ایده به کارگیری مبدل های آنالوگ به دیجیتال سیگما-دلتا برای جمع آوری اطلاعات سنسورهای به کار رفته در اینترنت اشیاء به همراه شبیه سازی با Matlab

زهرا احسانی[۱]، مائده توسلی[۲]، اعظم جواهری[۳] و رضا بحری[۴*]

۱، ۲، ۳-دانشجوی کارشناسی الکترونیک، دانشگاه فنی دخترانه شریعتی ، تهران

۴- پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات، تهران

چکیده:

در این مقاله به بررسی ایده به کارگیری مبدل های سیگنال آنالوگ به دیجیتال سیگما-دلتا که برای جمع آوری و تبادل اطلاعات در سنسورهای به کار رفته در اینترنت اشیاء مد نظر می باشد پرداخته شده است. در این مقاله علاوه بر بررسی ساختار و معماری اینگونه مبدل ها در خصوص مقایسه با سایر مبدل ها نیز بررسی هایی انجام شده است و مزایا و معایب هر کدام نیز بیان شده است. همچنین در خصوص ضرورت و اهمیت به کارگیری این نوع مبدل ها برای سنسورهای اینترنت اشیاء نیز بحث شده است. همچنین طراحی و شبیه سازی یک نمونه مبدل سیگنال سیگما-دلتا با جزئیات کامل به همراه نتایج شبیه سازی نیز در انتها ارائه شده است.

کلمات کلیدی: آنالوگ، دیجیتال، مبدل سیگنال، سیگما-دلتا، سنسور، اینترنت اشیاء

مقدمه:

فناوری اینترنت اشیاء و یا اینترنت همه چیز، به معنی تشکیل شبکه‌ای وسیع که اجزا آن را اشیاء اطراف ما تشکیل می‌دهند، می‌باشد. بر اساس این الگو، تا حد امکان تمامی اشیاء و سیستم‌های پیرامون ما هوشمند گردیده و بطور خودکار اطلاعات مفیدی را از اطراف خود دریافت نموده و آن‌ها را به یکدیگر و یا به سیستم‌های مانیتورینگ و کنترل مرکزی ارسال می‌نمایند و بر اساس اطلاعات دریافتی، تصمیماتی اتخاذ می‌شود. بر اساس این الگو یک هوشمندی و آگاهی به دنیای پیرامون ما افزوده می‌گردد که در آن تصمیمات اتخاذ شده بعضاً به صورت خودکار و ناملموس و بدون دخالت افراد، گرفته می‌شود. اینترنت اشیا ادغام دنیای فیزیکی با دیجیتال است. در اینترنت اشیا، وسایل معمولی جهت به دست آوردن یک هویت آنلاین منحصربه‌فرد و کسب توانایی تعامل با محیط خارجی، با تکنولوژی عجین می‌شوند. از طرفی یکی از مهمترین بخش های اینترنت اشیاء این است که اطلاعات مربوط به ادوات، تجهیزات و در حالت کلی ماشین ها توسط سنسورهایی جمع آوری شده و برای بررسی به بخش پردازنده ارسال گردد. به این ترتیب سنسورها نیز نقشی کلیدی در این فناوری نوین بازی خواهند کرد. با توجه به اینکه دقت اندازه گیری های سنسورها بسیار حائز اهمیت است به همین دلیل استفاده از اندازه گیرهای مناسب و به تبع آن استفاده از مبدل های مناسب نیز به خودی خود مهم می شود. با توجه به اینکه امروزه سیستم ها به سمت یکپارچه و مجتمع شدن پیش می روند و از طرفی تمامی پردازش ها به صورت دیجیتال انجام می شود، استفاده از مبدل های سیگنال نیز از اهمیت ویژه ای برخوردار می شود. به همین دلیل در این

* **Corresponding author:** عضو هیات علمی پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات
Email: reza.bahri@itrc.ac.ir

مقاله به بررسی ماهیت و چیستی مبدل های سیگنال سیگما-دلتا پرداخته شده و ایده به کارگیری آنها در سنسورهای مربوط به اینترنت اشیاء مطرح می شود.

آشنایی با مبدل های سیگما دلتا

در روش های مختلف تبدیل سیگنال آنالوگ به دیجیتال مشاهده می شود که عموما سرعت مدولاتور کند و حجم مداری آن بزرگ می باشد، به طوری که قابل ساخت در یک تراشه پردازشگر سیگنال دیجیتال نمی باشند. لذا روشی طراحی شده است که در حین ایجاد میزان تفکیک زیاد، از چنان سادگی برخوردار باشد که بتوان آن را در کوچکترین سطح ممکن توسط تکنولوژی CMOS تحقق داد. این روش را تبدیل با استفاده از مدولاسیون سیگما - دلتا می نامند.

مزیت این روش نسبت به روش های موجود، عبارت است از ساده بودن مدار آن و در نتیجه ارزان گشتن طراحی و ساخت مبدلی با دقت کوانتیزه کردن بالا و در نهایت قابلیت تولید مجدد سیگنال آنالوگ اصلی با یک دیکدر بسیار ساده. همچنین چون در این روش میزان نمونه برداری از سیگنال ورودی بالاست، نیاز به فیلتر هایی با مقادیر دقیق نخواهد بود. این مبدل ها می توانند با استفاده از سوئیچ – خازنی ساخته شوند که از جمله مدارات گسسته در زمان می باشد که حساسیت کمتری نسبت به بی نظمی کلاک و تغییرات مداری دارد. سوئیچ– خازنی همچنین قدرت فرا نمونه برداری بسیار بالایی دارد. از جمله کاربرد های این مبدل می توان به کاربرد هایی که به دقت بالا نیاز دارند مانند ناوبری اینرسی و کاربردهای پزشکی اشاره کرد[5-1].

مبدل های آنالوگ به دیجیتال فرا نمونه برداری بر اساس مدولاسیون سیگما دلتا ، دست یابی به دقت های بالای تبدیل را بدون نیاز به به قطعات آنالوگ دقیق و المان های تنظیم شده میسر ساخته اند تنوع معماری ها و امکان مبادله پارامترهای مختلف هر سیستم های سیگما دلتا ،چالش های جدیدی را برای انجام طرح های بهینه ایجاد کرده است این بهینه سازی با توجه به جهت گیری نسبت به مجتمع سازی هر چه بیشتر و سازگاری با VLSI-CMOS معمولا در راستای افزایش نرخ تبدیل و کاهش توان مصرفی، کاهش سطح تراشه و قابلیت کار با ولتاژ تغذیه کم می باشد.

اساس کار مبدل های سیگما دلتا

مبدل های آنالوگ به دیجیتال سیگما دلتا امروزه کاربرد وسیعی در مدارها و سیستمهای پردازش اطلاعات پیدا کرده اند. این نوع مبدل ها دقت بالای تبدیل را بدون نیاز به فیلتر ضد تشابهی خارجی و بدون نیاز به قطعات آنالوگ دقیق ممکن می سازند. همه این قابلیتها و مزایا از ساختار سیستمی و روابط ریاضی حاکم بر مبدل های سیگما دلتا ناشی می شود. سه مشخصه عمده که اساس کار همه مبدل های سیگما دلتا را تشکیل می دهد عبارت اند از[6]:

- فرا نمونه برداری
- شکل دهی نویز
- فیلتر دیجیتالی

فرا نمونه برداری

مطابق تئوری نایکوئیست $x(t)$ باید با فرکانسی بیش از دو برابر پهنای باند سیگنال نمونه برداری شود تا از تلف شدن اطلاعات جلوگیری شود. در غیر این صورت اعوجاج ناشی از تداخل صورت می گیرد. اگر f_b پهنای باند $x(t)$ و f_s فرکانس نمونه برداری باشد، در صورتی که f_s فرکانس نمونه برداری حداقل برابر یا کمی بیشتر از نرخ نایکوئیست $2f_b$ باشد به آن مبدل نرخ نایکوئیست می گویند. در صورتی که f_s فرکانس نمونه برداری چند برابر (مثلا ۱۶ تا ۱۰۲۴ برابر) بالاتر از نرخ نایکوئیست باشد به آن مبدل فرانمونه بردار می گویند[6].

شکل دهی نویز

مبدل سیگما دلتا اکثر تضعیف نویز کوانتش داخل باند را به وسیله ی شکل دهی به خارج باند هدایت می کند. خروجی مدولاتور $y(z)$ می تواند به صورت زیر بیان شود:

$$Y(z) = \frac{G(z)}{1+G(z)}.X(s) + \frac{1}{1+G(z)}.E(z) = STF(z).X(z) + NTF.E(z) \quad (۱)$$

که در آن $X(z)$ سیگنال ورودی آنالوگ و $E(z)$ نویز اضافه شده به وسیله ی کوانتایزر و $G(z)$ تابع تبدیل حلقه ی فیلتر می باشد. تابع تبدیل سیگنال (STF) به صورت زیر تعریف می شود:

$$STF(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} \quad , \quad NTF(s) = \frac{Y(z)}{E(z)} \quad (۲)$$

اگر $G(s)$ دارای مشخصه ی فیلتر پایین گذر با گین DC بزرگ در فرکانس های پایین باشد، STF به سمت ۱ و NTF به سمت صفر میل می کند. این امر در واقع به این معنی است که سیگنال ورودی بدون هیچ تضعیفی در خروجی ظاهر می شود، در حالی که نویز کوانتش به شدت تضعیف می شود[7-9].

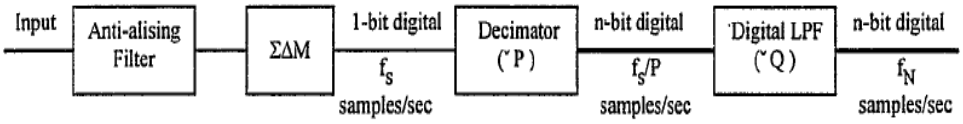
فیلتر دیجیتالی

طیف سیگنال خروجی مدولاتور شامل دو بخش: سیگنال در باند مطلوب با فرکانس فرانمونه برداری و نویز کوانتش که عمدتا در خارج باند سیگنال است، می باشد. جهت استخراج سیگنال خالص در خروجی مدولاتور برای پردازش های بعدی، باید دو عمل روی آن انجام شود: یکی کاهش نرخ نمونه ها و دیگری حذف نویز کوانتش خارج باند، که این موارد از وظایف فیلتر دیجیتالی است[10].

ساختار و بلوک دیاگرام مبدل سیگما دلتا

ساختار اولیه یک مبدل سیگما دلتا در شکل ۱، نشان داده شده است که دارای اجزای زیر است:

- فیلتر ضد تشابهی آنالوگ(Anti-alising Filter)
- مدوله کننده $\sum\Delta$
- استخراج کننده(Decimator)
- فیلتر پایین گذر دیجیتال



شکل ۱- دیاگرام فوق نمونه برداری یک مبدل سیگما دلتا

بلوک $\sum\Delta$ دو عمل مهم انجام می دهد:

اول: مدوله کردن سیگنال آنالوگ باند-محدود ورودی، به یک کد دیجیتال یک بیتی در فرکانس fs (بسیار بالاتر از میزان نایکوئیست FN)

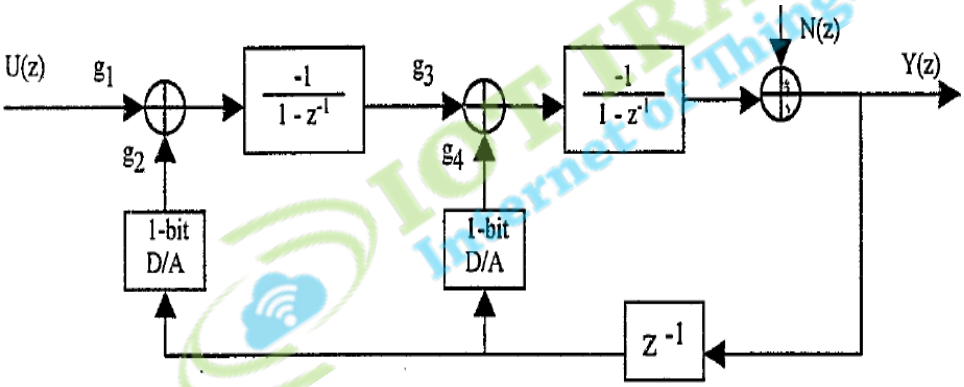
دوم: تغییر شکل نویز کوانتش است به طوریکه سیگنال ورودی فرکانس پایین از نویز کوانتش جدا شود.

Decimator و LPF نیز نویز کوانتش را کاهش می دهند . در نتیجه خروجی دیجیتال n بیتی در میزان نایکویست FN رخ می دهد. کل رفتار سیگنال به نویز، یک مبدل $\Sigma\Delta$ مستقیما به قابلیت noise-shaping مدولاتور $\Sigma\Delta$ بستگی دارد[11-15].

شکل ۲، ساختار یک مدرلاتور سیگما دلتا با انتگرال گیری دوگانه(DISDM) را نشان می دهد که شامل قسمتهای زیر است:

- دو انتیگرال گیر گسسته زمانی
- یک مقایسه کننده
- یک سری جمع کننده توزین شده (Weighed summers)
- دو مدار مبدل D/A یک بیتی در مسیر فیدبک DISDM

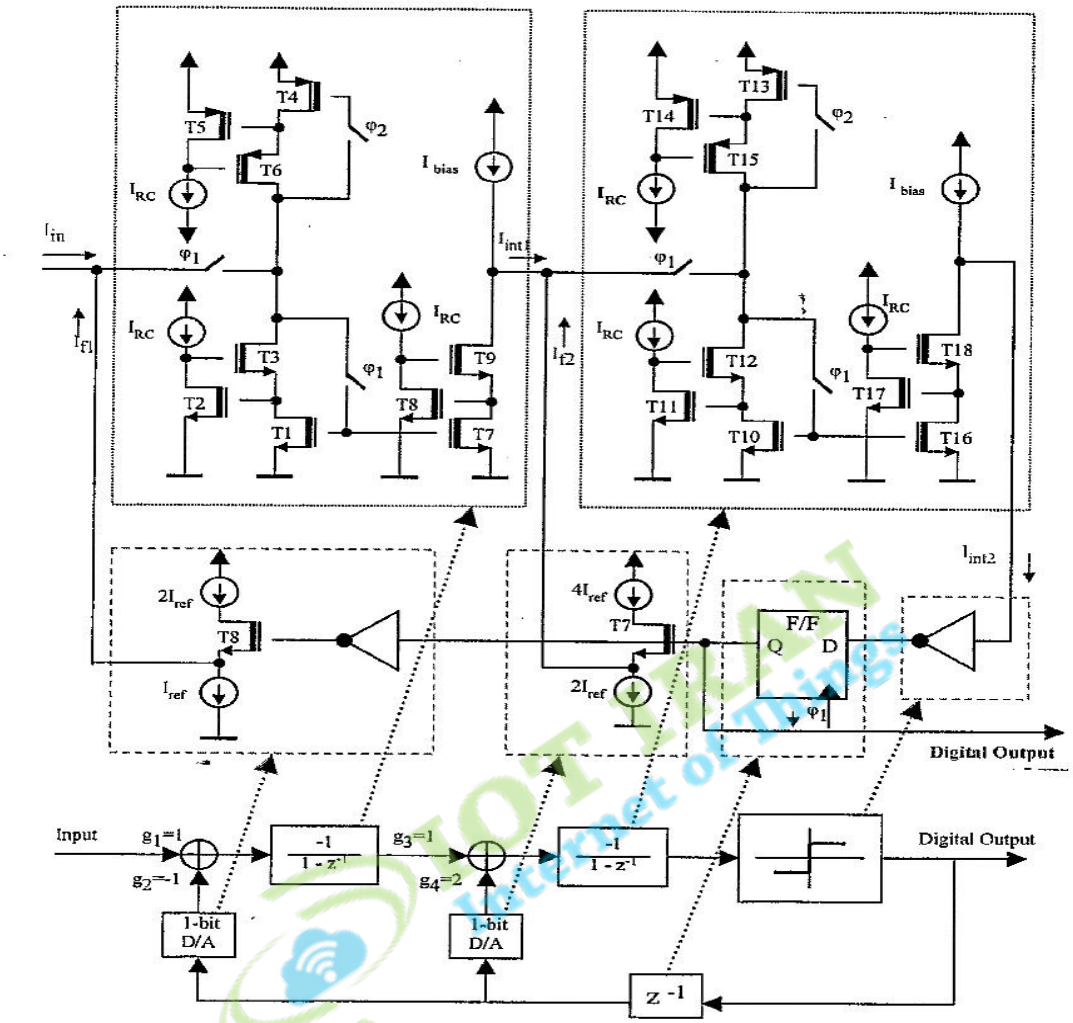
فاکتورهای توزین(Scaled Factor) متناظر هر جمع کننده طوری انتخاب شده اند که وقتی سیگنال ورودی به خروجی می رود، تضعیف بسیار کمی را روی پهنای باند مدولاتور متحمل شود، در حالی که نویز کوانتشی که به وسیله مدار مقایسه کننده تولید می شود در فرکانس 3dB این مدار که بسیار بیشتر ازنصف FN است، به صورت بالاگذر فیلتر می شود.



شکل۲- بلوک دیاگرام یک مبدل آنالوگ به دیجیتال سیگما-دلتا خطی

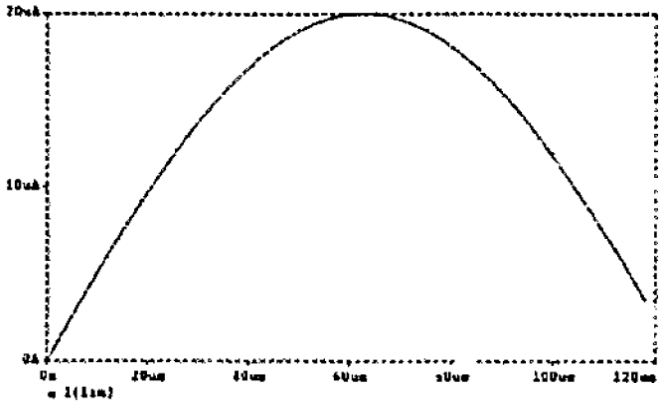
در شکل۳، مدار داخلی و بلوک دیاگرام یک مبدل سیگما دلتا نشان داده شده است:

قسمت بالایی: مدار داخلی
قسمت پایینی: بلوک دیاگرام مدار فوق

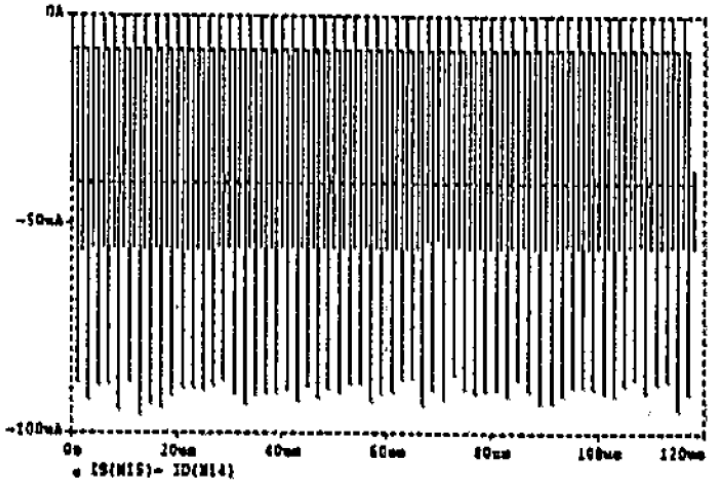


شکل۳-بلوک دیاگرام و مدار داخلی یک مبدل آنالوگ به دیجیتال سیگما-دلتا

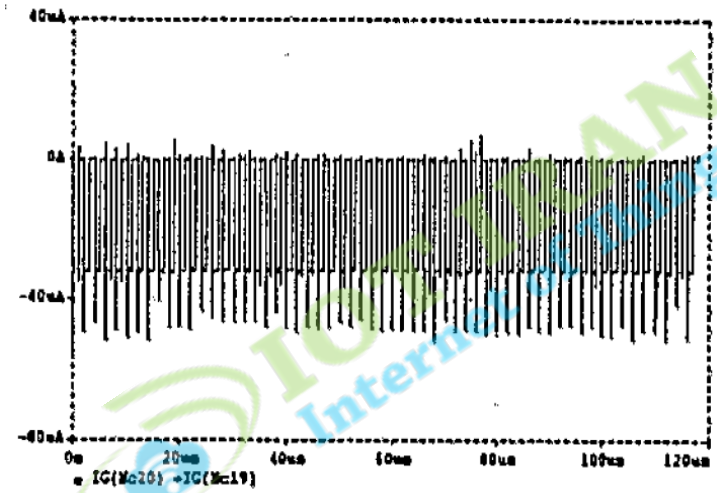
در شکل های زیر مراحل تبدیل سیگنال از آنالوگ به دیجیتال در مبدل سیگما دلتا شکل بالا ، نشان داده شده است.



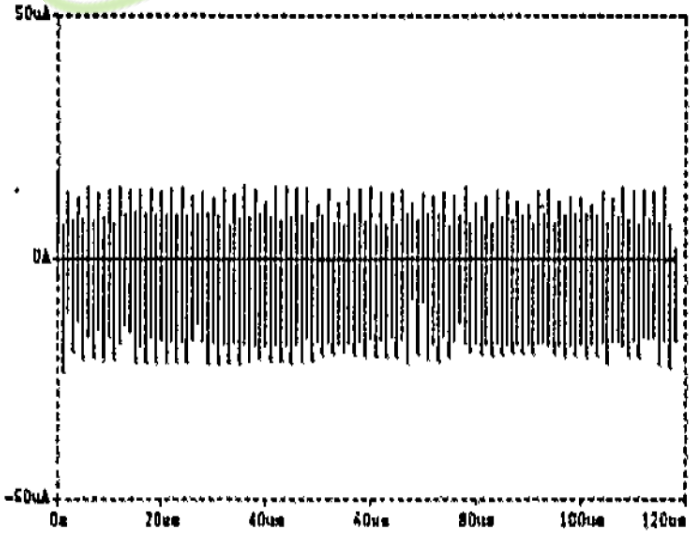
شکل ۴- سیگنال آنالوگ ورودی



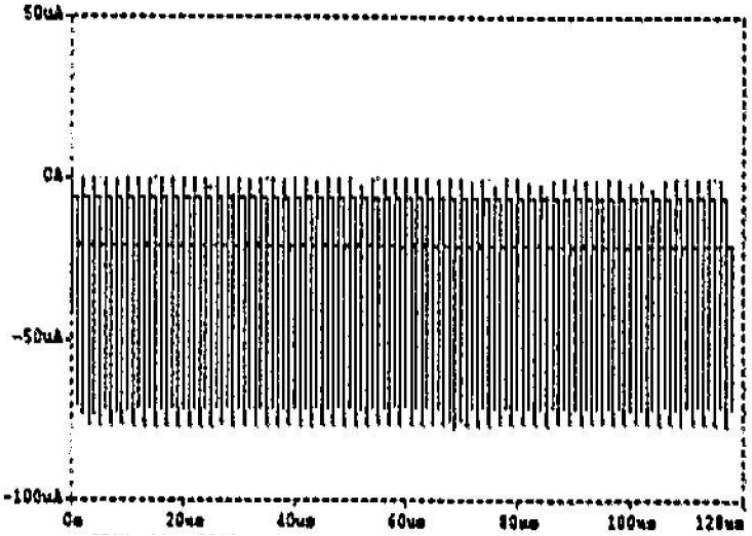
شکل ۵- خروجی انتگرال اول



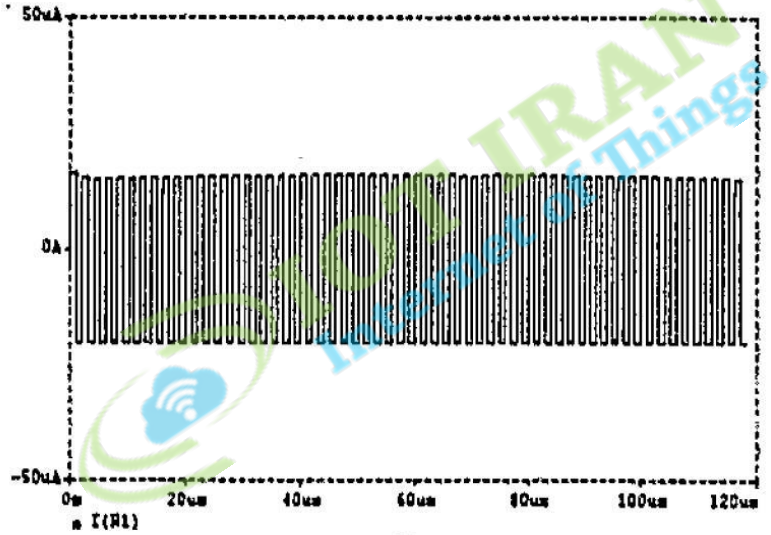
شکل۶- خروجی انتگرال گیر دوم



شکل ۷- خروجی فلیپ فلاپ



شکل ۸- خروجی مقاسیه کننده



شکل ۹- سیگنال دیجیتال خروجی

ویژگی های مبدل سیگما دلتا[15-20].

- خطی بودن مشخصه آنالوگ به دیجیتال
- پهنای باند زیاد
- SNR بالا
- عدم وجود تداخل
- داشتن سرعت بالا
- داشتن قدرت تفکیک بالا
- سادگی و امکان ساخت بر سطحی کوچک

طراحی و شبیه سازی مبدل های آنالوگ به دیجیتال با MATLAB SIMULINK

مقدمه

نرم افزار MATLAB ابزاری قدرتمند در علوم مختلف فنی مهندسی به ویژه در مهندسی برق می باشد. ورژن های جدید این نرم افزار امکانات متعددی را در اختیار کاربر قرار داده است که امکان شبیه سازی مدارها و تجهیزات الکتریکی به سادگی و به صورت گرافیکی در قسمت SIMULINK فراهم می باشد.

در این فصل مراحل طراحی و شبیه سازی یک نمونه مبدل آنالوگ به دیجیتال شش بیتی با نرم افزار MATLAB SIMULINK توضیح داده شده است و نتایج شبیه سازی ارائه شده است.

عناصر و اجزای استفاده شده در شبیه سازی مبدل آنالوگ به دیجیتال

برای شبیه سازی مبدل آنالوگ به دیجیتال و مبدل دیجیتال به آنالوگ از اجزای زیر در قسمتSIMULINK نرم افزار MATLAB استفاده شده است:

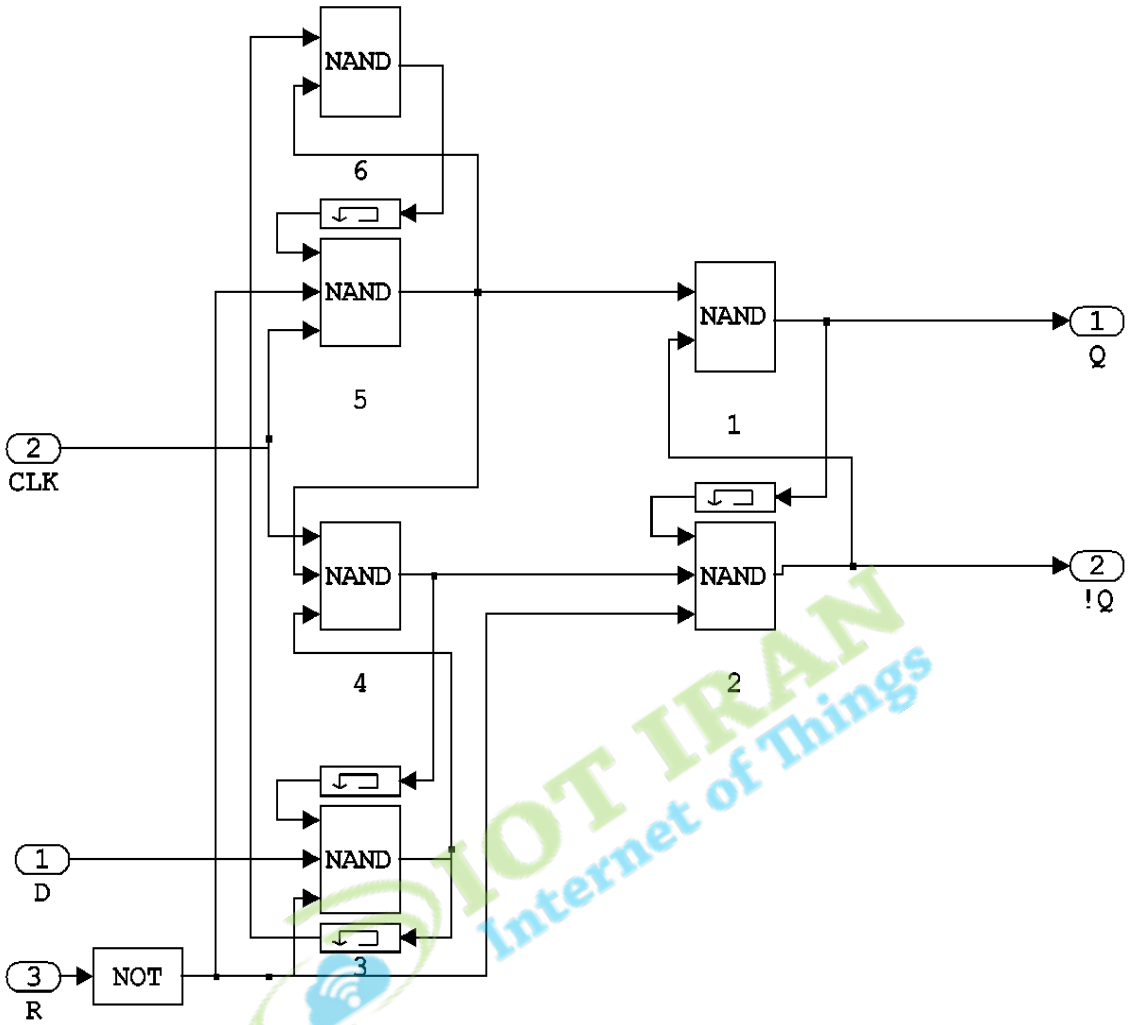
۱- مقاومت اهمی از قسمت SimPowerSystem-Elements
۲- ولت متر و آمپرمتر از قسمت SimPowerSystem-Measurements
۳- دیود غیر ایده آل از قسمت SimPowerSystem-Power Electronic
۴- منبع جریان و ولتاژ از قسمت SimPowerSystem-Electrical Sources
۵- نمونه بردار و نگه دارنده از قسمتSignal Processing Bloksets-Signal Operations
۶- عناصر حافظه از قسمت Simulink- Discerte
۷- گیت های AND,NAND از قسمت Smilink-logic and Bit Operations
۸- مولد پالس از قسمت Simulink- Sources
۹- منبع ولتاژ پله و Ramp از قسمت Simulink- Sources
۱۰- ورودی/خروجی از قسمت Simulink- Sources
۱۱- Scop جهت نمایش نتایج از قسمت Simulink-Sinke
۱۲- فلیپ فلاپ D به صورت بلوکی با استفاده از گیت های NAND
۱۳- شمارنده دیجیتال ۶ بیتی مبتنی بر ۶عدد فلیپ فلاپ D
۱۴- مبدل دیجیتال به آنالوگ به صورت بلوکی با استفاده از مقاومت ها و تقویت کننده عملیاتی

مراحل شبیه سازی

ابتدا با استفاده از گیت هایNAND یک فلیپ فلاپ D شبیه سازی شده است. سپس با شش عدد از این فلیپ فلاپ ها یک شمارنده دیجیتال شش بیتی شبیه سازی شده است. در ادامه شبیه سازی یک مبدل دیجیتال به آنالوگ انجام شده است. با این قطعات و همچنین یک مقایسه کننده، یک گیت AND وعناصر حافظه در نهایت شبیه سازی یک مبدل آنالوگ به دیجیتال شش بیتی از نوع شیب انجام شده است.

- **شبیه سازی فلیپ فلاپ D مبتنی بر گیت هایNAND**

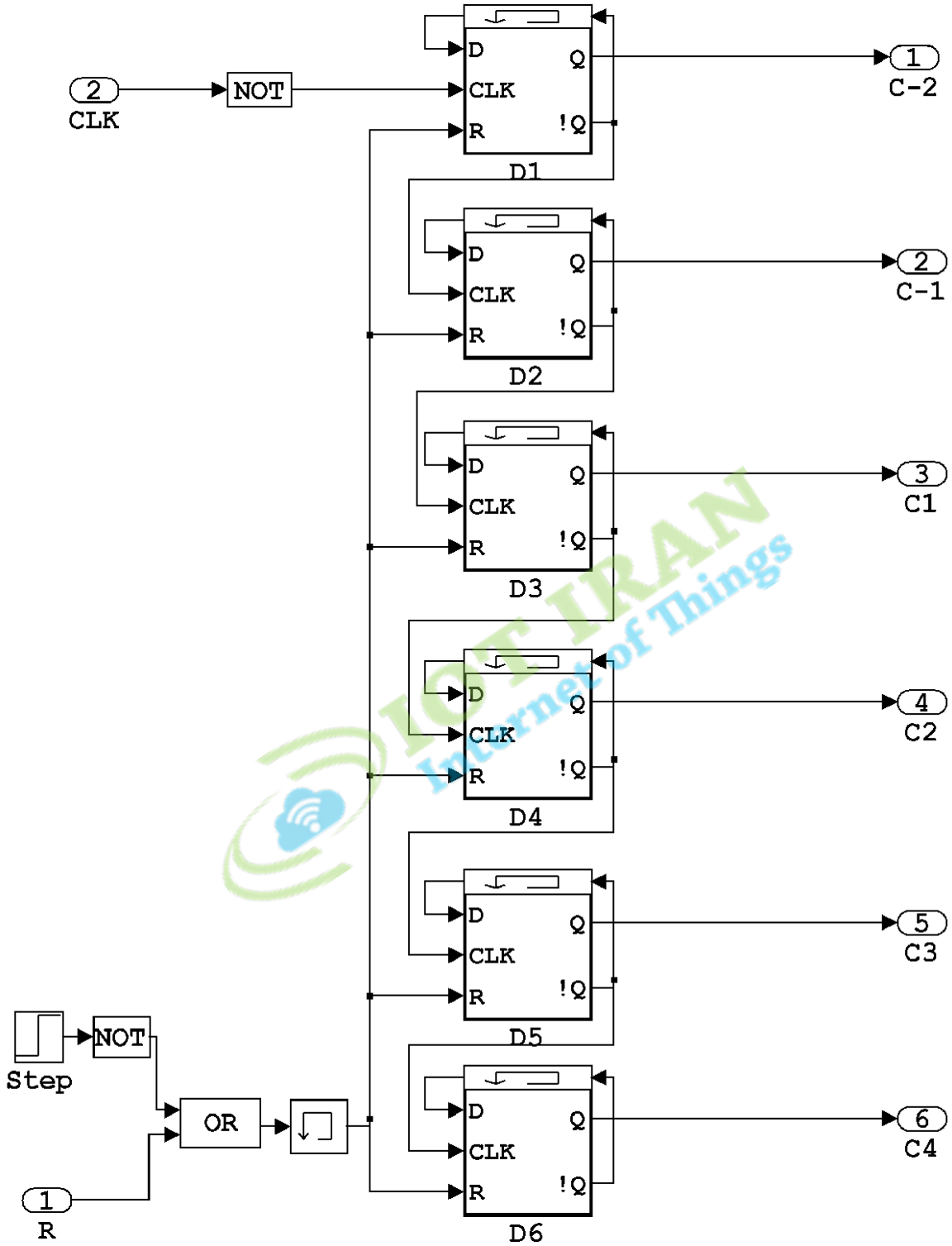
شکل ۱۰ مدار شبیه سازی یک فلیپ فلاپ D دارای CLK را با استفاده از گیت های NAND نشان می دهد. از فلیپ فلاپ D جهت شبیه سازی شمارنده ۶ بیتی دیجیتال استفاده شده است.



شکل ۱۰- مدار شبیه سازی فلیپ فلاپ D

- **شبیه سازی شمارنده دیجیتال ۶ بیتی**

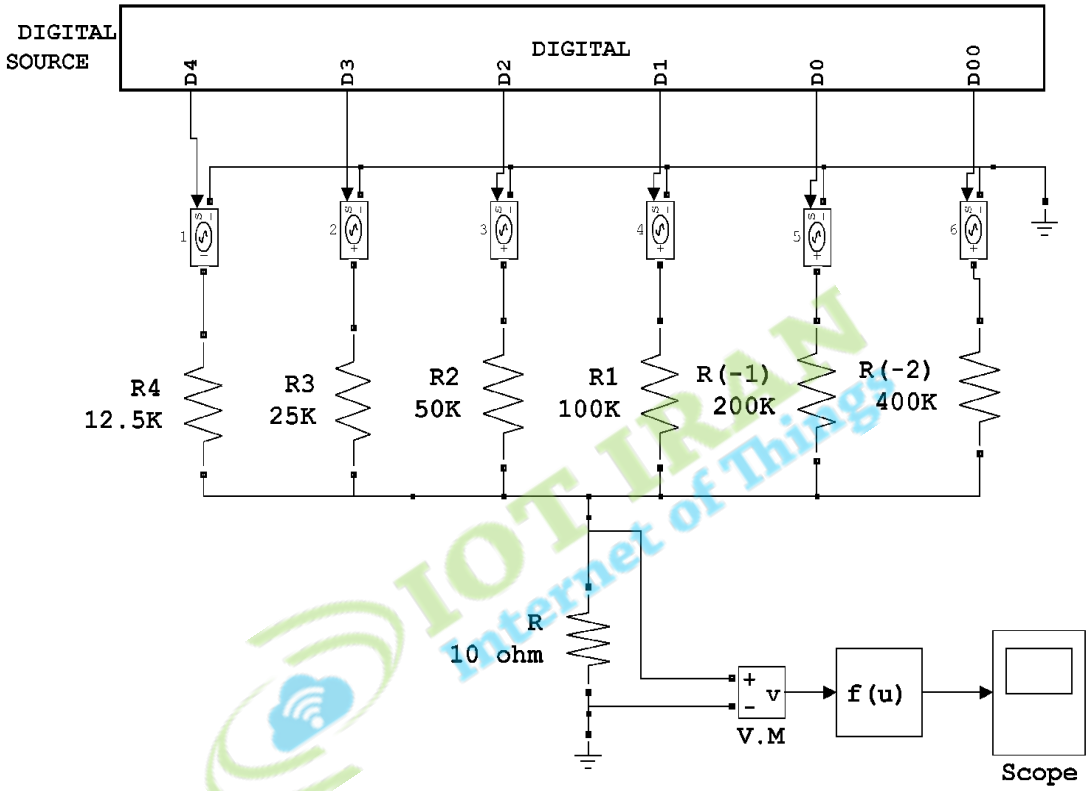
در مبدل های آنالوگ به دیجیتال نوع شیب از شمارنده ها استفاده می شود. مدار شبیه سازی شده یک نمونه شمارنده ۶بیتی با استفاده از ۶عدد فلیپ فلاپ نوع D در شکل ۱۱ نشان داده شده است.



شکل۱۱- دیاگرم شبیه سازی شمارنده دیجیتال ۶ بیتی

- **شبیه سازی مبدل دیجیتال به آنالوگ**

یکی از اجزای مبدل های آنالوگ به دیجیتال، مبدل دیجیتال به آنالوگ می باشد. در شکل ۴-۳ مدار یک مبدل آنالوگ به دیجیتال ۶بیتی که در MATLAB رسم شده است، نشان داده شده است. باارزش ترین داده دیجیتال به صورت ولتاژ به مقاومتR4 و کم ارزش ترین داده به مقاومت(R(-2 داده شده است. مدار زیر دارای ۲ ورودی دیجیتال برای قسمت اعشاری عدد، و۴ ورودی برای قسمت صحیح عدد می باشد. مقدار ولتاژ آنالوگ خروجی از جمع ولتاژ دو سر مقاومت ها به دست می آید.

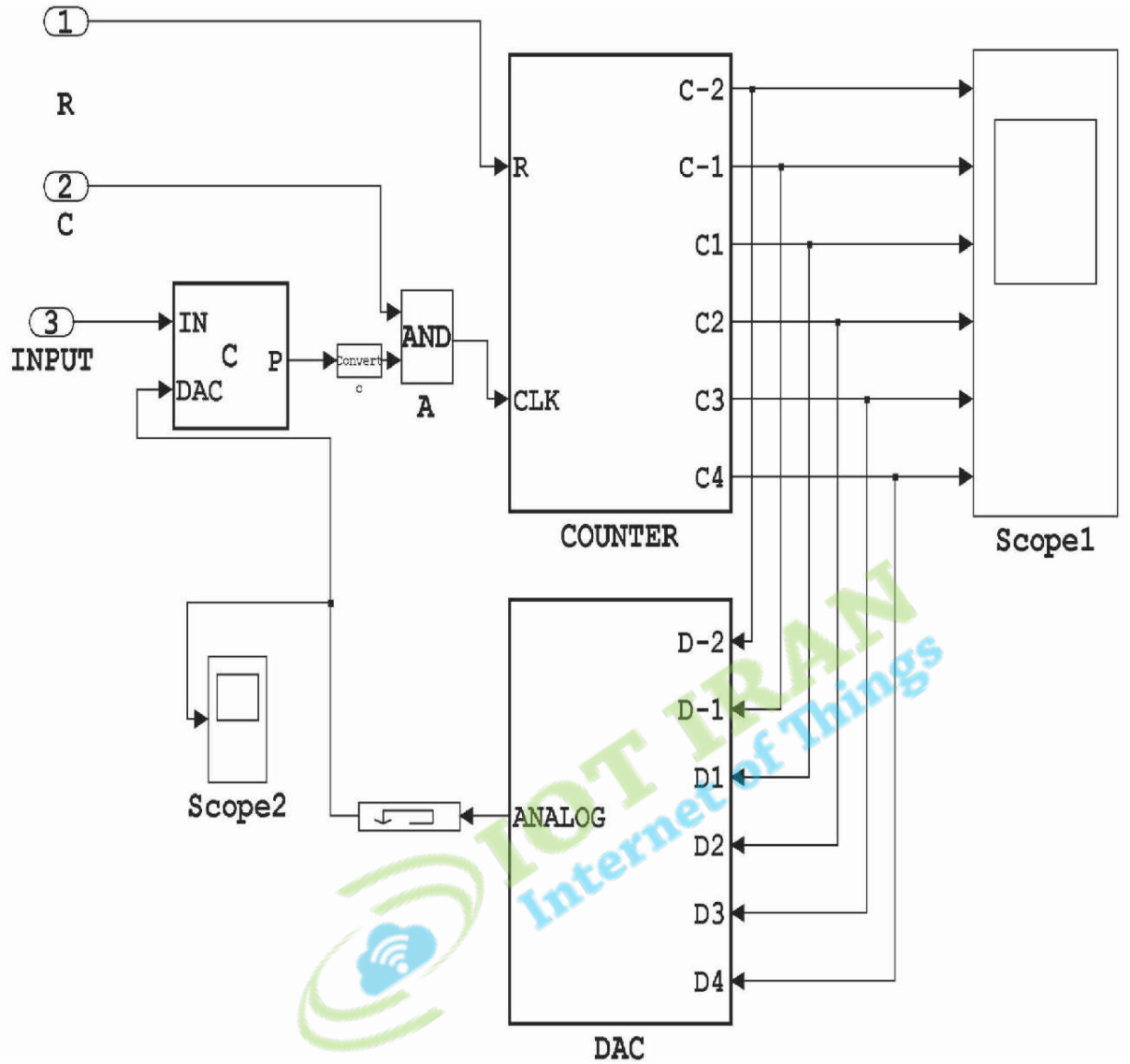


شکل۱۲- دیاگرام شبیه سازی مبدل دیجیتال به آنالوگ

- **شبیه سازی مبدل آنالوگ به دیجیتال**

مدار شبیه سازی شده یک مبدل آنالوگ به دیجیتال شیب تک قطبی شش بیتی در شکل۴-۴ نشان داده شده است که در مدار آن از اجزای زیر استفاده شده است:

۱- مبدل دیجیتال به آنالوگ ۶ بیتی
۲- شمارنده دیجیتال ۶ بیتی مبتنی بر فلیپ فلاپ های نوع D
۳- مقایسه کننده
۴- گیت AND
۵- عناصر حافظه



شکل۱۳- دیاگرام شبیه سازی مبدل آنالوگ به دیجیتال

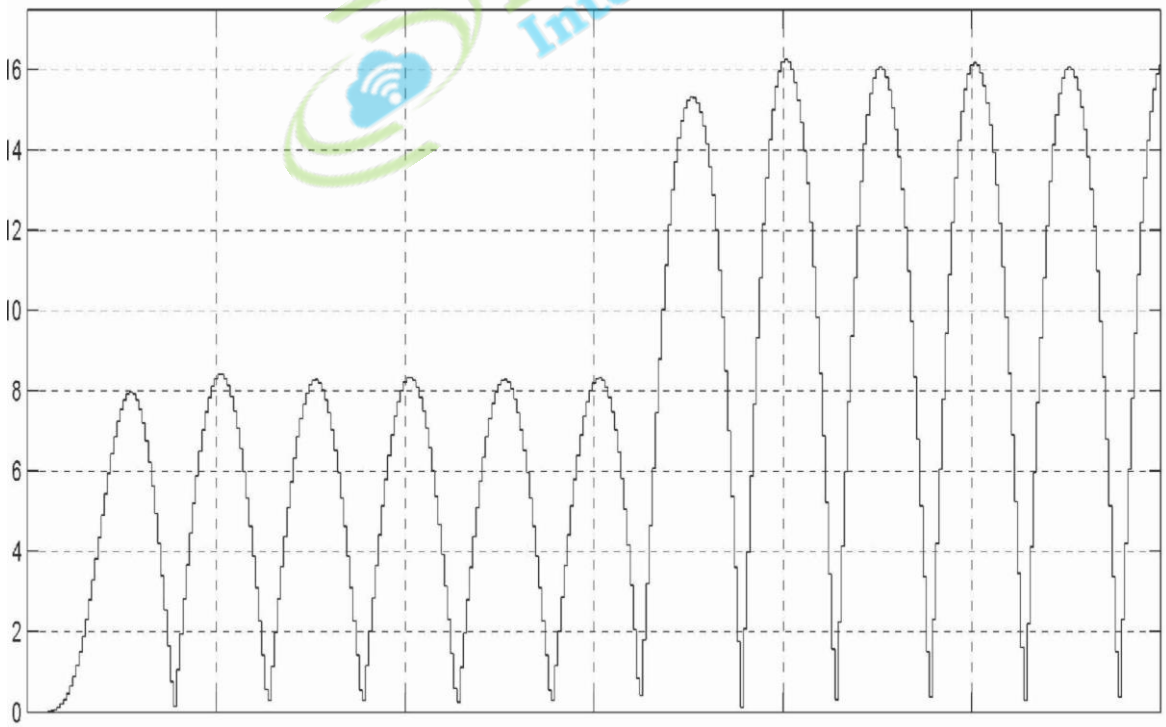
ورودی آنالوگ این نوع مبدل بایستی به صورت یکسو شده باشد، لذا لازم است سیگنالهای ورودی، قبل از اعمال به آن یکسو شده و عمل نمونه برداری روی آن انجام شود. دقت تفکیک این مبدل حدود ۰/۱ ولت است.

ارائه و بررسی نتایج شبیه سازی

در این قسمت فرض می شود که سیگنال رسیده به مبدل آنالوگ به دیجیتال طبق شکل زیر باشد.سیگنال فوق دارای دو قسمت است. قسمت اول که در بازه زمانی(0.06 - 0) قرار دارد به صورت یک سیگنال سینوسی با دامنه کم است، و قسمت دوم که در بازه زمانی(0.12 – 0.06) قرار دارد،دارای دامنه بزرگتری است. این سیگنال به مبدل آنالوگ به دیجیتال اعمال شده تا عملکرد آن بررسی شود.

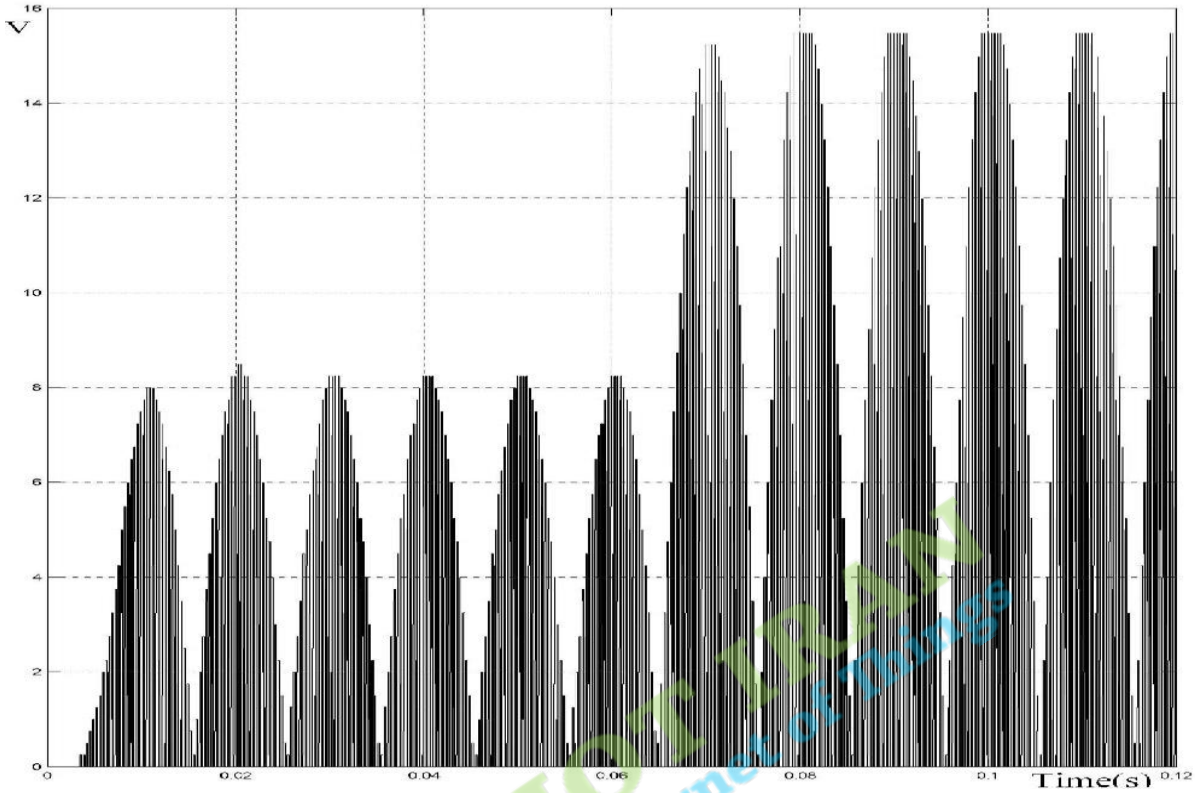
شکل ۱۴- سیگنال اعمالی به مبدل آنالوگ به دیجیتال

این سیگنال به مبدل آنالوگ به دیجیتال اعمال شده است. شکل زیر نشانگر تغییرات این سیگنال پس از گذر از ، یکسوساز پل دیودی و تقویت کننده نمونه بردار و نگه دارنده است.

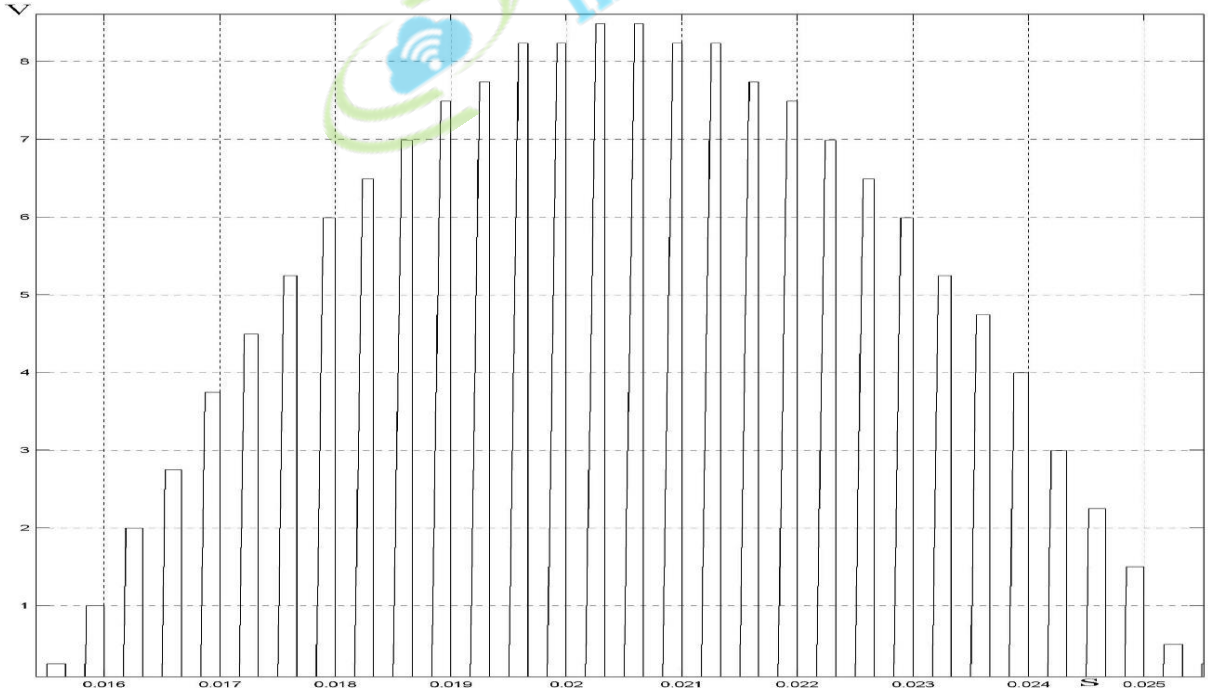


شکل۱۵- سیگنال اعمالی به مبدل آنالوگ به دیجیتال پس از عبور از یکسوساز

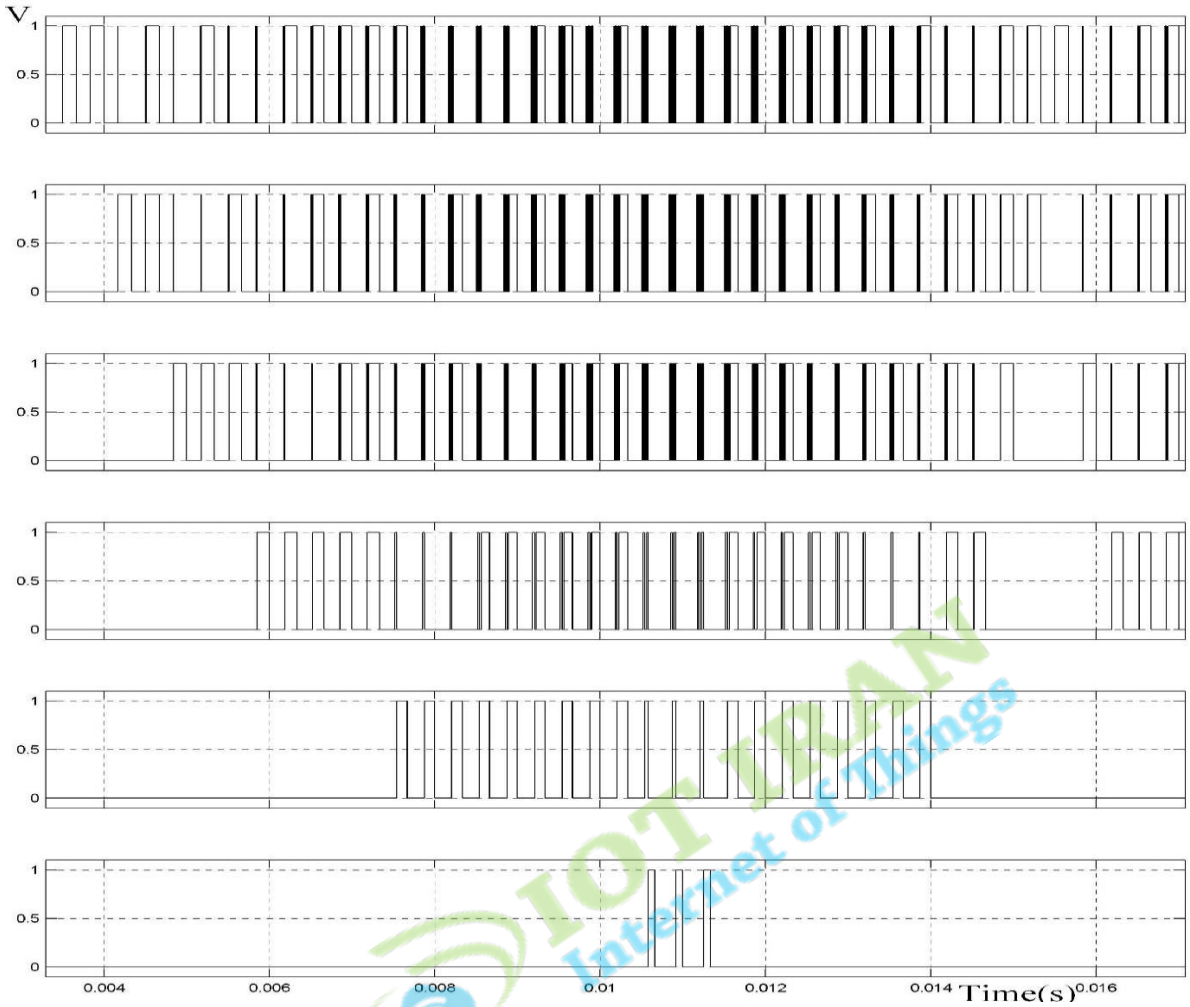
به ازای اعمال این سیگنال ، خروجی مبدل دیجیتال به آنالوگ در بازه های زمانی (0.12 - 0) و (0.015 – 0.025) وهمچنین خروجی مبدل آنالوگ به دیجیتال، به ترتیب در شکلهای، زیر نشان داده شده است.



شکل۱۶-خروجی مبدل دیجیتال به آنالوگ در بازه زمانی (0.12 - 0)



شکل۱۷- خروجی مبدل دیجیتال به آنالوگ در بازه زمانی (0.015 – 0.025) جهت دید بهتر



شکل۱۸- خروجی مبدل آنالوگ به دیجیتال

IOT IRAN
Internet of Things

نتیجه گیری:

همانگونه که عنوان شد اینترنت اشیا ادغام دنیای فیزیکی با دیجیتال است. در این فناوری، وسایل معمولی جهت به دست آوردن یک هویت آنلاین منحصر به فرد و کسب توانایی تعامل با محیط خارجی، با تکنولوژی دیجیتال عجین می‌شوند. از طرفی یکی از مهمترین بخش های اینترنت اشیاء این است که اطلاعات مربوط به ادوات، تجهیزات و در حالت کلی ماشین ها توسط سنسورهایی جمع آوری شده و برای بررسی به بخش پردازنده ارسال گردد. به این ترتیب سنسورها نیز نقشی کلیدی در این فناوری نوین بازی خواهند کرد. با توجه به اینکه دقت اندازه گیری های سنسورها بسیار حائز اهمیت است به همین دلیل استفاده از اندازه گیرهای مناسب و به تبع آن استفاده از مبدلهای سیگنال مناسب نیز به خودی خود مهم می شود. با توجه به اینکه امروزه سیستم ها به سمت یکپارچه و مجتمع شدن پیش می روند و از طرفی تمامی پردازش ها به صورت دیجیتال اجام می شود، استفاده از مبدلهای سیگنال آنالوگ به دیجیتال نیز از اهمیت ویژه ای برخوردار می شود. به همین دلیل در این مقاله به بررسی ماهیت و چیستی دسته مهمی از این نوع مبدلهای به نام سیگما-دلتا پرداخته شده و ایده به کارگیری آنها در سنسورهای مربوط به اینترنت اشیاء مطرح شده است. همچنین در انتها نیز طراحی و شبیه سازی یک نمونه مبدل سیگنال آنالوگ به دیجیتال در نرم افزار Matlab با جزئیات کامل ارائه شده است. نتایج شبیه سازی نیز با توضیحات مربوطه ارائه شده اند.

مراجع

[1] J. Starzyk, J. Pang, "Fault Diagnosis in Analog and Mixed Mode Low Testability System", 4th WorldMulti-Conference on Systems, Cybernetics and Informatics (SCI2000), Florida, 2000, pp. 452-460

[2] Fujimori, I., Koyama, K., Trager, D., Tam, F., and Longo, L. (1997). “A 5-V Single-Chip Delta-Sigma Audio A/D Converter with 111 dB Dynamic Range,” IEEE J. Solid-State Cicuits,
Vol. 32, No. 3, pp. 329-336.

[3] Leung, K. Y., Swanson, E. J., Leung, K., and Zhu, S. S., (1997). “A 5-V, 118dB Delta-Sigma Analog-to-Digital Converter for Wideband Digital Audio,” in ISSCC Dig. Tech. Papers, pp. 218-219.

[4] Williams, L. A., and Wooley, B. A., (1994). “A Third-order Sigma-Delta Modulator with Extended Dynamic Range,” IEEE J. Solid-State Circuits, Vol. 29, No. 3, pp.193-202.

[5] Fogleman, F., Welz, J., and Galton, I., (2001). “An Audio ADC Delta-Sigma Modulator with 100-dB Peak SINAD and 102-dB DR Using a Second-Order Mismatch-Saping DAC,” IEEE J. Solid-State Circuits, Vol. 36, No. 3, pp. 339-348.

[6] Rabii, Sh., and Wooley, B. A., (1997). “A 1.8-V Digital-Audio Sigma-Delta Modulator in 0.8-µm CMOS,” IEEE J. Solid-State Circuits, Vol. 32, No. 6.

[7] Sarhang-Nejad, M., and Temes, G. C., (1993). “A High-Resolution Multibit Sigma-Delta ADC with Relaxed Amplifier Requirements,” IEEE J. Solid-State Circuits, Vol. 28, No. 6, pp. 648-660.

[8] Dessouky, M., and Kaiser, A., (2001). “Very Low-Voltage Digital-Audio Delta-Sigma Modulator with 88-dB Dynamic Range Using Local Switch Bootstrapping,” IEEE J. Solid-State Circuits, Vol. 36, No. 3, pp. 349-355.

[9] Ferguson, P., Ganesan, J. A., Adams, R., Vincelette, S., Libert, R., and Vlope, A., (1991). “An 18-b 20 KHz Dual Sigma-Delta A/D Converter,” in ISSCC Dig. Tech. Papers, pp. 68- 69.

[10] Zwan, E. J., (1997). “A 2.3mW CMOS Sigma-Delta Modulator for Audio Applications,” in ISSCC Dig. Tech. Papers, pp. 220-221.

[11] Marques, A., Peluso, V., Steyaert, M. S., and Sansen, W. M., (1998). “Optimal Parameters for Delta-Sigma Modulator Topologies,” IEEE Trans. Circuits Syst. II, Vol. 45, No. 9, pp. 1232-1241.

[12] Fujimori, I. et al, (2000). “A 90-dB SNR 2.5-MHz Output Rate ADC Using Cascaded Multibit Delta-Sigma Modulation at 8× Oversampling Ratio,” IEEE J. Solid-State Circuits, Vol. 35,No. 12, pp. 1820-1828.

[13] Geerts, Y., Steyaert, M. S., and Sansen, W. M., (2000). “A High-Performance Multibit Delta-Sigma CMOS ADC,” IEEE J. Solid-State Circuits, Vol. 35, No. 12, pp. 1829-1840.

[15] Geerts, Y., Marques, A., Steyaert, M. S., and Sansen, W. M., (1999). “A 3.3-V, 15-bit, Delta- Sigma ADC with a Signal Bandwidth of 1.1 MHz for ADSL Applications,” IEEE J. Solid-State Circuits, Vol. 34, No. 7, pp. 927-936.

[16] Brigati, S. et al, (1999). “Modeling Sigma-Delta Modulator Non-idealities in SIMULINK,” in Proc. IEEE Int. Symp. Circuits and Systems, pp. 384-387.

[17] Bult, K., and Geelen, G., (1990). “A Fast-Settling CMOS Op Amp for SC Circuits with 90-dB DC Gain,” IEEE J. Solid-State Circuits, Vol. 25, No.6, pp. 1379-1384.

[18] Lioyd, J., and Lee, H. S., (1994). "A CMOS OpAmp with Fully-Differential Gain-Enhancement," IEEE Trans. Circuits and Systs II, Vol. 41, No. 3, pp. 241-243.
[19] Gulati, K., and Lee, H. S., (1998). "A High-Swing CMOS Telescopic Operational Amplifer," IEEE J. Solid-State Circuits, Vol. 33, No. 12, pp. 2010-2019.
[20] Palmisano, G. et al, (2000). "CMOS Output Stages for Low-Voltage Power Supplies," IEEE Trans. Circuits Systs II, Vol. 47, No. 2, pp. 96-104.

IOT IRAN
Internet of Things