

数字电子技术基础

CH1 数字逻辑基础

§1.2 数制、码制:

→ 除基取余法

二. 数制转换: 1. 多项式 2. 基数除法 3. 2^i 进制转换

三. 码制: 1. 有权: 8421, 5421 BCD. 2. 无权: 余三码 3. 格雷码

§1.3 运算:

一. 算术运算: 1. 加减乘除 2. 原码, 反码, 补码

二. 逻辑运算基础

1. 概念: 逻辑状态, 逻辑变量, 逻辑电平, 逻辑运算

2. 基本运算: 1. 与(逻辑乘) $\boxed{\&}$ 2. 或(逻辑加) $\boxed{\vee}$ 3. 非 $\boxed{\neg}$

三. 复合逻辑运算: P19.

$$L = \overline{AB} \quad L = \overline{A+B} \quad L = \overline{AB+CD} \quad L = A \odot B = \overline{AB} + \overline{AB} \quad L = A \oplus B = \overline{AB} + \overline{AB}$$

优先: 非 > 括号 > 乘除 > 加减 > 无除“减”

四. 基本定理:

1. 基本定理: 分配: $A(B+C) = AB+AC$ $A(B+C) = AB+AC$

吸收: $AB+AB\overline{B} = A$; $\overline{A}B+A = A+B$ $(A+B)(A+\overline{B}) = A$

反演: $\overline{A \cdot B \cdot C \cdots} = \overline{A} + \overline{B} + \overline{C} + \cdots$ $\overline{A+B+C+\cdots} = \overline{A} \cdot \overline{B} \cdot \overline{C} \cdots$

交换: $AB+\overline{A}C+BC = AB+\overline{A}C$ $(A+B)(\overline{A}+C)(B+C) = (A+B)(\overline{A}+C)$

2. 规则: 1) 代入

2) 替换: $\cdot \leftrightarrow +$; $0 \leftrightarrow 1$; $L \leftrightarrow \overline{L}$ 1. 计算顺序不变 2. 长非号不变

3) 对偶: $\cdot \leftrightarrow +$; $0 \leftrightarrow 1$; $F \leftrightarrow F'$

§1.4. 逻辑函数及表示.

一. 逻辑函数: $Z = f(A, B, C, \dots)$

三. 最小项:

1. 定义: n 个变量的乘积项 2. 编号: ABC 从低 \rightarrow 高 3. 性质: 1) P_{min} 之和为 1 2) 积为 0 4) 互斥性

· 逻辑函数有唯一的最小项之和的表示式

四. 卡诺图: 00, 01, 11, 10 \rightarrow 以格雷码取排序

几何相邻: 1) 相连 2) 对称 3) 循环 逻辑相邻: 除一个变量互为非, 其余相同

§1.5. 逻辑函数化简.

一. 代数

二. 卡诺图

三. 无关项: 约束项, 任意项.

CH3. 组合逻辑电路.

§3.4. 译码器. 编码器.

一. 译码器: 1. 3线-8线译码器: 74LS138. P95.

二. 编码器: 10线-4线反码输出BCD码: 74147: 优先编码器

§3.5. 多路选择器和多路分配器:

一. 多路选择器: 双4选1: 74LS253; 8选1: 74LS151

二. 多路分配器: 使用74LS138, 将信号接入 STA , 用 A_2, A_1, A_0 控制分配

§3.6. 加法器及比较器

一. 加法器:

1. 半加器: $S = A \oplus B$, $C = AB$. 全加器: $S = A \oplus B \oplus C_1$, $C_0 = (A \oplus B)C_1 + AB$

2. 超前进位全加器: 74LS283: "算得快全加器"

二. 数值比较器: CC14585

$A_3 B_3 \rightarrow A_0 B_0$

$\downarrow I_A \neq B \rightarrow I_A = B \rightarrow I_A > B$

} 优先级.

CH4. 锁存器与触发器.

§4.2. 锁存器:

· 基本RS锁存器: 1) 输入取反 2) $\bar{S}=0, \bar{R}=0$ 不允许. $\bar{S}=\bar{R}=1$: 保持 $\bar{S}=0, \bar{R}=1$: 置1
 $\bar{S}=1, \bar{R}=0$: 置0

· 时钟控制RS: 1) ~ 不取反 2) $CP=0$: 保持 3) $S=R=1$: 不允许.

74LS373: 8位D锁存器

$S=R=0$: 保持 $S=1, R=0$: 置1
 $S=0, R=1$: 置0

· ~ D锁存器: 1) ~ 不取反 2) 自动置1 $RS=0$ 3) $CP=0$: 保持; $CP=1, Q^{n+1}=D$

§4.5. 触发器的逻辑功能.

· D触发器(上升沿) $\begin{matrix} \text{CP} \downarrow & \text{保持} \\ \text{CP} \uparrow & Q^{n+1}=D \end{matrix}$

· JK ~ (下降沿) $\begin{matrix} \text{CP} \uparrow & \text{保持} \end{matrix}$

$LP \downarrow$ J_0 K_0 保持

$Q^{n+1} = J\bar{Q}^n + \bar{K}Q^n$ $\begin{matrix} \text{CP} \downarrow & J_1 & K_0 & Q^{n+1}=1 \end{matrix}$

$\text{CP} \downarrow$ J_0 K_1 $Q^{n+1}=0$

$\text{CP} \downarrow$ J_1 K_1 $Q^{n+1} = \bar{Q}^n$

· T触发器(下降沿)

$\text{CP} \uparrow$ $Q^{n+1} = Q^n$

$\text{CP} \downarrow$ T_0 $Q^{n+1} = Q^n$

$\text{CP} \downarrow$ T_1 $Q^{n+1} = \bar{Q}^n$

$\therefore Q^{n+1} = T \oplus Q^n$

若 $T=1$, 则为T'触发器: $Q^{n+1} = \bar{Q}^n$

CH5. 时序逻辑.

§5.4. 集成计数器.

一. 异步集成计数器.

1. 二-八-十六进制, 下降沿触发: 74293

2. 二-五-十进制. ~~~~~: 74290 $\rightarrow S_{9(1)} = S_{9(2)} \Rightarrow \text{直} 9$. $\vdash S_{R_{0(1)}} = R_{0(2)} \Rightarrow \text{清零}$

二. 同步集成计数器.

1. 74160 ~ 74163: (CO ^{同步直数} 进位输出)

• $\overline{CR}=0$ 清零 $\rightarrow \overline{LD}=0$ 直数 $\rightarrow \overline{CT_P} \cdot \overline{CT_T}=0$ 保持 $\rightarrow \overline{CT_P} \cdot \overline{CT_T}=1$ 上升计数

74161: 异步清零 2进制: $CO = Q_3 Q_2 Q_1 Q_0 \cdot CT$

74160: ~~~~~ 10进制: $CO = Q_3 Q_2 \cdot CT$

74163: 同步清零: 2进制: $CO = Q_3 Q_2 Q_1 Q_0 \cdot CT$

74162: 同步 ~: 10进制: $CO = Q_3 Q_2 \cdot CT$

2. 4位二进制同步可逆计数器 74193

$CR=1$: 异步清零 $\rightarrow \overline{LD}=0$ 异步直数

$CP_D=0$, $CLK \rightarrow CP_U$ 加法计数

\overline{CO} : 加法进位: 负脉冲

$CP_U=1$, $CLK \rightarrow CP_D$ 减法计数

\overline{BO} : 减法借位: 负脉冲

三. 任意进制计数器

• $M \geq n$. 单片. $M < N$. 多片.

• 反馈清零法: N 进制 S_n 编码: $z_i = S_n \text{ 取 } 2 \text{ 进制}$

10进制: 取 8421 BCD

• 反馈逻辑: $F = \prod Q^1$ (高有效) $\overline{\prod Q^1}$ (低有效)

85.5. 寄存器

一. 寄存器:

1. 8位上升沿D寄存器: 74273 $\overline{CR}=0$: 异步清零 $\rightarrow D_i=0/1, Q_i^{n+1}=0/1$

2. 4位三态并行输入并行输出: 74173

1) $\overline{CR}=0$: 清零

2) $\overline{STA} + \overline{STB} = 0$ 且 $CP \uparrow$: 允许直数

3) $\overline{ENA} + \overline{ENB} = 0$: 允许送数

· 多个寄存器与 bus 相连时, 同时送数只能有一个, 其余 $\overline{EN}=1$.

二. 移位寄存器

1. 8位单向移位寄存器: 74164

\overline{CR} : 异步清零; $D_0 = D_{SA} D_{SB}$; $CP \uparrow$:

$$\begin{aligned} Q_0^{n+1} &\leftarrow D_0 \\ Q_1^{n+1} &\leftarrow Q_0^n \\ &\vdots \\ Q_7^{n+1} &\leftarrow Q_6^n \end{aligned}$$

2. 4位双向移位寄存器: 74194 \star P92

$M_1 M_0$: 00 保持 01. 右移: $D_{SR} Q_0^n Q_1^n Q_2^n$; 10. 左移: $Q_1^n Q_2^n Q_3^n D_{SL}$

11. 直数: $D_0 D_1 D_2 D_3$

3. 移位计数器:

1) 环形: 将 74194 的 Q_3 接 D_{SR} , 右移状态. 1) 不能自启动: $D_0 D_1 D_2 D_3 \begin{matrix} M_1 \\ \downarrow \\ M_0 \end{matrix} \begin{matrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} \rightarrow \begin{matrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix}$

2) n位环形计数器: n进制

2) 扭环形: Q_3 取非后接 D_{SR} , 右移状态 1) $D_0 D_1 D_2 D_3 \begin{matrix} M_1 \\ \downarrow \\ M_0 \end{matrix} \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} \rightarrow \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix}$

2) n位扭环形计数器: $2n$ 进制

CH6. 脉冲的产生与整形电路.

§6.1. 脉冲的基本知识.

$$T = \frac{1}{f} \cdot U_m \cdot t_w \cdot t_r \cdot t_f \cdot \varphi = \frac{t_w}{T}$$

§6.3. 555 定时器及其应用.

一. 555 定时器: P234

二. 用 555 构成的施密特触发器:

$$\Delta U_T = U_{T+} - U_{T-} \quad \cdot \text{不考虑 } U_{CO}: U_{T+} = \frac{2}{3} U_{CC} \quad U_{T-} = \frac{1}{3} U_{CC}$$

$$\cdot \text{考虑 } U_{CO}: U_{T+} = U_{CO} \quad U_{T-} = \frac{1}{2} U_{CO}$$

三. 单稳态触发器:

$$t_w = RC \cdot \ln 3 \approx 1.1 RC$$

四. 多谐振荡器:

$$\text{充电: } T_1 = (R_1 + R_2) C \ln 2 \approx 0.693 (R_1 + R_2) C$$

$$\text{放电: } T_2 = R_2 C \ln 2 \approx 0.693 R_2 C$$

$$\cdot f = \frac{1}{T_1 + T_2}$$

$$\cdot \varphi = \frac{T_1}{T_1 + T_2} \Rightarrow P_{239}: \varphi = \frac{T_1}{T} = \frac{R_A}{R_A + R_B}$$

CH7. 数模和模数转换

§7.1. 数模转换 DAC

一. 将 n 位二进制数 $D_n = d_{n-1}d_{n-2}\dots d_1d_0$ 转化为电压 U_o 或电流 I_o

$$U_o = (d_{n-1}2^{n-1} + d_{n-2}2^{n-2} + \dots + d_12^1 + d_02^0) U_\Delta = D_n U_\Delta$$

· U_Δ 为单位量化电压. $U_\Delta \stackrel{\text{def}}{=} U_o|_{D_n=1}$; $U_{o\max} = (2^n - 1) U_\Delta$

· 电流电压转换电路: $U_o = -I_F R_F$

二. 常用转换技术

1. 权电阻网络 1) 模拟开关由二进制数码控制. 2) 多个阻值成倍数的电阻

· 四位: $U_o = -I_F R_F = -(8d_3 + 4d_2 + 2d_1 + d_0) V_{REF} / 16$

2. 倒T形电阻网络 1) 逐级分流 - 线性叠加 2) 仅用 $R, 2R$ 两种电阻

· $U_o = D_n \left(\frac{-R_F V_{REF}}{2^n R} \right)$

3. 权电流网络: 1) 用恒流源 2) 由倒T形电阻网络 + 晶体管构成

· 四位: $U_o = D_n I_F R_F / 16 \rightarrow I_F R_F / 16$ 为单位量化电压

三. 参数及误差: 略

四. 集成 DAC:

1. DAC0808: 8位权电流: $U_o = D_8 \frac{R_F V_{REF}}{2^8 R} = \frac{D_8 V_{REF}}{2^8}$

2. AD561: $U_o = D_{10} / 2^{10}$

§7.2. 模数转换: ADC

一. 基本原理:

1. 输入-输出关系: $D_n = [U_i / U_{\Delta}]$ $U_{\Delta} \approx U_i / (2^n - 1)$

2. 采样保持: 时间连续 \rightarrow 时间离散

3. 量化-编码: 数值连续 \rightarrow 离散 \rightarrow 编码; 量化误差 \rightarrow 舍尾: U_{Δ} \rightarrow 四舍五入: $\frac{1}{2}U_{\Delta}$

三. 并行比较ADC:

1. 舍尾: R, \dots, R . 2) 四舍五入: $\frac{3}{2}R, R, \dots, R, \frac{1}{2}R$.

2. n 位ADC需 $2^n - 1$ 个比较器: 成本 \uparrow , 速度 \uparrow , 精度 \downarrow

四. 逐次逼近型:

\rightarrow 转换 n 位需 $n+2$ 个脉冲.

1. 逐次比较, 高者, 低者. \rightarrow 高速 \uparrow 抗干扰 \downarrow

2. U_0 减去 $U_{\Delta}/2$ 后将 U_0 再与 U_i 相比 \rightarrow 最终误差小于 $\frac{1}{2}U_{\Delta}$

五. 双积分型ADC:

1. 原理: 忽略

$$2. D_n = \frac{\Delta t}{T_{CP}} = \frac{T_i U_i}{T_{CP} U_{REF}} = \frac{U_i \cdot Z^n}{U_{REF}} \quad \text{速度} \downarrow, \text{精度} \uparrow$$

六. $\Sigma-\Delta$ 型ADC:

$$\frac{n-m}{n+m} = \frac{U_i}{U_{REF}} \Rightarrow \text{数字抽取滤波: 符 } (m+n), (n-m), D_n = Z^n \cdot \frac{n-m}{n+m}$$

· 导通压降: 硅 0.7V, 锗 0.3V

· $r_{be} = r_{bb'} + (1+\beta) \frac{U_T}{I_{EQ}} \rightarrow I_{EQ} = (1+\beta) I_{BQ} \quad \alpha = \frac{\beta}{1+\beta}$

· FET 的导通状态: 1. 耗尽型: $U_{GS} > U_{GS(off)}$, $U_{DG} \geq U_{GS} - U_{GS(off)}$

2. 增强型: $U_{GS} > U_{GS(th)} > 0$, $U_{DG} < U_{GS(th)}$

· FET 的 Q 点: 1. 自给: $U_{GS} = -I_{DQ} R_s$ $U_{DG} = U_{DS} = V_{DD} - I_{DQ} (R_D + R_s)$ ($I_D = I_S$)

2. 分压: $U_{GS} = \frac{R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}} V_{DD} - I_{DQ} R_s$

· I_{DQ} : 1. 耗尽: $I_{DQ} = I_{DSS} (1 - \frac{U_{GS}}{U_{GS(off)}})^2$ 2. 增强: $I_{DQ} = K (\frac{1}{2} (U_{GS} - U_{GS(th)}))^2$

· g_m : 1. 耗尽: $g_m = \frac{2 \sqrt{I_{DQ} I_{DSS}}}{U_{GS(off)}}$ 2. 增强: $2 \sqrt{K I_{DQ}}$