



به نام خدا

تکنیک های کنسل سازی نویز با ANC (ACTIVE NOISE CANCELLATION)

مقداد بریمانی _ بهمن ریگی

دانشگاه سیستان و بلوچستان _ دانشکده فنی مهندسی _ گروه برق

BARIMANI_MB@YAHOO.COM

MOHANDESBAHMAN2001@YAHOO.COM

چکیده :

نویز محیطی از زمان انقلاب صنعتی افزایش پیدا کرد ، نویز در سلامتی ما تأثیر می گذارد، در ارتباطات دخالت دارد و بر لذت بردن ما از زندگی اثر می گذارد .

کنترل کردن نویز از طریق سنجش های پسیو یک فعالیت ادامه دار است. در حالی که نویز فرکانس بالا از طریق کنترل پسیو قابل از بین بردن هستند ، اما از بین بردن نویزهای فرکانس پایین (زیر 500 Hz) از طریق کنترل پسیو امری دشوار است . برای این کار از کنترل اکتیو استفاده می کنیم . کاربرد کنترل اکتیو در کنترل نویزهای فرکانس پایین ۵۰ سال پیش ارائه شد ولی تقریباً در همان زمان نیز امری نسبتاً غیر ممکن بود .

ولی پیشرفتهای اخیر در تکنولوژی کامپیوتر، اکنون راه حل های عملی را برای مشکلات و مسائل سخت قبل در مورد نویز محیطی ارائه داده است . این تکنولوژی نویز را نمی پوشاند، بلکه نویز از طریق ایجاد سیگنال آنتی نویز که مساوی با سیگنال نویز است اما ۱۸۰ درجه با آن اختلاف فاز دارد، کنسل می شود .

این سیگنال آنتی نویز به محیط فرستاده می شود تا اینکه با سیگنال نویز در محیط برخورد کند در نتیجه دو سیگنال پس از برخورد همدیگر را کنسل می کند . به این طریق که نسبت قابل ملاحظه ای از انرژی سیگنال نویز از بین می رود . کاربردهای زیادی از این تکنولوژی امروزه وجود دارد .

الگوریتم LMS ، کنترل نویز اکتیو ، کنترل نویز پسیو ANC

مقدمه

بدین منظور در جهت توسعه پایدار که یکی از شاخص های آن شهری عاری از آلودگی (صوتی) و شهروند سالم است روشهای مختلفی برای کنترل و کنسل سازی آلودگی صوتی مطرح گردید . یکی از آنان ANC است .

ANC (Active Noise Cancellation) یک ایده جدید نیست . ایجاد یک کپی از نویز و استفاده از آن برای کنسل کردن مربوط به اوایل همین قرن است . سیستم های اولیه از یک شیوه تأخیر و معکوس سازی ساده استفاده می کردند و نتایج امیدوار کننده ای داشتند.

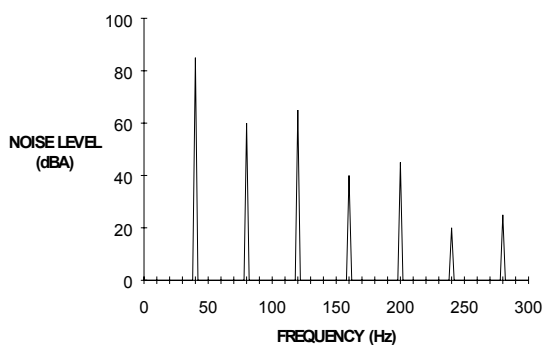
ولی متغیر بودن مولفه های دنیای حقیقی اثر بخشی آنان را محدود کرد .

در اواسط دهه ۷۰ یک قدم اساسی با به کار بردن فیلترهای تطبیق پذیر برای ایجاد آنتی نویز برداشته شد و استفاده از این فیلترها به طور قابل ملاحظه ای بازدهی سیستمها را ارتقاء داد. به گونه ای که آنها متناسب با تغییرات دنیای خارج به همان خوبی که با تغییر مولفه هایشان منطبق می شدند ، تغییر پیدا می کردند . اتفاق بعدی که در اواسط دهه ۷۰ افتاد ، شناخت این مسئله بود که بسیاری از منابع نویز بویژه آنهایی که توسط ماشین های ساخت بشر بوجود می آمدند ، نویزهای پریودیک یا آهنگ دار بودند . خاصیت پریودیک بودن این نویزها این امکان را فراهم می ساخت ، که راه حل موثرتری را برای حذف آن به کار ببرند . به این دلیل که هر سیکل یک سیگنال پریودیک شبیه سیکل قبلی است و این قابل پیش بینی بودن نویز، باعث می شود که بتوان یک سیگنال آنتی نویز دقیق ساخت .

کاربرد عملی این شیوه در دهه ۷۰ امکان پذیر نبود چون تکنولوژی الکترونیکی که در آن زمان در دسترس بود، برای ساخت سیستمهای ANC کافی نبود.

بعد از انقلاب صنعتی و تحولات اجتماعی، اقتصادی و تکنولوژی علاوه بر پیامدهای مثبت، آثار منفی زیادی را در عرصه فردی و اجتماعی بر جای گذاشت بطوریکه پژوهشگران جهانی همگی مدعی تخریب و تهدید محیط زیست ناشی از آن هستند که دنیای تکنولوژی ملموس ترین آنرا برای محیط زیست به ارمغان آورده است و کشورهای صنعتی مقصر اصلی این فاجعه هستند (لواسانی ۱۳۷۲:۵). از جمله آن بوجود آمدن مادر شهر ها و مگالاپولیس است که امروزه انسان با آلودگی های بی شماری روبرو است ، یکی از پدیده های ناشی از توسعه شهری آلودگی صوتی است (شیعه ۱۳۷۵،۵ و ۲). میلر در اثر خود معتقد است انسان میان رسالت زوال و رسالت تکنولوژی گیر کرده است (میلر، ۱۳۶۶: ۱). پس از ناکامی ناشی از آثار توسعه ، بشر بدنبال قالب فکری نوینی پیش رفت که اساسی ترین ویژگی آن نو سازی عقلانیت است که به عقیده لرنر (۱۹۵۸) سه خصیصه آن همدلی ، تحرک و مشارکت بالا است (دیوب ۱۳۷۷: ۳۹ و ۴۰). برای رهایی از این بن بست و دستیابی به رویکرد جدید کنفرانس سازمان ملل در شهر استکهلم (۱۹۷۲) توسعه بدون تخریب یا پایداری زمین را پیشنهاد کرد است (شکویی، ۱۳۶۴: ۱۶۷). سند برنامه سوم ایران نیز در فصل عمران شهری در زیر بخش چالشهای آینده برای جلوگیری از آلودگی محیط شهری به آلودگی آب ، خاک ، هوا توجه داشته است (سند برنامه بودجه ۱۳۸۲:۲۷۵). این در حالی است که در جغرافیای نو ، انسان در کانون تاملات پژوهش قرار می گیرد (کلاول ، ۱۳۷۳: ۲۰). و در منشور زمین (۱۹۹۲) انسان به عنوان مرکز توجهات توسعه پایدار مطرح شده است (لواسانی ۱۳۷۲، ۱۲۹).

قسمت اعظم نویزهای محیطی با نویز باند وسیع فرق می کنند. به این نوع نویزها نویز باند باریک (Narrow band noise) گفته می شود. این نویزهای باند باریک قسمت اعظم انرژی خود را روی فرکانس های خاصی متمرکز می کنند. وقتی یک منبع نویز می چرخد یا یک ماشین پرودیک (ماشینی که یک عمل را مدام تکرار می کند)، کار می کند فرکانس های نویزش همگی مضرب هایی از فرکانس پایه سیکل ماشین هستند و نویز هم با تقریب خوبی پرودیک است. این نویز آهنگین در طبیعت معمول است و بسیاری از ماشین های ساخت بشر این نوع نویز را تولید می کنند (به همراه مقدار کمتری از نویز باند وسیع).



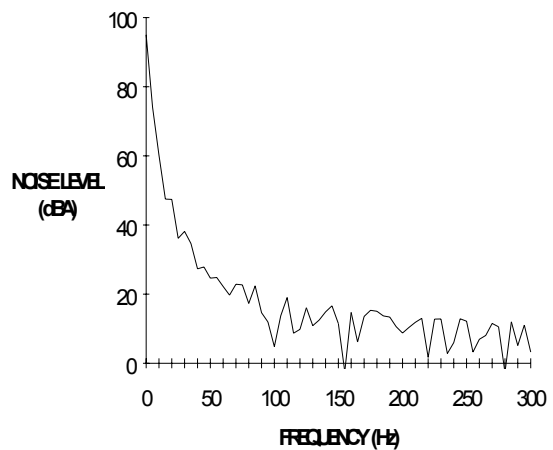
شکل ۲: نویز باند باریک

مثالهایی از منابع نویز باند باریک عبارتند از: موتورهای احتراق داخلی: که در نقل و انتقالات و منابع قدرت کمکی استفاده می شود کمپرسورها: که در منابع قدرت کمکی و واحدهای سرد خانه ای به کار می رود. پمپ خلاء: که برای انتقال مواد حجیم در بسیاری از صنایع استفاده می شود از جمله نظافت فرش ها.

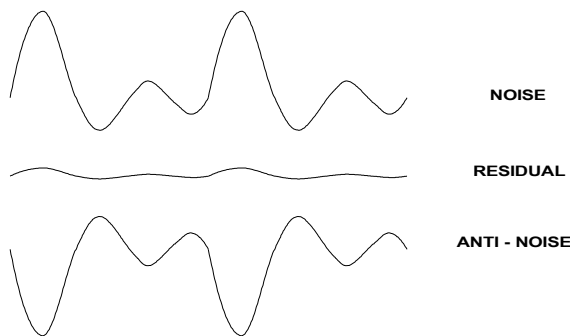
اما امروزه تکنولوژی کامپیوترهای دیجیتال درگیر محاسبات پیچیده DSP برای کنسل کردن نویز هستند. پیشرفت این تکنولوژی امکان به کار بردن ANC را شدنی کرده اند.

نویز تصادفی

منابع نویز در محیط وجود دارند. معمولاً نویزها بخاطر ایجاد آشفته گی و اختشاش در محیط بوجود می آیند، به همین دلیل در کل تصادفی و غیر قابل پیش بینی است. مهندسان علاقه دارند که به سیگنال های شامل نویز در حوزه فرکانس نگاه کنند. برای کنسل کردن نویز ابتدا باید دریابیم که انرژی نویز چگونه بصورت تابعی از فرکانس توزیع شده است. این نویزهای ناشی از اغتشاش تمایل دارند که انرژی خود را بطور یکنواخت بر روی باندهای فرکانسی توزیع کنند، و به همین دلیل است که از آنها به عنوان نویزهای باند وسیع (Broadband noise) یاد می شود. مثالهایی از نویز باند وسیع، نویز فرکانس پایین ناشی از هواپیماهای جت و نویز ضربه ای ناشی از انفجار است.



شکل ۱: نویز باند وسیع



شکل ۳: نویز کنسل شده

ماشین های چرخنده : که عدم تعادل در آنها باعث ایجاد ارتعاش و نویز صوتی می شود .

ترانسفورماتورهای قدرت : که میدان مغناطیسی قوی باعث ایجاد ارتعاش در فرکانس هارمونیک های خط انتقال و نویز صوتی می شود.

کنترل نویز پسو :

اولین مرحله دفاع در مقابل نویز طراحی خوب است. ماشین ها باید تعادل بسیار خوب داشته باشد و تقارن و تناسب در طراحی و ساخت دقیق می تواند به طور قابل ملاحظه ای نویز ناشی از ارتعاش را کاهش دهد . اغتشاش و آشفتگی می تواند توسط سیستمهای آبرو دینامیک خوب کاهش یا بد. سیستم های تشدید باید دارای Q) ضریب کیفیت (بالا در ساختار باشند.

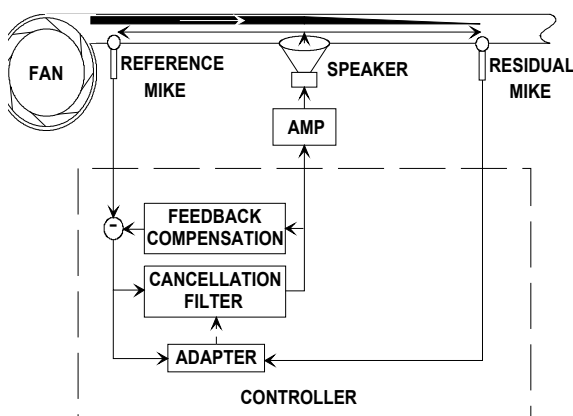
جذب انرژی :

قدم دوم برای دفاع در مقابل نویز ، جذب انرژی نویز و کنترل انتشار آن از طریق مدار پسو است . استفاده از مواد سخت و جذب کننده صدا برای کاهش درجات نویز یک شیوه موثر در فرکانس های بالا است . هر چند که در فرکانس های زیر ۵۰۰ HZ ، قیمت بالا، وزن زیاد ، ناموثر بودن تضعیف صدای پسو ، این شیوه را غیر موثر و غیر عملی می سازد . بنابراین از تکنیک دیگری در فرکانس های زیر ۵۰۰ HZ باید استفاده نمود.

تکنولوژی کنسل سازی نویز :

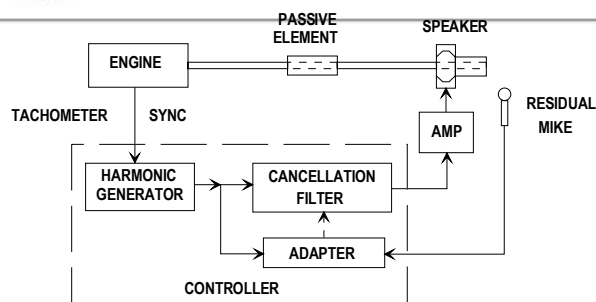
ایده ایجاد یک کپی از نویز و استفاده از آن به عنوان آنتی نویز برای کنسل سازی نویز اصلی به اوایل قرن حاضر بر می گردد. شکل ۳ ارتباط بین آنتی نویز و نویز باقی مانده را پس از برخورد این دوا در حوزه زمان نشان می دهد . دقت داشته باشید ANC نویز را نمی پوشاند بلکه نسبت قابل ملاحظه ای از انرژی نویز را از بین می برد .

پیشخورد دیجیتال (feed forward) : این نوع ANC در شکل ۴ نشان داده شده است که برای کاهش نویز در هواکش به کاررفته است. این یک مثال کلاسیک از کاربرد ANC است و به صورت وسیعی در کتابها بحث می شود .



شکل ۴: پیشخورد دیجیتال

در این جا یک میکروفون در ابتدای مجرا قرار داده شده تا یک نمونه مرجع از نویز را بگیرد . تأثیر مجرا بر روی نویز مدل سازی می شود تا بتوان از روی آن یک سیگنال آنتی نویز در speaker خروجی ایجاد کرد . یک میکروفون در انتهای مجرا قرار می گیرد تا تعیین کند که سیستم چقدر خوب کار می کند.



شکل ۵: کنسل سازی باند باریک (صدا خفه کن اکتیو)

کاربردهای سیستم فوق :

- صداخفه کن های اکتیو :

صداخفه کن های پسیو به طور گسترده ای برای کنترل نویزهای خروجی استفاده می شود کاربرد هایی که شامل موتورهای احتراق داخلی و پمپ های خلاء هستند از این نوع موارد هستند . دو نوع از این صداخفه کن ها موجود عبارتند از :

۱- جذب کننده صدا : اینها در واقع صداخفه کن هایی با امتداد مستقیم (glass pack) هستند که شامل یک طول مشخص لوله ای شکل به همراه سوراخ هایی که با فایبر گلاس پوشانده شده است (یا هر نوع جذب کننده صدای دیگری) که در میان یک لوله با قطر بزرگ قرار دارد. این نوع صداخفه کن ها در فرکانس ها بالا خیلی کارا هستند به گونه ای که اغتشاش را کاهش می دهند و فشار بازگشتی خیلی کمی تولید می کنند .

- راکتیو :

اینها صدا خفه کن های پسیو کلاسیک هستند که در اتومبیل های امروزی وجود دارند .

این نوع صداخفه کن ها بوسیله ایجاد یک مسیر پرپیچ و خم برای نویز خروجی کار می کنند. با این روش مقداری از انرژی نویز گرفته می شوند و انرژی نویز باقیمانده در طول جریان اغتشاش پخش می شود. این روش فشار بازگشتی قابل ملاحظه ای تولید می کند، این فشار بازگشتی بازده موتور را پایین می آورد . (تقریباً ۲/۵ درصد کاهش فشار بازگشتی در

یک موتور دیزل معمول بوجود می آید)

صداخفه کن های راکتیو می توانند

میکروفون انتهایی (RESIDUAL MIC) با نمونه برداری از نویز باقیمانده از طریق آداپتر (ADAPTER) تابع انتقال فیلتر را به گونه ای تغییر می دهد که نویز باقیمانده به سمت مینیمم مقدار میل کند. جبران سازی از طریق فیدبک نیز نیاز است ، زیرا مقداری از سیگنال آنتی نویز به سمت میکروفون مرجع انتشار می یابد و سیگنال مرجع را غیر دقیق می سازد که جبران سازی فیدبک دارنادرست منجر به ناپایداری می شود. این سیستمها می توانند کارا باشند، آنها می توانند نویز باند وسیع را کنسل کنند و این امر نیاز به علیت دارد یعنی اینکه سیگنال مرجع به خوبی نمایانگر نویز بوجود آمده باشند .

در نتیجه نویز همراه با سیگنال مرجع کنسل خواهد شد. بدین ترتیب درجات نویز فرکانس پایین ، ۵۰ تا ۷۰ درصد (۶ تا ۱۰ dB) کاهش می یابد که به آسانی در عمل بدست خواهد آمد

فیدبک سنکرون

این تکنیک پیشرفته توسط موسسه (G.B.B Chaplin) در اواسط دهه ۷۰ به کار برده شده است . در کنسل کردن نویز پریودیک بسیار موثر است و متکی به علیت نیست . در این شیوه به جای میکروفون مرجع در شیوه قبلی از یک سیگنال تا کومتر برای ایجاد اطلاعات از میزان نویز استفاده می شود .

از آنجایی که تمام انرژی نویز پریودیک بر روی هارمونیک هایی که مضربی از هارمونیک پایه سرعت چرخش ماشین هستند متمرکز شده است ، میکرو کامپیوترهای DSP می توانند تمام منابع خود را بر روی کنسل کردن این فرکانس های نویز شناخته شده متمرکز کنند .

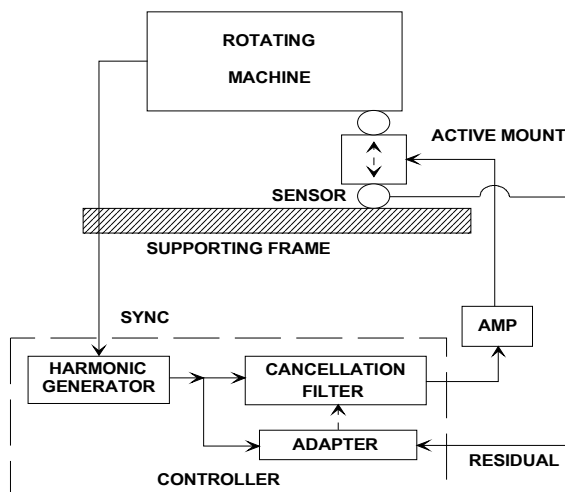
شکل ۵ ساختار یک چنین سیستمی را که برای کاهش نویز خروجی یک موتور به کار رفته است را نشان می دهد عملیات پایه این سیستم در این کاربرد دربخش بعدی بحث شده است .

نتیجه حاصل از این الگوریتم در یک ثابت تنظیم سرعت که برای تنظیم پارامترهای وابسته به فیلتر تطبیق پذیر به کار می رود ضرب می شود. این عمل بطور متناوب برای هر پارامتر فیلتر انجام می شود، با این هدف که متوسط توان سیگنال خطا به کمترین مقدار ممکن میل می کند. هر چند که در دنیای واقع هیچگاه الگوریتم LMS به خاطر وجود عواملی همچون تأخیر و عوامل فیزیکی که بر بهره تأثیر می گذارند به صفر میل نمی کند.

قاب های اکتیو (Active mounts)

به منظور کنترل ارتعاش در فرکانس پایین با استفاده از یک passive mount بایستی از مواد نرم استفاده شود. از آنجایی که هدف دیگر به کار بردن mount (قاب) این است که موتور را به صورت استاتیک در موقعیتش نگه دارد، غالباً استفاده از مواد نرم غیر عملی است. یک راه حل برای این مشکل استفاده از Active mounts است، که فقط در فرکانس های ارتعاش از خود نرمی و ملایمت نشان می دهد.

شکل ۶ یک cancel سازی همزمان یا سنکرون را نشان می دهد که برای ساختن قاب ایزولاسیون موتور برای رسیدن به این هدف به کار برده شده است.



شکل ۶: قاب موتور اکتیو

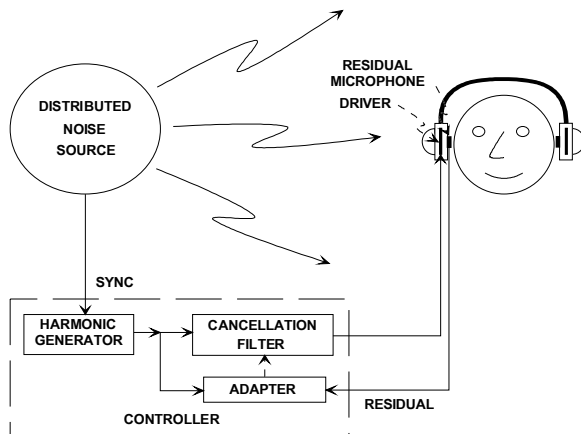
در کاهش نویز فرکانس پایین در اندازه های معمول مفید واقع شوند اما به قیمت فشار بازگشتی خیلی زیاد، آنها می توانند فشار بازگشتی کمی داشته باشند اما در این صورت خیلی بزرگ و سنگین خواهند شد که غیر عملی است. شکل ۵ صداخفه کن اکتیو را نشان می دهد که به خروجی یک موتور اعمال می شود.

عنصر پسیو یک صداخفه کن glass pack ساده می باشد که نویزهای فرکانس بالا را کنترل می کند. صداخفه کن اکتیو در این سیستم یک جعبه speaker است که با لوله خروجی هم مرکز است و سیگنال آنتی نویز را به دور و بر خروجی انتقال می دهد. تشابه بین نویز و منبع آنتی نویز در این کاربرد برای کنسل کردن نویزهای فرکانس پایین از همه نوع فراهم شده است. یک میکروفون در خروجی وجود دارد که نویز باقی مانده را بعد از کنسل شدن فیدبک می کند تا اینکه تنظیم کننده یا adapter که معمولاً یک الگوریتم تنظیم LMS است می تواند بصورت پیوسته عملیات کنسل سازی را تنظیم کند تا از این طریق همان نویز باقیمانده نیز به سمت صفر میل کند. سیگنال تاکومتر یک هامونیک ژنراتور را تغذیه می کند تا بطور داخلی هامونیک های خالص ناشی از سیکل پایه موتور را ایجاد کند. در ارتباط با موتورهای ۴ زمانه سیستم کمی متفاوت است.

الگوریتم LMS (کوچکترین میانگین مربعی)

بسیاری از سیستم های ANC از الگوریتم های LMS مختلفی استفاده می کنند، که با عنوان Filter-x شناخته می شود. الگوریتم LMS پایه وابسته به سیگنال خطا (که در این مورد همان نویز باقیمانده residual noise است) و یک سیگنال مرجع (که توسط steams, widrow, x نامیده شده) است.

در نتیجه قابلیت انعطافی که در این شیوه وجود دارد این اجازه را به کارگر می دهد که همچنان صدای علائم هشدار دهنده و یا صحبت همکارانش را بشنود، این روش یک روش کارا در کاهش درجات نویز می باشد و هیچ تضعیف پسیو اضافی نمی خواهد و هدت ست ها بسیار سبک و راحت تر می شود. شکل ۷ ساختار هدت ست نویزگیر قابل انعطاف را نشان می دهد .



شکل ۷: هدتست نویز گیر

محیط های آرام :

یک روش دیگر برای آرام سازی شخصی بدین صورت است که تعدادی speaker و میکروفون را در محیط قرار می دهیم و یک سیستم نویزگیر سنکرون از نوع چند کاناله به کار ببریم. این روش اگر مهندسی بسیار خوبی در آن بکار رود می تواند به طور قابل ملاحظه ای نویزهای پریودییک فرکانس پایین را در محیط از بین برد و یک محیط آرام محلی را بوجود آورد .

یک محیط آرام محلی در محیط کار کارگر می تواند بوسیله میکروفون و speaker های توأم در ارتفاع سر کارگر بوجود آید . مثلاً در یک صندلی (شکل ۸ یک صندلی ساکت را نشان می دهد) که در آن از speaker آنتی نویز و میکروفون های residual برای ایجاد یک فضای آرام پیرامون سر فردی که بر روی آن نشسته است استفاده شده است .

عمل ضد ارتعاش یا ارتعاش گیری بصورت پیوسته در مقابل سختی قاب فعالیت می کند تا قاب را از هارمونیک های ارتعاش دور نگه دارد. در این صورت نیروهای ارتعاش آورنده از طریق قاب عبور داده می شوند.

بدین ترتیب می توان بصورت قابل ملاحظه ای نویز صوتی را که از طریق ارتعاش سطوح مرتبط با قاب پشتیبانی کننده بوجود می آید کاهش داد و یک راه حل بسیار خوب هم برای موتورهای انتقالی (متحرک) و هم موتورهای که بصورت ساکن در حالت چرخش اند ارائه داد.

هدت ست :

محافظ های استاندارد شنوایی پسیو در بسیاری از صنایع به کار می روند . زمانی که نویز محیط از مرز ۸۵ db تجاوز می کند و از آنجایی که بسیاری از نویزهای حاصل از چرخش ماشین های چرخنده زیر ۵۰۰ HZ هستند ، هدت ست هایی پسیو مانع ارتباط کارگر هستند پس یک راه حل بهتری مورد نیاز است . اضافه کردن یک میکروفون ، یک تقویت کننده معکوس کننده و یک speaker در هر گوشی محافظ passive می تواند رنج حفاظتی شنوایی را تا ۲۰ HZ کاهش دهد. این نوع کنسل کردن نویز با استفاده از headset می تواند خیلی موثر باشد ولی یک سری معایب نیز دارد که عبارتند از :

- خیلی سنگین هستند و پوشیدن آنها نیز سخت است .
- با پوشیدن این هدت ست ها با توجه به این که خیلی موثر هستند، امکان شنیدن صدای سیگنال هشدار دهنده در کارخانه ها از بین می رود.
- استفاده از کنسل سازی سنکرون یا همزمان در هدت ست ها مزایای دیگری را در مورد نویزهای آهنگین پریودییک ارائه می دهند. در این صورت فقط نویز ناشی از چرخش ماشین کاهش می یابد

، مترجم سیروس سهامی ، سازمان چاپ ، ۱۳۷۳ ، مشهد .

۷_ میلر جی ، تی ، زیستن در محیط زیست ، مترجم مجید محزوم ، انتشارات دانشگاه تهران ، ۱۳۶۹ ، مشهد .

۸_ لواسانی ، احمد ، کنفرانس بین اتملی محیط زیست در ریو ، انتشارات دفتر مطالعات سیاسی و بین المللی ، ۱۳۷۲ ، تهران .

9_ B. Widrow and M. E. Hoff, "Adaptive switching circuits," in 1960 WESCON Conf. Rec., pt. 4, pp. 96-140.

10_ B. Widrow, J. M. McCool, and M. Ball, "The complex LMS algorithm," Proc . IEEE, vol. 63, pp. 719-720, Apr.1975. I

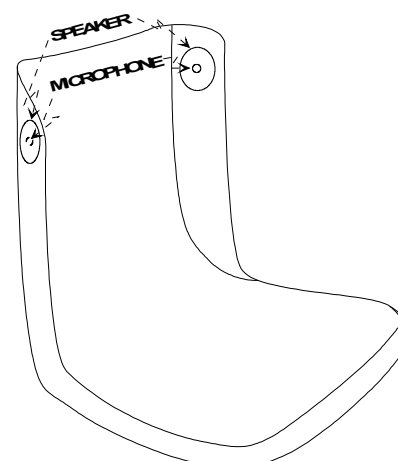
11_ Denenberg .Jeffrey .Quieting The Enviornment With Noise Cancellation Technology.

جهت اطلاع بیشتر به مراجع زیر مراجعه کنید:

11_Armstrong, E.H.(1936)a method of reducing disturbances in radio signaling by a system of frequency modulation,proc.IRE,vol,24,pp.689 740.

12_Oppenheim,A.V.,R.W.shafer,and R.W.Buck (1999),Discrete-Time signal processing,2d ed.,Prentice-Hall ,Upper Saddle River,NJ.

13_Papoulis, A.(1984),Probability Random Variables,and Stochastic processes ,2d ed.,McGraw-Hill,New York.



شکل ۸ : صندلی ساکت

نتیجه گیری :

در این مقاله سعی شده است تا تکنیک های کلاسیک و مدرن حذف نویز اعم از پسیو واکتیو و معایب و مزایای هر کدام بطور خلاصه بیان شود . نظریات عنوان شده تنها جنبه تئوری نداشته و بصورت عملی در دانشگاه زاهدان در حال انجام می باشد

مراجع :

- ۱_ دیوب ، س ، اس. نوسازی توسعه ، در جستجوی قالبهای فکری بدیل ، مترجم سید احمد موثقی ، نشر ، ۱۳۷۷ ، تهران
- ۲_ زاکس ، ولفلانگ " محیط زیست " در نگاهی نو به مفاهیم توسعه ، مترجم فریده فرهی و وحید بزرگی ، نشر مرکز ، ۱۳۷۷ ، تهران .
- ۳ _ سازمان برنامه و بودجه ، سند برنامه سوم توسعه اقتصادی و اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ۱۳۸۲ - ۱۳۷۹ ، جلد دوم ، انتشارات سازمان برنامه و بودجه ، ۱۳۷۸ ، تهران .
- ۴ _ شکویی ، حسین ، جغرافیای کاربردی و مکتبهای جغرافیایی ، انتشارات آستان قدس رضوی ، ۱۳۶۴ ، مشهد .
- ۵_ شیعه ، اسماعیل ، مقدمه ای بر مبانی برنامه ریزی شهری ، انتشارات دانشگاه علم وصنعت ایران ، ۱۳۷۵ تهران .
- ۶ _ کلاول ، پل ، جغرافیایی نو