第6章 时序逻辑电路

6.1 概述

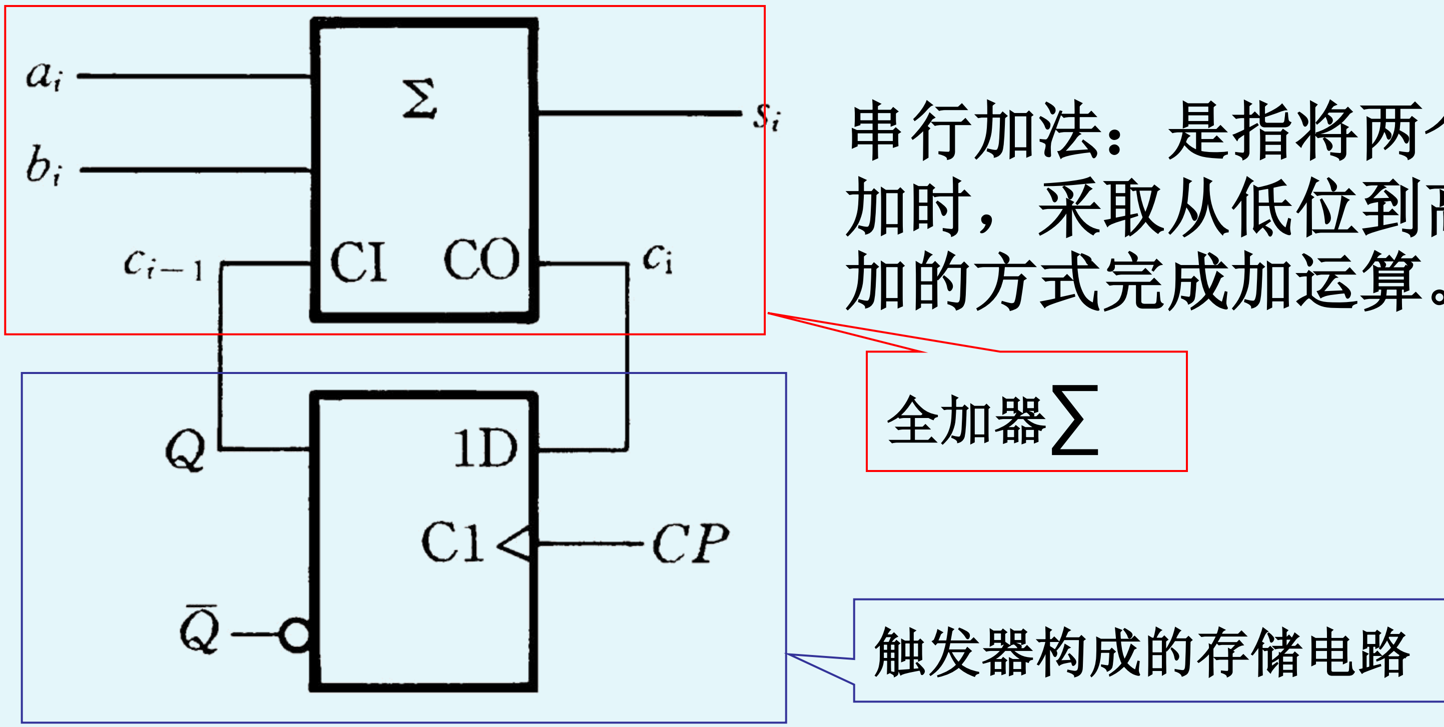
6.2 时序逻辑电路的分析方法

6.3 若干常用的时序逻辑电路

6.4 时序逻辑电路的设计方法

6.1 概述

时序逻辑电路——任何一个时刻的输出信号不仅取决于当时的输入信号，还与电路的原状态有关



串行加法：是指将两个多位数相加时，采取从低位到高位逐位相加的方式完成加运算。

图6.1.1 串行加法器

时序电路的特点：

第一，时序电路通常包含组合电路和存储电路两个部分，存储电路是必不可少的。

第二，存储电路的输出状态必须反馈到组合电路的输入端，与输入信号一起，共同决定组合逻辑电路的输出。

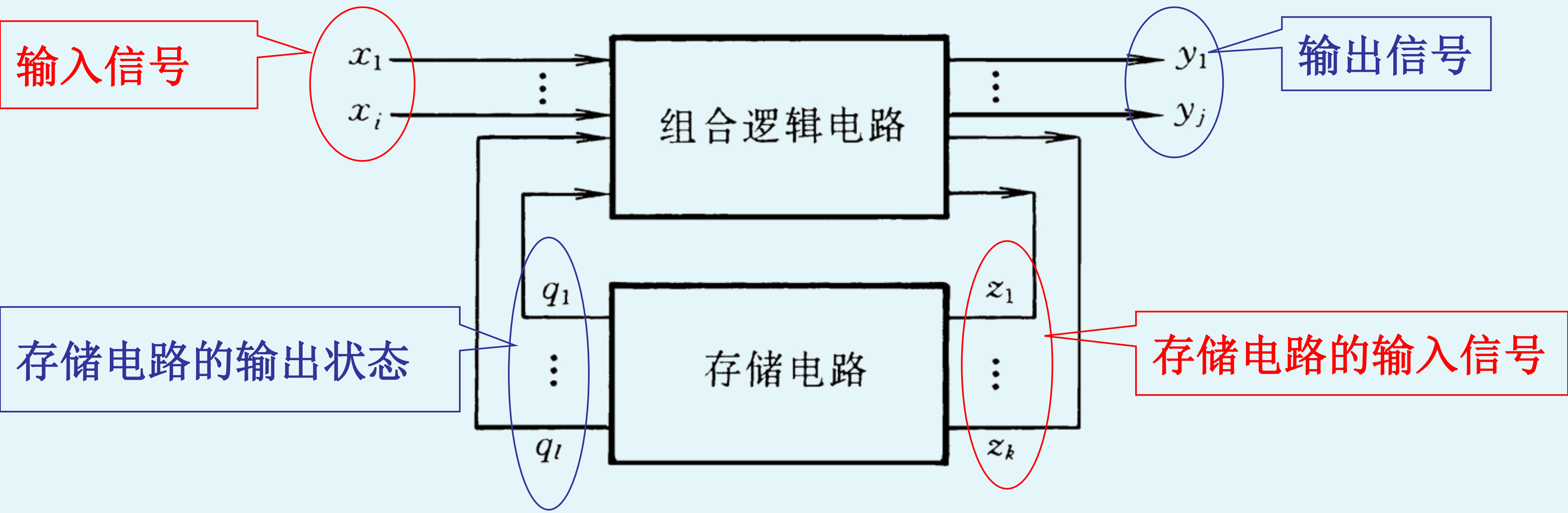


图6.1.2 时序逻辑电路的结构框图

输出方程

$$\begin{cases} y_1 = f_1(x_1, x_2, \ldots, x_i, q_1, q_2, \ldots, q_l) \\ y_2 = f_2(x_1, x_2, \ldots, x_i, q_1, q_2, \ldots, q_l) \\ \vdots \\ y_j = f_j(x_1, x_2, \ldots, x_i, q_1, q_2, \ldots, q_l) \end{cases} \qquad (6.1.1)$$

驱动方程（或激励方程）

$$\begin{cases} z_1 = g_1(x_1, x_2, \ldots, x_i, q_1, q_2, \ldots, q_l) \\ z_2 = g_2(x_1, x_2, \ldots, x_i, q_1, q_2, \ldots, q_l) \\ \vdots \\ z_k = g_k(x_1, x_2, \ldots, x_i, q_1, q_2, \ldots, q_l) \end{cases} \qquad (6.1.2)$$

状态方程

表示存储电路中每个触发器的现态

$$\begin{cases} q_1^{n+1} = h_1(z_1, z_2, \ldots, z_k, q_1^n, q_2^n, \ldots, q_l^n) \\ q_2^{n+1} = h_2(z_1, z_2, \ldots, z_k, q_1^n, q_2^n, \ldots, q_l^n) \\ \vdots \\ q_l^{n+1} = h_l(z_1, z_2, \ldots, z_k, q_1^n, q_2^n, \ldots, q_l^n) \end{cases} \qquad (6.1.3)$$

表示存储电路中每个触发器的次态

向量函数形式

$$Y = F[X, Q]$$

$$Z = G[X, Q]$$

$$Q^{n+1} = H[Z, Q^n]$$

时序逻辑电路的划分

根据存储电路中触发器的动作特点不同，时序逻辑电路分为：同步时序电路和异步时序电路

触发器状态变化在同一时钟信号操作下同时发生

触发器状态变化不是同时发生的

根据输入信号的特点，时序电路划分为:米利（**Mealy)**型和穆尔（**Moore**）型。

输出信号不仅取决于存储电路的状态，还取决于输入变量

输出信号仅仅取决于存储电路的状态

6.2 时序逻辑电路的分析方法

6.2.1 同步时序逻辑电路的分析方法

同步时序逻辑电路的一般分析方法

（1）从给定的逻辑图中写出每个触发器的驱动方程

（2）把得到的这些驱动方程代入相应触发器特性方程，得出每个触发器的状态方程，从而得到由这些状态方程组成的整个时序电路的状态方程组。

（3）根据逻辑图写出电路的输出方程。

（4）由输出方程和状态方程，列出状态转换表或状态转换图或时序图，综合分析逻辑功能。

【例6.2.1】试分析图6.2.1时序逻辑电路的逻辑功能，写出它的驱动方程、状态方程和输出方程。

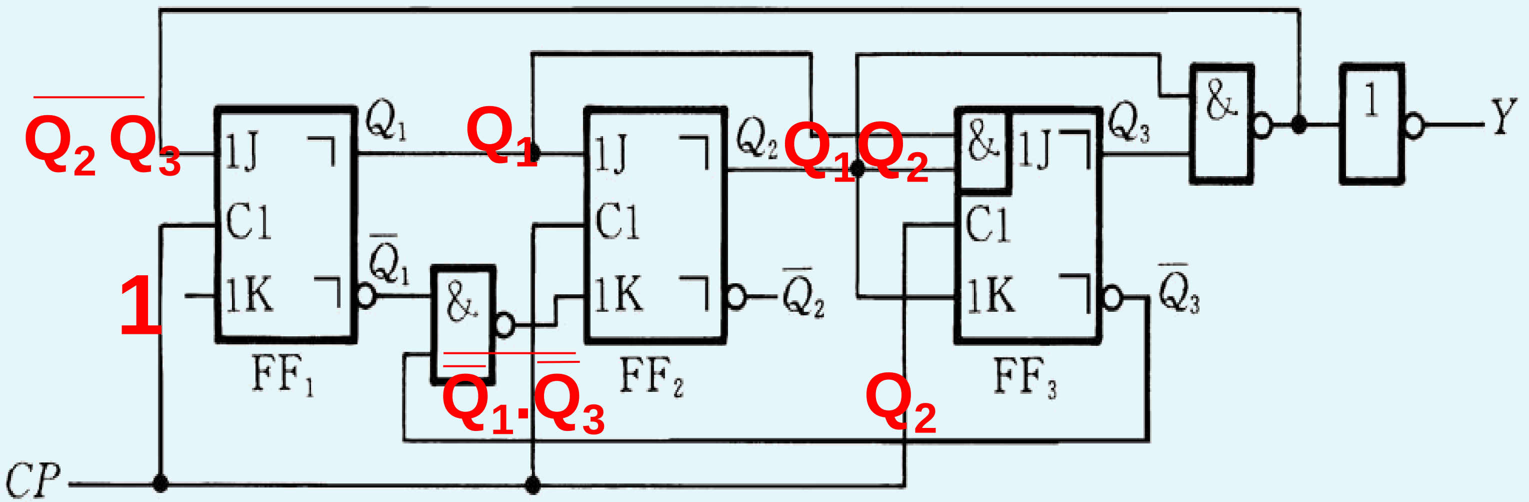


图6.2.1 例6.2.1的时序逻辑电路

解：①从图6.2.1给定的逻辑图可写出电路的驱动方程为：

$$J_1 = \overline{Q_2 Q_3} \qquad K_1 = 1$$

$$J_2 = Q_1 \qquad K_2 = \overline{\overline{Q_1} \cdot \overline{Q_3}} \qquad (6.2.1)$$

$$J_3 = Q_1 Q_2 \qquad K_3 = Q_2$$

②将式6.2.1代入JK触发器的特性方程 $Q^{n+1}=J\overline{Q^n}+\overline{K}Q^n$中，得到电路的状态方程：

$$\begin{cases} Q_1^{n+1}=\overline{Q_2.Q_3}\,\overline{Q_1} \\ Q_2^{n+1}=Q_1.\overline{Q_2}+\overline{Q_1}.\overline{Q_3}.Q_2 \\ Q_3^{n+1}=Q_1.Q_2.\overline{Q_3}+\overline{Q_2}.Q_3 \end{cases} \quad (6.2.2)$$

③根据逻辑图写出输出方程为：

$$Y=Q_2.Q_3 \quad (6.2.3)$$

式中的Q_1、Q_2、Q_3均表示触发器的现态，即Q_1^n、Q_2^n、Q_3^n

6.2.2 时序逻辑电路的状态转换表、状态转换图和时序图

用于描述时序电路状态转换全部过程的方法有状态转换表（也称状态转换真值表）、状态转换图和时序图等几种。

一、状态转换表

若将任何一组**输入变量**及**电路初态**的取值代入状态方程和输出方程，即可算出**电路的次态**和**现态下的输出值**；以**得到的次态**作为**新的初态**，和**这时的输入变量取值**一起再代入状态方程和输出方程进行计算，又得到一组**新的次态**和**输出值**。如此继续下去，把全部的计算结果列成**真值表**的形式，就得到了**状态转换表**。

【例6.2.2】试列出图6.2.1电路的状态转换表

解：电路没有输入逻辑变量，属于穆尔型时序电路

设电路的初态 $Q_3^nQ_2^nQ_1^n=000$ ，代入（**6.2.2**）和（**6.2.3**）得到

$$\begin{cases} Q_1^{n+1}=\overline{Q_2 . Q_3} . \overline{Q_1}=1 \\ Q_2^{n+1}=Q_1 . \overline{Q_2}+\overline{Q_1} . \overline{Q_3} . Q_2=0 \\ Q_3^{n+1}=Q_1 . Q_2 . \overline{Q_3}+\overline{Q_2} . Q_3=0 \end{cases}$$

$$Y=Q_2 . Q_3=0$$

$Q_3^nQ_2^nQ_1^n=001$ 作为新的初态，代入（**6.2.2**）和（**6.2.3**）得到

$$\begin{cases} Q_1^{n+1}=\overline{Q_2 . Q_3} . \overline{Q_1}=0 \\ Q_2^{n+1}=Q_1 . \overline{Q_2}+\overline{Q_1} . \overline{Q_3} . Q_2=1 \\ Q_3^{n+1}=Q_1 . Q_2 . \overline{Q_3}+\overline{Q_2} . Q_3=0 \end{cases}$$

$$Y=Q_2 . Q_3=0$$

如此继续 当$Q_3^nQ_2^nQ_1^n=110$时，次态$Q_3^{n+1}Q_2^{n+1}Q_1^{n+1}=000$，返回最初设定的状态。得到如表6.2.1的状态转换表

表6.2.1 图6.2.1电路的状态转换表

Q_3^n	Q_2^n	Q_1^n	Q_3^{n+1}	Q_2^{n+1}	Q_1^{n+1}	Y
0	0	0	0	0	1	0
0	0	1	0	1	0	0
0	1	0	0	1	1	0
0	1	1	1	0	0	0
1	0	0	1	0	1	0
1	0	1	1	1	0	0
1	1	0	0	0	0	1
1	1	1	0	0	0	1

将$Q_3^nQ_2^nQ_1^n=111$，代入（6.2.2）、（6.2.3）式计算得到

$$\begin{cases} Q_1^{n+1}=\overline{Q_2.Q_3}\,\overline{Q_1}=0 \\ Q_2^{n+1}=Q_1.\overline{Q_1}+\overline{Q_1}.\overline{Q_3}.Q_2=0 \\ Q_3^{n+1}=Q_1.Q_2.\overline{Q_3}+\overline{Q_2}.Q_3=0 \end{cases}$$

$Y=1$

得到完整状态转换表

表6.2.2 图6.2.1电路状态转换表的另一种形式

CP的顺序	Q_3^{n+1}	Q_2^{n+1}	Q_1^{n+1}	Y
0	0	0	0	0
1	0	0	1	0
2	0	1	0	0
3	0	1	1	0
4	1	0	0	0
5	1	0	1	0
6	1	1	0	1
7	0	0	0	0
0	1	1	1	1
1	0	0	0	0

进位脉冲输出端

这种状态转换表给出了在一系列时钟信号作用下电路状态转换的顺序。

从状态转换表可以分析此电路的逻辑功能为：七进制计数器，对时钟信号计数，输出为进位脉冲。

二、状态转换图

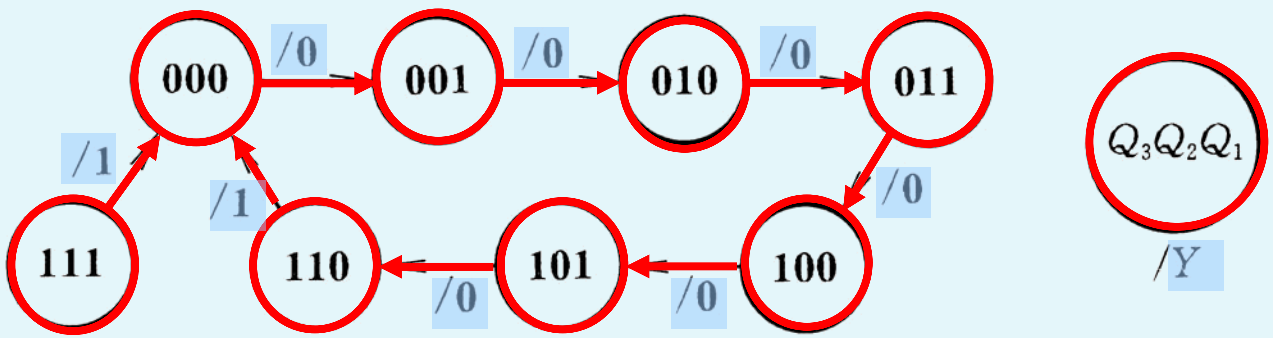


图6.2.2 图6.2.1电路的状态转换图

圆圈表示电路的各个状态

箭头表示状态的转换方向

在箭头旁注明了状态转换前的输入变量取值和输出值。通常将输入变量取值写在斜线以上，将输出值写在斜线以下。

三、时序图

时序图：在时钟脉冲序列作用下，电路状态、输出状态随时间变化的波形图。

时钟下降沿触发器状态变化

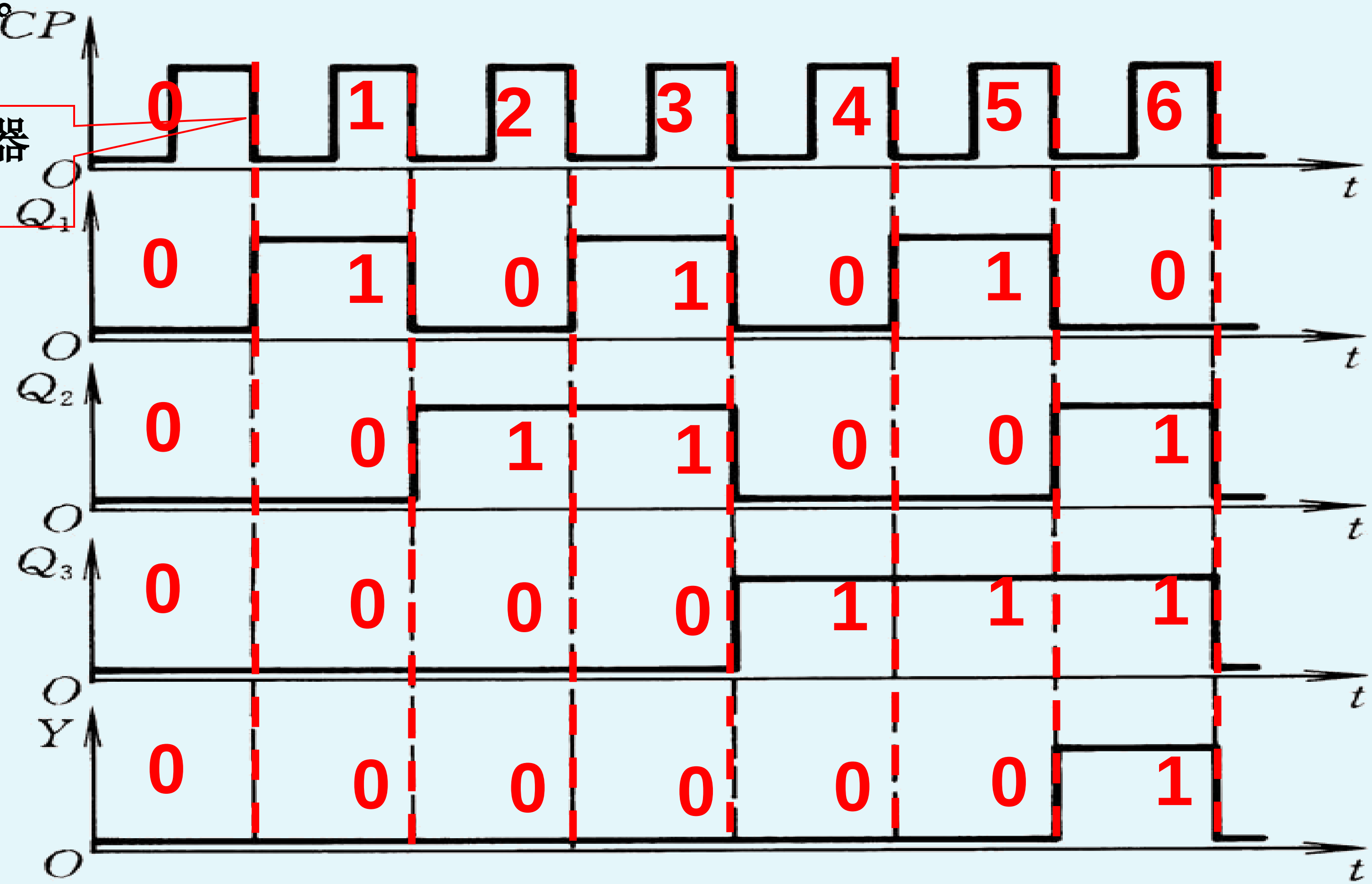


图6.2.3 图6.2.1电路的时序图

【例6.2.3】分析图6.2.4时序逻辑电路的逻辑功能，写出电路的驱动方程、状态方程和输出方程，画出电路的状态转换图。

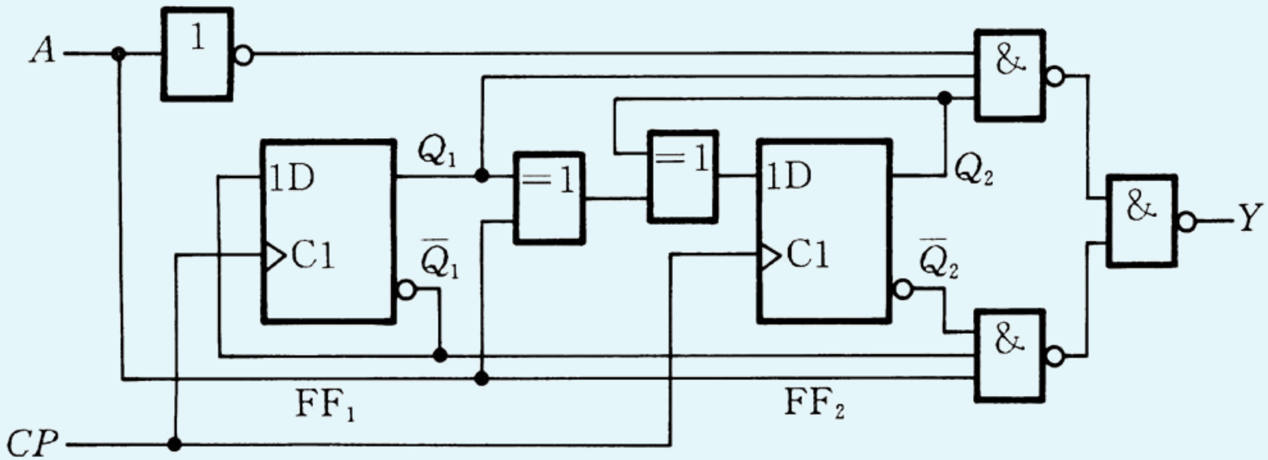


图6.2.4 例6.2.3的时序逻辑电路

解：从给定的电路图写出驱动方程：

$$\begin{cases} D_1 = \overline{Q_1} \\ D_2 = A \oplus Q_1 \oplus Q_2 \end{cases} \qquad (6.2.4)$$

将式（6.2.4）代入D触发器的特性方程 $Q^{n+1}=D$ ，得到电路的状态方程：

$$\begin{cases} Q_1^{n+1}=D_1=\overline{Q_1} \\ Q_2^{n+1}=D_2=A\oplus Q_1\oplus Q_2 \end{cases} \qquad (6.2.5)$$

从图6.2.4电路图写出输出方程为：

$$Y=\overline{\overline{\overline{A}Q_1Q_2}\cdot\overline{A\overline{Q_1}\,\overline{Q_2}}}=\overline{A}Q_1Q_2+A\overline{Q_1}\,\overline{Q_2} \qquad (6.2.6)$$

表6.2.3 图6.2.4电路的状态转换表（卡诺图形式）

$Q_2^{n+1}Q_1^{n+1}$ / Y ＼ $Q_2^nQ_1^n$ ＼ A	00	01	11	10
0	01/0	10/0	00/1	11/0
1	11/1	00/0	10/0	01/0

表中的数值用式（6.2.5）和（6.2.6）计算得到

状态转换表（常规形式）

A	Q_2^n	Q_1^n	Q_2^{n+1}	Q_1^{n+1}	Y
0	0	0	0	1	0
0	0	1	1	0	0
0	1	0	1	1	0
0	1	1	0	0	1
1	0	0	1	1	1
1	0	1	0	0	0
1	1	0	0	1	0
1	1	1	1	0	0

根据表6.2.3画出的电路状态转换图，如图6.2.5所示

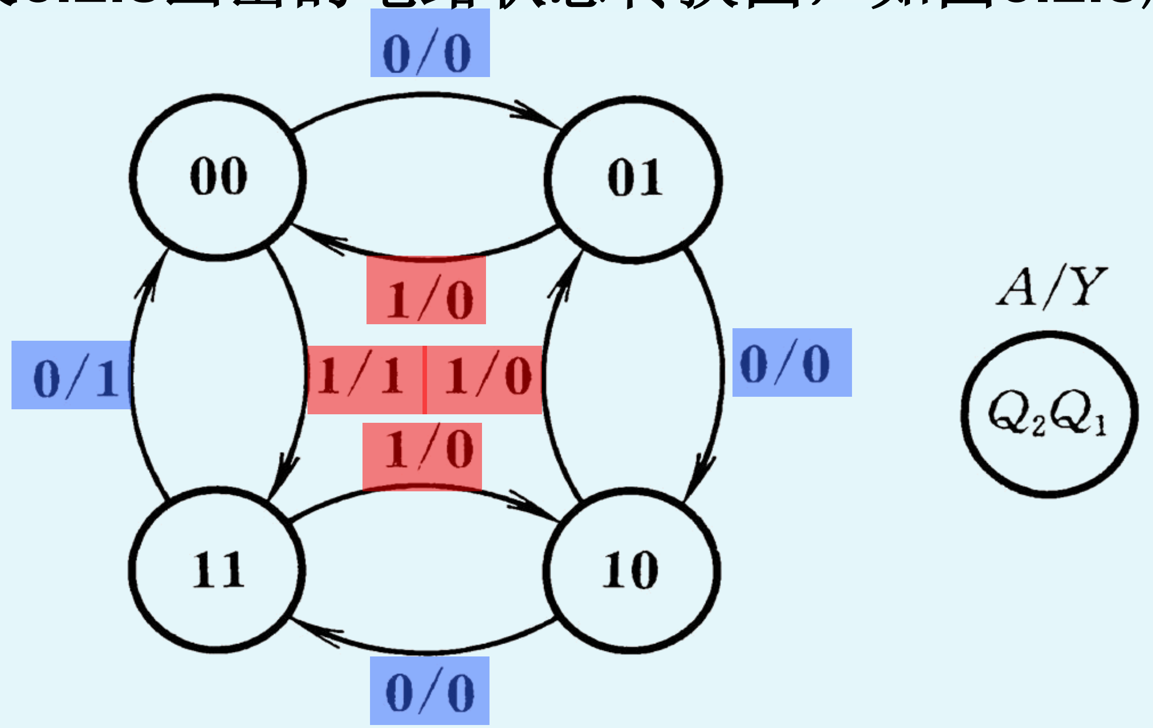
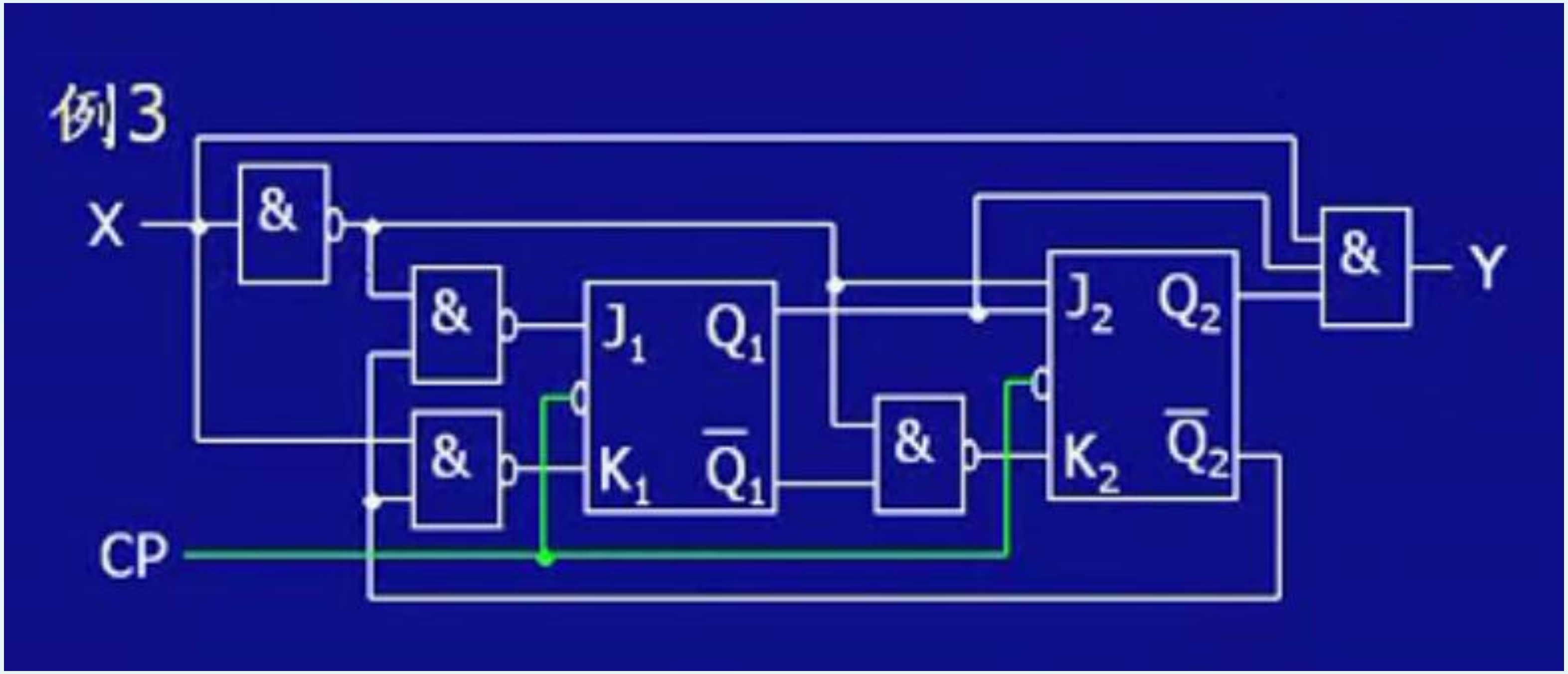


图6.2.5 图5.2.4电路的状态转换图

A=0时是一个加法计数器

A=1时是一个减法计数器

图6.2.4电路可以作为可控计数器使用


例3
X
&
&
&
J1
Q1
K1
Q̄1
CP
&
J2
Q2
K2
Q̄2
&
Y