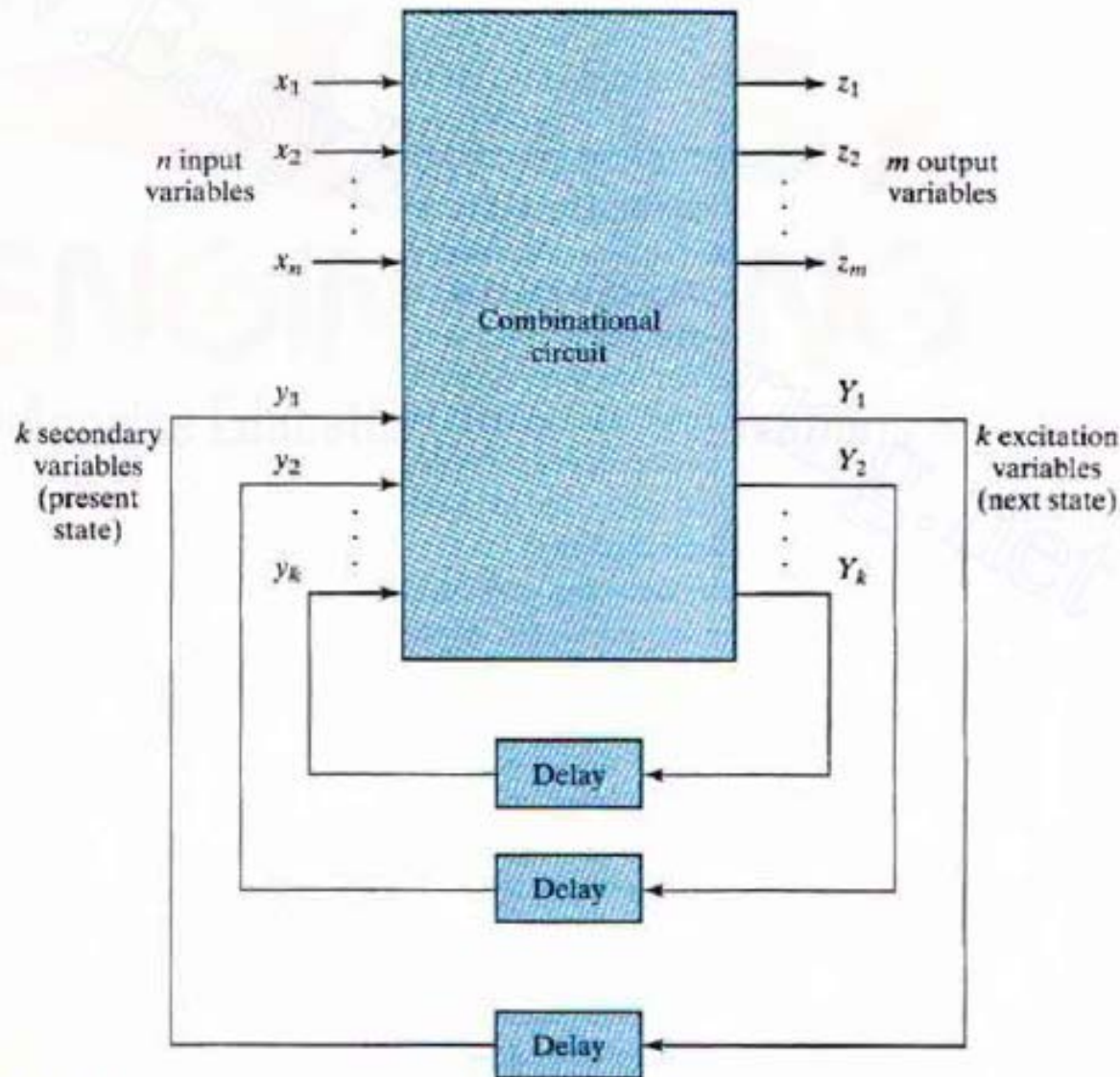


المنطق التتابعي غير المتزامن

Asynchronous Sequential Logic

# 1/9 مقدمة: Introduction

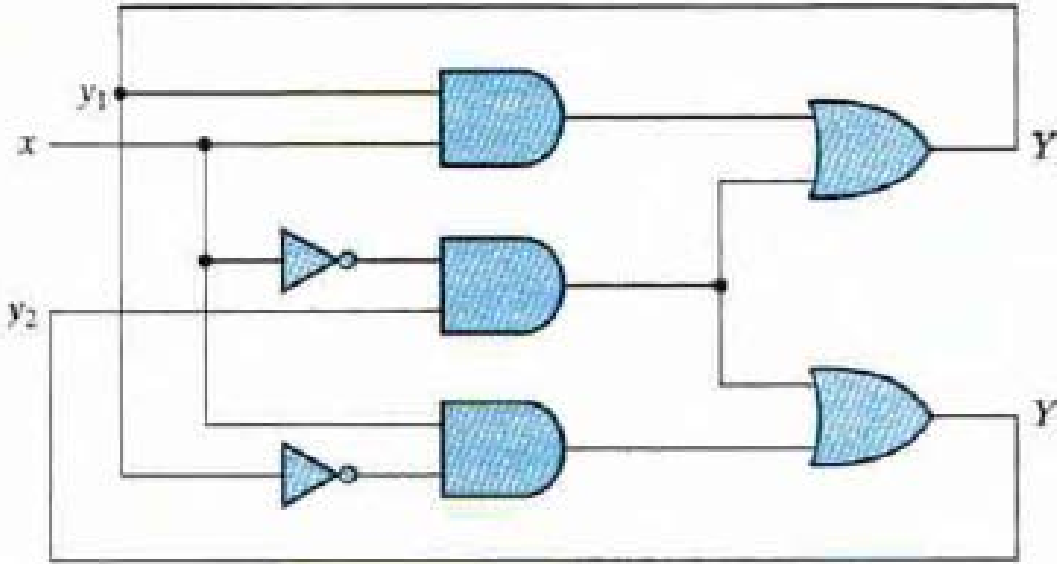


- المخطط الصندوقي  
لدارة تتابعية غير  
متزامنة

## 2/9 عملية التحليل: Analysis Process

- تتكون عملية تحليل الدارات المتتابعية غير المتزامنة من استنتاج **جدول** أو **مخطط** يشرح تتابع الحالات الداخلية والمخارج كتابع لمتغيرات الدخل.
- نشرح في البداية عملية تحليل هذه الدارات التي فيها مسارات تغذية راجعة بدون مواسك latches.
- نوضح التحليل بثلاثة أمثلة محددة الأول يوضح مفهوم جدول العبور transition table والثاني يحدد جدول التدفق Flow table والثالث يتعلق باستقرار هذا النوع من الدارات.

# جدول العبور: Transition Table



- مثال: حل دائرة الشكل جانباً؟

- التعرف على الدارة:

للدائرة متغير دخل  $x$  وحالتين داخليتين (حلقتي تغذية راجعة) للحالتين الداخليتين متغيري تحريض  $Y_1$   $Y_2$  ومتغيرين ثانويين  $y_1$  و  $y_2$ .

تبدأ عملية التحليل بدراسة متغيرات التحريض excitation variables

كمخارج والمتغيرات الثانوية كمدخل. بعدها نستنتج التعابير البوليانية لمتغيرات التحريض كتوابع للدخل وللمتغيرات الثانوية. يتم الحصول على هذه التعابير من المخطط المنطقي.

$$Y_1 = xy_1 + x'y_2$$

$$Y_2 = xy_1' + x'y_2$$

الخطوة التالية هي رسم  $Y_1$  و  $Y_2$  في مخططين كما هو مبين بالشكل التالي.

- نستخدم القيم الثنائية المشفرة للمتغيرات الثانوية  $y$  في تسمية السطور كما نستخدم متغير الدخل  $x$  في تسمية الأعمدة.

- نحصل على جدول العبور من المخططين بتجميع القيم الثنائية في المربعات المتقابلة وهو يبين قيمة  $Y = Y_1 Y_2$  داخل

كل مربع

$x \backslash y_1 y_2$	0	1
00	0	0
01	1	0
11	1	1
10	0	1

(a) Map for  
 $Y_1 = xy_1 + x'y_2$

$x \backslash y_1 y_2$	0	1
00	0	1
01	1	1
11	1	0
10	0	0

(b) Map for  
 $Y_2 = xy'_1 + x'y_2$

$x \backslash y_1 y_2$	0	1
00	00	01
01	11	01
11	11	10
10	00	10

(c) Transition table

Now consider the effect of a change in the input variable. The square for  $x = 0$  and  $y = 00$  in the transition table shows that  $Y = 00$ . Since  $Y$  represents the next value of  $y$ , this is a stable condition. If  $x$  changes from 0 to 1 while  $y = 00$ , the circuit changes the value of  $Y$  to 01. This represents a temporary unstable condition, because  $Y$  is not equal to the present value of  $y$ . What happens next is that as soon as the signal propagates to make  $Y = 01$ , the feedback path in the circuit causes a change in  $y$  to 01. This change is manifested in the transition table by a transition from the first row ( $y = 00$ ) to the second row, where  $y = 01$ . Now that  $y = Y$ , the circuit reaches a stable condition with an input of  $x = 1$ . In general, if a change in the input takes the circuit to an unstable state, the value of  $y$  will change (while that of  $x$  remains the same) until it reaches a stable (circled) state. Using this type of analysis for the remaining squares of the transition table, we find that the circuit repeats the sequence of states 00, 01, 11, 10 when the input repeatedly alternates between 0 and 1.

Note the difference between a synchronous and an asynchronous sequential circuit. In a synchronous system, the present state is totally specified by the flip-flop values and does not change if the input changes while the clock pulse is inactive. In an asynchronous circuit, the internal state can change immediately after a change in the input. Because of this rapid change, it is sometimes convenient to combine the internal state with the input value together and call it the *total state* of the circuit. The circuit whose transition table is shown in Fig. 9.3(c) has four stable total states— $y_1y_2x = 000, 011, 110$ , and  $101$ —and four unstable total states— $001, 010, 111$ , and  $100$ .



يشبه جدول العبور للدارات غير المتزامنة جدول الحالة للدارات المتزامنة. نحصل على جدول الحالة إذا نظرنا إلى المتغيرات الثانوية كحالة راهنة ومتغيرات التحريض كحالة تالية وهو مبين كالتالي:

**Table 9.1**  
**State Table for the Circuit of Fig. 9.2**

Present State		Next State			
		$x = 0$		$x = 1$	
0	0	0	0	0	1
0	1	1	1	0	1
1	0	0	0	1	0
1	1	1	1	1	0

• بعد الحصول على جدول العبور يمكن تحليل سلوك الدارة بملاحظة عبور الحالة كتابع للتغيرات في متغيرات الدخل.

• في حالتنا إذا تغير  $x$  من 0 إلى 1 وبقي  $y=00$  فستغير الدارة قيمة  $Y$  إلى 01 وهي حالة غير مستقرة مؤقتة لأن  $Y$  لا يساوي القيمة الراهنة لـ  $y$ .

ما يحدث لاحقا هو أنه حالما تنتشر الإشارة لجعل  $Y=01$  فسيسبب مسار التغذية الراجعة تغيرا في  $y$  إلى 01. يبدو هذا التغير في جدول العبور من السطر الأول ( $y=00$ ) إلى السطر الثاني حيث  $y=01$ . الآن  $y=Y$  والدارة تبلغ حالة مستقرة مع الدخل  $x=1$ .

# جدول التدفق: Flow Table

- من الأنسب أثناء تصميم الدارات غير المتزامنة تسمية الحالات بالأحرف. يدعى مثل هذا الجدول بجدول التدفق وهو مشابه لجدول العبور. كما أنه قد يضم قيم الخرج للدارة بالنسبة لكل حالة مستقرة.

- يمثل الجدول التالي جدول التدفق للدارة السابقة:

- وهذا جدول تدفق آخر بمدخلين ومتغير ثانوي واحد (حالتين) وخرج واحد وله **أكثر من حالة مستقرة في السطر لذا فهو ليس أوليا primitive**:

$y \backslash x$	0	1
a	$\textcircled{a}$	b
b	c	$\textcircled{b}$
c	$\textcircled{c}$	d
d	a	$\textcircled{d}$

(a) Four states with one input

$x_1 x_2$	00	01	11	10
a	$\textcircled{a} 0$	$\textcircled{a} 0$	$\textcircled{a} 0$	b , 0
b	a , 0	a , 0	$\textcircled{b} 1$	$\textcircled{b} 0$



للحصول على الدارة من جدول التدفق من الضروري تخصيص قيمة ثنائية مختلفة لكل حالة ثنائية وهنا نعود إلى جدول العبور والذي نستطيع منه الحصول على المخطط المنطقي.

- في جدول التدفق السابق أحادي المتغير الثنائي  $y$  إذا خصصنا القيمة 0 للحالة  $a$  والقيمة 1 للحالة  $b$  نحصل على جدول العبور التالي:

$y \backslash x_1x_2$	00	01	11	10
0	0	0	0	1
1	0	0	1	1

(a) Transition table  
 $Y = x_1x'_2 + x_1y$

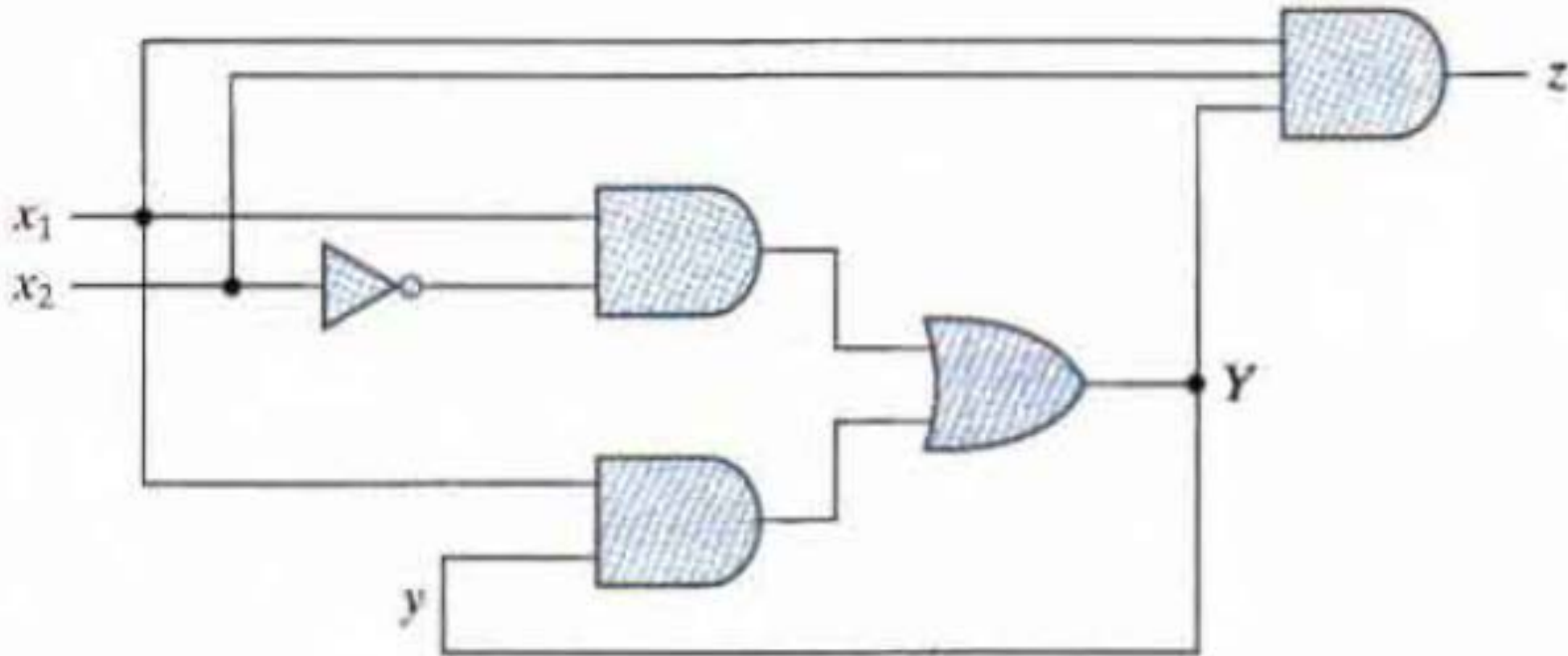
$y \backslash x_1x_2$	00	01	11	10
0	0	0	0	0
1	0	0	1	0

(b) Map for output  
 $z = x_1x_2y$

والمخطط المنطقي للدائرة المحددة بجدول التدفق هو التالي:

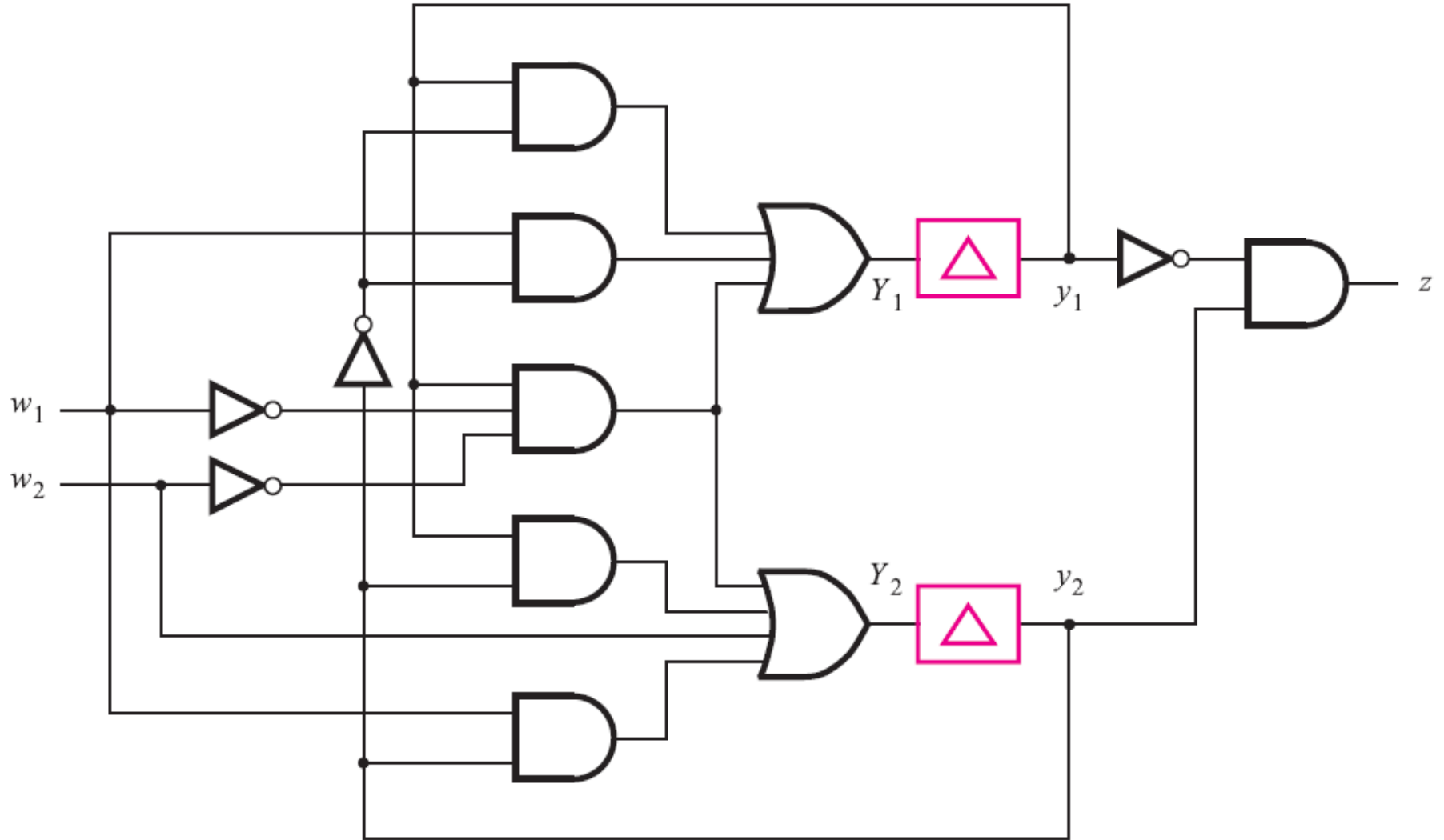
$$Y = x_1 x_2' + x_1 y$$

$$Z = x_1 x_2 y$$



(c) Logic diagram

# مثال 3/9: حل دارة الشكل التالي:



معادلات متغيرات التحريض والخرج هي:

$$Y_1 = y_1\bar{y}_2 + w_1\bar{y}_2 + \bar{w}_1\bar{w}_2y_1$$

$$Y_2 = y_1y_2 + w_1y_2 + w_2 + \bar{w}_1\bar{w}_2y_1$$

$$z = \bar{y}_1y_2$$

# جدولي التحريض والتدفق هما:

Present state $y_2 y_1$	Next state				Output $z$
	$w_2 w_1 = 00$	01	10	11	
	$Y_2 Y_1$	$Y_2 Y_1$	$Y_2 Y_1$	$Y_2 Y_1$	
00	00	01	10	11	0
01	11	01	11	11	0
10	00	10	10	10	1
11	11	10	10	10	0

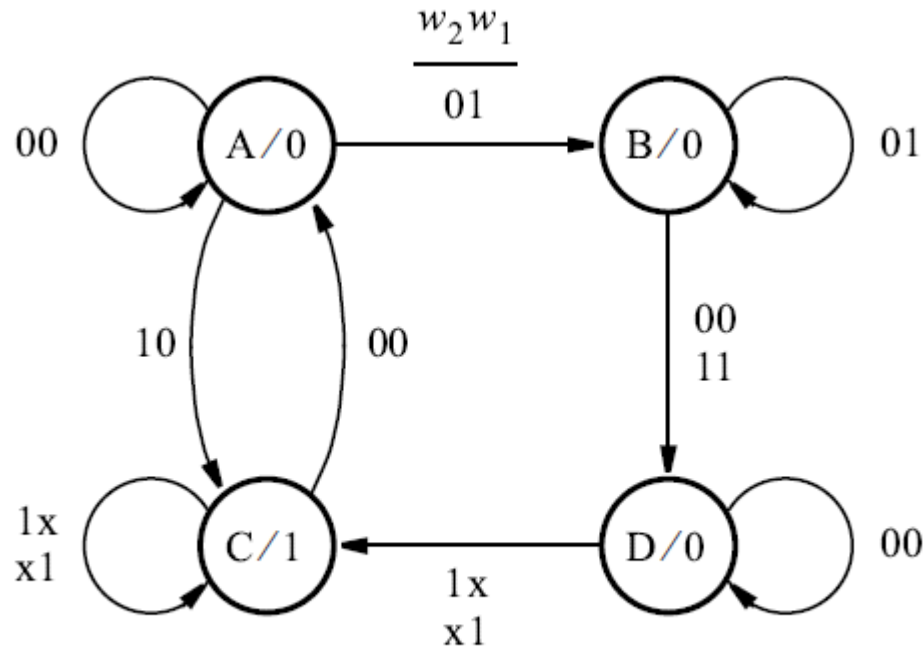
(a) Excitation table

Present state	Next state				Output $z$
	$w_2 w_1 = 00$	01	10	11	
A	A	B	C	D	0
B	D	B	D	D	0
C	A	C	C	C	1
D	D	C	C	C	0

(b) Flow table

# مخطط الحالة للدارة:

- استنتج من المخطط السابق



**Figure 9.11** State diagram for Example 9.3.



# حالات السباق: Race Conditions

- يقال أن هناك حالة سباق في الدارة التتابعية غير المتزامنة عند تغير قيمة متغيري حالة ثنائية أو أكثر كاستجابة للتغير في متغير دخل واحد
- عند مصادفة تأخيرات غير متساوية يمكن أن تتسبب حالة السباق في تغير متغيرات الحالة بطريقة لا يمكن التنبؤ بها
- مثلاً لو وجب أن تتغير متغيرات الحالة من 00 إلى 11 نتيجة تغير متغير الدخل من 0 إلى 1 مثلاً فقد يتسبب الفرق في التأخيرات أن يتغير المتغير الأول أسرع من الثاني والنتيجة هي تغير في متغيرات الحالة بالتتابع
- من 00 إلى 10 ومن ثم إلى 11.
- إذا تغير المتغير الثاني أسرع من الأول فستتغير متغيرات الحالة وفق التتابع من 00 إلى 01 ومنه إلى 11.

إذا لم تعتمد الحالة المستقرة الأخيرة التي تبلغها الدارة على الترتيب الذي تتغير به متغيرات الحالة يدعى السباق عندها بالسباق غير الحرج (الخطير) **noncritical race**.

يبين المثالين في الشكل جانبا سباقات غير حرجة.

نبدأ بالحالة الإجمالية  $y_1 y_2 x = 000$  ومن ثم نغير الدخل من 0 إلى 1. يجب أن تتغير متغيرات الحالة من 00 إلى 11 والتي تحدد شرط السباق. تبين العبارات المسجلة تحت كل جدول ثلاثة طرق ممكنة يمكن أن تتغير بها متغيرات الحالة

		x	
		0	1
y <sub>1</sub> y <sub>2</sub>	00	00	11
	01		11
	11		11
	10		11

(a) Possible transitions:

00 → 11  
 00 → 01 → 11  
 00 → 10 → 11

		x	
		0	1
y <sub>1</sub> y <sub>2</sub>	00	00	11
	01		01
	11		01
	10		11

(b) Possible transitions:

00 → 11 → 01  
 00 → 01  
 00 → 10 → 11 → 01

إذا أمكن للسباق أن ينتهي في حالتين مستقرتين مختلفتين أو أكثر اعتمادا على الترتيب الذي تتغير به متغيرات الحالة عندئذ يدعى **بالسباق الحرج (الخطير) critical Race**.  
لتحقيق التشغيل المناسب يجب تجنب السباقات الحرجة.

- تبين جداول العبور في الشكل التالي السباقات الحرجة. نبدأ بالحالة الإجمالية الكلية  $y_1y_2x = 000$  ومن ثم نغير الدخل من 0 إلى 1. يجب أن تتغير متغيرات الدخل الثانوية من 00 إلى 11.
- إذا تغيرت معا (بنفس اللحظة) تكون الحالة المستقرة الإجمالية النهائية هي 111.
- في جدول العبور الجزء (أ) إذا تغيرت  $y_2$  إلى القيمة 1 قبل  $y_1$  بسبب تأخير الانتشار غير المتساوي عندئذ تنتقل الدارة إلى الحالة المستقرة الإجمالية 011 وتبقى هناك.
- على الجانب الآخر إذا تغير  $y_1$  أولا تصبح الحالة الداخلية 10 وستبقى الدارة في الحالة الإجمالية المستقرة 101. وعليه يكون السباق حرجا لأن الدارة تنتقل إلى الحالات المستقرة المختلفة اعتمادا على الترتيب الذي تتغير به متغيرات الحالة

	$x$	
	0	1
$y_1 y_2$		
00	(00)	11
01		(01)
11		(11)
10		(10)

(a) Possible transitions:

$00 \rightarrow 11$

$00 \rightarrow 01$

$00 \rightarrow 10$

	$x$	
	0	1
$y_1 y_2$		
00	(00)	11
01		11
11		(11)
10		(10)

(b) Possible transitions:

$00 \rightarrow 11$

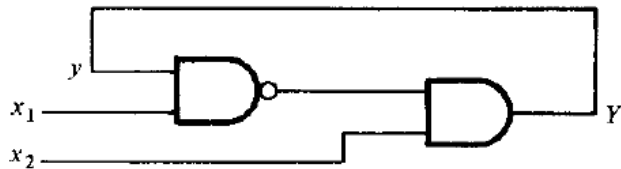
$00 \rightarrow 01 \rightarrow 11$

$00 \rightarrow 10$

# دراسة الاستقرار Stability Consideration

- بسبب وجود وصلة التغذية الراجعة الموجودة في الدارات التتابعية غير المتزامنة يجب أخذ الحيطة لضمان أن لا تصبح الدارة غير مستقرة.
- يسبب شرط عدم الاستقرار اهتزاز الدارة بين الحالات غير المستقرة.
- تعتبر طريقة جدول العبور للتحليل مفيدة في كشف عدم الاستقرار.

ادرس مثلاً دائرة الشكل التالي.  
دالة التحريض هي:



(a) Logic diagram

$$Y = (x_1 y)' x_2 = (x_1' + y') x_2 = x_1' x_2 + x_2 y'$$

	$x_1 x_2$			
	00	01	11	10
$y$				
0	0	1	1	0
1	0	1	0	0

(b) Transition table

يبدو جدول العبور للدائرة في الشكل ذاته. تمت إحاطة قيم  $Y$  المساوية لقيمة  $y$  بالدائرة وهي تمثل حالات مستقرة.

تبين المداخل غير المحاطة بالدائرة حالات غير مستقرة. لاحظ أن العمود 11 ليس له حالات مستقرة. هذا يعني أنه مع ثبات الدخل  $x_1 x_2$  عند القيمة 11 لا تكون قيم  $Y$  و  $y$  هي ذاتها.

إذا كان  $y=0$  عندئذ يكون  $Y=1$  والذي يسبب عبوراً للسطر التالي من الجدول، وعندما  $y=1$  يكون  $Y=0$  مما يسبب عبوراً راجعاً (عكسياً) إلى السطر الأول والنتيجة هي تناوب متغير الحالة بين 0 و 1 بشكل غير منته طالما بقي الدخل هو 11.



- يمكن كشف حالة عدم الاستقرار مباشرة من المخطط المنطقي.  
بفرض  $x_1=1$  و  $x_2=1$  و  $y=1$ . يكون خرج بوابة NAND مساويا 0 وخرج بوابة AND مساويا 0 مما يجعل  $Y=0$  والنتيجة هي أن  $Y \neq y$ .
- الآن إذا كان  $y=0$  يكون خرج بوابة NAND مساويا 1 وخرج بوابة AND مساويا 1 مما يجعل  $Y=1$  والنتيجة هي أن  $Y \neq y$ .
- بفرض أن لكل بوابة تأخير انتشار قدره 5 نانو ثانية (ويشمل تأخير الأسلاك) فإننا سنجد أن  $Y$  سيكون 0 لمدة 10 نانو ثانية و1 بالنسبة للعشرة نانو ثانية التالية. سينتج هذا شكل موجة مربعة ذات دور قدره 20 نانو ثانية ويكون تردد الاهتزاز هو مقلوب الدور ويساوي 50 ميغا هرتز.

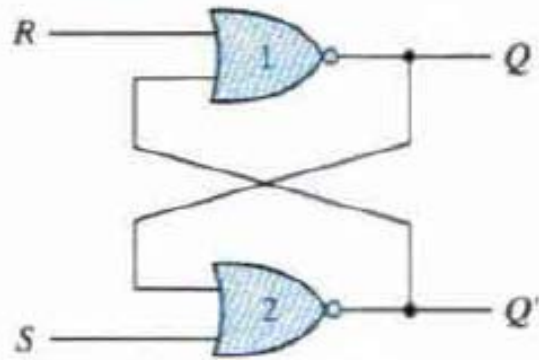
# ٩/٣ الدارات ذات المواسك: Circuits with Latches

- يمكن تنفيذ الدارات التتابعية غير المتزامنة باستخدام الماسك SR.
- يقدم استخدام المواسك في الدارات غير المتزامنة نماذج أكثر ترتيبا والتي قد تؤدي إلى تصميم دائرة أبسط.
- الميزة المضافة هي أن الدارة ستشبه الدارة المتزامنة من حيث امتلاكها عناصر ذاكرة مميزة تخزن وتحدد الحالات الداخلية.
- خرج ماسك بوابات NOR يستنتج من الشكل التالي وهو:

$$Y = [(S + y)' + R]' = (S + y)R' = SR' + R'y$$

- **تحليل سلوك الدارة كماسك:** يمكننا الان تفحص سلوك الماسك SR من جدول العبور. عندما  $SR = 10$  يكون الخرج  $Q = Y = 1$  ويقال عن الماسك أنه في حالة وضع set state. عندما  $SR = 01$  يكون الخرج  $Q = Y = 0$  ويقال عن الماسك أنه في حالة تصفير Reset state. تغير R عائدا إلى الصفر يترك الدارة في حالة تصفير.

# SR Latch : SR ماسك



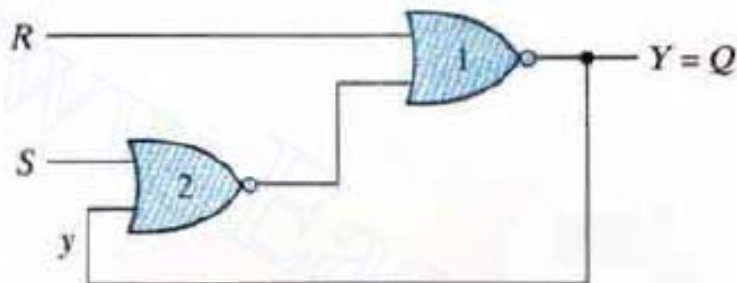
(a) Cross-coupled circuit

S	R	Q	Q'
1	0	1	0
0	0	1	0
0	1	0	1
0	0	0	1
1	1	0	0

(After  $SR = 10$ )

(After  $SR = 01$ )

(b) Truth table



(c) Circuit showing feedback

SR		00	01	11	10
y	0	0	0	0	1
	1	1	0	0	1

$$Y = SR' + R'y$$

$$Y = S + R'y \text{ when } SR = 0$$

(d) Transition table

الشكل 9 / 10 الماسك SR ببوابات NOR

the reset state. These conditions are also listed in the truth table. The circuit exhibits some difficulty when both  $S$  and  $R$  are equal to 1. From the truth table, we see that both  $Q$  and  $Q'$  are equal to 0, a condition that violates the requirement that these two outputs be the complement of each other. Moreover, from the transition table, we note that going from  $SR = 11$  to  $SR = 00$  produces an unpredictable result. If  $S$  goes to 0 first, the output remains at 0, but if  $R$  goes to 0 first, the output goes to 1. In normal operation, we must make sure that 1's are not applied to both the  $S$  and  $R$  inputs simultaneously. This condition can be expressed by the Boolean function  $SR = 0$ , which states that the ANDing of  $S$  and  $R$  must always result in a 0.

Coming back to the excitation function, we note that when we OR the Boolean expression  $SR'$  with  $SR$ , the result is the single variable  $S$ :

$$SR' + SR = S(R' + R) = S$$

From this, we infer that  $SR' = S$  when  $SR = 0$ . Therefore, the excitation function derived previously, namely,

$$Y = SR' + R'y$$

can be expressed in Fig. 9.10(d) as the *reduced excitation function*

$$Y = S + R'y \quad \text{when } SR = 0$$

To analyze a circuit with an  $SR$  latch, we must first check that the Boolean condition  $SR = 0$  holds at all times. We then use the reduced excitation function to analyze the circuit. However, if it is found that both  $S$  and  $R$  can be equal to 1 at the same time, then it is necessary to use the original excitation function.

# مثال تحليل يستخدم مواسك SR

- يمكن تركيب الدارات غير المتزامنة باستخدام مواسك SR مع أو بدون مسارات تغذية راجعة خارجية وذلك لوجود حلقة تغذية راجعة ضمن الماسك نفسه.
- سنبين عملية التحليل بمثال محدد ومنه يمكن تعميم خطوات التحليل على دارات مماثلة.
- في دارة الشكل التالي هناك ماسكا SR بمخرجي التحريض  $Y_1$  و  $Y_2$  وهناك دخلان هما  $x_1$  و  $x_2$  وحلقتي تغذية راجعة خارجية تقدمان المتغيرات الثانوية  $y_1$  و  $y_2$ . لاحظ أن هذه الدارة تشبه الدارة التتابعية التقليدية بمواسك تسلك سلوك القلابات بدون نبضات ساعة.

- يتطلب تحليل الدارة الحصول في البداية على الدوال البوليانية للمدخلين S و R في كل ماسك.

$$S_1 = x_1 y_2 \quad S_2 = x_1 x_2$$

$$R_1 = x_1' x_2' \quad R_2 = x_2' y_1$$

- نختبر بعدئذ تحقق الشرط  $SR = 0$  لضمان التشغيل المناسب.

$$S_1 R_1 = x_1 y_2 x_1' x_2' = 0$$

$$S_2 R_2 = x_1 x_2 x_2' y_1 = 0$$

- والنتيجة هي 0 لأن

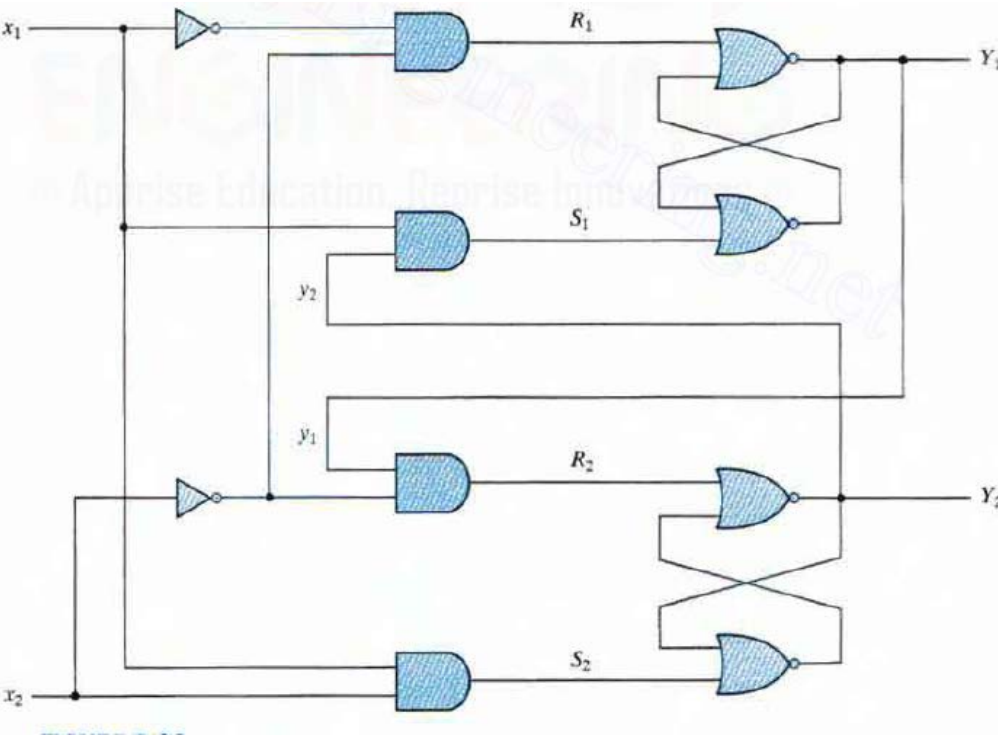
$$x_1 x_1' = x_2 x_2' = 0$$

- الخطوة التالية هي استنتاج جدول العبور للدارة. تذكر أن جدول العبور يحدد قيمة Y كتابع لكل من x و y.
- تستنتج دوال التحريض من العلاقة:

$$Y = S + R'y$$

$$Y_1 = S_1 + R_1' y_1$$

$$Y_2 = S_2 + R_2' y_2$$



$y_1 y_2 \backslash x_1 x_2$	00	01	11	10
00	00	00	01	00
01	01	01	11	11
11	00	11	11	10
10	00	10	11	10



## خطوات تحليل الدارات التتابعية غير المتزامنة باستخدام ماسك SR:

١. سمي كل خرج ماسك بـ  $Y_i$  وكل خط تغذية راجعة خارجي (إذا وجد) بـ  $y_i$  من أجل  $i=1, 2, \dots, k$
٢. استنتج الدوال البوليانية للمداخل  $S_i$  و  $R_i$  في كل ماسك.
٣. اختبر ما إذا كان  $SR=0$  بالنسبة لكل ماسك NOR أو ما إذا كان  $S'R' = 0$  بالنسبة لكل ماسك NAND. إذا لم يتحقق هذا الشرط فقد لا تعمل الدارة بشكل مناسب
٤. احسب قيم  $Y = S + R'y$  بالنسبة لكل ماسك NOR أو  $y = S' + Ry$  بالنسبة لكل ماسك NAND.
٥. أنشئ مخطط بحيث تمثل  $y$  السطور وتمثل المداخل  $x$  الأعمدة.
٦. ضع قيم  $Y = Y_1 Y_2 \dots Y_k$  في المخطط
٧. ضع دائرة حول كل الحالات المستقرة حيث  $Y = y$ . عندئذ يكون المخطط الناتج هو جدول العبور.