

第9章 模拟信号接口

第1节 概述

第2节 模/数转换器

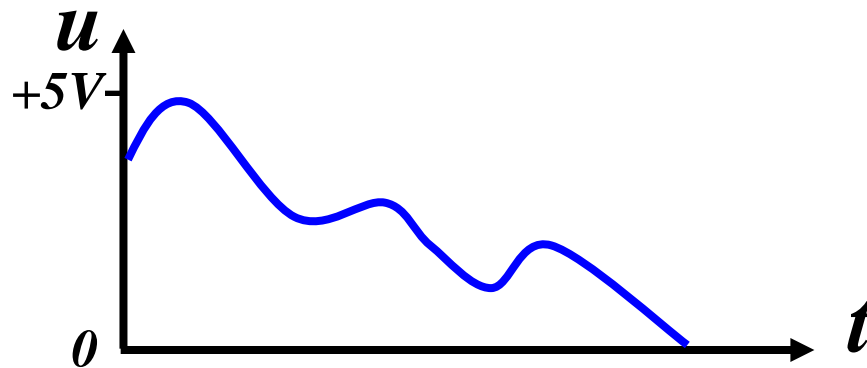
第3节 数/模转换器(暂缺)

第一节 概述

1. 模拟量和数字量

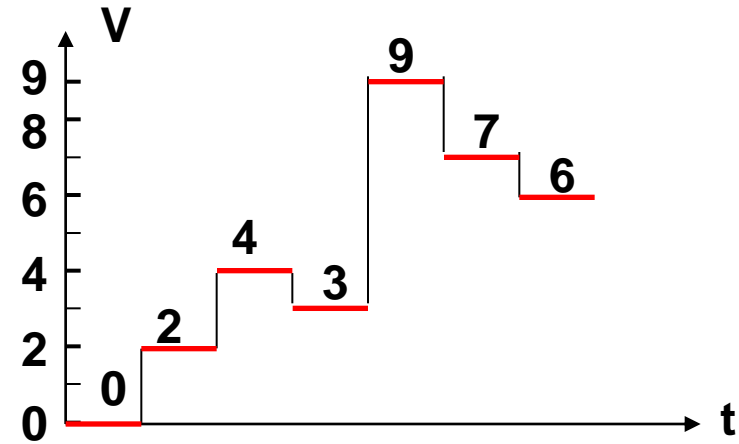
- 自然界中的物理量可分为**模拟量**(Analog)和**数字量**(Digital)两大类
- 模拟量**是指量值在一定的范围内可连续变化的物理量。
- 自然界中绝大多数物理量是模拟量,例如:温度,压力,语音等。
- 用电子技术处理模拟量时,通常利用传感器把它们转换成电信号。

*例如*用话筒将声音变成电压幅值随声波变化的电信号如下所示:



- 在量值上是连续的电信号,称为**模拟信号**。

- **数字量**是只能在一个范围内取某些特定值的物理量, 这些特定值分别与某个数字相对应, 其特点是取值是离散的。
例如: 人数, 物品的个数等。



- 用电子技术处理数字量时, 所选取的电信号应反映其数字信息。
现在最通用的方法是:
用高电压幅值表示数字1, 低电压幅值表示数字0,
由多个这样的电压幅值构成多位的二进制数字,
来表示不同的数字信息。

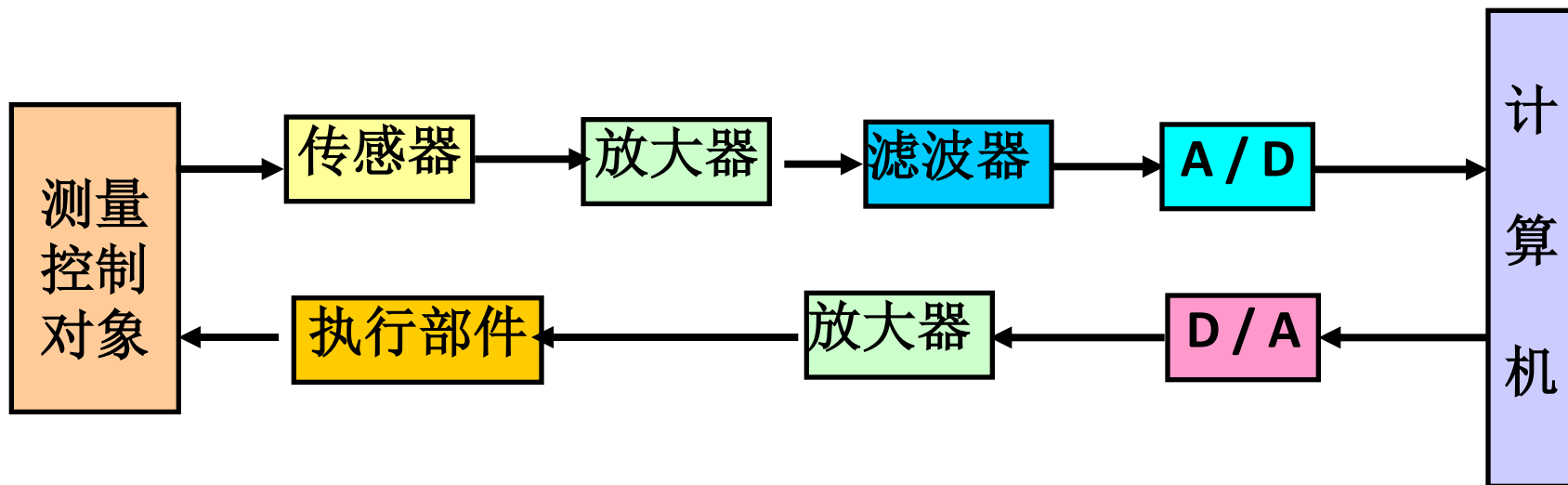
如: **01011010**、**11000011**

2. 数/模转换器DAC和模/数转换器ADC

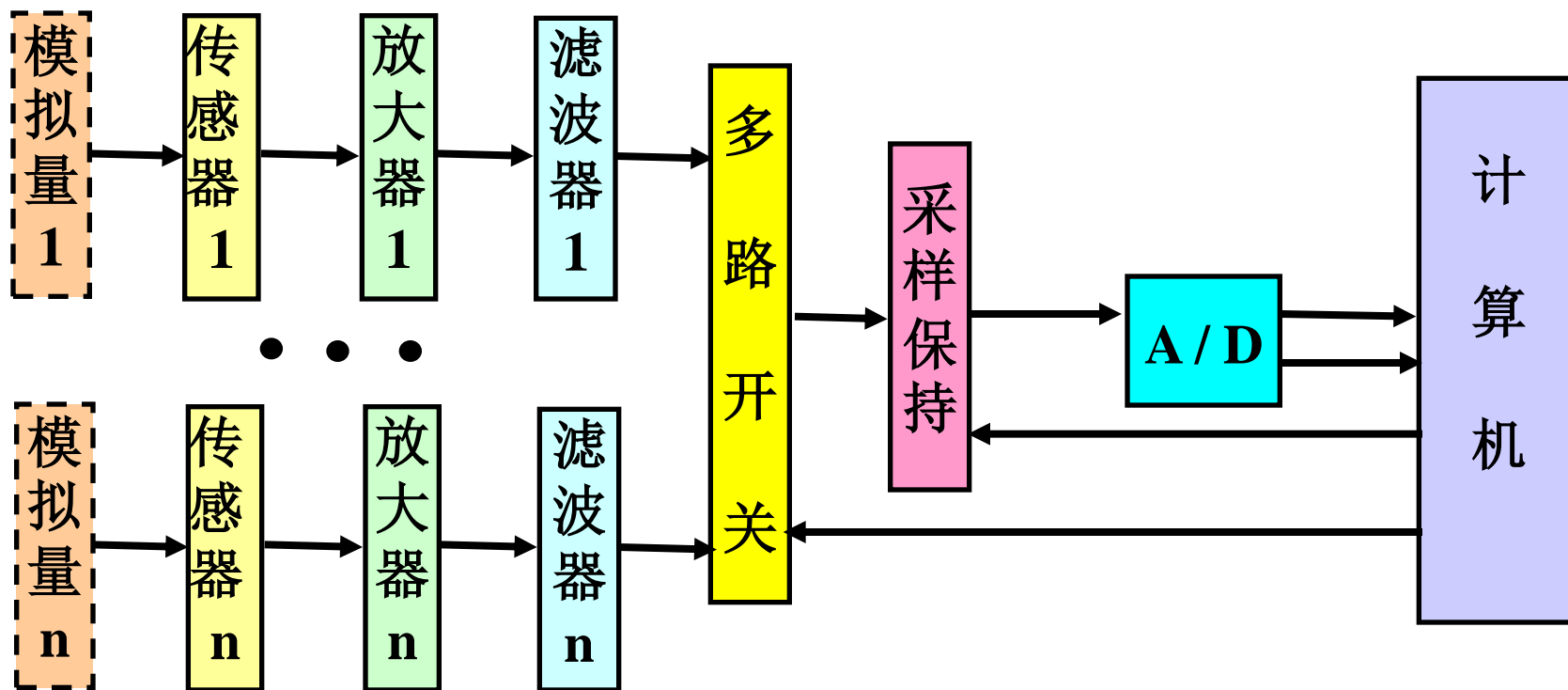
将数字量转换为模拟量的器件，DAC或D/A

将模拟量转换为数字量的器件，ADC或A/D

3. 计算机测量控制系统的构成



4. 数据采集系统



第2节 模/数转换器

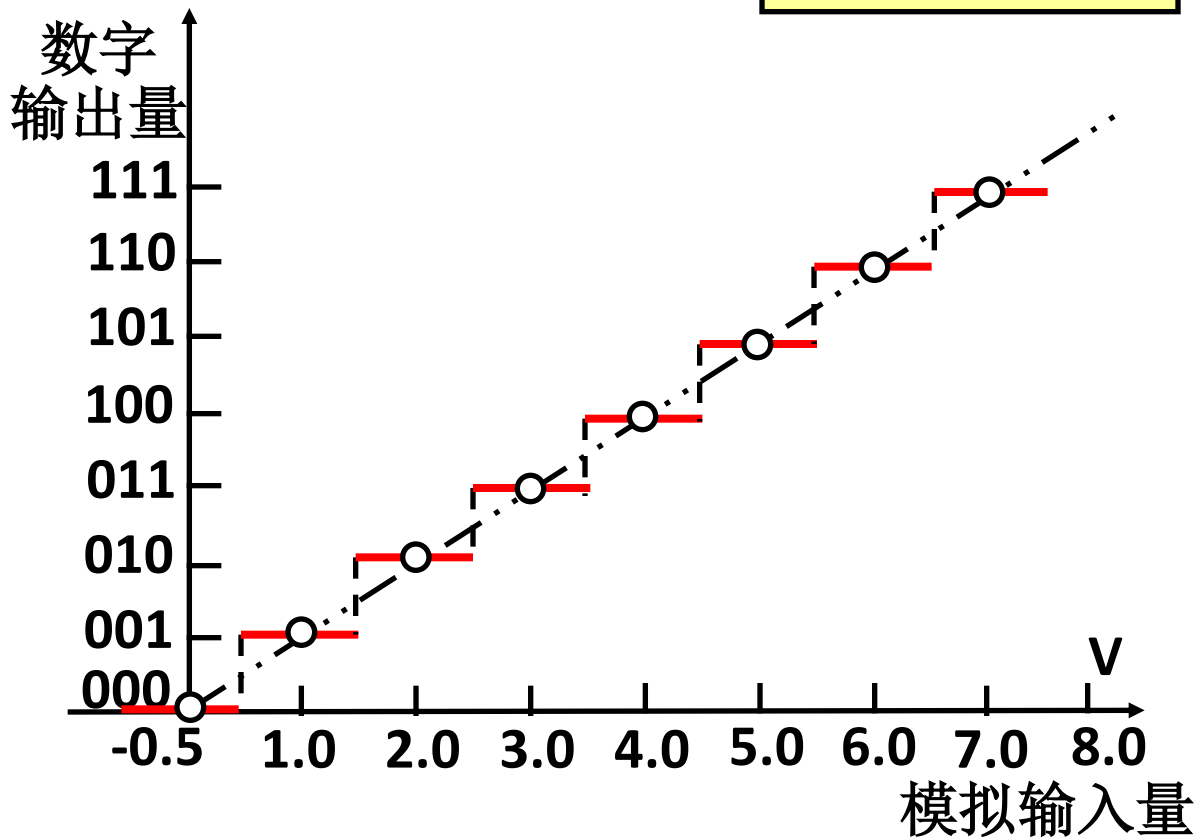
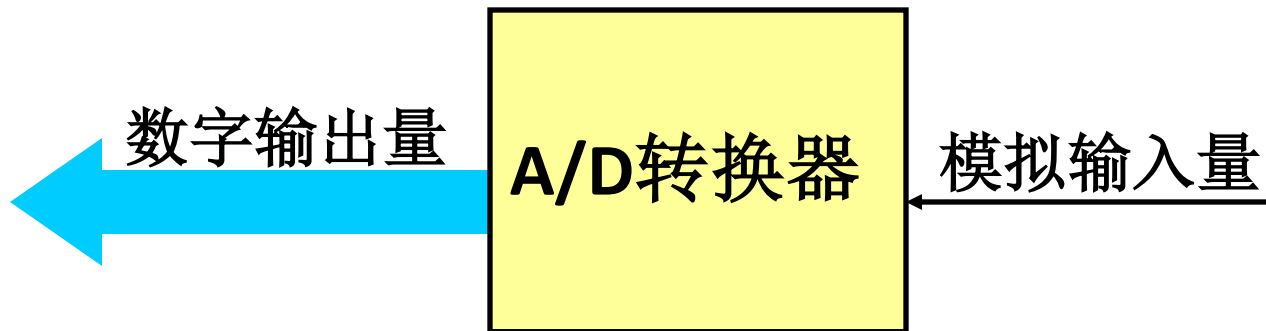
一、概述

1. A/D 转换器的基本原理
2. A/D转换器的技术指标
3. A/D转换器的分类
4. 采样保持电路和多路开关

二、MSP430的ADC12模块

1. 相关引脚
2. 总体结构
3. 各部分结构
4. 编程结构
5. 应用举例

1. A/D 转换器的基本原理

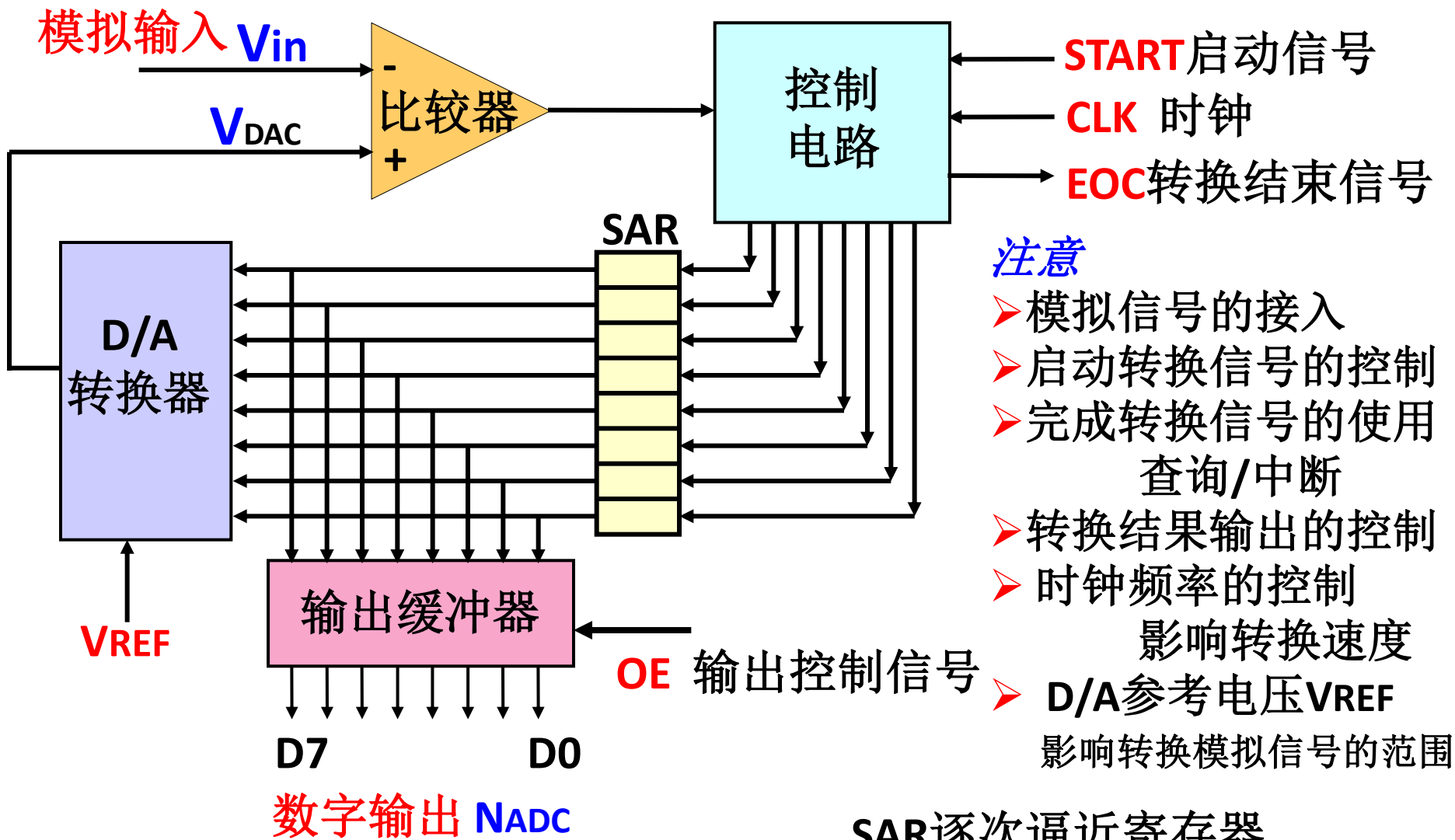


模拟输入	数字输出
-0.5~0.5V	000
0.5~1.5V	001
1.5~2.5V	010
2.5~3.5V	011
3.5~4.5V	100
4.5~5.5V	101
5.5~6.5V	110
6.5~7.5V	111

A/D转换器按工作原理分类

工作原理	特 点
计数式	结构简单、 转换速度慢、精度低，实际少用
双积分式	精度高、转换速度慢、抗干扰性能好
逐次逼近式	转换速度较快、精度较高 实际常用、抗干扰性能不如积分式
高速并行式	转换速度快, 价格高, 精度低

逐次逼近式A/D转换器原理图



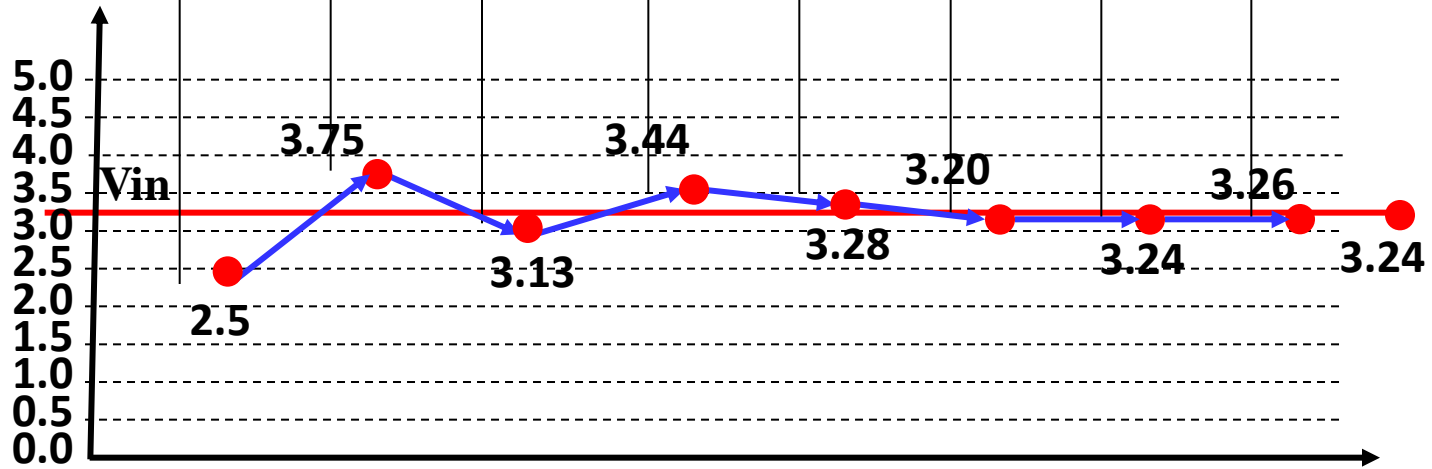
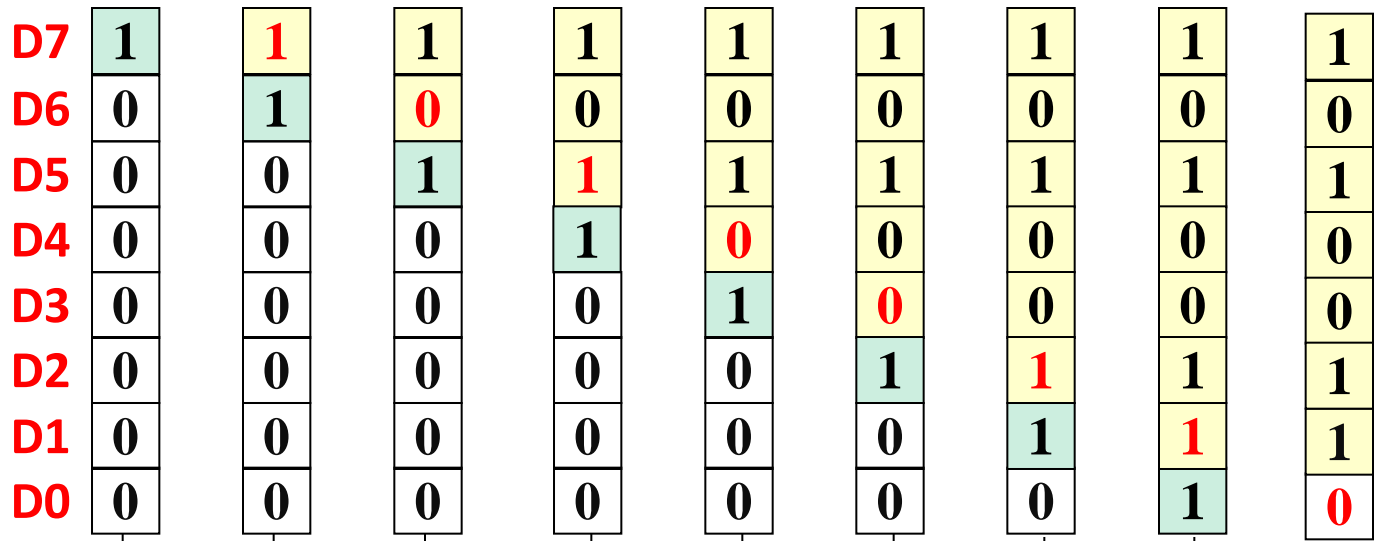
SAR逐次逼近寄存器

Successive **A**pproximation **R**egister

模拟输入量**3.24V**

8位逐次逼近ADC转换过程示意图

1000 0000	2.5
1100 0000	3.75
1010 0000	3.13
1011 0000	3.44
1010 1000	3.28
1010 0100	3.20
1010 0110	3.24
1010 0111	3.26
1010 0110	



2. A/D转换器的技术指标

- 分辨率
- 绝对精度
- 转换时间和转换率

■ 分辨率

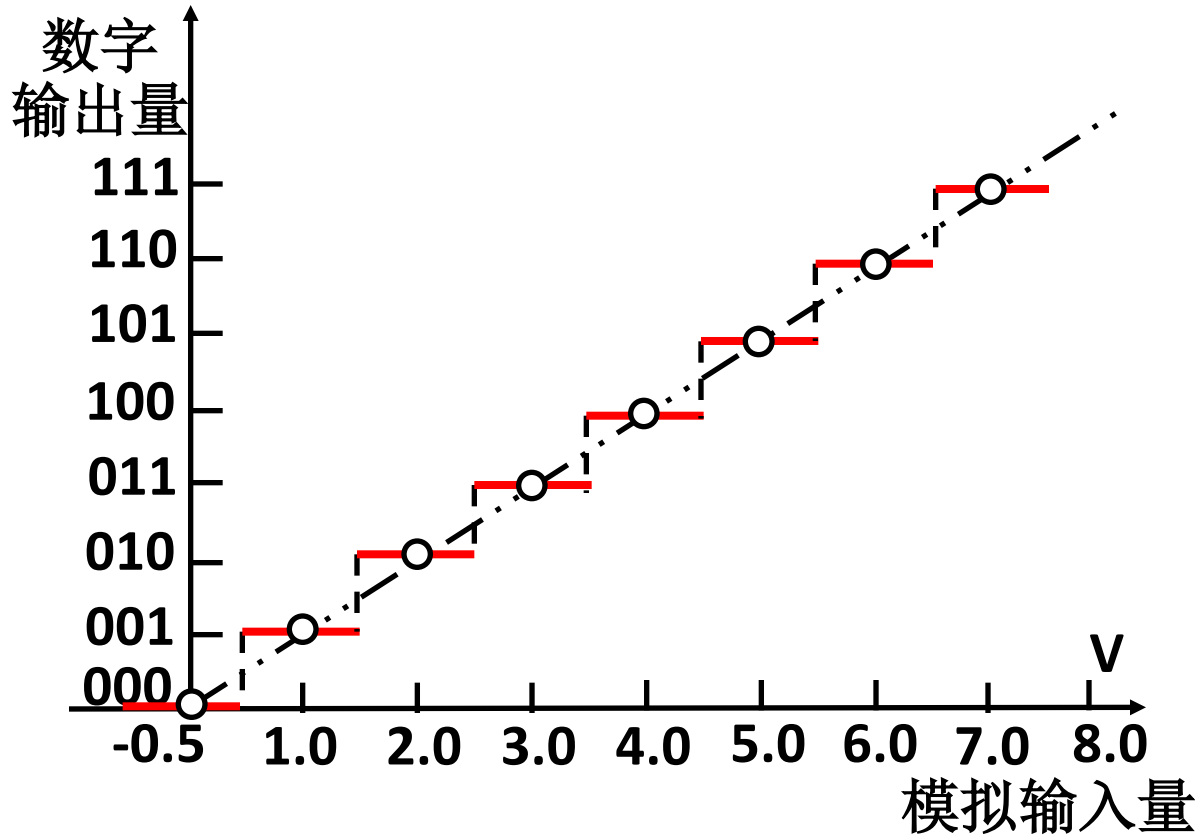
指A/D转换器所能分辨的最小模拟输入量，
或指转换器满量程模拟输入量被分离的级数。

A/D 分辨率通常用能转换成的数字量位数表示。

如： **8位A/D转换器的分辨率为8位**

10位A/D转换器的分辨率为10位

在ADC中，模拟量和数字量之间不是一一对应的关系



模拟输入	数字输出
-0.5~0.5V	000
0.5~1.5V	001
1.5~2.5V	010
2.5~3.5V	011
3.5~4.5V	100
4.5~5.5V	101
5.5~6.5V	110
6.5~7.5V	111

■ 绝对精度

指在输出端产生给定的数字量，
实际输入的模拟值与理论输入的模拟值之间的偏差。

反应ADC的实际输出接近理想输出的精确程度。

由于在一定范围内的模拟值产生相同的数字量，
取该范围内的中间模拟值计算。

例：某A/D转换器，理论上5V应对应数字量 800H，
实际上，4.997V~ 4.999V都产生数字量800H，
则绝对精度为 $(4.997+4.999)/2 - 5 = -2\text{mV}$

■ 转换时间

转换时间指完成一次A/D转换所需的时间，
从启动信号开始到转换结束，得到稳定数字量的时间。

■ 转换率

转换率是每秒钟转换次数（每秒钟采样点数），
等于转换时间的倒数。

单位: **SPS**、**kSPS**、**MSPS**等 (Sample Per Second)

3. A/D转换器分类

- 按工作原理分

 - 计数式、双积分式、逐次逼近式、高速并行式

- 按模拟量输入方式分

 - 单极性式、双极性式

- 按数字量输出方式分

 - 并行式、串行式

- 按输出是否带三态缓冲分

 - 带可控三态缓冲、不带可控三态缓冲

A/D转换器分类(续)

- 按性能特点分

- ①按分辨率分

- 4位、6位、8位、10位、12位、14位、16位、
、

- ②按转换速度分

- 低速、中速、高速、超高速

- (转换时间分别为 $\geq 1s$ 、 $\leq 1ms$ 、 $\leq 1\mu s$ 、 $\leq 1ns$)

- ③按转换精度分

- 低精度、中精度、高精度、超高精度

4. 采样保持电路和多路开关

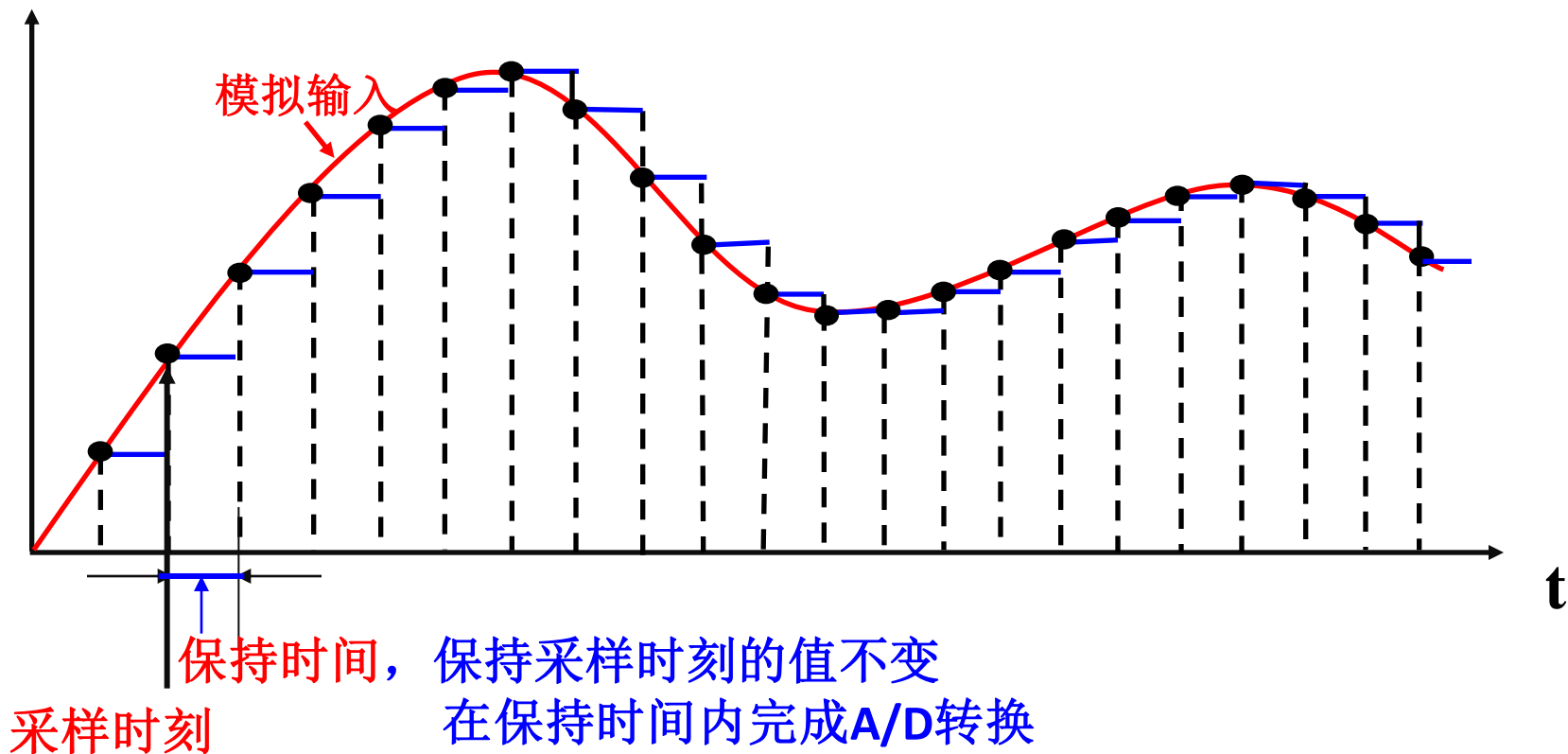
1) 采样保持电路的作用

2) 采样保持器的工作原理

3) 多路开关

1) 采样保持电路的作用

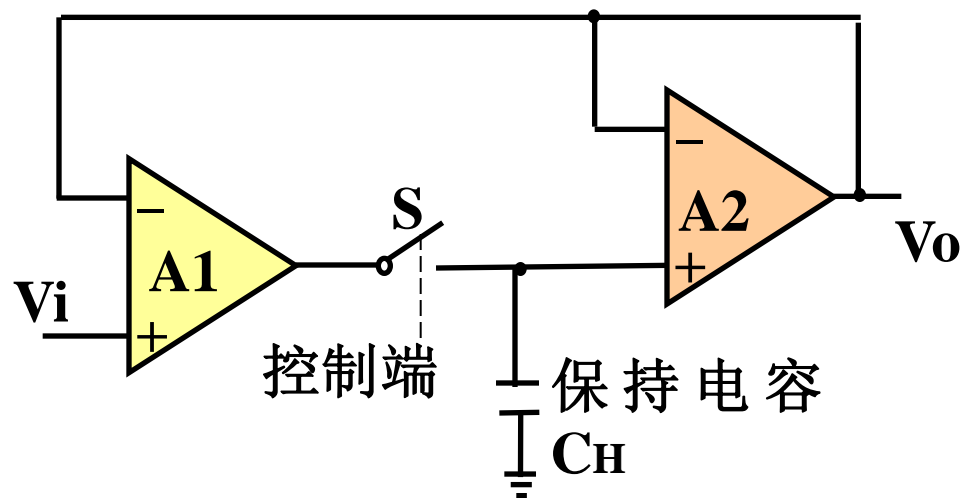
A/D转换器完成一次转换过程需要一定的时间，在这段时间内，输入端模拟信号的大小应保持不变，否则将影响转换的精度。



如果A/D转换速度比模拟信号变化速度快很多倍，则可将模拟信号直接加到A/D转换器上。

2) 采样保持器的工作原理

采样保持电路由：
输入缓冲放大器A1，
输出缓冲放大器A2，
保持电容CH，
控制开关S 构成



当S闭合

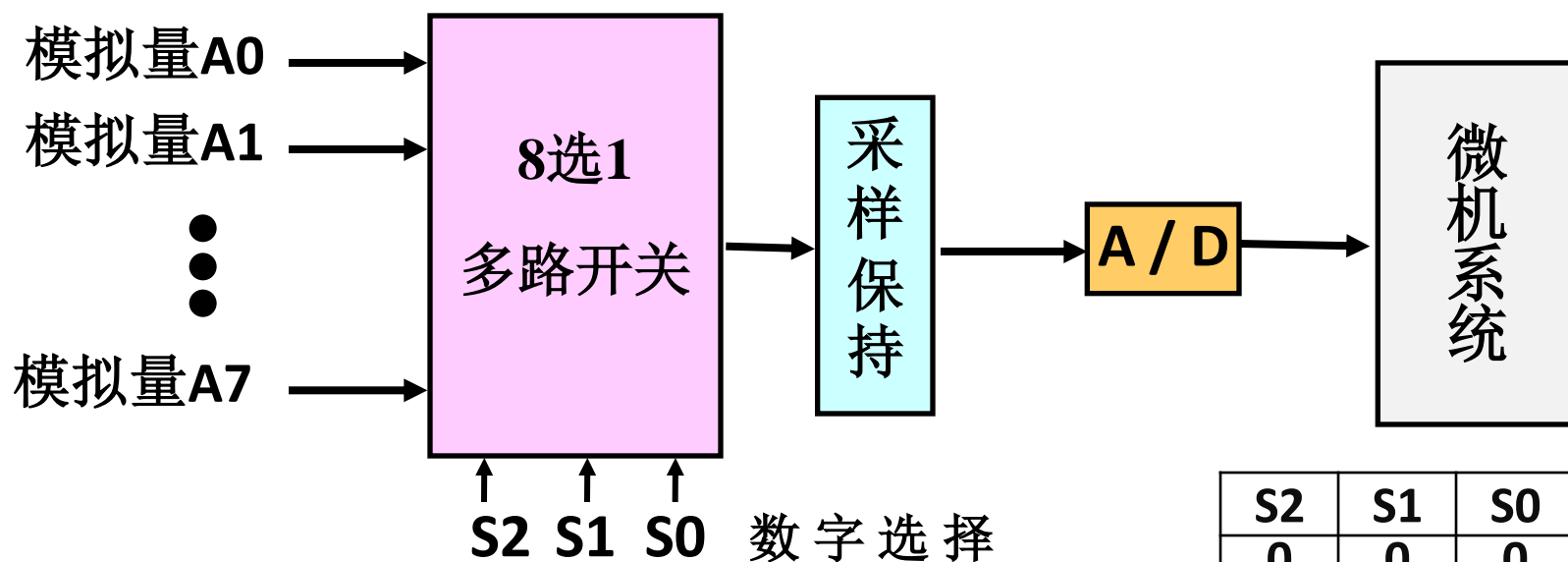
- ① 输出 V_o 随着输入 V_i 变化，处于采样状态；
- ② 保持电容CH迅速充电

当S断开：

- ① 输出 V_o 等于保持电容上的电压值，处于保持状态
- ② 由于A2的输入阻抗很高，流入A2的电流几乎为0，理想情况下，电容CH将保持充电时的最终电压值。

3) 多路开关

对多个变化较为缓慢的模拟信号进行A/D转换时，利用多路开关将各路模拟信号轮流与A/D转换器接通，使一个A/D转换器能完成多个模拟信号的转换，节省硬件开销。



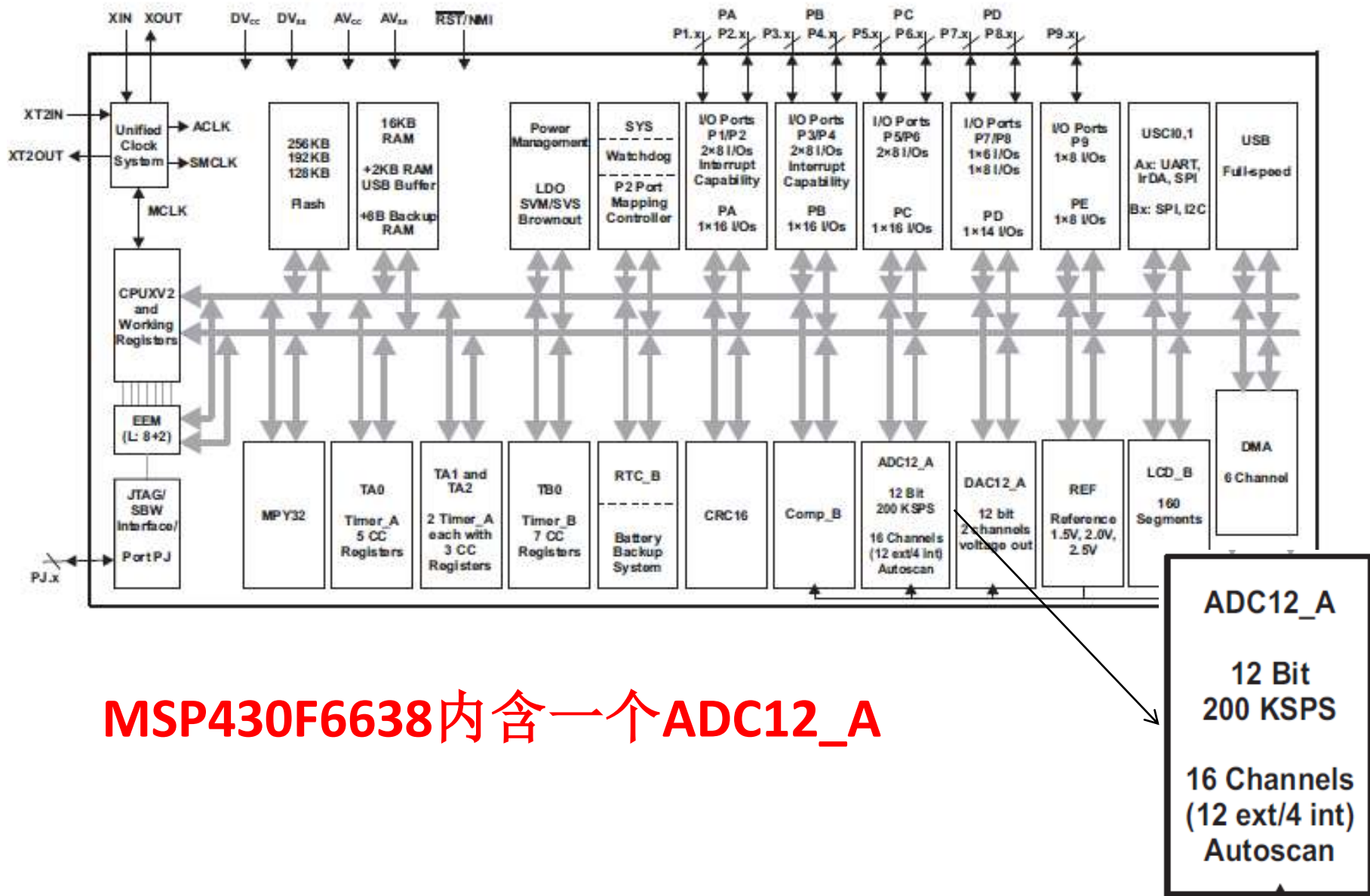
多路开关在模拟量输入/输出通道中，作用是切换模拟信号，故又称**模拟多路开关**。

S2	S1	S0	通道
0	0	0	A0
0	0	1	A1
0	1	0	A2
0	1	1	A3
1	0	0	A4
1	0	1	A5
1	1	0	A6
1	1	1	A7

二. MSP430的ADC12_A模块

1. 特点
2. 结构图
3. 编程结构
4. 转换模式
5. 应用举例

Functional Block Diagram, MSP430F6638, MSP430F6637, MSP430F6636



MSP430F6638内含一个ADC12_A

1. ADC12_A特点概述

- 采样速度快，最高可达200kp
- 分辨率12bit
- 内置采样保持器，采样时间可由定时器或软件编程控制
- 可转换12路单极性模拟信号
 - 12路外部电压型模拟输入信号，
 - 4路内部信号(内部温度、Avcc、外部参考电压正级和负极)
- 16个可灵活控制的转换通道
 - 每个通道可对参考电压源、转换的模拟信号进行设置
- 4种转换方式
 - 单通道单次、通道序列单次
 - 单通道多次、通道序列多次
- 采样/转换控制灵活，可由软件、定时器A和定时器B控制
- 提供片内1.5V、2.0V、2.5V参考电压
- ADC内核和参考电压可单独控制供电
- 18个分中断源: 16个通道转换完成、存储溢出和转换时间溢出

2、ADC12_A结构图

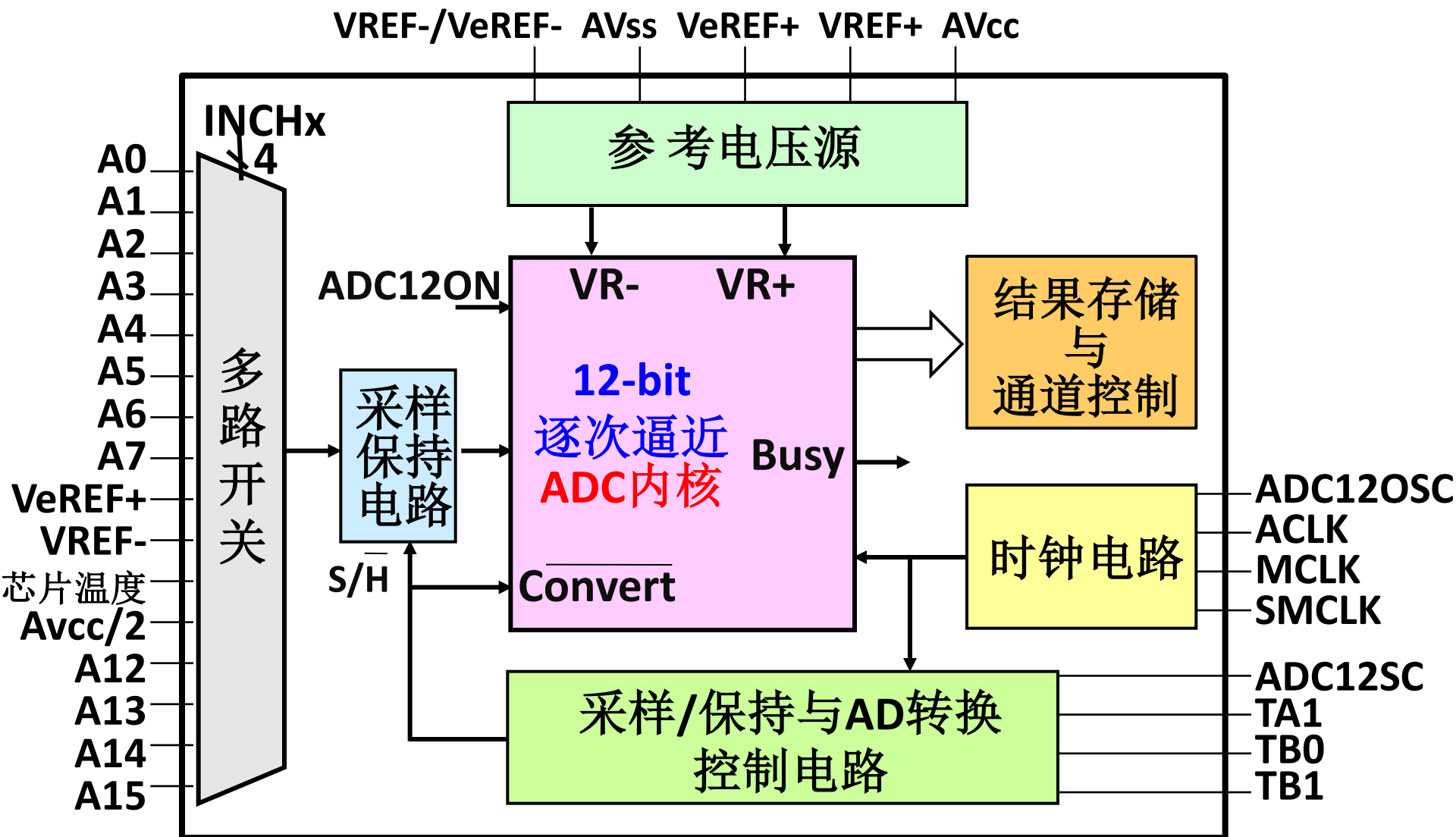
- 1) ADC12有关引脚
- 2) ADC12总体结构图
- 3) ADC12各部分结构图
 - 转换结果存储与通道控制
 - 多路开关
 - 参考电源
 - 时钟电路
 - ADC12内核
 - 采样与转换控制

1) ADC12有关引脚

引脚名称	作用
AVcc	模拟电路电源正极(输入)
AVss	模拟电路电源负极(输入)
DVcc	数字电路电源正极(输入)
DVss	数字电路电源负极(输入)
VeREF+	外部参考电压正极(输入)
VREF+	内部参考电压正极(输出)
VREF-/VeREF-	内部部和外部参考电压负极(输入)
P2.6/ADC12CLK	ADC12转换时钟(输出)
P6.0/A0	模拟电压输入信号A0
...	...
P6.7/A7	模拟电压输入信号A7
P7.4/A12	模拟电压输入信号A12
P7.5/A13	模拟电压输入信号A13
P7.6/A14	模拟电压输入信号A14
P7.7/A15	模拟电压输入信号A15

例:
置P7.7为模拟信号输入
P7SEL |= BIT7;

2) ADC12总体结构图



3) ADC12_A各部分结构电路

- 转换结果存储与通道控制
- 多路开关
- 参考电源
- 时钟电路
- ADC12内核
- 采样与转换控制

ADC12 转换通道(channel)的概念



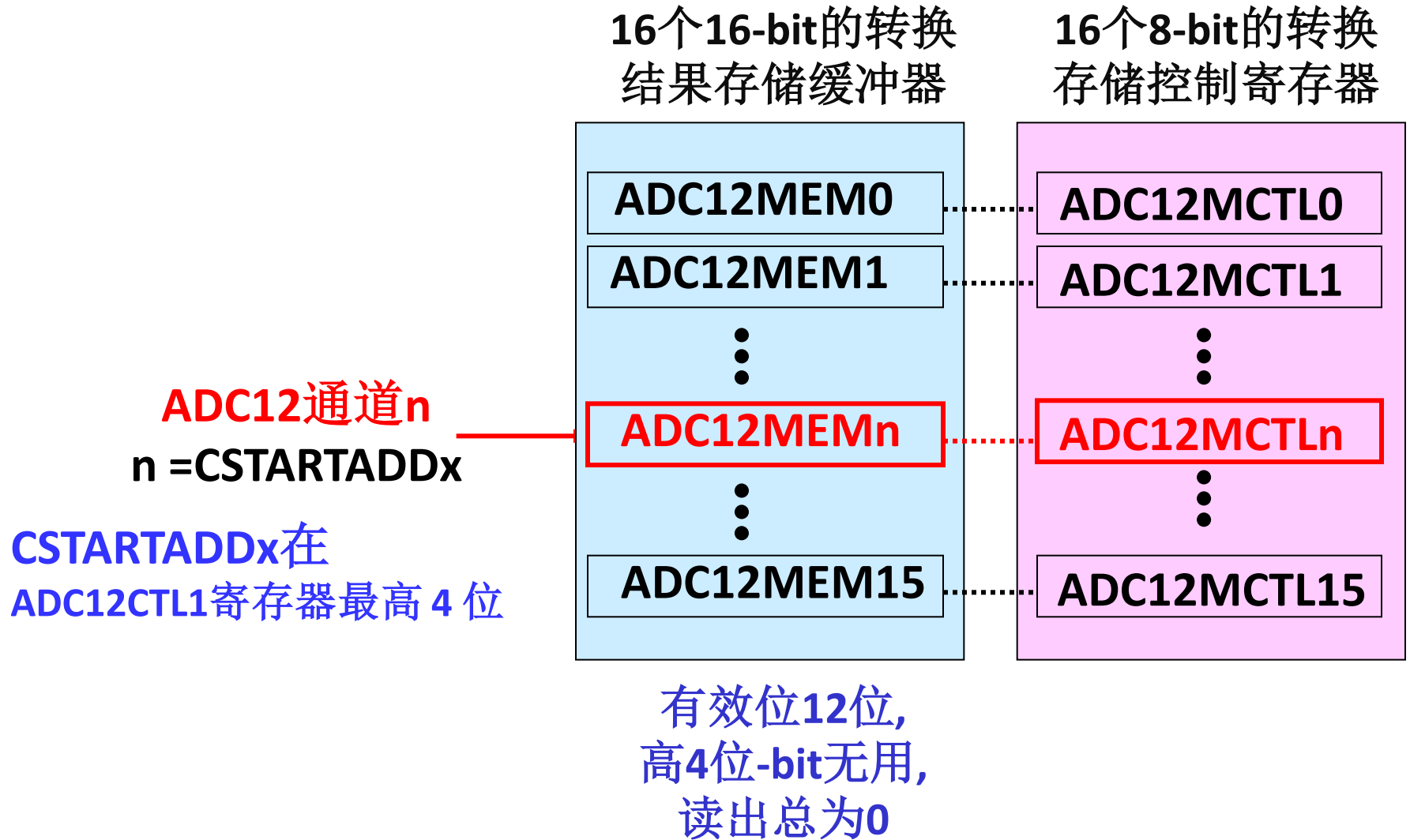
- ADC12的转换控制采用**转换通道**(简称**通道**)进行, 共有**16**个通道, 编号从**0~15**
- 每个通道(假设通道号为n)都有**2**个寄存器:
 - 转换通道控制寄存器ADC12MCTLn**
用于设置ADC12内核的参考电压源、模拟信号输入源、是否通道序列末尾标志等
 - 转换结果存储寄存器ADC12MEMn**
用于存放通道转换的模拟信号的转换结果
- ADC12的各通道是分别独立的
 - 通道n可转换**12**个模拟信号中的任何一个
 - 不同的ADC12通道可以对同一个模拟信号进行转换
 - 不同的ADC12通道可以有**不同的参考电压源**

ADC12_A 转换通道(channel)的概念

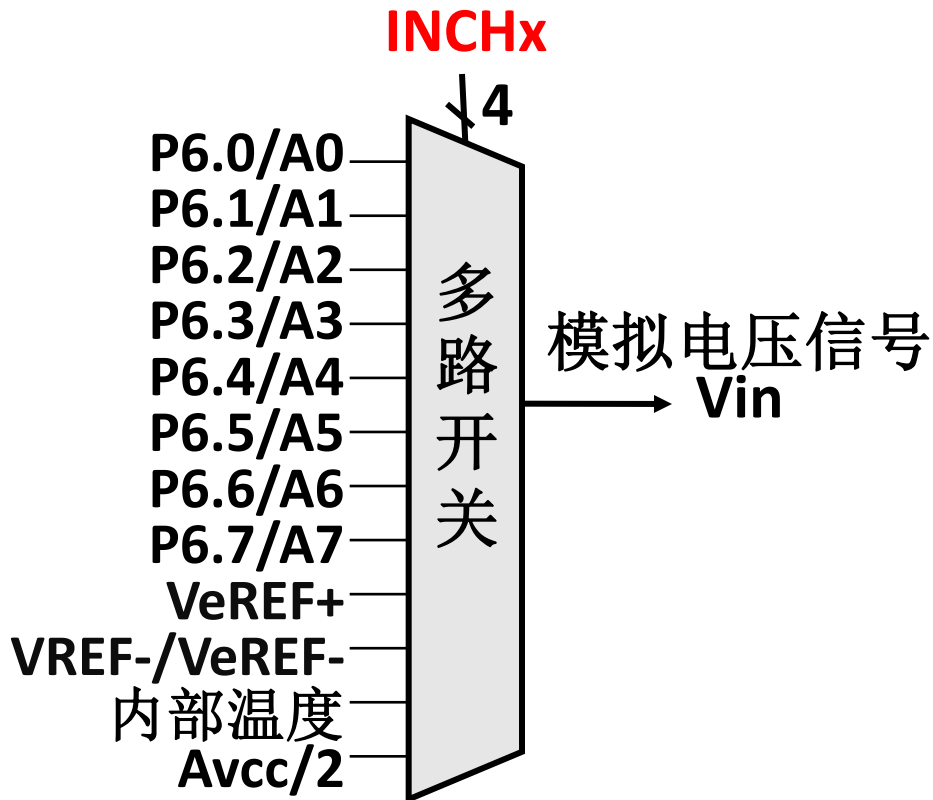


- 2个及以上编号相邻的通道构成**通道序列**(Sequence of Channels)
- 由ADC12CTL1中的**CSTARTADDx**指定
单通道时的**通道号**
或 **通道序列**时的**起始通道号**
- 由通道控制寄存器中的**EOS位标识**是否是通道序列的**结尾通道**
如通道0、1、2 构成1个含3个通道的通道序列
CSTARTADDx=0000B, ADC12MCTL2中的EOS=1
如通道14、15、0、1 构成1个含4个通道的通道序列
CSTARTADDx=1110B, ADC12MCTL1中的EOS=1

● ADC12转换结果存储和通道控制

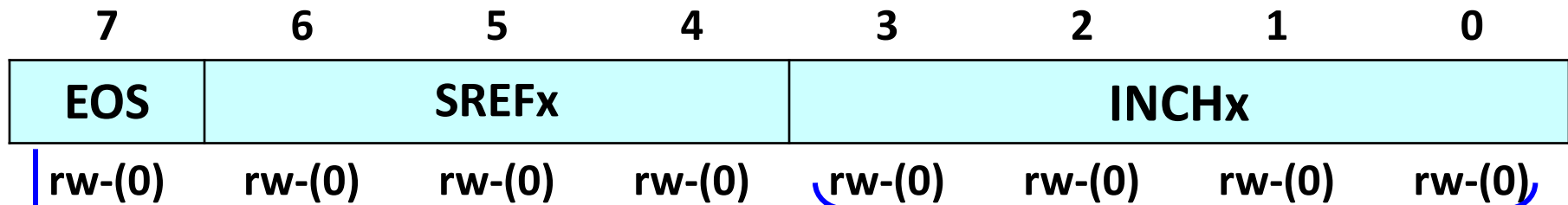


● 多路开关



INCHx	模拟信号
0000	A0
0001	A1
0010	A2
0011	A3
0100	A4
0101	A5
0110	A6
0111	A7
1000	VeREF+
1001	VREF-/VeREF-
1010	内部温度
其他	Avcc/2

INCHx在通道控制寄存器 ADC12MCTLn中(n=0~15)



通道n模拟输入信号选择

- 0000: A0
- 0001: A1
- 0010: A2
- 0011: A3
- 0100: A4
- 0101: A5
- 0110: A6
- 0111: A7
- 1000: VeREF+
- 1001: VREF-/VeREF-
- 1010: 芯片温度
- 1011: Avcc/2
- 1100: A12
- 1101: A13
- 1110: A14
- 1111: A15

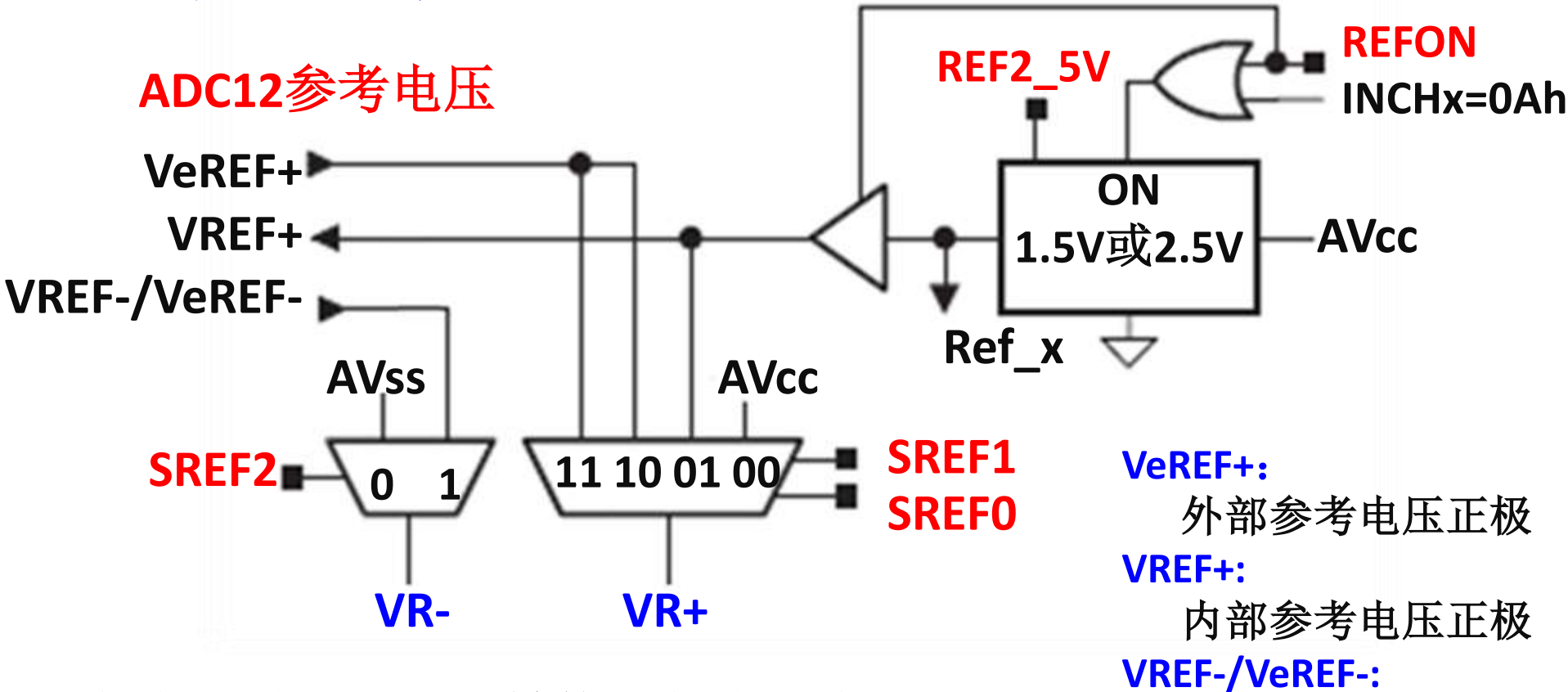
通道序列末尾标志

- 0: 非通道序列末尾
- 1: 通道序列末尾

决定通道转换哪路模拟信号

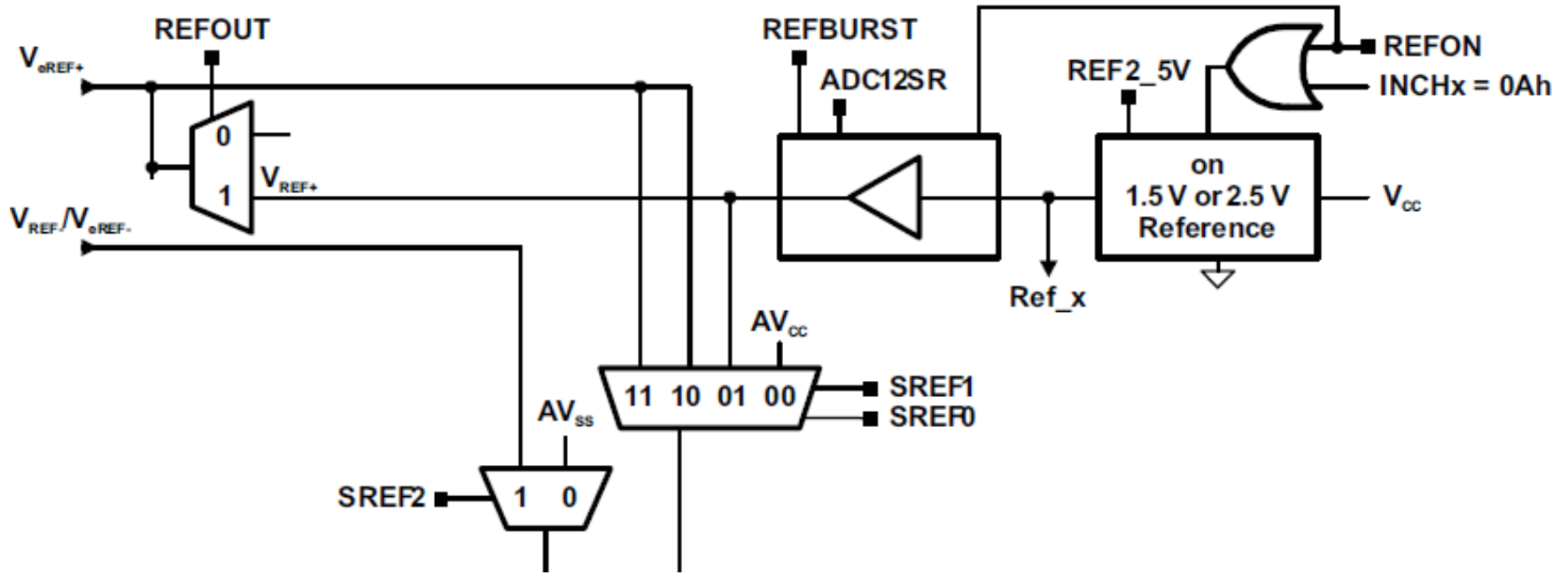
● 参考电压电路

ADC12参考电压



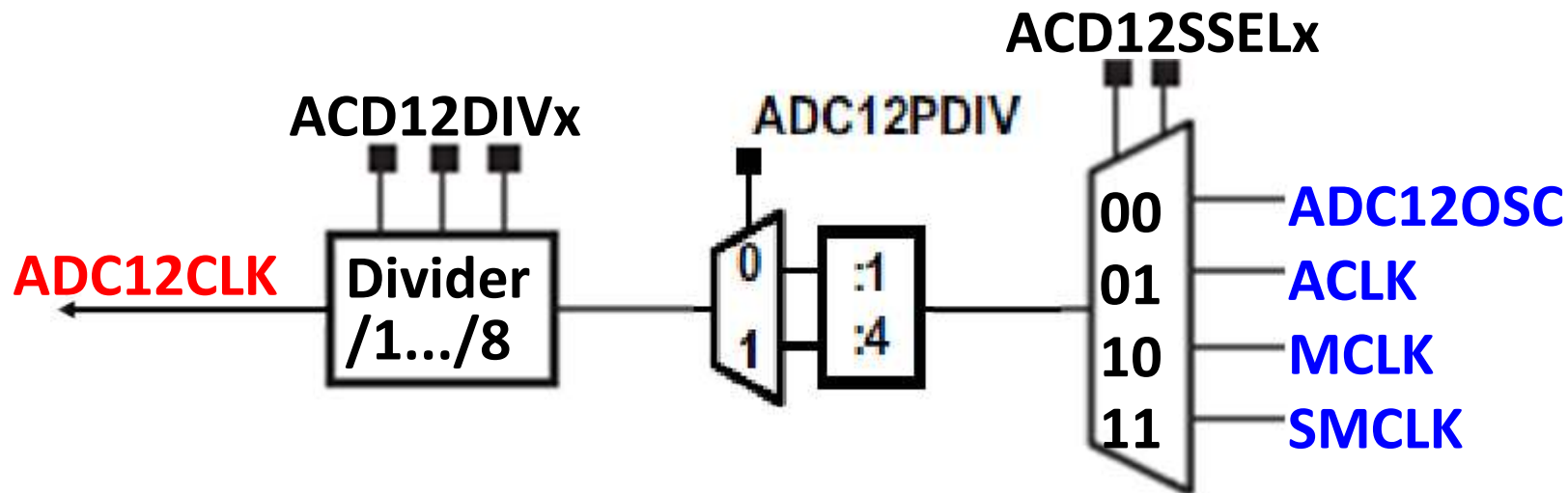
- 提供逐次逼近ADC转换用的参考电压
- 参考电压决定了转化的模拟信号的输入范围。
- 参考电压负极VR- 可在 AVSS和 VeREF-/VREF- 选择
- 参考电压正极VR+可在VeREF+、AVCC、VREF+ (1.5V或2.5V)选择

ADC12_A参考电压



比ADC12多了REFOUT、REFBURST、ADC12SR控制位

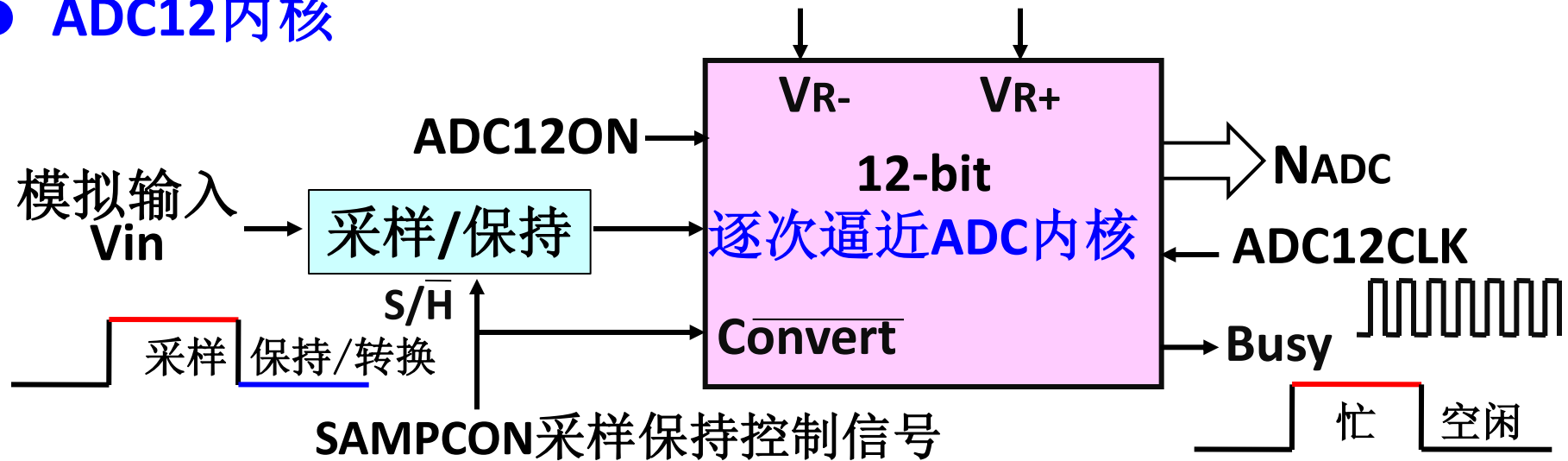
● 时钟电路



时钟电路产生的**ADC12CLK**:

- 用于提供**ADC12**内核工作用时钟信号，
以及采样定时器方式下的采样定时器时钟；
- **ADC12OSC**时钟由模块内部产生，约**5MHz**，受电压、温度的影响

● ADC12内核



ADC12ON : ADC12内核供电控制, 1: on ; 0: off

VR+ : 参考电压正极

VR- : 参考电压负极, 通常 $VR- = 0$

Vin : 模拟输入信号(电压型)

S/ \bar{H} : 采样保持控制信号, 1:采样; 0: 保持

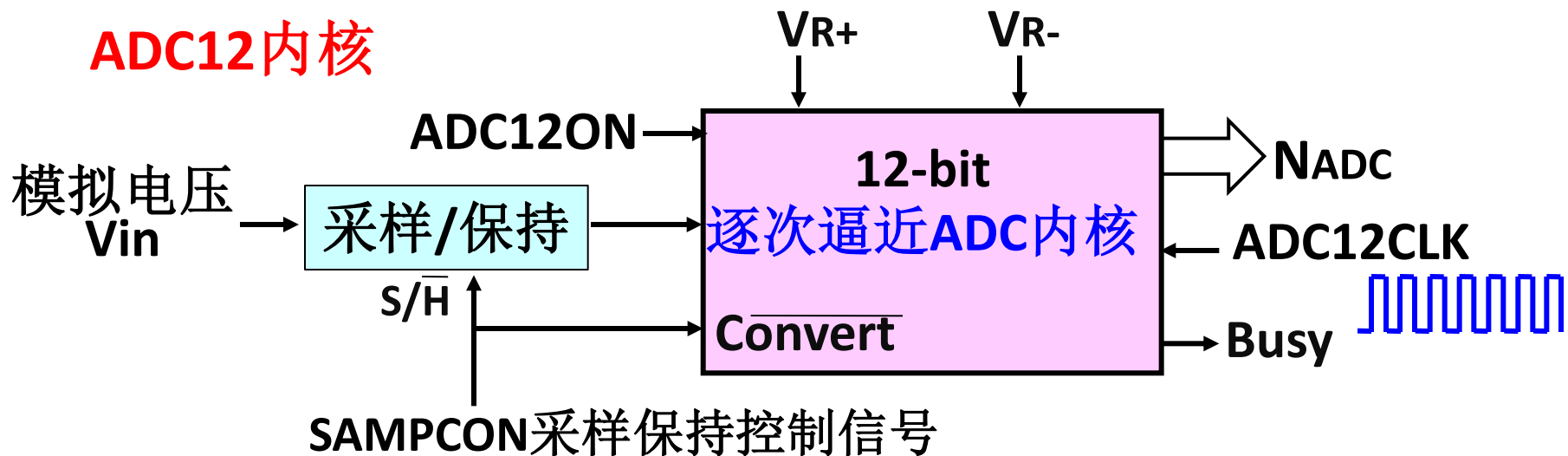
$\overline{Convert}$: ADC启动转换信号, 0: 转换

ADC12CLK : ADC12工作时钟信号

Busy : ADC内核状态信号, 1: 忙, 采样或转换; 0: 空闲, 无操作

N_{ADC} : 模拟电压转换后对应的数字量

ADC12内核



- 模拟电压信号 V_{in} 的输入范围: $V_{R-} \leq V_{in} \leq V_{R+}$
受参考电压源限制

- ADC12的转换结果
$$N_{ADC} = 4095 \times \frac{V_{in} - V_{R-}}{V_{R+} - V_{R-}}$$

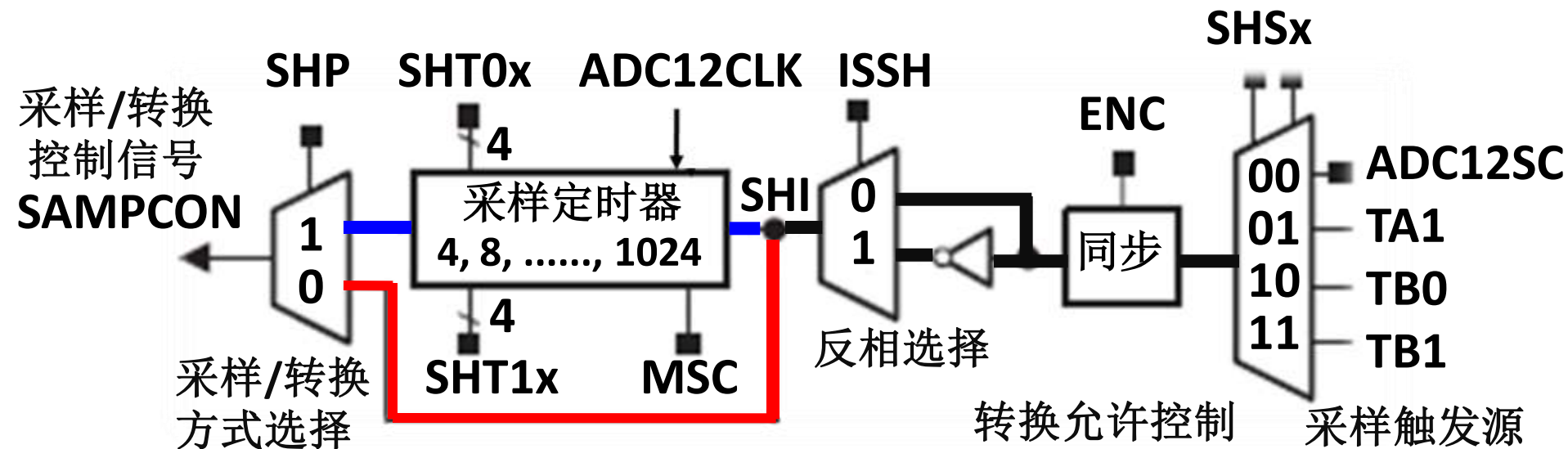
当 $V_{in} = V_{R+}$, $N_{ADC} = 4095$

当 $V_{in} = V_{R-}$, $N_{ADC} = 0$

当 $V_{R-} = 0$ 时, $N_{ADC} = 4095 \times V_{in}/V_{R+}$

模拟量的大小: $V_{in} = V_{R+} \times N_{ADC}/4095$

● 采样与转换控制电路



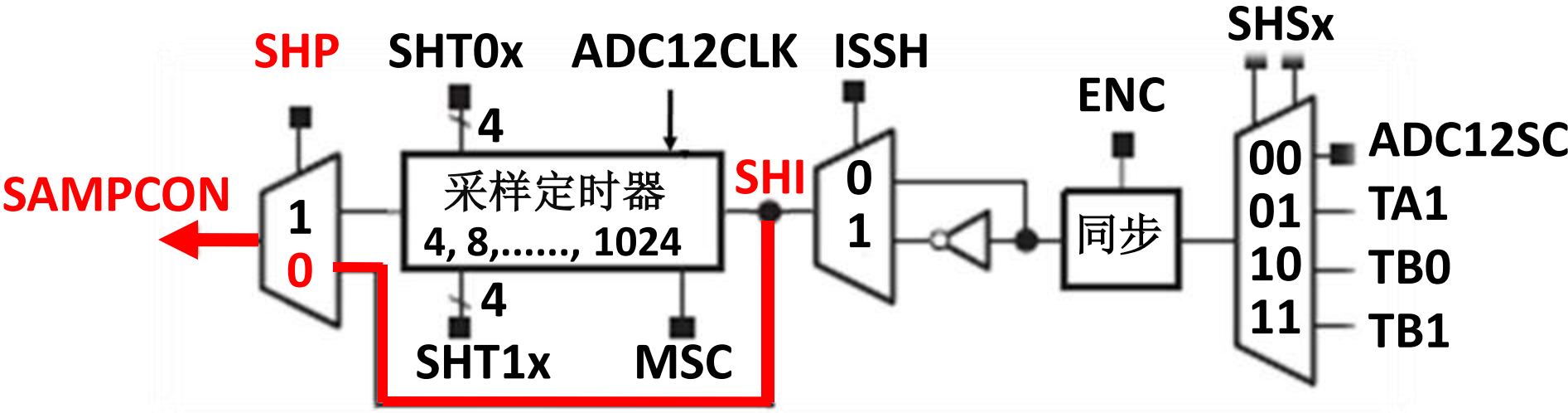
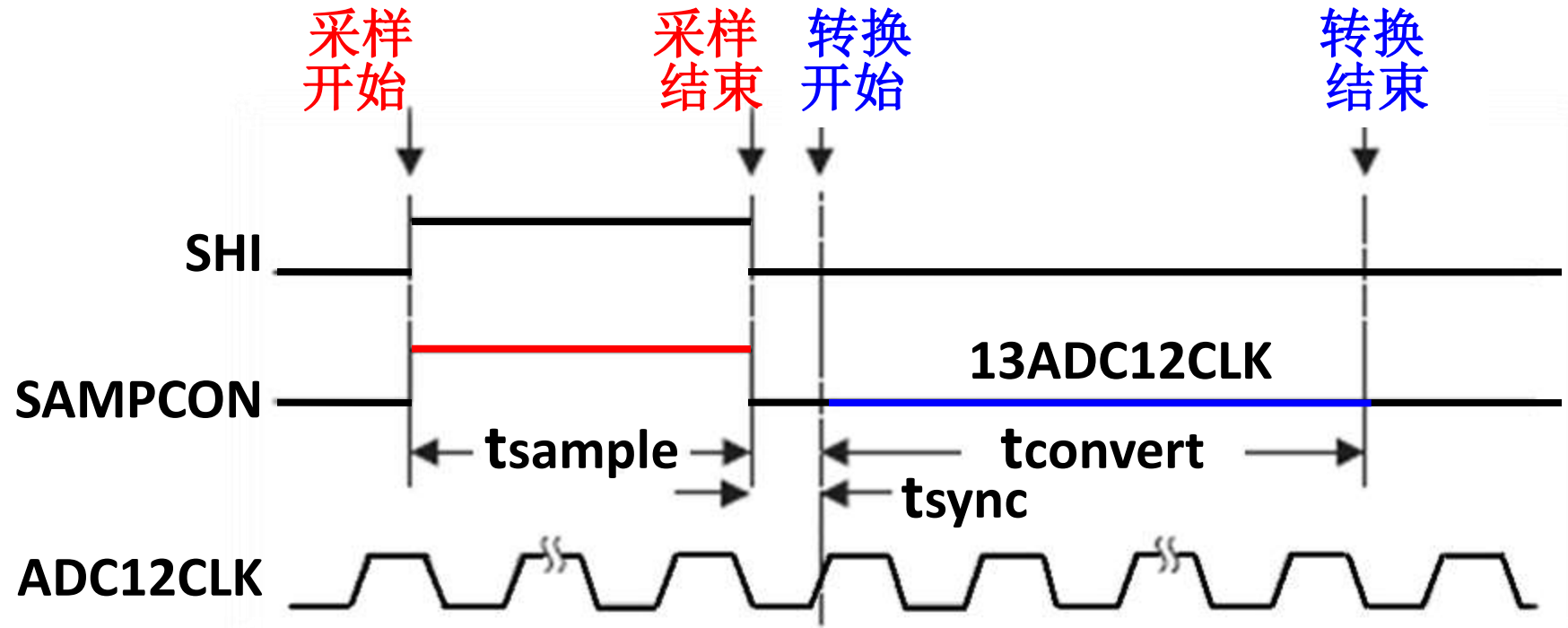
提供采样/转换的控制信号**SAMP CON**

两种采样/转换控制方式:

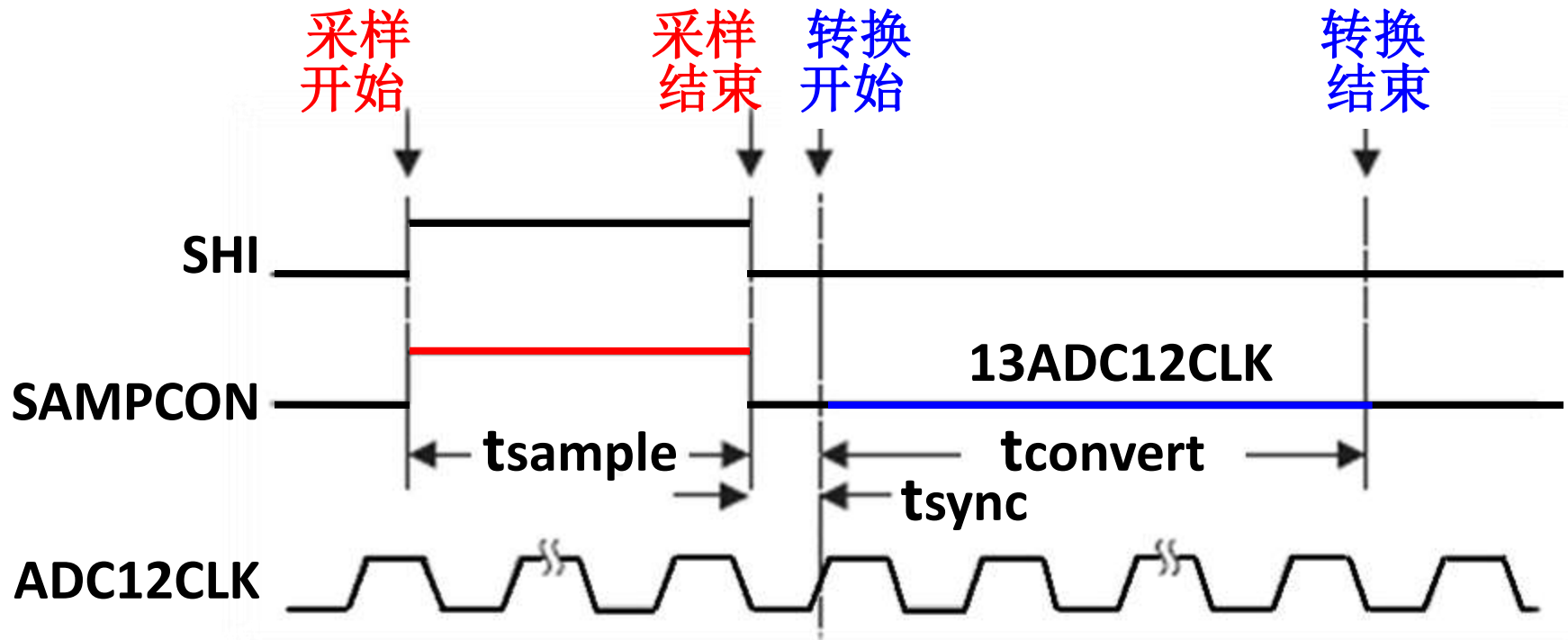
SHP=0: 非采样定时器模式(Extended Sample Mode)

SHP=1: 采样定时器模式(Pulse Sample Mode)

非采样定时器方式SHP=0

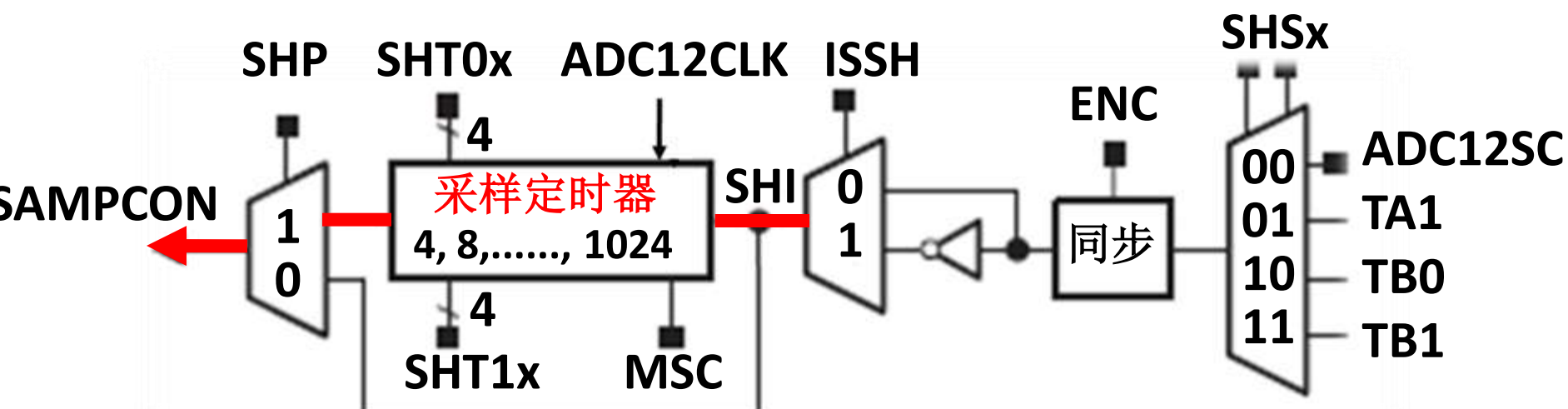
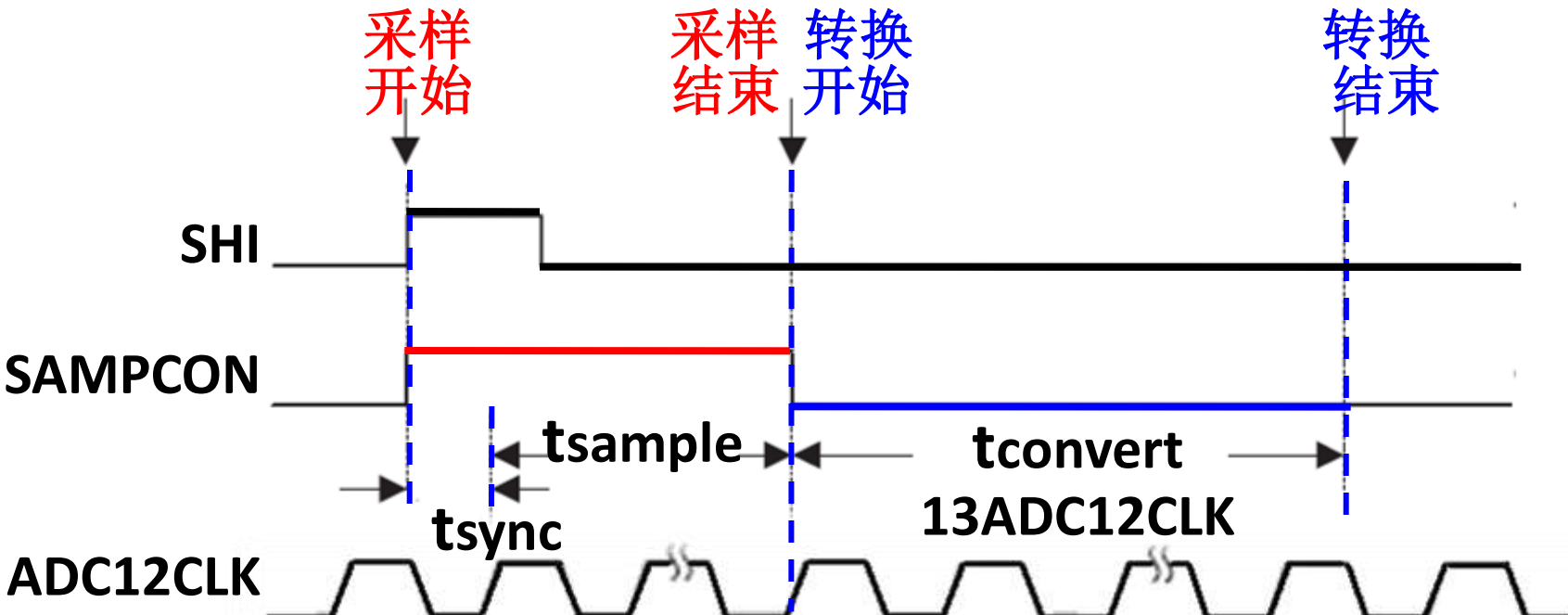


非采样定时器方式SHP=0(续)

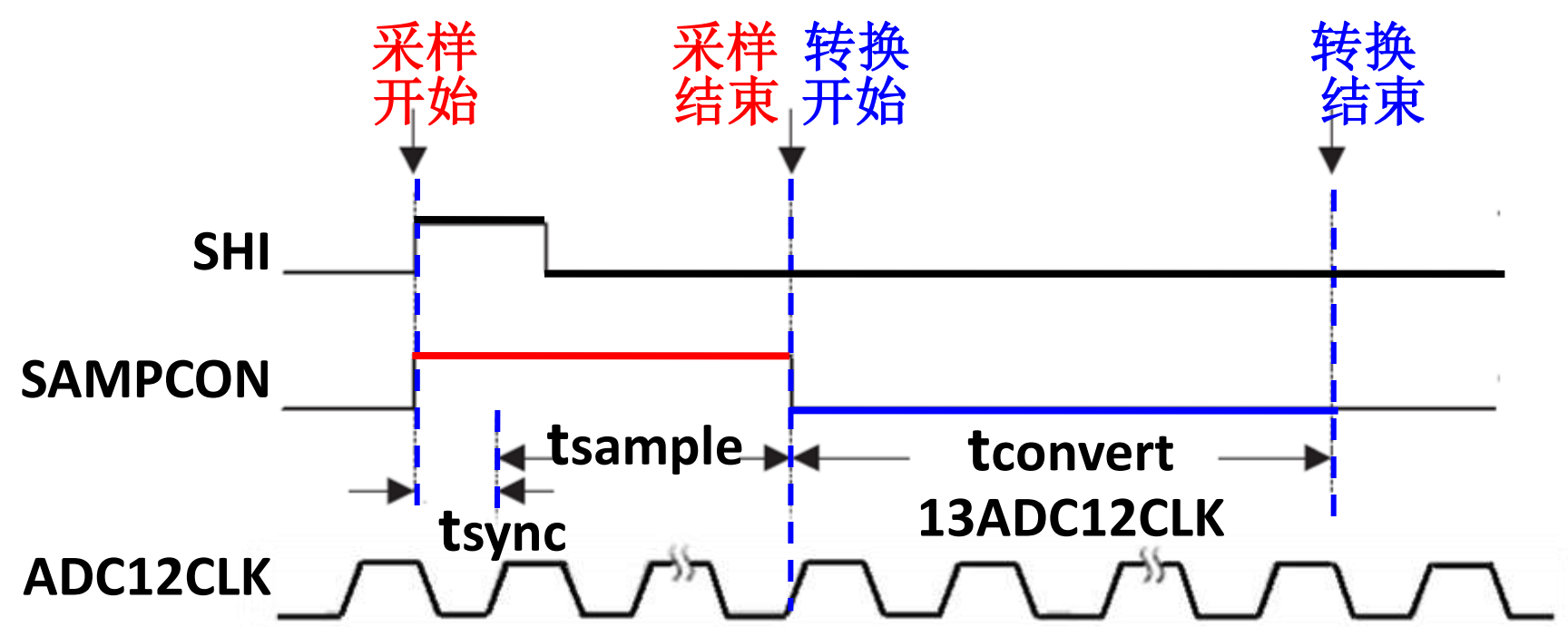


- SHI信号直接控制采样/转换信号SAMPCON
- SHI信号高电平时间直接控制采样时间 T_{sample}
采样时间 t_{sample} = SHI信号高电平时间
- 当SHI由高变低, 与ADC12CLK信号同步后,开始A/D转换
 $0 \leq$ 同步时间 $t_{sync} \leq 1 \times ADC12CLK$
转换时间 $t_{convert} = 13 \times ADC12CLK$

采样定时器方式SHP=1



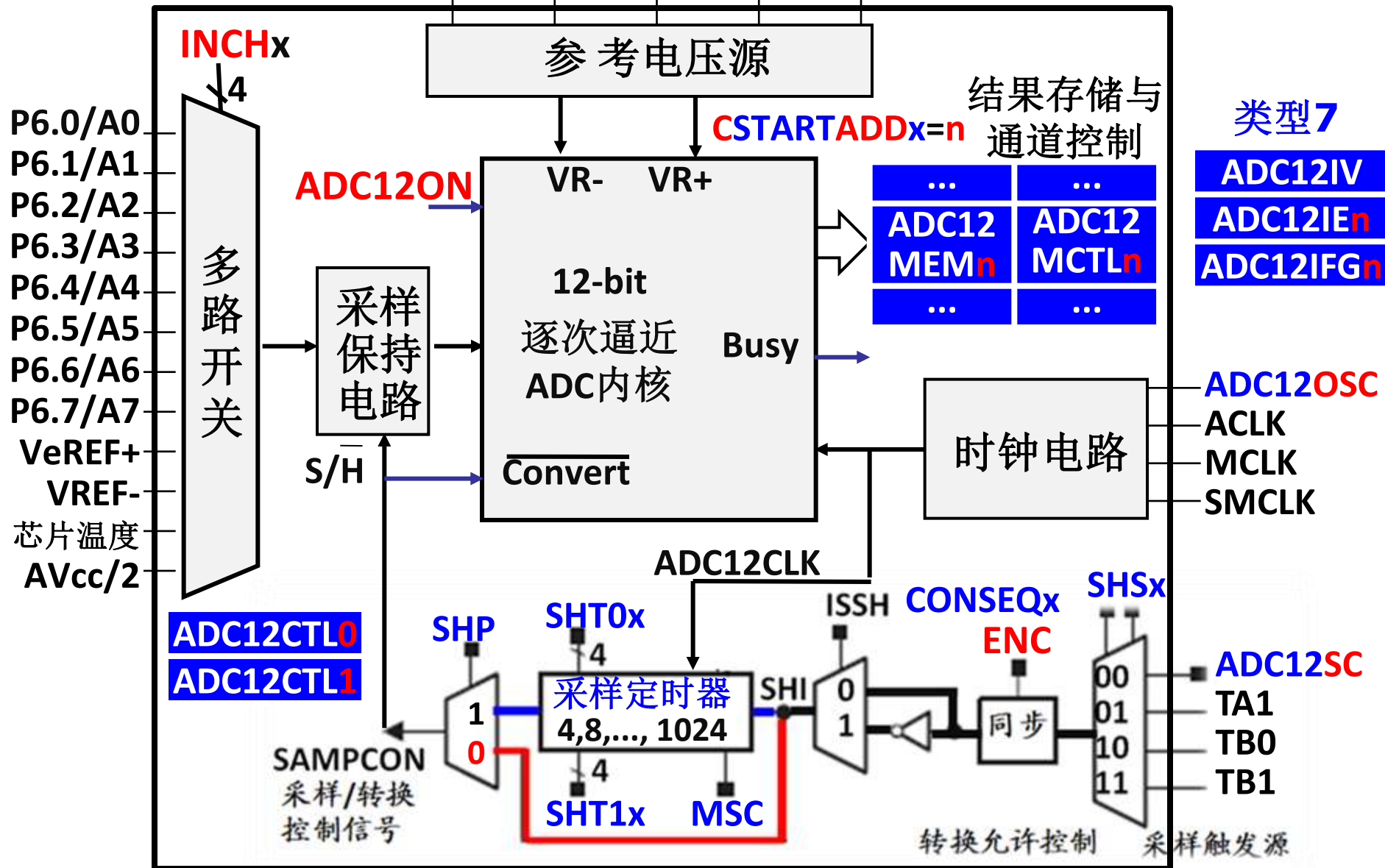
采样定时器方式SHP=1(续)



- $t_{\text{sample}} = m \times \text{ADC12CLK}$ ($4 \leq m \leq 1024$)
m = ADC12CTL0中SHTx设定的时钟数
- SHI信号触发采样定时器开始计数
- SAMPCON高电平时间 = $t_{\text{sync}} + t_{\text{sample}}$
- 当SAMPCON由高变低，采样结束，开始A/D转换，
转换时间 $T_{\text{convert}} = 13 \times \text{ADC12CLK}$

ADC12总体结构图和编程结构图

VREF-/VeREF- AVss VeREF+ VREF+ AVcc



3. 编程结构

ADC12_A共有38个寄存器

寄存器名称	寄存器符号
ADC12_A控制寄存器0	ADC12CTL0
ADC12_A控制寄存器1	ADC12CTL1
ADC12_A控制寄存器2	
ADC12_A通道控制寄存器0	ADC12MCTL0
.....
ADC12_A通道控制寄存器15	ADC12MCTL15
ADC12_A通道转换结果存储寄存器0	ADC12MEM0
.....
ADC12_A通道转换结果存储寄存器15	ADC12MEM15
ADC12_A中断标志寄存器	ADC12IFG
ADC12_A中断允许寄存器	ADC12IE
ADC12_A中断矢量寄存器	ADC12IV

● ADC12CTL0 (ADC12控制寄存器0)

通道8~15采样定时器方式下的
采样时钟数

通道0~7采样定时器方式下的
采样时钟数

15 14 13 12

11 10 9 8

SHT1x

SHT0x

rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)
7	6	5	4	3	2	1	0

MSC	REF2_5V	REFON	ADC12ON	ADC12OVIE	ADC12TOVIE	ENC	ADC12SC
-----	---------	-------	---------	-----------	------------	-----	---------

rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)
--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

内部参考
电压值

0: 1.5V
1: 2.5V

内部参考
电压控制

0: 关闭
1: 启用

存储溢出
中断允许

0: 禁止
1: 允许

时间溢出
中断允许

0: 禁止
1: 允许

软件采样和
转换控制位

多次采样和转换控制
(作用见后)

ADC12内核控制

0: 关闭
1: 启用

转换允许控制

0: 禁止转换
1: 允许转换

注意: ADC12CTL0的D15~D4位需在ENC=0时方可修改

采样时间 t_{sample} 的设置

(SHP=1采样定时器方式下有效)

SHT0x 决定通道0~7的 t_{sample}

SHT1x 决定通道8~15的 t_{sample}



SHTx	采样时间 (ADC12CLK时钟数)
0000	4
0001	8
0010	16
0011	32
0100	64
0101	96
0110	128
0111	192

SHTx	采样时间 (ADC12CLK时钟数)
1000	256
1001	384
1010	512
1011	768
1100	1024
1101	1024
1110	1024
1111	1024

$$4 \times \text{ADC12CLK} \leq t_{\text{sample}} \leq 1024 \times \text{ADC12CLK}$$

● ADC12CTL1 (ADC12控制寄存器1)

起始通道选择
 0000: 通道0
 0001: 通道1
 ...
 1111: 通道15

采样触发源选择
 00: ADC12SC位控制
 01: Timer_A OUT1
 10: Timer_B OUT0
 11: Timer_B OUT1

采样控制方式
 0: 非采样定时器方式
 1: 采样定时器方式

采样触发源反相控制
 0: 不反相
 1: 反相

CSTARTADDx				SHSx		SHP	ISSH
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)
7	6	5	4	3	2	1	0

ADC12DIVx			ADC12SSELx		CONSEQx		ADC12 BUSY
rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	w-(0)	rw-(0)	r-(0)

时钟源分频控制
 000: /1
 001: /2
 010: /3
 ...
 110: /7
 111: /8

时钟源选择
 00: ADC12OSC
 01: ACLK
 10: MCLK
 11: SMCLK

转换方式选择
 00: 单通道单次
 01: 序列通道单次
 10: 单通道多次
 11: 序列通道多次

ADC12状态
 0: 空闲
 1: 忙

注意: ADC12CTL1的D15~D3位需在ENC=0时方可修改

● ADC12CTL2 (ADC12控制寄存器2)

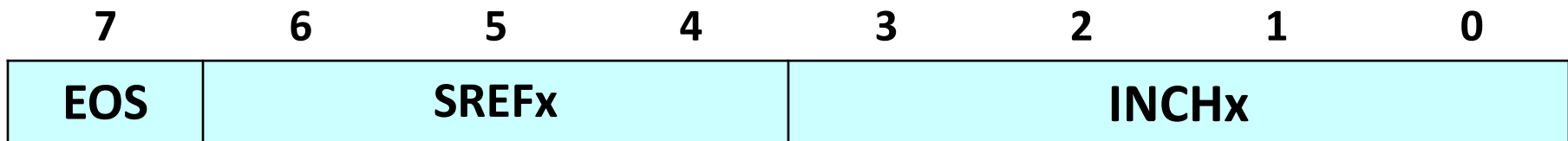
ADC12_A Control Register 2 (ADC12CTL2)

15	14	13	12	11	10	9	8
Reserved							ADC12PDIV
r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	rw-0
7	6	5	4	3	2	1	0
ADC12TCOFF	Reserved	ADC12RES		ADC12DF	ADC12SR	ADC12REFOUT	ADC12REFBURST
rw-(0)	r-0	rw-(1)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)	rw-(0)

Modifiable only when ADC12ENC = 0

Reserved	Bits 15-9	Reserved. Read back as 0.
ADC12PDIV	Bit 8	ADC12_A predivider. This bit predivides the selected ADC12_A clock source. 0 Predivide by 1 1 Predivide by 4
ADC12TCOFF	Bit 7	ADC12_A temperature sensor off. If the bit is set, the temperature sensor turned off. This is used to save power.
Reserved	Bit 6	Reserved. Read back as 0.
ADC12RES	Bits 5-4	ADC12_A resolution. This bit defines the conversion result resolution. 00 8 bit (9 clock cycle conversion time) 01 10 bit (11 clock cycle conversion time) 10 12 bit (13 clock cycle conversion time) 11 Reserved
ADC12DF	Bit 3	ADC12_A data read-back format. Data is always stored in the binary unsigned format. 0 Binary unsigned. Theoretically the analog input voltage - V_{REF} results in 0000h, the analog input voltage + V_{REF} results in 0FFFh. 1 Signed binary (2s complement), left aligned. Theoretically the analog input voltage - V_{REF} results in 8000h, the analog input voltage + V_{REF} results in 7FF0h.
ADC12SR	Bit 2	ADC12_A sampling rate. This bit selects the reference buffer drive capability for the maximum sampling rate. Setting ADC12SR reduces the current consumption of the reference buffer. 0 Reference buffer supports up to ~200 ksp/s. 1 Reference buffer supports up to ~50 ksp/s.
ADC12REFOUT	Bit 1	Reference output 0 Reference output off 1 Reference output on
ADC12REFBURST	Bit 0	Reference burst. 0 Reference buffer on continuously 1 Reference buffer on only during sample-and-conversion

● 通道控制寄存器 ADC12MCTLn (n=0~15)



rw-(0) rw-(0) rw-(0) rw-(0) rw-(0) rw-(0) rw-(0) rw-(0)

参考电压选择

- 000: VR+=AVcc, VR-=AVss
- 001: VR+=VREF+, VR-=AVss
- 010: VR+=VeREF+, VR-=AVss
- 011: VR+=VeREF+, VR-=AVss
- 100: VR+=AVcc, VR-=VREF-/VeREF-
- 101: VR+=VREF+, VR-=VREF-/VeREF-
- 110: VR+=VeREF+, VR-=VREF-/VeREF-
- 111: VR+=VeREF+, VR-=VREF-/VeREF-

通道n模拟输入信号选择

- 0000: A0
- 0001: A1
- 0010: A2
- 0011: A3
- 0100: A4
- 0101: A5
- 0110: A6
- 0111: A7
- 1000: VeREF+
- 1001: VREF-/VeREF-
- 1010: 芯片温度
- 其他: Avcc/2

通道序列末尾标志

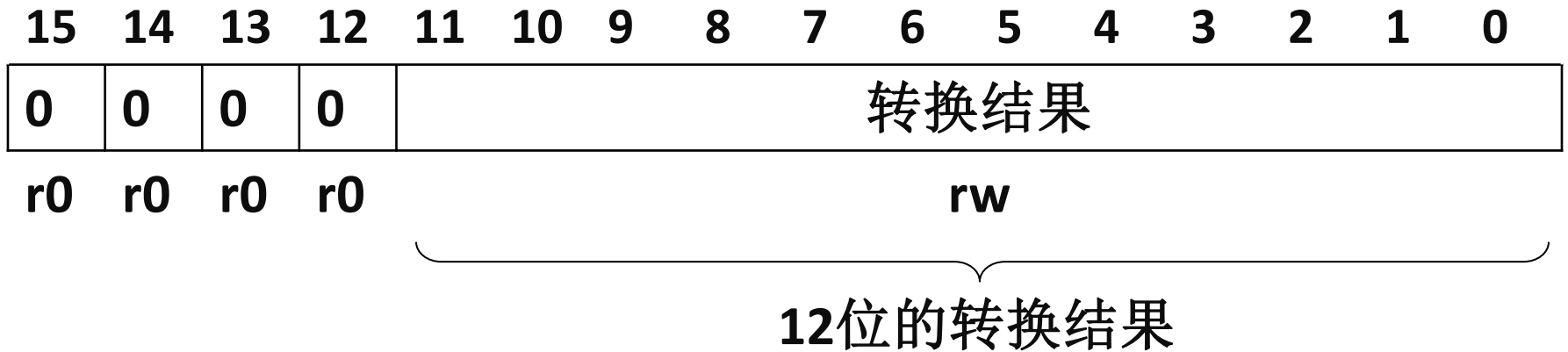
0: 非通道序列末尾

1: 通道序列末尾

注意: ADC12MCTLn的D7~D0位需在ENC=0时方可修改

● 通道转换结果存储寄存器ADC12MEM_n (n=15~0)

用于存放通道_n的A/D转换结果



当通道_n的A/D转换结束后，
转换结果自动存放对应的ADC12MEM_n寄存器中

ADC12_A Conversion Memory Register (ADC12MEMx), 2s-Complement Format

15	14	13	12	11	10	9	8
Conversion Results							
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw
7	6	5	4	3	2	1	0
Conversion Results				0	0	0	0
rw	rw	rw	rw	r0	r0	r0	r0

Conversion Results

Bits 15-0

The 12-bit conversion results are left justified, 2s-complement format. Bit 15 is the MSB. Bits 3–0 are 0 in 12-bit mode, bits 5–0 are 0 in 10-bit mode, and bits 7–0 are 0 in 8-bit mode. This data format is used if ADC12DF = 1. The data is stored in the right-justified format and is converted to the left-justified 2s-complement format during read back.

● ADC12中断标志寄存器ADC12IFG

- 存放16个转换通道中ADC12MEM_n的状态信息
- 当通道_n的A/D转换结束, 转换结果自动存放到ADC12MEM_n中, 并置相应的ADC12IFG_n位为1, **n与转换的通道号相对应**
- 当ADC12MEM_x寄存器的内容被读取后, **自动置相应的ADC12IFG_n位为0**

15 14 13 12 11 10 9 8

ADC12 IFG15	ADC12 IFG14	ADC12 IFG13	ADC12 IFG12	ADC12 IFG11	ADC12 IFG10	ADC12 IFG9	ADC12 IFG8
----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	---------------	---------------

rw-(0) rw-(0) rw-(0) rw-(0) rw-(0) rw-(0) rw-(0) rw-(0)

7 6 5 4 3 2 1 0

ADC12 IFG7	ADC12 IFG6	ADC12 IFG5	ADC12 IFG4	ADC12 IFG3	ADC12 IFG2	ADC12 IFG1	ADC12 IFG0
---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------

rw-(0) rw-(0) rw-(0) rw-(0) rw-(0) rw-(0) rw-(0) rw-(0)

上电复位ADC12相关控制寄存器设置分析

寄存器复位值	有关设置
控制寄存器1 ADC12CTL1=0	起始通道号CSTARTADDx=0 工作时钟ADC12CLK=ADC12OSC,不分频 采样触发源ADC12SC, 软件启动 非采样定时器方式SHP=0 单通道单次转换方式CONSEQx=00
通道控制寄存器 ADC12MCTL0=0	参考电压源VR+=AVcc, VR-=AVss 模拟输入为A0, INCHx=0, [非通道序列末尾EOS=0]
控制寄存器0 ADC12CTL0=0	禁止ADC12转换ENC=0, ADC12内核断电ADC12ON=0 内部参考电压关闭REFON=0 [采样定时器采样时间设置SHT1x,SHT0x=0. 4ADC12CLK] [停止多次采样转换控制MSC=0] 禁止 存储溢出中断、转换时间溢出
中断允许寄存器 ADC12IE=0	禁止各通道转换完成中断

4、ADC12的4种转换方式

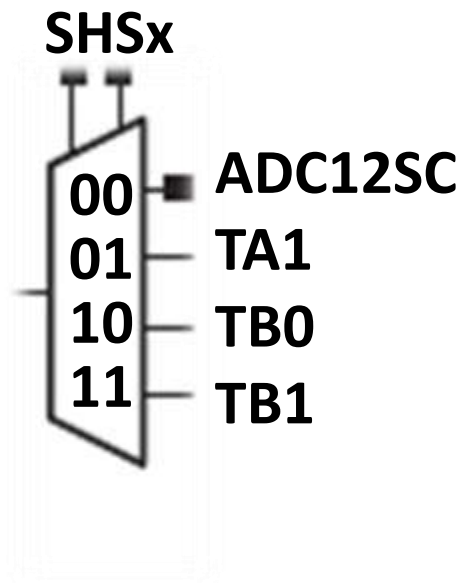
	CONSEQx值
■ 单通道单次转换方式 Single channel single-conversion	00
■ 通道序列单次转换方式(见后) Sequence-of-channels	01
■ 单通道多次转换方式(见后) Repeat-single-channel	10
■ 通道序列多次转换方式(见后) Repeat-sequence- of-channels	11

ADC12控制寄存器1

15	14	13	12	11	10	9	8
CSTARTADDx				SHSx		SHP	ISSH
7	6	5	4	3	2	1	0
ADC12DIVx			ADC12SSELx		CONSEQx	ADC12 BUSY	

■ 单通道单次转换方式 $CONSEQx=00$

SHI信号控制单个通道进行1次采样转换
转换的通道号由CSTARTADDx指定

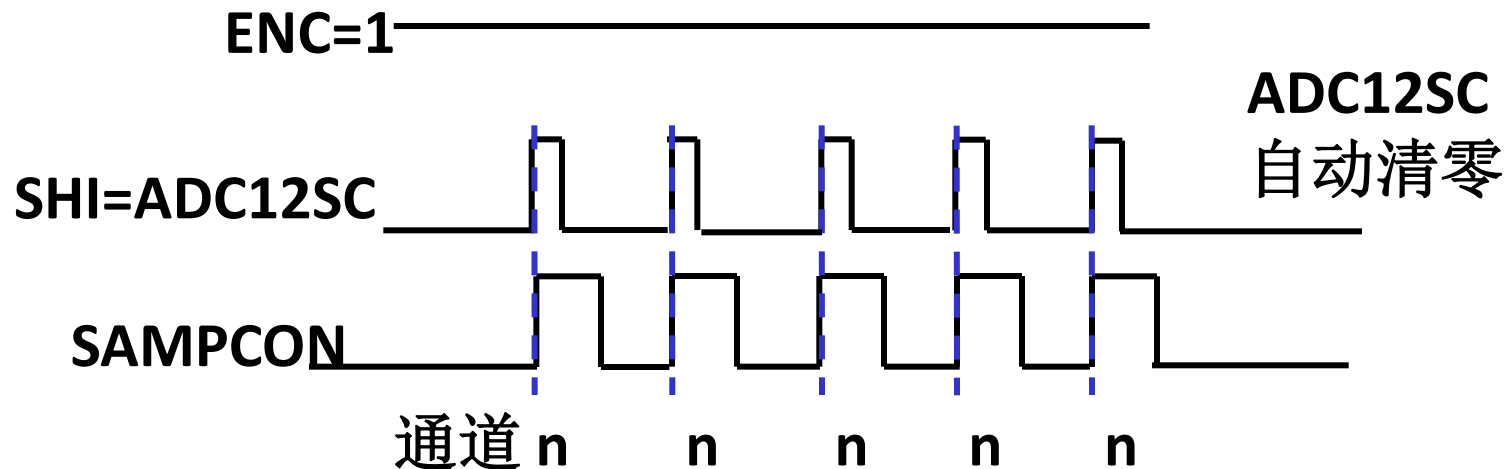


单通道单次转换控制:

- 1) 选择软件ADC12SC为采样触发源时,
SHP=0时, 需编程置ADC12SC=0
SHP=1时, ADC12SC自动清0.
保持ENC=1, 置ADC12SC=1即可启动下一次采样/转换
- 2) 选择TimerA或TimerB为采样触发源时,
每转换完一次, 需复位一次ENC=0,
重新置位ENC=1后, 启动下一次采样
- 3) 采用SHP=0 或SHP=1采样时间的控制方法不同
SHP=1: 由采样定时器决定采样时间
SHP=0: 由ADC12SC=1的时间 或 定时器A、B决定

单通道单次的控制

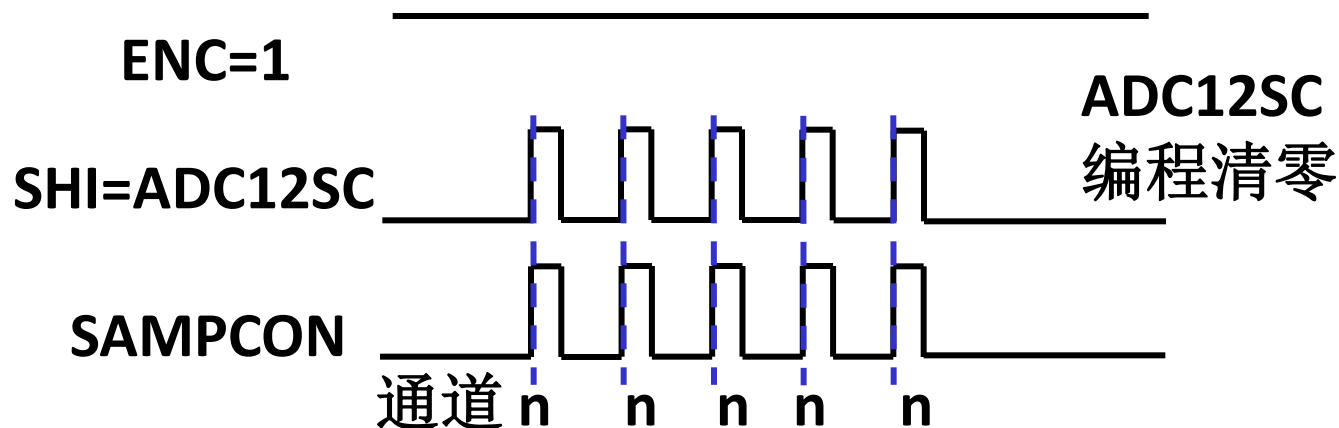
软件ADC12SC启功, SHP=1



- 编程设置ADC12SC=1启动采样, **ADC12SC自动清零**
- 通道每次采样均要编程设置ADC12SC=1
- **通道采样时间由SHTx决定** = $m \times \text{ADC12CLK}$
- 通道转换时间 = $13 \times \text{ADC12CLK}$

单通道单次的控制(续)

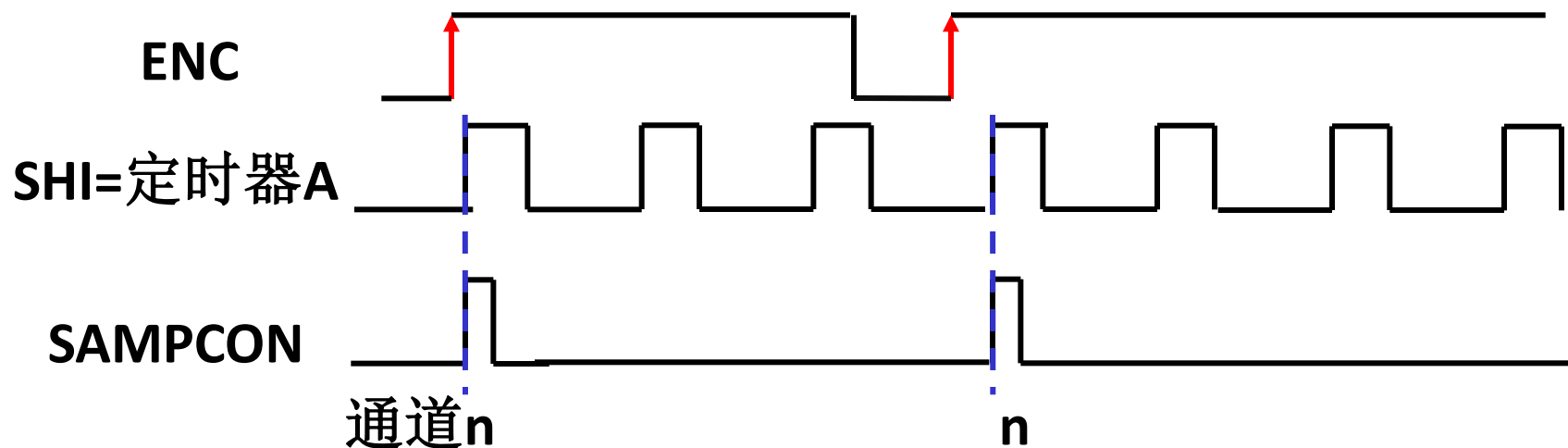
软件ADC12SC启功, SHP=0



- 采样和转换均由编程ADC12SC控制, **ADC12SC不自动清零**
- 通道转换一次均需编程置位和复位一次ADC12SC
- **通道采样时间由ADC12SC=1的时间决定**
- 通道转换时间= $13 \times \text{ADC12CLK}$

单通道单次的控制(续)

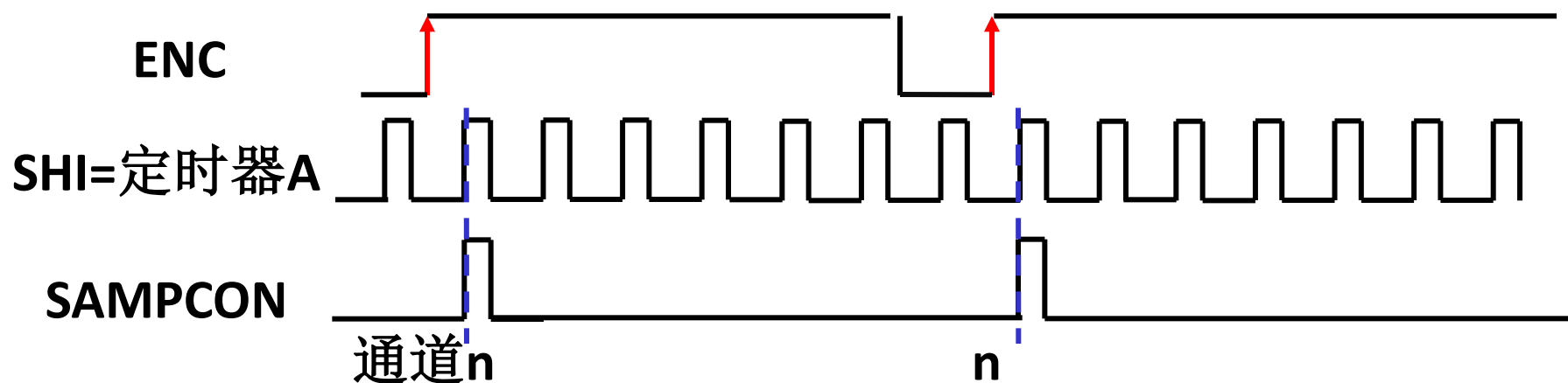
定时器A启动, $SHP=1$



- 由ENC从0变1允许一次单通道转换
- 每次通道的采样启动由定时器A触发
- 采样时间由 $SHTx$ 决定 = $m \times ADC12CLK$
- 转换时间 = $13 \times ADC12CLK$

单通道单次的控制(续)

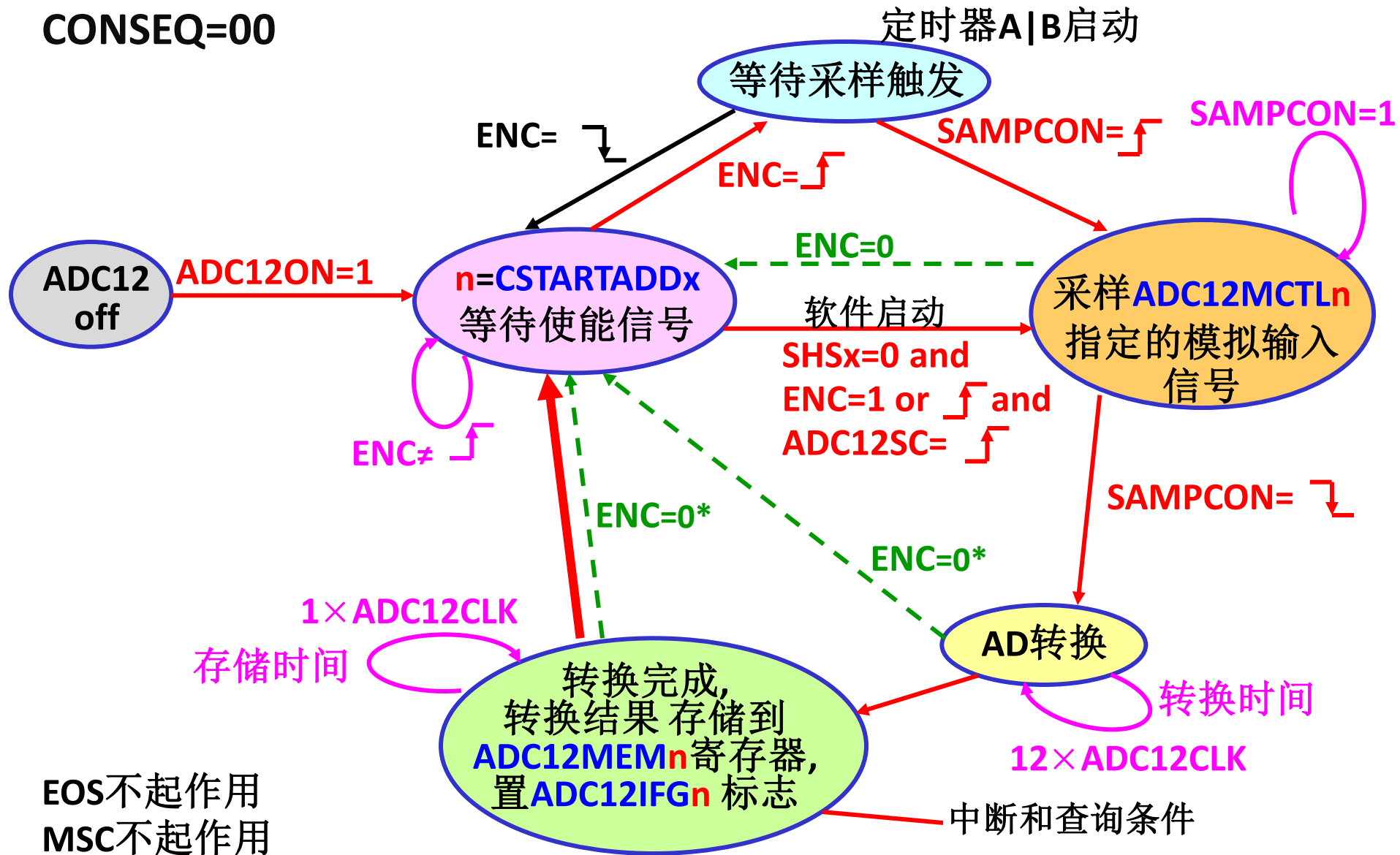
定时器A启动, SHP=0



- 由ENC从0变1, 允许一次通道转换
- 通道的采样启动由定时器A触发
- 采样时间由TAOUT1 高电平时间决定
- 转换时间= $13 \times \text{ADC12CLK}$

单通道单次转换方式状态转换图

CONSEQ=00



*表示当前的转换结果是不可靠的

五、ADC12 编程举例

例1 采用ADC12上电复位设置，
ADC12SC软件启动，单通道单次
非采样定时器方式，
查询方式 读取A/D转换结果

例2 ADC12SC软件启动，单通道单次
采样定时器方式，采样时间 $64 \times T_{ADC12CLK}$ ，
采用查询方式 读取A/D转换结果

例3. 中断方式读取转换结果，完成例2

例4 (自学) ADC12SC启动，
通道序列单次，转换3路模拟信号，
采样定时器方式，中断方式读结果

编程时注意以下几方面：

- 初始化ADC12_A
- 转换通道和模拟信号的选择
- 采样/转换的启动控制
- 转换完成的判断
- 读取和保存转换结果
- A/D转换的停止控制

查询方式 ADC12 初始化

- ▶ 设置模拟信号输入引脚
- ▶ 禁止ADC12转换 **ENC=0**
- ▶ 设置控制寄存器1 (**ADC12CTL2**)
- ▶ 设置控制寄存器1 (**ADC12CTL1**)
 - 设置起始通道号**CSTARTADDx=n**
 - 工作时钟源及分频设置**ADC12SSELx、ADC12DIVx**
 - 采样触发源选择**SHSx**
 - 是否采样定时器方式**SHP**
 - 转换方式**CONSEQx**
- ▶ 设置通道控制寄存器(**ADC12MCTLn**)
 - 参考电压源选择**SREFx**
 - 选择哪路模拟信号**INCHx**
 - 是否通道序列结尾标志**EOS**
- ▶ 设置控制寄存器0(**ADC12CTL0**)
 - [内部参考电压设置**REFON, REF2_5V**]
 - [采样定时器采样时间设置**SHT1x, SHT0x**]
 - [多次采样转换控制设置**MSC**]
 - 给ADC12内核供电**ADC12ON=1**
- ▶ 允许ADC12转换**ENC=1**

例1 采用ADC12_A上电复位值设置，
采用查询方式进行A/D转换，
采样/转换**10次**，将转换结果存在buffer

ADC12上电复位设置结论：

起始通道号CSTARTADDx=0

工作时钟ADC12CLK=ADC12OSC, 不分频

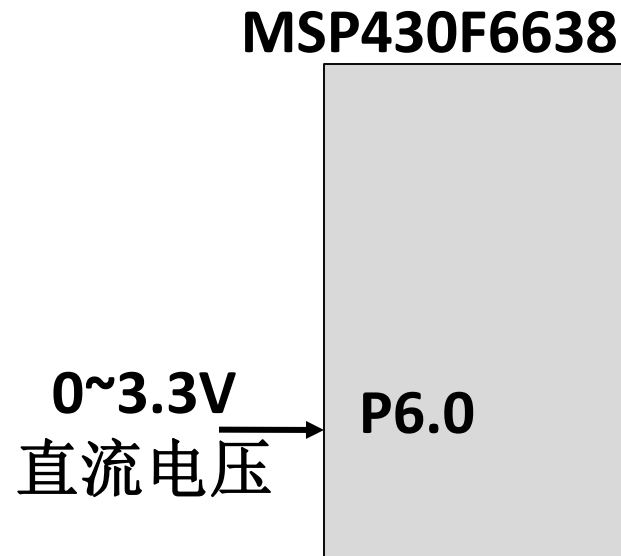
ADC12SC 软件启动

非采样定时器方式 SHP=0

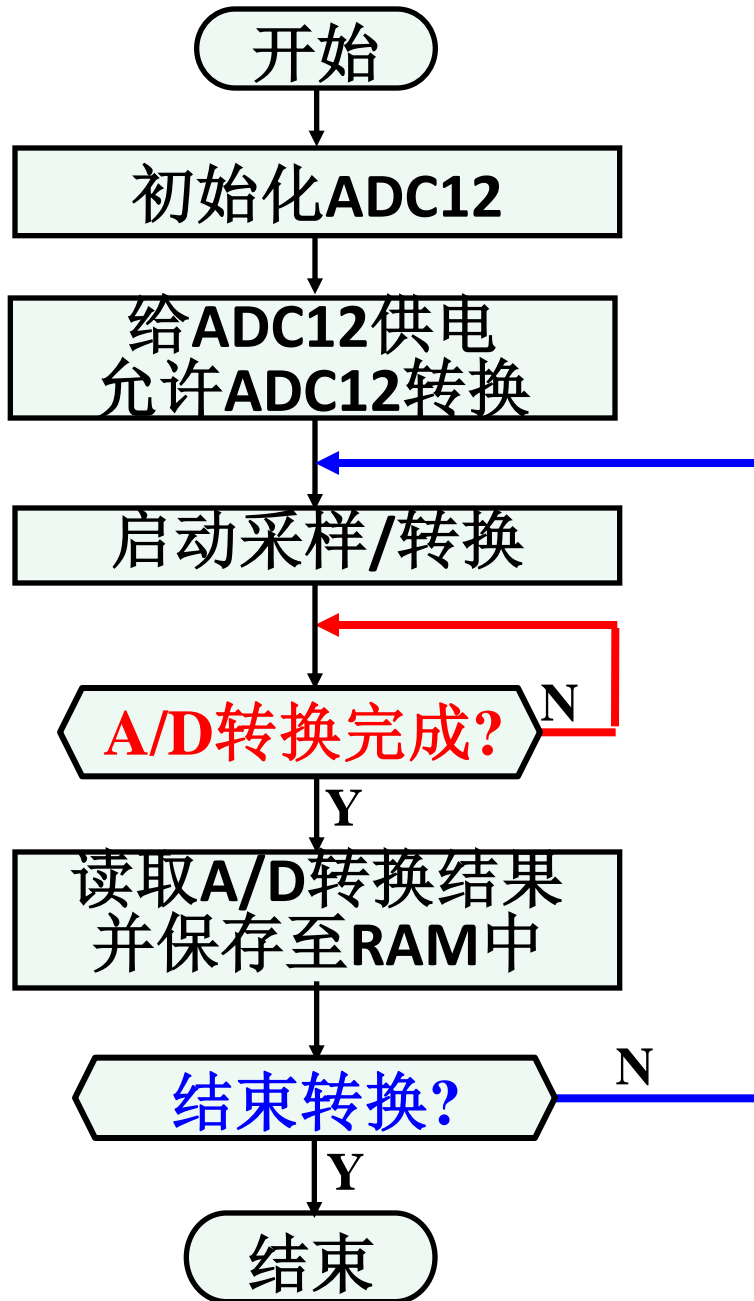
单通道单次转换方式CONSEQx=00

参考电压源VR+ =AVcc, VR- =AVss

INCHx=0, 模拟输入为A0



查询方式单通道单次软件启动A/D流程

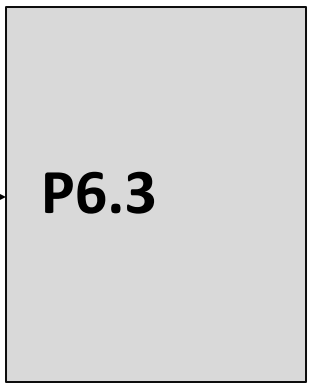


非采样定时器查询方式单通道单次软件启动A/D程序段

```
.....  
unsigned int buffer[32];  
unsigned int i, j;  
.....  
P6SEL |= BIT0; //管脚设置  
ADC12CTL0 = ADC12ON + ADC12ENC; //给内核供允许转换  
for (i=0; i<10; i++) //转换次数控制  
{ ADC12CTL0 |= ADC12SC; //软件启动采样  
  for (j=0; j<0xff; j++){ }; //决定采样时间  
  ADC12CTL0 &= ~ADC12SC;  
  while((ADC12IFG & BIT0) == 0); //查询是否转换完成  
  buffer[i] = ADC12MEM0; //保存转换结果  
}
```

MSP430F6638

0~3.3V
直流电压



思考:

1. 如果模拟信号连接在A3上，如何修改程序?



2. 如果例1改用通道4，采样模拟信号A3，如何修改程序?

例2 如果例1改用**采样定时器方式**，其他设置不变，如何修改程序？

```
.....  
unsigned int buffer[32];  
unsigned int i, j;  
.....  
P6SEL |= BIT0; //管脚设置  
ADC12CTL1 |= ADC12SHP; //采样定时器方式  
ADC12CTL0 = ADC12ON + ADC12ENC; //给内核供允许转换  
for (i=0; i<10; i++) //转换次数控制  
{ ADC12CTL0 |= ADC12SC; //软件启动采样  
  while((ADC12IFG & BIT0) == 0); //查询是否转换完成  
  buffer[i] = ADC12MEM0; //保存转换结果  
}
```

思考：例2的**ADC12转换过程**例1有何不同？

注意：在采样定时方式下，ADC12SC自动清零

例3. 采用中断方式读取转换结果，完成例2

与中断方式编程有关的寄存器

- ▶ **中断标志寄存器ADC12IFG**
- ▶ **中断允许寄存器ADC12IE**
- ▶ **中断矢量寄存器ADC12IV**

● ADC12中断矢量寄存器ADC12IV

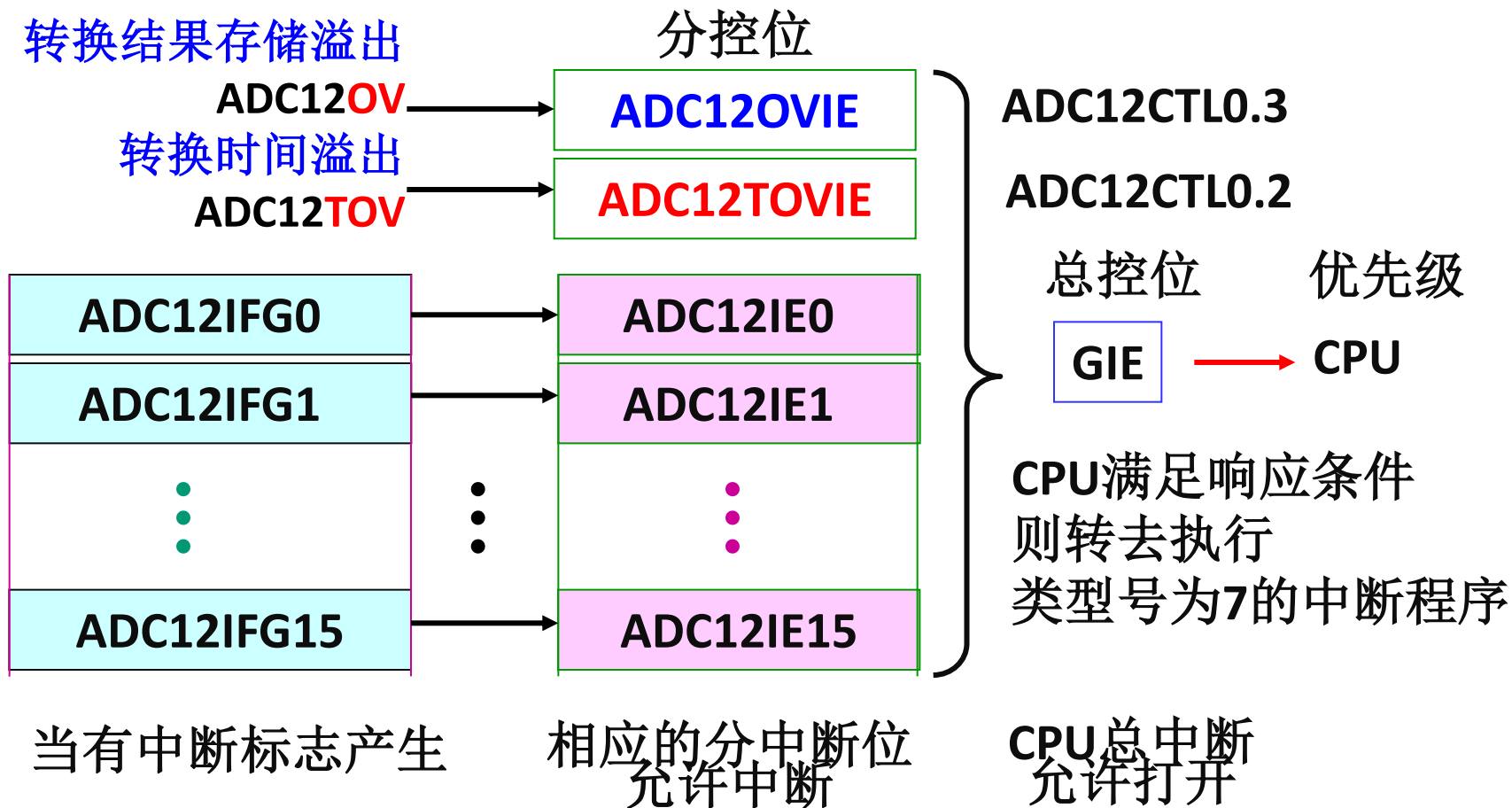
ADC12的18个中断标志共享一个的中断向量
由ADC12IV确定产生中断的具体分中断标志

中断源	中断标志	向量地址	优先级,类型号
...
模/数转换器 ADC12_A	18个标志 ADC12IFG15~0, ADC12OVIFG, ADC12TVIFG	0FFEC _h	54
...

msp430F6638.h 中断向量相关的符号定义

```
.....  
#define ADC12_VECTOR      (54 * 1u)          /* 0xFFEC ADC */  
.....
```


ADC12 的中断控制



读取 ADC12MEMn 将自动清零中断标志位 ADC12IFGn，
ADC12IFGn 也可由软件清零。

（存取 ADC12IV 寄存器不会清零中断标志位）

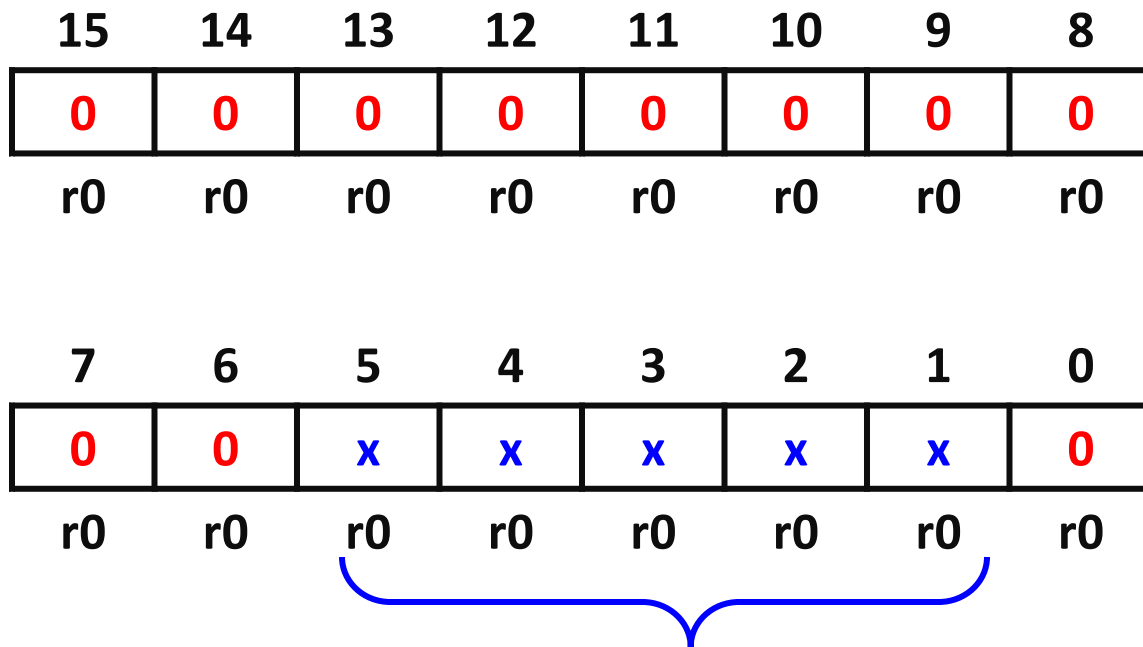
转换结果存储溢出ADC12OV:

上一次转换的结果尚未取走，又有新的转换结果存入

转换时间溢出ADC12TOV:

上一次转换还未结束，又启动了一次新的转换

ADC12中断矢量寄存器ADC12IV



不同的值表示不同的中断源

ADC12IV值	中断源
0000h	无中断
0002h	ADC12MEMn溢出
0004h	转换时间溢出
0006h	ADC12IFG0
0008h	ADC12IFG1
000Ah	ADC12IFG2
000Ch	ADC12IFG3
000Eh	ADC12IFG4
0010h	ADC12IFG5
0012h	ADC12IFG6
0014h	ADC12IFG7
0016h	ADC12IFG8
0018h	ADC12IFG9
001Ah	ADC12IFG10
001Ch	ADC12IFG11
001Eh	ADC12IFG12
0020h	ADC12IFG13
0022h	ADC12IFG14
0024h	ADC12IFG15

中断方式ADC12初始化

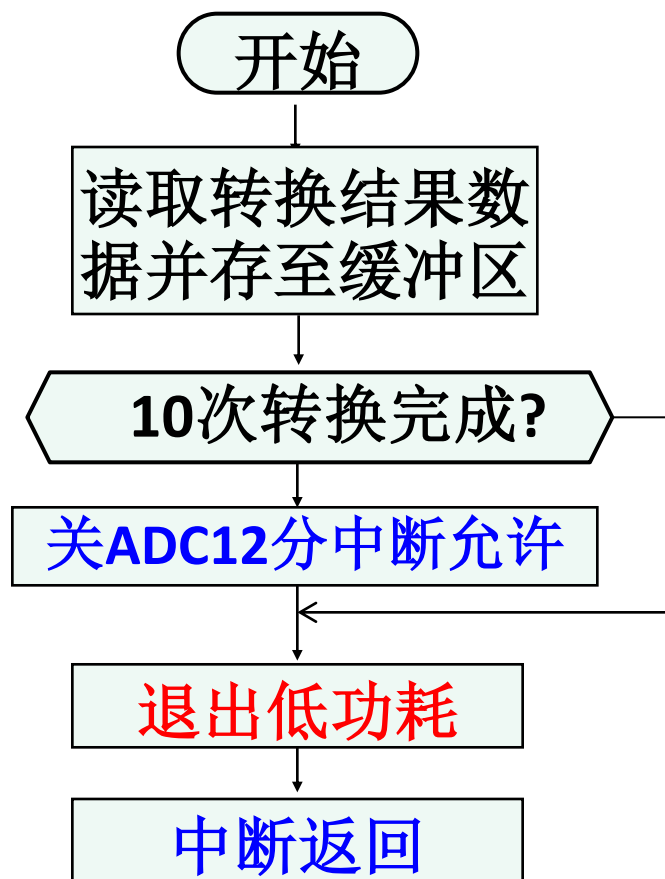
- ▶ 同查询方式ADC12初始化
- ▶ 打开ADC12IE相应的分中断允许位
- ▶ 打开CPU总中断控制允许
- ▶ 可结合低功耗方式控制

例3. 采用中断方式流程图

1. 主程序



2. 中断子程



3. 设置中断向量

将ADC12中断子程入口地址设置在中断向量表位置

例3 主程序

```
.....  
unsigned int buffer[32];  
unsigned int j;  
  
.....  
P6SEL_bit.P0 = 1;           //管脚设置  
ADC12CTL1 |= ADC12SHP; //采样定时器方式  
ADC12CTL0=ADC12ON+ADC12ENC; //给内核供允许转换  
ADC12IE |=BIT0;           //开ADC12通道0分中断  
_EINT( );                 //开总中断  
while(1)  
{ ADC12CTL0=|ADC12SC;     //软件启动采样  
  LPM0;                   //进入低功耗模式0  
};  
  
.....
```

例3 中断程序

```
#pragma vector=ADC12_VECTOR      //中断向量
__interrupt void ADC12_isr()
{ buffer[j]=ADC12MEM0;          //保存转换结果
  j++;                          //修改存放指针
  if (j==10) ADC12IE=ADC12IE&(~BIT0);
                                //关通道0 转换完成分中断允许
  LPM0_EXIT;                    //退出低功耗模式0
}
```

思考:

例1~3如果改用定时器A的**OUT1**作为采样触发源，如何编写程序？

定时器A的**OUT1**输出除可以通过引脚输出外，在单片机内部还可以作为**ADC12**的采样触发源

自学讲义参考

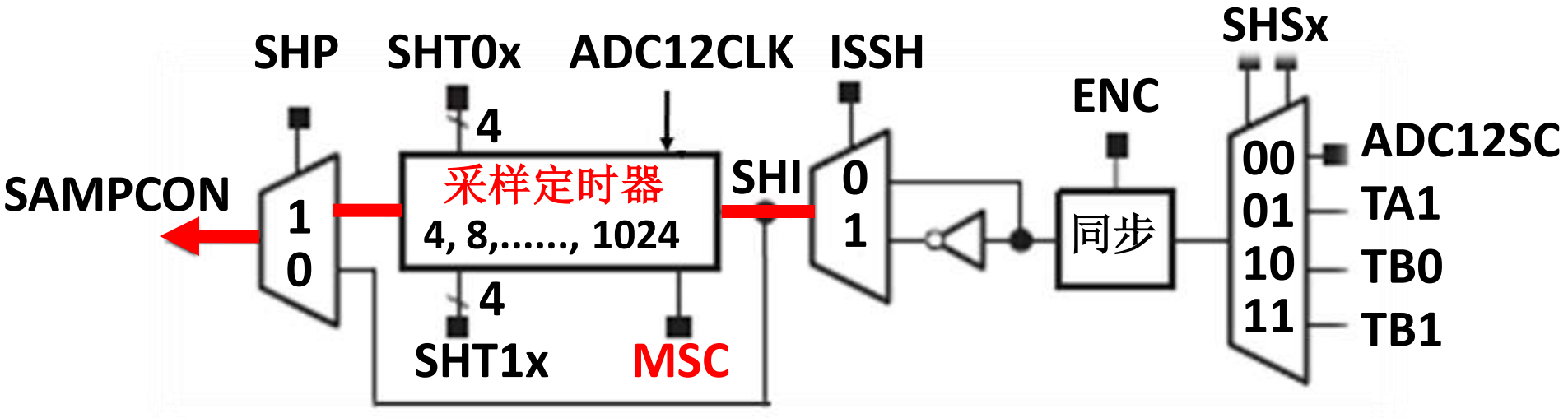
■ 通道序列单次转换方式CONSEQx=01

- 由SHI的上升沿启动一次通道序列的转换
起始通道号 $n=CSTARTADDx$ ，
结尾通道号由通道控制寄存器中的EOS位标识
- 按通道号递增顺序依次进行采样和转换，
每转换完毕一个通道，
则将转换结果存入相应的转换结果存储寄存器中，
并立即启动下一个通道的采样和转换，……，
直到EOS=1的通道转换完毕并存储后，
才停止一轮通道序列的采样和转换

MSC: 多次采样和转换控制位

(仅在采样定时器方式下,

对通道序列单次、单通道多次、通道序列多次方式有效)

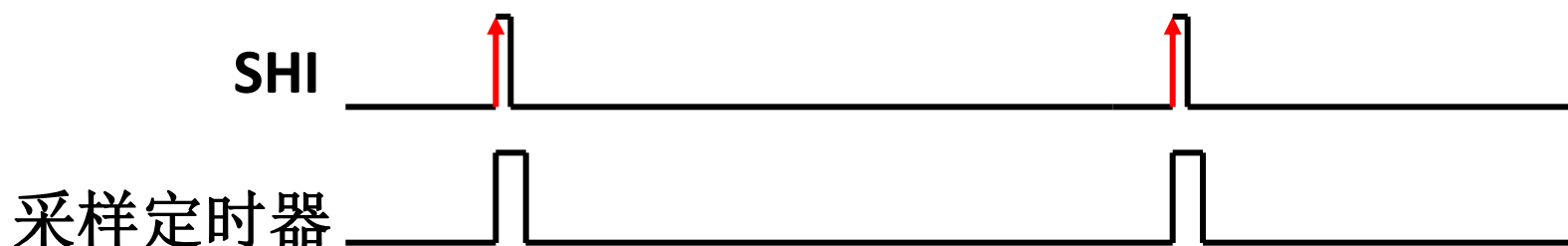


MSC: Multiple Sample and conversion

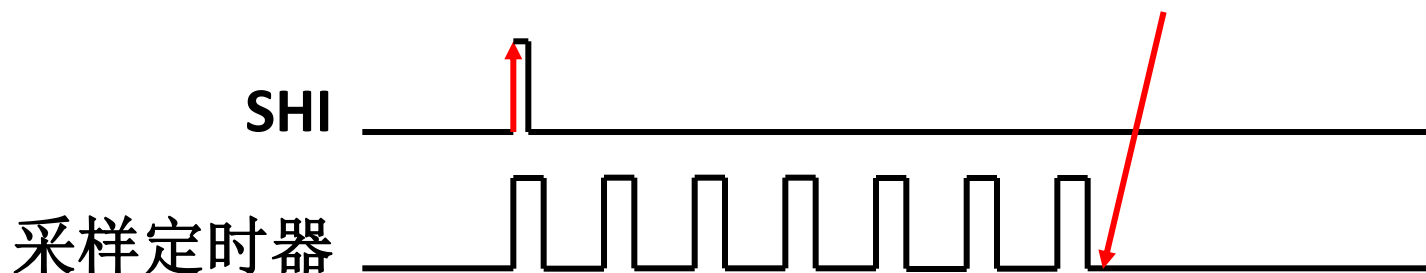
在ADC12CTL0 的D7位

在通道序列单次、单通道多次、通道序列多次转换方式,且SHP=1下

MSC=0: 每进行一次采样和转换均需要 SHI 上升沿去触发采样定时器

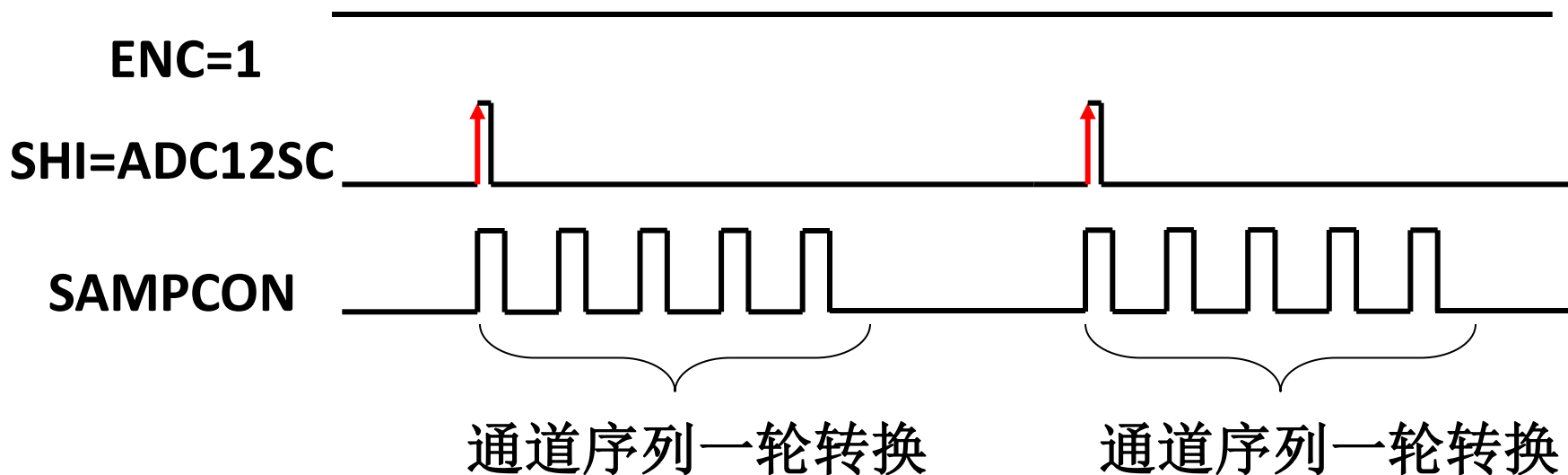


MSC=1: 除启动第一次采样和转换时需要 SHI 的上升沿触发采样定时器外, 后续的采样和转换过程无需 SHI 的上升沿触发。一旦上一次转换完毕, 紧接着自动开始下一次的采样和转换过程, 直到采样转换的停止条件满足为止。



通道序列单次的几种控制

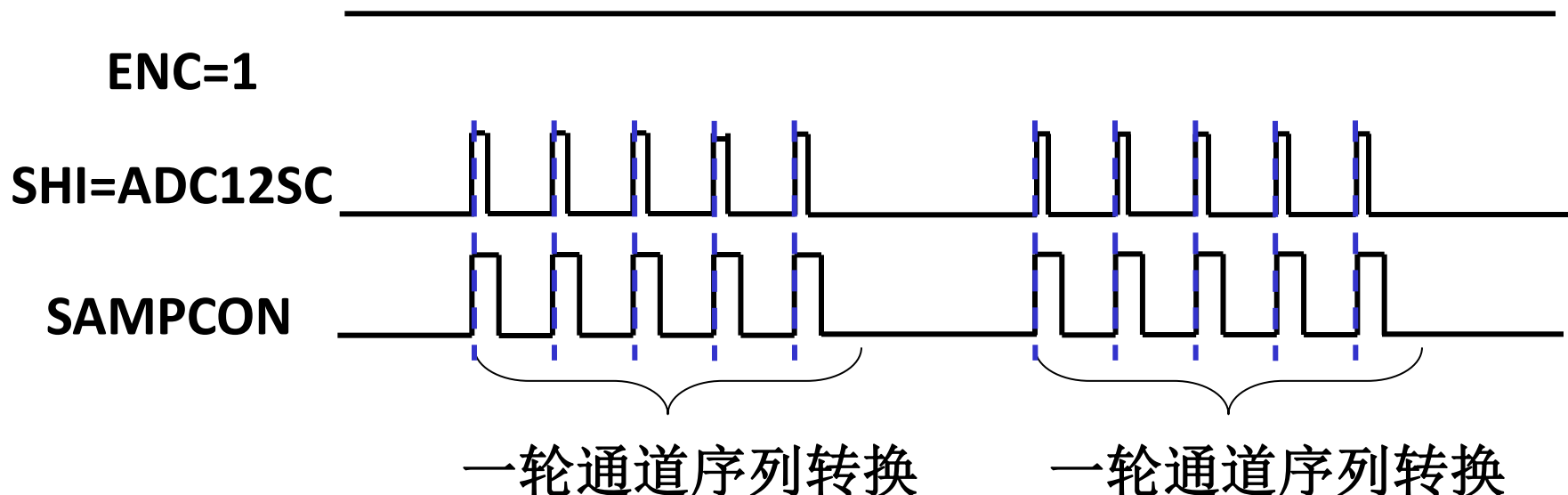
软件ADC12SC启功, SHP=1, MSC=1



- 编程设置ADC12SC从0变1,
触发一轮通道序列转换开始, ADC12SC自动清零
- 每个通道采样时间由SHTx决定= $m \times \text{ADC12CLK}$
- 每个通道转换时间= $13 \times \text{ADC12CLK}$

通道序列单次的几种控制(续)

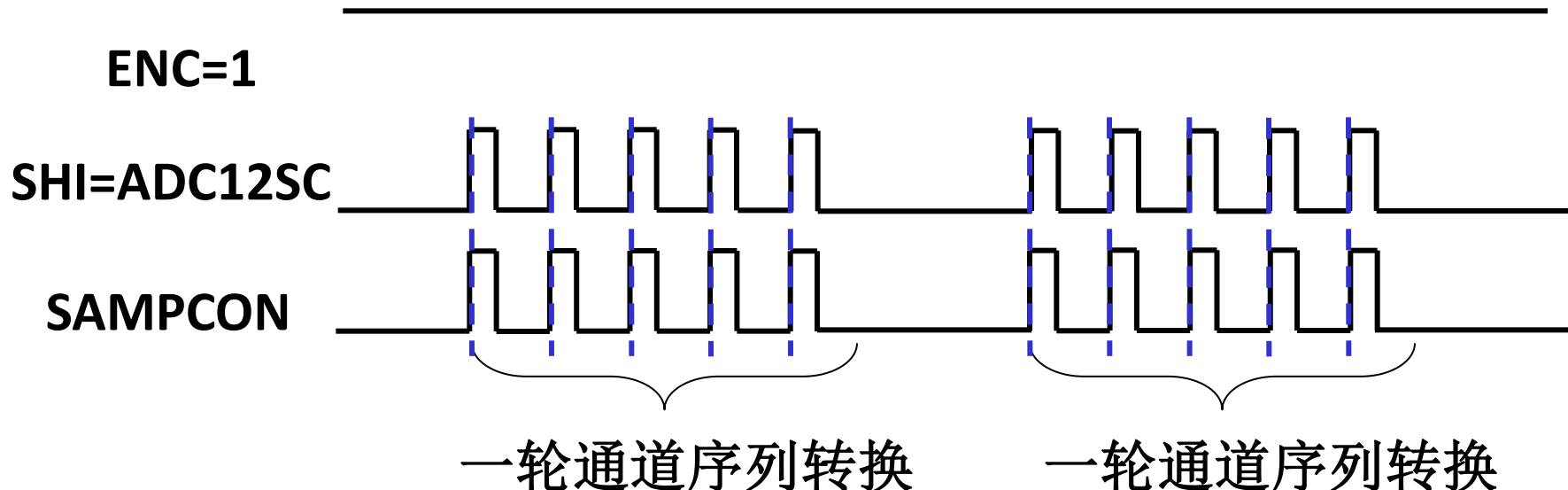
软件ADC12SC启功, SHP=1, MSC=0



- 编程设置ADC12SC=1启动采样, **ADC12SC自动清零**
- 每个通道采样均要编程设置ADC12SC=1
- 一轮采样和转换需多次设置ADC12SC才能完成
- **每个通道采样时间由SHTx决定** = $m \times \text{ADC12CLK}$
- 每个通道转换时间 = $13 \times \text{ADC12CLK}$

通道序列单次的几种控制(续)

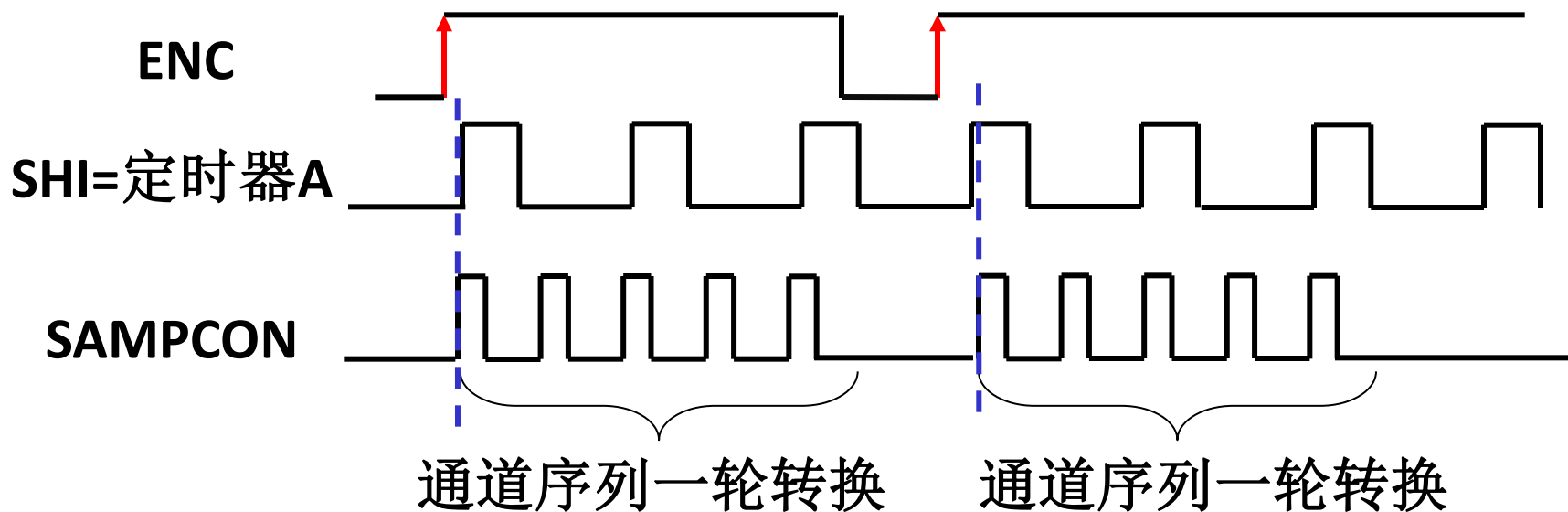
软件ADC12SC启功, SHP=0, MSC=0或1



- 采样和转换均由编程ADC12SC控制, ADC12SC不自动清零
- 每转换1个通道, 均需编程置位和复位一次ADC12SC
- 实现通道序列一轮采样和转换需多次控制ADC12SC才能完成
- 每个通道采样时间由ADC12SC=1的时间决定
- 每个通道转换时间= $13 \times \text{ADC12CLK}$

通道序列单次的几种控制(续)

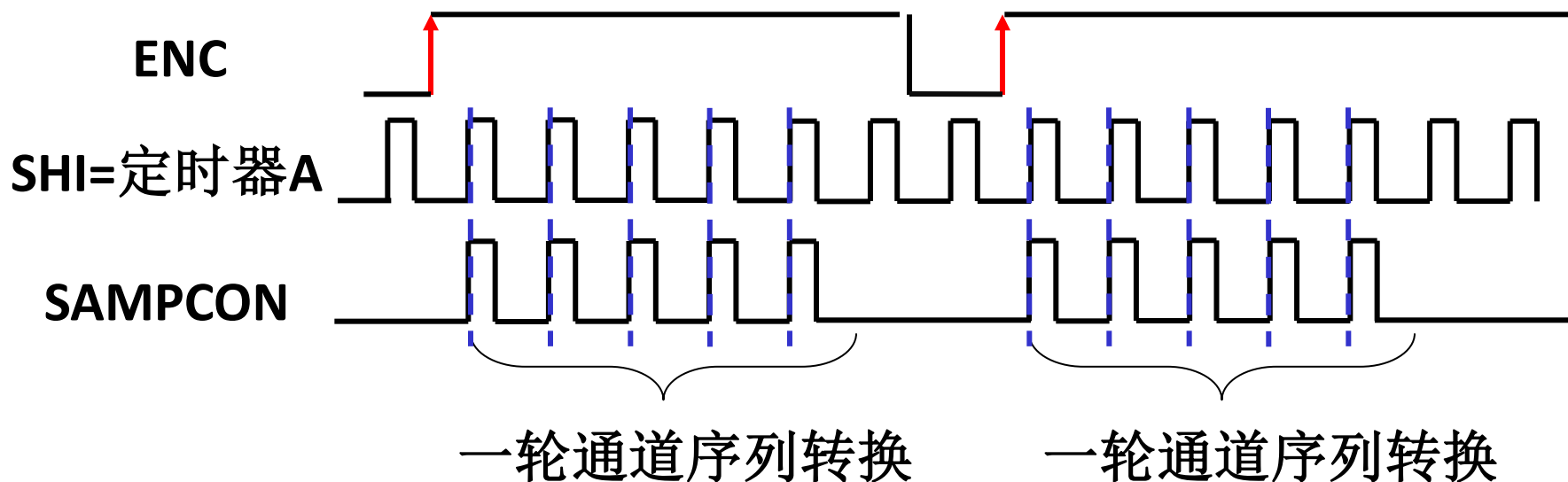
定时器A启动, **SHP=1, MSC=1**



- 由ENC从0变1触发一轮通道序列转换
- 首通道的采样启动由定时器A触发，
其余通道在上次转化后自动触发，直到EOS通道停止
- 采样时间由SHTx决定 = $m \times \text{ADC12CLK}$
- 转换时间 = $13 \times \text{ADC12CLK}$

通道序列单次的几种控制(续)

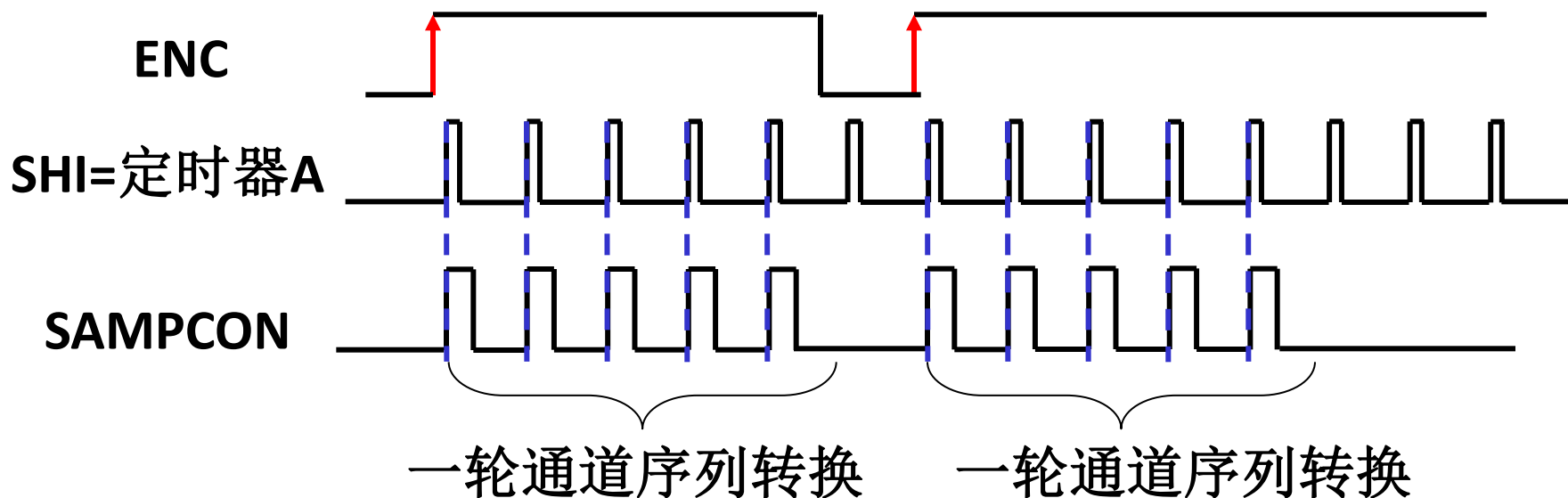
定时器A启动, $SHP=0$, $MSC=0$ 或 1



- 由ENC从0变1, 允许一轮通道序列转换
- 每个通道的采样启动由定时器A触发
- 采样时间由TAOUT1 高电平时间决定
- 转换时间= $13 \times \text{ADC12CLK}$

通道序列单次的几种控制(续)

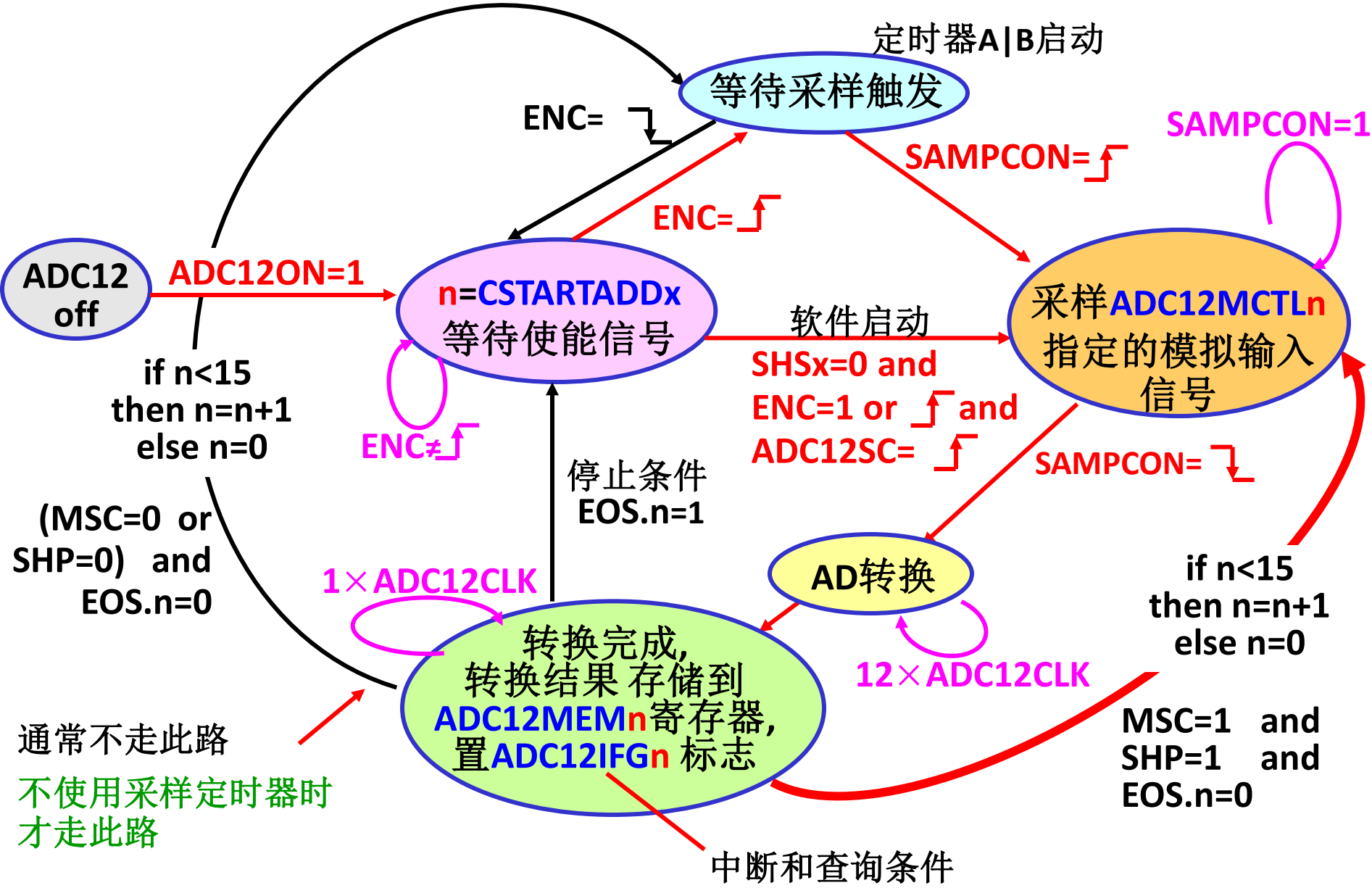
定时器A启动, $SHP=1$, $MSC=0$



- 由ENC从0变1, 允许一轮通道序列转换
- 每个通道的采样启动由定时器A触发
- 采样时间由 $SHTx$ 决定 = $m \times ADC12CLK$
- 转换时间 = $13 \times ADC12CLK$

通道序列单次转换方式状态转换图

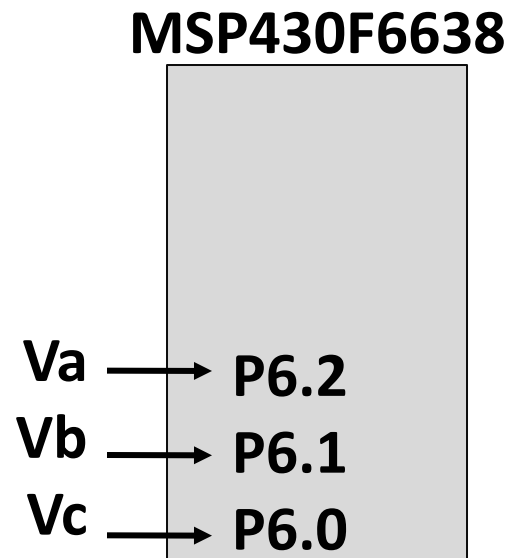
CONSEQx=01



例4 采样定时器方式, **通道序列单次**, ADC12SC启动, 中断方式读结果, **转换3路模拟信号**, 每路采集**10次**, 保存在缓冲区中

与例3的不同处:

- 置**3路模拟输入引脚**
- 置通道序列单次转换方式**CONSEQx=01**
- 置**3个通道**的**INCHx**
- 置多次采样转换**MSC=1**
- 用**EOS**通道产生的转换完成标志控制读**3个通道**转换结果



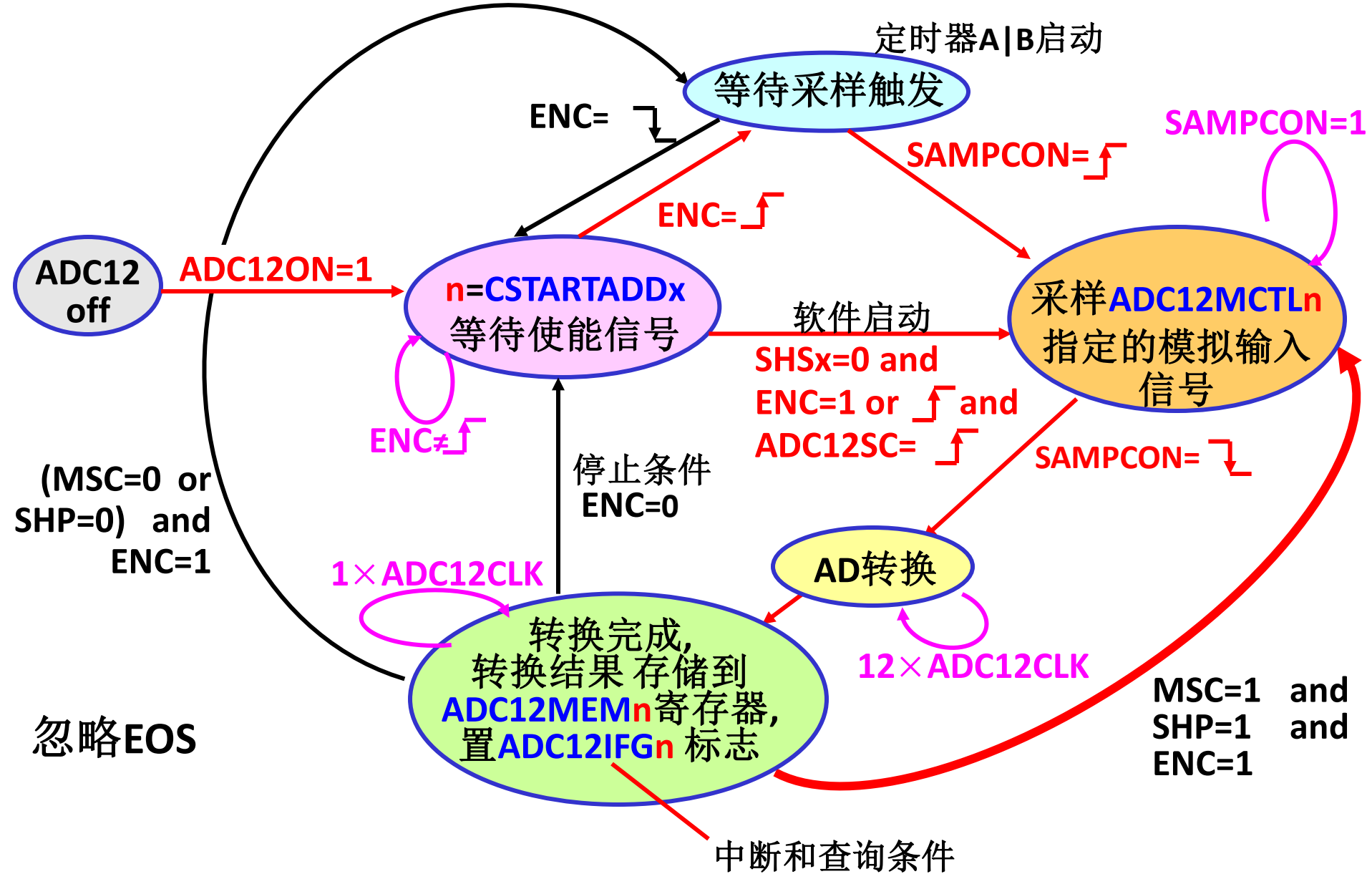
例4 中断程序

```
#pragma vector=ADC12_VECTOR
__interrupt void ADC12_isr()
{
    buffer0[j]=ADC12MEM0;           //保存通道0转换结果
    buffer1[j]=ADC12MEM1;           //保存通道1转换结果
    buffer2[j]=ADC12MEM2;           //保存通道2转换结果
    j++;
    if (j==10) ADC12IE=ADC12IE&(~BIT2);
                                     //关通道0 转换完成分中断允许
    LPM0_EXIT;                       //退出低功耗模式0
}
```

单通道多次转换方式状态转换图

自学参考
不要求

CONSEQx=10



通道序列多次转换方式状态转换图

自学参考
不要求

CONSEQx=11

