# آشنایی با نویز الکتریکی و تکنیک های حذف آن

Power Plant Academy

آکادمی نیروگاه

## فهرست :

مقدمه ---------- 3
*دلیل اهمیت نویز چیست؟ ---------- 3
تعاریف نویز ---------- 7
تعریف نویز در شاخه ها ی مختلف مهندسی برق ---------- 8
نویز های ذاتی ---------- ۱۰
ویژگی های نویز های ذاتی ---------- ۱۳
نویز های غیر ذاتی ---------- ۱۴
ویژگی های نویز های غیر ذاتی ---------- ۱۴
*ویژگی های عمومی نویز های ذاتی و غیر ذاتی ---------- ۱۴
مشخصه های اصلی نویز ---------- ۱۵
محاسبات مربوط به نویز ---------- ۱۶
*تکنیک های حذف نویز ---------- ۱۷
ایمنی مدار در برابر نویز ---------- ۲۵
*دو کاربرد عملی ---------- ۲۶
مزایای نویز ---------- ۲۸
نتیجه گیری ---------- ۲۹
فهرست منابع ---------- ۳۰

**مقدمه*

یکی از مشکلات عمده ای که وسائل و دستگاه های الکترونیکی با آن مواجه هستند مساله نویز می باشد . به خصوص در زمان حاضر که انواع و اقسام وسائل الکترونیکی و الکتریکی و مکانیکی در فضای کوچکی در کنار یکدیگر مشغول به کار بوده و به سادگی می توانند روی همدیگر اثر بگذارند . بنابراین باید مساله نویز در ساخت، مونتاژ و حتی در نصب و سرویس دستگاه ها و وسایل مورد توجه قرار گیرد.

حل مشکل نویز نیاز به داشتن اطلاعات کافی در مورد ماهیت نویز، راه های ورود نویز و روش های صحیح کاهش نویز دارد . امروزه مهندسین با این مساله به طور صحیح برخورد نکرده و راه هایی که برای کاهش و یا حذف نویز ارائه می دهند ،علاوه بر تحمیل هزینه زیاد ،تاثیر چندانی نیز ندارند .در همین راستا اغلب مهندسین به دلیل دانش کم نسبت به مکانیزم نویز سعی در حل این مساله از طریق آزمون و خطا دارند . چنین تلاشی موجب اتلاف وقت زیادی شده و هم چنین ممکن است راه حل به دست آمده ،با ورود دستگاه به محل جدید ،اثر خود را از دست بدهد .این در حالی است که اصول مربوط به نویز ساده بوده و با استفاده از فیزیک مقدماتی نیز قابل توجیه است .

## دلیل اهمیت نویز چیست؟

نویز از این جهت حائز اهمیت است که محدوده اساسی عملکرد طبیعی تمام سیستم ها و جریانات الکترونیکی را تعیین می کند.

در گذشته گفته می شد که زمانی نویز از اهمیت برخوردار می شود که ما با سیگنال های ضعیف سر و کار داشته باشیم.این مطلب صحیح است، اما دقیق تر این است که باید زمانی به نویز توجه داشت که نوسانات سیگنال های پردازش شده مشابه نوسانات نویز موجود باشد. واضح است که اگر منظور ما منحصرا نویز ذاتی (نویز در نهاد دستگاه) باشد(که در ادامه بررسی میشود) تنها احتمال خطر از دست دادن محتوای اطلاعات سیگنال های خیلی ضعیف در یک محیط نویزی وجود دارد و اطلاعات موجود در سیگنال های با دامنه بالا از بین نخواهد رفت.اکنون فرض کنید که یک نویز خارجی نیز در نظر گرفته می شود.به این دلیل که نوسانات آن به طور قابل توجهی بیشتر از نوسانات نویز درونی (ذاتی) است حتی سیگنال های قوی نیز ازشرنویزخارجی مصون نخواهند بود.

بنابراین آنچه که واقعا اهمیت دارد سطح سیگنال نیست بلکه نسبت دامنه سیگنال به دامنه نویز می باشد. نسبت های پایین سیگنال به نویز آسیب پذیری سیگنال را نشان می دهند در حالی که نسبت های بالای سیگنال به نویز نشان دهنده مصونیت در برابر نویز هستند.

یکی از مهمترین تلاش های مهندسان کوچک کردن دستگاه ها و سیستم ها می باشد که منجر به کارکردن اجزا و عناصر آنها در فضای کوچکتری می شود .حال استفاده ی گسترده از سیستم های الکترونیکی ،الکتریکی و مکانیکی در نزدیکی و کنار هم باعث ایجاد پدیده نویز می شود که در نتیجه ی آن عدم رسیدن به اهداف طراحی شده برای سیستم می باشد .

حال راه هایی وجود دارند که می توانند اثر نویز را روی سیستم ها کاهش دهند و یا حتی حذف کنند . البته به عنوان اولین قدم در مسیر کاهش نویزباید سه فاکتور مشترک در تمام سیستم هایی که دارای مشکل نویز هستند را مشخص کنیم :*منبع نویز،*راه های انتقال نویز از منبع به گیرنده و *گیرنده ی نویز

۱.منبع نویز:

عامل به وجود آورنده نویز را منبع نویز گویند .نویز ایجاد شده توسط منبع می تواند از یک سیستم به سیستم دیگر و یا در یک سیستم مثلا از یک طبقه ی مدار به طبقه ی دیگر مدار انتقال یابد.کلا برای کاهش نویز، منبع فاکتور خوبی می باشد که اگر بتوان آنرا از لحاظ سیگنال های نویزی از سایر قسمت های مدار ایزوله کرد کار شایانی در راستای کاهش و یا حتی حذف نویز صورت گرفته است.

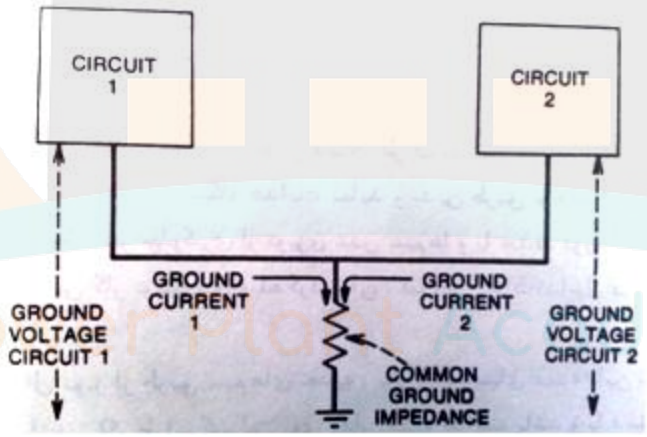
۲.راه های انتقال نویز

I. *کوپلاژ هدایتی نویز*

یکی از راه های بدیهی ولی غالبا دور از توجه ،انتقال نویز از طریق سیم های رابط می باشد. یک سیم می تواند از محیط اطراف نویز را دریافت کرده و به داخل و یا قسمت های دیگر دستگاه هدایت کند و بدین طریق موجب تداخل ((اثر گذاری روی قسمت های دیگر)) شود.حال این وظیفه ی طراح است که قبل از طراحی سیستم ،فکر جلوگیری ازانتقال نویزاز طریق سیم های رابط را بکند.

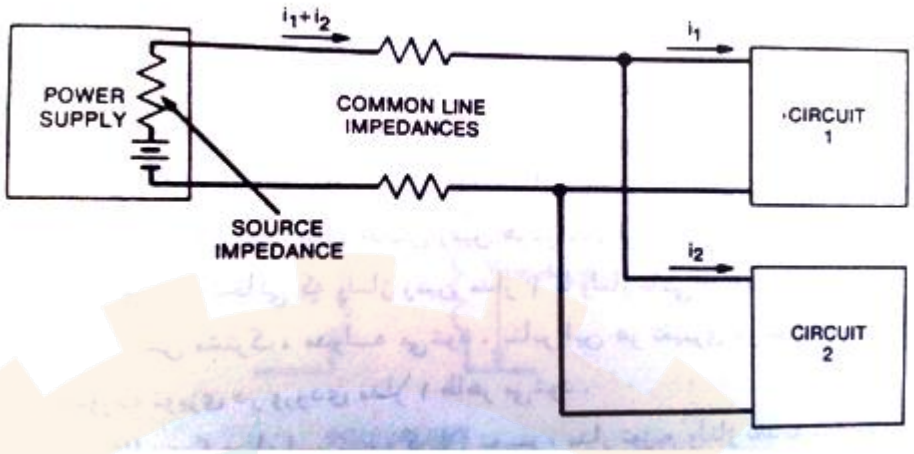
II. *کوپلاژ از طریق امپدانس مشترک*

این نوع کوپلاژ موقعی رخ می دهد که جریان های دو مدار مختلف،از امپدانس مشترکی عبور کنند.در این حالت افت ولتاژ روی امپدانس مشترک ، از طرف هر دو مدار دیده می شود .




به عنوان مثال شکل بالا را در نظر بگیرید.جریان زمین هر دو مدار ازمقاومت مشترک زمین عبور می کند .از آن جایی که ولتاژ زمین مدار ۱ با ولتاژ ناشی از عبور جریان مدار ۲ از امپدانس مشترک ،مدوله می شود،بنابراین هر تغییر در جریان مدار ۲ به صورت نویزی در ورودی مدار ۱ ظاهر می شود.

مثال دیگری از این نوع کوپلاژ نویز مدار توزیع ولتاژ تغذیه است.هر نوع تغییری در جریان مدار ۲ به صورت تغییر در ولتاژ تغذیه مدار ۱ ظاهر می شود که این ناشی از امپدانس سیم های مشترک تغذیه و امپدانس ورودی منبع تغذیه است.




برای اصلاح این مدار می توان تغذیه مدار ۲ را مستقیما از خروجی منبع تغذیه گرفت.در این صورت امپدانس مشترک کاهش خواهد یافت.ولی در این حالت هم هنوز امپدانس ورودی منبع تغذیه که در هر دو مدار مشترک می باشد،مساله ساز است ولی به هر حال نسبت به حالت قبل بسیار اصلاح شده است.

### *III. میدان های الکتریکی و مغناطیسی*

تشعشع میدان های مغناطیسی و الکتریکی نوع دیگری از کوپلاژ نویز را تشکیل میدهند.

تمام المان های مدار هنگام عبور بار الکتریکی از آنها تشعشع می کنند. علاوه بر این تشعشع غیر عمدی ،تشعشع ایستگاههای رادیویی و مخابراتی نیز وجود دارد. این تشعشعات ممکن است الکتریکی ،مغناطیسی یا ازهر دو مورد باشد. نکته ی مهمی که برای بررسی نویزوجود دارد این است که اگر منبع تشعشع از گیرنده فاصله داشته باشد، حاصل ترکیب این دو میدان ،به صورت الکترومغناطیسی،ایجاد نویز خواهد نمود ودر نتیجه باید به صورت الکترومغناطیسی بررسی شود.

### ۳.گیرنده ی نویز

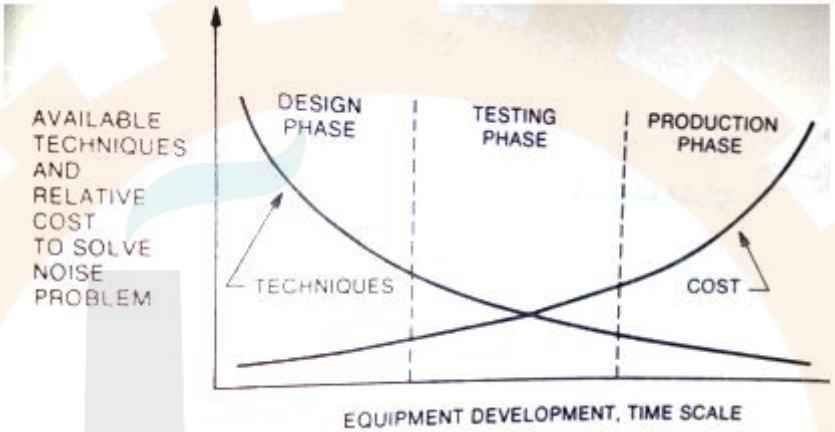
به سیستمی که نویز محیط اطراف می تواند روی آن تاثیر گذارد گیرنده گویند .شناخت وبررسی گیرنده از آن جهت اهمیت دارد که ما می توانیم با کاهش حساسیت گیرنده به نویز موجب کم شدن اثر نویز روی سیستم شویم.در نتیجه میتوانیم شاهد کار کردن سیستم طراحی شده در یک محیط به مراتب بالا تری از لحاظ سطح نویز باشیم.

در ادامه ی بحث اهمیت نویز می خواهیم زمان مناسب پرداختن به این مساله را بررسی کنیم.می دانیم که برای تولید یک سیستم سه مرحله وجود دارد .اول مرحله ی طراحی سیستم ها و مدارات می باشد .


www.powerplantac.com

بهترین زمان برای پرداختن به مساله نویز در همین مرحله است.دوم مرحله ی تست سیستم می باشد و سپس تولید .

برای بررسی نویز یک سیستم، تست های زیادی وجود دارد که یکی از مهمترین آنها EMC(electromagnetic compatibility) یا سازگاری الکترومغناطیسی است که عبارت است از توانایی دستگاه در انجام دادن کار صحیح خود در داخل میدان های مغناطیسی محیط.این تست ها باید در مرحله ی طراحی دستگاه انجام پذیرد .در صورت نادیده گرفتن تست ها در این مرحله ، مشکل نویز در مرحله ی دوم یعنی تست دستگاه ظاهر شده و حل آن در این مرحله گران تمام می شود و رضایت بخش هم نخواهد بود.در طی سه مرحله ی طراحی،تست و تولید روش های موجود در جهت حذف نویز به ترتیب کاهش و در مقابل هزینه ی آنها افزایش می یابند.




بنابراین هر قدر مساله تداخل را زود تر مورد توجه قرار دهیم حل آن بهتر و ارزان تر خواهد بود.مثلا آزمایش نشان میدهد که در صورتی که جلو گیری از نویز در مرحله طراحی انجام شود، طراح قادر است ۸۰ تا ۹۰ درصد از مساله نویز را قبل از مرحله تست دستگاه حل نماید.در غیر این صورت اگر سیستمی بدون توجه به مساله جلوگیری از نویز، طراحی شده باشد به احتمال زیاد ،این مساله در مرحله تست بروز خواهد کرد.

در این زمان پیدا کردن این که کدام یک از عوامل نویز در ایجاد این مشکل سهیم هستند،آسان و واضح نخواهد بود.اغلب راه حل ها در این مرحله ،شامل اضافه کردن بخش هایی می شود که جزو لازمه ی مدارنیستند.خسارات ناشی از آن نه تنها در اتلاف بیش تر وقت مهندسان است بلکه موجب مصرف بیش تر اجزا و حتی به هم زدن تاسیسات دستگاه نیز خواهد بود و حتی ممکن است که منجر به ازدیاد تلفات توان و افزایش وزن و حجم دستگاه شود.

به علاوه به حداقل رساندن نویزی که دستگاه می تواند تولید کند ،باید به موقع مورد توجه قرار گیرد . چون نویزآن ممکن است روی وسایل دیگر موجب بروز اغتشاش و تداخل شود .همیشه کنترل نویز در منبع تا حد امکان ،مطلوب تر است.چون می تواند مانع از به وجود آمدن مشکل نویز در تعداد بی شماری از وسایل دیگر شود .بنابراین یک سیستم باید طوری طراحی شود که نه تنها محیط روی آن اثر منفی نگذارد بلکه دستگاه هم روی محیط اطراف خود تاثیر منفی ایجاد ننماید .این مساله به قدری

مهم است که برخی کشور های پیشرفته به تدوین قوانینی در این رابطه پرداخته اند.پس اهمیت طرح دستگاهی که حداقل نویز را ایجاد کند درست به اندازه ی طرح دستگاهی است که حداقل حساسیت به نویز را داشته باشد.نهایتا هدف اصلی ازلحاظ نویزدر طراحی سیستم ها بالا نگه داشتن هر چه بیش تر نسبت توان سیگنال مطلوب به توان نویز است.

در ذیل به مجموعه ای از عبارات جزئی می پردازیم که نشان میدهد چگونه نویز می تواند عملکرد سیستم های الکترونیکی را تحت تاثیر قرار دهد:

حداقل سیگنال مطلوب درجریان آنالوگ توسط نویزی که به صورت داخلی و خارجی ایجاد میشود محدود می گردد.

اگراز تقویت کننده استفاده می کنید سطح نویز طبق قدرت آمپلی فایر محدوده بالاتری را مشخص می کند، از این رو در صورتی که قدرت افزایش یابد، آمپلی فایر اشباع می شود.

در مدارهای آنالوگ دامنه دینامیکی زیاد به این معنی است که به وجود نوسان زیاد و نویز پایین نیاز است.

نویز، محدوده حداقل سیگنال قابل ردیابی را در آشکارسازها و ریسیورها معین می کند.

**نویز مسئول خطاهای موجود در اندازه گیری سطح یک سیگنال آنالوگ ضعیف است. در نتیجه نویز محدوده نهایی حساسیت اندازه گیری را مشخص می کند.**

نویز می تواند منجر به وقوع اشتباهاتی در فاز سیگنال اندازه گیری شده گردد. این مسئله می تواند صحت تخمین مسافت را در سیستم هایی که از تکنیک های پالس اکو استفاده می کنند ( مانند رادارها، ردیابهای صوتی، سیستم های تصویری پزشکی و ...) تحت تاثیر قرار دهد.

نویز می تواند داده دودویی ذخیره شده در حافظه ها را نیز مختل کند، ۰ به صورت تصادفی تبدیل به ۱ می شود یا بالعکس.

گرچه مدارهای منطقی ترکیبی، بیشتر در برابر نویز مصون هستند،لازم است که در تکنولوژی میکروالکترونیک مربوط به افزایش فرکانس های عامل، نویز به عنوان عنصری کلیدی در فرآیند طراحی در نظر گرفته شود.( اهمیت یکسانی با زمان سنجی و توان دارد )

**تعاریف نویز:**

- **تعاریف کلی :**

1. The IEEE Standard Dictionary of Electrical and Electronics Terms:

۱. یک سری آشفتگی بر روی سیگنال های مفید است که موجب مبهم شدن سیگنال می شود.
۲. پدیده ای که طی آن یک آشفتگی یا سیگنال ناخواسته در محدوده پهنای باند فرکانسی مفید یک سیگنال قرار گیرد تداخل(Interference)گویند.

2.Oxford English Reference Dictionary:

به نوسانات غیر عادی یک سیگنال انتقالی که مربوط به خود سیگنال نیست نویز می گویند.

این تعریف کاملا جامع است و هم نویز ذاتی(داخلی) و هم نویز غیر ذاتی(خارجی) را در خود جای می دهد.(در ادامه با انواع نویز آشنا خواهیم شد.)

3.The Modern Dictionary of Electronics:

به هر آشفتگی الکتریکی یا سیگنال نادرستی که موجب تغییر در ارسال و محتوای اطلاعات گردد نویز می گویند.(البته اینکه بگوییم نویز منجر به تغییر در ارسال،نمایش یا ضبط اطلاعات می شود محدود به تعریف است والا نویز هایی نیز وجود دارند که آسیبی به اطلاعات پردازش شده نزده اند.)

4.The New Penguin Dictionary of Science:

نویز،هر نوع آشفتگی ناخواسته و معمولا تصادفی در سیستم های الکترونیکی،الکتریکی و مخابراتی است که در عملکرد داخلی سیستم مداخله می کند.(این تعریف نیز هم نویز ذاتی و هم نویز غیر ذاتی را در بر می گیرد.)

از نظر تاریخی کسانی که بر روی مدار های آنالوگ کار می کردند اولین افرادی بودند که با مشکلات وجود نویز رو به رو شدند. واندر زایل(Van der Ziel)متوجه شد که از لحاظ مفهوم استفاده از نوسانات خود به خود(Fluctuation Spontaneous) مناسبتراز اصطلاح نویز است.بعد ها رین فلدر(Rain Felder)به پیروی از هارتمن(Hartmann)تعریفی مشابه تعریف امروزی IEEE ارائه داد یعنی نویز را به عنوان یک سیگنال ناخواسته که حامل هیچ اطلاعات مفیدی نیست تعریف کرد.

چنت(Chenette)جزئیاتی را به این تعریف افزود به این ترتیب که نویز با توجه به ویژگی های آماریی که دارد باید به صورت آشفتگی الکتریکی( Electrical Disturbance)تعریف شود.

- **تعریف نویز در شاخه ها ی مختلف مهندسی برق:**

باید توجه داشت که اثر نویز در هر یک از شاخه های مهندسی برق تعریف آن را محدود می کند.

- در مهندسی قدرت نویز الکتریکی که یک اختشاش الکتریکی نامیده می شود منجر به اتلاف بیشتر توان در خطوط انتقال می شود.

- در مخابرات و ارتباطات نویز به عنوان یک اختلال(Crosstalk) و یا شاید به عنوان عامل ایجاد کننده ترافیک در کانال ها تعریف می شود.
- در الکترونیک نویز عاملی محسوب می شود که موجب اختلال در ارسال و یا دریافت اطلاعات می شود. حال کمی تعاریف را ریزتر می کنیم:

در زمینه مدار های دیجیتال (که دنیایی کاملا متفاوت دارد،چون طراحان مدار های دیجیتال تنها به محدوده زمان فکر می کنند)نویز به عنوان یک خطا و انحراف از مقدار واقعی سیگنال است که در فاصله هایی از زمان به صورت پویا ظاهر می شود.این مقدار خطا در تئوری مدار های آنالوگ به عنوان نوسانات شناخته می شود. این خطا در مقدار سیگنال می تواند به علت های مختلفی از جمله:

۱. تغییرات و بی ثباتی منبع تغذیه DCباشد
۲. شیفت پیدا کردن مقادیر واقعی در هنگام پردازش
۳. تغییرات دما
۴. تابش های محیط و...باشد.

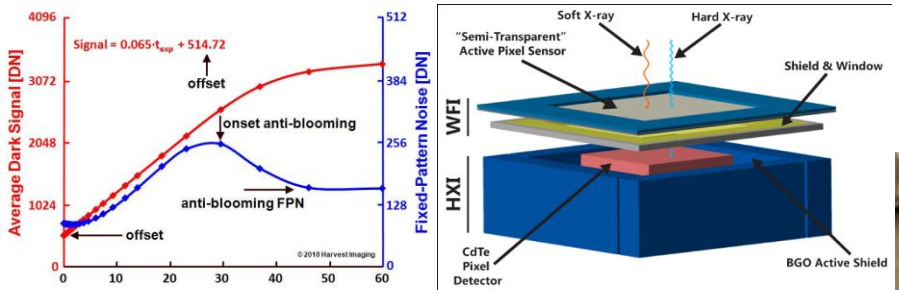
(این موارد معمولا در مدار های آنالوگ به حساب نمی آیند.) در مدار های منطقی با اصطلاح نویز القایی(Inductive Noise) روبه رو می شویم.این مفهوم از آنجا گرفته شده که وقتی ولتاژی دو سر یک القاگر ظاهر گردد جریان آن به سرعت تغییر نمی کند،نویز القایی ناشی از پارازیت تزویج شدن در نزدیکی مدار است.(بنابر این هر گاه ولتاژ انتقالی در نزدیکی مدار تبدیل شود موجب یک آشفتگی در مدار می شود.)

در مدار های مجتمع دیجیتال CMOS به هر گره ای که برای ارسال اطلاعات بین گیت های منطقی و مدار استفاده می شود گره ارزیابی(Evaluation Node) می گویند.

نویز ایستا هرگونه انحراف از مقدار واقعی بین ولتاژ منبع و زمین در گره ارزیابی تعریف می شود. که در حالت عادی باید صفر یا یک منطقی باشد.طراحان مدار های دیجیتال شامل APS( Active Pixel Sensor)با نویز های موقتی(Temporal Noise) سرو کار دارند.یکی از ویژگی های خاص این شاخه پویا بودن مدارهای دیجیتال است.(به این معنی که توپولوژی این مدارات به گونه ای است که مقادیر عناصر آن وابسته به زمان است زیرا ترانزیستور ها به طور دائمی بین حالت قطع و اشباع سوئیچ می شوند)علاوه برآن در بیشتر کاربرد های APS ،مدار بیشتر در حالت گذراست تا پایدار.روش شناسایی این نوع نویز پیچیده تر است زیرا هیچ یک از عملکرد های مدار به صورت پایدار نیست.(نویز هایی که تابه اینجا بررسی شد نویز های با الگوی ثابت(Fixed-Pattern Noise) نیز نامیده می شوند) در واقع نویز موقتی را می توان نوساناتی وابسته به زمان که از منبع اصلی به وجود می آیند تعریف کرد.


www.powerplantac.com

اصطلاح نویز ورودی، اشاره به یک پالس و یا خطایی که در ورودی گیت های منطقی ظاهر می شود دارد.




- **دید کلی:**

به طور کلی ما نویز ها را به دو دسته تقسیم می کنیم:

**۱. نویز های ذاتی یا داخلی(Intrinsic Noise):**

این نوع نویزدرداخل مدار تولید می شود و وابسته به ماهیت فیزیکی مدار هستند. به عنوان مثال در سیستم های خطی منشا این نویز ماهیت گسسته حاملان بار است و بنابراین تعداد بارهایی که در یک مقطع مشخص نسبت به زمان در حال نوسان اند باعث به وجود آمدن نویز می شود. این نوسانات همیشگی و غیر قابل اجتناب اند.(بنابراین ما نمی توانیم نویز های ذاتی را از بین ببریم اما با تکنیک هایی که در ادامه گفته خواهد شد می توانیم اثرات آنها را کاهش دهیم.)

- **نویزحرارتی یا نویز سفید**

نویز حرارتی ،چنانچه از نام آن مشخص است از حرکت تصادفی حامل های باردار در یک محیط رسانا که دمایش بالا تر از صفر مطلق است ناشی می شود .سرعت این حرکت با افزایش دما زیاد می شود .این نویز را نویز سفید نیز می نامند.نویز حرارتی را نویز جانسون یا نویز مقاومتی نیز می نامند زیرا جانسون دریافت که این نوع نویز در تمام هادی ها وجود دارد و وابسته به درجه حرارت می باشد.

تعبیر دیگری از نویز سفید: به خاطر طیف فرکانسی(Frequency Spectrum) و بسیاری از عملکرد های آن در اغلب فرکانس ها،نویز سفید(White Noise) نیز می گویند.به این مفهوم که این نویز در زمینه تمام سیگنال هایی که در محدوده مهندسی با آنها سر و کار داریم ظاهر می شود.

همچنین نایکویست رابطه ی ولتاژ این نوع نویز را به صورت ریاضی و با استفاده از اصول ترمودینامیکی به این صورت یافت : $v=\sqrt{4kTBR}$

این رابطه ولتاژ موثر(rms) نویز مدار باز ایجاد شده توسط مقاومت را نشان می دهد.

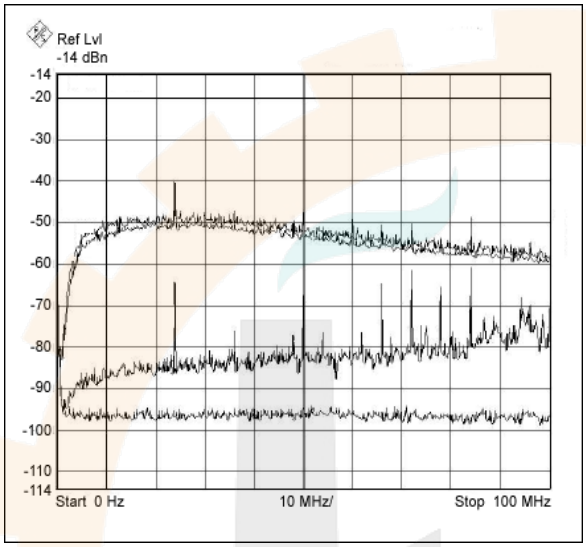

www.powerplantac.com

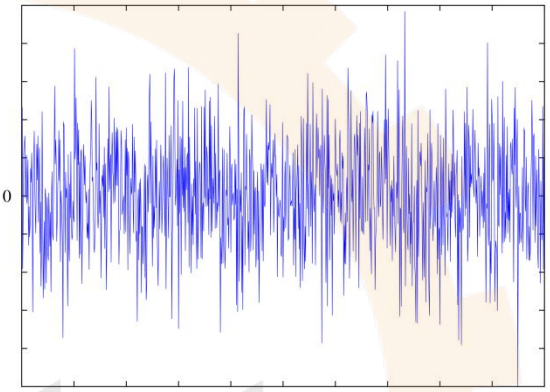
که در آن k ثابت بولتزمان،Tدرجه حرارت مطلق،Bپهنای باند معادل نویز و Rمقدار مقاومت بر حسب اهم است.

نویز حرارتی تنها تابعی از مقدار مقاومت بوده و بستگی به جنس مقاومت ندارد.

در مدل سازی که برای تحلیل مدار انجام میگیرد میتوان با سری کردن یک منبع ولتاژ به اندازه ی مقدارنویز حرارتی اندازه گیری شده به همراه مقاومت بدون نویز استفاده کرد.

اگر چه مقدار rms نویز حرارتی تعریف شده است ولی مقدار لحظه ای آن تنها توسط حساب احتمالات قابل پیش بینی است.(درادامه تصاویری از نویز سفید را مشاهده می کنید.)

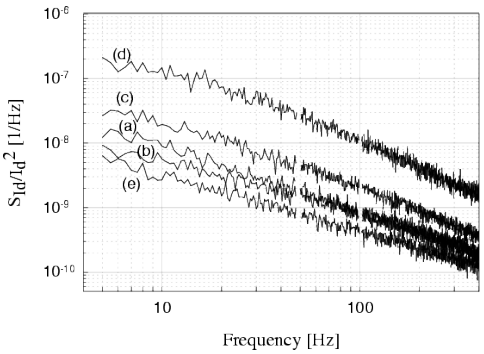



- **نویز اتصالی (flicker or 1/f Noise)**

نویز اتصالی ناشی از تغییر ضریب هدایت می باشد که در اثر اتصال غیر کامل بین دو ماده به وجود می آید .این نویز در هر جایی. که دو هادی به هم متصل شده باشد به وجود می آید مثل سوییچها یا کنتاکت های رله و یا در ترانزیستور و دیود به دلیل اتصال غیر کامل رخ می دهد. به نویز اتصالی و به دلیل نسبت عکس فرکانسی اش، نویز 1/f یا نویز فرکانس پایین نیز می گویند زیرا در فرکانس بالا مقدار کمی دارد.

جریان نویز ایجاد شده در مدار به صورت روبه رو بدست می آید: $I_f=kI_{dc}\frac{\sqrt{B}}{\sqrt{f}}$



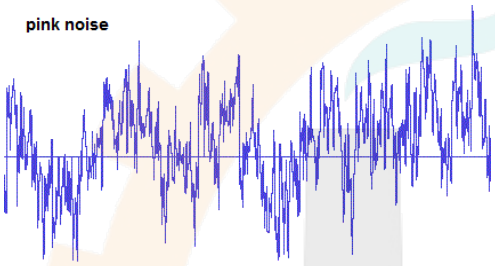

$I_{dc}$= متوسط جریان dc بر حسب آمپر

f = فرکانس بر حسب هرتز

K= ضریب ثابتی که به جنس ماده و شکل هندسی آن بستگی دارد

B= پهنای باندی (برحسب هرتز) که مرکزآن حول فرکانس f است

باید توجه کرد که مقدار نویزاتصالی در فرکانس های کم به دلیل مشخصه 1/f آن ،خیلی زیاد می شود . نکته ی مهم این که اکثر تئوری های نویز اتصالی در فرکانس کم ثابت می شوند.همچنین به دلیل مشخصه ی 1/f نویز اتصالی در فرکانس های پایین معمولا مهمترین منبع نویز است.




*نویز اتصالی یکی از نویز های قابل توجه است که مقدار تقریبی 1/f در بازه ی فرکانسی سیگنال اصلی را دارد به این معنا که قدرت این نویز با افزایش فرکانس کاهش می یابد، گاهی این نویز را نویز صورتی (Pink Noise) نیز می نامند.*

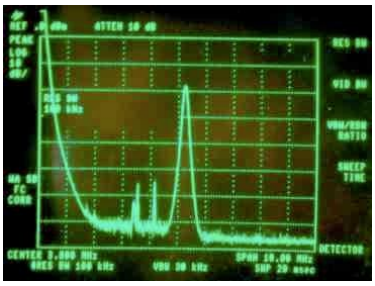
- **نویز ضربه ای(Shot Noise)** (که در الکترونیک به آن اثر ساچمه ای هم می گویند.)

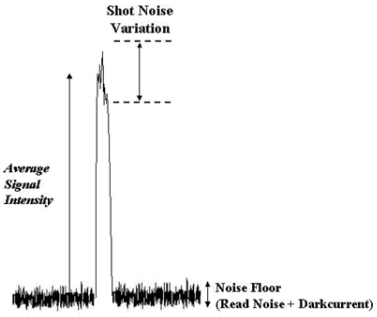
شات نویز موقعی به وجود می آید که جریان گذرنده از یک المان حول یک مقدار متوسط کم و زیاد شود و نوسان پیدا کند که علت آن صدور نا مرتب الکترون هاست .

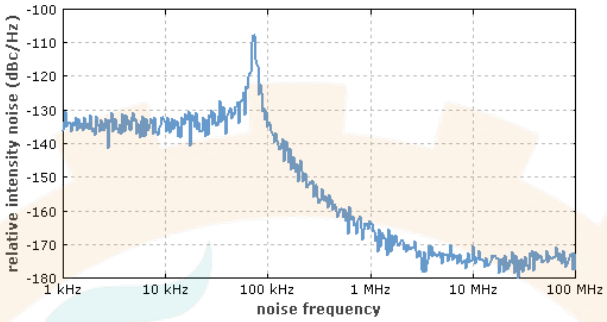
این نویز در لامپ خلا و در نیمه هادی ها وجود دارد .در لامپ های خلا ،شات نویز در اثر صدور نا مرتب الکترون ها از کاتد به وجود می آید .در نیمه هادی ها نیز شات نویز ناشی از نفوذ حامل ها ازبیس ترانزیستور و به وجود آمدن و دوباره ترکیب شدن جفت الکترون و حفره می باشد.

رابطه ی رو به رو جریان موثر(rms) ناشی از شات نویز در یک المان را که توسط شاتکی بدست آمد بیان می دارد . $I_{sh}=\sqrt{2qIB}$

که در آن q بار الکترون،I متوسط جریان بر حسب آمپر و B پهنای باند نویز بر حسب هرتز هستند.





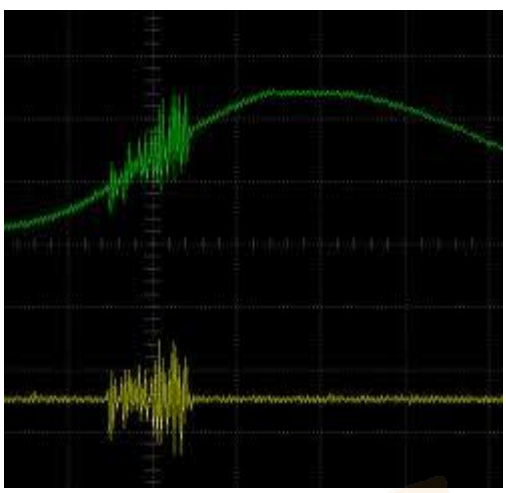



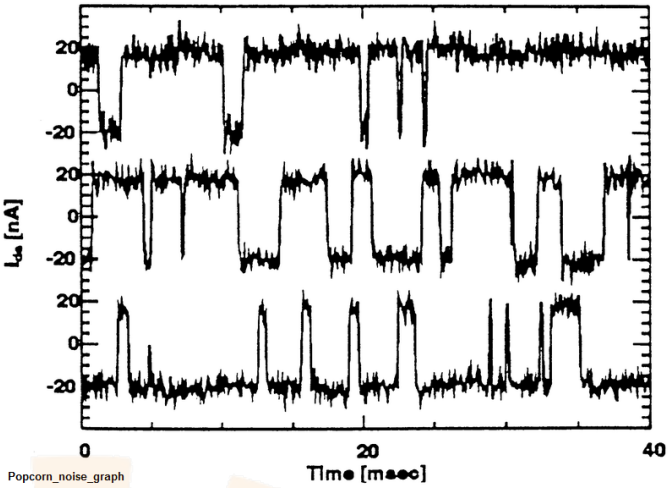

## نویز پاپکورن

نویز پاپکورن که نویز انفجاری (burst noise) هم نامیده میشود ،برای اولین بار در دیود های نیمه هادی کشف شد .هم اکنون در مدارات مجتمع نیز وجود دارد .اگر نویز انفجاری تقویت شده و به بلند گو برود صدایی شبیه به صدای انفجار به وجود می آورد و با نویز حرارتی که به آن افزوده می شود صدایی کاملا شبیه به بو دادن ذرت پیدا می کند، و به همین دلیل به آن نویز پاپکورن گویند.

بر خلاف منابع نویزی که در این بخش بیان شدند ،نویز پاپکورن ناشی از نقص ساخت کارخانه ای بوده و می توان با روش های پیشرفته در ساخت المان ها ،آن را حذف نمود.

این نویز در اثر نقص اتصال نیمه هادی ،ومعمولا به دلیل کثیف بودن فلز ،به وجود می آید.نویز پاپکورن به صورت انفجاری بوده و موجب تغییرات تصادفی در سطح ولتاژ نویز حرارتی می شود . پهنای انفجارات نویز از میکرو ثانیه تا چند ثانیه متغیر است . فرکانس تکرار آن قابل پیش بینی نبوده و از یک پالس در دقیقه تا چند صد پالس در ثانیه می باشد. ولی برای هر نمونه ی خاصی از المان ،دامنه ی آن ثابت است چون تابعی از مشخصه ی نقص در اتصال می باشد.






## جمع کردن ولتاژهای نویز

ولتاژها یا جریان های نویزی که مستقل و بدون ارتباط با همدیگر باشند را غیر همبسته گویند(uncorrelated). وقتی که منابع نویزغیر همبسته باهم جمع شوند ،قدرت کل برابر با حاصل جمع قدرت تک تک آنها خواهد بود(جمع آثار یا super position) . بر مبنای جمع کردن قدرت ها ، جمع کردن دامنه ی ولتاژ نویز های غیر همبسته به این صورت می باشد: $V^2_{total}=V_1^2+V_2^2+\dots$
پس ولتاژ نویز کل به این صورت می باشد :

$$V_{total}=(V_1^2+V_2^2+\dots)^{1/2}$$

حال اگر دو ولتاژ نویز همبسته باشند به صورت زیر با هم جمع میشوند :

$$V_{total}=(V_1^2+V_2^2+2\beta V_1 V_2)^{1/2}$$

که β ضریب همبستگی بوده و مقداری بین ۱+ تا ۱- دارد . وقتی که β مساوی صفر شود دو ولتاژ غیر همبسته خواهند بود . $|\beta|=1$ شود ،دو ولتاژ کاملا همبسته می شوند.

وقتی که $|\beta|$ بین صفرو یک با شد دو ولتاژ همبسته جزئی (partition correlated) هستند .

**نویز انتشاری(diffusion noise) و ...**

- **ویژگی های نویز های ذاتی:**

یکی از مهمترین ویژگی های نویز های ذاتی تصادفی بودن آنهاست به این معنی که ما قادر به پیش بینی دامنه نوسانات ولتاژ و جریان نیستیم و مجبوریم یک توصیف آماری برای آن بیان کنیم.

ویژگی دیگر این نویزها این است که دامنه آنها بسیار کوچک است.(به ندرت به کسری از میلی ولت می رسد و معمولا کمتر از ۱میکرو ولت است.)

**۲. نویز های غیر ذاتی یا خارجی(Extrinsic Noise) :**

منشاء نویز های غیر ذاتی در خارج از مدار قرار دارند در واقع در این حالت مدار مثل یک آنتن گیرنده عمل می کند به همین خاطر این نوع نویز را با اصطلاحاتی چون سیگنال ها فرعی( Extraneous Signals)،سیگنال های مزاحم(Spurious Signal) یا آشفتگی و اختلال(Perturbations) نیز می شناسند.

بر اساس منشاء های ممکن برای این نویز، آن را به دو دسته کلی تقسیم می کنیم:

**الف) اختلال محیطی(Environmental Perturbation):**

نمونه هایی از این اختلالات عبارتند از :

* نویز آسمان(فضایی)(Sky Noise )که شامل منابعی با برد زیاد مثل خورشید و کهکشان راه شیری است.

* نویز جوی(Atmosphere Noise) مثل آذرخش است.

* نویز های مصنوعی که توسط بشر در طبیعت منتشر شده است. این نوع نویز می تواند منشاء هایی چون موتور های الکتریکی، قوس الکتریکی،خطوط قدرت، اثر نئون(Neon signs)، سوئیچ ها،شمع(Spark Plugs)(مولد جرقه در موتور) در سیستم های احتراقی، دشارژ الکترواستاتیک، تجهیزات برق قدرت، ایستگاه های سرویس دهنده رادیو و تلوزیون، وسایل برقی خانگی، تلفن های همراه و ... داشته باشند.

**ب)تداخل یا نویز انتقالی(Crosstalk Noise):**

گاهی در مدار سیگنال هایی مفید داریم که توسط پارازیت های ناشی از تزویج شدگی از مدار گرفته می شوند این عمل یک اختلال محسوب می شود و بطور کلی این پدیده را تداخل بین دو سیستم می گویند.

به طور کلی اثر تداخل(به معنی اثر ناخواسته یک سیگنال مخرب) را می توان توسط موقعیت نسبی کابل ها،نوار های مسی و عناصر مداری که در چهارچوب مشخصی قرار می گیرند تاحد زیادی کاهش داد.

❖ **ویژگی های نویز های غیر ذاتی:**

دامنه تمامی این اختلالات نسبتا بلند بوده و گستره ی طیف آنها به گونه ای است که قبل از اینکه به طول موج مرئی برسند بریده می شوند. بسیاری از این نویز ها شکل منظمی دارند و تناوبی اند.

❖ **ویژگی های عمومی نویز های ذاتی و غیر ذاتی:**

- نویز ذاتی اصولا به صورت تصادفی تاثیر می گذارد، در ماهیت همه مواد وجود دارد و نیاز به تعریف آماری دارد.
- نویز غیر ذاتی ماهیت ثابتی داشته و نیازی به تعاریف آماری ندارد. عملا فرکانس سیگنال های مزاحم از قبل معلوم است(مثل امواج رادیویی که طیف خاصی دارند و یا سیگنال هایی با


www.powerplantac.com

فرکانس، هارمونیک ها وهارمونیک های فرعی(Sub harmonic) مشخص ولی اغلب اختلالات در مدار ناشی از برهم نهی(Superposition) چندین سیگنال ثابت است.

## مشخصه های اصلی نویز:

- **پهنای باند :**

نویز های ذاتی در محدوده تمام فرکانس هایی که در علوم مهندسی با آنها سر و کار داریم ظاهر می شوند ولی دامنه ای بسیار کوچک دارند. مثل نویز لرزشی یا گرمایی.

زمانی که یک نویز ذاتی در مداری ظاهر شود هیچ روشی برای حذف آن وجود ندارد چرا که گستره ی فرکانسی آن تا فرکانس های بسیار بسیار بالا گسترش یافته است. (معمولا بالاتر از فرکانس های هر سیگنال واقعی)

در نقطه مقابل نویز های غیر ذاتی قرار دارند، این نویز ها گستره ی فرکانسی بسیار محدود تری دارند، ویژگی مذکور این امکان را به ما می دهد که با قرار دادن فیلتر های مناسب این سیگنال ها را پس بزنیم(Reject) و یا اینکه بتوانیم باند فرکانسی سیگنال های مفید را به بیرون از گستره ی فرکانسی آن ها انتقال دهیم.

- **دامنه:**

همان طور که قبلا گفته شد دامنه نویز های ذاتی نسبتا پایین است. به عنوان مثال نویز حرارتی مقاومت $100k\Omega$ در دمای معمولی (300’k) و در پهنای باند پایین حدود 1Hz دامنه ای حدود $40nV(rms)$ دارد. با این حساب خطای ناشی از این نویز در سیم ها و نوار های مسی برد های چاپی(PCB)مدار بسیار ناچیز است.

در مقابل، نویز های ناشی از تاسیسات صنعتی با دامنه ی بالای خود موجب اختلال در کار مدار و آسیب رساندن به آن می شوند.(حتی در بعضی مواقع دامنه آنها بیشتر از سیگنال های مفید می شود.)

یک اصل کلی چنین بیان می کند که دامنه ی نویز های ساخته ی دست بشر با افزایش فرکانس کاهش می یابد اما این تغییر با توجه به موقعیت قابل ملاحظه است.

## محاسبات مربوط به نویز:

محاسبات مربوط به نویز های ذاتی بسیار ساده تر از نویز های غیر ذاتی است و برای آن دو راه وجود دارد:

۱.محاسبه ی دستی پارامتر های نویز(که یک روند طولانی و طاقت فرسا برای رسیدن به جواب دارد.)

۲.استفاده از بسته های نرم افزاری موجود

در مورد نویز های غیر ذاتی، ما با آشفتگی های الکترومغناطیس و معادلات ماکسول سر و کار داریم و مشکل بعدی هم معادلات دیفرانسیل با چهار متغیر(زمان و سه متغیر مکان)است،که یک راه حل دقیق ،نیازمند شرایط مرزی پیچیده ای است که در محدوده زمان براحتی بیان شوند.(این شرایط با توجه به موقعیت و در سیستم های مختلف،به صورت متفاوت بیان می شوند.) به همین خاطر برای وضعیت های واقعی در جهان حل معادلات ماکسول زیاد کارایی ندارد و برای اندازه گیری نویز های مصنوعی در یک محل مشخص لازم است که از وسایل اندازه گیری نویز استفاده شود.(این دستگاه های اندازه گیری وابستگی زیادی به زمان یک روز،فصل و راستای قرارگیریشان دارند.)

## تکنیک های حذف نویز:

۱. طراحی نویز پایین(low-noise design):

اثری که نویز های ذاتی بر مدار خواهند گذاشت باید در همان مراحل اولیه طراحی لحاظ شوند. از آنجا که کارایی هر مدار با توجه به بزرگی درجه سیگنال به نویز آن مشخص می شود که یکی از مهمترین پارامتر های طراحی مدار است. با توجه به این پارامتر طراح می تواند به طور مناسبی توپولوژی مدار،سطح ورودی(input stage)،مدل قطعات اکتیو(مثل ترانزیستور های دوقطبیBJT یا اثر میدانیFET)،قطعات نویز پایین(low-noise component)،بایاس،فیدبک و ... را تعیین کند. زمانی که طراحی مدار به پایان رسید باید بدانید که دیگر هیچ چیزی مگر ملاحظاتی که در طراحی در نظر گرفته شده قادر به کاهش اثر نویز های ذاتی نیست. بنابراین رها کردن مسئله ی نویز های ذاتی با این حساب که در پایان آنها را محاسبه می کنیم می تواند به ایجاد مشکلی اساسی و یک روند طراحی مجدد گران قیمت ختم شود.

تکنیک های مختلفی وجود دارد که می توانند جلو اختلال و نویز خارجی را بگیرد:

۲.طراحی مناسب محل نوار های مسی در یک برد چاپی

۳.ایجاد زمین مناسب برای مدار

۴.فیلتر و بالانس کردن مدار(filtering and balancing)

۵.محافظ گذاشتن برای قسمت های مختلف مدار(shielding)

مثلا با قرار دادن قسمت های حساس مدار داخل جعبه فلزی زمین شده یا متصل شده با پایانه منفی در الکترونیک و یا استفاده از برد های چاپی چند لایه ،که لایه اول و آخر آن زمین شده است می

۶.استفاده از کابل های شیلد شده

شیلد کردن یکی از بهترین راه های کاهش تاثیرنویز است .در صورت استفاده از شیلد کردن ،اثر نویز به مقدار قابل ملاحظه ای کاهش می یابد . شیلد ها می توانند اطراف المان ها ، مدارات یا کابل ها و سیم های ارتباطی باشند. ضمنا جنس شیلد ها از مواد غیر مغناطیسی می باشد.

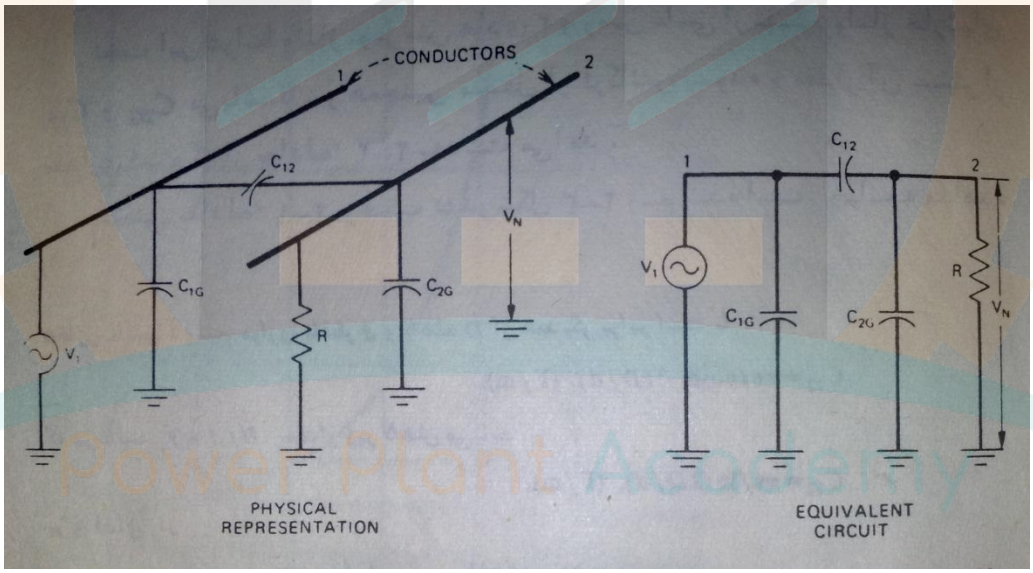
برای اینکه مساله شیلد کردن به راحتی قابل بررسی باشد ،کوپلاژ بین دو مدار(منبع و گیرنده) را توسط سلف ها و خازن های جمع شده بین سیم ها نشان می دهیم. این کار به دلیل بررسی مدار توسط تئوری شبکه ها است در غیر این صورت مجبور به استفاده از معادلات ماکسول هستیم که بسیار دشوار ودر برخی موارد غیر ممکن است.

کلا قادر به بررسی سه نوع کوپلاژ هستیم .

نوع اول کوپلاژ خازنی یا الکتریکی است که ناشی از تداخل میدان های الکتریکی بین مدارات است.نوع دوم کوپلاژ سلفی و یا مغناطیسی است که ناشی از میدانهای مغناطیسی بین مدارات است ونوع سوم کوپلاژ یا تشعشع الکترومغناطیسی بوده و ترکیبی از تاثیر میدانهای الکتریکی و مغناطیسی است.در صورتی که از روش های غلبه بر کوپلاژ الکتریکی و مغناطیسی با هم استفاده شود می توان بر کوپلاژ الکترومغناطیسی نیز غلبه کرد.برای آنالیز در نزدیکی منبع معمولا میدان های الکتریکی و مغناطیسی را جداگانه بررسی می کنیم و در صورت دور بودن از منبع ،میدان الکترو مغناطیسی بررسی می شود .

*۱ . کوپلاژ خازنی:*

شکل زیر نمایش ساده ای از کوپلاژ خازنی بین دو سیم را نشان می دهد.




خازن $C_{12}$ خازن پخش شده بین سیم های ۱و۲ است. $C_{1G}$ خازن بین سیم ۱ و زمین بوده و $C_{2G}$ خازن کلی بین سیم ۲ و زمین می باشد .R مقاومت بین سیم ۲ و زمین است. مقاومت R ناشی از اتصال مداری سیم ۲ بوده و عنصری پخش شده نمی باشد.خازن$C_{2G}$ شامل خازن پخش شده سیم ۲ و زمین و اثر هر مدار متصل به سیم ۲ است.


www.powerplantac.com

مدار معادل این شبکه نیز رسم شده است.حال فرض کنید که منبع ولتاژ $V_1$ روی سیم ۱ منبع نویز بوده و سیم ۲ گیرنده است.هر خازنی که موازی منبع نویز باشد ،مثل $C_{1G}$ اثری روی کوپلاژ نویز نداشته و می توان از آن صرف نظر کرد .ولتاژ نویز $V_N$ ایجاد شده بین سیم ۲ و زمین برابر است با :

$$V_N = \frac{jw[C12/(C12+C2G)]}{jw+1/R(C12+C2G)} V1$$

معادله بالا رابطه ی ولتاژ نویز بر حسب پارامتر های مدار را به طور روشن بیان نمی کند ولی وقتی که R کوچکتر از امپدانس $C_{12}+C_{2G}$ است یعنی:

$$R << 1/jw(C_{12}+C_{2G})$$

که در اکثر حالات عملی به همین صورت می باشد رابطه ی ولتاژ نویز به صورت زیر تبدیل می شود

$$V_N = jwRC_{12}V_1$$

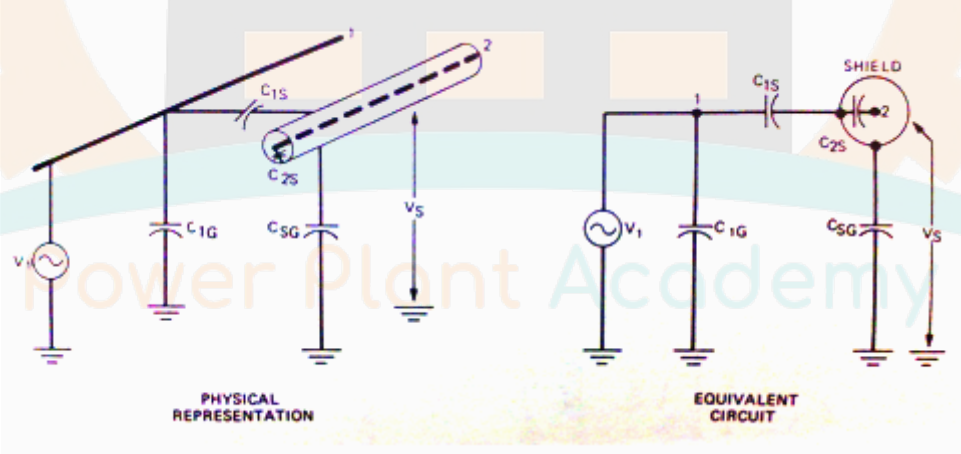
این معادله بهترین معادله ی بیان کننده کوپلاژ خازنی بین دو سیم می باشد و به وضوح چگونگی وابستگی ولتاژ نویز به پارامتر های مدارها را نشان می دهد .

معادله بیان می کند که ولتاژ نویز مستقیما به فرکانس منبع نویز ، مقاومت منبع نسبت به زمین و مقدار ولتاژ $V_1$ بستگی دارد. با فرض این که ولتاژ و فرکانس منبع نویز تغییر نکند ، تنها دو پارامتر برای کم کردن ولتاژ نویز باقی می ماند .خازن $C_{12}$ با جهت دادن صحیح سیم ها نسبت به هم و شیلد کردن و یا دور نمودن سیم ها از یکدیگر ،کاهش می یابد.

**تاثیر شیلد روی کوپلاژ خازنی**

ابتدا فرض میکنیم که سیم گیرنده ی نویز دارای مقاومت بی نهایت نسبت به زمین باشد.

اگر سیم دوم شیلد شود ،فرم مدار به صورت زیر خواهد شد.




در این شکل مدار معادل کوپلاژ خازنی بین دو سیم هم نشان داده شده است.ولتاژ القا شده بین شیلد و زمین برابر است با :


www.powerplantac.com

$$V_S=(C_{1S} /C_{1S}+C_{SG})\ V_1$$

حال چون جریانی از $C_{2S}$ عبور نمی کند پس : $V_N = V_S$ خواهد شد.

اگر شیلد زمین شده باشد، $V_S$ مساوی صفر شده و در نتیجه $V_N$ روی سیم دوم به صفر کاهش خواهد یافت.البته چنین حالتی که سیم داخل شیلد از شیلد خارج نشده حالتی ایده آل است که در عمل مقداری از سیم از شیلد خارج می شود و برای محاسبه نویز آن نیاز به محاسبات و مدل سازی پیشرفته تری است.

پس برای یک شیلد خوب برای مقابله با نویزبه واسطه ی کوپلاژ میدان الکتریکی باید دو شرط را رعایت کنیم .

۱)مقدار سیم خارج شده از شیلد به حداقل کاهش پیدا کند.

۲)زمین خوبی برای شیلد فراهم شود.

۲ . *کوپلاژ اندوکتیو (سلفی)*

وقتی جریان I از مدار بسته ای عبور نماید ، شار مغناطیسی $\varphi$ متناسب با مقدار جریان در اطراف سیم به وجود می آید. $\varphi = LI$

ضریب ثابت این تناسب را L (اندوکتانس)میگویند که به شکل هندسی مدار و خاصیت مغناطیسی محیطی که میدان در آن به وجود می آید ،بستگی دارد .مطلب دیگر اینکه وقتی که جریانی از مداری عبورکند شاری در مدار دوم القا میکند که به آن اندوکتانس متقابل (mutual inductance) میگویند و برابر است با:

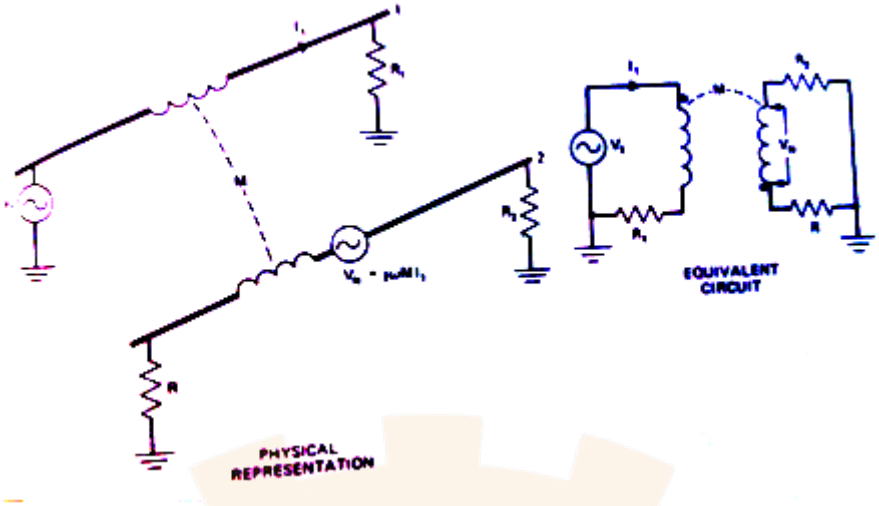
$$M_{21} = \varphi_{21} /I_1$$

$\Phi_{21}$ شاری از مدار2 است که توسط جریان مدار1 به وجود آمده است.ولتاژ نویز ($V_N$) که در اثر عبور جریان در سیم ۱ روی سیم ۲ القا میشود به صورت زیر بیان می شود.

$$V_N = j\ \omega\ MI_1 = M\ di_1/dt$$

که رابطه ی اول در حوزه ی دائمی سینوسی و رابطه ی دوم در حوزه ی زمان است.

شکل زیر کوپلاژ مغناطیسی بین دو مدار را نشان می دهد.




$I_1$ جریان مدار تداخل کننده بوده و M اندوکتانس متقابل بین دو مدار است که به فرم هندسی ،خواص مغناطیسی و فاصله ی دو مدار وابسته است .

مطلب مهم دیگر این که ولتاژ نویز ($V_N$) را می توان به صورتی دیگر بر حسب چگالی شارمغناطیسی (B) در اثر عبور میدان مغناطیسی و مساحت حلقه ای که شار ازآن عبور می کند(A) نوشت.

$$V_N = j\,\omega\, BA\cos\theta$$

حال مشاهده می شود که وجود $\omega$ در هر دو معادله بیانگر وابستگی مستقیم کوپلاژ با فرکانس است.اینک با توجه به دو معادله برای کاهش ولتاژ نویز می توانیم A ، B و یا $\cos\theta$ را تغییر دهیم.

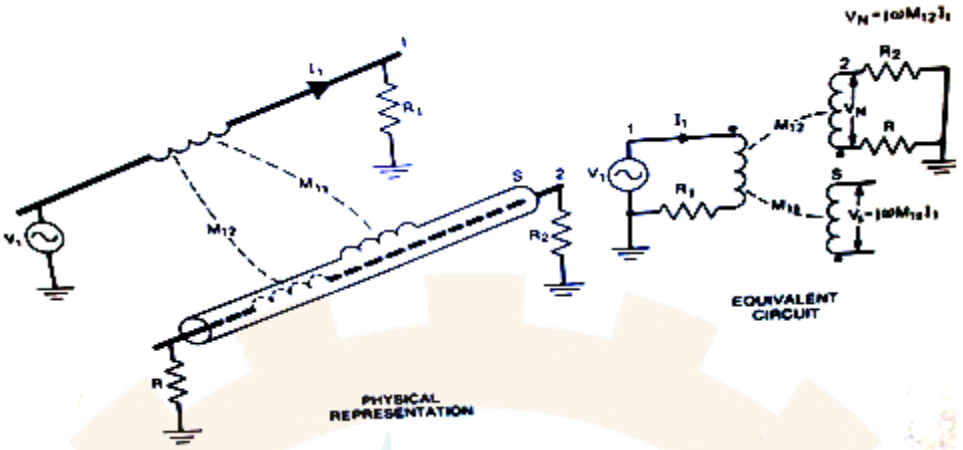
برای کاهش اثر B و $\cos\theta$ می توانیم دو مدار را از هم دور کنیم و یا دو مدار منبع و گیرنده را نسبت به هم در جهت خاصی قرار دهیم تا اثر این دو عامل کاهش یابد.

برای کاهش A نیز میتوانیم از جفت سیم تابیده (twisted ) استفاده کنیم . در این حالت جریان های رفت و برگشت منبع از آن دو سیم عبور نموده و جریان برگشتی از صفحه زمین عبور نمی کند.پس جریان های رفت وبرگشت ،میدان های همدیگر را حذف می کنند.برای این کار میتوان سیم جریان رفت گیرنده را از نزدیکی سطح زمین عبور داد و یا از جفت سیم تابیده استفاده کرد. در ادامه بیش تر به این موضوع خواهیم پرداخت.ولی در اینجا لازم است یکی از تفاوت های بین کوپلاژ خازنی و سلفی را بیان کنیم.

یکی از تفاوت هایی که در مدل سازی کوپلاژ خازنی و سلفی وجود دارد این است که ولتاژ نویز ناشی از کوپلاژ مغناطیسی به صورت سری با سیم های گیرنده قرار می گیرد در حالی که ولتاژ نویز ناشی از کوپلاژ الکتریکی ،بین زمین و مدار گیرنده قرار می گیرد.

****تاثیر زمین کردن شیلد در کوپلاژ سلفی**

در قسمت قبل دیدیم که با زمین کردن شیلد توانستیم اثر نویز القا شده توسط کوپلاژ خازنی را حذف کنیم . حال همین عمل را در مورد کوپلاژ سلفی انجام می دهیم و نتیجه را بررسی می کنیم .اگر در شکل بالا شیلد غیر مغناطیسی زمین نشده ای دور سیم ۲ را بگیرد مدار به صورت زیر خواهد شد.



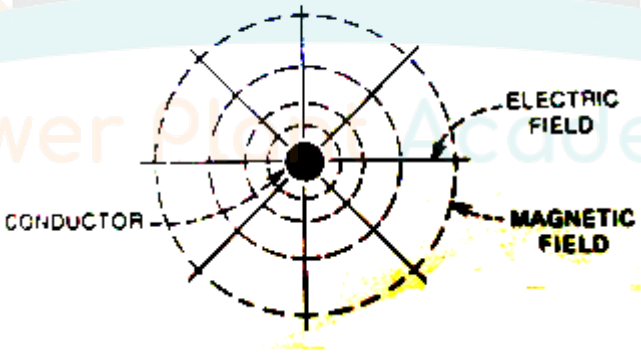

$M_{1S}$ اندوکتانس متقابل بین سیم ۱و شیلد می باشد.چون شیلد اثری روی خواص مغناطیسی بین دو سیم و شکل هندسی آنها ندارد ، بنابراین تاثیری روی ولتاژ القا شده در سیم ۲ نمی گذارد .ولی در خود شیلد ولتاژی در اثر جریان سیم ۱ به وجود می آید که مقدار آن برابر است با :

$$V_S = j\,\omega\,M_{1S}I_1$$

اینک اگر یک طرف شیلد را به زمین متصل کنیم تغییری در شرایط فوق به وجود نمی آید.بنابراین ،شیلدی که یک طرف آن زمین شده باشد تاثیری در ولتاژ نویز ایجاد شده نخواهد گذاشت.

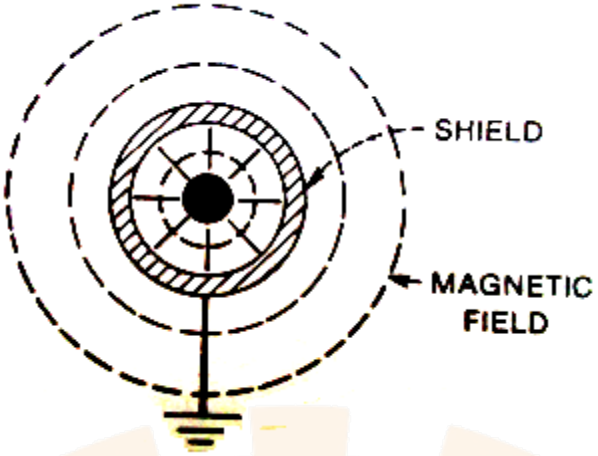
****شیلد برای جلو گیری از تشعشع مغناطیسی**

ممکن است که برای جلو گیری از تشعشع منبع آن را شیلد کنند . شکل زیر میدان های مغناطیسی و الکتریکی اطراف یک سیم هادی در فضای آزاد را نشان می دهد .



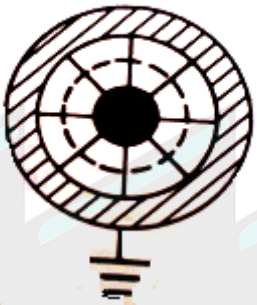

v

طبق شکل زیراگر شیلدی که در یک نقطه زمین شده است ، سیم را احاطه کند تنها اثر میدان الکتریکی حذف می شود و تاثیر خیلی کمی روی تشعشع مغناطیسی خواهد گذاشت.

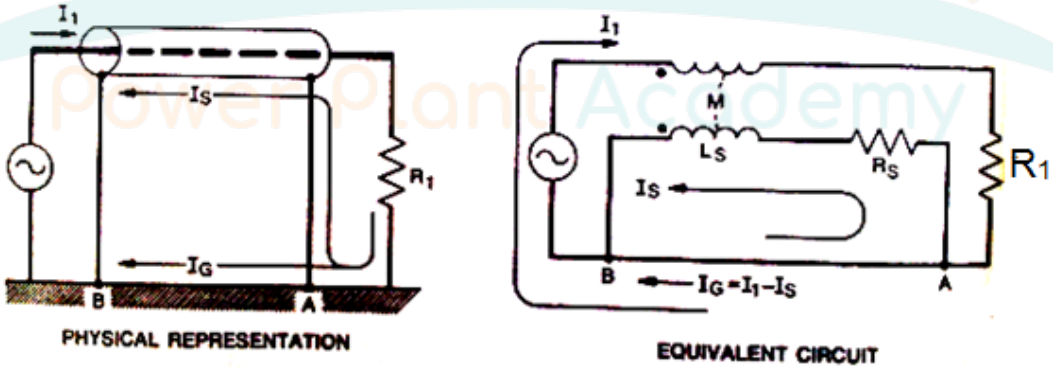



حال برای حذف تشعشع مغناطیسی اگر جریانی برابر با جریان سیم داخلی و در جهت مخالف آن از شیلد عبور کند، میدان مغناطیسی مساوی و در جهت مخالف آن ایجاد می کند که این دو میدان هم دیگر را حذف خواهند نمود.نتیجه ی بدست آمده در شکل زیر نشان می دهد که میدان در خارج از شیلد

صفر شده است.



شکل زیر مداری را نشان می دهد که از دو طرف زمین شده است .



از این مدار جریان $I_1$ عبور می کند .برای حذف تشعشع میدان ، بایستی این مدار شیلد شود و شیلد از دو طرف زمین شده و جریان برگشتی، ازشیلد عبور کرده و از مسیر زمین بر نگردد .(یعنی در شکل به جای $I_G$ ، $I_S$ عبور نماید).ولی سوال اینجاست که چگونه جریان برگشتی از A به B به عوض عبور از زمینی که مقاومتش صفر است ، از شیلد عبور می نماید .برای آنالیز مدار و اثبات این موضوع از مدار معادل استفاده می کنیم .با نوشتن معادله ی حلقه حول (A - $R_S$ - $L_S$ – B - A) جریان شیلد $I_S$ بدست می آید :

$$0= I_S (j\,\omega\, L_S + R_S) - I_1(j\,\omega\, M)$$

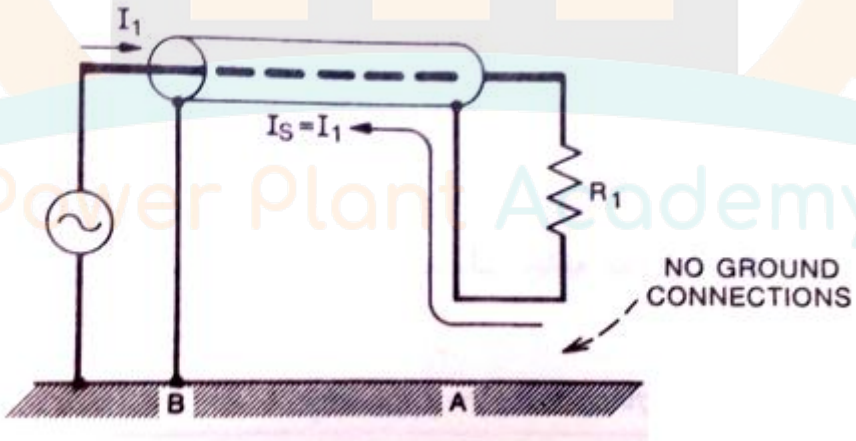
M اندوکتانس متقابل بین شیلد و سیم داخلی می باشد و با استفاده از روابط بین شیلد حاوی جریان و سیم هم محور (coaxial) داخل آن می توانیم رابطه ی رو به رو را اثبات کنیم :

$$M = L_S$$

با جانشین کردن این تساوی و حل معادله بر حسب $I_S$ خواهیم داشت:

$$I_S = I_1 \left(\frac{j\omega}{j\omega+RS/LS}\right) = I_1\left(\frac{j\omega}{j\omega+\omega c}\right)$$

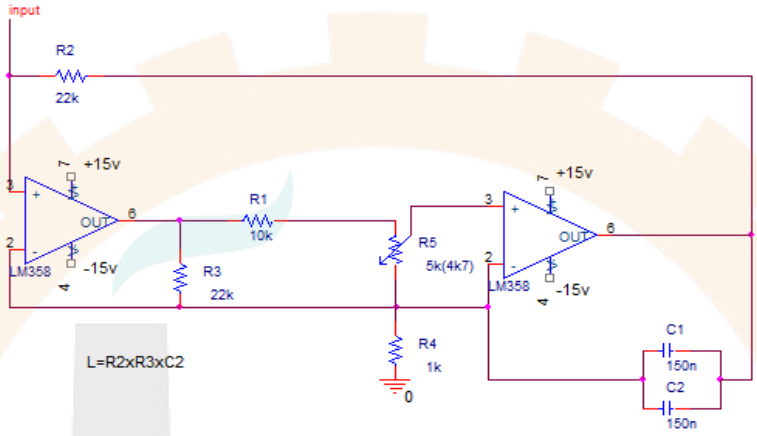
در معادله ی بالا $\omega_c$ فرکانس قطع شیلد می باشد .چنانچه از این معادله مشاهده می شود ، اگر فرکانس خیلی بیشتر از $\omega_c$ باشد ، جریان شیلد به مقدار جریان سیم داخلی میل می کند .یعنی به دلیل اندوکتانس متقابل بین شیلد و سیم داخلی ، شیلد در فرکانس های بالا ایجاد راه برگشتی از خودش را می کند .ولی وقتی فرکانس تقریبا کمتر از $5w_c$ باشد ،چون اکثر جریان از طریق صفحه ی زمین بر می گردد کابل کمترین خاصیت شیلد کردن را خواهد داشت ..در این روش کاهش تشعشع مغناطیسی به دلیل خواص مغناطیسی شیلد نبوده و تنها به دلیل عبور جریان بر گشتی از طریق شیلد می باشد چون میدانی در جهت حذف میدان سیم داخلی ایجاد می نماید.پس این روش در فرکانس های کمتر از فرکانس قطع شیلد کارایی نخواهد داشت. برای رفع این مشکل زمین را به صورت زیر از یک طرف مدار بر می داریم.



این موضوع به خصوص در فرکانس های کمتر از $\omega_c$ بسیار اهمیت دارد .در این حالت دیگر هیچ گونه جریانی از صفحه ی زمین عبور نمی کند.

۷.حداقل استفاده ممکن از عناصر مغناطیسی در مدار و...

به عنوان مثال در الکترونیک استفاده بسیار کمی از سلف و ترانسفورماتور می شود علاوه بر این رابطه ولتاژ سلف ها از دقت پایینی بر خوردار است.به همین دلیل به جای سلف از مدار های الکترونیکی حاوی خازن و مقاومت و آی سی که مانند یک سلف رفتار می کنند استفاده می شود.




از مدار فوق برای ساختن فیلتر های دقیق RLC استفاده می شود. مثلا فیلتر هوم در تلویزیون .

از نظر اقتصادی نیز نباید فراموش کرد که محدود کردن انتشار اختلالات(پارازیت ها)خیلی گرانتر از محافظت از قربانی هایشان است.

## ایمنی مدار در برابر نویز(noise immunity):

عموما نویز محتوای مفید یک سیگنال را خراب می کند و کاهش خسارت وارده رابطه مستقیمی با عملکرد سیستم تحت تاثیر نویز دارد.

مثلا مدار های آنالوگ زیادی وجود دارند که می خواهند سیگنال های ضعیف را تقویت کنند پس این مدارات نسبت به نویز های ذاتی از هر مدار دیجیتال حساس تر اند (زیرا معمولا دامنه موج های منطقی نسبتا بالاست.) در بسیاری از کاربرد های آنالوگ سیگنال ضعیفی توسط آنتن گرفته شده یا توسط سنسور هایی تولید می شود،دامنه این سیگنال ها می تواند به کوچکی کسری از میلی ولت(یا حتی کسری از میکرو ولت) باشد، این سیگنال ها به شدت در معرض نویز اند و اطلاعات آنها می تواند توسط نویز بطور کامل پوشانده و یا مبهم شود.

برای نشان دادن تاثیرات مضر نویز ، بگذارید نگاهی دقیق به دو کاربرد عملی بیاندازیم که یکی مرتبط با سیستم های ارتباطات است و دیگری از رشته الکترونیک صنعتی سرچشمه می گیرد.


www.powerplantac.com

## دو کاربرد عملی:

### ۱. نقش نویز در سیستم های ارتباطی:

نویز عملکرد هر نوع سیستم ارتباطی را محدود می کند. نمودار بلوک دیاگرام ساده شده یک سیستم ارتباطی آنالوگ را در نظر بگیرید که در شکل ۱.۱ نشان داده شده است :

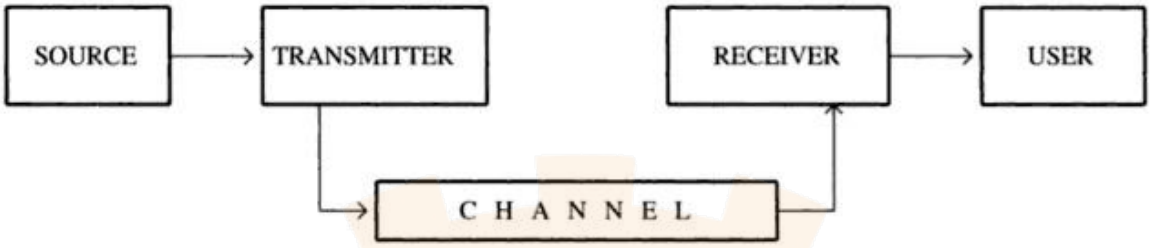



**Fig. 1.1.** Simplified structure of an analog communication system

شکل ۱.۱. ساختار ساده شده یک سیستم ارتباطی قیاسی (آنالوگ)

نقش فرستنده کد گذاری سیگنال های منتشر شده از منبع است و این انتشار باید جامعیت اطلاعات سیگنال ها را در طول انتشار در کانال حفظ کند ( این عمل ، کد گذاری یا مدولاسیون نامیده می شود)

کانال سیگنال ها را از نقطه ای به نقطه دیگر منتقل می کند. در ساده ترین شکل اش یک مسیر با فضای آزاد است که آنتن فرستنده و گیرنده را به هم وصل می کند. انواع دیگری کانال را مانند فیبر نوری، کابل و ترکیبی از کانال های بی سیم و سیمی می توان ایجاد کرد.

کاربرد گیرنده استخراج اطلاعات مفید از سیگنال و ارسال آن به شکلی مناسب برای استفاده است. نخستین کاری که باید انجام شود تقویت است چرا که سیگنال به شدت در طول انتشار ضعیف شده است. سپس اطلاعات از طریق تفکیک ( دمدولاسیون) بدست می آیند.

با فرض اینکه منبع ایده آل است ( هیچ نویزی اضافه نشده ) سیگنالی که به کانال میرسد تنها به نویز فرستنده آلوده میشود.

در طول انتشار در کانال ،سیگنال ضعیفتر می شود. این مسئله غالبا به دلیل دخالت یا انحرافات خطی یا غیرخطی به وجود می آید. با این حال این سیگنال می تواند شامل تاثیراتی نظیر نویز، ارسال چند مسیره ی سیگنال یا فیلتر کردن نیز باشد. ضمنا چون طول مسیر اتصال می تواند به بیش از ۱۰۰۰۰ کیلومتر برسد ( به عنوان مثال، در سیستم های ارتباط ماهواره ای ) سیگنال به شدت ضعیف می شود. در نتیجه نسبت سیگنال به نویز به میزان زیادی پایین می آید و سیگنال های ضعیفی که به ایستگاه گیرنده می رسند باید قبل از هر کار دیگری تقویت شوند. به عنوان یک قانون کلی ، تقویت کننده در سرجلویی ، بلافاصله پس از آنتن گیرنده به کار می رود. به منظور جلوگیری از هشدار اشتباه ( که بدین صورت است که سیستم وجود سیگنال را نشان می دهد در حالی که در حقیقت تنها یک نویز است) . پس تقویت کننده باید برای تقویت بیشتر سیگنال و حداقل نویز طراحی شود. توجه داشته باشید


www.powerplantac.com

که این امر نه تنها به نویز داخلی ، بلکه به حفاظت موثر در برابر سیگنال های مداخله کننده نیز اشاره دارد.

طبق قرارداد حداقل نسبت سیگنال به نویز برای کاربردهای مختلف عبارت است از 15 db+ برای رادار پس از بهم پیوستن ، 18 db+ برای سیستم تلفن های همراه ، و 30 db+ برای سیستم های ارتباط پخش جهت سرگرمی.

بنابراین در هر سیستم ارتباطی، نویز از دو جهت حائز اهمیت است :

_ حداقل سطح سیگنال قابل پردازش و در نتیجه حداکثر دامنه سیستم ارتباطی را مشخص می کند.

_ ظرفیت کانال بالاترین میزانی است که در آن اطلاعات با احتمال خطای صفر قابل ارسال می باشند و شدیدا به نسبت سیگنال به نویز در خروجی بستگی دارد. Shannon ثابت کرد که یک کانال ایده آل دارای ظرفیت انتقال داده است که متناسب با پهنای باند سیستم (که توسط رابطه Log[ (S+N)/N] ، S توان متوسط سیگنال و N توان نویز است ) مشخص می شود،افزایش می یابد.

### ۲. نقش نویز در کاربرد های الکترونیک صنعتی

در سیستم های تجهیزاتی،اندازه گیری و کنترل، کاربرد نوعی که به سیگنال های ضعیف اشاره دارد شامل یک مبدل ( سنسور ) است که سیگنالی الکتریکی متناسب با برخی کمیت های غیر الکتریکی ( نظیر رطوبت، فشار، جریان، سرعت، شتاب، دما و غیره) ارسال می کند. نخستین کار تقویت این سیگنال ضعیف بدون کنترل آن با نویزست. احتیاج به یک تقویت کننده با نویز پایین و قبل از آن به یک شبکه اتصال داریم که مقاومت سنسور را به ورودی تقویت کننده وصل کند. ( شکل ۱.۲ )

**Fig. 1.2.** Simplified block diagram of a sensor and its associated circuits

شکل ۱.۲. نمودار بلوکی ساده شده یک سنسور و مدارهای مربوط به آن

در خروجی آمپلی فایر، یک مبدل آنالوگ به دیجیتال عدد سیگنال های آنالوگ را به داده های دودویی تبدیل می کند که می توان به آسانی آنها را ذخیره، بازیافت و پردازش کرد یا نمایش داد.

تمام سنسورها یک سیگنال الکتریکی تولید می کنند که ایده آل نیست که به این خاطر است که بطور ذاتی تحت تاثیر انحرافات قرار می گیرند. دو دسته انحراف وجود دارند :

۱) انحرافات سیستماتیک، که مربوط به خطی بودن سنسور، کاربرد انتقال، ویژگی های دینامیک، و غیره می باشند. با توجه به اینکه این انحرافات ناشی از طرح، ساخت و تنظیم سنسور هستند، از پیش

شناسایی، با گذشت زمان به آرامی تغییر و در صفحات داده ها مشخص شده اند. طراح می تواند راه حل هایی برای جبران آنها بیابد.

۲) انحرافات تصادفی که کاملا نامنظم بوده، با گذشت زمان بطور ناگهانی تغییر کرده، و غیر قابل پیش بینی هستند. این مطلب را تنها می توان بر حسب ویژگی های آماریشان توضیح داد و به خاطر نویز داخلی سنسور ایجاد می شوند. نسبت سیگنال به نویز سیستم که در شکل ۱.۲ نشان داده شده بیشتر بواسطه نویز سنسور، نویز شبکه اتصال، و نویز مرحله اول آمپلی فایر کاهش می یابد.

طراح به منظور ارتقا صحت اندازه گیری کمیت غیر الکتریکی بهره، از یک مبدل آنالوگ به عدد با دقت خوب عددی استفاده می کند. در این مورد، ارزش کم اهمیت ترین بیت ( LSB ) لزوما کاهش می یابد. به طور مثال LSB یک سیستم ۱۶ بیتی با میزان کامل خواندن 5_V به مقدار۷۶ µVپایین است. فرض کنید نویز کلی که سیگنال مفید را تحت تاثیر قرار می دهد حدودا معادل 180 µV است، LSBبیشتر به نویز تا محتوای سیگنال بستگی دارد. واضح است که عاقلانه نیست ارزش LSB را به زیر سطح نویز کاهش داد. بنابراین نویز یک فاکتور محدودکننده دقت در تمام سیستم های الکترونیکی است که سیگنال های ضعیف ارسال شده توسط سنسورها را نشان می دهد.

## مزایای نویز:

تا بحال، تنها بر تاثیرات منفی نویز روی عملکردهای مدار تاکید کرده ایم. با این حال پذیرفته شده که نویز رندوم در موقعیت های متعددی مزایایی بدنبال دارد:

به شروع نوسان در مدار های نوسان گر کمک می کند، که در آن تغییر کوچکی در ورودی آمپلی فایر نقش سیگنالی را بازی می کند که باید معیار Barkhausen را توجیه کند ( که بر اساس آن تغییر ورودی تقویت شده و سیگنال ایجاد شده باعث می شود تقویت اطراف حلقه مثبت و بالاتر از واحد شود). شاید نویز سفید برای این منظور مناسب تر باشد، چرا که طیف گسترده آن مطمئنا شامل فرکانسی می شود که مدار این وضعیت را محقق می سازد.

هنگامی که نویز به مجموعه داده آموزشی یک شبکه عصبی اضافه می شود، قابلیت تعمیم شبکه را افزایش می دهد ( که عبارت است توانایی شبکه عصبی خاصی که متناسب با داده حقیقی خارج از مجموعه آموزشی باشد).

در سیستم های غیرخطی خاص ( مانند سیستم های حسگر بیولوژیکی و مدارهای الکترونیکی ) افزایش میزان صحیح نویز عملکرد برخی دستگاه های فیزیکی را بهبود می بخشد. اخیرا پدیده ای به نام همنوایی تصادفی (SR) در سیستم های غیرخطی فیزیکی مشاهده شده است. برای مثال، با افزایش میزان صحیحی از نویز در یک سیستم دو وضعیتی امکان دستیابی به برنامه SR فراهم شده و در نتیجه حتی هنگامی که دامنه فرمان زیر آستانه است به سیستم کمک می کند جریان را تغییر دهد.

طبق گزارشات تعدادی از مدارهای الکترونیکی تشدید نویز تصادفی را نشان می دهند بخصوص در مواردی که سیستم غیرخطی هیچ یک از اجزای نویز ورودی را روی سیگنال خروجی مدوله نمی کند. تشدید نویز تصادفی خصوصا در پردازش کردن سیگنال جالب به نظر می رسد، هنگامی که

سیگنال های مفید (ضعیف) در نویز قرار می گیرند. از این پدیده می توان بخوبی جهت افزایش نسبت سیگنال به نویز در خروجی گیرنده بهره گرفت.

## نتیجه گیری:

شاید بهترین روش برای خاتمه دادن به این بررسی مختصر نویز اظهار نقل قولی از shein gold باشد: همانند بیماریها، نویز هرگز حذف نمی شود، تنها می توان بر اساس ماهیت، جدی بودن، هزینه/ سختی معالجه از آن پیشگیری کرد، آن را درمان نمود یا تحملش کرد.

Power Plant Academy

منابع:

۱.ترجمه مقدمه کتاب

Electronic noise and interfering signals

Principles and Application

G.Vasilescu

این کتاب به صورت آنلاین و از طریق وب سایت زیر به طور کامل در اختیار علاقه مندان قرار دارد:

www.scribd.com

۲. کتاب ۳۰۱ مدار(مدار فیلتر هوم)

۳. مخابرات

Simon Hawking & Michel Moher Communication system 5th edition

۴.تکنیک های کاهش نویز در سیستم های الکترونیکی

ترجمه: مهندس داوود ولی

Henry W.OTT

۵.مدار های مخابراتی Herbert L.Krauss ترجمه: محمود دیانی

۶.سیستم های مخابراتی

کارلسون بروس ترجمه:قدرت الله سپید نام

Power Plant Academy