۳۸۷۱۰

۱۳۸۰ /۱۰/ ۲

دانشگاه تهران

دانشکده فنی

گروه مهندسی برق و کامپیوتر

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی برق- گرایش الکترونیک

موضوع:

طراحی و شبیه سازی مدولاتورهای دلتا-سیگما با دقت بالا برای کاربردهای xDSL

نگارش:

علیرضا مرتضوی

استاد راهنما:

دکتر امید شعاعی

شهریور ماه ۱۳۸۰

015590

۳۸۷۱۰

موضوع:

طراحی و شبیه سازی مدولاتورهای دلتا-سیگما با دقت بالا برای کاربردهای xDSL

نگارش: علیرضا مرتضوی

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

مهندسی برق، گرایش الکترونیک

از این پایان‌نامه درتاریخ ۱۳۸۰/٦/ ۲٤ در مقابل هیأت داوران

دفاع بعمل آمد و مورد تصویب قرار گرفت.

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده فنی:	دکتر محمّدعلی بنی‌هاشمی
مدیر گروه آموزشی:	دکتر محمود کمره‌ای
سرپرست تحصیلات تکمیلی گروه:	دکتر جواد فیض
استاد راهنما:	دکتر امید شعاعی
عضو هیأت داوران:	دکتر علی افضلی کوشا
عضو هیأت داوران:	دکتر مجتبی عطاردی
عضو هیأت داوران:	دکتر مهدی فخرایی

تقدیم به پدر ومادرم

چکیده

در دهه ۹۰ با پیشرفت سیتمهای مخابراتی باند پایه, نیاز به سیستمی به وجود آمد که قابلیت انتقال اطلاعات را به شکل متقارن بر روی یک زوج سیم داشته باشد. سیستم HDSL2 در پاسخ به این نیاز به وجود آمد. سیستم مزبور قابلیت انتقال اطلاعات را با سرعت ۱/۵Mbps به طور متقارن دارا می باشد. سیستم HDSL2 نیاز به مبدل آنالوگ به دیجیتالی با پهنای باند ۶۰۰ KHz و دقت ۱۵ یا ۱۶ بیت دارد. ولتاژ تغذیه ۳ ولت می باشد. در این پایان نامه مدولاتور دلتا-سیگما به کار رفته در Front-end یک سیستم HDSL2 طراحی و شبیه سازی خواهد شد. اغلب مدولاتورهای دقت بالا که در سالهای اخیر ارائه شده اند، دارای پهنای باند۱/۱MHz می باشند و برای کاربرد ADSL پیاده سازی شده اند. تا آنجا که بررسی های نویسنده این پایان نامه نشان می دهد، تاکنون مدولاتوری با مشخصات ذکر شده در ژورنالهای معتبر ارائه نشده است. دلیل آن عمدتا جدید بودن سیستمهای HDSL2 می باشد. انتظار می رود که در آینده با پیشرفت سیستمهای مزبور، مبدلهای آنالوگ به دیجیتال بیشتری برای کاربرد در آن سیستمها ارائه شوند.

برای پیاده سازی مدولاتور مزبور از یک ساختار Cascade2-2-2 استفاده می شود. برای تعیین مشخصات المانهای مداری به طور گسترده از شبیه سازی های سیستمی استفاده شده است. با استفاده از شبیه سازی های سیستمی سعی شده است که توان مصرفی مدولاتور مینیمم شود. انتگرالگیر اول مهمترین عنصر به کار رفته در مدولاتور می باشد. برای پیاده سازی انتگرالگیر اول از آپ امپ فولدد کسکود با بهره افزایشی استفاده شده است. روش جدید جبرانسازی برای بهبود پاسخ فرکانسی آپ امپ مزبور استفاده شده است که باعث بهبود رفتار نشست مدار می شود. غیر از آپ امپ اول، آپ آمپهای انتگرالگیرهای دوم و سوم نیز از نوع فولدد کسکود با بهره افزایشی می باشد. آپ امپ های به کار رفته در سه انتگرالگیر آخر آپ امپ فولدد کسکود ساده می باشند. تکنولوژی مورد استفاده ۰/۶u می باشد که در اصل تکنولوژی ساخته شده برای ولتاژ تغذیه ۵ ولت می باشد، اما دراین پایان نامه از آن در ولتاژ ۳ ولت استفاده شده است. با شبیه سازی، مقدار DR برابر ۹۶ dB به دست می آید که معادل دقت ۱۶ بیت می باشد. توان مصرفی بخش آنالوگ مدولاتور ۱۳۰ mW می باشد. معیار شایستگی(Figure of merit) مدولاتور مزبور کاملا قابل مقایسه با کارهای مشابه ارائه شده با آن می باشد.

فهرست مطالب :

عنوان	صفحه
فصل اول : مقدمه	۱
۱-۱ انگیزه	۱
۱-۱-۱ DSL های متقارن و نامتقارن	۱
۱-۲ انتخاب ADC مناسب برای سیستم HDSL2	٦
فصل دوم : مدولاتورهای دلتا-سیگما	۸
۲-۱ مفاهیم اولیه مبدلهای آنالوگ به دیجیتال	۸
۲-۱-۱ کوانتایزیشن	۹
۲-۲ مدولاتورهای دلتا-سیگما	۱۲
۲-۲-۱ SNR ,SNDR و محدوده پویایی	۱۳
۲-۲-۲ مدولاتور دلتا-سیگما درجه ۲	۱۵
۲-۳ انتخاب آرایش مناسب برای مدولاتور	۱۷
۲-۳-۱ افزایش نسبت بیش نمونه برداری	۱۷
۲-۳-۲ افزایش تعداد بیت مدولاتور	۱۸
۲-۳-۳ افزایش درجه فیلتر	۲۰
۲-٤ انتخاب آرایش مناسب برای مدولاتور	۲۵
۲-۵ حساسیت مدولاتور نسبت به اثرات غیر ایده آل المانهای مداری	۳۰
۲-۵-۱ انتگرالگیر غیر ایده آل	۳۰
۲-۵-۲ عدم تطابق بین ضرایب بخش دیجیتال و آنالوگ	۳٤
۲-۵-۳ پهنای باند مورد نیاز برای آپ امپ ها	۳۹
۲-۵-٤ سوینگ و Slew-rate خروجی آپ امپ ها	٤۰
۲-۵-۵ حساسیت مدولاتور نسبت به اثرات غیر ایده آل مقایسه گر	٤۳
۲-٦ آنالیز مونت کارلو	٤٤

فصل سوم : مدارهای سویچ-خازن ٤٥

۳-۱ اجزای اصلی مدارهای سویچ-خازن ٤٥

۳-۱-۱ آپ امپ ٤٦

۳-۱-۲ سویچ ٤٦

۳-۱-۳ خازن ٤٧

۳-۱-٤ Nonoverlapping Clock ٤٨

۳-۲ نمونه برداری ٤٩

۳-۳ اثرات غیر ایده آل مدارهای سویچ-خازن ٥١

۳-۳-۱ مقاومت محدود و غیر خطی سویچها ٥١

۳-۳-۲ Clock-Feedthrough ٥٣

۳-۳-۳ Charge-Injection ٥٧

۳-۳-٤ نویز حرارتی KT/C ٦٠

۳-٤ انتخاب آرایش مناسب برای مدولاتور ٦١

۳-٥ انتگرالگیر سویچ-خازن ٦٢

۳-٦ تعیین اندازه خازنها ٦٥

۳-٦-۱ نویز حرارتی (KT/C) ٦٦

۳-٦-۲ عدم تطابق بین خازنهای ٧٠

۳-٦-۳ خازنهای پارازیتیک ٧١

فصل چهارم : طراحی مدار ٧٣

٤-۱ طراحی آپ امپ ٧٣

٤-۱-۱ انتخاب آرایش مناسب برای آپ امپ ٧٤

٤-۱-۲ آپ امپ فولدد کسکود ٧٦

٤-۱-۳ Gain-boosting ٧٨

٤-۱-٤ طراحی آپ امپ اول با آرایش شماره ۱ ٨٢

٤-۱-٥ طراحی آپ امپ اول با آرایش شماره ۲ ٨٩

٤-١-٦ جبران سازی ٩٤
٤-١-٧ بررسی رفتار نشست آپ امپ ٩٧
٤-١-٨ طراحی انتگرالگیر اول ٩٩
٤-١-٨-١ تست انتگرالگیر ١٠١
٤-١-٩ طراحی آپ امپ ١٠٢
٤-٢ طراحی مقایسه گر ١٠٣
٤-٢-١ تست Overdrive ١٠٦
٤-٣ پیاده سازی مداری مدولاتور ١٠٨
فصل پنجم : نتایج شبیه سازی و ارز یابی آنها ١١٠
٥-١ نکات قابل توجه در بدست آوردن طیف خروجی مدولاتور ١١١
٥-٢ تتیجه شبیه سازی های مداری ١١٤
٥-٢-١ مقایسه با سایر کارها ١١٨
٥-٢-٢ جمع بندی و پیشنهاد هایی برای آینده ١٢١

مقدمه

۱-۱ انگیزه

پس از سال ۱۹۹۰ نیاز به سیستمهای مخابراتی با پهنای باند بالا به وجود آمد و این نیاز همچنان رو به افزایش می باشد. هدف افزایش کارایی خطوط انتقال و استفاده بهینه ازآنها می باشد. سیستمهای DSL (Digital Subscriber Line) از جمله سیستمهایی است که برای این منظور به وجود آمد.DSL ها انواع گوناگونی دارند مانند: ADSL ، HDSL، HDSL2 و.....

به صورت اولیه این سیستمها را به سیستمهای متقارن[1] ونامتقارن[2] تقسیم می کنند که در اینجا توضیح داده می شود.

۱-۱-۱ DSL های متقارن و نامتقارن

تکنولوژیهای مختلف DSL از جهت نرخ ارسال و دریافت اطلاعات به دو گروه متقارن و نامتقارن تقسیم بندی می شوند. نوع متقارن آن به این صورت است که نرخ ارسال اطلاعات از مشترک به مرکز برابر نرخ ارسال اطلاعات از مرکز به مشترک می باشد. ونوع نامتقارن آن به این شکل است که نرخ ارسال اطلاعات از مرکز به مشترک خیلی بیشتر از نرخ ارسال اطلاعات از مشترک به مرکز می باشد. موارد کاربرد DSL های نامتقارن مانند ADSL در جاهایی است که مشترک اطلاعات را عمدتا از مرکز دریافت می کند و قرار نیست اطلاعات زیادی را به مرکز ارسال کند. چنین وضعیتی ممکن است در کاربرد های خانگی و یا دفاتر کوچک کاری به وجود آید. اما کاربردهایی وجود دارد که

---

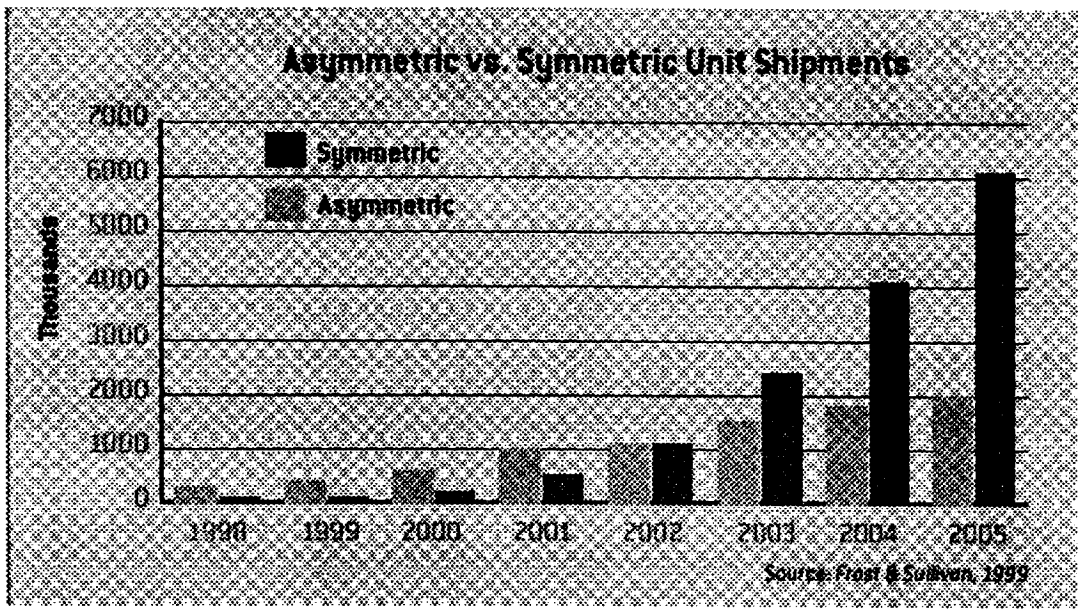
[1] Symmetric

[2] Asymmetric

مشترک به همان اندازه که اطلاعات دریافت می کند، همان انـدازه نـیز اطلاعـات بـرای ارسـال دارد. نمونه این کاربرد مانند ارتباط دفاتر کاری با یکدیگر می باشد.

با وجودیکه پیشبینی می شود که هـر دو نـوع سیسـتمهای متقـارن و نامتقـارن در چنـد سـال آینـده پیشرفت چشمگیری داشته باشد، اما انتظار می رود که سیستمهای متقارن رشد بیشـتری داشـته باشـد. شکل (۱-۱) این مقایسه را نشان می دهد.

موارد کاربرد DSL های متقارن مانند HDSL در جاهایی است که نیاز به انتقال دو طرفه اطلاعات بـا نرخ برابر می باشد. چنین نیازی در کاربرد هایی مانند کنفرانس ویدیویی و یا انتقـال صـوت از طریـق xDSL و همچنین ارتباط دو طرفه دو دفتر کاری با یکدیگر، وجود دارد. شکل (۱-۱) مقایسه ای را بین تعداد موارد کاربرد سیستم های متقارن و نا متقارن در چند سال اخیر نشان می دهد[۲۳].



شکل ۱-۱ مقایسه تعداد موارد کاربرد سیستم های متقارن ونا متقارن در چند سال اخیر و آینده

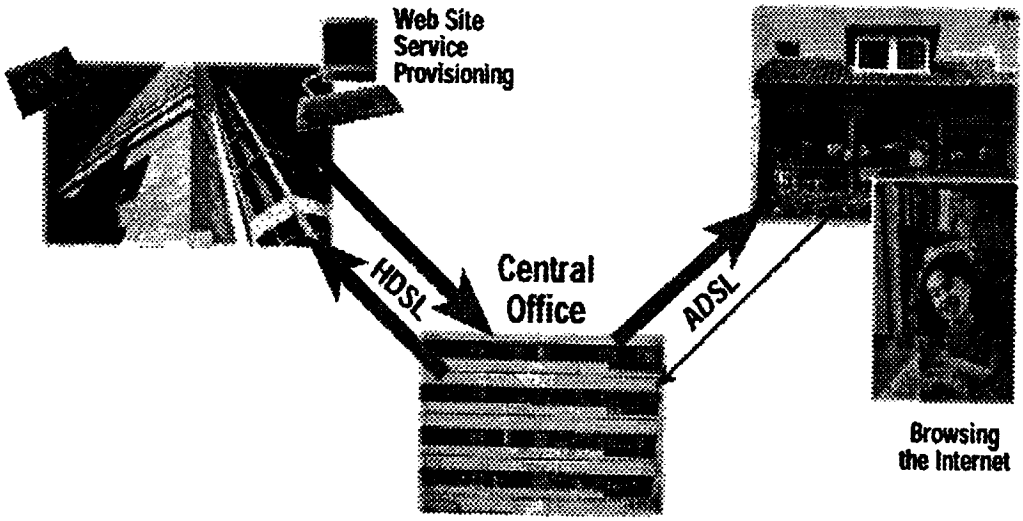
با توجه به شکل مشخص می شود که نرخ رشد DSL های متقارن بیشتر از نوع نامتقارن آن می باشد. در ادامه به توضیح مختصر سیستم های ADSL ، HDSL و HDSL2 می پردازیم.

۱: ADSL[1]

این سیستم چنان که از نام آن برمی آید از نوع سیستمهای نامتقارن می باشد. این سیستم از یک زوج سیم برای انتقال اطلاعات استفاده می کند. نرخ ارسال اطلاعات از مشترک به مرکز از 16 Kbps تا 640Kbps می باشد و نرخ ارسال اطلاعات از مرکز به مشترک حداکثر 9Mbps می باشد. به دلیل طبیعت نامتقارن آن، این سیستم برای کاربرد هایی که پهنای باند ارسال و دریافت اطلاعات یکسان است، مناسب نمی باشد.

۲: HDSL[2]

این سیستم از سال ۱۹۹۰ به بیشترین تعداد نسبت به سایر سیستمهای DSL راه اندازی و بهره برداری شده است[۳۸]. این سیستم از نوع متقارن می باشد و توانایی انتقال اطلاعات را در دو جهت



شکل ۲-۱ کاربرد ADSL و HDSL

با نرخ 1.544Mbps دارا می باشد. HDSL برای انتقال اطلاعات از دو زوج سیم استفاده می کند و توانایی انتقال اطلاعات را تا فاصله 12000 ft بدون استفاده از ریپیتر دارا می باشد. به دلیل خاصیت متقارن خود برای کاربرد هایی که نیاز به ارسال اطلاعات از مرکز به مشترک و بر عکس با نرخ

---

[1] Asymetric Digital Subscriber Line

[2] High-bit-rate Digital Subscriber Line

مساوی دارد، مناسب می باشد. از کاربرد های آن می توان به ارتباطات LAN (Local Network) Are و کنفرانس ویدیویی (Video Confference) همچنین انتقال صوت از طریق DSL اشاره نمود. شکل (۲-۱) به صورت گرافیکی مورد استفاده یک DSL متقارن(HDSL) و نامتقارن (ADSL) را نشان می دهد. فلش های کلفت نشان دهنده انتقال اطلاعات با نرخ بالا و فلش باریک نشان دهنده انتقال اطلاعات با نرخ پایین می باشد.

HDSL2 :۳

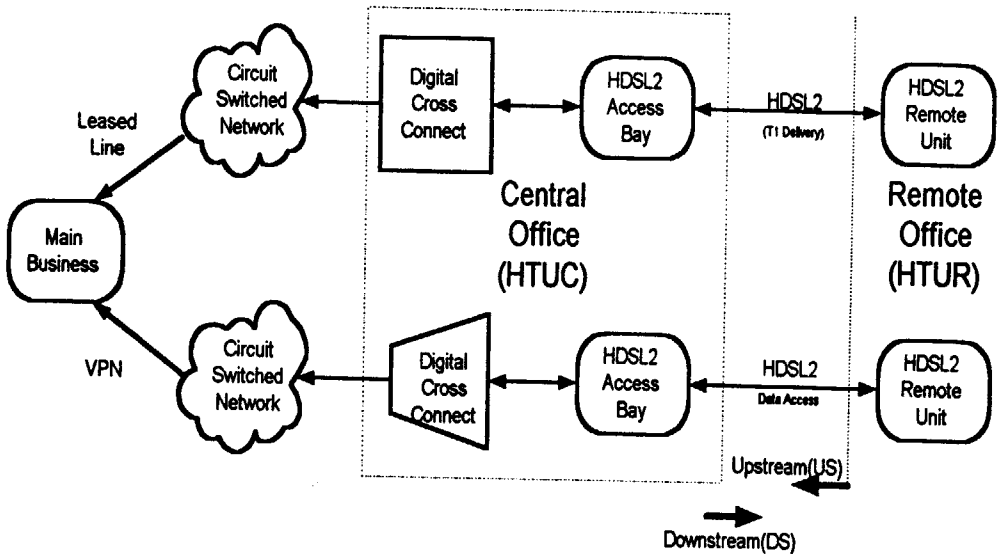
این سیستم نسل بعدی HDSL می باشد. سیستم HDSL با دو زوج سیم کار می کند. در اواسط دهه ۹۰ با وجودیکه سیستمهای HDSL در مقیاس وسیعی راه اندازی شده بودند، نیاز به سیستمی بود که قابلیت انتقال دوطرفه اطلاعات را بر روی یک جفت سیم داشته باشد. سیستم HDSL2 در پاسخگویی به این نیاز به وجود آمد. این سیستم همان کارآیی HDSL را دارا می باشد با این مزیت که آن سرویس ها را بر روی یک زوج سیم ارائه می کرد. سیستم های HDSL2 همچنان در مرحله استاندارد و بررسی می باشد. یکی از مشخصات لازم برای هر سیستم جدید که می خواهد در کنار سیستم های موجود کار کند این است که سیستم جدید باعث ایجاد نویز واعوجاج در سایر سیستم ها نشود همچنین Crosstalk ناشی از سایر سیستم ها نیز باعث اخلال در عملکرد سیستم جدید نگردد. برای برآورده شدن شرط ذکر شده لازم است که سیستم جدید با سایر سیستم ها تطابق طیفی (Spectrum Compatibility) داشته باشد. سیستم HDSL2 واجد مشخصه ذکر شده می باشد. جدول (۱-۱) مشخصات سیستمهای ADSL، HDSL وHDSL2 را نشان می دهد.

جدول ۱-۱ مقایسه سیستمهای DSLهای مختلف

	Data Rate	Mode	Distance imit from Central Office	Number of Copper Pairs
ADSL	1.544- 9Mbps 16-640Kbps	Dounsteam Upstream	12000- 18000ft	1
HDSL	1.544Mbps	Duplex	12000ft	2
HDSL2	1.544Mbps	Duplex	12000ft	1

در این پایان نامه هدف طراحی یک مبدل آنالوگ به دیجیتال برای کاربرد HDSL2 می باشد. بنابراین در ادامه بر روی این سیستم تمرکز می کنیم.

شکل (۳-۱) بلوک دیاگرام یک سیستم HDSL2 را نشان می دهد[۲۵] . این سیستم برای ارتباط یک واحد فرعی به مرکز اصلی به کار می رود. شکل سمت راست متعلق به مصرف کننده می باشد که می تواند یک مصرف کننده خانگی ویا یک دفتر کاری باشد و به طور کلی HTUR (HDSL2 Termination Unit Remote Office) نامیده می شود. در قسمت وسط، بخش ارتباط مرکزی می باشد.و به اختصار HTUC (HDSL2 Termination Unit Central Office) نامیده می شود. انتقال داده از HTUC به HTUR را انتقال در جهت پایین[1] و از HTUR به HTUC را انتقال در جهت بالا[2] گویند.



شکل ۳-۱ بلوک دیاگرام کاربرد سیستم HDSL2

همان گونه که در شکل(۳-۱) نشان داده شده است، این سیستم می تواند مصرف کننده را از طریق راه اختصاصی ویا از طریق Internet به محل مورد نظر وصل کند.

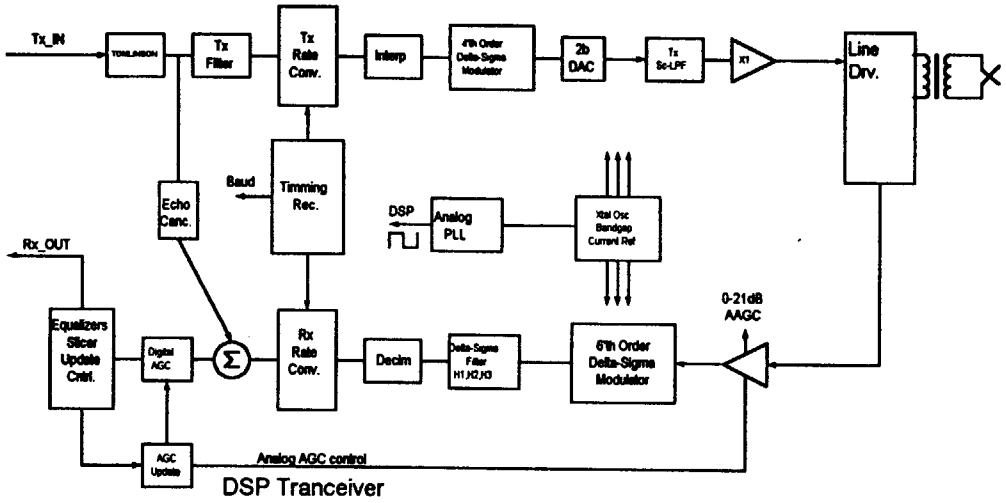
شکل (٤-۱) یک Front-end سیستم HDSL2 را نشان می دهد[۲۵]. در مسیر دریافت، سیگنال ابتدا وارد یک طبقه AGC می شود که توان سیگنال را به اندازه مناسب تنظیم می کند. سپس سیگنال وارد یک مدولاتور دلتاسیگما سه طبقه می شود. بیتهای خارج شده از این سه طبقه به ترتیب وارد سه

---

[1]Downstream

[2]Upstream

فیلتر دیجیتال H_1, H_2 وH_3 می گردند تا نویز کوانتایزیشن طبقات اول و دوم مدولاتور حذف گردد. خروجی در این جا شامل سیگنال ورودی و همچنین نویز کوانتایزیشن طبقه سوم مدولاتور می باشد.



شکل ٤-١ Front-end یک سیستم HDSL2

قسمت عمده این نویز خارج باند سیگنال ورودی می باشد. در اینجا سیگنال وارد بخش Decimation و همچنین بخش پایین آورنده نرخ نمونه برداری می شود که سیگنال را به نرخ نایکوییست تبدیل می کند. در این مرحله سیگنال دریافت شده است وآماده تحویل به بلوکهای بعدی می باشد.

۲-۱ انتخاب ADC مناسب برای سیستم HDSL2

مبدل آنالوگ به دیجیتال به کار رفته در مسیر دریافت باید دارای دقتی بالاتر از ١٤ بیت و پهنای باندی در حدود kHz ٦٠٠ داشته باشد. با توجه به پهنای باند دقت مورد نظر، امکان استفاده از دو آرایشPipelined یا آرایش دلتا- سیگما وجود دارد[٢٥]. آرایش Pipelined با دقت بیشتر از ١٢bit در فرکانس مورد نظر، نیاز به کالیبراسیون یا روشهایی برای تصحیح خطا دارد که باعث پیچیدگی و افزایش توان مصرفی سیستم می شود. همچنین در صورت استفاده از آرایش Pipelined، نمونه برداری از سیگنال ورودی باید با نرخی بیشتر از نرخ نایکوییست انجام شود، تا ساخت فیلتر Anti-aliasing ساده تر شود. در مجموع استفاده از آرایش Pipelined در این کاربرد مناسب نمی باشد.

انتخاب بهتر استفاده از آرایش دلتاـ سیگما می باشد. مدولاتورهای دلتاـسیگما با دقت بالا وپهنای باند مورد نظر، بدون استفاده از کالیبراسیون ساخته شده اند و برای این کاربرد مناسب می باشـند. چنانکـه در شکل (٤-١) هم مشاهده می شود، برای پیاده سازی مبدل آنـالوگ بـه دیجیتـال بـه کـار رفتـه در سیستم HDSL2 از یک مدولاتور دلتا-سیگما درجه شش استفاده شده است. دربـاره مدولاتورهـای دلتاـسیگما در فصل بعد به تفصیل صحبت خواهد شد.