

Technology
实用技术

常用传感器应用电路的 设计与实践

何希才 编著



科学出版社
www.sciencep.com

内 容 简 介

本书介绍常用传感器的工作原理、应用电路的设计以及应用电路实例,这些常用传感器包括光敏传感器、温敏传感器、湿敏传感器、磁敏传感器、力敏传感器、气敏传感器、超声波传感器、光纤传感器与固态图像传感器等。另外,还介绍了光敏开关、光通量计、烟尘检测电路等十余种应用电路的设计与调试。这些实例设计新颖、结构合理、性能优良、实用性强,并配有丰富的插图供读者参考。

本书主要的读者对象包括传感器应用开发人员、电路设计工程师、电子爱好者和大专院校相关专业师生。

图书在版编目(CIP)数据

常用传感器应用电路的设计与实践/何希才编著. —北京:科学出版社, 2007

ISBN 978-7-03-019588-3

I. 常… II. 何… III. 传感器-电路设计 IV. TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 123689 号

责任编辑:刘红梅 崔炳哲 / 责任制作:魏 谨

责任印制:赵德静 / 封面设计:路志平

北京东方科龙图文有限公司 制作

<http://www.okbook.com.cn>

科 学 出 版 社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007 年 9 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2007 年 9 月第一次印刷 印张: 20

印数: 1—4 000 字数: 388 000

定 价: 33.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈明辉〉)

前言

传感器是能够感受规定的被测量并按照一定的规律转换成可用输出信号的器件或装置,通常由敏感元件和转换元件组成,其中敏感元件是指传感器中能直接感受或响应被测量(输入量)的部分;转换元件是指传感器中能将敏感元件感受或响应的被测量转换成适于传输和(或)测量的电信号的部分。

传感器与人的感官一一对应,如下表所示。相当于人眼(视觉)的光传感器,如光敏元件、电荷耦合器件(CCD)、图像传感器和光敏二极管等;相当于人耳(听觉)的音响传感器,如传声器、压电元件等;相当于人皮肤(触觉)的振动传感器、温敏传感器和力敏传感器,其中振动传感器有应变片、半导体力敏传感器等,温敏传感器有热敏电阻、铂电阻、热电偶和热释电传感器等,力敏传感器有膜片、力敏聚合物等;相当于人舌头(味觉)的味觉传感器,如铂传感器、氧化物传感器、离子传感器等;相当于人鼻子(嗅觉)的嗅觉传感器,如生物化学元件等。此外,还有检测位移量的差动变压器,检测转速的编码器,磁敏传感器等。

感 官	器 官	对 象	传 感 器	原 理
视觉	眼睛	光	光敏元件、电荷耦合器件(CCD)、图像传感器、光敏二极管	光电效应(光→电)
听觉	耳朵	声波	传声器、压电元件	压电效应(声波→电)
触觉	皮肤	压力、温度	振动传感器、温敏传感器、力敏传感器	压电效应(压力→电) 塞贝克效应(温度→电)
嗅觉	鼻子	气体、气味	铂传感器、氧化物传感器、离子传感器	吸附效应(气体→电;质量变化→频率变化)
味觉	舌头	味觉物质	生物化学元件	电化学效应(相互作用→电)

注:电阻、电流及电压的变化都记作电的变化。

当前,计算机应用技术、通信技术和传感技术可以说是电子信息技术的三大主要组成部分。其中,计算机和通信技术的发展相当迅速,而传感技术的发展有些滞后,因此,我国和世界各国都视传感技术为现代电子信息技术的关键技术之一。对计算机和通信技术运用自如的工程技术人员已非常多,但精通并能灵活运用传感技术的工作者却很少,这是因为传感技术需要使用模拟技术,而模拟技术有很多问题都亟待解决,这就需要进一步学习传感技术。另外,传感器的应用又极其广泛,

从家用电器到工业设备,到处都要用传感器,现在计算机为信息转换与处理提供了十分完善的手段,但若没有各种精确可靠的传感器去检测原始数据并提供真实的信息,那么,计算机也无法发挥其应有的作用。据此,作者参考有关最新资料和教学实践编写这本书。本书的特点是从实践和应用角度出发,理论为实践服务,实用性较强,主要介绍常用传感器应用电路的设计。读者可从本书中直接选用合适的传感器应用电路,还可对本书提供的电路稍加修改应用到自己设计的系统中,这样可以节省大量时间,并使系统的性能达到最佳。

本书分为10章。第1章~第9章分别介绍光敏传感器、温敏传感器、湿敏传感器、磁敏传感器、力敏传感器、气敏传感器、超声波传感器、光纤传感器与固态图像传感器等的工作原理、应用实例。第10章主要介绍光敏开关、光通量计、烟尘检测电路、温度测量电路、风速计电路、生物移动检测电路、电子湿度计、雨量计、空气监测电路、冲击加速度测量器、电子气压计、高斯计、水溶液电导率的测量电路、无功电流与功率因数测量电路等的设计与调试。

在本书编写过程中,参考了何川、王桂琴、徐茜、王慧艳、侯春明、何涛、徐天福、张明莉、薛永毅、尤克、侯莉、孙德文、苏文平、任力颖、邓善春等作者的资料,表示感谢。由于作者水平有限,书中难免有不足之处,请读者批评指正。

作 者

目 录

第 1 章 光敏传感器	1
1.1 光敏传感器的类型与原理	1
1.2 光敏二极管	2
1.2.1 工作原理	2
1.2.2 特性与参数	3
1.2.3 基本应用电路	6
1.2.4 应用实例	10
1.3 光敏晶体管	13
1.3.1 光敏晶体管的特性	13
1.3.2 光敏晶体管基本应用电路	17
1.4 光敏电阻	23
1.4.1 光敏电阻的特性	23
1.4.2 光敏电阻的应用电路	27
1.5 光电断路器	34
1.5.1 特性与工作原理	34
1.5.2 基本应用电路	36
1.5.3 光电断路器的应用实例	42
1.6 紫外线传感器	49
第 2 章 温敏传感器	55
2.1 温敏传感器的类型与特点	55
2.2 热电偶	57
2.2.1 热电偶的工作原理与类型	57
2.2.2 应用技术	59
2.2.3 热电偶应用实例	74
2.3 热电阻	82
2.3.1 热电阻的特征与接线方式	82
2.3.2 热电阻的应用电路	84
2.4 热敏电阻	91
2.4.1 原理与特性	91
2.4.2 基本应用电路	92

2.4.3	应用实例	96
2.5	集成温敏传感器	102
2.5.1	AD590 及其电路	102
2.5.2	AN6701 及其应用	106
2.5.3	LM35 及其应用	108
2.5.4	LM335/LM336 及其应用	112
2.5.5	μ PC616A 及其应用	114
2.5.6	LM334 及其应用	115
2.5.7	LX5600 及其应用	117
第3章	湿敏传感器	119
3.1	湿度的表示方法及湿敏传感器的类型	119
3.1.1	湿度的表示方法	119
3.1.2	湿敏传感器的类型	119
3.2	湿敏传感器的工作原理及电路设计要点	121
3.2.1	工作原理	121
3.2.2	湿敏传感器电路设计要点	123
3.3	湿敏传感器应用电路	124
第4章	磁敏传感器	129
4.1	磁敏传感器的类型	129
4.2	霍尔元件	130
4.2.1	霍尔效应	130
4.2.2	霍尔元件的材料和基本参数	130
4.2.3	霍尔元件的特性	131
4.2.4	霍尔元件的应用技术	133
4.2.5	霍尔元件应用电路	136
4.3	霍尔集成元件	140
4.3.1	霍尔集成元件的结构与特性	140
4.3.2	霍尔集成元件应用电路	141
4.4	磁敏电阻	145
4.4.1	磁敏电阻的工作原理与特性	145
4.4.2	强磁体磁敏电阻的特征	147
4.4.3	磁敏电阻应用电路	148
第5章	力敏传感器	151
5.1	力敏传感器的类型与工作原理	151
5.1.1	力敏传感器的类型	151

5.1.2	力敏传感器的工作原理	152
5.2	力敏传感器应用的基本电路	155
5.2.1	力敏传感器的补偿及调整技术	155
5.2.2	力敏传感器的驱动电路	157
5.2.3	力敏传感器的放大电路	163
5.2.4	力敏传感器的接口电路	171
5.3	力敏传感器的应用	176
5.3.1	压力计电路	176
5.3.2	汽车压力监视器电路	178
5.3.3	气压计与高度计电路	180
5.3.4	简易压力计电路	183
第6章	气敏传感器	187
6.1	气敏传感器的类型与工作原理	187
6.1.1	气敏传感器的类型	187
6.1.2	气敏传感器的工作原理	188
6.2	气敏传感器应用技术	191
6.2.1	气敏传感器性能改善的方法	191
6.2.2	气敏传感器输出电压获取方式	192
6.2.3	气敏传感器的温度补偿与误动作防止电路	192
6.3	气敏传感器应用实例	193
第7章	超声波传感器	199
7.1	超声波与超声波传感器	199
7.1.1	超声波的特征	199
7.1.2	超声波传感器的种类	200
7.1.3	超声波传感器的工作原理	200
7.1.4	超声波传感器的结构	201
7.1.5	超声波传感器的特性	202
7.2	超声波传感器的收发电路	204
7.2.1	超声波传感器系统的构成	204
7.2.2	超声波发送电路	205
7.2.3	超声波接收电路	208
7.3	超声波传感器应用实例	211
第8章	光纤传感器与固态图像传感器	221
8.1	光纤传感器	221
8.1.1	光纤传感器的分类及特点	221

8.1.2	光纤传感器的工作原理	222
8.1.3	光纤传感器实例	226
8.2	固态图像传感器	231
8.2.1	固态图像传感器的基本构成	231
8.2.2	线型固态图像传感器	233
8.2.3	面型固态图像传感器	235
第9章	其他传感器	239
9.1	振动与加速度传感器	239
9.1.1	振动传感器	239
9.1.2	加速度传感器	241
9.2	旋转编码器	245
9.2.1	旋转编码器的类型	245
9.2.2	旋转编码器应用电路	249
9.3	色敏传感器	255
9.3.1	色敏传感器的原理	255
9.3.2	色敏传感器的应用	256
9.4	粘度传感器与混浊度传感器	256
9.4.1	粘度传感器	256
9.4.2	混浊度传感器	259
9.5	电流传感器	261
第10章	传感器应用电路设计实例	263
10.1	光敏开关的设计	263
10.1.1	光敏开关的类型与电路构成	263
10.1.2	光敏开关的电路实例	266
10.2	光通量计的设计	268
10.2.1	电路设计	268
10.2.2	调整与测试	270
10.3	烟尘检测电路的设计	270
10.3.1	电路设计	270
10.3.2	调整与测试	272
10.4	温度测量电路的设计	274
10.4.1	采用热敏电阻的温度测量电路	274
10.4.2	采用热敏二极管的温度测量电路	275
10.5	风速计电路的设计	276
10.5.1	电路设计	276

10.5.2	调整与测试	278
10.6	生物移动检测电路的设计	279
10.6.1	电路设计	279
10.6.2	调整与测试	281
10.7	电子湿度计的设计	282
10.7.1	传感器的制作	282
10.7.2	电路设计	283
10.7.3	调整与测试	284
10.8	雨量计的设计	285
10.8.1	电路设计	285
10.8.2	调整与测试	287
10.9	空气监测电路的设计	287
10.9.1	电路设计	287
10.9.2	调整与测试	289
10.10	冲击加速度测量器的设计	290
10.10.1	电路设计	290
10.10.2	调整与测试	291
10.11	电子气压计的设计	292
10.11.1	电路设计	292
10.11.2	调整与测试	294
10.12	高斯计的设计	296
10.12.1	电路设计	296
10.12.2	调整与测试	297
10.13	水溶液电导率的测量电路	299
10.13.1	电路设计	299
10.13.2	电路调整与测试	299
10.14	无功电流与功率因数测量电路	299
10.15	噪声及其减小措施	303
10.15.1	传感器系统的构成	303
10.15.2	噪声产生的原因	304
10.15.3	减小噪声的措施	306

第 1 章

光敏传感器

1.1 光敏传感器的类型与原理

光敏传感器是把光信号转换为电信号的一种传感器,它广泛应用于自动控制、宇航、广播电视等各个领域。半导体光敏传感器由于具有体积小、重量轻、灵敏度高、功耗低、便于集成等优点,因而受到广泛的重视。本节主要介绍这类光敏传感器。

光敏传感器是基于光电效应进行工作的。这种现象是当用光照射物体时,物体受到一连串具有能量光子的轰击,物体中的电子吸收光子能量而发生相应的电效应,如电导率变化、发射电子或产生电动势等。光电效应通常分三类:

① 在光线作用下能使电子逸出物体表面的现象称为外光电效应。基于外光电效应的光电元件有光电管、光电倍增管等。

② 在光线作用下能使物体的电阻率发生改变的现象称为内光电效应。如基于内光电效应的光敏电阻等。

③ 在光线作用下能使物体产生一定方向电动势的现象称为光生伏特效应。基于光生伏特效应的光电元件有光电池、光敏晶体管等。

光敏传感器的检测对象包括可见光、不可见光,不可见光有紫外线、近红外线等。由于光的波长和电磁波的性质各不相同,因此要根据被检测对象的性质,即光的波长和响应速度来选用相应的光敏传感器。

光敏传感器主要有光敏二极管、光敏晶体管、光敏电阻 CdS、集成光敏传感器、太阳电池、图像传感器等,主要种类如表 1.1 所示。实际应用时,要选用适宜的传感器才能达到预期的效果,大致的选用原则是:高速的光检测电路、宽照度范围的照度计、超高速的激光传感器宜选用光敏二极管;数 kHz 的简单脉冲光敏传感器、简单电路中的低速脉冲光敏开关宜选用光敏晶体管;响应速度虽慢,但性能优良的电阻桥式传感器、具有电阻性质的光敏传感器、路灯自动亮灭电路中的光敏传感器、随光的强弱成比例改变的可变电阻等宜选用 CdS 和 PbS 光敏元件;旋转编码器、速度传感器、超高速的激光传感器宜选用集成光敏传感器。

表 1.1 光敏传感器的种类

分 类	名 称	材 料
PN 结	PN 光敏二极管	Si, Ge, GaAs
	PIN 光敏二极管	Si, Ge
	雪崩光敏二极管	
	光敏晶体管(光敏达林顿管)	Si
	集成光敏传感器、光敏晶闸管	Si
非 PN 结	光敏元件	CdS, CdSe, Se, PbS
	热释电元件	PZT, LiTaO ₃ , PbTiO ₃
电子管类	光电管、摄像管、光电倍增管	
其他类	色敏传感器	Si, a-Si
	固体图像传感器(有 CCD 型, MOS 型, CPD 型)	Si
	位置检测用元件(PSD)	Si
	太阳电池(光敏二极管)	Si, a-Si

为了理解光敏传感器的原理,受光部分与发光部分都是非常重要的因素。若不了解光源的波长范围,就不能选择适宜的传感器。光敏二极管一般选用发光二极管 LED 作为光源,原因是 LED 的发光波长与光敏二极管的受光特性非常类似,而且小型轻量、价格低廉。光敏二极管的受光范围非常宽,从紫外线到近红外线都具有较高的感光灵敏度,但 LED 的发光范围非常狭窄。若确定了检测对象的光源,就可以确定对应的光敏传感器,但在选择光源时不仅要考虑波长范围,还要考虑其他因素。除 LED 光源外,经常用白炽灯泡作为光源,其发光波长范围非常广,除了可见光以外还放射大量的红外线,因此,灯泡的温度显著增高。

1.2 光敏二极管

1.2.1 工作原理

光敏二极管是一种将光能变换为电能的器件,它利用了半导体的光生伏特效应的原理,即在光照射下,半导体材料吸收光子能量使电子激发。若能量大于禁带宽度的光子照射在 PN 结空间电荷区附近,在结两边产生电子-空穴对。这些光生载流子在 PN 结内建场作用下,各自向相反方向运动,即 P 区的电子穿过 PN 结进入 N 区、N 区的空穴进入 P 区,形成自 N 区向 P 区的光生电流。由于这样的载流子运动中和部分空间电荷,使内建场势垒降低,从而使正向电流增大。当光生电流和正向电流相等时,PN 结两端建立起稳定的电势差(P 区相对于 N 区是正的)就是光生电压。当入射光的强度发生变化时,光生载流子的数量也相应发生变化,因而通过光电二极管的电流也随之变化,于是在光敏二极管两端的电压也发生变化,

光敏二极管就是这样将光信号变为电信号的。

光敏二极管的种类很多,可按照使用目的、要求的精度、外部形状进行分类。主要类型有 PN 光敏二极管、PIN 光敏二极管、APD 光敏二极管、GaAsP 光敏二极管、复合型光敏二极管与光敏传感器模块等(表 1.2)。

表 1.2 光敏二极管的种类、特征及主要应用场合

类 型	主要特征	主要应用场合
PN 光敏二极管 (硅光敏二极管)	紫外线到红外线的宽范围波长的光具有较高的灵敏度;光电流与入射光强度的线性好;对微弱光也有较高的灵敏度;但响应速度比 PIN 光敏二极管慢	主要用于照度计、摄像机的露点计、频闪光灯用的光敏传感器、烟雾传感器与分光光度计等
PIN 光敏二极管 (硅光敏二极管)	响应速度快,但温度特性比 PN 光敏二极管差	主要用于光通信、激光元件与远距离光控装置等
APD (雪崩型光敏二极管)	对光电流具有放大作用;对宽范围波长的光具有较高的灵敏度;暗电流小;响应速度快	主要用于光纤通信等
GaAsP 光敏二极管	接近可见光的波长;一般用于可见光	主要用于摄像机的露点计、分光光度计等
复合型光敏二极管 PSD (位置检测用光敏二极管)	光点位置的检测;与入射光的光轴吻合	主要用于机电一体化的各种光学计等
光敏传感器模块 (集成光敏传感器)	光敏元件与信号处理电路集于一体,性能优良;片内设有放大器,输出大;数字输出型的波形上升与下降时间短	主要用于机电一体化的各种光学系统、光机电一体化装置

1.2.2 特性与参数

1. 开路电压与短路电流

光敏二极管是利用光电效应的传感器,它通常是由半导体 PN 结构成的,因此,基本上与二极管相同。图 1.1 是光敏二极管的等效电路, I_p 为光电流,近似等于短路电流 I_{sc} ; U_F 为正向电压降; C_j 为结电容,不能忽略; R_s 为串联电阻,约数 Ω ,多数情况下也可以忽略不计; R_H 为并联电阻,约数 $M\Omega \sim$ 数 $T\Omega$,多数情况下也可以忽略不计。

光敏二极管的 PN 结两端开路时,其电压称为开路电压 U_{oc} ,短路时电流称为短路电流 I_{sc} 。

若光敏二极管短路,则流过二极管的电流 I_{sc} (短路电流)与照度成比例。设照

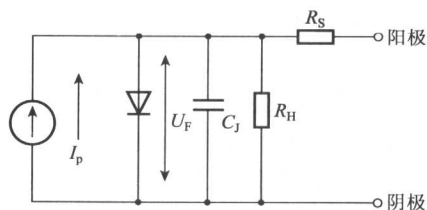


图 1.1 光敏二极管的等效电路

度为 E , 比例常数为 K , 则 $I_{sc} = KE$ 。

光敏二极管在较宽范围内具有良好的线性。短路电流的温度系数很小, 例如, BS500B 的温度系数为 $+0.02\%/^{\circ}\text{C}$ 。

光敏二极管的短路电流与二极管感光有效面积成正比, 即有效面积越大, 短路电流也越大, 但是暗电流也随之增加。

若光敏二极管输出开路, 则开路输出电压 U_{oc} 与光通量对数成正比, 即

$$U_{oc} = (kT/q) \ln(KE/I_0)$$

式中, k 为玻尔兹曼常数 ($1.4 \times 10^{-23} \text{ J/K}$), T 为热力学温度 (K), q 为电子电荷量 ($1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$), I_0 为反向饱和电流 (A)。

由上式可知, U_{oc} 的温度系数很大, 例如, 硅光敏二极管的温度系数为 $-2\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ (约 $-0.3\%/^{\circ}\text{C}$), 约为短路电流温度系数的 10 倍以上, 故常用于测量精度不高的场合。

2. 暗电流

在理想情况下, 光敏二极管的输出电流等于光电流, 但实际上, 即使光通量为 0, 也有很小的输出电流, 此电流称为暗电流。

暗电流决定了低照度时的测量界限, 并随温度与反偏压而变化, 变化幅度很大。

一般情况下, GaAsP 光敏二极管的能量间隙 E_g 较大, 暗电流小于硅光敏二极管, 但因有管壳与结晶表面的漏电流, 实际暗电流比理想值大得多。但其漏电流只是硅二极管的 $1/10$ 。

3. 光谱灵敏度特性

(1) 硅光敏二极管的光谱灵敏度特性

如果光敏二极管的入射光波长为 λ , 吸收一个光子就要产生光电流的一对载流子。为此, 光子能量 hc/λ 必须大于传感器材料的能量间隙 E_g 。

对于硅光敏二极管, 波长大于 1100nm 的光几乎不产生电流, 也就是说, 硅光敏二极管不吸收波长大于 1100nm 的光。

(2) GaAsP 光敏二极管的光谱灵敏度特性

GaAsP 光敏二极管的能量间隙比硅光敏二极管的大, 因此, 光谱灵敏度特性靠近可见光。另外, 改变 GaAsP 的混晶比, 可以改变能量间隙大小。

GaAsP 光敏二极管的峰值波长在可见光范围内, 因此, 检测可见光时, 不用加紫外线截止滤光器; 暗电流小; 开路电压大。

4. 响应特性

光敏二极管的响应特性基本上是由 PN 结的结电容 C_j 与负载电阻 R_L 决定。若设响应特性的上升时间与下降时间分别为 t_R 和 t_F , 则有

$$t_R(t_F) = 2.2 C_j R_L$$

二极管的反偏压越大, PN 结电容 C_j 越小, 因此, 在高速响应电路中必须加反

偏压使用,但暗电流也增大。

国产的光敏二极管一般有 2DU 和 2CU 两种,常用的是 2CU 型,表 1.3 列出 2CU1 和 2CU2 型光敏二极管的特性参数。表 1.4 和表 1.5 示出日本产 PN 和 PIN 光敏二极管的特性参数。

表 1.3 2CU1 和 2CU2 型光敏二极管的特性参数

型 号	最高工作 电压/V	暗电流 / μA	光电流 / μA	灵敏度 / $(\mu\text{A}/\mu\text{W})$	峰值波长 /mm	结电容 /pF	上升时间 /ns	下降时间 /ns
2CU1A	10	≤ 0.2	≥ 80	≥ 0.5	880	≤ 5	≤ 50	≤ 8
2CU1B	20							
2CU1C	30							
2CU1D	40							
2CU1E	50							
2CU2A	10	≤ 0.1	≥ 30	≥ 0.5	880	≤ 5	≤ 50	≤ 8
2CU2B	20							
2CU2C	30							
2CU2D	40							
2CU2E	50							

表 1.4 PN 光敏二极管的特性参数

型 号	响应波长
SPD102 SPD550	可见光~近红外线
SPD110 SPD541	
SPD331 SPD550	
SPD500 SPD570	
SPD511 PD500U	
SPD530 PD520U	
SPD540	
S1216 S1087-01	可见光~近红外线
S1227 S1087-03	
S1336 S1133	
S1337 S1133-01	
S874 S1133-03	
S8875 S1133-05	
S10887 S1133-14	
MP-55 MP-22C	近红外线~红外线
MP-1010B MP-44H	
MBC-2014CF MBC-3026CF	可见光
MBC-3127CF	
SP-1KL	可见光~近红外线
PPC501C	可见光~近红外线
TPS708	可见光~近红外线

表 1.5 PIN 光敏二极管的特性参数

型 号	响应波长
PD41 PI PD43 PI PD46 PI PD50 PI PD80 PI	可见光~近红外线 近红外线
S1188 S1633 S1190 S1722 S1223 S1723	可见光~近红外线
PH301 PH305 PH302	可见光~近红外线
TPS703 TPS703A	近红外线(带滤光片)
MI-11H MI-11HL MI-1515H-3P MI-33H	近红外线
5082-4203 4204 4205 4207 4220	可见光~近红外线
PPC903M PPC904M 13PD100 15PD100 35PD300 35PD500	可见光~近红外线 近红外线 (光通信用)

1.2.3 基本应用电路

图 1.2 是光敏二极管与晶体管构成的简单放大电路。图 1.2(a) 是采用单个晶体管的放大电路, 电路的输出电压 $U_o = R_f [I_p + (I_c/h_{FE})] + U_{BE}$ 。式中, R_f 为反馈电阻, I_p 为光敏二极管 VD 的光电流, h_{FE} 为晶体管 VT 的电流放大系数, U_{BE} 为 VT 的基极-发射极间电压, 约为 0.65V。图 1.2(b) 是增设射极跟随器 VT₂ 的电路, 增大了电路的输出功率。图 1.2(c) 是在晶体管 VT₁ 的基极-发射极间增设电阻 R_B 的电路, 可以调整输出电平。输出电压 $U_o = R_f [I_p + (I_c/h_{FE})] + [(R_f/R_B) + 1]U_{BE}$ 。

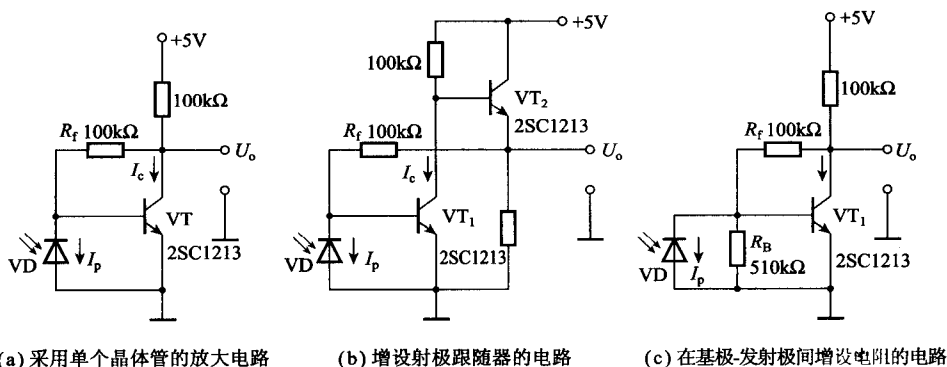


图 1.2 光敏二极管与晶体管构成的简单放大电路

这些电路的增益决定于一个晶体管的电流放大系数 h_{FE} , 输入偏置电流 I_c/h_{FE} 较大, 其值的分散性也较大。因此, 不能得到所期望的输出直流电平的稳定性。需要有良好的特性时, 可采用与运算放大器组合的电路。但这些电路的输入阻抗低, 响应速度高。

图 1.3 是光敏二极管与运算放大器构成的放大电路(之一)。这是采用运算放大器的线性放大电路, 图(a)是无偏置电压的电路, 受暗电流的影响小, 对于微小照度, 可以保持照度与输出成线性比例关系。图(b)是施加反向偏置的电路, 这时光敏二极管的结电容变小, 适用于高速工作。然而, 不能忽视高温时暗电流增大、光电流变小的情况。图(c)是消除暗电流影响的电路, 采用电容 C_1 进行交流耦合方式, 不放大直流成分的信号(暗电流)。光敏二极管的光电流一般都很小, 小到 $1\mu A$ 以下, 而放大电路中反馈电阻也采用 $1M\Omega$ 量级的电阻。这时, 运算放大器输入偏置电流的影响不能忽略, 因此, 要选用输入偏置电流小的 FET 输入型运算放大器, 例如, MOSFET 输入型 CA3130 等运算放大器, JFET 输入型 TL061、TL084 等运算放大器, 但 JFET 输入型运算放大器在高温时输入偏置电流增加非常显著, 使用时应注意这一点。

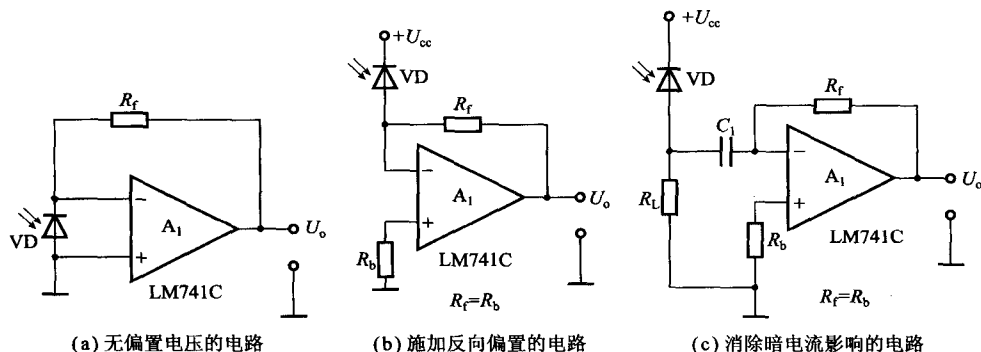


图 1.3 光敏二极管与运算放大器构成的放大电路(之一)

图 1.4 是光敏二极管与运算放大器构成的放大电路(之二),这是入射光的照度范围非常宽时采用的电路。在图 1.3 所示的电路中,若反馈电阻 R_f 根据入射光通量进行切换,则输出变为饱和状态,这种情况用于照相机的曝光等。作为切换电阻来覆盖宽范围照度的方法,有将光电流变换为对数输出电压的方法(参见图 1.3(a), VD_1 为对数二极管),还有利用二极管电压-电流特性的方法(图 1.3(b))。

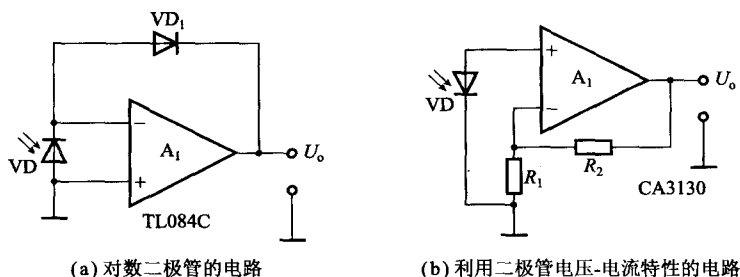


图 1.4 光敏二极管与运算放大器构成的放大电路(之二)

图 1.5 是调制光检测电路。光敏二极管接收光的照射时,经常受到太阳光与荧光灯等干扰光的影响。为了正确传输信号,要采用被正弦波或脉冲波调制的调制光,受光电路采用交流放大电路,在其频带对调制光进行放大,而干扰光被抑制。图 1.5(a)所示电路用于检测采用脉冲(频率为 38kHz、占空比为 1/2)驱动的红外发光二极管发出的光。电路中, C_2 为交流耦合电容,由于 VD 接收的信号非常小,采用 VT_1 (FET 管) 进行放大, R_1 与 C_1 用于防止噪声混入 VD 的反偏置电压中。

图 1.5(b)是采用运算放大器的调制光检测电路。电路对于直流光的增益非常低,而对于调制光的增益非常高,即对于光信号的直流成分的反馈电阻为 $R_1 + R_2$,即 $100k\Omega + 10k\Omega$ 对于调制成分的反馈电阻为 R_3 ($3M\Omega$)。因此,对于 $10\mu A$ 左右的直流成分其输出不饱和,对于调制光有较大增益。

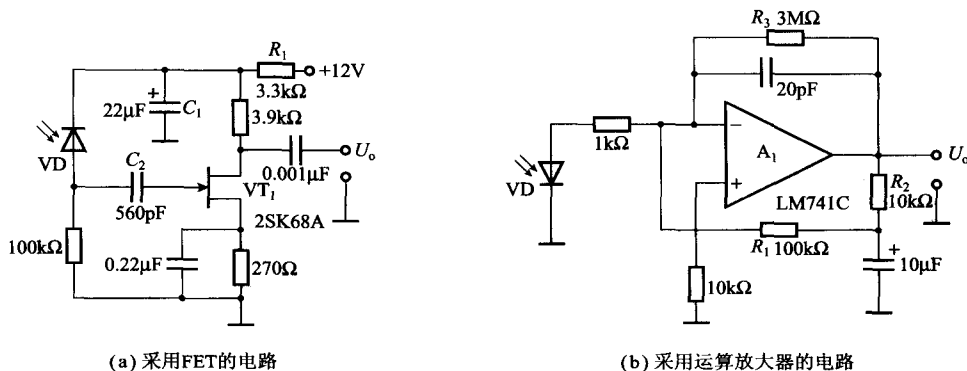


图 1.5 调制光检测电路

图 1.6 是遥控器中的接收电路。电路中的 VD 采用红外光敏二极管 TPS-604, VD 接收到被调制的红外线信号, 其输出信号经 VT_1 (FET) 进行前置放大, 最后通过晶体管 VT_2 进行放大。

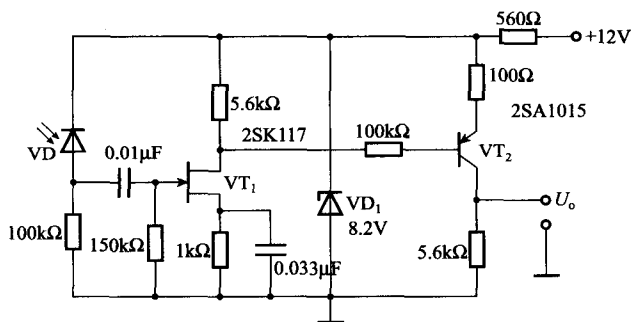


图 1.6 遥控器中的接收电路

图 1.7 是光通量-频率转换电路。图 1.7(a)是可编程单结晶体管构成的电路, 单结晶体管 VT 采用 N13T1。电路简单, 消耗电流为数 μA 以下, 但光电流的动态范围较窄, 用途有限。它不适用于对线性有要求的场合, 而且在频率的高、低端电路有可能停振。但设定频率低端测量光通量阈值时, 可根据 VT 的门极电阻与光电流的关系计算并测量光通量的下限。

图 1.7(b)是采用 NE555 构成的电路, 输入偏置电流为 pA 数量级, 因此, 最适宜处理微小的信号电流。由 NE555 片内比较器监视定时电容 C 上的充电电压, 在电源电压的 $1/2$ 与 $2/3$ 的范围内 C 进行充电, 使电路产生持续振荡。电路中由于充电电阻处接入光敏二极管 VD, 因此, 充电时间与光电流大小成反比例缩短, 这样, 光强度与频率成比例关系。但 $C=0.001\mu F$ 时需要约 $1\mu s$ 的放电时间, 振荡频