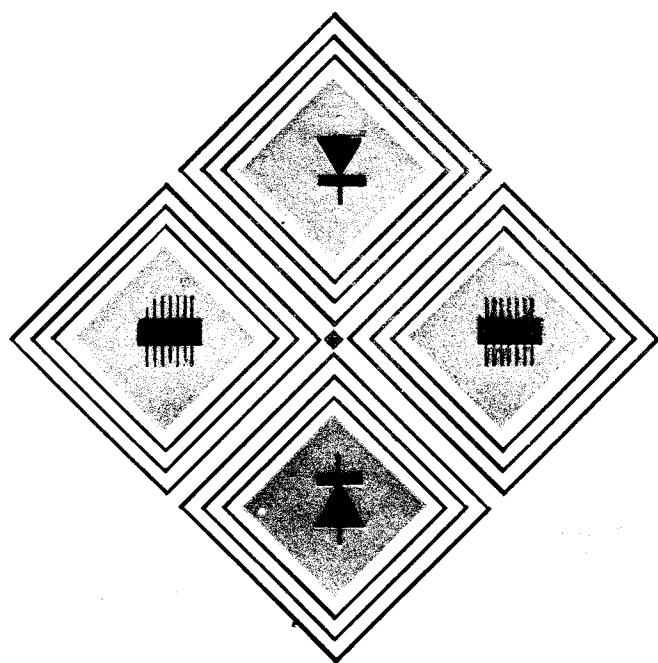




冲数字电路及其应用 下

清华大学无线电系刘宝琴 郑君里等编著·人民邮电出版社

内 容 提 要

本书是清华大学无线电系1976年编著的《晶体管脉冲电路和数字集成电路》上、下册的修订版本，分上、中、下三册出版。新版保留了原版书深入浅出、理论联系实际、以讲清物理概念为重点的特色，并增添和改写了三分之二的內容，反映了近几年来数字电路技术的新发展和新应用，易名为《脉冲数字电路及其应用》。上册和中册介绍了数字电路及其逻辑设计，这本下册将介绍：数字系统的定时、波形产生和变换；数字的存储；码制变换和数码显示；数字和模拟之间的相互转换；数字系统的整体设计和检测仪表等。本书适合大学通信、雷达、计算机、自动控制等专业学生及有关部门工作人员自学参考。

脉冲数字电路及其应用

下 册

清华大学无线电系刘宝琴 郑君里等编著

人 民 邮 电 出 版 社 出 版

北京东长安街27号

河南省邮电印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

开本：787×1092 1/32 1985年2月第一版

印张：18 4/82 页数：290 1985年2月河南第一次印刷

字数：413 千字 印数：1—21,000册

统一书号：15045·总2919-无6297

定价：2.25元

目 录

第二十章 集成运算放大器和数字集成电路的开关特性	1
1. 集成运算放大器	1
1.1 集成运算放大器概述	1
1.2 集成运算放大器电路举例	7
2. 负反馈运算放大器的三种基本接法	11
2.1 反相型	11
2.2 同相型	12
2.3 差动式	13
3. 模拟信号运算电路	14
3.1 比例器	14
3.2 加法器	15
3.3 减法器	16
3.4 积分器	17
3.5 微分器	18
4. 集成电压比较器	18
4.1 集成电压比较器概述	18
4.2 BG 307 集成电压比较器	19
5. 集成 TTL 与非门的开关特性	22
[附 1] TTL 门的输出特性讨论	25
[附 2] TTL 门的反馈电阻	25
第二十一章 鉴幅器	27
1. 晶体管射极耦合触发器	27
1.1 工作原理	27

1.2 回差现象及抑制	32
2. 运算放大器构成的施密特触发器	34
3. TTL 与非门构成的鉴幅器	36
4. 集成施密特触发器电路	42
4.1 TTL 施密特触发器集成电路	42
4.2 CMOS 施密特触发器集成电路	44
第二十二章 单稳态电路	46
1. 晶体管单稳态电路	46
1.1 集基耦合单稳态触发器	46
1.2 集基耦合单稳态电路的改进	55
2. 运算放大器构成的单稳态触发器	57
3. 集成与非门构成的单稳态触发器	59
3.1 TTL 微分型单稳态触发器	59
3.2 TTL 积分型单稳态触发器	63
3.3 TTL 准单稳态电路	66
[附] 利用 D 触发器构成的单稳态电路	67
3.4 CMOS 门构成的单稳态电路	67
3.5 ECL 门构成的单稳态电路	69
3.6 可重触发的单稳态电路	70
4. 集成单稳态电路	72
4.1 TTL 单稳态集成电路	72
4.2 可重触发的单稳态集成电路	76
4.3 HTL 单稳态集成电路	82
4.4 PMOS 单稳态集成电路	83
4.5 CMOS 单稳态集成电路	85
第二十三章 多谐振荡器	88
1. 晶体管多谐振荡器	88
1.1 工作原理	88

1.2 振荡周期的计算	92
1.3 多谐振荡器的改进电路	93
2. 运算放大器构成的多谐振荡器	94
3. TTL与非门构成的多谐振荡器	97
3.1 基本电路	97
3.2 简易的多谐振荡器	99
[附] CMOS 多谐振荡器	101
3.3 方波振荡器	102
3.4 带 RC 电路的环行振荡器	103
4. 定时集成电路	107
5. 高速多谐振荡器	111
5.1 工作原理	113
5.2 重复周期的计算	115
5.3 电路举例	117
6. 压控振荡器	119
第二十四章 锯齿电压发生器	123
1. 引言	123
1.1 示波管简介	123
1.2 锯齿波	124
1.3 锯齿电压	126
2. 简单的电压扫描电路	127
3. 改善线性的方法及电路	131
3.1 恒流源扫描电路	131
3.2 自举电路	135
3.3 电容负反馈电压扫描电路	142
[附 1] SBM-10 示波器的扫描电路	148
[附 2] 同步式固定幅度扫描发生器	149
3.4 锯齿电压发生器	153

第二十五章 锯齿电流发生器	160
1. 引言	160
2. 简单的锯齿电流发生器	161
3. 常用的锯齿电流发生器	165
3.1 偏转线圈的等效电路	165
3.2 梯形电压	166
3.3 梯形电压的产生	169
3.4 锯齿电流发生器	172
[附 1] 电视行扫描电路	175
[附 2] 功率晶体管的击穿特性和保护	182
第二十六章 间歇振荡器	187
1. 他激间歇振荡器	187
1.1 简单工作过程	187
1.2 他激间歇振荡器的设计计算	190
2. 自激间歇振荡器	194
2.1 简单工作过程	194
2.2 自激间歇振荡器的设计计算	198
3. 间歇振荡器的同步与分频	201
[附] 击振电路	206
第二十七章 负阻器件脉冲电路	214
1. 隧道二极管及其应用	214
1.1 隧道二极管和反向二极管	214
1.2 隧道二极管脉冲电路	222
2. 双基极二极管及其应用	233
2.1 双基极二极管特性	233
2.2 双基极二极管振荡器	236
第二十八章 大规模集成电路	244
1. MOS 组合逻辑电路	245

1.1 基本的 MOS 电路	245
1.2 几种典型的组合逻辑电路	251
1.3 MOS 算术逻辑单元	256
2. MOS 移位寄存器	260
3. 随机存取存储器(RAM)	267
3.1 RAM 的结构	269
3.2 RAM 的存储单元	273
3.3 RAM 的使用	290
4. 只读存储器(ROM)	304
4.1 引言	304
4.2 ROM 的结构与工作原理	305
4.3 ROM 应用举例	316
5. 可编程逻辑阵列(PLA)	322
5.1 结构与工作原理	322
5.2 PLA 逻辑阵列的简化	337
5.3 现场可编程逻辑阵列(FPLA)	338
5.4 PLA 的扩充	340
第二十九章 码制转换器与数码显示器	343
1. 二进制数与格雷码的相互转换	343
2. 二进制整数与8.4.2.1二-十进制整数的相互转换	346
2.1 二进制整数到8.4.2.1二-十进制整数的转换	346
2.2 8.4.2.1二-十进制整数到二进制整数的转换	356
3. 数字显示与译码驱动器	366
3.1 辉光数字管和十进制译码器	367
3.2 七段字形显示器和七段译码器	374
3.3 点阵式显示器和字符发生器	388
第三十章 数字-模拟转换器和模拟-数字转换器	391
1. 引言	391

2. 并行数字-模拟转换器	392
2.1 权电阻解码网络	396
2.2 T型 解码网络(梯形网络)	399
[附] 变形权电阻网络	404
2.3 电流相加式解码网络(等电流源梯形网络)	406
[附] 解码网络中的恒流源	408
2.4 倒梯形电阻网络	409
2.5 权电流型数字-模拟转换器	411
2.6 权电容网络	415
2.7 树状开关网络	418
3. 数字-模拟转换器实例	418
3.1 7520 型数字-模拟转换器	418
3.2 AD 562 数字-模拟转换器	422
3.3 DAC 08 数字-模拟转换器	425
4. 数字-模拟转换器的主要参数	429
5. 数字-模拟转换器应用举例	433
6. 模拟-数字转换器的主要参数	436
7. 采样-保持和模拟多路选择器	439
7.1 采样定理	439
7.2 采样-保持电路	439
7.3 采样-保持电路的主要参数	445
7.4 模拟多路输入的转接	447
8. 直接的模拟-数字转换器	448
8.1 并行模拟-数字转换器	448
8.2 并串行模拟-数字转换器	454
8.3 计数斜坡式模拟-数字转换器	458
8.4 跟踪式模拟-数字转换器	460
8.5 逐位比较型模拟-数字转换器	461
9. 间接的模拟-数字转换器	471

9.1 频率-数字转换器	472
9.2 时间-数字转换器	472
9.3 电压-频率转换器	473
9.4 电压-时间转换器	474
9.5 双斜积分模拟-数字转换器	475
第三十一章 数字系统的设计基础	482
1. 引言	482
2. 寄存器传送语言	483
2.1 寄存器相互传送微操作	485
2.2 算术运算微操作	487
2.3 逻辑运算微操作	488
2.4 移位微操作	489
3. 处理器	492
3.1 算术逻辑单元的设计	493
3.2 状态寄存器	499
3.3 母线结构	500
3.4 移位器	502
3.5 处理器设计举例	505
4. 控制器	510
4.1 每个状态一个触发器的控制器	512
4.2 时序寄存器和译码器构成的控制器	522
4.3 PLA 型控制器	526
4.4 微程序控制器	530
第三十二章 数字电路故障分析与检测仪表	545
1. 数字电路故障分析	545
1.1 常见故障	546
1.2 故障的分析与排除	550
2. 逻辑探头和脉冲注入笔	552
2.1 逻辑探头	552

2.2 脉冲注入笔	554
3. 逻辑分析仪	555
3.1 字触发	556
3.2 数字延迟线	557
3.3 触发信号可变延时器	558
3.4 显示发生器	558
3.5 逻辑分析仪基本结构	561
编后记	564
参考书目	566

第二十章 集成运算放大器和 数字集成电路的开关特性

在数字系统中，经常采用一些模拟电路，特别是作为定时、波形产生和变换的脉冲电路。此外，为了数字系统和外界交换信息，也常需要将数字量和模拟量进行互相转换的转换电路。下面的几章将讨论各种常见的脉冲电路、数字-模拟转换电路和模拟-数字转换电路，本章将介绍这些电路中经常使用的运算放大器的主要特性，以及数字集成电路的开关特性。

1. 集成运算放大器

1.1 集成运算放大器概述

集成运算放大器是一种高增益、直接耦合的多级集成放大器，它可以用来进行模拟信号的数学运算，故有“运算放大器”之称。严格讲，运算放大器属于模拟电路范畴。因此，运算放大器的详细讨论请参阅其它有关书籍，本书只做一些基本介绍。

运算放大器常用三角形符号(三角形内注有 A 字)表示，如图 20.1.1 所示。它有两个输入端，分别用“+”、“-”号表示。“-”端称为反相输入端，表示信号从该端输入时，在输出端得到一个相位相反的放大信号，该输入信号以 v_n (或 v_-) 表示；

“+”端称为同相输入端，表示信号从该端输入时，在输出端得到一个相位相同的放大信号，该输入信号以 v_p (或 v_+) 表示。另外，还有一个输出端，输出信号电压用 v_{sc} 表示。

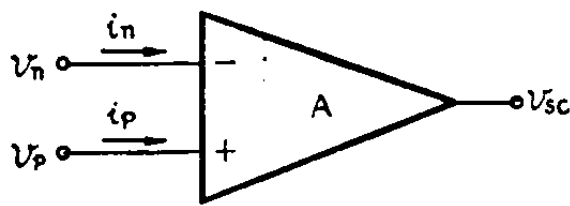


图 20.1.1 运算放大器符号

实际上，一个运算放大器有十多个引出端（正电源端、负电源端、地端等），每个端子的作用在产品说明书上均已标明，一般在符号上就不再标注了。

运算放大器的主要性能参数有：

(1) 电压增益 A_d

电压增益又称差模电压增益或开环电压增益。它代表输出信号电压与两个输入端信号电压差值的比，以 A_d 表示，即

$$A_d = \frac{v_{sc}}{v_d}$$

式中 $v_d = v_p - v_n$ 称为差模输入。 A_d 用 dB(分贝)表示，则

$$A_d = 20 \lg \left| \frac{v_{sc}}{v_d} \right|$$

通常 $A_d = 10^3 \sim 10^5$ (即 60~100 dB)。

(2) 输入电阻

两个输入端之间的等效内阻称为差模输入电阻或开环输入电阻，用 R_{srd} 表示。

每个输入端对地之间的等效内阻称为共模输入电阻，用 R_{src} 表示。

(3) 输出电阻

开环工作时，运算放大器的等效输出内阻称为输出电阻，或开环输出电阻，用 R_{sc} 表示。通常 R_{sc} 在百欧以下。

(4) 共模抑制比 CMRR

差模电压增益 A_d 与共模电压增益 A_c [注1] 之比的绝对值称为共模抑制比, 用 CMRR 表示。即

$$\text{CMRR} = \left| \frac{A_d}{A_c} \right|$$

用 dB(分贝)表示, 则

$$\text{CMRR} = 20 \lg \left| \frac{A_d}{A_c} \right|$$

通常, CMRR 为 $10^3 \sim 10^5$ (即 $60 \sim 100$ dB)。

(5) 输出幅度

不出现削波失真或明显非线性失真条件下的最大输出电压值称为输出幅度, 用 $V_{sc\max}$ 表示, 也可用输出电压的峰-峰值 V_{p-p} 表示。

(6) 输入失调电压 V_{i0}

由于输入级不可能完全对称, 因此, 当输入信号电压 v_n 和 v_p 均为零时, 输出电压不为零, 这一现象称为放大器的失调。如果静态时, 欲使放大器输出为零, 则输入端必须加一补偿电压, 这个补偿电压即为失调电压 V_{i0} 。 V_{i0} 越小, 表明放大器的对称性越好。

(7) 输入失调电流 I_{i0} :

输入级失调电流是指在零输入电压 [注2] 下, 两个输入端的基极电流之差, 即

$$I_{i0} = I_{b1} - I_{b2}$$

[注1] 当两个输入端加上大小相等、极性相同的信号电压即 $v_p = v_n = v_{sr}$ 时, 称为共模输入。共模电压增益 A_c 代表输出信号电压与共模输入电压之比, 即 $A_c = \frac{v_{sc}}{v_{sr}}$ 。

[注2] 零输入电压系指 $v_n = v_p = 0$ 。

(8) 输入偏置电流 I_b :

输入偏置电流是指在零输入电压下，两个输入端的基极电流之和的一半，即

$$I_b = \frac{I_{b1} + I_{b2}}{2}$$

(9) 温漂

在规定的工作温度范围内， V_{i0} 随温度变化的平均变化率称为输入失调电压温漂，以 $\frac{\Delta V_{i0}}{\Delta T}$ 表示。

在规定的工作温度范围内， I_{i0} 随温度变化的平均变化率称为输入失调电流温漂，以 $\frac{\Delta I_{i0}}{\Delta T}$ 表示。

(10) 输入电压范围:

运算放大器两个输入端之间的电压差值超过一定范围时，运算放大器的输入级管子将进入饱和或截止状态，失去线性放大作用。保证放大器线性运用的最大输入电压值称为差模输入电压范围 V_{idR} 。

运算放大器所加共模信号电压超过某一值时，运算放大器的共模抑制比将显著下降，甚至不能正常工作，此最大电压称为共模输入电压范围 V_{icR} 。

(11) 开环频带宽度

运算放大器开环增益下降 3 dB 处的频带宽度称为开环频带宽度。也可以用开环增益下降到 0 dB 的单位增益带宽来反映器件的高频性能。

(12) 输出电压上升率

当输入信号作大幅度跳变时，输出电压的变化速率的极限值，称为电压上升率，用 SR 表示。也可以用输出电压的响应

时间 t_r 来表示器件的工作速度。

(13) 静态功耗

当输入信号为零时，整个电路的总耗电量称为静态功耗 P_{CM} 。也可以用电源电流 I_c 反映器件的功耗。

运算放大器的低频等效电路如图 20.1.2 所示。通常，集

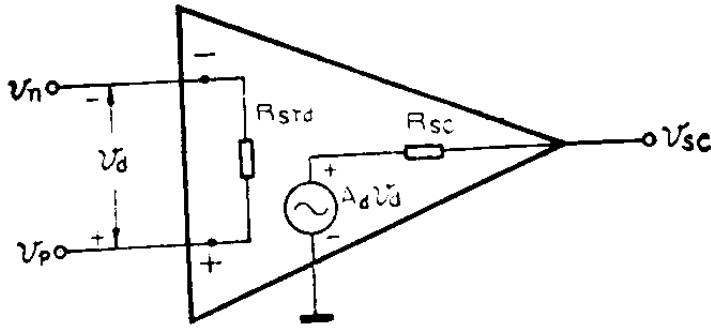


图 20.1.2 运算放大器的低频等效电路

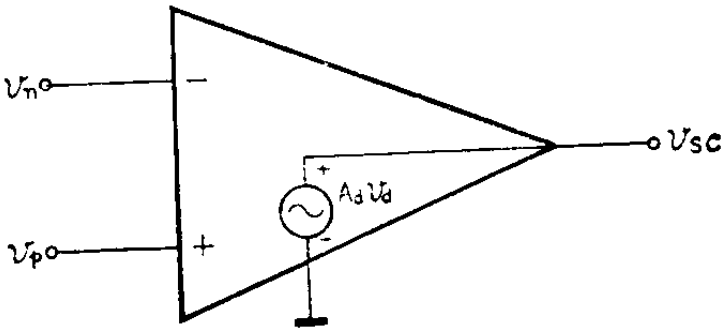


图 20.1.3 理想运算放大器模型

成运算放大器具有很高的开环增益、很高的输入阻抗和很低的输出阻抗，而且，随着集成工艺水平的不断提高、电路的不断改进，这些技术指标可达到很高的水平。因此，在工程应用中，可以把运算放大器理想化。理想运算放大器的模型如图 20.1.3 所示，并认为：

- 开环差值电压增益 $A_d = \infty$ ；
- 开环输入电阻 $R_{srd} = \infty$ ， $R_{src} = \infty$ ；
- 输出电阻 $R_{sc} = 0$ ；

频带宽度为无穷大；
共模抑制比(CMRR)为无穷大；
失调、漂移和内部噪声为零。

把实际的运算放大器视为理想的运算放大器，可使电路的分析、计算大大简化，而且又不致于造成太大的误差。

由上述理想条件可以导出简化分析运算放大器的两条重要结论：

(1) 理想运算放大器的输入电流为零。即

$$i_n = i_p = 0$$

这一结论是根据理想运算放大器的输入阻抗为无穷大而得出的。

(2) 理想运算放大器的两个输入端电压差为零。即

$$v_n = v_p$$

或

$$v_d = v_p - v_n = 0$$

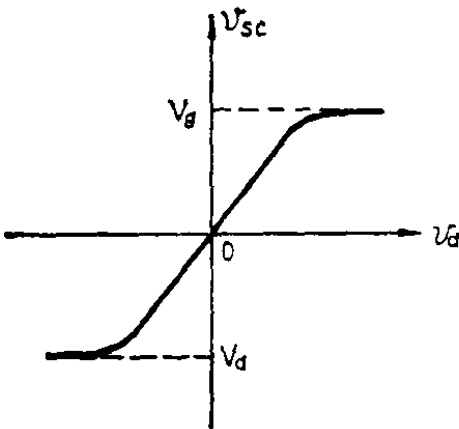


图 20.1.4 运算放大器的传输特性

这一结论是根据理想运算放大器的差值电压增益 A_d 为无穷大、输出电压 V_{sc} 为有限值而得出的。因此，该结论对线性运用的负反馈理想运算放大器是正确的。

运算放大器的传输特性如图 20.1.4 所示，它表示运算放大器的线性放大区是有一定范围的。在放大区之外，运算放大器处于饱和或截止状态，输出电压不再随输入电压成比例地变化，而为一固定值。

1.2 集成运算放大器电路举例

集成运算放大器一般由输入级、中间级和输出级三大部分组成。输入级通常都采用差动式放大电路；中间级常用差动式放大电路或单级共发射极放大电路；输出级多采用互补推挽电路。

(一) 8FC2 集成运算放大器

8FC2 集成运算放大器电路如图 20.1.5 所示。下面分析其工作原理。

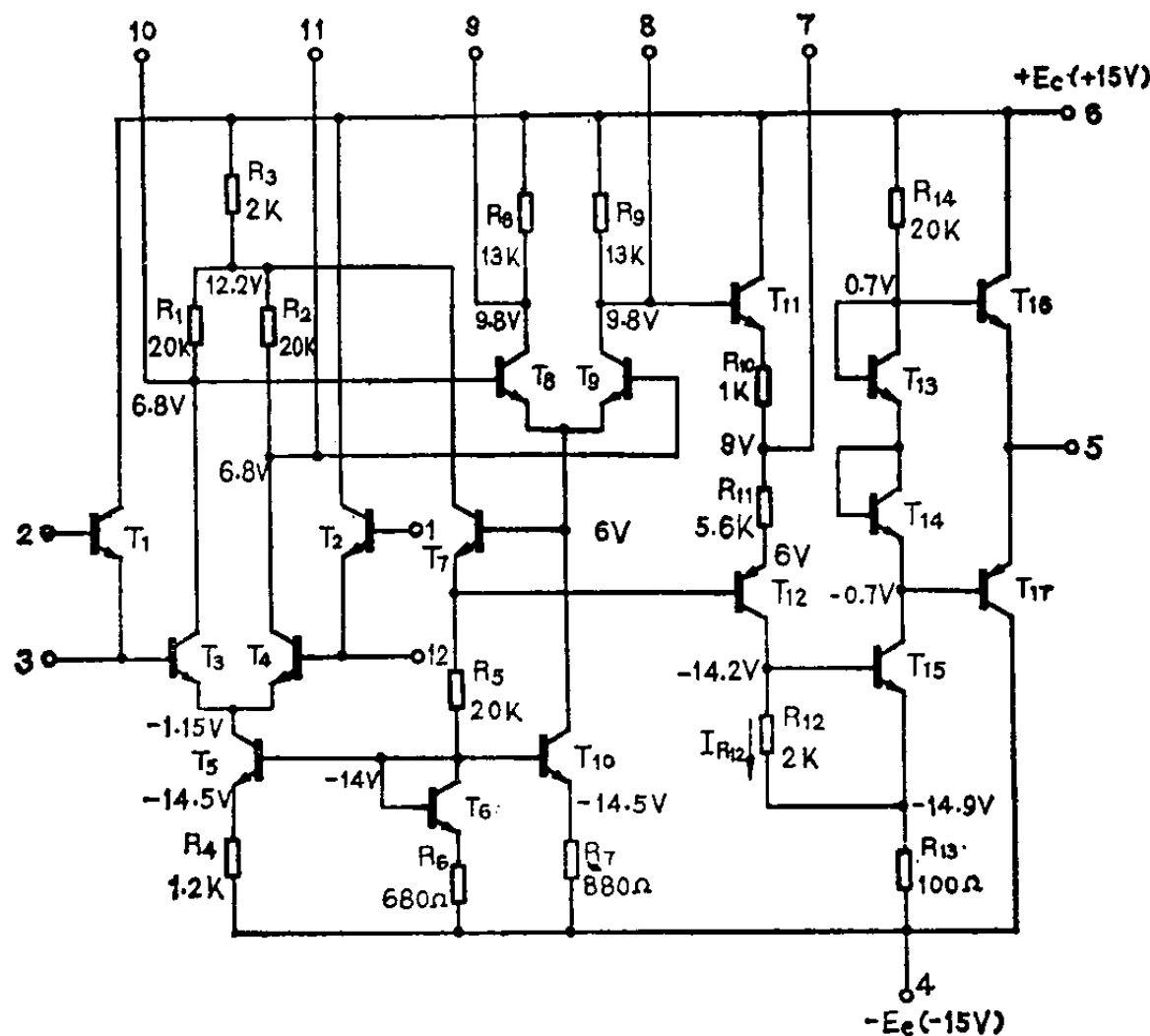


图 20.1.5 8FC2 电原理图

1 或 12 为运算放大器的反相输入端，2 或 3 是同相输入端。5 为输出端。4 端接 -15 V 电源，6 端接 $+15\text{ V}$ 电源。8 和 11，9 和 10，7 和 5 端