

# 第 10 章

## トランジスタの雑音と 温度特性

見  
本

### 10.1 トランジスタの雑音

---

一口に雑音と言ってもさまざまな種類の雑音がある。そして、それらの雑音を取り扱う方法にも、さまざまな方法がある。本章ではトランジスタを中心に、まず雑音の種類を述べ、次にトランジスタの雑音等価回路を紹介し、最後に雑音をどのように取り扱うかについて述べる。

#### 10.1.1 雑音の種類

雑音にもさまざまな種類があるが、トランジスタすなわち半導体に特有な雑音は、フリッカー・ノイズ( $1/f$ ノイズ)、ショット・ノイズ、バースト・ノイズ(ポップ・コーン・ノイズ)などである。その他に、熱雑音(ジョンソン・ノイズ、ナイキスト・ノイズ)、アバランシェ・ノイズなどがある。

このうちバースト・ノイズについては、雑音の発生するメカニズムが未だによくわかっていない。バースト・ノイズは、名前が示すようにバースト状の波形をしており、連続して発生する場合があるかと思えば、数分、数時間、時には数日、数か月という間隔をおいて発生するという非常にやっかいなものである。この雑音は、トランジスタの製造工程に大きく依存している雑音である。この雑音については、理論的な説明も未だに十分になされているとは言い難いので、ここでは詳しく述べない。

#### 10.1.2 ショット・ノイズ

ショット・ノイズと熱雑音は白色雑音(ホワイト・ノイズ)とも呼ばれ、広い周

波数領域にわたって一定の大きさを持っている雑音である。

トランジスタのPN接合には、ポテンシャルの壁が存在する。電子やホールは電荷を持った粒子とみなすことができるが、これらの粒子がポテンシャルの壁を越えるとき、電流は連続した値では流れない。つまり、不連続な値として観測されることになる。この不連続な電流によって引き起こされる雑音のことをショット・ノイズと呼び、次の式で与えられる。

$$\overline{i^2} = 2qI_D \Delta f \quad \dots\dots\dots (10.1)$$

ここで、 $q$  : 素電荷  
 $I_D$  : 平均電流  
 $\Delta f$  : 帯域幅

### 10.1.3 熱雑音

熱雑音は、抵抗体などに含まれている電子の熱運動によって引き起こされる雑音であり、ショット・ノイズと同じように電子が粒子として不連続な電流を運ぶことから生じる。抵抗値を  $R$  とすれば、熱雑音の雑音電圧は、

$$\overline{v^2} = 4kTR\Delta f \quad \dots\dots\dots (10.2)$$

と表される。この式からわかるように、絶対零度 ( $T = 0$ ) においては熱雑音はない。また、覚えておくことよい数値として、室温 ( $T = 300\text{K}$ ) では、 $1\text{k}$  の抵抗が発生する雑音電圧は  $1\text{Hz}$  あたり次の値になる。

$$\sqrt{\overline{v^2}} = 4 \text{ nV/ Hz at } 1\text{k} \quad \dots\dots\dots (10.3)$$

### 10.1.4 フリッカー・ノイズ

フリッカー・ノイズはトランジスタの場合、空乏層中の不純物や格子欠陥などによって生じるトラップによって引き起こされ、次の式で表される。

$$\overline{i^2} = K_F \frac{I^{A_F}}{f^b} \Delta f \quad \dots\dots\dots (10.4)$$

ここで、 $K_F$  : 定数  
 $A_F$  : 定数 (0.5 ~ 2)  
 $b$  : 定数 (~ 1)