

FIELD PROGRAMMABLE ANALOG ARRAY (FPAA)

برد قابل برنامه ریزی با آرایش آنالوگ

نویسندگان: رخساره تاج دینی - الناز کاظم ستوده

دانشکده فنی دکترشریعتی

EMAIL: R_tajdini@yahoo.com

چکیده:

FPGA ها بیش از بیست سال یک راه حل عالی برای مدلی قابل اطمینان و سریع از سیستمهای منطقی دیجیتال ارزان بوده اند. هنوز بسیاری از سیستمهای پردازش سیگنال به هر دو مدار دیجیتال و آنالوگ نیاز دارند. برای رشد سریع مدارهای آنالوگ یک معادل آنالوگ برای FPGA ضروری است، در حالیکه این قطعات می بایست مانند FPGA ها ساختارهایی قابل انعطاف و با استفاده راحت عرضه کنند. [4]

یک برد قابل برنامه ریزی با آرایش آنالوگ یا FPAA، یک معادل آنالوگ برای FPGA، یک ابزار دیجیتال قابل برنامه ریزی است. برخلاف FPGAها که شامل تعداد زیادی از ماژولها و اتصالات است که امکان آرایش منطقی را به ما می دهد، ابزارهای FPAA معمولاً شامل تعداد کمی از بلوکهای آنالوگ قابل آرایش (CABs) هستند. FPAA ها آرایه ای از CAB ها هستند که هر یک از آپ امپ، مقایسه کننده، آرایه های خازنی قابل برنامه ریزی (PCAs) و نیز آرایه های مقاومتی قابل برنامه ریزی برای مدارهای پیوسته زمان یا سوئیچهای قابل تنظیم برای مدارات با خازنهای سوئیچی (مدارهای گسسته زمان) تشکیل شده اند. [1]

افزودن یک لایه قابل برنامه ریزی امکان انتخاب بین گستره بسیار وسیعی از توابع پردازشگر سیگنال که از اطلاعات ترکیب بندی شده دیجیتال استفاده می کنند را، فراهم می کند. [5] این مقاله یک نگرش کلی بر ساختار داخلی FPAA دارد.

کلمات کلیدی:

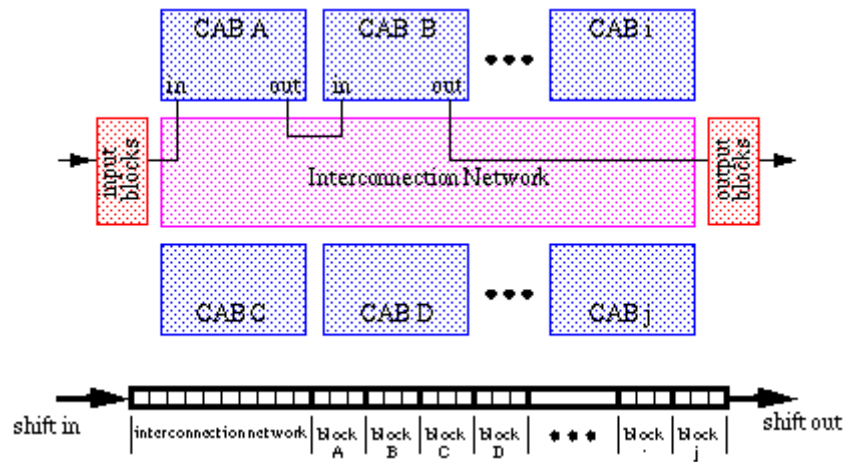
FPAA(field programmable analog array)_PCA(prorammmable capacitor array)_FPGA(field programmable gate array)
CAB(configurable analog block)_ANTIFUSE(one_time programmable).

اسمقدمه:

۱-۱: FPAA چیست؟

FPAA یک مدار مجتمع است که می تواند برای انجام کاربردهای آنالوگ مختلف با استفاده از CAB ها و یک شبکه اتصال قابل برنامه ریزی، به طرز خاصی آرایش داده شود و با استفاده از حافظه های روی تراشه برنامه ریزی شود. یک FPAA در شکل (۱) نشان داده شده است که شامل CAB ها، شبکه اتصال داخلی، بلوکهای I/O و شیفت رجیستر است. هر بلوک CAB می تواند تعدادی از کاربردهای پردازش سیگنال آنالوگ را انجام دهد مانند: تقویت، انتگرالگیری، مشتق گیری، جمع، تفریق، ضرب، مقایسه، لگاریتم و نمایش. شبکه اتصال داخلی سیگنالها را از یک بلوک CAB به بلوک دیگر و به بلوکهای I/O ارتباط می دهد. [3] شیفت رجیستر روی تراشه بیتهای وضعیت را که اتصالات مناسب در شبکه اتصال داخلی را کنترل می کنند ذخیره می کند. وقتی اتصالی میان خروجی بلوک A و ورودی بلوک B به وسیله شبکه اتصال داخلی برقرار می شود، قطعات سیم و سوئیچهای مربوطه با load شدن بیتهای وضعیت از شیفت رجیستر روی تراشه فعال می شوند. [4] طبق شکل استفاده از سه بیت برای برنامه ریزی هر بلوک

در مجموع ۸ کاربرد را برای هر بلوک ممکن می سازد . [3]



شکل شماره (۱) : نمودار یک FPLA نوعی

۲-۱: چرا آنالوگ؟

در دنیای واقعی سیگنالها آنالوگ هستند . پردازش این سیگنالها در حوزه آنالوگ دو مزیت کلیدی و مهم دارد . اول اینکه نیازی به مبدل‌های آنالوگ به دیجیتال و دیجیتال به آنالوگ برای ذخیره کردن و بازیابی منابع و اندوخته ها نیست . دوم اینکه طرحهای آنالوگ به طور کلی توان کمتری نسبت به نظیرهای دیجیتالی خود مصرف می کنند که . این مسأله در کاربردهای بدون سیم از اهمیت زیادی برخوردار است .

۳-۱: بعضی از طرحهای FPLA :

FPLA ها در هر دو حوزه پیوسته زمان و گسسته زمان طراحی می شوند . یک FPLA گسسته زمان طراحی شده با خازن سوییچی مزیت‌هایی در زمینه قابلیت برنامه ریزی و عدم حساسیت به مقاومت سوییچهای برنامه ریزی دارد [3]. بدین ترتیب که در سوییچهای CMOS که قبل از روی کار آمدن خازنهای سوییچی استفاده می شدند یک افت ولتاژ در مسیر انتقال سیگنال از یک بلوک به بلوک دیگر به علت مقاومت سوییچ داشتیم در حالیکه تکنیک خازن سوییچی برای بر طرف کردن مشکل اتلاف مقاومت پارازیتی سوییچ از روش انتقال سیگنالها در حین شارژ استفاده کرده است که در این صورت دیگر افت ولتاژ در اثر مقاومت سوییچ را نخواهیم داشت . به هر حال این تکنیک یک تکنیک سیگنالینگ گسسته زمان است که یک نقص ذاتی در زمینه محدودیت پهنای باند فرکانسی سیگنال دارد زیرا فرکانس سیگنال باید از نظر اندازه یک درجه پایینتر از فرکانس کلاک باشد تا مدار درست کار کند در کل این تکنیک در محدوده فرکانسی چندین کیلو هرتز تا ده مگا هرتز عمل می کند . [4]

یک FPLA پیوسته زمان که معمولا با استفاده از یک عنصر هدایت انتقالی طراحی می شود ، به طور ذاتی یک پهنای باند وسیع دارد ولی دارای رنج برنامه ریزی کوچکتری است .

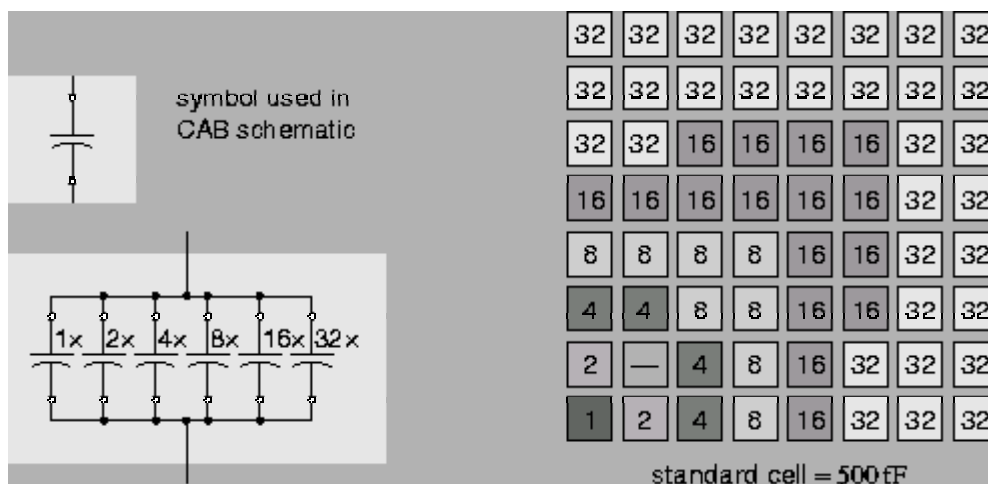
۴-۱: محدودیتهای پاسخ فرکانسی یک FPLA :

فاکتورهایی که عملکرد فرکانسی FPLA ها را محدود می کنند شامل پهنای باند آپ امپ های استفاده شده در آن و تعداد بلوکهای CAB ای است که سری به هم متصل شده اند . طرحهای گسسته زمان به وسیله حداکثر فرکانس کلاک محدود شده اند که بیشتر، فرکانسهای سیگنال را به واسطه نظریه نایکوئیست محدود می کنند . همچنین از محدودیتهای فرکانسی FPLA ، حداکثر فرکانس مقایسه کننده هاو عنصر هدایت انتقالی می باشد [3]

۲-مقاله:

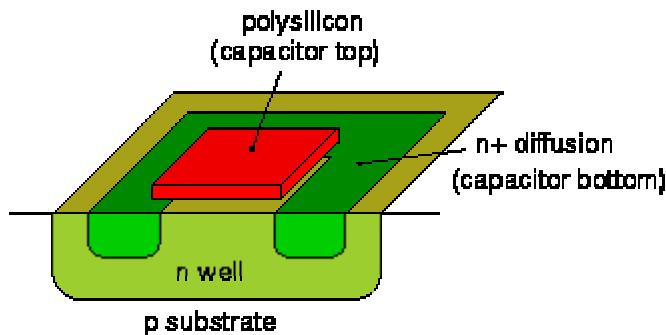
۱-۲: مدارهای آنالوگ باتکنولوژی دیجیتال:

ساختار ماژول پیشنهادی مابرای طراحی یک FPAAs بر مبنای استفاده از اتصالات ANTIFUSE (قابل برنامه ریزی برای یک بار) می باشد فرآیندهای با قابلیت ANTIFUSE فرآیندهای دیجیتالی هستند که به وسیله صنعت FPGA استفاده می شوند . به هر حال آنها خیلی برای طراحی مدار آنالوگ ستنی مناسب نیستند و همچنین مستلزم دقت زیادی در ساختار و طرح ماژول آنالوگ می باشند. یک قید بزرگ طرح VLSI آنالوگ به روش دیجیتال نیاز به خازنهای خطی است . همچنین قابلیت برنامه ریزی این قید را اضافه می کند که خازنهای ساخته شده باید دارای ظرفیت زیاد در واحد سطح باشند . در آرایه خازنی (PCA) خازنها با هم موازی می شوند ، بنابراین یک PCA با دقت 6 بیت از 63 قسمت مساوی تشکیل شده است. که هر یک باید ظرفیتی خیلی بیشتر از خازنهای پارازیت که مربوط به زیر لایه مدارو اتصالات است داشته باشند . این باعث می شود که بیشترین سطح روی FPAAs را PCA ها اشغال کنند .



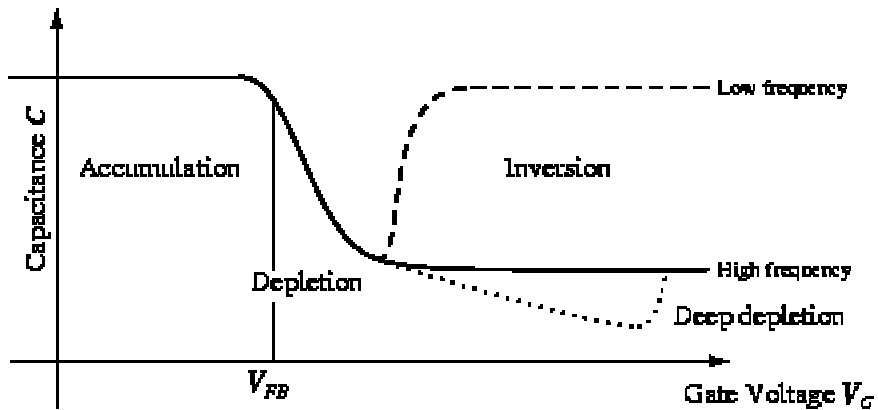
شکل شماره (۲): آرایه خازنی قابل برنامه ریزی 6بیتی

در بعضی از فرآیندهای ساخت آنالوگ از دو لایه از پلی سیلیکون برای ایجاد خازنهای خطی استفاده می شود. فرآیندهای دیجیتال معمولاً این ساختار را ندارند و اغلب ساختار ستنی فلزپلی سیلیکون با چنان ظرفیت کمی در واحد سطح دارند که به سطح مرده بیشتری نیاز دارند تا عملاً بتوانند به آرایه های خازنی اختصاص دهند . ظرفیت ایجاد شده ای که در اثر نفوذ پلی سیلیکون در ترانزیستور MOS از تقابل پلی سیلیکون با ترانزیستور به وجود می آید بزرگترین ظرفیت موجود در این فرآیند است اما همانطور که در شکل (۴) نشان داده شده است تابع غیر خطی از ولتاژ و فرکانس می باشد . وقتی خازن در حالت ذخیره است ظرفیت، خطی و ماکزیمم است . با این وجود در حول وحوش ولتاژ آستانه ترانزیستور ، ظرفیت بسته به تقسیم بندی خازنی در کانال ترانزیستور کاهش می یابد . خوشبختانه روشهای زیادی برای کاهش مشکل غیر خطی بودن موجود است ساختار شکل (۳) یکی از آنهاست که از روش انتشار همان حامل هایی استفاده می کند که بخش پایینی خازن را ایجاد می کند .



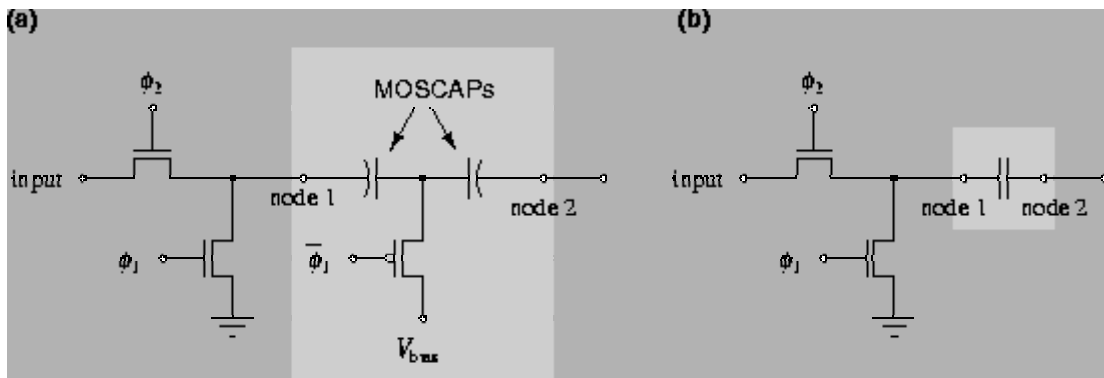
شکل شماره (۳): ساختار یک خازن MOS ای در حالت ذخیره

این ساختار MOS ای که نمی تواند به عنوان یک ترانزیستور استفاده شود ، همان رفتار خازنی غیر خطی را (مانند شکل (۴)) نشان می دهد البته با این تفاوت که به سمت راست منتقل شده است که رنج ولتاژی که قطعه در آن ولتاژ در حالت ذخیره کار می کند، افزایش دهد. راه حل طراحی شده در



شکل شماره (۴): مشخصه غیر خطی یک خازن

شکل (۵) زمانی استفاده می شود که یک خازن سویچی آنالوگ احتیاج به ولتاژی دارد که روی خازن MOS ای که به اندازه کافی بزرگ است بیندازد تا قطعه را از حالت ذخیره بیرون آورده و به ناحیه ظرفیت غیرخطی برسد. چون طرحهای خازن سویچی احتیاج به بازنشانی ولتاژ در خازنهای برای برگرداندن مقادیر در طی یک بخش از سیکل کلاک دارد، دو خازن می توانند در طی مدت زمان تازه سازی پشت به پشت قرار گیرند تا به یک مقدار بایاسی برسند که رسیدن به حالت ذخیره را قطعی می کند. در طی زمان باقیمانده از سیکل، گره مشترک از بایاس جدا می شود و دو خازن مانند یک خازن خطی تنها عمل می کنند .



شکل شماره (۵): طراحی ساختاریک خازن MOS ای برای مدارات خازن سویچی در حالتی که به طرز درستی بایاس شده باشند و کلاک به مدار اعمال شده باشد. مدارات (a) و (b) معادلند.

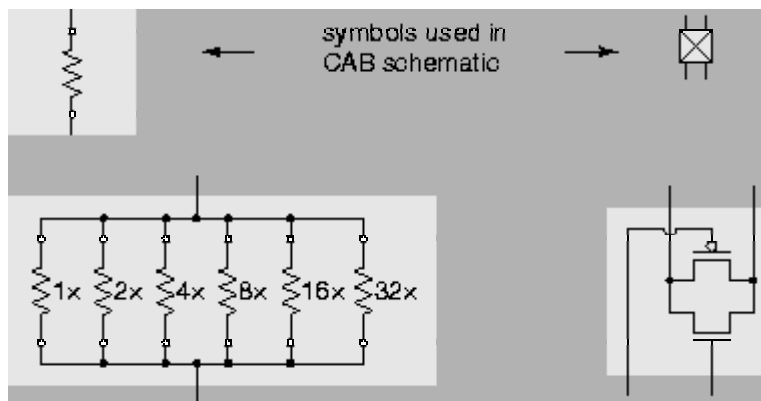
مدار خازن سویچی احتیاج به فرکانس کلاکی که ۵۰ تا ۱۰۰ برابر ماکزیمم پهنای باند لازم برای مدار معادل پیوسته زمان آن است ، دارد. برای استفاده از مدارات پیوسته زمان با ساختار آرایه ای آنالوگ می بایست آرایه های قابل برنامه ریزی مقاومتی را با آرایه های قابل برنامه ریزی خازنی ترکیب کرد. متاسفانه تلورانسهای مقاومتی در فرآیندهای دیجیتالی به خوبی کنترل نمی شوند، بنابراین محدوده ساختار FPAA برای طراحی مدار پیوسته زمان، قابل بحث می باشد.

۲-۲: اتصالات داخلی:

در تمام ساختار های FPAA شناخته شده اتصالات داخلی که اساس آنها RAM است استفاده شده است، که در آنها ۲ شبکه اتصال داخلی توسط یک ترانزیستور MOS که مانند یک سویچ عمل می کند به هم متصل شده اند. مقاومت سویچ این گونه قطعات نوعاً در رنج ۵۰۰۰ تا ۱۰۰۰ اهم است. مدارات خازنهای سویچی احتیاج به سویچ های ترانزیستوری MOS دارند که از کلیدهای انتقال بار استفاده دو منظوره می کنند. به این ترتیب که از آنها به عنوان کلیدهای اتصال داخلی استفاده می کنند. در نتیجه هیچ از دست رفتگی پهنای باند در مدارات خازن سویچی موجود نیست. با این وجود تکنولوژی مدرن آنتی فیوز فلز به فلز (M2M) به مقاومتی در حد ۱۵ تا ۲۵ اهم در هر آنتی فیوز دست می یابد . استفاده از اتصالات آنتی فیوزهای M2M این امکان را به ما می دهد که مدارات پیوسته زمان با ماژول های قابل برنامه ریزی سریع (حداقل ۱۰ تا ۲۰ مگا هرتز) ساخته شوند.

۲-۳: ساختار آرایه ای:

در طراحی یک بلوک ساده قطعات مدار را به عنوان منابعی که می توانند با استفاده از آنتی فیوزها به طور جداگانه به مدار متصل شوند، با یکدیگر ترکیب می کنند. طرح ماژول آنالوگ ممانع زیرادار است: ۱- تقویت کننده عملیاتی، ۲- مقاومت های قابل برنامه ریزی، ۳- آرایه های خازنی قابل برنامه ریزی (با دقت ۶ بیت)، ۴- سویچ های CMOS. در یک مدار پیوسته زمان در مقایسه با خازن سویچی، مدار با فیدبک حالت عمومی (CMFB) عمل میکند، که توان بیشتری مصرف می کند اما به تقویت کننده این امکان را می دهد که در مدارات پیوسته زمان علاوه بر مدارات خازن سویچی استفاده شود. در مرحله تولید این مطلوب است که مدار تقویت کننده برای اجرای بهینه تحت شرایط متغیر (مثل سرعت در موقع استفاده به عنوان یک مقایسه کننده)، قابل برنامه ریزی دوباره باشد. شکل (۲) آرایه های خازنی قابل برنامه ریزی و شکل (۶) مقاومت های قابل برنامه ریزی و منابع سویچی را نشان می دهد .



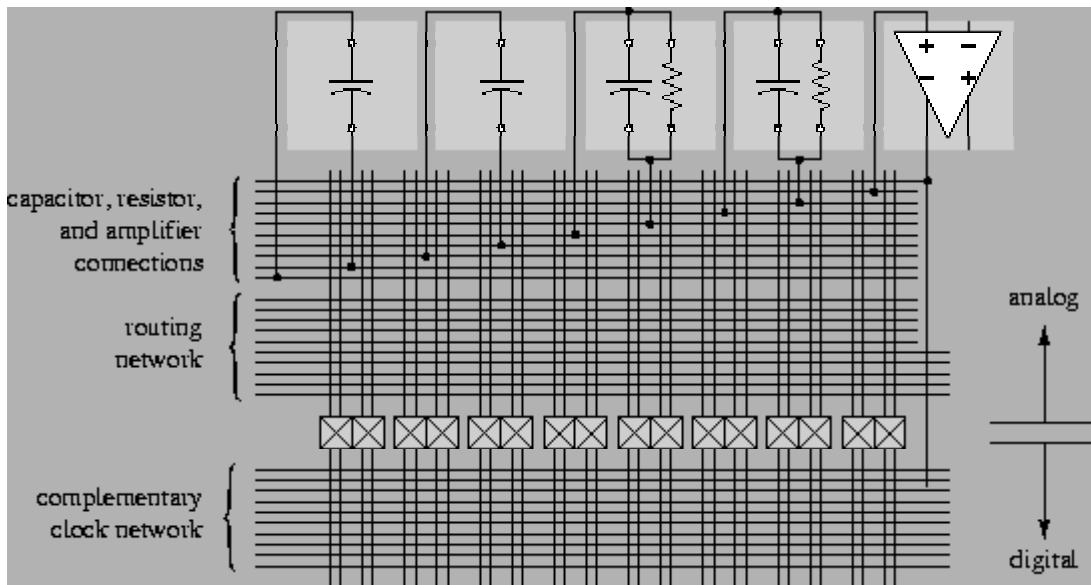
شکل شماره (۶): مقاومت های قابل برنامه ریزی و منابع سویچی

ضمن اینکه شکل (۷) یک طرف از ساختار بلوک آنالوگ تفاضلی را نشان می دهد، (جدا از تقویت کننده، یک طرف آینه تصویر طرف دیگر است). اتصالات آنتی فیوز در شکل نشان داده نشده است. توجه کنید که ردیف منابع سویچی مانند یک مانع بین سیگنالهای آنالوگ و دیجیتالی که در شبکه موجود است، عمل می کند که همین امر به کاهش نویز دیجیتالی که به بخش آنالوگ تزویج شده است، کمک می کند. شکل (۸) دو CAB کامل را به طوری که در یک ردیف تراشه متصل شده اند و شامل شبکه مسیریابی عمودی و اتصالات آنتی فیوز می باشند، نشان می دهد . [2]

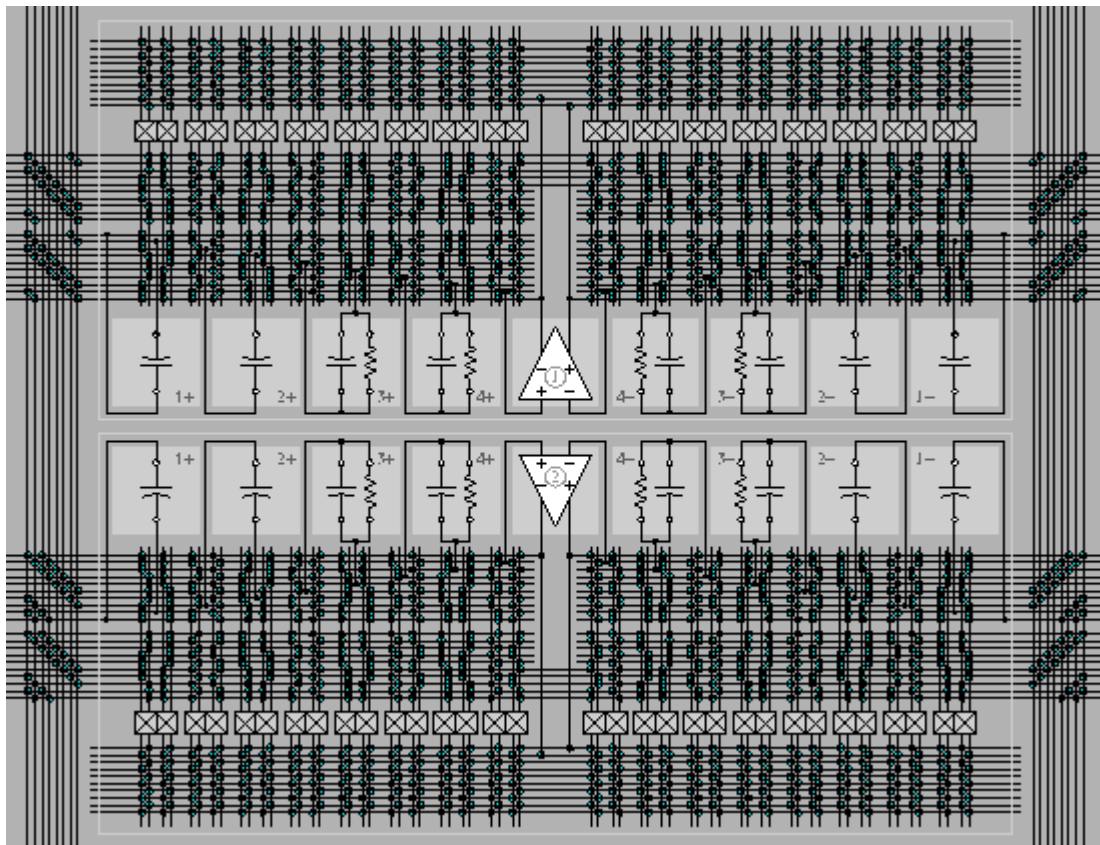
۲-۴: یک نمونه آی سی FPAA :

AN10E40 یک آی سی FPAA ساخت شرکت anadigm می باشد که ۸۰ پایه و ۱۴mm × ۱۴mm است . این آی شامل یک ماتریس متشکل از بیست CAB می باشد که هر CAB شامل یک آپ امپ، مقایسه کننده، پنج آرایه خازن سویچی و مدارات محافظ است که توسط اتصالات داخلی قابل برنامه ریزی و ساختار I/O احاطه شده است . توابع معمولی آنالوگ signal conditioning مثل حذف آفست و یکسوسازها ایجاد طبقات بهره مقایسه کننده ها و فیلترهای رده اول فقط با استفاده از یک CAB می توانند به مرحله اجرا در بیایند . توابع پیچیده تر مثل فیلترهای رده بالا و آسیلاتورها

مدولاتورهای پهنای باند و equalizer ها با استفاده از دو یا تعداد بیشتری از CAB ها قابل اجرا هستند . با استفاده از این بیست CAB می توان سیستمهای بسیار پیچیده آنالوگ و توابع پردازشگر سیگنال مثل یک کنترل کننده کامل PID ساخت .
 برنامه مدار در یک SRAM که داخل تراشه است ذخیره می شود . علاوه بر بیست CAB آپ امپی AN10E40 شامل یک منبع ولتاژ داخلی هشت بیتی قابل برنامه ریزی و چهار کلاک با ماکزیمم فرکانس 1MHZ است که هر دوی این منابع توسط هر CAB در آرایه قابل دسترسی است .



شکل شماره (۷): بلوک آنالوگ قابل آرایش (CAB) (فقط یک سمت از ساختار تفاضلی نشان داده شده است).



شکل شماره (۸): ساختار یک تراشه FPAA، که یک ستون شامل دو CAB، با

شبکه مسیر یابی و آنتی فیوزها را نشان می دهد.

در کنار آرایه سیزده سلول I/O آنالوگ که از پیش برای این برنامه ریزی شده اند که به صورت یک بافر عمل کنند و قرار دارند. تغذیه این آی سی پنج ولت است. شرکت anadigm برای این آی سی نرم افزاری طراحی نموده است که یک مجموعه از ماژولهای مداری را داراست و به طراح این امکان را می دهد که با یک drag & drop مثلاً بلوک ضرب کننده و سپس فاکتور ضرب را انتخاب کند و آنرا در مدار download کند. در نسل اول FPAA ها برای بار گذاری یک برنامه جدید می بایست قطعه برای چند میکرو ثانیه خاموش شود که همین امر کافی بود تا کنترل حلقه بسته از بین برود اما در نسل جدید آن این امکان فراهم شده است که در حالیکه مدار در حال کار است (بدون خاموش کردن قطعه) با اطلاعات جدید بار شود.

۲-۵: نتایج:

در سیستمهای دیجیتال خلاصه کردن کار در یک نرم افزار و طراحی اتوماتیک بر آمده از دو ویژگی است: استوانایی تبدیل طراحی ها به توابع سطح پایین (گیتهای منطقی و لچها و ...) که با وجود این قطعات و عناصر دیگر طراحی به زیر ساختار غیر قابل تغییر سیلیکون وابسته نمی شود. ۲- افزودن منطق FP (برد قابل برنامه ریزی) که امکان دستکاری سیستم و آرایش دهی دقیق دوباره سیستم را تحت کنترل نرم افزار به ما می دهد تا حدی که این امکان برای خود پردازشگر هم فراهم می شود. بردهای آنالوگ قابل برنامه ریزی هر دوی این خصایص را برای دنیای آنالوگ به ارمغان می آورد. بیشترین هزینه پرداختی در ساخت مدارات آنالوگ و برای قطعات آن نیست بلکه برای زمان و مهارتهای لازم در طراحی توابع پیچیده است که با ظهور FPAA این هزینه کاهش یافته است. از کاربردهای معمول FPAA در زمینه های مختلف می توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱- signal conditioning: تقویت سیگنال و حذف آفست و خطی کردن سیگنال و مولد شبیه ساز سنسور و یکسوسازی سیگنال.

۲- ارتباطات: equalization و خطی کردن اتوماتیک بهره و مقایسه فاز و فیلتر کردن.

۳- اتوماسیون صنعتی: کنترل حلقه بسته و ساخت کنترلرهای تناسبی و انتگرالی و مشتقی.

۴- لوازم پزشکی: فیلتر کردن و signal conditioning سیگنالهای با فرکانس خیلی پایین.

۵- ارتش: فضا نوردی. [5]

بنابراین تمام شواهد دال بر احتیاج و علاقه به داشتن این گونه قطعات به جای قطعات ناقص تجاری موجود است. برد آنالوگ قابل برنامه ریزی می تواند جایگزین قطعات مدارات گسسته شود که در نتیجه به کاهش قیمتها، وزن، مصرف توان و خصوصاً زمان کمتر برای طراحی سیکل ها می

انجامد. [2]

[1]. email:tim@stravinsky.jhuapl.edu

[2]. october 23,2002 field programmable analog array fq.htm

[3].1999-10-13.r.timothy edwards about.com

[4]. www.eecg.toronto.edu/~kphang/ece1352f/papers/law_FPAA.pdf

[5]. Anadigm® Company Fact Sheet2.htm

