

9. トランジスタの4端子定数

I. 目的

トランジスタのhパラメータを測定し、その物理的意義を理解する。

II. 予習

- ・ 測定回路の交流等価回路を描く。
- ・ ベース接地のhパラメータの標準値を調べる。

III. 解説

トランジスタ(Tr)の等価回路の回路素子は、デバイスの物理性質から導くことも、端子間の回路特性から導くこともできる。ここでは、後者の方法を用い、周波数に関係しないような十分低い周波数における小信号動作に対するベース接地のhパラメータを測定する。

III-1. hパラメータについて

図1の入力と出力の電流・電圧に関して、端子間の性質を完全に記述できる6組の関係式が存在する。Trの低周波回路の解析には、hパラメータが最も便利である。なぜなら、測定が容易なため殆どの規格表に記載されており、また回路の動作を速やかに評価するのに役立つからである。hパラメータによる四端子回路の一般的な表現は、

$$V_1 = h_{11} \cdot i_1 + h_{12} \cdot v_2$$

$$i_2 = h_{21} \cdot i_1 + h_{22} \cdot v_2$$

である。(1)(2)式で、入力電流 i_1 と出力電圧 v_2 が独立変数である。各電流と電圧は、動作点からの小さい変化分を表す交流成分を意味する(小信号電流・電圧の方向に注意)。Tr回路理論では、数字の添字のかわりに、パラメータの性質を表す文字添字を用いるのがふつうである。

すなわち、

$$v_1 = h_i \cdot i_1 + h_r \cdot v_2$$

$$i_2 = h_f \cdot i_1 + h_o \cdot v_2$$

図1 4端子回路の電圧・電流の定義

図2 トランジスタのhパラメータ等価回路

この式から、図2の等価回路を導く事ができる。図2の回路の入力部分は(3)式、出力部は(4)式に対応している。この時のhパラメータは、回路的にはそれぞれ次の様な意味を持っている。

等価回路と(5)～(8)式の定義は、各パラメータの測定方法を与えている。例えば、出力端子をコンデンサで交流的に短絡した $v_2=0$ とし、入力に小さな交流電圧を流して、その時の電流比によって h_f を測定できる。但し、規定された直流動作点 Q 点の h パラメータを測定するには、その直流条件が一定に保たれねばならない事に注意する必要がある。

III-2 ベース接地回路の h パラメータ

図 3 に h パラメータを用いたベース接地 T_r 等価回路を示す。パラメータは一般に各接地方式で異なるので、添字をもう一つ付けて区別する。この時の各パラメータは、(5)～(8)式と同様にして、次式で定義される。

図 3 ベース接地トランジスタ

IV. 実験事項

h パラメータの測定回路を図 4(出力短絡回路)及び図 5(入力開放回路)に示す。まず、 V_{CBQ} ($=3V$)を基準電圧に固定して各 h パラメータの I_{EQ} ($=0.2\sim 20mA$)依存性を測定する。次に、 I_{eq} 及びコレクタベース間直流電圧 V_{cbq} は、直流電源 V_{cc} と V_{ee} を利用して任意に調整できる。交流信号の値を直流動作値に比べて十分小さく(小信号動作)しなければならないため、測定する各交流電圧 $v_1\sim v_4$ は微小電圧となる。測定には十分な注意が必要である。また、周波数に関係しない様な十分低い周波数 300Hz における小信号動作を測定する。測定結果の図は、両対数グラフを用いる。

(1)入力インピーダンス(h_{ib})と電流利得(h_{fe})の測定

測定回路には図 4 を使用する。この回路は、コンデンサ C_2 により出力側(コレクタ側)が交流的に短絡されているため、近似的に $v_{cb}=0$ の関係が満足されている。

図 4 の回路で S を閉じる。このとき、 v_1 と v_2 を測定すると、入力インピーダンス h_{ib} は次式で与えられる。

次に、図 4 の回路で S を開く。この時、

の関係が近似的に成り立つから、 v_1 と v_3 から h_{fb} が求まる。

(2)逆電圧比(h_{rb})と出力アドミタンス(h_{ob})の測定

測定回路には、図 5 を使用する。この回路は、大容量のインダクタンス L により入力側(ベース側)が交流的に開放され、 $i_e=0$ の関係が近似的に達成されている。
図 5 の回路において S を閉じると、次式によって h_{rb} が与えられる。

また、 S を開くと h_{ob} は次式で求められる。