

7-4 高周波特性

接合トランジスタの交流動作特性(npn トランジスタ)

エミッタ領域からベース領域に注入された電子の時間的变化を考える。直流バイアス V_E に微小交流成分 $e^{j\omega t}$ が直列に加えられているとする。交流電圧でベース領域に注入される電子密度 $n(x,t) - n_{pB}$ を

$$n(x,t) - n_{pB} = n_1 \cdot e^{j\omega t}$$

と表せるとする。

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} n(x,t) &= \frac{\partial}{\partial t} (n_1 \cdot e^{j\omega t} + n_{pB}) \\ &= j\omega (n(x,t) - n_{pB}) \end{aligned}$$

上式を電子の拡散方程式(4.43)式に代入して $\frac{d^2 n(x)}{dx^2}$ を求めると

$$\begin{aligned} \frac{d^2 n(x)}{dx^2} &= \frac{1}{D_n} \left(\frac{\partial n(x,t)}{\partial t} + \frac{n(x,t) - n_{pB}}{\tau_n} \right) \\ &= \frac{j\omega\tau_n + 1}{D_n\tau_n} (n(x,t) - n_{pB}) \end{aligned}$$

となる。この式と、直流動作における拡散方程式 $\frac{d^2 n(x)}{dx^2} = \frac{n(x) - n_{pB}}{D_n\tau_n}$ を比較すると、

$$\frac{1}{\tau_n} \Rightarrow \frac{j\omega\tau_n + 1}{\tau_n}$$

(直流) (交流)

と対応させればよいことが分かる。または、交流での拡散距離 L'_{nB} を定義して、

$$L'_{nB} = \sqrt{\frac{D_n\tau_n}{1 + j\omega\tau_n}}$$

直流動作における解析解を $L_{nB} \Rightarrow L'_{nB}$ として置き換えればよい。

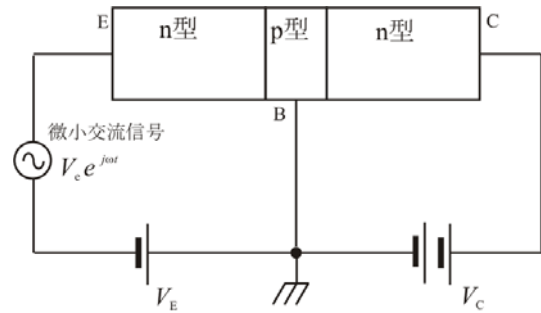


Fig.1 トランジスタの交流動作

遮断周波数

接合トランジスタの電流増幅率は(7.33)式より $\alpha \cong \gamma \cdot \beta^*$ であるので、 α の周波数特性は、注入率 γ と到達率 β^* により決まる。このうち注入率 γ には L_{nB} の項が含まれないため、周波数に関係なく一定である。一方、到達率 β^* には L_{nB} の項が含まれているため、電流増幅率 α は β^* によって特徴付けられる周波数依存性を持っている。

到達率 β^* の周波数依存

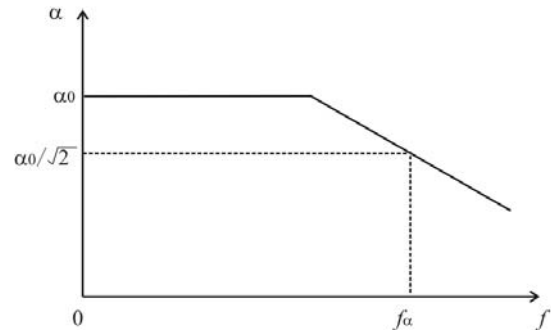
ベース領域に注入された電子は、拡散によりベース内をコレクタに向かって移動するが、印加交流電圧の周波数が高くなると、ベース内を走行中に印加信号の極性が変わり、電子は反対方向に引き戻されることになる。結果的に、到達率 β^* が周波数によって減少することになる(ある周波数までは一定)。

電流増幅率 α の周波数特性

電流増幅率は Fig.2 に示すように、ある周波数まではほぼ一定の値であるが、それ以上の周波数の信号に対しては減少する。

f_α : α 遮断周波数(α cut-off frequency)

電流増幅率が直流における値(α_0)の $1/\sqrt{2}$ になるときの周波数値

Fig.2 α の周波数特性

直流印加時の到達率を β_0^* として、 $\beta^*(f) = \frac{\beta_0^*}{\sqrt{2}}$ となる周波数 f_b をベース遮断周波数という。

$$f_b = \frac{\omega_b}{2\pi} = \frac{0.39D_{nB}}{W^2}$$

室温($T = 300\text{K}$)では、

$$f_b = \frac{0.01\mu_{nB}}{W^2} \quad \cdots(7.45)$$

トランジスタの諸現象・電子雪崩効果

コレクタ電圧が高くなると、コレクタ接合において電子雪崩降伏が生じる。

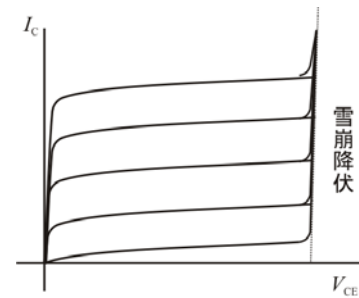


Fig.3 電子雪崩現象

・アーリー効果

コレクタ電圧が高くなると、コレクタ接合の空乏層が広がり、ベース幅が減少する。それにより、到達率が増大し、コレクタ電流が増加するため、出力特性で明確な飽和特性を示さなくなる。

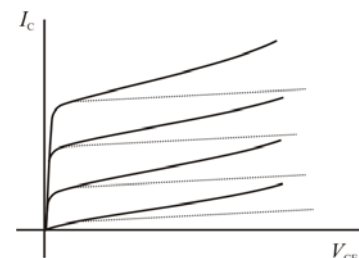


Fig.4 アーリー効果

・ドリフト効果

ベース領域にドーピングする不純物の分布が不均一であると、ベース領域内に内蔵電界が生成される。この内蔵電界により、ベースに注入された少数キャリア(電子)は加速され、ベース内を走行する時間が短くなり、その結果、 α 遮断周波数が大きくなる。

この効果を積極的に利用したトランジスタを**ドリフトトランジスタ(drift transistor)**という。

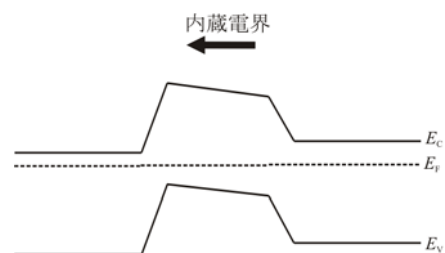


Fig.5 ドリフト効果