



دانشگاه سمنان
Semnan University
پردیس فرزانهان

بسمه تعالی



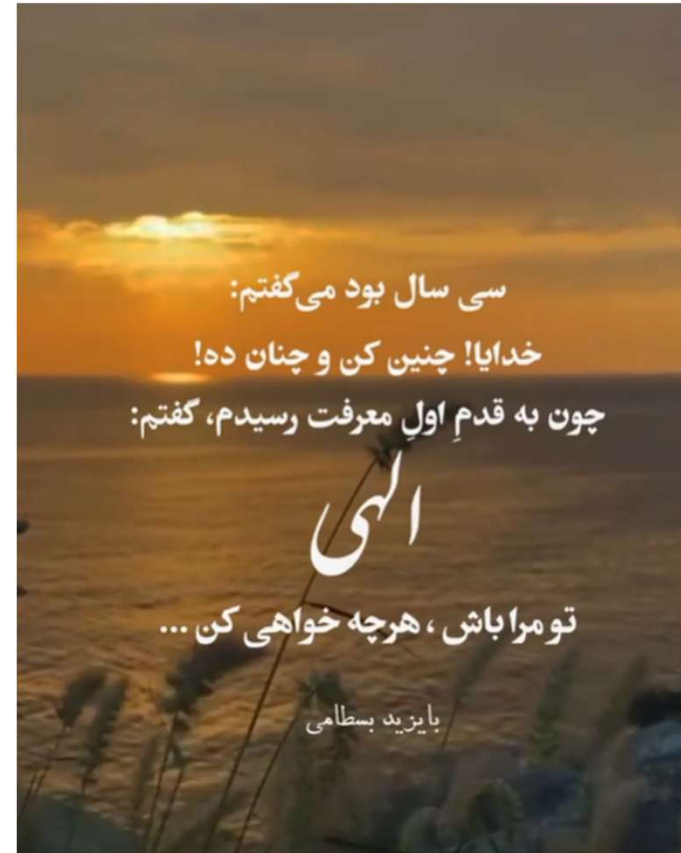
دانشگاه سمنان
Semnan University
پردیس فرزانهان

مناجات خواجه عبدالله انصاری

بارالها...
از کوی تو بیرون نشود، پای خیالم
نکند فرق به حالم
چه برانی، چه بخوانی...
چه به اوجم برسانی
چه به خاکم بکشانی...

نه من آنم که برنجم
نه تو آنی که برانی...
نه من آنم که ز فیض نگهت چشم بیوشم
نه تو آنی که گدا را ننوازی به نگاهی
در اگر باز نگردد...
نروم باز به جایی
پشت دیوار نشینم چو گدا بر سر راهی

** به غیر از تو نخواهم
چه بخواهی چه نخواهی
باز کن در که جز این خانه مرا، نیست پناهی



مدارهای منطقی

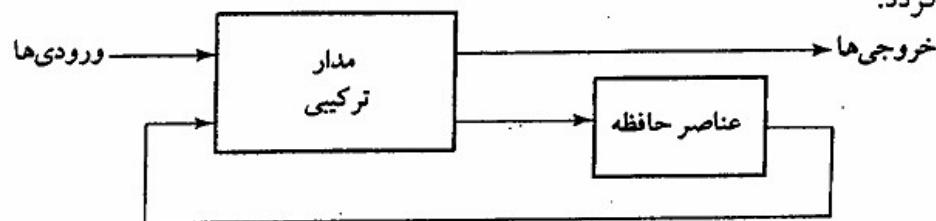
فصل پنجم

مدارهای منطقی ترتیبی

تحلیل و طراحی مدارات ترتیبی

مدارهای دیجیتالی که تاکنون بررسی شدند از نوع ترکیبی بودند. در این مدارها خروجی‌ها همه به ورودی‌های جاری وابسته‌اند. گرچه به نظر می‌رسد که هر سیستم دیجیتال دارای مدارهای ترکیبی است، بسیاری از سیستم‌هایی که در عمل با آن مواجه هستیم حاوی عناصر حافظه هم می‌باشند و بنابراین لازم است تا این سیستم‌ها برحسب منطق ترتیبی مورد بررسی قرار گیرند.

نمودار بلوکی یک مدار ترتیبی در شکل ۵-۱ نشان داده شده است. این مدار متشکل از مداری ترکیبی است که عناصر حافظه برای ایجاد یک مسیر پسخورد به آن وصل شده‌اند. عناصر حافظه قطعاتی هستند که می‌توانند اطلاعات دودویی را ذخیره کنند. اطلاعات دودویی ذخیره شده در این عناصر در هر لحظه از زمان حالت مدار ترتیبی در آن زمان است. مدار ترتیبی اطلاعات دودویی را از ورودی‌های بیرونی دریافت می‌کند. این ورودی‌ها همراه با حالت فعلی عناصر حافظه، مقدار دودویی خروجی‌ها را معین می‌نماید. آنها شرط تغییر حالت در عناصر حافظه را نیز معین می‌سازند. نمودار بلوکی نشان می‌دهد که خروجی‌های یک مدار ترتیبی نه فقط تابعی از ورودی‌ها هستند، بلکه به حالت فعلی عناصر حافظه نیز وابسته می‌باشند. حالت بعدی عناصر حافظه نیز تابعی از ورودی‌های بیرونی و حالت فعلی است. بنابراین یک مدار ترتیبی با ترتیب زمانی ورودی‌ها، خروجی‌ها و حالات داخلی مشخص می‌گردد.



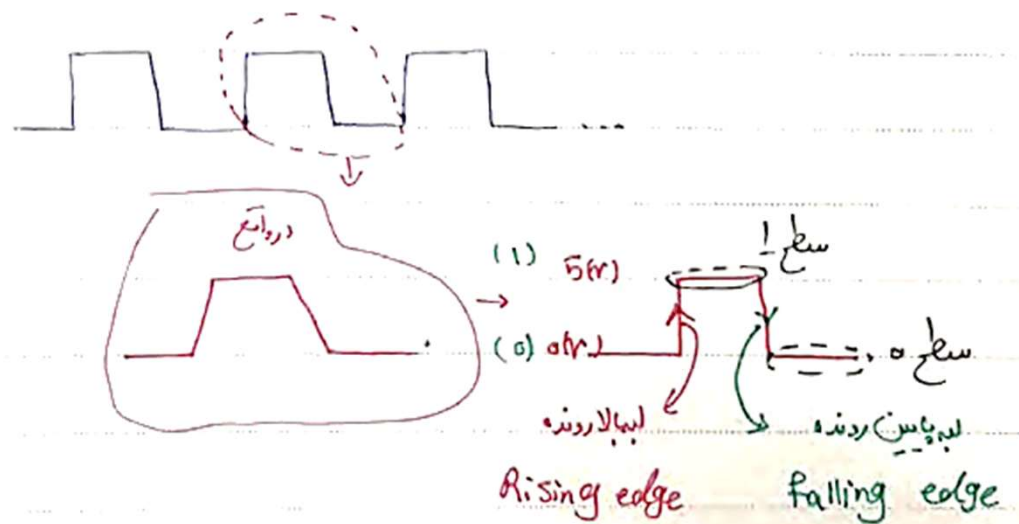
شکل ۵-۱ نمودار بلوکی یک مدار ترتیبی

شکل‌دهی (همزمان): مدارهایی که در آن‌ها عملیات توسط یک پالس ساعت کنترل می‌شود.
 (synchronous)

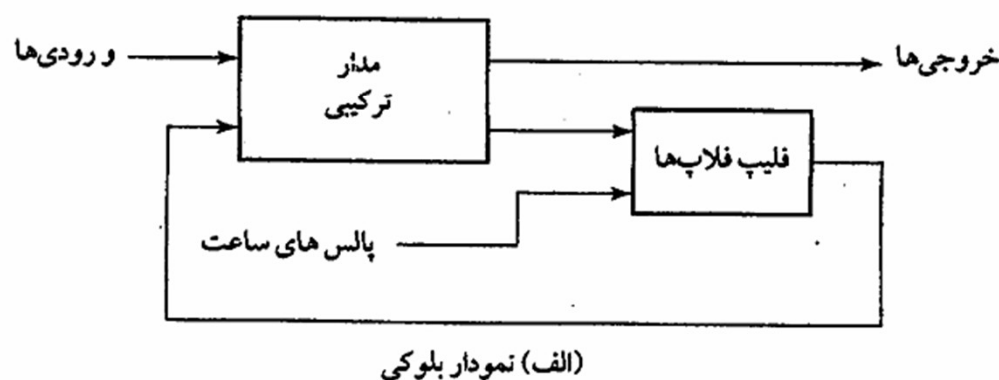
مدارهای ترتیبی

شکل‌دهی (غیرهمزمان): مدارهایی که در آن‌ها شروع عملیات به محض ورودی‌هاست.
 (Asynchronous)

پالس ساعت
 clock pulse
 cp
 clk



عناصر ذخیره‌سازی در مدارهای ترتیبی ساعت‌دار را فلیپ فلاپ می‌گویند. فلیپ فلاپ یک وسیله ذخیره‌سازی دودویی بوده و قادر است یک بیت از اطلاعات را در خود ذخیره نماید. یک مدار ترتیبی ممکن است در صورت لزوم تعداد قابل توجهی از این فلیپ فلاپ‌ها را به کار ببرد. نمودار بلوکی یک مدار ترتیبی ساعت‌دار همزمان در شکل ۲-۵ دیده می‌شود. خروجی‌ها می‌توانند از یک مدار ترکیبی، یا از فلیپ فلاپ‌ها و یا هر دو حاصل شوند. فلیپ فلاپ‌ها ورودی‌های خود را از مدار ترکیبی و نیز از سیگنال ساعت که با فواصل زمانی رخ می‌دهند، طبق نمودار زمانی دریافت می‌کنند. حالت فلیپ فلاپ‌ها تنها هنگام تغییر وضعیت یک پالس ساعت عوض می‌شود.



شکل ۲-۵. مدار ترتیبی ساعت‌دار همزمان



۲-۵ لچ‌ها

یک فلیپ فلاپ می‌تواند یک حالت دودویی را مادامی که تغذیه به مدارش اعمال شود، تا مدتی نامحدود نگهدارد. تفاوت عمده بین انواع فلیپ فلاپ‌ها، در تعداد ورودی‌ها و نحوه تأثیر آنها در تغییر حالت دودویی است. ساده‌ترین انواع فلیپ فلاپ‌ها که با سطوح سیگنال عمل می‌کنند، لچ نامیده می‌شوند. لچ‌ها (یا نگهدارها) مدارهای مبنایی هستند که همه فلیپ فلاپ‌ها با آنها ساخته می‌شوند. گرچه لچ‌ها برای ذخیره اطلاعات دودویی و طراحی مدارهای ترتیبی غیرهمزمان (بخش ۳-۹) مفیدند، ولی عملاً در مدارهای ترتیبی همزمان به کار نمی‌روند. انواع فلیپ فلاپ‌هایی که در مدارهای ترتیبی مورد استفاده قرار می‌گیرند در بخش بعد معرفی شده‌اند.

لچ SR

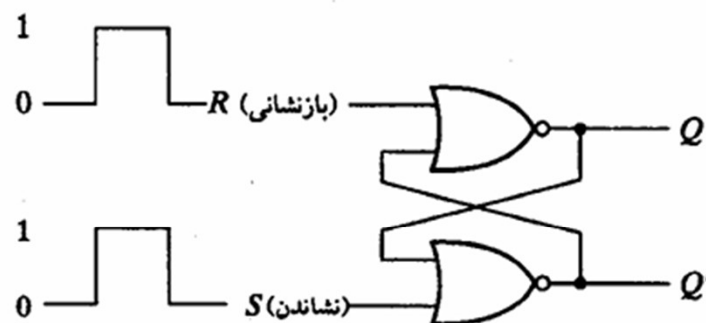
لچ SR مداری با دو گیت NAND یا NOR است که به طور متقاطع به هم وصل شده‌اند. این مدار دو ورودی دارد که با S به معنی نشانیدن (set) و R برای بازنشانی (Reset) نام‌گذاری شده‌اند. لچ SR ساخته شده از دو گیت NOR در شکل ۳-۵ دیده می‌شود. لچ دارای دو حالت مفید است. وقتی

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 $S = 1, R = 0$)

(after $S = 0, R = 1$)

(ب) جدول تابع



(الف) نمودار منطقی

شکل ۳-۵. لچ SR با گیت‌های NOR

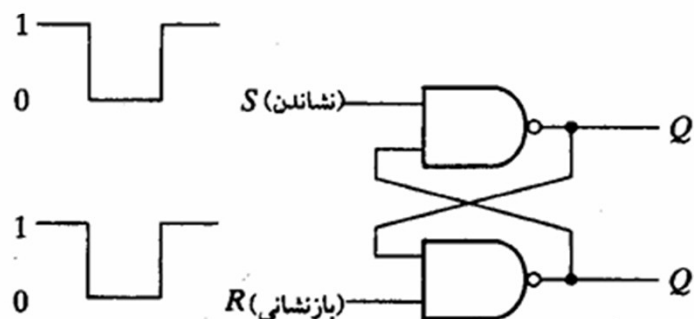
خروجی $Q = 1$ و $Q' = 0$ باشند گوییم که لچ در حالت نشانده (منطق 1) است. اگر $Q = 0$ و $Q' = 1$ باشد گوییم در حالت بازنشانی (منطق 0) است. خروجی‌های Q و Q' متمم یکدیگرند. با این وجود، وقتی هر دو ورودی به طور همزمان 1 شوند، حالت تعریف نشده 0 برای دو خروجی رخ می‌دهد.

لچ SR با دو گیت NAND متقاطع در شکل ۴-۵ مشاهده می شود. این مدار به طور معمول با 1 در هر دو ورودی اش کار می کند مگر این که بخواهیم حالت لچ را تغییر دهیم. اعمال 0 به S موجب می شود Q به 1 برود، و لچ را به حالت نشانده وا دارد. وقتی که ورودی S به 1 باز گردد، مدار در همان حالت 1 باقی می ماند. پس از بازگشت هر دو ورودی به 1، ما مجاز به تغییر حالت لچ با استقرار 0 در R هستیم. این موجب می شود تا مدار به حالت بازنشانی برود و حتی پس از بازگشت هر دو ورودی به 1، لچ در همان حال بماند. حالتی که برای لچ NAND غیر مجاز است، هنگامی است که هر دو ورودی به طور همزمان در 0 باشند. بنابراین از وقوع این حالت باید ممانعت کرد.

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

(after $S = 1, R = 0$)
 (after $S = 0, R = 1$)

(ب) جدول تابع



(الف) نمودار منطقی

شکل ۴-۵. لچ SR با گیت های NAND

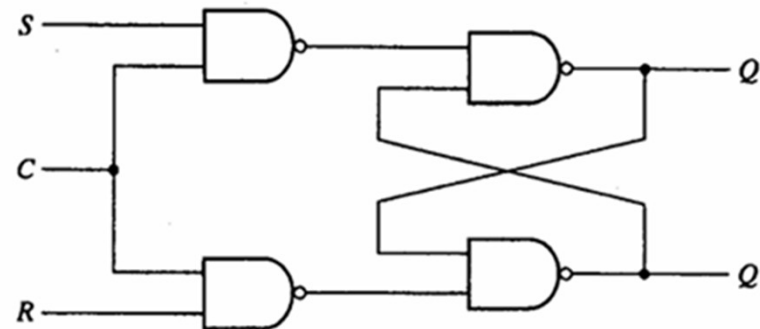


فلیپ فلاپ R - S

این مدار شامل یک لچ SR پایه و دو گیت NAND اضافی است. ورودی کنترل C به عنوان یک سیگنال فعال ساز برای دو ورودی عمل می کند. مادامی که ورودی کنترل در 0 باقی بماند، خروجی گیت های NAND در سطح منطقی 1 باقی می ماند. این وضعیت حالت سکون برای لچ SR است. حالت نشان دادن با $S = 1$ و $R = 0$ و $C = 1$ حاصل می گردد. برای تغییر وضعیت باید $S = 0$ و $R = 1$ و $C = 1$ باشد. در هر حال، وقتی که C به 0 بازگردد، مدار در حالت جاری باقی می ماند. در ورودی کنترل با اعمال 0 به C، مدار غیر فعال می شود، به نحوی که عدم تغییر حالت مستقل از مقادیر S و R، نیز می باشد. به علاوه وقتی $C = 1$ باشد، و هر دو ورودی S و R برابر 0 باشند، باز هم حالت مدار تغییر نخواهد کرد. این حالات در جدول تابع در کنار نمودار، ملاحظه می شوند.

C	S	R	حالت بعدی Q
0	X	X	بلا تغییر
1	0	0	بلا تغییر
1	0	1	حالت باز نشانی; $Q = 0$
1	1	0	حالت نشان دادن; $Q = 1$
1	1	1	نامعین

(ب) جدول درستی



(الف) نمودار منطقی



دانشگاه سمنان
Semnan University
پردیس فرازانگان

$Q(t)$	S	R	$Q(t+1)$
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	نقصین
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	نقصین

$Q = Q(t)$ حالت $f.f$ قبل از CP

به کار بردن CP

$Q^* = Q(t+1)$ حالت بعد از $f.f$ و CP نقصین

جدول بالا به این صورت تعبیر می شود که با دانستن دردی های S و R و ای لی پالس ساعت در ورودی CP فلیپ فلاپ از حالت فعلی Q به حالت بعدی $Q(t+1)$ می رود.

$$Q(t+1) = f(Q(t), S, R)$$

$Q \backslash SR$	00	01	11	10
0			X	1
1	1		X	1

$$\left\{ \begin{array}{l} Q(t+1) = S + QR' \\ SR = 0 \end{array} \right. \leftarrow \text{محدود می شود}$$



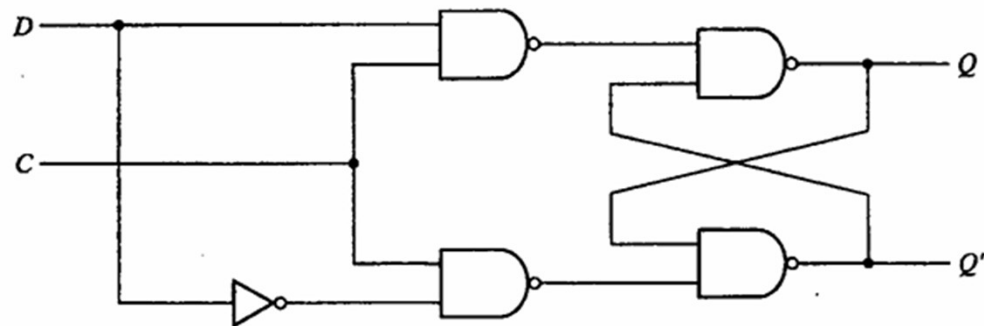


فلیپ فلاپ D

یکی از راه‌های حذف حالت نامطلوب یعنی حالت نامعین یا غیر مجاز در لچ SR این است که مطمئن شویم S و R هرگز به طور همزمان به 1 نمی‌روند. این کار با لچ D شکل ۶-۵ میسر است. این لچ تنها دو ورودی دارد: D (داده) و C (کنترل). ورودی D مستقیماً به ورودی S و متمم آن به ورودی R وصل می‌شود. مادامی که ورودی کنترل در 0 قرار دارد، لچ SR متقاطع دارای 1 در هر دو ورودی بوده و مدار نمی‌تواند تغییر حالت دهد. در واقع مقدار D هم نقشی ندارد. وقتی $C = 1$ باشد ورودی D نمونه‌برداری می‌شود. اگر $D = 1$ باشد خروجی Q به 1 می‌رود، به این ترتیب مدار در حالت نشانده است. اگر $D = 0$ ، خروجی Q به 0 رفته و مدار را به حالت بازنشانی می‌برد.

C	D	حالت بعدی Q
0	X	بلا تغییر
1	0	حالت بازنشانی; $Q = 0$
1	1	حالت نشاندن; $Q = 1$

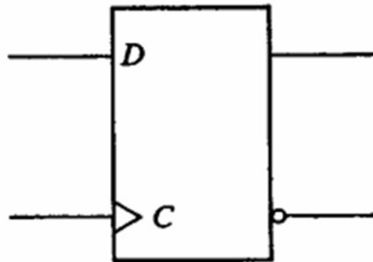
(ب) جدول درستی



(الف) نمودار منطقی



فلیپ فلاپ D



فلیپ فلاپ D		
D	$Q(t + 1)$	
0	0	بازنشانی
1	1	نشاندن

خواص منطقی یک فلیپ فلاپ که در جدول مشخصه ملاحظه شد را می توان به صورت معادله مشخصه هم بیان کرد. برای فلیپ فلاپ D، این معادله به صورت زیر است:

$$Q(t + 1) = D$$

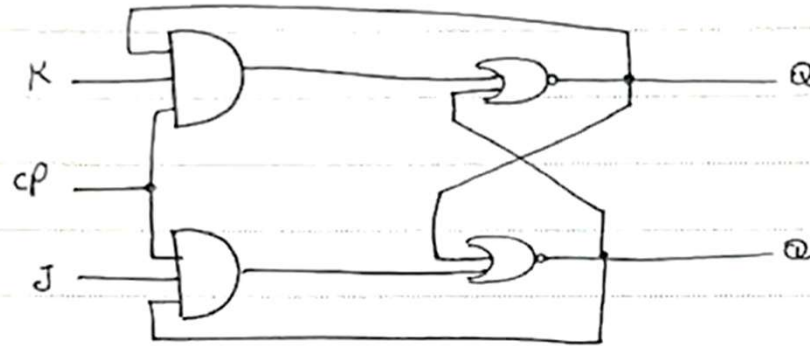
این رابطه بیان می کند که حالت بعدی خروجی برابر با مقدار ورودی D در حال حاضر است.



فلپ فلاپ K: فلپ فلاپ JK نوع کاملتر شده فلپ فلاپ RS میباشد. به این معنای که حالت غیر قابل پیش بینی فلپ فلاپ RS در فلپ فلاپ JK موجود و قابل تقریب است.

$$S \rightarrow J \text{ (Jump)}$$

$$R \rightarrow K \text{ (K, 1)}$$



$$J=1, K=0 \xrightarrow{CP=1} Q=1$$

$$J=0, K=1 \xrightarrow{CP=1} Q=0$$

$$J=1, K=1 \xrightarrow{CP=1} \text{خروجی با پالس ساعت مکمل می شود}$$

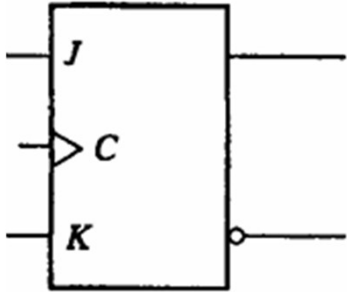
$$J=0, K=0 \xrightarrow{CP=1} \text{خروجی تغییر نمی کند}$$

در حالتی که J و K هر دو یک باشند و $CP=1$ باشد به علت وجود feed back در ورودی های AND خروجی دوباره مکمل می شود و این عمل مرتباً تکرار می شود یعنی Q و Q' به طور مکرر صفر و یک میشوند تا زمانی که $CP=0$ شود.



فلیپ فلاپ J-K

جدول مشخصه فلیپ فلاپ JK نشان می‌دهد که حالت بعدی برابر است با حالت فعلی، به شرطی که $J = K = 0$ باشد. این وضع را می‌توان به صورت $Q(t+1) = Q(t)$ نشان داد و بیان می‌دارد که تغییری در حالت آن ایجاد نمی‌شود. وقتی که $K = 1$ و $J = 0$ باشد، ساعت فلیپ فلاپ را به 0 بازنشانی می‌کند و بنابراین $Q(t+1) = 0$ خواهد شد. اگر $J = 1$ و $K = 0$ گردد فلیپ فلاپ به 1 می‌رود. وقتی که هر دو ورودی J و K برابر 1 شوند، حالت بعدی متمم حالت فعلی خواهد بود و می‌توان آن را با $Q(t+1) = Q'(t)$ نشان داد.



فلیپ فلاپ JK		
J	K	$Q(t+1)$
0	0	$Q(t)$
0	1	0
1	0	1
1	1	$Q'(t)$

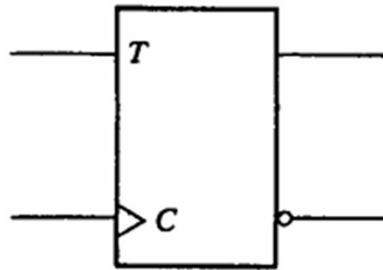
$$Q(t+1) = JQ' + K'Q$$

بلا تغییر
بازنشانی
نشان دادن
متمم



فلیپ فلاپ T

فلیپ فلاپ T (دگر وضع) یک فلیپ فلاپ متمم ساز است و می توان آن را با گره زدن دو ورودی J و K ایجاد کرد. این عمل در شکل ۱۳-۵ (الف) نشان داده شده است. وقتی $T = 0$ باشد، $(J = K = 0)$ ، لبه ساعت، خروجی را عوض نمی کند. وقتی که $T = 1$ است $(J = K = 1)$ ، لبه ساعت، خروجی را متمم می نماید. فلیپ فلاپ متمم ساز در طراحی شمارنده های دودویی بسیار مورد توجه است.



فلیپ فلاپ T

T	$Q(t + 1)$	
0	$Q(t)$	بلا تغییر
1	$Q'(t)$	متمم

$$Q(t + 1) = T \oplus Q = TQ' + T'Q$$



دانشگاه سمنان
Semnan University
پردیس فرزندان

جداول مشخصه فلیپ فلاپ ها

JK Flip Flop

J	K	$Q(t+1)$	
0	0	$Q(t)$	<i>cte</i>
0	1	0	<i>Reset</i>
1	0	1	<i>Set</i>
1	1	$Q'(t)$	<i>Toggle</i>

RS Flip Flop

S	R	$Q(t+1)$	
0	0	$Q(t)$	<i>cte</i>
0	1	0	<i>Reset</i>
1	0	1	<i>Set</i>
1	1	?	<i>Forbidden</i>

D Flip Flop

D	$Q(t+1)$	
0	0	<i>cte</i>
1	1	<i>cte</i>

T Flip Flop

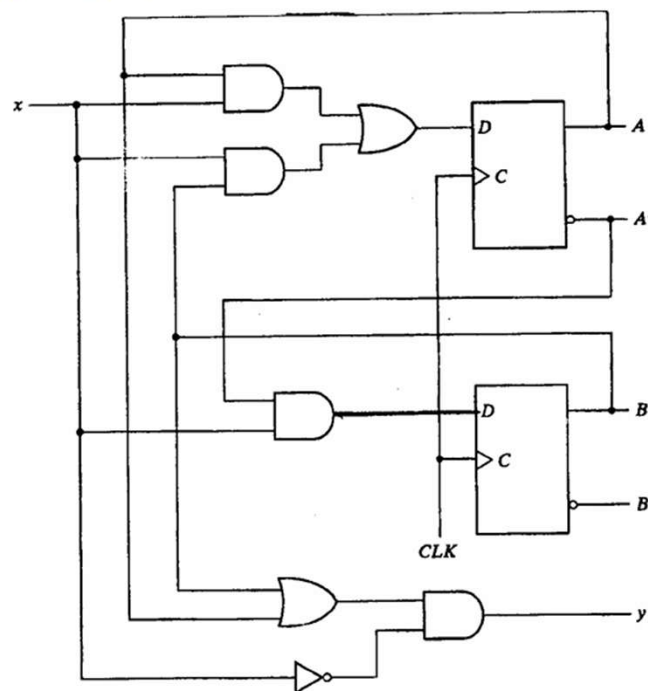
T	$Q(t+1)$	
0	1	<i>Toggle</i>
1	0	<i>Toggle</i>



۴-۵ تحلیل مدارهای ترتیبی ساعت‌دار

رفتار یک مدار ترتیبی ساعت‌دار با ورودی‌ها، خروجی‌ها و حالت فلیپ فلاپ‌ها مشخص می‌گردد. خروجی‌ها و حالت بعدی هر دو تابعی از ورودی‌ها و حالت فعلی‌اند. تحلیل یک مدار ترتیبی به معنی تهیه جدول یا نموداری از رشته زمانی ورودی‌ها، خروجی‌ها و حالات درونی است. می‌توان عبارات بول را نوشت و به وسیله آنها رفتار مدار را توصیف کرد. این عبارات باید رشته زمانی لازم را چه مستقیماً و چه غیرمستقیم مشخص کنند.

یک نمودار منطقی، وقتی دارای فلیپ فلاپ‌ها با ورودی‌های ساعت باشد، مدار ترتیبی ساعت‌دار خوانده می‌شود. فلیپ فلاپ‌ها می‌توانند از هر نوع، و نمودار منطقی هم ممکن است شامل گیت‌های ترکیبی باشد یا نباشد. در این بخش، ما یک نمایش جبری را برای تعیین حالت بعدی برحسب حالت فعلی و ورودی‌ها ارائه می‌کنیم. آنگاه برای توصیف رفتار یک مدار ترتیبی، یک جدول حالت و یک نمودار حالت ارائه می‌شود. یک عبارت جبری دیگر هم برای مشخص کردن نمودار منطقی مدارهای ترتیبی بیان می‌گردد.



شکل ۱۵-۵. مثال مدار ترتیبی

معادلات حالت

رفتار مدار ترتیبی ساعت‌دار را می‌توان با معادلات حالت توصیف کرد. یک معادله حالت (که به آن معادله گذر هم می‌گویند) حالت بعدی را برحسب تابعی از حالات فعلی و ورودی‌ها بیان می‌نماید. مدار شکل ۱۵-۵ را ملاحظه نمایید. این مدار از دو فلیپ فلاپ A و B نوع D و یک ورودی x و یک خروجی y تشکیل شده است. چون ورودی D یک فلیپ فلاپ، مقدار حالت بعدی را معین می‌کند، می‌توان مجموعه معادلاتی را به صورت زیر برای مدار نوشت:

$$A(t+1) = A(t)x(t) + B(t)x(t)$$

$$B(t+1) = A'(t)x(t)$$

یک معادله حالت معادله‌ای است که شرایط گذر حالت را برای یک فلیپ فلاپ بیان می‌کند. سمت چپ معادله با (t+1) حالت بعدی فلیپ فلاپ را پس از یک لبه ساعت معین می‌نماید. سمت راست معادله عبارتی است بولی که حالت فعلی و وضعیت ورودی‌هایی را مشخص می‌نمایند که در قبال آنها حالت بعدی 1 می‌گردد. چون همه متغیرها در عبارت بول تابعی از حالت فعلی هستند، ما از نوشتن (t) پس از متغیر صرف‌نظر کرده و معادلات حالت را به صورت فشرده‌تری مطابق زیر می‌نویسیم:

$$A(t+1) = Ax + Bx$$

$$B(t+1) = A'x$$

جدول حالت

رشته‌های زمانی ورودی‌ها، و خروجی‌ها و حالات فلیپ فلاپ را می‌توان در یک جدول حالت (به آن جدول گذر هم می‌گویند) جمع‌آوری کرد. جدول حالت برای مدار شکل ۵-۱۵ در جدول ۵-۲ دیده می‌شود. جدول متشکل از چهار بخش با نام‌های حالت فعلی، ورودی، حالت بعدی و خروجی است.

بخش حالت فعلی، حالت فلیپ فلاپ‌های A و B را در هر لحظه از زمان t نشان می‌دهد. بخش ورودی مقدار x را برای هر حالت فعلی ممکن بدست می‌دهد. بخش حالت بعدی، وضعیت فلیپ فلاپ‌ها را یک سیکل ساعت بعد، در زمان $t+1$ بیان می‌دارد. بخش خروجی مقدار y را در هر زمان t در قبال هر حالت فعلی با توجه به شرایط ورودی، مشخص می‌کند.

جدول ۵-۲. جدول حالت برای شکل ۵-۱۵

حالت فعلی		ورودی	حالت بعدی		خروجی
A	B	x	A	B	y
0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0
0	1	0	0	0	1
0	1	1	1	1	0
1	0	0	0	0	1
1	0	1	1	0	0
1	1	0	0	0	1
1	1	1	1	0	0

یک مدار ترتیبی با m فلیپ فلاپ و n ورودی نیاز به 2^{m+n} سطر در جدول حالت دارد. اعداد دودویی از 0 تا $2^{m+n}-1$ در زیر ستون‌های حالت فعلی و ورودی لیست شده‌اند. بخش حالت بعدی دارای m ستون، یعنی یک ستون در ازاء هر فلیپ فلاپ، می‌باشد. مقادیر دودویی برای حالت بعدی مستقیماً از معادلات حالت حاصل می‌گردند. بخش خروجی دارای ستونهایی به تعداد خروجی‌هاست. مقدار دودویی این بخش مشابه با جدول درستی از مدار یا تابع بولی آن بدست می‌آید. گاهی بهتر است تا جدول حالت را با کمی تغییر نشان دهیم. در آرایشی دیگر، جدول حالت تنها سه بخش دارد که عبارتند از: حالت فعلی، حالت بعدی و خروجی. حالات ورودی در زیر ستون حالت بعدی و ستون خروجی ذکر می‌شود. جدول حالت ۵-۲ با توجه به این روش به جدول ۵-۳ تبدیل شده است. برای هر حالت فعلی، بسته به مقدار ورودی، دو حالت ممکن برای حالت بعدی و خروجی وجود دارد.

جدول ۵-۲. جدول حالت برای شکل ۵-۱۵

حالت فعلی		ورودی	حالت بعدی		خروجی
A	B	x	A	B	y
0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0
0	1	0	0	0	1
0	1	1	1	1	0
1	0	0	0	0	1
1	0	1	1	0	0
1	1	0	0	0	1
1	1	1	1	0	0

جدول ۵-۳. فرم دیگر جدول حالت

حالت فعلی	حالت بعدی		خروجی	
	$x = 0$ $x = 1$		$x = 0$	$x = 1$
	AB	AB	y	y
00	00	01	0	0
01	00	11	1	0
10	00	10	1	0
11	00	10	1	0



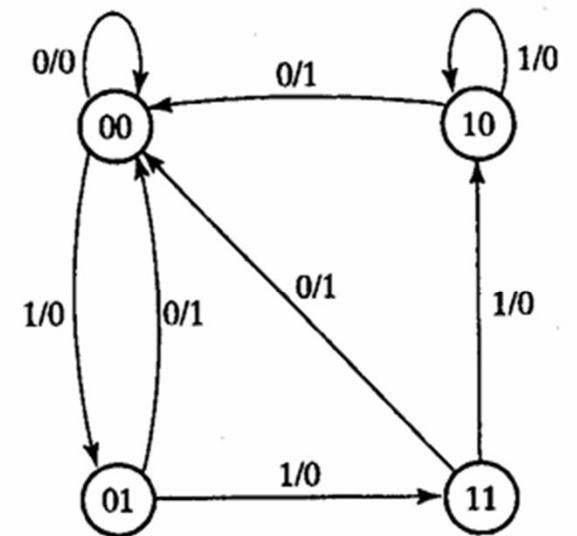
نمودار حالت

اطلاعات موجود در جدول حالت را می‌توان به صورت گرافیکی با نمودار حالت نشان داد. در این نوع نمودار، یک حالت با یک دایره نشان داده می‌شود و گذر در بین حالات با خطوط جهت‌داری که دو دایره را به هم وصل می‌کنند نمایش داده می‌شود. نمودار حالت مدار ترتیبی شکل ۱۵-۵ در شکل ۱۶-۵ ملاحظه می‌گردد. نمودار حالت همان اطلاعات جدول حالت را بیان می‌کند که مستقیماً از جدول ۲-۵ یا ۳-۵ بدست می‌آید. عدد دودویی داخل هر دایره حالت فلیپ فلاپ‌ها را بیان می‌نماید. خطوط جهت‌دار با دو عدد که با یک خط مورب از هم جدا شده‌اند، برچسب خورده‌اند. مقدار ورودی در حالت فعلی در سمت چپ این خط و عدد پس از خط مورب، خروجی را در حالت فعلی در قبال ورودی مربوطه‌اش نشان می‌دهد. باید توجه داشت مقدار خروجی ذکر شده در کنار خطوط جهت‌دار، در حین حالت فعلی و ورودی مربوطه رخ می‌دهد و هیچ ارتباطی به حالت بعدی ندارد. مثلاً خط واصل جهت‌دار که از حالت 00 به 01 می‌رود با 1/0 برچسب خورده است و به این معنی است که وقتی مدار ترتیبی در حالت فعلی 00 است ورودی 1 و خروجی 0 می‌باشد، در پالس ساعت بعدی، مدار به حالت بعدی 01 می‌رود. اگر ورودی به 0 تغییر یابد، آنگاه خروجی 1 می‌گردد ولی اگر ورودی در 1 باقی بماند، خروجی در 0 خواهد ماند. این اطلاعات از نمودار حالت و خطوط جهت‌دار که از دایره 01 سرچشمه گرفته، حاصل شده است. یک خط جهت‌دار که دایره را به خودش وصل کند، به معنی عدم وجود تغییر در حالت است.



دانشگاه سمنان
Semnan University
پردیس فیروزانگان

حالت فعلی	حالت بعدی		خروجی	
	$x = 0$ $x = 1$		$x = 0$	$x = 1$
	AB	AB	y	y
00	00	01	0	0
01	00	11	1	0
10	00	10	1	0
11	00	10	1	0



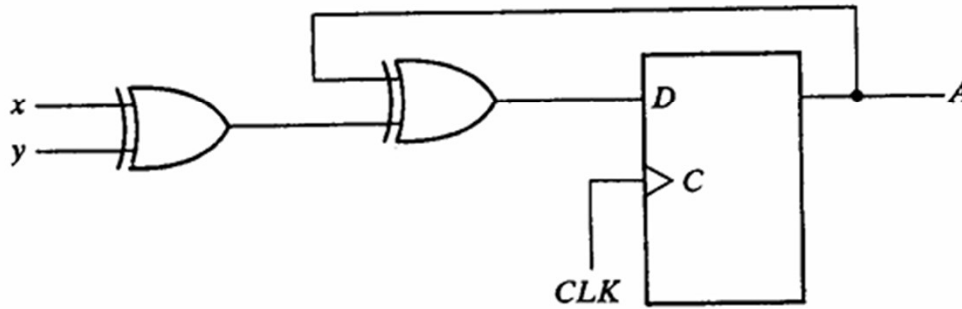


$$A(t + 1) = A \oplus x \oplus y$$

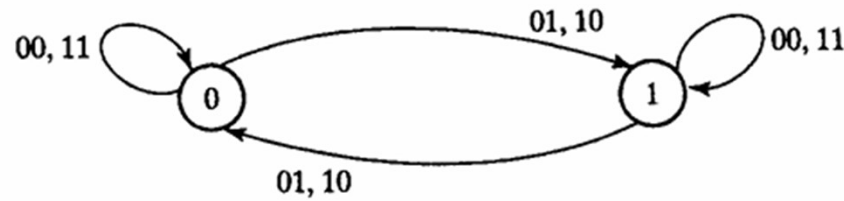
این عبارت یک تابع فرد را بیان می‌دارد و هنگامی برابر 1 است که فقط یک یا سه متغیر برابر 1 باشد. این نکته در ستون حالت بعدی A قابل ملاحظه است.

حالت فعلی	ورودی‌ها		حالت بعدی
A	x	y	A
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

(ب) جدول حالت



(الف) نمودار مدار



(پ) نمودار حالت

مقادیر حالت بعدی یک مدار ترتیبی که از فلیپ فلاپ‌هایی چون نوع JK و T استفاده می‌کنند از رویه زیر بدست می‌آید.

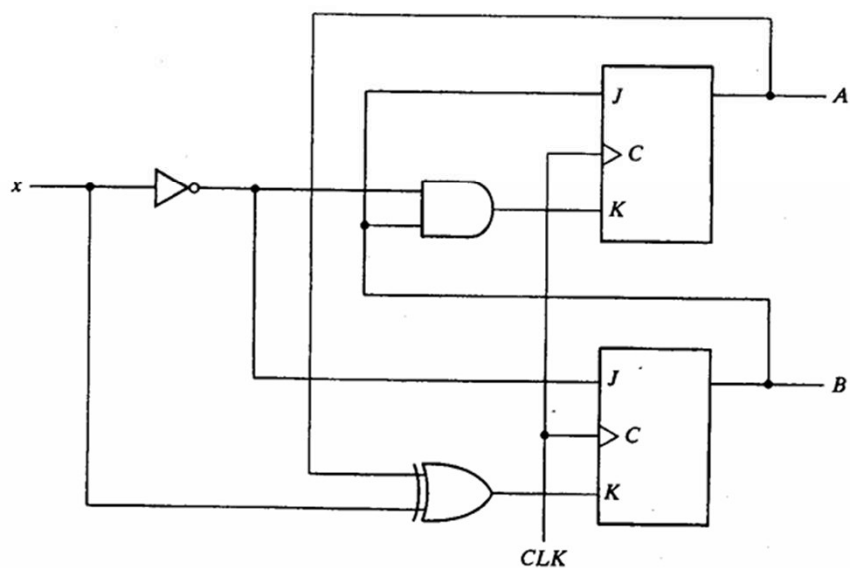
۱- تعیین معادلات ورودی برحسب حالت فعلی و متغیرهای ورودی

۲- لیست مقادیر دودویی هر معادله ورودی

۳- استفاده از جدول مشخصه فلیپ فلاپ برای تعیین مقادیر حالت در جدول حالت.

به عنوان یک مثال، مدار ترتیبی متشکل از دو فلیپ فلاپ A و B از نوع JK و یک ورودی x را طبق شکل ۵-۱۸ ملاحظه نمایید. مدار دارای خروجی خاص نیست و بنابراین نیازی به ستون خروجی در جدول حالت وجود ندارد (خروجی‌های فلیپ فلاپ را می‌توان در این حالت به عنوان خروجی در نظر گرفت). می‌توان مدار را با معادلات ورودی زیر بیان کرد.

$$\begin{aligned} J_A &= B & K_A &= Bx' \\ J_B &= x' & K_B &= A'x + Ax' = A \oplus x \end{aligned}$$



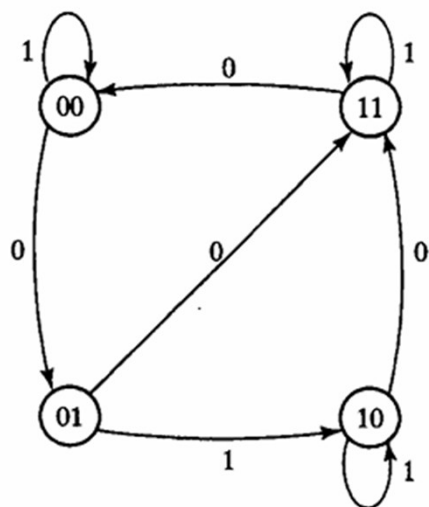
شکل ۱۸-۵. مدار ترتیبی با فلیپ فلاپ JK.

$$J_A = B \quad K_A = Bx'$$

$$J_B = x' \quad K_B = A'x + Ax' = A \oplus x$$

جدول ۴-۵. جدول حالت برای مدار ترتیبی با فلیپ فلاپ JK.

حالت فعلی		ورودی	حالت بعدی		ورودی های فلیپ فلاپ			
A	B	x	A	B	J_A	K_A	J_B	K_B
0	0	0	0	1	0	0	1	0
0	0	1	0	0	0	0	0	1
0	1	0	1	1	1	1	1	0
0	1	1	1	0	1	0	0	1
1	0	0	1	1	0	0	1	1
1	0	1	1	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	0	0	0



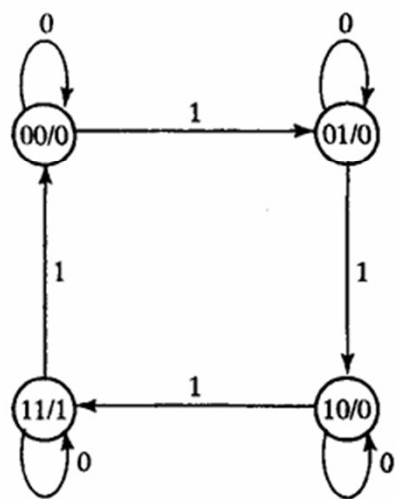
۱- معادلات ورودی فلیپ فلاپ را برحسب حالت فعلی و متغیرهای ورودی بدست آورید.
۲- معادلات ورودی را در معادلات مشخصه فلیپ فلاپ جایگزین نمایید تا معادلات حالت حاصل شود.

معادلات ورودی فلیپ فلاپ JK شکل ۱۸-۵ در فوق ملاحظه گردید. معادلات مشخصه برای فلیپ فلاپ‌ها از جایگزینی A و B به جای اسم Q بدست می‌آیند:

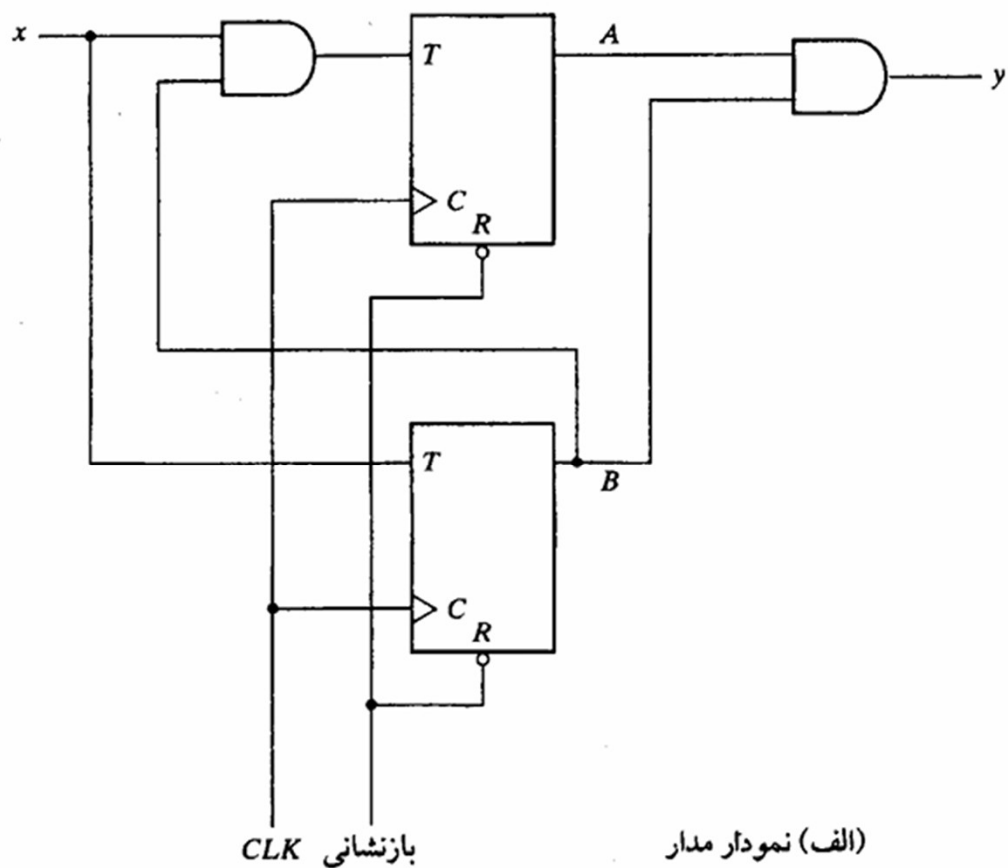
$$B(t+1) = JB' + K'B$$

جدول ۴-۵. جدول حالت برای مدار ترتیبی با فلیپ فلاپ JK.

حالت فعلی		ورودی	حالت بعدی		ورودی های فلیپ فلاپ			
A	B		A	B	J_A	K_A	J_B	K_B
0	0	0	0	1	0	0	1	0
0	0	1	0	0	0	0	0	1
0	1	0	1	1	1	1	1	0
0	1	1	1	0	1	0	0	1
1	0	0	1	1	0	0	1	1
1	0	1	1	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	0	0	0



(ب) نمودار حالت



شکل ۵-۲۰. مدار ترتیبی با فلیپ فلاپ های T



جدول ۵-۵. جدول حالت برای مدار ترتیبی با فلیپ فلاپ‌های T

حالت فعلی		ورودی x	حالت بعدی		خروجی y
A	B		A	B	
0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0
0	1	0	0	1	0
0	1	1	1	0	0
1	0	0	1	0	0
1	0	1	1	1	0
1	1	0	1	1	1
1	1	1	0	0	1

مقادیر حالت بعدی در جدول حالت با جدول مشخصه ۱-۵ یا با معادله مشخصه زیر بدست می‌آیند.

$$Q(t+1) = T \oplus Q = T'Q + TQ'$$

مدار ترتیبی شکل ۲۰-۵ را ملاحظه نمایید. این مدار دارای دو فلیپ فلاپ A و B، یک ورودی x و یک خروجی y است. این مدار با دو معادله ورودی و یک معادله خروجی قابل توصیف می‌باشد.

$$T_A = Bx$$

$$T_B = x$$

$$y = AB$$

جدول حالت برای مدار در جدول ۵-۵ لیست شده است. مقادیر y از معادله خروجی بدست می‌آیند. مقادیر حالت بعدی از معادلات حالت و با جایگزینی T_A و T_B در معادلات مشخصه حاصل می‌شوند، یعنی:

$$A(t+1) = (Bx)'A + (Bx)A' = AB' + Ax' + A'Bx$$

$$B(t+1) = x \oplus B$$

مدل‌های میلی و مور

عمومی‌ترین مدل یک مدار ترتیبی دارای ورودی‌ها، خروجی‌ها و حالات داخلی است. معمولاً مدارهای ترتیبی به دو صورت مدل مور و میلی ارائه می‌شوند. تفاوت آنها در نحوه تولید خروجی است. در مدل میلی، خروجی تابعی از ورودی و حالت فعلی است. در مدل مور، خروجی فقط تابعی از حالت فعلی می‌باشد.

مثالی از مدل میلی در شکل ۱۵-۵ نشان داده شد. خروجی Y تابعی از هر دو ورودی x و حالت فعلی A و B است. نمودار حالت مربوطه در شکل ۱۶-۵ نشان می‌دهد که مقادیر ورودی‌ها و خروجی‌ها با خط موربی در امتداد خطوط جهت‌دار بین حالت‌ها از یکدیگر جدا شده‌اند.

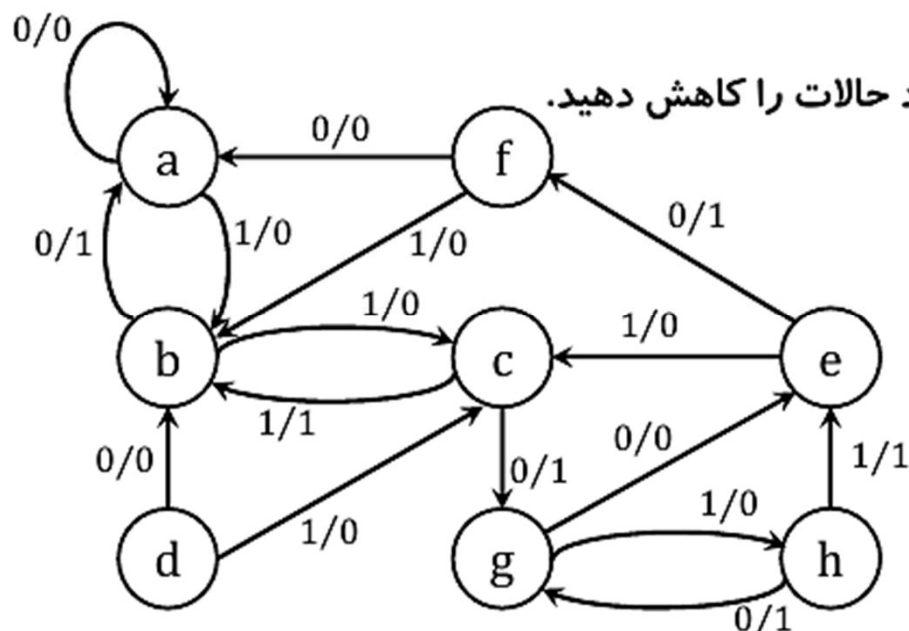
مثالی از مدل مور در شکل ۱۸-۵ نشان داده شد. در اینجا خروجی فقط تابعی از حالت فعلی است. نمودار حالت مربوطه در شکل ۱۹-۵ تنها دارای ورودی‌هایی است که در امتداد خطوط جهت‌دار ذکر شده‌اند. خروجی‌ها همان حالات فلیپ فلاپ‌ها هستند که در داخل دایره نشان داده شده‌اند. مثال دیگری از یک مدل مور در شکل ۲۰-۵ ملاحظه می‌شود. خروجی فقط به مقادیر موجود در فلیپ فلاپ‌ها وابسته است و بنابراین تنها تابعی از حالت فعلی است. مقدار ورودی در نمودار حالت در امتداد خط جهت‌دار ذکر شده، ولی خروجی‌های مدار در داخل دایره همراه با حالت فعلی نشان داده شده‌اند.



کاهش حالات در دیاگرام حالت

با استفاده از الگوریتم‌های ساده‌کننده می‌توان حالات مدار را کاهش داد و به این ترتیب تعداد

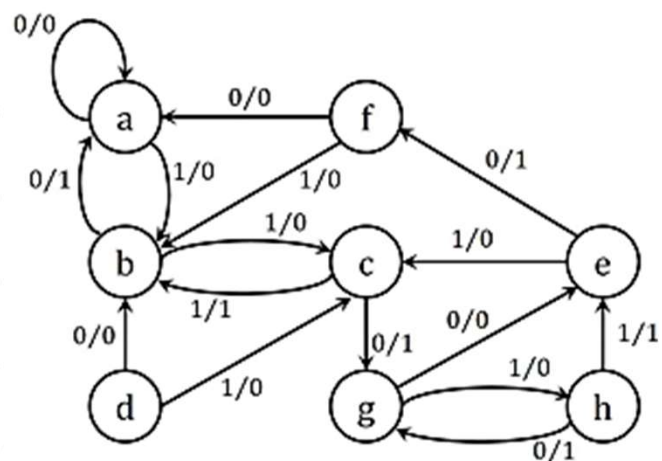
فلیپ‌فلاپ‌های مورد نیاز مدار را کاهش داد.





مرحله اول: رسم جدول حالت

حالت فعلی فلیپ فلاپ ها	حالت بعدی فلیپ فلاپ ها		خروجی ها	
	$x = 0$	$x = 1$	$x = 0$	$x = 1$
a	a	b	0	0
b	a	c	1	0
c	g	b	1	1
d	b	c	0	0
e	f	c	1	0
f	a	b	0	0
g	e	h	0	0
h	g	e	1	1





مرحله دوم: شناسایی حالات معادل و حذف یکی از آنها

دو حالت را معادل گویند هرگاه اولاً
خروجی‌های یکسان داشته باشند و دوم
آنکه حالت بعدی آنها یا یکسان باشند
یا با هم معادل باشند.

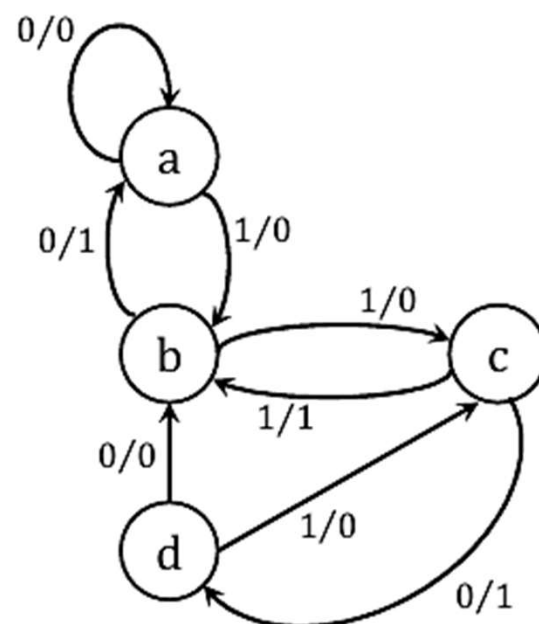
می‌توان در ساده‌سازی و کاهش حالات
به جای دو حالت معادل فقط یکی از آنها
را در نظر گرفت. توجه شود حذف هر
حالت در یک ردیف به صورت کامل
باعث می‌شود که تمام جاهایی که در
جدول آن حالت ذکر شده است به
صورت حالت معادل درآید.

حالت فعلی فلیپ فلاپ‌ها	حالت بعدی فلیپ فلاپ‌ها		خروجی‌ها	
	$x = 0$	$x = 1$	$x = 0$	$x = 1$
a	a	b	0	0
b	a	c	1	0
c	g =d	b	1	1
d	b	c	0	0
② e =b	f =a	c	1	0
① f =a	a	b	0	0
④ g =d	e =b	h =c	0	0
③ h =c	g =d	e =b	1	1



مرحله دوم: شناسایی حالات معادل و حذف یکی از آنها

حالت فعلی فلیپ فلاپ‌ها	حالت بعدی فلیپ فلاپ‌ها		خروجی‌ها	
	$x = 0$	$x = 1$	$x = 0$	$x = 1$
a	a	b	0	0
b	a	c	1	0
c	d	b	1	1
d	b	c	0	0





۵-۷ روش طراحی

طراحی یک مدار ترتیبی ساعت‌دار با بیان مجموعه‌ای از مشخصات و ویژگی‌های شروع شده و با نمودار منطقی یا لیستی از توابع بول که از آنها نمودار منطقی حاصل می‌شود پایان می‌یابد. برخلاف یک مدار ترکیبی که کلاً با جدول درستی مشخص می‌گردد، مدار ترتیبی برای مشخصات خود نیاز به جدول حالت دارد. اولین قدم در طراحی مدارهای ترتیبی تهیه جدول حالت یا نمایش معادلی از آن، مانند نمودار حالت است.

یک مدار ترتیبی همزمان، از فلیپ فلاپ‌ها و گیت‌های ترکیبی ساخته می‌شود. طراحی مدار شامل انتخاب فلیپ فلاپ‌ها و سپس یافتن ساختار گیتی بخش ترکیبی آن است تا مداری که مشخصات موردنظر را داراست حاصل گردد. تعداد فلیپ فلاپ‌ها با توجه به تعداد حالات لازم در مدار بدست می‌آید. مدار ترکیبی هم با استفاده از جدول حالات و ارزیابی معادلات ورودی و خروجی آن معین می‌گردد. در واقع، به محض این که نوع و تعداد فلیپ فلاپ‌ها معین شد، روند طراحی از مدار ترتیبی به مدار ترکیبی تبدیل می‌شود. بدین ترتیب تکنیک‌های مدار ترکیبی را می‌توان به کار گرفت.

روال طراحی مدارهای ترتیبی همزمان را می توان به صورت زیر خلاصه کرد.

- ۱- با توجه به عبارات و مشخصات مربوط به عملکرد موردنظر، یک نمودار حالت برای مدار بدست آورید.
- ۲- در صورت لزوم تعداد حالات را کاهش دهید.
- ۳- به حالات مقادیر دودویی را تخصیص دهید.
- ۴- جدول حالت کد شده دودویی را بدست آورید.
- ۵- نوع فلیپ فلاپ های به کار رفته را مشخص کنید.
- ۶- معادلات ساده شده ورودی فلیپ فلاپ ها و نیز معادلات خروجی را بدست آورید.
- ۷- نمودار منطقی را ترسیم کنید.



طراحی (سنتز) مدارهای ترتیبی سنکرون

برای طراحی مدار ترتیبی مراحل زیر را طی می کنیم:

- ۱- از روی صورت مسئله **جدول حالت** را رسم می کنیم یا معادل آن دیاگرام حالت را رسم می کنیم.
- ۲- با استفاده از روش های **کاهش حالات** جدول حالت را ساده می کنیم.
- ۳- عملیات **تخصیص حالت** را انجام داده و اگر مرحله ۲ را انجام دادیم جدول حالت را دوباره تشکیل می دهیم.
- ۴- پس از رسم جدول حالت باید **تعداد فلیپ فلاپ های** مورد نیاز و نوع آنها مشخص گردد که این کار با استفاده از تعداد حالات مورد نیاز مشخص می گردد.
- ۵- **جدول تحریک** را تشکیل داده و ورودی های فلیپ فلاپ ها را برای هر تغییر حالت مشخص می کنیم.
- ۶- پس از کامل شدن ستون مربوط به هر کدام از ورودی های فلیپ فلاپ ها با روش **نقشه کارنو یا روشهای ساده سازی** دیگر توابع خروجی مدار و توابع ورودی فلیپ فلاپ ها مشخص می گردد.
- ۷- رسم **شماتیک** مدار.



جدول‌های تحریک فلیپ‌فلاپ‌ها

JK Flip Flop

$Q(t)$	$Q(t+1)$	J	K
0	0	0	x
0	1	1	x
1	0	x	1
1	1	x	0

D Flip Flop

$Q(t)$	$Q(t+1)$	D
0	0	0
0	1	1
1	0	0
1	1	1

RS Flip Flop

$Q(t)$	$Q(t+1)$	S	R
0	0	0	x
0	1	1	x
1	0	0	1
1	1	x	0

T Flip Flop

$Q(t)$	$Q(t+1)$	T
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

کاربرد فلیپ فلاپ ها

- فلیپ فلاپ D برای کاربردهای انتقال اطلاعات مانند شیفتر دهنده ها استفاده می شود

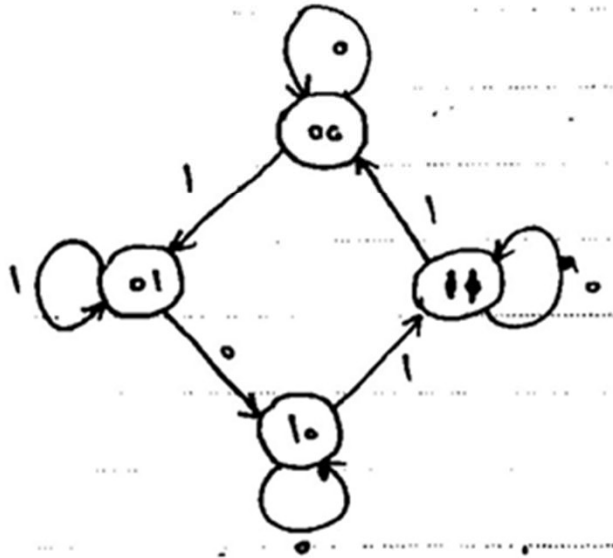
- فلیپ فلاپ T در کاربردهایی که نیاز به مکمل کردن دارند استفاده می شوند مانند شمارنده ها

فلیپ فلاپ های JK و RS دارای کاربردهای عمومی می باشد



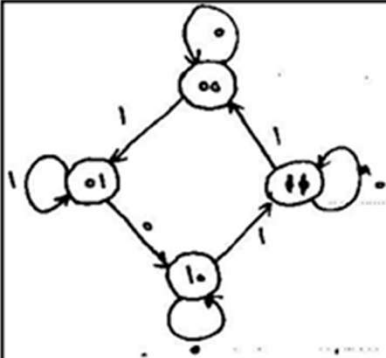
مثال: مدار ترتیبی با پالس ساعت طراحی کنید که دیاگرام حالت آن مطابق شکل زیر باشد (از

فلیپ فلاپ JK استفاده شود)



ورودی مستقل : X

حالت فلیپ فلاپ ها : A و B



$Q(t)$	$Q(t+1)$	J	K
0	0	0	x
0	1	1	x
1	0	x	1
1	1	x	0

حالت فعلی		ورودی ها	حالت بعدی		درودی های ملیب ملاپ ها			
$A(t)$	$B(t)$		$A(t+1)$	$B(t+1)$	J_A	K_A	J_B	K_B
0	0	0	0	0	0	x	0	x
0	0	1	0	1	0	x	1	x
0	1	0	1	0	1	x	x	1
0	1	1	1	1	0	x	x	0
1	0	0	1	0	x	0	0	x
1	0	1	1	1	x	0	1	x
1	1	0	1	1	x	0	x	0
1	1	1	0	0	x	1	x	1



دانشگاه سمنان

دانشگاه سمنان

Semnan University

پردیس فرزنانگان

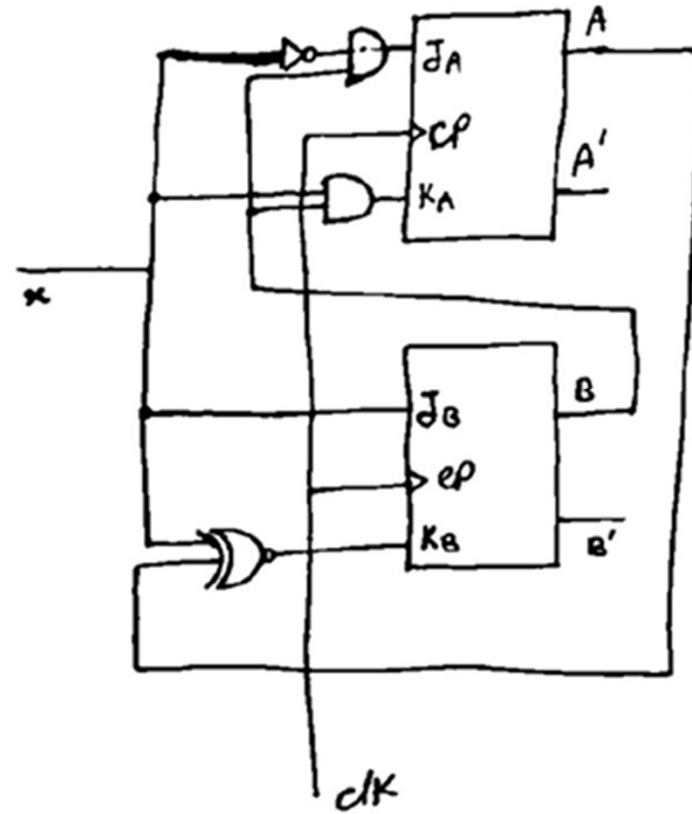
$J_A = f(A(t), B(t), x) = ?$

$x \backslash AB$	00	01	11	10
0		1	X	X
1			X	X

$$J_A = x'B$$

$\rightarrow$
 بهین قریب
 داریم

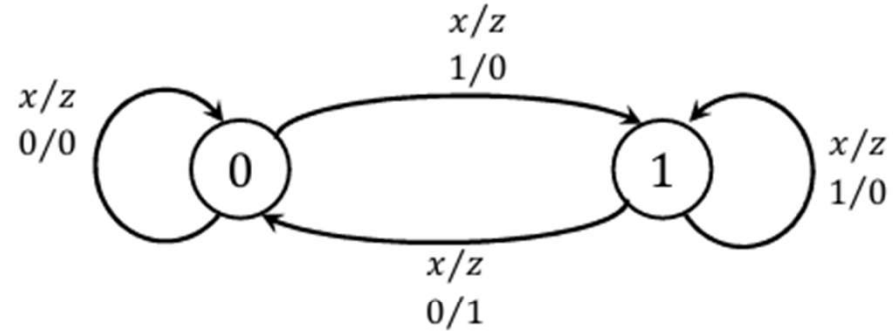
$$\begin{cases} K_A = xB \\ J_B = x \\ K_B = A \odot x \end{cases}$$





مثال: یک مدار ترتیبی سنکرون با ورودی x و خروجی z طراحی کنید که بیت‌های 10 را تشخیص دهد.

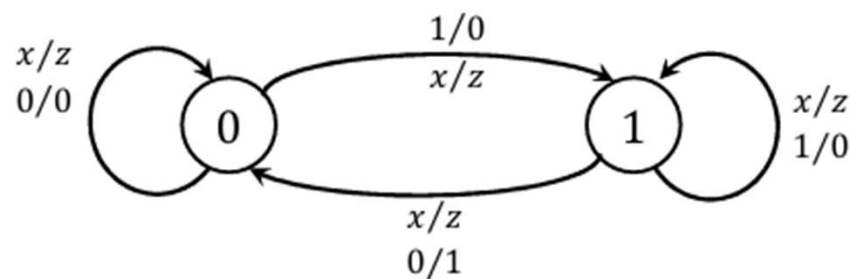
$Y = 0101100$



: جدول حالت

حالت فعلی فلیپ فلاپ‌ها	حالت بعدی فلیپ فلاپ‌ها		خروجی‌ها	
	$x = 0$	$x = 1$	$x = 0$	$x = 1$
0	0	1	0	0
1	0	1	1	0

$Q(t)$	$Q(t+1)$	J	K
0	0	0	x
0	1	1	x
1	0	x	1
1	1	x	0



جدول تحریک :

حالت فعلی فلیپ فلاپ $Q(t)$	ورودی ها x	حالت بعدی فلیپ فلاپ $Q(t+1)$	خروجی ها z	ورودی فلیپ فلاپ J	K
0	0	0	0	0	x
0	1	1	0	1	x
1	0	0	1	x	1
1	1	1	0	x	0



ورودی فلپ	حالت فعلی فلپ	ورودی ها	حالت بعدی فلپ	خروجی ها	ورودی فلپ
J	K	$Q(t)$	x	$Q(t+1)$	z
0	x	0	0	0	0
1	x	0	1	1	0
x	1	1	0	0	1
x	0	1	1	1	0

$$J = f(x, Q(t)) = ?$$

$Q(t)$	0	1
x		
0		x
1	1	x

$$J = x$$

$$K = f(x, Q(t)) = ?$$

$Q(t)$	0	1
x		
0	x	1
1	x	

$$K = x'$$

$$z = f(x, Q(t)) = ?$$

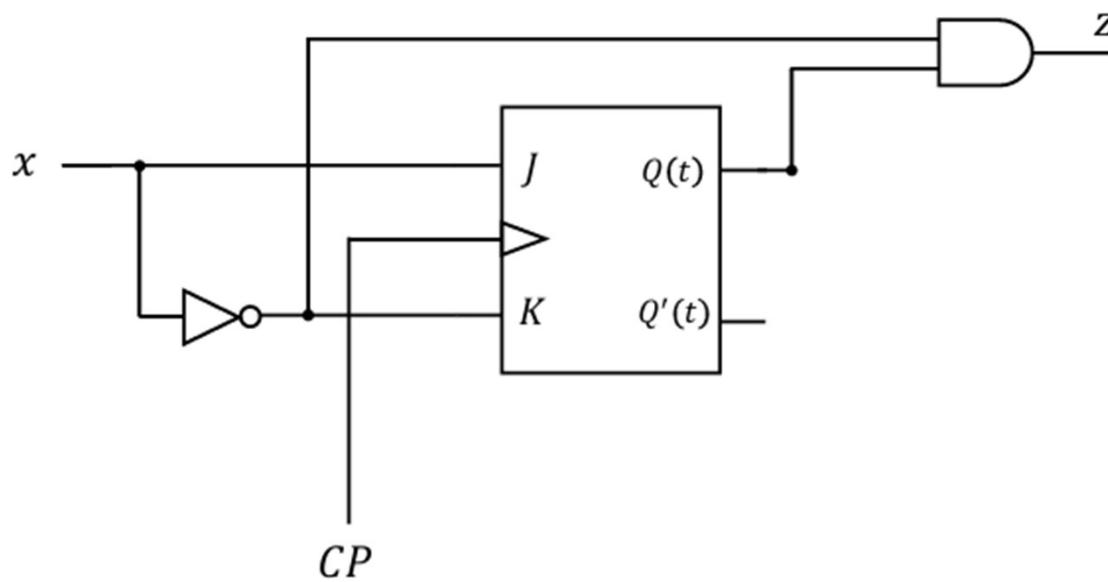
$Q(t)$	0	1
x		
0		1
1		

$$z = x'Q(t)$$

$$J = x$$

$$K = x'$$

$$z = x'Q(t)$$





تمرین: مداری طراحی کنید که رشته $x = 1111$ را تشخیص دهد. سپس این مدار را برای رشته $Y = 1101111111010$ تست کنید.

