

# 第5章 微波固态放大器

5.1 概述

5.2 低噪声放大器

5.3 功率放大器

小结

### 5.1 概述

微波放大器还可按放大的信号带宽的不同分为窄带放大器和宽带放大器；按半导体放大管的结构不同又可以分为双极晶体管放大器、场效应管放大器和高电子迁移率放大器等。

微波放大器不同的分类是从不同角度看待同一器件，如称一个放大器为宽带、大功率、场效应管放大器，就是说该放大器为大功率放大器，是一个宽带信号放大器，是利用场效应管(FET)构建的。

### 5.1.1 微波双极晶体管

微波双极晶体管通常都是平面结构，和低频晶体管相比，其封装形式和内部结构区别很大。图 5-1 给出了微波双极晶体管的典型封装形式。其中同轴封装形式适用于同轴电路，多用于功率放大器和振荡器。平面封装形式多用于微带平面电路。平面封装的微波双极晶体管有四个极，一个基极(B)，一个集电极(C)，两个发射极(E)，实际封装外观如图5-2所示，标有点的位置1 是基极(B)，与之相对的 3 是集电极(C)，另两个宽度较宽的 2、4 为发射极(E)。微波双极晶体管电路符号如图 5-3 所示。

# 第5章 微波固态放大器

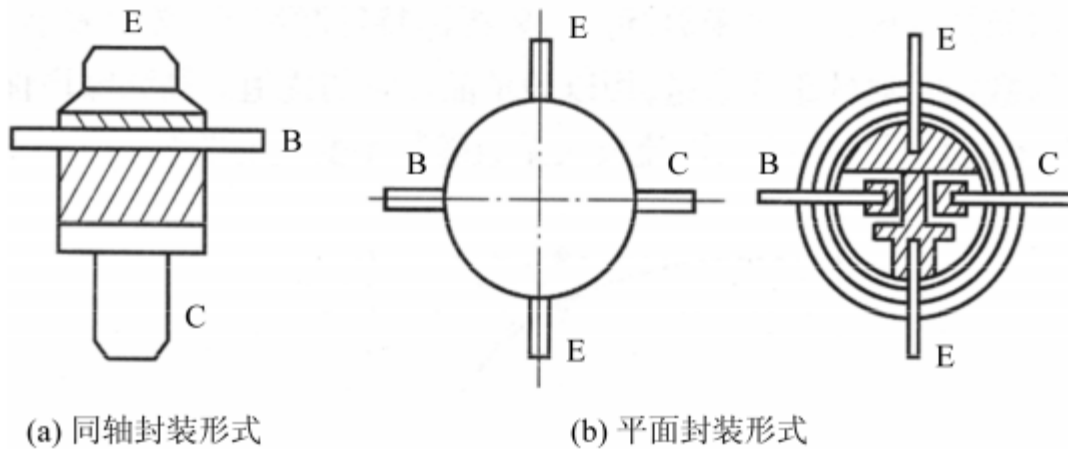


图 5-1 微波双极晶体管的典型封装形式

## 第5章 微波固态放大器

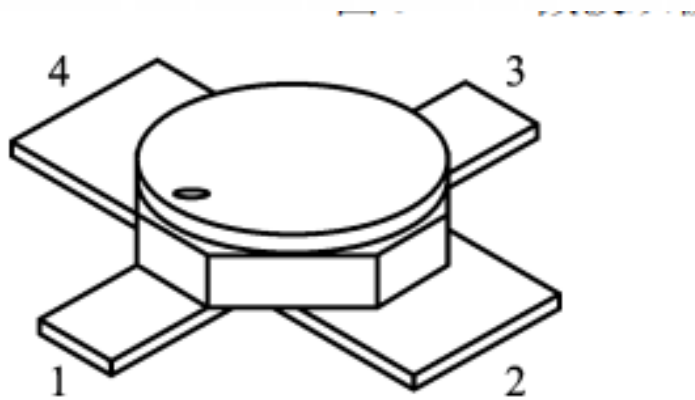


图 5-2 平面封装的微波双极晶体管

# 第5章 微波固态放大器

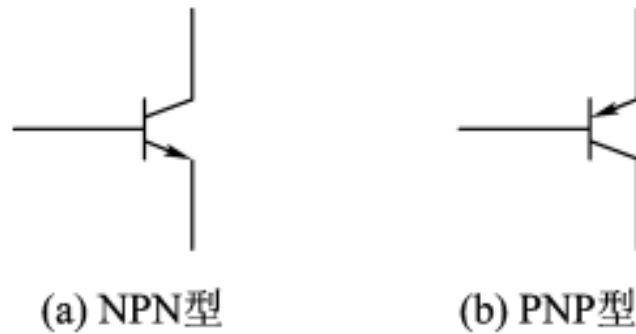


图 5-3 微波双极晶体管的电路符号

## 第5章 微波固态放大器

为了工作于微波频段，微波双极晶体管内部结构多采用交指型管芯结构，如图 5-4 所示。这种结构可以有效减小结电容，提高工作频率。低噪声管交指数目通常只有 3 ~ 5 条，而功率管交指数目可达 10 ~ 20 条。

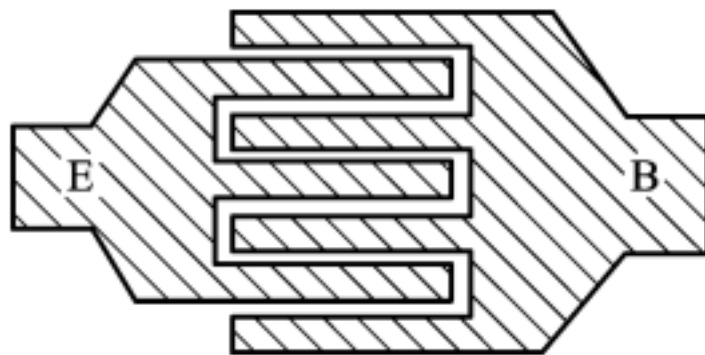


图 5-4 交指型管芯结构示意图

## 第5章 微波固态放大器

微波双极晶体管的噪声主要有热噪声和散弹噪声两类。热噪声主要是由管子内部电阻的热损耗引起。散弹噪声主要由电流分配的随机性决定，在低频区表现为闪烁噪声，在高频区表现为分流噪声。微波双极晶体管的噪声特性如图 5-5-所示，图中纵坐标为噪声系数 $F$ ，横坐标为频率 $f$ ， $f_{c1}$ 和 $f_{c2}$ 分别为闪烁噪声区和分流噪声区的上下边界。由图 5-5-可见，在中间频率的热噪声区噪声系数最小。



## 第5章 微波固态放大器

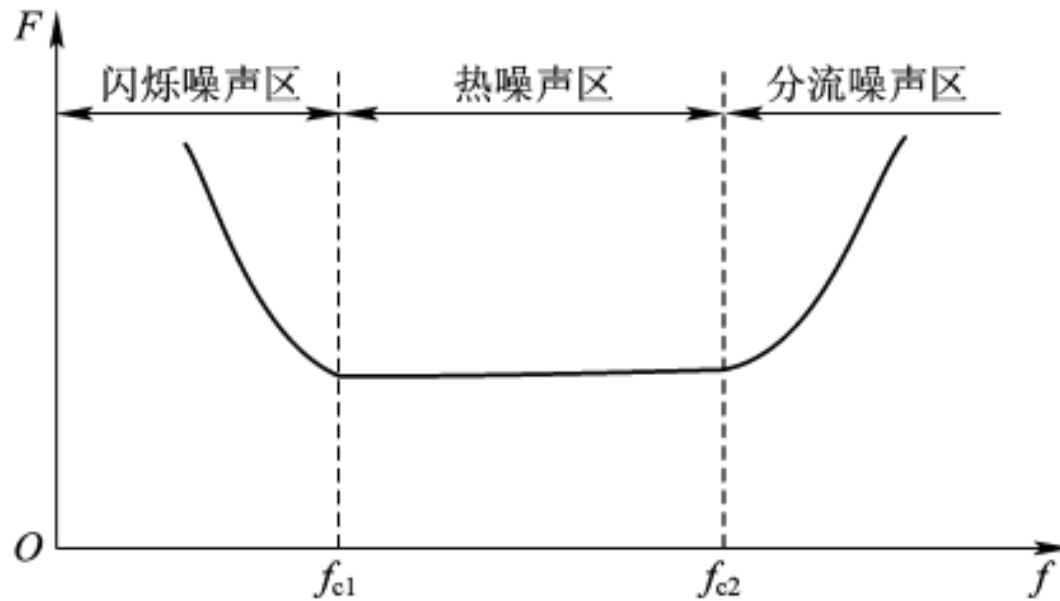


图 5-5 微波双极晶体管的噪声特性示意图

### 5.1.2 微波场效应晶体管

微波场效应晶体管(FET)是通过电场来控制半导体中电子流动而实现放大和通断功能的，它属于电子半导体器件。微波频段的场效应晶体管主要有PN结场效应晶体管(JFET)、金属氧化物半导体场效应晶体管(MOSFET)、金属半导体场效应晶体管(MESFET)和高电子迁移率场效应晶体管(HEMTFET)。其中高电子迁移率场效应晶体管性能最好，广泛应用于雷达、通信、遥感、宇航通信、医学等领域中。用于制造微波场效应晶体管的半导体材料主要有硅(Si)、锗(Ge)、砷化镓(GaAs)等，其中砷化镓性能最好。

## 第5章 微波固态放大器

微波场效应晶体管的结构如图 5-6 所示。微波场效应晶体管 and 微波双极晶体管一样也有四个极，一个漏极(D)相当于微波双极晶体管的集电极(C)，一个栅极(G)相当于微波双极晶体管的基极(B)，两个源极(s)相当于微波双极晶体管的发射极(E)。已封装的微波场效应晶体管外观如图 5-7 所示，有切角的为栅极(G)，与之相对的是漏极(D)，另两个较宽的为源极(s)。微波场效应晶体管的电路符号如图 5-8 所示。

# 第5章 微波固态放大器

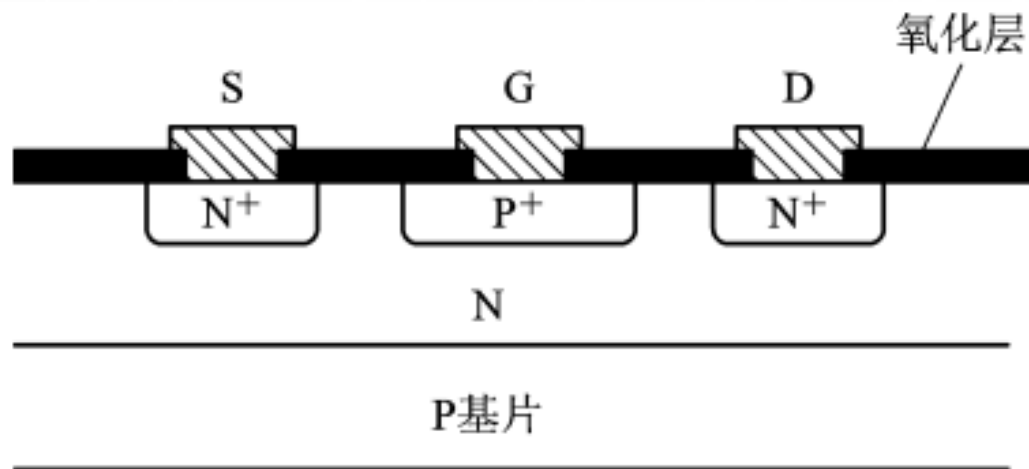


图 5-6 微波场效应晶体管结构示意图

## 第5章 微波固态放大器

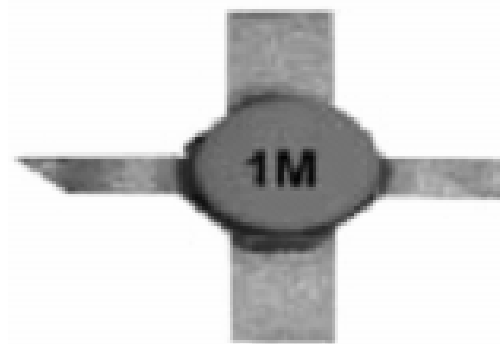
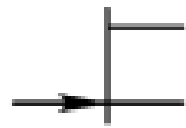
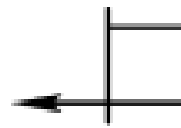


图 5-7 已封装的微波场效应晶体管

# 第5章 微波固态放大器



(a) N沟道



(b) P沟道

图 5-8 微波场效应晶体管的电路符号

## 第5章 微波固态放大器

微波场效应晶体管的工作原理如图 5-9 所示。当源极(S)和漏极(D)之间没有外加电压即  $s_{Ds} = 0$  且栅极(G)上也没有外加电压时，整个器件处于平衡状态，所形成的沟道均匀，如图 5-9(a)所示。

# 第5章 微波固态放大器

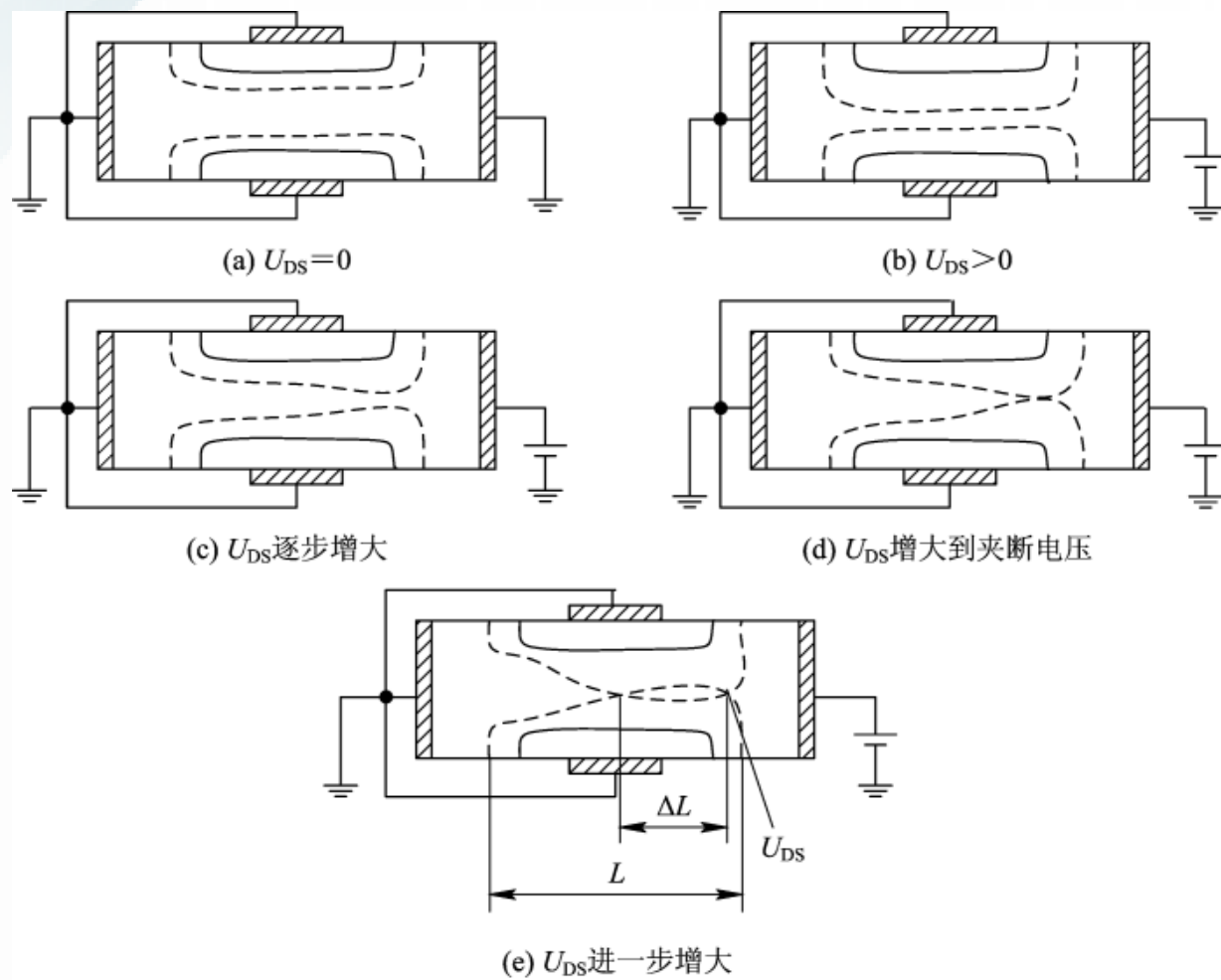


图 5-9



## 第5章 微波固态放大器

当  $s_{D_s} > 0$  且值较小时，有电流  $I_D$  流过沟道，可以将沟道视为一个电阻，电流  $I_D$  和电压  $s_{D_s}$  成线性关系，如图 5-9(b) 所示。

当  $s_{D_s}$  逐渐增大，电流  $I_D$  也会增大，这时沟道中压降随之增大，使沟道两端电压不同，以致靠近漏端沟道变窄，如图 5-9(c) 所示。

当  $s_{D_s}$  增大至某一值时，靠近漏端的沟道夹断，这时对应的电压称为夹断电压，同时流到漏端的电流变为 0，如图 5-9(d) 所示。

## 第5章 微波固态放大器

若  $s_{Ds}$  进一步增大，就会使沟道内夹断长度  $\Delta L$  增大，使沟道夹断更彻底，如图 5-9(e)所示。

当栅极电压不为 0 时，也有类似的情况。栅极电压的改变可以整体改变沟道的宽度。控制栅极电压可以有效减小或增大沟道宽度，从而达到放大电流  $I_D$ (信号)的目的。



### 5.2 低噪声放大器

雷达接收机中普遍采用低噪声放大器(来放大接收到的微弱的回波信号，如图 5-10所示。低噪声放大器位于接收机前端，这要求它的噪声越小越好；为了抑制后面各级噪声的影响，还要求它有一定的增益，但为了不使后面的混频器过载，增益不能过高。此外，因为接收机接收的信号通常很微弱，所以低噪声放大器必须是一个小信号线性放大器。

## 第5章 微波固态放大器

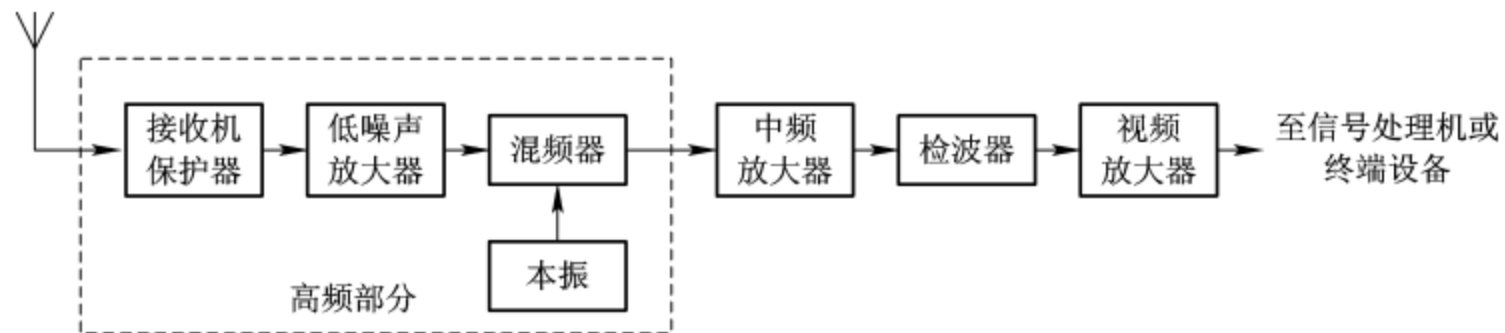


图 5-10 雷达接收机示意图

### 5.2.1 低噪声放大器的主要指标

#### 1. 噪声系数与噪声温度

微波放大器接入电路如图 5-11 所示，图中  $Z_s$  为信号源内阻， $s_s$  为信号电压， $s_n$  为噪声电压。

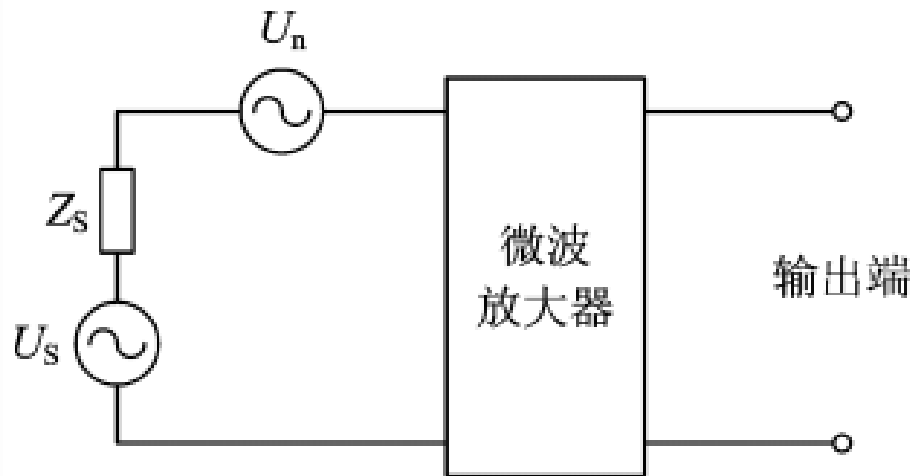


图 5-11 微波放大器接入电路示意图

## 第5章 微波固态放大器

噪声系数为放大器的输入信号信噪比与输出信号信噪比的比值，用字母  $F$  表示，其定义为

$$F = \frac{S_{\text{in}}/N_{\text{in}}}{S_{\text{out}}/N_{\text{out}}} \quad (5-1)$$

噪声系数的分贝表示为  $N_F$ ，其计算式如下：

$$N_F(\text{dB}) = 10 \lg F \quad (5-2)$$

由式(5-1)可看出，噪声系数是指信号通过放大器后，由于放大器产生噪声，使信噪比变差，因此导致信噪比下降的倍数。

## 第5章 微波固态放大器

当放大器的噪声系数很小时，为了表示方便，采用等效噪声温度  $T_e$  来表示噪声系数，它与噪声系数的关系如下：

$$T_e = T_0(F-1) \quad (5-3)$$

式中， $T_0$  为环境温度，其值为 293 K。理想无噪声放大器的噪声温度为零。

噪声系数与等效噪声温度的对比如表 5-1 所示。

## 第5章 微波固态放大器

表 5-1 噪声系数与等效噪声温度对比表

$N_F/\text{dB}$	0.1	0.2	0.5	0.7	0.9	3	10
$F$	1.0233	1.047	1.122	1.175	1.23	1.995	10
$T_e/\text{K}$	6.82	20.96	35.75	51.24	67.47	291.6	2930



### 2. 功率增益、相关增益与增益平坦度

#### (1) 功率增益。

功率增益表示在接入放大器后和接入放大器前负载上测得的功率比。设信号源内阻和负载阻抗都是  $50\Omega$  标准阻抗，采用插入法实测增益。设信号源输出功率为  $P_1$ ，将放大器接到信号源上，用功率计测放大器的输出功率为  $P_2$ ，则功率增益  $G$  定义为

$$G = \frac{P_2}{P_1} \quad (5-4)$$

## 第5章 微波固态放大器

当多个放大器级联时，其总的功率增益如下：

$$G = G_1 G_2 G_3 \cdots \quad (5-5)$$

$$G(\text{dB}) = G_1(\text{dB}) + G_2(\text{dB}) + G_3(\text{dB}) + \cdots \quad (5-6)$$

多个放大器级联时的噪声系数如下：

$$F = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} + \cdots \quad (5-7)$$

如图 5-10 所示采用低噪声放大器的接收机中，低噪声放大器(LNA)为第 1 级，混频器为第 2 级，由式(5-7)可知，LNA 增益需足够大才可以压制后级的噪声。一般低噪声放大器增益  $G = 20 \sim 50 \text{ dB}$ 。

现代微波系统中的接收机高放几乎毫无例外地使用晶体管低噪声放大器。

## 第5章 微波固态放大器

### (2) 相关增益。

相关增益是指设计低噪声放大器时，其噪声最佳匹配情况下的增益通常比最大增益小2~4 dB。

### (3) 增益平坦度。

增益平坦度是指低噪声放大器在工作频带  $\Delta f$  内功率增益的起伏，常用工作频带  $\Delta f$  内的最大增益与最小增益之差  $\Delta G(\text{dB})$  表示，例如  $\Delta f$  内， $\Delta G(\text{dB}) \leq 2 \text{ dB}$ 。

## 第5章 微波固态放大器

对于多路通信而言，每个信道频率只占数十兆赫兹。常用增益斜率来表示放大器增益，单位为 dB / MHz，例如  $\Delta G = (0.05 \sim 0.1) \text{dB} / 10 \text{MHz}$ 。

放大器的增益和噪声系数会随频率的变化而变化，某微波场效应管放大器增益及噪声系数的频响曲线如图 5-12 所示。增益以每倍频程 6 dB 的规律随频率升高而下降，噪声系数随频率上升而增大。

## 第5章 微波固态放大器

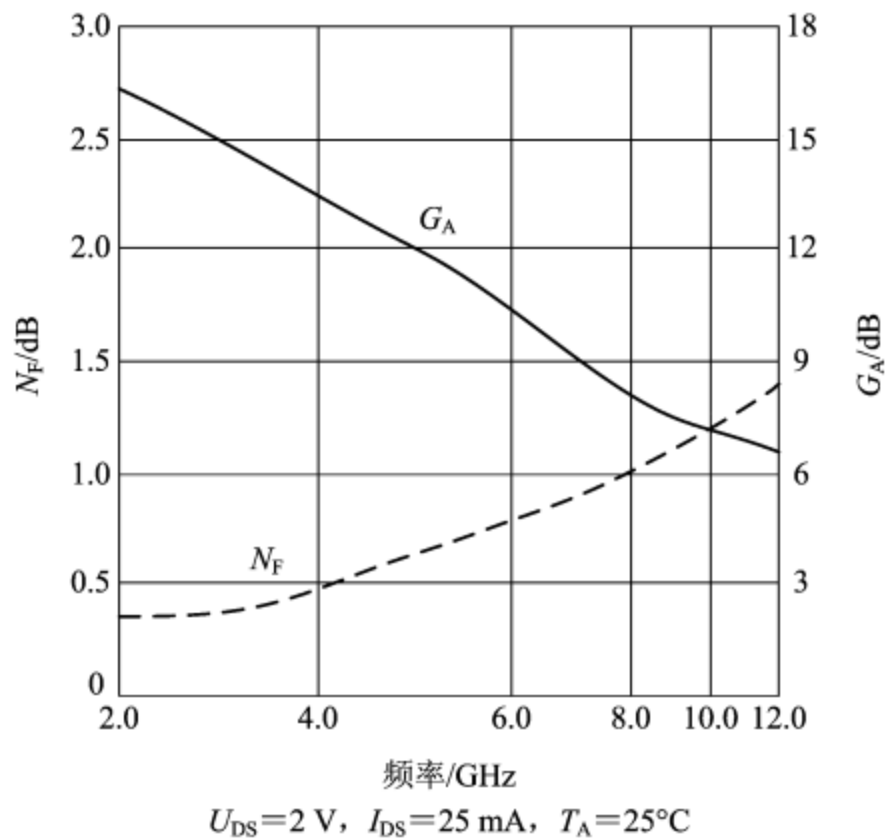


图 5-12 某微波场效应管放大器增益及噪声系数频响曲线

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/295001242320012030>