

《实用电子》专辑

SHI YONG
CHUAN GAN QI YIN YONG
DIAN LU SHE JI
SOU CE



实用 传感器应用 电路设计 手册

上海实用电子研究所

73.302
.306

实用传感器应用电路设计手册



《实用电子》编辑部

一九八六年四月

8810004

责任编辑：汪仁培

D025/17

实用传感器应用电路设计手册(内部发行)

上海市内部刊物登记证第167号

1986年6月第1版 1986年6月上海第1次印刷

定价：7.50元

出版前言

传感器是现代计算技术、自动控制和测量技术方面不可缺少的组成部份，它在现代科学技术中所发挥的重要作用日益被人们所认识。但是在进行传感器电路的技术设计时，由于实际测量对象的复杂性，因此是比较费时的。为了使广大科技人员在技术设计过程中少走些弯路，缩短设计的时间，我们特翻译了一批构思新颖，内容实用，技术先进的成功的电路设计，编辑出版了这本《实用传感器应用电路设计手册》。

为了满足各专业领域广大读者的需要，本书采用涉及整个传感技术领域而不是偏重于某一局部范围的方式。本书共收集了应用于光、色、光传送、温度、湿度、气体、声音、电量、位置、形状、物体有无、旋转、加速度、振动、压力、流量、液体等18个技术领域的132种传感器的典型应用电路。为了便于读者了解国内目前传感器业界的生产情况，本书还附有我国四百多家生产传感器的单位一览表。总之，在本书的编排上我们尽可能地考虑满足广大工程技术人员、大专院校师生以及业余爱好者的需要。本书若能在发展我国的传感器应用中产生一点作用，我们就感到欣慰了。

芮振东、奚荣明、毛亿民、徐宝琪、吴一敏、顾石玉、荣嘉铭、葛存源、汪仁培等同志参加了本书的翻译和撰写工作，李复疆、钟济南同志对本书作了技术校阅，在此谨向他们深表谢意。

限于编者的专业技术水平，错误之处恳请广大读者斧正。

编者

一九八六年四月

目 录

第一章 传感器电路设计技术

- 提高传感器电路 S/N 的技术····· (1)
- 用计算机作测试数据处理的 A/D 转换电路的基础与实践····· (19)

第二章 传感器电路实例

〈 光 〉

- 采用 MOS 图象传感器的电路····· (35)
- 照度计电路····· (37)
- 采用硅光敏二极管的测光电路····· (40)
- 反射光强度测定电路 (I)····· (43)
- 反射光强度测定电路 (II)····· (45)
- 采用 CCD 图象传感器的电路····· (47)
- 采用热电检测装置的电路····· (49)
- 发光二极管的点亮电路····· (51)
- 内藏输出转换器的红外线检测电路····· (53)
- 傅利叶转换型红外分光光度计使用的光检测电路····· (56)
- UV 传感器电路····· (59)
- 荧光玻璃照射剂量仪的荧光测定系统电路····· (62)

〈 色 〉

- 色彩传感器信号处理电路····· (64)
- 色彩识别传感器电路····· (67)
- 采用色彩传感器的电路····· (69)
- 采用非晶形色彩传感器的电路····· (74)

〈 光传输 〉

- 遥控器电路····· (77)
- 光纤、光无线两用红外线遥控电路····· (79)
- 采用光导纤维的电路····· (81)

〈 温度 〉

- 热敏电阻温度—电压变换电路····· (83)
- 采用热敏电阻的电路····· (85)

白金测温电阻体电路·····	(87)
温度检测电路·····	(89)
采用IC温度传感器的温控系统电路·····	(92)
LED 发光输出的温度校正电路·····	(94)
与三种热电偶对应的电子式冷接点补偿器电路·····	(96)
采用红外线传感器的温度检测电路·····	(97)
晶体传感器及应用电路·····	(99)
红外线温度计控制电路·····	(102)

〈 湿度 · 水分 〉

使用 HPR 传感器的检测电路·····	(106)
采用湿度传感器的湿度检测电路·····	(107)
低湿度区域检测电路·····	(109)
采用绝对湿度传感器的电路·····	(111)
用绝对湿度传感器和热敏电阻温度传感器的电路·····	(114)
采用结露传感器的电路·····	(117)
采用结露传感器的电路·····	(119)

〈 气体 〉

采用气体传感器的自动换气扇电路·····	(121)
排放气体浓度计测电路·····	(122)
用红外线分析仪的高炉气体检测电路·····	(124)
热线式热传导率气体传感器的应用电路·····	(126)
热敏电阻式气体传感器应用电路·····	(127)
热线型半导体传感器的应用电路·····	(129)
气体传感器的应用电路·····	(132)
采用热传导传感器的气体浓度计电路·····	(134)
气体泄漏检测电路·····	(136)
毒性气体传感器的应用电路·····	(138)
便携式缺氧监测器的电路·····	(140)
医用氧气计的电路·····	(141)

〈 声音 〉

前置放大器电路·····	(142)
录音电平显示电路·····	(145)
采用 AE 传感器的电路·····	(147)

〈 电量 〉

振荡停止检测电路·····	(149)
---------------	---------

电流检测传感器电路.....	(151)
电阻值判别电路.....	(154)
数字限幅器电路.....	(156)
采用静电电容式传感器的电路.....	(158)

〈位置〉

采用SDME的带端检测电路.....	(159)
记录位置的射束检测电路.....	(161)
连续流动带子的偏移检测电路.....	(163)
孔中心位置的测定运算电路.....	(165)
微小光点的位置检测电路.....	(167)
PSD电路.....	(170)
扭曲检查修正装置和电路.....	(172)
用 CCD 和激光的位移仪电路.....	(174)
用于位移角检测的积分电路.....	(176)
光编码器电路.....	(179)
电位计型位移传感器电路.....	(181)
测距装置的信号处理电路.....	(183)

〈形状〉

通用自动供给装置的零件检测电路.....	(186)
利用光纤传感器的形状检测电路.....	(188)
采用半导体磁性传感器的识别传感器电路.....	(190)
工业电视摄像机数字化电路.....	(192)
采用图象传感器的线条不匀检测电路.....	(194)
超声波探伤和传感器电路.....	(197)
涡电流法膜厚测定电路.....	(201)
应用接触传感器的尺寸测量电路.....	(203)
应用空间滤光器、边界传感器的电路.....	(205)
超声波硬度计中的线性校正电路.....	(207)
使用超声波传感器的电路.....	(209)

〈物体有无〉

采用光敏二极管的光电传感器电路.....	(212)
光纤传感器的输出光/脉冲变换电路.....	(214)
采用红外线传感器的电路.....	(216)
用于接近传感器的信号处理电路.....	(217)
检测人体用远红外传感器的构造和电路.....	(218)

采用霍尔元件的物体检测电路·····	(220)
采用超声波振子的电路·····	(223)

〈 旋转·角度 〉

用旋转式编码器的旋转方向检测电路·····	(226)
采用编码器的电路·····	(228)
光学轴编码器电路·····	(229)
旋转式编码器的 DC 伺服系统的应用电路·····	(231)
采用反射型光电传感器的旋转电路·····	(234)
气体速率传感器的应用电路·····	(236)
采用磁阻元件的位移传感器电路·····	(238)
采用 OPIC 化光电断续器电路·····	(241)
三相的转相检测电路·····	(243)
光学式编码器电路·····	(245)

〈 加速度·振动 〉

采用压电式加速度传感器的电路·····	(246)
伺服加速度计的应用电路·····	(247)
关于直线加速度的电路·····	(249)
加速度计的电路·····	(251)
用振动传感器的电路·····	(253)
用压电型加速度传感器的电路·····	(255)
砂流检测电路·····	(257)
关于振动试验机电路·····	(259)

〈 压力·力 〉

采用金属电阻应变计的电路·····	(261)
简易流体压力计电路·····	(265)
压力传感器信号的双线式传送电路·····	(267)
用半导体压力传感器的电路·····	(270)
用加压导电橡胶的开关电路·····	(272)
压力变换器中的传感器电路·····	(275)
采用应变计的压力检测电路·····	(277)
振动式压力传感器的振荡电路·····	(280)
采用 6 轴向力传感器的电路·····	(283)
电子式差压传感器的电路·····	(286)
压力变换器中的传感器电路·····	(288)
采用图象传感器的张力检测电路·····	(289)

〈流量〉

- 用于超声波水平计(流量线性输出)的折线近似电路..... (292)
- 超声波流量测定电路..... (295)
- 电磁流量计中的电路..... (297)
- 热线式呼吸流量计的电路..... (299)
- 热式质流量控制器电路..... (301)
- 伺服式容积型流量计的电路..... (303)

〈液体〉

- 超声波水平仪接收电路..... (305)
- 浸没型液面计的电路..... (308)
- 超声波液位计的结构和电路..... (311)
- 浮游物浓度计(MLSS计)的电路..... (313)
- 油分浓度检测电路..... (315)
- 使用光传感器的离心沉降式粒度分布测定电路..... (317)

〈其他〉

- 用磁方位传感器的电路..... (319)
- 桥式激励电源电路..... (321)
- 电离箱检测器和电路..... (322)
- 使用 DC 前置放大器的应变计用放大电路..... (325)

〈附录一〉

- 部分国内外元器件对照表..... (328)

〈附录二〉

- 国内传感器生产单位一览表..... (334)

提高传感器电路 S/N 的技术

传感器发出的指令信号(S)和噪声(N)之比被称为传感器的信噪比(S/N)。S/N值是根据传感器元件的固有特性和它的配置方法不同而变化的。另外,由于传感器电路的制作方法不同,可能也会使传感器内多余的噪声进一步增加。本文在简单说明传感器电路的噪声种类和性质的同时,介绍低噪声放大器的制作方法和信号处理上排除噪声的技术问题。本文还用不太长的篇幅叙述了公式的推导方法。目前,与噪声有关的各式各样的公式已成为人们的研究对象,特别是I/f噪声等非线性问题和卡泰斯托洛夫理论引起了人们的极大兴趣。但是,在制作低噪声电路的过程中,有人认为可不必拘泥于数学公式,只要通过提高传感器电路的S/N特性,就能提高整个系统的分辨率,从而制得高精度的电路。

一、噪声的种类

产生噪声的部件主要是传感器和放大元件,所产生的噪声主要有三种,即“热噪声”、“散粒噪声”和“剩余噪声”(也称为I/f噪声)。

1. 热噪声

热噪声起源于导体中电荷的运动,其大小程度可用下列的Nyquist公式表示,公式的推导是根据Nyquist方法和非可逆过程统计力学中的长久保持等方法得出的。并从各个方面予以一般的说明。

$$E_t^2 = 4kTR\Delta f \dots\dots\dots (1)$$

式中, E_t = 噪声电压的有效值[V]

k = 波兹曼常数 ($1.38 \times 10^{-23} \text{ W} \cdot \text{S} \cdot \text{K}^{-1}$)

T = 绝对温度[K]

R = 噪声源的电阻值[Ω]

Δf = 测量系统的噪声频带幅度[Hz]

例如,设电阻值 $R = 1\text{k}\Omega$,噪声频带幅度 $\Delta f = 1\text{Hz}$ 时,在温度 $T = 300\text{K}$ (室温)时,噪声电压 E_t 约为 4nV 。如以此数值为1,则便于记忆。例如 $\Delta f = 100\text{Hz}$ 时, E_t 就为10倍的值。

当热噪声象(1)式所示的那样时,对应于不同的频率都会有均匀的功率分布。它也被称作白噪声。只要是真正的白色光,此光能量就不是由波长决定的。而功率分布的大小随着波长的变化而变化,所以二者是完全不相同的。

热噪声是与半导体或电阻器的制作方法无关的,但与阻抗值有关,即一定大小的阻抗值会产生相应大小的噪声。一旦有电流和磁场存在时,只要(1)式左边的值不变,热噪声的大小也不变(如有磁阻效应的器件时,则噪声也会随之增减的)。

2. 散粒噪声

电流是由于带有单位电荷的载体的作用而运动的。因此，每逢载体到达电极，就有一定的电流流动。电流的流动是非连续性的。分析电流的定量连续流动状态，就能把电荷到达电极后产生的电流波动视作噪声，这就是散粒噪声，可用下式表示：

$$I_{sk}^2 = 2q I_{DC} \Delta f \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中， I_{sk} = 散粒噪声电流的有效值[A]

$$q = 1.59 \times 10^{-19} [\text{C}] (\text{库伦})$$

I_{DC} = 直流电流[A]

因为传感器电路中有晶体管或场效应晶体管(FET)的输入，所以当连接高阻抗的传感器时易受干扰。

3. 剩余噪声

剩余噪声是电流在电阻体中流动时发生的噪声，因此也称为电流噪声。此外，噪声功率分布与频率成反比例。所以剩余噪声也称为 I/f 噪声。与热噪声的“白”噪声相对应的剩余噪声称为“粉红”色噪声。实验显示，一旦在电阻体中出现格栅和光栅等毛病，即会产生较大的噪声，此现象是相当明显的。剩余噪声电压的大小大都与外加电压成比例，可用以下公式表示：

$$E_f^2 \propto (I_{DC} R)^2 \frac{\Delta f}{f} \quad \dots\dots\dots (3)$$

电阻器和二极管的噪声大小是由噪声指数(NI)来表示的。NBS(国家标准局)所规定的电阻器的噪声指数是，设噪声的基准为1个十进位(上限与下限的频率相差10倍的频段)，则噪声指数用下式表示：

$$NI = 20 \log \left(\frac{\bar{E}_f}{V_{DC}} \right) \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中， \bar{E}_f = 具有1个十进位的频宽的剩余噪声(μV)

$$V_{DC} = I_{DC} \cdot R (\text{外加直流电压}) [\text{V}]$$

图1为热噪声和剩余噪声的频率特性的比较，而(4)式中所表示的噪声指数也是由电阻值的大小所决定的。用炭膜电阻时约为-25~0dB，用金属膜电阻时约为-40~-10dB。目前尚无法观测很小的线绕电阻中的噪声。此外，当噪声指数被设定时，噪声的电压频谱密度 $E_f/\sqrt{\Delta f}$ 可按下列式计算：

$$\begin{aligned} \bar{E}_f^2 &= \int_{f_1}^{10f_1} \frac{\gamma (I_{DC} R)^2}{f} df \quad \gamma: \text{比例常数} \\ &= \gamma (I_{DC} R)^2 \cdot \ln(10) \end{aligned}$$

因此，将(4)式代入 E_f 得：

$$\gamma = \bar{E}_f^2 / \{ (I_{DC} R)^2 \cdot \ln 10 \} = 10^{0.1 \cdot NI} / \ln 10$$

因而, $Ef^2 = \frac{(I_{DC}R)^2 \cdot 10^{0.1NI}}{2 \cdot 303f} \Delta f [\mu V^2/Hz]$

例如, 在 $I_{DC}R = 1V$ 、 $NI = -20dB$ 、 $f = 1kHz$ 时, 频谱密度 $Ef/\sqrt{\Delta f} = 2.08nV/\sqrt{Hz}$ 。

二、晶体管的噪声

1. 双极型晶体管

双极型晶体管的电流如图 2 所示那样流动, 其发射极接地的 π 型小信号等效电路见图 3。图 2、3 中所产生的噪声首先是在基极区产生扩展电阻 r_{bb} 的热噪声, 其次是由于基极电流 I_b 和集电极电流 I_c 的波动引起的散粒噪声, 再次是基极和发射极间的空穴层中基极电流和电位波动所引起的散粒噪声。如图 3 中的 r_{bb}' 充分大, 此外忽略反馈电容 $C_{b'e}$ 时, 实际这是使晶体管在低频处工作时成立, 噪声发生的等效电路见图 4。因此, 信号源电阻 (传感器的阻抗值) 在加上 R_s 的情况下, 通过将全噪声除以增益求得发射极接地晶体管的等效输入噪声。图 4 的输出 c-e 间短路时, 输出的噪声电流为:

$$I_{no}^2 = I_c^2 + (gmV_1)^2$$

$$= I_c^2 + gm^2 \left\{ \frac{(E_b^2 + E_s^2)Z_{b'e}^2}{(r_{bb}' + R_s + Z_{b'e})^2} + \frac{(I_b^2 + I_f^2)Z_{b'e}^2(r_{bb}' + R_s)^2}{(r_{bb}' + R_s + Z_{b'e})^2} \right\}$$

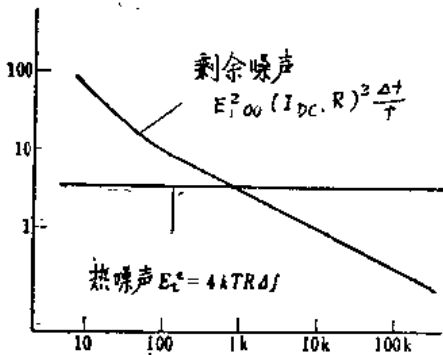
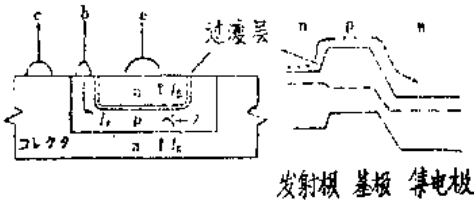


图 1 热噪声与剩余噪声的频率特性



(a) 晶体管的剖面与电流 (b) 晶体管的能带
图 2 晶体管内部的电流

..... (5)

另一方面, 对于信号来说, 一旦图 3 的输出端短路, 则与输入信号 V_s 相对的输出短路电流由下式表示:

$$I_o = gmV_1 = \frac{gmZ_{b'e}V_s}{r_{bb}' + R_s + Z_{b'e}} \dots\dots\dots (6)$$

因此, 等效输入噪声 E_{ni} 如下式那样:

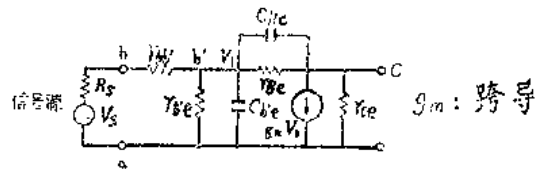
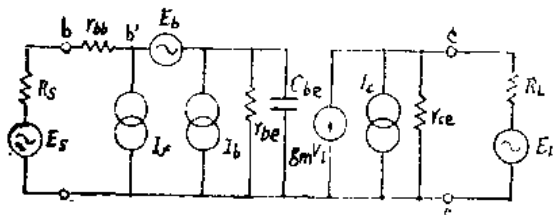


图 3 晶体管的混合 π 型小信号等效电路



R_s : 信号源电阻
 E_s : 信号源噪声
 R_L : 负荷电阻
 E_L : 负荷噪声
 I_f : 剩余 I/f 噪声
 I_b : 基极电流的散粒噪声
 I_c : 集电极电流的散粒噪声
 E_b : 基极电阻的热噪声

图4 晶体管的混合 π 型噪声等效电路

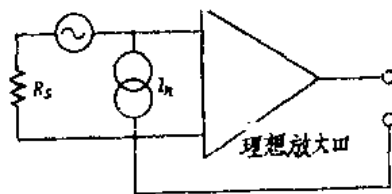


图5 E_n, I_n 和信号源电阻 (由于在 E_n 上不存在阻抗, 因此 I_n 可处于 E_n 的左侧)

$$\begin{aligned}
 E_{ni}^2 &= \frac{I_{no}^2}{I_o^2} \cdot V_s^2 \\
 &= E_b^2 + E_s^2 + (I_b^2 + I_f^2)(r_{bb'} + R_s)^2 + \frac{I_c^2(r_{bb'} + R_s + Z_{b'e}')^2}{gm^2 Z_{b'e}'^2} \\
 &\dots\dots\dots (7)
 \end{aligned}$$

此处, 热噪声、散粒噪声和剩余噪声的大小已经说明, 因此可将它们代入(7)式中的各项。

$$\begin{aligned}
 E_{ni}^2/(\Delta f) &= 4kT(r_{bb'} + R_s) + 2qI_b(r_{bb'} + R_s)^2 + \frac{rI_b^2(r_{bb'} + R_s)^2}{f} \\
 &+ \frac{I_c^2(r_{bb'} + R_s + Z_{b'e}')^2}{gm^2 Z_{b'e}'^2} \dots\dots\dots (8)
 \end{aligned}$$

右边最后项含有与频率相关的 $Z_{b'e}'$, 将它分成低频项, $1/(\omega C_{b'e}')$ 为主项时, 则近似于

$$\frac{2qI_c(r_{bb'} + R_s + r_{b'e}')^2}{\beta_o^2} + 2qI_c(r_{bb'} + R_s)^2 \left(\frac{f}{f_r}\right)^2$$

式中, β_o 为电流放大倍数, $\beta_o = gm r_{b'e}'$, 而 f_r 是晶体管的增益带宽乘积。当将此关系代入(8)式中时, 则

$$\begin{aligned}
 E_{ni}^2/(\Delta f) &= 4kT(r_{bb'} + R_s) + 2qI_b(r_{bb'} + R_s)^2 + \frac{2qI_c(r_{bb'} + R_s + r_{b'e}')^2}{\beta_o^2} \\
 &+ \frac{rI_b^2(r_{bb'} + R_s)^2}{f} + 2qI_c(r_{bb'} + R_s)^2 \left(\frac{f}{f_r}\right)^2 \dots\dots\dots (9)
 \end{aligned}$$

在此式中, 右面的前3项与频率无关, 而由晶体管赋予所产生的噪声的最小值。 $4kT r_{bb}'$ 表示在基极中电流扩展时的阻抗所引起的热噪声, $2qI_b r_{bb}'$ 是表示基极电流的散粒噪声, $2qI_c r_{b'e}'^2/\beta_o^2$ 是将集电极电流的散粒噪声换算到基极侧的值。在基极接地的T型等效电路中使用了晶体管的发射极电阻 $r_e = (1/gm)$, 而表示 $2qI_c r_e^2$ 或 $2kT r_e$ 。

(噪声电压和噪声电流的模型)

在(9)式中,除去右边第4项剩余噪声项和与频率有关的第5项,则求得晶体管中区的极限噪声。在常用的模型中,使用噪声电压 E_n 和噪声电流 I_n 的模型由图5所示。在(9)式中,一旦去除与 R_s 有关的项,若假定 E_n 为 $R_s \gg r_b'$,就求得 I_n 。

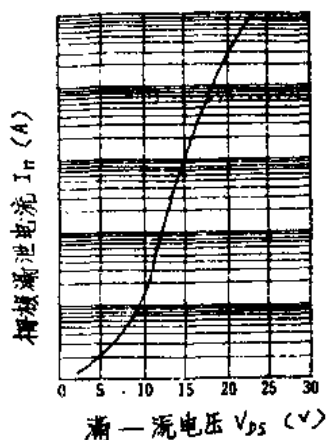


图6 栅漏电流电压特性

$$E_n^2 = 4kT(r_{bb}' + \frac{1}{2}r_e)\Delta f \dots\dots\dots(10)$$

$$I_n^2 = 2qI_B\Delta f \dots\dots\dots(11)$$

上列的(10)式和(11)式是常用的公式。当信号源的阻抗较低时, E_n 占支配地位,信号源较高时则 I_n 占支配地位。

2. 场效应晶体管

在使用场效应晶体管时, E_n 、 I_n 一般用下式表示:

$$E_n^2 = 4kTR_m\Delta f \dots\dots\dots(12)$$

$$I_n^2 = 2qI_o\Delta f \dots\dots\dots(13)$$

式中 $R_m \approx 1/g_m$, I_o 是栅漏电流。栅漏电流在很大程度上是取决于栅偏压和温度。漏泄电流的偏压特性由图6表示。

3. 噪声系数(NF)

本节说明NF和 E_n 与 I_n 的关系。

图5为理想放大器的模型,用 E_n 和 I_n 表示输入端的综合噪声电压 E_{ni} 时,如下式:

$$E_{ni}^2 = E_{RS}^2 + E_n^2 + I_n^2 R_s^2 \dots\dots\dots(14)$$

但是, E_{RS} 是由传感器的电阻值 R_s 所引起的热噪声,所以 E_n 和 I_n 的关系可不计。噪声系数NF的定义是一个用分贝来表示的热噪声与综合噪声之比的值。

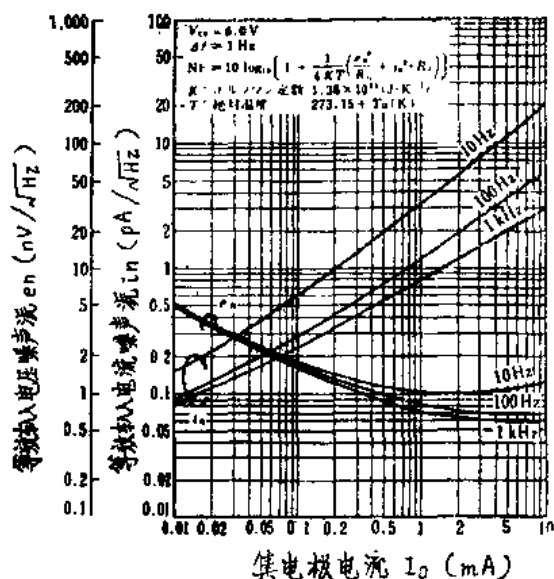


图7 晶体管输入电压噪声和输入电流噪声的集电极电流的相对关系 (2SC1844)

$$NF = 10 \log(E_{ni}^2 / E_{RS}^2)$$

$$= 10 \log \left[1 + \frac{1}{4kT} \left(\frac{E_n^2}{R_s} + I_n^2 R_s \right) \right] \dots \dots \dots (15)$$

日电公司的低噪声晶体管2SC1844的 E_n 和 I_n 由图7表示。在图7中， E_n 和 I_n 与集电极电流有关，(10)式和(11)式以及发射极电阻 r_e 可通过下式得出近似值：

$$r_e = \frac{kT}{q} I_c \approx 26(\text{mA}) / I_c(\text{mA}) \dots \dots \dots (16)$$

例如， $I_c = 0.1\text{mA}$ 时， r_e 约为 260Ω 。此外，在FET的场合中，也是由电流所引起的 g_m 却是不同的，此不同的情况如图8所示。以集电极电流为横轴、以信号源电阻为纵轴，将相等于NF的点连接起来，就称为NF图。图9中举例表示这种关系。从此图中可看出，当信号源电阻达 500Ω 左右，集电极电流为 1mA 时，就产生最小的NF。

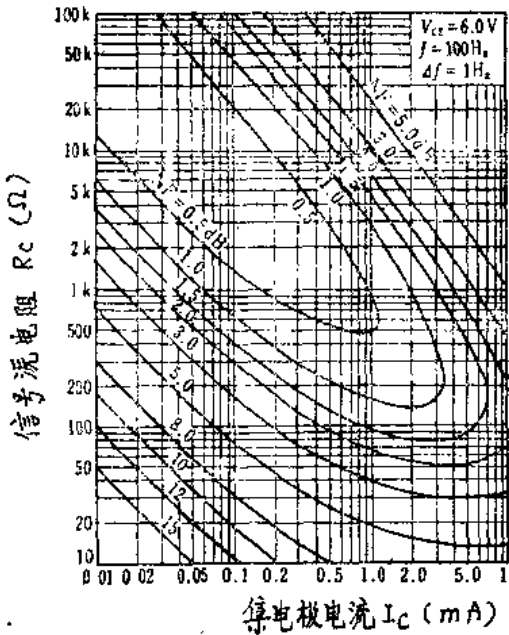


图9 NF图(2SC1844)

4. 输入电阻和噪声

将表示晶体管的NF的(15)式对 R_s 进行微分，在下式时使微系数为零。

$$R_{S_{opt}} = E_n / I_n \dots \dots \dots (17)$$

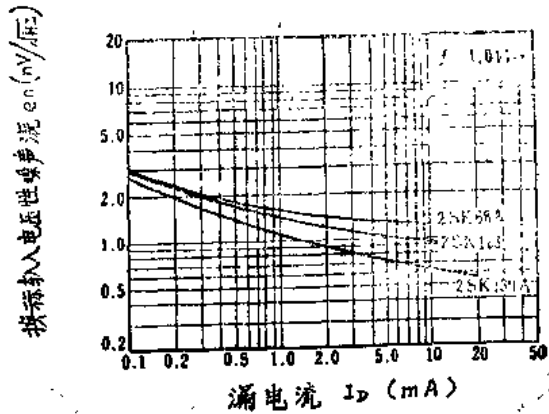
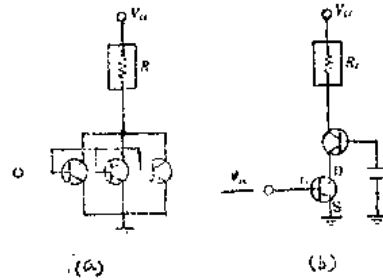


图8 FET的输入换算电压性噪声源 e_n 的电流特性



(a)晶体管的并联使用 (b)使FET的偏压减小的方法

图10 使 E_n 和 I_n 减小的方法

此时的NF为最小值:

$$NF_{min} = 10 \log \left\{ 1 + \frac{E_n I_n}{2kT} \right\} \dots\dots\dots(18)$$

亦即存在与 E_n 、 I_n 有关的最合适的信号源电阻。因此,当输入电阻过小时($\sim 10\Omega$),使用变压器来匹配,圈数比为 $1:n$ 的变压器将阻抗转换成 $1:n^2$ 。

5. 使 E_n 和 I_n 变小的方法

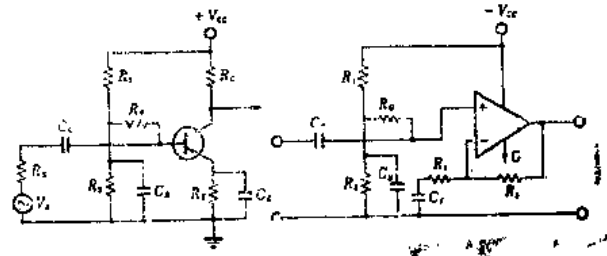
若在决定所使用的晶体管时,通过确定前述那样的集电极电流来决定使NF为最小时的偏压。即使如此,在希望噪声较小时,虽然有改变晶体管构造的必要,但一般情况下这是不可能的。通过选择来得到低噪声用的晶体管,这是最有效的解决方法。当信号源的阻抗较小而要想减小 E_n 时,也采用如图10(a)表示的那样将晶体管并联使用的方式。将N个晶体管并联使用,相互的电导为N倍,噪声则变为 \sqrt{N} 倍,其结果是S/N被改善至仅为原来的 \sqrt{N} 倍。

当信号源阻抗较高而想减少 I_n 时,减少FET的偏压是有效的(参照(13)式),为此需利用图10(b)所表示的方法。此方法在减小栅漏电流的同时,还有防止反馈电容导致频率特性恶化的效果。

在组合采用上述各法而噪声仍然过大时,为降低热噪声,可冷却放大元件。此装置规模较大,用于实用通讯卫星的放大器时,仅将输入段的放大元件冷却。但是,此方法不用于通用的元件和电路中,因此输入换算噪声应考虑以 $1nV/\sqrt{Hz}$ 为极限。

6. 晶体管的偏压

为使晶体管工作,必需有偏压电路。在图11(a)中,虽然将 R_1 和 R_2 的中点直接接至基极上是常用的加偏压方式,但将 R_1 与 R_2 的中点通过电容器 C_B 除去噪声后再接到基极上,就达到了低噪声化,可以无视电阻 R_1 和 R_2 的剩余噪声(电流所引起的噪声)。由于电源 V_{cc} 的交流声所引起的噪声变小, R_B 的热噪声不变,这和加偏压于运算放大器上时的情况相同。图11(b)表示通过单一电源使运算放大器工作时的偏压例。



(a)晶体管 (b)运算放大器

图11 低噪声偏压电路

三、传感器与噪声

传感器所产生的电气信号种类见表 1。本节取其中噪声引起问题的几个例子分别叙述有关的现象和处理方法。

1. 脉冲有无的判断

(1) 磁滞的效果

判断脉冲的存在是通过来自某一阈值的信号大小来进行的。以光电断续器(Interrupter)为例,在其受光面若存在阈值以上的信号时,就认为它是检测到对象物。然而,当信号正好为阈值左右时,在信号中对噪声作加法运算,检测电路的输出在高与低之间往复。它通过输出信号控制继电器,当反馈控制产生寄生振荡时会引起问题;为此,将磁滞施于阈值。图12表示从传感器输入电路的信号在不同时刻的输出情况(见图12(a)), (b)表示输入与输出的关系, (c)表示使用运算放大器的电路例。

表 1 传感器的输出形式

	输出形式	例
数 字	1. 脉冲的有无 2. 脉冲数 3. 脉冲码	“通—断”开关,报警 编码器,计数器 编码器
模 拟	4. 电压变化 5. 电流变化 6. 电阻变化 7. 静电电容变化 8. 阻抗变化	热电偶,霍尔元件 光电二极管 CdS,热敏电阻 电容式话筒 差动变压器,行程开关

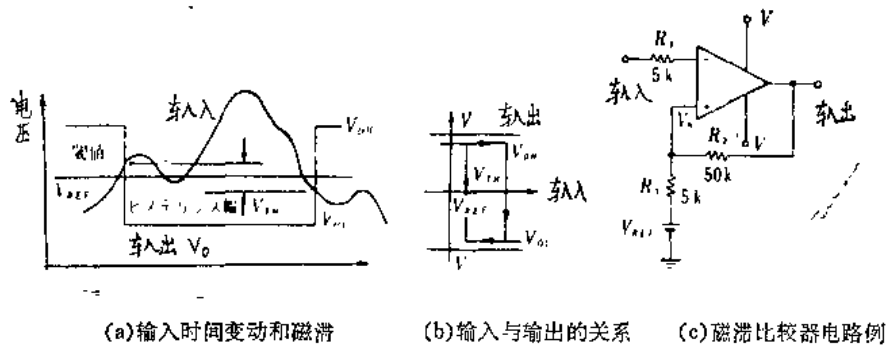


图12 通过阈值判别脉冲有无时的磁滞效果