

フォトダイオード用トランスインピーダンス・アンプの 周波数特性をブロック線図で考える 【第3回】 TIA をブロック線図で考える 数式説明資料

フォトダイオードの電流を I_D 、接合容量を C_J 、OP アンプ単体の増幅率つまりオープンループゲインを $A(s)$ (s はラプラス変換のラプラス演算子で、 $s = j2\pi f$ として、さらには $s = 2\pi f$ として、もっと簡単には周波数のことだと考えてください)、出力を V_{OUT} とします。

ここで OP アンプの反転入力端子の電圧 V_N を求めるために、重ね合わせの理を用います。まず条件①として

$$I_D = I \text{ [A]}$$

$$V_{OUT} = 0 \text{ V}$$

を考えます。なお接合容量 C_J のリアクタンスを X_{CJ} とします。このとき

$$V_{N1} = \frac{R_F X_{CJ}}{R_F + X_{CJ}} I$$

が得られます。また条件②として

$$I_D = 0 \text{ A}$$

$$V_{OUT} = V_{OUT} \text{ [V]}$$

を考えます。このとき

$$V_{N2} = \frac{X_{CJ}}{R_F + X_{CJ}} V_{OUT}$$

が得られます。これらを足し合わせます

$$V_N = V_{N1} + V_{N2} = \frac{R_F X_{CJ}}{R_F + X_{CJ}} I + \frac{X_{CJ}}{R_F + X_{CJ}} V_{OUT}$$

また

$$V_N = -\frac{V_{OUT}}{A(s)}$$

なので

$$V_N = -\frac{V_{OUT}}{A(s)} = \frac{R_F X_{CJ}}{R_F + X_{CJ}} I + \frac{X_{CJ}}{R_F + X_{CJ}} V_{OUT}$$

式を整理します。

$$\begin{aligned} \left[-\frac{1}{A(s)} - \frac{X_{CJ}}{R_F + X_{CJ}} \right] V_{OUT} &= \frac{R_F X_{CJ}}{R_F + X_{CJ}} I \\ -\left[\frac{1}{A(s)} + \frac{X_{CJ}}{R_F + X_{CJ}} \right] V_{OUT} &= \frac{R_F X_{CJ}}{R_F + X_{CJ}} I \end{aligned}$$

左辺を共通にします。

$$-\left[\frac{R_F + X_{CJ} + A(s)X_{CJ}}{A(s)(R_F + X_{CJ})} \right] V_{OUT} = \frac{R_F X_{CJ}}{R_F + X_{CJ}} I$$

左辺の分母と分子を $R_F + X_{CJ}$ で割ります。

$$-\left[\frac{1 + \frac{A(s)X_{CJ}}{R_F + X_{CJ}}}{A(s)} \right] V_{OUT} = \frac{R_F X_{CJ}}{R_F + X_{CJ}} I$$

電流電圧変換比を得ます。

$$\frac{V_{OUT}}{I} = -\frac{R_F X_{CJ}}{R_F + X_{CJ}} \left[\frac{A(s)}{1 + \frac{A(s)X_{CJ}}{R_F + X_{CJ}}} \right]$$

ここでこの回路を非反転増幅回路だと仮定すると（非反転入力端子に信号源が加わっているとすると）、そのときの帰還率 β は

$$\beta = \frac{X_{CJ}}{R_F + X_{CJ}}$$

より

$$\frac{V_{OUT}}{I} = - \frac{R_F X_{CJ}}{R_F + X_{CJ}} \left[\frac{A(s)}{1 + A(s)\beta} \right]$$

が得られます。