



ساعت دیجیتال با رمز excess-3

امیرحسین زابلی (شماره دانشجویی: ۹۹۲۶۸۴۳)

استاد: رسول دلیرروی فرد

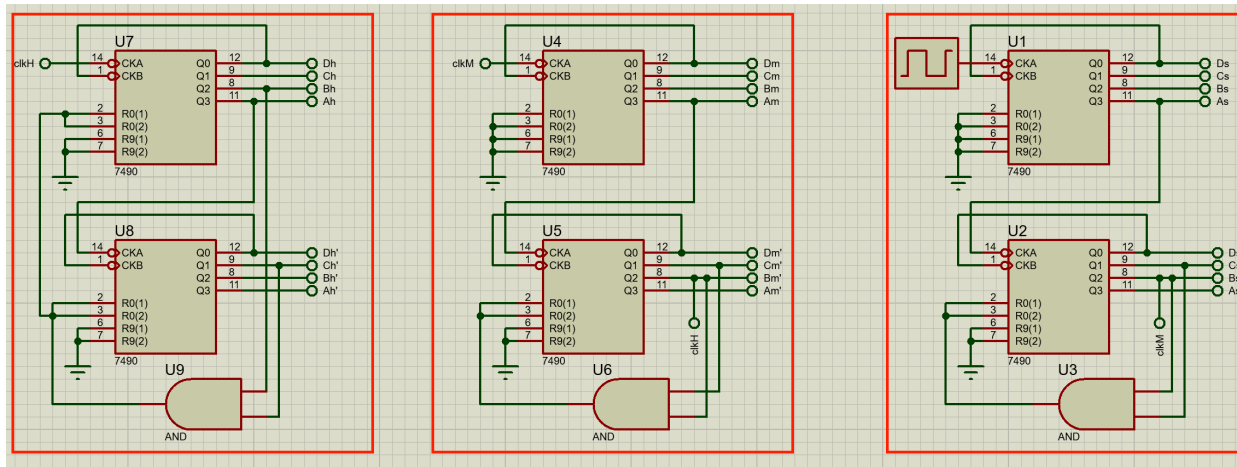
معرفی پروژه

هدف از انجام این پروژه ساخت یک ساعت دیجیتال شامل ثانیه سنج، دقیقه سنج و ساعت سنج است که با کد excess-3 کار می کند و در نهایت، خروجی بر روی ۹ عدد Seven Segment نمایش داده می شود. مدار نهایی شامل سه قسمت کلی است:

- شمارنده BCD
 - مبدل BCD به excess-3
 - نمایشگر
- در ادامه این گزارش، به نحوه عملکرد این سه قسمت پرداخته خواهد شد و نتایج شبیه سازی این مدار در برنامه Proteus نیز نمایش داده خواهد شد.

شمارنده BCD

این بخش از مدار، با استفاده از ۶ عدد IC شمارنده BCD آسنکرون (Ripple Counter) با شماره 7490 و به صورت زیر ساخته شده:



شکل ۱: اتصالات بخش شمارنده مدار

در تصویر بالا، جفت شمارنده‌های باکس سمت راست برای شمارش ثانیه، جفت شمارنده‌های باکس میانی برای شمارش دقیقه و درنهایت، جفت شمارنده‌های باکس سمت چپ برای شمارش ساعت استفاده می‌شوند. برای توضیح عملکرد این قسمت و چرایی این اتصالات، به تفکیک، هر یک از باکس‌ها را مورد بررسی قرار می‌دهیم، اما قبل از آن به نحوه کارکرد این IC نگاهی اجمالی می‌اندازیم.

Reset/Count Function Table

Reset Inputs				Outputs			
R0(1)	R0(2)	R9(1)	R9(2)	Q _D	Q _C	Q _B	Q _A
H	H	L	X	L	L	L	L
H	H	X	L	L	L	L	L
X	X	H	H	H	L	L	H
X	L	X	L	COUNT			
L	X	L	X	COUNT			
L	X	X	L	COUNT			
X	L	L	X	COUNT			

H = HIGH Level

L = LOW Level

X = Don't Care

Note 1: Output QA is connected to input B for BCD count.

Note 2: Output QD is connected to input A for bi-quinary count

شکل ۲: بخشی از داده‌های موجود در دیتاشیت 7490

از این جدول پیداست که اگر هر چهار پایه R این IC به زمین متصل شوند، شمارش از عدد صفر آغاز شده و تا ۹ ادامه یافته و دوباره به صفر برمی‌گردد. (در هر یک از چهار وضعیت پایه‌های ریست در باکس آبی، از آنجایی که حالت بی‌اهمیت است به جهت ساده شدن اتصالات، L در نظر گرفته شده‌اند). علاوه بر این، مطابق با باکس سبز، برای ریست کردن شمارنده، کافی است که پایه‌های R9(1) و R9(2) به زمین متصل شوند و دو پایه دیگر را به گیت‌های ترکیبی متصل کرد تا بتوان شرایطی دلخواه برای ریست شدن ایجاد کرد. در ادامه از این امکان استفاده خواهد شد. نکته‌ای دیگر در رابطه با سیم‌بندی‌های شکل ۱، نحوه اتصال کلاک به این شمارنده است. همانطور که در باکس قرمز قابل مشاهده است (Note 1)، برای شمارش BCD باید خروجی QA (کم‌ارزش‌ترین بیت) را به ورودی B (CKB در شکل ۱) متصل کرد و نتیجتاً، کلاک پالس اصلی به ورودی A (CKA در شکل ۱) متصل می‌شود.

با تمام توصیفات بالا، از باکس شمارنده ثانیه شمار شروع می‌کنیم. شمارنده بالایی برای شمارش یکان ثانیه (از صفر تا ۹) و شمارنده پایینی برای شمارش دهگان ثانیه (از صفر تا ۵) استفاده می‌شود. کلاک پالس اصلی را به CKA شمارنده بالایی می‌دهیم و همانطور که گفته شد، خروجی اول این شمارنده (Ds در شکل ۱) را به CKB آن می‌دهیم. بنابراین توانستیم شمارش صفر تا ۹ را برای یکان ثانیه شمار پیاده‌سازی کنیم. قبل از اینکه به چگونگی اتصال کلاک به شمارنده پایین بپردازیم، به حالات شمارش در یکان ثانیه می‌پردازیم. گفته شد که رقم یکان ثانیه از صفر تا ۹ را شامل می‌شود. بنابراین داریم:

A (با ارزش ترین)	B	C	D	BCD
0	0	0	0	0
0	0	0	1	1
0	0	1	0	2
0	0	1	1	3
0	1	0	0	4
0	1	0	1	5
0	1	1	0	6
0	1	1	1	7
1	0	0	0	8
1	0	0	1	9

جدول ۱

مشاهده می‌شود که بیت A (As در شکل ۱) تنها زمانی از ۱ به صفر تغییر وضعیت می‌دهد که از عدد ۹ به صفر برمی‌گردیم (با رنگ قرمز در جدول بالا مشخص شده‌اند). و در این زمان است که باید یک عدد به دهگان اضافه شود. بنابراین می‌توان خروجی As را به CKA (با لبه منفی) شمارنده پایین متصل کرد. CKB نیز مطابق قبل و براساس دیتاشیت IC به خروجی اول (Ds' در شکل ۱) متصل می‌شود. در رابطه با نحوه ریست شدن این شمارنده نیز با توجه به آنچه گفته شد، پایه‌های R9(2) و R9(1) به زمین متصل می‌شوند و دوپایه دیگر به خروجی گیت AND دو بیت خروجی میانی (Bs' و Cs' در شکل ۱) متصل می‌شوند. اگر حاصل یک شود (یعنی خروجی 0110 معادل 6 باشد) مطابق باکس سبز رنگ شکل ۲، ریست اتفاق می‌افتد و به صفر برمی‌گردد. در غیر این صورت وضعیت‌های باکس آبی در شکل ۲ رخ می‌دهند و شمارش ادامه پیدا می‌کند. در باکس میانی شکل ۱ که مربوط به دقیقه‌شمار است نیز وضعیت مشابهی وجود دارد اما لازم است تا کلاک آن‌ها را تعیین کنیم. از آنجایی که تغییر یکان دقیقه‌شمار وابسته به دهگان ثانیه شمار است، مانند قبل، جدولی برای حالاتی که دقیقه‌شمار طی می‌کند رسم می‌کنیم:

A (با ارزش ترین)	B	C	D	BCD
0	0	0	0	0
0	0	0	1	1
0	0	1	0	2

A (با ارزش ترین)	B	C	D	BCD
0	0	1	1	3
0	1	0	0	4
0	1	0	1	5
0	1	1	0	6

جدول ۲: توجه شود که عدد ۶ اگر چه در خروجی شمارنده می آید، اما ما آن را نمی بینیم، زیرا به سرعت عمل ریست اتفاق می افتد. بنابراین، باید در نظر گرفته شود.

مشاهده می شود که در وقتی ۶ در خروجی ظاهر می شود و بعد از ریست شدن و برگشت به صفر (در همین هنگام به یکان دقیقه شمار نیز باید یکی اضافه شود)، بیت B از ۱ به صفر تغییر وضعیت می دهد. از این تغییر می توان به عنوان کلاک (با لبه منفی) برای شمارنده یکان دقیقه شمار استفاده کرد. بنابراین از خروجی پایه شماره ۸ شمارنده دهگان ثانیه شمار خروجی گرفته (clkM) و به CKA شمارنده یکان دقیقه شمار می دهیم. سایر اتصالات موجود در باکس میانی توضیحی مشابه با قبل دارند، لذا از دوباره نویسی آن خودداری شده.

حال به بررسی باکس آخر که مربوط به شمارش ساعت است می پردازیم. به غیر از ورودی CKA در شمارنده بالایی که مانند قبل است، اتصالات دو شمارنده موجود در این باکس پیچیدگی بیشتری دارند، زیرا یکان ساعت به شرط صفر یا ۱ بودن دهگان، تا ۹ می شمارد، اما در صورت ۲ بودن دهگان، تا ۴ می شمارد. (توجه با این نکته لازم است که آنچه ما در خروجی می بینیم، تا رقم ۳ است اما ۴ در خروجی شمارنده ظاهر می شود که به سرعت با فعال شدن ریست، صفر می شود. پس آنچه در طراحی در نظر می گیریم رقم ۴ است.) با توجه به این توضیحات، واضح است که یکان و دهگان ساعت شمار به شرط یکسانی ریست می شوند و آن این است که یکان برابر ۴ (0100) باشد و دهگان برابر ۲ (0010) باشد. همانطور که در شکل ۱ و در باکس سمت چپ مشخص است، خروجی های Ch' و Bh به یک گیت AND وارد شده اند. واضح است که خروجی این گیت زمانی ۱ است که شرط دلخواه ما ایجاد شود. چون خروجی این گیت به ریست دو شمارنده متصل شده، با ۱ شدن خروجی این گیت، شمارنده ها نیز ریست می شوند.

مبدل BCD به excess-3

تا اینجا توانستیم شمارش را بر اساس کد BCD انجام دهیم. می دانیم که با افزون ۳ به یک عدد BCD معادل excess-3 آن به دست می آید. این موضوع باعث می شود تا ایده ای مبنی بر استفاده از 4-bit binary adder شکل بگیرد. اما، از آنجایی که در کد excess-3 برای یکان ثانیه، دقیقه و ساعت مجبور به استفاده از دو رقم می شویم (برای مثال، ۹ باید به صورت ۱۲ نشان داده شود). به پیچیدگی بیشتری در استفاده از 4-bit binary adder بر خواهیم خورد. به عنوان مثال، اگر ۳ را به عدد ۹ (1001) اضافه کنیم، حاصل

برابر ۱۲ (1100) می‌شود درحالی که آنچه مطلوب ما است 1 0010 است که معادل عدد ۱۸ است. (بیت سمت چپ که معادل عدد ۱ است را به یک seven segment داده و باقی بیت‌ها که معادل عدد ۲ هستند را به seven segment دیگر می‌دهیم.) براساس این توصیفات، جداول زیر را تشکیل می‌دهیم:

A	B	C	D
0	0	0	0
0	0	0	1
0	0	1	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	0	1
0	1	1	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	0	1

جدول ۳-۱



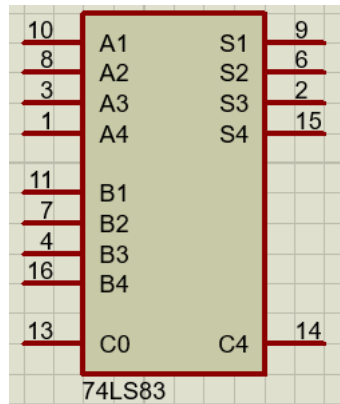
V	W	X	Y	Z
0	0	0	1	1
0	0	1	0	0
0	0	1	0	1
0	0	1	1	0
0	0	1	1	1
0	1	0	0	0
0	1	0	0	1
1	0	0	0	0
1	0	0	0	1
1	0	0	1	0

جدول ۳-۲

جدول سمت چپ، حالت‌هایی است که شمارنده BCD می‌تواند بشمارد و جدول سمت راست معادل آن را در excess-3 به صورتی بیان می‌کند که در دو seven segment به نمایش درآید. برای مثال 1000 که همان ۸ است در excess-3 باید به صورت ۱۱ نمایش داده شود. همانطور که مشاهده می‌شود برای این حالت داریم: $V=1$ و $WXYZ=0001$.

یک راه به دست آوردن مدار برای انجام این تبدیل، استفاده از پنج جدول کارنو برای هر بیت خروجی است. اما با کمی توجه می‌توان متوجه شد که اگر ورودی، عددی در بازه صفر تا ۶ باشد، خروجی با جمع عدد ۳ به آن‌ها به دست می‌آید. اگر ورودی در بازه ۷ تا ۹ باشد، خروجی با جمع عدد ۹ به آن‌ها به دست می‌آید. (برای مثال، اگر ورودی ۸ باشد (1000) آنگاه، خروجی برابر ۱۷ (10001) می‌شود.) حالا نیاز به یک 4-bit binary adder محسوس است. در قدم بعد مداری طراحی کنیم تا با بررسی مقدار ورودی، جمع ورودی با ۳ یا ۹ را در خروجی به ما بدهد.

در شکل زیر یک 4-bit binary full adder به همراه پایه‌های آن قابل مشاهده است. از آنجا که اعداد ۳ (0011) و ۹ (1001) در بیت‌های اول (کم‌ارزش‌ترین) و سوم مشترک‌اند، بنابراین ورودی پایه‌های B1 و B3 به ترتیب برابر ۱ و 0 هستند.



شکل ۳: 4-bit binary full adder

برای تشخیص اینکه به دو پایه دیگر چه ورودی داده شود، از دو جدول کارنو استفاده می‌کنیم. اگر ورودی در بازه صفر تا ۶ باشد خواهیم داشت: $B2=1$ و $B4=0$. اگر ورودی در بازه ۷ تا ۹ باشد خواهیم داشت: $B2=0$ و $B4=1$. بنابراین خواهیم داشت:

	CD = 00	CD = 01	CD = 11	CD = 10
AB = 00	1	1	1	1
AB = 01	1	1		1
AB = 11				
AB = 10				

جدول ۴: جدول کارنوی بیت B2

مشخص است که عبارت نهایی برای بیت B2 برابر است با:

$$B2 = A'C' + A'B' + A'D'$$

	CD = 00	CD = 01	CD = 11	CD = 10
AB = 00				
AB = 01			1	
AB = 11	1	1	1	1
AB = 10	1	1	1	1

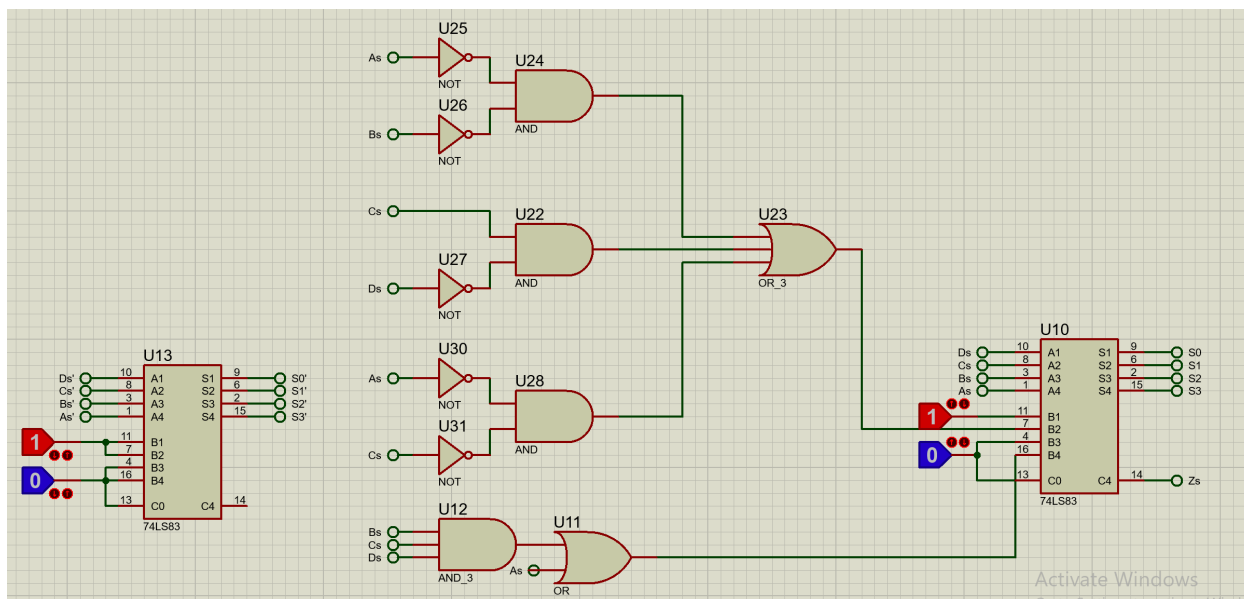
جدول ۴: جدول کارنوی بیت B4

مشخص است که عبارت نهایی برای بیت B4 برابر است با:

$$B4 = A + BCD$$

حال، مشخص است که باید به پایه‌های B در شکل ۳ چه ورودی‌هایی داده شود. ورودی‌های پایه‌های A نیز همان ABCD در جداول ۳ و ۴ (یا به عبارتی همان خروجی‌های شمارنده BCD که به مبدل داده می‌شوند) هستند. بنابراین، توانستیم مبدلی برای یکان ثانیه و دقیقه و ساعت به دست آوریم. اما این موضوع برای دهگان به مراتب ساده‌تر است، زیرا دهگان در بیش‌ترین حالت خود به عدد ۵ می‌رسد که در excess-3 معادل عدد ۸ است. بنابراین، برای به دست آوردن دهگان تنها کافی است آن را با ۳ جمع کنیم. این موضوع تنها با استفاده IC شکل ۳ قابل انجام است.

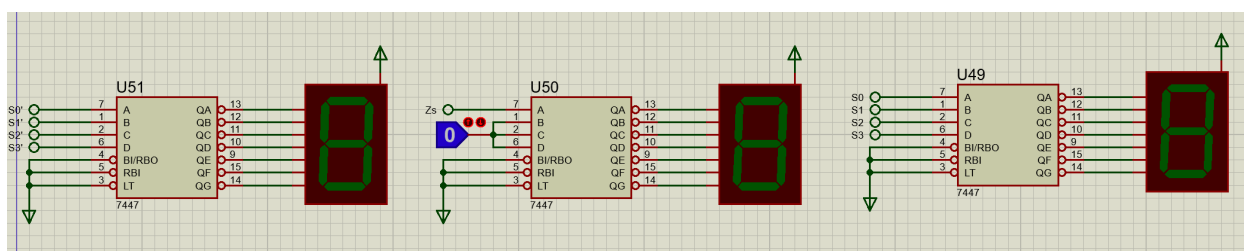
درنهایت و با توجه به توضیحات داده شده، مدار طراحی شده برای مبدل (در تصویر زیر و به دلیل تکراری بودن ساختار برای ثانیه و دقیقه و ساعت، تنها قسمت ثانیه آورده شده) به صورت زیر درآمد:



شکل ۴: مدار مبدل BCD به excess-3 برای ثانیه

نمایشگر

برای قسمت نمایشگر که خود شامل سه بخش برای نمایش ثانیه، دقیقه و ساعت است، از seven segment آند مشترک و درایور 7447 استفاده شده. از آنجا که مدار نمایشگر ثانیه، دقیقه و ساعت کاملاً مشابه هستند، تنها به توضیح قسمت ثانیه بسنده می‌کنیم.



شکل ۵: مدار نمایشگر ثانیه

برای یک درایور 7447، V_{CC} چیزی در حدود ۵ ولت می‌باشد. (شکل ۶) مطابق با دیتاشیت این قطعه (شکل ۷)، پایه‌های LT و RBI و BI باید به V_{CC} (معادل H در شکل ۷) متصل باشند تا نمایش به درستی انجام شود. پایه‌های A و B و C و D در شکل ۵ نیز به خروجی‌های مبدل متصل می‌شوند. (از آنجا که seven segment میانی در شکل ۵ تنها مقدار یک یا صفر را نشان می‌دهد، پایه‌های B و C و D آن به صفر منطقی متصل شده‌اند.)

Recommended Operating Conditions

Symbol	Parameter	DM7446A			Units
		Min	Nom	Max	
V_{CC}	Supply Voltage	4.75	5	5.25	V
V_{IH}	High Level Input Voltage	2			V
V_{IL}	Low Level Input Voltage			0.8	V
V_{OH}	High Level Output Voltage (a thru g)			30	V
I_{OH}	High Level Output Current (BI/RBO)			-0.2	μA
I_{OL}	Low Level Output Current (a thru g)			40	mA
I_{OL}	Low Level Output Current (BI/RBO)			8	mA
T_A	Free Air Operating Temperature	0		70	$^{\circ}C$

شکل ۶

Decimal or Function	Inputs						BI/RBO (Note 6)	Outputs							Note
	LT	RBI	D	C	B	A		a	b	c	d	e	f	g	
0	H	H	L	L	L	L	H	L	L	L	L	L	L	H	(Note 7)
1	H	X	L	L	L	H	H	H	L	L	H	H	H	H	
2	H	X	L	L	H	L	H	L	L	H	L	L	H	L	
3	H	X	L	L	H	H	H	L	L	L	L	H	H	L	
4	H	X	L	H	L	L	H	H	L	L	H	H	L	L	
5	H	X	L	H	L	H	H	L	H	L	L	H	L	L	
6	H	X	L	H	H	L	H	H	H	L	L	L	L	L	
7	H	X	L	H	H	H	H	L	L	L	H	H	H	H	
8	H	X	H	L	L	L	H	L	L	L	L	L	L	L	
9	H	X	H	L	L	H	H	L	L	L	H	H	L	L	
10	H	X	H	L	H	L	H	H	H	H	L	L	H	L	
11	H	X	H	L	H	H	H	H	H	L	L	H	H	L	
12	H	X	H	H	L	L	H	H	L	H	H	H	L	L	
13	H	X	H	H	L	H	H	L	H	H	L	H	L	L	
14	H	X	H	H	H	L	H	H	H	H	L	L	L	L	
15	H	X	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	

شکل ۷: مشاهده می‌شود که برای نمایش اعداد، باید LT و BI را به V_{CC} متصل کرد. از طرفی، به دلیل نیاز به نمایش عدد صفر که باید RBI نیز متصل به V_{CC} باشد، سایر حالات بی‌اهمیت برای RBI را نیز H در نظر می‌گیریم.

در نهایت نیز، تمام هفت پایه خروجی درایور را به هفت پایه seven segment وصل می‌کنیم. علاوه بر این، از آنجا که seven segment از نوع آند مشترک است، آن را به یک V_{CC} متصل می‌کنیم.

* فایل شبیه‌ساز این ساعت در برنامه پروتئوس به همراه ویدیو کوتاهی از عملکرد آن (با کلاک ۵Hz) برای نمایش سریع‌تر عملکرد) نیز به همراه این گزارش پیوست شده.