

# 高周波センスによるアナログ設計

## 7 高周波パラメータ

広畑 敦  
Atsushi Hirohata

低周波回路，例えばエミッタ共通回路のゲインを決める場合は，負荷抵抗と伝達コンダクタンス  $g_m$  がわかれば設計できます．内部の寄生容量などは，あまり意識する必要がありません．

ところが，周波数が高くなってくると寄生する容量ぶんによって，トランジスタ素子の入出力抵抗が下がり，インピーダンス低下がゲインに影響します．特に，トランジスタの入出力部にフィルタや同調回路などを接続する場合は，これらの特性にも大きく影響します．信号伝送のための整合を考える必要もでてきます．高周波回路では低周波回路では使われなかったパラメータを利用する必要があります．

高周波回路では，半導体や受動部品そのものの特性を表現するために，内部構造を表すデバイス・パラメータと，入出力の特性を表す回路パラメータという二つのパラメータを利用します．

今回は，これら2種類のパラメータの意味と利用の仕方について解説しましょう．

### 素子の特性を表す デバイス・パラメータ

#### 高周波トランジスタと高周波 FET の デバイス・パラメータ

##### 高周波トランジスタ

トランジスタなどの半導体素子は，抵抗，コンデンサ，インダクタなどと電流源，電圧源を組み合わせた

等価回路で表現できます．この等価回路を構成する抵抗値やコンデンサの容量値，増幅された電圧源や電流源などを **デバイス・パラメータ** と呼びます．

この等価回路を考えると，前後に回路を接続したときの影響が直感的に理解できます．例えば，トランジスタの前後に接続する同調回路や LC フィルタの容量は， $C_{bc}$  や  $C_{be}$  を含めて算出すればよいわけです．

図7-1に示すのは，エミッタを共通として表した高周波トランジスタの等価回路です．ハイブリッド (hybrid) 型等価回路と呼びます．図7-2に示すのは，ベースを共通として表したトランジスタの等価回路です．T型等価回路と呼びます．

各等価回路に示された  $r_{bb}$ ， $C_{bc}$  などのデバイス・パラメータは，動作時の電圧や電流によって値が変化します．

一般に，トランジスタを使用した増幅回路はエミッタ共通タイプが多いので，回路の周波数特性などを解析する場合は，図7-1に示すハイブリッド等価回路を使うほうが便利です．近似等価回路は，電流増幅率  $h_{fe}$  が1になる周波数 (遷移周波数  $f_T$ ) の1/10程度以下まで使用できます．

より高い周波数まで正確に表現しているのはT型等価回路です． $C_{bc}$  や  $C_{be}$  などのコンデンサは小容量なので，低周波ではそれらの影響を無視することができます．

表7-1は，実際の高周波トランジスタの電気的特性表の例です．パラメータを見ると，低周波トランジ

図7-1 デバイス・パラメータで表したトランジスタの等価回路 (エミッタ共通)

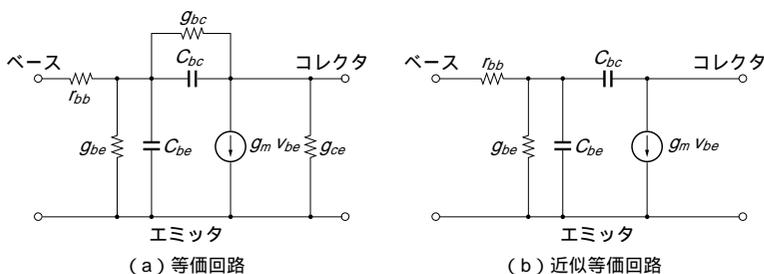
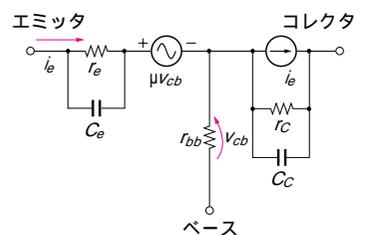


図7-2 デバイス・パラメータで表したトランジスタの等価回路 (ベース共通)

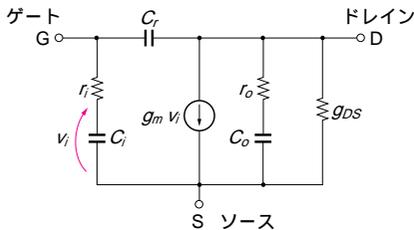


スタのデータシートに見られる直流電流増幅率  $h_{FE}$  以外に、高周波特性を表す利得帯域幅積  $f_T$  や  $NF$  (Noise Figure: 雑音指数) が、どちらのトランジスタにも記載されています。

### 高周波 FET

高周波では FET もよく使われます。図 7-3 に示すのは、ソースを共通として表現した高周波 FET の近似等価回路です。表 7-2 に示すのは、VHF 帯で使わ

図 7-3 デバイス・パラメータで表した高周波 FET の等価回路 (ソース共通)



れる FET 2SK210 の電気的特性です。

$C_{iss}$  と  $C_{rss}$  の添え字はそれぞれ次に示すような意味です。

▶  $C_{iss}$

C : capacitance (容量), i : input (入力), s : source (ソース共通), s : short (他端, この場合ドレイン・ソース間を短絡)

▶  $C_{rss}$

C : capacitance (容量), r : reverse (逆方向), s : source (ソース共通), s : short (他端, この場合ゲート・ソース間を短絡)

### デバイス・パラメータと

### 回路性能との関係

#### 低域ではデバイス・パラメータは無視できる

低い周波数帯では、入力側の容量  $C_{be}$ ,  $C_{iss}$  や内部帰還容量  $C_{bc}$ ,  $C_{rss}$  の影響が少ないため、トランジスタ自身の増幅度や入出力抵抗がとても高く、回路の利得は回路形式や負荷抵抗の定数などで決まります。

表 7-1 高周波トランジスタの電気的特性の例 ( $T_A = 25$ )

項目	記号	条件	最小	標準	最大	単位
コレクタシャ断電流	$I_{CBO}$	$V_{CB} = 10 \text{ V}, I_E = 0$	-	-	100	nA
直流電流増幅率	$h_{FE}$	$V_{CE} = 10 \text{ V}, I_C = 50 \text{ mA}$	30	100	200	-
利得帯域幅積	$f_T$	$V_{CE} = 10 \text{ V}, I_C = 50 \text{ mA}$	3.0	4.0	-	GHz
帰還容量	$C_{re}$	$V_{CB} = 10 \text{ V}$ , エミッタを接地, $f = 1.0 \text{ MHz}$	-	1.1	1.8	pF
順方向伝達利得	$ S_{21} ^2$	$V_{CE} = 10 \text{ V}, I_C = 50 \text{ mA}, f = 500 \text{ MHz}, R_G = 50$	10	12.5	-	dB
雑音指数	$NF$	$V_{CE} = 10 \text{ V}, I_C = 30 \text{ mA}, f = 500 \text{ MHz}, R_G = 50$	-	2.4	4.0	dB

(a) 2SC2954

項目	記号	条件	最小	標準	最大	単位
コレクタシャ断電流	$I_{CBO}$	$V_{CB} = 30 \text{ V}, I_E = 0$	-	-	0.1	$\mu\text{A}$
直流電流増幅率	$h_{FE}$	$V_{CE} = 6.0 \text{ V}, I_C = 1.0 \text{ mA}$	40	90	180	-
コレクタ飽和電圧	$V_{CE(sat)}$	$I_C = 10 \text{ mA}, I_B = 1.0 \text{ mA}$	-	0.1	0.3	V
利得帯域幅積	$f_T$	$V_{CE} = 6.0 \text{ V}, I_E = -1.0 \text{ mA}$	400	600	-	MHz
コレクタ容量	$C_{ob}$	$V_{CE} = 6.0 \text{ V}, I_E = 0, f = 1.0 \text{ MHz}$	-	1.0	-	pF
$C_c r_{bb}$ 積	$C_c r_{bb}$	$V_{CE} = 6.0 \text{ V}, I_E = -1.0 \text{ mA}, f = 31.9 \text{ MHz}$	-	12	-	ps
雑音指数	$NF$	$V_{CE} = 6.0 \text{ V}, I_E = -1.0 \text{ mA}, f = 100 \text{ MHz}, R_G = 50$	-	3.0	-	dB

(b) 2SC4178

表 7-2 高周波 FET 2SK210 の電気的特性の例 ( $T_A = 25$ )

項目	記号	測定条件	最小	標準	最大	単位
ゲートシャ断電流	$I_{GSS}$	$V_{GS} = -1.0 \text{ V}, V_{DS} = 0$	-	-	-10	nA
ゲート・ドレイン間降伏電圧	$V_{(BR)GDO}$	$I_G = -100 \mu\text{A}$ , ドレイン共通	-18	-	-	V
ドレイン電流	$I_{DSS}$ (注)	$V_{GS} = 0 \text{ V}, V_{DS} = 10 \text{ V}$	3	-	24	mA
ゲート・ソース間シャ断電圧	$V_{GS(off)}$	$V_{DS} = 10 \text{ V}, I_D = 1 \mu\text{A}$	-1.2	-3	-	V
順方向伝達アドミタンス	$ Y_{fs} $	$V_{GS} = 0 \text{ V}, V_{DS} = 10 \text{ V}, f = 1 \text{ kHz}$	-	7	-	mS
入力容量	$C_{iss}$	$V_{DS} = 10 \text{ V}, V_{GS} = 0 \text{ V}, f = 1 \text{ MHz}$	-	3.5	-	pF
帰還容量	$C_{rss}$	$V_{GD} = -10 \text{ V}, f = 1 \text{ MHz}$	-	-	0.65	pF
電力利得	$G_{ps}$	$V_{DD} = 10 \text{ V}, f = 100 \text{ MHz}$	-	24	-	dB
雑音指数	$NF$		-	1.8	3.5	dB

