

پایاده سازی مدارهای دیجیتال دیمالتی پلکسر، تمام جمع کننده، دیکدر و انکدر مبتنی بر DNA

علیرضا محمودی فرد^۱، جواد شریفی^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد گروه کنترل، دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی قم، قم، ایران.
^۲ استادیار گروه کنترل، دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی قم، قم، ایران.

نام نویسنده مسئول:

جواد شریفی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۴/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۶/۱۸

چکیده

پیرامون بحث تولید قطعات الکترونیکی، مدت‌هاست که محققان علوم ساخت سخت‌افزارهای کامپیوتری، تلاش مستمری را به منظور طراحی و ساختن ریزپردازنده‌های کم‌حجم‌تر و در عین حال سریع‌تر انجام داده‌اند؛ زیرا ریزپردازنده‌های سیلیکونی به لحاظ سرعت عملکرد و علی‌الخصوص ابعاد دارای محدودیت می‌باشند. طراحان شرکت‌های سازنده این‌گونه تراشه‌ها، واضحا به دنبال بسترهای جایگزین مناسب دیگری برای طراحی تراشه‌ها و ریزپردازنده‌ها می‌باشند. سابقا کارهایی در این زمینه انجام شده است که مسلما در سال‌های آتی، به سبب به بن‌بست رسیدن محدودیت کوچک‌تر نمودن ابعاد ترانزیستورهای سیلیکونی مورد استفاده در تراشه‌های الکترونیکی، فعالیت‌ها در این مبحث اما در حوزه‌های دیگر همچون طراحی مدارهای زیستی و طبیعی، رشد چشمگیری خواهد داشت. در این مقاله تلاش شده است که با استفاده از دروازه‌های منطقی پایه که در بستر آزمایشگاهی بر اساس DNA طراحی شده‌اند، مدارهای دیجیتالی همچون دیمالتی پلکسر، تمام‌جمع‌کننده، کدگشا و کدگذار پایاده‌سازی گردد. روش استفاده شده، قابل پیاده نمودن برای سایر مدارهای دیجیتال نیز خواهد بود.

واژگان کلیدی: DNA، گیت منطقی، دیمالتی پلکسر، تمام‌جمع‌کننده، دیکدر، انکدر

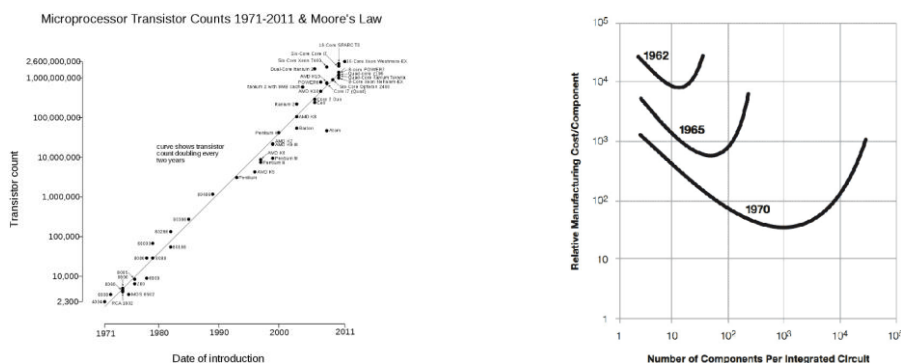
مقدمه

واضح است که تراشه‌ها و ترانزیستورها، عضوهای لاینفک مدارهای دیجیتال می‌باشند و وجود آن‌ها بنابه دلایل فراوان و کاربردهای مکرری الزامی است. ساختمان داخلی تراشه‌های الکترونیکی و از جمله دروازه‌های منطقی، متشکل از قطعاتی همچون ترانزیستورهای با ابعاد بسیار کوچک است. مدت‌هاست که افزایش ظرفیت ذخیره داده، افزایش سرعت انتقال آن و همچنین کوچک کردن هر چه بیشتر قطعات الکترونیکی و علی‌الخصوص ترانزیستورها حائز اهمیت فراوانی است؛ زیرا کوچک‌تر شدن ابعاد المان‌های الکترونیکی، علاوه بر افزایش سرعت پردازش، توان مصرفی را نیز کاهش می‌دهد. فارغ از بحث بالا رفتن سرعت پردازش، مبحث کاهش سایز و البته کم کردن توان مصرفی نیز اولویت‌های مهمی می‌باشند. در این خصوص، سرمایه و تلاش عظیمی روی مبحث نانو الکترونیک گذاشته شد زیرا محققان دریافته بودند که نانو الکترونیک قادر است در دستیابی به ابعاد هر چه کوچک‌تر قطعات الکترونیکی راهگشا باشد. نانو الکترونیک، شاخه‌ای از فناوری نانو بوده که بر اساس تاثیر نانو تکنولوژی بر دانش طراحی و ساخت و صنعت الکترونیک ایجاد شده است و حدود ۵۰ سال قدمت دارد. در بحث نانو الکترونیک روی مواردی همچون، کوچک کردن سایز، سریع‌تر کردن و کم‌مصرف‌تر قطعات مانور داده می‌شود. در دهه‌های اخیر شاهد پیشرفت‌های خوبی در زمینه‌های افزایش حجم ذخیره اطلاعات روی حافظه‌ها، کاهش اندازه قطعات، ساخت محاسبه‌گرهای کامپیوتری کوچک‌تر، طراحی مدارهای منطقی، نانو سیم‌ها و... بوده‌ایم که نتیجه آن دو برابر شدن سرعت پردازش در عرض هر ۱۸ ماه بوده است که بدین موضوع پرداخته خواهد شد. این مساله، نوید تحولی عظیم در صنعت میکروالکترونیک، طی سال‌های آتی از نظر بنیادی و اقتصادی را می‌دهد. اکنون نیز تحقیقات با جدیت ادامه داشته و هدف، تولید خواص نمونه و شکل ظاهری جدید و در نتیجه خلق نانو الکترونیک جدید است. طبیعتاً هر چه گیت کوچک‌تر شود، ترانزیستور می‌تواند سریع‌تر سوئیچ کند و در نتیجه انرژی کمتری مصرف می‌شود و البته اینکه تعداد ترانزیستور بیشتری در یک تراشه سیلیکونی جای می‌گیرد. افزایش تعداد ترانزیستورها و راندمان آن‌ها، هزینه را کاهش می‌دهد، فلذا این موضوع مقرون به صرفه است. پس هر چه ترانزیستور تا حد امکان کوچک‌تر شود، مورد مطلوب ماست؛ اما این کوچک‌سازی بالاخره در نقطه‌ای متوقف شد و بنابراین برای ادامه رشد صنعت الکترونیک می‌بایست به فکر فناوری‌های جایگزین بود؛ فناوری‌هایی که علی‌رغم دارا بودن مزایای تکنولوژی‌های پیشین، مشکلات و معضلات آن‌ها را نیز حل کرده و توجیه اقتصادی هم داشته باشد. از جمله فناوری‌های مورد استفاده در صنعت الکترونیک، نانو تکنولوژی بود که توانست به کمک الکترونیک بیاید و فناوری الکترونیک مولکولی یا همان نانو الکترونیک بنا نهاده شد. [۹-۱]

نام فناوری رایج امروزه در ساخت ترانزیستورها، MOSFET می‌باشد که بر پایه استفاده از عنصر سیلیکون است. کوچک‌تر شدن ابعاد ترانزیستورها در MOSFET، دارای مشکلاتی از جمله نشتی‌های جریان متفاوت است. یکی از روش‌های حل این مشکل، ساخت ترانزیستورها با استفاده از نانو ساختارها و مخصوصاً نانو تیوب‌ها می‌باشد؛ ساخت نانو ترانزیستورها، مزایایی را دارا می‌باشد.

مطابق قانون مور (Moore's Law) که توسط گورون مور (Gordon Moore) در سال ۱۹۶۵ ارائه گردید و بعدها دقیق‌تر شد، حدوداً بعد از سپری شدن هر ۱۸ ماه، تعداد قطعات الکترونیکی و ترانزیستورهای موجود در تراشه‌های کامپیوتری و ریزپردازنده‌ها، دو برابر شده و سرعت آن‌ها نیز به چند برابر افزایش می‌یابد. [۱] مور پیش‌بینی خود را بر اساس دو فاکتور بنیان نهاد؛ نخست این بر مبنای تعداد بهینه کامپوننت‌هایی که می‌توان در ساخت یک تراشه از آن‌ها استفاده کرد، به‌طوری‌که استفاده از کامپوننت‌های بیشتر، به مفهوم کاهش هزینه به ازای هر کامپوننت است. (شکل ۱ قسمت الف). فاکتور دومی که مور در بررسی خود به آن توجه کرد، افزایش تعداد کامپوننت‌ها بود که مشخص شد، تعداد کامپوننت‌های مورد استفاده در تراشه‌ها، در هر ۱۸ ماه، دو برابر خواهد شد. (شکل ۱ قسمت ب). [۲-۷] اما این روند افزایش ترانزیستورهای تراشه‌ها، نمی‌تواند به همین منوال پیش رود؛ زیرا محدودیت‌های فیزیکی مانع چنین چیزی می‌شود. بدیهی است که تداوم روند کوچک کردن قطعات امکان‌پذیر نمی‌باشد و علم قادر نخواهد بود که از حدی بیشتر، المان‌های خطی یا غیرخطی موجود در مدارات الکترونیکی و الکترونیکی را ریزتر کند. مسلماً این دو برابر شدن تعداد ترانزیستورها در واحد سطح در داخل تراشه‌ها، بدین معناست که ابعاد ترانزیستورها در حال نصف شدن بوده و این امر نیز بدان مفهوم است که سریعاً به جایی خواهیم رسید که محدودیت‌های

فیزیکی اجازه این نصف شدن ابعاد را نخواهند داد و این یعنی نزدیک شدن به پایان قانون مور؛ اینکه سیلیکون از لحاظ فیزیکی، دیگر اجازه‌ی دو برابر شدن تعداد (نصف شدن ابعاد) ترانزیستورهای مورد استفاده در هسته‌های پردازشی را نمی‌دهد و این مفهوم از اهمیت موضوع حکایت می‌کند. امروزه دانشمندان عرصه طراحی قطعات الکترونیکی، روی چند تکنولوژی، همانند استفاده از پردازش موازی، استفاده از گرافین و نانو لوله‌های کربنی یا کامپیوترهای کوانتومی و استفاده از طبیعت جانداران و مبتنی بر محاسبات زیستی (Bio Computing)، زوم نموده‌اند. [۷-۱۱]

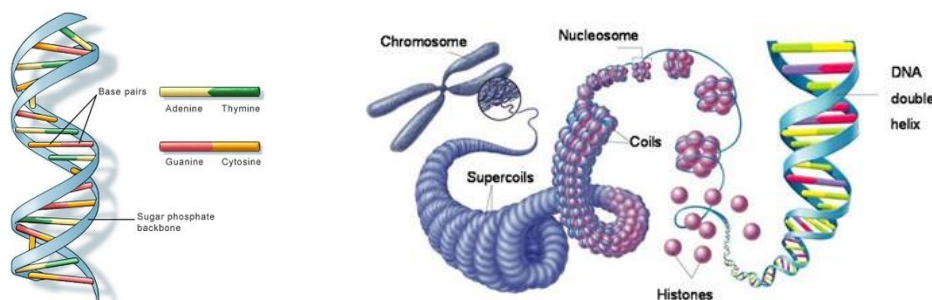


شکل ۱: الف) رابطه تعداد ترانزیستورهای تراشه‌ها با هزینه و تعداد بهینه ب) روند افزایش ترانزیستورهای تراشه‌ها [۱]

متن اصلی

بررسی DNA

دی‌ان‌ای یا ماده وراثتی که مخفف عبارت دزوکسی‌ریبونوکلیئیک‌اسید (Deoxyribonucleic Acid) است، نوعی اسید نوکلئیک، شامل پروتئین و کربوهیدرات‌ها می‌باشد که دارای دستورالعمل‌های ژنتیکی جانداران است که نحوه کارکرد موجودات زنده و ویروس را در خود دارد؛ در واقع مولکول دی‌ان‌ای، دستورالعمل‌های ژنتیکی جانداران و ویروس‌ها را کدگذاری می‌کند. نقش اصلی مولکول دنا، ذخیره‌سازی طولانی مدت مشخصات و اطلاعات ژنتیکی است. در حقیقت تمامی ژن‌ها، DNA را تشکیل می‌دهند. شکل ۲ قسمت الف، ارتباط بین اجزای اصلی DNA را بیان می‌کند. دنا نوکلئوتید هر رشته از طریق بازهای آلی در هر دو رشته به یکدیگر متصل می‌شوند که این اتصال، بین دو باز آلی نوکلئوتیدهای دو طرف رشته می‌باشد؛ به این بازهای متصل به هم، باز مکمل گفته می‌شود. بازهای آلی به چهار شکل بازهای آدنین، تیمین، سایتوزین و گوانین وجود دارند که از این میان، باز آدنین مکمل تیمین، و باز گوانین مکمل سایتوزین می‌باشد (شکل ۲ قسمت ب). [۲] از سوی دیگر، توجه به این نکته نیز حائز اهمیت است که در ریزپردازنده‌های سیلیکونی موجود، مواد سمی نیز وجود دارد اما در صورتی که از ماده موروثی موجودات زنده برای ساخت تراشه‌ها استفاده شود، این‌گونه تراشه‌ها، از نقطه نظر مسائل طبیعت و زیست‌محیطی، منبعی پاک محسوب می‌شوند. علاوه بر این‌ها، در تراشه‌های مبتنی بر DNA، به سبب نوع طراحی دینامیک (طراحی بر اساس طبیعت)، محافظت در برابر حملات امنیتی نیز ممکن خواهد بود. روی هم رفته، تراشه‌های مبتنی بر DNA، بر اساس ابعاد کوچک و ویژگی‌های مناسب مذکور، یکی از منابع خوب طبیعت برای چنین کاربردهایی است و بهره‌نگرفتن از این‌گونه منابع طبیعی، معقول نمی‌باشد. [۱۲]



شکل ۲: الف) اجزای DNA ب) بررسی بازهای آلی DNA [۱۲]

فلذا با توجه به محدودیت‌های استفاده از سیلیکون، بهره‌گیری از DNA می‌تواند جایگزین فوق العاده‌ای برای طراحی تراشه‌ها باشد که این جایگزین، در همه موجودات زنده وجود داشته فلذا همواره در دسترس و قابل استفاده بوده و به لحاظ صرف هزینه‌ها ارزان نیز می‌باشد. محقق به نام لئوناردو آدلمن (Adleman) در سال ۱۹۹۴، ایده استفاده از کامپیوترهای DNA را به منظور حل مسائل غامض ریاضی مطرح نمود. مسائلی که امروزه با این کامپیوترها حل می‌شوند، بسیار ساده و مقدماتی هستند، اما در آینده‌ای نه چندان دور، با ادامه این روند و پیشرفته‌تر شدن کامپیوترهای مبتنی بر DNA، امکان استفاده از این گونه کامپیوترها برای حل مسائل پیچیده نیز وجود خواهد داشت. تحقیقاتی برای پیاد سازی گیت‌های منطقی پایه و مدارهای ساده با DNA و در بستر آزمایشگاهی انجام شده است. [۸-۱] از جمله افراد فعال در این حوزه Darko Stefanovic و Stojanovic می‌باشند. [۱۴-۱۵]

گیت‌های منطقی

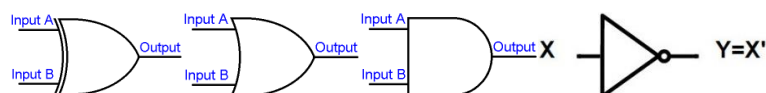
در طراحی مدارهای دیجیتال، گیت‌های منطقی از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند؛ از مهم‌ترین این دروازه‌های منطقی می‌توان از گیت‌های پایه (NOT, AND, OR) و گیت‌های جهانی (NAND, NOR) و البته گیت XOR نام برد. گیت‌های دیگری همچون گیت XNOR یا BUFFER نیز وجود دارند که در اینجا صرفاً به معرفی مختصر گیت‌های پایه و XOR به سبب استفاده از آن‌ها در این مقاله، پرداخته می‌شود. دروازه NOT به عنوان معکوس کننده، مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ خروجی آن معکوس سطح منطقی ورودی‌اش است. خروجی دروازه AND تنها زمانی در سطح منطقی یک قرار دارد که تمام ورودی‌هایش فعال باشند. خروجی دروازه OR فقط هنگامی در سطح منطقی صفر می‌باشد که تمام ورودی‌هایش غیرفعال باشند. در گیت XOR که به آن OR انحصاری و ویژه (Exclusive OR) نیز گویند، خروجی، تنها در صورت فعال بودن تعداد ورودی‌های فرد، فعال خواهد بود. جدول درستی این گیت‌ها به فرم جدول ۱ و ۲ می‌باشد. [۱۳]

جدول ۱: جدول صحت گیت NOT [۱۳]

Input	Output
Low(0)	High(1)
High(1)	Low(0)

جدول ۲: جدول صحت گیت‌های دو ورودی AND، OR و XOR [۱۳]

Input1	Input2	AND gate Output	OR gate Output	XOR gate Output
Low(0)	Low(0)	Low(0)	Low(0)	Low(0)
Low(0)	High(1)	Low(0)	High(1)	High(1)
High(1)	Low(0)	Low(0)	High(1)	High(1)
High(1)	High(1)	High(1)	High(1)	Low(0)



شکل ۳: نمادهای گیت‌های منطقی. الف) دروازه NOT. ب) دروازه AND. پ) دروازه OR. ت) دروازه XOR [۱۳]

مدارهای دیجیتال

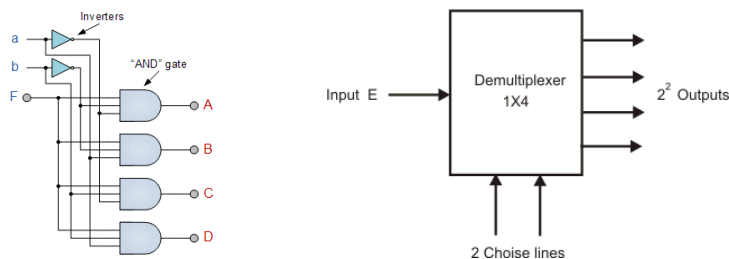
در علم الکترونیک، اهمیت مدارهای دیجیتال بر کسی پوشیده نیست؛ مدارهای دیجیتال مشهوری موجود است که در اینجا به چند نمونه از آن‌ها اشاره شده و مورد بررسی مختصر قرار می‌گیرند.

دمالتهی پلکسر یک به چهار (دارای دو خط انتخاب)

دمالتهی پلکسر یکی از مدارهای دیجیتال معروف است که جدول صحت و نماد و پیاده‌سازی چنین مداری به صورت جدول ۳ و اشکال ۴ می‌باشد.

جدول ۳: جدول صحت یک دمالتهی پلکسر یک به چهار با دو خط انتخاب [۱۳]

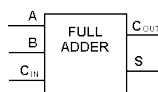
Input		Selectors		Outputs			
I		S ₁	S ₀	O ₃	O ₂	O ₁	O ₀
1		0	0	0	0	0	1
1		0	1	0	0	1	0
1		1	0	0	1	0	0
1		1	1	1	0	0	0



شکل ۴: الف) نماد یک دمالتهی پلکسر یک به چهار ب) پیاده‌سازی یک دمالتهی پلکسر با گیت‌های پایه [۱۳]

تمام جمع کننده

تمام جمع کننده، یک مدار ترکیبی منطقی است که سه ورودی C_{in} (Carry_{in}), A و B را دریافت نموده، دو خروجی تحت عنوان S (Summation) و C_{out} (Carry_{out}) را تولید می‌کند. واضح است که وقتی دو یا چند عدد در هر مبنایی جمع شوند، امکان دارد مجموع از حد مجاز فراتر رفته و رقم نقلی نیز ظاهر شود؛ عملیات جمع اعداد به صورت دودویی (Binary) نیز مستثنی از این موضوع نیست؛ لذا دو خروجی، جمع و نقلی، در نظر گرفته می‌شود. جدول درستی برای یک مدار تمام جمع کننده مطابق با جدول ۴ است. با توجه به دارا بودن سه ورودی تک بیتی، دو به توان سه، یعنی هشت مینترم، موجود است.



شکل ۵: نماد یک تمام جمع کننده [۱۳]

جدول ۴: جدول صحت یک تمام جمع کننده [۱۳]

Inputs			Outputs	
A	B	C _{in}	Sum	Carry
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1

جدول کارنوی (Karnaugh Map) خروجی‌ها به صورت زیر بدست می‌آید که در Sum، کارنو مپ به فرم شطرنجی است و نشان از XOR شدن ورودی‌ها دارد؛ Carry نیز، به چند صورت قابل پیاده‌سازی است.

$$Sum = A \oplus B \oplus C_{in} \quad (1)$$

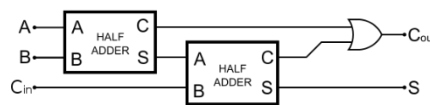
$$Carry = A.B + A.C_{in} + B.C_{in} \quad (2)$$

$$\text{or implemented by : } Carry = A.B + C_{in}(A \oplus B) \quad (3)$$

Sum					Carry				
A	BC				A	BC			
	00	01	11	10		00	01	11	10
0	0	1	0	1	0			1	
1	1	0	1	0	1	1	1		1

شکل ۶: جدول کارنوی خروجی‌های یک تمام‌جمع‌کننده [۱۳]

یک تمام‌جمع‌کننده را می‌توان با استفاده از دو نیم‌جمع‌کننده به علاوه یک گیت OR نیز پیاده‌سازی کرد.

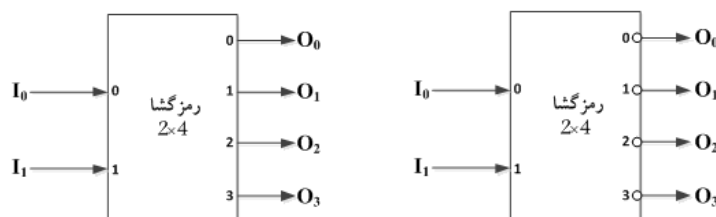


شکل ۷: طراحی یک تمام‌جمع‌کننده به وسیله دو نیم‌جمع‌کننده [۱۳]

دیکدر

مدار کدگشا (دیکدر) مداری ترکیبی است که اطلاعات باینری را توسط n ورودی گرفته، و با 2^n خروجی مجزا ارائه می‌دهد؛ در دیکدر بسته به ترکیب سیگنال‌های ورودی، در هر لحظه فقط یکی از 2^n پایه خروجی فعال خواهد شد. دیکدرها دارای انواعی از جمله دو به چهار، سه به هشت، چهار به شانزده، پنج به سی و دو و به طور کلی n به 2^n هستند. کاربرد اصلی دیکدر در مدارهای دیجیتال نیز، دسترسی به خانه‌های حافظه است. مدار دیکدر می‌تواند شامل یک سیگنال فعال‌ساز هم باشد که در صورتی که سیگنال فعال‌ساز، صفر باشد، مدار دیکدر غیرفعال بوده و عمل نخواهد کرد؛ بلافاصله با فعال کردن پایه فعال‌ساز، دیکدر به کار می‌افتد. دیکدر می‌تواند با لبه پایین‌رونده (Active Low) نیز فعال شود. همچنین می‌توان دیکدرها را به هم متصل کرد تا یک دیکدر بزرگتر (با ورودی و خروجی‌های بیشتر) حاصل شود. به عنوان مثال می‌توان با تلفیق دو دیکدر دو به چهار، یک دیکدر سه به هشت (مبدل باینری به اکتال) را ایجاد نمود.

از برخی از موارد استفاده از دیکدر می‌توان به کاربردش در حافظه اصلی میکروپروسسور (برای انتخاب بانک‌های مختلف حافظه)، ورودی و خروجی میکروپروسسور (انتخاب دستگاه‌های مختلف) و دیکد کردن دستورات میکروپروسسور (انتخاب واحدهای مختلف) اشاره کرد. توابع به فرم جمع مینترم را می‌توان با دیکدر طراحی کرد. از آنجایی که خروجی‌های دیکدر در تناظر با مینترم‌های ورودی است، هر مدار ترکیبی را می‌توان با دیکدر $n \times 2^n$ و m گیت OR پیاده‌سازی کرد. این روش هنگامی که تعداد خروجی‌ها زیاد بوده و خروجی‌ها شامل مینترم‌های کمی باشند، بسیار مناسب است.

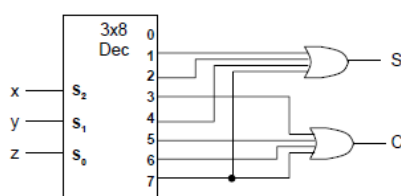


شکل ۸: نماد دیکدر دو به چهار الف - با لبه پایین‌رونده (ب) با لبه بالا رونده

جدول ۵: جدول صحت یک دیکدر دو به چهار [۱۳]

Inputs		Outputs			
I_1	I_0	O_3	O_2	O_1	O_0
0	0	0	0	0	1
0	0	0	0	1	0
0	1	0	1	0	0
0	1	1	0	0	0

مثلا می توان، یک تمام جمع کننده را با یک دیکدر و یک گیت OR پیاده سازی نمود.



شکل ۹: پیاده سازی یک تمام جمع کننده با یک دیکدر و یک گیت OR [۱۳]

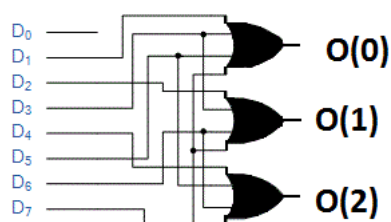
انکدر

مدار کدگذار (انکدر) عکس عمل دیکدر را انجام می دهد؛ انکدر مداری است که 2^n خط ورودی و n خط خروجی دارد. مدار انکدر، سیگنال های چندگانه ورودی را به یک تعداد خروجی کمتر فشرده می کند. در انکدر در هر لحظه، تنها یکی از ورودی ها می تواند مقدار یک منطقی داشته باشد و مابقی ورودی ها باید در حالت صفر منطقی باشند.

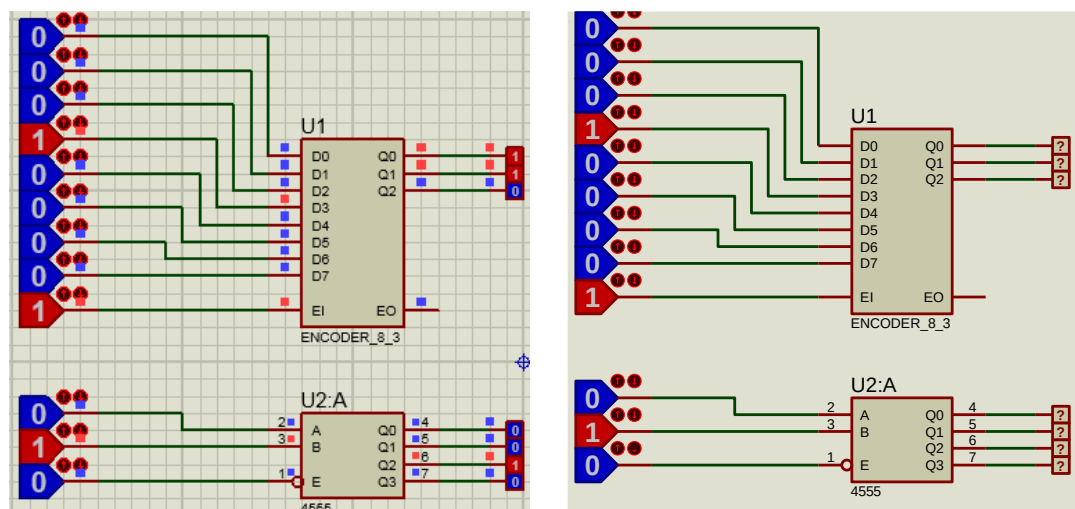
جدول ۶: جدول صحت یک انکدر چهار به دو [۱۳]

Inputs				Outputs	
I_3	I_2	I_1	I_0	O_1	O_0
0	0	0	1	0	0
0	0	1	0	0	1
0	1	0	0	1	0
1	0	0	0	1	1

برای انکدرهای با تعداد ورودی و خروجی بیشتر نیز وضع به همین منوال است. مثلا یه انکدر هشت به سه را می توان با صرفا استفاده از چند گیت OR پیاده سازی نمود.



شکل ۱۰: پیاده سازی یک انکدر هشت به سه [۱۳]

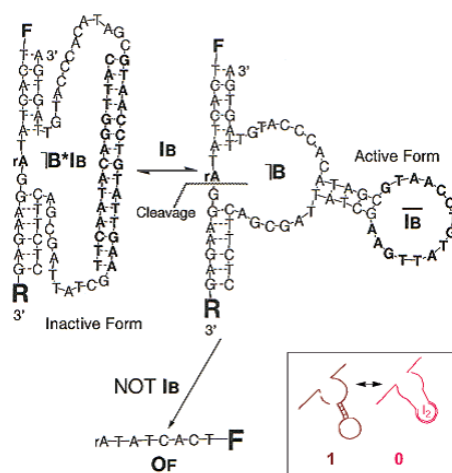


شکل ۱۱: تست عملکرد دیکدر دو به چهار و انکدر هشت به سه در نرم افزار پروتئوس

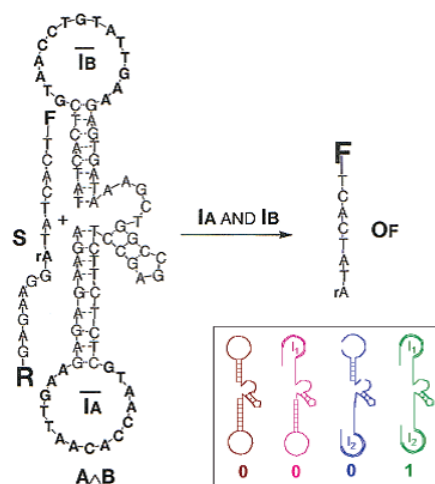
طراحی گیت‌های منطقی مبتنی بر DNA

با زحمات محققان در آزمایشگاه‌های شیمی، دروازه‌های منطقی پایه به فرم‌های اشکال ذیل بدست آمد که بر اساس آن‌ها در ادامه به پیاده‌سازی یک دمالتی پلکسر، یک تمام‌جمع‌کننده، یک کدگشا و یک کدگذار پرداخته می‌شود. لازم به ذکر است اگر دو ساختار در کنار هم باشند، به مفهوم گیت OR است. ساختار بسته بدین مفهوم است که سیگنال در آن وارد نمی‌شود و این یعنی ورودی اعمال نشده‌است، فلذا معادل سطح منطقی صفر تلقی می‌شود؛ ساختار باز نیز به معنای این است که سیگنال در آن ورود پیدا می‌کند و مفهوم سطح منطقی یک را در بردارد. لذا به‌عنوان مثال در مدار انکدر که خروجی صرفاً حاصل OR شدن ورودی‌هاست، کافی است که ورودی‌ها در کنار هم اعمال شوند.

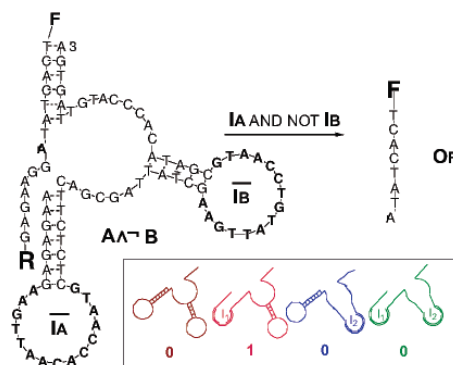
در دیکدر خروجی حاصل AND حالات مختلف ورودی‌هاست. همین مفهوم در دمالتی پلکسر نیز صدق می‌کند با فرض اینکه سیگنال ورودی فعال بوده باشد؛ لذا می‌توان سلکتورها را با نماد I شان داد و ورودی را معادل سطح منطقی یک در نظر گرفت. در تمام‌جمع‌کننده نیز دو خروجی وجود دارد که در فوق نیز مطرح شد.



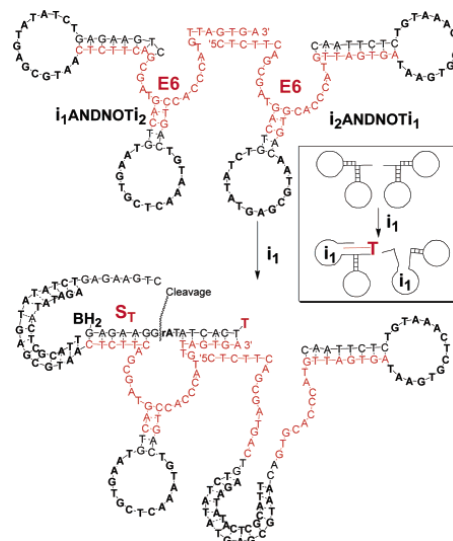
شکل ۱۲: طراحی یک گیت NOT با درزوکسی‌ریبوزیم ($\bar{B}$) [۱۴]



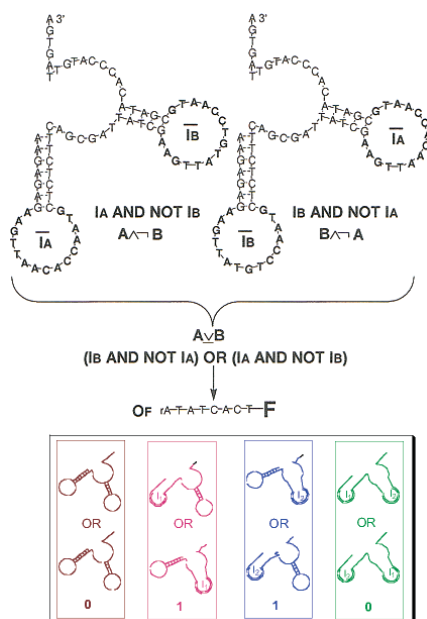
شکل ۱۳: طراحی یک گیت AND با درزوکسی ریبوزیم (A.B) [۱۴]



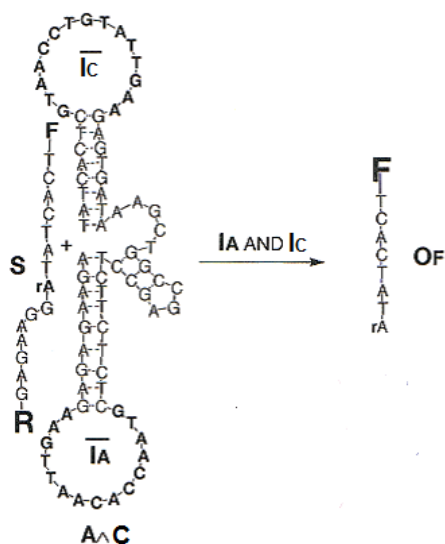
شکل ۱۴: طراحی یک گیت با رفتار AND NOT برای یک مینترم با استفاده از درزوکسی ریبوزیم (A.B̄) [۱۴]



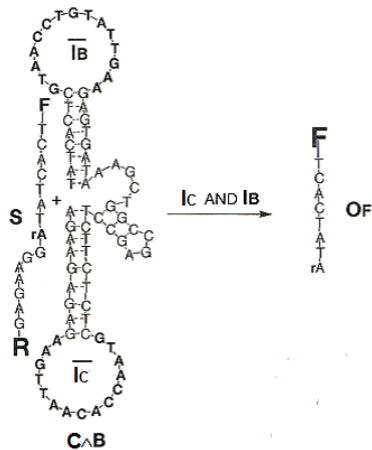
شکل ۱۵: طراحی یک گیت با رفتار AND NOT برای دو مینترم با استفاده از درزوکسی ریبوزیم [۱۵]



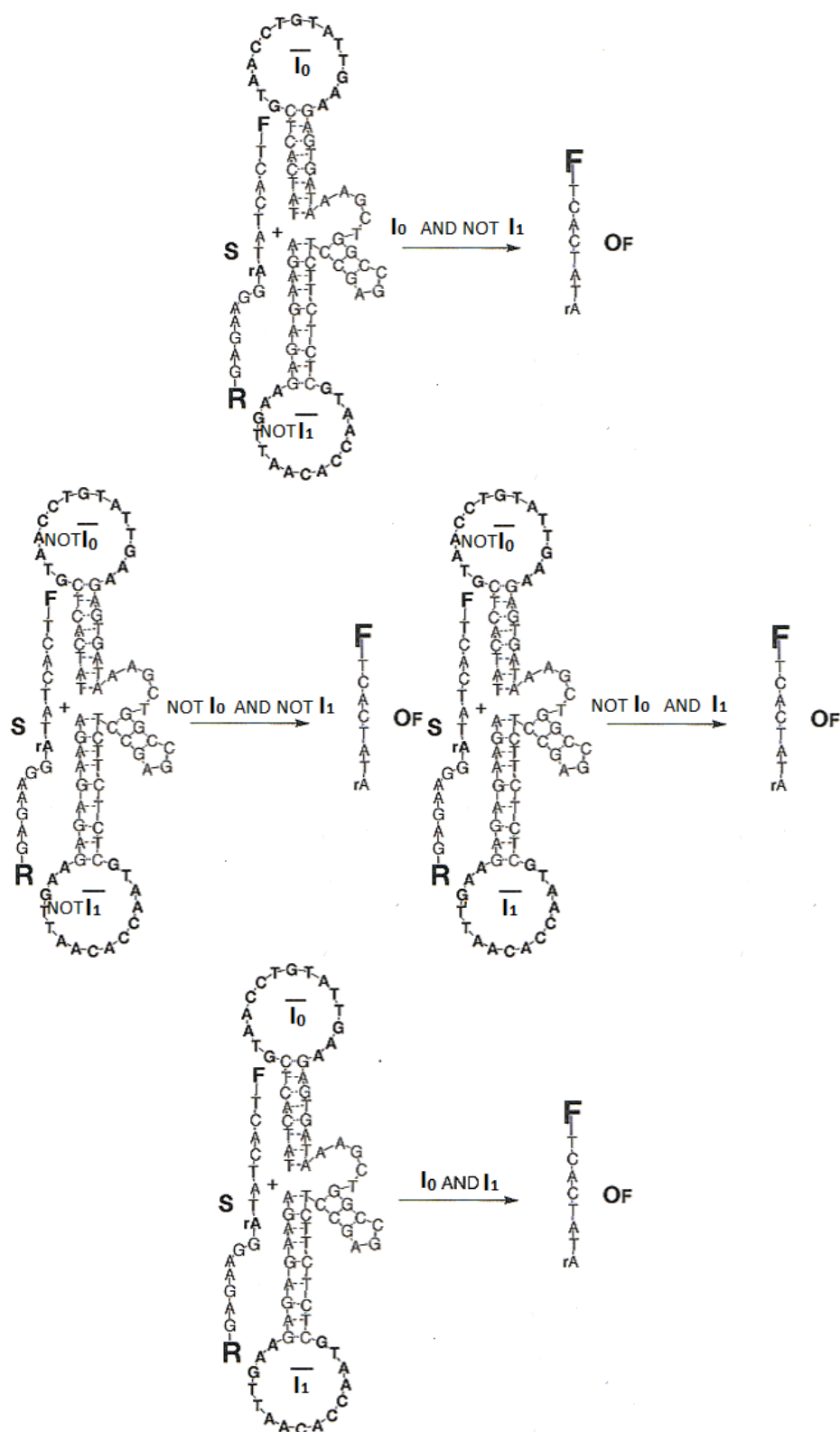
شکل ۱۶: طراحی یک گیت XOR با درزوکسی ریبوزیم ($A \oplus B$) [۱۴]



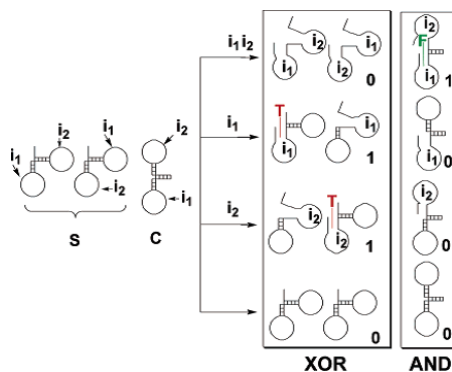
شکل ۱۷: طراحی یک گیت AND با درزوکسی ریبوزیم (AC)



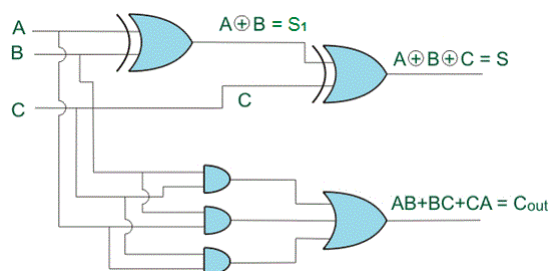
شکل ۱۸: طراحی یک گیت AND با درزوکسی ریبوزیم (BC)



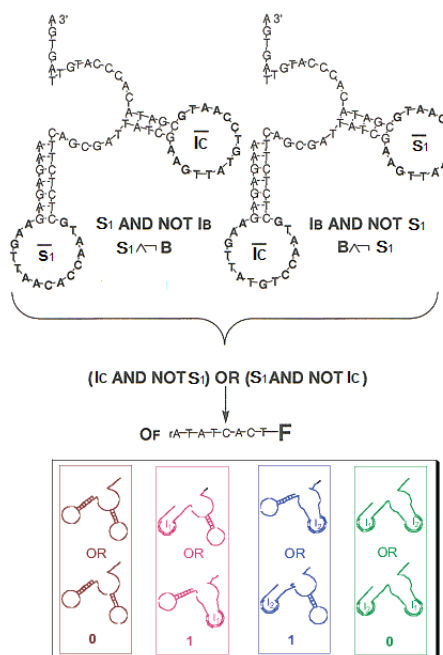
شکل ۱۹: پیاده‌سازی دیکدر دو به چهار بر اساس دزوکسی ریبوزیم



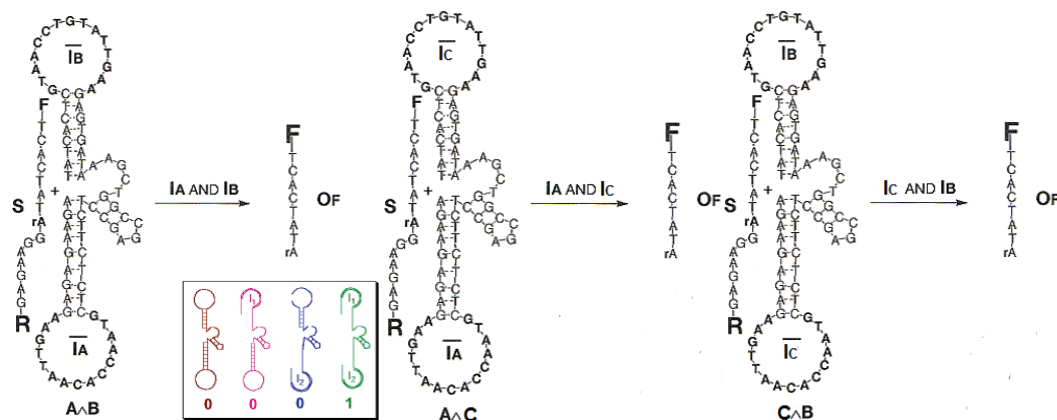
شکل ۲۰: یک نیم جمع کننده تک بیتی مبتنی بر DNA [۱۵]



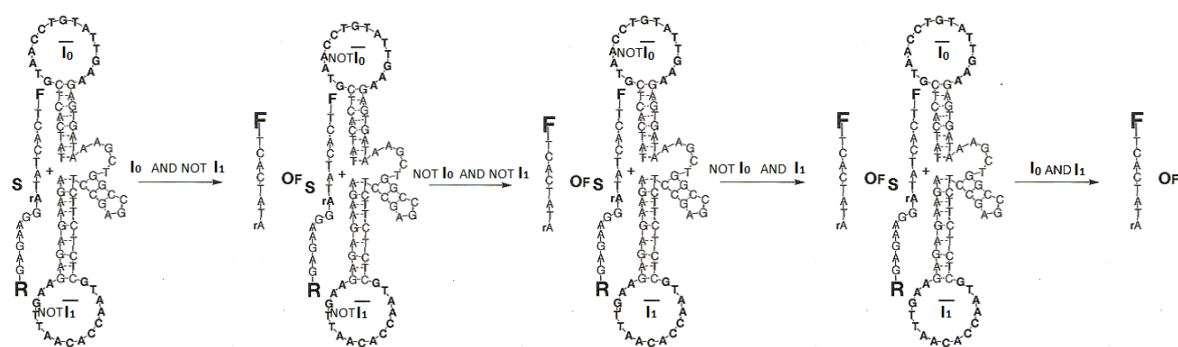
شکل ۲۱: یک روش طراحی یک تمام جمع کننده [۱۳]



شکل ۲۲: طراحی یک گیت XOR با درزوکسی ریبوزیم با احتساب ورودی سوم برای تمام جمع کننده (خروجی جمع)



شکل ۲۳: طراحی یک گیت OR با درزوکسی ریبوزیم بر اساس سه گیت AND برای تمام جمع کننده (خروجی نقلی)



شکل ۲۴: پیاده سازی خروجی های میانی یک دمالتی پلکسر به صورت مجزا با درزوکسی ریبوزیم با گیت های AND

لازم به ذکر است، در صورتی که ورودی دمالتی پلکسر همواره در سطح منطقی یک نباشد، فقط کافی است که ورودی اصلی دمالتی پلکسر با تمام این خروجی ها، AND شود تا خروجی های نهایی حاصل شود.

نتیجه گیری

با توجه به مباحث ذکر شده، لزوم استفاده از گیت ها و مدارهای دیجیتال طراحی شده در آینده ای نزدیک به وضوح حس می شود، فلذا با تلاش محققان در آزمایشگاه ها و طراحان حوزه های کاری ژنتیک و الکترونیک، شاهد رشد روز افزون استفاده از این گونه روش های کاربردی خواهیم بود. در این مقاله، با توجه به دروازه های منطقی مذکور، مدارهای دیجیتال (دمالتی پلکسر، تمام جمع کننده، دیکدر و انکدر) بر مبنای درزوکسی ریبوزیم، طراحی گردید و بدون تردید، این گونه طراحی های مدارهای دیجیتال بر اساس روش های غیرالکترونیکی، به دلیل محدودیت های ذکر شده فعلی، افزایش روز افزونی خواهد یافت و محققان در پی پیاده سازی و ساخت گیت ها و مدارهای دیجیتال و تراشه های الکترونیکی با استفاده از روش های این چنینی خواهند بود. پیشنهاد می شود که بر مبنای همین روش، سایر مدارهای دیجیتال نیز پیاده سازی شوند. در مقالات آتی، روی طراحی و پیاده سازی مدارهای پیچیده تر همچون طراحی واحد محاسبه و منطق (ALU)، شیفت رجیستر، ضرب کننده و... کار خواهد شد. امید است که با پیشرفت گسترده تر تکنولوژی ساخت ادوات مبتنی بر DNA، کامپیوترهای زیستی نیز به تولید انبوه رسیده و مورد استفاده قرار گیرند.

منابع و مراجع

[۱] مجموعه مقالات سایت باشگاه نانو

- [2] Mingxia Gu, Ping Bai, Hong Son Chu, and Er-Ping Li, "*Design of Subwavelength CMOS Compatible Plasmonic Photodetector for Nano-Electronic-Photonic Integrated Circuits*", IEEE Photonics Technology Letters 2012
- [3] Jie Xiang, Wei Lu, Yongjie Hu, Yue Wu, Hao Yan & Charles M. Lieber, "*Ge/Si Nanowire Heterostructures as Highperformance Field-Effect Transistors*", Nature Publishing Group 2006
- [4] Bozhi Tian, Xiaolin Zheng, Thomas J. Kempa, Ying Fang, Nanfang Yu, Guihua Yu, Jinlin Huang & Charles M. Lieber, "*Coaxial Silicon Nanowires as Solar Cells and Nanoelectronic Power Sources*", Nature Publishing Group 2007
- [5] Klaus-Juergen Wolter, Gerald Gerlash, "Advanced Nano- and Biotechniques for Next-Gen Electronic Packaging", IEEE Nanotechnology Magazine 2010
- [6] Valeriu Beiu, Jabulani Nyathi, Snorre Aunet, and Mawahib Sulieman, "Femto Joule Switching for Nano Electronics", IEEE 2006
- [7] Sohan Purohit, Ignacio Iñiguez-de-la-Torre, Vikas Kaushal and Martin Margala, "High Performance Digital Circuit Design Using Ballistic Nano-Electronics", IEEE 2010
- [8] Henk W. Ch. Postma, Tijs Teepen, Zhen Yao, Milena Grifoni, Cees Dekker, "Carbon Nanotube Single-Electron Transistors at Room Temperature", Science 2001
- [9] Nicholas A. Melosh, Akram Boukai, Frederic Diana, Brian Gerardot, Antonio Badolato, Pierre M. Petroff, James R. Heath, "Ultrahigh-Density Nanowire Lattices and Circuits", Science 2003
- [10] Wen-Yan Yin, "Computational Multiphysics Method for RF and Nano Electronics: Challenges and Opportunities"
- [11] Shamik Das, Alexander J. Gates, Hassen A. Abdu, Garrett S. Rose, Carl A. Picconatto, and James C. Ellenbogen, "Designs for Ultra-Tiny, Special-Purpose Nanoelectronic Circuits", IEEE Transactions on Circuit and Systems 2007
- [12] Alberts, Bruce; Alexander Johnson, Julian Lewis, Martin Raff, Keith Roberts, and Peter Walters, "Molecular Biology of the Cell; Fourth Edition", New York and London: Garland Science. ISBN 0-8153-3218-1 (2002)

[۱۳] موریس مانو، ترجمه قدرت سپیدنام، "طراحی دیجیتال"، انتشارات خراسان، مشهد ۱۳۴۷، ISBN:964-6342-

Q-1

- [14] Stojanovic, M. N., Mitchell, T. E., & Stefanovic, D. (2002). "Deoxyribozyme-based logic gates"; Journal of the American Chemical Society, 124(14), 3555-3561
- [15] Stojanovic, M. N., & Stefanovic, D. (2003). "Deoxyribozyme-based half-adder"; Journal of the American Chemical Society, 125(22), 6673-6676