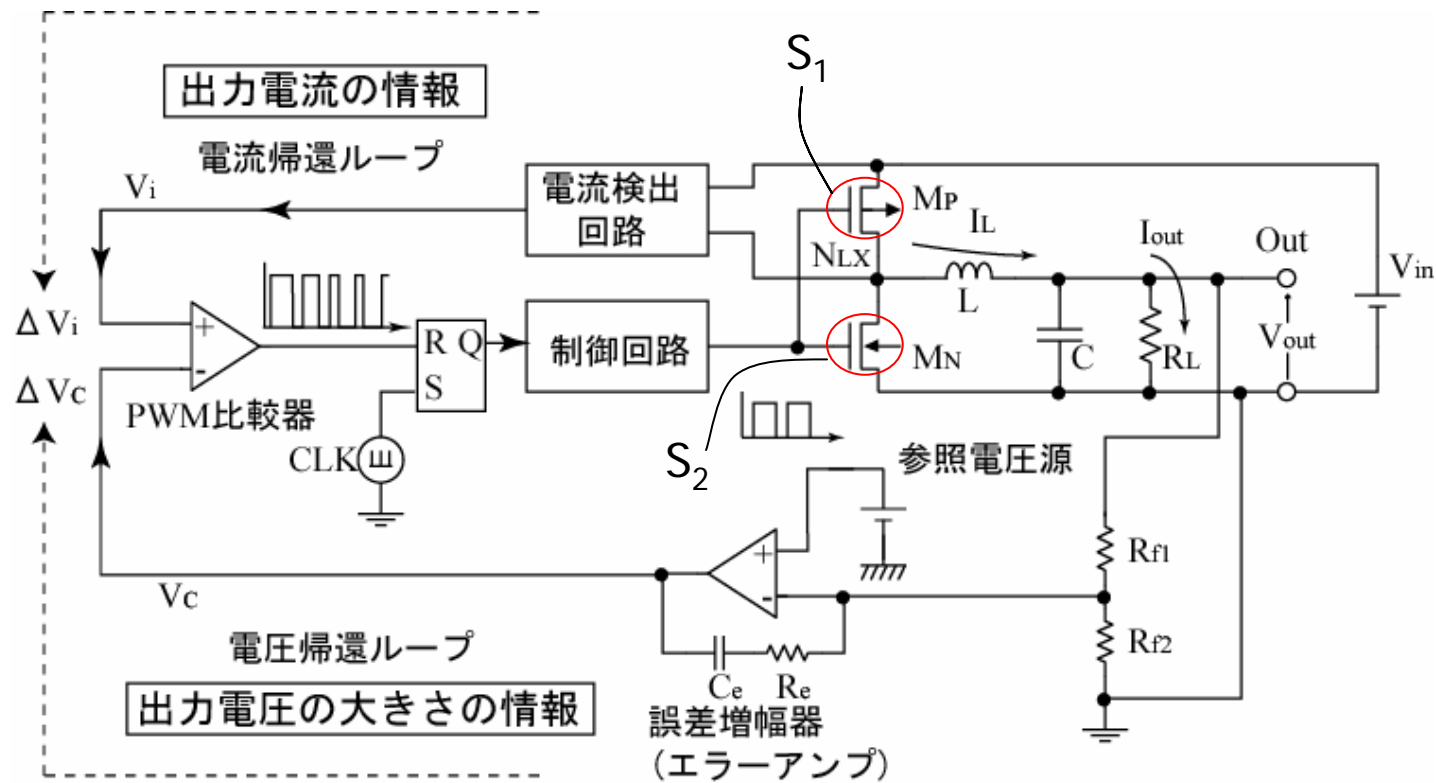
定常状態 $\Delta I_L = \Delta I'_L$

$$\therefore \frac{V_{IN} - V_{OUT}}{L} \times \frac{2}{3}T = \frac{V_{OUT}}{L} \times \frac{1}{3}T$$

$$\therefore V_{OUT} = \frac{2}{3}V_{IN}$$

S_1 のON期間をデジタル的に変えれば出力電圧を任意に設定できる。

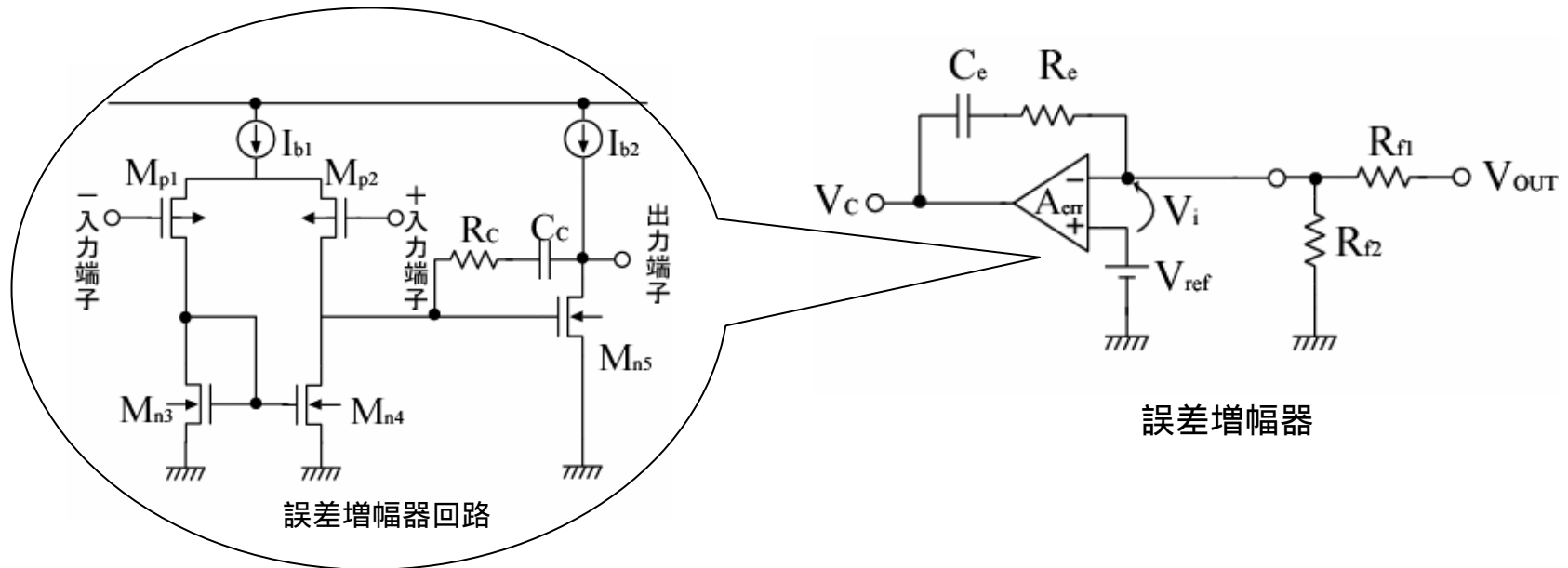
降圧型DC-DCコンバータICの回路およびブロック構成



二つの負帰還ループにより出力を安定化させる。

誤差増幅器(エラーアンプ)

誤差増幅器は出力電圧 V_{out} を R_{f1} , R_{f2} で分割した電圧と参照電圧 V_{ref} の電圧の違いを増幅する。



誤差増幅器の入力端子間の電圧差がほぼゼロになるようにループでフィードバックがかかる($V_i \approx 0$)。 V_{OUT} は以下ようになる。

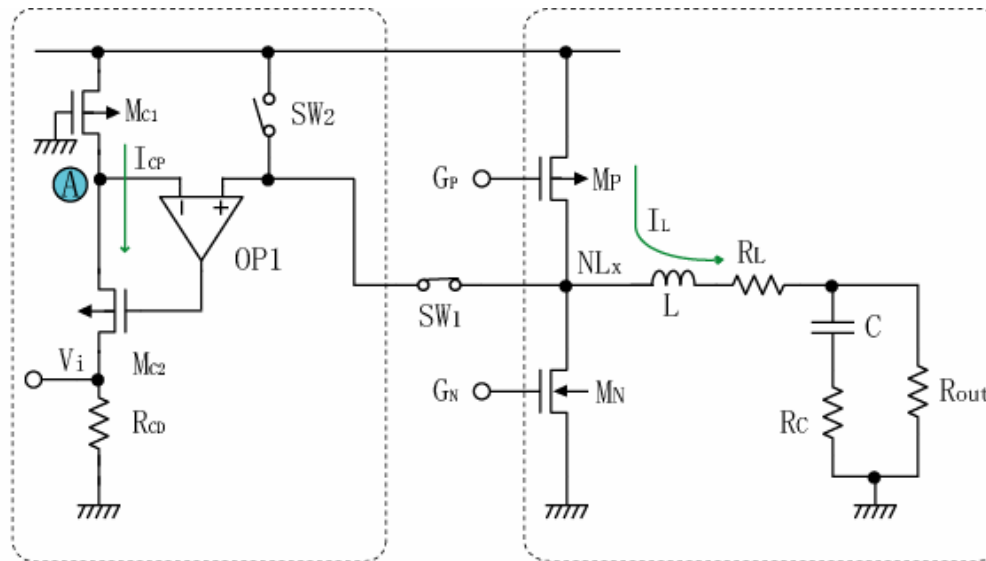
$$V_{OUT} \times \frac{R_{f2}}{R_{f1} + R_{f2}} = V_{ref} \quad \therefore V_{OUT} = V_{ref} \times \left(1 + \frac{R_{f1}}{R_{f2}} \right)$$

インダクタ電流検出回路

Lに流れる電流を検出 = M_pに流れる電流と同じである

M_pがオンであれば低抵抗R_{ON}に見える。 $R_{ON} = \frac{1}{\beta(V_{GS} - V_{th})}$ (線形領域)

オペアンプの
入力電圧差は
零に近い。
↓
NLX点と 点の
電圧は等しい。



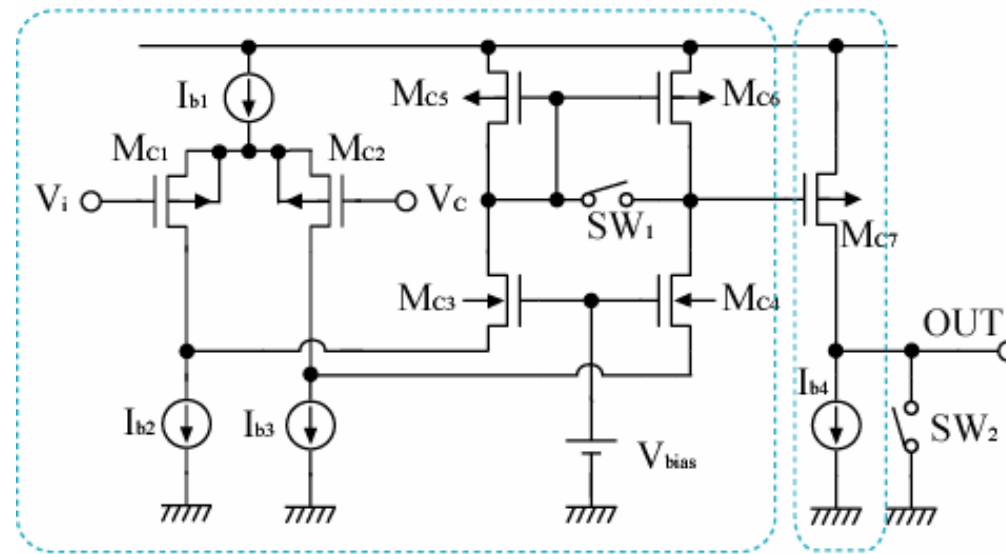
電流検出部

出力部

$V_{NL} = V_{CC} - I_L \times R_{ON}$ より、 $I_L \times R_{ON}$ の電圧をモニタして $I_L \frac{R_{ON}}{R_{Mc1}} = I_{CP} \propto I_L$ とする。

PWM比較器(コンパレータ)

二つの入力電圧 V_i, V_C を比較し、 V_i が V_C を越えた瞬間に出力がハイとなる。



折り返しカスコード回路(高速特性)

ソース接地増幅回路(利得大)

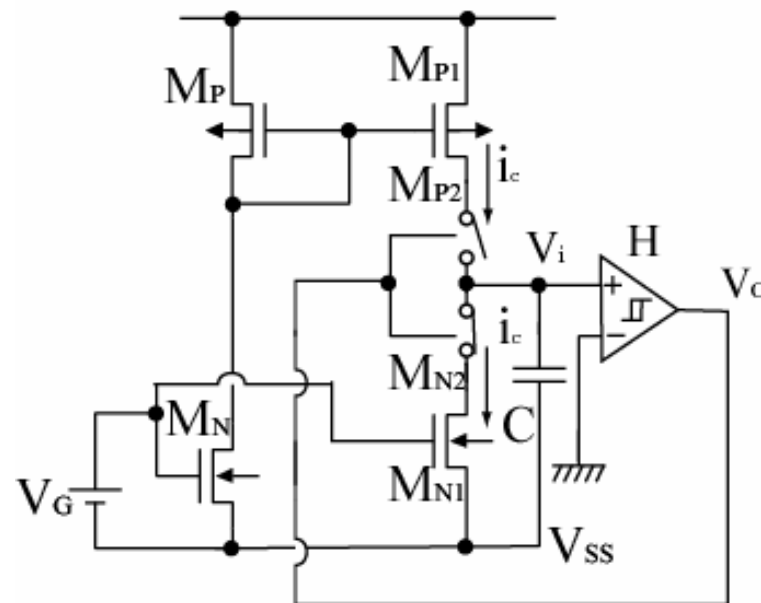
発振回路

弛緩発振器という。

M_{N2} および M_{P2} は V_O のハイ、ローによりオン・オフするスイッチと等価なトランジスタである。

図中Hはヒステリシス特性を持つ比較器である。

M_{N1} , M_{P1} はどちらも定電流。



弛緩発振回路

発振の仕組み

M_{P2} がON(M_{N2} はOFF)

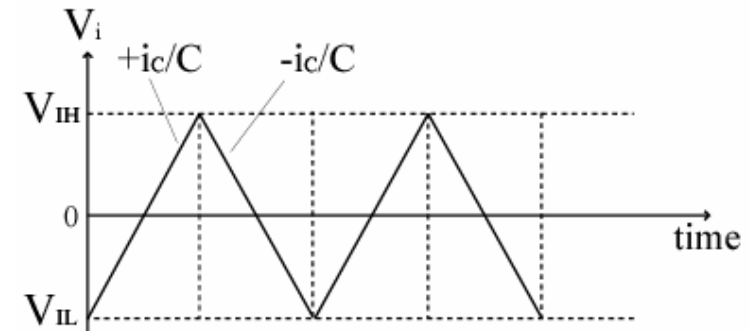
M_{P1} からキャパシタCへ定電流 i_C が流れ、Cの両端の電圧は時間と共に直線的に増加。

→ V_i は直線的に増加。やがて V_{IH} に達すると出力 V_O がハイに変わる。

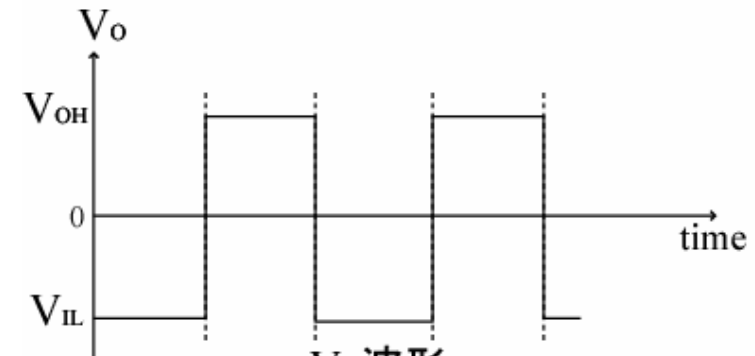
M_{N2} がON(M_{P2} はOFF)

キャパシタCから M_{N1} へ定電流 i_C が流れ、Cの両端の電圧は時間と共に直線的に減少。

→ V_i は直線的に減少。やがて V_{IL} に達すると出力 V_O がローに変わる。



V_i 波形



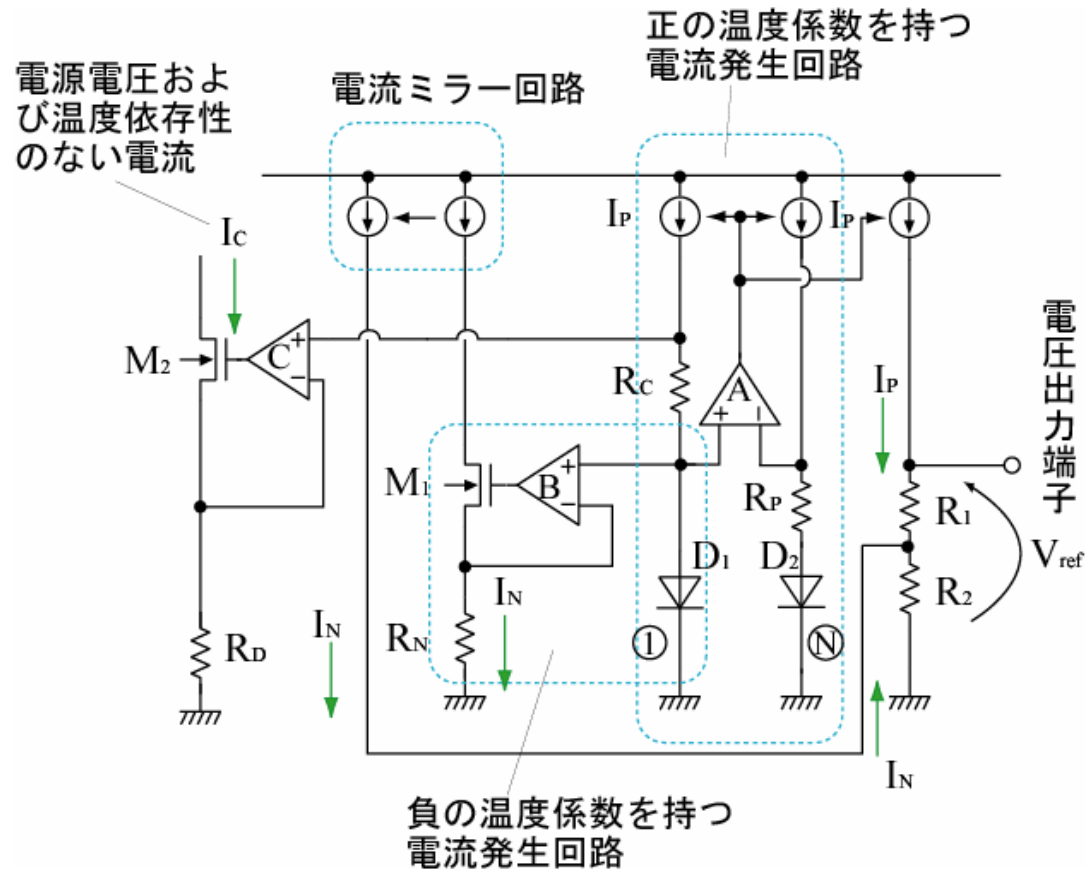
V_o 波形

発振周波数 f_{OSC} は、1周期間にキャパシタCの端子電圧 V_i が2度 V_{IH} と V_{IL} の間を繰り返すので、

$$\frac{I_C}{C} \times \frac{T}{2} = (V_{IH} - V_{IL}) \quad \text{より} \quad f_{osc} = \frac{1}{T} = \frac{1}{2C(V_{IH} - V_{IL})}$$

参照電圧源回路

参照電圧源の電圧は0.5[V]。DC-DCコンバータの出力電圧 V_{OUT} はこの参照電圧より低くできない。また V_{OUT} は入力電圧や周囲の温度、負荷の電流が変化しても、変わってはいない。



正の温度係数を持つ電流

正の温度係数 温度が上がると電圧は上がる。

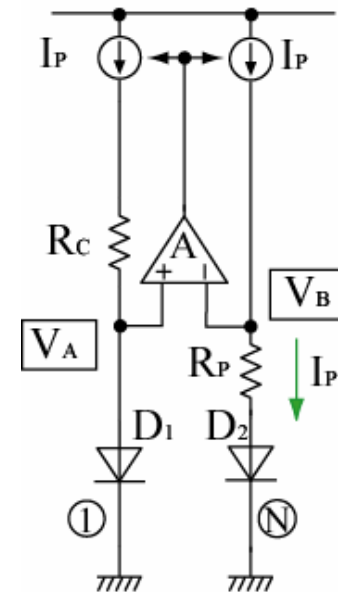
アンプの働きにより、 $V_A = V_B$ このとき抵抗 R_p の両端の電圧は

$$V_{R_p} = V_{D1} - V_{D2} = V_T \ln\left(\frac{I_p}{I_s}\right) - V_T \ln\left(\frac{I_p}{NI_s}\right) = V_T \ln N$$

ただし $V_T = \frac{kT}{q}$ $\left\{ \begin{array}{l} k: \text{ボルツマン定数、} T: \text{絶対温度} \\ q: \text{電子の単位電荷、} I_s: \text{ダイオードの飽和電流} \\ N: D_1 \text{と} D_2 \text{の大きさの比率を} 1:N \text{とする} \end{array} \right.$

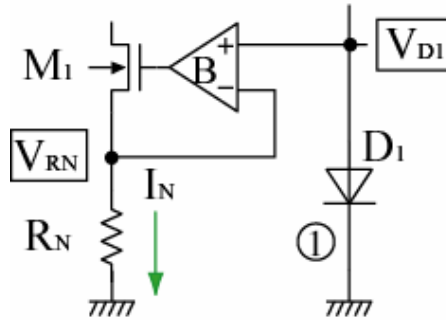
抵抗 R_p に流れる電流 I_p は
$$I_p = \frac{V_T}{R_p} \ln N$$

V_T は正の温度係数を持つ電圧である(0.086mV/)。よって電流 I_p は V_{IN} の変化によらない正の温度係数を持つ電流である。



負の温度係数を持つ電流 (演習 9.1)

負の温度係数 温度が上がると電圧は下がる。



ダイオードの両端電圧 V_{D1} は負の温度係数をもつ電圧である(-2mV/)。

アンプの働きにより、 $V_{D1}=V_{RN}$ このとき電流 I_N は

$$I_N = \frac{V_{D1}}{R_N}$$

これは V_{IN} の変化によらない負の温度係数をもつ電流である。

ではどうすれば、温度係数を持たない電圧を作り出す事が出来るであろうか？