

第 3 章 模拟多路开关

3.1 概述

模拟多路开关是一种重要的器件，在多路被测信号共用一路 A/D 转换器的数据采集系统中，通常用来将多路被测信号分别传送到 A/D 转换器进行转换，以便计算机能对多路被测信号进行处理。

多路开关分为两类：一类是机电式：大电流，高电压，低速切换场所；

一类是电子式：小电流，低电压，高速场所。

电子多路开关根据其结构可分为双极型晶体管开关、场效应晶体管开关、集成电路开关三种类型。

3.2 多路开关的工作原理及主要技术指标

3.2.1 多路开关工作原理

1. 双极型晶体管开关

图 3.2 所示为双极型晶体管开关电路。

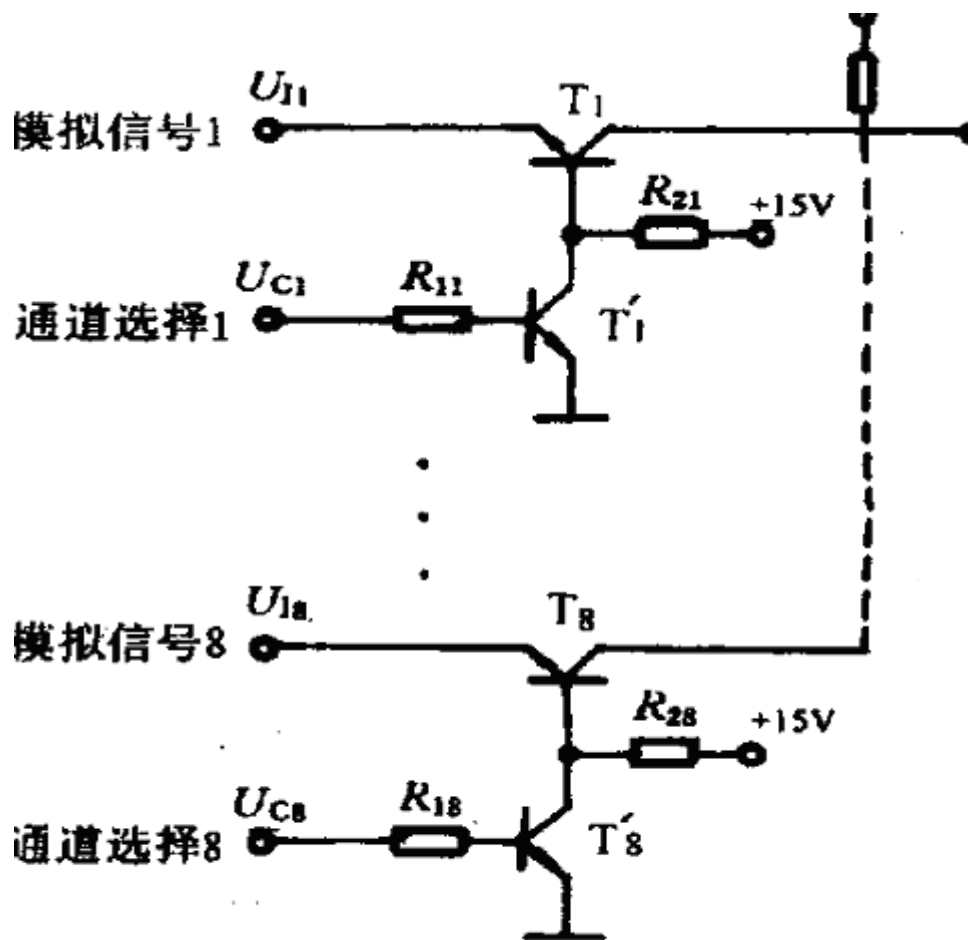


图 3.2 双极型晶体管开关电路

开关速度快，但漏电流大，开路电阻小，而导通电阻大。为电流控制器件，基极控制电流会流入信号源。

2. 场效应管开关

(1) 结型场效应晶体管开关

图 3.3 所示为 8 路 P 沟道结型场效应管多路开关。

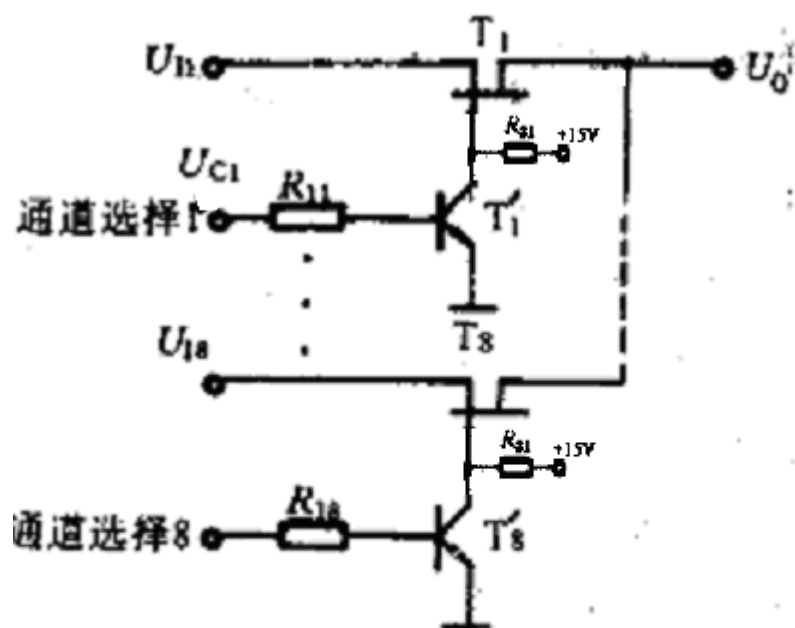


图 3.3 结型场效应管多路开关

(2) 绝缘栅场效应管开关

图 3.4 所示为 8 路 P 沟道绝缘栅场效应管多路开关。

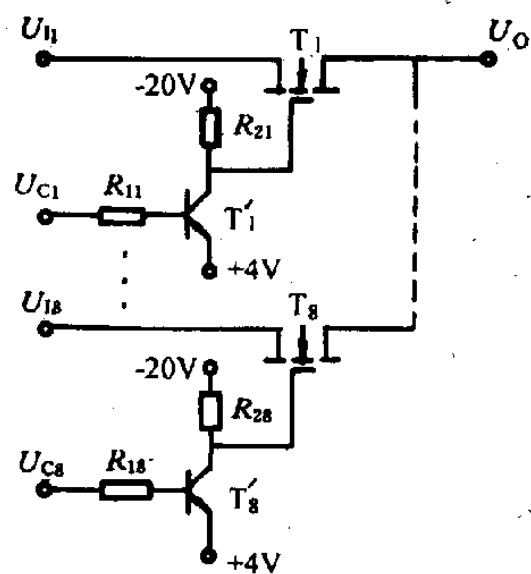


图 3.4 绝缘栅场效应管多路开关

3. 集成多路开关：多路开关、计数器、译码器配合使用。

下图为一个 16 路的集成多路开关，模拟量输入部分由 16 个漏极连在一起的场效应管开关所组成。

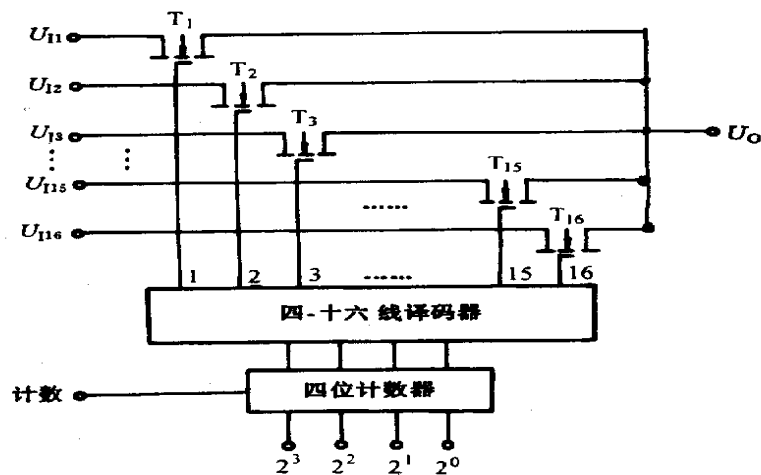


图 3.5 集成电路多路开关

3.2.2 多路开关的主要技术指标

R_{ON} : 导通电阻;

R_{ONVS} : 导通电阻温度漂移

I_C 开关接通电流;

I_S 漏电流

C_S 开关断开时, 开关对地电容

C_{OUT} 开关断开时, 输出端对地电容

T_{ON} 选通信号 EN 达到 50% 时到开关接通时的延迟时间;

T_{OFF} 选通信号 EN 达到 50% 时到开关断开时的延迟时间;

T_{OPEN} : 开关切换时间。

3.3 多路开关集成芯片

3.3.1 无译码器的多路开关

无译码器的多路开关有 TL182C, AD7510, AD7511, AD7512 等。下图示为 AD7510 芯片结构。

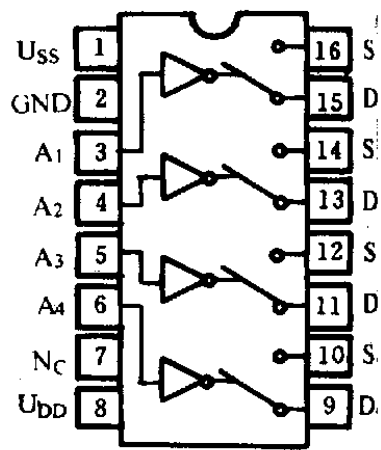


图 3.6 AD7510 芯片

3.3.2 有译码器的多路开关

1. AD7501 (AD7503)

AD7501 (AD7503) 管脚功能。

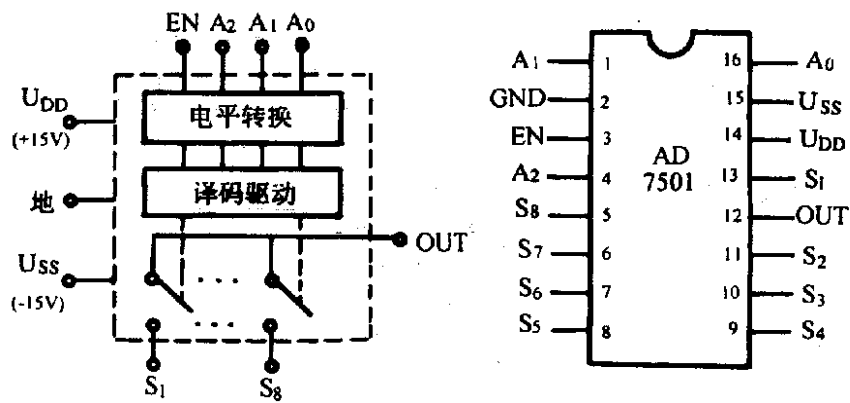


图 3.7 AD7501 (AD7503) 芯片结构及引脚功能

AD7501 的真值表:

表 3.1 AD7501 真值表

A ₂	A ₁	A ₀	EN	导通
0	0	0	1	1
0	0	1	1	2
0	1	0	1	3
0	1	1	1	4
1	0	0	1	5
1	0	1	1	6
1	1	0	1	7
1	1	1	1	8
×	×	×	0	无

2. AD7502

AD7502 芯片管脚功能图。

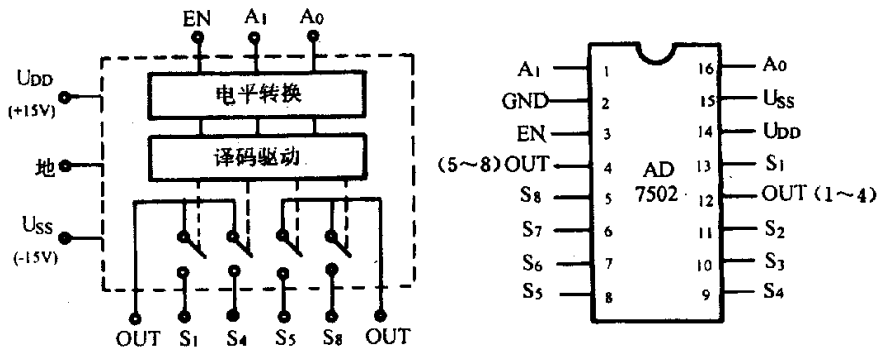


图 3.8 AD7502 芯片结构及引脚功能

AD7502 真值表:

表 3.2 AD7502 真值表

A ₁	A ₀	EN	接通通道
0	0	1	1 和 5
0	1	1	2 和 6
1	0	1	3 和 7
1	1	1	4 和 8
×	×	0	无

注意:AD7501,AD7502,AD7503 芯片都是单向多到一的多路开关,即信号只允许从多个(8个)输入端向一个输出端传送。

3. CD4501

CD4501 芯片结构及管脚功能图：允许双向使用。

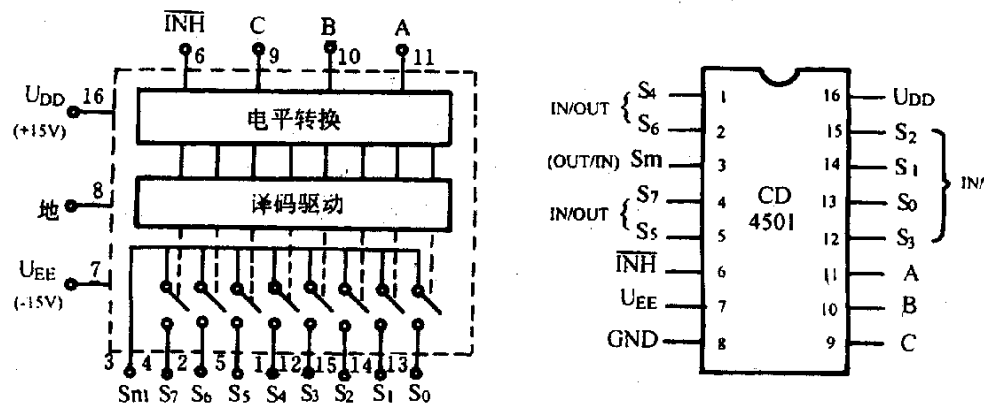


图 3.9 CD4501 芯片结构及引脚功能

真值表：

表 3.3 CD4501 真值表

$\overline{\text{INH}}$	C	B	A	接通通道
0	0	0	0	S_0
0	0	0	1	S_1
0	0	1	0	S_2
0	0	1	1	S_3
0	1	0	0	S_4
0	1	0	1	S_5
0	1	1	0	S_6
0	1	1	1	S_7
1	x	x	x	无

4.CD4502: 4 通道双刀结构

CD4502 芯片结构及管脚功能图，真值表：

表 3.4 CD4502 真值表

输 入			接 通 通 道	
$\overline{\text{INH}}$	A	B	X	Y
0	0	0	0	0
0	0	1	1	1
0	1	0	2	2
0	1	1	3	3
1	x	x	均 不 通	

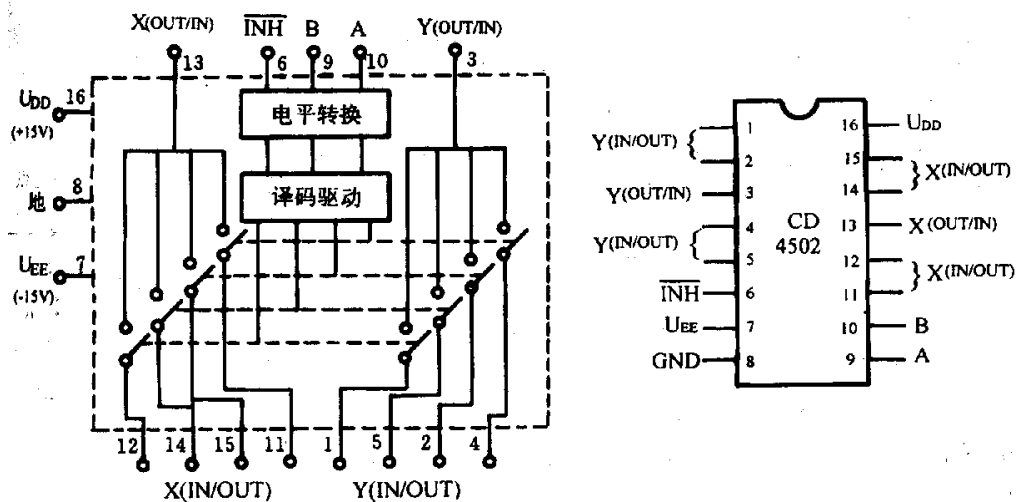


图 3.10 CD4502 芯片结构及引脚功能

部分多路开关的性能参数。

表 3.5 部分多路开关性能参数

特性 型号	R_{ON} Ω	R_{ONMS}	I_S nA	I_C nA	t_{ON} μs	t_{OFF} μs	C_S pF	C_{OUT} pF	逻辑电平	电源	输入 方式	输入电 流、电压
AD7501	170	$\sim 0.5\%$	0.2 ~ 2	1~5	0.8	0.8	5	30	0.8~3(J) 2.4 (ks)	$\pm 15V$ 800 μA	8路	35mA
AD7503	300	$^{\circ}C$	同上	0.6~5	同上	同上	同上	15			双4路	两开关间
AD7502	同上	同上	同上	0.05	同上	同上	同上	40	0.8V~3V	$\pm 15V$	16路	电压25V
AD7506	400	同上	0.05	0.03	同上	同上	同上		5V电源	1mA	双向	
CD4501	270			± 0.08					1.5V~3.5V	+5V~+15V		

3.4 多路开关的电路特性

模拟多路开关中的一个开关用下图所示的等效电路来表示。

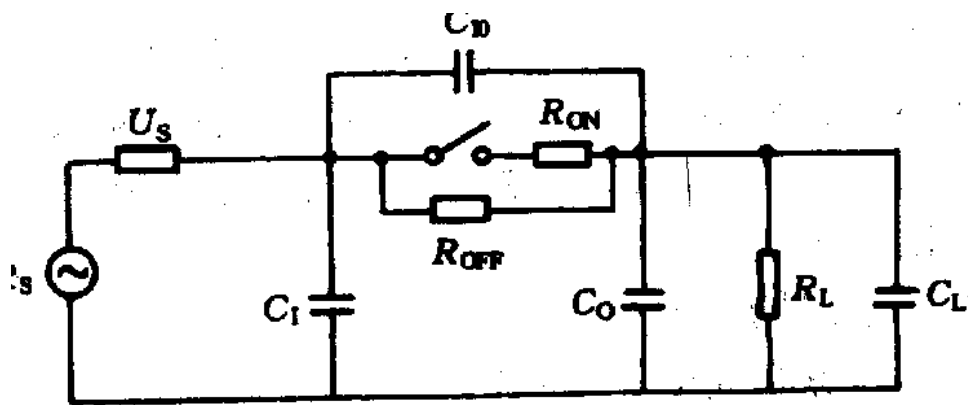


图 3.11 模拟多路开关中一个开关的等效电路

1. 漏电流

漏电流是指通过断开的模拟开关的电流。在 n 个模拟开关的并联组合中，当一个开关导通时，其他 $n-1$ 个开关是断开的，它们的漏电流将通过导通的开关流经信号源，如图 3.12。

$$R_L \gg R_{ON} + R_S$$

$$\text{因而 } U_{OE} = (n-1) I_S (R_S + R_{ON})$$

如果通道数增加或信号源内阻很大时，情况还要严重。改进的方法是采用分级结合电路。

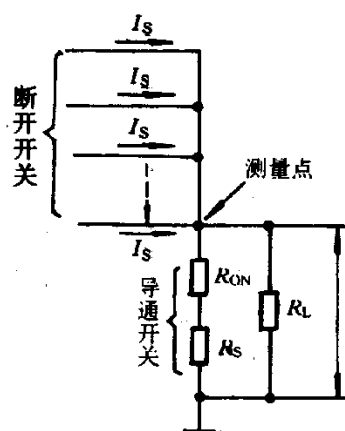


图 3.12 漏电流电路

分级组合：

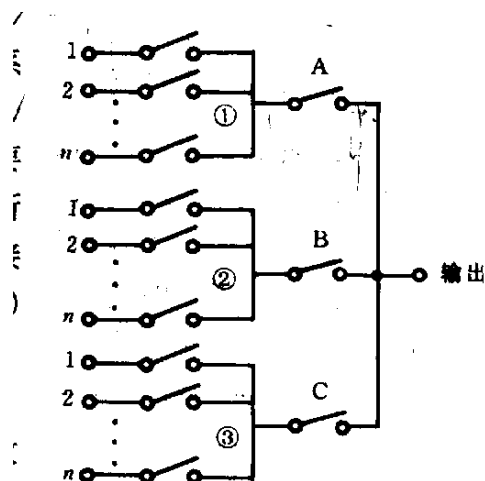


图 3.13 多路开关的分级组合

由 $(3N-1) I_S$ 降到 $(N-1) I_S$

2. 动态响应

与动态响应有关的参数有两个；一个是开关的切换时间；另一个是开关闭合以后系统的带宽。

多路开关动态响应的等效电路如图 3.14 所示。

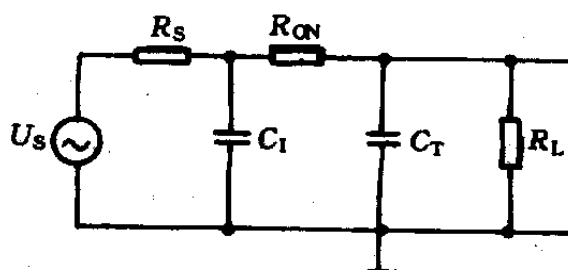


图 3.14 动态响应的等效电路

当 $C_I \ll C_T$ 时，时间常数： $T_C = (R_S + R_{ON}) C_T$

结论：信号源的内阻对多路开关的切换时间有重要的影响，阻值越小，开关的动作就越快。

当 $C_I \ll C_T$ 时，电路的带宽为：

$$f_{3db} = \frac{1}{2\pi(R_S + R_{ON})C_T}$$

结论：采用多路开关分级组合结构，将输出总电容降低，有利于提高开关的切换速度和带宽。

例如：设 $R_{ON}=100$ 欧姆， $C_{OT}=100\text{Pf}$ ， $C_L=20\text{PF}$ ， $R_L=100$ 兆欧， $C_I=5\text{Pf}$ ，误差为 0.1%，求设定时间 t_s 。

3. 源负载效应误差

源负载效应误差是指由信号源电阻 R_S 和开关导通电阻 R_{ON} 与多路开关所接器件的等效电阻 R_L 分压而引起的误差。计算误差的等效电路：

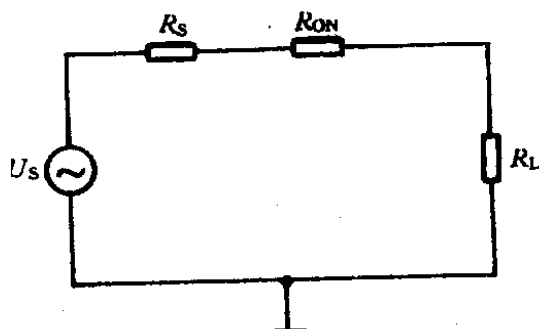


图 3.15 源负载效应的等效电路

通过提高下级增益的方法进行补偿。

4. 串扰

串扰是指断开通道的信号电压耦合到接收通道而引起的干扰。图 3.16 是分析串扰的等效电路。在一定条件下,可以把图 3.16(a)的电路简化为图 3.16(b) ($R_{ON2} \gg R_{S1}$ 和 R_{S2}) 或图 3.16(c) ($R_{ON2} \ll R_{S1}$ 和 R_{S2})。

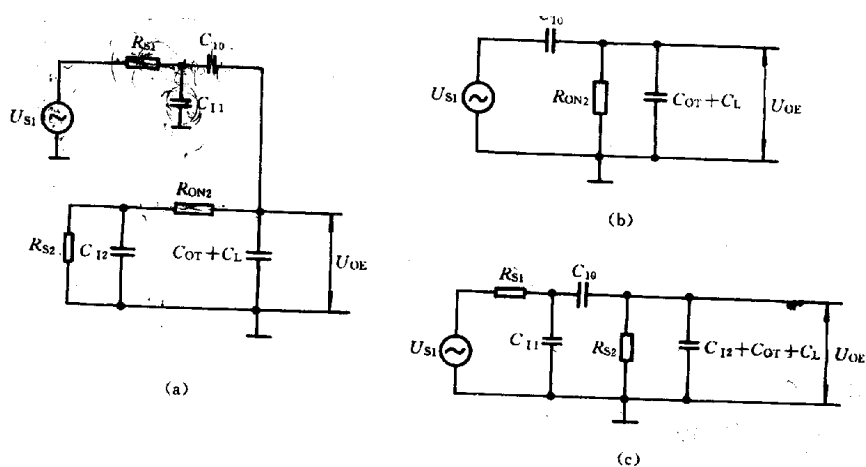


图 3.16 计算串扰的等效电路

减小导通通道的信号源内阻 R_{S2} 和开关的导通电阻 R_{ON} 加大 C_L 能减少串扰。

5. 其它特性与问题

使用模拟多路开关时，还应考虑以下问题：

- (1) 导通电阻值随温度变化；
- (2) 开关是否有死区
- (3) 开关动作是否“先断后合”
- (4) 开关速度与功耗的关系：成正比
- (5) 开关噪声（决定可采集的最低信号电平。）

3.5 多路开关的配置

模拟多路开关将多路输入信号切换到公共采样/保持器或 A/D 转换器的方法有以下两种。

1. 单端接法

单端接法是把所有输入信号源一端接至同一个信号地，然后再将信号地与 A/D 转换器的模拟地相接。输入信号源另一端接至多路开关输入端。

其中，图 (a) 的接法可保证系统的共模抑制能力，而无须减少一半通道数。但只适用于所有输入信号均参考一个公共电位，各信号源均置于同样的噪声环境，否则要引入附加的差模干扰。

图 (b) 的接法应用在所有输入信号相对于系统模拟公共地的测量上。

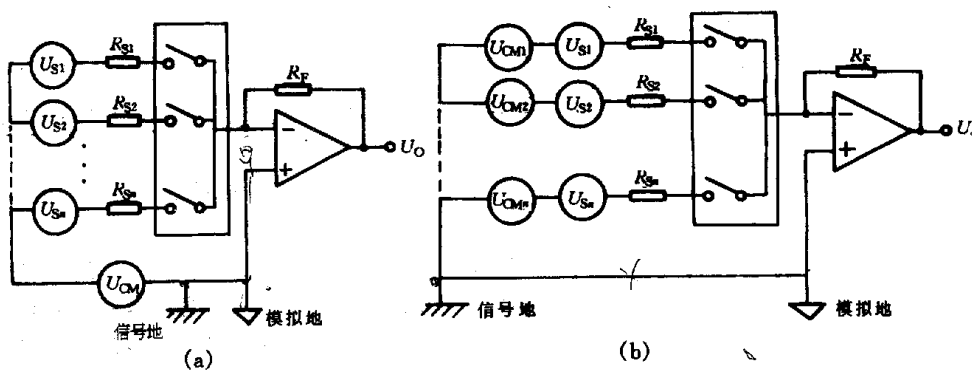


图 3.17 单端接法

(a) 信号地与模拟地共点； (b) 信号地与模拟地不共点

2. 双端接法

双端接法是把所有输入信号源的两端各自分别接至多路开关的输入端。共模干扰能力强，适用于采集小信号，但通道个数减半。

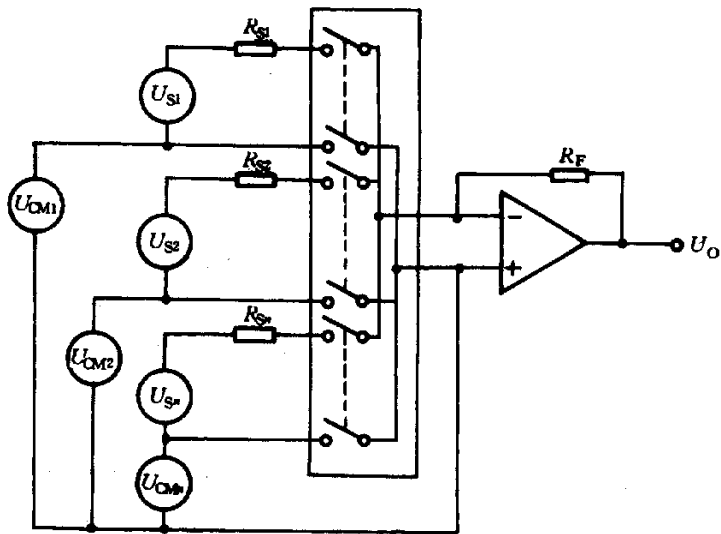


图 3.18 双端接法

例:设计一个数据采集传输通道,要求单端接法时能提供 32 条通道,双端接法时提供 16 条通道。

解:方案如图所示。

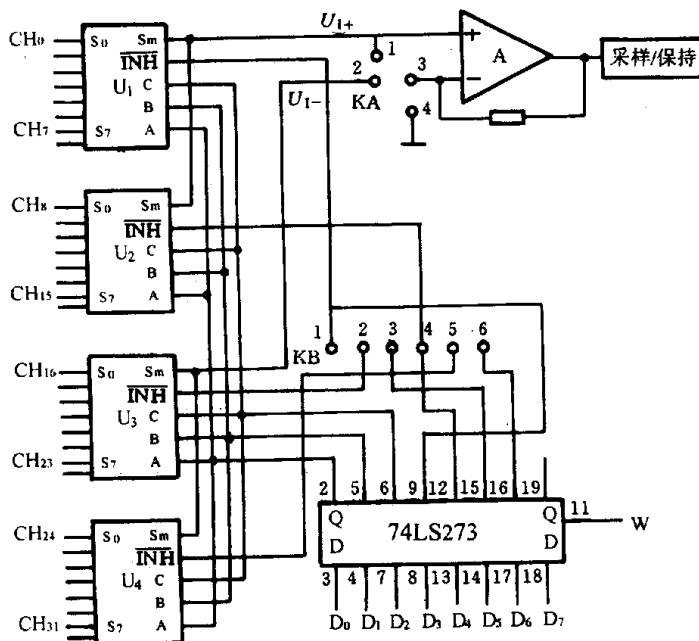


图 3.19 单端或双端输入方式

3.6 模拟多路开关的应用

3.6.1 通道的扩展方法

在数据采集系统中,实际采样点可多达几十个,甚至几百个,而一片模拟多路开关的通道数最多是 8 路。因此,应对通道加以扩展,才能满足需要。

以 CD4501 为例，扩展的方法有三种：

- (1) 将 n 片 CD4501 加以组合，用门电路组成地址译码器，产生 n 个选址信号（相当于片选信号，低电平有效），分别接各片 CD4501 的禁止端，即可扩展为 $8n$ 个。
- (2) 将 n 片 CD4501 加以组合，采用集成的地址译码器产生 n 个选址信号。
- (3) 将 n 片 CD4501 加以组合，另外使用一片 CD4501 完成地址译码功能。

32 路选 1 电路，从 0~31，共 32 个通道。

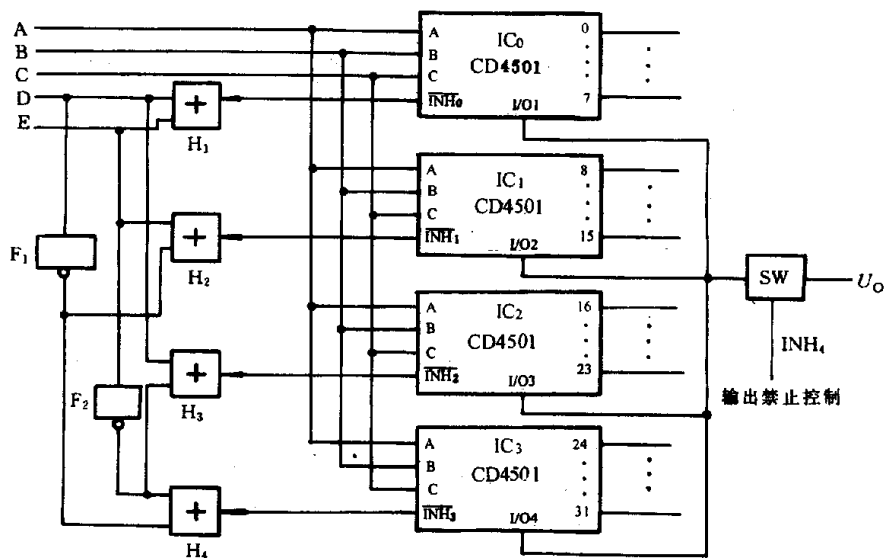


图 3.20 32 路单端输入时 CD4501 的连接方法

逻辑关系参见表 3.6。

表 3.6 高位地址与禁止端的逻辑关系

E	D	$\overline{INH_0}$	$\overline{INH_1}$	$\overline{INH_2}$	$\overline{INH_3}$	选中的片子	构成的通道
0	0	0	1	1	1	IC ₀	0~7
0	1	1	0	1	1	IC ₁	8~15
1	0	1	1	0	1	IC ₂	16~23
1	1	1	1	1	0	IC ₃	24~31

3.6.2 组成增益可控的电压运算放大器

典型同相电压运放：

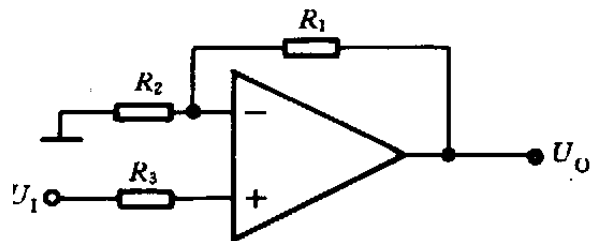


图 3.21 同相电压运放

其放大倍数： $K=R_2/R_1$

运算

放大器两输入端的等效输入电阻相等，即

$$R_3=R_1//R_2$$

式中 R_3 应包含输入信号源电阻。

用 CD4502 多路开关组成的 4 级增益程控运算放大器，运放的增益通过改变电阻 R_1 来实现。

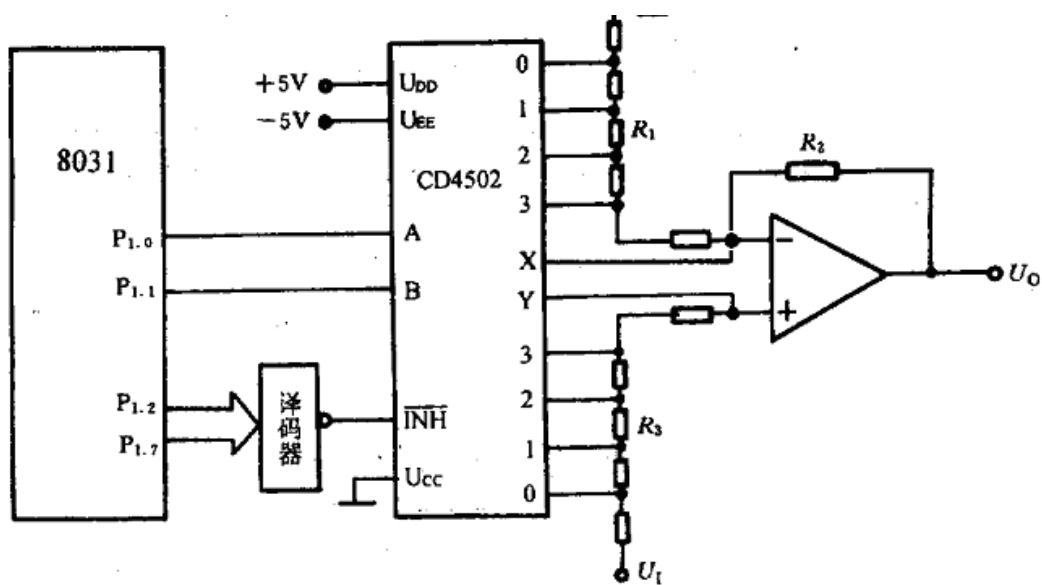


图 3.22 CD4502 与 8031 单片机组成程控运放增益