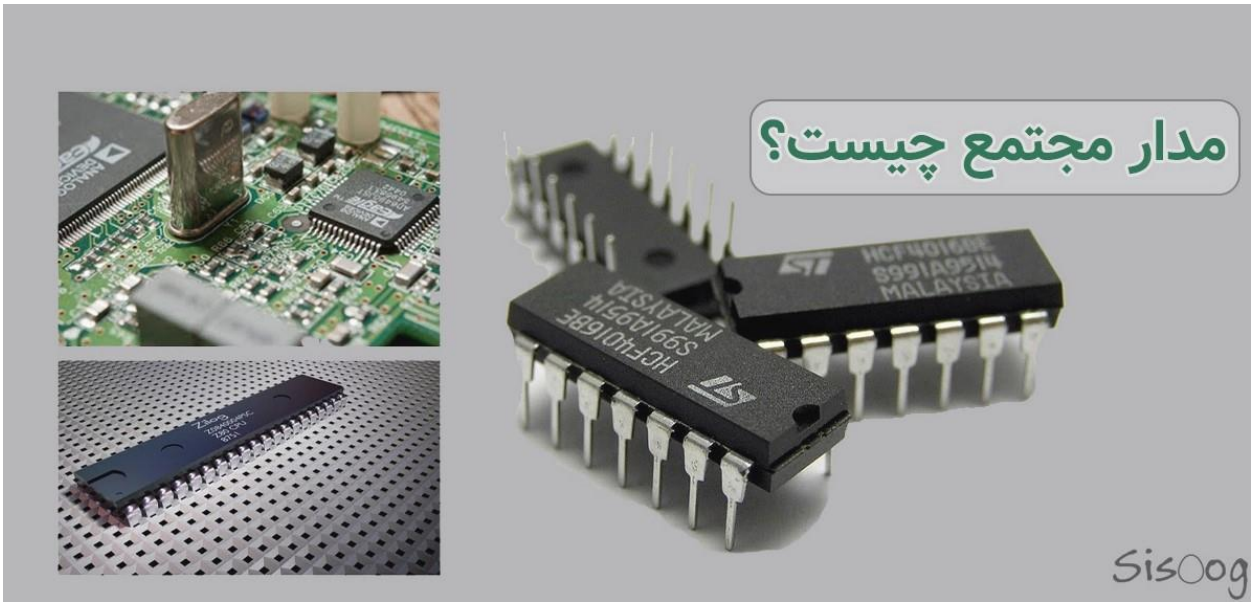
تراشه، مدار مجتمع یا آی سی (IC) چیست و چه نقشی در سیستم‌های الکترونیکی دارد؟



ممکن است برخی‌ها با اصطلاح «مدار مجتمع» (Integrated Circuit) آشنا نباشند، اما وقتی مخفف آن یعنی تراشه IC را ذکر می‌کنیم، بیشتر قابل‌درک است. مدار مجتمع، از مهم‌ترین المان‌های بردهای الکترونیکی است که در دستگاه‌های الکترونیکی مورداستفاده قرار می‌گیرد و به‌عنوان مغز اصلی برای انجام وظایف متعددی مانند پردازش اطلاعات، ذخیره‌سازی داده‌ها و عملیات کنترل عمل می‌کند.

تراشه، مدار مجتمع یا آی‌سی چیست و چه نقشی در سیستم‌های الکترونیکی دارد؟

قدرت یک مدار مجتمع IC در ترکیب مؤلفه‌های متعدد آن نهفته است. برای درک بهتر این موضوع، برد مدارچاپی را در نظر بگیرید. مدارهای مجتمع را می‌توان به بردهای یک مدار مینیاتوری تشبیه کرد، زیرا شامل تعداد زیادی قطعات الکترونیکی مانند ترانزیستورها، دیودها، گیت‌های منطقی، سلول‌های حافظه و غیره هستند. این مؤلفه‌ها درون قطعه‌ای از مواد نیمه‌هادی (معمولاً سیلیکون) قرار می‌گیرند و برای انجام عملکردی خاص با هم کار می‌کنند.

تاریخچه آی‌سی

بامطالعه تاریخچه مدارهای مجتمع، به سال 1949 برمی‌گردیم، زمانی که «ورنر جاکوبی» (Werner Jacobi)، مهندس شرکت زیمنس، آن‌ها را توسعه داد. تراشه‌های اولیه خیلی قدرتمند نبوده و تنها شامل پنج ترانزیستور بودند. این تراشه‌ها در آن زمان برای استفاده تجاری مناسب نبودند. سال 1961 بود که تراشه‌هایی با ترانزیستورها، مقاومت‌ها، خازن‌ها و سیم‌های متصل‌به‌هم برای اهداف تجاری ساخته شدند. با گذشت زمان و پیشرفت‌های تکنولوژی، این تراشه‌ها به‌طور فزاینده‌ای قدرتمندتر شده‌اند.

انواع مدارهای مجتمع الکترونیکی

در این بخش، به معرفی اجمالی انواع مدارهای مجتمع می‌پردازیم.

مدار مجتمع دیجیتال

مدارهای مجتمع دیجیتال که به‌اختصار DIC نامیده می‌شوند، معمولاً در ساخت مدارهای دیجیتال و سیستم‌های محاسباتی استفاده می‌شوند و در آن‌ها سیگنال‌های دیجیتال گسسته وجود دارد و کدهای باینری به‌کاررفته است.

این تراشه‌های الکترونیکی برای پردازش و انتقال سیگنال‌های دیجیتال با استفاده از مؤلفه‌های داخلی مانند شمارنده‌ها و گیت‌های منطقی دیجیتال طراحی شده‌اند. یکی از مزایای کلیدی IC دیجیتال، سطح بالای یکپارچه‌سازی و برنامه‌پذیری آن است که به کاربران این امکان را می‌دهد به‌جای اینکه صرفاً به سازنده تراشه وابسته باشند، کدهای خود را اجرا کنند. تراشه دیجیتال را می‌توان به IC منطقی، تراشه‌های حافظه، IC رابط، IC مدیریت برق و دستگاه برنامه‌پذیر طبقه‌بندی کرد.

مدار مجتمع آنالوگ

این نوع مدار که به‌اختصار AIC نامیده می‌شود، وظیفه ساخت رابط‌ها و مدارهای پردازش سیگنال آنالوگ را بر عهده دارد و عملکردهایی مانند تقویت سیگنال، فیلترکردن، مخلوط‌کردن و کنترل آنالوگ را ممکن می‌سازد. المان‌های داخلی IC آنالوگ شامل تقویت‌کننده‌ها، فیلترها، تقویت‌کننده‌های عملیاتی و مقایسه‌کننده‌ها است. این مدارهای الکترونیکی مجتمع کاربردهای گسترده‌ای در دستگاه‌های الکترونیکی مختلف از جمله تقویت‌کننده صوتی، گیرنده RF، سنسور آنالوگ و DAQ دارند. تراشه آنالوگ را می‌توان به مدار RF و IC خطی دسته‌بندی کرد.

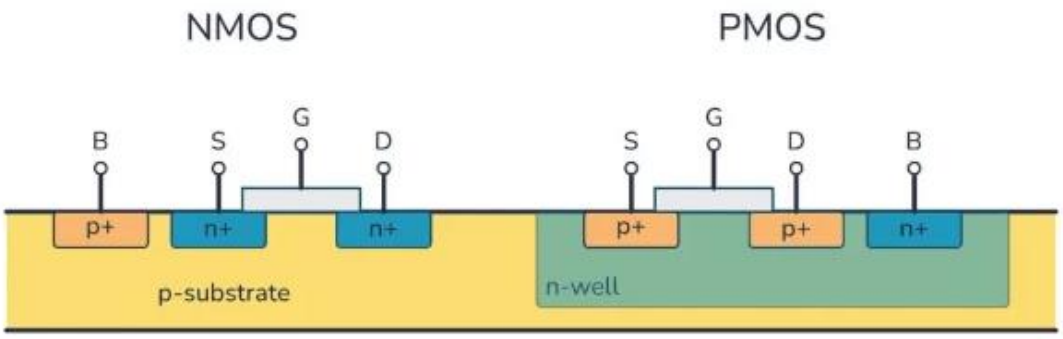
مدار مجتمع مخلوط

مدار مجتمع مخلوط (HIC)، هر دو مدار آنالوگ و دیجیتال را برای دستیابی به عملکردهای مدار پیچیده و پردازش سیگنال مخلوط، ترکیب می‌کند. این مدارها شامل یک AIC و یک DIC هستند که از طریق تکنیک‌های اتصال داخلی و پکیج ترکیب می‌شوند تا یک سیستم مدار مجتمع کامل تشکیل شود. تراشه HIC را می‌توان به انواع مختلفی تقسیم کرد، از جمله IC مربوط به DAQ و IC ساعت/زمان، مدار RF CMOS و مدار خازن سوئیچ شده (SC).

تراشه‌های مدار مجتمع چگونه تولید می‌شوند؟

برای تسهیل کل فرایند ساخت مدار مجتمع، از نرم‌افزار طراحی الکترونیکی همچون Cadence Allegro، PADS و ModelSim استفاده می‌شود. این ابزارهای نرم‌افزاری، طراحان را قادر می‌سازند تا تمام جنبه‌های مدارهای مجتمع را ایجاد، شبیه‌سازی، تأیید و طرح‌بندی کنند.

همان‌طور که قبلاً گفتیم، یک مدار مجتمع به‌صورت مجموعه مؤلفه‌های متعددی با انواع گوناگون که با اشکال و نمادهای مختلف در نرم‌افزار طراحی نشان داده می‌شوند، تعریف می‌شود. به‌عنوان‌مثال، ترانزیستورها معمولاً به شکل مستطیل نمایش داده می‌شوند، درحالی‌که خازن‌ها می‌توانند اندازه‌های مختلفی از اشکال مستطیلی برای نشان‌دادن مقادیر مختلف ظرفیت داشته باشند. با ترکیب این اشکال و نمادهای مختلف، طراحان می‌توانند مدارهای مجتمعی با ویژگی‌ها و عملکردهای خاص ایجاد کنند. تصویر زیر، نمای مقطعی یک تراشه IC و مواد موردنیاز برای طراحی ترانزیستورهای nMOS و pMOS را نشان می‌دهد.



ترانزیستورهای PMOS و NMOS

هنگامی که ساختار داخلی تراشه طراحی شد، مرحله بعدی ارسال فایل طراحی به سازنده مدار مجتمع برای فرایند ساخت است که شامل تبدیل طرح به ویفر سیلیکونی فیزیکی است. در ادامه، یک بررسی اجمالی از فرایند تولید خواهیم داشت:

ایجاد ماسک: برای ایجاد ماسک که به‌عنوان قالبی برای انتقال الگوی طراحی تراشه بر روی ویفر سیلیکونی عمل می‌کند، از فایل طراحی استفاده می‌شود. ماسک شامل ساختارهای ضروری مدار است.

آماده‌سازی ویفر سیلیکونی: ویفر سیلیکونی، به‌عنوان پایه و اساس تراشه‌ها عمل می‌کند و معمولاً دایره‌ای‌شکل است. قبل از ساخت، ویفر تحت فرایندهای تمیزکاری و پوشش‌دهی قرار می‌گیرد تا از شرایط مناسب سطح اطمینان حاصل شود.

فوتولیتوگرافی: الگوی طراحی تراشه با استفاده از فرایندی به نام فوتولیتوگرافی (Photolithography) بر روی سطح ویفر سیلیکونی منتقل می‌شود. یک‌لایه حساس به نور روی ویفر اعمال شده و برای نمایش الگوی موردنظر بر روی لایه حساس به نور، از ماسک استفاده می‌شود.

توسعه: ویفر سیلیکونی نوردیده در محلول ظهور فروبرده می‌شود تا قسمت نورندیده لایه حساس به نور حل یا حذف شود. این کار منجر به ظاهرشدن الگوی موردنظر روی سطح ویفر سیلیکونی خواهد شد.

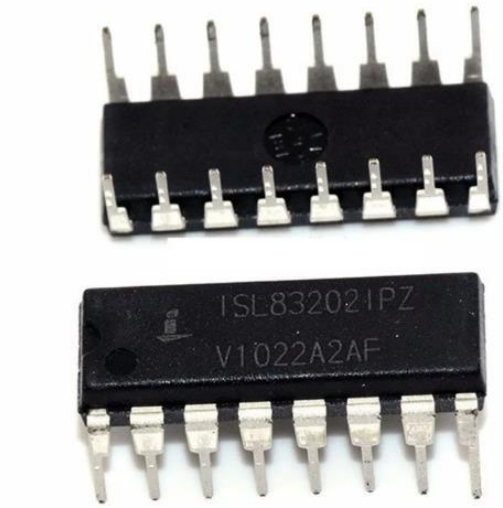
زدایش: مواد نوردیده روی سطح ویفر سیلیکونی به طور انتخابی با استفاده از تکنیک‌های زدایش شیمیایی یا فیزیکی حذف یا زدوده می‌شود. این فرایند ساختارهای مدار موردنیاز برای طراحی تراشه را شکل می‌دهد.

انواع پکیج مدارهای مجتمع IC

پکیج، فرایند محصور کردن مدار مجتمع در یک محفظه برای حفاظت از تراشه و تأمین اتصالات الکتریکی است. ابتدایی‌ترین شکل پکیج‌ها، پکیج تخت سرامیکی است. با توسعه مدارهای مجتمع، شکل‌های پکیج بیشتری مورداستفاده قرار می‌گیرد. کاربران می‌توانند باتوجه‌به ویژگی‌های تراشه، شرایط کاربرد و ساخت، آن‌ها را انتخاب کنند. در ادامه، با پکیج‌های رایج مدارهای مجتمع آشنا خواهید شد.

1. پکیج ردیفی دوطرفه (Dual Inline Package) یا دیپ (DIP)

یکی از نخستین پکیج‌های مدار مجتمع است که دو ردیف پین در دو طرف تراشه دارد. وصل کردن و تعمیر آن آسان است، اما به دلیل تعداد محدود پین‌ها، معمولاً برای مدارهای ساده استفاده می‌شود.



2. پکیج برون‌خط کوچک (Small Outline Package) یا SOP

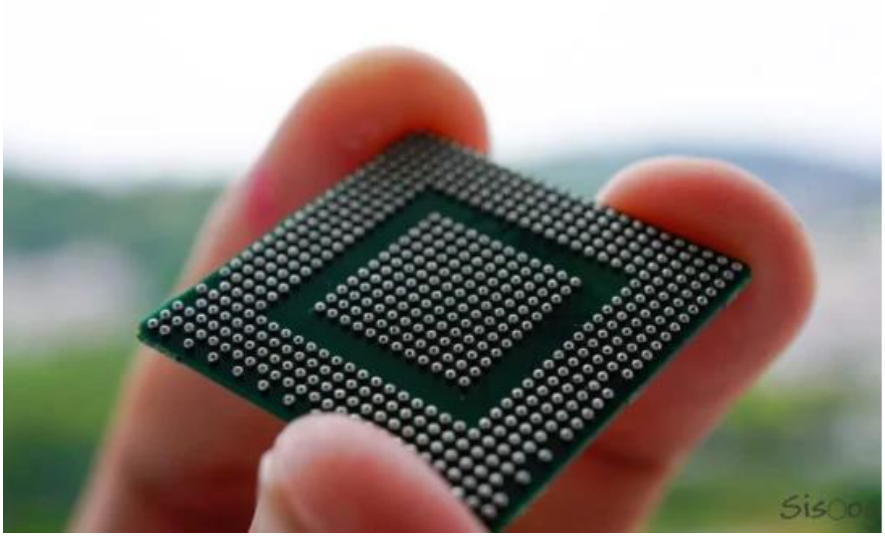
SOP دارای ضریب شکل کوچک‌تری است و برای طراحی برد مدار فشرده مناسب است. این نوع پکیج شامل پین‌هایی است که در یک ردیف در یک طرف تراشه به‌صورت منظم قرار گرفته‌اند.

3. پکیج فلت چهارطرفه (Quad Flat Package) یا QFP

این پکیج یک نوع پکیج جدیدتر با پین‌هایی است که در هر چهار طرف تراشه چیده شده‌اند. این نوع پکیج تراکم پین بالاتری را فراهم کرده و معمولاً برای تراشه‌هایی مانند میکروکنترلرها، پردازنده‌های سیگنال دیجیتال و حافظه‌ها مورداستفاده قرار می‌گیرد.

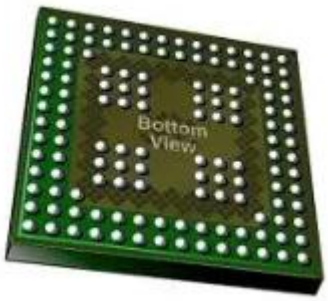
4. آرایه مشبک توپی (Ball Grid Array) یا BGA

در پکیج BGA پین‌ها به شکل کروی روی کف تراشه قرار گرفته‌اند. این نوع پکیج، تراکم پین و قابلیت اتلاف گرما را بهبود می‌بخشد و اغلب برای تراشه‌های پیچیده، مانند پردازنده‌های با کارایی بالا، تراشه‌های گرافیکی و حافظه‌ها استفاده می‌شود.



5. پکیج مقیاس – تراشه‌ای (Chip Scale Package) یا CSP

مشخصه CSP اندازه آن است که حدوداً به‌اندازه خود تراشه است و تقریباً کل سطح تراشه را می‌پوشاند. این نوع پکیج برای دستگاه‌های الکترونیکی قابل‌حمل و کاربردهای ارتباط بی‌سیم مناسب است.



6. تراشه روی برد (Chip-on-Board) یا COB

در اینجا تراشه مدار مجتمع مستقیماً روی برد مدار لحیم می‌شود، در نتیجه طراحی فشرده‌تر و مسیرهای انتقال سیگنال کوتاه‌تر خواهند شد. COB معمولاً برای کاربردهایی مانند ریزتراشه‌ها و سنسورها به کار می‌رود.

نسل‌های مختلف آی‌سی‌ها

نسل‌های مختلف آی‌سی‌ها (مدارهای مجتمع) به دسته‌بندی‌هایی اشاره دارند که بر اساس فناوری‌های تولید، کاربردها و ویژگی‌های طراحی آن‌ها مشخص می‌شوند. هر نسل از آی‌سی‌ها تحولاتی در زمینه عملکرد، اندازه و مصرف انرژی به همراه داشته است.

نسل اول آی‌سی‌ها که به‌عنوان مدارهای آنالوگ شناخته می‌شوند، در دهه ۱۹۶۰ معرفی شدند. این آی‌سی‌ها عمدتاً شامل ترانزیستورها و مقاومت‌ها بودند و بیشتر در کاربردهای ساده مانند تقویت‌کننده‌ها استفاده می‌شدند. با پیشرفت تکنولوژی، نسل دوم آی‌سی‌ها که دیجیتال نامیده می‌شوند، در دهه ۱۹۷۰ معرفی شدند. این نسل به دلیل قابلیت‌های محاسباتی و ذخیره‌سازی اطلاعات، در بسیاری از دستگاه‌های الکترونیکی مانند کامپیوترها و تلفن‌های همراه به کار گرفته شد.

نسل سوم آی‌سی‌ها، معروف به آی‌سی‌های چندمنظوره یا مدارهای مجتمع با مقیاس بالا (VLSI)، در دهه ۱۹۸۰ توسعه یافتند. این نسل با توانایی ادغام هزاران ترانزیستور در یک تراشه، زمینه‌ساز تولید پردازنده‌های قدرتمند و میکروکنترلرها شد. نسل‌های بعدی، مانند نسل چهارم (ULSI)، به طراحی تراشه‌های با مقیاس فوق‌العاده بزرگ اشاره دارند که میلیون‌ها ترانزیستور را در خود جای می‌دهند و به تولید فناوری‌های پیشرفته‌تری مانند هوش مصنوعی و اینترنت اشیا کمک کرده‌اند.

باتوجه‌به سرعت پیشرفت تکنولوژی، آی‌سی‌ها همچنان در حال تحول و بهبود هستند و نسل‌های جدید آن‌ها به سمت کارایی بیشتر، اندازه کوچک‌تر و مصرف انرژی کمتر حرکت می‌کنند. این تحولات نه‌تنها به بهبود عملکرد دستگاه‌های الکترونیکی کمک می‌کند، بلکه زمینه‌ساز نوآوری‌های جدید در صنعت فناوری نیز می‌شود.

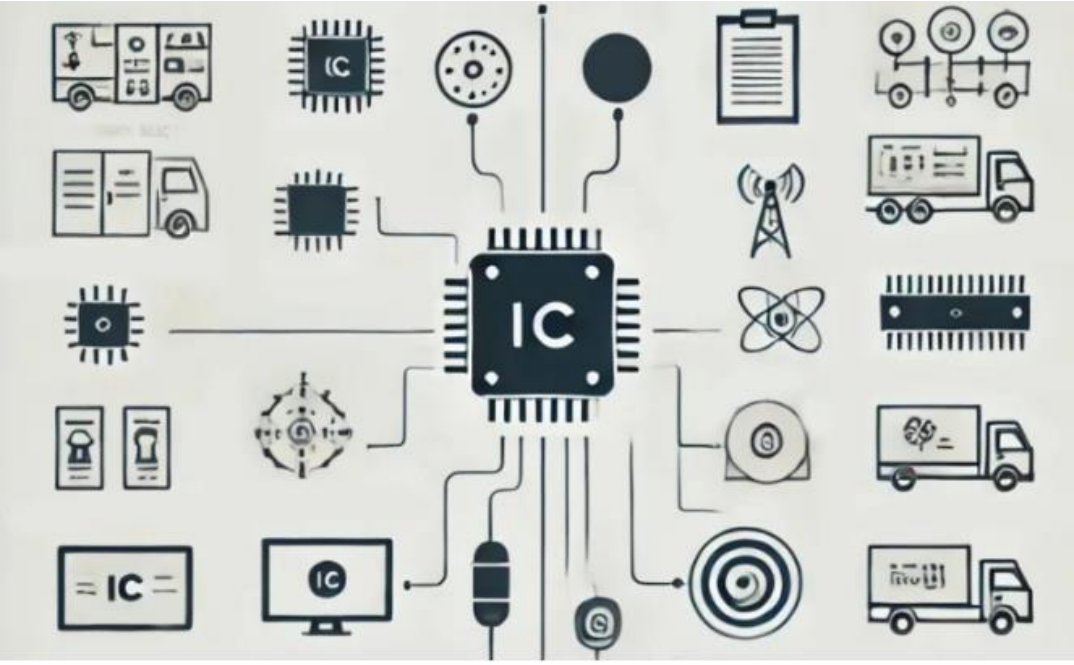
کاربردهای IC

مدارهای مجتمع (IC) در دنیای مدرن نقش کلیدی دارند و کاربردهای متنوعی در زمینه‌های مختلف فناوری و مهندسی ارائه می‌دهند. یکی از اصلی‌ترین کاربردهای آی‌سی‌ها در تولید دستگاه‌های الکترونیکی است. از گوشی‌های هوشمند و تبلت‌ها گرفته تا تلویزیون‌ها و رایانه‌ها، تمامی این دستگاه‌ها به مدارهای مجتمع برای پردازش داده‌ها، ذخیره‌سازی اطلاعات و انجام محاسبات پیچیده نیاز دارند.

علاوه بر این، آی‌سی‌ها در صنعت خودروسازی نیز به طور گسترده‌ای استفاده می‌شوند. سیستم‌های کنترل موتور، ترمزهای ضد قفل (ABS) و سیستم‌های اطلاعات و سرگرمی در خودروها همگی به مدارهای مجتمع وابسته‌اند. این آی‌سی‌ها کمک می‌کنند تا عملکرد خودروها بهبود یابد و تجربه کاربری بهتری برای رانندگان فراهم شود.

در زمینه پزشکی، آی‌سی‌ها در دستگاه‌های تشخیصی و درمانی نیز نقش مهمی دارند. دستگاه‌های تصویربرداری مانند MRI و سی‌تی‌اسکن از آی‌سی‌ها برای پردازش داده‌های پیچیده استفاده می‌کنند. همچنین، در تجهیزات پزشکی قابل‌حمل، مانند مانیتورهای قند خون، این مدارها به نظارت و مدیریت بهداشت افراد کمک می‌کنند.

در نهایت، آی‌سی‌ها در سیستم‌های ارتباطی و شبکه نیز کاربرد دارند. از روترها و سوئیچ‌های شبکه گرفته تا تجهیزات بی‌سیم، تمامی این ابزارها به مدارهای مجتمع برای پردازش داده‌ها و ارتباطات سریع و مؤثر نیاز دارند. این کاربردها نشان‌دهنده اهمیت و تأثیرگذاری آی‌سی‌ها در زندگی روزمره و پیشرفت فناوری‌های نوین هستند.



به طور خلاصه می‌توان گفت **کاربردهای IC** عبارت‌اند از:

1. الکترونیک مصرفی
- گوشی‌های هوشمند
- تبلت‌ها
- تلویزیون‌ها
- رایانه‌ها

2. صنعت خودروسازی

- سیستم‌های کنترل موتور
- ترمزهای ضد قفل (ABS)
- سیستم‌های اطلاعات و سرگرمی

3. تجهیزات پزشکی

- دستگاه‌های تصویربرداری (MRI، سی‌تی‌اسکن)
- مانیتورهای قند خون
- تجهیزات پزشکی قابل‌حمل

4. سیستم‌های ارتباطی

- روترها و سوئیچ‌های شبکه
- تجهیزات بی‌سیم
- دستگاه‌های مخابراتی

5. صنعت اینترنت اشیا (IoT)

- حسگرها و عملگرها
- دستگاه‌های هوشمند خانگی
- سیستم‌های نظارت هوشمند

6. تجهیزات نظامی و فضایی

- سیستم‌های ناوبری
- دستگاه‌های راداری
- ماهواره‌ها

نکته پایانی

آی‌سی‌ها بخش جدایی‌ناپذیر از فناوری‌های امروزی هستند و باتوجه‌به نوآوری‌های روزافزون، کاربردهای آن‌ها همچنان در حال گسترش است.