

عصر برق ۱۳

ASR-E-BARQ

فصل نامه علمی

انجمن مهندسين برق و الكترونيك ايران، شاخه خراسان

سال هفتم • شماره ۱۳ • تابستان ۱۳۹۹

قيمت ۲۰,۰۰۰ تومان



بخش خانگی هوشمند؛ راهکاری موثر برای عبور از بازهی اوج مصرف/ نیان الکترونیک؛ تولید داخل با کیفیت جهانی/ سلول حافظه ۱۲ ترانزیستوری SRAM جدید با سرعت بالا و توان مصرفی کم/ شبیه سازی ناپایداری ولتاژ آستانه (دریافت) در ترانزیستورهای اثر میدانی حساس به یون (ISFET) با گیت Al_2O_3 و تصحیح به روش کاشت یون/ طراحی سیستم کنترلی بهینه و هوشمند برای یک ربات ۳ درجه آزادی و کاربرد آن در توانبخشی اندامهای پایین بیماران ناتوان حرکتی/ مروری بر چالش ها و روش های فیلترسازی در سیستم های توصیه گر/ طراحی و پیاده سازی امولاتور شناور سلف حافظه دار در فرکانس های بالا/ تعیین مکان و اندازه بهینه پست های توزیع باهدف کاهش هزینه و تلفات و بهبود قابلیت اطمینان/ توسعه مدار Remote Terminal Unit و ارسال بی سیم امن اطلاعات

DESIGNER & MANUFACTURER



OF POWER CONVERSION SYSTEMS
TURN-KEY & EPC PROJECTS, GENERAL CONTRACTOR,
SOLUTION PROVIDER

Solar Inverter Solutions:

Wide Capacity Ranges

Features:

- String & central On-Grid solar inverters
- The latest power conversion technology
- Dynamic system efficiency optimization
- Higher efficiency due to Multi-MPPTs
- Transformer-Less topology
- Reduced TCO system cost
- Increases system reliability & flexibility
- Easy installation and reduces maintenance time
- Monitoring and recording the inverter's internal operating variables
- Remote control & monitoring over network
- High power density and integrated design for lower cost-per-watt
- Reverse polarity protection
- Ground fault protection
- DC/AC protection
- Anti-Islanding protection
- AC and DC short circuit and over current protection
- Competent executive of Turn-Key & EPC project
- 5 Years guaranteed & 15 years warranty
- ...



www.nianelectronic.com
Empowered Everywhere

صاحب امتیاز: انجمن مهندسين برق و الكترونيك ايران
مدیر مسوول: دکتر حبیب رجبی مشهدی
سر دبیر: دکتر جواد ساده

شورای سیاست گذاری:

دکتر ایمان احدی اخلاقی، مهندس حسن اروچی،
مهندس محمدعلی چمنیان، دکتر حبیب رجبی مشهدی،
دکتر مصطفی رجبی مشهدی، دکتر جواد ساده،
دکتر مهرداد شکوه صامی، مهندس علی کارگزار،
دکتر مهدی علومی بایگی، دکتر مصطفی عیدپانی،
دکتر محمد منفرد، دکتر محمد مولوی کاخکی،
مهندس مجید مهدیزاده، مهندس غلامرضا یزدانی شواکند

شورای نویسندگان:

دکتر محمدرضا اکبرزاده توتونچی، دکتر سید هاشم اورعی
میرزمانی، دکتر حمید تولیت، دکتر سید حسین حسینی،
دکتر حبیب رجبی مشهدی، دکتر مصطفی رجبی مشهدی،
دکتر جواد ساده، دکتر مهرداد شکوه صامی،
دکتر امیررضا عطاری، دکتر مهدی علومی بایگی،
دکتر مصطفی عیدپانی، دکتر گئورگ قره‌پتیان،
دکتر خلیل مافی‌نژاد، دکتر محمد منفرد،
دکتر محمد مولوی کاخکی

مدیر اجرایی:

مهندس غلامرضا یزدانی شواکند

روابط عمومی:

مهندس فریده سعادت، مهندس سمیرا شمس

مدیر برنامه ریزی:

دکتر مصطفی رجبی مشهدی

صفحه آرایی و امور گرافیک:

امواج برتر (۰۵۱-۳۸۹۴۰۱۲۰)

لیتوگرافی و چاپ: زبرجد (۰۵۱-۳۱۶۶۶۶)

صحافی: حافظ (۰۵۱-۳۳۹۲۹۱۱۱)

به نام دوست

فهرست مطالب

۲	یادداشت مدیرمسئول
۳	نیان الکترونیک؛ تولید داخل با کیفیت جهانی
۷	سلول حافظه ۱۲ ترانزیستوری SRAM جدید با سرعت بالا و توان مصرفی کم
۱۳	شبیه‌سازی ناپایداری ولتاژ آستانه (دریافت) در ترانزیستورهای اثرمیدانی حساس به ...
۱۸	تحلیل و بررسی تصویر گفتاری فارسی با استفاده از شبکه‌های ... (چکیده رساله دکتری)
۱۸	کنترل عصبی عاطفی تطبیقی و پایدار برای سیستم‌های کنترلی ... (چکیده رساله دکتری)
۱۹	ارایه روشی جهت بازبست تطبیقی تکفاز در خطوط انتقال فشار ... (چکیده رساله دکتری)
۱۹	طراحی و ساخت تقویت‌کننده توان با ساختار دنبال‌کننده سیگنال ... (چکیده رساله دکتری)
۲۰	طراحی سیستم کنترلی بهینه و هوشمند برای یک ربات ۳ درجه آزادی و کاربرد آن در ...
۲۷	مروری بر چالش‌ها و روش‌های فیلترسازی در سیستم‌های توصیه‌گر
۳۵	طراحی و پیاده‌سازی امولاتور شناور سلف حافظه‌دار در فرکانس‌های بالا
۴۱	تعیین مکان و اندازه بهینه پست‌های توزیع باهدف کاهش هزینه و تلفات و ...
۵۲	توسعه مدار Remote Terminal Unit و ارسال بی‌سیم امن اطلاعات

● از مطالب و نوشته‌های شما استقبال می‌کنیم:

- «عصر برق» در استفاده، ویرایش و کوتاه کردن مطالب ارسالی آزاد بوده و مطالب ارسالی شما نزد ما به یادگار می‌ماند.
- نظرات و عقاید نویسندگان مطالب لزوما دیدگاه «عصر برق» نیست.
- استفاده از مطالب «عصر برق» با ذکر منبع آزاد است.
- ترتیب آثار چاپ شده بر حسب ملاحظات فنی و رعایت تناسب بوده و به معنای درجه‌بندی نیست.
- مقاله‌های ارسالی از طریق پست الکترونیک و یا سایت نشریه حتماً به دو صورت PDF و Word باشد.
- ترجمه‌ها همراه با نسخه اصلی ارسال شود.
- مسئولیت حقوقی آثار ارسالی بر عهده نویسندگان مقاله‌ها می‌باشد.

فرخوان سال



نشانی:

مشهد. انتهای بلوار وکیل آباد، قبل از دوراهی طریقه و شان‌دیز، سمت راست جاده اختصاصی شرکت برق منطقه‌ای خراسان، طبقه همکف
تلفن دبیرخانه نشریه: ۰۵۱-۳۶۱۰۳۸۵۷
نمبر: ۰۵۱-۳۶۱۰۳۸۵۸

وب سایت: www.kiaeee.ir

پست الکترونیک: asrebarq@gmail.com



بخش خانگی هوشمند؛ راهکاری موثر برای عبور از بازه‌ی اوج مصرف

یادداشت مدیرمسئول

بهینه استفاده از این تجهیزات و توجه به مقادیر قیمت لحظه‌ای برق، پتانسیل بیشتری را برای یک بهره‌برداری بهینه فراهم می‌سازد. مشترکین ساکن در برج می‌توانند از طریق قراردادهای دوجانبه‌ای که با شرکت توزیع برق دارند با تنظیم زمان استفاده برخی از وسایل که پیش‌تر به آن اشاره شد، نمودار مصرف روزانه خود را به‌طور قابل انعطافی در جهت اهداف خود و شبکه مدیریت نمایند.

بدین ترتیب در ساعاتی که قیمت برق در شبکه بالا می‌باشد و شبکه با مشکل تامین پیک مواجه است، برج‌های مسکونی هوشمند از شبکه توان کمتری دریافت می‌کنند. دمای سیستم‌های سرمایشی چنان کنترل می‌شود که قبل از رسیدن به زمان پیک مصرف برق و اوج گرما، محیط مسکونی در دمای پایین‌تری قرار گیرد. باتری‌ها و دیزل ژنراتورها نیز در ساعات‌های پیک مصرف به خدمت گرفته می‌شوند. به‌علاوه می‌توان حتی از پتانسیل هماهنگی بین تجهیزات واحدهای مسکونی مختلف نیز در جهت کاهش پیک استفاده کرد. به‌عبارت دیگر مشابه با آنچه در سمت تولید تحت عنوان دیسپاچینگ واحدهای تولیدی صورت می‌گیرد در این برج‌ها یک سیستم هماهنگ کننده یا دیسپاچینگ بار طراحی نمود.

از آنجایی که هزینه‌های پیاده‌سازی این سیستم‌های هوشمند در شرایط فعلی در مقایسه با هزینه‌های ساختمانی بسیار ناچیز می‌باشد، فراهم نمودن ساز و کارهای اجرایی و قانونی جهت عملیاتی کردن این طرح‌ها منطقی به‌نظر می‌رسد. به‌ویژه آن‌که شرایط اقتصادی دولت برای سرمایه‌گذاری در توسعه بخش‌های تولید، انتقال و توزیع مناسب نیست. همچنین بخش خصوصی نیز با افزایش قیمت ارز، رغبت چندانی برای سرمایه‌گذاری توسعه‌ای در صنعت برق را نشان نمی‌دهد. بنابراین وقت آن فرا رسیده است که برنامه‌های مدیریت مصرف و پاسخ‌گویی تقاضا بر بستر سیستم‌های دیجیتال و هوشمند به‌طور جدی مورد توجه قرار گیرند.

حبیب رجبی مشهدی
مدیرمسئول

در این روزهای سخت کرونایی که مردم جهان با دشواری‌های متعددی روبه‌رو شده‌اند، نقش دنیای دیجیتال در حل چالش‌های گوناگون زندگی، بیشتر از هر زمانی آشکار شده است. امروزه بسیاری از فعالیت‌های زندگی روزمره مردم بر بسترهای مخابراتی دیجیتال سامان می‌یابد. روند نفوذ فناوری‌های هوشمند دیجیتال در صنعت، تجارت، حمل و نقل و ... از چند دهه قبل آغاز شده است و به‌طور فزاینده‌ای در حال پیشرفت است. در صنعت برق نیز امروزه فرایندهای بازارهای برق، کنترلهای هوشمند و ارتباط بین اجزای مختلف صنعت در بخش‌های توزیع، انتقال و تولید به کمک فناوری‌های دیجیتال به‌صورت لحظه‌ای انجام می‌شود. در کشور ما هر ساله در تابستان به‌دلیل استفاده مردم از سیستم‌های سرمایشی مصرف برق به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد. این افزایش مصرف که در یک بازه‌ی کوتاهی از سال (در حدود ۱۰۰ ساعت)، بار به بیشینه خود می‌رسد، می‌تواند به‌جای سرمایه‌گذاری در سمت تولید، انتقال و توزیع باروش‌های پاسخ‌گویی سمت تقاضا مدیریت شود. بیش از ۴۰ درصد از انرژی الکتریکی کشور در بخش‌های خانگی و تجاری مصرف می‌شود. پیشرفت‌های اخیر در گسترش ساختمان‌های هوشمند برپایه برنامه‌های مدیریت سمت تقاضا در کشورهای صنعتی و با استفاده از کنترلهای هوشمند و ارتباط دوطرفه بین مصرف‌کننده و تجهیزات شبکه توزیع، نویدبخش تحولاتی اساسی در صنعت برق می‌باشد. اساس کار این است که ضمن حفظ رضایت مصرف‌کننده، از پتانسیل‌های موجود در سمت تقاضا برای کاهش پیک سالانه استفاده کرد. به کمک اینترنت اشیاء و هماهنگی بین برخی از وسایل مانند ماشین لباسشویی، ماشین ظرفشویی، خودروهای برقی و از همه مهمتر سیستم‌های تهویه هوای سرمایشی می‌توان در برج‌های مسکونی به کاهش پیک و بهبود ضریب بار کمک کرد. طراحی این سیستم‌های هوشمند علاوه بر کمک موثر به کاهش پیک سیستم، برای مصرف‌کننده نیز می‌تواند موجب کاهش هزینه برق و دریافت مبالغ تشویقی به‌دلیل شرکت در برنامه‌های پاسخ‌گویی بار گردد.

شایان ذکر است که چنین برج‌های مسکونی به‌طور معمول به پنل‌های خورشیدی، سیستم‌های ذخیره انرژی مبتنی بر باتری و ژنراتورهای دیزل پشتیبان نیز مجهز می‌باشند. زمان‌بندی



نیان الکترونیک؛ تولید داخل با کیفیت جهانی

گفت‌وگو با مهندس محمدعلی چمنیان / مدیر ارشد گروه صنعتی نیان

شرکت دانش‌بنیان نیان الکترونیک یکی از مجموعه‌های موفق تولیدکننده‌ی تجهیزات الکترونیک قدرت در کشور و منطقه است. کسب عنوان‌های برتر استانی و کشوری نشان دهنده‌ی موفقیت‌های داخلی این مجموعه است و حضور در بازارهای منطقه مانند بازار سوریه، عراق، افغانستان، عمان و به تازگی حضور در مناقصه‌های مخابراتی روسیه از موفقیت‌های منطقه‌ای و فرامرزی آن حکایت دارد. نیان الکترونیک در اوج تحریم‌ها موفق به گسترش فعالیت‌های خود در زمینه ساخت محصولات دانش‌بنیان شده است و علاوه بر منابع تغذیه سوپچینگ مخابراتی که از تخصص‌های اصلی این شرکت به حساب می‌آید، با طراحی و ساخت کانورترهای نیروگاه‌های بادی و اینورترهای خورشیدی در زمینه‌ی انرژی‌های تجدیدپذیر هم در صنعت برق کشور حضور پیدا کرده است و با تغییر در طراحی کولرهای آبی به حوزه‌ی بهینه‌سازی مصرف گام نهاده است. آن‌چه در ادامه خواهید خواند حاصل گفت‌وگوی بخش خبری عصر برق با مهندس محمدعلی چمنیان مدیر ارشد گروه صنعتی نیان و عضو هیات نمایندگان اتاق بازرگانی ایران است.



برای ارایه راهکار برخوردار نبودند و خوشبختانه بهترین طرح توجیهی از طرف نیان الکترونیک ارایه شد که باعث تعجب آن‌ها از سطح دانش نیان الکترونیک شد، تا جایی که به نیان الکترونیک پیشنهاد شد کارشناسان این مجموعه به‌عنوان مشاور در دیگر مناقصه‌های مخابراتی آن‌ها حضور داشته باشند.

بخشی از این پروژه، شامل خدمات مهندسی است. به این معنی که باید سایت‌ها توسط کارشناسان نیان الکترونیک مورد بازدید و بررسی فنی قرار گیرد و سپس طرح‌های بازسازی سایت‌ها ارایه شود. بخش دیگر این پروژه تامین تجهیزات مورد نیاز برای بازسازی است که باید تجهیزات به تایید کارفرما برسد و بعد از آن عملیات نصب و راه‌اندازی و در آخر هم تحویل پروژه صورت پذیرد. می‌توان گفت ۵۰ درصد این پروژه مربوط به تامین تجهیزات و ۵۰ درصد آن هم مربوط به خدمات مهندسی است.

آیا شرکت‌های ایرانی دیگری هم در این مناقصه حضور داشتند؟

دو شرکت ایرانی دیگر هم در این مناقصه حضور داشتند که قبل از نیان الکترونیک وارد گفت‌وگو با مسوولان سوری شده بودند، این

اگر ممکن است در ابتدا به موفقیت‌های اخیر نیان الکترونیک در بازارهای خارج از کشور اشاره‌ای داشته باشید.

با توجه به شرایطی که در کشور به‌وجود آمد از یک سو و توانمندی‌هایی که در نیان الکترونیک در زمینه بومی‌سازی دانش و دستیابی به دانش روز ایجاد شده بود از سوی دیگر، سیاست‌های این مجموعه در راستای توجه به بازارهای منطقه‌ای و حضور در بازارهای جهانی تنظیم شد و این اعتقاد در گروه نیان الکترونیک به‌وجود آمد که حضور در بازارهای جهانی و صادرات تجهیزات یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر است. بر همین مبنا در سال گذشته با وجود حضور چندین شرکت خارجی، در مناقصه بخش تامین انرژی زیرساخت شرکت مخابرات کشور سوریه شرکت کردیم. زیرساختی که هم بسیار قدیمی شده و سال‌ها به‌بودی در آن صورت نگرفته و علاوه بر آن از جنگ هم آسیب دیده است. بخش نخست این مناقصه مربوط به ۹ مرکز اصلی مخابراتی سوریه است و ۲ تا سه فاز دیگر آن هم در آینده اجرایی خواهد شد. برگزار کننده مناقصه از روش‌های جدید و پیشرفته، اطلاعات کافی نداشت و از شرکت‌های حاضر در مناقصه درخواست ارایه راهکار و پیشنهاد شده بود. بسیاری از شرکت‌هایی که در این مناقصه حضور داشتند، از سطح دانشی کافی و آمادگی



شرکت‌ها در واقع واسطه‌هایی بودند که بدون اطلاعات و دانش فنی لازم در این مناقصه حضور پیدا کرده بودند که همین موضوع کار را برای بنیان الکترونیک سخت کرده و باعث بدبینی طرف سوری شده بود، به‌طوری‌که حاضر به گفت‌وگو با شرکت ایرانی دیگری نبودند. اما اصرار کارشناسان بنیان الکترونیک برای ارایه پروپوزال باعث شد یک فرصت ده دقیقه‌ای در اختیار این مجموعه قرار گیرد، فرصتی که با درک توانمندی بنیان الکترونیک از جانب آن‌ها به یک جلسه‌ی چهار ساعته و برنده شدن در مناقصه ختم شد. البته مراحل اجرایی پروژه به دلیل شیوع ویروس کرونا و بسته شدن فرودگاه‌ها هنوز آغاز نشده است و ما منتظر از سرگیری پروازها برای بازدید سایت‌ها و شروع پروژه هستیم.

با چه مشکلاتی در زمینه حضور در این مناقصه و انجام آن برخورد کردید؟

در خصوص این پروژه مشکلات فراوانی مانند گرفتن ضمانت‌نامه‌های بانکی وجود داشت. از دیگر مشکلات موجود، نبود یک سیستم پشتیبانی خوب است که بتواند از یک شرکت داخلی در مناقصه‌های بین‌المللی حمایت کند. البته هنوز هم نمی‌دانیم به چه روشی خواهیم توانست نسبت به انتقال پول اقدام کنیم. از طرف دیگر با این‌که قرارداد بر اساس یورو بوده اما دولت سوریه اعلام نموده که پرداخت‌ها را بر اساس لیر انجام خواهد داد و لیر هم مانند ریال ایران دارای یک ارزش دولتی و یک ارزش آزاد است که اگر بخواهیم آن را به یورو تبدیل کنیم، ارزش آن نصف خواهد شد. تلاش ما به‌عنوان یک شرکت داخلی رونق صادرات است اما نیازمند حمایت‌های لازم از سوی نهادهای داخلی هستیم، به هر حال این قبیل کارها به نوعی در زمره‌ی صادرات محصول دانش‌بنیان قرار می‌گیرد و این محصول دانش‌بنیان، خدمات فنی مهندسی است. اما ریسک این موضوع آن‌قدر برای ما بالا است که شاید نتوانیم این ریسک را بپذیریم و مجبور به انصراف از پروژه بشویم. البته برنده شدن در یک مناقصه‌ی بین‌المللی برای بنیان الکترونیک یک موفقیت بزرگ است.

حضور در بازار افغانستان هم از دیگر تجربه‌های بنیان الکترونیک است، در افغانستان هم این مشکلات وجود داشت؟

به هر حال حضور در بازارهای بین‌المللی با مشکلاتی همراه است. «اتصالات» یک اپراتور معروف در منطقه است و در ۸ کشور منطقه حضور دارد. پس از گفت‌وگوهایی که با این اپراتور انجام شد، تفاهم‌نامه‌ای با این اپراتور اجرایی شد که بر مبنای آن محصولات بنیان الکترونیک به‌صورت پایلوت در افغانستان نصب شود و پس از یک سال اگر دستگاه‌ها مورد رضایت قرار گرفت، هزینه‌ی آن پرداخت شود. سال گذشته این تجهیزات در افغانستان نصب و راه اندازی شد، اما دریافت ارز آن به تاخیر افتاد. آن‌ها در بحث باتری نگرانی‌هایی داشتند بنابراین بهای تجهیزات را پرداخت کردند اما دریافت رقمی نزدیک به ۴۴ هزار دلار مربوط به باتری با تاخیر مواجه شد تا باتری‌ها، آزمایش زمانی خود را بگذرانند. این موضوع باعث شد تا به دلیل آن‌چه وزارت صمت و بانک مرکزی آن را عدم رفع تعهد ارزی عنوان کردند بنیان الکترونیک در شهریورماه ۹۹ با محرومیت از بسیاری از خدمات و توقف در کار صادرات و واردات روبه‌رو شود و ارایه نامه‌ها و مستندات مربوط به قرارداد هم مانع این محرومیت‌ها نشد و بنیان الکترونیک در حالی‌که هنوز پول باتری‌های مربوط به قرارداد از اتصالات را دریافت نکرده بود، ارز را از بازار آزاد خریداری و به نرخ سال قبل به بانک

پرداخت کند و رقمی نزدیک به ۶ میلیارد ریال متضرر شود تا بتواند راهی برای صادرات باز کند. این موضوع تردیدهایی را در مجموعه‌ی بنیان در ارتباط با قرارداد سوریه ایجاد نموده است، چرا که ممکن است در قرارداد سوریه نیز به هر دلیل نتواند بهای خدمات مهندسی و تجهیزات را به موقع دریافت کند و به این ترتیب متعهد ارزی بماند و با مشکل روبه‌رو شود.

یعنی وزارت صمت و بانک مرکزی در این خصوص توجهی به قراردادهای و نوع صادرات ندارند؟

در حال حاضر این تعهد ارزی به‌ویژه در کارهایی که ترکیبی از یک کار دانش‌بنیان، جدید و خدمات مهندسی باشد به یک معضل اساسی تبدیل شده است. سیاستگذاران باید توجه داشته باشند که این نوع کالاها و خدمات که نیازمند بازاریابی خاص است با کالاهای اساسی مانند میوه و خشکبار که خریدار، کالا را می‌بیند و بهای آن‌را به‌صورت نقدی پرداخت می‌کند، تفاوت دارد. فرآیند کارهای خدمات مهندسی به‌گونه‌ای است که باید تجهیزات، نصب و راه‌اندازی شود و ممکن است به‌دلایل مختلف مانند عملکرد یک پیمانکار دیگر، راه‌اندازی سایت و تحویل پروژه را با تاخیر و مشکل روبه‌رو کند. عدم قطعیت در پروژه‌های مهندسی زیاد است و همین موضوع افغانستان باعث شده است تا ما در سوریه با نگرانی کار را دنبال کنیم و به فکر انصراف از پروژه باشیم. در سوریه ریسک عدم امنیت، ریسک تغییر و تبدیل پول، ریسک کرونا و سخت شدن رفت و آمدها وجود دارد و ریسک تحریم‌های داخلی که معروف‌ترین آن رفع تعهد ارزی است هم به آن اضافه شده است و این همان موضوعی است که باید در سیاست‌ها و قوانین دیده شود.

به اعتقاد شما چه دلیلی برای بروز این مشکلات وجود دارد؟

بیشتر وقت‌ها اشخاصی که مسئول این کار هستند از آگاهی و تخصص کافی در این زمینه برخوردار نیستند و به روش سعی و خطا و بدون بررسی کارشناسی قوانین را وضع می‌کنند و بعد سعی در آسیب‌شناسی قوانین دارند. این در حالی است که تشکلهایی مانند اتاق بازرگانی می‌توانند در این زمینه مشورت‌های خوبی ارایه نمایند. در هر حوزه‌ای باید کارشناسان و متخصصان آن حوزه در تصمیم‌گیری‌ها نقش داشته باشند و تصمیم‌گیری‌ها به‌صورت علمی و پژوهشی و تخصصی انجام شود. موضوع دوم بدبینی نسبت به بخش خصوصی است و نسبت به هر موضوعی که نقد صورت می‌گیرد، به‌جای برخورد واقع‌گرایانه، سودجویی و بهانه‌تراشی قلمداد می‌شود.



پایه‌ی این تست‌ها بر اساس استانداردهای اروپا بود اما در برخی موارد، به دلیل شرایط خاص آب و هوایی روسیه و تجربه کارکرد تجهیزات در دمای منهای ۵۰ درجه تا مثبت ۵۰ درجه، استانداردها از سطح بازرگانی و تجاری اروپا بسیار فراتر بود. با این حال تجهیزات ساخت نیان الکترونیک توانستند در یک پروسه‌ی ۵ ماهه تست‌های مختلف مکانیکی، حرارتی، برقی و الکتریکی، راندمان تجهیزات و نوع انرژی‌دهی آنها و همچنین تست‌های مربوط به شبکه برق از نظر آلودگی هارمونیکی و تست‌های مربوط به EMI و RFI که تداخلات رادیویی یا تداخلات الکترومغناطیسی را نشان می‌دهد را با موفقیت بگذرانند. این تست‌ها بسیار پیچیده هستند و برای انجام بسیاری از آنها در داخل ایران امکانات آزمایشگاهی وجود ندارد و تمام تست‌ها در آزمایشگاه‌های کشور روسیه انجام شد و تاییدیه‌های لازم را کسب کرده تا بتوانیم در مناقصه‌ی سال ۲۰۲۰ آنها شرکت کنیم. با این‌که هنوز نتیجه‌ی این مناقصه مشخص نیست و نیان الکترونیک متحمل هزینه‌های فراوانی در زمینه انجام تست‌ها شده است، اما باعث خوشحالی است که علاوه بر کسب تجربه رویارویی با استانداردهای بالا توانستیم در یک کشور بسیار پیشرفته از نظر فنی و مهندسی جواز حضور در مناقصه‌های سختگیرانه روسیه را کسب و در کنار شرکتهای بزرگ بینالمللی در این مناقصه شرکت نماییم.

در چند مدت اخیر قیمت ارز رشد قابل توجهی را تجربه نموده است، برخی این را فرصتی مناسب برای صادرات می‌دانند، با این دیدگاه تا چه اندازه موافق هستید؟

یک نکته‌ای اینجا وجود دارد. اگر ما صادرات را مانند یک دشت حاصلخیز تصور کنیم که هر چه نرخ ارز بالاتر می‌رود، این دشت پهناورتر می‌شود، باید توجه کنیم، دیوارهایی جلو این دشت قرار دارد که با افزایش نرخ ارز ارتفاع آن دیوارها هم بالاتر می‌رود و برای رسیدن به آن دشت حاصلخیز باید از این دیوارها عبور کرد. دیوارهایی مانند دیوار بازاریابی، دیوار تست‌ها و آزمایش‌های فنی، دیوار ایجاد دفتر نمایندگی و فروش، دیوار رفع تعهدات ارزی و دیوارهای دیگری که همگی با رشد ارز، بلندتر می‌شوند و عبور از آن را مشکل یا غیرممکن می‌نمایند. به عنوان مثال ما در سال گذشته برای انجام تست‌ها در کشور روسیه نزدیک به ۲ میلیارد تومان هزینه کرده‌ایم، این هزینه با نرخ ارز فعلی بیش از ۷ میلیارد تومان خواهد بود تا بتوان به چنین مناقصه‌ای ورود پیدا کرد. صرف‌نظر از برنده شدن یا نشدن در یک مناقصه‌ی بین‌المللی، در سیستم ارزی کشور چنین هزینه‌ای پیش‌بینی نشده است و ما نمی‌توانیم ارز را به صورت قانونی

موضوع سوم این است که صادرات دانش‌بنیان در حال حاضر در اقلیت است و برنامه‌های گذشته مربوط به کالاهای مصرفی بوده است. در حالی که ما باید نگاه به آینده داشته باشیم و برنامه‌ریزی‌ها و قانون‌گذاری‌ها باید در راستای تقویت صادرات محصولات دانش‌بنیان باشد تا بتوانند پا بگیرند.

چه پیشنهادی برای رفع این مشکلات و موانع دارید؟

من پیشنهاداتی در جلسه مشترک کمیسیون کسب و کارهای دانش‌بنیان اتاق بازرگانی ایران با نمایندگان مجلس که به عنوان نایب رئیس کمیسیون حضور داشتم ارائه نمودم. یکی از این پیشنهادها خارج کردن شرکت‌های دانش‌بنیان از شمول تعهد ارزی دست‌کم برای چند سال بود تا هم این قبیل صادرات پا بگیرد و هم کارشناسان مربوطه با این نوع صادرات آشنا شوند و آیین‌نامه‌هایی متناسب با شرایط آنها تدوین شود. برای تشخیص دانش‌بنیان بودن محصولات و شرکت‌ها هم سایت معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری مرجع مناسبی است.

بعد از حضور نیان الکترونیک در نمایشگاه مسکو، گویا این مجموعه قصد حضور در بازارهای روسیه را دارد، چه تجربه‌هایی در این زمینه کسب نموده‌اید و چه برنامه‌های دارید؟

حضور نیان الکترونیک در نمایشگاه مسکو به عنوان تنها شرکت ایرانی حاضر در این نمایشگاه باعث معرفی توانمندی‌های نیان الکترونیک شد. در سال ۲۰۱۹ که تا اوایل ۲۰۲۰ هم به طول انجامید، در روند شناسایی تامین‌کنندگان برای بزرگ‌ترین اپراتور روسیه (MTS) قرار گرفتیم. اپراتورهای بزرگ خریدهای خود را بر اساس تامین نیاز ۲ تا ۳ سال انجام می‌دهند و این برای برنده مناقصه این امکان را فراهم می‌کند تا برنامه‌ای برای تولید انبوه در مدت دو یا سه سال داشته باشد و ضمن ارتقای کیفیت به پایین آوردن قیمت تمام شده کمک کند. این درست خلاف آن چیزی است که در کشور ما اتفاق می‌افتد و اپراتورها به بهانه مبارزه با انحصارگرایی در سال، نزدیک به ده مناقصه برای خرید نیازهای دو تا سه ماهه برگزار می‌کنند و امکان برنامه‌ریزی را از برنده‌ی مناقصه سلب می‌کنند. در صورتی که می‌توان برای پرهیز از انحصاری شدن، کارها را به دو یا سه شرکت اما به صورت طولانی مدت واگذار نمود.

در سال ۲۰۱۹ ما تصمیم به ورود به مناقصه گرفتیم. برای ورود باید تست‌ها و آزمایش‌های فراوانی روی دستگاه‌ها انجام شود که اگر چه



اما به دلیل هزینه‌ی بالای تعمیرات، تعویض می‌شوند. برخی دیگر از این تجهیزات و کالاهای از شرکت‌هایی خریداری می‌شوند که در حال حاضر در ایران فعالیتی ندارند تا بتوانند خدمات پس از فروش ارایه کنند، بنابراین با تجهیزات نو جایگزین می‌شوند. باید توجه کنیم تمام این تجهیزات، کالاهای واسطه‌ای و سرمایه‌ای محسوب شده و کالای مصرفی نیستند، از این جهت واسطه‌ای هستند که خریدار، خودش مصرف‌کننده نیست و تجهیزات را برای مصرف‌کننده نصب می‌کند و سرمایه‌ای است به این دلیل که باید پس از نصب تا سال‌ها مورد بهره‌برداری قرار گیرد و در شمار سرمایه‌های شرکت قرار دارد. به دلیل آن چه گفته شد، کالاهای سرمایه‌ای و واسطه‌ای باید از عمر طولانی برخوردار باشند یا به اصطلاح کالای با دوام باشند در صورتی که این اتفاق رخ نمی‌دهد و مانند یک کالای مصرفی با آن‌ها رفتار می‌شود و این به معنای دور ریختن سرمایه شرکت است. اما در طول ۱۸ سال گذشته در هیچ مزایده‌ای، هیچ یک از تجهیزات ساخت نیان الکترونیک توسط هیچ یک از مشتریان با عنوان ضایعات به فروش نرسیده است. چرا که هم از دوام کافی برخوردار بوده است و هم نیان الکترونیک همیشه در کنار مشتری حضور داشته و با خدمات پس از فروش خود مانع از ضرر و زیان به مشتریان شده است. اکنون باید پرسید و قضاوت کرد آیا خرید کالای داخلی حمایت از تولید کننده داخلی یا حمایت از مشتری داخلی است؟

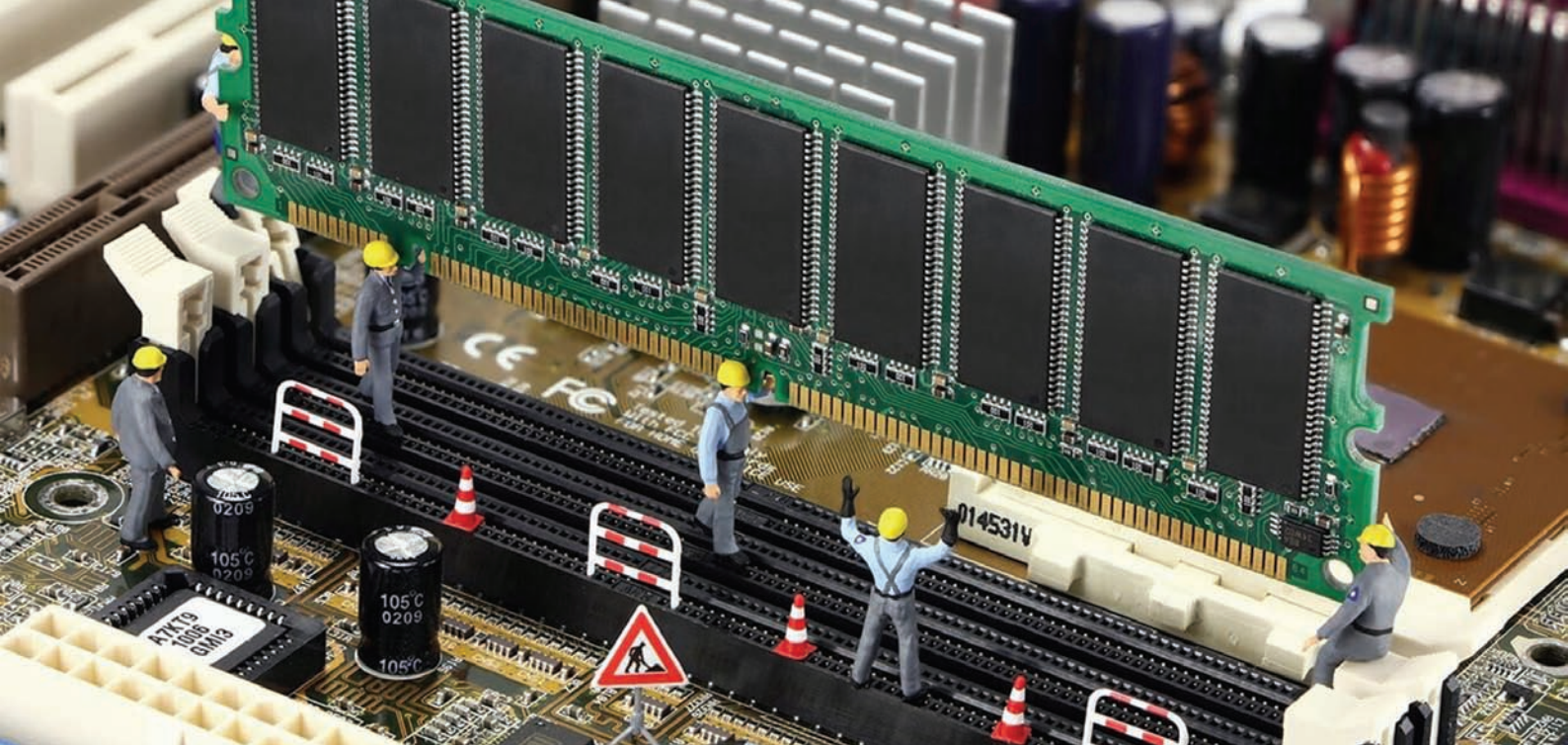
در بسیاری از کشورهای صاحب صنعت و فناوری اروپا و دنیا شاهد استفاده‌ی طولانی مدت از کالاهای سرمایه‌ای هستیم. دلیل آن این است که از تولیدات خودشان استفاده کرده‌اند و توانسته‌اند با نگهداری مناسب عمر کالاهای سرمایه‌ای خود را افزایش دهند و به اقتصاد ملی کشورشان کمک کنند. اما در کشور ما به دلیل استفاده از تامین‌کننده‌ی خارجی که در شرایط مختلف مانند تحریم از ارایه خدمات خودداری می‌کند یا به بهانه‌ی ورود فناوری‌های نوین نسل قبل محصولات خود را از رده خارج می‌کنند در دوره‌های زمانی کوتاه سیستم‌ها به جای تعمیر و نگهداری به ناچار تعویض می‌شوند تا سرمایه‌های ملی با خریدهای غیرکارشناسی و بدون آینده‌نگری از بین بروند.

از واحد روابط عمومی و هماهنگی‌های دفتر مدیریت نیان الکترونیک برای تهیه این گزارش سپاسگزاری می‌شود.

و یا از طریق صرافی‌ها از کشور خارج کنیم و هیچ یک از صندوق‌های حمایتی هم از این موضوع پشتیبانی نمی‌کنند. بر اساس قوانین موجود، ۲۰ تا ۳۰ درصد از ارزش صادراتی در اختیار صادرکننده است و بقیه باید رفع تعهد شود و پرسش اساسی این است که در یکی دو سال ابتدایی که فروش تجهیزات صورت نمی‌گیرد، باید از چه کانالی ارزش مورد نیاز تامین شود. اگر شرکتی از توان تامین مالی برخوردار باشد و سرمایه‌گذاری بخواهد با صادرکننده مشارکت کند، از نظر قانونی راهی برای خرید، انتقال و هزینه کرد این ارزها وجود ندارد و مکانیزی برای رفع این مشکل در کشور تعریف نشده است. البته ما امیدواریم با برنده شدن در بخشی از مناقصه روسیه بتوانیم نشان دهیم حمایت از تولید داخل به معنای خرید یک کالای با کیفیت پایین که در هیچ کجای دنیا خریداری ندارد، نیست. اگر چه هم اکنون اثبات نمودیم، تجهیزات تولیدی نیان الکترونیک در روسیه بالاترین امتیاز فنی را در بین ۲۰ شرکت کننده از اروپا، چین و دیگر کشورها کسب نموده است.

به نظر می‌رسد نسبت به واژه‌ی «حمایت از تولید داخل» نقد دارید؟

این روزها «حمایت از تولید داخل» کلید واژه‌ی بسیاری از بحث‌ها شده است. اما در واقع آن چه اتفاق می‌افتد، بیشتر حمایت از مشتری داخل است. مشتریان داخلی که بخش بزرگی از آن‌ها را شرکت‌های دولتی و شبه‌دولتی تشکیل می‌دهند با انتخاب نادرست به امکاناتی که در اختیار دارند آسیب می‌رسانند. نیان الکترونیک نزدیک به ۲۰ سال است به اپراتورهای داخلی، تجهیزات الکترونیک قدرت می‌فروشد و بر همین اساس وقتی مزایده‌ای برای فروش تجهیزات مازاد یا از رده خارج از طرف مشتریان نیان الکترونیک برگزار می‌شود، این مزایده‌ها را رصد می‌کند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در لیست فروش اموال زاید، ضایع و راکد، حجم بالایی از تجهیزات الکترونیک قدرت و منابع تغذیه مخابراتی وجود دارد که در ۱۵ تا ۲۰ سال گذشته با قیمت بالا خریداری شده‌اند اما با قیمت بسیار پایین به عنوان ضایعات به فروش رسیده‌اند. دقت در این موضوع نشان می‌دهد که در این سال‌ها سه تا چهار مرتبه تجهیزات خریداری و بنا به دلایل مختلف جمع‌آوری شده و به انبارها منتقل شده‌اند تا در نهایت به عنوان ضایعات به فروش برسند. برخی از این تجهیزات بارها و بارها آسیب می‌بینند



مقاله علمی-ترویجی

سلول حافظه ۱۲ ترانزیستوری SRAM جدید با سرعت بالا و توان مصرفی کم

■ میثم فلاح بوجی/ دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر قدس / fallah.m1987@gmail.com

■ مهدی زارع/ دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر قدس / zare@qodsiau.ac.ir

■ مزده مهدوی/ دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر قدس / m.mahdavi@qodsiau.ac.ir

چکیده

قدرت و سرعت، دو پارامتر مهمی هستند که نظر طراح را در روند طراحی مدارهای یکپارچه جلب می‌کنند. بلوک‌های حافظه و به‌ویژه سلول‌های SRAM سطح تراشه‌های بالایی را مصرف می‌کنند و در نتیجه بهینه‌سازی این سلول‌ها می‌تواند عملکرد کل سیستم را افزایش دهد. در این مقاله، سلول حافظه استاتیکی دوازده ترانزیستوری ارائه شده است که سرعت و ثبات خواندن و نوشتن را بهبود می‌بخشد و در کنار افزایش سرعت، توان مصرفی پایین‌تری دارد به نحوی که در مجموع حاشیه نویز استاتیکی خواندن تا ۱۹ درصد بهبود نسبت به سلول حافظه ۱۲ ترانزیستوری و ۴۳ درصد بهبود نسبت به سلول شش ترانزیستوری معمولی دارد، همچنین معدل سرعت خواندن و نوشتن مدار، حدود ۳۰ درصد نسبت به سلول ۱۲ ترانزیستوری افزایش پیدا کرده است و با توجه به اینکه تعداد ترانزیستورها نسبت به سلول شش ترانزیستوری افزایش داشته است توان مصرفی حدود ۴۰ درصد کاهش داشته و نسبت به سلول ۱۲ ترانزیستوری مشابه توان مصرفی کاهش چشمگیر ۸۰ درصدی را برای بهترین بازده دارد. نتایج شبیه‌سازی نشان‌دهنده پیشرفت در بهبود اتلاف انرژی و کاهش حاشیه نویز خواندن و نوشتن در مقایسه با طرح قبلی است.

کلمات کلیدی: سلول حافظه، حافظه استاتیک، حاشیه نویز، پایداری حافظه.

A new low power and high-speed design of 12T SRAM cell

■ Meysam Fallah Bouji/ Islamic Azad University of Shahr-e-Qods Branch, Tehran Province, Iran/ fallah.m1987@gmail.com

■ Mahdi Zare/ Islamic Azad University of Shahr-e-Qods Branch, Tehran Province, Iran/ zare@qodsiau.ac.ir

■ Mojdeh Mahdavi/ Islamic Azad University of Shahr-e-Qods Branch, Tehran Province, Iran/ m.mahdavi@qodsiau.ac.ir

Abstract

Power and speed are two parameters which have attracted the designer's trends in the integrated circuit designs. The memory blocks and specially the SRAM cells consume high chips area and consequently

these cells optimization can increase the whole system performance. In this paper, a new twelve transistors (12T) SRAM cell is proposed that improves read and write speed and stability, along with lower power consumption speeds so that overall static reading margin is up to 19% better than 12 transistor memory cells. And it has a 43% improvement over a conventional six-transistor SRAM cell, and also an average reading and writing speed of about 30% compared to a 12-transistor cell, as the number of transistors increased compared to the six-transistor cell, the power consumption decreased by about 40% and compared to the 12-cell transistor cell, the power consumption decreased dramatically by 80% for best efficiency. The simulation results show progress in improving energy loss and reducing the reading and writing noise margins compared to the previous design.

Keywords: memory cell, static memory, noise margin, memory stability.

۱- مقدمه

مدارهای مجتمع مبتنی بر CMOS به دلیل سادگی، مساحت کوچک و تناسب مناسب برای طراحی مدارهای دیجیتال بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرند. با این وجود، افزایش تعداد ترانزیستورها در یک منطقه ثابت، باعث نشت انرژی و گرمای بیشتر می‌شود. در مدارهای مدرن VLSI، بیش از ۴۰٪ از کل انرژی به دلیل جریان‌های نشتی مصرف می‌شود [۱]، [۲]. بنابراین، طراحان سعی دارند مدارهای مجتمع را با ترانزیستورهای کمتری پیاده‌سازی کنند. سلول SRAM عنصری است که به‌طور گسترده در سیستم‌های دیجیتال مورد استفاده قرار می‌گیرد و بهینه‌سازی آن می‌تواند عملکرد سیستم را ارتقا بخشد. حافظه‌ها مقدار زیادی از قدرت سیستم را مصرف می‌کنند و معماری آنها نقش مهمی در مصرف برق ایفا می‌کند [۳].

آرایه‌های SRAM بر اساس فناوری CMOS مهمترین منبع جریان نشتی در پردازنده پرسرعت است. بنابراین، طراحی سلول‌های SRAM با جریان نشتی پایین، یکی از اولویت‌های طراحی سیستم دیجیتال است. ولتاژ پایین سلول SRAM جریان نشتی را کاهش می‌دهد، اما با کاهش منبع تغذیه، حاشیه نویز استاتیک (SNM) کاهش می‌یابد. عملکرد ولتاژ کم مصرف باعث افزایش حساسیت به انواع مختلف می‌شود و باعث عملکرد ضعیف SRAM در تعدادی از پارامترها از جمله پایداری خواندن و نوشتن و غیره می‌شود [۴-۵].

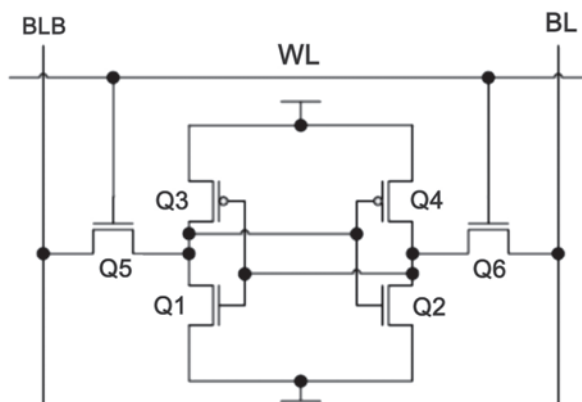
امروزه بسیاری از سلول‌های حافظه SRAM که برای ولتاژ پایین ساخته می‌شوند، بهبود پایداری را توسط اضافه کردن ترانزیستور به خط خواندن و نوشتن در سلول حافظه SRAM شش ترانزیستوری معمولی انجام می‌دهند که در سلول حافظه باعث افزایش ترانزیستور تا ۸ ترانزیستور [۶]، ۹ ترانزیستور [۷]، ۱۰ ترانزیستور [۸]، ۱۱ ترانزیستور [۹]، ۱۲ ترانزیستور [۱۰]، ۱۴ ترانزیستور [۱۱] و یا بیشتر می‌شوند.

ضعف سلول حافظه ۶ ترانزیستوری در پایداری و مصرف انرژی، طراحان را وادار کرده است تا روش‌های جدیدی را برای حل این مشکلات جستجو کنند [۱۲-۱۳]. در [۱۲] از ترانزیستور nMOS بین اینورترهای سلول 6T SRAM برای افزایش نوشتن SNM استفاده شده است. در [۱۳]، ترانزیستور pMOS به موازات ترانزیستور nMOS، هر دو سطح منطقی (۰ و ۱) را به شدت به سلول منتقل می‌کند و SNM را بالا می‌برد. روش دیگری که در [۱۴-۱۵] به کار می‌رود، استفاده از زمین مجازی یا VDD مجازی برای تقویت ثبات در نوشتن است. در این تکنیک، VDD و ریل‌های زمینی مجازی به سلول ۶ ترانزیستوری

اضافه می‌شوند. این ریل‌ها بین سلول‌ها به اشتراک گذاشته شده و باعث می‌شوند کمترین مساحت، مورد استفاده قرار گیرد. در این مقاله، یک سلول جدید ۱۲ ترانزیستوری ارائه شده است که سرعت خواندن و نوشتن را بالا می‌برد و باعث بهبود مصرف انرژی و SNM در خواندن و نوشتن می‌شود. شرح کلی این مقاله به صورت زیر سازماندهی شده است: در بخش دو، SRAM معمولی شش ترانزیستوری مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد و نگاهی به یک سلول SRAM قوی ۱۲ ترانزیستوری می‌اندازیم که در [۱۶] طراحی شده است. سلول پیشنهادی ۱۲ ترانزیستوری SRAM با عملکرد خواندن و نوشتن آن در بخش سه معرفی شده است. بخش چهارم نتایج شبیه‌سازی و مقایسه بین سلول پیشنهادی ۱۲ ترانزیستوری و سایر SRAM‌ها را نشان می‌دهد. سرانجام، نتیجه‌گیری در بخش پنجم آورده شده است.

۲- سلول حافظه ۶ ترانزیستوری معمولی

یک سلول حافظه ۶ ترانزیستوری SRAM در شکل (۱) نشان داده شده است. این سلول از دو اینورتر و دو ترانزیستور دسترسی (Q5 و Q6) تشکیل شده است. ترانزیستورهای دسترسی علاوه بر خطوط بیت (BL و BLB) برای عملیات خواندن و نوشتن استفاده می‌شوند. کلمه خط (WL) نیز برای فعال کردن خواندن و نوشتن به کار می‌رود.

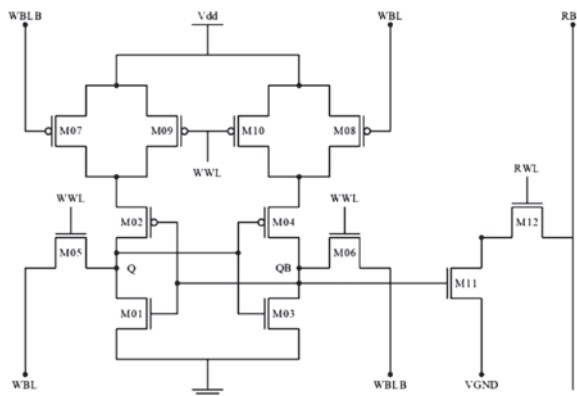


شکل ۱: سلول حافظه 6T1SRAM [۱۳]

طراحی مناسب سلول SRAM باید ویژگی‌های خواندن غیرمخرب

۳- سلول حافظه ۱۲ ترانزیستوری پیشنهادی

در ابتدا سلول ۱۲ ترانزیستوری معرفی شده در [۱۶] را معرفی می‌کنیم که دارای خط خواندن و نوشتن مجزا است. همان‌طور که در شکل (۴) نشان داده شده است، گره‌های ذخیره‌سازی Q و QB داده‌ها را توسط ترانزیستورهای M1 از طریق M4 نگه می‌دارند که به صورت یک جفت اینورتر متقاطع مرتب شده‌اند. ترانزیستورهای M7 از طریق M10 سوئیچ‌های ساخت سازنده را به عنوان دو جفت دستگاه PMOS تعریف می‌کنند. این ترانزیستورها در حالت نوشتن خاموش هستند و باعث افزایش ولتاژ عرضه از Q و QB می‌شوند تا ثبات نوشتن را افزایش دهند. سوئیچ‌های دسترسی از ترانزیستورهای M5 و M6 به عنوان سلول معمولی شش ترانزیستوری تشکیل شده است. دو ترانزیستور M11 و M12 یک پورت خواندن را مانند سلول معمولی 8T SRAM در [۱۷] تشکیل می‌دهند.



شکل ۴: سلول حافظه ۱۲ ترانزیستوری مورد مقایسه [۱۶]

شکل (۵) سلول پیشنهادی ۱۲ ترانزیستوری را نشان می‌دهد. همان‌طور که نشان داده شده است، خطوط خواندن و نوشتن سلول (BL و BLB) رایج هستند و دو ترانزیستور سری (MNL1، MNL2 و MNR1، MNR2) در هر طرف خطوط BL و BLB برای عملیات خواندن استفاده می‌شوند. مسیرهای مستقل خواندن و نوشتن، سلول را قادر می‌سازد ترانزیستورهای دسترسی خواندن به اندازه خود برای عملیات خواندن و ترانزیستورهای نوشتن به بیشترین اندازه برای دسترسی به اینترتورها را برای عملیات نوشتن انتخاب کنیم. خط خواندن از ۴ ترانزیستور تشکیل شده است که از هر طرف دارای دو NMOS هستند و BL و BLB را در عملکرد خواندن به گره‌های داخلی متصل می‌کنند. دو ترانزیستور دیگر در بالا و پایین مدار با نام‌های MND و MPU برای افزایش سرعت و SNM سلول اضافه شده‌اند. در ادامه مقاله وظیفه هر ترانزیستور را در عملیات خواندن و نوشتن توضیح می‌دهیم.

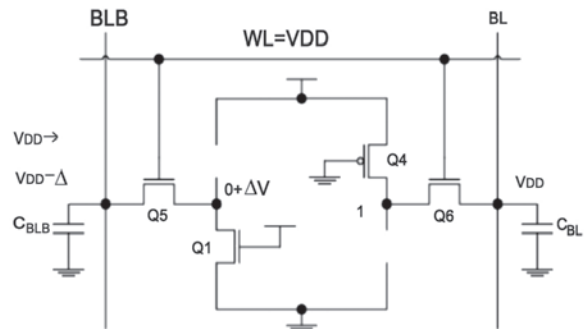
الف) عملیات خواندن در سلول حافظه پیشنهادی

همان‌طور که در شکل (۶) نشان داده شده است، عملکرد خواندن توسط سیگنال RWL فعال می‌شود. قبل از فعال کردن RWL، خطوط BL و BLB از قبل به اندازه VDD شارژ می‌شوند. اگر «۰» و «۱» به ترتیب در Q و QB ذخیره شوند، RWL فعال شود، در مسیر سمت چپ خط BL توسط MNL1، MNL2 به «۰» تخلیه می‌کند و BL در حالت High باقی می‌ماند. بنابراین خروجی (BL) تخلیه می‌شود

و ویژگی‌های قابل اعتماد نوشتن را در نظر بگیرد. با این حال، این دو ویژگی الزامات متناقض را بر اندازه سلول تحمیل می‌کنند [۱۵]. در ادامه، خصوصیات ذکر شده در سلول حافظه شش ترانزیستوری معمولی را مطالعه می‌کنیم.

الف) عملیات خواندن در 6T SRAM

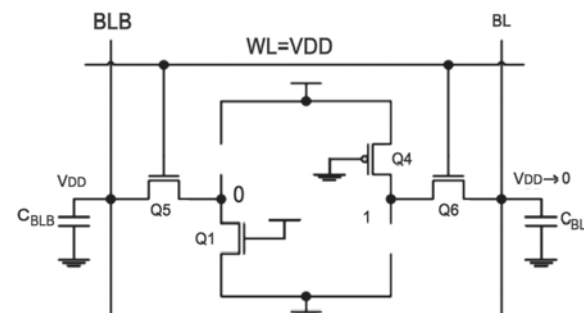
در فرآیند خواندن، خطوط بیت (BL و BLB) به VDD شارژ می‌شوند. پس از آن، WL روی حالت High تنظیم شده و خطوط بیت را به گره‌های داخلی سلول وصل می‌کند. به عنوان مثال، همان‌طور که در شکل (۲) نشان داده شده است، هر دو طرف Q6 دارای ولتاژ یکسان هستند. بنابراین، BL بدون تغییر باقی می‌ماند. اما، به دلیل اختلاف ولتاژ بین دو طرف Q5، تخلیه گره BLB از طریق ترانزیستورهای Q1 و Q5 به «۰» می‌رسد. بنابراین، در عملیات خواندن، گره‌های داخلی ولتاژ انتقال سلول به خطوط BL و BLB را انجام می‌دهند.



شکل ۲: ساده سازی عملیات خواندن در سلول 6T SRAM [۱۳]

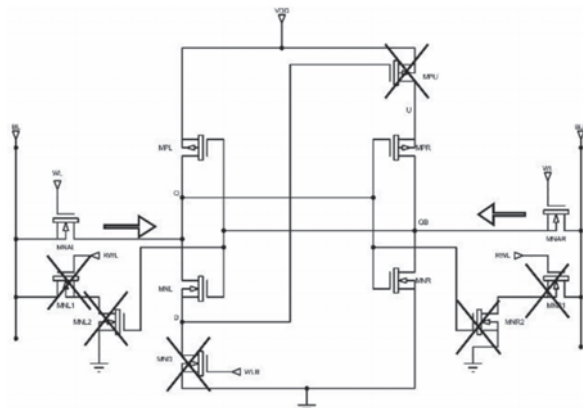
ب) عملیات نوشتن در 6T SRAM

جهت فعلی در عملیات نوشتن بر خلاف عملیات خواندن است. به عنوان مثال همان‌طور که در شکل (۳) نشان داده شده است. فرض کنید مقدار منطقی یک در سلول ذخیره شده است و می‌خواهیم مقدار منطقی صفر در سلول نوشته شود. در نتیجه، گره‌های BL و BLB به ترتیب روی منطق‌های «۱» و «۰» تنظیم می‌شوند و WL به مقدار High متصل می‌شود. بنابراین، BL از طریق Q6 به اولین گره داخلی متصل می‌شود و منطق ۱ را برای آن ارسال می‌کند. همچنین، از طریق Q5 به گره داخلی دیگر متصل شده و منطق صفر را برای آن ارسال می‌کند. بنابراین، در عملیات نوشتن، منطق خطوط BL و BLB به گره‌های داخلی سلول منتقل می‌شود.

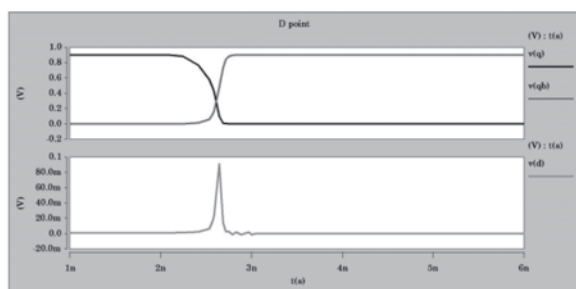


شکل ۳: ساده سازی عملیات نوشتن در سلول 6T SRAM [۱۳]

در حالت نوشتن است، ترانزیستور MND و MPU خاموش هستند و خط WLB صفر است تا MND را خاموش کرده و خط را به GND قطع کند و البته با قطع کردن ارتباط توسط ترانزیستور MPU به VDD غیر قابل دستیابی خواهد بود و بهترین زمان برای نوشتن بیت در سلول SRAM است. همانطور که در شکل ۸ نشان داده شده است، هنگامی که سلول در حال نوشتن صفر در سلول است، ترانزیستور MPU خاموش خواهد شد و خط را به VDD قطع می‌کند و نوشتن را سرعت می‌بخشد.

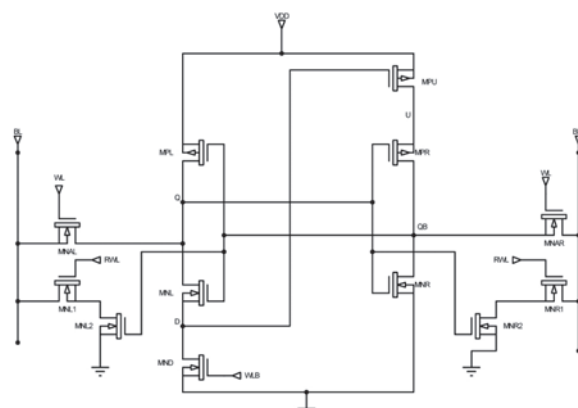


شکل ۷: عملیات خواندن در حافظه پیشنهادی

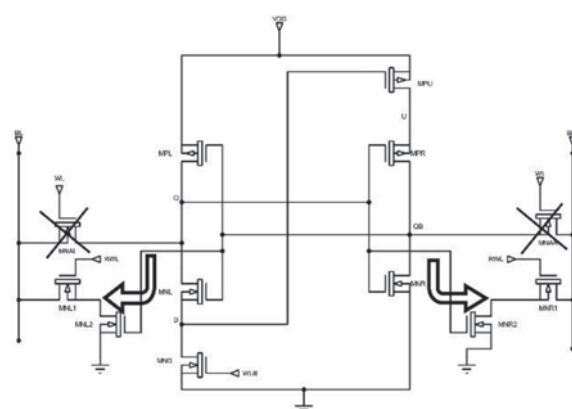


شکل ۸: نقطه D در عملیات خواندن حافظه پیشنهادی

و منطق صفر خوانده می‌شود. در مورد نقطه $Q = 1$ و $Q = 0$ ، مسیر سمت راست توسط ترانزیستورهای MNR2, MNR1 خط BLB را به مقدار صفر تخلیه می‌کند. بنابراین BL در وضعیت High باقی خواهد ماند و ۱ خوانده می‌شود. در خواندن سلول، ترانزیستورهای MPU و MND روشن هستند و VDD و GND را به اینورتر وصل می‌کنند. با این کار از خرابی اطلاعات ذخیره شده جلوگیری می‌شود. خط WLB مخالف خط WL است و ترانزیستور MND را در هنگام خواندن سلول نگه می‌دارد.



شکل ۵: سلول حافظه ۱۲ ترانزیستوری پیشنهادی



شکل ۶: عملیات خواندن در حافظه پیشنهادی

۴- نتایج و شبیه‌سازی

همه شبیه‌سازی‌ها و محاسبات در Hspice با تکنولوژی ۳۲ نانومتری CMOS طراحی و محاسبه شده‌اند. نتایج شبیه‌سازی مدار پیشنهادی با سلول حافظه شش ترانزیستوری معمولی و سلول ۱۲ ترانزیستوری [۱۶] مقایسه می‌شوند. همان‌طور که در شکل (۹) و (۱۰) مشاهده می‌شود، عملکرد خوانده شدن ۴.۲۵ نانوثانیه سریع‌تر از SRAM 12T قبلی و ۱.۳۴۸۷ نانوثانیه سریع‌تر از SRAM معمولی شش ترانزیستوری است، همچنین، حدود ۲۳ نانوات را مصرف می‌کند که بسیار پایین‌تر از سلول ۱۲ ترانزیستوری در [۱۶] است. این به دلیل ترانزیستورهای خط خواندن است که باید از عرض و طول زیادی برخوردار باشند تا بتوانند به درستی در سلول خوانده شوند.

همچنین تاخیر مدار در خواندن صفر، نوشتن صفر و یک پایین‌تر است که باعث می‌شود مدار ما با سرعت بالاتر کار کند. تنها استثناء در خواندن مقدار یک است که سلول ۱۲ ترانزیستوری قبلی دارای تاخیر کمتری است، که در واقع مقدار یک را با توجه به اینکه یک خط خواندن دارد همیشه ثابت در نظر گرفته می‌شود.

ب) عملیات نوشتن در سلول حافظه پیشنهادی

عملیات نوشتن با فعال کردن ترانزیستورهای MNAR و MNAL مطابق شکل (۷) انجام می‌شود. فرض کنید که «۱» در سلول حافظه ($Q = 1$ و $Q = 0$) ذخیره می‌شود و پردازنده می‌خواهد «۰» را در سلول بنویسد، در این حالت، خطوط BL و BLB به ترتیب «۰» و «۱» تنظیم می‌شوند و خط (WL) فعال می‌شود. در نتیجه، گره Q از طریق ترانزیستور MNAL به مقدار صفر تخلیه می‌شود و گره QB از طریق ترانزیستور MNAR به یک منتقل می‌شود. بنابراین، منطق صفر در سلول ذخیره می‌شود.

در نوشتن سلول، خط WLB صفر است که باعث می‌شود ترانزیستورهای MND و MPU خاموش شوند. بنابراین، خط MND زمین اینورتر را از GND قطع می‌کند و ترانزیستور MPU خط تغذیه را از VDD قطع کرده است. در این حالت، اینورتر ضعیف است و داده‌های جدید به راحتی قابل ارسال به سلول هستند. وقتی SRAM

است و مقدار نویز استاتیک خواندن را افزایش می‌دهند. در سلول حافظه ۱۲ ترانزیستوری قبلی با توجه به استفاده از یک خط خواندن مقدار Q تغییری ندارد و همیشه ثابت در نظر گرفته شده است و دارای SNM نامشخصی در خواندن نسبت به مدار پیشنهادی دارد. همانطور که در جدول (۱) نشان داده شده است، مصرف انرژی نوشتن «۰» و «۱» به SRAM 12T پیشنهادی ۴۲ و ۴۰ نانوات است که کمتر از سلول‌های بررسی شده ۱۲ ترانزیستور و شش ترانزیستوری است.

جدول ۱: نتایج مقایسه توان مصرفی مدار پیشنهادی با سلول 6T و 12T قبلی

Parameter	Conventional 6T SRAM	A robust 12T SRAM	Proposed 12T SRAM
Write 0(nw)	54	300	42
Write 1(nw)	56	307	40
Read 0(nw)	48	1035	23
Read 1(nw)	49	340	23

در جدول (۲) تاخیر در خواندن و نوشتن و یا همان سرعت عملکرد سلول پیشنهادی طراحی شده با سلول حافظه شش ترانزیستوری و ۱۲ ترانزیستور نشان داده شده است، سرعت سلول حافظه پیشنهادی در شرایط برابر با سلول ۱۲ ترانزیستوری طراحی شده در سال ۲۰۱۷ بهبود چشمگیری داشته است و حتی نسبت به سلول حافظه شش ترانزیستوری با توجه به دو برابر شدن تعداد ترانزیستورها نیز تاخیر آن همچنان کمتر است.

جدول ۲: مقایسه تاخیر در مدار پیشنهادی با سلول 6T و 12T قبلی

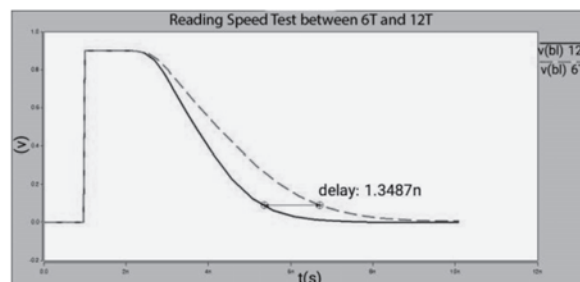
Parameter	Conventional 6T SRAM	A robust 12T SRAM	Proposed 12T SRAM
Delay Read 0 (nsec)	5.2	8.15	3.9
Delay Read 1 (nsec)	34.3	29.21	33
Delay Write 0 (nsec)	33.2	48.13	32
Delay Write 1 (nsec)	51.5	222.43	51

همان‌طور که در جدول (۳) آورده شده و در شکل (۱۲) نیز مشهود است، نویز استاتیکی خواندن در مدار پیشنهادی به‌طور کامل نسبت به دو مدار مقایسه شونده بهبود داشته است.

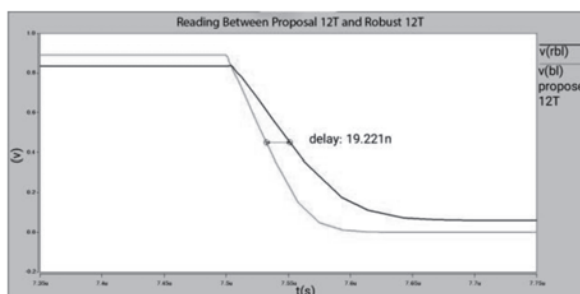
جدول ۳: مقایسه نویز استاتیکی خواندن و نوشتن در مدار پیشنهادی با سلول 6T و 12T قبلی

Parameter	Conventional 6T SRAM	A robust 12T SRAM	Proposed 12T SRAM
Write Static Noise Margin (v)	0.371	0.445	0.533
Read Static Noise Margin (v)	0.106	---	0.359

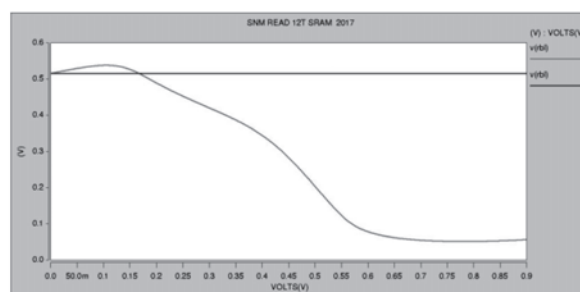
شکل (۱۳) و (۱۴) شبیه‌سازی SNM عملیات نوشتن را در سلول ۱۲ ترانزیستوری قبلی و مدار پیشنهادی ما نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است نوشتن SNM برای سلول حافظه ۱۲ ترانزیستوری



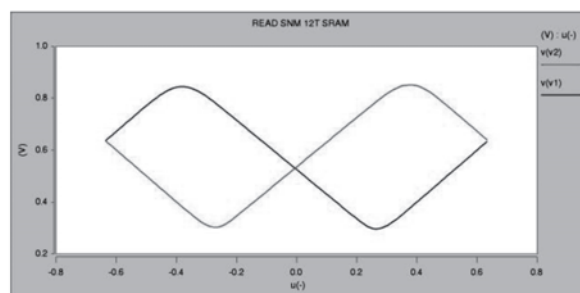
شکل ۹: تاخیر بین مدار پیشنهادی و سلول ۱۲ ترانزیستوری در [۱۶]



شکل ۱۰: تاخیر بین مدار پیشنهادی و سلول ۶ ترانزیستوری



شکل ۱۱: شبیه‌سازی SNM خواندن در ۱۲ ترانزیستوری در [۱۶]



شکل ۱۲: شبیه‌سازی SNM خواندن در ۱۲ ترانزیستوری پیشنهادی

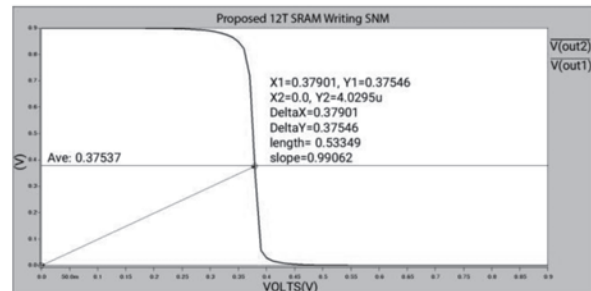
شکل (۱۱) و (۱۲) نمونه SNM را در سلول ۱۲ ترانزیستوری قبلی و مدار پیشنهادی ما نشان می‌دهد. همان‌طور که قابل مشاهده است، مدار ما دارای شکلی پروانه مانند است و مقدار آن ۰/۳۹۳ است، در حالی که RSNM برای مدار در [۱۶] به شکل پروانه‌ای نیست و در نتیجه، قابل محاسبه نیست.

در شکل (۱۱) با توجه به اینکه باید بال‌های منحنی به شکل مربع نزدیکتر باشند و کل صفحه را شامل شوند نتیجه حاصله بسیار بهتر

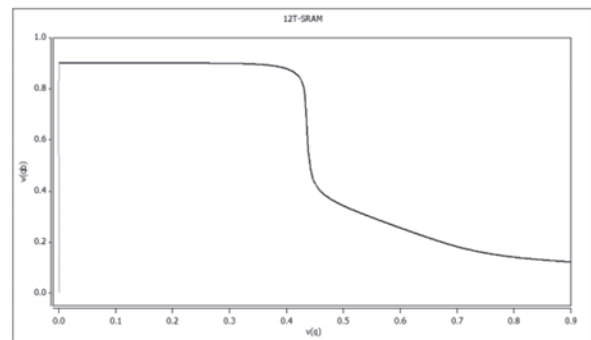
مراجع

- [1] G. Sery, S. Borkar, and V. De, "Life is CMOS: Why chase life after?" in Proc. IEEE Des. Autom. Conf., pp. 78–83, Jun. 2002.
- [2] V. Kursun and E. G. Friedman, Multi-Voltage CMOS Circuit Design. New York: pp. 242, John Wiley & Sons, 2006.
- [3] Neyaz Khan, William Winkler, "Special technology Report, Low Power Design - SCDsource STR LowPower", pp. 6, September 2008.
- [4] K. Zhang, N. Verma, A. P. Chandrakasan, "Embedded Memories for Nano-Scale VLSIs", Chapter 4: Ultra Low Voltage SRAM Design. Springer, 2009.
- [5] G. Pasandi and S. M. Fakhraie, "A new sub-threshold 7T SRAM cell design with capability of bit-interleaving in 90 nm CMOS," in proc. 21st Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE), pp. 1-6, 2013.
- [6] N. Verma, A. P. Chandrakasan, "A 256 kb 65 nm 8t subthreshold sram employing sense-amplifier redundancy", IEEE JSSC Vol. 43 No. 1 pp. 141–149, 2008.
- [7] M.-H. Tu, J.-Y. Lin, M.-C. Tsai, C.-Y. Lu, Y.-J. Lin, M.-H. Wang, H.-S. Huang, K.-D. Lee, W.-C. Shih, S.-J. Jou, et al., "A single-ended disturb-free 9t subthreshold SRAM with cross-point data-aware write word-line structure, negative bit-line, and adaptive read operation timing tracing", IEEE JSSC Vol. 47 No. 6 pp. 1469–1482 2012.
- [8] J. P. Kulkarni, K. Kim, K. Roy, "A 160 mv robust schmitt trigger based subthreshold sram", IEEE JSSC Vol. 42 No. 10 pp. 2303–2313, 2007.
- [9] J. Chen, L. T. Clark, T.-H. Chen, "An ultra-low-power memory with a subthreshold power supply voltage", IEEE JSSC Vol. 41 No. 10 pp. 2344–2353, 2006.
- [10] Y.-W. Chiu, Y.-H. Hu, J.-K. Zhao, S.-J. Jou, C.-T. Chuang, "A subthreshold sram with embedded data-aware write-assist and adaptive data-aware keeper", ISCAS IEEE, pp. 1014–1017, 2016.
- [11] Daf R. Aly and M. Bayoumi, "Low-power cache design using 7T SRAM cell," IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs, Vol. 54, No. 4, pp. 318–322, 2007.
- [12] G. Pasandi, E. Qasemi and S. M. Fakhraie, "A new low-leakage T-Gate based 8T SRAM cell with improved write ability in 90nm CMOS technology," in proc. 22nd Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE), pp. 382–386, 2014.
- [13] B. Zhai, D. Blaauw, D. Sylvester, and S. Hanson, "A Sub-200mV 6T SRAM in 0.13μm CMOS," in Proc. IEEE International Solid-State Circuits Conference, pp. 332–333, 2007.
- [14] G. Pasandi and S. M. Fakhraie, "A new VDD-and GND-floating rails SRAM with improved read SNM and without multi-level voltage regulator," in proc. 22nd Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE), pp. 377–381, 2014.
- [15] A. Pavlov and M. Sachdev, CMOS SRAM Circuit Design and Parametric Test in Nano-scaled Technologies, Springer, pp. 119 2008.
- [16] Jaeyoung Kim, Pinaki Mazumder, "A robust 12T SRAM cell with improved write margin for ultra-low power applications in 40 nm CMOS", Elsevier, Vol. 57, pp. 1–10 March 2017.
- [17] L. Chang et al., "Stable SRAM cell design for the 32 nm node and beyond," Digest of Technical Papers. Symposium on VLSI Technology, Kyoto, Japan, pp. 128–129, 2005,

پیشنهادی ۵۳۳، است در حالی که SNM برای سلول ۱۲ ترانزیستوری قبلی ۰،۴۴۵ است، که این نتایج نشان از بهبود عملکرد در سلول حافظه پیشنهادی دارد.



شکل ۱۳: شبیه سازی SNM نوشتن در ۱۲ ترانزیستوری قبلی

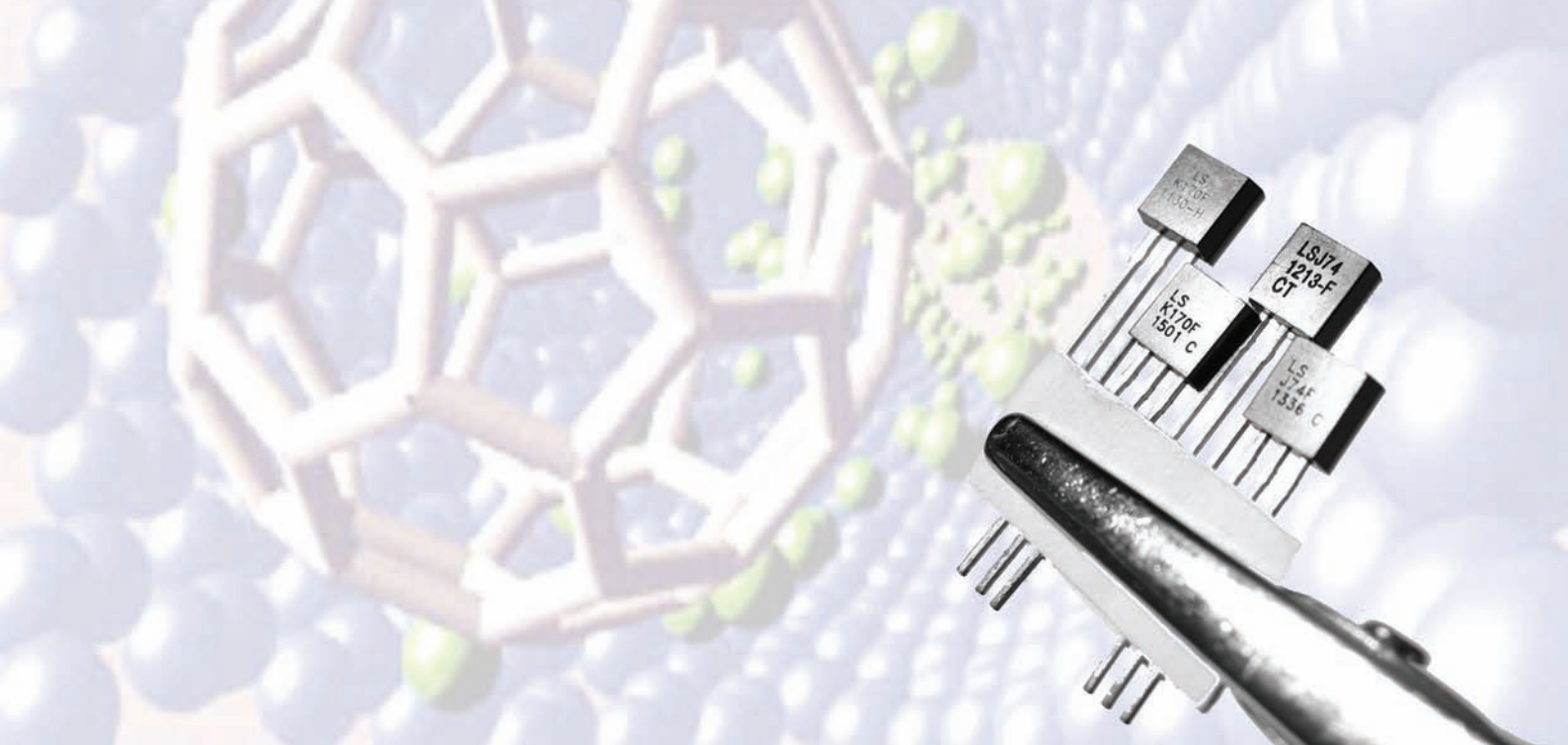


شکل ۱۴: شبیه سازی SNM نوشتن در ۱۲ ترانزیستوری قبلی

همان طور که در شکل (۱۳) مشخص است مقدار نمودار هنگام نوشتن به صفر نمی رسد که نشان از عملکرد بد سلول ۱۲ ترانزیستوری قبلی در نوشتن صفر دارد. اما این مشکل همان گونه که در شکل (۱۴) قابل مشاهده است به طور کامل در سلول حافظه پیشنهادی ما برطرف شده است.

۵- نتیجه گیری

ما یک سلول حافظه استاتیک جدید ۱۲ ترانزیستوری با مدار خواندن و نوشتن جداگانه پیشنهاد داده ایم. سلول پیشنهادی ۱۲ ترانزیستوری از انرژی کمتری برخوردار است و سرعت بالایی دارد و در عملیات خواندن و نوشتن پایدار است. هدف از پیشنهاد این مدار بهینه سازی دو پارامتر SNM و توان بوده است. به طوری که ترانزیستورهای MND و MPU موجب افزایش SNM نوشتن و ترانزیستورهای MNL1 و MNL2 و MNR1 و MNR2 موجب افزایش SNM خواندن می شوند. مدار ما با سلول ۱۲ ترانزیستوری قبلی و سلول شش ترانزیستوری معمولی مقایسه شده است. نتایج شبیه سازی در جدول (۱) نشان می دهند، که مدار ما در مقایسه با مدارهای قبلی از مصرف انرژی کمتری در خواندن و نوشتن مقدار صفر و یک در سلول حافظه برخوردار است. سرعت مدار در نوشتن «۱» و «۰» و خواندن «۱» نیز بهتر است. تنها استثنا در خواندن «۰» است که سلول ۱۲ ترانزیستوری قبلی سرعت بهتری داشت. همچنین این مدار پیشنهادی از SNM خواندن و SNM نوشتن بالاتری نسبت به سلولهای برخوردار است.



مقاله علمی-ترویجی

شبیه سازی ناپایداری ولتاژ آستانه (دریافت) در ترانزیستورهای اثر میدانی حساس به یون (ISFET) با گیت Al_2O_3 و تصحیح به روش کاشت یون

علی الیاسی/ گروه برق دانشکده فنی مهندسی/ واحد ساوه/ دانشگاه آزاد اسلامی/ ساوه - ایران / alielyasi@iau-saveh.ac.ir
شهریار جاماسب/ گروه مهندسی پزشکی/ دانشگاه صنعتی همدان/ همدان- ایران / jamasb@hut.ac.ir
نویسنده مسؤول*

چکیده

ناپایداری ولتاژ آستانه یا دریافت در یک ترانزیستور اثر میدانی حساس به یون (ISFET) به صورت یک تغییر زمانی یکسویه به نسبت کند در ولتاژ آستانه و در نتیجه در جریان درین پدیدار می شود که در غیاب نوسانات غلظت یون داده در محلول رخ می دهد. در این مقاله ساختار قطعه ISFET و ناپایداری ولتاژ آستانه بر اساس داده های تجربی و با استفاده از یک مدل فیزیکی برای دریافت با نرم افزار سیلوکو شبیه سازی شده است. علاوه بر این کاشت یونی به عنوان روشی برای خنثی کردن ناپایداری در ISFET معرفی شده است. این روش مبتنی بر تنظیم ولتاژ آستانه از طریق میزان کردن چگالی بار در لایه واسط نیمه هادی-عایق با استفاده از کاشت یونی است، چنان که بار الکتریکی خالص القا شده در نیمرسانا تا حد ممکن خنثی شود. روش پیشنهادی بصورت تحلیلی توجیه شده و بر اساس مشخصه یابی و مدلسازی فیزیکی دریافت در یک ISFET حساس به pH با عایق گیتی از جنس اکسید آلومینیوم (Al_2O_3) تأیید شده است. خنثی سازی دریافت در ISFET با استفاده از کاشت یونی همچنین به کمک شبیه سازی TCAD نشان داده شده است.

کلمات کلیدی: دریافت، کاشت یونی، ناپایداری، ISFET.

Simulation Threshold Voltage instability (Drift) in Ion selective Field Effect Transistor (ISFET) with Al_2O_3 Gate and Correct using Ion Implantation

Ali Elyasi/ Department of Electronic/ College of Engineering/ Saveh Branch/ Islamic Azad University/ Saveh, Iran/ alielyasi@iau-saveh.ac.ir
Shahriar Jamasb*/ Department of Biomedical Engineering/ Hamedan University of Technology/ Hamedan/ 65169, Iran/ jamasb@hut.ac.ir
*corresponding author

Abstract

In an ion-selective field effect transistors (ISFETs) Threshold-voltage instability or drift is manifested as a relatively slow, monotonic, temporal increase in the threshold voltage, and hence, in the drain current in absence of variations in the concentration of the given ion. In this work the ISFET device structure is modeled using Silvaco TCAD allowing simulation of the threshold voltage instability using the Silvaco's

ATLAS software based on a physical model for ISFET drift accounting for experimental drift data. In addition, ion implantation is introduced as a method for counteracting drift. This method is based on adjusting the threshold voltage by tuning the charge density at the insulator-semiconductor interface using ion implantation such that the net charge induced in the semiconductor at the operating point of the device is neutralized. The proposed method is analytically validated based on characterization and modeling of drift in an Al₂O₃-gate pH-sensitive ISFET. Counteraction of ISFET drift by ion implantation is also demonstrated using TCAD simulations.

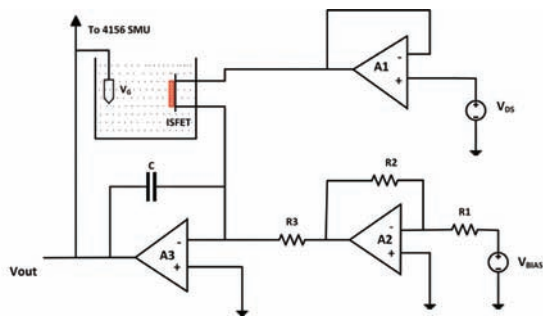
Keywords: Drift, Ion Implantation, ISFET, Instability

۱- مقدمه

همچنین روش‌های کاهش دررفت امکان دستیابی به نرخ‌های دررفت پایین مورد نیاز برای بازبینی پیوسته pH خون در داخل بدن را فراهم نمی‌کند [۹]-[۴].

۲- عملکرد ISFET در مد فیدبک

عملکرد ISFET به این صورت است که جریان درین برای ISFET مطابق شکل (۲) ثابت نگه داشته می‌شود که به وسیله ولتاژ اعمالی به گیت از طریق دو اتصال از نوع الکترود مرجع غوطه‌ور در محلول بافر انجام می‌شود.



شکل ۲: مدار استفاده شده برای بیان دررفت ISFET

با استفاده از فیدبک منفی، جریان درین ISFET، I_D و ولتاژ V_{DS} بدون بایاس بدنه V_{SB} در یک مقدار، ثابت نگه داشته می‌شود. یک تغییر کوچک در جریان درین dI_{DS} (ناشی از تغییر در محلول و یا دررفت) باعث تغییر در $dV_G = dV_{out} = g_m dI_D$ در خروجی آپامپ A_3 شده که در برگشت منجر به تغییر برابر در ورودی آپامپ A_3 می‌شود. در حالی که سورس ISFET در زمین واقعی می‌باشد جریان درین توسط منابع dc ولتاژ V_{DS} تعیین می‌شود و V_{BIAS} ثابت نگه داشته می‌شود. خروجی آپامپ A_3 که از ولتاژ فیدبک اعمالی به الکترود مرجع متصل شده است به طور مستقیم خوانده شده و توسط معادله نرنست به محلول مرتبط می‌شود.

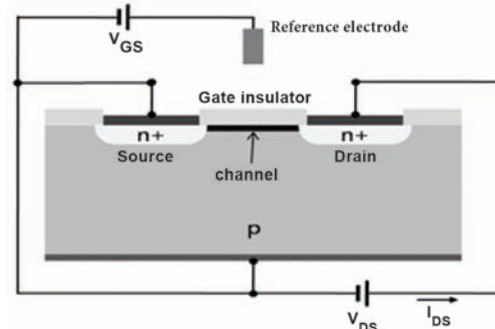
در این حالت یک نقطه بایاس ثابت به صورت اتوماتیک برای مشخصه $I_D - V_G$ ثابت نگه داشته می‌شود و فیدبک منفی به الکترود مرجع اعمال می‌شود. در این وضعیت معادله جریان درین در ناحیه خطی به صورت زیر می‌باشد:

$$I_D = \mu C_1 \frac{W_{eff}}{L_{eff}} \left[\left\{ V_{GS} - \left(E_{ref} - \psi_0 + \chi^{sol} + \frac{\Phi_{semi}}{q} - \frac{Q_I}{C_I} - \frac{Q_D}{C_I} + 2\phi_F \right) \right\} V_{DS} - \frac{1}{2} V_{DS}^2 \right] \quad (1)$$

که V_{GS} و V_{DS} ولتاژهای اعمالی به الکترود مرجع و الکترود درین هستند و الکترود سورس به زمین متصل شده است. W_{eff} و L_{eff} طول و عرض موثر قطعه، μ تحرک حامل‌ها، C_1 خازن عایق، E_{ref} مشخصه پتانسیل الکترود مرجع، ψ_0 پتانسیل سطح وابسته به غلظت، χ^{sol}

پیت برگولد ترانزیستور اثر میدانی حساس به یون (ISFET) را در سال ۱۹۷۰ برای سنجش‌های فیزیولوژی عصبی معرفی نمود [۱]. در ترانزیستور اثر میدان حساس به یون (ISFET) عایق گیت (FET) حساس به یون هیدروژن یا pH-ISFET و یا غشای حساس به یون که بر روی عایق گیت قرار می‌گیرد (شکل ۱) مانند غشاء حساس به یون پتاسیم به وجود یون حساسیت نشان می‌دهد و امکان اندازه‌گیری تغییرات کمی غلظت یون مورد نظر را بر حسب تغییرات رسانایی کانال FET می‌دهد.

در مقایسه با ترانزیستور MOSFET، در ترانزیستور ISFET گیت فلزی وجود ندارد. در ISFET‌های حساس به حضور یون هیدروژن در محلول الکترولیت، جذب هیدروژن روی سطح عایق گیت (برای مثال نیتريد سیلیسیوم یا اکسید آلومینیوم) که با الکترود در تماس است سبب مدوله شدن ولتاژ آستانه FET با تغییرات غلظت یون هیدروژن می‌شود.



شکل ۱: ساختار ترانزیستور ISFET در مد فیدبک

دقت بالای مورد نیاز برای بازبینی پیوسته pH خون، به طور مشخص محدودیت اکیدی را برای نرخ قابل تحمل دررفت در pH-ISFET ایجاد می‌کند. به عنوان مثال در بازبینی پیوسته pH خون در طی جراحی، بیشترین خطای قابل تحمل معادل ۰/۰۲ واحد pH در طول ۱۰ ساعت بدون نیاز به کالیبراسیون است [۲]. چنین دقتی میانگین نرخ قابل تحمل دررفت در ISFET را به ۰/۰۲ pH/hour محدود می‌سازد. با فرض آنکه ISFET پاسخ ایده‌آل نرنستی به نمایش بگذارد، حساسیت قطعه در دمای اتاق برابر با ۵۹ mVolts/pH خواهد بود، از این رو بیشترین خطا برابر با ۰/۰۲ pH/hour نیازمند بیشترین نرخ دررفت قابل تحمل به میزان (۵۹mV/pH) × (۰/۰۲ pH/hour) می‌باشد که معادل ۰/۱۲ mV/hour است. مقدار نوعی نرخ دررفت اولیه در یک pH-ISFET پس از قرار گرفتن سطح حسگر در معرض یک محلول آبی به مدت چندین ساعت در حدود ۱ mV/hour می‌باشد، در حالی که نرخ دررفت در دراز مدت از ۰/۱ mV/hour تجاوز نمی‌کند [۳]. از این‌رو در حال حاضر فن‌آوری ساخت قطعات ISFET و

سه خازن سری شده ناحیه اکسید ϵ_0/ϵ_{HL} ، خازن ناحیه آب پوشی شده $\epsilon_{HL}/x_{HL}(t)$ و خازن اکسید آلومینیوم باقیمانده $\epsilon_n/(x_n - x_{HL}(t))$ که ϵ_n و ϵ_{HL} به ترتیب دی الکتریک لایه اکسید، لایه اکسید آلومینیوم و ضخامت لایه آب پوشی شده می باشند. پس به بیان ساده داریم:

$$\Delta V_G(t) = -(Q_D + Q_I + Q_{inv}) \left(\frac{\epsilon_n - \epsilon_{HL}}{\epsilon_{HL} \epsilon_n} \right) x_{HL} \quad (9)$$

همان طور که بیان شد دریافت به طور مستقیم متناسب است با ضخامت لایه آبپوشی شده، بنابراین زمان دریافت به رشد این لایه وابستگی دارد.

ضخامت لایه آب پوشی شده با استفاده از قانون فیک و توسط نسبت شار به صورت زیر بیان می شود [۱۰]:

$$x_{HL}(t) = x_{HL}(\infty) \{1 - \exp[-\left(\frac{t}{\tau}\right)^\beta]\} \quad (10)$$

با جایگذاری معادله (۱۰) در رابطه (۹) ولتاژ دریافت گیت به بیان کلی، بدین صورت بدست می آید:

$$\Delta V_G(t) = -(Q_D + Q_I + Q_{inv}) \left(\frac{\epsilon_n - \epsilon_{HL}}{\epsilon_{HL} \epsilon_n} \right) x_{HL}(\infty) \{1 - \exp[-\left(\frac{t}{\tau}\right)^\beta]\} \quad (11)$$

۴- مشخصات فیزیکی قطعه

برای مطالعه رفتار دریافت از ترانزیستور ISFET کانال n که توسط جاماسب و همکاران [۱۰] ساخته شده، استفاده می شود. از فرآیند استاندارد CMOS گیت فلزی برای ساخت استفاده شده است. از ویفر سیلیکونی نوع n در جهت $\langle 100 \rangle$ با مقاومت $4-6 \Omega\text{-cm}$ به عنوان ماده زیر لایه در چاه p استفاده شده است، ناخالصی بور با غلظت 10^{16} cm^{-3} و در زیر لایه می باشد. نواحی سورس و درین با نفوذ فسفر به غلظت 10^{19} cm^{-3} و در عمق اتصال $1.15 \mu\text{m}$ ساخته شدند. طول کانال و عرض گیت ISFET مقدار $15 \mu\text{m}$ و $45 \mu\text{m}$ می باشد.

گسترش سورس و درین در طول کانال ترانزیستور، $500 \mu\text{m}$ هستند. دو لایه عایق شامل یک لایه 50 nm از 2SiO_2 رشد یافته در حرارت که در بالای آن یک لایه 65 nm از Al_2O_3 قرار دارد که با رسوب بخار شیمیایی استاندارد رسوب می کند.

مشخصات دریافت ISFET با گیت Al_2O_3 و کانال n مطابق با فرآیند معرفی شده در بالا اندازه گیری شد. مقادیر دریافت در دمای اتاق در حالت فیدبک و با استفاده از مدار شکل (۲) بدست آمد، مطابق شکل (۲) برای داشتن یک جریان درین ثابت، یک ولتاژ فیدبک به الکترولیت اعمال می شود. جریان درین ثابت $100 \mu\text{A}$ با استفاده از یک ولتاژ درین به سورس و با بایاس بدنه صفر تنظیم می شود.

۵- شبیه سازی قطعه و دریافت

رفتار دریافت ISFET با استفاده از TCAD برای ارزیابی روش پیشنهادی جبران دریافت در این مقاله شبیه سازی شد. به طور خاص، با استفاده از اطللس silvaco، ابتدا یک MOSFET با کانال N بدون گیت فلزی شبیه سازی شد که سطح مقطع و ابعاد یکسانی با ISFET ساخته شده داشت. ساختار الکترولیت - عایق با استفاده از روش ارایه شده توسط چونگ و همکاران [۱۱] شبیه سازی شد. از آنجایی که نرم افزار اطللس، شبیه سازی مستقیم الکترولیت را پشتیبانی نمی کند، محلول یونی در تماس با عایق به عنوان یک نیمه هادی ذاتی که دارای ثابت دی الکتریک نسبی برابر با آب است، تعریف شد ($\epsilon_r=80$). برای یک الکترولیت ۱ : ۱ مانند کلرید پتاسیم (KCl) توزیع بار در

پتانسیل دوقطبی سطح محلول، Φ_{semi} تابع کار نیمه هادی، Q_D بار ذخیره شده در لایه تخلیه نیمه هادی، Q_I بار موثر در واحد سطح که در نیمه هادی و توسط انواع مختلف بار که ممکن است در عایق باشند تحریک می شود، Φ_f پتانسیل فرمی که توسط غلظت ناخالصی بدنه تعیین می شود و q بار الکترون است.

از معادله (۱) مشهود است که جریان درین در صورتی ثابت نگه داشته می شود که:

$$d\psi_0(pH) = -dV_{GS} = dV_{out} \quad (2)$$

فرض می شود که بقیه پارامترها ثابت هستند.

اگر چه هنگامی که از فیدبک منفی استفاده می شود به جریان درین ثابت اجازه داده می شود تا به صورت اتوماتیک تغییر دیفرانسیلی در ولتاژ خروجی dV_{out} داشته باشد که توسط $g_m dI_D$ انجام می شود و dI_D معادل تغییر تفاضلی در جریان درین و ناشی از تغییر در محلول یا دریافت است. نهایتاً در pH-ISFET پتانسیل سطح وابسته به غلظت ψ_0 در مد نرست رفتار زیر را دارد:

$$\frac{d\psi_0}{dpH} = -\ln(10) \frac{kT}{q} \quad (3)$$

که K ثابت بولتزمن، T دمای مطلق می باشد و بنابراین خروجی این مدار اندازه گیری می تواند به طور مستقیم خوانده شود و تغییرات در pH را ارزیابی کند.

۳- دریافت

در یک ISFET که در مد فیدبک عمل می کند جریان درین با اعمال یک ولتاژ فیدبک جبران کننده (از طریق الکتروود مرجع) به محلول الکترولیتی ثابت نگاه داشته می شود. بنابراین تغییر زمانی در ظرفیت خازنی عایق ناشی از قرار گرفتن در معرض محلول الکترولیتی منجر به دریافت در ولتاژ فیدبک جبران کننده می شود [۱۰]. تغییر ولتاژ گیت را می توان به صورت زیر نوشت:

$$\Delta V_G(t) = V_G(t) - V_G(0) \quad (4)$$

و با توجه به ثابت بودن افت ولتاژ در داخل نیمه هادی در حالت فیدبک که در آن V_{FB} ولتاژ نوار تخت و از رابطه زیر بدست می آید:

$$\Delta V_G(t) = [V_{FB}(t) - V_{FB}(0)] + [V_{ins}(t) - V_{ins}(0)] \quad (5)$$

$$V_{FB} = E_{ref} - \psi_0 + \chi^{sol} + \frac{\Phi_{semi}}{q} - \frac{Q_I}{C_I} \quad (6)$$

و V_{ins} افت ولتاژ در سرتاسر عایق که برابر است با:

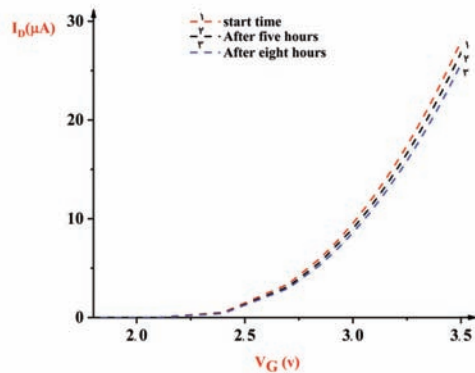
$$V_{ins} = \frac{-(Q_D - Q_{inv})}{C_I} \quad (7)$$

در رابطه بالا Q_D برابر با بار ذخیره شده در لایه ی تخلیه نیمه هادی و Q_{inv} برابر با بار ذخیره شده در ناحیه ی وارونگی می باشد و حال اگر PH و درجه حرارت و قدرت یونی ثابت باشد، با قرار دادن رابطه (۶) و (۷) در رابطه (۵)، پارامترهای ψ_0 ، E_{ref} و Φ_{semi} حذف شده و رابطه (۵) را دوباره بازنویسی می کنیم:

$$\Delta V_G(t) = -(Q_D + Q_I + Q_{inv}) \left[\frac{1}{C_I(t)} - \frac{1}{C_I(0)} \right] \quad (8)$$

برای یک ISFET که از دو لایه دی الکتریک که لایه پایینی از SiO_2 با ضخامت x_0 و لایه بالایی از جنس Al_2O_3 با ضخامت x_n تشکیل شده است، که $\text{Cl}(0)$ شامل خازن های سری شده در ناحیه اکسید ϵ_0/ϵ_{HL} و خازن اکسید آلومینیوم اولیه ϵ_n/x_n می باشد و $\text{Cl}(t)$ نیز شامل

دادن فلز پلاتین به عنوان الکترود مرجع، شبیه سازی لایه آب دیده و لحاظ نمودن تمامی موارد تاثیر گذار بر این قطعه کامل می شود جهت مشاهده در یفت ولتاژ آستانه مشخصه جریان درین - ولتاژ گیت قطعه را بدست می آوریم. در مشخصه نمودار (۱) مشاهده می شود که با گذشت زمان و تغییر لایه آب دیده و لایه حساس به یون، ولتاژ آستانه تغییر کرده و در یفت اتفاق می افتد.



نمودار ۱: تغییر ولتاژ آستانه (در یفت) با گذشت زمان

۶- کاهش در یفت از طریق تنظیم میزان بار الکتریکی

مدل فیزیکی برای در یفت ISFET نشان می دهد که با محدود کردن بار نیمه هادی خالص با نزدیک شدن به صفر می توان در یفت را کاهش داد. به طور ایده آل، به منظور از بین بردن در یفت ولتاژ، چگالی بار نیمه هادی خالص، Q_s باید برابر با صفر تنظیم شود. این کار را می توان به سادگی با تنظیم چگالی بار واسط با استفاده از کاشت یونی انجام داد. اگر مقادیر Q_{inv} و Q_{di} داده شوند چگالی بهینه بار تخلیه با تنظیم کاشت، Q_D را می توان براساس رابطه زیر برای صفر کردن بار در نیمه رسانا محاسبه کرد.

$$Q_D + Q_i + Q_{inv} = 0 \quad (12)$$

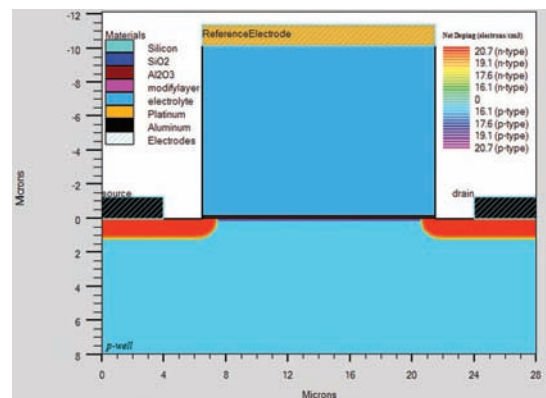
مقدار بهینه کاشت می تواند با استفاده از مقدار حاصله برای چگالی بار لایه تخلیه تخمین زده شود. به منظور تعیین تاثیر کاشت در چگالی بار فضایی، توزیع ناخالصی کاشته شده پس از مرحله پخت ممکن است با توزیع بسته تقریب زده شود که در آن چگالی ناخالصی مقدار ثابت N_{di} از سطح تا عمق x_i دارای مقدار ثابت فرض می شود. مقدار کاشت N^- cm^{-2} نشان دهنده آن است که توسط رابطه $N^- = N_{di} \times x_i$ بدست می آید. ایجاد تعادل بار منفی مربوط به ناحیه بار فضایی و لایه وارونگی در یک ISFET کانال n نیاز به کاشت ناخالصی نوع دهنده دارد تا بار خالص نیمه هادی صفر بدست آید. اگر ناحیه کاشته شده به طور کامل در ناحیه بار فضایی در نزدیکی سطح باشد، فرض یک توزیع تقریبی برای یون های کاشته شده اجازه می دهد که تقریب تخلیه طبق معادله زیر برای چگالی بار تخلیه در غیاب بایاس بدنه برگردد [۱۲].

$$Q_D = qN_{di}x_i - qN_ax_{dmax} = qN' - \sqrt{2qN_a\epsilon_s(|\phi_{ns}| + |\phi_p|)} + q^2x_iN_aN' \quad (13)$$

که q بار الکترون، x_{dmax} بیشترین عرض لایه تخلیه، N_a نشان دهنده غلظت ناخالصی چاه p در یک ISFET کانال n ϕ_{ns} تعیین پتانسیل سطح فرمی متناظر با چگالی نوع دهنده توسط معادله زیر است:

$$\phi_{ns} = \left(\frac{kT}{q}\right) \ln\left(\frac{n_i}{N_{di}-N_a}\right) \quad (14)$$

لایه دوگانه الکتریکی معادله پواسون-بولتزمن را می توان با استفاده از معادله پواسون بیان کرد که توزیع بار را توصیف می کند [۱۱]. در نیمه هادی ذاتی دو معادله تحت شرایطی هستند که اجازه توزیع Fermi-Dirac برای الکترون ها و حفره ها را می دهد تا با استفاده از توزیع ماکسول-بولتزمن تخمین زده شوند. شکاف انرژی نواری را 1.5 eV برای نیمه هادی ذاتی قرار داده و به منظور مشخص کردن غلظت یونی چگالی حالات مجاز برای نیمه هادی ذاتی، چگالی حفره ها و الکترون ها را برابر با غلظت مولار یون های مثبت و منفی در محلول در نظر می گیریم. در ادامه روشی که توسط چونگ و همکاران [۱۱] معرفی شد، الکترون خواهی (χ_e) نیمه هادی ذاتی طوری تعیین شد تا یک تناسب خوب بین مقادیر شبیه سازی شده و اندازه گیری شده بدست آید. مقطعی از ترانزیستور شبیه سازی شده در شکل (۳) نشان داده شده است که پروفایل ناخالصی در قالب کدگذاری شده را نشان می دهد. همان طور که نشان داده شده، پلاتین به عنوان الکترود مرجع مورد استفاده قرار گرفت.



شکل ۳: ترانزیستور شبیه سازی شده با سیلواکو

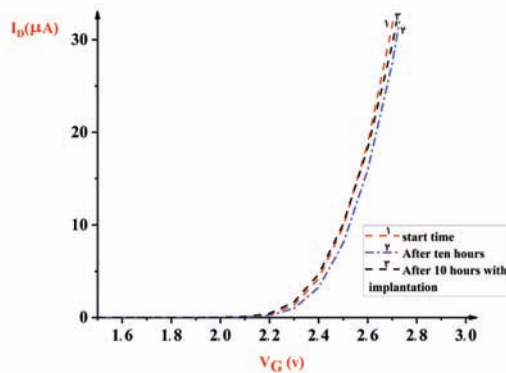
جهت شبیه سازی پدیده در یفت با استفاده از رابطه (۱۰) ضخامت لایه آب پوشی شده را برای ساعات مختلف بدست آوردیم که جدول (۱) این مقادیر را نشان می دهد.

جدول ۱: مقادیر لایه ها در ساعات مختلف

زمان (ساعت)	ضخامت لایه Al_2O_3 (انگسترم)	ضخامت لایه Modiflayer (انگسترم)
۱	۱۰۹۱,۴	۴,۵۵
۲	۱۰۸۶,۹۸	۵,۸۱
۳	۱۰۸۳,۵۲	۶,۶۴
۴	۱۰۸۰,۷۹	۷,۲۷
۵	۱۰۷۸,۱۶	۷,۷۵
۶	۱۰۷۵,۸۵	۸,۱۶
۷	۱۰۷۳,۹	۸,۴۷
۸	۱۰۷۱,۹	۸,۸۰
۹	۱۰۷۰	۹,۰۷
۱۰	۱۰۶۹	۹,۳۱

با مقادیر بدست آمده، لایه اکسید آلومینیوم و لایه آب پوشی شده را در قطعه شبیه سازی شده با نرم افزار سیلواکو قرار داده و برای هر مقدار مشخصه جریان درین - ولتاژ گیت را بدست می آوریم. پس از شبیه سازی کامل قطعه ISFET که با مدل نمودن محلول، قرار

بهتر برای N' عمل کند. بنابراین نتایج شبیه‌سازی قطعه نه تنها با رفتار دریافت پیش‌بینی شده توسط مدل فیزیکی کمی برای دریافت همخوانی دارد، بلکه روش پیشنهادی را برای تاثیر تصحیح دریافت بر مبنای تنظیم چگالی بار الکتریکی با استفاده از کاشت یونی تایید می‌کند.



نمودار ۲: اثر کاشت یون در تنظیم ولتاژ آستانه

مراجع

- [1] P. Bergveld, "Development of an ion-sensitive solid-state device for neurophysiological measurements," IEEE Trans. Biomed. Eng., vol. BME-17, no. 1, pp. 70–71, Jan. 1970.
- [2] Begveld, P., Sibbald, A., "Comprehensive Analytical chemistry", vol. xxiii, Elsevier science Publishers B.V., Amsterdam, 1988.
- [3] J. Bausells, J. Carrabina, A. Errachid, and A. Merlos, "Ion-sensitive eld-e ct transistors fabricated in a commercial cmos technology" Sensors and Actuators B: Chemical, vol. 57, no. 1-3, pp. 56-62, 1999.
- [4] S. Jamasb, "An analytical technique for counteracting drift in ionselective field effect transistors (ISFET's)," IEEE Sensors J., vol. 4, no. 6, pp. 795–801, Dec. 2004.
- [5] M. P. Das and M. Bhuyan, "Drift and temperature compensation scheme for an intelligent ion-sensitive field effect transistor sensorysystem," in Proc. 5th Int. Conf. Comput. Devices Commun. (CODEC), pp. 1–4, 2012.
- [6] B. Premanode, N. Silawan, and C. Toumazou, "Drift reduction in ion-sensitive FETs using correlated double sampling," Electron. Lett., vol. 43, no. 16, pp. 857–859, Aug. 2007.
- [7] S. Shah and J. B. Chrsite, "Pulse width modulation circuit for ISFET drift reset," in Proc. IEEE Sensors Conf., Baltimore, MD, USA, pp. 1–4, 2013.
- [8] M. Kalofonou and C. Toumazou, "A low power sub-μW chemical gilbert cell for ISFET differential reaction monitoring," IEEE Trans. Biomed. Circuits Syst., vol. 8, no. 4, pp. 565–574, Aug. 2014.
- [9] K. Mukai et al., "Growth of a sputtered Ta2O5/ZnO film and its application to an ion-sensitive field-effect transistor," in Proc. IEEE, Int. Meeting Future Electron Devices, Suita, Japan, pp. 46–47, 2013.
- [10] S. Jamasb, S. D. Collins, and R. L. Smith, "A physical model for threshold voltage instability in Si3N4-gate H+-sensitive FET's (pH ISFET's)," IEEE Trans. Electron Devices, vol. 45, no. 6, pp. 1239–1245, Jun. 1998.
- [11] I.-Y. Chung et al., "Simulation study on discrete charge effects of SiNW biosensors according to bound target position using a 3D TCAD simulator," Nanotechnology, vol. 23, no. 6, Feb. 2012, Art. no. 065202.
- [12] R. S. Muller and T. I. Kamins, Device Electronics for Integrated Circuits, 2nd ed. New York, NY, USA: Wiley, 1986, ch. 9.
- [13] R. S. Muller and T. I. Kamins, Device Electronics for Integrated Circuits, 2nd ed. New York, NY, USA: Wiley, 1986, ch. 2.

و ϕ_p پتانسیل فرمی بدنه است که به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\phi_p = \left(\frac{kT}{q} \right) \ln \left(\frac{N_a}{n_i} \right) \quad (15)$$

که T و n_i ثابت بولتزمن، دمای مطلق و غلظت حامل‌های ذاتی هستند. اعمال یک انرژی کاشت کم اطمینان می‌دهد که عمق توزیع یون‌های کاشته شده از بیشینه عرض ناحیه تخلیه کم‌تر است $x_i < x_{dmax}$. مقدار معادل با دو برابر بازه پیش‌بینی شده، R_p با انرژی کاشت داده شده ممکن است به عنوان مقدار معقولی برای x_i به کار گرفته شود. با مقدار مناسب انتخاب شده برای x_i دوز بهینه کاشت N' را می‌توان با جایگزین کردن معادله (۱۲) در (۱۳) و مقدار Q_D را بدست آورد.

۷-نتایج

پارامترهای شناخته شده گذردهی نسبی Al_2O_3 مقدار $(\epsilon_{AO})_f = 8.5$ و $Q_D = -4.8 \times 10^{-8} \text{ Ccm}^{-2}$ و چگالی بار وارون متناظر با جریان درین $Q_{inv} = -5.6 \times 10^{-8} \text{ Ccm}^{-2}$ است.

پارامتر استخراج شده از داده‌های دریافت اندازه‌گیری شده مشخص می‌کند، چگالی بار مثبت ثابت بین واسط اکسید-سیلیکون $Q_f = 7.47 \times 10^{-4} \text{ Ccm}^{-2}$ ، ضریب دی‌الکتریک نسبی لایه تغییر یافته $(\epsilon_{SL}) = 1.7$ ، پارامتر پراکندگی $\beta = 0.458$ و ضخامت نهایی لایه سطحی اصلاح شده $x_{SL}(\infty) = 13.39 \times 10^{-8} \text{ cm}$ است. مقدار بهینه کاشت N' می‌تواند به گونه‌ای تعیین شود که بار خالص نیمه‌هادی ناپدید شود. با استفاده از فسفر به عنوان ناخالصی نوع دهنده برای کاشت یونی با انرژی کاشت 16.25 KeV و عمق نفوذ یون‌های کاشته شده $R_p = 20 \text{ nm}$ می‌باشد [۱۳]. با انتخاب $x_i = 40 \text{ nm}$ ، N' را می‌توان با آزمون و خطا از معادلات (۱۲) و (۱۳) تعیین کرد. به طور خاص، در دمای اتاق ($T = 300^\circ \text{ K}$)، $n_i = 1.45 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ ، پتانسیل فرمی بدنه $\phi_p = 0.35 \text{ V}$ برای $N_a = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ با $\epsilon_s = 11.7 \times 8.85 \times 10^{-14} \text{ F/cm}$ بر اساس معادلات (۱۲) و (۱۳) مقدار $N' = 6.58 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ بدست می‌آید. روش پیشنهادی برای تصحیح دریافت ISFET با شبیه‌سازی قطعه به وسیله نرم‌افزار ATLAS نیز تایید شد. تغییر در دریافت ولتاژ آستانه در پاسخ به مقادیر مختلف کاشت یونی تعیین شد تا تاثیر سازگاری آستانه -تنظیم کاشت یونی در تصحیح دریافت ISFET را تایید کند. نمودار (۲) سه مشخصه $I_D - V_G$ شبیه‌سازی شده مربوط به ISFET پس از قرار گرفتن اولیه در الکترولیت، بعد از قرار گرفتن در طول یک بازه ۱۰ ساعته و بعد از قرار گرفتن در طول یک بازه ۱۰ ساعته با کاشت یونی جهت تنظیم ولتاژ آستانه را نشان می‌دهد که مشخصه دوم جریان-ولتاژ به سمت راست حرکت کرده و باعث تغییر ولتاژ آستانه و ناپایداری می‌شود، اما با کاشت یونی و مقدار دوز $3.25 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ و با گذشت ۱۰ ساعت از قرار گرفتن در الکترولیت مشخصه جریان-ولتاژ سوم ISFET به حالت اولیه بازگشته و ناپایداری ولتاژ آستانه (دریافت) از بین می‌رود. تغییر زمانی شبیه‌سازی شده در نمودار (۲) با اندازه دریافت اندازه‌گیری شده همخوانی دارد که نشان‌دهنده دریافت ولتاژ آستانه حدود 50 mV در فاصله ۱۰ ساعت است و همچنین جهت صحیح دریافت را نشان می‌دهد.

علاوه بر این، نمودار (۲) یک پیوند یونی سازگار با استفاده از مقدار بهینه $3.25 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ که براساس شبیه‌سازی ATLAS تعیین شده و همچنین حذف دریافت را نشان می‌دهد. از آنجا که دوز بهینه تحلیلی N' براساس تقریب توزیع برای یون‌های کاشته شده به دست می‌آید، مقدار شبیه‌سازی شده $3.25 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ با استفاده از توزیع‌های دقیق‌تر، مانند توزیع گوسین می‌تواند به عنوان یک برآورد

تحلیل و بررسی تصویر گفتاری فارسی با استفاده از شبکه‌های ارتباط مغزی مبتنی بر سیگنال‌های EEG

کنترل عصبی عاطفی تطبیقی و پایدار برای سیستم‌های کنترلی چندکارگزاره غیرخطی نامعین خطی-ورودی

حمد امین بخشعلی

استادیاراهنما: دکتر مرتضی خادمی، دکتر عباس ابراهیمی مقدم
دانشگاه فردوسی مشهد

فهیمة باغبانی

استادیاراهنما: دکتر محمدرضا اکبرزاده توتونچی، دکتر محمد باقر مسیبی سیستانی
دانشگاه فردوسی مشهد

انسان‌ها در زندگی روزمره از ارتباط‌های کلامی بسیاری استفاده می‌کنند، در حالی که تعداد زیادی از افراد معلول و بیمار، مانند بیماران ALS و بیماران سرطانی حلق و حنجره در بیان افکار خود عاجز هستند. به همین منظور واسطه‌های مغز-رایانه (BCI) برای کمک به این افراد در حال توسعه می‌باشند. تصور گفتاری (گفتار پنهان) می‌تواند اساس بسیاری از سامانه‌های BCI را تشکیل دهد؛ یعنی فرد تنها با تفکر در مورد گفتاری که نمی‌تواند بیان کند، دستوری به سامانه BCI بدهد. تشخیص تصور گفتاری با استفاده از سیگنال EEG، از نظر سهولت ثبت سیگنال و غیرتهاجمی بودن آن در مقایسه با سایر روش‌ها نظیر ECoG روش بسیار مناسب‌تری است، ولی با این حال پایین بودن SNR سیگنال‌های EEG در وظایف ذهنی مغز، اختلاط بین منابع سیگنال EEG در مغز و مشکل تفکیک الگوی سیگنال مغزی بین وظایف مختلف در تصور گفتاری، مهم‌ترین چالش‌های این پژوهش هستند. در این پژوهش به منظور توسعه سامانه‌های BCI، تصور گفتاری افراد فارسی‌زبان مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. همچنین از اهداف این پژوهش، یافتن نواحی فعال مغز و توسعه شبکه ارتباط مغزی در حین تصور گفتاری فارسی مبتنی بر سیگنال EEG بود. طراحی آزمایشی برای تشخیص تصور گفتاری در افراد فارسی‌زبان و ثبت سیگنال EEG و تولید یک مجموعه‌ای داده از دیگر اهداف این پژوهش بود. در راستای اهداف این پژوهش، شبکه ارتباط مغزی عملکردی مبتنی بر چگالی طیفی کورآنتروپی ارایه شد و ارتباط نواحی مغز و تعامل آناتومیکی و عملکردی آن‌ها با یکدیگر، در حین تصور گفتار فارسی بررسی گردید. با استفاده از این شبکه ارتباط مغزی، می‌توان نویزهای غیرگوسی و گوسی بیشتری را رفع کرد. ماتریس‌های چگالی طیفی کورآنتروپی در این پژوهش تعریف شد و فاصله این ماتریس‌ها از هم به‌عنوان ویژگی برای طبقه‌بندی استفاده گردید. به دلیل ماهیت مثبت-معین این ماتریس‌ها، از هندسه ریمانی برای یافتن فاصله میان آن‌ها استفاده شد. در نهایت با استفاده از یک روش طبقه‌بندی غیرخطی نظیر SVM کرنلی، طبقه‌بندی انجام گرفت. نتایج نشان می‌دهد که تفاوت معناداری (با مقدار p-value کمتر از ۰/۰۵) بین الگوهای ارتباطی و همچنین فعالیت الکتریکی کانال‌های مختلف EEG در حین تصور گفتاری و حالت پایه وجود دارد و همچنین دقت طبقه‌بندی سیگنال EEG در حین تصور گفتاری برای واکه‌های فارسی به‌صورت میانگین در ۸ نمونه مورد آزمایش، ۸۸/۱ درصد گزارش شد. از دیگر یافته‌های این پژوهش، دقت طبقه‌بندی مناسب (۹۵/۴ درصد) در واکه‌هایی با تمایز تلفظی بالا نظیر (ا/او) می‌باشد. نتایج عملی طبقه‌بندی تصور گفتاری با استفاده از روش پیشنهادی با سایر روش‌های متداول مقایسه گردید و برتری روش پیشنهادی در دقت طبقه‌بندی نشان داده شد.

کلمات کلیدی:

تصور گفتاری، سیگنال EEG، چگالی طیفی کورآنتروپی، شبکه ارتباط مغزی، طبقه‌بندی

کنترل‌کننده‌های عاطفی دارای مزیت‌هایی همچون عدم نیاز به دانستن مدل ریاضی سیستم، سرعت بالا و سادگی ساختار می‌باشند. اما به طور عموم برای مسایل خاص و بدون پرداختن به مسایل نظری همچون پایداری طراحی شده‌اند و بکارگیری آن‌ها در سیستم‌های کنترلی چندکارگزاره در گام‌های ابتدایی خود می‌باشد. برای رفع مشکلات حاضر، در این رساله به تحلیل کامل‌تری از ساختارهای کنترلی عاطفی پرداخته شده است. بدین منظور ابتدا شبکه عصبی عاطفی پایه شعاعی (RBENN) و سپس شبکه عصبی عاطفی پایه شعاعی پیوسته (CRBENN) معرفی شده‌اند. هر دو شبکه دارای ساختار کلی مدل‌های پایه عاطفی می‌باشند اما برخلاف مدل‌های پایه عاطفی که تالاموس در آن‌ها یک تابع واحد است؛ دارای توابع پایه شعاعی در گره‌های تالاموس می‌باشند. توابع پایه شعاعی ساختار عمومی و قابل فهم برای شبکه عاطفی ایجاد می‌کنند و تحلیل شهودی و اثبات پایداری ریاضی را تسهیل می‌کنند. نشان داده شده است که CRBENN علاوه بر دارا بودن مزیت‌های مدل‌های عاطفی، از نظر ریاضی معادل با شبکه عصبی تابع پایه شعاعی (RBFNN) است و در نتیجه دارای خاصیت تقریب‌گیری عمومی اثبات‌شده بر اساس RBFNN و خروجی پیوسته و مشتق‌پذیر نسبت به وزن‌ها می‌باشد. در ادامه RBENN و CRBENN برای تخمین دینامیک‌های نامعلوم در ساختارهای کنترل تطبیقی برای سیستم‌های غیرخطی نامعین تک کارگزاره و چندکارگزاره استفاده شده‌اند. در سیستم‌های کنترلی پیشنهادی، پایداری سیستم حلقه بسته توسط نظریه پایداری لیاپانوف به اثبات رسیده است و قواعد تطبیق مناسب و سازگار با مدل پایه یادگیری عاطفی مغز برای وزن‌های شبکه‌های پیشنهادی طراحی شده‌اند. در کنترل چندکارگزاره از توابع پتانسیل مصنوعی برای مدل کردن برهمکنش بین کارگزاران استفاده شده است که در مقایسه با روش‌های مبتنی بر گراف موجب طراحی کنترل‌کننده سرراست‌تر و مشابه سیستم‌های تک کارگزاره می‌شود. کنترل‌کننده‌های پیشنهادی در مقایسه با سایر کنترل‌کننده‌های هوشمند به نتایجی همچون بار محاسباتی کم، خطای کمتر، انرژی کنترلی کمتر و سرعت بالاتر در دفع اغتشاش‌های ناگهانی رسیده‌اند. کنترل‌کننده تطبیقی تک کارگزاره بر پایه CRBENN بر روی ربات PSP-۳ آزمایشگاه رباتیک دانشگاه فردوسی نیز به‌صورت عملی پیاده شده است.

کلمات کلیدی:

یادگیری عاطفی مغز، شبکه‌های عصبی عاطفی، کنترل تطبیقی هوشمند، کنترل همکارانه سیستم‌های چند کارگزاره، توابع پتانسیل مصنوعی، نظریه پایداری لیاپانوف.

◀ ارایه روشی جهت بازبست تطبیقی تکفاز در خطوط انتقال فشار قوی از طریق تشخیص خطاهای همراه با قوس

ایمان نیکوفکر
استاد راهنما: دکتر جواد ساده
دانشگاه فردوسی مشهد

◀ طراحی و ساخت تقویت کننده توان با ساختار دنبال کننده سیگنال پوش برای سیستم های LTE

محمد جواد زوارهای
استاد راهنما: دکتر محمد طاهرزاده
دانشگاه فردوسی مشهد

بازبست تکفاز در خطوط انتقال فشارقوی یکی از روش های بهبود پایداری سیستم های قدرت به شمار رفته که هدف از آن پاکسازی خطاهای تک فاز گذرا در کوتاه ترین زمان ممکن در خطوط انتقال است. در روش های مرسوم برای بازبست، با تشخیص وقوع خطا، فاز معیوب بلافاصله قطع شده و بعد از گذشت مدت زمان ثابتی دوباره وصل می شود. اما از آنجایی که در این روش هم ماهیت خطا (گذرا و دایمی بودن) و هم اطلاع از زمان دقیق خاموش شدن قوس ثانویه مشخص نیست باعث شده تا روش های مرسوم در بعضی از حالات با مشکل مواجه شده و موجب بدتر شدن شرایط پایداری و صدمه به تجهیزات به خصوص ژنراتورها شود. از این رو به کارگیری بازبست تکفاز با چالش روبه رو بوده به طوری که علی رغم موجود بودن قابلیت بازبست بر روی رله ها، شرکت های برق منطقه ای تمایلی به استفاده از آن را ندارند. در سال های اخیر روش های بازبست تطبیقی تکفاز معرفی شده اند که منظور از تطبیقی بودن تعیین ماهیت خطا و تشخیص زمان خاموش شدن قوس ثانویه است. در این رساله روشی جدید برای بازبست تطبیقی تک فاز پیشنهاد شده که دارای دو قسمت است. در قسمت نخست ماهیت خطا (گذرا از دائم) تشخیص داده می شود و در قسمت دوم در صورتی که خطا از نوع گذرا باشد، زمان خاموش شدن قوس ثانویه تعیین می شود. به این صورت که بعد از ایجاد خطای تک فاز و قبل از باز شدن کلید، در قسمت اول الگوریتم با استفاده از داده های یک طرف خط، مکان خطا محاسبه شده و با استفاده از مدل خط، ولتاژ محل خطا و در نهایت دامنه ولتاژ قوس به دست می آید. اگر دامنه ولتاژ قوس از مقدار آستانه مشخصی بیشتر باشد خطا از نوع گذرا است و دستور قطع تک فاز به کلید صادر شده و قسمت دوم الگوریتم فعال می شود. در غیر این صورت خطا از نوع دائمی است و دستور قطع سه فاز به کلیدها صادر می شود. در قسمت دوم الگوریتم که فقط برای خطای گذرا توسط قسمت اول و پس از باز شدن کلید فعال می شود، با استفاده از اعمال تبدیل زمان-زمان بر روی مجموع سیگنال ولتاژ فازهای سالم لحظه خاموش شدن قوس ثانویه تشخیص داده شده و به محض خاموش شدن قوس، دستور وصل به کلید صادر خواهد شد و در صورتی که قوس ثانویه تا یک مدت زمان مشخصی خاموش نشود، دستور قطع سه فاز به کلید صادر می شود. بنابراین بر خلاف روش های مرسوم، اول اینکه در روش پیشنهادی، بازبست فقط برای خطاهای گذرا فعال می شود تا خطر وصل بر روی خطاهای دائم به حداقل برسد. دوم اینکه در روش پیشنهادی کلید زمانی بسته می شود که قوس حتما خاموش شده است لذا احتمال موفقیت بازبست بهینه می شود.

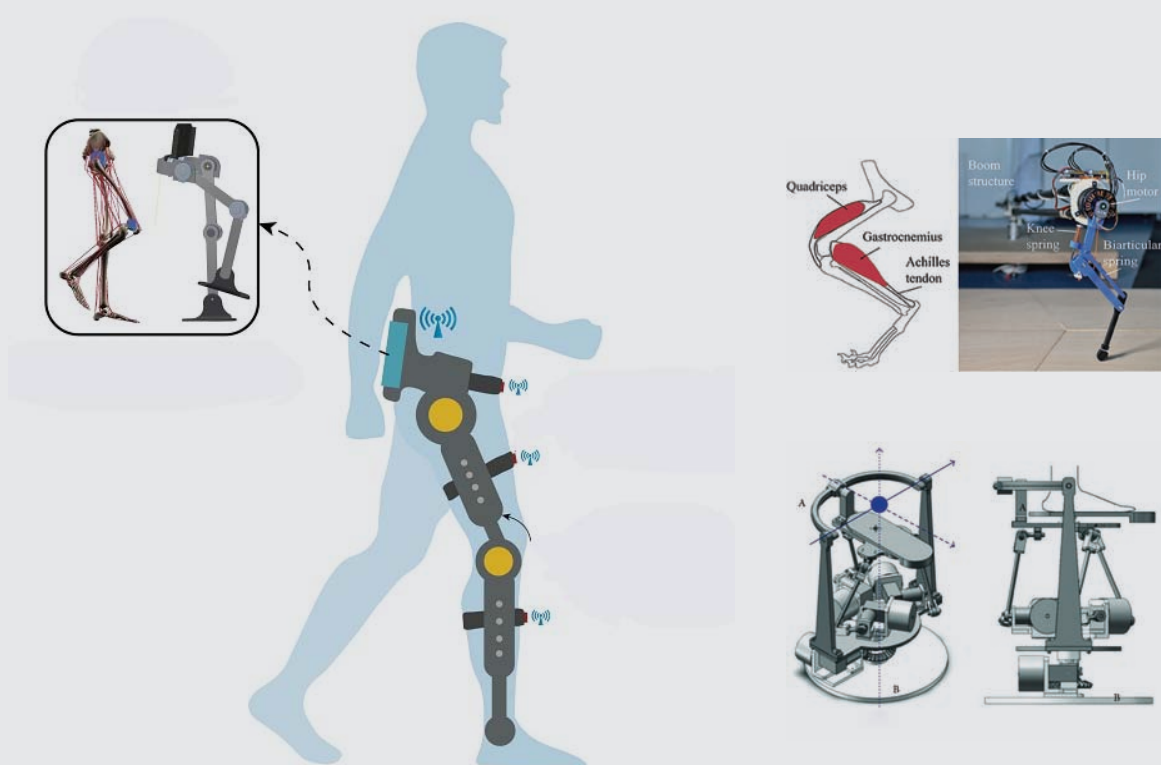
کلمات کلیدی:

بازبست تطبیقی تکفاز، ماهیت خطا، ولتاژ قوس، قوس ثانویه

در این پایان نامه، دو تقویت کننده توان جهت استفاده در سیستم های LTE طراحی شده است. در این تقویت کننده ها، به منظور افزایش بازدهی توان از ساختار دنبال کننده سیگنال پوش استفاده می شود. بطور کلی در ساختار این تقویت کننده ها، نویز تولید شده توسط مدولاتور به تقویت کننده توان تزریق شده و پس از ترکیب با مولفه اصلی سیگنال، به خروجی نفوذ می کند و تشعشعات خارج از باند تولید می کند. مقالات زیادی جهت کاهش نویز مدولاتور ارایه شده اند اما اکثر ایده ها با کاهش راندمان همراه می شود. در این پایان نامه، با رویکرد به کمینه رساندن تاثیر نویز مدولاتور بر تقویت کننده توان، برخلاف ساختارهای مرسوم که از تقویت کننده سورس-مشارک استفاده می کنند، از تقویت کننده درین-مشارک به عنوان تقویت کننده اصلی استفاده شده است. تحلیل های غیر خطی برای محاسبات PSRR نشان می دهد که تقویت کننده درین-مشارک در مقابل نویز تغذیه، حساسیت کمتری دارد. با کم شدن حساسیت تقویت کننده توان به نویز مدولاتور، ملزومات طراحی مدولاتور به شدت سبک می شود و می توان از مدولاتورها با راندمان بالاتر استفاده کرد. از این رو، یک نمونه تقویت کننده توان با ساختار دنبال کننده سیگنال پوش، شامل تقویت کننده توان درین-مشارک به همراه مدولاتور سوئیچینگ به صورت مدار مجتمع در فناوری CMOS-0.18μm طراحی و پس از جانمایی، شبیه سازی شده اند. نتایج شبیه سازی پس از ترسیم جانمایی، نشان می دهد که تقویت کننده پیشنهادی برای فرکانس کاری 1.85GHz و پهنای باند 5MHz به ازای متوسط توان خروجی 22dBm، دارای PAE به میزان 30 درصد می باشد. همچنین بهبود راندمان در این ساختار بین 3 تا 5 درصد در مقایسه با تقویت کننده توان با ولتاژ تغذیه ثابت است. در ادامه یک تقویت کننده توان درین-مشارک جهت استفاده در ساختار دنبال کننده سیگنال پوش بصورت غیر مجتمع یا گسسته، طراحی و بر روی PCB ساخته شد. نتایج اندازه گیری نشان می دهد که PSRR تقویت کننده توان درین-مشارک 7dB بیشتر از مقدار آن در تقویت کننده سورس-مشارک است. همچنین نتایج اندازه گیری به ازای سیگنال ورودی با پهنای باند 10MHz در فرکانس مرکزی 700MHz نشان می دهد که مقدار PAE تقویت کننده توان با ساختار دنبال کننده سیگنال پوش به ازای توان خروجی 33.4dBm با حدود 4 درصد بهبود، به میزان 20 درصد می رسد.

کلمات کلیدی:

تقویت کننده توان درین-مشارک، حالت دهی سیگنال، دنبال کننده سیگنال پوش، سیستم های LTE، نسبت پس زنی منبع تغذیه (PSRR)، مدولاتور تغذیه.



مقاله علمی-ترویجی

طراحی سیستم کنترلی بهینه و هوشمند برای یک ربات ۳ درجه آزادی و کاربرد آن در توانبخشی اندام‌های پایین بیماران ناتوان حرکتی

■ وهاب امینی آذر* / استادیار گروه مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مهاباد/ مهاباد- ایران / Aminiazar@iau-mahabad.ac.ir

■ رسول فرحی/ مربی گروه مهندسی کامپیوتر / دانشگاه آزاد اسلامی واحد مهاباد/ مهاباد- ایران / farahiirasoul@gmail.com

*مسئول مکاتبات

چکیده

توانبخشی یکی از رفتارهای غیردارویی در نظام سلامت جامعه است و مفهوم کلی آن بازگرداندن توانایی‌ها به حداکثر استقلال می‌باشد. این عمل به‌طور معمول یک کار پرهزینه و نیازمند صبر و حوصله زیادی می‌باشد، از این‌رو تمایل زیادی به استفاده از ربات‌ها در این زمینه وجود دارد. از طرفی استفاده از روش‌های کنترلی کارا و هوشمند در زمینه توانبخشی رباتیکی، این پروسه را برای بیماران معلول حرکتی مفیدتر می‌گرداند. در این مقاله، یک روش کنترلی هوشمند برای تبعیت از رفتار اندام سالم ارایه و بر روی یک ربات مسطح ۳ درجه آزادی (3-DOF) پیاده‌سازی می‌شود. سینماتیک معکوس ربات با استفاده از شبکه عصبی حل می‌شود و پارامترهای کنترلی با استفاده از الگوریتم ژنتیک در طی پروسه توانبخشی بهینه‌سازی می‌شوند (استراتژی هوشمند). در نهایت نتایج شبیه‌سازی‌ها با تعریف یک روش فیزیوتراپی ساده بر روی یک مسیر مطلوب و با استفاده از نرم‌افزار مطلب ارایه می‌شود.

کلمات کلیدی الگوریتم ژنتیک، توانبخشی رباتیکی، شبکه‌های عصبی، کنترل بهینه، کنترل امیدانس.

Design of an Optimized Intelligent Control Algorithm for Robotic Rehabilitation of Lower Limbs of Handicapped Patients using a 3-DOF Robot

■ Wahab Aminiazar*/Assistant Professor/ Department of Electrical and Computer Engineering/ Islamic Azad University/ Mahabad Branch/ Mahabad, Iran/ Aminiazar@iau-mahabad.ac.ir

■ Rasoul Farahi/Instructor/ Department of Computer Engineering, Islamic Azad University/ Mahabad Branch/ Mahabad, Iran/ farahiirasoul@gmail.com

*corresponding author

Abstract

The process of empowering the muscles in order to make them to a normal and common value is an expensive and prolonged work, in common available methods. Hence, it is clearly necessary that Mechatronic technologies should be used in this area. In this paper, an algorithm and an improved rule are presented for controlling a rehabilitation system of lower limbs which is implemented on a 3-Degree Of Freedom

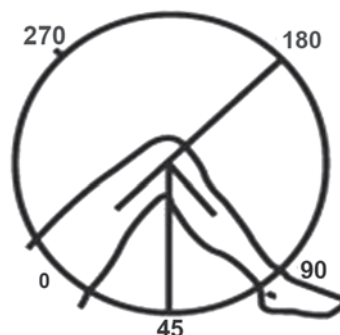
(DOF) planar robot. Estimation and optimization of control parameters will be done by artificial neural networks and genetic algorithms, respectively (intelligent strategy). Thereafter, the results of simulations are presented by defining a physiotherapy standard mode on a desired trajectory. MATLAB/SIMULINK is used for simulations. Finally, a comparative discussion between this strategy and common methods is devised.

Keywords: Impedance Control, Genetic Algorithm, Rehabilitation Robotic, Planar Robot.

۱- مقدمه

پروژه قدرت بخشیدن به ماهیچه‌ها برای رساندن آنها به مقدار طبیعی و نرمال یک کار پرهزینه بوده و نیاز به زمان و حوصله زیادی دارد [۱]. این پروژه توانبخشی نامیده می‌شود. یک ساختار هوشمند که بتواند اعمال جایگزین اعمال فیزیوتراپیست شده و این قبیل کارهای تکراری فیزیکی را بدون کمک و راهنمایی یک همکار فیزیوتراپیست انجام دهد، پروژه توانبخشی را ساده‌تر کرده و نقش مهمی در کاهش هزینه‌ها دارد [۱]. ماشین‌های تمرین‌دهنده زیادی از قبیل حرکات منفعل مداوم برای اهداف توانبخشی وجود دارد. اما به علت کارایی دینامیکی ضعیف و احتمالاً هزینه بالای آنها به صورت محدود مورد استفاده قرار می‌گیرند و برای سرعت‌های نرمال و زیاد، اندام‌ها انرژی بیشتری را برای حرکت بر روی مسیر مطلوب مصرف می‌کنند [۲-۶]. از طرفی دیگر طراحی سیستم کنترلی یکی از مشکلات اصلی در ساختار ربات‌های توانبخشی است. بررسی‌های مختلفی برای کنترل حرکت ربات‌های فیزیوتراپی متصل به اندام‌های انسان توسعه یافته‌اند [۷-۱۲].

به نظر می‌رسد که تجهیزات توسعه یافته برای اهداف توانبخشی به‌طور معمول دو روش کنترلی را به کار می‌گیرند؛ کنترل ترکیبی (کنترل موقعیت و نیرو) و کنترل امپدانس. روش‌های هوشمند که بر اساس مراحل توانبخشی بهینه‌سازی می‌شوند کمتر مورد استفاده قرار گرفته‌اند. مهمترین هدف سیستم توسعه یافته در این بررسی معرفی یک سیستم کم هزینه است که امنیت بیمار را با استفاده از یک ساختار قابل انعطاف کنترل شونده توسط یک استراتژی کنترلی هوشمند تضمین کند. پارامترهای کنترلی بر اساس مراحل توانبخشی و نیز فاکتورهای امنیت بهینه‌سازی می‌شوند. این سیستم می‌تواند برای توانبخشی دو اندام (زانو و لگن) مورد استفاده قرار گیرد. ساختار پیشنهادی شکل (۱) بر اساس حرکات باز و بسته شدن زانو و لگن بنا نهاده شده است [۷].



شکل ۱: حرکات باز و بسته شدن زانو و لگن [۷].

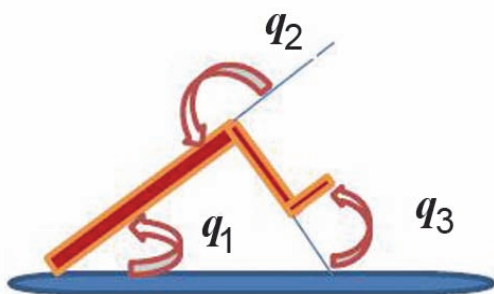
مقاله دارای بخش‌های زیر است:

در بخش ۲ استراتژی کنترلی مورد استفاده در الگوریتم پیشنهادی ارائه می‌شود. بهینه‌سازی پارامترهای کنترلی با استفاده از الگوریتم ژنتیک

در بخش ۳ ارائه می‌شود. در بخش ۴ پیاده‌سازی و شبیه‌سازی الگوریتم پیشنهادی انجام می‌شود و بالاخره نتیجه‌گیری و بحث در مورد نتایج مقاله در بخش ۵ ارائه می‌شود.

۲- استراتژی کنترلی مورد استفاده در الگوریتم پیشنهادی

برای این منظور یک ربات مسطح ۳ درجه آزادی را که بتواند به پاهای بیمار وصل شود، تعریف می‌کنیم (شکل ۲).



شکل ۲: شماتیک ربات ۳ درجه آزادی به منظور توانبخشی مفاصل لگن و زانو و مچ پا در شکل (۲)، q_1 ، q_2 و به ترتیب زوایای لگن، زانو و مچ پا هستند و محدودیت‌های آنها بر اساس پروژه باز و بسته شدن زانو و لگن نشان داده شده در شکل (۱) می‌باشند و به‌صورت زیر نوشته می‌شوند:

$$0 \leq q_1 \leq \frac{\pi}{2} \quad (۱)$$

$$\pi \leq q_2 \leq 2\pi \quad (۲)$$

$$0 \leq q_3 \leq \frac{\pi}{4} \quad (۳)$$

استراتژی‌های کنترلی سیستم‌های توانبخشی می‌توانند به سه دسته تقسیم شوند:

۱- کنترل نیرو

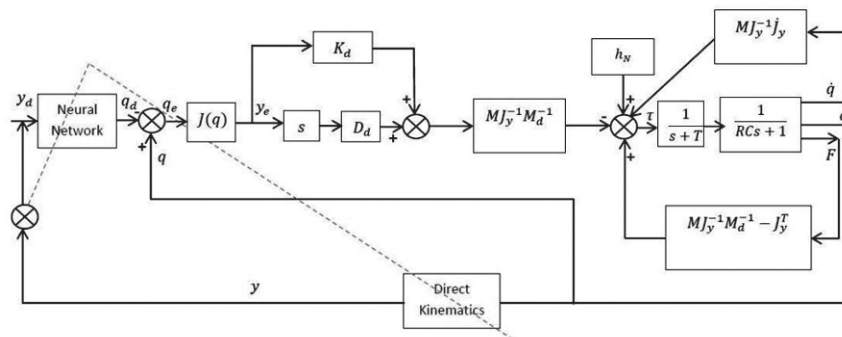
۲- کنترل موقعیت

۳- کنترل ترکیبی (نیرو و موقعیت) [۱۳-۱۵].

برخلاف ربات‌های صنعتی از آنجایی که ربات‌های توانبخشی در تعامل با انسان قرار دارند باید به صورت پایدار، مطمئن و سازگار با شرایط پیکربندی شوند [۱۶]. استراتژی کنترل امپدانس که توسط هوگان [۱۴-۱۵] پیشنهاد شده است مناسبترین روش برای این کاربردها است. هدف کنترل امپدانس، کنترل موقعیت و نیرو با القاء یک مقاومت مکانیکی به نیروهای خارجی تولید شده توسط محیط می‌باشد. امپدانس مقاومت مکانیکی یک مفهوم توسعه یافته برای سفتی مکانیزم در مقابل نیروی وارد شده به آن است [۱۷].

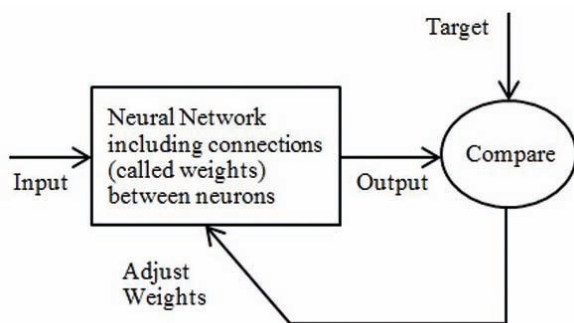
دیگرام بلوکی امپدانس کنترل پیشنهادی در شکل (۳) نشان داده شده است.

گشتاور مورد نیاز مفاصل ربات به صورت زیر محاسبه می‌شوند:



شکل ۳: دیاگرام بلوکی سیستم کنترل مقاوم پیشنهادی

عمل می‌نمایند. سازمان‌بندی مراکز تولیدکننده الگوها پس از آسیب نخاع دچار تغییراتی می‌شوند. در ابتدا تصور بر این بود که سیستم عصبی بعد از آسیب دیدن قادر نخواهد بود الگوهای حرکت عضو آسیب دیده را دوباره فرا بگیرد، اما تحقیقات در حوزه علوم اعصاب این نظریه را رد کرده است و ثابت شده است که در صورت آسیب دیدن نورون‌های عصبی که الگوهای راه رفتن در آنها از قبل ذخیره شده است، نورون‌های دیگری می‌توانند این وظیفه را بر عهده گیرند. اگرچه هنوز مکانیزم‌های موثر بر آنها به درستی مشخص نیست ولی نقش ورودی‌های محیطی به شدت مطرح می‌باشد [۱۸-۲۰]. شکل (۴) ساختار شبکه عصبی را نشان می‌دهد.



شکل ۴: ساختار شبکه عصبی

که در آن ورودی، خروجی و تابع هدف شبکه عصبی در الگوریتم پیشنهادی به ترتیب y_d ، q_d و y هستند که در شکل (۳) نشان داده شده‌اند. شبکه عصبی مورد استفاده در این مقاله، یک شبکه MLP با دو لایه می‌باشد (تابع Tansig در لایه اول و تابع Purelin در لایه دوم). بهترین تعداد نورون‌ها در لایه اول با استفاده از الگوریتم تکراری بدست می‌آید. الگوریتم بهینه‌سازی Levenberg-Maquardt یا Trainlm برای آموزش شبکه استفاده شده است.

۲-۲- تحلیل پایداری سیستم کنترل پیشنهادی

امنیت بیمار یکی از مهمترین فاکتورها در سیستم‌های توانبخشی می‌باشد که با استفاده از پایداری نرم‌افزار و سخت‌افزار تامین می‌شود. شرایط پایداری سیستم‌های ربات که توسط کنترل کننده‌های سفتی و مقاوم کنترل می‌شوند مورد بررسی تعداد زیادی از محققان قرار گرفته است [۱۴-۱۵]. در این مقاله شرایط پایداری جدیدی برای کنترل کننده پیشنهادی بر اساس رابطه بین اندازه زاویه مفصل ربات (q) و (q_d) زوایای مطلوب بدست آمده از خروجی شبکه عصبی ارایه می‌شود. تابع تبدیل مربوطه می‌تواند به صورت زیر تعریف شود:

$$\tau = h_N(q, \dot{q}) - M(q)J_y^{-1}(q)J_y(q)\dot{q} - M(q)J_y^{-1}(q)M_d^{-1}(D_d\dot{y}_e + K_d y_e) + [M(q)J_y^{-1}(q)M_d^{-1} - J_y^T]F \quad (4)$$

که در آن بردار مفصل مطلوب، y^{2*1} بردار حرکت MP، q^{2*1} بردار مفصل، $h_N(q, \dot{q})^{2*1}$ نیروهای گریز از مرکز و Coriolis، $M(q)^{2*2}$ ماتریس اینرسی، J^{2*2} ماتریس ژاکوبین، D_d^{2*2} ماتریس ضرایب میرایی مطلوب، K_d^{2*2} ماتریس ضرایب سفتی مطلوب و F^{2*1} نیروی خارجی وارد شده بر MP توسط محیط می‌باشد (این نیرو می‌تواند به صورت نیروی عمل و عکس‌العمل بین پای بیمار و MP تعریف شود).

عبارت $\frac{R^2}{s(Cs+b)}$ تابع تبدیل پایه‌های ربات متصل شده به موتور DC می‌باشد که در آن نسبت کاهش چرخ دنده بین شفت موتور و پارامترهای و به ترتیب اینرسی بار و اصطکاک ویسکوز می‌باشند. $\frac{1}{s+T}$ تابع تبدیل تاخیر تخمینی می‌باشد. (اندیس Y بیانگر فضای کاری می‌باشد).

اما در سیستم پیشنهادی از آنجایی مدل‌های سینماتیکی ربات به صورت مسایل غیرخطی هستند و پیدا کردن جواب حالت بسته برای آنها مشکل است بنابراین یک شبکه عصبی پرسپترون چند لایه برای تخمین اندازه مطلوب زوایای مفصل‌ها (q_d) پیشنهاد می‌شود. با فرض این‌که:

$$y_e = dy = J(q)dq \cong J(q)q_e \quad (5)$$

(که در آن y_e بیان کننده خطا یا انحراف MP از موقعیت و جهت مرجع و q_e بیان کننده میزان خطا یا انحراف زوایای مفصل از اندازه مطلوب می‌باشد).

۲-۱- شبکه‌های عصبی و کاربرد آن در الگوریتم پیشنهادی

شبکه عصبی به منظور آموزش و نگاشت توابع غیر خطی کاربرد زیادی در شناسایی و کنترل دسته‌ی ربات دارند. همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد به‌طور معمول سینماتیک معکوس ربات‌ها یک مساله‌ی غیرخطی است و بدست آوردن یک جواب منحصر به فرد، مشکل است. بنابراین در این مطالعه استفاده از شبکه عصبی پرسپترون چند لایه به منظور تخمین زوایای مفصل پیشنهاد می‌شود.

ایده‌ی دوم استفاده از شبکه عصبی در کنترل ربات توانبخشی از اینجا به‌وجود آمد که نتایج آزمایش‌ها نشان داده است که در نخاع پستانداران بالغ مراکز آموزش‌پذیری وجود دارد که موتور نورون‌های مسوول راه رفتن را فعال و کنترل می‌نماید. واژه آموزش‌پذیری بدین مفهوم است که در نخاع شبکه‌هایی از مدارات عصبی وجود دارد که مسوول تولید الگویی از فعالیت‌های متناوب، وابسته به زمان و متناوب در نورون‌های حرکتی پا می‌باشد. این مراکز، فعالیتی شبیه به نبض زدن قلب را داشته، به نحوی که به‌صورت مستقل از مغز

$$G(s) = \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{q}{y_d} \quad (6)$$

برای سادگی، یکی از مفاصل ربات در نظر گرفته شده و جایگزینی‌های زیر بدست می‌آید:

$$M = I \quad , \quad J_y = J_y^T = L_g \quad , \quad J_y^{-1} = 1/L_g$$

$$h_n = \tau_{gravity} = mgsin(q)L_g = mgqL_g$$

$$D_d, K_d = I \quad , \quad M_d = \frac{1}{2}I \quad , \quad L_g = 1m \quad , \quad g = -10m/s^2$$

که در آن g شتاب جاذبه زمین، m جرم و L_g طول پای بیمار می‌باشد، تابع تبدیل رابطه (۶) به صورت زیر خواهد بود:

$$G(s) = \frac{-2sR^2 + kR^2 - 2R^2}{s^3(-C) + s^2(-TC - b) + s(-bT - 2R^2) + R^2(10m - 2 + k)} \quad (7)$$

بنابراین چندجمله‌ای معادله مخرج به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$d(s) = s^3(-C) + s^2(-TC - b) + s(-bT - 2R^2) + R^2(10m - 2 + k)$$

با تحلیل پایداری Routh theory [۲۱] شرط زیر برای تامین پایداری بدست می‌آید:

$$k > \frac{2TR^2 - 10mTR^2 - (TC + b)(2R^2 + bT)}{TR^2} \quad (8)$$

همان طوری که در بخش‌های بعدی نشان داده می‌شود انحراف مسیر واقعی از مسیر مطلوب نیز به عنوان فاکتور دیگری برای پایداری سیستم در نظر گرفته می‌شود. در این مقاله امنیت به این دلیل که پارامترهای کنترلی تحت شرایط زیر سازگار می‌شوند، تضمین می‌شود:

۱- قیود پایداری در نامعادله (۸)

۲- اختلاف بین مسیر واقعی و مطلوب

۳- میزان آسیب بیمار

۴- مراحل مختلف درمان.

هر موقع که شرایط ذکر شده تامین نشود، ربات متوقف می‌شود. بنابراین پارامترهای کنترلی از قبیل (M_d, K_d, D_d, F) نقش مهمی در پایداری سیستم دارند و در این مقاله با استفاده از یک استراتژی بهینه‌سازی تکاملی (GA) تعیین می‌شوند که در بخش‌های بعدی به بررسی آن پرداخته می‌شود.

۳- بهینه‌سازی پارامترهای کنترلی

به‌منظور پیدا کردن کمترین انحراف از مسیر مطلوب می‌توان از استراتژی‌های کلاسیک کنترل بهینه کمک گرفت و با تعریف تابع تبدیل سعی در پیدا کردن پارامترهای بهینه از قبیل (M_d, K_d, D_d) نماییم. برای این منظور می‌توان تابع معیار زیر را در نظر گرفت:

$$C_F = \int_0^n e(t)^2 dt \quad (9)$$

که در آن $e(t)$ میزان اختلاف بین مسیر واقعی و مطلوب و n تعداد گام‌های توانبخشی می‌باشد. اما به دلایل زیر استفاده از روش‌های کلاسیک باعث افزایش پیچیدگی مساله بهینه‌سازی و احتمالاً پیدا نکردن یک جواب به شکل بسته می‌شود: نخست این که حلقه بازخورد برای حالت‌های مختلف متفاوت است (سینماتیک ربات‌ها یکسان

نیستند.) و دوم این که از آنجایی که پارامترها به شکل ماتریسی هستند، افزایش درجات آزادی سیستم منجر به افزایش ابعاد مساله بهینه‌سازی می‌شود. بنابراین تعریف یک استراتژی جایگزین که بدون استفاده از تابع تبدیل سعی در کمینه کردن تابع هزینه نماید می‌تواند در کاهش این پیچیدگی مفید باشد. معادله (۱۰) برای محاسبه اختلاف بین مسیر واقعی و مطلوب به کار گرفته می‌شود [۱۷]:

$$\Delta P = CF \quad (10)$$

که در آن C ماتریس انعطاف‌پذیری نامیده می‌شود و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$C = J^* K^{-1} J^{*T} \quad (11)$$

که در آن K ماتریس سفتی است و J^* به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$J^* = (F^{-1})^T \tau^T \quad (12)$$

حال پارامترهای کنترل امپدانس را طوری تغییر می‌دهیم که تابع هزینه زیر کمینه شود:

$$C_P = \|\Delta P\| \quad (13)$$

در این حالت به خاطر تعامل بین ربات و انسان اندازه نیروی F بسیار مهم است و مقدار زیاد آن می‌تواند به بیمار آسیب برساند، بنابراین تابع هزینه به صورت زیر بازنویسی می‌شود:

$$C_P = \min(\|\Delta P\|) \text{ subject to } (F \leq THRESHOLD(F)) \quad (14)$$

اندازه آستانه‌ی نیرو بر اساس مراحل مختلف درمان و شرایط بیمار تغییر می‌کند. پیشنهاد دیگری برای تابع هزینه می‌تواند به صورت زیر باشد:

$$C_P = \alpha F + \beta |\Delta P| \quad , \quad (\alpha + \beta = h, h \geq 1) \quad (15)$$

که در آن h, β, α براساس مراحل مختلف درمان شرایط بیمار تغییر می‌کند (استراتژی تطبیقی ۱). h می‌تواند به عنوان فاکتور دقت تعریف شود که با کاهش h دقت افزایش پیدا خواهد کرد. به هر حال پارامترهای کنترلی از قبیل (M_d, K_d, D_d) و حتی F که برای تعیین گشتاور مورد نیاز مفاصل بر اساس معادله (۴) استفاده می‌شوند با استفاده از الگوریتم تکاملی ژنتیک که در بخش بعدی شرح داده می‌شود، بهینه می‌شوند.

۳-۱- الگوریتم ژنتیک و کاربرد آن در الگوریتم پیشنهادی

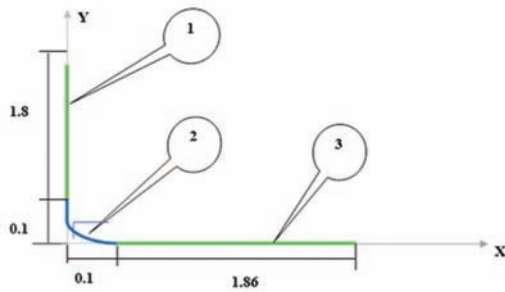
در الگوریتم ژنتیک پیشنهادی، کدگذاری مقدار برای کروموزوم‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد و تابع شایستگی می‌تواند براساس رابطه (۱۵) تعریف شود. هدف اصلی رسیدن به مینیمم ΔP با در نظر گرفتن مقدار (F) است که از یک مقدار آستانه بیشتر نشود و به این علت که پارامترها چند بعدی هستند کروموزوم‌ها نیز به جای بردار خطی به صورت ماتریسی خواهند بود. در این حالت هر کروموزوم می‌تواند به صورت زیر نمایش داده شود:

M_d	K_d	D_d	F
-------	-------	-------	-----

بنابراین طول هر کروموزوم افزایش می‌یابد و این مساله منجر به افزایش پیچیدگی مساله خواهد شد. بنابراین پیدا کردن راه‌هایی برای کاهش طول کروموزوم ضروری به نظر می‌رسد. بعضی از این راه‌ها عبارتند از:

- تبدیل جمعیت کروموزوم به چند جمعیت^۲.
- ثابت نگه داشتن بعضی از پارامترها در هر کروموزوم که مهم یا اساسی نباشند. (نقش کمتری در بهینه‌سازی داشته باشند).
- در نظر گرفتن پارامترهای کروموزوم به صورت ماتریس‌های قطری. در روش نخست تمام پارامترها به صورت همزمان بهینه نمی‌شوند و روش دوم با اصول الگوریتم پیشنهادی یعنی بهینه‌سازی در طی مراحل توانبخشی در تناقض است. بنابراین روش سوم در این مقاله

- ۲- مسیر دایره‌ای از $(x_r, 0)$ تا $(0, y_r)$ با سرعت یک رادیان بر ثانیه برای انجام عمل بسته شدن.
- ۳- مسیر عمودی از $(0, y_r)$ تا $(0, y)$ با سرعت یک متر بر ثانیه برای انجام عمل باز شدن.



شکل ۷: سه مرحله از مسیرهای حرکت

با فرض این که:

$$x = 1.86, \quad y = 1.86, \quad x_r = y_r = 0.1$$

سرعت‌ها در سه مرحله به صورت زیر خواهند بود:

$$v_1 = (-1, 0)$$

$$v_2 = (-\cos(10.t - 18.6), \sin(10.t - 18.6))$$

$$v_3 = (0, 1)$$

زاویه مفصل در این روش فیزیوتراپیکی بر اساس مجموعه معادلات سینماتیک معکوس ربات ۳ درجه آزادی مسطح به صورت زیر می‌باشد:

$$y = q_1 + q_2 + q_3 \quad (16)$$

$$x = a_1 c_1 + a_2 c_{12} + a_3 c_{123} \quad (17)$$

$$y = a_1 s_1 + a_2 s_{12} + a_3 s_{123} \quad (18)$$

$$w_x = p_x - a_3 c \varphi = a_1 c_1 + a_2 c_{12} \quad (19)$$

$$w_y = p_y - a_3 s \varphi = a_1 s_1 + a_2 s_{12} \quad (20)$$

$$w_x^2 + w_y^2 = a_1^2 + a_2^2 + 2a_1 a_2 c_2 \quad (21)$$

$$c_2 = \frac{w_1^2 + w_2^2 - a_1^2 - a_2^2}{2a_1 a_2} \quad (22)$$

$$s_2 = \pm \sqrt{1 - c_2^2} \quad (23)$$

$$q_2 = \text{atan2}(s_2, c_2) \quad (24)$$

$$w_x = (a_1 + a_2 c_2) c_1 - a_2 s_1 s_2 \quad (25)$$

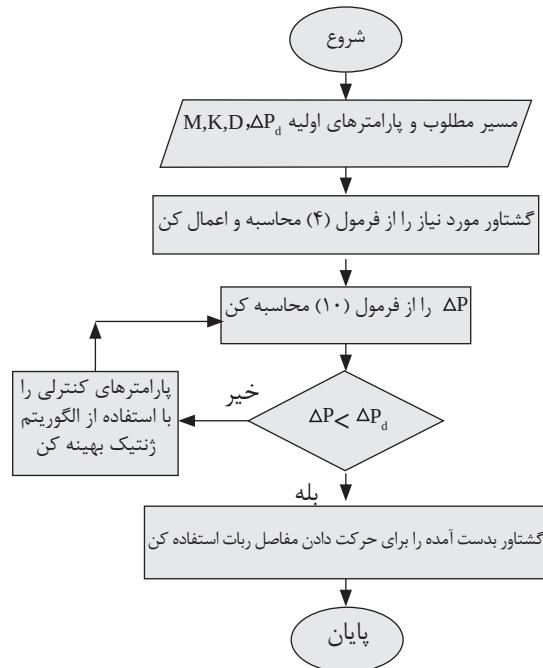
$$w_y = (a_1 + a_2 c_2) s_1 - a_2 c_1 s_2 \quad (26)$$

$$s_1 = \frac{(a_1 + a_2 c_2) w_y - a_2 s_2 w_x}{w_x^2 + w_y^2} \quad (27)$$

$$c_1 = \frac{(a_1 + a_2 c_2) w_x + a_2 s_2 w_y}{w_x^2 + w_y^2} \quad (28)$$

$$q_1 = \text{atan2}(s_1, c_1) \quad (29)$$

$$q_3 = \varphi - \theta_1 + \theta_2 \quad (30)$$



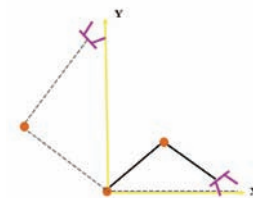
شکل ۵: فلوچارت الگوریتم پیشنهادی

مورد استفاده قرار می‌گیرد. فلوچارت الگوریتم پیشنهاد شده در شکل (۵) نشان داده شده است.

۴- پیاده‌سازی و شبیه‌سازی الگوریتم پیشنهادی

برای پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی بر روی ربات ۳ درجه آزادی ذکر شده مراحل زیر را به ترتیب انجام می‌دهیم:

- ۱- موقعیت و جهت مطلوب MP از فیزیوتراپیست گرفته می‌شود.
 - ۲- اندازه زوایای مفصل متناسب با موقعیت مطلوب MP و بر اساس سینماتیک معکوس پیدا می‌شود. (خروجی شبکه عصبی).
 - ۳- پارامترهای کنترل امپدانس با استفاده از الگوریتم ژنتیک جهت تعیین گشتاورهای مورد نیاز مفصل بهینه می‌شوند.
- تمامی این مراحل در بخش‌های قبلی توضیح داده شده است. برای این منظور یک روش ساده فیزیوتراپی تعریف می‌شود که در شکل (۶) نشان داده شده است.



شکل ۶: حالت توانبخشی

زاویه‌ها و سرعت مفصل برای این ربات در سه مرحله مورد بررسی قرار می‌گیرد:

- ۱- مسیر افقی از $(x, 0)$ و $(x_r, 0)$ با سرعت یک متر بر ثانیه که در آن x طول پا در حداکثر باز شدن^۳ پا و x_r فاصله بین لگن و دسته‌ی ربات در مینیمم بسته شدن^۴.

$$K_d = \text{diag}(K_s), D_d = \text{diag}(D_s), M_d = \text{diag}(M_s).$$

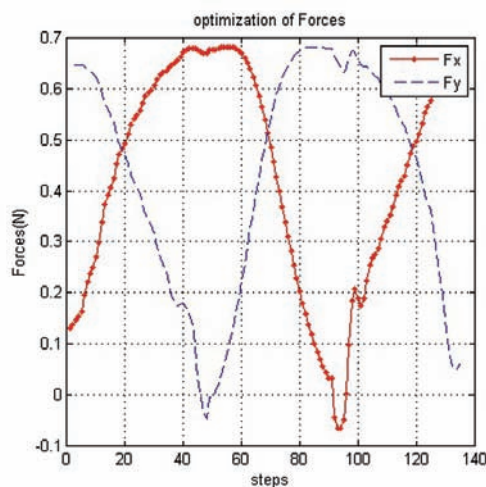
که در آن پارامترهای اولیه عبارتند از:

$$K_s = 0.05 \left(\frac{N}{m} \right), M_s = 0.05 kg, D_s = 0.05 \left(\frac{Ns}{m} \right)$$

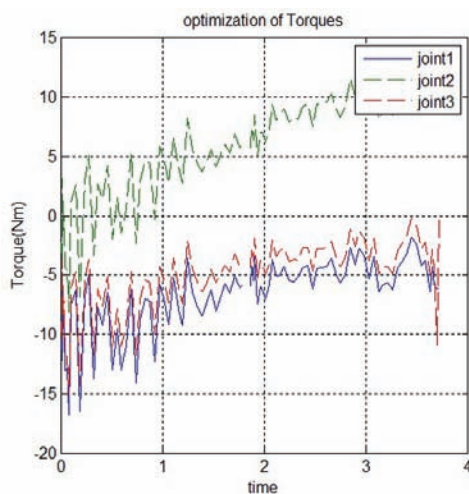
$$(\text{robot arms}) = 1m, m_1 = 0.7 kg,$$

$$M_s = 51.2 \left(\frac{N}{m} \right), M_d = 4.8828 * 10^{-5} kg, D_s = 0.05 \left(\frac{Ns}{m} \right)$$

اگر وزن شخص بیمار را ۷۰ کیلوگرم در نظر بگیریم و نیز فرض شود، نیروها و گشتاورهای خطی مورد نیاز برای حرکت ربات در مسیر مطلوب (برای ۱۴۰ نقطه از مسیر در ۴ ثانیه) به ترتیب در شکل‌های (۱۱) و (۱۲) نشان داده شده‌اند.



شکل ۱۱: نیرو وارد شده به دسته ربات



شکل ۱۲: گشتاورهای مفاصل

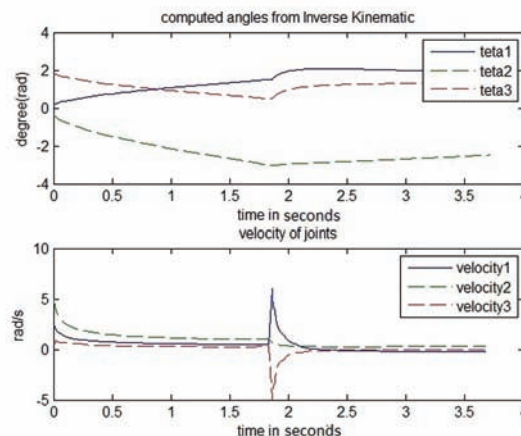
پارامترهای کنترل بهینه‌سازی شده نهایی بر اساس گشتاورها و نیروهای بدست آمده به صورت زیر خواهند بود:

$$M_s = 51.2 \left(\frac{N}{m} \right), M_d = 4.8828 * 10^{-5} kg, D_s = 0.05 \left(\frac{Ns}{m} \right)$$

حال گشتاورهای بدست آمده از شکل (۱۲) برای حرکت مفاصل ربات مورد استفاده قرار می‌گیرند.

اندازه این زاویه‌ها و سرعت مفاصل در شکل (۸) نشان داده شده است.

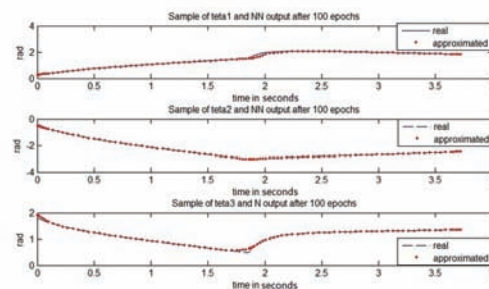
حال از شبکه عصبی پرسپترون چند لایه پیشنهادی برای حل سینماتیک معکوس ربات پیدا کردن زاویه مفاصل ربات با داشتن مسیر حرکت دسته ربات استفاده می‌کنیم.



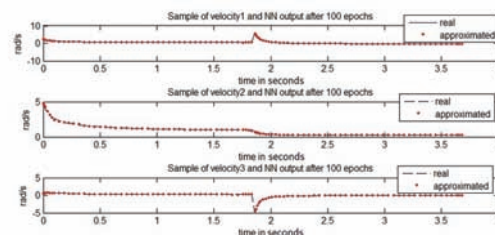
شکل ۸: زاویه و سرعت مفاصل

برای مفصل ۱ وزن و بایاس بدست آمده از شبکه عصبی پرسپترون چند لایه پیشنهادی در جدول (۱) نشان داده شده است. $W(1,1)$ و $b(1)$ به ترتیب وزن و بایاس لایه اول و $W(2,1)$ و $b(2)$ وزن و بایاس لایه دوم را نشان می‌دهند.

مقادیر تخمین زده شده اندازه و سرعت مفاصل با استفاده از شبکه عصبی به همراه اندازه‌های واقعی آنها در شکل (۹) و (۱۰) نشان داده شده‌اند.



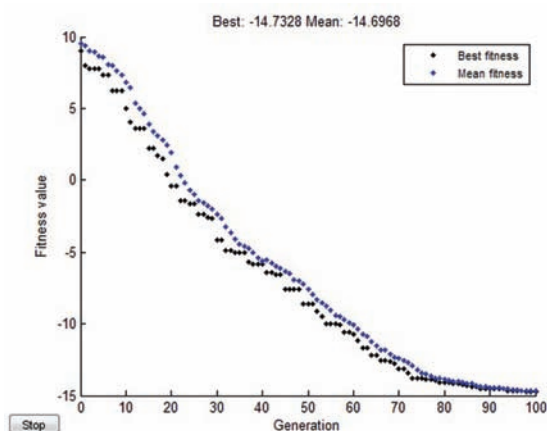
شکل ۹: زاویه تخمینی بدست آمده از شبکه عصبی پرسپترون چند لایه پیشنهادی بعد از ۱۰۰ اپیاک



شکل ۱۰: سرعت تخمینی بدست آمده از شبکه عصبی پرسپترون چند لایه پیشنهادی بعد از ۱۰۰ اپیاک

پارامترهای کنترل امپدانس (M_d, K_d, D_d) در مرحله‌ی نخست با استفاده از روش سعی و خطا انتخاب شده و سپس با استفاده از الگوریتم ژنتیک بهینه‌سازی می‌شوند. این پارامترها به صورت فرمول‌های زیر داده می‌شوند:

$$\alpha = 1.466, \quad \beta = 2.006$$



شکل ۱۴: تابع شایستگی الگوریتم ژنتیک

۵- نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

در این مقاله، یک ربات مسطح ۳ درجه آزادی معرفی و برای توانبخشی اندام‌های پایین با ترکیب کنترل امپدانس و تطبیقی تحت کنترل قرار گرفت. چندین فاکتور امنیت و شرایط پایداری تعریف و بدست آمدند. هنگامی که فاکتورهای امنیت ارضاء نشود، ربات متوقف می‌شود. پارامترهای مناسب کنترلی با استفاده از شبکه عصبی الگوریتم ژنتیک بدست آمدند. نتایج پیاده‌سازی الگوریتم می‌تواند به صورت زیر جمع‌بندی شود:

۱- هدف از این مقاله، انجام عمل توانبخشی برای بیمار و پیروی کردن از رفتار عمل فیزیوتراپیست در غیاب وی می‌باشد که به این عمل ربات‌رایی گفته می‌شود [۲۰].

۲- ایجاد مسیر مرجع به‌طور کامل متناسب با شرایط بیمار و دوره‌ی توانبخشی است. در این تحقیق مسیر مرجع (مسیر مطلوب) پس از چندین مرحله مراجعه به مراکز توانبخشی و مشاهده اعمال مربوطه تعریف شده است.

۳- شناساگر شبکه عصبی برای حل مساله‌ی سینماتیک معکوس ربات به دو دلیل مورد استفاده قرار گرفت: نخست با یک شناسایی غیر خطی سرو کار داریم و دوم و مهمتر اینکه مفصل سیستم کنترلی شخص بیمار احتمالاً توسط شبکه عصبی مصنوعی امکان جایگزین شدن دارند.

۴- یکی از فاکتورهای مهم و قابل توجه در این تحقیق، تضمین امنیت شخص بیمار است. از آنجایی که پارامترهای کنترل کننده تحت شرایط پایداری و توانایی شخص و نیز دوره‌های مختلف درمان تعیین و بهینه می‌شوند، امنیت تضمین می‌شود. از طرفی تابع شایستگی در الگوریتم ژنتیک بر اساس نیروهای تعاملی بین شخص و ربات تعریف می‌شود.

۵- به منظور کاهش پیچیدگی مساله‌ی بهینه‌سازی پارامترهای کنترلی، الگوریتم ژنتیک مورد استفاده قرار گرفت. وجه تمایز الگوریتم ژنتیک پیشنهادی در مقایسه با سایر الگوریتم‌ها تعریف کروموزوم‌ها به صورت ماتریسی می‌باشد.

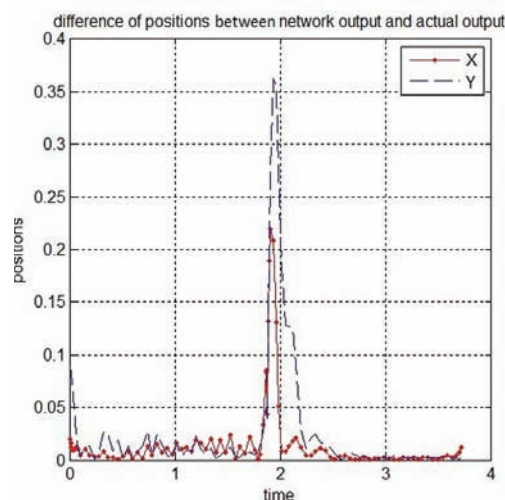
۶- باید تاکید داشت برنامه توانبخشی این گونه نیست که تا زمانی ادامه یابد که بیمار دردی احساس نکند یا درد کمی داشته باشد، بلکه باید تا زمان اطمینان از بهبودی ادامه پیدا کند.

« ادامه در صفحه ۳۴ »

جدول ۱: وزن و بایاس شبکه عصبی MLP پیشنهادی برای مفصل ۱

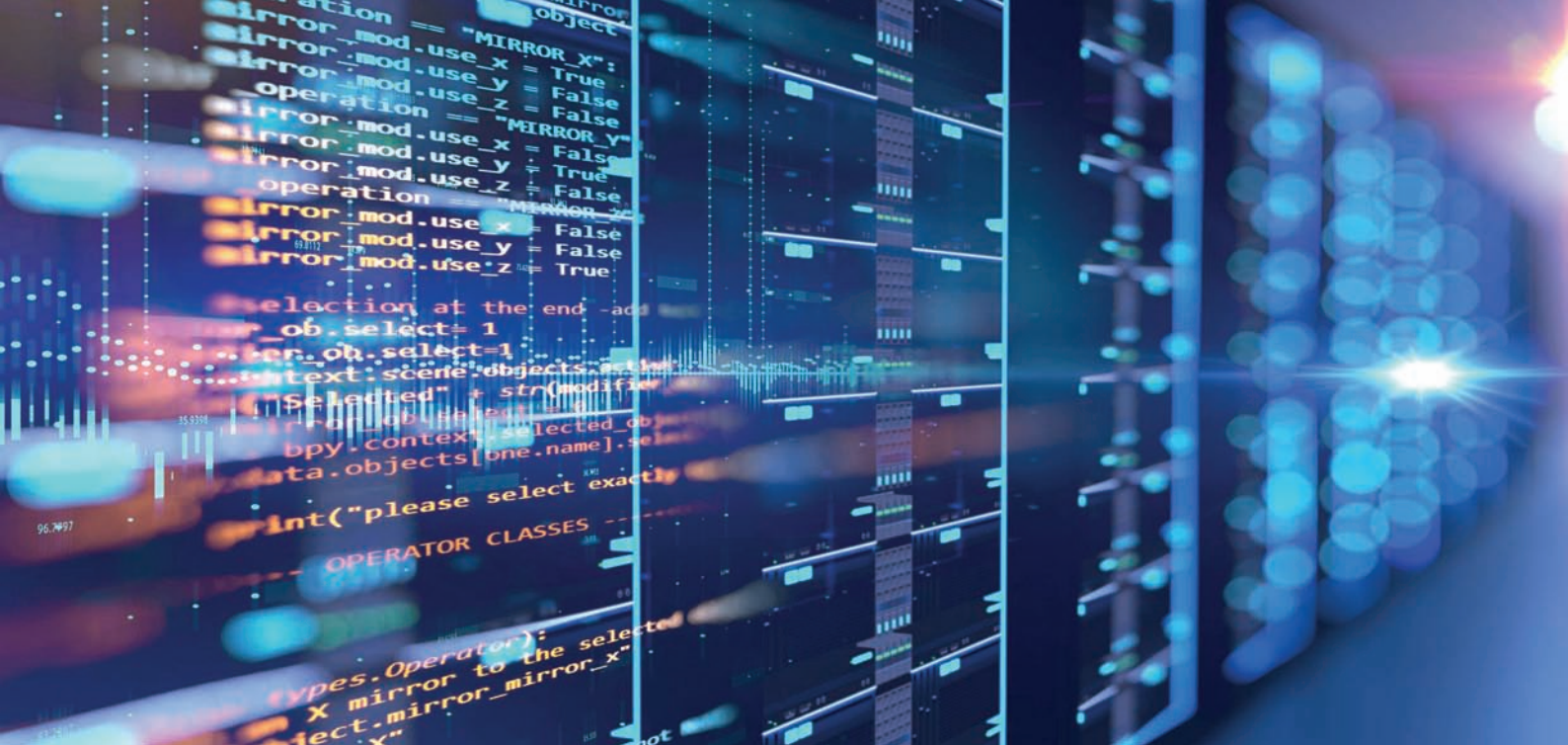
w(1,1)	w(2,1)	b(1)	b(2)
-1.3370	-2.7945	2.3883	0.4767
0.1686	-0.6542	-0.3739	
0.1437	-0.3735	-0.1026	
0.1332	-0.2878	-0.0565	
0.1914	-0.8640	-0.6795	
0.9674	2.5398	0.0812	
1.1624	-0.6009	-1.2252	
-0.1694	0.6654	0.3890	
-0.1473	0.4066	0.1242	
0.1583	-0.5220	-0.2194	
3.0389	-1.9478	-5.9277	
-0.0881	1.4560	-1.0628	
-0.1891	0.8422	0.6456	
0.1916	-0.8684	-0.6839	
0.1392	-0.3344	-0.0800	
0.1100	-0.1665	-0.0099	
-0.1663	0.6228	0.3329	
-1.0580	0.0915	1.6298	
11.9988	1.5388	-23.2530	

در نهایت میزان انحراف مسیر واقعی از مسیر مطلوب در شکل (۱۳) نشان داده شده است.



شکل ۱۳: میزان انحراف مسیر واقعی از مسیر مطلوب

بالاخره نمودار تابع شایستگی الگوریتم ژنتیک مورد استفاده در روش پیشنهادی در شکل (۱۴) نمایش داده شده است. ضمناً مقادیر بهینه پارامترهای ژنتیک برابر خواهند بود با:



مقاله علمی-ترویجی

مروری بر چالش‌ها و روش‌های فیلترسازی در سیستم‌های توصیه‌گر

■ دانیال شریف‌رازی / گروه مهندسی کامپیوتر / دانشکده فنی و مهندسی / واحد شیراز / دانشگاه آزاد اسلامی / شیراز - ایران / daniel.sharifrazi@gmail.com

■ محمدامین شایگان* / گروه مهندسی کامپیوتر / دانشکده فنی و مهندسی / واحد شیراز / دانشگاه آزاد اسلامی / شیراز - ایران / Shayegan@iaushiraz.ac.ir
* نویسنده مسوول

چکیده

با افزایش روز افزون اهمیت اینترنت در زندگی انسان‌ها، وبسایت‌ها به یک ابزار بسیار مهم در تجارت الکترونیک جهت انجام معاملات روزانه تبدیل شده‌اند. رشد تصاعدی حجم اطلاعات در سایت‌های اینترنتی، سبب سردرگمی کاربران اینترنت، جهت یافتن اطلاعات مناسب با سلايق ایشان شده است. سیستم‌های توصیه‌گر با استفاده از تکنیک‌های نرم‌افزاری، سعی در ارائه پیشنهادهای متناسب با سلايق کاربران برای ایشان را دارند. این سیستم‌ها سبب صرفه جویی در هزینه و زمان برای کاربران اینترنت می‌شوند. در این مقاله مروری به تعاریف، چالش‌ها و انواع روش‌های فیلترسازی اطلاعات در سیستم‌های توصیه‌گر پرداخته می‌شود. نقاط ضعف و قوت هر کدام به بحث گذاشته شده و در انتها نتیجه‌گیری نهایی از مطالب ذکر شده بیان خواهد شد.

کلمات کلیدی: سیستم‌های توصیه‌گر، فیلترسازی محتوا محور، فیلترسازی مشارکتی، فیلترسازی هیبریدی

A Review of the Challenges and Methods of Filtering in Recommender Systems

■ Daniel Sharifrazi/ Department of Computer Engineering/ School of Technical and Engineering/ Shiraz Branch/ Islamic Azad University/ Shiraz, Iran/ daniel.sharifrazi@gmail.com

■ Mohammad Amin Shayegan*/ Department of Computer Engineering/ School of Technical and Engineering/ Shiraz Branch/ Islamic Azad University/ Shiraz, Iran/ Shayegan@iaushiraz.ac.ir
*corresponding author

Abstract

With the increasing importance of the Internet in the lives of people, websites have become a very important tool in e-commerce for daily transactions. The exponential growth of information on websites has confused Internet users to find suitable information in the line of their tastes. Recommender systems, using software techniques, try to offer suggestions tailored to their users' preferences. These systems, which have become an efficient tool in the field of Computer Science, save time and money for Internet users. In this review article definitions, challenges and types of information filtering methods in recommender systems are discussed. The advantages and disadvantages of each method will be discussed and the final conclusions will be drawn.

Keywords: Recommender Systems, Content-based Filtering, Collaborative Filtering, Hybrid Filtering

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر با توسعه سریع فناوری‌های اخذ اطلاعات از راه دور، ذخیره‌سازی اطلاعات و تکنولوژی شبکه، حجم داده‌های موجود به طور فزاینده‌ای افزایش یافته است [۱]. از طرفی رشد سریع اینترنت منجر به در دسترس بودن این حجم عظیم از اطلاعات، در وب‌سایت‌ها شده است [۲]. از سوی دیگر با فراگیر شدن فناوری‌های جدید، تقاضای خرید آنلاین روزبه‌روز در حال افزایش است. از این رو مشتریان نیاز دارند که قبل از تصمیم‌گیری نهایی، تمام بررسی‌های لازم در خصوص آن محصول را انجام دهند [۳]. لیکن افزایش حجم اطلاعات باعث می‌شود تا تصمیم‌گیری برای کاربران دشوارتر شود. این پدیده با عنوان سربار اطلاعاتی در جهان امروز شناخته می‌شود [۴]. در عصر سربار اطلاعاتی، یافتن گزینه مناسب از میان تعداد زیادی از محصولات و سرویس‌ها ممکن است برای کاربران اینترنت دشوار باشد. از این رو در این میان نیاز به پیشنهادات شخصی به‌طور کامل احساس می‌شود [۵]. استفاده از تکنیک‌های هوش مصنوعی به‌منظور استفاده از اطلاعات بدست آمده از داده‌های حجیم و تبدیل آن به دانش مفید که به آن داده‌کاوی گفته می‌شود، یکی از مسایل اصلی در تجزیه و تحلیل اطلاعات داده‌های حجیم است [۶]. ایده کلی فراوری فرایند داده‌کاوی، دستیابی به دانش مفید از مجموعه داده‌های عمده و طبیعت آنها به شکل قابل درک برای کاربردهای بیشتر در آینده است.

وب‌کاوی یکی از بخش‌های داده‌کاوی به حساب می‌آید و شامل سه طبقه‌بندی گوناگون است: کاوش ساختار وب، کاوش محتوای وب و کاوش کاربرد وب. کاوش ساختار وب، برای شناخت ارتباط بین اطلاعات مرتبط یا متفاوت به‌صورت مستقیم و یا اطلاعات صفحات وب استفاده شده و یا برای استخراج ارتباطات ناشناخته گذشته بین صفحات وب مورد استفاده قرار می‌گیرد. کاوش محتوای وب، بیشتر برای استخراج اطلاعات مفید و ضروری از محتوای صفحات وب استفاده می‌شود. کاوش کاربرد وب، برای شناخت الگوهای کاربردی جالب توجه از داده‌های در دسترس در وب استفاده می‌شود تا به نحو بهتری بتواند کاربردهای مرتبط با وب را ارایه داده و درک نماید. سیستم‌های توصیه‌گر، بخشی از کاوش کاربرد وب هستند که در آنها، اولویت‌های رده‌بندی، توسط کاربر برای هر محصول یا آیت، بر مبنای منافع وی حاصل می‌شود [۷].

در این مقاله مروری تلاش شده است تا روش‌های فیلترسازی اطلاعات موجود در وب، جهت استفاده در سیستم‌های توصیه‌گر معرفی شود. از این رو بر این اساس، ساختار این مقاله به‌صورت زیر تنظیم شده است.

در بخش ۲، سیستم‌های توصیه‌گر به اختصار معرفی شده است. بخش ۳ به مرور و دسته‌بندی چالش‌های موجود در سیستم‌های توصیه‌گر می‌پردازد. انواع سیستم‌های توصیه‌گر به تفصیل در بخش ۴ معرفی شده و انواع روش‌های فیلترسازی در آنها مورد بررسی قرار گرفته است. در نهایت در بخش ۵، نتیجه‌گیری نهایی از مطالب بیان شده ارایه شده و انواع روش‌های فیلترسازی در سیستم‌های توصیه‌گر مورد مقایسه و بحث قرار گرفته‌اند. ساختار این مقاله مشابه با ساختار سایر مقالات مروری ارایه شده در حوزه سیستم‌های توصیه‌گر مانند منصور و همکاران [۷] و پاتل و همکاران [۸] بوده، لیکن در این پژوهش مباحث به‌صورت کامل‌تر و به‌روزتر به بحث گذاشته خواهند شد.

۲- سیستم‌های توصیه‌گر

در سال‌های اخیر، بحث سیستم‌های توصیه‌گر، یکی از موضوع‌های

جذاب در حوزه‌های علوم و صنایع بوده است [۹]. این سیستم‌ها جهت یافتن آیت‌های مناسب برای کاربران طراحی شده و به‌تازگی به یکی از ابزارهای بسیار محبوب در حوزه تحقیقات هوشمند تبدیل شده‌اند [۱۰]. سیستم‌های توصیه‌گر به خرده‌فروشان کمک می‌کنند تا کالاهای مناسب را بر اساس نیاز مصرف‌کنندگان پیشنهاد کنند [۱۱]. سیستم‌های توصیه‌گر، مجموعه‌ای از ابزارها و تکنیک‌های ارایه پیشنهادات مفید به کاربران هستند که با فیلتر کردن اطلاعات، به کاربران در روند تصمیم‌گیری در جهت انتخاب محصولات و خدمات مناسب کمک می‌کنند [۱۲، ۱۳]. سیستم‌های توصیه‌گر به‌طور کلی از روش‌های تشابه مشخصات، رتبه‌بندی محصولات و یا سایر تکنیک‌ها استفاده می‌کنند [۱۴]. به‌عنوان مثال، به‌تازگی این سیستم‌ها از الگوریتم‌های یادگیری ماشین در زمینه هوش مصنوعی استفاده کرده و توانسته‌اند سلاقی یک کاربر خاص را بر اساس مشخصات فردی‌اش پیش‌بینی کنند [۱۵، ۱۶]. امروزه بحث در خصوص سیستم‌های توصیه‌گر به یک حوزه جدید از تحقیق در یادگیری ماشین تبدیل شده است [۱۷]. با این حال انتخاب یک الگوریتم مناسب برای یک سیستم توصیه‌گر بسیار دشوار است [۱۶].

امروزه سیستم‌های توصیه‌گر به‌طور گسترده‌ای در فعالیت‌های تجارت الکترونیک مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۱۸]. همچنین این سیستم‌ها در حال حاضر به‌طور گسترده‌ای در حوزه مصارف الکترونیکی و سرگرمی‌ها و همچنین در حوزه تجارت الکترونیک توسط شرکت‌های بزرگ (مانند آمازون) و میلیون‌ها کاربر (مثلاً ۹۳ میلیون برای نتفلیکس) مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۱۹].

در وب‌سایت‌های تجارت الکترونیک، اطلاعات موجود در توصیه‌گرها، به‌طور معمول بر اساس یک ارزیابی کلی توسط مشتریان ایجاد می‌شود [۲۰]. این ارزیابی‌ها می‌توانند به‌صورت بازخوردهای صریح (مانند رتبه‌بندی) یا بازخوردهای تلویحی (مانند کلیک کردن، خرید کردن و چک کردن) باشد [۲۱]. تخمین زده شده است که مشتریان ۳۰٪ از صفحات آمازون و ۸۰٪ از فیلم‌های نتفلیکس را به دنبال توصیه‌های ارایه شده توسط سیستم‌های توصیه‌گر، مشاهده می‌کنند [۲۲].

۳- چالش‌های موجود در سیستم‌های توصیه‌گر

بهبود سطح کیفیت پیشنهادات ارایه شده به کاربران، از چالش‌های مهم حوزه سیستم‌های توصیه‌گر می‌باشد [۲۳]. اما به‌طور کلی می‌توان چالش‌های موجود در سیستم‌های توصیه‌گر را در پنج گروه اصلی دسته‌بندی کرد که عبارتند از: شروع سرد [۳۵-۲۴]، مقیاس‌پذیری [۴۱-۳۶]، پراکندگی [۴۲-۴۷، ۳۴]، هم‌نامی [۴۸، ۷، ۸] و حریم خصوصی [۴۹-۵۴]. در ادامه به معرفی هر کدام از موارد زیر پرداخته می‌شود.

۳-۱ شروع سرد

مشکل شروع سرد زمانی رخ می‌دهد که یک کاربر جدید یا آیت جدید به سیستم اضافه می‌شود. این چالش بیان می‌کند که چگونه می‌توان محصولات را به یک کاربر جدید پیشنهاد داد در حالی که علایق وی هنوز مشخص نیست و تاکنون به هیچ آیتی امتیاز نداده است [۵۵].

۳-۲ مقیاس‌پذیری

مقیاس‌پذیری توانایی سیستم را برای کارکرد موثر، هنگامی که اطلاعات در حال افزایش است بیان می‌کند. یک سیستم توصیه‌گر نیاز دارد در زمانی که تعداد کاربران یا آیت‌ها در حال افزایش است آیت‌ها را به کاربران بدون هیچ گونه تغییری پیشنهاد دهد. برای

رسیدن به این هدف، محاسبات و هزینه‌های زیادی مورد نیاز خواهد بود [۵۶].

۳-۳- پراکندگی

مشکل پراکندگی داده‌ها، یک مساله بسیار مهم در سیستم‌های توصیه‌گر است. سیستم‌های توصیه‌گر به ماتریس امتیازدهی کاربران برای پیشنهاد آیت‌ها به سایر کاربران بسیار وابسته هستند. مشکل پراکندگی داده‌ها زمانی رخ می‌دهد که کاربر، یک ماتریس بزرگ از کالاهای را در اختیار دارد ولی به بسیاری از آیت‌های موجود در این ماتریس بزرگ، امتیاز نداده است [۲۸].

۳-۴- هم‌نامی

بسیاری از آیت‌ها یا محصولات مشابه که در ورودی یا نام‌های متفاوت ذخیره می‌شوند، تحت عنوان هم‌نام لحاظ می‌شوند. به سستی می‌توان تفاوت‌های بین کاربران یا آیت‌های مشابه را که هنوز توسط سیستم شناسایی نشده‌اند مشخص نمود. در آیت‌های هم‌نام، هیچ شباهتی بین دو محصول یا آیت‌ها که بتوان شباهت آنها را با استفاده از مقادیر شباهت محاسبه نمود (در فیلترسازی مشارکتی)، وجود ندارد [۷].

۳-۵- حریم خصوصی

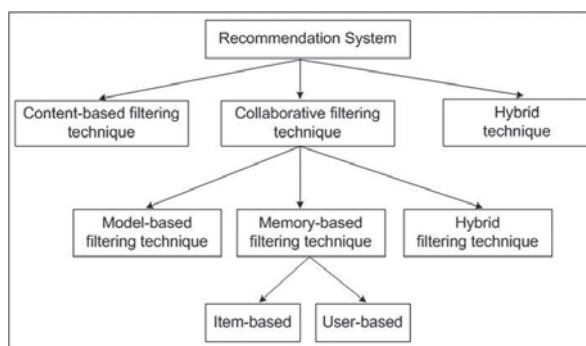
حریم خصوصی یکی از مسایل بسیار مهم در سیستم‌های توصیه‌گر است. سیستم‌های توصیه‌گر برای ارائه پیشنهاد، نیاز به دانستن اطلاعاتی در مورد کاربران دارند. لیکن کاربران نیاز دارند بدانند که برای دریافت پیشنهاد، چه اطلاعاتی از آنها و چگونه مورد استفاده قرار خواهد گرفت [۷۵].

۴- انواع سیستم‌های توصیه‌گر

سیستم‌های توصیه‌گر، بر مبنای اطلاعات مورد استفاده برای توزیع محصولات یا آیت‌ها برای کاربران، به گروه‌های مختلفی طبقه‌بندی می‌شوند. سه طبقه‌بندی کلی برای این سیستم‌ها عبارتند از [۵۸]:

- فیلترسازی محتوا محور
- فیلترسازی مشارکتی
- فیلترسازی هیبریدی

شکل (۱) انواع سیستم‌های توصیه‌گر را به اختصار نشان می‌دهد.



شکل ۱: انواع سیستم‌های توصیه‌گر [۸]

۴-۱- فیلترسازی محتوا محور

الگوریتم‌های فیلترسازی محتوا محور از سلاقی کاربران برای پیشنهادات بعدی به وی استفاده می‌کنند. از این‌رو چالش‌های مهم این الگوریتم‌ها در چگونگی پیدا کردن سلاقی کاربر بر اساس محتوای آیت‌ها است. برای حل این مشکل، از بسیاری از روش‌های داده‌کاوی و یادگیری ماشین می‌توان استفاده نمود [۵۹]. در این نوع فیلترسازی، سیستم از محتوای آیت‌ها استفاده کرده و شباهت میان

آنها را پیدا می‌کند. پس از تجزیه و تحلیل تعداد کافی از آیت‌های مورد علاقه کاربر، آیت‌های دارای اولویت بیشتر برای آن کاربر خاص، در پروفایل کاربر ذخیره می‌شود. در مرحله بعد، سیستم توصیه‌گر در پایگاه داده‌ها جستجو کرده و موارد مناسب را با توجه به پروفایل کاربر انتخاب می‌کند [۵۸، ۶۰]. در این روش، آیت‌های جدید بر اساس میزان شباهتشان با آیت‌های موجود در پروفایل کاربر، پیشنهاد می‌شوند [۶۱]. به عنوان مثال، اگر کاربر به فیلم‌های ژانر کمدی امتیاز مثبت دهد، سیستم یاد می‌گیرد که سایر فیلم‌های ژانر کمدی را نیز به این کاربر پیشنهاد دهد [۱۸].

در روش فیلترسازی بر پایه محتوا، پیشنهادات به کاربران تنها توسط رفتار و داده‌های تک کاربر ارائه می‌شود. توصیه آیت‌ها و پروفایل کاربری خاص، نقش بسیار مهمی را در روش فیلترسازی محتوا محور ایفا می‌کنند [۸]. در واقع، سیستم‌های محتوا محور سعی در پیشنهاد آیت‌های مشابه با آیت‌هایی را دارند که کاربر در گذشته آنها را دوست داشته است [۶۲].

۴-۲- فیلترسازی مشارکتی

در اواسط دهه ۱۹۹۰، سیستم‌های توصیه‌گر مشارکتی نقش بسیار مهمی در زمینه فیلترسازی مشارکتی را بدست آوردند [۶۳]. این نوع از فیلترسازی، از پرکاربردترین روش‌های فیلترسازی در سیستم‌های توصیه‌گر بوده [۶۴] و در حال حاضر یکی از موفق‌ترین روش‌های فیلترسازی در ارائه پیشنهادات به کاربران نیز محسوب می‌شوند [۶۵]. به عنوان مثال، فناوری فیلترسازی مشارکتی در سال‌های اخیر، نتایج بسیار مهمی را در وبسایت‌های بزرگی مانند آمازون و فیسبوک در زمینه‌های نظری و عملی بدست آورده است. ایده اصلی سیستم‌های مشارکتی این است که کاربرانی که در گذشته عادت‌های مصرف مشابهی داشته‌اند، تمایل دارند در آینده نیز موارد مشابهی را به اشتراک بگذارند [۶۶].

در این روش، سیستم توصیه‌گر کاربرانی که سلاقی مشابه دارند را از طریق رفتارهای گذشته آنها شناسایی می‌کند. به عنوان مثال، آیت‌هایی که پیش‌تر توسط این کاربران دیده، خریده و یا امتیاز داده شده‌اند شناسایی شده و در مرحله بعد، این آیت‌ها به کاربران جدیدی که سلاقی مشابه با سایر کاربران در گذشته داشته‌اند، پیشنهاد می‌شوند [۱۷، ۶۷]. تجربه نشان داده است که استفاده از این سیستم‌ها در وبسایت‌ها، نه تنها سودآوری بیشتری را در حوزه تجارت الکترونیک نسبت به سایر روش‌ها به همراه دارد، بلکه سبب افزایش رضایت کاربران نیز می‌شود [۶۸، ۶۹].

سیستم‌های مشارکتی به دو نوع اصلی حافظه محور و مدل محور تقسیم می‌شوند [۷۰]. با ترکیب این دو روش فیلترسازی، سیستم‌های توصیه‌گر هیبریدی ساخته می‌شود [۸].

۴-۲-۱- فیلترسازی حافظه محور

در این روش، سیستم توصیه‌گر پیشنهادات خود را از طریق دیدگاه‌های مشابه سایر کاربران با کاربر فعال ارائه می‌دهد. کاربران با دیدگاه‌ها و امتیازهای مشابه، کاربران همسایه نامیده می‌شوند. هنگامی که همسایگان کاربر فعال مشخص شدند، از الگوریتم‌های متفاوتی جهت ترکیب دیدگاه‌های کاربران همسایه با کاربر فعال و در نتیجه ارائه پیشنهاد نهایی استفاده می‌شود. در الگوریتم‌های بر پایه حافظه، به‌طور معمول از معیار شباهت جهت ارائه توصیه‌ها استفاده می‌شود. شباهت میان کاربران یا آیت‌ها می‌تواند بر مبنای امتیازدهی کاربران همسایه با کاربر فعال باشد.

روش فیلترسازی حافظه محور در دو نوع متفاوت طبقه‌بندی می‌گردد که شامل روش‌های فیلترسازی بر پایه کاربر و بر پایه آیت می‌باشد [۸].

الف) روش فیلترسازی کاربرمحور

فیلترسازی کاربر محور بر مبنای برخی از آیتم‌های مشترک انجام می‌شود که میزان شباهت با استفاده از فرمول مجموع وزن‌ها محاسبه می‌گردد. فرمول مجموعه وزن‌ها از میانگین امتیازات کاربرانی که در گذشته به آن آیتم امتیاز داده بودند محاسبه می‌گردد. این مقادیر وزنی به عنوان شباهت کاربران با آیتم مورد نظر معرفی می‌شود. پیش‌بینی نهایی با استفاده از وزن‌های محاسبه شده در معادله (۱) و جایگذاری در معادله (۲) انجام می‌گردد [۷۱].

الگوریتم سیستم توصیه‌گر مشارکتی کاربرمحور، ساده است. در این نوع فیلترسازی، کاربر هدف بر اساس داده‌های جمع‌آوری شده از کاربران همسایه یافت می‌شود. کاربران همسایه کاربرانی هستند که در گذشته سلاقی مشابهی را با کاربران هدف داشته‌اند [۷۲]. وجه تشابه میان دو کاربر در سیستم‌های کاربرمحور، توسط امتیازات داده شده آنها به آیتم‌های مشترک محاسبه می‌شود [۷۳]. وجه تشابه در این سیستم‌ها، توسط ضریب پیرسون محاسبه می‌گردد (معادله ۱) [۷۴].

$$[74] S(a, u) = \frac{\sum_{i=1}^n (r_{a,i} - \bar{r}_a)(r_{u,i} - \bar{r}_u)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (r_{a,i} - \bar{r}_a)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (r_{u,i} - \bar{r}_u)^2}} \quad (1)$$

در این فرمول، S معیار شباهت، a کاربر فعال، u کاربر ورودی، r امتیازات موجود در جدول آیتم-کاربر و به معنای میانگین امتیازات کاربر مورد نظر می‌باشد.

پس از یافتن شباهت‌هایی میان کاربران، مرحله بعدی پیش‌بینی امتیاز کاربر هدف به آیتم مورد نظر می‌باشد. پیش‌بینی مطابق معادله (۲) انجام می‌گردد [۷۲].

$$[72] p(a, i) = \bar{r}_a + \frac{\sum_{i=1}^n (r_{u,i} - \bar{r}_u) \times S(a, u)}{\sum_{i=1}^n S(a, u)} \quad (2)$$

در این معادله، p به معنای امتیاز پیش‌بینی شده می‌باشد.

ب) روش فیلترسازی آیتممحور

این روش فیلترسازی با استفاده از شباهت میان آیتم‌ها و شباهت میان کاربران پیش‌بینی‌ها را انجام می‌دهد. از ماتریس آیتم-کاربر می‌توان این مساله را محاسبه کرد که آیتم‌های دریافتی، با آیتم هدف تا چه اندازه مشابه هستند. سپس تعدادی از مشابه‌ترین آیتم‌ها انتخاب و به کاربر توصیه می‌شود [۷۵].

در روش فیلترسازی آیتممحور، فرض می‌شود که علایق کاربر، با تغییرات بسیار کمی در آینده مواجه خواهد شد. هنگامی که کاربران به آیتم‌ها نظر مثبت می‌دهند، سیستم توصیه‌گر با استفاده از تجزیه و تحلیل امتیازات کاربران به آیتم‌ها در گذشته، می‌تواند آیتم‌های کاندید را جمع‌آوری کند. سپس سیستم توصیه‌گر با خوشه‌بندی آیتم‌های مشابه، کالاهای جدید را پیشنهاد می‌کند [۷۲].

برای محاسبه شباهت میان آیتم‌ها، به‌طور کلی از سه روش ضریب همبستگی پیرسون (معادله ۱)، شباهت کسینوسی و شباهت کسینوسی تنظیم شده استفاده می‌شود [۷]. شباهت کسینوسی مطابق معادله (۳) و شباهت کسینوسی تنظیم شده مطابق معادله (۴) محاسبه می‌گردند [۶۱].

$$[61] \text{Cosine - Similarity}(u, v) = \frac{\bar{r}_u \otimes \bar{r}_v}{|\bar{r}_u| \cdot |\bar{r}_v|} \quad (3)$$

$$[61] \text{Adjusted - Cosine - Similarity}(u, v) = \frac{\sum_{i \in I} (r_{u,i} - \bar{r}_u)(r_{v,i} - \bar{r}_v)}{\sqrt{\sum_{i \in I} (r_{u,i} - \bar{r}_u)^2} + \sqrt{\sum_{i \in I} (r_{v,i} - \bar{r}_v)^2}} \quad (4)$$

در معادله‌های (۳) و (۴)، R به معنای امتیاز در جدول آیتم-کاربر و حروف u و v هر کدام بیانگر یک آیتم هستند.

۴-۲ روش فیلترسازی مدل محور

روش فیلترسازی بر پایه مدل، از ضریب شباهت در مجموعه داده‌ها استفاده نمی‌کند، بلکه به ایجاد یک مدل از مجموعه داده‌ها پرداخته و سپس به آرایه توصیه بر اساس مدل ساخته شده می‌پردازد. این روش می‌تواند از امتیازدهی پیشین کاربران جهت ایجاد مدل استفاده کند. فرایند ساخت مدل را می‌توان با استفاده از روش‌های داده‌کاوی و یادگیری ماشین انجام داد. این روش فیلترسازی، می‌تواند مساله پراکندگی داده‌ها در سیستم‌های توصیه‌گر را حل کند [۸].

در ادامه برخی از تکنیک‌های داده‌کاوی و یادگیری ماشین که در سیستم‌های توصیه‌گرمحتوای محور و مدل محور مورد استفاده قرار می‌گیرند، معرفی می‌گردند.

الف) رگرسیون

هنگامی که دو یا چند متغیر از طریق یک رابطه خطی با هم در ارتباط هستند، از روش رگرسیون برای بیان ارتباط بین آنها استفاده می‌شود. این روش، برای بررسی وابستگی یا عدم وابستگی بین متغیرها، فرایندی مناسب است [۷۱].

عملکرد روش رگرسیون، به فرم فرایند تولید داده‌ها و نحوه استفاده از آن بستگی دارد. زیرا اغلب، روال فرایند تولید داده‌ها، یک روال بدون نظارت است. تکنیک رگرسیون در بسیاری از موارد به نحوه ساختن فرضیات بستگی دارد. اگر مقدار کافی از داده در دسترس باشد، این فرضیات بیشتر قابل آزمایش هستند. رگرسیون برای عمل پیش‌بینی می‌تواند مفید باشد اگر چه ممکن است روش بهینه‌ای نباشد. رگرسیون در بسیاری از کاربردها به خصوص در زمانی که تعداد داده‌ها کم باشد می‌تواند نتایج گمراه کننده‌ای به بار آورد [۷۶].

ب) طبقه‌بندی کننده بیزین

در این روش، پروفایل کاربر بر اساس توزیع احتمال شرطی (معادله ۵) و قضیه بیز مدل سازی می‌شود. در این معادله، C کلاس‌ها و X توصیفات کلاس‌ها هستند [۷۷، ۷۸].

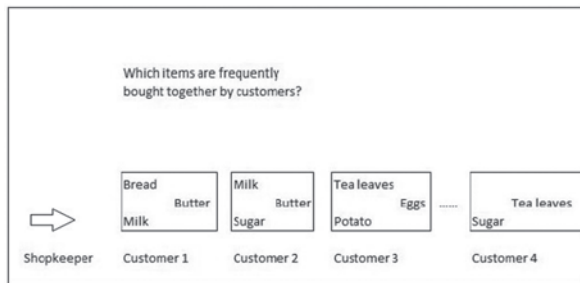
$$[77, 78] P(c|x) = \frac{P(c)P(x|c)}{P(x)} \quad (5)$$

در رویکرد طبقه‌بندی بدون نظارت، هدف، یافتن کلاس‌ها از مجموعه‌ای از اشیاء غیرطبقه‌بندی شده است. پس از یافتن چنین مجموعه‌ای از کلاس‌ها، آنها می‌توانند مبنای طبقه‌بندی موارد جدید باشند. در رویکرد بدون نظارت طبقه‌بندی بیزین، هدف، یافتن محتمل‌ترین مجموعه از توصیف‌های یک کلاس است [۷۹]. در رویکرد طبقه‌بندی با نظارت، هر ویژگی و برچسب کلاس به صورت متغیرهای تصادفی در نظر گرفته می‌شوند.

طبقه‌بندی کننده‌های بیزین برای محیط‌هایی که اطلاعات پروفایل کاربر و سلاقی کاربر به کندی در حال تغییر باشد مناسب است، زیرا به مدت زمان بیشتری برای ساخت مدل نیاز دارند و از این رو این روش برای محیط‌هایی که اطلاعات پروفایل کاربر و سلاقی وی به طور مداوم و با سرعت در حال تغییر باشد مناسب نیست [۷۱].

ج) تکنیک تکمیل ماتریس

مشکل پراکندگی در بیشتر موارد باعث ناتوانی یک سیستم توصیه‌گر در پیش‌بینی دقیق و قابل اعتماد آیتم‌ها به کاربران می‌شود [۸۰]. تکنیک تکمیل ماتریس به استنباط ورودی‌های مفقود شده از یک جدول از شماره‌ها اشاره دارد. این موضوع از نظر جبرشناسی مورد مطالعه قرار گرفته و در حوزه سیستم‌های توصیه‌گر، برای رتبه‌بندی محصولات مشتریان بسیار محبوب شده است [۸۱]. تکنیک تکمیل



شکل ۲: قانون انجمن [۹۲].

۲- شبکه‌های عصبی مصنوعی

طبقه‌بندی، یکی از متداول‌ترین کارهای تصمیم‌گیری فعالیت‌های انسان است. طبقه‌بندی هنگامی رخ می‌دهد که نیاز است یک شیء در یک گروه یا کلاس از پیش تعریف شده قرار بگیرد [۹۳]. رشد سریع و موفقیت‌آمیز برنامه‌هایی که از تکنیک شبکه‌های عصبی استفاده می‌کنند، در زمینه‌های متنوعی مانند تجارت، علم، صنعت و پزشکی، گواه روشنی بر توانایی شبکه‌های عصبی هستند [۹۴]. از شبکه‌های عصبی برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از قبیل پیش‌بینی، طبقه‌بندی و خوشه‌بندی استفاده می‌شود. این شبکه‌ها قادر به تشخیص و تکثیر هر الگوی غیرخطی پیچیده می‌باشند که از سلول‌های مغز انسان الهام گرفته شده است [۹۵].

برخی مزایا جهت استفاده از شبکه‌های عصبی نسبت به سایر روش‌ها وجود دارد. به‌عنوان مثال، این شبکه‌ها دارای نوروهای زیادی با اتصالات وزنی بوده و بنابراین در مقابل داده‌های نویزی و اشتباه در پایگاه داده‌ها، مقاوم هستند [۷۱].

۳- یادگیری عمیق

یادگیری عمیق نوعی روش یادگیری ماشین است که باعث می‌شود کامپیوترها، از دانش بدون فرآیند برنامه‌نویسی صریح یاد بگیرند و الگوهای مفیدی را از داده‌های خام استخراج کنند. یادگیری عمیق با ساخت چندین ویژگی ساده، برای نمایش دادن یک مفهوم پیچیده، مسایل بازنمایی را حل می‌کند [۹۶].

شبکه‌های عصبی عمیق از شبکه‌های عصبی مصنوعی ایجاد شده‌اند. شبکه‌های عصبی مصنوعی به طور معمول حاوی تعداد کمی لایه (کم عمق) هستند. در حالی که شبکه‌های عصبی عمیق، حاوی تعداد بیشتری لایه پنهان (عمیق) هستند. با وجود لایه‌های بیشتر، شبکه‌های عصبی عمیق توانایی یادگیری دانش موجود در داده‌های بزرگ را دارند [۹۷]. یادگیری عمیق توسط چندین لایه پردازش غیرخطی انجام شده که سعی در بازنمایی سلسله مراتبی داده‌ها را دارند. ساختارهای متفاوتی برای طراحی شبکه‌های عصبی عمیق وجود دارد که از جمله مهم‌ترین آنها می‌توان به شبکه‌های عصبی بازگشتی، ماشین بولتزمن محدود، باور عمیق، خودرمن‌نگار و کانولوشن اشاره نمود [۹۸].

۴- روش فیلترسازی هیبریدی

روش فیلترسازی هیبریدی، از روش‌های فیلترسازی متفاوت برای بهینه‌سازی بیشتر سیستم و اجتناب از برخی از محدودیت‌ها و مشکلات هر یک استفاده می‌کند. ایده فیلترسازی هیبریدی، ترکیب چند روش است که می‌تواند توصیه‌های بهتر و کارآمدتری را نسبت به تک الگوریتم‌های قبلی ارائه دهد، زیرا عیب یک الگوریتم توسط الگوریتم‌های دیگر برطرف می‌شود. یک روش توصیه هیبریدی، بهترین ویژگی دو یا بیشتر از دو روش را در یک روش واحد تلفیق

ماتریس در بسیاری زمینه‌ها مانند فیلترسازی مشارکتی، کاربرد گسترده‌ای دارد [۸۲].

از این تکنیک بیشتر برای پیش‌بینی مقادیر امتیاز داده نشده کاربران در ماتریس آیتم-کاربر استفاده می‌شود. یکی از محبوب‌ترین روش‌های این تکنیک، استفاده از روش نزدیک‌ترین همسایه است که بیشتر در توصیه‌گرهای مشارکتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش بسیار به نحوه امتیاز سایر کاربران در گذشته وابسته است. با این وجود در اکثر مواقع، ماتریس آیتم-کاربر بسیار بزرگ بوده و بنابراین دارای مشکل پراکندگی است [۸۳].

د) خوشه‌بندی

تکنیک‌های خوشه‌بندی در حوزه‌های مختلفی مانند شناسایی الگو، پردازش تصویر، آنالیز داده‌ها و ... مورد استفاده قرار گرفته است [۱۳]. تکنیک‌های خوشه‌بندی تلاش می‌کنند که مجموعه‌ای از داده‌ها را به زیر خوشه‌هایی تقسیم‌بندی کنند به گونه‌ای که روابط معنی‌داری بین خوشه‌ها موجود باشد [۸۴]. یک خوشه می‌تواند از میانگین نظرات کاربران تشکیل شود و برای ارائه پیشنهاد به کاربران دیگر مورد استفاده قرار گیرد. یک الگوریتم خوشه‌بندی خوب، خوشه‌ها را با کیفیت بالا تولید می‌کند که در آن شباهت بین اعضای هر خوشه زیاد است. دو مورد از معروف‌ترین روش‌های خوشه‌بندی، K-Means و SOM (Map Organizing Self) هستند [۷۱].

و) درخت تصمیم

درخت تصمیم بر اساس روش‌های گراف درختی، که بر اساس تجزیه و تحلیل مجموعه از نمونه‌های آموزشی دارای برچسب کلاس هستند، ساخته می‌شود. سپس از این داده‌ها برای طبقه‌بندی نمونه‌های دیده نشده استفاده می‌شود. اگر آموزش داده‌ها با دقت بالا انجام گیرد، درخت تصمیم توانایی پیش‌بینی با دقت بالایی را خواهد داشت [۷۱]. درخت تصمیم مجموعه‌ای از ویژگی‌ها را به صورت یک نتیجه (یک کلاس) طبقه‌بندی می‌کند. در درخت تصمیم، هر گره یک آزمایش روی یک صفت، هر شاخه نتیجه آن تست و در انتها برگه نشان دهنده کلاس نتیجه هستند [۸۵]. ایده اصلی درخت تصمیم، تجزیه یک تصمیم پیچیده به چندین تصمیم ساده‌تر است [۸۶]. درخت تصمیم به عنوان یک درخت ریشه‌دار در نظر گرفته می‌شود. به این معنا که گره بدون یال ورودی ریشه نامیده می‌شود. سایر گره‌ها یک یا دو ورودی دارند. گره‌های با یال خروجی، گره داخلی یا تست نامیده می‌شوند. سایر گره‌ها، گره‌های تصمیم یا برگ نامیده می‌شوند. در یک درخت تصمیم، هر گره داخلی، فضای نمونه را به دو یا چندین زیرمجموعه تقسیم می‌کند. هر برگ به یک کلاس اختصاص داده می‌شود که مناسب ترین مقدار هدف را نشان می‌دهد. مسیرها با پیمایش از ریشه به سمت برگ‌ها طبقه‌بندی می‌شوند [۸۷].

و) قانون انجمن

با معرفی قانون انجمن در سال ۱۹۹۳ برای نخستین بار، این روش بسیار مورد توجه قرار گرفت و هنوز هم یکی از محبوب‌ترین روش‌های علم داده کاوی محسوب می‌شود [۸۸، ۸۹]. قانون انجمن به کشف و استخراج الگوهای پرتکرار، ارتباطات و همبستگی‌های میان داده‌ها و اشیای موجود در یک پایگاه داده می‌پردازد [۹۰]. این روش می‌تواند روابط یک آیتم را زمانی که آیتم‌های دیگر در یک تراکنش موجود هستند را پیش‌بینی کند [۹۱]. در واقع این روش بر شناسایی رفتار انسان‌ها تمرکز دارد که به راحتی قابل تفسیر هستند. شکل (۲) نمونه‌ای از این الگوها را نمایش می‌دهد [۹۲].

می‌نماید. رویکرد معمول در روش‌های توصیه‌هیبرید موجود، ادغام روش محتوا محور با روش‌های توصیه‌کننده دیگر است تا از مشکلاتی همچون شروع سرد، پراکندگی و مساله مقیاس‌پذیری اجتناب گردد [۴۷]. در بیشتر سیستم‌های هیبریدی، از ترکیب دو مدل محتوا محور و مشارکتی استفاده می‌شود [۱۴، ۴۷].

برای مقابله با چالش‌های موجود در سیستم‌های توصیه‌گر، از سیستم‌های توصیه‌گر هیبریدی، که روش فیلترسازی محتوا محور و مشارکتی را ترکیب می‌کنند، استفاده می‌شود. این روش‌ها همچنین می‌توانند از الگوریتم‌های یادگیری ماشین (مانند یادگیری عمیق) برای یادگیری ویژگی‌های آیت‌م و کاربر و ترکیب این ویژگی‌ها با مدل مشارکتی استفاده کنند [۳۱].

۵- نتیجه‌گیری و بحث

با مقایسه روش‌های فیلترسازی مختلف در سیستم‌های توصیه‌گر و بررسی چالش‌های موجود در هر یک از روش‌ها، می‌توان دریافت که سیستم‌های توصیه‌گر محتوا محور به صورت تک کاربره و با استفاده از روش‌های یادگیری ماشین به ارایه پیشنهادات خود می‌پردازند. این نوع از فیلترسازی سبب استقلال کاربر فعال از سایر کاربران شده و البته موجب از دست رفتن بسیاری اطلاعات مفید سایر کاربران نیز می‌شود. برخلاف روش‌های محتوا محور، فیلترسازی مشارکتی بر مبنای سلاقی مشابه کاربران به ارایه پیشنهادات خود می‌پردازد.

به این منظور، این نوع از سیستم‌ها از فرمول‌های ضریب شباهت در ساختار خود استفاده می‌کنند. وابستگی این نوع از روش‌های فیلترسازی به سایر کاربران، سبب ایجاد مشکلاتی نظیر شروع سرد، پراکندگی، مقیاس‌پذیری و هم‌نامی می‌شود.

تمامی نقاط ضعف و قوتی که برای روش‌های فیلترسازی مشارکتی بیان شد، در فیلترسازی مشارکتی حافظه محور نیز وجود دارند. حال آن‌که روش‌های مشارکتی مدل محور می‌توانند با ایجاد مدل از سلاقی کاربر، تا حدی کاستی‌های فیلترسازی مشارکتی را بهبود داده و البته سبب ایجاد کاستی‌های مشابه با فیلترسازی محتوا محور شوند.

سیستم‌های توصیه‌گر هیبریدی می‌توانند از ترکیب روش‌های فیلترسازی محتوا محور و مشارکتی و یا روش‌های مشارکتی حافظه محور و مدل محور در ساختار خود استفاده کنند. این موضوع سبب می‌شود بخش قابل توجهی از مشکلات موجود در روش‌های فیلترسازی، پوشش داده شود. هرچند برطرف شدن بسیاری از مشکلات پیشین ممکن است سبب افزایش پیچیدگی سیستم و هزینه بالا در اجرا نیز شود.

خلاصه نتایج حاصل از مطالب ذکر شده، در جداول (۱) و (۲) درج شده است. در جدول (۱) به مقایسه و بررسی مزایا و معایب سیستم‌های توصیه‌گر محتوا محور، مشارکتی و هیبریدی پرداخته شده است. همچنین در جدول (۲) نتایج حاصل از مقایسه و بررسی هر یک از روش‌های فیلترسازی در سیستم‌های توصیه‌گر مشارکتی

جدول ۱: مقایسه انواع روش‌های فیلترسازی در سیستم‌های توصیه‌گر

محتوا محور	مشارکتی	هیبریدی
روش‌های یادگیری ماشین [۹۹-۱۰۳]	استفاده از ضریب شباهت [۷، ۱۷، ۴۲، ۴۹، ۷۵]	ترکیبی از روش‌های مشارکتی و محتوا محور [۲، ۱۵، ۲۴، ۳۰، ۳۲]
تک کاربره	تعداد زیادی کاربر با سلاقی مشابه	ترکیبی از روش‌های مشارکتی و محتوا محور
عدم وابستگی کاربر هدف به سایر کاربران	بهبود کارایی سیستم پیشنهادات با استفاده از اطلاعات مفید سایر کاربران	حل مشکل شروع سرد و پراکندگی داده‌ها
محدودیت در تجزیه و تحلیل اطلاعات مفید سایر کاربران	شروع سرد، پراکندگی داده‌ها، مقیاس‌پذیری، هم‌نامی	افزایش پیچیدگی سیستم، هزینه بالا در اجرا

جدول ۲: مقایسه انواع روش‌های فیلترسازی در سیستم‌های توصیه‌گر مشارکتی

روش ارایه پیشنهاد	حافظه محور		مدل محور	هیبریدی
	آیت‌م محور	کاربر محور		
شباهت میان آیت‌م‌ها [۸، ۱۴، ۱۷]	شباهت میان کاربران [۳۱، ۶۱، ۱۰۹]	روش‌های یادگیری ماشین [۱۰۸-۱۰۴]	ترکیبی از روش‌های مدل محور و حافظه محور [۷، ۸، ۷۰، ۱۰۹]	
توصیه‌های خوب غیرمنتظره برای کاربران	توصیه‌های خوب غیرمنتظره برای کاربران	بهبود مشکل مقیاس‌پذیری و پراکندگی داده‌ها، صرف زمان و هزینه پردازش کم برای داده	حل مشکل پراکندگی داده‌ها	
عدم توانایی در پیشنهاد آیت‌م جدید، صرف زمان و هزینه پردازش زیاد برای میلیون‌ها داده	عدم توانایی در پیشنهاد آیت‌م‌ها به کاربر جدید، پراکندگی داده‌ها، مقیاس‌پذیری	محدودیت در تجزیه و تحلیل اطلاعات مفید سایر کاربران	افزایش پیچیدگی سیستم، هزینه بالا در اجرا	

mation Systems Engineering, 60(1), 21-38.

- [19] Bouzekri, E., Canny, A., Fayollas, C., Martinie, C., Palanque, P., Barboni, E., ... & Gris, C. (2019). Engineering issues related to the development of a recommender system in a critical context: application to interactive cockpits. *International Journal of Human-Computer Studies*, 121, 122-141.
- [20] Poirson, E., & Da Cunha, C. (2018). A recommender approach based on customer emotions. *Expert Systems with Applications*, 122, 281-288.
- [21] Sun, Z., Wu, B., Wu, Y., & Ye, Y. (2019). APL: Adversarial Pairwise Learning for Recommender Systems. *Expert Systems with Applications*, 118, 573-584.
- [22] Bag, S., Ghadge, A., & Tiwari, M. K. (2019). An integrated recommender system for improved accuracy and aggregate diversity. *Computers & Industrial Engineering*, 130, 187-197.
- [23] Anandhan, A., Shuib, L., Ismail, M. A., & Mujtaba, G. (2018). Social media recommender systems: review and open research issues. *IEEE Access*, 6, 15608-15628.
- [24] Yao, L., Xu, Z., Zhou, X., & Lev, B. (2019). Synergies between Association Rules and Collaborative Filtering in Recommender System: An Application to Auto Industry. In *Data Science and Digital Business* (pp. 65-80). Springer, Cham.
- [25] Herce-Zelaya, J., Porcel, C., Bernabé-Moreno, J., Tejeda-Lorente, A., & Herrera-Viedma, E. (2020). New technique to alleviate the cold start problem in recommender systems using information from social media and random decision forests. *Information Sciences*.
- [26] Chen, H. H., & Chen, P. (2019). Differentiating Regularization Weights--A Simple Mechanism to Alleviate Cold Start in Recommender Systems. *ACM Transactions on Knowledge Discovery from Data (TKDD)*, 13(1), 8.
- [27] Kiran, R., Kumar, P., & Bhasker, B. (2020). DNNRec: A novel deep learning based hybrid recommender system. *Expert Systems with Applications*, 144, 113054.
- [28] Han, D., Li, J., Li, W., Liu, R., & Chen, H. (2019). An app usage recommender system: improving prediction accuracy for both warm and cold start users. *Multimedia Systems*, 1-14.
- [29] Jin, Y., Dong, S., Cai, Y., & Hu, J. (2020). RACRec: Review Aware Cross-Domain Recommendation for Fully-Cold-Start User. *IEEE Access*, 8, 55032-55041.
- [30] Do, H. Q., Le, T. H., & Yoon, B. (2020, February). Dynamic Weighted Hybrid Recommender Systems. In *2020 22nd International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT)* (pp. 644-650). IEEE.
- [31] Zhang, Z., Dong, M., Ota, K., & Kudo, Y. (2020). Alleviating new user cold-start in user-based collaborative filtering via bipartite network. *IEEE Transactions on Computational Social Systems*.
- [32] Dong, B., Zhu, Y., Li, L., & Wu, X. (2020). Hybrid Collaborative Recommendation via Dual-Autoencoder. *IEEE Access*, 8, 46030-46040.
- [33] Tang, Z., Zhang, X., & Niu, J. (2020, January). LDA Model and Network Embedding-Based Collaborative Filtering Recommendation. In *2019 6th International Conference on Dependable Systems and Their Applications (DSA)* (pp. 283-289). IEEE.
- [34] Osadchij, T., Poliakov, I., Olivier, P., Rowland, M., & Foster, E. (2019). Recommender system based on pairwise association rules. *Expert Systems with Applications*, 115, 535-542.
- [35] Dara, S., Chowdary, C. R., & Kumar, C. (2019). A survey on group recommender systems. *Journal of Intelligent Information Systems*, 1-25.
- [36] Meng, S., Qi, L., Li, Q., Lin, W., Xu, X., & Wan, S. (2019). Privacy-preserving and sparsity-aware location-based prediction method for collaborative recommender systems. *Future Generation Computer Systems*, 96, 324-335.
- [37] Verma, C., Hart, M., Bhatkar, S., Parker-Wood, A., & Dey, S. (2015). Improving scalability of personalized recommendation systems for enterprise knowledge workers. *IEEE Access*, 4, 204-215.
- [38] Shou-Qiang, L., Ming, Q., & Qing-Zhen, X. (2016, December). Research and design of hybrid collaborative filtering algorithm scalability reform based on genetic algorithm optimization. In *2016 6th International Conference on Digital Home (ICDH)* (pp. 175-179). IEEE.
- [39] Singh, A. K. (2017, September). Scalable recommender system based on MapReduce framework. In *2017 IEEE International Conference on Power, Control, Signals and Instrumentation Engineering (ICPSCI)* (pp. 2892-2895). IEEE.
- [40] Parvin, H., Moradi, P., Esmaeili, S., & Qader, N. N. (2019). A scalable and robust trust-based nonnegative matrix factorization recommender using the alternating direction method. *Knowledge-Based Systems*, 166, 92-107.
- [41] Banda, L., & Bharadwaj, K. K. (2012). Improving scalability issues in collaborative filtering based on collaborative tagging using genre interestingness measure. *Fourth International Conference on Advances in Recent Technologies in Communication and Computing*

را می توان مشاهده نمود.

با مقایسه نتایج بدست آمده می توان دریافت که بهترین روش فیلترسازی در سیستم های توصیه گر، وجود نداشته و استفاده از هر کدام از روش ها، دارای مزایا و معایب خاص خود بوده و استفاده یا عدم استفاده از هر کدام از روش ها، با توجه به شرایط خاص هر سیستم می تواند متفاوت باشد.

هر چند پژوهش های زیادی در زمینه افزایش کارایی سیستم های توصیه گر انجام گرفته است، لیکن الگوریتم های پیشنهادی هنوز به هدف نهایی یافتن و توسعه اطلاعات متناسب با درخواست کاربر در میان حجم عظیم داده ها در وبسایت ها به طور کامل دست نیافته اند و هنوز هم نیاز به انجام پژوهش های بیشتر و بکارگیری تکنیک های نوین احساس می شود.

مراجع

- [1] Marz, N., & Warren, J. (2015). *Big Data: Principles and best practices of scalable real-time data systems*. New York; Manning Publications Co.
- [2] Tarus, J. K., Niu, Z., & Kalui, D. (2018). A hybrid recommender system for e-learning based on context awareness and sequential pattern mining. *Soft Computing*, 22(8), 2449-2461.
- [3] Roul, R.K. & Arora, K. *Soft Comput* (2019). <https://doi.org/10.1007/s00500-019-03861-3>
- [4] Mu, R. (2018). A survey of recommender systems based on deep learning. *IEEE Access*, 6, 69009-69022.
- [5] Alharthi, H., Inkpen, D., & Szpakowicz, S. (2018). A survey of book recommender systems. *Journal of Intelligent Information Systems*, 51(1), 139-160.
- [6] Adomavicius, G., & Tuzhilin, A. (2005). Toward the next generation of recommender systems: A survey of the state-of-the-art and possible extensions. *IEEE Transactions on Knowledge & Data Engineering*, (6), 734-749.
- [7] Mansur, F., Patel, V., & Patel, M. (2017, March). A review on recommender systems. In *2017 International Conference on Innovations in Information, Embedded and Communication Systems (ICIIECS)* (pp. 1-6). IEEE.
- [8] Patel, B., Desai, P., & Panchal, U. (2017, March). Methods of recommender system: a review. In *2017 International Conference on Innovations in Information, Embedded and Communication Systems (ICIIECS)* (pp. 1-4). IEEE.
- [9] Wang, X., Nie, X., Wang, X., & Ding, Z. (2016, May). A new recommender system framework for TV video. In *2016 Sixth International Conference on Information Science and Technology (ICIST)* (pp. 147-152). IEEE.
- [10] Peška, L., Tashu, T. M., & Horváth, T. (2019). Swarm intelligence techniques in recommender systems-A review of recent research. *Swarm and Evolutionary Computation*, 48, 201-219.
- [11] Del Corso, G. M., & Romani, F. (2019). Adaptive nonnegative matrix factorization and measure comparisons for recommender systems. *Applied Mathematics and Computation*, 354, 164-179.
- [12] Batmaz, Z., Yurekli, A., Bilge, A., & Kaleli, C. (2019). A review on deep learning for recommender systems: challenges and remedies. *Artificial Intelligence Review*, 52(1), 1-37.
- [13] Raza, S., & Ding, C. (2019). Progress in context-aware recommender systems—an overview. *Computer Science Review*, 31, 84-97.
- [14] Sadeghian, M., & Khansari, M. (2018, December). A Recommender Systems Based on Similarity Networks: MovieLens Case Study. In *2018 9th International Symposium on Telecommunications (IST)* (pp. 705-709). IEEE.
- [15] Troussas, C., Krouska, A., & Virvou, M. (2018, November). Multi-algorithmic techniques and a hybrid model for increasing the efficiency of recommender systems. In *2018 IEEE 30th International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI)* (pp. 184-188). IEEE.
- [16] Portugal, I., Alencar, P., & Cowan, D. (2018). The use of machine learning algorithms in recommender systems: A systematic review. *Expert Systems with Applications*, 97, 205-227.
- [17] Mohamed, M. H., Khafagy, M. H., & Ibrahim, M. H. (2019, February). Recommender Systems Challenges and Solutions Survey. In *2019 International Conference on Innovative Trends in Computer Engineering (ITCE)* (pp. 149-155). IEEE.
- [18] Fellmann, M., Metzger, D., Jannaber, S., Zarvic, N., & Thomas, O. (2018). *Process Modeling Recommender Systems*. Business & Infor-

پی‌نوشت‌ها

- 1 Continue Passive Motion
- 2 Genetic Algorithm
- 3 Manipulator
- 4 Multi Layer Perceptron
- 5 Feedback
- 6 Adaptive Control
- 7 Multi population
- 8 Extension
- 9 Flexion

مراجع

- [۱] موسوی محمدی، سید علی، اکبرزاده، توتونچی، برزونی، رضا، دهقان فیض آباد، جواد، سالیار علی (۱۳۹۴)، «طراحی و ساخت ربات ربات فیزیوتراپی زانو». کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع و سیستم‌ها دانشگاه فرودسی، مشهد، ایران.
- [2] Neptune, Richard R., S. A. Kautz, and F. E. Zajac. "Contributions of the individual ankle plantar flexors to support, forward progression and swing initiation during walking." *Journal of biomechanics* 34, no. 11 (2001): 1387-1398.
- [3] Palmer, Michael Lars. "Sagittal plane characterization of normal human ankle function across a range of walking gait speeds." PhD diss., Massachusetts Institute of Technology, 2002.
- [4] Lunenburger, Lars, Gery Colombo, Robert Riener, and Volker Dietz. "Clinical assessments performed during robotic rehabilitation by the gait training robot Lokomat." In 9th International Conference on Rehabilitation Robotics, 2005. ICORR 2005., pp. 345-348. IEEE, 2005.
- [5] Banala, Sai K., Suni K. Agrawal, and John P. Scholz. "Active Leg Exoskeleton (ALEX) for gait rehabilitation of motor-impaired patients." In 2007 IEEE 10th International Conference on Rehabilitation Robotics, pp. 401-407. IEEE, 2007.
- [6] Veneman, Jan F., Rik Kruidhof, Edsko EG Hekman, Ralf Ekkelenkamp, Edwin HF Van Asseldonk, and Herman Van Der Kooij. "Design and evaluation of the LOPES exoskeleton robot for interactive gait rehabilitation." *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering* 15, no. 3 (2007): 379-386.
- [7] Tsoi, Yun Ho, and Shane Q. Xie. "Impedance control of ankle rehabilitation robot." In 2008 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, pp. 840-845. IEEE, 2009.
- [8] Akdoğan, Erhan, and Mehmet Arif Adli. "The design and control of a therapeutic exercise robot for lower limb rehabilitation: Physiotherabot." *Mechatronics* 21, no. 3 (2011): 509-522.
- [9] Liu, Qiong, Shuzhi Sam Ge, Yan Li, Mingye Yang, Hao Xu, and Keng Peng Tee. "A Simpler Adaptive Neural Network Tracking Control of Robot Manipulators by Output Feedback." In 2020 6th International Conference on Control, Automation and Robotics (ICCAR), pp. 96-100. IEEE, 2020.
- [10] Riener, Robert. "Robot-aided Gait Training." *The Encyclopedia of Medical Robotics* 4 (2018).
- [11] Yihun, Yimesker, Visharath Adhikari, Amirhossein Majidrad, and Jaydip Desai. "Task-Based Knee Rehabilitation With Assist-as-Needed Control Strategy and Recovery Tracking System." *Journal of Engineering and Science in Medical Diagnostics and Therapy* 3, no. 2 (2020).
- [12] Laschowski, Brock, John McPhee, and Jan Andrysek. "Lower-limb prostheses and exoskeletons with energy regeneration: Mechatronic design and optimization review." *Journal of Mechanisms and Robotics* 11, no. 4 (2019).
- [13] Yoshikawa, Tsuneo. *Foundations of robotics: analysis and control*. MIT press, 1990.
- [14] Hogan, Neville. "Impedance control of industrial robots." *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 1, no. 1 (1984): 97-113.
- [15] Hogan, Neville. "Impedance control: An approach to manipulation: Part I—Theory." (1985): 1-7.
- [16] Koceska, Natasa, Saso Koceski, Pierluigi Beomonte Zobel, and Francesco Durante. "Control architecture for a lower limbs rehabilitation robot system." In 2008 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, pp. 971-976. Ieee, 2009.
- [17] Azar, Wahab Amini, F. Najafi, and M. A. Nekooi. "Rehabilitation of lower limbs using an optimized intelligent control law." *Majlesi Journal of Mechatronic Systems* 1, no. 3 (2012).
- [18] Huang, Vincent S., and John W. Krakauer. "Robotic neurorehabilitation: a computational motor learning perspective." *Journal of neuroengineering and rehabilitation* 6, no. 1 (2009): 5.
- [19] Reinkensmeyer, David J., and Sarah J. Housman. "If I can't do it once, why do it a hundred times?": Connecting volition to movement success in a virtual environment motivates people to exercise the arm after stroke." In 2007 Virtual Rehabilitation, pp. 44-48. IEEE, 2007.
- [20] Ogata, Katsuhiko, and Yanjuan Yang. *Modern control engineering*. Vol. 5. Upper Saddle River, NJ: Prentice hall, 2010.

(ARTCom2012), 2012 p. 240 – 243

- [42] Natarajan, S., Vairavasundaram, S., Natarajan, S., & Gandomi, A. H. (2020). Resolving data sparsity and cold start problem in collaborative filtering recommender system using linked open data. *Expert Systems with Applications*, 149, 113248.
- [43] Rupasingha, R. A., & Paik, I. (2019). Alleviating sparsity by specificity-aware ontology-based clustering for improving web service recommendation. *IEEE Transactions on Electrical and Electronic Engineering*, 14(10), 1507-1517.
- [44] Reddy, M. M., Kanmani, R. S., & Surendiran, B. (2020, February). Analysis of Movie Recommendation Systems; with and without considering the low rated movies. In 2020 International Conference on Emerging Trends in Information Technology and Engineering (ic-ETITE) (pp. 1-4). IEEE.
- [45] Bag, S., Kumar, S., Awasthi, A., & Tiwari, M. K. (2019). A noise correction-based approach to support a recommender system in a highly sparse rating environment. *Decision Support Systems*, 118, 46-57.
- [46] Wang, Y., Feng, C., Guo, C., Chu, Y., & Hwang, J. N. (2019, January). Solving the Sparsity Problem in Recommendations via Cross-Domain Item Embedding Based on Co-Clustering. In Proceedings of the Twelfth ACM International Conference on Web Search and Data Mining (pp. 717-725). ACM.
- [47] Cheng, J., & Zhang, L. (2019, April). Jaccard Coefficient-Based Bi-clustering and Fusion Recommender System for Solving Data Sparsity. In Pacific-Asia Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (pp. 369-380). Springer, Cham.
- [48] Raghuvanshi, S. K., & Pateriya, R. K. (2019). Recommendation Systems: Techniques, Challenges, Application, and Evaluation. In *Soft Computing for Problem Solving* (pp. 151-164). Springer, Singapore.
- [49] Zhang, F., Lee, V. E., Jin, R., Garg, S., Choo, K. K. R., Maasberg, M., ... & Cheng, C. (2019). Privacy-aware smart city: A case study in collaborative filtering recommender systems. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 127, 145-159.
- [50] Qi, L., Wang, R., Hu, C., Li, S., He, Q., & Xu, X. (2019). Time-aware distributed service recommendation with privacy-preservation. *Information Sciences*, 480, 354-364.
- [51] Wang, W., Liu, A., Li, Z., Zhang, X., Li, Q., & Zhou, X. (2019). Protecting multi-party privacy in location-aware social point-of-interest recommendation. *World Wide Web*, 22(2), 863-883.
- [52] Cena, Federica & Pensa, Ruggero & Rapp, Amon. (2019). Privacy Issues in Holistic Recommendations. 263-265. 10.1145/3314183.3323461.
- [53] Valdez, A. C., & Zieffle, M. (2019). The users' perspective on the privacy-utility trade-offs in health recommender systems. *International Journal of Human-Computer Studies*, 121, 108-121.
- [54] Mazeh, I., & Shmueli, E. (2020). A personal data store approach for recommender systems: enhancing privacy without sacrificing accuracy. *Expert Systems with Applications*, 139, 112858.
- [55] Sharma, L., & Gera, A. (2013). A survey of recommendation system: Research challenges. *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, 4(5), 1989-1992.
- [56] Lakshmi, S. S., & Lakshmi, T. A. (2014). Recommendation Systems: Issues and challenges. *IJCSIT International Journal of Computer Science and Information Technologies*, 5(4), 5771-5772.
- [57] Mahmoud, H., Hegazy, A., & Khafagy, M. H. (2018, February). An approach for big data security based on Hadoop distributed file system. In 2018 International Conference on Innovative Trends in Computer Engineering (ITCE) (pp. 109-114). IEEE.
- [58] Çano, E., & Morisio, M. (2017). Hybrid recommender systems: A systematic literature review. *Intelligent Data Analysis*, 21(6), 1487-1524.
- [59] Ricci, F., Rokach, L., & Shapira, B. (2011). Introduction to recommender systems handbook. In *Recommender systems handbook* (pp. 1-35). Springer, Boston, MA.
- [60] Schafer, J. B., Konstan, J., & Riedl, J. (1999, November). Recommender systems in e-commerce. In Proceedings of the 1st ACM conference on Electronic commerce (pp. 158-166). ACM.
- [61] Agarwal, A., & Chauhan, M. (2017). Similarity measures used in recommender systems: a study. *International Journal of Engineering Technology Science and Research IJETS*, ISSN, 2394-3386.
- [62] Kuzelewska, U. (2011, January). Advantages of information granulation in clustering algorithms. In International Conference on Agents and Artificial Intelligence (pp. 131-145). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [63] Najafabadi, M. K., Mohamed, A. H., & Mahrin, M. N. R. (2019). A survey on data mining techniques in recommender systems. *Soft Computing*, 23(2), 627-654.

منابع [64] - [109] در دفتر نشریه موجود است.



مقاله علمی-ترویجی

طراحی و پیاده‌سازی امولاتور شناور سلف حافظه‌دار در فرکانس‌های بالا

■ فرید ستوده* / دانشکده مهندسی برق / دانشگاه صنعتی اراک / f.setoudeh@arakut.ac.ir

■ احسان بوالحسنی / گروه مهندسی برق / دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک / bolhasani-control@gmail.com

*نویسنده مسؤول

چکیده

بدون شک عناصر حافظه‌دار انقلاب جدیدی در صنعت الکترونیک ایجاد کرده است، که باعث می‌شود از خواص آن در کاربردهای گوناگون بهره‌برد. سلف حافظه‌دار یکی از عناصر مذکور بوده که با توجه به ویژگی‌های منحصر به فرد آن به‌تازگی مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. در این مقاله، ابتدا یک ساختار جدید از مدل سلف حافظه‌دار با استفاده از ممریستور ارائه گردیده است. این ساختار تا فرکانس ۲۰۰ هرتز عملکرد خوبی از خود نشان می‌دهد. سپس برای نخستین بار یک ساختار جدید به منظور طراحی و پیاده‌سازی امولاتور سلف حافظه‌دار کنترل شده با شار مغناطیسی در محدوده فرکانسی مگاهرتز پیشنهاد شده است. مدار امولاتور پیشنهادی از یک ضرب کننده آنالوگ استفاده می‌کند. مدل سلف حافظه‌دار بیان شده می‌تواند در هر دو تنظیمات افزایشی و کاهش‌ی تنظیم شود و عملکرد خوبی تا فرکانس ۵/۶ مگاهرتز داشته باشد. در این مقاله ابتدا تحلیلی از مدل پیشنهاد شده با مدارات الکترونیکی توضیح داده شده است و سپس نتایج شبیه‌سازی و ساخت مدل پیشنهادی آورده شده است. نتایج مدار طراحی شده، نشان دهنده عملکرد مناسب مدار طراحی شده به‌عنوان سلف حافظه‌دار می‌باشد.

کلمات کلیدی: عناصر حافظه‌دار، سلف حافظه‌دار، ممریستور، امولاتور، فرکانس بالا.

Design and Implementation of High Frequency Floating Meminductor Emulator

■ Farbod Setoudeh* / Faculty of Electrical Engineering / Arak University of Technology / Arak, Iran / F.setoudeh@arakut.ac.ir

■ Ehsan Bolhasani / Department of Electrical Engineering / Islamic Azad University / Arak, Iran / bolhasani-control@gmail.com

*corresponding author

Abstract

Undoubtedly, the discovery of the memristive elements has created a new revolution in the electronics industry that makes it possible to take advantage of its properties in a variety of applications. The meminductor has been one of those elements that has received much attention in recent years due to its features. In this paper, a new structure of the meminductor model using memristor is presented. This circuit performs well up to 200 Hz. Then, for the first time, a new structure is proposed for the design and

implementation of flux controlled floating meminductor emulators at frequencies in the Megahertz (MHz) range. The proposed emulator circuit uses an analog multiplier. The proposed meminductor model can be adjusted in both incremental and subtractive settings and perform well up to 6.5 MHz. This paper first presents an analysis of the proposed model with electronic circuits and then presents the simulation and fabrication results of the proposed model. The results of the designed circuit show the proper performance of the designed circuit as the meminductor.

Keywords: Memristive Elements, Meminductor, Memristor, Emulator, High Frequency.

۱- مقدمه

عناصر پایه در مدارات الکتریکی عبارتند از مقاومت، سلف و خازن. در سال ۱۹۷۱ دکتر لئون چووا به صورت ریاضی نظریه‌ای مطرح کرد که بر اساس آن چهارمین عنصر بنیادی مدار بر اساس معادلات حاکم بر تئوری مدار غیرفعال باید وجود داشته باشد. چووا نام این قطعه را ممریستور نامید (یک واژه مرکب از حافظه-مقاومت) [۱]. سپس در سال ۱۹۷۶ تئوری مدار شامل خازن حافظه‌دار و سلف حافظه‌دار مطرح شد [۲].

سومین عنصر حافظه‌دار، سلف حافظه‌دار می‌باشد [۳]. سلف حافظه‌دار، ارتباط بین بار الکتریکی و شار مغناطیسی را بیان می‌کند. در سال ۲۰۰۹، دی ونترا و همکاران مدل‌های کلی را برای سیستم‌های مبتنی بر سلف حافظه‌دار ارائه کردند [۴]. سلف حافظه‌دار به دو صورت کنترل‌شده با جریان و کنترل‌شده با شار قابل پیاده‌سازی می‌باشد. عناصر حافظه‌دار از نظر ویژگی مقاومتی، خازنی و القایی وابسته به زمان دارای ویژگی‌های منحصر به فردی می‌باشند. در مرجع [۵]، خصوصیات فیزیکی مختلف سلف حافظه‌دار و خازن حافظه‌دار از نظر وابستگی به زمان و حالت سیستم با توجه به شارژ، چرخش و پویایی ساختاری بررسی شده است. به‌تازگی در زمینه مدل‌سازی عناصر حافظه‌دار راکتیو نظیر سلف حافظه‌دار و خازن حافظه‌دار روش‌های مختلفی ارائه شده است. یکی از این روش‌ها که به‌منظور مدل‌سازی عناصر راکتیو حافظه‌دار استفاده شده است، مبتنی بر تعریف انرژی در عناصر راکتیو غیرخطی می‌باشد [۶]. یکی دیگر از این روش‌ها استفاده از محاسبات مرتبه کسری می‌باشد [۷]. اخیراً محققان زیادی در زمینه پیاده‌سازی مدل فیزیکی عناصر حافظه‌دار فعالیت کرده‌اند [۸-۱۲]. ولی مشکل اصلی این است که این عناصر به‌صورت تجاری در دسترس نیستند، به‌همین دلیل از مدارهای الکترونیکی به‌منظور مدل‌سازی این عناصر استفاده شده است.

در مرجع [۱۳، ۱۴] مدل مداری سلف حافظه‌دار با استفاده از ارتباط بین ممریستور و سلف حافظه‌دار بررسی شده است. در مرجع [۱۴] با استفاده از مدل فیزیکی ممریستور و خازن حافظه‌دار یک مدار ژیراتور به‌منظور مدل‌سازی سلف حافظه‌دار در فرکانس ۲۲ کیلوهرتز طراحی شده است.

در مرجع [۱۵] مدل مداری سلف حافظه‌دار کنترل‌شده با شار مغناطیسی، با استفاده از مقاومت‌های حساس به نور طراحی و پیاده‌سازی شده است. در مرجع [۱۶] مدل مداری سلف حافظه‌دار کنترل‌شده با شار مغناطیسی با استفاده از خواص فیزیکی آن در فرکانس‌های پایین طراحی و پیاده‌سازی شده است. در مرجع [۱۷] سلف حافظه‌دار کنترل‌شده با بار، با استفاده از معادلات فیزیکی آن مبتنی بر مدارات آنالوگ و بدون توجه به ارتباط آن با دیگر عناصر حافظه‌دار در فرکانس‌های پایین طراحی و پیاده‌سازی شده است.

امروزه استفاده از تقویت‌کننده هدایت انتقالی به‌علت توان مصرفی پایین آن‌ها، توجه بسیاری از محققین را در طراحی امولاتورهای عناصر حافظه‌دار به خود جلب کرده است [۱۸]. در مرجع [۱۸] مدل سلف حافظه‌دار با استفاده از تقویت‌کننده هدایت انتقالی تا فرکانس ۵۰۰ هرتز طراحی شده است. در مرجع [۱۹] از تقویت‌کننده‌های هدایت انتقالی دیفرانسیلی ولتاژ به‌منظور طراحی امولاتور سلف حافظه‌دار در فرکانس ۱ MHz استفاده شده است. در این شبیه‌سازی از تعدادی ترانزیستورهای NMOS و PMOS و ضرب‌کننده آنالوگ استفاده شده است، که مشکل آن بزرگ بودن مدار می‌باشد.

در مرجع [۲۰]، بیولک و همکاران اقدام به معرفی مدل SPICE سلف حافظه‌دار نمودند. همچنین به‌تازگی تحقیقاتی در زمینه کاربرد مدل سلف حافظه‌دار در مدارات نوسان‌ساز انجام شده است. از جمله تحقیقات صورت گرفته در این موضوع می‌توان به موارد زیر اشاره نمود. در مرجع [۲۱] یک مدار پس‌وی مرتبه سوم با یک سلف حافظه‌دار کنترل‌شده با جریان به‌منظور ایجاد نوسان‌ساز آشوبناک بررسی شده است. در مرجع [۲۲] ابتدا یک امولاتور سلف حافظه‌دار کنترل‌شده با شار معرفی شده، سپس از آن در طراحی یک نمونه نوسان‌ساز آشوب استفاده شده است. در مرجع [۲۳] روشی به‌منظور تحلیل کاهش بعد یک نمونه نوسان‌ساز آشوب متشکل از خازن و سلف حافظه‌دار ارائه شده است. در مرجع [۲۴] امولاتور سلف حافظه‌دار و همچنین امولاتور ممریستور فعال در فرکانس‌های کمتر از ۴۰۰ هرتز با استفاده از تقویت‌کننده عملیاتی طراحی و پیاده‌سازی شده است و سپس از آن‌ها در تحلیل و پیاده‌سازی نوسان‌ساز آشوبناک استفاده شده است. همچنین با توجه به بررسی‌های صورت گرفته، در زمینه مدل‌سازی رفتار فیزیکی سلف حافظه‌دار با مدارات الکترونیکی در فرکانس‌های بالا تا کنون کاری صورت نگرفته است. در این مقاله ابتدا مروری بر ساختار فیزیکی سلف حافظه‌دار و ممریستور در بخش‌های ۲ و ۳ مطرح شده است، سپس مدل‌سازی سلف حافظه‌دار مبتنی بر ممریستور در بخش ۴ ارائه شده است. در ادامه طراحی و پیاده‌سازی امولاتور سلف حافظه‌دار در بخش ۵ بیان شده است و طراحی و پیاده‌سازی ساختار جدید امولاتور سلف حافظه‌دار در فرکانس بالا در بخش ۶ مورد بررسی قرار گرفته است و در بخش آخر نتیجه‌گیری ارائه خواهد شد.

۲- مروری بر مدل فیزیکی سلف حافظه‌دار

ساختار سلف حافظه‌دار مبتنی بر سیستم الکترومکانیکی، در شکل (۱) نشان داده شده است [۲۰].

همان‌طور که در شکل (۱) نشان داده شده است، ساختار سلف حافظه‌دار دارای دو ترمینال است: یک ترمینال ثابت (در سمت چپ) و یک ترمینال لغزشی که می‌تواند در محدوده‌های تعیین شده با فواصل $L_{\min}$ و $L_{\max}$ از ترمینال ثابت لغزش داشته باشد. وضعیت‌های

نشان دهنده جریان عبوری از ممریستور می باشد. همچنین $M(q(t))$ ، نشان دهنده مقدار مقاومتی است که قطعه از خود در برابر عبور جریان نشان می دهد و با استفاده از معادله زیر توصیف می شود.

$$M(q(t)) = \frac{d\varphi}{dt} = \frac{v(t)}{i(t)} \quad (6)$$

$$M(q(t)) = M(x) = R_{ON} x(t) + R_{OFF} (1-x(t)) \quad (7)$$

که در این رابطه $x(t) = \frac{w(t)}{D}$ ، $0 \leq x(t) \leq 1$ می باشد. در این حالت می توان یک رابطه خطی بین سرعت رانشی نفوذی و میدان الکتریکی در نظر گرفت. معادلات حالت ممریستور که در اصل همان رابطه بین ضخامت لایه با کمبود اکسیژن و جریان عبوری از ممریستور می باشد با استفاده از معادله زیر توصیف می شود.

$$\frac{1}{D} \frac{dw(t)}{dt} = \frac{R_{ON}}{\beta} i(t) \quad (8)$$

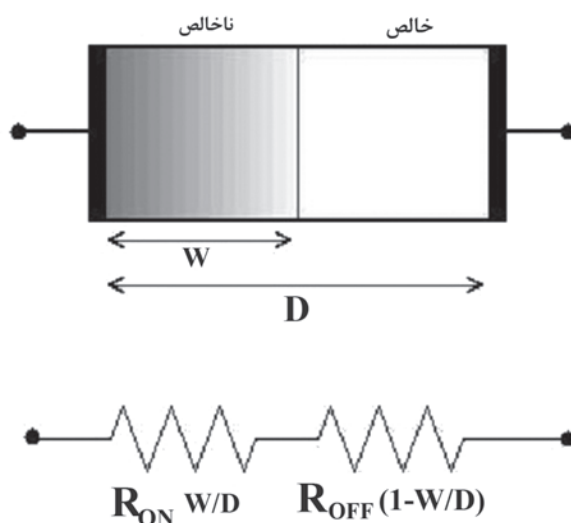
با انتگرال گیری از طرفین (۸)، داریم:

$$\frac{w(t)}{D} = \frac{w(t_0)}{D} + \frac{R_{ON}}{\beta} q(t) \quad (9)$$

که در این رابطه $w(t_0)$ ، نشان دهنده ضخامت اولیه لایه با کمبود اکسیژن می باشد. با در نظر گرفتن این که مقدار بار اولیه صفر است، می توان مقدار مقاومتی که ممریستور از خود در برابر عبور جریان نشان می دهد را در زمان t_0 به صورت زیر نوشت.

$$M_0 = R_{ON} (x(t_0) + r(1-x(t_0))) \quad (10)$$

که در این رابطه $r = \frac{R_{OFF}}{R_{ON}}$

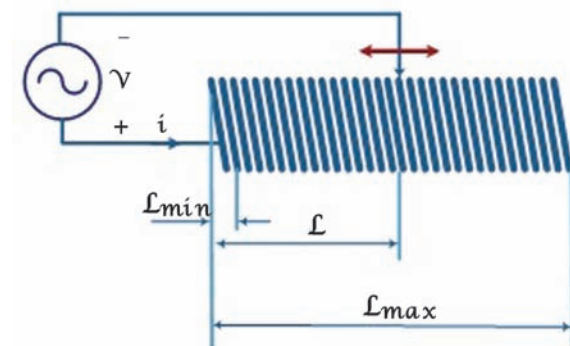


شکل ۲: مدل فیزیکی ممریستور

۴- مدل سازی سلف حافظه دار مبتنی بر ممریستور

در شکل (۳)، شماتیک مداری مدل سلف حافظه دار از روی ممریستور نشان داده شده است. با نوشتن معادلات کیرشهف در ورودی مدار شکل (۳) می توان نوشت.

L_{min} و L_{max} لغزنده مقادیر ضرایب خودالقایی L_{min} و L_{max} هسته را مشخص می کنند. معادلات حاکم بر سیستم القایی حافظه دار کنترل شده با جریان در رابطه زیر آورده شده است.



شکل ۱: ساختار ساده از سلف حافظه دار

$$\begin{aligned} \varphi(t) &= L_m(x, i, t) i(t) \\ \dot{x}(t) &= f(x, i, t) \end{aligned} \quad (1)$$

که در این معادله L_m ضریب خود القایی سیستم حافظه دار، $i(t)$ جریان عبوری از سلف حافظه دار و $\varphi(t)$ شار مغناطیسی سیستم می باشد. سیستم القایی حافظه دار کنترل شده با جریان به صورت زیر تعریف می شود:

$$\begin{aligned} i(t) &= L_m^{-1}(x, \varphi, t) \varphi(t) \\ \dot{x}(t) &= f(x, \varphi, t) \end{aligned} \quad (2)$$

که در این معادلات، متغیر حالت، که بین صفر و یک محدود شده است، به صورت زیر تعریف می گردد.

$$x = \frac{l - l_{min}}{l_{max} - l_{min}} \quad (3)$$

بنابراین، ضریب خودالقایی سیستم حافظه دار القایی بین حداقل ضریب خودالقایی L_{min} و حداکثر ضریب خودالقایی L_{max} محصور شده و طبق رابطه زیر محاسبه می شود:

$$L_m(t) \approx (\sqrt{L_{min}} + x(t)(\sqrt{L_{max}} - \sqrt{L_{min}}))^2 \quad (4)$$

که در آن نرخ تغییر در متغیر حالت $x(t)$ به صورت زیر تعریف می شود.

$$\frac{dx}{dt} = K_L i(t) \quad (5)$$

۳- مروری بر ساختار فیزیکی ممریستور

شکل (۲) شماتیک هندسی ممریستور ساخته شده توسط شرکت HP را نشان می دهد [۱].

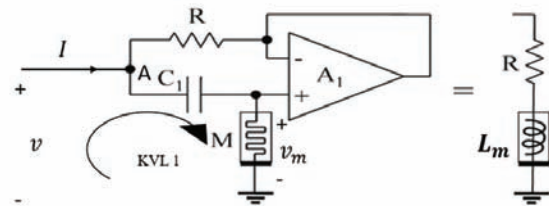
در این شکل D نشان دهنده ضخامت کلی المان و $w(t)$ نشان دهنده ضخامت لایه تزریق شده (ضخامت لایه با کمبود اکسیژن (مقاومت کم)) است. رابطه بین ولتاژ و جریان در ممریستور به صورت زیر تعریف می شود.

که در این رابطه q نشان دهنده بار الکتریکی، φ نشان دهنده شار مغناطیسی، $v(t)$ نشان دهنده ولتاژ دو سر ممریستور، $i(t)$

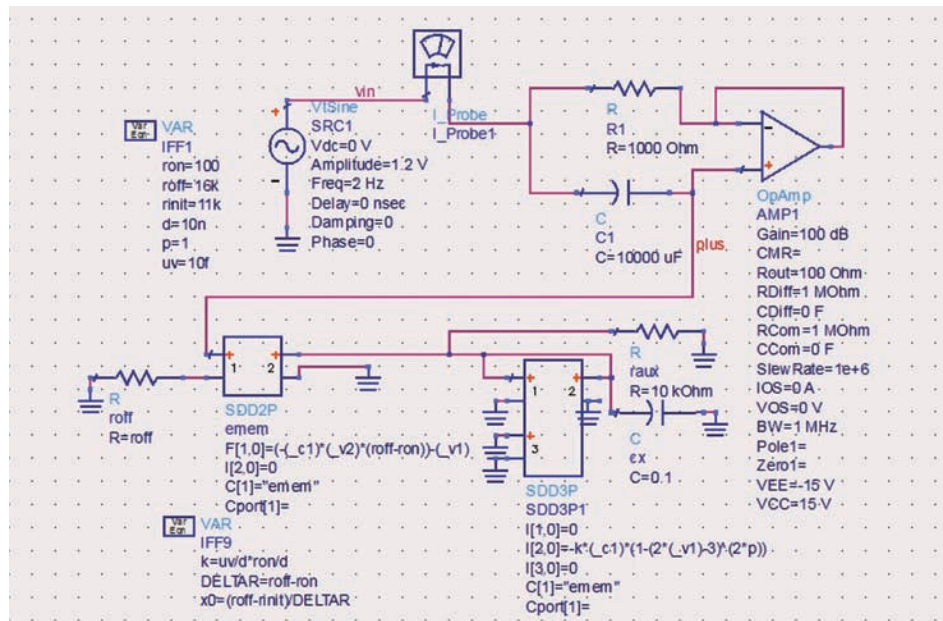
$$I = \frac{v - v_m}{R_1} + (v - v_m)(C_1 s) \quad (11)$$

$$v = v_M \left[1 + \frac{1}{R_M C_1 s} \right] \quad (12)$$

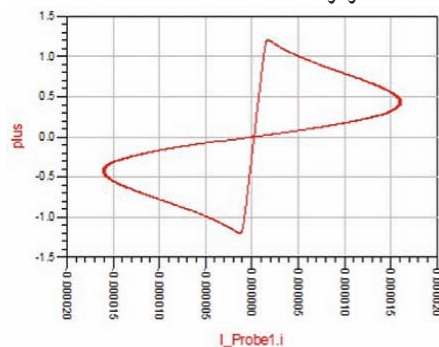
که در این معادلات R_M نشان‌دهنده مقاومت ممریستور، V_M نشان‌دهنده ولتاژ دو سر ممریستور، V نشان‌دهنده ولتاژ ورودی و I نشان‌دهنده ولتاژ ورودی می‌باشد. با استفاده از معادلات ۱۱ و ۱۲ می‌توان نوشت:



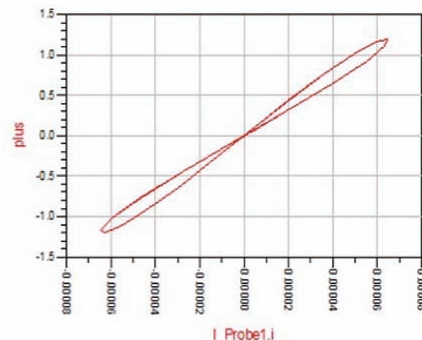
شکل ۳: شماتیک مداری مدل سلف حافظه‌دار مبتنی بر ممریستور



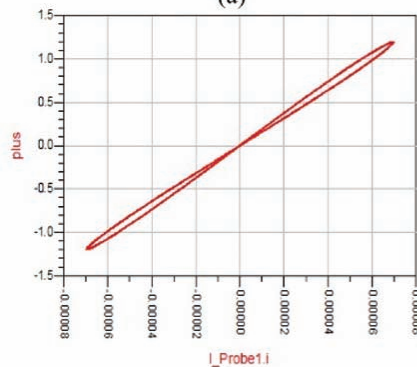
شکل ۴: مدار شبیه‌سازی شده سلف حافظه‌دار در ads



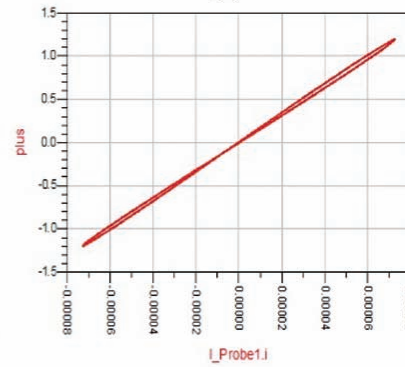
(a)



(b)

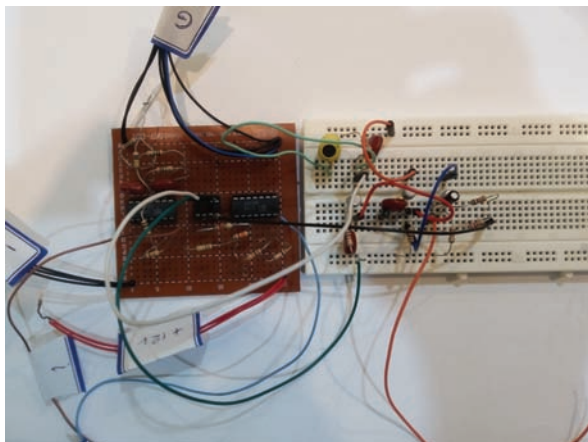


(c)

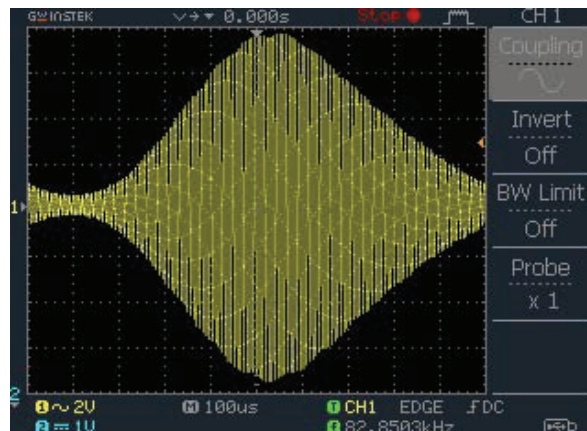


(d)

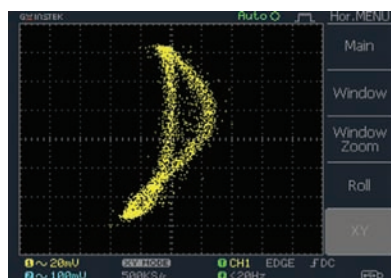
شکل ۵: منحنی لیسازور و سلف حافظه‌دار شبیه‌سازی شده در فرکانس‌های
a) 1Hz b) 50Hz c) 100Hz d) 200Hz



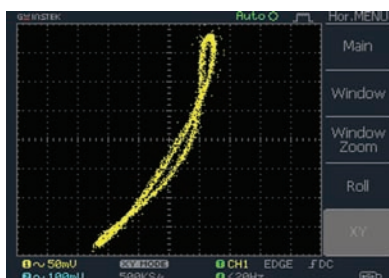
شکل ۱۲: مدار ساخته شده امولاتور سلف حافظه دار مبتنی بر ضرب کننده آنالوگ ترانزیستوری



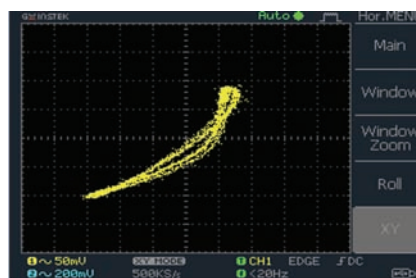
شکل ۱۱: شکل موج خروجی مدار ضرب کننده آنالوگ



(a)



(b)



(c)

شکل ۱۳: منحنی لیسازور ϕ و i سلف حافظه دار شبیه سازی شده با فرکانس های (a) 4.9MHz (b) 5.5MHz (c) 6.4MHz

۷- نتیجه گیری

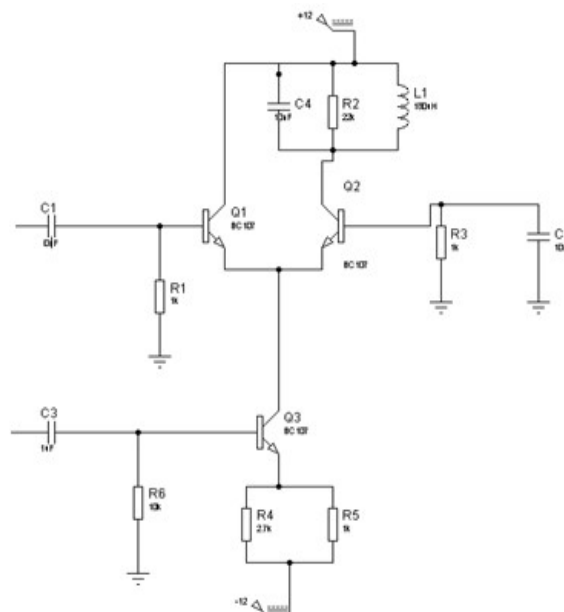
با بررسی تحقیقات انجام شده تا کنون، می توان متوجه شد یکی از زمینه های تحقیقاتی که به تازگی مورد توجه محققان قرار گرفته است، مدل سازی رفتار فیزیکی و بررسی کاربردهای سلف حافظه دار می باشد. در همه تحقیقاتی که در زمینه مدل سازی رفتار فیزیکی سلف حافظه دار صورت گرفته است، رفتار این قطعه در فرکانس های پایین (بیشینه تا فرکانس ۵۰ Hz) مدل شده است. تا کنون در زمینه مدل سازی رفتار فیزیکی سلف حافظه دار در فرکانس های بالا کاری صورت نگرفته است. در این مقاله ابتدا با استفاده از مدل فیزیکی واقعی ممریستور، ساختار جدیدی به منظور مدل سازی رفتار فیزیکی سلف حافظه دار مبتنی بر ممریستور تا فرکانس ۲۰۰ Hz ارائه شده است، سپس ساختاری به منظور مدل سازی رفتار فیزیکی سلف حافظه دار با استفاده از مدارات الکترونیکی طراحی و پیاده سازی شده است و در نهایت با استفاده از آن، برای نخستین بار، ساختار جدیدی برای امولاتور سلف حافظه دار در فرکانس های بالا طراحی و پیاده سازی شده است. با توجه به نتایج بدست آمده از خروجی مدار ساخته شده امولاتور سلف حافظه دار در فرکانس بالا، می توان این مزیت را اثبات کرد که برخلاف سایر تحقیقات انجام شده، سلف حافظه دار را در فرکانس بالا می توان مدل نمود و از آن در طراحی نوسان سازهای فرکانس بالا استفاده نمود.

مراجع

- [1] L. Chua, "Memristor-the missing circuit element", IEEE Transactions on circuit theory, vol. 18, no. 5, pp. 507-519, 1971.
- [2] L. O. Chua and S. M. Kang, "Memristive devices and systems", Proceedings of the IEEE, vol. 64, no. 2, pp. 209-223, 1976.

« ادامه در صفحه ۵۹

کننده استفاده شده است. در شکل (۱۲)، مدار ساخته شده امولاتور سلف حافظه دار مبتنی بر ضرب کننده آنالوگ پیشنهادی طراحی شده در شکل (۹)، نشان داده شده است. منحنی لیسازور ϕ و i در شکل (۱۳) نشان داده شده است که بیانگر پاسخ مناسب مدار معادل سلف حافظه دار در فرکانس بالا می باشد.



شکل ۱۰: شماتیک مدار پیشنهادی ضرب کننده آنالوگ ترانزیستوری



مقاله علمی-ترویجی

تعیین مکان و اندازه بهینه پست‌های توزیع باهدف کاهش هزینه و تلفات و بهبود قابلیت اطمینان

■ حشمت‌الله نوری زاده/ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد/ دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر/ دانشگاه سمنان/ سمنان- ایران / heshmat_norizadeh@semnan.ac.ir
■ محسن نیاساتی/ استادیار/ دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر/ دانشگاه سمنان/ سمنان- ایران / Mniasati@Semnan.ac.ir

چکیده

افزایش فزاینده بارهای مصرفی و همچنین توسعه روزافزون شبکه‌های توزیع، متخصصان صنعت برق را بر آن داشته که به روش‌های دقیق‌تر و مناسب‌تری جهت استفاده بهینه از بیشترین ظرفیت شبکه‌های موجود روی آورند. از جمله مهم‌ترین اقدامات در این خصوص می‌توان به انتخاب بهینه‌ی محل و ظرفیت پست‌های توزیع جهت کاهش هزینه‌ها و بهبود قابلیت اطمینان و جلوگیری از افزایش تلفات به‌منظور بالا بردن ظرفیت بارپذیری شبکه توزیع اشاره نمود. با توجه به اهمیت مسایل بهینه‌سازی در شبکه‌های توزیع، در این مقاله به جایابی بهینه پست‌های توزیع (تعیین تعداد، محل نصب، ظرفیت بهینه و حوزه سرویس‌دهی) پرداخته شده است. همچنین محدودیت‌های الکتریکی از قبیل افت ولتاژ مجاز، حداکثر ظرفیت بارگذاری پست‌ها، حد بارگذاری مجاز خطوط فشار ضعیف، تغذیه کلیه بارها و محدودیت ساختار شعاعی در نظر گرفته شده به‌نحوی که آرایش بهینه شبکه توزیع برای افق برنامه‌ریزی سال موردنظر حاصل شود. نتایج حاصله از مطالعات انجام‌شده بر روی شبکه توزیع نمونه، با نتایج حاصل از الگوریتم دیگر مقایسه شده که کارایی تابع هدف پیشنهادی را به‌خوبی نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی: پست‌های توزیع، قابلیت اطمینان، ظرفیت بارپذیری، افت ولتاژ، ساختار شعاعی

Determination of Optimal Location and Size of Distribution Substations to Reduce Cost, Losses and Improve Reliability

■ Heshmatallah Nourizadeh/ Master's Graduate/ Department of Electrical and Computer Engineering, Semnan University, Semnan, Iran/
heshmat_norizadeh@semnan.ac.ir
■ Mohsen Niasati*/ Assistant Professor/Department of Electrical and Computer Engineering/ Semnan University/ Semnan, Iran/
Mniasati@Semnan.ac.ir

Abstract

The increasing growth of load consumption and the increasing development of distribution networks have led the specialists of the electrical industry to take more accurate and suitable approaches into con-

sideration to use the maximum capacity of existing networks efficiently. Optimal selection of location and capacity of distribution substations to reduce the cost and improve reliability and prevent the increase of losses for increasing the loadability capacity of the distribution network are among the most important measurements. In the present paper, the optimal placement of distribution transformers (quantity, installation location, optimal capacity, and service area) has been discussed due to the importance of optimization problems in distribution networks. Moreover, electric restrictions such as permitted voltage drop, permitted loading maximum capacity of transformers, permitted limits of loading for low-voltage line, feeding all the loads, and radial structure constraint have been considered, the efficient arrangement of the distribution network for the planning horizon of the desired year is probably to be achieved. Results of studies on the sample distribution network have been compared with the results of another algorithm, which appropriately indicates the efficiency of the proposed objective function

Keywords: Distribution substations, Reliability, Loadability capacity, Voltage drop, Radial structure

۱- مقدمه

در شبکه‌های توزیع امروزی به‌خصوص با روند رو به رشد خصوصی‌سازی و افزایش چگالی بارها به دلیل افزایش رشد روزافزون بار، همواره طراحی و توسعه شبکه توزیع که جوابگوی رشد بار مصرف‌کنندگان باشد مورد توجه محققان و شرکت‌های توزیع بوده است [۱]. هدف اولیه شرکت‌های توزیع پایین آوردن هزینه‌های مربوط به سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری، نگهداری و ساخت شبکه و هم‌زمان بالا بردن قابلیت اطمینان شبکه و مشترکان هم‌اوقات فنی و هم‌اوقات اقتصادی می‌باشد. این هدف از طریق تقویت فیدرها و پست‌های موجود و یا احداث فیدرها و پست‌های جدید با رعایت قیود فنی و بهره‌برداری محقق می‌گردد [۲]. در همین راستا، یکی از موثرترین روش‌ها برای پاسخگویی به رشد بار و نیز افزایش قابلیت اطمینان، جابجایی بهینه پست‌های توزیع می‌باشد [۳]. از آنجاکه مساله طراحی شبکه‌های توزیع یک مساله غیرخطی و گسسته می‌باشد طراحی شبکه‌های توزیع را می‌توان به سه بخش زیر تقسیم‌بندی نمود [۴].

- برآورد بار بلندمدت
- جابجایی بهینه پست‌های توزیع
- مسیریابی بهینه فیدرهای فشار متوسط

برای طراحی شبکه‌های توزیع، نخستین مرحله برآورد بار بلندمدت منطقه مورد مطالعه می‌باشد در این مرحله توزیع جغرافیایی بار در سال‌های هدف پیش‌بینی می‌شود. دومین مرحله طراحی، جابجایی بهینه پست‌های توزیع با توجه به پراکندگی جغرافیایی بار در سال‌های هدف است. در این مرحله محل و ظرفیت بهینه پست‌های توزیع و حوزه تغذیه آن‌ها تعیین می‌گردد. آخرین مرحله از مساله طراحی شبکه آینده، مسیریابی بهینه فیدرهای فشار متوسط برای تغذیه پست‌های توزیع جابجایی شده در سال هدف است [۴-۵]. در همین راستا، تاکنون مطالعات گوناگونی در زمینه جابجایی و تعیین اندازه بهینه پست‌های توزیع در شبکه‌های توزیع انجام‌شده است که در برخی از این مطالعات از روش‌های مختلفی شامل روش‌های کلاسیک مانند برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح و روش‌های مدرن مانند الگوریتم ژنتیک و الگوریتم اجتماع ذرات که به‌منظور کاهش هزینه‌های مرتبط با تلفات، هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری به‌عنوان هدف طراحی استفاده‌شده است. با این وجود تعداد تحقیقاتی که به موضوع تحلیل اثر پست‌های توزیع روی قابلیت اطمینان و جابجایی آن‌ها در سیستم قدرت پرداخته باشد بسیار اندک است.

در مرجع [۶]، یک رویکرد جدید برای تعیین مکان و ظرفیت بهینه، اندازه و حوزه سرویس‌دهی پست‌های LV/MV ارائه و از روش‌های ریاضیاتی برای حل مساله استفاده شده و مدل تلفات لحاظ نشده است. در مرجع [۷]، از تقسیم بار کلی اندازه‌گیری شده در راس یک فیدر توزیع به مجموعه‌ای از بارهای منفرد برای جابجایی بهینه استفاده می‌کند. تابع هدف بر اساس هزینه سرمایه‌گذاری و هزینه تلفات با مدل بار موجود بررسی گردیده است و هزینه‌های بهره‌برداری و همچنین تعمیرات و نگهداری پست‌ها در نظر گرفته نشد. در مرجع [۸]، از الگوریتم ژنتیک به‌منظور تعیین اندازه، ظرفیت و مکان ترانسفورماتورهای توزیع باهدف کاهش هزینه‌های (سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری) استفاده‌شده و در تابع هدف تلفات و هزینه مرتبط با آن لحاظ نشده و مدل بار توان ثابت در نظر گرفته‌شده است. در مرجع [۹]، یک روش جدید برای حل مساله چند هدفه برنامه‌ریزی توسعه تولید شبکه توزیع (MDEP) ارائه‌شده است اما قابلیت اطمینان و هزینه‌های مربوط در نظر گرفته نشده است. مرجع [۱۰]، یک راه‌حل جدید برای برنامه‌ریزی توسعه بهینه پست‌های توزیع را ارائه می‌دهد. از بردار شاخص هزینه برای پیدا کردن محل بهینه سرویس‌دهی پست، استفاده‌شده است. اما مدل بار به‌صورت فازی در نظر گرفته‌شده و مدل هزینه لحاظ نشده است. مساله مکان‌یابی بهینه پست‌های توزیع MV / LV توسط الگوریتم رقابتی استعماری (ICA) باهدف کاهش هزینه و تلفات سیستم در [۱۱] انجام‌شده است. در مرجع [۱۲]، برای حل مساله مکان‌یابی پست‌های توزیع یک مدل برنامه‌ریزی خطی مختلط عدد صحیح (MILP) با دو تابع هدف (هزینه بهره‌برداری و انرژی تامین نشده) ارائه‌شده است. در مرجع [۱۳]، یک روش جدید مبتنی بر الگوریتم خوشه‌بندی (k-means) برای تعیین محل، اندازه و ظرفیت بهینه پست‌های توزیع ارائه‌شده است. تابع هدف شامل تلفات و هزینه‌های (سرمایه‌گذاری، بهره‌برداری و تلفات) می‌باشد اما محدودیت‌های الکتریکی به‌طور کامل لحاظ نشده است. در مرجع [۱۴]، یک مدل بهینه‌سازی برای مدیریت ظرفیت پست‌های توزیع در طول اجرا دوره برنامه‌ریزی پیشنهادشده است که تلفات و هزینه‌های (سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری، هزینه تعمیرات و نگهداری) در نظر گرفته شده است. در مرجع [۱۵]، یک مدل برنامه‌ریزی سیستم توزیع محدب چندمرحله‌ای برای یافتن بهترین مکان بهینه پست توزیع برای یک افق مشخص ارائه‌شده است. در مرجع [۱۶]، برای حل مساله مکان‌یابی پست‌های توزیع از الگوریتم ترکیبی مبتنی بر موقعیت جغرافیایی با روش رقابت جمعیت (BBOPC) استفاده‌شده است. در

مدل پیشنهادی، تلفات و هزینه‌های ارزش فعلی سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری، هزینه تعمیرات و نگهداری و ارزش پست‌ها لحاظ شده است اما تاثیر قابلیت اطمینان در سیستم توزیع در مساله بهینه‌سازی صرفه نظر شده است. از نوآوری‌های این مقاله در نظر گرفتن قابلیت اطمینان و هزینه‌های آن در سیستم توزیع و تاثیر آن بر شبکه توزیع می‌باشد.

در همین راستا، هدف از این مقاله در نظر گرفتن قابلیت اطمینان و بهبود آن با استفاده از تعیین بهترین مکان نصب پست‌های توزیع و کاهش تلفات فیدرها و هزینه‌های مربوط به پست‌های توزیع می‌باشد. علاوه بر این، برای نزدیک بودن روش به طراحی‌های واقعی از هر دو نوع پست‌های هوایی و زمینی استفاده شده است. جهت انجام بهینه‌سازی از الگوریتم جستجوی موجودات همزیست (SOS) استفاده شده و با نتایج حاصل از الگوریتم‌های (BBO, ICA, GA) مقایسه شده است. در این مقاله ضمن معرفی الگوریتم پیشنهادی و تعریف تابع هدف مساله و قیود حاکم بر آن، مطالعات و شبیه‌سازی‌ها برای یک سیستم نمونه انجام می‌شود و نتایج آن مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲- الگوریتم جستجوی موجودات همزیست (SOS)

یکی از کاربردی‌ترین روش‌های مورد استفاده در زمینه بهینه‌سازی، الگوریتم جستجوی موجودات همزیست (SOS) است. الگوریتم جستجوی موجودات همزیست توسط چنگ و پرایوگو [۱۷] برای اولین بار در مجله کامپیوتر و ساختارها معرفی شد. این روش یکی از جدیدترین روش‌های حل مساله فرا ابتکاری است که رفتار تعاملی بین موجودات در طبیعت را شبیه‌سازی می‌کند. موجودات به‌ندرت تنها زندگی می‌کنند، چون برای تامین مواد غذایی و حتی برای بقا به گونه‌های دیگر احتیاج دارند. این رابطه‌ی مبتنی بر وابستگی را همزیستی می‌نامند. روابط همزیستی ممکن است اجباری باشد، یعنی دو موجود برای بقا به یکدیگر وابسته‌اند، یا اختیاری باشد، به این معنی که رابطه‌ی غیرضروری بین دو موجود وجود دارد که برای هر دو سودمند است. روابط همیاری، هم‌سفرگی و انگلی رایج‌ترین روابط موجود در طبیعت هستند. برای اجرا الگوریتم ابتدا مقادری اولیه اکوسیستم انجام می‌شود که شامل (تعداد ارگانیسم‌ها، اکوسیستم اولیه و شرط خاتمه) می‌باشد و در مرحله بعد به شناسایی بهترین ارگانیسم می‌پردازد. بعد از مشخص شدن بهترین ارگانیسم به‌منظور تعامل با سایر ارگانیسم‌ها وارد سه فاز همیاری، هم‌سفرگی و انگلی می‌شود که شبیه مدل تعامل بیولوژیک دنیای واقعی می‌باشد.

۲-۱- فاز همیاری

در این فاز از الگوریتم که تقلیدی از رابطه همیاری است، X_i ، λ آمین موجود اکوسیستم است. سپس، موجود دیگری، X_j به‌طور تصادفی از اکوسیستم انتخاب می‌شود تا با X_i تعامل کند. جواب‌های کاندید جدید برای X_i و X_j بر اساس همزیستی همیاری بین موجود X_i و موجود X_j محاسبه می‌گردد که در معادلات زیر مدل‌سازی شده است:

$$X_{i\text{new}} = x_i + \text{rand}(0,1) (X_{\text{best}} - \text{Mutual_Vector} \times BF_1) \quad (1)$$

$$X_{j\text{new}} = x_j + \text{rand}(0,1) (X_{\text{best}} - \text{Mutual_Vector} \times BF_2) \quad (2)$$

$$\text{Mutual_Vector} = \frac{x_i + x_j}{2} \quad (3)$$

$X_{i\text{new}}$ ، $X_{j\text{new}}$ ، λ آمین موجود جدید در اکوسیستم در فاز همیاری می‌باشد. X_i ، λ آمین موجود اکوسیستم است و X_j به‌طور تصادفی از اکوسیستم انتخاب می‌شود. $\text{rand}(0,1)$ در معادله (۱) و (۲) بردار اعداد تصادفی است. بر اساس مطابق نظریه تکامل داروین، «تنها

موجودات مناسب برتری خواهند یافت» و همه موجودات مجبور به افزایش درجه سازگاری خود با اکوسیستم خود خواهند شد. در این میان برخی از آن‌ها برای افزایش سازگاری بقا از روابط همزیستی با دیگر موجودات استفاده می‌کنند. کاربرد x_{best} در این بخش نمایان است زیرا x_{best} نشان‌دهنده بالاترین درجه سازگاری است. بردار Mutual_vector رابطه بین ارگانیسم X_i و X_j را نشان می‌دهد. نقش BF1 و BF2 به شرح زیر توضیح داده می‌شود. در طبیعت، برخی از روابط متقابل ممکن است برای یک موجود نسبت به یک موجود دیگر داری نفع بیشتری برای ماندن در اکوسیستم باشد. به عبارت دیگر موجود A ممکن است هنگام تعامل با موجود B نفع بیشتری را کسب کند. به همین منظور، ضریب‌های سود (BF1 و BF2) به‌طور تصادفی به بین ۱ یا ۲ تعیین می‌شوند. (به‌طور مثال BF2=2 و BF1=1) این عوامل نشان‌دهنده میزان سود هر کدام از دو موجود X_i و X_j است. در قسمت (BF2 $\times$ Mutual_vector - x_{best})، تلاش موجودات برای رسیدن به بالاترین حد سازگاری موجود در طبیعت شبیه‌سازی می‌شود. مراحل اجرای فاز همیاری به شرح زیر است:

۱- انتخاب تصادفی یکی از ارگانیسم X_i به‌طوری که $X_i \neq X_j$
۲- تعیین بردار روابط متقابل (Mutual_vector) طبق رابطه (۳) و ضریب بهره‌وری (BF) مطابق روابط زیر محاسبه می‌شود.

$$BF1 = \text{randnum}(\text{either } 1 \text{ or } 2) \quad (4)$$

$$BF2 = \text{randnum}(\text{either } 1 \text{ or } 2) \quad (5)$$

۳- انتخاب تصادفی یکی از ارگانیسم X_j به‌طوری که $X_i \neq X_j$ مطابق روابط (۱) و (۲).

۴- محاسبه تابع برازش برای ارگانیسم‌های تغییر یافته
 $num_{\text{fitval}} = num_{\text{fitval}} + 2$ که در آن num_{fitval} بهترین مقدار ارگانیسم می‌باشد که با مقدار جدید و در صورت تغییر مقدار ثابت ۲ جمع می‌شود. در مرحله بعد چک می‌شود که آیا ارگانیسم‌های تغییر یافته مناسب هستند؟ در صورتی که این ارگانیسم‌های تغییر یافته قابل قبول نباشند، ارگانیسم‌ها قبلی حفظ می‌شود و در صورتی که این ارگانیسم‌های تغییر یافته قابل قبول باشند این ارگانیسم‌ها، جایگزین ارگانیسم‌های قبلی می‌شود و وارد فاز هم‌سفرگی می‌شود.

۲-۲- فاز هم‌سفرگی

مانند فاز همیاری، در فاز هم‌سفرگی یک موجود X_i به‌طور تصادفی از اکوسیستم انتخاب می‌گردد تا با X_j تعامل کند. جواب کاندید جدید X_i بر طبق همزیستی هم‌سفرگی بین موجود X_i و X_j موجود محاسبه می‌گردد که در معادله (۶) مدل‌سازی شده است.

$$X_{i\text{new}} = x_i + \text{rand}(-1,1) (X_{\text{best}} - x_j) \quad (6)$$

که در این رابطه، $\text{rand}(-1,1)$ در واقع محدوده شروع فاز هم‌سفرگی تعیین شده است. که در واقع محدودی مقداردهی اولیه متغیرهای موجود در اکوسیستم در فاز هم‌سفرگی را تعیین می‌کند و $(X_{\text{best}} - X_j)$ مزیت منفعتی تامین‌شده توسط X_j برای کمک به X_i جهت افزایش دادن مزیت بقای آن در اکوسیستم را نشان می‌دهد.

مراحل اجرای فاز هم‌سفرگی به شرح زیر است:

۱- انتخاب تصادفی یکی از ارگانیسم X_j به‌طوری که $X_j \neq X_i$
۲- ایجاد تغییر در ارگانیسم‌های X_i به کمک ارگانیسم X_j طبق رابطه (۶).
۳- محاسبه تابع برازش برای ارگانیسم‌های تغییر یافته
 $num_{\text{fitval}} = num_{\text{fitval}} + 1$
۴- در مرحله بعد چک می‌شود که آیا ارگانیسم‌های تغییر یافته مناسب‌تر هستند؟ در صورتی که این ارگانیسم‌های تغییر یافته قابل قبول نباشند، ارگانیسم‌های قبلی حفظ می‌شود و در صورتی که

این ارگانسیم‌های تغییر یافته قابل قبول باشند این ارگانسیم‌ها، جایگزین ارگانسیم‌های قبلی می‌شود و وارد فاز انگلی می‌شود.

۳-۲- فاز انگلی

در این فاز از الگوریتم، موجود X_i از طریق ایجاد انگلی مصنوعی به نام (بردار واسط انگل) نقشی شبیه پشه آنوفل دارد. با تکثیر موجود X_i در فضای جستجو و سپس با استفاده از یک عدد تصادفی برای تعدیل ابعادی که به‌طور تصادفی انتخاب شده‌اند، بردار واسط انگل ایجاد می‌گردد. موجود X_i به‌طور تصادفی از اکوسیستم انتخاب می‌گردد و در نقش میزبان بردار انگل عمل می‌کند. بردار انگل تلاش می‌کند جایگزین X_i در اکوسیستم شود. سپس هر دو موجود برای اندازه‌گیری سازگاری‌شان ارزیابی می‌شوند. مراحل اجرای فاز انگلی به شرح زیر است:

۱- موجود X_i یک انگل می‌باشد که یک بردار انگل ایجاد می‌کند.

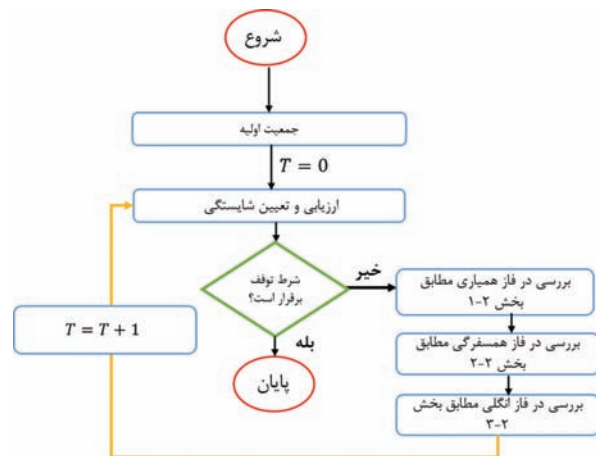
۲- انتخاب تصادفی یکی از ارگانسیم X_j به‌طوری که $X_j \neq X_i$

۳- محاسبه تابع برازش برای ارگانسیم‌های تغییر یافته برای بردار انگل و X_j

۴- اگر مقدار سازگاری بردار انگل بیشتر باشد، موجود X_j را می‌کشد و جای آن را در اکوسیستم می‌گیرد

۵- اگر مقدار سازگاری موجود X_j بیشتر باشد، موجود X_j در برابر بردار انگل ایمنی خواهد داشت و بردار انگل دیگر نمی‌تواند در اکوسیستم زندگی کند.

در این الگوریتم، تقلید تعامل بیولوژیک بین دو موجود در اکوسیستم، بر تولید جواب تازه حاکم است و هر موجود در تمام فازها با موجود دیگر تعامل می‌کند. این فرآیند تکرار می‌شود تا معیارهای خاتمه برآورده گردد.



شکل ۱: فلوچارت الگوریتم پیشنهادی حل مساله

کمترین زمان ممکن جواب‌های مناسب و بهینه‌ای نزدیک به جواب بهینه کلی را برای یک مساله بهینه‌سازی پیدا کند.

۳- مدل‌سازی شبکه و تحلیل ریاضی مساله بهینه‌سازی

هدف از مساله برنامه‌ریزی توسعه شبکه توزیع، تامین انرژی مصرف‌کنندگان با کمترین هزینه و با در نظر گرفتن قیود فنی و اقتصادی و با قابلیت اطمینان مناسب هست. بدین ترتیب مساله جایابی بهینه پست‌های توزیع را می‌توان به‌صورت زیر مدل‌سازی نمود:

$$TCOP = \min \sum_{i=1}^N (C_{Inv} + C_{Opa} + C_R) + \vartheta \sum_{j=1}^j \sum_{i=1}^{I_j} IL_{ij} \quad (7)$$

کمینه‌سازی هزینه‌ها، تلفات و بهبود شاخص‌های قابلیت اطمینان اهداف در نظر گرفته‌شده در این مقاله می‌باشند. هزینه‌ها در این تابع هدف در سه بخش در نظر گرفته‌شده است. در بخش نخست هزینه‌های مربوط به سرمایه‌گذاری، در بخش دوم هزینه‌های مربوط به بهره‌برداری و در بخش سوم هزینه‌های مربوط به قابلیت اطمینان بررسی می‌شود. در بخش دوم این تابع هدف به تلفات توان به‌عنوان یک شاخص مهم پرداخته‌شده است. در بخش دوم از تابع هدف شاخص تلفات در فیدر فشار ضعیف بر اساس کمینه کردن تلفات ارایه‌شده است. با توجه به این که مقدار تلفات به‌صورت RI^2 می‌باشد بنابراین برای کمینه کردن تلفات از آنجا که I متناسب با P_i و R متناسب با $Dist_{ij}$ می‌باشد بنابراین شاخص تلفات به‌صورت $P_i^2 Dist_{ij}$ است که برای هر کدام از بارها و پست‌ها تعریف می‌شود. در مبحث جایابی پست‌های توزیع، هدف انتخاب بهترین مکان از بین نقاط کاندیدا است به‌نحوی که کمترین هزینه‌ها و کمترین تلفات ممکن حاصل شود. مزیت عمده‌ی این تابع هدف، دقت بالا به علت در نظر گرفتن بیشتر محدودیت‌های بهره‌برداری سیستم توزیع است. به‌منظور واقعی‌تر شدن مساله یک ضریب تصحیح به علت عدم تغذیه بار بلوک ضرب می‌شود که مقداری بسیار بزرگ دارد. در ادامه مدل ریاضی هر کدام از توابع بالا ارایه می‌شود.

۳-۱- هزینه‌های سرمایه‌گذاری

این بخش از تابع هدف، شامل هزینه خرید زمین، هزینه خرید تجهیزات اولیه، هزینه‌ای اولیه فیدرها و در صورت لزوم هزینه خرید و نصب فیدر و کابل که در این تابع هدف در نظر گرفته‌شده است. بنابراین، هزینه‌های سرمایه‌گذاری به‌صورت زیر مدل‌سازی می‌شود:

$$C_{Inv} = C_{BL} + C_{PPE} + C_{Inflt} + C_{Dflt} + C_{Ins_trans} \quad (8)$$

که در آن:

$$C_{BL} = \sum_{i=1}^{n_{Block}} \delta_i * C_{Bgi} * Dimensions \quad (9)$$

$$C_{PPE} = \sum_{i=1}^{n_{Block}} \delta_i * C_{Trans_eque} \quad (10)$$

$$C_{Inflt} = \sum_{i=1}^{n_{sub}} \sum_{j=1}^{n_{loadi}} V_{mf} * Dist_{ij} \quad (11)$$

استفاده از روش‌های کلاسیک جدایی از دقت بالای جواب‌ها و سادگی و قابل فهم بودن آن‌ها در توابعی که فضای جستجو بسیار گسترده باشد با توجه به روش زمان‌بر بوده، عدم همگرایی جواب‌ها در صورت زیاد بودن متغیرها و قیود و همچنین به‌علت شرایط سخت و پیچیده در نقاط مرزی فضای مساله و ناپیوستگی آن‌ها یافتن جواب بهینه در این روش، نیازمند صرف زمان زیادی است. وجود موارد و مشکلات بالا در محاسبه توابع هدف مسایل باعث شد به‌منظور حل مساله موجود الگوریتم فر ابتکاری انتخاب گردد که دارای الگوریتم و فرمولاسیون ساده و قابل درک، پیاده‌سازی ساده، سرعت بیشتر، رفع مشکل عدم همگرایی، کاهش بهینه فضای جستجو مساله باشد و به‌راحتی و در

$$C_{losses_cu} = \left[\sum_{i=1}^{n_{Block}} \delta_i \cdot P_{cui} \cdot (F_{oper})^2 \right] LSF \cdot \alpha \cdot \varphi \quad (18)$$

$$C_{Losses_core} = \left[\sum_{i=1}^{n_{Block}} \delta_i \cdot P_{corei} \right] \alpha \cdot \varphi \quad (19)$$

$$C_{Rm_sub} = 0.15 \cdot \left[\sum_{i=1}^{n_{Block}} \delta_i \cdot C_{ope-subi} \right] \alpha \cdot \varphi \quad (20)$$

$$C_{Rm_feeder} = \left[\sum_{i=1}^{n_{sub}} \sum_{j=1}^{n_{loadi}} C_{ope-faij} \cdot Dist_{ij} \right] \alpha \cdot \varphi \quad (21)$$

$$= \%20V_{mf}$$

در این بخش از تابع هدف، در قسمت نخست به هزینه تلفات در فیدرها قسمت دوم و سوم به هزینه تلفات در ترانسفورماتورها (شامل تلفات مسی و تلفات آهنی)، قسمت چهارم هزینه‌های تعمیرات و نگهداری پست‌ها و در نهایت در قسمت پنجم هزینه تعمیرات و نگهداری فیدرها ارایه شده است. این قسمت از تابع هزینه جزء هزینه‌های متغیر است، یعنی در طول دوره برنامه‌ریزی صرف می‌گردد بنابراین با استفاده از یک ضریب اقتصاد مهندسی هزینه‌های جاری را به ارزش کنونی تبدیل می‌کنیم.

۲۴*۳۶۵* $T_h = T$ زمان در ساعت (برای دوره پایه $T_h=1$ و برای دوره بلندمدت $T_h=10$) در نظر گرفته شده است. در واقع به منظور بررسی دقیق‌تر و همچنین رسیدن به جواب بهینه‌تر این مطالعات با این فرض انجام شده که شبکه توزیع مورد مطالعه به شبکه بالادست متصل شده و با توجه به این فرض در این بخش هزینه‌های مرتبط با زمین و اتصال پست‌های توزیع در مکان کاندید به شبکه بالادستی فرمول دوم هزینه سرمایه‌گذاری C_{ppe} در نظر گرفته شده است.

$$\varphi = \left(\frac{1 + Infr}{1 + Intr} \right)^T \quad (22)$$

$$f_{ope_trans} = \frac{S_i}{S_{ni}} \quad (23)$$

۳-۳- هزینه‌های قابلیت اطمینان

بررسی و مطالعه قابلیت اطمینان در شبکه‌های توزیع با توجه به بالا بودن نرخ خاموشی و قطعی مشترکان در شبکه‌های توزیع، محاسبه قابلیت اطمینان در این بخش نسبت به دو بخش دیگر (تولید و انتقال) دارای اولویت و اهمیت بالایی می‌باشد. در همین راستا، در این بخش تابع هدف شامل دو قسمت می‌باشد که در قسمت اول شاخص‌های مربوط به مصرف‌کننده و سیستم و در قسمت دوم شاخص‌های مربوط به بار و انرژی ارایه شده است. بنابراین هزینه‌های قابلیت اطمینان به صورت زیر مدل‌سازی می‌شود:

$$C_R = C_{InterSAIFI} + C_{InterSAIDI} + C_{InterASAI} + C_{InterENS} \quad (24)$$

$$C_{InterSAIFI} = (SAIFI * C_{SAIFI} * N_C) \quad (25)$$

$$\rightarrow C_{InterSAIFI} = (SAIFI * W_{SAIFI}) * \varphi$$

$$C_{InterSAIDI} = (SAIDI * C_{SAIDI} * N_C) \quad (26)$$

$$\rightarrow C_{InterSAIDI} = (SAIDI * W_{SAIDI}) * \varphi$$

$$C_{InterASAI} = (ASAI * C_{ASAI} * N_C) \quad (27)$$

$$\rightarrow C_{InterASAI} = (ASAI * W_{ASAI}) * \varphi$$

در قسمت نخست شاخص‌ها در واقع برای سیستم و مصرف‌کننده

$$C_{Dflv} = D_c(KVA) * 3 * R * \frac{I_{LOADn}^2}{1000} \quad (12)$$

$$C_{Ins_trans} = \sum_{i=1}^{n_{Block}} CB_{PTi} (F_i(KVA) * W) \quad (13)$$

این بخش از تابع هدف خود به پنج قسمت تقسیم می‌شود که قسمت نخست آن مربوط به هزینه خرید زمین مورد نیاز برای احداث پست‌های توزیع مورد نظر می‌باشد در واقع این هزینه از نوع هزینه ثابت می‌باشد و در ابتدای دوره مورد مطالعه در نظر گرفته می‌شود و شامل هزینه احداث هر کدام از پست‌های توزیع در شبکه توزیع می‌باشد که به نوع و ظرفیت آن وابسته است. قسمت دوم که مربوط به هزینه سرمایه‌گذاری اولیه مربوط به (هزینه خرید ترانسفورماتورها و تجهیزات مرتبط با آن و ساخت پست‌ها) می‌باشد. قسمت سوم مربوط به هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه فیدرهای فشار ضعیف هزینه‌های (سرمایه‌گذاری اولیه و هزینه احداث)، قسمت چهارم مربوط به هزینه دیماند فیدرهای فشار ضعیف می‌باشد. در واقع هزینه دیماند، هزینه‌ای است که به صورت پرداخت‌های سالیانه دریافت می‌شود و شامل هزینه تلفات فیدر و هزینه مربوط به افزایش سرمایه‌گذاری در بخش انتقال توان می‌باشد. قسمت پنجم به عنوان بخش پایانی به منظور مدل کردن هزینه‌های مربوط به نصب ترانسفورماتورها ارایه شده است. به منظور کمینه‌سازی فاصله بین بارها و پست‌های توزیع از معیار تلفات و معیار نزدیک‌ترین فاصله مطابق رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$Dist_{ij} = \sqrt{(X_{subi} - X_{loadj})^2 + (Y_{subi} - Y_{loadj})^2} \quad (14)$$

با توجه به افزایش رشد بارها و چگالی بار در منطقه مورد نظر شبکه دچار افت ولتاژ یا کمبود ظرفیت پست‌های موجود می‌شود. در این حالت اگر پست‌های توزیع مربوط توانایی تامین اضافه‌بار پیش‌بینی شده را نداشته باشند می‌توان با افزایش ظرفیت مشکل اضافه‌بار پیش‌بینی شده را برطرف کرد در غیر این صورت دچار اضافه‌بار می‌شود. به این منظور در این بخش ضریب اضافه‌بار در ظرفیت پست‌های توزیع اعمال می‌شود و به صورت زیر تعیین می‌گردد.

$$W = \frac{(1 + G)^{Year}}{F_{LS} + F_{ols}} \quad (15)$$

۳-۲- هزینه‌های بهره‌برداری

این بخش از تابع هدف شامل دو قسمت است که بخش اول مربوط به هزینه‌های تلفات پست‌ها و فیدرهای موجود می‌باشد. در بخش دوم آن نیز هزینه تعمیر و نگهداری از پست‌های توزیع و فیدرها بیان شده که با توجه به نوع و ظرفیت هر پست توزیع برابر با یک مقدار مشخص است و شامل هزینه بهره‌برداری از پست‌ها می‌باشد که با توجه نوع پست‌های انتخاب شده تعیین می‌گردد. بنابراین، هزینه‌های بهره‌برداری به صورت زیر مدل‌سازی می‌شود:

$$C_{Opa} = C_{losses_flv} + C_{losses_cu} + C_{Losses_core} \quad (16)$$

$$+ C_{Rm_sub} + C_{Rm_feeder}$$

که به صورت:

$$C_{losses_flv} = \left[\sum_{i=1}^{n_{sub}} \sum_{j=1}^{n_{loadi}} 3 \cdot z_{mij} \cdot I_{mij}^2 \right] LSF \cdot \alpha \cdot \varphi \quad (17)$$

بیان شده و این شاخص‌های تمام مصرف‌کنندگان (مصرف‌کننده خانگی کوچک و یا مصرف‌کننده صنعتی بزرگ) دارای اهمیت یکسانی می‌باشند. در قسمت دوم شاخص‌های مربوط به بار و انرژی بررسی می‌شود. این شاخص‌ها به علت واقعی‌تر بودن شرایط ارزیابی عادلانه‌تری از قابلیت اطمینان سیستم فراهم می‌آورند. شاخص‌های مربوط به بار و انرژی به شرح زیر می‌باشد:

$$C_{InterENS} = (ENS * C_{ENS} * N_C) \rightarrow C_{InterENS} = (ENS * W_{ENS}) * \varphi \quad (28)$$

۳-۴- معرفی قیود فنی حاکم بر شبکه

برای رسیدن به نقطه بهینه در مساله بهینه‌سازی باید محدودیت‌هایی اعمال شود که باعث افزایش سرعت رسیدن به جواب بهینه شود. در این پژوهش از ۱۲ قید کاربردی برای مساله جایابی بهینه پست‌های توزیع استفاده شده است که در ذیل به آن‌ها اشاره می‌شود.

۱- تغذیه شدن تمامی بارها

$$\left(\sum_{i=1}^{n_{Block}} \delta_i \cdot s_i \right) \cdot \cos \varphi = load_{total} \quad (29)$$

هیچ یک از گره‌های بار یا مجموعه‌ای از آن‌ها نباید از شبکه اصلی جدا بمانند. به عبارت دیگر تمام بارهای شبکه باید تغذیه شوند.

۲- حد بارگذاری مجاز ترانسفورماتورها

$$S_{ni} \cdot f_{ope_trans} \geq S_i \quad (30)$$

به منظور بهره‌برداری مطمئن و پایدار، توان تحویلی ترانسفورماتورهای شبکه در حین طراحی شبکه‌های توزیع، ضریب بهره‌برداری اقتصادی ترانسفورماتورها باید به صورت درصدی از توان نامی آن‌ها در نظر گرفته شود.

۳- بیشترین ظرفیت ترانسفورماتور

$$50\% S_i < S_i^{cap} < 90\% S_i \quad (31)$$

به منظور افزایش طول عمر پست‌ها و نیز مسایل مربوط به بهره‌برداری و قابلیت اطمینان آن‌ها، هر پست تا حد معینی از ظرفیت نامی خود اجازه‌ی بارگذاری داشته و به طور کامل مورد بهره‌برداری قرار نمی‌گیرد. این قید به صورت رابطه‌ی بالا در مساله مدل شده است

۴- حد بارگذاری مجاز خطوط فشار ضعیف

$$|I_{ij}| \leq I_{max} \quad (32)$$

این محدودیت از اهمیت زیادی برخوردار است و طبق آن جریان عبوری از فیدر باید در محدوده‌ی مجاز خود قرار گیرد.

۵- افت ولتاژ مجاز در محل بار

$$|\Delta v_{ij}| \leq |\Delta v_{max}| \quad (33)$$

این محدودیت نیز از اهمیت زیادی برخوردار است و طبق آن ولتاژ باید در محدوده‌ی مجاز خود قرار گیرد، افت ولتاژ در سیستم توزیع فشار ضعیف به طور معمول نباید از ۵ درصد مقدار نامی شبکه تجاوز نماید.

۶- محدودیت تعداد نصب ترانسفورماتور

$$\sum_{i=1}^{n_{Block}} \delta_i \leq N_{MAX} \quad (34)$$

با توجه به شبکه مورد مطالعه تعداد ترانسفورماتورهای توزیع متفاوت است.

۷- محدودیت تعداد فیدر خروجی از پست

$$NP_{ij} \leq N_{ij_feeder} \quad (35)$$

با توجه به شبکه مورد مطالعه تعداد پست‌های توزیع متفاوت است.

۸- ظرفیت گرمایی فیدر

$$S_{fi} < S_{max}^f \quad (36)$$

بیشترین توان عبوری در فیدرهای شبکه توزیع باید محدود به ظرفیت هادی‌ها باشد.

۹- پروفیل ولتاژ

$$0.95 < V_i < 1.05 \quad (37)$$

دامنه ولتاژ هر شین باید طبق رابطه در رنج قابل قبولی باشد.

۱۰- شعاع تغذیه پست‌های توزیع

$$Dist_{ij} \leq R_{max}^i \quad (38)$$

این قید برای جلوگیری از تغذیه بارهایی که خارج از شعاع سرویس‌دهی پست می‌باشد تعیین شده است.

۱۱- بیشترین طول فیدر فشار ضعیف

$$0 < L_f < 0.4 \quad (39)$$

بر اساس استاندارد شبکه‌های فشار ضعیف ایران بیشترین طول فیدر فشار ضعیف ۴۰۰ متر فرض گردیده است.

۱۲- شرط شعاعی بودن شبکه

برای حفظ ساختار شعاعی شبکه توزیع باید هر نقطه بار متمرکز به طور کاملاً مستقیم و فقط از یک پست مشخص و معین تغذیه شود.

۴- تشریح الگوریتم حل مساله جایابی بهینه پست‌های توزیع

برای محاسبه اجزای تابع هدف که در بالا به آن‌ها اشاره گردید، با توجه به این که هدف اصلی مقاله جایابی بهینه پست‌های توزیع با رویکرد کاهش هزینه و تلفات و بهبود قابلیت اطمینان می‌باشد بنابراین با استفاده از الگوریتم زیر توابع هدف موجود محاسبه شده‌اند. ۱- داده‌های ورودی یک سری داده‌های مورد نیاز برای جایابی پست‌ها می‌باشند که شامل: اطلاعات جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (طول و عرض جغرافیایی)، داده‌های مورد پیش‌بینی بار، مشخصات و داده‌های مربوط به پست‌های توزیع، داده‌های مربوط به هزینه‌های (سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری)، تعیین پارامترهای مهم در بحث بهینه‌سازی است.

۲- تشکیل ماتریس شاخص تلفات و بار: به منظور حداقل سازی تابع هزینه مساله جایابی و جایابی بهینه پست‌های توزیع، بارها باید به گونه‌ای به پست‌های توزیع اختصاص یابند که کمترین تلفات و هزینه حاصل شود. پس از محاسبه شاخص تلفات با توجه به تابع هدف برای هریک از بلوک‌ها نسبت به هر کدام از پست‌ها، ماتریس شاخص تلفات بدین صورت تشکیل می‌شود که درایه ij آن، برابر با شاخص تلفات بلوک j ام نسبت به پست i ام است.

۳- تقسیم ناحیه مورد مطالعه بر اساس موقعیت جغرافیایی

۴- اولویت‌بندی بهترین پست‌ها برای هر بلوک بر اساس شاخص تلفات

۵- اولویت‌بندی بلوک‌ها بر اساس حداقل شاخص تلفات آن‌ها: پس از مشخص شدن بهترین پست‌ها بر اساس ترتیب اولویت، هر کدام از بلوک‌های بار موجود با توجه به درایه اول سطر ماتریس شاخص تلفات به ترتیب صعودی مرتب می‌شوند.

۶- جایابی بهینه پست‌ها بر اساس ماتریس شاخص تلفات: در این حالت بر اساس ماتریس شاخص تلفات جایابی بهینه پست‌ها صورت می‌گیرد.

۷- تخصیص بار بلوک‌ها به بهترین پست‌ها: در این بخش با توجه

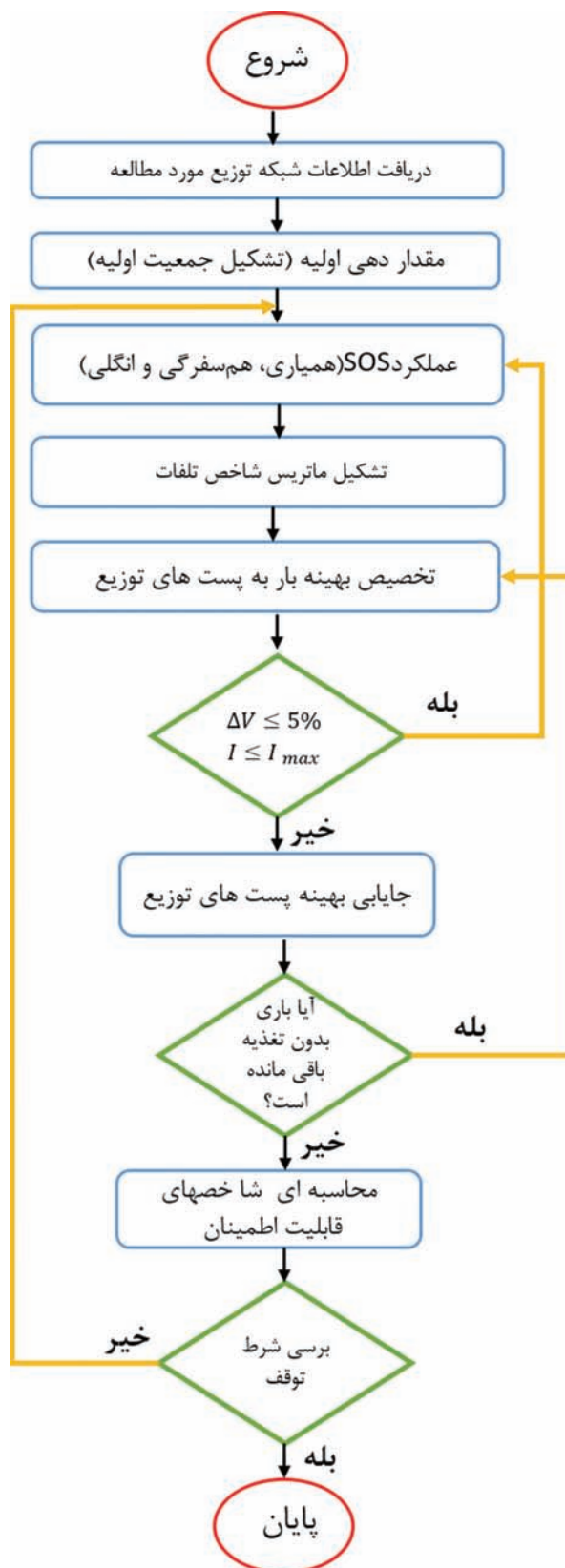
- اختصاص داده می‌شوند.
- ۸- اعمال محدودیت افت ولتاژ مجاز
- ۹- بررسی قید تغذیه تمام بارها
- ۱۰- محاسبه قابلیت اطمینان (مطابق استاندارد IEEE-1366)
- ۱۱- برای محاسبه تابع هدف که شامل تلفات، هزینه‌ها (سرمایه‌گذاری، بهره‌برداری و قابلیت اطمینان)، بهبود قابلیت اطمینان است باید با توجه به الگوریتم پیشنهادی مینیمم شود.
- ۱۲- استفاده از الگوریتم پیشنهادی برای مینیمم‌سازی
- ۱۳- در صورت برقراری شرط همگرایی الگوریتم بهینه‌سازی پیشنهادی خاتمه پیدا می‌کند.

۵- پیاده‌سازی الگوریتم و تحلیل نتایج مطالعات

در این مرحله به‌منظور تایید و بررسی صحت عملکرد الگوریتم ارائه‌شده نتایج مطالعه شبیه‌سازی بر روی قسمتی از یک شبکه واقعی با فرض معلوم بودن نتایج برآورد بار نشان داده‌شده است. هدف از بهینه‌سازی این مساله تعیین بهترین مکان، ظرفیت، اندازه و زمان بهینه نصب پست‌های توزیع با توجه به تمام پارامترهای مدنظر در مساله ارائه‌شده است. سیستم تحت مطالعه در حالت پایه یک منطقه با مساحت 1100×1300 مترمربع و در حالت ۱۰ ساله یک منطقه با مساحت 1200×1600 مترمربع می‌باشد. این مطالعات به‌صورت دو سناریو: یک‌ساله (پایه) و ۱۰ سال (دوره بلندمدت) تعریف شده است. همچنین پست‌های توزیع با ظرفیت بیشتر از ۴۰۰ KVA به‌عنوان پست‌های زمینی و کمتر از این ظرفیت به‌عنوان پست هوایی در نظر گرفته شده است. تعداد نقاط بار در سناریو اول ۱۹۰ در سناریو دوم ۵۸۰ نقطه بار متمرکز می‌باشد. همچنین شعاع مجاز تغذیه بارها ۴۰۰ متر در نظر گرفته شده است و مکانهای غیرموجه جهت احداث پست‌ها شناسایی شده است. در این پژوهش، ضریب بار ۰,۷ و ضریب توان واحد و همچنین حداکثر ظرفیت بارگذاری پست‌ها ۹۰٪ فرض شده است.

در این مطالعات از دو سناریو استفاده شده است. در سناریو اول جایابی بهینه پست‌های توزیع انجام شده و از میان پست‌های کاندید، پست‌های انتخابی جهت تغذیه تمام بارهای موجود در شبکه مشخص شده است. حال با توجه به بار مصرفی شبکه مورد مطالعه میزان رشد بار مشخص شده که با توجه به برآورد بار جایابی بهینه پست‌های توزیع برای دوره ده‌ساله با فرض بودن پست‌های توزیع سناریو اول (دوره پایه) در سناریو دوم (دوره ده‌ساله) انجام می‌شود. علت انتخاب دو سناریو بالا بردن دقت در انتخاب بهینه پست‌ها و در نتیجه کاهش تلفات و هزینه و بهبود قابلیت اطمینان می‌باشد. همچنین انتخاب دو سناریو برای شبکه مورد مطالعه با هدف برنامه‌ریزی بلندمدت برای شبکه مورد مطالعه برای جلوگیری از ایجاد مشکلات در مطالعات در طول دوره برنامه‌ریزی انجام شده است.

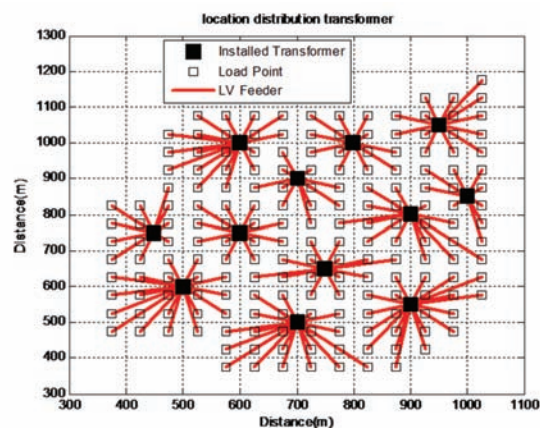
در این مرحله به‌منظور انتخاب پست‌های جدید پیشنهادی ابتدا مطالعات پیش‌بینی بار انجام شده و با توجه به مشخص شدن نیاز منطقه مورد مطالعه امکان‌سنجی و نیازسنجی مکان‌های نصب پست‌های توزیع با توجه به پست‌های موجود از نظر قیود فنی و فیزیکی (اقتصادی) انجام می‌شود. با توجه شرایط گفته‌شده پست‌های جدید پیشنهادی بر اساس ماتریس شاخص تلفات و معیار نزدیک‌ترین فاصله توسط الگوریتم بهینه‌سازی پیشنهادی انتخاب می‌شوند و هر آرایشی که نتواند قیود فنی و اقتصادی را برآورده کند از چرخه الگوریتم خارج می‌شود. همچنین به‌منظور رسیدن به یک



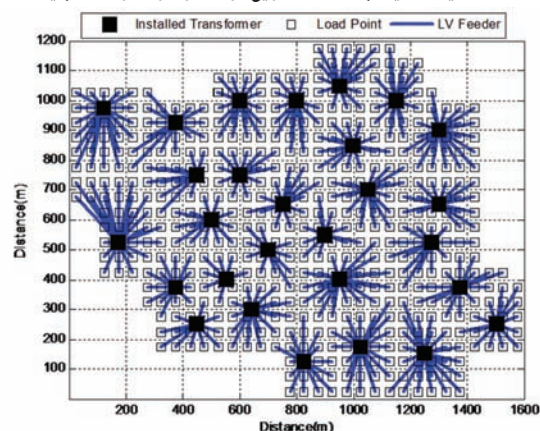
شکل ۲: الگوریتم جایابی بهینه پست‌های توزیع

به جایابی بهینه پست‌های توزیع بار بلوک‌های متناظر با توجه اولویت‌بندی آن در مرحله قبل به بهترین پست‌ها به ترتیب اولویت

الگوی اقتصادی برای پست‌های توزیع، آن دسته از پست‌های توزیع با اولویت‌های کمتر با توجه به معیارهای سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری به‌عنوان پست‌های پرهزینه شناخته‌شده و تابع هدف این آرایش در یک مقدار بزرگ یا بی‌نهایت ضرب شده که باعث بزرگ شدن تابع هدف آن آرایش شده و از چرخه الگوریتم خارج می‌شوند. تمام این مراحل توسط الگوریتم بهینه‌سازی و تابع هدف پیشنهادی با توجه به قیود موجود بر اساس ماتریس شاخص تلفات انجام می‌شود.



شکل ۳: جایابی بهینه پست‌های توزیع برای برآورد بار حالت پایه



شکل ۴: جایابی بهینه پست‌های توزیع برای حالت برآورد بار ده‌ساله

در این مطالعات، به‌منظور بررسی کلی شبکه موردنظر از هر دو نوع پست‌های توزیع زمینی و هوایی با ظرفیت‌های متنوع استفاده‌شده است. برای مشخص کردن نوع شبکه (هوایی و یا زمینی) با توجه به آرایش انتخاب‌شده نهایی نوع پست‌های توزیع (هوایی یا زمینی بودن آن) در منطقه مورد مطالعه تعیین می‌شود و با توجه به محدود بودن میزان هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری در رابطه (۳۴) یک قید تعیین‌شده که در آن بیشترین مکان مجاز پست‌های توزیع با توجه به شرایط فنی و اقتصادی مشخص شده که به‌عنوان مکان‌های مجاز به الگوریتم داده‌شده است تا تعداد بهینه و اقتصادی پست‌های توزیع انتخاب شود.

با توجه به توضیحات گفته‌شده تعداد پست‌های توزیع انتخابی در سناریو اول ۱۲ عدد است درحالی‌که در سناریو دوم، تعداد پست‌های توزیع انتخابی، ۲۸ عدد می‌باشد. در هر دو سناریو مورد مطالعه، تمام پست‌های انتخاب‌شده توسط الگوریتم بهینه‌ترین حالت می‌باشد که در آن هزینه و تلفات کاهش و سایر پارامترهای شبکه بهبود پیدا کرده است. در سناریو نخست که افق برنامه‌ریزی برای یک سال است در

منطقه مورد مطالعه تعداد ۱۲ عدد پست توزیع از نوع‌های هوایی و زمینی با ظرفیت‌های مختلف برای تغذیه بار مشترکان پیشنهادشده است. در این حالت اگر پستی دچار اضافه‌بار شود، با از بین بردن میزان اضافه‌بار بیش‌ازحد بر روی پست‌های توزیع که دچار اضافه‌بار شده‌اند علاوه بر کاهش هزینه‌های احداث پست‌های توزیع جدید با استفاده بهینه از ظرفیت پست‌های توزیع مجاور میزان تلفات و هزینه ناشی از احداث فیدرهای توزیع جدید و تلفات را کاهش داد. در هر بار اتصال بار پست‌های توزیع دچار اضافه‌بار به پست‌های مجاور تابع هدف دوباره توسط الگوریتم بهینه‌سازی اجرا و بهینه‌سازی می‌شود و دوباره مقدار بهینه پست توزیع از لحاظ فنی و اقتصادی مشخص می‌شود. در صورتی که تحت هر شرایطی پست‌های توزیع مجاور نتوانند اضافه‌بار پست‌های توزیع دچار اضافه‌بار را تأمین نمایند در این صورت الگوریتم بهینه‌سازی در یکی از مکان‌های پیشنهادی نزدیک به پست توزیع دچار اضافه‌بار امکان‌سنجی را انجام داده و بهترین مکان با توجه به اولویت‌بندی آن‌ها به ترتیب جهت نصب پست توزیع جدید پیشنهادی اختصاص داده می‌شود.

با توجه به جدول (۱) مشخص است که میزان انرژی تأمین نشده حدود ۵۷،۵۴ درصد و تلفات در شبکه اصلاح‌شده حدود ۵۱ درصد کاهش یافته است. هزینه کل بعد از جایابی بهینه، نیز حدود ۱۹ درصد کاهش پیدا کرده است. اما در سناریو دوم، با توجه به این که میزان رشد بار در سال‌های هدف به‌طور تقریبی ۲۰ درصد در نظر گرفته‌شده و با توجه به میزان بارگذاری قبل از جایابی دوباره مشخص می‌شود که به دلیل افزایش چگالی بار و همچنین رشد بار منطقه در افق ۱۰ ساله پست‌های موجود نمی‌توانند بارهای خود را به‌طور کامل تغذیه کنند. بنابراین با توجه به رشد بار و شرایط فنی و اقتصادی مکان‌های کاندید مناسب برای احداث پست‌های جدید با توجه به امکان‌سنجی بهینه پیشنهاد داده‌شده است که در جداول پیوست الف محل قرارگیری پست‌های کاندید برای هر دو سناریو آورده شده است. در سناریو دوم که افق برنامه‌ریزی برای ده سال است در منطقه مورد مطالعه تعداد ۲۸ عدد پست توزیع از نوع‌های هوایی و زمینی با ظرفیت‌های مختلف برای تغذیه بار مشترکان پیشنهادشده است. همچنین، به‌منظور دستیابی به عملکرد بهتر و درک بیشتر از شاخص‌های استاندارد IEEE-1366 برای محاسبه‌ای شاخص‌های قابلیت اطمینان در شبکه‌های توزیع شعاعی استفاده‌شده است. با توجه به جدول (۱) مشخص است که میزان انرژی تأمین نشده حدود ۴۹ درصد و تلفات در شبکه اصلاح‌شده حدود ۴۳ درصد کاهش یافته است. همچنین هزینه کل بعد از جایابی بهینه، نیز حدود ۳۲ درصد کاهش پیدا کرده است.

همچنین بیشترین درصد بارگذاری در سناریوی نخست مربوط به پست هوایی با ظرفیت ۱۸۶.۸ کیلوولت آمپر و درصد بارگذاری ۷۴.۴۰ درصد و در سناریو دوم مربوط به پست زمینی با ظرفیت ۵۵۷.۱ کیلوولت آمپر و درصد بارگذاری ۸۸.۴۰ درصد می‌باشد.

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله، یک مدل جامع چندمنظوره و هدفمند برنامه‌ریزی بهینه سیستم‌های توزیع برای تعیین تعداد، مکان، ظرفیت و حوزه سرویس‌دهی پست‌های توزیع با توجه به شرایط فعلی شبکه، به‌منظور کاهش هزینه و تلفات و بهبود قابلیت اطمینان شبکه ارایه گردید. در این پژوهش، مدل‌سازی و مطالعات با در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی و فنی در شبکه توزیع انجام‌شده و به‌منظور ارایه

جدول ۱: نتایج قابلیت اطمینان برای دو سناریو مورد مطالعه

شاخص	سناریو اول		سناریو دوم	
	قبل از جابجایی	بعد از جابجایی	قبل از جابجایی	بعد از جابجایی
SAIFI	۱.۵۶۹۸	۰.۷۴۴۵	۱.۸۹۷۴	۱.۰۹۸۱
SAIDI	۱.۲۱۹۲	۰.۸۲۳۱	۲.۱۳۲۵	۱.۲۰۸۱
ASAI	۰.۹۹۸	۰.۰۹۹۹۵	۰.۹۹۸۹	۰.۹۹۹۱
ENS	۹۸.۴۲۱	۵۸.۴۷۰	۹۶۸.۳۶	۴۹۴.۵۴

جدول ۲: نتایج برنامه‌ریزی سناریو دوم

تعداد پست	سناریو اول		
	ظرفیت پست توزیع (KVA)	ظرفیت بارگذاری (KVA)	درصد بارگذاری پست
۱	۳۱۵	۱۹۱.۱۳	۶۰.۶۳
۲	۳۱۵	۲۰۳.۱۲	۶۴.۴۸
۳	۲۵۰	۱۷۴.۸۹	۶۹.۹۵
۴	۲۵۰	۱۸۶.۸	۷۴.۴
۵	۲۵۰	۱۲۳.۴۱	۵۶.۵۰
۶	۲۰۰	۹۸.۹	۴۹.۴۵
۷	۲۰۰	۱۲۷.۵	۶۳.۵
۸	۲۰۰	۱۰۹.۸۶	۵۴.۹۳
۹	۲۰۰	۱۳۹	۶۹.۵۱
۱۰	۲۰۰	۱۳۶.۴	۶۸.۴
۱۱	۲۰۰	۱۲۲.۹	۶۱.۴۱
۱۲	۲۰۰	۸۴.۶	۴۲.۳

جدول ۳: نتایج برنامه‌ریزی سناریو اول

تعداد پست	سناریو دوم			سناریو اول		
	ظرفیت پست توزیع (KVA)	ظرفیت بارگذاری (KVA)	درصد بارگذاری پست	تعداد پست	ظرفیت پست توزیع (KVA)	ظرفیت بارگذاری (KVA)
۱	۶۳۰	۵۰۷.۳	۸۰.۵۰	۱۵	۴۰۰	۳۴۱.۴
۲	۶۳۰	۵۵۷.۱	۸۸.۴۰	۱۶	۴۰۰	۳۰۰.۶۱
۳	۵۰۰	۴۰۶.۸	۸۱.۴۶	۱۷	۴۰۰	۲۹۰.۱۰
۴	۵۰۰	۴۳۵.۸۸	۸۷.۱۷	۱۸	۳۱۵	۲۴۷.۳۴
۵	۵۰۰	۳۷۱.۷	۷۴.۳۰	۱۹	۳۱۵	۲۱۳.۴۵
۶	۵۰۰	۴۱۳.۲۳	۸۲.۶۴	۲۰	۳۱۵	۲۲۹.۲۶
۷	۵۰۰	۴۳۱.۴	۸۶.۰۰	۲۱	۳۱۵	۲۵۲.۳۱
۸	۵۰۰	۳۶۰.۹	۷۲.۱۰	۲۲	۳۱۵	۲۰۵.۲۳
۹	۴۰۰	۲۸۳.۵	۷۰.۷۵	۲۳	۳۱۵	۱۹۸.۵۶
۱۰	۴۰۰	۳۳۳.۶۶	۸۳.۴	۲۴	۲۵۰	۱۲۹.۶۷
۱۱	۴۰۰	۳۰۵.۴۱	۷۶.۴۷	۲۵	۲۵۰	۱۴۱.۹۸
۱۲	۴۰۰	۲۹۱.۹	۷۲.۹۷	۲۶	۲۵۰	۱۴۶.۳۹
۱۳	۴۰۰	۳۳۶.۹	۸۴.۱۲	۲۷	۲۵۰	۱۸۳.۹
۱۴	۴۰۰	۳۱۲.۴۷	۷۸.۰۸	۲۸	۲۵۰	۱۵۳.۳۵

روشی واقعی‌تر از هر دو نوع پست‌هایی هوایی و زمینی با ظرفیت‌های متنوع استفاده شده است. همچنین به منظور بهینه‌سازی مساله جابجایی بهینه پست‌های توزیع، از الگوریتم جستجوی موجودات همزیست (SOS) بهره گرفته است.

در این مطالعات دو سناریو تعریف شده است. سناریو اول و دوم به ترتیب برای یک دوره یک‌ساله و یک دوره ده‌ساله در نظر گرفته شده و در این دوره‌ها الگوریتم و تابع هدف پیشنهادی برای دوره یک‌ساله ۱۲ عدد پست توزیع هوایی و زمینی و برای دوره ده‌ساله ۲۸ پست توزیع هوایی و زمینی با ظرفیت‌های مختلف برای تغذیه تمام بارها پیشنهاد داده است. در سناریو اول، میزان انرژی تامین نشده حدود ۵۷ درصد و تلفات در شبکه اصلاح شده حدود ۵۱ درصد کاهش یافته است. هزینه کل بعد از جابجایی بهینه، نیز حدود ۱۹ درصد کاهش پیدا کرده است. در سناریو دوم، میزان انرژی تامین نشده حدود ۴۹ درصد و تلفات در شبکه اصلاح شده حدود ۴۳ درصد کاهش یافته است. همچنین هزینه کل بعد از جابجایی بهینه، نیز حدود ۳۲ درصد کاهش پیدا کرده است. نتایج به دست آمده از مطالعات برای یک شبکه توزیع نمونه، کارایی روش پیشنهادی را در طراحی شبکه‌های توزیع به خوبی نشان می‌دهد.

مراجع

- [1] T. Gönen and I. J. Ramirez-Rosado, "Review of distribution system planning models: a model for optimal multistage planning," IEE Proc. C Gener. Transm. Distrib., Vol. 133, No. 7, pp. 397, 1986.
- [2] D. Hongwei et al., "Optimal planning of distribution substation locations and sizes - Model and algorithm," Int. J. Electr. Power Energy Syst., vol. 18, no. 6, pp. 353–357, 1996.
- [3] K. Suresh and L. Lawrence, "Power Distribution Planning: A Review of Models and Issues," IEEE Trans. Power Syst., vol. 12, p. 9, 1997.
- [4] C.-S. Chen and T.-H. Wu, "Optimal distribution transformer sizing by dynamic programming," Int. J. Electr. Power Energy Syst., vol. 20, no. 3, pp. 161–167, 1998.
- [5] A. Augugliaro, L. Dusancho, and E. R. Sanseverino, "Genetic, simulated annealing and tabu search algorithms: Three heuristic methods for optimal reconfiguration and compensation of distribution networks," Eur. Trans. Electr. Power, vol. 9, no. 1, pp. 35–41, Jan. 1999.
- [6] H. K. Temraz and M. M. A. Salama, "A planning model for siting, sizing and timing of distribution substations and defining the associated service area," Electr. Power Syst. Res., vol. 62, no. 2, pp. 145–151, 2002.
- [7] Carmona Delgado, E. Romero Ramos, J. Riquelme Santos, and A. Gómez Expósito, "Distribution transformer load allocation from substation measurements and load patterns," in IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe, ISGT Europe, pp. 76–82, 2010.
- [8] J. E. Mendoza, M. E. López, H. E. Peña, and D. A. Labra, "Low voltage distribution optimization: Site, quantity and size of distribution transformers," Electr. Power Syst. Res., vol. 91, pp. 60–52, 2012.
- [9] M. Gitizadeh, A. A. Vahed, and J. Aghaei, "Multistage distribution system expansion planning considering distributed generation using hybrid evolutionary algorithms," Appl. Energy, vol. 101, pp. 666–655, 2013.
- [10] S. M. Mazhari, H. Monsef, and H. Falaghi, "A hybrid heuristic and learning automata-based algorithm for distribution substations siting, sizing and defining the associated service areas," Int. Trans. Electr. Energy Syst., vol. 24, no. 3, pp. 456–433, Mar. 2014.

جدول ۲: اطلاعات مربوط به محل قرارگیری پست‌های توزیع کاندید در دوره ده‌ساله

X	Y	X	Y
۴۴۸.۴۰۸	۲۵۱.۶۱۳	۱۰۴۹.۶۸	۶۹۹.۵۳۹
۸۲۲.۹۳	۱۲۴.۴۲۴	۱۲۹۹.۳۶	۶۴۹.۷۷
۱۰۲۴.۲	۱۷۴.۱۹۴	۱۲۹۹.۳۶	۸۹۸.۶۱۸
۶۳۹.۴۹	۳۰۱.۳۸۲	۹۹۸.۷۲۶	۸۴۸.۸۴۸
۳۷۴.۵۲۲	۳۷۶.۰۳۷	۷۴۹.۰۴۵	۶۴۹.۷۷
۵۵۰.۳۱۸	۴۰۰.۹۲۲	۳۷۴.۵۲۲	۹۲۳.۵۰۲
۱۷۳.۲۴۸	۵۲۵.۳۴۶	۱۲۲.۲۹۳	۹۷۳.۲۷۲
۱۲۴۸.۴۱	۱۵۲.۰۷۴	۱۱۴۹.۰۴	۹۹۸.۱۵۷
۱۵۰۰.۶۴	۲۵۱.۶۱۳	۵۹۸.۷۲۶	۹۹۸.۱۵۷
۹۵۰.۳۱۸	۴۰۰.۹۲۲	۸۰۰	۹۹۸.۱۵۷
۱۳۷۳.۲۵	۳۷۶.۰۳۷	۹۵۰.۳۱۸	۱۰۴۷.۹۳
۱۲۷۳.۸۹	۵۲۵.۳۴۶	-	-
۸۹۹.۳۶۳	۵۵۰.۲۳	-	-
۶۹۸.۰۸۹	۵۰۰.۴۶۱	-	-
۴۹۹.۳۶۳	۶۰۰	-	-
۴۴۸.۴۰۸	۷۴۹.۳۰۹	-	-
۶۰۱.۲۷۴	۷۴۹.۳۰۹	-	-

جدول ۳: اطلاعات مربوط به ترانسفورماتورهای مورد استفاده در مطالعات انجام شده

Transformers Types (kVA)	Install Costs	Open-Circuit Losses (kW)	Short-Circuit Losses (kW)
۵۰	۲۵۹۶	۰.۱۹	۱.۱
۱۰۰	۲۹۵۹.۶	۰.۳۲	۱.۷۵
۲۰۰	۳۷۴۷.۵	۰.۵	۲.۳۵
۲۵۰	۴۱۳۱.۳	۰.۶۵	۲.۳۵
۳۱۵	۴۹۴۹.۵	۰.۸۵	۴
۴۰۰	۵۹۰۹.۱	۰.۹۳	۴.۶
۵۰۰	۷۲۶۲.۶	۱.۱	۵.۵
۶۳۰	۹۴۴۴.۴	۱.۳	۶.۵
۸۰۰	۱۲۶۶۷	۱.۶	۸
۱۰۰۰	۱۴۱۰۱	۱.۷	۱۰.۵
۱۲۵۰	۱۵۹۴۹	۲	۱۲
۱۶۰۰	۲۰۵۴۵	۲.۶	۱۷

- [11] S .N .Ravadanegh", A multistage expansion planning method for optimal substation placement ",Iran .J .Electr. Electron .Eng .,vol ,10 .no ,1 .pp.2014 ,74–65 .
- [12] R .R .Gonçalves ,J .F .Franco ,and M .J .Rider", Short-term expansion planning of radial electrical distribution systems using mixed-integer linear programming ",IET Gener. Transm .Distrib .,vol ,9 .no ,3 .pp ,266–256 .Feb.2015 .
- [13] S .Vahedi ,M .Banejad ,and M .Assili", Optimal location, sizing and allocation of sub transmission substations using K-means algorithm ",in IEEE Power and Energy Society General Meeting ,2015 ,vol-2015 .Septe.
- [14] M .Humayun et al", Optimal capacity management of substation transformers over long-run ",IEEE Trans .Power Syst .,vol ,31 .no ,1 .pp.2016 ,641–632 .
- [15] L .L .Li ,Y .F .Yang ,C .H .Wang ,and K .P .Lin", Biogeography-based optimization based on population competition strategy for solving the substation location problem ",Expert Syst. Appl .,vol ,97 .pp.2018 ,302–290 .
- [16] M .Home-Ortiz ,O .D .Melgar-Dominguez ,M .Pourakbari-Kasmaei ,and J .R .S .Mantovani", A stochastic mixed-integer convex programming model for long-term distribution system expansion planning considering greenhouse gas emission mitigation ",Int .J .Electr .Power Energy Syst .,vol ,108 .pp .2019 ,95–86
- [17] M .Y .Cheng and D .Prayogo", Symbiotic Organisms Search :A new metaheuristic optimization algorithm", Comput .Struct .,vol ,139 .pp.2014 ,112–98 .

پیوست الف

جدول ۱: اطلاعات مربوط به محل قرارگیری پست‌های توزیع کاندید در سال پایه

X	Y
۵۰۰	۶۰۰
۴۴۹.۰۴۵	۷۵۰
۵۹۹.۳۶۳	۷۵۰
۷۰۰	۵۰۰.۶۴۹
۹۰۰	۵۴۹.۳۵۱
۷۴۹.۶۸۲	۶۴۸.۷۰۱
۹۰۰	۸۰۰.۶۴۹
۹۹۹.۳۶۳	۸۵۱.۲۹۹
۷۹۹.۳۶۳	۹۹۹.۳۵۱
۹۴۹.۶۸۲	۱۰۵۰
۷۰۰	۹۰۰
۵۹۹.۳۶۳	۹۹۹.۳۵۱

TCOP	کل هزینه‌های جابجایی بهینه
N	تعداد کل توابع هدف
C_{Inv}	هزینه‌های مربوط به سرمایه‌گذاری
C_{Opa}	هزینه‌های مربوط به بهره‌برداری
C_R	هزینه‌های مربوط به قابلیت اطمینان
IL_{ij}	شاخص تلفات در فیدر فشار ضعیف در بار بلوک i ام از پست توزیع j ام
$Dist_{ij}$	فاصله بار i ام از پست توزیع j ام
C_{BL}	هزینه مربوط به خرید زمین
C_{ppe}	هزینه سرمایه‌گذاری اولیه تجهیز و ساخت پست‌ها
C_{Inflv}	هزینه سرمایه‌گذاری اولیه فیدرهای فشار ضعیف
C_{Dflv}	هزینه‌های مربوط به دیماند فیدر فشار ضعیف
C_{Ins_trans}	هزینه‌های مربوط به نصب ترانسفورماتورها
δ_i	متغیر تصمیم‌گیری در صورت انتخاب برابر یک و در غیر اینصورت صفر
C_{Bgi}	هزینه خرید هر مترمربع زمین در بلوک موردنظر
dimension	ابعاد موردنیاز برای نصب و احداث پست i ام
C_{Trans_eque}	هزینه خرید ترانسفورماتور و تجهیزات داخلی و مصالح ساختمان پست i ام
V_{mf}	هزینه احداث یک متر از فیدرهای فشار ضعیف
n_{Bload}	تعداد کل بلوک‌های تحت مطالعه
n_{sub}	تعداد پست توزیع پیشنهادی
n_{loadi}	تعداد بار تغذیه‌شده از پست i ام
R	مقاومت طول فیدر i ام
I_{LOADn}^2	مقدار بار فیدر i ام در سال n ام
D_c (KVA)	هزینه دیماند یا تقاضا فیدر i ام
F_i (KVA)	متوسط تقاضای بار که توسط ترانسفورماتور i ام
W	ضریب اضافه‌بار
CB_{PTi}	هزینه خرید ترانسفورماتور خریداری شده
$X_{subi} \cdot Y_{subi}$	طول و عرض محل احداث پست توزیع i ام
$X_{loadj} \cdot Y_{loadj}$	طول و عرض بلوک بار j ام
G	نرخ رشد سالیانه بار
F_{LS}	ضریب بار سیستم
F_{ols}	ضریب اضافه‌بار برای ترانسفورماتور
C_{losses_flv}	هزینه تلفات در فیدرهای فشار ضعیف
C_{losses_cu}	هزینه تلفات مسی در پست‌های توزیع i ام
C_{Losses_core}	هزینه تلفات هسته در پست‌های توزیع i ام
C_{Rm_sub}	هزینه تعمیر و نگهداری از پست‌های توزیع i ام
C_{Rm_seeder}	هزینه تعمیر و نگهداری از فیدرهای فشار ضعیف
Zm_{ij}	مقاومت فیدر اتصال‌دهنده بار j ام به پست i ام
Lm_{ij}	جریان تک فاز عبوری از بار j ام به سمت پست توزیع i ام
LSF	ضریب تلفات
α	ارزش تلفات



مقاله علمی-ترویجی

توسعه مدار Remote Terminal Unit و ارسال بی سیم امن اطلاعات

■ جعفر امیددی گرگری / گروه الکترونیک / واحد شهر قدس / دانشگاه آزاد اسلامی / تهران - ایران / j.omidi@gmail.com

■ مژده مهدوی / گروه الکترونیک / واحد شهر قدس / دانشگاه آزاد اسلامی / تهران - ایران / m.mahdavi@qodsiau.ac.ir

■ مهدی زارع / گروه الکترونیک / واحد شهر قدس / دانشگاه آزاد اسلامی / تهران - ایران / m.zare@gmail.com

* نویسنده مسئول

چکیده

در سیستم‌های کنترل و قدرت امروزی، یکی از مهمترین مسایل، پایش بلادرنگ سیستم به منظور حفظ شرایط کارکرد عادی و نزدیک کردن سیستم به شرایط کارکرد بهینه می‌باشد. به مجموعه سیستم‌های پایش، از واحدهای جمع‌آوری داده در پست‌ها تا سیستم‌های تله‌متری و انتقال داده و سیستم‌های کامپیوتری موجود در مراکز کنترل، سیستم‌های مدیریت انرژی گفته می‌شود. Remote Terminal Unit وسیله‌ای است که در مکان‌های دور از دسترس قرار داده می‌شود و اطلاعات خاصی را که به وسیله ثبت‌کننده داده و سنسورهای متصل به آن تهیه شده را به صورت کد جمع‌آوری نموده و ذخیره‌سازی می‌نماید و در صورت لزوم با اتصال به آن از راه دور می‌توان آن اطلاعات را دریافت و یا به صورت بلادرنگ مشاهده کرد. همچنین می‌توان از راه دور به این سیستم، پیام‌هایی را ارسال کرد و تغییراتی را در محل مانند روشن کردن رله جهت کنترل موتور تهویه، چراغ یا گرم‌کننده ایجاد نمود. نمونه‌های خارجی این دستگاه با امکانات محدود و با قیمت‌های بالا در کشور وجود دارد. در این پژوهش سعی شده است سیستمی طراحی و ارایه شود که با کمترین قیمت در مقایسه با مدل خارجی و امکانات بسیار بالاتر مانند استفاده از ارتباطات سیار و عدم نیاز به مودم خارجی، به بهبود آن اقدام شود.

کلمات کلیدی: مانیتورینگ آنلاین سیستم، ارسال بی سیم امن اطلاعات، ترمینال کنترلی از راه دور.

Developing a Remote Terminal Unit Circuit and Secure Wireless Transmission of Information

■ Jafar Omid Gargari / Department of Electronics / Shahr-e-Qods Branch / Islamic Azad University / Tehran, Iran / j.omidi@gmail.com

■ Mojdeh Mahdavi / Department of Electronics / Shahr-e-Qods Branch / Islamic Azad University / Tehran, Iran / m.mahdavi@qodsiau.ac.ir

■ Mahdi Zare / Department of Electronics / Shahr-e-Qods Branch / Islamic Azad University / Tehran, Iran / m.zare@gmail.com

*corresponding author

Abstract

One of the most important issues in the modern control and power systems is real-time monitoring of the system to maintain normal operating conditions and bring the system closer to optimal operating conditions. The set of monitoring systems, from data collection units in substations to the telemetry, data trans-

mission systems and computer systems in control centers is called the energy management systems. RTU is a device that is placed in places out of reach, it collects and stores certain information provided by the registrar and sensors connected to it in the form of codes, and it can be connected remotely if necessary to receive information or see it in real time. It is also possible to send messages remotely to the system and make changes to the location, such as turning on the relay to control the air conditioning system, lights or heater. There are foreign examples of this device with limited facilities and high prices in Iran. In this study, an attempt has been made to design and present a system that can be improved at the lowest price compared to the foreign model and with much higher features such as the use of mobile communications and the lack of need for an external modem.

Keywords:: Real-time monitoring, Secure Wireless Transmission of Information, Remote Terminal Unit

۱-مقدمه

در دهه‌های اخیر، خودکارسازی با ابعاد مختلف به زندگی بشریت پیوند خورده و همانند یکی از شاخه‌های بسیار پویا در بین سایر تخصص‌های فنی، تلاشی است که در راستای انجام بسیاری از امور و هدایت و کنترل آن‌ها بدون دخالت مستقیم کاربر انجام می‌شود که در دو مقوله تولید و کنترل فرایند کاربرد دارد. در یک پروژه خودکار، به نظارت انسانی، احتیاجی نیست و خطاهای بشری ناشی از نداشتن آموزش لازم، حذف خواهد شد. هم‌اکنون توسعه سامانه‌ها و افزایش حجم داده‌های ورودی - خروجی در فرایندهای صنعتی موجب شده تا به کارگیری یک پروتکل استاندارد و سازگار با شرایط محیطی شبکه‌های صنعتی نوین، از اهمیت بالایی برخوردار باشد. خودکارسازی صنعتی، به عنوان یک رشته نوین، همواره جایگاه چشمگیری را در فناوری‌ها داشته است [۱،۲]. سیستم صنعتی Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA)، سامانه‌ای نرم‌افزاری است که به پروسه کنترل و تبادل داده‌ها نظارت دارد و با نصب بر سخت‌افزار، نقش یک واسطه را ایفا می‌کند. سیستم اسکادا مزایای عدیده‌ای در راه‌اندازی و نظارت دارد و تغییرات جزئی را برای عملکرد بهینه و باکیفیت ایجاد می‌نماید [۳،۴].

در شکل (۱) کاربردهای گسترده سیستم اسکادا به صورت نمادین به نمایش درآمده است. سامانه‌های صنعتی اسکادا در کارخانه‌ها برای کنترل فرایندهای گوناگون و نظارت بر تبادل داده و کنترل آنها استفاده می‌شوند [۵]. سامانه‌های اسکادا در پردازشگرهای صنعتی نظیر صنایع فولاد، نیروگاه‌ها، تولید و توزیع انرژی، برق اتمی و معمولی، صنایع شیمیایی و تجهیزات آزمایشگاه‌های اتمی و ... که تعداد ورودی و خروجی آن‌ها زیاد است، به کار گرفته می‌شود [۲]. ضرورت وجود یک پروتکل ارتباطی که بتواند وسیله‌های مختلف در یک سامانه را به صورت Slave/Master و یا Client/Server به یکدیگر ارتباط دهد، موجب شد تا شرکت Modicon در سال ۱۹۷۹ به طراحی و پیاده‌سازی پروتکلی نظیر MODBUS مبادرت نماید که علاوه بر اینکه مطابق استانداردهای شبکه‌های صنعتی باشد، بتواند با برقراری ارتباط بین سامانه‌های هوشمند به تجزیه و تحلیل پیام‌های صادره توسط اجزای یک سامانه بپردازد. پروتکل MODBUS یک پروتکل صنعتی رایج جهت استفاده در سامانه اسکادا است که زمینه ایجاد ارتباط بین اجزای هوشمند سیستم کنترل (در سامانه‌های خودکارسازی) همراه با ویژگی‌هایی نظیر قابلیت انعطاف، اطمینان بالا و مقرون به صرفه بودن را فراهم می‌نماید [۶،۷].

تبیین شبکه صنعتی و پروتکل شبکه صنعتی از تلفیق

چندین حسگر (Sensor) و عملگر (Actuators) در یک پروسه صنعتی و یک سیستم تجزیه و تحلیل‌کننده داده‌های ورودی و پردازش آن‌ها و ارسال پیام‌های مقتضی به عملگرها، پدید می‌آید [۸]. شبکه‌های صنعتی شامل چهار جزء اصلی ادوات دریافت داده‌های ورودی به سیستم، ادوات ارسال داده‌های پردازش‌شده، اعمال آن‌ها به محرک‌ها و در نهایت ادوات پردازشگر داده‌ها می‌باشد. از دیدگاه نرم‌افزاری، به مجموعه قوانینی که میان اعضای یک شبکه با هدف تبادل درست داده، برقرار است، پروتکل گویند. به طور کلی یک پروتکل برای شبکه تعیین می‌کند که جهت ارتباط و تبادل داده‌ها از چه رابط‌های سخت‌افزاری استفاده می‌شود. تعیین ماهیت پیام‌ها و دستورات تبادل شده میان اعضای شبکه (ولتاژ، جریان، فرکانس)، ارسال و دریافت داده‌ها (آدرس‌دهی - رمزگذاری) و همچنین تعیین بسته‌های داده جهت انتقال (بیت‌ها، بایت‌ها، کاراکترها) و لایه‌بندی داده‌های انتقالی را نیز برعهده دارد. در کامل‌ترین درک امروزی، اصطلاح اتوماسیون و هوشمندسازی اشاره دارد بر:

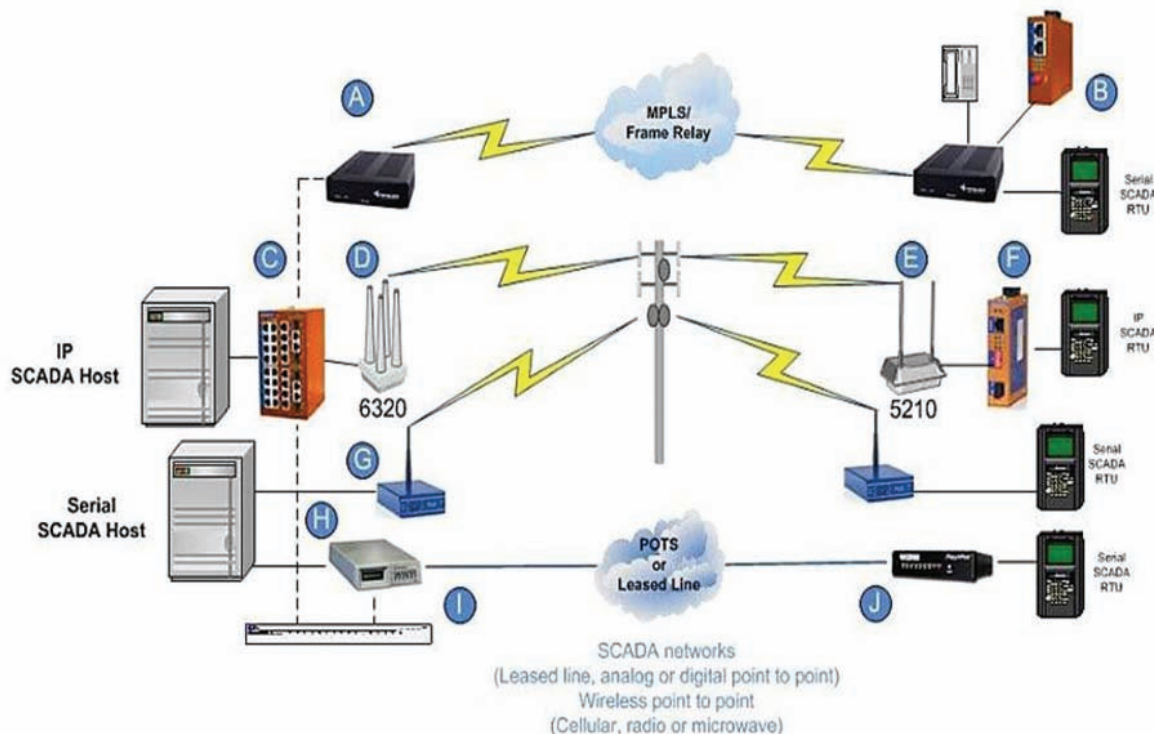
- مکانیزه کردن و جمع‌آوری دریافت متغیرهای محیط (به وسیله حسگرهای مصنوعی)

- پردازش داده‌ها و تصمیم‌گیری (به وسیله رایانه)

- عمل مکانیکی (به وسیله موتور یا وسیله‌ای که نیروها را به محیط اعمال می‌کند)

- عمل اطلاع‌رسانی به وسیله مخابره داده‌های پردازش‌شده با افراد برخی دیگر از مزایای اتوماسیون عبارت است از افزایش سطح بهره‌وری، سرعت و دقت تولید و قابلیت اطمینان فرآورده‌ها و محصولات، کاهش تغییرپذیری فرآیندها، دستیابی به کیفیت پایدار، کاهش هزینه‌های تولید، کنترل و نظارت، افزایش سطح انعطاف‌پذیری، افزایش سطح ایمنی در صنایع، کاهش میزان مصرف منابع، دقت در انجام فعالیت‌ها، استاندارد نمودن خروجی‌ها و کاهش هزینه‌های عملیاتی.

واژه اسکادا به فرایند کنترل و تبادل داده‌ها اشاره دارد. شایان ذکر است که این سامانه، تحت سیستم‌عامل‌های Linux, NT, Unix, Windows قابل اجرا است. لایه اساسی سیستم اسکادا به دو سطح تقسیم می‌شود، لایه فراهم‌کننده داده‌های اولیه و لایه سرور که فرایند کنترل پردازش داده‌ها را به عهده دارد. لایه سرور با تجهیزات کنترل‌کننده‌هایی چون PLC در ارتباط بوده و یا از طریق شبکه‌ها و یا Fieldbus به تجهیزات Data Server متصل می‌باشد. همچنین Data Server به سایر ادوات و جایگاه‌های مورد استفاده از طریق اینترنت LAN متصل می‌باشند. یک لایه Data Server می‌تواند چندین پروتکل نقل و انتقال را تحت پوشش قرار دهد. محصولات تولیدشده سیستم SCADA جهت نقل و انتقال داده‌ها در PLC از Fieldbus‌هایی همانند MODBUS



شکل ۱: نمایش نمادین کاربردهای گسترده سیستم SCADA [۵].

دما، رطوبت و فشار، مدار ثبت کننده داده (Data Logger) با قابلیت اندازه گیری و ذخیره اطلاعات، طراحی گشت. اما انتقال این اطلاعات با کمترین هزینه و با کمترین تلفات، می تواند موضوعی برای ایجاد شبکه ترمینال های کنترلی از راه دور (RTU) باشد [۱۱].

با توجه به اینکه در برخی سیستم های SCADA مانند تاسیسات آب، فرض اساسی بر این اساس استوار است که کلیه توابع حفاظتی و بسیاری از توابع کنترلی، در محل تاسیسات انجام پذیرد و قطع ارتباط مخابراتی تأثیری در این موضوع نداشته باشد، در انتخاب بین RTU و PLC، به دلایل مختلف تجهیزات PLC توصیه می گردد [۱۰].

RTU های مناسب برای این نوع طرح ها، از نوع مدولار می باشد که امکان توسعه حجم اطلاعات که ممکن است در آینده مورد نیاز باشد را دارا هستند. همچنین این RTU ها باید قادر به اجرای توابع کنترلی نیز باشند. هزینه های تهیه و اجرای این نوع RTU ها از مجموع هزینه های PLC و رابط های مخابراتی مشابه بیشتر است. علت مهم دیگر ترجیح PLC بر RTU در برخی سیستم ها، عدم وجود پشتیبانی های فنی و خدماتی کافی این نوع تجهیزات در بازار کشور است. در بازار ایران، مارک های معتبر PLC مانند Siemens, Telemecanique, Omron, Allen-Bradly... کاملاً شناخته شده اند و سرویس های فنی و خدماتی آنها توسط مجموعه های مختلف مهندسی و بازرگانی تأمین می گردد و وابستگی چندانی به مجموعه های خاص خارجی نمی باشد. حال آن که در صنعت ایران، سابقه استفاده از RTU ها هنوز چندان زیاد نمی باشد و همچنین مارک های معتبر در عرصه تولید و اجرا با RTU در آن پا نگرفته اند. مضاف بر اینکه، حتی معدود مارک های موجود نیز، توسط یک مجموعه عموماً بازرگانی و نه فنی، پشتیبانی می گردد. در ادامه به سوابق تحقیقاتی و عملی که در گذشته برای طراحی و ساخت این دستگاه بکار گرفته شده است، می پردازیم:

استفاده می کند [۹].

ارتباط بین اجزای مختلف سامانه به دو صورت Slave/Master و Client/Server و از طریق درگاه شبکه صورت می گیرد. در ارتباط نوع Master/Slave تنها یک سامانه Master قادر به آغاز ارتباط با بقیه اجزای سامانه است و بقیه اجزای سامانه، با فراهم کردن داده لازم، به درخواست Master پاسخ می دهند. هر وسیله جانبی اعم از حسگرهای ورودی/خروجی، دستگاه های اندازه گیری، شیرهای کنترل و... که به پردازش اطلاعات پرداخته و توسط MODBUS اطلاعات را به Master ارسال می کند، Slave نامیده می شود [۹، ۱۰]. پروتکل صنعتی MODBUS و آدرس دهی در آن علاوه بر کاربردهای ذکر شده، در هوشمندسازی و اتوماسیون خانگی هم مورد استفاده قرار می گیرد.

می توان خاطرنشان کرد که نهادینه شدن دانش خودکار سازی و به کارگیری آن در کلیه سطوح، اعم از صنایع و سازمان های خدماتی مختلف و مهم تر از همه هوشمندسازی خانه ها در کشور، یک ضرورت اجتناب ناپذیر محسوب می شود. در ادامه مقاله و در بخش ۲ به توضیحاتی در مورد RTU و سوابق تحقیقاتی آن می پردازیم و در قسمت ۳ به بیان بخش سخت افزاری و نرم افزاری مدار پیشنهادی، خواهیم پرداخت، در نهایت نیز مزایای سیستم پیشنهادی نسبت به دستگاه های مشابه خارجی و نتیجه گیری آمده است.

۲- ترمینال های کنترلی از راه دور (RTU)

به علت عدم حضور انسان در موقعیت های مختلف جغرافیایی اعم از بیابان ها، کوه ها، مناطق صعب العبور، همچنین هزینه بالای حضور انسان در این مناطق و اهمیت اندازه گیری بعضی پارامترها مانند اندازه گیری جریان عبور از لوله های نفتی، پارامترهای اندازه گیری در پست های فشار قوی برق و اندازه گیری پارامترهای هواشناسی از قبیل

در مراجع [۹] و [۱۲] از RTU در بهبود شبکه‌های قدرت استفاده شده است. عملکرد تجهیزات حفاظتی در پست‌های قدرت و مراکز دیسپاچینگ، اساساً کارکرد سیستم حفاظت، نحوه کنترل و نظارت شبکه‌های انتقال را تغییر داده است تا تشخیص خطا، هرچه دقیق‌تر و سریع‌تر انجام شود. با وجود این پیشرفت، گاهی در صورت عملکرد ناصحیح این تجهیزات، احتمال خطاهای چند گانه پیش می‌آید که برای تشخیص آن به دقت و تجربه بالا نیاز است و یا به سیستمی که بتواند سیستم حفاظت و پایش را تحت کنترل در آورد.

در مراجع [۱۳، ۱۴] طراحی و توسعه RTU بی‌سیم به نام WRTU برای سیستم‌های اتوماسیون SCADA انجام شده است. این پروژه برای صنایع گاز و نفت طراحی شده است. در این پژوهش از هسته مرکزی ARM و از ماژول Cortex M4 استفاده شده است. همچنین از GPS نیز برای موقعیت‌یابی دقیق پشتیبانی بهره برده‌اند. اطلاعات ارسالی در یک پورتال جامع جمع‌آوری و در اختیار کاربر قرار می‌گیرد.

در مرجع [۱۵] طراحی و ساخت RTU با کاربرد پایش سیستم‌های پزشکی بر پایه سنسورها و ارتباط GPRS مدنظر بوده است. هر کاربر می‌تواند به طور بلادرنگ، اطلاعات فیزیولوژی مربوط به سنسورهای پزشکی را مشاهده نماید. در صورت ایجاد مشکل کاربر قادر خواهد بود به سیستم مرکزی از طریق شبکه دسترسی پیدا کند و مدیریت اطلاعات و سیستم‌ها را برعهده گیرد.

در مرجع [۱۶] تحلیل خطا در سیستم‌های SCADA مورد بررسی قرار گرفته است. یک سیستم SCADA از تعدادی واحدهای ترمینال از راه دور برای جمع‌آوری داده‌ها استفاده می‌کند و ارسال آن را به یک ایستگاه اصلی، از طریق یک سیستم ارتباطی میسر می‌سازد. اگر پردازنده نتواند کار خود را به درستی انجام دهد، تجهیزات و یا فرایند نظارت آن غیر قابل دسترسی خواهد شد. این مقاله پیشنهاد یک طرح برای حل این مشکل را ارائه می‌دهد. هر RTU شامل دو پردازنده شده که در صورت شکست یک پردازنده، پردازنده دیگر می‌تواند وظایف پردازنده اصلی را انجام دهد.

در مرجع [۱۷] امنیت پورت‌های سیستم‌های اتوماسیون اسکادا در ارتباط بی‌سیم، مورد بحث قرار می‌گیرد، در این مقاله مناطق دور افتاده صنعتی یا تجاری را می‌توان تحت نظارت و کنترل از طریق سیستم‌های بی‌سیم در آورد. سنسورهای مختلف، پارامترهای مورد نیاز را اندازه‌گیری کرده و انتقال آن به کنترل از راه دور از طریق واحد ترمینال RTU میسر می‌شود. RTU تمام اطلاعات در پایگاه داده خود را ذخیره و در صورت درخواست به مرکز کنترل در فرمت پروتکل MODBUS ارسال می‌کند. هر بسته قبل از ارسال بر روی شبکه با استفاده از یک الگوریتم پیشرفته رمزگذاری، کدگذاری شده که این امر منجر به ارتباطات امن‌تر و همچنین جلوگیری از حمله مزاحمان می‌گردد.

در مرجع [۱۸] یک سیستم موقعیت‌یابی و کنترل از راه دور بر اساس SCM و SIM508 مورد مطالعه قرار گرفته است. از آنجا که از طیف گسترده‌ای از شبکه GPRS استفاده شده، این سیستم می‌تواند موقعیت و کنترل در فاصله بسیار طولانی در زمان واقعی را در اختیار قرار دهد. این فناوری می‌تواند در کروز اتوماتیک، اکتشاف بدون سرنشین، امداد و نجات و راهنمایی از سلاح و... استفاده شود.

در مرجع [۱۹] سیستم جمع‌آوری داده‌ها و پیش‌بینی راه دور برای مسافت‌های طولانی نظارت بر لوله‌های گاز طبیعی مورد بررسی قرار گرفته است. سیستم ایجاد شده در حقیقت یک سیستم بدست آوردن داده از طریق بی‌سیم می‌باشد که در بسیاری از مکان‌ها مانند

سازه‌های پایش و یا مطالعات محیط زیستی و ارتباطی کاربرد دارد. در این مقاله از GPRS به عنوان انتقال‌دهنده اطلاعات استفاده شده است. واحد ترمینال داده، اطلاعات مربوط به سنسورهای نصب شده بر روی لوله‌های گاز را جمع‌آوری نموده و این اطلاعات را با GPRS به سرور مرکزی ارسال می‌کند. در سرور نیز اطلاعات پردازش شده و از طریق وب در اختیار افراد خبره قرار داده می‌شود و موارد غیرعادی، مورد بررسی قرار می‌گیرد. در طول چند سال عملیاتی بودن این سیستم، قابلیت بالای آن مشخص شده است.

در مرجع [۲۰] طراحی و توسعه هوشمند واحد ترمینال از راه دور به عنوان یک تکنیک اتوماسیون برای عوامل مختلف مطرح شده است. ارتباطات طرح پیشنهادی از طریق سیستم سامانه جهانی ارتباطات سیار (GSM) می‌باشد. نظارت خودکار و کنترل رله با استفاده از GSM و خدمات سرویس پیام کوتاه، به وسیله یک میکروکنترلر (PIC18F77A) و یک مودم GSM فراهم شده و ارسال هشدارها به وسیله پیامک به پرسنل مدنظر بوده است.

۳- طراحی و ساخت سامانه پیشنهادی

این دستگاه با استفاده از راهکارهای موجود در کشور ساخته شده و در آن سعی شده تا از ارزان ترین تجهیزات استفاده گردد، که در عین حال با قیمت مناسب، نسبت به نمونه خارجی قابلیت بالاتری را نیز فراهم نماید.

در این سامانه، قابلیت ارسال و دریافت فرمان به دو صورت امکان پذیر است. زمانی که RTU، خود دارای یک IP ایستا می‌باشد که از طریق شبکه و با نرم افزار ارسال فرمان، می‌توان به آن فرمان داد. همچنین به مرکزی که دارای IP ایستا می‌باشد، می‌توان فرمان و اطلاعات را ارسال نمود.

زمانی که طرح دارای IP ایستا نیست، مقصد باید دارای IP ایستا باشد و با اتصال RTU به مقصد، یک IP در اختیار آن قرار می‌دهد و تا زمانی که اپراتور، سیمکارت IP را عوض نکند، امکان دریافت و ارسال فرمان وجود دارد.

طراحی این دستگاه از بخش سخت افزاری، نرم افزاری و همچنین بخش تنظیمات بلادرنگ تشکیل شده است که در ادامه به توصیف هر کدام از این بخش‌ها می‌پردازیم:

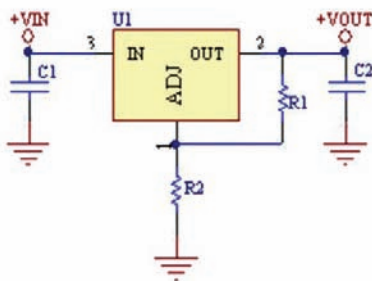
۱- بخش سخت افزاری

به طور کلی اهداف جزئی که ما را به هدف اصلی طراحی می‌رساند در چند بخش زیر می‌توان خلاصه کرد:

- جمع‌آوری اطلاعات به وسیله مدارهای طراحی شده به وسیله سنسورهای دما، رطوبت و ... با خروجی‌های مناسب.
- ذخیره اطلاعات به صورت بلادرنگ در یک حافظه CARD SD به طوریکه این اطلاعات از بین نرود و قابل دسترسی باشد.
- مداری که بتواند اطلاعات را از طریق یک سیم کارت که بر مدار نصب می‌شود با GPRS به مقصد خاصی ارسال نماید.
- اطلاعات بصورت آنلاین به وسیله نرم افزار متلب قابل نمایش باشد.
- به طوری که RTU به کامپیوتر از طریق پورت USB وصل شود.
- سیستم در محل باز، نصب شود به طوری که بتواند سیگنال‌های ماهواره‌های GPS را دریافت کند. Ublox، ماژول انتخابی برای تعیین موقعیت سیستم می‌باشد که دارای آنتن ویژه دریافت سیگنال‌های ماهواره‌ای GPS است.

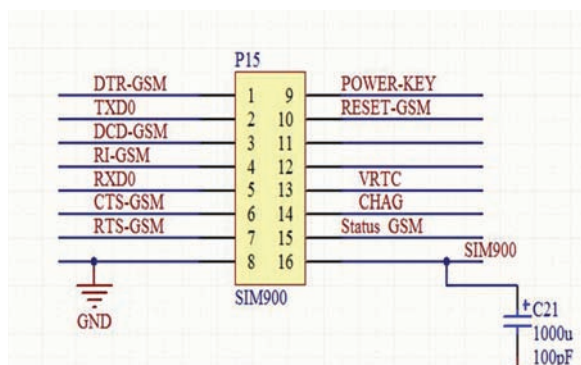
فلوچارت کلی بخش سخت افزاری، در شکل (۲) به نمایش آمده است. در این پروژه از سنسورهای دیجیتال SHT11 به عنوان حسگر دما و رطوبت استفاده شده است. این سنسور دارای دقت دمای ۰،۴

که دارای ۳۸۰۰ میلی آمپر ساعت قدرت است به عنوان تغذیه اصلی استفاده می کند و بدون استفاده از آداپتور مدار را راه اندازی و تامین جریان می نماید. در اکثر مدارهای الکترونیکی به دو ولتاژ ۵ ولت و ۳٫۳ ولت نیازمندیم و به طور معمول از طریق رگولاتور به آن ها دست می یابیم، اما به دلیل تلفات زیاد رگولاتور و دسترسی به باتری و همچنین تغذیه مناسب ۴ ولت برای ماژول، از این روش صرف نظر می کنیم. در ابتدا از یک بوستر قدرت که دارای هسته LM 2577 ADJ است استفاده نموده که ولتاژ ۵ ولت را به عنوان VCC به مدار می دهد و همین طور برای ساختن ۳٫۳ ولت از یک کاهنده با هسته LM ۲۵۹۶ استفاده می نماییم. در شکل (۴) طراحی تغذیه را با توجه به توضیحات فوق مشاهده می نمایید.



شکل ۳: مدار تغذیه مناسب برای دسترسی به تغذیه ۴ ولت

در این پروژه از پردازنده قوی ATMEGA2560 استفاده شده است که شامل ۱۰۰ پایه بوده و از فناوری SMD بهره می برد، دلایل استفاده از این پردازنده، دارا بودن پورت های زیاد جهت کارایی، وجود چهار حس گر که به صورت سریال با میکرو ارتباط برقرار می کنند و داشتن حافظه فلش بالا جهت افزودن درجه آزادی به برنامه نویسی است. در این پروژه با ماژول های ذخیره کننده SD CARD، ارتباط با رایانه از طریق FT232 RL و همچنین دسترسی به موقعیت از طریق ماژول GPS بهره می بریم. به منظور ارتباط هوشمند سامانه با کاربر از طریق سیم کارت، از ماژول SIM900 استفاده می شود که در شکل (۵) به نمایش آمده است.

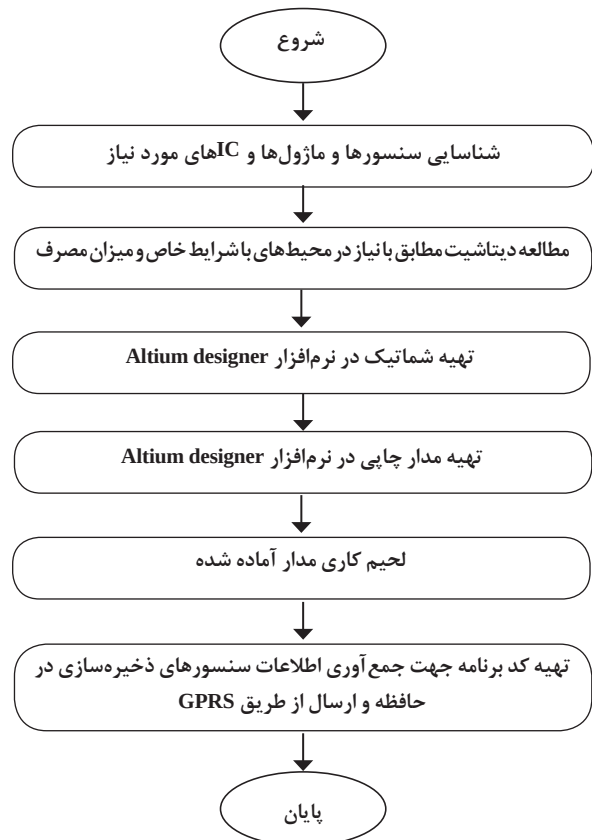


شکل ۵: مدار جداگانه SIM900

به منظور افزایش قدرت انتخاب در امر تغذیه سامانه، طراحی سامانه را هوشمند می نماییم، برای این منظور یک رله با قدرت بالا انتخاب نموده که هرگاه تغذیه خارجی به سامانه متصل شد، به صورت خودکار تغذیه از باتری به آن سوئیچ کند. مدار قطع تغذیه در شکل (۶) به نمایش آمده است.

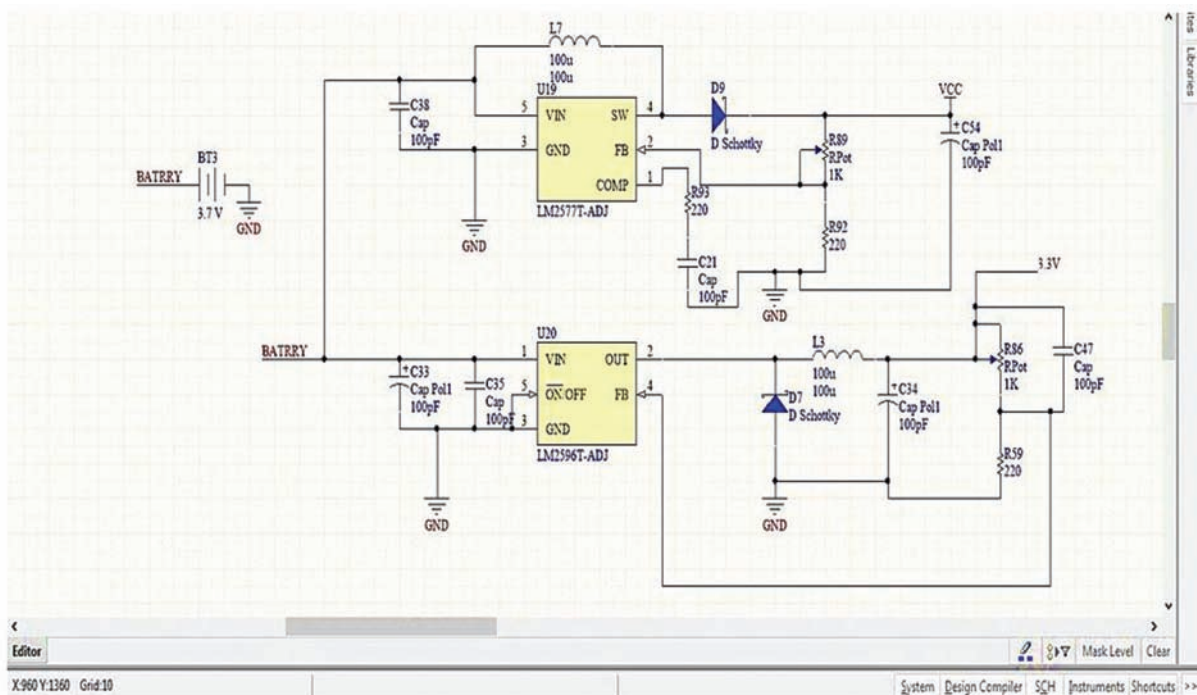
در طراحی این دستگاه از آی سی DS 1307 جهت ذخیره زمان

درجه می باشد و دقت رطوبت آن ۳٪ است. طریقه اتصال آن به میکروکنترلر مرکزی به صورت I2C یا 2wire می باشد و به صورت دیجیتال، اطلاعات از سنسور دریافت می گردد. برای زمان هایی که برحسب کاربرد، دقت دمایی بالا مورد نیاز است، از سنسور PT1000 استفاده می شود که یک سنسور مقاومتی است و می تواند دمای ۲۰۰- تا ۸۵۰ درجه سیلسیوس را اندازه گیری نماید و در این محدوده می تواند دقت از ۰٫۴ تا ۰٫۱ نیز داشته باشد.



شکل ۲: فلوچارت سخت افزاری دستگاه پیشنهادی

در این پروژه بدلیل ارزان بودن استفاده از GPRS یا APN از سیم کارت های ایرانسل، استفاده شده است. استفاده از سایر اپراتورها کاملاً مشابه بوده و در برنامه نویسی داخلی میکروکنترلر باید APN آن اپراتور اضافه شود. ماژول SIMCOM برای اتصال به اپراتور انتخاب شده است که در بازار ایران به وفور یافت می شود و از SIM900 یا SIM800 در این پروژه استفاده شده است. با علم به این که سیستم دارای مصرف کمی است، ولی برای اطمینان، منبع برق در محل موجود است که این منبع می تواند از سلول خورشیدی یا باتری تامین گردد. جریان مصرفی مدار طراحی شده در مواقع عادی تا 200 mA می باشد و در مواقع خاصی مانند آنتن گیری از اپراتور به ۲A در چند ثانیه می رسد. بدلیل وجود جریان های لحظه ای، باید از مدار تغذیه مناسب استفاده نمود. در این مدار از رگولاتور ۵- LM2576 برای تغذیه مدار و LM2576-adj برای تولید تغذیه ۴ ولت جهت راه اندازی SIM900 استفاده می شود که در شکل (۳) نمایش داده شده است. در این دستگاه دو روش طراحی برای تغذیه تعبیه شده است که یکی برای حالت اضطراری یا همان باتری است و روش دوم از طریق تغذیه خارجی است و سخت افزار پیشنهادی به هر دو حالت تجهیز شده است. این مدار از طریق تنها یک باتری ۳٫۷ ولت از نوع لیتیوم



شکل ۴: مدار تغذیه و باتری

صورت hex در میکرو mega2560 با کریستال ۱۱,۰۵۹۲ برنامه‌ریزی نمود. در شکل (۸) فلوچارت کلی بخش نرم‌افزاری مشاهده می‌شود. ارتباط سامانه به صورت پیامک به وسیله آنتن مخصوص این فرایند صورت می‌گیرد که با برنامه‌نویسی قادر به ارسال پیامک به شماره همراه خواهیم بود. ارتباط نرم‌افزار متلب با پورت سریال به صورت بلادرنگ است که از طریق پردازنده دستگاه به صورت سریال، اطلاعات حسگر، از قبیل موقعیت، رطوبت، دما، پیامک، کارت حافظه، همچنین زمان و تاریخ ارسال می‌شود.

۳- پیاده‌سازی الگوریتم بلادرنگ

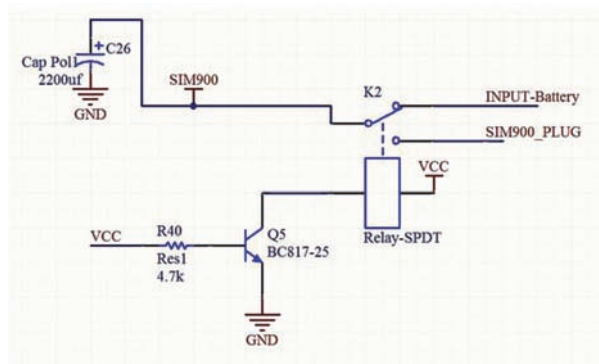
ارسال اطلاعات در این دستگاه به صورت بلادرنگ است و زمان‌بندی ارسال در داخل محصول RTU می‌باشد که دارای ساعت داخلی دقیق است، البته این امکان وجود دارد که با ارسال پیامی از سوی بهره‌بردار این مقدار عوض شود. به منظور ارتباط دستگاه با محیط نرم‌افزار باید نوعی برنامه‌نویسی مربوط به ارتباط بلادرنگ انجام شود. ارتباط برنامه متلب با پردازنده به صورتی است که برای ارسال داده‌ها از سمت میکروکنترلر به سمت رایانه یا همان پورت سریال، در ابتدا منتظر فرمان رایانه می‌ماند. این الگوریتم بلادرنگ دارای سه فرمان است که اولی برای دریافت اطلاعات حسگر دما، رطوبت، موقعیت و زمان است، دومی برای ارسال پیامک برای شماره موردنظر است که در کادر مرکز وارد می‌شود و سومی برای ذخیره اطلاعات در کارت حافظه است.

ارتباط در نرم‌افزار متلب به صورت کد نمونه در شکل (۹) نشان می‌دهیم.

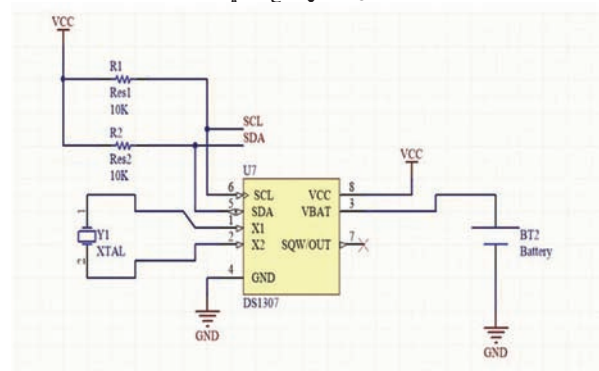
اگر قسمت مربوط به پیامک فعال و شماره مربوطه وارد شود، هر چند ثانیه یک بار، داده‌ها به شماره تلفن همراه مورد نظر ارسال می‌گردد. در صورتی که قسمت ذخیره‌سازی فعال شود، اطلاعات در کارت حافظه ذخیره می‌گردد.

نمایی از دستگاه نهایی پیاده‌سازی شده، در شکل (۱۰) آمده است.

به صورت دائمی استفاده شده است. یک باتری که مجزا از تغذیه مدار است و حتی با قطع برق، به کار خود ادامه می‌دهد، در این مدار استفاده شده است. مدار ذخیره زمان به صورت دائمی در شکل (۷) به نمایش آمده است.



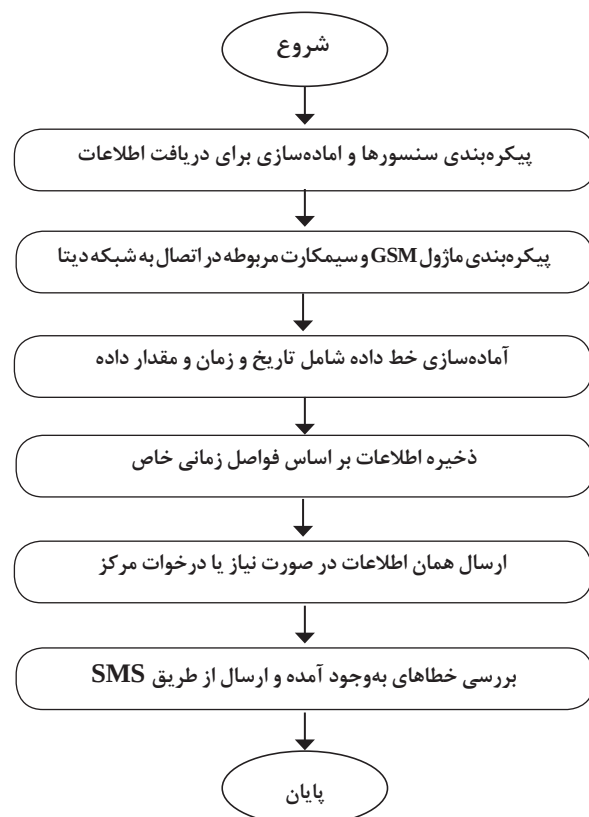
شکل ۶: مدار قطع تغذیه



شکل ۷: مدار ذخیره زمان

۲- بخش نرم‌افزاری

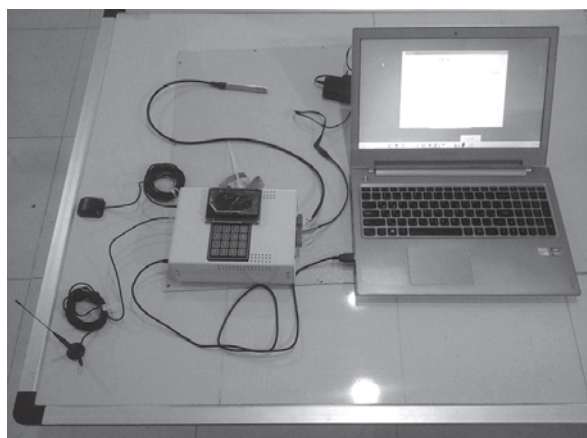
نرم‌افزار مربوطه با Code vision نوشته شده است و می‌توان آن را به



شکل ۸: فلوچارت کلی بخش نرم‌افزاری



شکل ۹: نمایشی از نرم‌افزار مقلب



شکل ۱۰: نمایشی از دستگاه نهایی پیاده‌سازی شده

برخی از مزایای دستگاه ساخته شده نسبت به نمونه خارجی موجود در بازار، عبارت است از:

- با توجه به این که این دستگاه قادر به پذیرش انواع سنسورهای آنالوگ و دیجیتال می‌باشد دیگر نیازی به استفاده از ثبت‌کننده داده نیست.
- با توجه به اینکه مودم داخلی برای RTU در این دستگاه در نظر گرفته شده است، دیگر نیازی به استفاده از مودم خارجی نیست.
- از ماژول‌ها و قطعات ارزان قیمت، استفاده شده است بصورتی که در بازار ایران، دسترسی به آنها به آسانی فراهم است.
- سرویس GPRS به‌صورت دائمی در دسترس است.
- در صورتی که این دستگاه داخل یک جعبه با طراحی مناسب قرار گیرد، بسیار کوچک و قابل حمل می‌باشد.
- در طراحی و ساخت مدار موردنظر از ماژول‌های GPS و GPRS استفاده شده است، ولی محصول به گونه‌ای طراحی نشده که هریک از قسمت‌های مختلف آن را بتوان در صورت خرابی با جداکردن، جایگزین کرد. این روش، پیشنهاد خوبی برای تولید انبوه محصول بصورت تجاری است و می‌توان در بهبود طرح‌های آتی، از این روش بهره برد.

دستگاه طراحی شده نسبت به بسیاری از نمونه‌های خارجی مورد پژوهش در گذشته (از لحاظ سرعت و حجم ذخیره اطلاعات نسبت به مرجع [۱]، هزینه اقتصادی نسبت به مرجع [۶]، عدم استفاده از FPGA به دلیل الگوریتم پیچیده و هزینه بالا نسبت به مرجع [۷]، استفاده از ماژول ارزان قیمت به جای ماژول SIM508 نسبت به مرجع [۱۹]) دارای مزیت عمده ای است. می‌توان خاطر نشان کرد که نهادینه شدن دانش هوشمندسازی و به‌کارگیری آن در کلیه سطوح، یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر در صنعت کشور عزیزمان محسوب می‌شود و در این مقاله با بهبود سیستم RTU به بومی‌سازی این دستگاه در کشور، پرداخته شد.

۴- نتیجه‌گیری

هدف از این پژوهش طراحی و ساخت سیستم RTU است که به‌عنوان بخشی از سیستم کنترل و نظارت متمرکز و گسترده بکار می‌رود. وظیفه RTU گردآوری اطلاعات دیجیتال و آنالوگ از محیط پیرامون و انجام پردازش‌های اولیه و ارسال آنها به ایستگاه مرکزی است. پایانه راه دور به‌عنوان یکی از اجزای سیستم‌های اتوماسیون می‌باشد که به صورت واسط، بین مراکز کنترل و تجهیزات کنترلی، حفاظتی و سیستم‌های اندازه‌گیری نصب شده در پست‌ها عمل می‌کند. RTU‌های مرسوم در نسل قبلی SCADA به‌صورت متمرکز بوده و از طریق سیم‌کشی‌های داخلی با تجهیزات در ارتباط بودند که با پیشرفت فناوری و گسترش اتوماسیون مبتنی بر شبکه و به میان آمدن ادوات الکترونیکی هوشمند، دچار تحول شده است. در سیستم‌های کنترل و قدرت امروزی، یکی از مهمترین مسایل پایش بلادرنگ سیستم، حفظ شرایط کارکرد عادی و نزدیک کردن سیستم به شرایط کارکرد بهینه می‌باشد. در این پژوهش به علت سهل بودن ارتباط GPRS و ارزان بودن آن، این روش مورد توجه جدی قرار گرفته است. دستگاه ساخته شده از لحاظ ساختار و عملکرد نسبت به بسیاری از نمونه‌های خارجی و داخلی، به‌خصوص کاهش هزینه و قابلیت بالا، دارای ویژگی‌های اساسی است.

مراجع

[۱] کریم فایز و همکاران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر «طرح و ساخت سیستم RTU

- [3] L. Chua, "Device modelling via basic nonlinear circuit elements", IEEE Transactions on Circuit and Systems, vol. 27, pp. 1014-1444, 1980.
- [4] M. Di Ventra, Y. V. Pershin, and L. O. Chua, "Circuit elements with memory: memristors, memcapacitors, and meminductors", Proceedings of the IEEE, vol. 97, no. 10, pp. 1717-1724, 2009.
- [5] Y. V. Pershin and M. Di Ventra, "Memory effects in complex materials and nanoscale systems", Advances in Physics, vol. 60, no. 2, pp. 2011, 145-227.
- [6] K. Ochs and E. Solan, "Energetically consistent modeling of passive memelements", AEU-International Journal of Electronics and Communications, vol. 93, pp. 2018, 19-25.
- [7] R. Banchuin, "Analysis of Memreactance with Fractional Kinetics", Mathematical Problems in Engineering, vol. 2020, 2020.
- [8] Y. V. Pershin and M. Di Ventra, "Spin memristive systems: Spin memory effects in semiconductor spintronics", Physical Review B, vol. 78, no. 11, p. 2008, 113309.
- [9] V. Mladenov and S. Kirilov, "Syntheses of a PSpice Model of a Titanium-dioxide Memristor and Wien Memristor generator," in 2013 European Conference on Circuit Theory and Design (ECCTD), 2013: IEEE, pp. 1-4.
- [10] Y. Ho, G. M. Huang, and P. Li, "Dynamical properties and design analysis for nonvolatile memristor memories", IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers, vol. 58, no. 4, pp. 2010, 724-736.
- [11] M. Mohamed, H. Kim, and T.-W. Cho, "Modeling of memristive and memcapacitive behaviors in metal-oxide junctions", The Scientific World Journal, vol. 2015, 2015.
- [12] Z. Yin, H. Tian, G. Chen, and L. O. Chua, "What are memristor, memcapacitor, and meminductor?," IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs, vol. 62, no. 4, pp. 402-406, 2015.
- [13] Y. V. Pershin and M. Di Ventra, "Memristive circuits simulate memcapacitors and meminductors", Electronics Letters, vol. 46, no. 7, pp. 2010, 517-518.
- [14] D. Yu, X. Zhao, T. Sun, H. H. Lu, and T. Fernando, "A Simple Floating Mutator for Emulating Memristor, Memcapacitor, and Meminductor", IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs, 2019.
- [15] L. Yan, Y. Dong-Sheng, and C. Hao, "A novel meminductor emulator based on analog circuits. 2013",
- [16] Y. Liang, H. Chen, and D. Yu, "A practical implementation of a floating memristor-less meminductor emulator", IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs, vol. 61, no. 5, pp. 2014, 299-303.
- [17] M. P. Sah, R. K. Budhathoki, C. Yang, and H. Kim, "Charge controlled meminductor emulator," Journal of Semiconductor Technology And Science, vol. 14, no. 6, pp. 750-754, 2014.
- [18] Y. Babacan, "An Operational Transconductance Amplifier-based Memcapacitor and Meminductor", Electrica, vol. 18, no. 1, pp. 2018, 36-38.
- [19] J. Vista and A. Ranjan, "High Frequency Meminductor Emulator Employing VDTA and its Application", IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, 2019.
- [20] D. Bielek, Z. Bielek, and V. Biolková, "PSpice modeling of meminductor", Analog Integrated Circuits and Signal Processing, vol. 66, no. 1, pp. 2011, 129-137.
- [21] Z. Hu, Y. Li, L. Jia, and J. Yu, "Chaotic oscillator based on current-controlled meminductor," IEEE International Conference on Communications, Circuits and Systems (ICCCAS), pp. 820-823, 2010.
- [22] G.-Y. Wang, P.-P. Jin, X.-W. Wang, Y.-R. Shen, F. Yuan, and X.-Y. Wang, "A flux-controlled model of meminductor and its application in chaotic oscillator," Chinese Physics B, vol. 25, no. 9, pp. 090502, 2016.
- [23] F. Yuan, G. Wang, and X. Wang, "Chaotic oscillator containing memcapacitor and meminductor and its dimensionality reduction analysis," Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science, vol. 27, no. 3, pp. 033103, 2017.
- [24] F. Yuan, Y. Deng, Y. Li, and G. Wang, "The amplitude, frequency and parameter space boosting in a memristor-meminductor-based circuit", Nonlinear Dynamics, vol. 96, no. 1, pp. 389-405, 2019.
- در سیستم کنترل تمرکز و گسترده دیسپاچینگ». ۱۳۶۶
- [۲] موسی بیگدلی، پایانه راه دور در صنعت برق، نشریه علمی و پژوهشی ۱۳۸۲.
- [3] F. Salahudin, M. Sudjadi, B. Setiyono "Design of Remote Terminal Unit (RTU) Panel Supply Monitoring Based on IOT Case Study at PLN," Proc. of 2019 6th Int. Conf. on Information Tech., Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE), Sep 26-27, 2019, Semarang, Indonesia.
- [4] D. Merch'an, Jonnathan, A. Peralta, A. Vazquez-Rodas, Luis I. Minchala, and D. Astudillo-Salinas "Open source SCADA system for advanced monitoring of industrial processes," 2017 IEEE, International Conference on Information Systems and Computer Science, DOI 10.1109/INCISCOS.2017.9.
- [5] K. Medrano, D. Altuve, K. Beloso, C. Bran, "Development of SCADA using a RTU based on IoT controller," ICA-ACCA 2018, October 17-19, 2018, Greater Concepcion, Chile.
- [۶] عبدالعلی صوفی، طرح تهیه مشخصات فنی ساخت پایانه RTU، طرح پژوهشی مرکز تحقیقات نیرو ۱۳۷۴.
- [۷] سروش شیرالی، «طراحی سخت افزاری RTU سیستم های SCADA با استفاده از FPGA» دانشگاه شهید بهشتی - دانشکده مهندسی برق. ۱۳۸۸.
- [۸] سیدخشیار شهروان، «جایابی بهینه دستگاه های اندازه گیری در سیستم قدرت»، دانشگاه تبریز - دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر. ۱۳۹۱.
- [۹] ایمان حبیبی کوچکسرای، «استفاده از مدل پتری در شبکه های تولید و انتقال سیستم های قدرت» دانشگاه سمنان - دانشکده مهندسی برق و الکترونیک. ۱۳۹۳.
- [۱۰] حسین خزاعی طرقي، «بررسی و تحلیل اثر تأخیر زمانی بر عملکرد سیستم اتوماسیون SCADA در شبکه توزیع برق شرکت فولاد مبارکه اصفهان». ۱۳۸۸
- [11] G. Morita, S. Hirai, K. Michishita "Lightning Protection of Control Board Equipped with Electronic Equipment" Proc. of 34 2018 th Int. Conf. on Lightning Protection, Sep, 2019, 02-07 Poland.
- [12] B. Madonsela, E. Davidson, C. Mulangu "Advances in Telecontrol and Remote Terminal Units (RTU) for Power Substations 2018" IEEE PES/IAS PowerAfrica.
- [13] Li Cheng, Ding Tianhui, and Chen Ken, "Improved Design of Remote Wireless Transmission Terminal using GPRS/GSM Integrated Network", IEEE International Workshop on Intelligent Systems and Applications, 2009.
- [14] Shakeel Durrani " ... & Design and Development of Wireless RTU and Cyber security Framework for SCADA System " IEEE International Conference on Information and Communication Technologies, 2013.
- [15] Wang Xiaohong, "The Design of Remote Medical Monitoring System Based on Sensors and GPRS", IEEE International Forum on Information Technology and Applications, 2009.
- [16] Syed Misbahuddin "Fault Tolerant Remote Terminal Units (RTUs) in SCADA Systems" IEEE International Symposium on Collaborative Technologies and Systems, 2010.
- [17] Ashwini Holakar & SECURE INTEROPERABLE GATEWAY FOR WIRELESS SCADA SYSTEM, "IEEE International Conference on Computation System and Information Technology for Sustainable Solutions (CSITSS) 2016.
- [18] Chengbin Guan, "Development of Remote Positioning and Control System Based on SCM and SIM508", IEEE International Conference on Multimedia Technology, 2011.
- [19] Xiaoyan Zhao & GPRS based Remote Data Acquisition and Forecasting System for Long-distance Natural Gas Pipeline Monitoring, "IEEE International Conference on Computational Problem-Solving (ICCP), 2012
- [20] Wan Jusoh, "Development of a New Modeling Circuit for the Remote Terminal Unit (RTU) with GSM Communication", IEEE IEEE Conference on Clean Energy and Technology (CEAT) 2013.

درخواست اشتراک نشریه عصر برق

(لطفاً کپی این فرم را به‌طور خوانا و دقیق تکمیل فرمایید)

شماره اشتراک: شماره اشتراک قبل:

(مشخصات متقاضی)

نام شرکت / موسسه:

نام خانوادگی: نام:

شغل: میزان تحصیلات: رشته تحصیلی:

استان: شهر: بلوار: خیابان:

کوچه: پلاک: طبقه: واحد: کد پستی:

صندوق پستی: پست الکترونیک: تلفن:

نمابر: پیش شماره: تلفن همراه:

تعداد نسخه در هر نوبت: ☐ ارسال از شماره: ☐ شماره‌های قبلی مورد درخواست:سرویس پست: عادی ☐ سفارشی ☐ ارسال به: نشانی پستی ☐ صندوق پستی ☐

مبلغ واریزی: شماره رسید بانکی: بانک / شعبه:

برای برقراری اشتراک نشریه عصر برق، هزینه اشتراک مورد نظر را از جدول زیر انتخاب نموده و به حساب ۴۰۶۵۳۷۹۲۷ و یا شماره کارت ۵۸۵۹ ۸۳۱۱ ۲۸۰۶ ۵۱۵۷ نزد بانک تجارت شعبه برق (قابل پرداخت در همه شعب بانک تجارت) به نام نشریه عصر برق واریز و رسید مربوطه را به همراه برگ تکمیل شده درخواست اشتراک به نشانی: مشهد. پردیس دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی گروه برق ارسال فرمایید.

هم‌چنین برای جلوگیری از عملیات پستی و سهولت کار می‌توانید فرم تکمیل شده را به‌وسیله نمابر به شماره ۰۵۱-۳۶۱۰۳۸۵۸ ارسال فرمایید.

پست سفارشی

پست عادی

۱,۰۰۰,۰۰۰ ریال

۸۰۰,۰۰۰ ریال

یکساله

اشتراک

تذکر: اشتراک بیش از یک سال پذیرفته نمی‌شود.

دانشجویان محترم، اساتید گرامی و فرهنگیان عزیز در صورت تمایل می‌توانند مبلغ فوق را پس از کسر ۱۰٪ واریز فرمایند. نسخه الکترونیکی شماره‌های قبلی نشریه در سایت انجمن موجود است و برای دریافت نسخه چاپی شماره‌های قبلی نشریه به ازای هر شماره مبلغ ۲۰,۰۰۰ ریال به حساب واریز گردد.

DESIGNER & MANUFACTURER



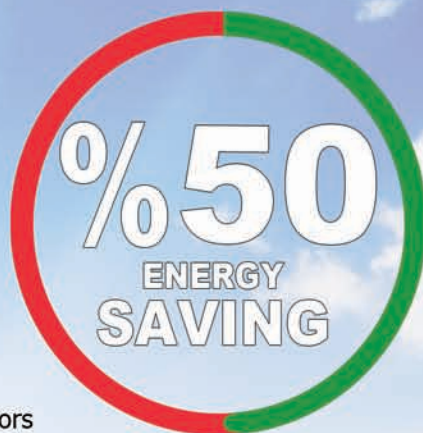
OF POWER CONVERSION SYSTEMS
TURN-KEY & EPC PROJECTS, GENERAL CONTRACTOR,
SOLUTION PROVIDER

NEW TECHNOLOGY

PMSM Motor & Intelligent Driver

Features:

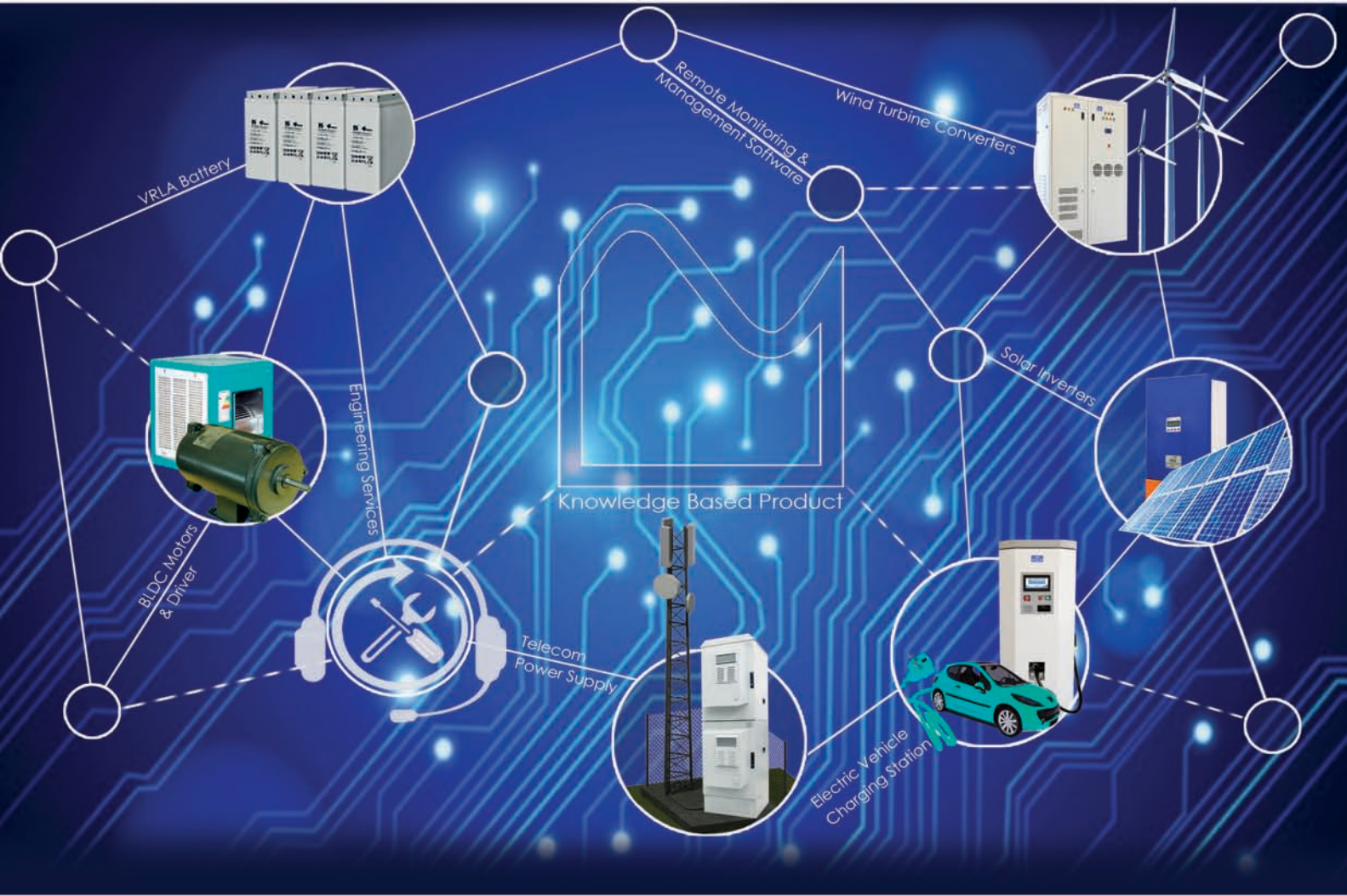
- Design and construction by Nian Electronic Company
- Approved by the Niroo Research Institute (NRI)
- Sensor-less speed and position control
- Planning and adjustment capabilities according to BMS
- High flexibility and custom design
- High efficiency (Driver and Electromotor) more than 85%
- Soft start
- Single phase 230VAC power supply
- Wide range of voltage input (175VAC to 250VAC)
- Significant energy saving with 50% higher efficiency than Induction Motors
- Active power factor correction with PF more than 0.99
- Applicable for Evaporative Cooling Systems with 3500 m3/hr., 5000 m3/hr. and 7000 m3/hr.
- Ability to control and monitoring of water level, motor speed, Ambient and environment temperature, water pump statues, over load and system temperature



www.nianelectronic.com
Empowered Everywhere

درايور و موتور BLDC
کولر آبی





**DESIGNER & MANUFACTURER
OF POWER CONVERSION SYSTEMS
& EPC PROJECTS, SOLUTION PROVIDER
RENEWABLE ENERGIES, ENERGY STORAGE, AND POWER QUALITY SYSTEMS**

www.nianelectronic.com
Empowered Everywhere