

استفاده از تئوری نمونه برداری میان گذر در طراحی يك سيستم رمز كننده صوتي

سيد احمد معتمدي

استاديار دانشكده برق، دانشگاه صنعتي اميركبير

محمد احدي

ناصر صدقي

مربي دانشكده برق، دانشگاه صنعتي اميركبير

مربي دانشكده برق، دانشگاه صنعتي اميركبير

چكیده

در رمز سيگنالهاي آنالوگ كه از كانالهاي ارتباطي با پهنای باند محدود استفاده مي نمايند، لازم است از تكنيکهاي رمز آنالوگ استفاده شود. پياده نمودن اين تكنيکها بويژه در فرکانسهاي پايين، نظير فرکانسهاي كانالهاي صوتي معمولي (تلفن، بي سيم، و غيره)، مشكلات فراواني به همراه دارد. در اين مقاله يك روش قابل پياده سازي و مناسب با استفاده از تئوري نمونه برداري میان گذر قبل از پردازش ديگيتال برای طراحی سيستمهاي الكترونيكي رمز كننده ارائه گرديده و مزايای اين روش نسبت به روشهاي ديگر بيان گرديده است.

Using Bandpass Sampling in the Design of a Voice Encryption System

S. A. Motamedi, Ph. D.

*Associate Prof. Electrical Eng. Dept.
Amirkabir Univ. of technology*

N. Sedghi, M. Sc.

*Lecturer. Electrical Eng. Dept.
Amirkabir Univ. of technology*

M. Ahadi, M. Sc.

*Lecturer. Electrical Eng. Dept.
Amirkabir Univ. of technology*



Abstract

Analog ciphering techniques are to be used in encryption of analog signals which use band limited communication channels. Implementation of such techniques, specially in lower frequencies, like those of regular voice channels (Telephone, wireless communications, ect.), has many difficulties.

In this paper, a technique for designing the electronic circuits of analog signal processing part of such a voice encryption system, more easily, by the use of bandpass sampling has been introduced and the advantages of using this technique in comparison to the others, has been explained.

مقدمه

این ترتیب می توان از کانالهای با ظرفیت کمتر و یا حافظه های با حجم کمتر برای ذخیره سازی و یا مبادله اطلاعات استفاده نمود. به بیان دیگر این تئوری امکان استفاده بیشتر از یک کانال با ظرفیت مشخص را فراهم می سازد. در این مقاله، سعی می شود ضمن بررسی مزایای این تئوری، روشی برای استفاده از آن در پردازشهای لازم بر روی سیگنالهای آنالوگ صوتی جهت آماده سازی آنها برای اجرای الگوریتم رمز بر روی آنها و یا انجام پردازش دیجیتال و نیز بازگرداندن این سیگنالها به شرایط عادی مطرح گردد.

۱- روش نمونه برداری مورد استفاده

بنابر فرضیه نمونه برداری [3] و [4] برای یک سیگنال با باند محدود (Band Limited) که دارای حد فرکانس بالای f_{xu} است، حداقل فرکانسی نمونه برداری دو برابر بالاترین مؤلفه فرکانسی موجود در سیگنال یا دو برابر پهنای باند سیگنال است، به عبارت دیگر

$$f_s \geq 2 f_{xu}$$

چنانچه فرکانس نمونه برداری از این حداقل $f_s = 2f_{xu}$ که نرخ نمونه برداری نایکوویست (Nyquist Sampling Rate) نام دارد، بیشتر باشد سیگنال اولیه با استفاده از یک فیلتر پایین گذر ایده آل قابل بازسازی خواهد بود.

حال اگر سیگنال مورد نظر، دارای طبیعت میان گذر (Band Pass) مطابق شکل ۱، دارای دو حد فرکانسی f_{x1} و f_{xu} و پهنای باند B_x باشد، بنا بر فرضیه نمونه برداری میان گذر [3] [4]، فرکانس نمونه برداری می تواند برابر

پیشرفت تکنولوژی و استفاده از تکنیک دیجیتال در بهره برداری از سیگنالها امروزه به صورت امری عادی در آمده و کاربرد فراوانی یافته است. جهت استفاده از تکنولوژی دیجیتال در کاربردهایی که با سیگنال آنالوگ در ارتباطند، عموماً نیاز به نمونه برداری و تبدیل آن به سیگنال دیجیتال می باشد. علاوه بر این در بسیاری از موارد نظیر رمز کردن سیگنالها و یا پردازش برخی سیگنالهای آنالوگ، و نیز در بعضی موارد خاص، استفاده از سیگنال نمونه برداری شده می تواند مزایایی ایجاد نماید.

در مقابل، نمونه برداری، معایبی را نیز ایجاد می نماید. از جمله اینکه موجب افزایش شدید در پهنای باند سیگنال می گردد که در بسیاری موارد، می تواند مشکلاتی را ایجاد نماید. تئوری نمونه برداری، فرکانس لازم برای نمونه برداری از یک سیگنال پایین گذر برای اینکه بتواند مورد استفاده واقع شده و مجدداً قابل بازگشت به شکل اولیه باشد را تعیین می نماید. این تئوری برای سیگنالهای پایین گذر (سیگنالهایی که پهنای باند آنها از فرکانس صفر تا بالاترین فرکانس موجود در آن امتداد می یابد)، حداقل فرکانس مشخصی را برای نمونه برداری تعیین می کند که غیر قابل اجتناب است.

تئوری نمونه برداری میان گذر، برای سیگنالهایی که دارای پهنای باندی کوچکتر از بالاترین فرکانس موجود در طیف آنها می باشد، بیان شده و با استفاده از آن می توان این حداقل فرکانس نمونه برداری را به مقدار کوچکتری کاهش داد.

با استفاده از این تئوری می توان نرخ نمونه برداری را کاهش داده و بنابراین تعداد نمونه ها را نیز کاهش داد. به

$f_s = 2f_{xu}/m$ باشد که m بزرگترین عدد صحیحی است که از نسبت f_{xu}/B_x بزرگتر نباشد به بیان دیگر

$$m = \text{integer}(f_{xu}/B_x)$$

چنانکه در شکل ۲ دیده می‌شود [3]، فرکانس نمونه برداری برای یک سیگنال میان گذر بستگی به نسبت f_{xu}/B_x در آن سیگنال دارد. برای مقادیر $f_{xu} < 2B_x$ و یا $m=1$ حد فرکانس نمونه برداری دارای شرایط حد فرکانس در نمونه برداری پایین‌گذر (یعنی $f_s \geq 2f_{xu}$) خواهد بود. چنانچه $2B_x \leq f_{xu} < 3B_x$ باشد، در این صورت $m=2$ بوده و بنابراین $f_s = f_{xu}$ خواهد بود. به همین ترتیب با توجه به مشخصه نشان داده شده در شکل ۲، نتیجه می‌گیریم که چنانچه پهنای باند یک سیگنال نسبت به فرکانس بالای طیف آن کوچک باشد، نمونه برداری با فرکانسهایی پایین‌تر از فرکانسهای بالای موجود در سیگنال نیز امکان پذیر خواهد بود.

سیگنال اولیه با استفاده از یک فیلتر میان‌گذر با فرکانس پایین f_{xl} و فرکانس بالای f_{xu} قابل بازسازی خواهد بود. [3] [4]

استفاده از نمونه برداری میان گذر در رمز سیگنالهای آنالوگ

کاربردهای نمونه برداری میان‌گذر با توجه به شرایط ویژه مورد نیاز در به کار بستن این تئوری، نسبتاً محدود است. با وجود این، در همین کاربردها نیز، این روش نمونه برداری موجب بهبود فراوانی در شرایط کار مدار می‌گردد.

آنچه بیشتر مورد نظر این مقاله است، کاربرد این نوع نمونه برداری در نوع خاصی از رمزکننده‌های آنالوگ است [1] [2]. در برخی از روشهای رمز که در مورد سیگنالهای آنالوگ به کار می‌روند، استفاده از نمونه برداری میان‌گذر، مزایای خاصی را با توجه به کاهش فرکانس نمونه برداری و ادغام طیفهای مختلف فرکانسی می‌تواند ایجاد نماید.

در روش مورد مطالعه، که در اینجا مورد بحث قرار می‌گیرد، به‌خوبی از امکاناتی که تئوری نمونه برداری میان‌گذر می‌تواند به وجود آورد، برای دستیابی به یک روش رمز مناسب استفاده شده است. در این روش، هدف رمز کردن سیگنال صوتی است، علاوه بر این، اساس رمز بر

استفاده از تکنیکهای دیجیتالی برای پیاده سازی الگوریتم دلخواه جهت درهم ریختن صوت از نظر زمانی و فرکانسی است [1].

آنچه در ابتدا می‌تواند مورد بحث واقع شود، استفاده از تئوری نمونه برداری پایین‌گذر است. در این صورت برای انجام این پردازش آنالوگ، ابتدا باند صوتی (300-3300 Hz) به چهار باند میانی مساوی و ایده‌آل تقسیم می‌شود. سپس هر یک از باندها با استفاده از فیلترهای میان‌گذر با کیفیت بالا (نزدیک به ایده‌آل) از یکدیگر جدا شده و سپس با ضرب کردن خروجی هر یک از چهار فیلتر در یک فرکانس مناسب، طیفهای مربوطه به اطراف فرکانس صفر منتقل می‌شوند (شکل ۳). خروجی هر یک از این ضرب‌کننده‌ها به یک فیلتر پایین‌گذر با پهنای باندی برابر با پهنای باند هر زیر باند اعمال می‌شود تا زیر باندهای اضافی حذف شود. خروجی فیلترها را می‌توان مالتی پلکس زمانی کرده و با استفاده از نمونه برداری پایین‌گذر، از آنها نمونه برداری و سپس به دیجیتالی تبدیل کرد، تا ادامه پردازش به صورت دیجیتالی بر روی آنها انجام شود [1].

در این روش، اولین عیب عمده‌ای که به نظر می‌رسد، نیاز به فیلترهای میان‌گذر ایده‌آل است، که در غیر این صورت، تداخل فرکانسی بین باندهای مختلف به وجود می‌آید. راه حل این مشکل، کاهش پهنای باند مورد استفاده از باند صوتی، به صورت کاهش پهنای هر یک از زیر باندها برای ایجاد فاصله لازم برای فیلترکردن است. واضح است که این کار منجر به کاهش کیفیت صوت نهایی به دست آمده می‌گردد، که هر چه فیلترهای میان‌گذر مورد استفاده پیچیده‌تر شود، می‌توان به کیفیت بالاتری دست یافت.

اشکال عمده دیگری که در این روش وجود دارد، متفاوت بودن مشخصه فیلترهای میان‌گذر مورد استفاده است که حتی در حالت غیر ایده‌آل، به علت مشخصه ویژه مورد نیاز، این فیلترها دارای پیچیدگیهای خاصی هستند. این موضوع می‌تواند مشکلات فراوانی را از نظر ساخت و نیز از نظر مشابه نبودن در عمل پیش آورد.

استفاده از نمونه برداری میان‌گذر با روشی خاص، موجب بهبود در برخی از موارد ذکر شده در فوق می‌شود. در این روش، ابتدا همه زیر باندها به یک باند مشخص انتقال می‌یابند، و بدین ترتیب بر روی چهار کانال متفاوت اطلاعات چهار باند فرکانسی متفاوت ولی در محدوده‌ای به اندازه پهنای یک باند موجود خواهد بود. آنگاه با استفاده از

یک مالتی پلکسر زمانی می توان اطلاعات چهار کانال فوق را با استفاده از تکنیک TDM به یک خط انتقال داده و سپس به دیجیتالی تبدیل نمود. با استفاده از تئوری نمونه برداری میان گذر می توان به فرکانس نمونه برداری نسبتاً پایینی دست یافت.

بلوک دیاگرام این سیستم در شکل (۴) نشان داده شده است سیگنال ورودی در چهار فرکانس مختلف ضرب شده و طیف فرکانسی آن به گونه ای انتقال می یابد که در خروجی هر یک از مخلوط کننده ها، هر یک از زیر باندها در محدوده فرکانسی 750-1500 Hz قرار می گیرد، که سپس به وسیله چهار فیلتر میان گذر مشابه از طیف کلی جدا می شوند. استفاده از فیلتر پایین گذر در ورودی کانالهای مربوط به سه زیر باند پایین، به منظور جلوگیری از تداخل بخش منفی زیر باند چهارم بر روی بخش مثبت زیر باند اول است. با استفاده از این فیلتر، زیر باند چهارم حذف شده و در نتیجه تداخلی به وجود نخواهد آمد (شکل ۵). در مورد زیر باندهای دوم و سوم از نظر تئوری مسأله تداخل با زیر باند چهارم وجود ندارد، ولی در عمل به علت ایده آل نبودن فیلترها و سایر مسائل تجربی لازم است ورودی ضرب کننده های مربوط به زیر باندهای دوم و سوم نیز از خروجی فیلترهای پایین گذر گرفته شود.

سیگنالهای خروجی هر چهار کانال، در محدوده 750-1500 Hz و همگی به صورت وارونه فرکانسی قرار گرفته است که از نظر رمز می تواند نوعی مزیت تلقی شود [1] [2]. خروجی این چهار کانال، مطابق شکل ۴ به یک مالتی پلکسر برای انجام TDM اعمال می شود، که در اینجا مالتی پلکسر خود نقش نمونه بردار را نیز ایفا می کند. برای به دست آوردن فرکانس نمونه برداری لازم است با استفاده از تئوری نمونه برداری میان گذر، شرایط کار مدار و پهنای باند زیر باندهای صوتی به دست آمده روی چهار کانال را بررسی کرد. در این صورت، با توجه به تئوری فوق خواهیم داشت:

$$m = f_{xu} / B_x = 1500 / 750 = 2$$

$$f_s = 2 f_{xu} / m = 1500 \text{ Hz}$$

بنابراین فرکانس نمونه برداری برای هر کانال 1500 Hz و برای چهار کانال 6 KHz خواهد بود. طیف فرکانس خروجی

مالتی پلکسر از تکرار طیف فرکانسی اصلی در حول مضارب فرکانس نمونه برداری به دست می آید (شکل ۶).

پس از این مرحله، مدار Sample & Hold و یک A/D، سیگنال دیجیتالی لازم برای پردازشهای بعدی را فراهم می کند. ادامه پردازش مربوط به رمز باید به صورت دیجیتالی انجام شود.

از مزایای روش به کار رفته، می توان از یکسان بودن فیلترهای میان گذر مورد استفاده نام برد که موجب سادگی فراوان در ساخت سیستم می شود. اگر چه مشخصه این فیلترها نمی تواند به صورت ایده آل باشد، و همین امر موجب لزوم کاهش پهنای باند آنها جهت جلوگیری از تداخل طیفها شده، و در نتیجه منجر به کاهش پهنای باند صوتی موثر مورد استفاده و حذف بخشی از باند صوتی می شود، اما در این مرحله به ناچار باید آن را پذیرفت. در عین حال استفاده از مالتی پلکسر به همراه ZOH = (Zero-Order Hold)، موجب محدود شدن طیف فرکانسی نهایی می شود که خود مزیتی محسوب می شود، چرا که در نهایت، پهنای باند به دست آمده نسبت به پهنای باند صوت ورودی تفاوت چندانی نداشته و امکان استفاده از کانالهای صوتی معمولی را برای انتقال سیگنال فراهم می سازد. به دیگر مزایای کاربرد این روش بعداً اشاره خواهد شد.

رمزگشایی

یکی از مسائل عمده که در طراحی یک سیستم رمز کننده باید در نظر گرفت، برخورداری از یک روش رمزگشایی ساده است. روش رمز مورد بحث، اگر چه یک روش بسیار مناسب به نظر می رسد، ولی تا زمانی که مسأله رمزگشایی در آن حل نشده است، نمی تواند مورد استفاده قرار گیرد.

سیگنال دریافتی پس از رمزگشایی به وسیله مدارهای مربوط به پردازش دیجیتالی، دارای همین به هم ریختگی فرکانسی سیگنال رمز شده است.

برای بازسازی سیگنالهای مالتی پلکس شده، ابتدا باید باهمان ترتیب زمانی که زیر باندهای اولیه مالتی پلکس شده بودند، توسط چهار کانال مختلف نمونه برداری شوند. در خروجی هر مدار نمونه بردار، طیف اصلی هر باند میانی در اطراف فرکانس صفر به دست می آید. مرحله بعدی، انتقال باندهای میانی به جای اصلی خود است، که برای این منظور می توان خروجی هر یک از مدارهای نمونه بردار را در فرکانس مناسبی ضرب کرد، تا باند حاضر (0-750 Hz) به

فیلتر میان گذر مشابه با پهنای باند 750-1500 Hz گذرانده می شوند تا بخشهای اضافی طیف که در اثر عمل ضرب به وجود آمده اند حذف شوند. توجه به این نکته بسیار مهم است که فیلترهای استفاده شده در این حالت، در هر چهار کانال دارای مشخصه یکسان و دقیقاً مشابه آنچه در مدار رمز کننده استفاده شده می باشند.

سیگنالهای به دست آمده در خروجی، سپس در چهار فرکانس مختلف ضرب می شوند تا طیفهای مربوط به زیر باندها در جای صحیح خود قرار گیرند. فیلترهای پایین گذر بعدی برای حذف فرکانسهای اضافی است که در اثر ضرب کردن به وجود آمده اند. شکل ۸ ورودی هر یک از ضرب کننده ها (a) و خروجی هر یک (b) تا (e) را نشان می دهد.

مزایای ایجاد شده در طراحی

آنچه در این مجموعه می تواند مورد توجه قرار گیرد، این است که طراحی هر دو سیستم رمز کننده رمزگشا به نحوی است که در عمل بتوان به بهترین نحو آن را پیاده نمود. همچنان که پیش از این اشاره شد کلیه فیلترهای میان گذری که در هر دو بخش رمز کننده و رمزگشا مورد استفاده قرار گرفته اند دارای مشخصات یکسان (اگر چه بسیار دقیق و نزدیک به ایده آل) می باشند.

از دیگر مزایای این روش آن است که به علت وجود فیلترهای میان گذر با کیفیت خوب در هر چهار کانال، نیازی به استفاده از فرکانسهای سینوسی جهت عمل ضرب (مخلوط کردن فرکانس) وجود ندارد چرا که مثلاً چنانچه حتی از شکل موج مربعی هم برای این کار استفاده شود، فیلترها، مؤلفه های بوجود آمده در اثر هارمونیکهای بالای آن را به کلی حذف نموده و نتیجه با آنچه به کمک شکل موج سینوسی به دست می آید، تفاوت نخواهد داشت.

مزیتی که از اینجا حاصل می شود آن است که ساختن فرکانسهای مختلف با استفاده از روشهای دیجیتالی، تهیه فرکانس مورد نیاز از یک فرکانس بالای اصلی (مثلاً پالس ساعت ریز پردازنده سیستم) را به راحتی ممکن ساخته و احتیاج به اوسیلاتورهای سینوسی مختلف با فرکانس پایین نخواهیم داشت (این گونه نوسان سازها معمولاً حجیم و گران قیمت هستند). علاوه بر این استفاده از موج مربعی جهت عمل ضرب موجب سادگی فراوان در طراحی میکسر (ضرب کننده) می گردد. در نتیجه سیستم بدست آمده بسیار ساده و

محل اصلی خود باز گردد. این کار موجب به وجود آمدن قسمتهای اضافی در طیف فرکانسی به دست آمده می شود که برای حذف آنها به فیلترهای میان گذر نیاز است. با توجه به این که هر یک از چهار کانال باید در فرکانس متفاوتی با دیگر کانالها ضرب شود، فیلترهای میان گذر مورد نیاز برای حذف قسمتهای اضافی، باید دارای مشخصه های متفاوتی باشند. در پایان با جمع کردن خروجی چهار کانال، می توان طیف فرکانسی سیگنال صوتی اولیه را بازسازی کرد.

گرچه به نظر می رسد که این روش می تواند به راحتی طیف سیگنال اولیه را بازسازی کند، اما دارای اشکالاتی است که یکی از آنها، همان طور که اشاره شد، نیاز به فیلترهای میان گذر دقیق و با مشخصه های متفاوت است. این موضوع باعث می شود که طراحی و ساخت این فیلترها بسیار مشکل شده و اشکالی اساسی برای این روش ایجاد نماید. اشکال مهمتر این است که برای انتقال هر یک از باندها به محل اصلی خود، دو فرکانس برای ضرب وجود دارد که یکی کمتر و دیگری بیشتر است. فرکانس کمتر موجب جابجایی بدون وارونگی در طیف فرکانسی مورد نظر، و فرکانس بالاتر موجب جابجایی با وارونگی فرکانسی می شود. همان طور که دیدیم، در مدار رمز کننده، همه طیفهای کانالها دچار وارونگی فرکانسی می شوند، ولی با توجه به شکل ۶ دیده می شود که آنچه در اطراف فرکانس صفر وجود دارد (و در نمونه برداری مورد نظر است)، دارای وارونگی فرکانسی نیست. بنابراین لازم است انتقال به فرکانس اولیه به نحوی انجام شود که وارونگی پیش نیاید. برای کانالهای دوم تا چهارم، با طرح فوق، این کار قابل انجام است، و به ترتیب با ضرب کردن آنها در فرکانسهای 1050 Hz، 1800 Hz، 2550 Hz، طیفها به درستی در جای اولیه خود قرار خواهند گرفت. تنها مشکل در مورد کانال اول است که ضرب در فرکانس 300 Hz به علت کوچکتر بودن این فرکانس نسبت به پهنای باند، موجب تداخل طیفها می شود.

برای رفع این مشکلات، طرح دیگری مطابق شکل ۷ ارائه می شود. در این طرح مدارهای S&H مورد استفاده وظیفه نمونه برداری در زمانهای معین و بدین ترتیب، دی-مالتی پلکس کردن سیگنال را به عهده دارند. خروجی هر یک از کانالها، در فرکانس 1500 Hz ضرب می شود تا طیفهای سیگنال هر چهار کانال به محدوده فرکانسی اولیه (750-1500 Hz) بازگردانده شود. سپس هر چهار کانال، از

ارزان قیمت خواهد بود و درعین حال، دارای پهنای باند رمز شده و روش رمزی نسبتاً کامل می باشد.

به این ترتیب به جای هر ضرب کننده (میکسر) سینوسی که به ویژه در این فرکانسها، ساختن آن مسائل بسیار زیادی در بردارد، می توان به راحتی از یک سوئیچ آنالوگ استفاده نمود که توسط فرکانس ورودی کنترل شود. همچنین به جای استفاده از اوسیلاتورهای سینوسی برای ساخت فرکانسهای مورد نیاز، که این مدارها نیز در این فرکانسها بسیار سنگین و گران تمام می شوند، به راحتی می توان با استفاده از تقسیم فرکانسی، کلیه فرکانسهای مورد نیاز را از یک فرکانس بالای اصلی تهیه نمود.

به این ترتیب مجموعه ۱۲ عدد مخلوط کننده سیستم به راحتی با استفاده از چند مدار مجتمع ساده قابل ساخت می باشند. فیلترهای پایین گذر مورد استفاده در سیستم با توجه به بحثی که پیش از این انجام شد، از پیچیدگی چندانی برخوردار نبوده و به راحتی قابل ساخت می باشند. با توجه به موارد فوق، مهمترین و عمده ترین مشکل عملی ساختن این سیستم رمز کننده (البته منظور قسمتهای آنالوگ مدار است)، طراحی و ساخت فیلترهای میان گذر آن می باشد. اگر چه بحث ما در بررسی مراحل مختلف طراحی یک سیستم رمز کننده و رمز گشا، بیشتر با توجه به ایده آل بودن شرایط انجام گرفت، اما در عمل، شرایط کاملاً ایده آل نمی تواند باشد. از جمله مسأله پهنای باند سیگنال صوتی مورد بحث و نیز زیر باندهای انتخاب شده می باشد.

واضح است که در مراحل مختلف فیلتر کردن نمی توان بحث ایده آل را کماکان پیگیری نمود. البته با گسترده تر و پیچیده تر کردن مدار فیلترها می توان کاری کرد که به شرایط ایده آل نزدیک شد اما در هر صورت باید از بخشی هر چند کوچک از باند فرکانسی صرف نظر کرد تا بتوان موارد نیاز را به انجام رساند. توجه به این نکته نیز لازم است که در یک سیستم عملی نمی توان از فیلترهای بسیار پیچیده استفاده کرد چرا که اولاً بسیار حجیم و گران قیمت شده و ثانیاً این گونه مدارها، یک مجموعه مسائل مخصوص به خود که از پیچیدگی آنها ناشی می شود را نیز به همراه دارند. بنابراین به نظر می رسد که منطقی ترین راه در عمل، صرف نظر از بخشی از طیف فرکانسی سیگنال صوتی (و بنابراین قبول کیفیت پایین تر در صوت بدست آمده) و در نتیجه کاهش پیچیدگی فیلترها می باشد. در این صورت لازم است بخشی از طیف فرکانسی سیگنال صوتی که حذف شده و بخش دیگری که باقی می ماند، با دقت فراوان و با توجه به شکل دهنده ها (formants) در صوت آدمی، فرکانسهای که در افراد مختلف و در زمانهای مختلف این شکل دهنده ها در محدوده آنها قرار می گیرند و وضعیت تغییرات آنها انتخاب شوند تا حتی الامکان صوت خروجی دارای مشخصاتی نزدیک به مشخصات صوت ورودی باشد. در غیر این صورت سیگنال صوتی خروجی ممکن است شباهت کمتری به صوت ورودی داشته و حتی قابل تشخیص نباشد.

نتیجه گیری:

آنچه در طول این مقاله مورد بحث قرار گرفت. بنوری نمونه برداری میان گذر بوده و مزایایی که این تئوری در برخی موارد خاص می تواند در اختیار قرار دهد، و همچنین کاربرد این تئوری در طراحی بخش آنالوگ از یک رمز کننده صوت می باشد.

استفاده از این تئوری باعث کاهش کلی در حجم سخت افزار، بالا رفتن کیفیت صوت، و به دست آمدن یک روش مناسب برای رمز سیگنال صوتی، با توجه به محدود بودن پهنای باند این سیگنالها و لذا سخت بودن فیلتر کردن و جدا سازی بخشی از آن، و پایین بودن فرکانسهای صوتی برای انجام عمل مخلوط کردن (ضرب کردن فرکانسی) گردید. لازم به تذکر است که این بحث تنها شامل پردازش آنالوگ لازم برای جداسازی زیر باندهای مختلف طیف

فرکانسی صوتی می باشد. برای داشتن یک رمز کننده کامل، لازم است که سیگنالهای به دست آمده توسط پردازش آنالوگ با استفاده از یک A/D به دیجیتال تبدیل و توسط CPU، الگوریتم خاصی برای جابجایی بخشهای مختلف صوت (از نظر فرکانسی و نیز زمانی) بر روی آنها پیاده شده [1] و سپس مجدداً به صورت آنالوگ در آمده و به طرف مقابل ارسال شود.

همچنین برای سیگنالهای دریافتی از طرف مقابل نیز عکس همین اعمال انجام شود و سپس نتیجه به بخش آنالوگ برای بازگرداندن طیفها به محل اصلی خود اعمال گردد. چنین سیستمی علاوه بر این که پهنای باند مورد نیاز برای کانال ارتباطی را افزایش نمی دهد، می تواند رمزی با پیچیدگی بسیار بالا بر روی سیگنال صوتی مورد استفاده، ایجاد نماید.

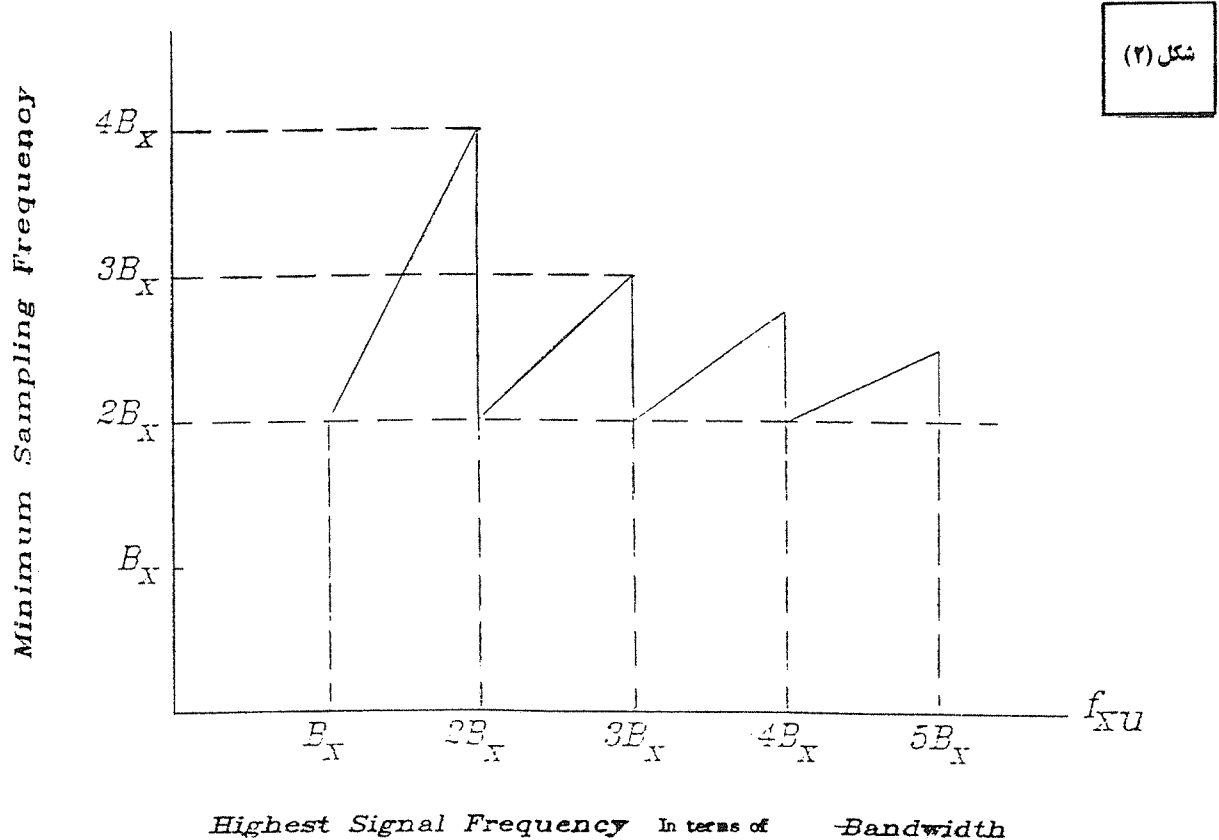
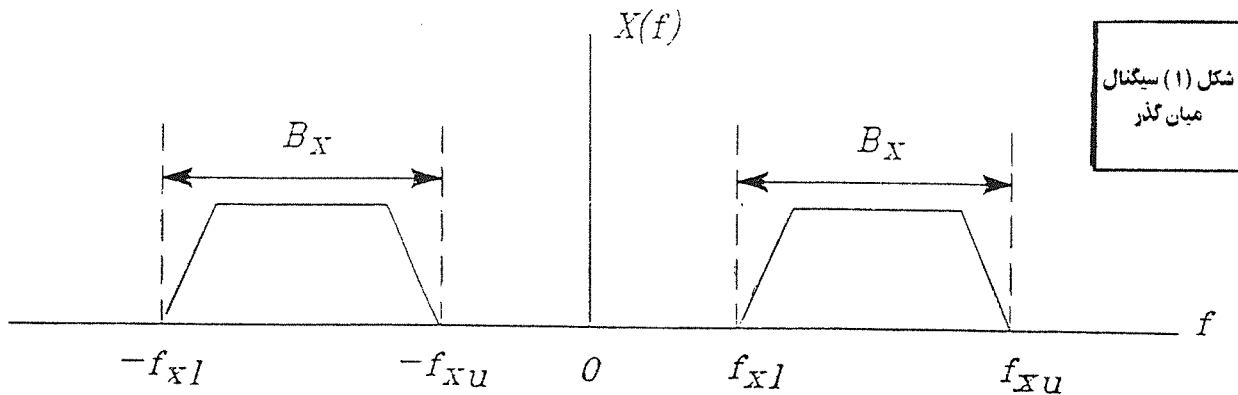
منابع:

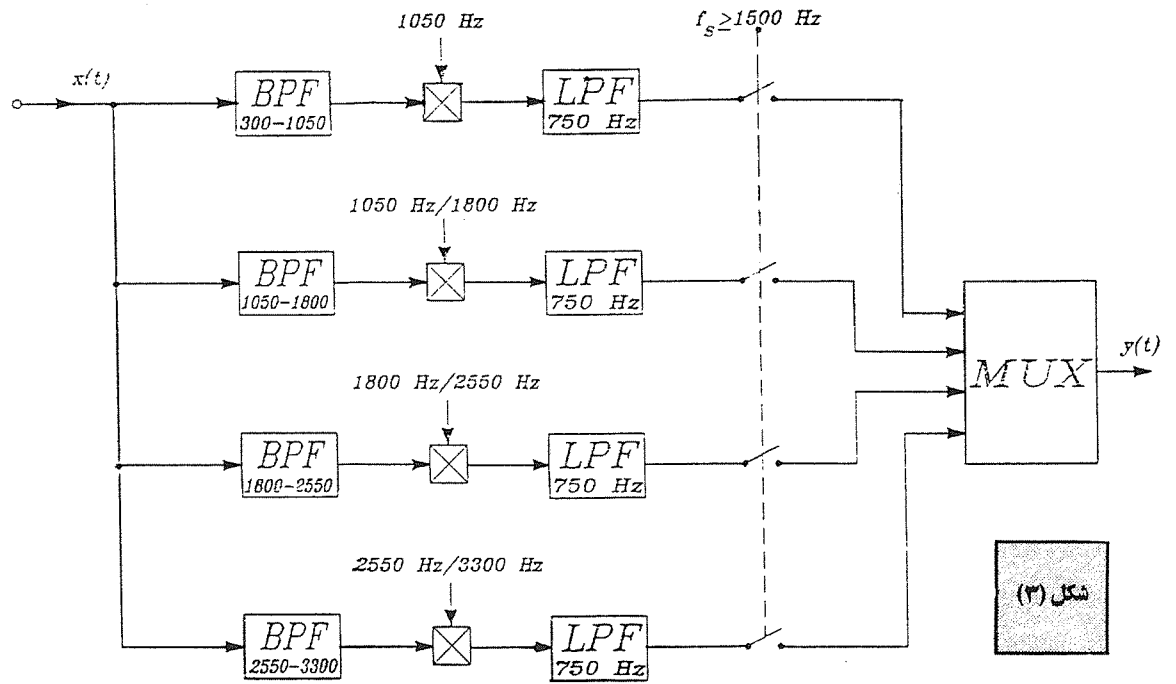
3. K. Sam Shanmugam, "Digital and Analog Communication Systems", NEW YORK: John wiley & Sons Inc., 1979.

۱. ا. معتمدی، م. احدی، ن. صدقی، «بررسی کلی روشهای رمز سیگنالهای آنالوگ»، امیرکبیر، سال سوم شماره ۱۰ پاییز و زمستان ۱۳۶۷.

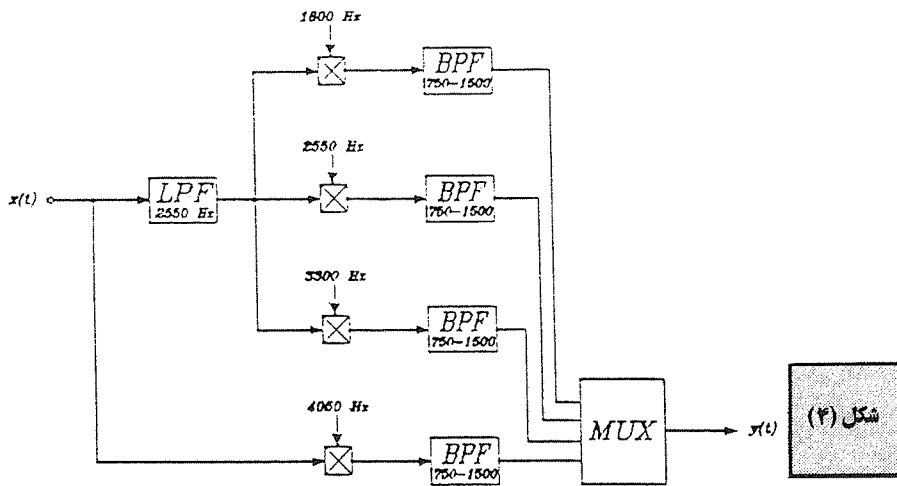
4. P Bylanski, D.G.W. Ingram."Digital Transmission Systems,"IEE Telecommunications Series 4. 1980.

2. H. Beker, F. Piper, "Cipher Systems," London: Northwood Publications, 1982.

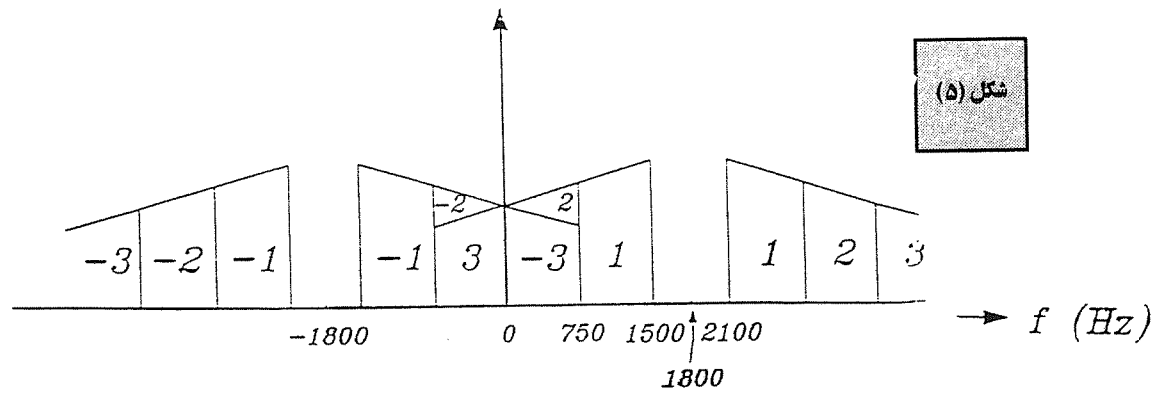




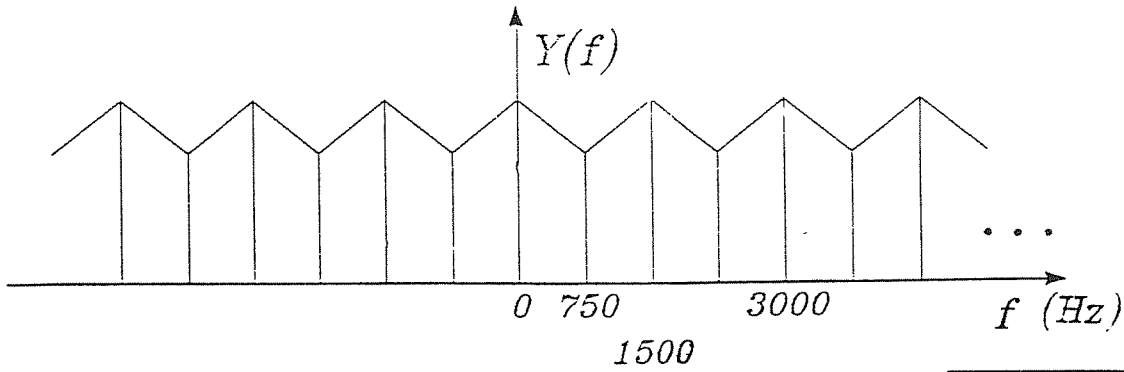
شکل (۳)



شکل (۴)

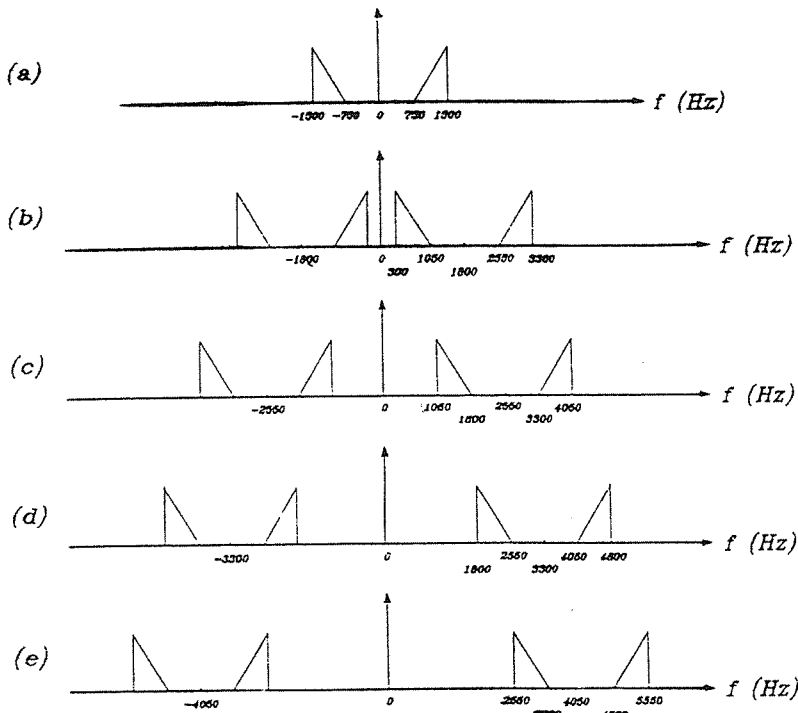
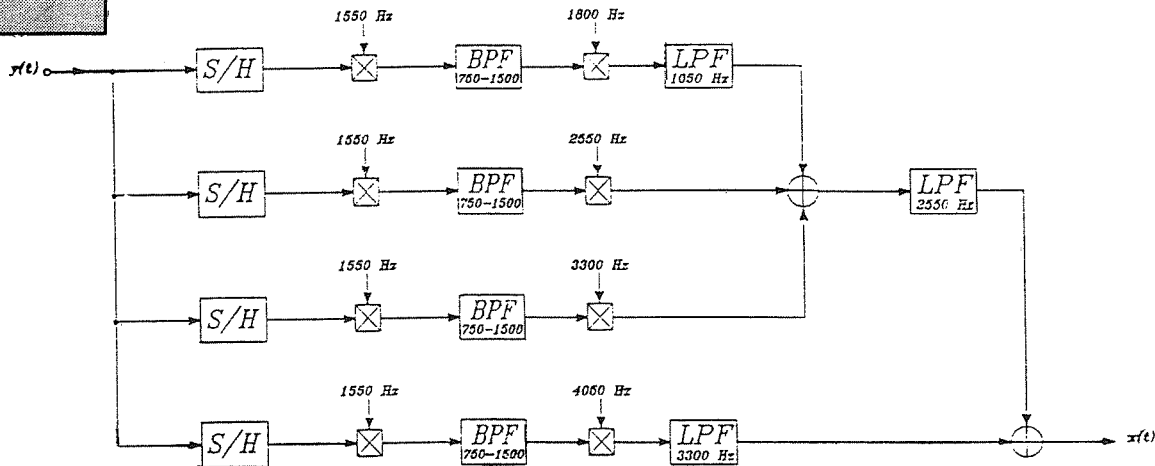


شکل (۵)



شکل (۷)

شکل (۶) طیف فرکانس خروجی مالتی پلکسر



شکل (۸) طیفهای فرکانسی چهار کانال