

روش جدید تحلیل سنسورهای تصویر جهت تولید و ارزیابی تصویر

مسعود تیموری رضا غلامی

۱- استادیار- دانشکده مهندسی برق- دانشگاه صنعتی ارومیه- ارومیه- ایران

m.teymouri@uut.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی - دانشکده مهندسی برق- دانشگاه صنعتی ارومیه- ارومیه- ایران

چکیده: در این مقاله یک روش جدید برای ارزیابی سنسورهای تصویر CMOS برپایه مدلسازی و تحلیل کامپیوتری معرفی شده است. سنسورهای تصویر از قسمتهای مختلفی تشکیل شده‌اند که هرکدام تاثیر خاصی بر روی کیفیت تصویر دارد. مدارات سنسورهای تصویر را می‌توان با استفاده از سیمولاتورهای مدار و یا به صورت تئوری ارزیابی و تحلیل نمود اما با این روش‌ها نمی‌توان تصویر نهایی را تولید کرد. برای تولید تصویر و ارزیابی آن نیاز است که تراشه سنسور تصویر ساخته شده و تصویر تولید شده توسط تراشه، به صورت عملی در آزمایشگاه تست گردد. با استفاده از روش پیشنهادی می‌توان هر بلوکی از سنسور را مدلسازی کرده و بدون ساخت تراشه، تاثیر آن بلوک را بر روی تصویر مورد بررسی قرار داد. در این مقاله با استفاده از روش پیشنهادی تاثیر مدار خواندن پیکسل از نوع سورس-فالوور بر روی تصویر نهایی بررسی شده است. نتایج شبیه سازی نشان داد که این مدار با تضعیف ۲۰٪ و تاثیر غیر-خطییت ۱/۱۵٪ بر روی سیگنال پیکسل، می‌تواند تصویر تولیدی را دچار خطای قابل ملاحظه‌ای نماید. مدارات مربوطه با استفاده از تکنولوژی CMOS 0.18µm طراحی و توسط نرم افزار CADENCE با سیمولاتور SPECTRE شبیه سازی شده و از نرم افزار MATLAB نیز برای مدلسازی استفاده شده است.

واژه‌های کلیدی: سنسور تصویر CMOS، مدار خواندن پیکسل، مدار سورس-فالوور، خطییت، کیفیت تصویر.

نوع مقاله: پژوهشی

DOI: 10.52547/jiaeee.20.1.23

تاریخ ارسال مقاله : ۱۴۰۰/۱۲/۱۸

تاریخ پذیرش مشروط مقاله: ۱۴۰۱/۰۶/۰۶

تاریخ پذیرش مقاله : ۱۴۰۱/۰۷/۱۶

نام نویسنده‌ی مسئول : مسعود تیموری

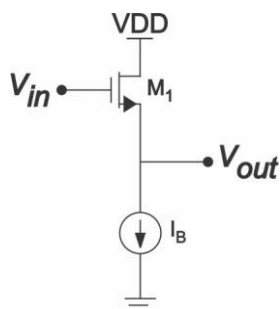
نشانی نویسنده‌ی مسئول : ایران - ارومیه - کیلومتر دوم جاده بند - دانشگاه صنعتی ارومیه - دانشکده برق

۱- مقدمه

در این مقاله روش جدیدی معرفی شده است که بدون ساخت تراشه سنسور، بتوان تصویر سنسور طراحی شده را تولید نمود و تاثیر هر بلوک از سنسور تصویر را بر روی کیفیت تصویر نهایی مورد بررسی و ارزیابی قرار داد. بخش های مقاله به اینصورت می باشد که در بخش ۲ اصول سنسورهای تصویر CMOS و بلوک های سازنده آن توضیح داده شده است. در بخش ۳ بصورت مفصل مدار خواندن سیگنال پیکسل توضیح داده شده و در بخش ۴ مدار خواندن پیکسل از نوع سورس-فالور مدلسازی شده است. در آخرین بخش نیز نتایج شبیه سازی ارائه گردیده است.

۲- سنسور تصویر CMOS

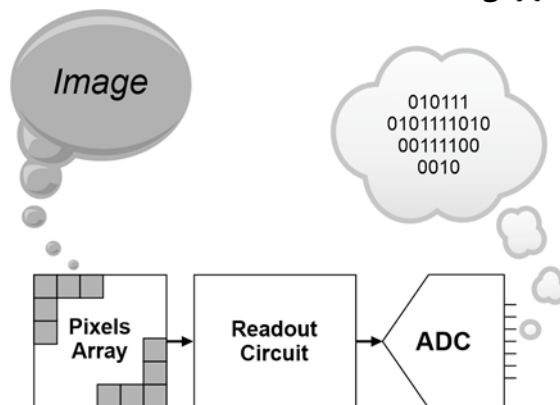
همانطور که اشاره شد سنسورهای تصویر CMOS حداقل از سه بلوک اصلی: پیکسل، مدار خواندن پیکسل و مبدل آنالوگ به دیجیتال تشکیل می شوند. وظیفه پیکسل تبدیل شدت روشنایی نقاط مختلف تصویر اپتیکال به سیگنالهای الکتریکی می باشد. یک پیکسل در حالت کلی از یک آشکارساز نوری^{۱۱} و یک تقویت کننده تشکیل می شود که وظیفه آشکارساز، تبدیل شدت روشنایی نور به بار الکتریکی و وظیفه تقویت کننده، تبدیل این بار به یک سیگنال الکتریکی از نوع جریان و یا ولتاژ می باشد. انواع مختلفی آشکارساز نوری از قبیل فوتوگیت^{۱۲}، فوتودیود^{۱۳} و پین فوتودیود^{۱۴} را می توان در پیکسل ها استفاده نمود که امروزه نوع پین فوتودیود به دلیل نویز و جریان نشتی پایین بیشتر استفاده می شود [۱۱-۱۴]. به مدار تقویت کننده پیکسل که کمک می کند سیگنال آشکارساز را به خارج از آرایه پیکسل انتقال نمود اصطلاحاً مدار خواندن پیکسل^{۱۵} گفته می شود. اکثراً از مدار سورس-فالور^{۱۶} (شکل ۲) به عنوان مدار خواندن پیکسل در سنسورهای تصویر استفاده می شود. دلیل محبوبیت این مدار این است که تعداد ترانزیستور کمتری داشته و توان الکتریکی پایینی را نیز مصرف می کند [۱۵-۱۶].



شکل (۲): مدار سورس-فالور

همانطور که اشاره شد می توان از ساختارهای مختلفی برای مبدل داده جهت تبدیل سیگنالهای خروجی مدار خواندن به دیجیتال استفاده نمود که در این میان ساختار تک-شیب هم به دلیل فضای اشغالی و توان مصرفی پایین و هم به دلیل امکان پیاده سازی بصورت ستون-موازی^{۱۷} بسیار زیاد استفاده می شود [۱۷-۱۹].

سنسورهای تصویر^۱ CMOS مداراتی هستند که می توانند شدت روشنایی نقاط مختلف یک تصویر اپتیکال را به سیگنالهای الکتریکی تبدیل نمایند. برای ایجاد یک تصویر واضح بر روی سنسور تصویر از قطعات اپتیکی استفاده می شود که به مجموع سنسور تصویر و این قطعات اپتیکی اصطلاحاً دوربین دیجیتال گفته می شود. سنسورهای تصویر از قسمت های مختلفی تشکیل می شوند که مهمترین آنها عبارت است از ۱- آرایه پیکسل^۲ که شامل تعداد زیادی پیکسل در سطرها و ستون های مختلف، ۲- مدار خواندن پیکسل^۳ که برای استخراج سیگنال پیکسل ها به خارج از آرایه مورد استفاده قرار می گیرند ۳- مبدل های داده^۴ که برای تبدیل سیگنال آنالوگ پیکسل ها به دیجیتال استفاده می شوند. شکل ۱ زنجیره عکس برداری در یک دوربین دیجیتال را نشان می دهد. همانطور که دیده می شود ورودی آن تصویر اپتیکال و خروجی آن یک ماتریس حاوی اطلاعات دیجیتال تصویر می باشد [۱].



شکل (۱): زنجیره عکسبرداری در دوربین های دیجیتال

همانطور که اشاره شد پیکسل، مدار خواندن پیکسل و مبدل داده سه بخش مهم سنسورهای تصویر می باشند. در سال های اخیر مطالعات و تحقیقات زیادی جهت بهبود کارایی این بلوک ها انجام شده است که عمده چالش در پیکسل، ساخت آشکارساز نوری با حساسیت^۵، خطییت^۶، رنج دینامیکی^۷ و پاسخ طیفی^۸ بالا بوده است [۲-۴]. در سال های اخیر نیز پیکسل های چند لایه معرفی شده است که در آنها آشکارسازهای نوری بر روی بستر^۹ و مدارات مربوطه در سمت دیگر آن پیاده سازی می شوند [۵]. همچنین در مدارات خواندن پیکسل خطییت، سرعت، دقت خواندن سیگنال پیکسل و توان مصرفی از اهمیت ویژه ای برخوردار است [۶-۸]. از طرفی دیگر فضای اشغالی، سرعت تبدیل، دقت و توان مصرفی نیز یکی از چالش های اصلی در طراحی مبدل های داده برای سنسورهای تصویر می باشد. ساختارهای مختلفی از مبدل ها در سنسورهای تصویر استفاده شده است اما به دلیل صرفه جویی در فضای اشغالی و توان مصرفی، اکثراً از ساختار تک-شیب^{۱۰} استفاده می شود [۹-۱۰].

رایج نمی‌توان تاثیر یک بلوک خاص از سنسور را بر روی کیفیت تصویر نهایی مورد بررسی قرار داد. این در حالی است که بررسی تاثیر هر مدار در کیفیت تصویر می‌تواند کمک بسزایی در طراحی سنسور داشته باشد.

۳- مدار خواندن پیکسل

همانطور که قبلاً اشاره شد از مدار سورس-فالور به عنوان مدار خواندن پیکسل بطور فراوان در سنسورهای تصویر استفاده می‌شود. لذا تحلیل دقیق مداری و بررسی تاثیر آن بر روی تصویر تولیدی می‌تواند کمک زیادی در طراحی سنسورهای تصویر داشته باشد.

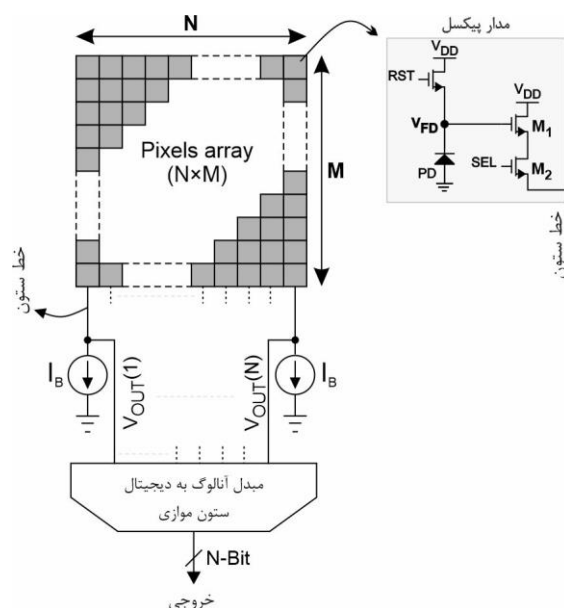
۳-۱- تحلیل مداری

برای ارزیابی مدار سورس-فالور، یک پیکسل متصل به منبع جریان همانند شکل ۴ مورد بررسی قرار گرفت. در این مدار ترانزیستور M_1 ترانزیستور تقویت و M_2 ترانزیستور انتخاب می‌باشد که در داخل پیکسل قرار دارند و ترانزیستورهای M_{B1} و M_{B2} یک منبع جریان آینه‌ای I_B را تشکیل می‌دهند که در خارج از آرایه ساخته می‌شوند. از R_p به عنوان مقاومت معادل خط ستونی آرایه استفاده شده است.

واضح است ترانزیستورهای M_1 و M_{B2} در شرایطی که ترانزیستور انتخاب M_2 روشن می‌باشد تشکیل مدار سورس-فالور را می‌دهد که در اینجا V_{FD} (ولتاژ دو سر آشکارساز) ولتاژ ورودی مدار و V_{OUT} ولتاژ خروجی می‌باشد. مشخصات ترانزیستورهای مدار در جدول ۱ نشان داده شده است. برای بدست آوردن رابطه خروجی-ورودی مدار، نیاز است مشخصه انتقالی و یا همان تابع انتقالی^{۲۰} بدست آید که این کار با استفاده از تحلیل DC امکان پذیر می‌باشد. لذا با تحلیل DC مدار شکل ۴، مشخصه انتقالی مدار سورس-فالور بصورت عددی محاسبه شده که منحنی آن در شکل ۵ نشان داده شده است. در این شکل، یک خط مماس نیز بر منحنی رسم شده است تا بتوان وضعیت خطی بودن منحنی را بهتر مشاهده نمود. همانطور که دیده می‌شود برای بخشی از منحنی (رنج ولتاژ $0/6$ الی $1/6$ ولت)، مدار سورس-فالور رفتار تقریباً خطی داشته و مشخصه انتقالی، نزدیک به خط مماس می‌باشد.

این ناحیه کار نه تنها برای مدار سورس-فالور بلکه برای کارکرد فوتودیود نیز مناسب می‌باشد و اکثراً پیکسل‌های استاندارد 4T-APS در این ناحیه کاری، راه اندازی می‌شوند. بنابراین در این مقاله نیز همین ناحیه به عنوان ناحیه کار آشکارساز و مدار خواندن پیکسل استفاده شده است.

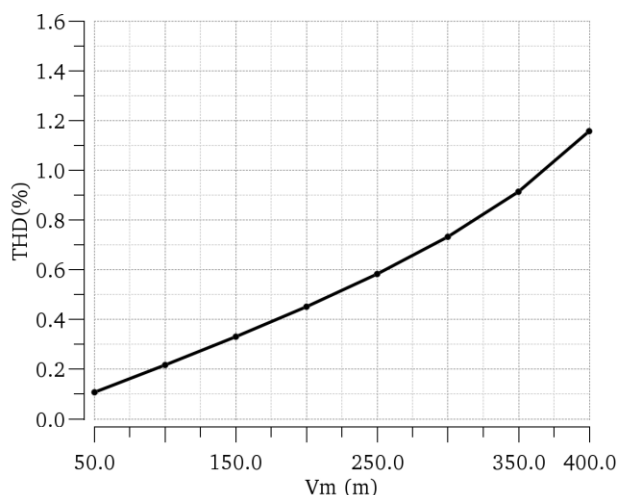
در شکل ۳ بلوک دیاگرام کلی یک سنسور تصویر با مدار خواندن سورس-فالور نشان داده شده است. برای کاهش تعداد ترانزیستورهای داخل پیکسل و همچنین ارسال سیگنال آشکارساز به صورت جریانی به خارج از آرایه، منبع جریان I_B در خارج از آرایه و در زیر هر ستون جاگذاری شده است لذا این منبع جریان به صورت مشترک می‌تواند مورد استفاده برای تمامی پیکسل‌های آن ستون قرار گیرد. همچنین برای اتصال هر پیکسل به این منبع جریان یک ترانزیستور به نام ترانزیستور انتخاب پیکسل (M_2) با اندازه حداقلی در داخل هر پیکسل قرار داده می‌شود که با روشن شدن آن فقط پیکسل مربوطه به منبع جریان ستونی I_B متصل می‌گردد و امکان خواندن سیگنال آشکارساز آن پیکسل را فراهم می‌نماید [۲۰].



شکل (۳): بلوک دیاگرام کلی سنسور تصویر رایج

همانطور که گفته شد از مدار سورس-فالور به دلیل تعداد ترانزیستورهای کم و در نتیجه فضای سیلیکونی حداقلی و همچنین توان مصرفی پایین، بسیار زیاد در طراحی سنسورهای تصویر استفاده می‌شود اما این مدار دارای معایبی هم چون رفتار غیر خطی و بهره ولتاژ کمتر از واحد می‌باشد که باعث می‌شود سیگنال آشکارساز به صورت غیر خطی و با تضعیف خوانده شود که این می‌تواند تاثیر مخربی بر روی کیفیت تصویر ایجاد کند [۲۱-۲۲].

در طراحی سنسورهای تصویر هر کدام از مدارات و بلوک‌های سازنده توسط شبیه‌سازهای^{۱۸} مدار مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد که این تست‌ها غالباً بر پایه تست‌های رایج مدار از قبیل تحلیل زمانی، فرکانسی، نویز و غیره می‌باشد. اما اینکه این مدارات چه تاثیری بر روی تصویر تولیدی توسط سنسور طراحی شده خواهد داشت قابل بررسی توسط سیمولاتورهای مدار نیست و باید با صرف هزینه زیاد، تراشه مربوطه ساخته شده و تصویر تولید گردد تا از روی تصویر واقعی، کارایی سنسور مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد. با استفاده از روش‌های



شکل (۶): نتایج تحلیل THD مدار سورس-فالوور

جدول (۲): نتایج تحلیل مدار سورس-فالوور

پارامترها	مقدار
SINAD	38.7 dB
SNR	61.1 dB
SFDR	39.4 dB
THD	1.15%
Power	16.7 mW

۳-۲- مدلسازی ریاضی

همانطور که از تحلیل DC در شکل ۵ دیده شد خطی‌ترین ناحیه کار مدار، رنج ولتاژ ۰/۶ الی ۱/۶ ولت می‌باشد. با استفاده از روش حداقل مربعات^{۲۱} می‌توان نزدیکترین خط مستقیم منطبق بر این منحنی در این ناحیه مورد نظر را به دست آورد [۲۳]. اگر معادله خط راست را به صورت زیر در نظر بگیریم:

$$V_{line} = mV_{FD} + b \quad (1)$$

که در اینجا ضریب m از رابطه ۲ و ضریب b از رابطه ۳ به دست می‌آید.

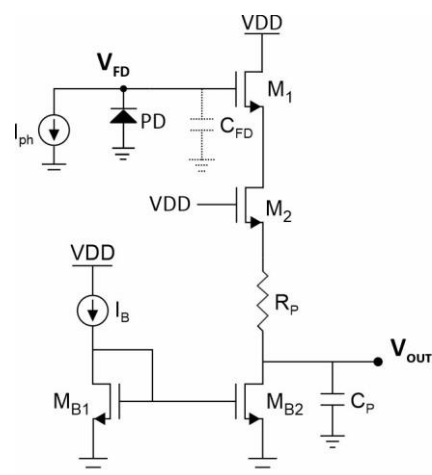
$$m = \frac{\sum_{i=1}^n (V_{FD}(i) - \overline{V_{FD}})(V_{out}(i) - \overline{V_{out}})}{\sum_{i=1}^n (V_{FD}(i) - \overline{V_{FD}})^2} \quad (2)$$

$$b = \overline{V_{out}} - m\overline{V_{FD}} \quad (3)$$

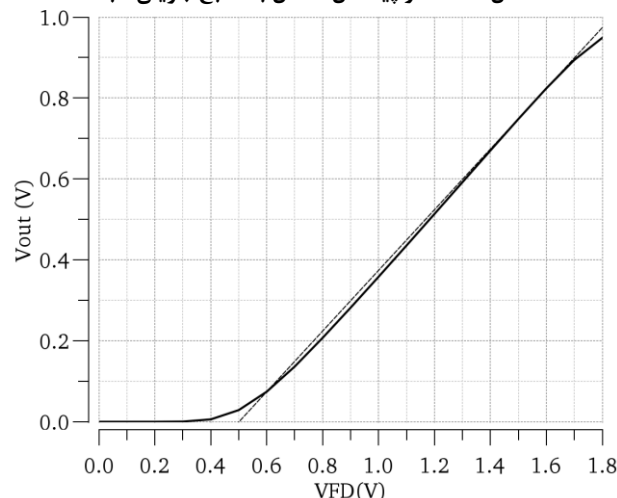
در معادلات فوق، $\overline{V_{FD}}$ عبارت است از مقدار میانگین داده‌های عددی مربوط به ولتاژ ورودی V_{FD} و $\overline{V_{out}}$ مقدار میانگین ولتاژ خروجی V_{out} می‌باشد. با محاسبه ضرایب مربوطه، رابطه حاکم بر ورودی-خروجی مدار سورس-فالوور به صورت معادله ۴ خواهد بود.

$$V_{line} = 0.7679V_{FD} - 0.4073 \quad (4)$$

این معادله به صورت خط چین (خط مماس) در شکل ۵ نشان داده شده است که با محاسبه اختلاف این خط راست با منحنی اصلی،



شکل (۴): مدار پیکسل متصل به منبع جریان ثابت



شکل (۵): مشخصه انتقالی مدار سورس-فالوور

جدول (۱): مشخصات ترانزیستورها

ترانزیستور	W/L(μm/μm)
M1	1/0.18
M2	1/0.18
MB1	0.22/0.18
MB2	0.22/0.18

از طرفی نتایج شبیه سازی THD توسط سیمولاتور که در شکل ۶ نشان داده شده است نشان می‌دهد با افزایش دامنه ولتاژ ورودی مدار سورس-فالوور میزان خطییت آن کاهش می‌یابد از آنجاییکه تغییرات ولتاژ دو سر فوتودیود سیگنال بزرگ می‌باشد بنابراین این مدار سیگنال فوتودیود را دچار اعوجاج خواهد کرد. تحلیل فرکانسی مدار مربوطه نیز نشان می‌دهد که بهره ولتاژ حدوداً ۰/۸ بوده که این حکایت از تضعیف ۲۰٪ سیگنال ورودی می‌باشد که این هم به نوبه خود تاثیر نامطلوبی بر سیگنال فوتودیود خواهد گذاشت. نتایج تحلیل مدار سورس-فالوور بصورت خلاصه در جدول ۲ نشان داده شده است.

$$V_{output} = \alpha_5 \cdot V_{FD}^5 + \alpha_4 \cdot V_{FD}^4 + \alpha_3 \cdot V_{FD}^3 + \alpha_2 \cdot V_{FD}^2 + \alpha_1 \cdot V_{FD}^1 + \alpha_0 \quad (5)$$

$$\alpha_0 = 0.3722, \alpha_1 = -2.546, \alpha_2 = 5.639$$

$$\alpha_3 = -4.824, \alpha_4 = 2.073, \alpha_5 = -0.3563$$

این معادله درجه ۵ با انحراف کمتر از یک درصد می‌تواند معادله حاکم بر ورودی-خروجی $V_{OUT}=F_{SF}(V_{FD})$ مدار سورس-فالور را برای رنج ولتاژ ۰/۶ تا ۱/۶ بیان نماید. از طرفی می‌دانیم یک تصویر اپتیکال با رزولوشن $M \times N$ را می‌توان با استفاده از یک ماتریس دو بعدی M سطر و N ستون بصورت زیر بیان نمود.

$$M_{OI} = \begin{bmatrix} D_{1 \times 1} & \dots & D_{1 \times N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ D_{M \times 1} & \dots & D_{M \times N} \end{bmatrix} \quad (6)$$

هر درآیه از ماتریس نشانگر میزان روشنایی آن نقطه از تصویر می‌باشد که برای تاریکی کامل صفر و برای روشنایی کامل مقدار ماکزیمم می‌باشد. اگر داده‌ها ۸ بیتی باشند مقدار ماکزیمم هر درآیه برابر با $2^8=256$ خواهد بود. با ایده‌آل در نظر گرفتن تمامی بلوک‌های دیگر سنسور تصویر می‌توان ماتریس تصویر ورودی را به عنوان ورودی به معادله حاکم بر مدار (معادله ۵) اعمال کرده و ماتریس خروجی که حاوی اطلاعات تصویر تولیدی است را به دست آورد. همانطور که اشاره شد ماتریس‌ها حاوی اطلاعات تصویر بوده و مقادیر درآیه‌ها در یک سیستم ۸ بیتی از عدد ۰ تا ۲۵۵ می‌باشد در حالیکه معادله حاکم بر ورودی-خروجی مدار به صورت مقادیر ولتاژ می‌باشد لذا نیاز است قبل از اعمال ماتریس تصویر ورودی به معادله حاکم یک نگاشت بین عدد ۰ الی ۲۵۵ به ولتاژ ۰/۶ الی ۱/۶ ولت صورت پذیرد. معادله نگاشت ماتریس ورودی به ولتاژ به صورت زیر می‌باشد

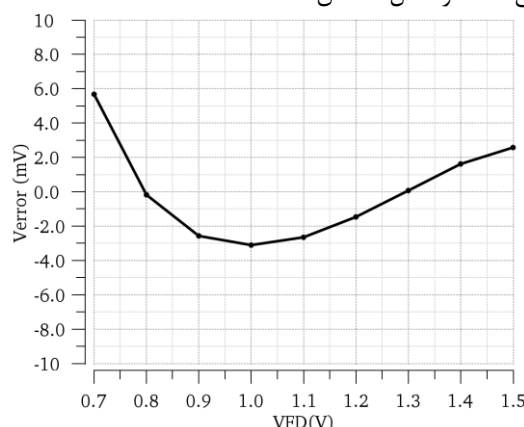
$$V_{FD}(i, j) = 0.6 + 0.0039 \times M_{OI}(i, j) \quad (7)$$

و همچنین برای تبدیل ولتاژ خروجی رابطه حاکم نیز باید یک نگاشت از ولتاژ به مقادیر ۰ الی ۲۵۵ صورت پذیرد تا ماتریس تصویر نهایی تولید گردد که معادله نگاشت مربوطه بصورت زیر می‌باشد.

$$M_{GI}(i, j) = 311 \times V_{output}(i, j) - 0.0706 \quad (8)$$

در روابط بالا اندیس‌های i و j برترتیب شماره سطر و ستون ماتریس‌ها می‌باشند. با این توضیحات بلوک دیاگرام کلی روش پیشنهادی در شکل ۸ نشان داده شده است که در آن M_{OI} ماتریس ورودی حاوی اطلاعات تصویر اعمالی، F_{ICV} تابع نگاشت مقادیر روشنایی به ولتاژ معادل، F_{SF} معادله حاکم بر ورودی-خروجی مدار سورس-فالور، F_{VCI} تابع نگاشت از ولتاژ به روشنایی و در نهایت M_{GI} ماتریس خروجی حاوی اطلاعات تصویر تولیدی می‌باشد.

می‌توان میزان غیر خطی بودن مدار سورس-فالور را محاسبه نمود که منحنی خطا در شکل ۷ نشان داده شده است.



شکل (۷): منحنی خطای بین مشخصه انتقالی با خط راست

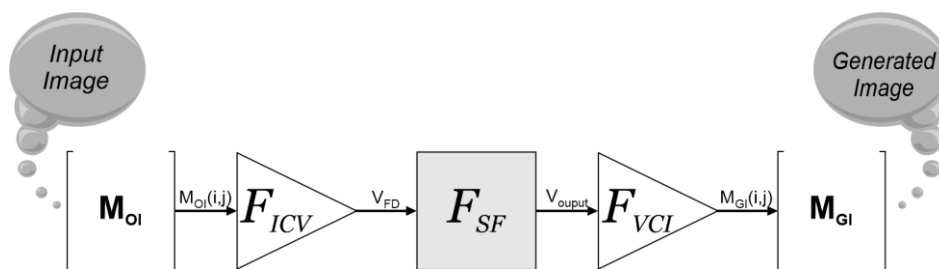
نتایج شبیه سازی THD در شکل ۶ و منحنی خطا در شکل ۷ به وضوح نشان می‌دهد که مدار رایج و محبوب سورس-فالور می‌تواند به راحتی سیگنال آشکارساز را دچار خطا و اعوجاج نماید. لذا مدارات مختلفی بعنوان جایگزین این مدار جهت افزایش دقت خواندن سیگنال آشکارساز در کارهای مختلف ارائه شده است [۲۴-۲۷].

۴- روش تحلیل پیشنهادی

در روش پیشنهادی بدون نیاز به ساخت تراشه می‌توان هر بلوک از سنسور تصویر را مدلسازی نمود و تاثیر آنرا بر روی کیفیت تصویر نهایی مورد بررسی قرار داد. این کار به این صورت انجام می‌شود که مدار بلوک مورد نظر توسط سیمولاتور تحلیل شده و مشخصه انتقالی آن به صورت عددی به دست می‌آید. با استفاده از روش‌های ریاضی با دقت بسیار خوبی می‌توان رابطه ریاضی حاکم بر ورودی-خروجی آن بلوک را بدست آورد. حال با در نظر گرفتن تمامی بلوک‌های سنسور تصویر به صورت ایده‌آل و قرار دادن بلوک مربوطه برپایه رابطه بدست آمده، می‌توان تصویر نهایی را تحت تاثیر آن تولید کرد.

برای توضیح روش پیشنهادی، یک سنسور تصویر با رزولوشن 256×256 پیکسل طراحی شده است که تمامی بلوک‌های آن از جمله مبدل داده به صورت ایده‌آل در نظر گرفته شده است تا هیچ تأثیر مخربی بر روی کیفیت تصویر نهایی نداشته باشد و تنها مدار خواندن پیکسل که از نوع سورس-فالور است به عنوان بلوک حقیقی در نظر گرفته شده تا فقط تأثیر این مدار بر روی تصویر نهایی از طریق روش پیشنهادی مورد بررسی قرار گیرد.

با استفاده از نتایج تحلیل DC در بخش قبلی (مشخصه انتقالی) و استفاده از روش منحنی یابی^{۲۲} با استفاده از نرم افزار مطلب معادله حاکم بر ورودی-خروجی مدار سورس-فالور به صورت زیر به دست آمد.



شکل (۸): بلوک دیاگرام روش پیشنهادی

$$M_{Er} = M_{OI} - M_{GI}$$

(۹)

۵- نتایج تحلیل

با اجرای روش پیشنهادی بر روی تصویر شکل ۹، تصویر شکل ۱۰ تولید گردید.

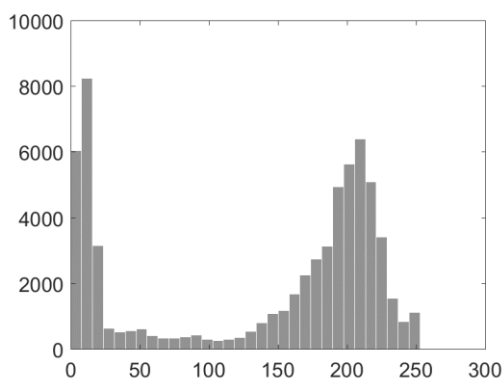
همانطور که می دانیم یک تصویر عبارت است از شدت روشنایی نقاط مختلف در یک صفحه دو بعدی و می توان با استفاده از هیستوگرام تصویر، فراوانی شدت روشنایی نقاط مختلف تصویر را بصورت یک نمودار میله ای نشان داد. در واقع در این نمودار میله ای، محور افقی نشان دهنده شدت روشنایی و محور عمودی فراوانی آن را نشان می دهد. هیستوگرام تصاویر ورودی، خروجی و خطا به ترتیب در شکل های ۱۲، ۱۳ و ۱۴ نشان داده شده است. همانطور که دیده می شود نمودارهای هیستوگرام مربوط به ورودی و خروجی متفاوت می باشند و به راحتی میزان تفاوت آن ها از نمودار هیستوگرام خطا در شکل ۱۴ مشخص می باشد. کلیه مراحل توضیح داده شده بر روی تصویر رنگی شکل ۱۵ نیز اجرا شد و نمودارهای هیستوگرام مربوط به این تصاویر ورودی، تولیدی و خطا به ترتیب در شکل های ۱۶، ۱۷ و ۱۸ نشان داده شده است. نتایج بدست آمده نشان داد با وجود اینکه مدار سورس-فالور که رایج ترین و محبوب ترین مدار خواندن پیکسل در سنسورهای تصویر می باشد می تواند سیگنال آشکارساز را تخریب کرده و تاثیر مستقیمی بر روی کیفیت تصویر نهایی ایجاد کند این در حالی است که این مدار بعنوان بافر ولتاژ نباید تاثیری نامطلوبی بر روی سیگنال آشکارساز ایجاد کند.



شکل (۹): تصویر ورودی



شکل (۱۰): تصویر تولیدی

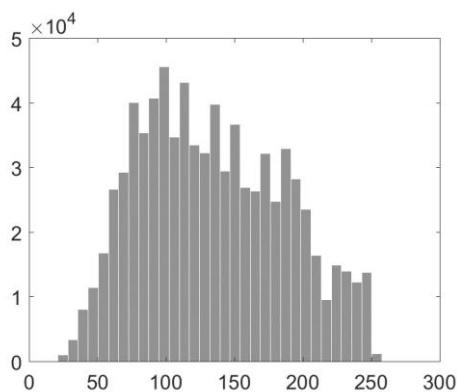


شکل (۱۲): هیستوگرام تصویر ورودی

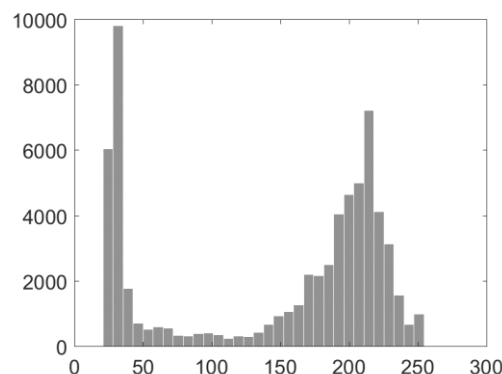


شکل (۱۱): نگاتیو تصویر خطا

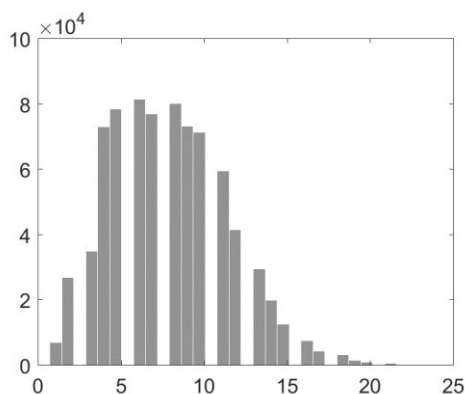
برای به دست آوردن تصویر خطا اختلاف بین ماتریس خروجی و ماتریس ورودی به صورت زیر محاسبه شد که تصویر نگاتیو آن برای وضوح بیشتر در شکل ۱۱ نشان داده شده است.



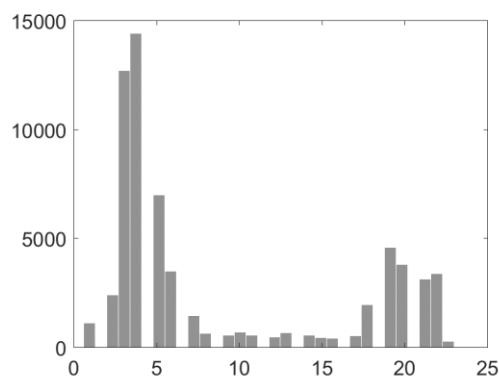
شکل (۱۷): هیستوگرام تصویر تولیدی



شکل (۱۳): هیستوگرام تصویر تولیدی



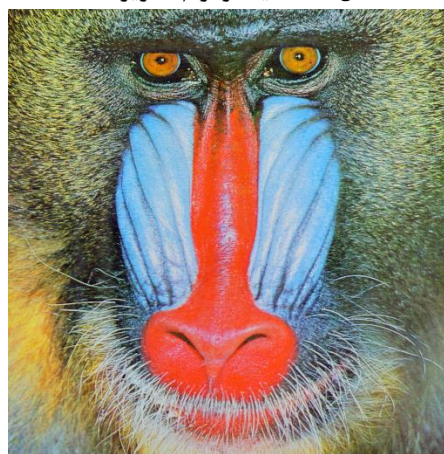
شکل (۱۸): هیستوگرام تصویر خطا



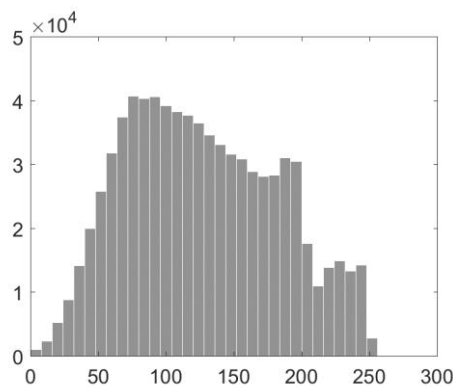
شکل (۱۴): هیستوگرام تصویر خطا

۶- نتیجه گیری

در این مقاله یک روش جدیدی معرفی شد که می تواند با روش های نرم افزاری بدون نیاز به ساخت تراشه، تصویر تولیدی یک سنسور تصویر طراحی شده را به دست آورد. مدارات مربوطه با استفاده از نرم افزار کیدنس^{۲۳} تحلیل شده و مدلسازی سیستم توسط نرم افزار مطلب انجام شده است [۲۸-۲۹]. در این روش با ایده آل در نظر گرفتن تمامی بلوک ها به جز بلوک موردنظر، می توان تاثیر آن را بر روی تصویر نهایی مورد بررسی و مطالعه قرار داد. برای اجرای روش پیشنهادی، بلوک منتخب در این مقاله مدار خواندن پیکسل می باشد که به دلیل پر استفاده بودن مدار سورس-فالوور تاثیر آن بر روی کیفیت تصویر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تحلیل نشان داد که مدار سورس-فالوور تصویر تولیدی را دچار تغییر می کند که در شرایط مطلوب این مدار بعنوان یک بافر ولتاژ نباید تاثیری بر روی سیگنال ورودی داشته باشد. اما بر اساس تحلیل صورت گرفته مشخص شد که این مدار به تنهایی می تواند تصویر تولیدی را دچار اعوجاج و تغییر نماید. این روش می تواند روی بلوک های دیگر سنسور تصویر از جمله خود پیکسل، مدار حذف نویز و مبدل آنالوگ به دیجیتال نیز اجرا شود و تاثیر آنها را بر روی تصویر نهایی مورد بررسی و ارزیابی قرار دهد. با روش های آزمایشگاهی نمی توان بطور مستقیم تاثیر هر بلوک را بر روی تصویر نهایی مورد بررسی قرار داد. همچنین این روش به ما کمک می کند



شکل (۱۵): تصویر ورودی رنگی



شکل (۱۶): هیستوگرام تصویر ورودی

- قبل از ساخت تراشه سنسور، بلوک های مختلف سنسور طراحی شده را مورد ارزیابی قرار داد تا با یک پیش‌بینی مناسب اقدام به ساخت تراشه نمود.
- مراجع**
- [14] Chen Y., Wang X., Mierop A.J., Theuwissen A.J.P., A CMOS image sensor with in-pixel buried-channel source follower and optimized row selector, *IEEE Trans Electron Devices*. 2009;56(11):2390-2397.
 - [۱۵] مسعود تیموری، "اصول طراحی سنسورهای تصویر برای استفاده در دوربین‌های دیجیتال"، فصلنامه عصر برق، شماره ۸، ۱۴۰۰.
 - [۱۶] بهنام بابازاده داریان، حسن خالصی، وحید قدس، علیرضا ایزدبخش، "طراحی تقویت کننده ترانسانایی چهار طبقه CMOS با مساحت تراشه پایین"، مجله مهندسی برق و الکترونیک ایران، شماره ۴- دوره ۱۸، صفحات ۱-۷، ۱۴۰۰.
 - [17] Park S. -Y. and Kim, H. -J. CMOS Image Sensor With Two-Step Single-Slope ADC Using Differential Ramp Generator, in *IEEE Transactions on Electron Devices*, vol. 68, no. 10, pp. 4966-4971, Oct. 2021, doi: 10.1109/TED.2021.3102003.
 - [۱۸] مسعود تیموری، "سنسور تصویر CMOS با مبدل داده ۱۰ بیتی ستون-موازی دو مرحله ای"، دوره ۱۲، شماره ۳، ۱۴۰۰.
 - [19] Kim H. -J., 11-bit Column-Parallel Single-Slope ADC With First-Step Half-Reference Ramping Scheme for High-Speed CMOS Image Sensors, in *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 56, no. 7, pp. 2132-2141, July 2021, doi: 10.1109/JSSC.2021.3059909.
 - [20] Teymouri M., A multipurpose circuit to read out and digitize pixel signal for low- power CMOS imagers, *Int J Circ Theor Appl*. 2020; 48: 1887– 1899. <https://doi.org/10.1002/cta>.
 - [21] Park I., Jo W., Park C., Park B., Cheon J. and Chae Y., A 640×640 Fully Dynamic CMOS Image Sensor for Always-On Operation, in *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 55, no. 4, pp. 898-907, April 2020, doi: 10.1109/JSSC.2019.2959486.
 - [22] Wang F., Theuwissen A.J.P., Pixel optimizations and digital calibration methods of a CMOS image sensor targeting high linearity, *IEEE Trans Circ Syst I: Regular Papers*. 2019;66(3):930-940.
 - [23] Bretscher O., *Linear Algebra with Applications*, Pearson; 5th edition, 2012.
 - [24] Ge X. and Theuwissen A., A CMOS image sensor with nearly unity-gain source follower and optimized column amplifier, 2016 *IEEE SENSORS*, Orlando, FL, USA, 2016, pp. 1-3, doi: 10.1109/ICSENS.2016.7808589.
 - [25] Wang F., Han L. and Theuwissen A. J. P., Development and Evaluation of a Highly Linear CMOS Image Sensor With a Digitally Assisted Linearity Calibration, in *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 53, no. 10, pp. 2970-2981, Oct. 2018, doi: 10.1109/JSSC.2018.2856252.
 - [26] Leonardo B. D. S., Mauricio H. C. D., Antoine D., and Antonio C. D. M. F., A 99.95% linearity readout circuit with 72 dB dynamic range for active pixel sensors, *Int. J. Circuit Theory Appl.*, vol. 45, no. 11, pp. 1–13, 2017.
 - [27] Wang F. and Theuwissen A., Linearity analysis of a CMOS image sensor, in *Proc. Electron. Imag.*, San Francisco, CA, USA, Jan. 2017, pp. 84–90.
 - [۲۸] سکینه صیدی، علی آذرپیوند، "طراحی جمع کننده و ضرب کننده تقریبی مناسب برای کاربردهای پردازش تصویر"، نشریه مهندسی برق و الکترونیک ایران، دوره ۱۸، شماره ۴، صفحات ۳۶-۳۱، ۱۴۰۰.
 - [۲۹] زینب ورع، مهدیه مهران، "طراحی، تحلیل و شبیه سازی میکروسنسور شیب خازنی"، نشریه مهندسی برق و الکترونیک ایران، دوره ۱۹، شماره ۳، صفحات ۱۲۱-۱۱۳، ۱۴۰۱.
 - [1] Nakamura, J., *Image Sensors and Signal Processing for Digital Still Cameras*, Boca Raton: Taylor & Francis; 2006.
 - [2] I. Perić et al., High-Voltage CMOS Active Pixel Sensor, in *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 56, no. 8, pp. 2488-2502, Aug. 2021, doi: 10.1109/JSSC.2021.3061760.
 - [3] C. Li et al., A High-Sensitivity Low-Noise HDR CMOS Image Sensor Based on Novel 6-TR. 1-CAP. Pixel for Scientific Applications, 2019 China Semiconductor Technology International Conference (CSTIC), 2019, pp. 1-3, doi: 10.1109/CSTIC.2019.8755712.
 - [4] S. Yu, Y. Zhang, F. Zhou, W. Lu, S. Lei and Z. Chen, A CMOS Time-of-Flight Image Sensor with High Dynamic Range Digital Pixel, 2021 IEEE 14th International Conference on ASIC (ASICON), 2021, pp. 1-4, doi: 10.1109/ASICON52560.2021.9620349.
 - [5] K. Zaitzu et al., A 2-Layer Transistor Pixel Stacked CMOS Image Sensor with Oxide-Based Full Trench Isolation for Large Full Well Capacity and High Quantum Efficiency, 2022 IEEE Symposium on VLSI Technology and Circuits (VLSI Technology and Circuits), 2022, pp. 286-287.
 - [6] M. Chen et al., A low power readout circuit for CMOS image sensor, 2020 IEEE 15th International Conference on Solid-State & Integrated Circuit Technology (ICSICT), 2020, pp. 1-3, doi: 10.1109/ICSICT49897.2020.9278176.
 - [7] T. -H. Ngo, I. A. Ukaegbu, M. -G. Kim and H. -H. Park, A Low-Noise Image Sensor Readout Circuit With Internal Timing Generator, in *IEEE Sensors Letters*, vol. 2, no. 4, pp. 1-4, Dec. 2018, Art no. 5500804, doi: 10.1109/LESENS.2018.2875444.
 - [8] S. Okura et al., A 3.7M-pixel 1300-fps CMOS image sensor with 5.0G-pixel/s high-speed readout circuit, 2014 Symposium on VLSI Circuits Digest of Technical Papers, 2014, pp. 1-2, doi: 10.1109/VLSIC.2014.6858429.
 - [9] M. -W. Seo et al., A 2.6 e-rms Low-Random-Noise, 116.2 mW Low-Power 2-Mp Global Shutter CMOS Image Sensor with Pixel-Level ADC and In-Pixel Memory, 2021 Symposium on VLSI Technology, 2021, pp. 1-2.
 - [10] S. -Y. Park and H. -J. Kim, CMOS Image Sensor With Two-Step Single-Slope ADC Using Differential Ramp Generator, in *IEEE Transactions on Electron Devices*, vol. 68, no. 10, pp. 4966-4971, Oct. 2021, doi: 10.1109/TED.2021.3102003.
 - [11] Kuroda, T., *Essential Principles of Image Sensors*, CRC Press, 2014.
 - [12] D. C. -. Li, V. C. Gaudet and A. Basu, Test results of various CMOS image sensor pixels, Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, 2005., Saskatoon, Sask., 2005, pp. 17-20, doi: 10.1109/CCECE.2005.1557381.
 - [13] Fossum E. R. and Hondongwa D. B., A Review of the Pinned Photodiode for CCD and CMOS Image Sensors, in *IEEE Journal of the Electron Devices Society*, vol. 2, no. 3, pp. 33-43, May 2014, doi: 10.1109/JEDS.2014.2306412.

زیر نویس ها

- ¹ Image sensor
- ² Pixel array
- ³ Pixel readout circuit
- ⁴ Analog to digital converter
- ⁵ Sensitivity
- ⁶ Linearity
- ⁷ Dynamic range
- ⁸ Spectral response
- ⁹ Substrate
- ¹⁰ Single slope
- ¹¹ Photodetector
- ¹² Photogate
- ¹³ Photodiode
- ¹⁴ Pinned-Photodiode
- ¹⁵ Pixel readout circuit
- ¹⁶ Source follower
- ¹⁷ Column parallel
- ¹⁸ Simulator
- ¹⁹ Floating Diffusion (FD) node voltage
- ²⁰ Transfer function
- ²¹ Least-squares method
- ²² Curve fitting
- ²³ Cadence Virtuoso