۶

حفاظت دیجیتالی

۶-۱) مقدمه

در حال حاضر استفاده از برنامه‌های کامپیوتری مربوط به سیستم‌های قدرت رواج زیادی پیدا کرده است. کاربرد کامپیوتر در شبکه های قدرت به منظور کنترل فرآیندهای کوچک پدیده نسبتا جدیدی می‌باشد. کنترل کامپیوتری و کسب اطلاعات سیستم، مثالی از این کاربرد می‌باشد. این کامپیوترها بسیاری از اطلاعات سیستم قدرت را جا به جا می‌کنند.

استفاده از کامپیوتر به منظور حفاظت تجهیزات سیستم‌های قدرت (رله‌ها) موضوع بسیار مهمی می‌باشد. اکنون تحقیقات زیادی در این زمینه انجام می‌شود. همچنین به طور نسبتا وسیعی از رله‌های کامپیوتری (یا رله‌های دیجیتالی) در صنعت استفاده می‌گردد.

با توجه به کاربردهای مختلف رله‌های کامپیوتری، به دلایل زیر تحقیق بر روی آنها در خطوط انتقال قدرت بیشتر از موارد دیگر انجام می‌شود:

الف- پیچیدگی حفاظت خطوط انتقال

ب- قابلیت تست و آزمایش این نوع رله‌ها

به علاوه قیمت بالای رله‌های معمولی استاتیکی خطوط انتقال، رله‌های دیجیتال را کاربردی تر جلوه می‌دهد.

۶-۲) مزایای سیستم حفاظت دیجیتالی

مهمترین مزایای سیستم‌های رله‌های دیجیتال به طور خلاصه توضیح داده می‌شود.

قیمت

قیمت، مهمترین عامل در بررسی نهایی رله ها است. در حالی که قیمت دستگاههای سخت افزار دیجیتالی دائما رو به کاهش است، قیمت رله‌های معمولی افزایش می‌یابد. به علاوه این رله‌ها چون قابل برنامه ریزی هستند، برای چندین منظور می‌توانند استفاده شوند.

عملکرد

واضح است عملکرد این رله‌ها در تمام حالات باید حداقل برابر با عملکرد رله‌های معمولی باشد. سرعت بهینه عبارت از سرعت تشخیص و آشکار سازی خطای مرتبط با سیستم قدرت، به علاوه سرعت سیستم دیجیتالی می‌باشد. برای چنین عملکردهایی باید طوری باشد که بهترین عملکرد ممکن حاصل شود.

قابلیت اعتماد

این نوع رله‌ها دارای سیستم خودآزمایی و آگاهی دهنده می‌باشند. در واقع رله‌های دیجیتالی علاوه بر نظارت بر اختلالات شبکه قدرت، می‌توانند مدارات خود رله و مدارات ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ تا کویلهای قطع کننده را مورد بررسی پیوسته قرار داده و عملا کلیه اتصالات سخت‌افزار و نرم‌افزار رله‌ها را پوشش دهند. با داشتن سیستم خودآزمایی و آگاهی دهنده، سلامت سیستم حفاظتی به تناوب کنترل می‌شود و اگر اشکالی وجود داشته باشد، اخطار لازم اعلام می‌شود. لازم به ذکر است که عملیات دوره‌ای تعمیرات و نگهداری ممکن است باعث بروز عملکرد ناصحیح بعدی رله گردد. با داشتن قابلیت فوق تعمیرات در سیستم، تعمیرات تصحیح کننده، عملکردی بوده و تعمیرات بازدارنده و هزینه‌های مرتبط با آن شدیداً کاهش می‌یابد. به علاوه قابلیت اطمینان عملکردی سیستم حفاظتی به نحو قابل ملاحظه‌ای بهبود خواهد یافت. زیرا که عیوب رله و سیستم حفاظتی سنتی فقط در مرحله تست و یا عملکرد اشتباه آنها در لحظه بروز خطا مشخص می‌گردند. در واقع، درصد بالایی از عدم عملکردهای سیستم حفاظتی بواسطه آن است که رله در وضعیت صحیح کارکرد نمی‌باشد و در عین حال کسی از این مساله مطلع نیست. در صورتیکه با داشتن سیستم خودآزمایی کننده در صورت وجود اشکال و عیب اخطار داده خواهد شد. نهایتا ممکن است این نظریه نیز مطرح گردد که با داشتن این سیستم می‌توان در برخی موارد از سیستم پشتیبان رله دیجیتالی صرفنظر کرد.

با استفاده از این رله‌ها، چندین عملکرد متنوع در یک پست را می‌توان با یک رله انجام داد. بطور مثال حفاظت یک خط بطور کامل، وصل مجدد سریع، فاصله‌یاب خطا، ثبات خطا، CBF، چک سنکرونیزاسیون اتوماتیک و ... می‌توانند در یک رله مجتمع شوند.

بنابراین ابعاد رله دیجیتال با توجه به تعداد وظایفی که قابلیت انجام آن را دارد، کوچکتر از انواع رله‌های سنتی بوده که در نتیجه تعداد تابلوها کمتر شده و ابعاد ساختمان کنترل پست نیز کاهش می‌یابد.

در جمع‌بندی نهایی برای انتخاب رله جنبه اقتصادی یکی از مهمترین معیارهای تصمیم‌گیری می‌باشد. با پیشرفت تکنولوژی دیجیتالی هزینه سخت‌افزار رله دیجیتال در حال کاهش می‌باشد و این در حالی است که قیمت رله‌های معمولی در دو دهه گذشته رو به افزایش بوده است. باید توجه داشت که قیمت یک رله دیجیتالی شامل دو بخش سخت‌افزار و نرم‌افزار آن است و کاهش قیمت سخت‌افزار به تنهایی نمی‌تواند باعث کاهش قیمت این نوع رله شود. بلکه عمده قیمت رله دیجیتالی در اکثر موارد قیمت نرم‌افزار آن است. با اینکه شاید در برخی موارد قیمت رله‌های دیجیتالی از رله‌ای مرسوم بیشتر می‌شود ولی قطعاً در تمامی موارد می‌توان گفت که نسبت هزینه به مزایا در رله‌های دیجیتالی خیلی کمتر است.

عملیات متقابل در سیستم

در حال حاضر تعداد زیادی ایستگاه‌های قدرت هستند که اطلاعات را با نقاط دور- معمولا مرکز کنترل- مبادله می‌کنند. مثال‌هایی از این سیستم ها، سیستم آلارم و سیستم کسب اطلاعات است که می‌تواند در داخل یک سیستم مخابراتی انجام شود.

استفاده‌های جانبی

وقتی سیستم رله ای بر مبنای کامپیوتر به کار رود، استفاده‌های جانبی دیگری نیز می‌تواند از آن انجام شود.

به عنوان مثال:

الف- یک رله دیجیتالی می‌تواند آنالیز پدیده‌های گذرا را انجام دهد.

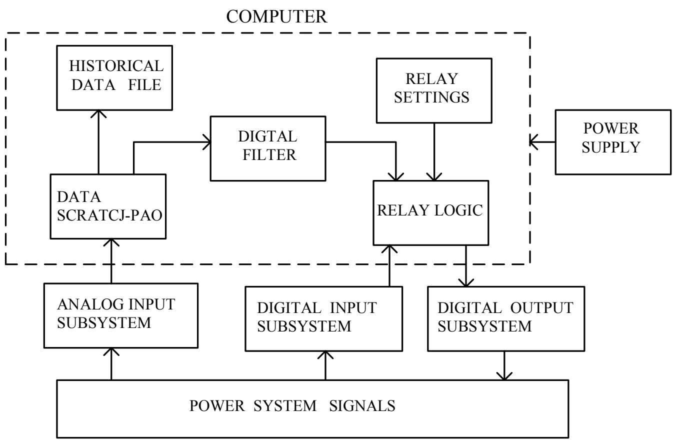
ب- اطلاعات را مالتی پلکس کند. تعداد زیادی اطلاعات می‌تواند توسط کامپیوتر در سیستم‌های حفاظت پست، مالتی پلکس شود. این عمل هزینه کابل کشی بین محوطه پست و اتاق کنترل را کاهش می‌دهد.

ج- در مقایسه با رله‌های الکترومکانیکی، بار کمتری توسط رله‌های دیجیتالی به مبدل‌های جریان و ولتاژ اعمال می‌شود. ترانسفورماتورهای پتانسیل و جریان پایین برای انتقال اطلاعات از تجهیزات ولتاژ بالا، از تجهیزات مدرن الکترونیکی و واسطه‌های فیبر نوری استفاده می‌کنند. رله ای که بار کمی را روی مبدل قرار می‌دهد، می‌تواند هزینه

مبدل را پایین بیاورد. با توجه به قیمت بالای مبدل‌های HV و EHV، این مزیت رله‌های دیجیتالی می‌تواند مهمترین استفاده جانبی از آن باشد.

۶-۳) بلوک دیاگرام رله دیجیتالی

شکل ۶-۱ بلوک دیاگرام این رله را نشان می‌دهد. برحسب عملکرد مشخص رله، بعضی از بلوک‌ها کم و بیش مهم تر از بلوک‌های دیگر هستند.



شکل ۶-۱- بلوک دیاگرام رله دیجیتال

۶-۳-۱) ورودی‌های رله دیجیتال

ورودی‌های رله دیجیتال، به صورت آنالوگ و دیجیتال از سیستم قدرت می‌باشند. این ورودی ها بستگی به عملکرد رله دارند. به عنوان مثال رله دیستانس احتیاج به حداقل سه جریان فاز و سه ولتاژ فاز دارد. سیگنال‌های آنالوگ ورودی بین ۳ تا ۳۰ عدد می‌باشند. سطح سیگنال‌های اولیه، خیلی زیاد هستند. مبدل‌ها این سطح سیگنال‌ها را به حدود ۵ آمپر و ۶۷ ولت (ولتاژ فاز) کاهش می‌دهند. سیگنال‌های ثانویه مبدل، ورودی‌های رله می‌باشند. این سیگنال‌ها در حد ولتاژهای قابل قبول کامپیوتر یعنی حداکثر ۱۰ ± ولت تضعیف می‌شوند. این کاهش سطح باید به وسیله ورودی‌هایی انجام شود که کامپیوتر را از ولتاژهای گذرایی که در ثانویه وجود دارد، ایزوله کند. این سیگنال‌های تضعیف و ایزوله شده سپس بوسیله مبدل آنالوگ به دیجیتال، به فرم

دیجیتال تبدیل می‌شوند. تمام این عملیات در بلوک ورودی آنالوگ انجام می‌شود. ورودی دیجیتال اطلاعات کنتاکتهای مورد نیاز رله را منتقل می‌کند. تعداد ورودی‌های دیجیتال رله ها، بین ۵ تا ۱۰ عدد است.

سیگنال‌های ورودی دیجیتال، تغییر حالت کنتاکت‌های ایزوله به صورت ON-OFF یا تغییر سطح ولتاژ (به عنوان مثال ۴۸ و صفر ولت) را نشان می‌دهند. در حالت کنتاکت‌های ایزوله، یک منبع تغذیه کمکی و یک دستگاه حس کننده برای تشخیص حالت کنتاکت مورد نیاز است. ایزوله کردن ورودی کامپیوتر از ولتاژهای گذرا که بر روی ورودی دیجیتال قرار دارند، در بلوک ورودی دیجیتال انجام می‌شود.

۶-۳-۲) خروجی های رله دیجیتال

خروجی رله دیجیتال از طریق بلوک خروجی دیجیتال است. تعداد خروجی‌های دیجیتال بین ۵ تا ۱۰ عدد با توجه به کاربردهایی که رله می‌تواند داشته باشد، متغیر می‌باشد. خروجی‌های دیجیتال کامپیوتر معمولا به صورت موازی دارای سطح TTL (صفر و ۵ ولت) هستند. این خروجی‌ها بعد از بافر شدن در بلوک خروجی دیجیتال قرار می‌گیرند.

۶-۳-۳) واحد نمونه برداری و ذخیره سازی اطلاعات

اطلاعات آنالوگ مرتبا نمونه برداری می‌شوند. سرعت نمونه برداری بین ۲۴۰HZ تا ۲۰۰۰HZ می‌باشد. این نمونه‌ها از طریق برنامه کنترل نوشته شده یا از طریق کانال DMA[1] وارد حافظه کامپیوتر می‌شوند. در هر دو حالت، اطلاعات در حافظه RAM ذخیره می‌شود.

به نظر، کامپیوتری که فقط به یک سطح ولتاژ *dc* برای تغذیه احتیاج داشته باشد، مناسب تر است. در اکثر رله‌های دیجیتال، اطلاعات نمونه برداری شده، در یک فایل اطلاعات ثانویه برای ضبط وقایع مهمی‌که در سیستم قدرت اتفاق افتاده، نگه داری

1- Direct Memory Access

می‌شوند. اندازه این فایل اطلاعات، بستگی به مورد نیاز و اندازه RAM دارد. در این فایل زمان واقعه به همراه پیغامی ضبط می‌شود. اگر یک کامپیوتر اصلی به همراه دیسک در پست وجود داشته باشد، اطلاعات این فایل در این دیسک ذخیره می‌شود، یا ممکن است توسط یک خط مخابراتی به یک کامپیوتر که در فاصله دور قرار دارد، منتقل شود. این فایل می‌تواند خیلی سریع پاک شود.

۶-۳-۴) فیلتر دیجیتال

برنامه فیلتر دیجیتال در همه رله‌های دیجیتالی ضروری است. اطلاعات نمونه برداری شده آنالوگ به وسیله نویز تجهیزات مختلف ممکن است خراب شوند. حالت گذاری یک سیستم قدرت تابع پیچیده ای از زمان است و قسمت مهمی از طیف آن، نویز است. برای به دست آوردن نتایج دقیق، فیلتر دیجیتال باید سیگنال آنالوگ مطلوب را از نویز جدا کند. این عمل به وسیله برنامه ای که برای فیلتر دیجیتال نوشته می‌شود، انجام می‌گردد. اطلاعات فیلتر شده برای محاسبه مقادیر ثانویه که وسیله مناسبی برای تسریع کار رله است، استفاده می‌شوند. به عنوان مثال، مشخصات رله دیستانس در قسمت مشخصه موهومی امپدانس قرار دارد. در نتیجه امپدانس خطا که نسبت ولتاژ فیلتر شده به جریان است، مقدار ثانویه ای است که در برنامه رله دیستانس به کار می‌رود. به طور مشابه یک رله تفاضلی به محاسبه جریان‌های عملکرد [1] و بازدارنده [2] و همچنین به محاسبه مجموع هارمونیک‌ها احتیاج دارد. این مقادیر ثانویه با مشخصاتی که تنظیم شده اند، مقایسه می‌شوند. اندازه و شکل این مشخصات به وسیله برنامه تنظیم رله وارد کامپیوتر می‌شود. از طریق این برنامه عملکرد مطلوب رله مشخص می‌شود.

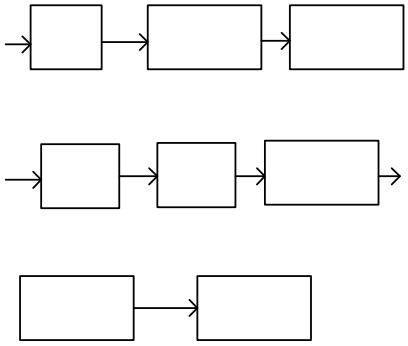
۶-۳-۵) منبع تغذیه رله دیجیتال

1-Tripping Current
2- Restraint Current

منبع تغذیه رله نباید وابسته به تغذیه ac پست باشد. در نتیجه یک باتری و یک شارژر و یک مبدل dc-dc برای تغذیه رله های دیجیتالی لازم است.

۶-۴- پردازش سیگنال[1]

سیستم قدرت مورد حفاظت، طبیعتا آنالوگ است. جریان‌ها و ولتاژهای خطا که در قسمت‌های مختلف خطوط و تجهیزات اندازه گیری می‌شوند، بایستی به صورت دیجیتالی درآیند تا برای استفاده رله‌های کامپیوتری مناسب باشند.



شکل ۶-۲- شیوه پردازش سیگنال رله دیجیتالی

۶-۴-۱) دریافت اطلاعات شبکه

در مورد سیستم‌های فرعی که سیگنال را برای استفاده رله دیجیتالی آماده می‌سازند، موارد تکنیکی زیادی بایستی در نظر گرفته شود. به برخی از این موارد، نظیر خطی بودن و پایداری کالیبراسیون می توان اشاره نمود. همچنین مسائلی از قبیل خطای ناشی از تغییرات درجه حرارت، مدت زمان تبدیل آنالوگ به دیجیتال و پایداری تغذیه، بایستی با دقت مطالعه شوند. طبیعت سیگنال ورودی، باید کاملا شناسایی گردد، تا سیستم تبدیل متناسب با آن انتخاب گردد. این طبیعت، شامل سطوح نسبی نویز می‌باشد. نوع سیگنال خروجی باید شناخته شود تا بتواند با دیگر وسایل دیجیتالی در

1- Signal Conditioning

ارتباط باشد. اگر موارد فوق در نظر گرفته نشوند، میـزان خطـا در تبـدیل سـیگنال‌هـای آنالوگ به دیجیتال بسیار زیاد می‌شود.

اولین مرحله استفاده از رله، اطلاعات دریافتی از خطوط یا تجهیـزات اسـت کـه ایـن امر، نوعا در استفاده از مبدل‌های ولتاژ یا جریان، مورد توجه قـرار مـی‌گیـرد. ایـن عمـل بایستی به خوبی انجام گیرد. بنابراین تابع فاکتورهایی از قبیل بـالاترین ولتـاژ ثانویـه ای است که می‌تواند بدون اشباع مبدل به وجود آید، می‌باشد. عواملی از قبیل باری که روی مبدل گذاشته می‌شـود، بـر دقـت آن تـاثیر مـی‌گـذارد. در رلـه‌هـای کـامپیوتری، کلیـه مسیرهای سیگنال و سخت افزار ورودی، اثر بار گذاری کمی بر روی مبـدل‌هـای جریـان دارند. این امر، قابلیت تغییر در استفاده از میزان و نوع تجهیزاتی را که از مبـدل جریـان بهره می‌برند، افزایش می‌دهد. همچنین در تطابق مشخصه‌هـای مبـدل بـا سیـستم رلـه، بایستی دقت شود. مبدل‌های ولتاژ، شکل موجی نظیر شکل موج ولتاژ اولیـه را در ثانویـه تولید می‌کنند. مبدل‌های ولتاژ بایستی دقت لازم را برای پاسخ گـذرای مطلـوب داشـته باشند. یک استثنا در این مورد، مبدل‌هایی هستند که خازن کوپلاژ به کار می‌برند. پاسخ گذرای این مبدل‌ها می‌تواند کاملا با ورودی اولیه متفاوت بوده، یا حتی نوسـانی باشـد. از آنجا که مبدل‌های ولتاژ و جریان، منابع اولیه اطلاعات از تجهیزات و خطوط فـشار قـوی می‌باشند، لازم است که هر سیستم رله دیجیتالی، قادر به استفاده از اطلاعات آنها باشد.

تکنیک‌های رله دیجیتالی مربوط به اطلاعات ۵۰ یا ۶۰ هرتز و یا اطلاعـات خطـا کـه در هارمونیک های مرتبه پایین تر موجود هستند، در ارتباط با ایـن مبـدل‌هـا مـساله ای ندارند. برای آن دسته از تکنیک‌های رله ویژه ای که به اطلاعات فرکانس بالا نیاز دارنـد، ممکن است مبدل‌های ولتاژ یا جریان استاندارد، به دلیل رفتار گـذرا یـا پاسـخ فرکانـسی بالا، به صورت مناسب پاسخگو نباشـند. اسـتاندارد ایـن مبـدل‌هـا، عمومـا 5A و 120V می‌باشند. در حالی که این استانداردها در گستره ورودی رله‌های حفاظتی تجاری موجود هستند، برای مدارهای موجود در کامپیوتر مناسب نمی‌باشند. لـذا لازم اسـت کـه دامنـه موج ولتاژ یا جریان تضعیف گردد. از آنجا که مدار ورودی رله دیجیتالی دارای تجهیزاتـی با اثر بار گذاری کم است، تولید موج‌های ورودی نسبتا ساده اسـت. مـثلا در حـالتی کـه ورودی‌ها جریان هستند، می‌توان یک مدار تقویت جریان طراحی نمود کـه همزمـان بـار ثابتی را به مبدل اعمال می‌کند و سطوح جریان را به میزان قابل قبول کاهش می‌دهد.

هنگامی‌که سیستم رله دیجیتالی نیاز به دقت زیاد در شرایط نرمال و خطا دارد، از مبدلهای A/D استفاده می‌شود. یک راه حل نیز استفاده از تقویت کننده‌های غیر خطی مانند تقویت کننده لگاریتمی است. تابع انتقال چنین تقویت کننده‌هایی، خطی نیست و محدوده دینامیکی بین مقادیر جریان نرمال و خطا را افزایش می‌دهد. سیستم ورودی رله دیجیتالی بایستی طوری طرح شود که این ورودی غیر خطی را بپذیرد. این عمل فقط یک راه حل برای وقتی است که محدوده دینامیکی وسیعی مورد نیاز است و تنها برای تعدادی از رله های دیجیتالی، مناسب می‌باشد. مدار الکترونیکی برای انجام این اعمال، کاملا شناخته شده است و مراجع زیادی در کتب الکترونیک و ابزار دقیق، این نوع مدارها را توصیف می‌کنند.

۶-۴-۲) فیلترینگ آنالوگ اطلاعات دریافتی

اغلب در سخت افزارهای جدید مدارهای تقویت کننده از نوع مدارهای مجتمع[1] می‌باشند. از آنجا که اطلاعات باید به صورت خاصی به رله دیجیتالی اعمال گردد، گاهی لازم است که اطلاعات آنالوگ دریافتی از مبدل‌های جریان و ولتاژ، فیلتر شوند. به طور کلی فیلترها به چهار دسته تقسیم می‌شوند.

بالا گذر(High-pass) پایین گذر(Low-pass)

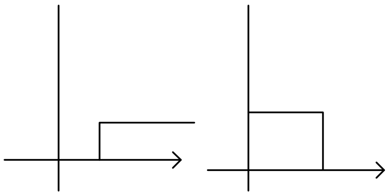
میان گذر(Band-pass)

میان نگذر (Band-stop)

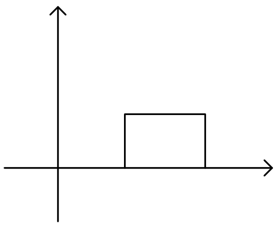
در یک فیلتر بالاگذر ایده آل، تمام فرکانس‌های بالای فرکانس قطع، بدون تضعیف منتقل می‌شوند و تمام فرکانس‌های پایین فرکانس قطع، حذف می‌شوند. در فیلتر پایین گذر ایده آل، فرکانس‌های پایین فرکانس قطع، بدون تضعیف منتقل می‌شوند و فرکانس‌های بالای آن حذف می‌شوند. مشخصه‌های انتقالی فیلتر بالاگذر و پایین گذر ایده آل در شکل‌های ۶-۳ و ۶-۴ نمایش داده شده اند. البته به دست آوردن مشخصه‌های انتقال ایده آل با استفاده از المان‌های فیزیکی غیر ممکن است. اما این

1- Integrated

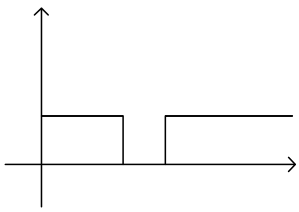
مشخصه‌ها به صورت تقریبی به دست آمده اند. تابع انتقال هر فیلتر پـایین گـذر یـا بـالا گذر از هر درجه، می‌تواند به صورت حاصل ضرب توابع انتقال درجه ۱ و ۲، تعریف شـود. فیلترهای میان گذر و میان نگذر، ترکیبی از فیلتر های بالا گـذر و پـایین گـذر هـستند. فیلترهای میان گذر ایده آل، مشخصه انتقال شکل ۶-۵ را دارند. در فیلترهـای بالاگـذر و پایین گذر، باندی از فرکانس‌ها عبور می‌کند و فرکانس‌های بـالا و پـایین آن بانـد حـذف می‌گردند. این عمل با به دنبال هم بستن یک فیلتر بالا گذر با فرکانس قطع F_1 و فیلتـر پایین گذر با فرکانس قطـع F_2، حاصـل مـی‌شـود. فیلتـر میـان نگـذر یـا notch.filter، مشخصه انتقال شکل ۶-۶ را دارد.



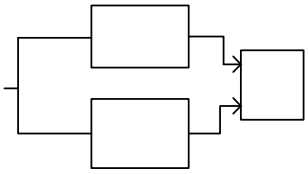
شکل ۶-۳- مشخصه انتقال فیلتر بالا گذر



شکل ۶-۴- مشخصه انتقال فیلتر پایین گذر



شکل ۶-۵- مشخصه انتقال فیلتر میان گذر



شکل ۶-۶- مشخصه انتقال فیلتر میان نگذر

این مشخصه با استفاده از مراحل شکل۶-۶، حاصل می‌گردد که در آن یک ورودی به دو فیلتر پایین گذر با فرکانس قطع F_1 و بالاگذر با فرکانس قطع F_2، اعمال می‌گردد و سپس خروجی دو فیلتر، با هم جمع شده و سیگنال مورد نظر را می‌دهد. در این حالت تنها فرکانس‌های بین F_1 و F_2 تضعیف می‌گردند. علاوه بر مشخصه فیلترها، پاسخ دینامیکی فیلترها نیز بایستی مورد توجه قرار گیرد. مهمترین مشخصه‌های دینامیکی فیلترها چنین است:

۱- Rise Time- نشان می‌دهد که چه مدت زمان طول می‌کشد تا یک فیلتر پایین گذر به مقدار نهایی پاسخ برسد.

۲- Overshoot- نشان می‌دهد که یک فیلتر درجه دوم در پاسخ به یک پله، چه میزان از مقدار حالت پایدارش فزونی می‌یابد.

۳- Settling Time- نشان می‌دهد که چقدر طول می‌کشد که یک فیلتر درجه دوم مقدار حالت پایدارش را به طور ثابت داشته باشد.

لازم است که به عمل فیلتر کردن آنالوگ پیش از اینکه اطلاعات ولتاژ و جریان به رله دیجیتال برسد، اهمیت داده شود. لذا در این قسمت به تشریح این موضوع پرداخته می‌شود.

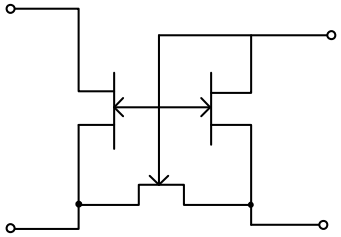
۶-۴-۳) مالتی پلکس اطلاعات دریافتی

مالتی پلکسر[1] وسیله ای است که سینگالی را از میان یکی از سیگنال‌های کانال‌های ورودیش، انتخاب می‌کند و به کانال خروجیش انتقال می‌دهد. یک مالتی پلکسر

1 - Multiplexer

Solid-state توسط یک سوئیچ گردان با چند ترمینال ورودی مدل می‌شود. با مدار تکمیلی مناسب، یک مالتی پلکسر به چند سیگنال از یک کانال ارتباطی اجازه عبور می‌دهد. بنابراین مالتی پلکسرها موارد استفاده زیادی از قبیل جمع آوری اطلاعات، توزیع اطلاعات، تبدیل اطلاعات موازی به سریال و ... دارند.

برای استفاده از رله دیجیتال در مواردی که چند سیگنال آنالوگ وجود دارد، گاه لازم است که مالتی پلکسر آنالوگ به کار برده شود. مالتی پلکسر آنالوگ به سیگنال ورودی انتخاب شده، اجازه عبور می‌دهد. بنابراین مالتی پلکسر جمع سوئیچ‌های آنالوگ است که توسط لاجیک مناسب انتخاب کانال، کنترل می‌شود. این مفهوم در شکل ۶-۷ نشان داده شده است.

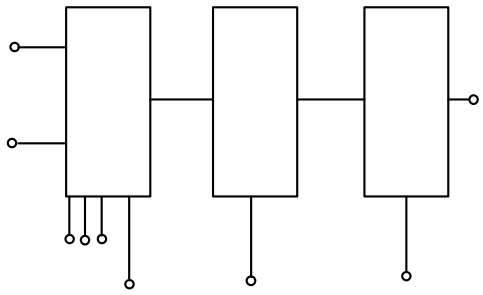


شکل ۶-۷- نحوه پیاده سازی مالتی پلکسر

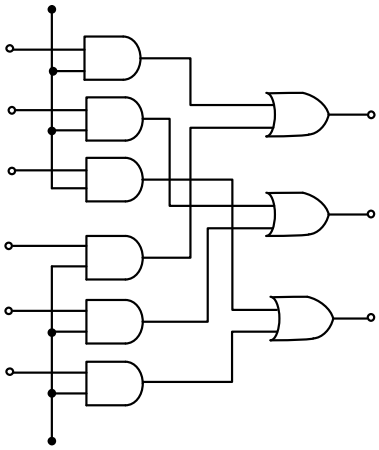
انتخاب کانال به این صورت انجام می‌گیرد که ابتدا یک کد باینری به مالتی پلکسر اعمال می‌شود که مدار لاجیک داخلی آن، خروجی را به کانال ورودی مربوطه متصل می‌کند. سیگنال‌های اعمال شده به کانال‌های ورودی، می‌توانند نسبت به زمین سیستم[1] و یا تفاضل دو ترمینالی[2] باشند. بر خلاف مالتی پلکسر دیجیتال، دقت یک مالتی پلکسر آنالوگ به امپدانس باری که در ترمینال‌های خروجی اش وجود دارد، بستگی پیدا می‌کند. امپدانس بار باید 10^8 یا بیشتر باشد تا دقت ماکزیمم حاصل گردد. این امر، مشکل زیادی ایجاد نمی‌کند. زیرا مالتی پلکسرهای آنالوگ معمولا برای راه اندازی

1 - Single Ended
2 - Double Ended

آی‌سی‌های تقویت کننده عملیاتی یا آی سی‌های Sample-hold بـه کـار مـی‌رونـد کـه امپدانس ورودی در حدود 10^{8} تا 10^{14} اهم دارند. بیشترین اسـتفاده مـالتی پلکـسرهای آنالوگ در شکل ۶-۸ نمایانده شده است. در این مورد، فقط یک ترکیب Sample-hold و A/D Converter برای دیجیتال کردن سیگنالهای آنـالوگ ورودی مـورد اسـتفاده قـرار می‌گیرد. مالتی پلکسرهای دیجیتال، در اکثر مدارات پیـاده سـازی لاجیـک موجودنـد و صرفا به High یا Low بودن ولتاژ ورودی حساسند. ولتاژ خروجی، همان High یـا Low ورودی را دارا می‌باشد.



شکل ۶-۸- کاربرد عمومی مالتی پلکسر



شکل ۶-۹- نحوه عملکرد مالتی پلکسر ۳ بیتی با ۲ ورودی

یک مالتی پلکسر ساده ۳ بیته با ۲ ورودی، در شکل ۶-۹ نـشان داده شـده اسـت. در این مورد، سطح ولتاژ High در SelectA و سطح ولتاژ Low در SelectB به انتقال سه بیت اطلاعات روی کانال A به سه خط خروجی منجر می‌شود. همچنین سـطح Low در SelectB و سطح Low در SelectA، به انتقال سه بیت اطلاعـات روی کانـال B بـه سـه خط خروجی، منجر می‌شود. برای مالتی پلکسرهایی بـا بـیش از دو کانـال ورودی، یـک خط Select مجزا برای هر کانال نامطلوب است. از آنجا که سیستم‌های دیجیتال فقط دو سطح ولتاژ را تشخیص می‌دهند، راه حل عمده، به کار بردن یک کد باینری برای انتخاب کانال ورودی است. برای سادگی مدار مربوطه، مالتی پلکسرها یک خط کنترل اضـافی را دارا می‌باشند که برای غیر فعال[1] disable کردن خطوط خارجی به کار مـی‌رود. بنـابراین هنگامی‌که لازم است خروجی در ارتباط با وسیله دیگـر کـه دارای بـاس داده[2] مـشترک است، بکار رود، می‌توانـد غیـر فعـال شـود. بـه همـین دلیـل بیـشتر مـالتی پلکـسرهای دیجیتال، خروجی‌های سه وضعیته [3] دارنـد کـه وقتـی غیـر فعـال هـستند، بـه صـورت امپدانس بالا ظاهر می‌شوند. به علاوه با خروجی از نوع غیـر فعـال، چنـد مـالتی پلکـسر می‌توانند موازی شوند تا تعداد کانال‌های ورودی افزایش یابد.

چنانچه بخواهیم مثالی درخصوص چگونگی استفاده از مولتی پلکس آنـالوگ در یـک دیستانس دیجیتال داشته باشیم شکل (۶-۹) مراجعه فرمائید. همانطور که دیده می‌شود D (شکل ۲-۲) شکل (۶-۹ شود)

۶-۵) روشهای تبدیل آنالوگ به دیجیتال

۴ روش عمده تبدیل آنالوگ به دیجیتال، چنین است:

۱- Successive Approximation

۲- Integration

۳- Counter & Servo types

---

1 - Disable
2 - Data Bus
3 - Three State

۴-Parallel & modified – parallel types

در ادامه به تشریح هر یک از روشهای مذکور پرداخته می‌شود.

۶-۵-۱) روش Successive Approximation

در این روش ابتدا تمام بیت‌های دیجیتال به صفر تنظیم می‌شوند و سپس MSB، High می‌شود. بین مقدار دیجیتال و ورودی آنالوگ، با به کار بردن یک A/D و یک مقایسه کننده ولتاژ، مقایسه انجام می‌گیرد. اگر خروجی A/D بیشتر از ورودی باشد، بیت صفر به ۱ تبدیل می‌شود و این پروسه ادامه می‌یابد. به این ترتیب که بیت بعدی High می‌شود و از MSB تا LSB مقایسه انجام می‌شود. آخرین نتیجه، مقدار دیجیتال مطلوب را نشان می‌دهد. دقت، خطی بودن و سرعت، توسط خواص مبدل A/D و مقایسه کننده تخمین زده می‌شود. عموما زمان تنظیم[1] مبدل A/D و زمان پاسخ مقایسه کننده، به طور قابل ملاحظه ای از زمان سوئیچینگ المان‌های دیجیتال کمتر است.

۶-۵-۲) روش Integration

تمام روش‌های انتگرال گیری، بر اساس شمارش در یک پریود زمانی عمل می‌کنند. نوع Dual Ramp از سیگنال آنالوگ نمونه برداری شده برای مدت زمان معین، انتگرال گیری می‌کند و یک خازن داخلی را شارژ می‌کند. سپس یک ولتاژ مرجع مخالف بار موجود روی خازن، انتگرال گیری می‌شود. در حالی که یک شمارنده، زمان مورد نیاز برای شارژ خازن را ضبط می‌کند. نتیجه نهایی شمارش، مقدار دیجیتال مطلوب را نشان می‌دهد. دقت تبدیل، مستقل از مقدار خازن و فرکانس است، زیرا آنها هم شیب بالا و هم شیب پایین را تحت تاثیر قرار می‌دهند.

---

1 - Setting Time

انواع دیگر روش‌های انتگرال گیری شامل Single Ramp و Voltage to Frequency Converter است. در مبدل نوع Single Ramp ، یک ولتاژ مرجع با پلاریته معکوس سیگنال، انتگرال گیری می‌شود تا زمانی که خروجی انتگرال گیری با سیگنال ورودی، مساوی شود. در این روش دقت بستگی به خازن و فرکانس Clock دارد.

در مبدل ولتاژ به فرکانس، فرکانسی متناسب با سیگنال ورودی تولید می‌شود. یک شمارنده، فرکانس را اندازه گرفته و یک کد دیجیتالی تولید می‌کند که مقدار آن با سیگنال ورودی متناسب است.

۶-۵-۳) روش Counter type

در این روش، شمارش شروع می‌شود و برای راه اندازی A/D به کار می‌رود. خروجی A/D با ورودی مقایسه می‌شود تا موقعی که هر دو مساوی شوند. آن گاه، شمارش، متوقف می‌شود. عیب این نوع مبدل، این است که سرعتش، برای دقت مورد نظر محدود است. نوع Servo نیز مشابه این روش است، با این تفاوت که شمارنده، به بالا یا پایین می‌تواند بشمارد. بنابراین ورودی آنالوگ را دنبال می‌کند و می‌تواند هر تغییر کوچکی را سریعا تعقیب کند.

۶-۵-۴) روش Parallel

مبدل آنالوگ به دیجیتال از نوع موازی، سریع ترین سرعت تبدیل A/D را دارا می‌باشد. دلیل این است که برای هر نوع نمایش دیجیتال ممکن، یک مقایسه کننده وجود دارد. هنگامی‌که ورودی، زیاد می‌شود، تعداد بیشتری از مقایسه کننده‌ها، ON می‌شوند. لاجیک مناسبی، خروجی مقایسه کننده‌ها را به کد دیجیتال مربوط به ورودی آنالوگ، تبدیل می‌کند. عیب این روش، استفاده از تعداد زیادی از مقایسه کننده است.

ترکیبی از انواع مختلف A/D نیز می‌تواند نوع خاص A/D را به وجود آورد. مثلا با ترکیب مبدل موازی و مبدل نوع اول می‌توان مبدلی را بدست آورد که دقت بهتری نسبت به نوع موازی و پیچیدگی کمتر و سرعت بیشتری نسبت به نوع داشته باشد. سرعتی که با آن مرحله تبدیل A/D انجام می‌گیرد، تا حد زیادی طبیعت سیستم جمع

آوری اطلاعات[1] را معلوم می‌کند. دو عامل مهم در تبدیل A/D یکی دقت[2] مطلوب و دیگری سرعت نمونه برداری یا تبدیل است.

دقت تابعی از تعداد بیت‌های در دسترس و فرم بیت کد[3] است. عدد باینری هشت بیتی بدون علامت را در نظر بگیرید. محدوده مقادیر از صفر تا ۲۵۵ می‌باشد که تمام سطوح Low و High را در بر می‌گیرد. پس از دقت $\frac{۱}{۲۵۶}$ است و یا می‌توان گفت که عدم اعتماد $\pm\frac{۱}{۵۱۲}$ می‌باشد. اگر یک عدد باینری با علامت در نظر گرفته شود، دو نوع مثبت و منفی موجود می‌باشد که دقت را به میزان $\frac{۱}{۲۵۵}$ کاهش می‌دهد.

فرم‌های دیجیتال دیگر که معمولا مورد استفاده قرار می‌گیرند، در یکی از دو گروه یک قطبی و دو قطبی می‌گنجند. فرم‌های یک قطبی مقادیری را که از صفر شروع می‌شوند، شامل می‌شوند. در حالی که فرم‌های دو قطبی شامل اعداد منفی هم می‌شوند. مثال‌هایی از فرم‌های یک قطبی عبارتند از باینری بدون علامت و BCD و مثال‌هایی از فرم‌های دو قطبی عبارت از باینری با علامت و متمم دوم یک عدد می‌باشند.

عامل مهم دیگر استفاده از A/D سرعت نمونه برداری است. سرعت تبدیل کمتر از سرعت مالتی پلکسینگ قابل پذیرش نیست. برای درک چگونگی استفاده از مبدل‌های A/D ، باید آشنایی مقدماتی با تئوری نمونه برداری وجود داشته باشد.

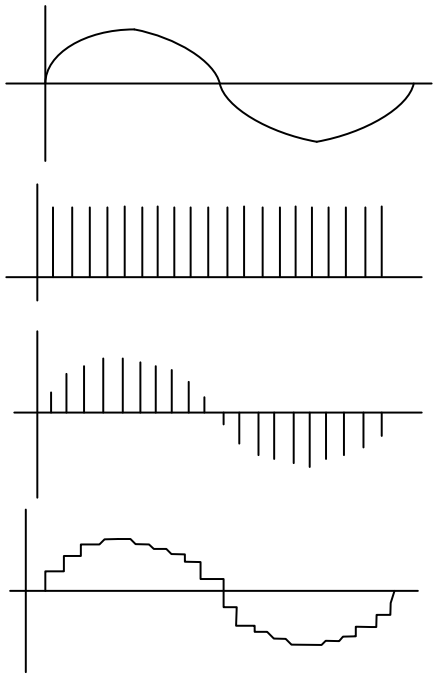
۶-۶) نمونه برداری

شکل ۶-۱۰ تبدیل سیگنال آنالوگ به دیجیتال را نشان می‌دهد. شکل ۶-۱۰-د سیگنال آنالوگی را که باید به دیجیتال تبدیل شود، نشان می‌دهد. قطار پالس‌های شکل ۶-۱۰-ب عکس العمل سریع یک سوئیچ که سیستم جمع آوری اطلاعات را در زمان کوتاه به سیگنال آنالوگ وصل می‌کند، نشان می‌دهد. نتیجه این عمل ، مشابه با ضرب

1- Data Accusation
2- Resolution
3- Bit Code

کردن زمان ON خیلی کوتاه سوئیچ نمونه برداری و سیگنال است. قطار پالس مدوله شده منتجه در شکل۶-۱۰-ج نشان داده شده است. سیگنالی که در شکل ۶-۱۰-د نمایش داده شده، یک تکنینک sample & hold می‌باشد.

برای تعیین اینکه پالس‌های نمونه برداری، چگونه تولید شوند، یعنی برای اینکه سرعت نمونه برداری تخمین زده شوند، باید مشخصه‌های سیگنال آنالوگ موردآزمایش قرار گیرند.

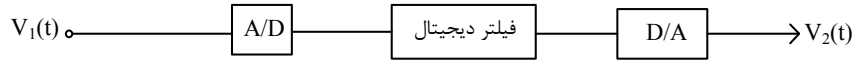


شکل ۶-۱۰- نحوه نمونه برداری از یک سیگنال دیجیتال

قضیه نمونه برداری نایکویست، سرعت نمونه برداری لازم را بیان می‌کند. این قضیه می‌گوید: اگر یک سیگنال با پهنای باند محدود، شامل هیچ یک از مولفه‌های فرکانسی بالاتر از $۲F_C$نباشد، سیگنال اصلی می‌تواند بدون اعوجاج آشکار شود، در صورتی که با سرعت حداقل $۲F_C$ نمونه برداری شود.

۶-۷) فیلتر های دیجیتال

مفهوم فیلتر دیجیتال این است که یک پروسه محاسباتی بر روی یک سری اعداد دیجیتال که سیگنال ورودی هستند، انجام شود. این سری دیجیتال به وسیله نمونه برداری از سیگنال آنالوگ ورودی توسط مبدل A/D بدست می‌آیند. بعد از پروسه محاسباتی، یک مبدل D/A برای تبدیل سیگنال نهایی به فرم آنالوگ بکار می‌رود. شکل ۶-۱۱ بلوک دیاگرام ساده یک فیلتر دیجیتال را نشان می‌دهد.



شکل ۶-۱۱- بلوک دیاگرام فیلتر دیجیتال

پروسه محاسباتی بر طبق فیلتر مطلوب، که می‌تواند یکی از انواع فیلترهای پایین گذر، بالا گذر، میان گذر و میان نگذر باشد، انجام می‌شود. فیلترهای دیجیتال چند مزیت نسبت به نوع آنالوگ دارند:

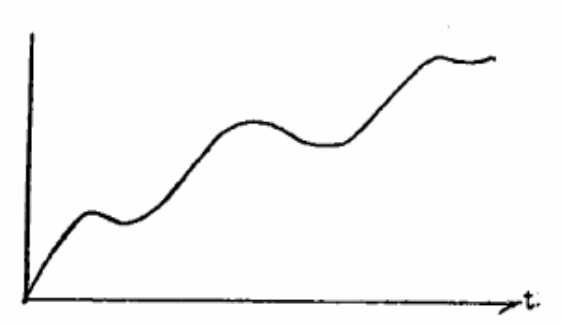
۱- عملکرد پایدار و قابل تکرار

۲- قابلیت تغییر پذیری

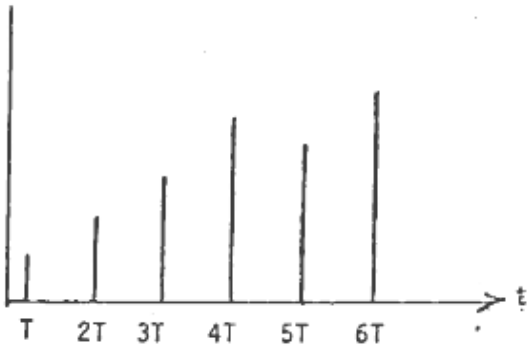
۳- فیلتر کردن در فرکانس‌هایی که در روش آنالوگ ممکن نیست

گرچه به دلیل مسئله اقتصادی، این فیلترها امروزه به طور وسیعی به کار نمی‌رود، ولی کاربرد آنها همزمان با پیشرفت تکنولوژی LSI به سرعت رو به افزایش است.

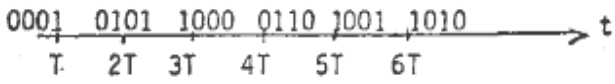
۶-۸) نمونه برداری و تبدیل z



شکل ۶-۱۲- سیگنال آنالوگ $v(t)$



شکل ۶-۱۳- پالس‌های نمونه برداری شده



شکل ۶-۱۴- نمونه‌های باینری شده

این عملیات بوسیله مبدل A/D انجام می‌شود. برای اینکه نهایتا بتوان سیگنال اصلی v(t) را از سیگنال نمونه برداری شده جدا کرد، فرکانس نمونه برداری باید حداقل دو برابر بزرگترین فرکانسی باشد که در طیف فرکانسی v(t) وجود دارد. تعداد بیت اعداد باینری باید به اندازه ای باشد که نتیجه ای با دقت بالا حاصل شود. برای مثال اگر هر عدد باینری ۸ بیتی باشد، دقت بالا تر از حالت ۴ بیتی است. به منظور محدود کردن بالاترین فرکانس سیگنال ورودی، ابتدا این سیگنال از یک فیلتر پایین گذر عبور داده می‌شود.

سیگنال‌های پیوسته با زمان توسط تبدیل لاپلاس قابل نمایش هستند و سیگنال‌های گسسته با زمان توسط تبدیل Z نشان داده می‌شوند.

$$V(Z) = \sum_{n=0}^{\infty} V(nT)Z^{-n} \qquad (۱-۶)$$

$V(nT)$ نمونه‌های آنالوگ گسسته هستند و Z^{-n} اپراتور تاخیر است.

۶-۸-۱) معادلات اختلاف

در فیلترهای دیجیتال می‌توان از معادلات اختلاف خطی استفاده نمود و با یک معادله اختلاف، خروجی را برحسب مقدار ورودی موجود و مقدار ورودی‌ها و خروجی‌های گذشته بیان کرد. معادله اختلاف به صورت رابطه (۶-۲) است.

$$y(nT) = \sum_{i=0}^{N} A_i x(nT - iT) + \sum_{i=0}^{M} B_i y(nT - iT) \qquad (۲-۶)$$

$x(nT)$ و $y(nT)$ به ترتیب ورودی و خروجی موجود و $x(iT)$ و $y(iT)$ ورودی و خروجی گذشته را نشان می‌دهند.

تبدیل Z یک معادله اختلاف چنین است:

$$y(Z) = x(Z)\sum_{i=0}^{N} A_i Z^{-i} + y(Z)\sum_{i=0}^{M} B_i Z^{-i} \qquad (۳-۶)$$

از روی این معادله تابع انتقال $T(Z)$ بدست می آید:

$$T(Z) = \frac{y(Z)}{x(Z)} = \frac{\sum_{i=O}^{N} a_i Z^{-i}}{\sum_{i=1}^{M} B_i Z^{-i}} \qquad (۴-۶)$$

۶-۹) فیلترهای دیجیتال

فیلتر درجه ۱

در ازای $M = N = 1$ معادله اختلاف درجه ۱ بدست می‌آید:

$$y(nT) = A_0 x(nT) + A_1 x(nT - T) + B_1 y(nT - T) \qquad (۵-۶)$$

هرگاه E_i و E_o تبدیل Z ورودی و خروجی باشند، آنگاه :

$$E_O(Z) = A_0 E_i(Z) + A_1 Z^{-1} E_i(Z) + B_1 Z^{-1} E_O(Z) \qquad (۶-۶)$$

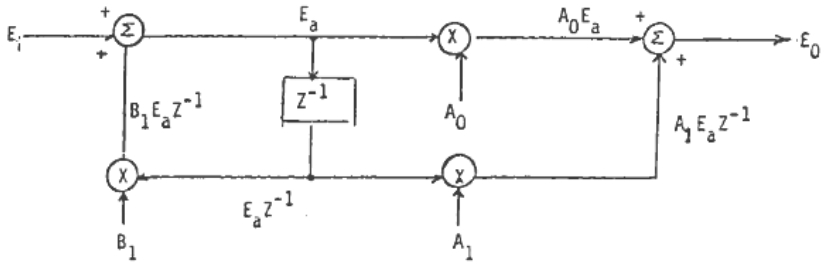
و در نتیجه تابع انتقال چنین می‌شود:

$$\frac{E_0(Z)}{E_I(Z)} = \frac{A_0 Z + A_I}{Z - B_I} \qquad (۷-۶)$$

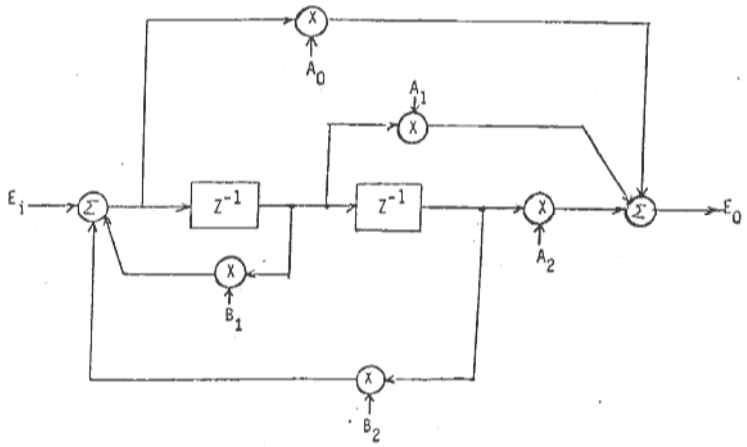
برای ساخت سیستمی‌که توسط یک معادله اختلاف نشان داده می‌شود، احتیاج به تاخیر دهنده، ضرب کننده و جمع کننده است و در نتیجه تابع انتقال T به صورت زیر است:

$$T(Z) = \frac{E_0(Z)}{E_i(Z)} = \frac{A_0 Z^2 + A_I Z + A_2}{Z^2 - B_i Z - B_2} \qquad (۸-۶)$$

شکل ۶-۱۵ دارای تابع انتقال فوق می‌باشد. با بدنبال بستن این دو بخش (درجه ۱و درجه۲) یک فیلتر دیجیتال مطلوب حاصل می‌شود.



شکل ۶-۱۵- پیاده سازی تابع تبدیل درجه ۲



شکل ۶-۱۶- شمای فیلتر درجه ۲

۶-۹-۱) طراحی فیلتر درجه ۲

ضرایب A وB در شکل ۶-۱۶ را باید تعیین کنیم. تابع آنالوگ درجه ۲ چنین است:

$$T(S) = \frac{\alpha_1 S + \alpha_2}{S^2 + B_1 S + \beta_2} \qquad (۹-۶)$$

بوسیله فرمول‌های زیر ضرایب A وB مستقیما محاسبه می‌شوند.

$$A_0 = \alpha_1 + \frac{2\alpha_2}{B_1} \qquad (۱۰-۶)$$

$$A_1 = 2e^{-TB1/2\left[\left(\frac{\alpha_1}{2}+\frac{\alpha_2}{1}\right)\cos\sqrt{\beta 2-\beta_1^2/4}+\left(\frac{\alpha_1}{\beta_1}\sqrt{\beta 2-\beta_1^2/4}\right)\sin\sqrt{\delta 2-\frac{B_1}{4}}^2\right]} \qquad (۱۱-۶)$$

$$A_{2=-2E}{}^{-T\beta/2}{}_{(\cos\sqrt{\beta 2-\beta_1^2/4}} \qquad (۱۲-۶)$$

$$B_1 = -A_2 \qquad (۱۳-۶)$$

$$B_2 = -e^{-TBI} \qquad (۱۴-۶)$$

T پریود نمونه برداری برابر است با:

$$w_s = 2fs \qquad T - \frac{2\eta}{W_s} \qquad (۱۵-۶)$$

فرکانس نمونه‌برداری برحسب رادیال برثانیه است.

تابع انتقال فیلتر میان گذر درجه ۲ چنین است:

$$T(S) = \frac{HS}{S^2 + \frac{Wr}{Q}S + W_r^2} \qquad (۱۶-۶)$$

ω_r فرکانس مرکزی و Q برابر F_r/BW (BW پهنای باند 3dB) و یک ضریب ثابت است. با مقایسه این تابع انتقال با تابع انتقال درجه ۲ نتیجه می‌شود:

$$\alpha_1 = H \qquad (۱۷-۶)$$

$$\alpha_2 = 0 \qquad (۱۸-۶)$$

$$\beta_2 = W_r^2 \qquad (۱۹-۶)$$

$$\beta_1 = \frac{W_2}{Q} \qquad (۲۰-۶)$$

$$\beta_1 = W_r^2 \qquad (۲۱-۶)$$

و بنابراین ضرایب فیلتر چنین می‌شوند:

$$A_0 = H \qquad (۲۲-۶)$$

(۲۳-۶)

$$A_1 = 2e^{-TW_r/2Q}\left[\frac{H}{2}\cos(W_r\sqrt{1-\frac{1}{AQ^2}}) + (HQ\sqrt{1-\frac{1}{4Q^2}})\sin(W_r\sqrt{1-\frac{1}{4Q^2}}\right]$$

$$A_2 = -2e^{-TW_r/2Q}\left[\cos(W_r\sqrt{1-\frac{1}{4Q^2}}\right] \quad (۲۴-۶)$$

$$B_1 = -A_2 \quad (۲۵-۶)$$

$$B_2 = -e^{-TW_r/Q} \quad (۲۶-۶)$$

مثال: می‌خواهیم فیلتر دیجیتال میان گذر درجه ۲ با مشخصات زیر طرح کنیم.

$W_r = 0.1$

$Q = 10$

$W_S - = 1$

$H = 0.01$

پارامترهای طراحی چنین می‌شوند:

$T = 2\eta$

$\alpha_1 = 0.01$

$\alpha = 0$

$A_0 = 0.01 \qquad \beta_1 = 0.01$

$\beta_2 = 0.01$

و در نتیجه ضرایب فیلتر که به کمک آنها می‌توان فیلتر را مطابق شکل ۶-۱۶ ساخت چنین می‌شوند.

$A_1 = ۰.۰۲۸۹۴۱$

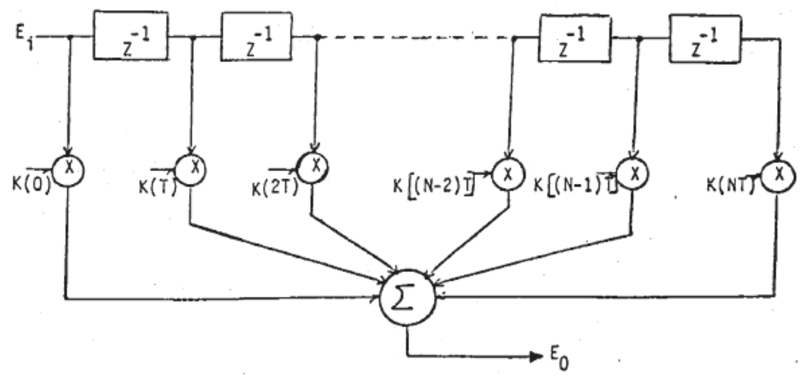
$A_2 = -۱.۹۲۸۴۸$

$B_1 = ۱.۹۲۸۴۸$

$B_2 = ۰.۹۳۹۱۰۱$

۶-۹-۲) فیلتر دیجیتال nonrecursive

فیلترهای دیجیتالی که قبلا دیـدیم از نـوع nonrecursive بـود. یعنـی خروجـی بـه ورودی‌ها و خروجی‌های گذشته و به ورودی موجود بستگی داشت. فیلتری کـه خروجـی فقط به ورودی‌های موجود و گذشته بستگی داشته باشد و به خروجـی گذشـته بـستگی نداشته باشد، فیلترrecursive نامیده می‌شود. شکل ۶-۱۸ شمای این نوع فیلتر را نـشان می‌دهد.



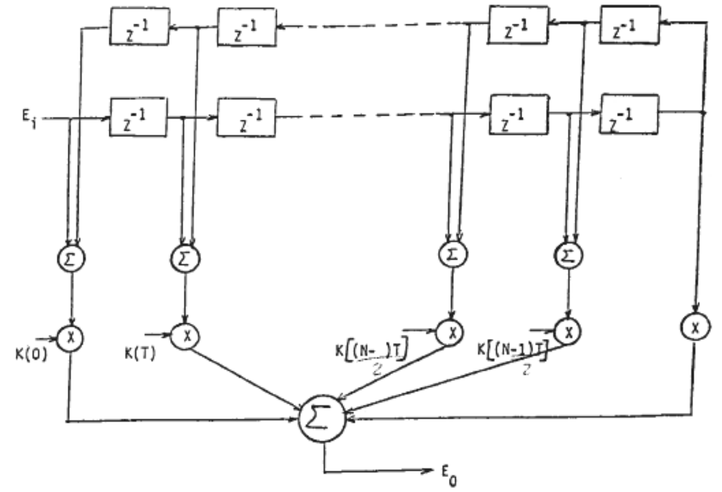
شکل ۶-۱۷- شمای فیلتر دیجیتال nonrecursive

یک روش برای تعیین ضرایب K در این فیلتر استفاده از پاسخ ایمپالس است. هر گاه پاسخ ایمپالس h(n) با دوره محدود باشد، یعنی n=0,1,2,…,N ، آنگاه این ضرایب برابر مقادیر h(n) می‌باشند.

روش دیگر استفاده از پاسخ فرکانسی مطلوب است. فیلترهای دیجیتال به علت مبدل A/D و نمونه برداری سیگنال دارای پاسخ فرکانسی پریود یک (با پریود نمونه برداری هستند. یک تابع پریود یک را می‌توان با سری فوریه تخمین زد هرگاه فیلتر مورد نظر را با تابع بزرگی A(W) (قدر مطلق خروجی به ورودی) در حوزه فرکانس $۰ < w \le \frac{W_s}{Z}$ مشخص کنیم، ضرایب سری فوریه برابر می‌شوند با :

$$K(۰) = \alpha_N \qquad K[(N-۲)T] = \alpha_۲$$
$$K[(۲N-۲)T] = \alpha_{-N+۲}$$
$$K(T) = \alpha_{N-۱} \qquad K[(N-۱)T] = \alpha_۱$$
$$K[(۲N)T] = \alpha_{-N+۱}$$
$$K(۲T) = \alpha_{N-۲} \qquad K(NT) = \alpha_۰$$
$$K[(۲N)T] = \alpha_{-N}$$
$$.. \qquad K[(N+۱)T] = \alpha_{-۱}$$
$$.. \qquad K[(N+۲)T] = \alpha_{-۲}$$

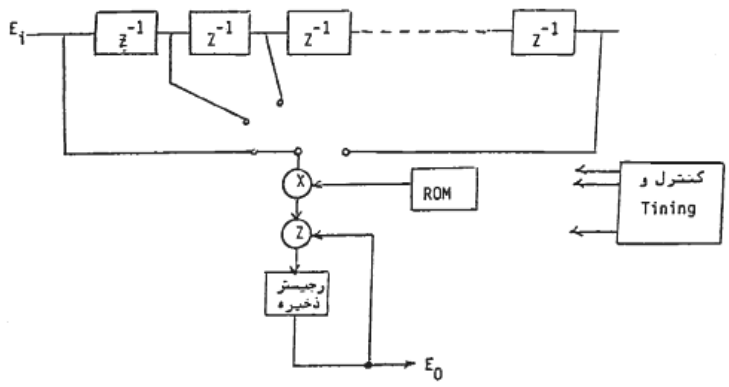
این ضرایب مستقیماً به عنوان ضرایب طراحی در فیلترnonrecursive به کار می‌روند. ضرایب α دارای تقارن زوج هستند. یعنی $\alpha_i = \alpha_{-i}$. اگر از شکل ۶-۲۱ استفاده شود، تقریباً از هر ضرب کننده باید دو عدد باشد. در شکل ۶-۱۹ از این مزیت که αها دارای تقارن زوج می‌باشند، استفاده شده و ضرب کننده‌های کمتری به کار رفته است. گرچه تعداد جمع کننده‌ها زیاد تر شده است، ولی چون عمل ضرب کردن آهسته تر انجام می‌شود، هر چه تعداد ضرب کننده‌ها کمتر باشد، مناسب تر است.



*شکل ۶-۱۸- شمای فیلتر دیجیتال **nonrecursive** با تقارن زوج αها*

۶-۹-۳) سخت افزار فیلتر دیجیتال

تعداد زیادی جمع کننده و ضرب کننده در فیلترهای nonrecursive استفاده می‌شوند. شکل ۶-۲۰ نشان می‌دهد که چگونه سخت افزار محاسباتی را می‌توان به یک ضرب کننده و یک جمع کننده کاهش داد. ضرایب در حافظه ROM ذخیره می‌شوند، که به طور متوالی وارد یک ورودی ضرب کننده می‌شوند. به طور هم زمان ورودی دیگر ضرب کننده از طریق واحدهای تاخیر دهنده وارد ضرب کننده می‌شود. رجیستر ذخیره عمل جمع کننده با چند ورودی را انجام می‌دهد.



شکل۶-۱۹- فیلتر دیجیتال nonrecurive

۶-۱۰) سیستم‌های رله و ملاحظات سخت افزاری

در این قسمت، احتیاجات کلی یک کامپیوتر دیجیتال برای عمل یک رله، داده می‌شود، که با یک مثال از سیستم کامپیوتری واقعی برای رله دیستانس، همراه است. موارد احتیاج سخت افزاری برای یک سیستم رله کامپیوتری عبارت از احتیاجات میکرو کامپیوتری می‌باشد.

مهمترین مسئله در انتخاب یک میکروکامپیوتر، طول کلمه و سرعت اجرای دستورالعمل است. میکرو کامپیوترهای تجاری، ۸ بیته یا ۱۶ بیته هستند. طول کلمه بر اساس الگوریتم عمل رله، مشخص می‌شود. زمان متوسط لازم برای اجرای دستور، از روی الگوریتم عمل رله، پیچیدگی سیستم هدایت اطلاعات، نیازهای برنامه‌های لاجیکی عمل رله و سرعت نمونه برداری اطلاعات مشخص می‌گردد.

سرعت نمونه برداری مورد استفاده در عمل رله، توسط احتیاجات یک الگوریتم مشخص، تخمین زده می‌شود. سرعت نمونه برداری ۷۲۰ هرتز برای بیشتر موارد، استفاده شده است. به جز طول کلمه و زمان اجرای دستوالعمل، سیستم حافظه کامپیوتر، به توجه خاصی نیاز دارد. ممکن است ساده تر باشد که از PROM استفاده شود، اما استفاده از PROM، سرعت کامپیوتر را کم می‌کند. البته، دانشتن یک RAM هم برای جدول اطلاعات، ضروری است.

۶-۱۰-۱) نیازمندی های ورودی های آنالوگ

سرعت نمونه برداری انتخاب شده برای مبدل آنالوگ به دیجیتال، توسط الگوریتم برنامه عملکرد رله مشخص می‌شود. فرکانس‌های نمونه برداری برای بیشتر موارد استفاده از رله کامپیوتری، در محدوده ۲۴۰ تا ۱۸۰۰هرتز می‌گنجند. البته بیشترین سرعتهای نمونه برداری، ۹۶۰ و ۷۲۰ هرتز می‌باشد. اگر یک کانال مالتی پلکر که به یک مبدلA/D وصل شده، به کار رود، زمان سوئیچینگ کانال نباید آنقدر زیاد باشد که باعث محو شدن اطلاعات مهم گردد. برای رله امپدانسی، دقت زاویه فاز در امپدانس موهومی باید حداکثر ۵ درجه برای سیستم ۶۰ هرتز باشد. این مسئله ایجاب می‌کند که بردارهای منفرد، دقیقا حدود ۲/۵ درجه، زاویه داشته باشند.

۶-۱۰-۲) نیازمندی های ورودی و خروجی دیجیتال

تقریبا همه برنامه‌های رله، احتیاجات اصلی ورودی و خروجی دیجیتال را شامل می‌شوند. طول کلمه۱۶ بیت، غالبا برای تمام موارد استفاده I/O دیجیتال کافی است. یک پورت ورودی- خروجی موازی، کانال مناسبی برای I/O دیجیتال است. بیشتر اطلاعات خروجی دیجیتال، بایستی Latch شوند که این کار از طریق کنترل برنامه یا از طریق Latch های سخت افزار خارجی انجام می‌گیرند. مدارهای ورودی دیجیتال، عموما نیازی به قابلیت وقفه[1] ندارند. اما برای ورودی های دیجیتال ویژه‌ای که تغییرات را سریع دنبال می‌کنند، استفاده از وقفه لازم به نظر می‌رسد.

۶- ۱۰-۳) نیازمندی های منبع تغذیه

لازم است که منبع تغذیه سیستم رله کامپیوتری، به گونه ای باشد که نویزهای روی سیستم ac، تغذیه کامپیوتر را تحت تاثیر قرار ندهد.

1 - Interrupt

۶-۱۱) رله دیستانس میکروپروسسوری

حال کلیه موارد مذکور در قسمتهای پیشین، در یک رله دیستانس توضیح داده می‌شوند.

رله دیستانس، الگوریتمی را که بر اساس متد المان‌های متقارن می‌باشد، بکار می‌برد. منبع تغذیه، شامل یک مبدل DC-DC می‌باشد که قدرت باتری پست را از ۱۲۵ ولت به سطح ۵ ولت مورد نیاز کامپیوتر، تبدیل می‌کند. مجموعه نمونخ برداری شده شامل نمونه‌های $(V_a, V_b, V_c, I_a, I_b, I_c, I_o)$ خط حفاظت شده می‌باشد. یک سیستم A/D، ۷ مبدل۸ بیته را به کار می‌برد که محدوده آنها با یک مدار کنترل تنظیم می‌شود.

نقطه نظر اساسی یک سیستم رله حفاظتی، آشکارسازی و استخراج نوع خطای روی خط، با حداکثر سرعت ممکن است. به طوریکه از خسارت به تجهیزات جلوگیری شود. هر سیستم حفاظتی، بایستی به سه سوال پاسخ دهد:

۱-آیا خطا وجود دارد؟

۲- خطا در کجا وجود دارد؟

۳- آیا یک سیگنال trip باید تولید شود؟

این سوال، اغلب ترکیب شده و یک سوال را می‌سازند:

آیا در ناحیه حفاظت، خطا وجود دارد؟

اگر پاسخ مثبت باشد، یک سیگنال trip به کلید مربوط داده می‌شود و در غیر این صورت، هیچ عملی صورت نمی‌گیرد.

رله خط انتقال همیشه در دو طرف خط انتقال در پستهایی فرعی که کلیدها در آنجا قرار دارند، نصب می‌شود. احتیاجات یک رله دیجیتال که خط انتقال را حفاظت می‌کند، به سه بخش، تقسیم می‌شود:ابتدا، بایستی اطلاعات لازم از جریان‌ها و ولتاژها در پست را بدست آورد. در مرحله دوم، بایستی اطلاعات برای تعیین حضور و مکان خطا بررسی شوند. سرانجام سیستم رله دیجیتال، بایستی تصمیم گیری کند که آیا سیگنال مناسب برای باز کردن کلیدهای محلی، تولید شود یا خیر. و نیز آیا سیگنال مناسب را توسط کانال‌های ارتباطی به پست در طرف دیگر خط انتقال بفرستد، یا نه. از نقطه نظر مداری،

این سه مورد می‌توانند به عنوان جمع آوری اطلاعات، الگوریتم تشخیص خطا و عمل لاجیکی رله، خلاصه شوند.

۶-۱۱-۱) روش‌های اندازه گیری

قسمت اساسی و پیچیده محاسبات رله‌های دیستانس، چگونگی اندازه گیری دقیق امپدانس خطا می‌باشد. در رله‌های دیستانس دیجیتالی، اهمیت نحوه نمونه برداری از شکل موج‌های ولتاژ و جریان و نقش فیلترهای دیجیتال در این مورد، غیر قابل انکار است. همانگونه که در فصل ۱ ذکر شد، هنگام بروز اتصال کوتاه، در اثر عبور جریان خطا در خطوط انتقال یا توزیع، نویزهای ناخواسته‌ای تولید می‌گردند، که باید توسط فیلترهای دیجیتال از ورود آنها به رله جلوگیری نموده و فقط مقادیر هارمونیکهای اصلی و عاری از هر گونه نویز و مولفه DC را در اختیار میکروپروسور رله قرار داد. چون برای رله دیستانس اندازه گیری دقیق امپدانس حائز اهمیت است، لذا روز به روز تحقیقات و نتایج جدیدتری توسط محققان در جهت هر چه بهتر و دقیق تر نمودن این روش‌ها ارائه می‌گردد. در ادامه به چند روش موجود برای اندازه گیری امپدانس اشاره می‌گردد.

۶-۱۱-۲) روش اندازه گیری امپدانس از رابطه $Z=\frac{V}{I}$

در این روش، طبق تعریف، امپدانس با اندازه گیری و نمونه برداری از موج‌های ولتاژ، جریان و یافتن فاز و فرکانس اصلی آنها، مقدار امپدانس طبق رابطه ۶-۲۷ بدست می‌آید.

$$Z=\frac{V}{I} \qquad (۶-۲۷)$$

Rockefeller و Udren برای محاسبه امپدانس دیده شده توسط یک رله دیجیتالی، معادله زیر را پیشنهاد کردند.

$$Z=\frac{V'(\frac{V^n}{W})^2}{i'(\frac{i^n}{W})^2} \qquad (۶-۲۸)$$

برای محاسبه I' و V' از دسته معادلات زیر استفاده می‌شود.

$$V'_K = \frac{I}{۲T}(V_{K-I} - V_{K-I})$$
$$V^n_K = \frac{I}{T}(V_K - V_{K-I}) \qquad (۲۹-۶)$$

که در آن T فاصله زمانی بین دو نمونه V_K و V_{K-I} می‌باشد.

۶-۱۱-۳) روش فوریه

این روش مبنی بر گرفتن اجزای اصلی V و I و حذف هارمونیکهای مضرب صحیح هارمونیک اصلی است. فرض کنیم که معادله شکل موج ولتاژ به صورت $V = V_P \sin(wt + \zeta) = A_V \sin wt + B_V \cos wt$ و معادله شکل موج جریان به صورت $i = I_P \sin(wt + \theta) = A_i \sin wt + B_i \cos wt$ و یا به صورت مختلط $\bar{I} = A_i + jB_i$ و $\bar{V} = A_V + jB_V$ باشند.

از معادله

$$Z = \frac{V}{I} = R + jX = \frac{A_v A_i + B_v B_i}{A_i^۲ + B_i^۲} + j\frac{B_v A_i - A_v B_i}{A_i^۲ + B_i^۲} \qquad (۳۰-۶)$$

پس داریم :

$$R = \frac{A_v A_i + B_v B_i}{A_i^۲ + B_i^۲} \qquad (۳۱-۶)$$

$$X = \frac{A_i B_v - A_v B_i}{A_i^۲ + B_i^۲} \qquad (۳۲-۶)$$

از روابط فوق می‌توان دامنه و فاز Z را چنین بدست آورد:

$$|Z| = \sqrt{A_V^۲ + B_V^۲} / \sqrt{A_i^۲ + B_i^۲}$$
$$\lambda = \text{arctg}(\frac{B_V}{A_V}) - \text{arctg}(\frac{B_i}{A_i}) \qquad (۳۳-۶)$$

عملا پیدا کردن دامنه Z از این طریق برای میکروپرسسور دست و پاگیر خواهد بود. لذا از روش جستجو در جدول اطلاعات استفاده می‌گردد. اگر A_V وB_V وA_i و B_i برای هر فاز محاسبه شود، بدین طریق امپدانس هر فاز توسط رله قابل محاسبه و اندازه گیری می‌باشد. برای یافتن این ضرایب، بسط فوریه را به صورت زیر به کار برده می‌شود:

$$\begin{aligned} A_V &= \frac{۱}{\pi}\int_{y}^{y+۲\pi} USin(\omega t)d\omega t \\ B_V &= \frac{۱}{\pi}\int_{y}^{y+۲\pi} UCos(\omega t)d\omega t \\ A_i &= \frac{۱}{\pi}\int_{y}^{y+۲\pi} ISin(\omega t)d\omega t \\ B_i &= \frac{۱}{\pi}\int_{y}^{y+۲\pi} ICos(\omega t)d\omega t \end{aligned} \qquad (۳۴\text{-}۶)$$

که در آن y یک زاویه اختیاری برای شروع انتگرال گیری می‌باشد. برای حل انتگرال‌های فوق از قاعده ذوزنقه که حجم کمتری از حافظه نسبت به روش سیمپسون اشغال می‌کند، استفاده می‌گردد.

ضرایب برای تعداد N نمونه به شرح زیر است:

$$A_{V_K} = \frac{I}{N}\left[V_{K-N}\sin r + 2V_{K-N-I}\sin(r+\frac{2\Pi}{N}) + ... + 2V_{K-I}Sin(r+\frac{N-I}{N}2\Pi) + V_K Sin(r+2\Pi)\right]$$

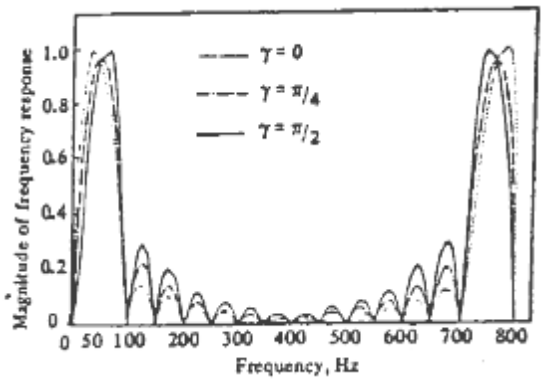
$$B_{V_K} = \frac{I}{N}\left[V_{K-N}Cosr + 2V_{K-N-I}Cos(r+\frac{2\Pi}{N}) + ... + 2V_{K-I}Cos(r+\frac{N-I}{N}2\Pi) + V_K Cos(r+2\Pi)\right]$$

روابطی که بدست آورده شد، در واقع پاسخ یک فیلتر دیجیتال هستند که نمونه‌های ولتاژ، ورودی آن و ضرایب A و B خروجی آن می‌باشند. برای بدست آوردن پاسخ فرکانسی این فیلترها باید از طرفین عبارات بالا تبدیل z گرفته شود. چگونگی انجام این کار خارج از حوصله این مقوله است.اما نتایج به صورت زیر است:

$$\left|H_A(z)\right| = \frac{۲Sin\frac{\pi f}{۵۰}}{N(Cos\frac{\pi f}{۵۰} \quad Cos\frac{۲\pi}{N})} \times (Sin^{۲}\frac{۲\pi}{N}Cos^{۲}\gamma + Sin^{۲}\gamma\, Sin^{۲}\frac{\pi f}{۲۵N})^{\frac{۱}{۲}} \qquad (۳۵\text{-}۶)$$

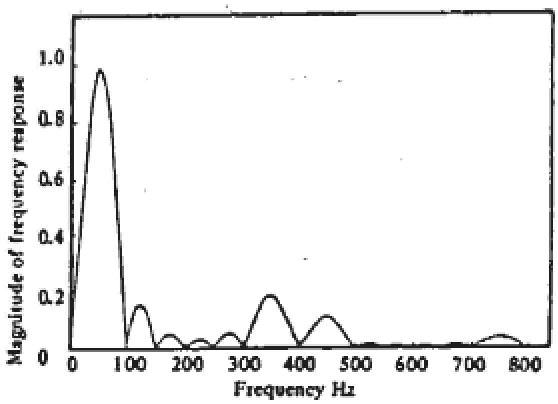
$$\left|H_B(z)\right| = \frac{۲\mathrm{Sin}\frac{\pi f}{۵۰}}{N(\mathrm{Cos}\frac{\pi f}{۵۰N} \quad \mathrm{Cos}\frac{۲\pi}{N})} \times (\mathrm{Sin}^۲\frac{۲\pi}{N}\mathrm{Sin}^۲\gamma + \mathrm{Cos}^۲\gamma\,\mathrm{Sin}^۲\frac{\pi f}{۲۵N})^{\frac{۱}{۲}} \quad (۳۶-۶)$$

که در این عبارت، γ زاویه‌ای نسبت به صفر است که شروع به نمونه‌برداری می‌کنیم. همانطور که از شکل (۶-۲۰) مشخص است، فرکانس‌های بالا بین ۷۰۰ تا ۸۰۰ هرتز در این فیلتر مزاحمت ایجاد می‌کنند که اگر با یک فیلتر آنالوگ پائین گذر حذف شوند، می‌توان گفت این روش به فرکانس نمونه‌برداری نیز وابستگی نخواهد داشت.



شکل (۶-۲۰) طیف فرکانسی روش فوریه با N=۱۶

برای مثال شکل (۶-۲۱) پاسخ فرکانسی فیلتر دیجیتالی را نشان می‌دهد که سیگنال ورودی قبل از نمونه‌برداری از فیلتر با فرکانس قطع ۱۵۰هرتز عبور داده می‌شود. پاسخ نسبتا ایده‌آلی بدست آمده است. این شکل همانند شکل (۶-۲۰) است با این تفاوت که اثر فرکانس‌های بالا در آن حذف شده است.



شکل (۶-۲۱) طیف فرکانسی روش فوریه با $N=16$ پس از استفاده از فیلتر پایین گذر

۶-۱۱-۴) روش والش

این روش مشابهات فراوانی با روش فوریه دارد. در متد فوریه، توابع عمود برهم که برای نمونه‌برداری استفاده می‌شوند، سینوس و کسینوس هستند. در صورتیکه در این روش، این دو تابع، موجهای مربع زوج و فرد هستند.

این روش نیز پاسخ‌هایی شبیه روش فوریه بدست می‌دهد. با این تفاوت که چون مقدار تابع‌های نمونه‌برداری ۱یا۱- می‌باشد، محاسبه انتگرالهای گفته شده در روش فوریه، به کمک این متد بسیار آسانتر می‌باشد.

۶-۱۱-۵) روش Mcinnes & Morrison

این روش دیدگاه کاملا متفاوتی نسبت به مسئله فیلتر دیجیتال دارد. در این روش، کل شبکه از دید رله به LوR معادلی تبدیل می‌شود. در صورت وجود این مقادیر و اگر ولتاژ لحظه‌ای رله را با V و جریان لحظه‌ای عبوری از آن را با I نمایش دهیم، معادله دیفرانسیل زیر صادق خواهد بود:

$$V = Ri + L\frac{di}{dt} \qquad (۳۷-۶)$$

برای حل این معادله بطوری که بتوان RوL را بدست آورد، باید از آن در طول مدت معینی و در دو زمان مختلف انتگرال‌گیری کرد و دستگاه معادلات حاصله را حل نمود. بعبارت دیگر بین t_k تا $t_k + kh$ و t_{k+1} تا $t_{k+1} + kh$ که k عدد صحیحی است، انتگرال‌گیری انجام می‌شود. نتیجه محاسبات به صورت زیر خواهد بود.

$$R = \frac{(v_{k-1} + v_k)(i_{k-1} - i_{k-2}) - (v_{k-1} + v_{k-2})(i_k - i_{k-1})}{(i_{k-1} + i_k)(i_{k-1} - i_{k-2}) - (i_{k-1} + i_{k+2})(i_k - i_{k-1})} \qquad (۳۸-۶)$$

$$L = \frac{(v_{k-1} - v_{k+2})(i_{k-1} - i_k) - (v_{k-1} + v_k)(i_{k-1} - i_{k-2})}{(i_{k-1} + i_k)(i_{k-1} - i_{k-2}) - (i_{k-1} + i_{k-2})(i_k - i_{k-1})} \times \frac{h}{2} \qquad (۳۹-۶)$$

در این روابط بدلیل آنکه درمرحله نمونه‌برداری k ام، مقادیر نمونه در زمانهای $k+1$ و $k+2$ مشخص نمی‌باشد، تغییری اندیسی صورت داده شده است. در واقع از نمونه‌های قبلی بجای نمونه‌های آینده استفاده کرده‌ایم. این تغییر اندیس‌ها عبارتند از:

$$k \cong k+2 \quad , \quad k-1 \cong k+1 \quad , \quad k-2 \cong k$$

۶-۱۱-۶) روش مینیمم کردن مربع خطاها

روش فوریه در واقع یک منحنی سینوسی را بر نمونه‌های جریان و یا ولتاژ منطبق می‌کرد، بطوریکه متوسط مجذور خطاهای بین مقادیر واقعی و منحنی تطبیق شده، می‌نیمم می‌شود. در حالت کلی، می‌توان فرم کلی‌تری برای جریان و یا ولتاژ خطا انتخاب کرده و این منطق را برروی آنها پیاده کرد. در این معادله، آفست DC و هارمونیک‌های بالاتر نیز می‌توانند منظور شوند. در حالت کلی می‌توان معادلهٔ زیر را درنظر گرفت:

$$v(t) \text{ or } i(t) = k_1 e^{\lambda t} + \sum_{m=1}^{N} (k_{2m} \operatorname{Sin} m\omega t + k_{3m} \operatorname{Cos} m\omega t) \qquad (۴۰-۶)$$

این معادله در نگاه اول معادلهٔ غیرخطی بنظر می‌رسد. امّااین معادله نسبت به ضرائب k_iها خطی می‌باشد. در این معادله اگر $N = 1, \lambda = 0$ باشد، روش فوریه نتیجه

می‌شود. با اعمال روش می‌نیمم کردن مربع خطاها، می‌توان معادلهٔ بالا را بصورت تابع ارزش زیر خلاصه نمود:

$$J_{min} = \|Ax - b\|^{2} \quad (۶-۴۱)$$

که $\| \quad \|$ به معنی فرم بردار حاصله می‌باشد. B بردار اندازه‌گیریها، x بردار مجهولات و ماتریس A، ماتریس اطلاعات داده شده که از نمونه‌برداری برای جریان یا ولتاژ بدست آمده است، می‌باشد.