بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده مهندسی برق و رباتیک

گروه برق قدرت

طراحی اتصال هماهنگ خودروهای الکتریکی به سیستم توزیع

دانشجو : رسول ربانی ذبیحی

استاد راهنما :

جناب آقای دکتر اصیلی

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهمن ۱۳۹۲

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده : مهندسی برق و رباتیک

گروه : برق قدرت

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای رسول ربانی زبیحی

تحت عنوان: طراحی اتصال هماهنگ خودروهای الکتریکی به سیستم توزیع

در تاریخ ..... توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه ..... مورد پذیرش قرار گرفت.

اساتید راهنما	امضاء	اساتید مشاور	امضاء
نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :	
نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :	

اساتید داور	امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء
نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :	
نام و نام خانوادگی :			
نام و نام خانوادگی :			
نام و نام خانوادگی :			

این اثر را به همسر عزیزم تقدیم می‌کنم که با تحمل سختی ها،

بنده را در رسیدن به این مرحله یاری نمود

با تشکر فراوان از زحمات پدر و مادر مهربانم

دانشکده مهندسی برق و رباتیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

طراحی اتصال هماهنگ خودروهای الکتریکی به سیستم توزیع

رسول ربانی ذبیحی

استاد راهنما : جناب آقای دکتر اصیلی

بهمن ۱۳۹۲

چکیده: خودروهای الکتریکی و هیبریدی از وسایل جدایی ناپذیر در زندگی آینده بشر می باشند که با توجه به بازدهی بالا و کاهش صدور گازهای گلخانه‌ای روز به روز در حال توسعه می باشند؛ اما افزایش ناگهانی این خودروها مشکلاتی نیز در پی دارد، از جمله اتصال ناهماهنگ آنها به شبکه برق می‌باشد که تاثیرات بسیار نامطلوبی را بر روی شبکه ایجاد می کند که می توان به موارد زیر اشاره کرد: انحراف ولتاژ از محدوده مجاز، هارمونیک زایی، افزایش تلفات و پر بار شدن شبکه تا جایی که احتمال فروپاشی شبکه می رود. این مسئله لزوم برنامه ریزی در اتصال خودروها را نشان می دهد. بنابراین هدف ما در این مطالعه و پژوهش کاهش تلفات و افزایش راندمان شبکه، هموارسازی منحنی بار و کنترل ولتاژ در محدوده مجاز برای جلوگیری از فروپاشی شبکه می‌باشد.

در راستای رسیدن به این هدف، چندین طرح در این پایان نامه بیان می شود که هر کدام دارای مزایا و معایب مختلفی می‌باشند. استفاده از این طرح ها بسته به موقعیت جغرافیایی، سطح فنی آن کشور و اهمیت کنترل خودروها در آن منطقه دارد.

برنامه ای که در اینجا استفاده می‌شود برنامه روان و ساده تری است که با استفاده از روابط ریاضی، پاسخی دقیق را در جهت کاهش تلفات با رعایت حق تساوی بین تمام مشترکین ارائه می‌دهد، به نحوی که ولتاژ در محدوده‌ی مجاز حفظ می‌شود. برای این منظور از پخش بار جاروب رفت و برگشتی استفاده می‌کنیم زیرا در سیستم توزیع از پخش بارهای نیوتن رافسون ، گوس سایدل و ... نمی‌توان استفاده کرد. علت آن هم زیاد بودن نسبت مقاومت به اندوکتانس در سیستم توزیع در مقایسه با سیستم انتقال می‌باشد. همین امر باعث می‌شود ماتریس های حاصل از پخش بارهای معمول معکوس پذیر نبوده و نتوان به جواب رسید.

در این راستا از اولویت بندی مشترکین در سه دوره زمانی پیک، متوسط و آزاد در درصد نفوذهای مختلف خودروها استفاده می‌شود. دوره زمانی پیک دوره ای است که اتصال خودروها به سیستم با پیک بار شبکه همپوشانی پیدا می‌کند و نیاز به برنامه ریزی بیشتری دارد. بنابراین به نفع سیستم برق

می باشد که با مسائل تشویقی، مشترکین در دوره های زمانی متوسط و آزاد به سیستم متصل شـوند. در ادامه در سناریوی دیگری زمان شارژ همه مشترکین را در یک دوره زمانی برنامه ریزی می کنیم تا با مقایسه این دو سناریو به نتایج بیشتری برسیم. با در نظـر گـرفتن درصـد نفوذهـای مختلـف بـرای حضور خودروها در شبکه می‌توان از عملکرد برنامه انجام گرفته در شرایط مختلف حضور خودروهـای الکتریکی در شبکه آگاهی یافت.

فهرست مطالب

۱. مقدمه ۱

۱.۱. تاریخچه خودروهای الکتریکی ۴

۱.۲. انواع خودروهای الکتریکی ۴

۲. خودروهای هیبریدی و باتری‌ها ۹

۲.۱. شناخت خودروی هیبریدی ۱۰

۲.۲. اجزای سیستم هیبریدی ۱۱

۲.۳. خودروهای هیبریدی و کاربرد باتری‌های دو قطبی در آنها ۱۵

۲.۳.۱ سیستم هیبرید سری ۱۳

۲.۳.۲ سیستم هیبرید موازی ۱۳

۲.۳.۳ سیستم هیبرید سری موازی ۱۴

۲.۳.۴ مقایسه چند نوع سیستم هیبریدی ۱۵

۳. بررسی کلی حضور خودروهای الکتریکی در سیستم توزیع و روش های پیشنهادی جهت هماهنگی آنها در سیستم ۱۷

۳.۱. بررسی کلی نفوذ تولید پراکنده در شبکه توزیع ۱۸

۳.۲. خودروهای الکتریکی و شبکه توزیع ۲۰

۳.۳. خدمات حاصل از V2G و مزایای آن ۲۱

۳.۳.۱ توان پیک ۲۱

۳.۳.۳ تنظیم ۲۲

۳.۴. مزایای اقتصادی و اجتماعی V2G ۲۴

۳.۵. طراحی بهینه یک نهاد مرجع برای V2G ۲۴

۳.۶. شارژ باتری خودروهای الکتریکی در شبکه های هوشمند ۲۸

۳.۷. عملکرد خودکار V2G با در نظر گرفتن میزان شارژ و موقعیت باتری ۳۰

۳.۸. روش های پیشنهادی برای هماهنگی بین اتصال خودروها..... ۳۱
۳.۹. مروری بر مطالعات گذشته..... ۳۴
۴. تشریح و شبیه سازی برنامه پیشنهادی..... ۳۷
۴.۱. مدلسازی و فرضیات..... ۳۸
۴.۱.۱ توپولوژی سیستم..... ۳۸
۴.۱.۲ مدل بار..... ۴۰
۴.۱.۳ مشخصات باتری..... ۴۲
۴.۱.۴ پخش بار..... ۴۳
۴.۱.۵ دوره های شارژ..... ۴۸
۴.۱.۶ درصد نفوذ خودرو..... ۴۸
۴.۲ شارژ ناهماهنگ..... ۴۹
۴.۳ شارژ هماهنگ شده..... ۵۲
۴.۳.۱ سناریوی اول..... ۵۲
۴.۳.۲ سناریوی دوم..... ۵۸
۵. نتیجه گیری..... ۶۷
مراجع..... ۷۱

فهرست اشکال

شکل (۲-۱) نمایش سیستم هیبریدی سری..... ۱۳

شکل (۲-۲) نمایش سیستم هیبریدی موازی..... ۱۴

شکل (۲-۳) نمایش سیستم هیبریدی سری- موازی..... ۱۵

شکل (۳-۱) نمای کلی از سیستم قدرت بهمراه V2G..... ۲۳

شکل (۳-۲) هماهنگ کننده در سیستم V2G..... ۲۵

شکل (۳-۳) قیمت برق در شبانه روز..... ۲۶

شکل (۳-۴) قیمت خدمات رزرو در شبانه روز..... ۲۶

شکل (۳-۵) V2G در شبکه قدرت..... ۲۹

شکل (۴-۱) شبکه توزیع استاندارد ۳۳ باسه IEEE..... ۴۰

شکل (۴-۲) منحنی بار در مدت یک شبانه روز برای کل سیستم..... ۴۱

شکل (۴-۳) تلفات کل سیستم در مدت یک شبانه روز..... ۴۱

شکل (۴-۴) منحنی اندازه ولتاژ در ۳۳ باس در بدترین ساعت از نظر انحراف ولتاژ..... ۴۲

شکل (۴-۵) مدل PI خط سه فاز..... ۴۴

شکل (۴-۶) منحنی تقاضای کل سیستم با شارژ ناهماهنگ خودروها با نفوذ ۵۰٪..... ۵۰

شکل (۴-۷) توان تلف شده در کل سیستم با شارژ ناهماهنگ ۵۰٪..... ۵۰

شکل (۴-۸) منحنی اندازه ولتاژ در بدترین ساعت از نظر انحراف ولتاژ ۵۱

شکل (۴-۹) منحنی تقاضای کل سیستم با شارژ ناهماهنگ خودروها با نفوذ ۳۵٪..... ۵۱

شکل (۴-۱۰) توان تلف شده در کل سیستم با شارژ ناهماهنگ ۳۵٪..... ۵۲

شکل (۴-۱۱) منحنی اندازه ولتاژ در بدترین ساعت از نظر انحراف ولتاژ ۵۲

شکل (۴-۱۲) منحنی تقاضای کل سیستم با شارژ هماهنگ خودروها در نفوذ ۵۰٪..... ۵۵

شکل (۴-۱۳) توان تلف شده در کل سیستم با شارژ هماهنگ در نفوذ۵۰٪..... ۵۶

شکل (۴-۱۴) منحنی اندازه ولتاژ در بدترین ساعت از نظر انحراف ولتاژ با شارژ هماهنگ..... ۵۶

شکل (۴-۱۵) منحنی تقاضای کل سیستم با شارژ هماهنگ خودروها در نفوذ ۳۵٪..... ۵۷

شکل (۴-۱۶) توان تلف شده در کل سیستم با شارژ هماهنگ در نفوذ۳۵٪..... ۵۸

شکل (۴-۱۷) منحنی اندازه ولتاژ در بدترین ساعت از نظر انحراف ولتاژ با شارژ هماهنگ..... ۵۸

شکل (۴-۱۸) منحنی تقاضای کل سیستم با شارژ هماهنگ خودروها در نفوذ ۵۰٪..... ۶۱

شکل (۴-۱۹) توان تلف شده در کل سیستم با شارژ هماهنگ در نفوذ۵۰٪..... ۶۱

شکل (۴-۲۰) منحنی اندازه ولتاژ در ۳۳ باس در بدترین ساعت از نظر انحراف ولتاژ..... ۶۲

شکل (۴-۲۱) منحنی تقاضای کل سیستم با شارژ هماهنگ خودروها در نفوذ ۳۵٪..... ۶۲

شکل (۴-۲۲) توان تلف شده در کل سیستم با شارژ هماهنگ در نفوذ ۳۵٪..... ۶۳

شکل (۲۳-۴) منحنی اندازه ولتاژ در ۳۳ باس در بدترین ساعت از نظر انحراف ولتاژ.....۶۳

فهرست جداول

جدول (۲-۱) مقایسه بین انواع سیستم هیبریدی.....۱۵

جدول (۱-۴) طول خطوط سیستم ۳۳ باسه IEEE.....۳۸

جدول (۲-۴) مشخصات خطوط و باس‌های سیستم ۳۳ باسه IEEE.....۳۹

جدول (۳-۴) مقایسه بین سناریوهای مختلف.....۶۴

جدول (۴-۴) مقایسه بین حالت هماهنگ، ناهماهنگ و عدم حضور خودروها.....۶۴

فصل اول : مقدمه

صنعت خودروسازی در دنیای پیشرفته امروزی، تبدیل به یکی از بزرگترین و لوکس ترین صنعت های جهانی شده است که درآمدهای هنگفتی را با خود به همراه دارد. با توجه به این مسئله سعی در پیشرفت و سرمایه گذاری در این زمینه امری مهم است. خودروهای الکتریکی و هیبریدی[1] از مهمترین این پیشرفت‌ها می باشند. خودروهای هیبریدی شارژی با اتصال به خروجی های استانداردی که در منازل تعبیه می شوند و یا ایستگاه های مخصوص شارژ در سطح شهر شارژ می شوند که قادر هستند فاصله محدودی را تنها با استفاده از نیروی برق حرکت کنند. ایستگاه‌های شارژ می توانند با سرعت بیشتر و در فاصله زمانی کمتر خودروها را شارژ نمایند. خودروهای شارژی هیبریدی[2] ممکن است دارای باتری بزرگتر و موتور قدرتمندتری در مقایسه با خودروهای هیبریدی تنها[3] باشند اما همچنان مسافت طی شده توسط آنها محدود می باشد[۱]. این نوع خودروها با توجه به رشد سریع آلودگی محیط زیست و همچنین کاهش چشمگیر سوخت های فسیلی به صورت سریعی در حال تولید و توسعه می باشند به طوری که پیش بینی ها حاکی از آن است که در سال های نه چندان دور، درصد زیادی از خودروها به صورت الکتریکی و هیبرید تبدیل خواهد شد. اما این رشد به مانند همه پیشرفت ها با چالش هایی همراه است. مهمترین مسئله ای که با رشد استفاده از خودروهای الکتریکی رخ می دهد، بار اضافه ای است که این حجم خودرو بر شبکه برق تحمیل می کند. این بار اضافی باعث تاثیرات نامطلوبی بر روی سیستم برق می شود که از جمله آنها می توان به افزایش تلفات شبکه یا کاهش بازدهی شبکه، تجاوز ولتاژ از محدوده مجاز، کاهش کیفیت توان و هارمونیک زایی و پر بار شدن[4] خطوط و ترانسفورماتور های توزیع اشاره کرد. مطالعاتی[۶-۲] در ۳ سال اخیر بر روی این موضوع انجام گرفته است.

[1] hybrid electric vehicles (HEVs) , battery electric vehicles (BEVs) , plug-in hybrid electric vehicles (PHEVs)
[2] plug-in hybrid electric vehicles (PHEVs)
[3] hybrid electric vehicles (HEVs)
[4] over load

هدف اصلی ما در اینجا کاهش تلفات شبکه می باشد که در کنـار آن سـعی در تسـطیح منحنـی بـار خواهیم داشت که البته هر دوی اینها باید طوری برنامه ریزی شوند که قید کنترل ولتـاژ در محـدوده مجاز نیز ارضا شود. برای رسیدن به این منظور نیاز به یکسری زیرساخت های جدید در شبکه برق می باشد که این شبکه برق جدید تحت عنوان شبکه برق هوشمند، معرفی می‌شود. از جمله این ساختارها ارتباط دو طرفه‌ای است که بین مشترکین و سنسور ها و وسایل اندازه گیری هوشـمند و بهـره بـردار شبکه ایجاد می شود همچنین مانیتورینگ و نظارت لحظه‌ای بر روی مشترکین که برای قطع و وصل اتصال خودروها به شبکه نیاز است.

شبکه های هوشمند به تکامل و بـه‌روز شـدن شـبکه هـای موجـود نسـبت داده مـی شـوند و شـامل مونیتورینگ پیشرفته، اتوماسیون و کنترل تولید برق، انتقال و توزیع آن هستند.[۷] افزایش استفاده از اطلاعات دیجیتال و فناوری های کنترل سبب می شود قابلیت اطمینان ، امنیت و بهره وری از شـبکه برق، و هم‌چنین یکپارچگی تولید پراکنده، پاسخ به میزان تقاضـا ، و بهـره وری انـرژی بیشـتر شـود . [۸و۹]

شبکه های برق موجود با ساختار سلسله مراتبی، توان تولیدی نیروگاه ها را با عبور ازشبکه های انتقال و توزیع به دست مصرف کننده می رسانند. این شـبکه هـا در حالـت کلـی بـه صـورت شـاهراه هـای یک‌طرفه ای هستند که کل برق تولیدی را به مشترکین تحویل می‌دهندو هیچ مسیر دوطرفه ای برای جریان برق و تبادل همزمان اطلاعات و تصمیم گیری در سطح سراسری شبکه برق وجـود نـدارد. در حالی که در شبکه هوشمند یکی از علت های هوشمندی آن مسیر دو طرفه‌ای است که بـرای تبـادل اطلاعات و انرژی بین مصرف کننده و منابع تولیدی به وجود می آید.[۱۰] یکی از آینده نگـری هـای شبکه های برق هوشمند، یکپارچه‌سازی بهتر و یکنواخت تر منـابع تولیـد پراکنـده (خودروهـا: البتـه خودروها در تعداد بالا به عنوان تولید پراکنده شناخته می‌شوند) در شبکه می باشد. شبکه هوشمند به

شما امکان داشتن انرژی را از چندین جهت می دهد، از شرکت برق به خانه ، خانـه بـه شـرکت هـای برق و یا حتی خانه به خانه، و قطعاً تنوع بیشتر در منابع انرژی به وجود خواهد آمد.[۱۱]

۱-۱ تاریخچه خودروهای الکتریکی

در سالهای بعد از ۱۸۹۰ نسبت تعداد وسایل نقلیه برقی[۵] به خودروهای بنزینی ۱۰ به ۱ بوده اسـت. بعضی کمپـانی‌هـای اتومبیـل‌سـازی مثـل اولـدزموبیل[۶] و اسـتادبیکر[۷] عمـلاً کارشـان را بـه عنـوان کمپانی‌های موافق سازندهٔ خودروهای الکتریکی شروع کردند. تولیـد خودروهـای الکتریکـی بعـد از ارتباط و آشنایی با وسایل نقلیه محرک بنزینی بسیار کاهش یافـت. در گذشـته تولیـد خودروهـای الکتریکی همانند همه خودروهای دیگر به صورت دستی انجام مـی‌گرفـت. در سـال ۱۹۱۰، میـزان تولید خودروهای محرک بنزینی به اندازه‌ای رسید که خط تولید ماشینی بـرای آن بـه وجـود آمـد. برداشته شدن این مانع از پروسه ساخت خودروی بنزینی باعث نابودی همهٔ سازنده‌های دیگر به جز آنهایی که توان مالی خوبی داشتند شد و سازنده‌های مستقلی که توان خرید ایـن میـزان تجهیـزان مونتاژ را نداشتند از بین رفتند. این وضعیت برای خودروهای برقی هـم وجـود داشـت و دیگـر ایـن خودروها در خارج از شهرها دیده نمی‌شدند و تردد آنها فقط محدود به سفرهای درون شهری شـد، فاکتور دیگری که به کاهش خودروهای برقی کمک کرد اضافه شدن یک موتـور الکتریکـی بـه نـام استارتر به خودروهای محرک بنزینی بود که سرانجام باعـث از بـین رفـتن نیـاز بـه روش مشـکل و خطرناک هندل زدن برای روشن کردن موتورهای بنزینی شد. به واسطهٔ این فاکتورها، با پایان جنگ جهانی اول تولید خودروهای برقی متوقف شد.

۱-۲ انواع خودروهای الکتریکی:

[5] ELECTRIC VEHICLEs (EVs)
[6] oldsmobile
[7] Studebaker

امروزه با توجّه به آلودگی های ناشی از خودروها و محدودیت های سوختهای فسیلی، کارخانه های خودروسازی گام مهمّی در مقابله با این امر برداشته اند که از جمله آنها می توان به خودروهای هیبریدی، تکنولوژی پیل سوختی[۸] ، موتورهای با پاشش مستقیم بنزینی، موتورهای HCCI[۹] و خودروهای دو گانه سوز[۱۰] اشاره کرد.

خودروی برقی، معروف به تلفات صفر بعضی اوقات به وسیله نقلیه تلفات در جای دیگر بدنام می‌شود، زیرا انرژی الکتریکی برای شارژ کردن باتری‌های خودرو باید در نیروگاه‌های تولید انرژی الکتریکی تولید شود که آن تولید انرژی مستلزم تلفات است.

این نکته منطقی و قابل قبولی است، اما بعد از آن باید پرسید در خودرو برقی در هر مایل چه مقدار آلودگی ایجاد می‌شود. در صورت محاسبه تمام ضایعات، شروع از گاز یا نفتی که از منبع سوخت استخراج می‌شود و تمام راه‌هایی که منتهی می‌شود به مصرف انرژی الکتریکی در موتور خودرو و کار کردن روی اعداد به دست آمده، این نتیجه حاصل می شود که خودرو برقی به طور قابل توجهی راندمانش بالاتر است و آلودگی آن نیز کمتر می باشد.

خودروهای برقی با استفاده از فعل و انفعالاتی انرژی الکتریکی را به انرژی مکانیکی تبدیل می کند.
بطور کلی امروزه سه نوع خودروی الکتریکی در بازار وجود دارد:

۱. (BEV) Battery Electric Vehicle
۲. (HEV) Hybrid Electric Vehicle
۳. (FCEV) Fuel-Cell Electric Vehicle

در حال حاضر تمام این خودروها قابلیت تولید توان در رنج 10^{kw} تا 200^{kw} را دارند.

[8] Fuel Cell
[9] Homogeneous Charge Compression Ignition (HCCI)
[10] Bi-fuel vehicle

1- Battery Electric Vehicle(BEV)

این خودروها انرژی را به صورت الکتروشیمیایی در باتری ها ذخیره می کند. انواع باتری های مورد استفاده در این خودروها شامل باتری سرب اسید که ارزانترین نوع باتری می باشد، باطری نیکل-هیدروکسید فلزی ، لیتیوم یون و پایه لیتیومی‌ها می باشند که هم طول عمر بیشتری دارند و هم از نظر اندازه کوچکتر و سبکتر می باشند. در عمل آنها را برای شارژ شدن به شبکه متصل می نمایند و در زمان استفاده، آنها را از شبکه جدا می کنند. در BEVs برای افزایش طول عمر باتری ها آنها را در حدود ۸۰% از ظرفیت نامی شان شارژ می کنند.

2- Hybrid Electric Vehicle (HEV)

خودروهای الکتریکی هیبریدی بیش از یک منبع توان دارند. اولین این خودروها در ایتالیا ساخته شد. در حال حاضر رایج ترین خودروی هیبریدی شامل یک موتور احتراق داخلی و موتور الکتریکی می باشد. موتور احتراق داخلی شامل یک باک سوخت می باشد که بوسیله ی سیستم انتقال قدرت، نیروی تولیدی ناشی از احتراق را به چرخ ها انتقال می دهد. در مقابل، موتور الکتریکی شامل یک مجموعه باتری می باشد که در صورت نیاز انرژی ذخیره شده در باتری ها را بواسطه ی سیستم انتقال قدرت به چرخها انتقال می دهد. سیستم انتقال در این خودروها به دو نوع سری و موازی می باشد.

بازده این خودروها نسبت به خودروهای احتراق داخلی بسیار بیشتر می باشد. هرچند که این خودروها دارای ۲ یا چند منبع توان می باشند که می تواند باعث پیچیدگی کنترلی و افزایش هزینه شوند. در ادامه به دلیل اهمیت و برنامه ریزی بر روی این نوع از خودروها به توضیحات بیشتر پیرامون آنها می پردازیم.

3- Fuel-Cell Electric Vehicle (FCEV)

در این خودروها واکنش بین سوخت (مانند هیدروژن) و عامل اکسید شدن (مانند اکسیژن) انرژی شیمیایی را به الکتریکی تبدیل می کند. ییل سوختی یک ذخیره ساز انرژی یا یک باتری نمی باشد، بلکه دو الکترود دارد که با یک الکترولیت از هم جدا می باشند.

زمانی که پیل سوختی به عنوان منبع اصلی تامین توان در HEV ها باشند، باتریها به عنوان منبع ثانویه می باشند. ییل سوختی ها به علت دینامیک کندی که دارند (حدود ۵ دقیقه زمان برای دنبال کردن تغییرات سریع نیاز دارند) از باتریها برای پوشش این اختلال در پیگیری تغییرات استفاده می کنند.

فصل دوم : خودروهای هیبریدی و باتری ها

بازده بالا، آلایندگی کم، مسافت قابل پیمایش بالا، ایمنی مطلوب و قیمت قابل رقابت با خودروهای متداول از جمله ویژگی های حائز اهمّیت برای خودروهای هیبریدی است. بسیاری از خودرو سازان بزرگ مبادرت به تولید این خودروها در سطحی گسترده نموده اند.

امروزه این خودروها مورد توجّه کمپانی های بزرگ جهان قرار گرفته که از آن جمله می توان به شرکتهایی مانند: تویوتا، هیوندا، میتسوبیشی، فورد، فیات، جنرال موتورز، نیسان، پژو و ... اشاره نمود. توفیق این محصولات به حدی چشمگیر بوده که از دسامبر ۱۹۹۷ تا ابتدای سال ۲۰۰۰ بیش از چهل هزار محصول پریوس کمپانی تویوتا به فروش رسیده است.

۱-۲ شناخت خودروی هیبریدی:

خودروی هیبریدی ماشینی است که حداقل از دو نوع منبع انرژی برای حرکت بهره می گیرد. در نسل جدید خودروهای هیبریدی دو موتور سوختی و برقی، نیروی محرکه لازم برای حرکت را فراهم می کنند.

بر خلاف موتورهای درونسوز، موتورهای برقی در دورهای کم، گشتاور زیادی را با راندمان بالا تولید می کنند. بنابراین با در کنار یکدیگر قرار دادن این دو موتور، می توان ضمن دستیابی به توان کافی برای حرکت و شتاب گیری، مصرف سوخت را نیز کاهش داد. یکی از ویژگی های مهم و جالب خودروهای هیبرید برقی در این است که باتری های آن، در مواقعی که موتور درونسوز بیش از میزان مورد نیاز برای به حرکت در آوردن خودرو، نیرو تولید می کند یا با به کار گیری مستقیم قدرت موتور، هنگام ترمز گیری و یا حرکت در سراشیبی ، شارژ شده و برق مورد نیاز خود را تأمین می کنند. این یکی از مهمترین ویژگی خودروهای هیبریدی می باشد. آنچه در تمام خودروهای هیبرید برقی جلوه می کند، مدیریت و موازنهٔ الکترونیکی و هوشمند ارتباط دو موتور با یکدیگر است.

خودروهای هیبریدی، نوع تعمیم یافتهٔ خودروهای برقی خالص هستند که معایب خودروهای برقی خالص تا حدود زیادی در آنها برطرف گردیده است و می توان گفت معایب خودروهای احتراق داخلی نیز تا حدودی در آنها برطرف شده است. از مزایای مهم این خودروها نسبت به خودروهای احتراق داخلی، کارکرد در دور و بار ثابت بوده و به اصطلاح در نقطهٔ بهینهٔ خود کار می کنند که این امر باعث بالا رفتن بازده موتور و کاهش آلودگی و پایین آمدن مصرف سوخت می گردد و دیگر اینکه به هنگام ترمز گیری و یا شتاب منفی، انرژی به صورت الکتریکی در باتری ها ذخیره می شود و همین امر باعث کارکرد کمتر موتور احتراقی خواهد شد و در نتیجه منجر به کاهش آلودگی و پایین آمدن مصرف سوخت می گردد. به عنوان مثال تویوتا پریوس با موتور ۴ سیلندر ۱۵۰۰ سی سی مصرف سوختی معادل ۲/۴ لیتر در ۱۰۰ کیلومتر دارد! مزیت دیگر این خودروها نسبت به خودروی برقی خالص، قابلیت پیمودن مسیرهای طولانی در هر بار شارژ کردن باتری می باشد.

خودروهای هیبریدی از ساختارهای مختلفی برخوردارند. اما الزاماً یک خودروی هیبریدی از یک سیستم ذخیره ساز انرژی، یک واحد تولید قدرت و یک سیستم انتقال قدرت تشکیل شده است. انتخاب های اولیه برای سیستم ذخیره ساز انرژی باتری ها، و خازن ها و فلایویل ها هستند. اگرچه باتری ها عمده ترین انتخاب در این زمینه می باشند اما تحیق بر روی زمینه های دیگر ذخیره سازی انرژی آغاز شده است. باتری ها، بدلیل ارزان بودن و تجاری بودن و نداشتن قسمت های متحرک اولین وسیلهٔ ذخیرهٔ انرژی و همانطور که گفته شد متداولترین است اما بزرگترین عیبشان عمر کوتاهشان می باشد.[۱۳]

۲-۲ اجزای سیستم هیبریدی:

۱- موتور بنزینی :

موتور بنزینی که در این خودرو وجود دارد شباهت زیادی به موتورهای بنزینی خودروهای بنزینی دارد. ولی این موتور کوچک تر و نیز دارای تکنولوژی بالاتری نسبت به خودروهای معمولی است که باعث کاهش آلودگی و افزایش کارایی می شود.

۲- موتور الکتریکی :

موتور الکتریکی در خودروهای هیبریدی خیلی پیشرفته هستند این موتور پیشرفته هم به عنوان یک موتور قادر به انجام کار است و هم به عنوان ژنراتور به عنوان مثال زمانی که به این موتور نیاز است موتور با استفاده از باتری ها قادر خواهد بود شتاب مورد نظر را ایجاد کند و زمانی که خودرو نیازی به موتور الکتریکی ندارد مثلا در یک سراشیبی در حال حرکت است این موتور الکتریکی به عنوان یک ژنراتور نیرو را به باتری ها برمی گرداند.

۳- ژنراتور :

ژنراتور بسیار شبیه به موتور الکتریکی است با این تفاوت که ژنراتور فقط وظیفه تامین الکتریسیته مورد نیاز موتور را بر عهده دارد نه کار دیگر. ژنراتور بیشتر در خودروهای هیبریدی سری به کار می رود.

۴- باتری:

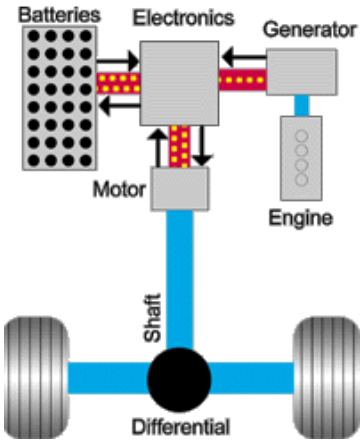
باتری ها در خودروی هیبریدی یک وسیله ذخیره انرژی برای موتور الکتریکی هستند . برخلاف بنزین موجود در باک بنزین که می تواند فقط به موتور بنزینی سوخت برساند (یک انتقال یک طرفه از باک بنزین به موتور بنزینی). موتورهای الکتریکی علاوه بر کار فوق میتوانند انرژی را به باتری پس دهند. ولی موتور بنزینی نمی تواند چنین کاری را انجام دهد.

۵- سیستم انتقال قدرت[۱۴]

۲-۳-۱ سیستم هیبریدی سری :

در این دسته از خودروها موتور احتراق داخلی یک ژنراتور را می‌چرخاند و این ژنراتور، هم باطری را شارژ می کند و هم یک موتور الکتریکی را به حرکت درمی‌آورد و بدین صورت انتقال قدرت صورت می گیرد. در این ساختار موتور احتراقی مستقیم به سیستم انتقال قدرت وصل نمی‌شود.

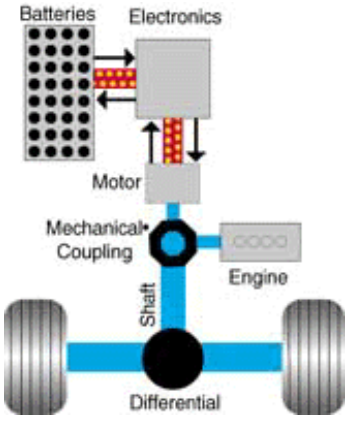
این سیستم به خاطر این سری نامیده می‌شود که قدرت، به صورت سری به چرخ‌ها منتقل می‌گردد و از آن برای رانش موتورهای با قدرت کم و با رنج کارکرد بهینه استفاده می شود.



شکل (۲-۱) نمایش سیستم هیبریدی سری

۲-۳-۲ سیستم هیبریدی موازی :

در این نوع سیستم، موتور احتراقی و موتور الکتریکی به صورت موازی چرخها را به حرکت درمی‌آورند. در این سیستم موتور الکتریکی توسط باطری و موتور احتراقی توسط منبع سوخت فسیلی مستقیما" تغذیه می‌گردند. در این حالت ژنراتور حذف شده و باطری با تغییر حالت موتور الکتریکی به ژنراتور شارژ می‌گردد. از آنجائیکه این سیستم فقط یک موتور دارد موتور الکتریکی نمی‌تواند همزمان هم باطری را شارژ کند و هم باعث رانش چرخها گردد. یک تصویر ساده از این سیستم در شکل (۲-۴) نشان داده شده است.



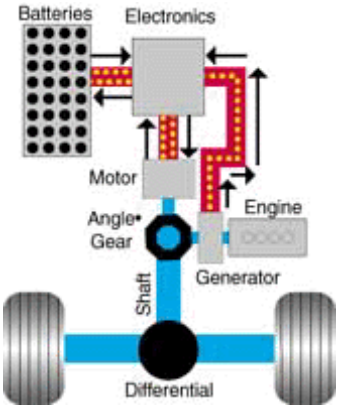
شکل (۲-۲) نمایش سیستم هیبریدی موازی

۲-۳-۳ سیستم هیبریدی سری ـ موازی:

این طرح بگونه ی است که می‌توان از آن در شرایط مختلف به صورت هیبرید سری یا موازی استفاده نمود. در این سیستم با بهره‌گیری از فن‌آوری پیشرفته امکان استفاده از سیستم احتراقی و سیستم الکتریکی بطور جداگانه و همزمان وجود دارد. به این ترتیب در مواقع شهری کاملا" الکتریکی و بدون آلودگی و در سرعتهای بالا و در محدودهٔ برون شهری می‌تواند بطور مستقل احتراقی و یا ترکیبی از دو سیستم باشد. در مواقعی چون شتابگیری سریع، هر دو سیستم با هم عمل می‌کنند. چنین ایده‌ای فقط بکمک یک فن‌آوری مدرن در یک خودرو سواری قابل اجراست. معمولا چنین سیستمهایی از نوع ترکیبی هستند و با بهره‌گیری از یک استراتژی کنترلی مناسب عملا همراه با فراهم آوردن عملکرد مناسب، سطح شارژ باطریها نیز در حد خوبی نگهداری می‌شود بدین ترتیب این خودرو می‌تواند چه در شهر و چه در جاده به یک خودروی متداول تبدیل گردد. در این سیستم دو موتور الکتریکی وجود دارد که بسته به شرایط می‌تواند ترکیبی از آنها به کار آیند و قابلیت تبدیل به ژنراتور را نیز دارند.

این سیستم در خودروی پریوس[11] و استیما[12] در شرکت تویوتا استفاده شده است. [۱۴]

[11] Prius
[12] Estima



شکل (۲-۵) نمایش سیستم هیبریدی سری- موازی

۲-۳-۴ مقایسه چند نوع سیستم هیبریدی:

در جدول (۲-۱) مقایسه‌ای کلی از سه نوع سیستم هیبریدی صورت گرفته است.

جدول (۲-۱) مقایسه بین انواع سیستم هیبریدی[۱۵]

	سری	موازی	سری - موازی
بازدهی در بزرگراه	+	++	++
بازدهی در شهر	++	+	++
تولید گازهای آلاینده	++	+	++
هزینه	--	-	--
پیچیدگی	-	-	--
آسانی کنترل	-	-	--

++ بسیار بهتر از خودروهای معمول
+ بهتر از خودروهای معمول
- بدتر از خودروهای معمول
-- بسیار بدتر از خودروهای معمول

بنابراین می‌توان خصوصیات زیر را برای خودروهای هیبرید سری- موازی برشمرد:

۱- کاهش اتلاف انرژی: سیستم بطور اتوماتیک در حالت درجا[۱۳] خاموش می‌شود و بدین ترتیب از به هدر رفتن انرژی جلوگیری می شود.

۲- ذخیره‌سازی و برگرداندن انرژی: انرژیی که در هنگام شتاب منفی و ترمزگیری هدر می‌رود را به انرژی الکتریکی تبدیل نموده و از اتلاف آنها جلوگیری می‌کند.

۳- کمک به کارکرد موتور احتراقی: موتور الکتریکی در زمان شتابگیری به کارکرد موتور احتراقی کمک می‌کند.

۴- کارکرد با بازدهی بالا: این سیستم با یک استراتژی کنترلی مناسب، بازدهی کلی خودرو را در تمام شرایط کاری در حالت بیشینه نگه می دارد؛ بدین صورت که موتور الکتریکی مانند یک جبران ساز در شرایطی که قدرت موتور احتراق داخلی کافی نیست وارد عمل می گردد و در مواقعی که قدرت موتور احتراق داخلی بیشتر از نیاز خودرو است، انرژی مازاد در باطریها ذخیره می گردد.

۵-اما همانطور که در جدول فوق مشاهده می‌شود از نظر هزینه و پیچیدگی کنترلی و ساخت از دو نوع دیگر ضعیفتر است. [۱۶]

[13] idle

فصل سوم : بررسی کلی حضور خودروهای الکتریکی در سیستم توزیع و روش های پیشنهادی جهت هماهنگی آنها در سیستم

۳-۱ بررسی کلی نفوذ تولید پراکنده در شبکه توزیع:

افزایش نفوذ تولیدات پراکنده[۱۴] در شبکه های توزیع به صورت مهمی پخش توان واقعی و راکتیو را در شبکه تغییر می‌دهد که می تواند مشکلات جدی برای کنترل ولتاژ ایجاد کند. به علاوه ؛ برنامه های کنترل ولتاژ اتوماتیک رایج[۱۵] که پخش توان معکوس را بررسی می کنند قادر به انجام مسئولیتشان در قبال شبکه در حالت حضور تولید پراکنده در شبکه نیستند. چندین روش برای بهبود پروفایل ولتاژ شبکه توزیع در چنین مواردی به کار گرفته شده اند. مثلا تقویت شبکه یا کنترل ولتاژ اکتیو با واحدهای سنس ولتاژ راه دور[۱۹] . روش دیگر که ارائه می‌شود برنامه حفاظت کامل[۱۶] است که بر پایه اندازه گیری های محلی در سطح پست ها و ترکیب با یک تکنیک تخمین حالت است[۲۰]. یک چنین روشی قادر است افزایش ولتاژ در نقطه اتصال تولید پراکنده و کنترل موثر سطح ولتاژ در پست را ارزیابی کند. از دیگر روش هایی که می‌توان به آن اشاره کرد، روش کنترل ولتاژ هماهنگ است که بر پایه سنسورهای محلی است که با یکدیگر و با واحدهای تولید پراکنده طبق دستور خاصی در ارتباطند. [۲۱]

پایداری ولتاژ یعنی توانایی سیستم قدرت در نگهداری ولتاژ در نقاط مختلف شبکه در محدودهٔ قابل قبول. به این موضوع شاید صنعتگران و محققان و بهره برداران شبکه قدرت به اندازهٔ پایداری زاویه بار و فرکانس توجه نکرده اند و نمی کنند، ولی در سال های اخیر، مخصوصاً بعد از چندین واقعه مهم و تغییراتی از جمله افزایش تولیدات پراکنده به سیستم ،به ناپایداری ولتاژ بیشتر توجه می شود .هرچند که ناپایداری ولتاژ و ناپایداری زاویهٔ بار در یک سیستم قدرت به هیچ وجه از هم مستقل نیستند. وقتی یک سیستم قدرت پس از یک اغتشاش شدید به سمت ناپایداری برود، تمایز دقیق بین ناپایداری زاویه بار و ناپایداری ولتاژ ممکن نیست، زیرا در یک سیستم ناپایدار تمام متغیرها تحت تأثیر

[14] distributed generation(DG)
[15] automatic voltage control : AVC
[16] superTAPP n+ relay

قرار گرفته و از نقطه تعادل خود فاصله می گیرند ولی بسته به اینکه کـدام یـک از دو متغیـر اصـلی، زاویهٔ بار و و لتاژ، ابتدا از محدودهٔ مجاز خود خارج شوند، می توان ناپایداری را به یکی از این دو نسبت داد .هرچند که پدیده های ناپایداری زاویهٔ بار و ولتاژ در هر قسمت از شـبکه ممکـن اسـت رخ دهنـد ولی عموماً ناپایداری زاویه بار در بخش تولید و ناپایداری ولتاژ در بخش توزیع روی می دهد یعنـی در تحلیل ناپایداری زاویهٔ بار در یک شبکه چند شینه، که با چندین واحد تولیدی تغذیه می شود و چند بار حقیقی و واکنشی نیز به شبکه متصل است، درنظر گرفته می شود ولی در تحلیل ناپایـداری ولتـاژ عموماً یک خط شعاعی را که با شبکه تغذیه می شود و از طرف دیگر باری را تغذیه مـی کنـد درنظـر می گیرند.

در ادامه باید اشاره کرد، سیستم های توزیع به صورت سریعی در حال تغییر هستند. دلایل زیـادی در این تغییر شرکت دارند از جمله : رشد تقاضا ، نگرانی هایی در مورد پایداری و سیاسـت هـای زیسـت محیطی که نیازمند کاهش صدور co2 در محیط است.یکی دیگر از دلایـل اصـلی تغییـر در سیسـتم های توزیع علاقمندی به افزایش نصب تولید پراکنده در سیستم هاست.در حالی که حضـور تولیـدات پراکنده در شبکه چالش های جدیدی را به وجود می آورد اما مزایای آنها بر این چالش ها برتری دارد که این باعث به کارگیری آنها در سیستم می شود.

تعدادی از فاکتور های اصلی که افزایش حضور تولیدات پراکنده را در شبکه محدود می کنـد عبـارت است از: ظرفیت گرمایی فیدر ، سطح خطای سیستم ، مسئله حفاظت و مشکل افزایش (صعود) ولتـاژ در حالت پایدار. دیگر اینکه افزایش نفوذ تولیدات پراکنده مشخصه شبکه توزیع را از پخش تـوان تـک جهته به چند جهته تغییر میدهد (یعنی شبکه از حالت شعاعی به حالت حلقوی تبدیل می شود) و اپراتورهای شبکه توزیع[۱۷] را به استفاده از روش های جدید مدیریت شبکه مجبور می کند که در این پایان نامه مجال بیشتر از این توضیح نیست و می توان به مراجع این قسمت مراجعه کرد[۲۲].

[17] distribution network operations(DNOs)

۲-۳ خودروهای الکتریکی و شبکه توزیع [۲۳]

خودروهای الکتریکی یک تکنولوژی می باشد که نقش مهمی در کاهش آلودگی هوا دارنـد. هـر چنـد کشف این موضوع در دهه های اخیر بسیار مهم جلوه نمود، اما در همان دوره این تکنولوژی به دلیـل بسیاری از عدم قطعیت ها و مسائل، مانند تکنولوژی باتری ها (از نظر سایز و شارژ سـریع و دوام و...)، مسائل مربوط به واکنش های داخلی سیستم های تولید پراکنده و هزینه تولید انبـوه ایـن خودروهـا، ضروری به نظر نمی رسید. از طرفی استفاده از خودروهای صرفا برقی به علـت چگـالی پـایین انـرژی باتری ها در مقایسه با موتورهای احتراق داخلی، به صرفه نبودند.

اما خودروهای الکتریکی ترکیبی که از دو منبع الکتریکی برای توان استفاده می کنند مزایـای هـر دو خودرو را دارا می باشد. ضمن اینکه این خودروها معایب دو خودرو دیگر را نیز می پوشانند.

خودروهای الکتریکی قادر به ارائه برخی خدمات به شبکه می باشند. در یک خودرو الکتریکی می توان توان را از سمت شبکه به سمت خودرو جهت شارژ باتریها ویا برعکس، از سمت خودرو به سمت شبکه انتقال داد.

یک خودروی الکتریکی را می توان به شبکه متصل کرد که به آن Vehicle to Grid یا V2G مـی گویند که در این رابطه توان بین خودرو و شبکه انتقال می یابد. در این حالت می توان از این خـوردو ها برای ارائه خدماتی از قبیل رزرو گردان، تنظیم فرکانس، تامین تـوان در زمـان پیـک و ... اسـتفاده نمود.

در حال حاضر ذخیره سازهای انرژی در مقیاس بزرگ بصورت نیروگاههای تلمبـه ای ذخیـره ای مـی باشد. این نیروگاهها در ساعات کم باری آب را به مخزن بالا دست پمپ کرده و در اوج بار با انتقال آب به مخزن پایین دست، موجب تولید برق می شوند. یک جایگزین مناسب برای این نیروگاهها اسـتفاده از انرژی ذخیره شده در باتری این خودروها می باشد. درمواقعی که این خودروها در حالت توقف و در

حالت اتصال به شبکه می باشند، می توانند با کنترل شارژ و دشارژ خود، خدماتی از این قبیل را ارائـه دهند.

۳-۳ خدمات حاصل از V2G و مزایای آن

انرژی الکتریکی در چند بازار عمده دسته بندی می شود که مهمترین این بازارها به صـورت زیـر مـی باشد:

۱. بار پایه[۱۸]
۲. توان پیک[۱۹]
۳. تنظیم[۲۰]

که همگی در روش کنترل، پاسخ زمانی، زمان استفاده در شبکه و قیمت متفاوتند.

تامین بار پایه از عهده خودروهای الکتریکی به علت محدودیت ذخیره سازی خارج است. امـا در سـه مورد دیگر می توان از خودروهای الکتریکی استفاده کرد که در ادامه به تشریح کلی آنها می پردازیم.

ترکیب خدمات تنظیم و رزرو چرخان را خدمات کمکی[۲۱] می گویند.

۱-۳-۳ توان پیک

توان پیک معمولا توسط واحدهایی تامین می شود که قادرند در زمان کوتاه وارد مدار شوند. به دلیـل محدود بودن تعداد ساعات توان پیک به چند صد سـاعت از کـل سـال، از نظـر اقتصـادی اسـتفاده از نیروگاههایی مطلوب است که هزینه سرمایه گذاری کمی برای احداث نیاز داشته باشند؛ هرچند تـوان

[18] Base-load Power
[19] Peak Power
[20] Regulation
[21] Ancillary Services

تولیدی با قیمت بالایی تولید شود. البته بجای احداث نیروگاهها بـرای تـامین ایـن تـوان، اسـتفاده از V2G برای این مورد می تواند مفید باشد. Evs می توانند در زمان غیر پیک توان را از شبکه دریافت کرده و در باتری های خود ذخیره کنند و در زمان پیک توان به شبکه انتقال دهند. با این کـار دیگـر نیاز به احداث نیروگاه بدین منظور نمی باشد.[۲۴]

۲-۳-۳ تنظیم

خدمات تنظیم در حالت کلی شامل خدمات تنظیم فرکانس و تطابق تولید با مصرف می باشد. خدمات تنظیم باید با استفاده از سیگنالی که از بهره بردار بازار ارسال می شـود در کمتـر از یـک دقیقـه و بـا افزایش و یا کاهش توان تولیدی صورت گیرد. این کـار روزانـه حـدود ۴۰۰ مرتبـه تکـرار مـی شـود. استفاده از EVs نیز برای ارائه این خدمات مناسب می باشد. زیرا این خودروها قابلیت کنترل شارژ و یا دشارژ با توجه به وضعیت شبکه را دارند.

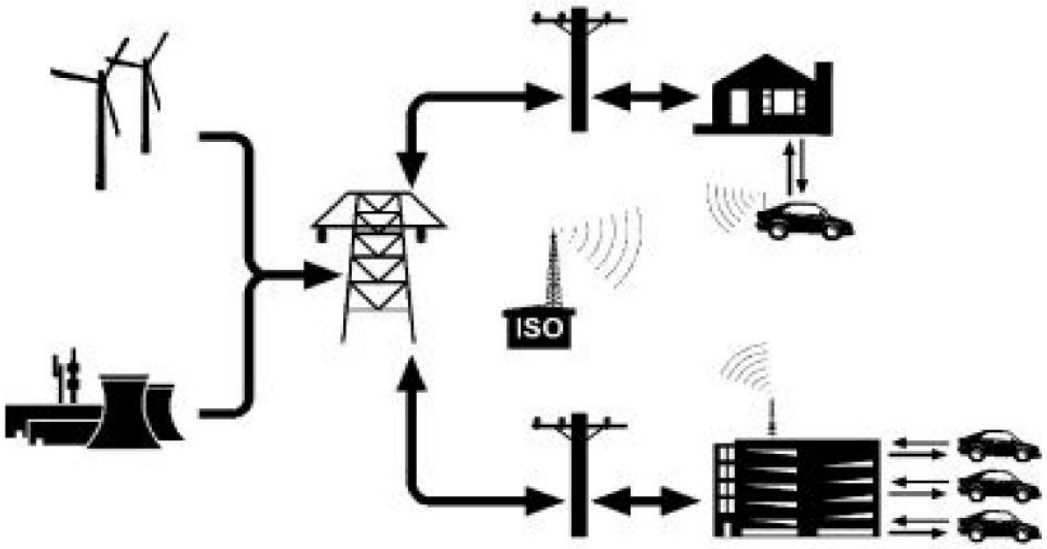
بنابراین می‌توان گفت مهمترین وظیفه V2G در بازار انرژی لحظـه ای بـرای پوشـش نوسـانات تـوان تولیدی می باشد. مهمترین این نوسانات توسط منابع تجدید پذیر انرژی صورت می گیرد که خورشید و باد بیش از سایر منابع تجدیدپذیر مورد استفاده قرار می گیرد. با توجه بـه عـدم ثبـات ایـن منـابع، تغییرات زیادی در خروجی منابع خورشیدی و بادی ها خواهیم داشت. در صورت استفاده از EVs بـه عنوان سیستم پشتیبان و با منبع ذخیره، می توان این نوسانات را کاهش داد.

سیستم پشتیبان اشاره به مولدهایی دارد که می توانند کمبود توان را بسرعت جبران کنند و سیسـتم ذخیره نیز اشاره به سیستم جذب توان در شرایط مازاد انرژی دارد.

در V2G، HEV و FCEV قادر به پشتیبانی و BEV و PHEV[۲۲] قادر بـه ارائـه خـدمات ذخیـره مـی باشند.

البته توان قابل ذخیره در یک خودروی الکتریکی محدود می باشد و در برابر شبکه در حد نویز ظـاهر می شود، درحالی که اگر تعداد EVs زیاد باشند می توانند تاثیر قابل توجهی در شبکه داشـته باشـند. این موضوع اشاره به این دارد که برای استفاده از EVs برای ارائه خدمات فوق، بایستی در کوتاه مدت شاهد افزایش چشمگیر این محصول باشیم. [۲۵]

شکل (۳-۱) نمای کلی از سیستم قدرت بهمراه V2G می باشد کـه بصـورت بـی سـیم ارتبـاط بـین خودروی الکتریکی و بهره بردار شبکه برقرار شده است.



شکل (۳-۱) نمای کلی از سیستم قدرت بهمراه V2G[۲۴]

مطابق شکل (۳-۱) ، مشاهده می شود که سیستم شامل منابع تولید متعـددی مـی باشـد. همچنـین خودروهای الکتریکی متصل به شبکه با دریافت سیگنال از بهره بردار شبکه، جذب و یا تزریق تـوان را انجام می دهند.

[22] plug-in HEV

۳-۴ مزایای اقتصادی و اجتماعی V2G:

کاربرد V2G هم برای شبکه و هم برای مالکان خودروها مفید می باشد.

در مورد مزایای V2G برای شبکه می توان گفت که انرژی ذخیره شده در باتری در حالت اتصال خودرو به یک فیدر، می تواند بخشی از بار متصل به آن فیدر را تامین کند. بنابراین به کاهش بار پیک کمک می کند. همچنین این کار باعث بارزدایی از خطوط انتقال شده که از پیامدهای آن کاهش تلفات، کاهش استرس الکتریکی بر روی خطوط و کاهش هزینه سرمایه گذاری در بخش انتقال می باشد. همچنین به کاهش قیمت در زمان پیک بار نیز منجر می شود.

این خودروها می توانند در زمان کم باری و کم بودن قیمت شروع به جذب توان از شبکه کرده و در زمان پر باری و بالا بودن قیمت، با ارائه قیمتی مناسب علاوه بر تصاحب حق ارائه خدمات، برای مالکان خود نیز سود آور باشند.

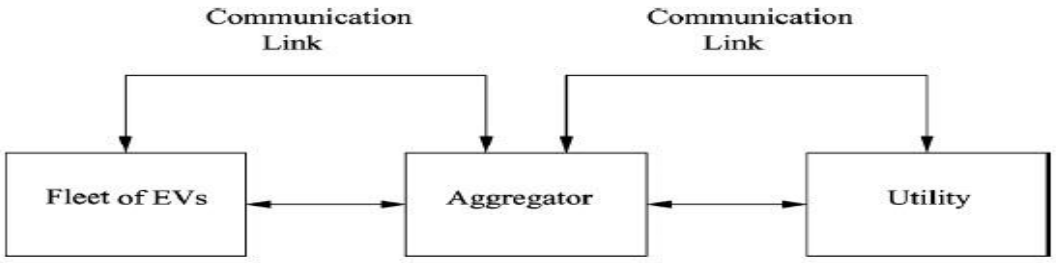
از دیگر مزایای این خودروها، تاثیر قابل توجه در کاهش آلودگی های ناشی از سوختهای فسیلی مصرفی در زمینه تولید انرژی الکتریکی می باشد. [۲۶]

۳-۵ طراحی بهینه یک نهاد مرجع[۲۳] برای V2G

در سیستم V2G برای مبادله توان بین خودروهای الکتریکی با شبکه نیاز به یک نهاد مرجع برای هماهنگی بین مدیریت شبکه و سیستم V2G می باشد که از آن به عنوان هماهنگ کننده نام برده می شود.

[23] Aggregator(Agg)

در واقع وظیفه اصلی هماهنگ کننده تنظیم زمان شارژ و یا دشارژ باتریها با توجه به وضعیت شبکه برای ارائه خدمات تنظیم و ... می باشد. یک هماهنگ باید بر روی تمامی خودروهای الکتریکی کنترل داشته باشد.



شکل (۳-۲) هماهنگ کننده در سیستم V2G[۲۷]

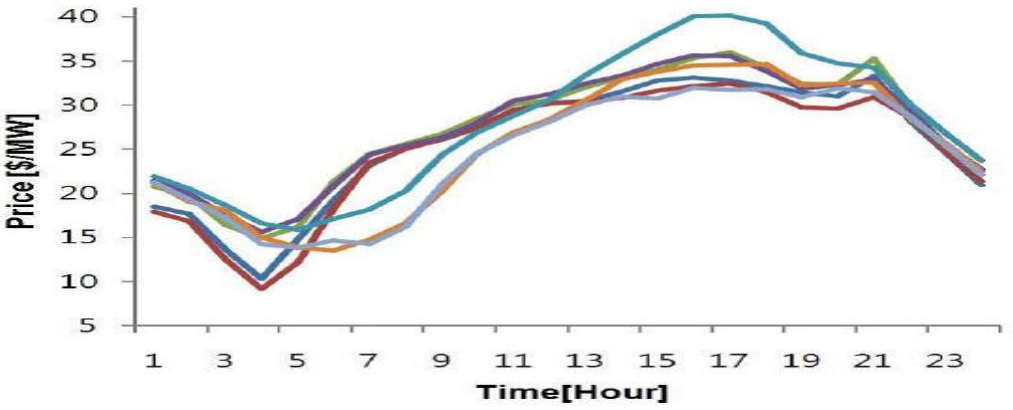
در حال حاضر خودروهای برقی به عنوان ذخیره سازهای انرژی استفاده می شوند. اتصال این خودروها به شبکه برای شارژ و دشارژ این خودروها صورت می پذیرد. تزریق توان از این خودروها به شبکه را V2G می نامند.

یک هماهنگ کننده باید بتواند با کنترل بر روی تمام خودروها خدمات مورد نظر را به شبکه اعمال کند. بنابراین باید یک ارتباط بین مالک خودرو و این نهاد وجود داشته باشد. در طراحی بهینه این نهاد، هدف ارائه خدمات از جانب خودروهای الکتریکی تحت شرایط بهینه می باشد. بنابراین به یک مدل جامع از شرایط بازار نیاز می باشد.

در این شرایط که از خودروهای الکتریکی برای ارائه خدمات بجای ژنراتورها استفاده می شود، باید در هر لحظه هماهنگ کننده قادر به ارسال سیگنالهایی مبنی بر وضعیت شبکه بوده و با استفاده از آن بتواند دستور شارژ یا دشارژ را به مالکان خودروهای الکتریکی بدهد.

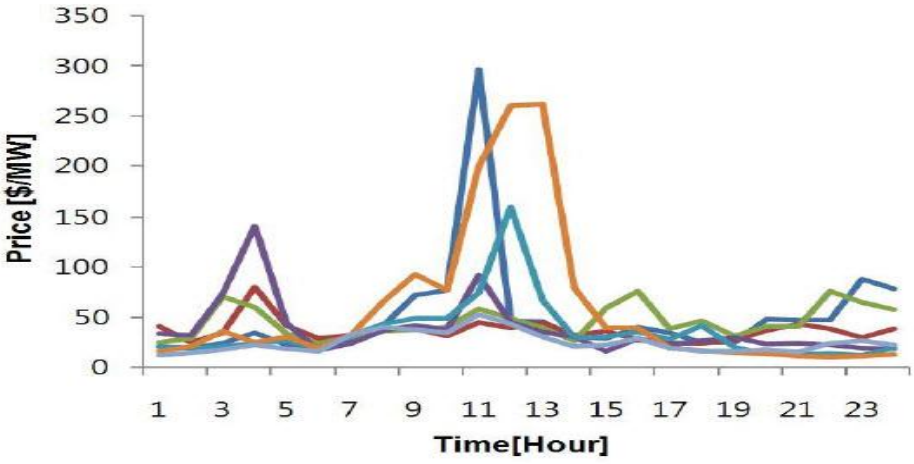
از طرفی باید این مسئله نیز در نظر گرفته شود که باتری خودروها باید برای فعالیت از حد مطلوب شارژ در باتری برخوردار باشند. بنابراین باید این مسئله نیز مورد توجه هماهنگ کننده باشد. در نتیجه ابتدا باید خودروی الکتریکی برای استفاده بعدی شارژ شود.

شکل (۳-۳) نشان دهنده قیمت برق در ۷ روز ماه سپتامبر در کانادا می باشد. با توجه به شکل (۳-۳) باید هماهنگ کننده در زمانی که قیمت برق در کمترین مقدار خود قرار دارد و در صورتی که شرایط شبکه اجازه می دهد، دستور شارژ را صادر نماید.



شکل (۳-۳) قیمت شبانه روزی برق در ۷ روز از ماه [۲۹]

شکل (۳-۴) نیز قیمت خدمات رزرو را نشان می دهد.



شکل (۳-۴) قیمت خدمات رزرو در ۷ شبانه روز [۲۹]

با توجه به شکلهای (۳-۳) و (۳-۴) هماهنگ کننده باید بهترین زمانبندی را در خصوص عملکرد خودروهای الکتریکی با توجه به شرایط فوق الذکر اتخاذ نماید. از طرفی ارائه خدمات تنظیم نباید از خودرویی که خود در حال شارژ و یا دارای انرژی کم در باتری هایش می باشد درخواست شود.

در حالت کلی یک EV هم در نقش مصرف کننده و هم در نقش تولید کننده می تواند عمل کند و برای هر حالتی به ترتیب مبلغی پرداخت و یا دریافت می کند.

در نهایت تابع بازگو کننده عملکرد بهینه هماهنگ کننده از نظر اقتصادی را با توجه به تمام موارد ذکر شده، به صورت زیر می توان تعریف نمود: [۲۹]

$$\mathrm{Re}\,venue = \int_{T-Tc} P_R(t)\,dt - M\int_{Tc} r(t)\,P_C(t)\,dt \qquad (۱-۳)$$

$$subject\ to:$$

$$M\int_{Tc} r(t)\,dt = Q \qquad (۲-۳)$$

در رابطه فوق که بازگو کننده سود برای EV می باشد،

T: مدت زمان مورد انتظار برای متصل بودن EV به شبکه

Tc: مدت زمان مورد نیاز برای میزان شارژ مورد نیاز

P_R: قیمت در زمان ارائه خدمات توسط EV

PC: قیمت برق در زمان شارژ

M: بیشترین حد قابل شارژ باتری

r(t): نرخ شارژ بین ۰ و ۱

Q: میزان شارژ درخواستی می باشند.

عبارت اول از تابع سود بیان کننده میزان سودی است که شخص می تواند از فروش انرژی بـه شـبکه دریافت کند. عبارت دوم میزان هزینه است که مشترک بابت شارژ خودرویش باید بـه شـبکه تحویـل دهد. بنابراین با توجه به دو نوع قیمت متفاوت در زمان های شارژ و دشارژ، مالک خودرو می تواند بـا شارژ در زمان های ارزان قیمت و تحویل انرژی به شبکه در زمان های پیک و گران قیمت، سود ببرد.

۳-۶ شارژ باتری خودروهای الکتریکی در شبکه های هوشمند

PHEVs و EVs در حال حاضر نسبت به موتورهای احتراق داخلی بیشتر مورد توجه می باشند و از جمله دلایل آن سـوخت پـاک و ارزان قیمـت آنهـا مـی باشـد. موفقیـت گسـترده در زمینـه توسـعه خودروهای الکتریکی وابسته به پیشرفت های صورت گرفته در زمینه تجهیـزات شـارژ آنهـا و مسـائل مربوط به قابلیت اطمینان شبکه بوده است.

اکثر شارژرهای موجود در بازار برای PHEV و EVs بصورت غیر خطی و با توان بالا می باشـند کـه هارمونیک های جریان قابل توجهی تولید می کنند. EVs برای اتصال به شبکه های هوشـمند مـورد مناسبی می باشند، بنـابراین اثـر آنهـا بـر روی کیفیـت تـوان شـبکه، پروفایـل ولتـاژ، تلفـات شـبکه، هارمونیکهای تولیدی و عدم تعادل جریان توسط آنها باید بطور کامل شناسایی و بررسی شود. [۳۳]

انجمن مهندسین خودروهای برقی در حال کار بر روی بهبود کیفیت تـوان و بـازده شـارژرهای EVs می باشند. هدف از این مطالعه کاهش THD جریان این شارژرها از ۲۰% به ۱۰% و افزایش بـازده آنها از ۸۵% به ۹۰% می باشد.

مسئله دیگر که در مورد شارژرها مورد توجه می باشد، زمان مورد نیاز برای شارژ ایـن خودروهـا مـی باشد. این موضوع بستگی به ظرفیت باتریها و ظرفیت شارژر برای انتقال توان دارد.

بر این اساس در آخرین موارد مطالعاتی به طراحی یک شارژر سه فاز پرداخته شده است. ایـن شـارژر علاوه بر توانایی انتقال توان بالا بین شبکه و باتری، قادر به تامین توان ثابت سه فاز از شبکه می باشد. بنابراین با طراحی و کنترل یک شارژر سه فاز می توان به این مهم دست یافت.

این مبدل بطور دوجهته عمل می کند. در نتیجه توان از شبکه به بـاتری جهـت شـارژ و از بـاتری بـه شبکه برای ارائه خدمات انتقال می یابد. در این حالت خودرو به عنوان یک ذخیره ساز می باشد که در زمان عادی شارژ شده و در زمان پیک بار، در صورت نیاز برق را به شبکه انتقال می دهد.[۳۴]

بسیاری از شارژرهای باطری، هوشمند هستند. این شارژرها به طریقی طراحی شده اند تا باطری را در سه مرحله اصلی با نام‌های شارژ حجمی[۲۴] ، شارژ جذبی[۲۵] و شارژ شناور[۲۶] شارژ نمایند. در طول شـارژ حجمی، تا زمانی که ولتاژ تقریباً به ۸۰٪ از ظرفیتش برسد، جریان با حداکثر میزان ایمنی به بـاطری ارسال می شود. به محض آنکه باطری به آن سطح از ولتاژ رسید، شارژر مرحله جذب را آغاز می کند. در طول این زمان، ولتاژ شارژ ثابت نگه داشته می شود. در صورتیکه جریان متناسب بـا ولتـاژ بـاطری تغییر می کند. به محض اینکه باطری کاملاً شارژ شد، شارژ به مرحله شـناوری سـوئیچ مـی شـود. در طول این مرحله شارژر ولتاژ ثابتی، برابر با کمی بیشـتر از ولتـاژ بـاطری را اعمـال مـی کنـد. جریـان الکتریکی بسیار پایین است. این مرحله یک شارژ حمایتی است، و مورد انتظار است کـه بـاطری را تـا زمانی که از آن استفاده نشده است، شارژ نگه دارد.

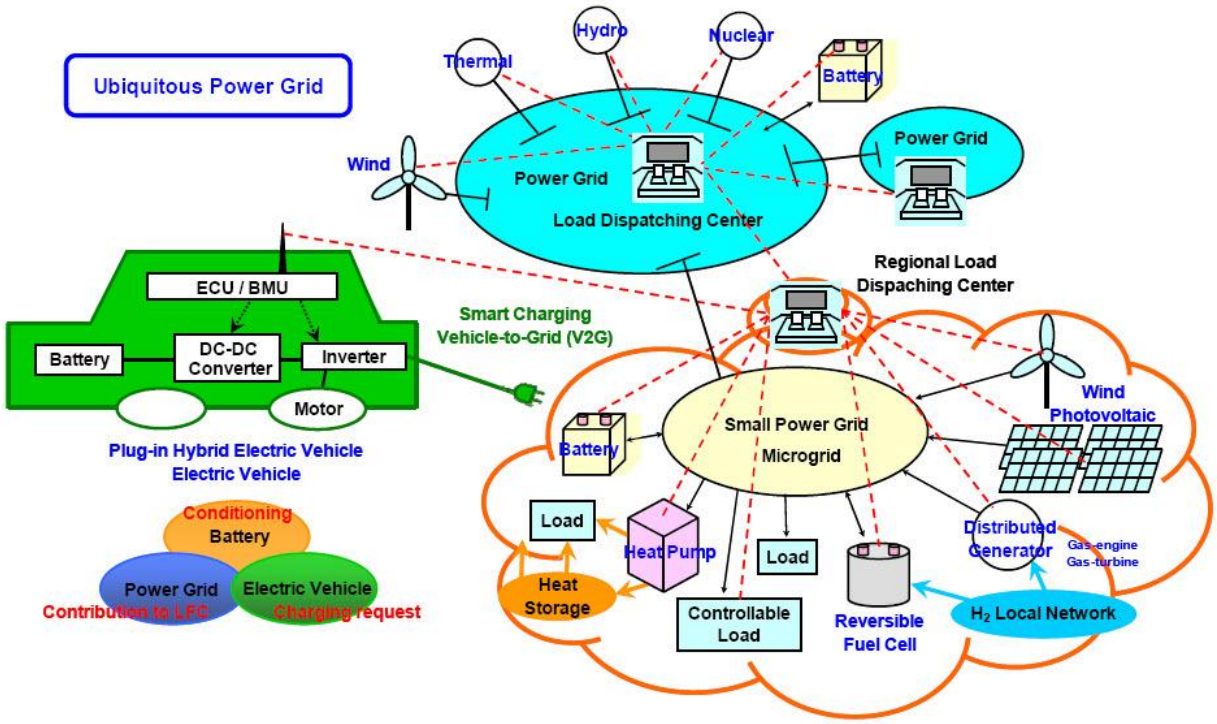
همچنین شارژرها می توانند طوری طراحی گردند تا ولتاژ و جریان را بر اساس نیاز خودرو و اغلب نیاز مصرف کننده عرضه نمایند. شارژ سریع، به سرعت باطری را شارژ می نمایـد. ایـن روش شـارژ مقـدار زیادی از ولتاژ و جریان را عرضه می نمایند. اگرچه این روش باطری را به سرعت شارژ می کند، اما در صورتیکه باطری به دقت پایش نشود ممکن است آن را زیاد گرم کند. شارژ کُنـد یـا آهسـته، جریـان

[24] bulk
[25] Adsorption
[26] Floot

کمی را به باطری ارسال می کند و برای شارژ کامل باطری زمان زیادی را به خود اختصاص می دهد. [۳۵]

۳-۷ عملکرد خودکار V2G با در نظر گرفتن میزان شارژ و موقعیت باتری

در منابع DG متصل به شبکه، باتری ها نقش مهمی در بهبود عملکرد و پایداری فرکانس شبکه دارند. همانطور که قبلا ذکر گردید، PHEV و EVs به عنوان ذخیره ساز عمل می کنند. بنابراین، اتصال به شبکه این خودروها یکی از اصلی ترین موارد برای ترکیب شبکه های هوشمند با منابع تجدید پذیر می باشند. در همین راستا به دنبال یک روش کنترل خودکار V2G، شامل تقاضای شارژ، وضعیت باتری و ارائه خدمات به شبکه می باشیم. شکل (۳-۵) نمایی از عملکرد هوشمند V2G در شبکه قدرت را نشان می دهد.



شکل (۳-۵) V2G در شبکه قدرت[۳۷]

عدم تعادل در تقاضا و تولید در شبکه قدرت می تواند توسط انحراف فرکانس بـروز نمایـد. در همـین راستا، در صورت استفاده از EVs در شبکه برای ارائه خدمات تنظیم فرکـانس، تـوان خروجـی EVs باید برخلاف انحراف فرکانس کنترل شود.

۸-۳ روش های پیشنهادی برای هماهنگی بین اتصال خودروها:

۱- روش افزایش قیمت بر حسب دوره های مختلف زمانی ؛ به ایـن ترتیـب کـه بـرای حـدود ۲ ساعت پیک تعرفه بالایی در نظر گرفته شود، برای دوره ۲ ساعته قبل و بعـد از پیـک تعرفـه زمانی متوسط در نظر گرفته شود و برای انتهای شب تا صبح زود پـایین تـرین تعرفـه لحـاظ شود. بنابراین نیاز به در نظر گرفتن هیچ خروجی خاصی به منظور شارژ خـودرو نمـی‌باشـد و می توان با استفاده از هر پریز منزل، خودروها را شارژ نمود. این روش ساده ترین و کم هزینه ترین سناریو جهت تنظیم بار شبکه می‌باشد که البته قابلیت اطمینان شبکه در ایـن سـناریو بسیار پایین آمده؛ زیرا بهره بردار شبکه اطلاعی از میزان بار درخواستی در شـبکه در سـاعات آینده بالاخص ساعات پیک ندارد.

۲- در این سناریو علاوه بر تعرفه گذاری که در شیوه قبل اشاره شد، بـرای شـارژ خودروهـا یـک خروجی مخصوص قرار داده می‌شود. در ادامه هر خودرو بـرای شـارژ بایـد بـه ایـن خروجـی مخصوص متصل گردد. هر خودرویی که در ابتدا متصل شود شروع به شارژ شـدن مـی‌کنـد، بهره بردار شبکه نیز یک سقف اتصال خودروی الکتریکی را در سیستم در نظر می‌گیرد. زمانی که مقدار بار الکتریکی تحمیلی به شبکه از سوی خودروهای الکتریکی به میزان حداکثر رسید شارژ خودروهای جدید متوقف شده و هر خودرویی که از این زمان به بعد به سیستم متصـل می‌شود با یک تاخیر زمانی شروع به شارژ شدن می‌کند تـا همـواره حـد مجـاز تعیـین شـده توسط بهره بردار شبکه رعایت گردد. مزیت این روش اسـتفاده حـداکثری از ظرفیـت شـبکه جهت رضایتمندی مشترکین می‌باشد. البته این رضایتمندی و استفاده حـداکثری از ظرفیـت

شبکه، هزینه های بیشتری را از نظر تولید در پیک به شبکه و بهره بردار تحمیل می کند که بسته به اهمیت این موضوع می توان حد ماکزیمم بار تحمیلی توسط خودروهای الکتریکی به سیستم را کم و یا زیاد نمود. عیب این روش، نیاز به یک سیستم کنترلی دقیق و پیچیده و البته زمان بری است که در این شبکه نیاز می‌باشد.

۳- در ضمن اینکه تعرفه های زمانی لحاظ می شود، یک پریز خاص برای شارژ خودورها در نظر گرفته می شود که از طرف بهره‌بردار شبکه قابل کنترل است. بدین ترتیب هر شخصی که برای او این خروجی کشیده می شود باید به سایت مراجعه کرده و یک نوع از دوره های زمانی موجود را بسته به قیمت و نیازش برای دوره یک ماهه انتخاب نماید. از این به بعد خروجی برق برای خودروی این شخص فقط در دوره زمانی که این شخص انتخاب کرده است جریان خواهد داشت. مزیت این روش این است که قابلیت اطمینان شبکه نسبت به روش قبل بسیار بالا می‌رود. زیرا بهره بردار شبکه همیشه از حداکثر مقدار باری که در هر دوره زمانی توسط خودروهای الکتریکی به سیستمش متصل می‌شود مطلع است و تولید شبکه را با مصرف آن هماهنگ می‌کند. دیگر مزیت این سناریو افزایش سطح رضایتمندی مشترکان می‌باشد زیرا مشترک در هر بازه دلخواهش تقاضای خود را ثبت نموده و می‌تواند خودروی خود را شارژ نماید همچنین نسبت به روش گذشته نیاز به یک سیستم پیچیده و دقیق کنترلی نیز ندارد. اما از جمله معایب این روش می‌توان به افزایش سطح تقاضا، تلفات و کاهش راندمان شبکه به علت افزایش بار در ساعات پیک اشاره نمود که از طریق افزایش بیشتر تعرفه می توان سطح درخواست شارژ در دوره پیک را از سوی مشترکین کاهش داد.

۴- این روش تکمیل کننده روش قبل می‌باشد بدین ترتیب که بهره بردار شبکه برای هر دوره زمانی یک حد مجاز ثبت نام تعیین می‌کند. در این روش سطح رضایت مشتریان پایین آمده زیرا این احتمال می‌رود که بعضی از دوره‌ها سریعتر پر شوند و متقاضیان دیگر مجبور هستند

از زمان‌های نیمه شب و ... استفاده کنند (از طریق افـزایش بیشـتر تعرفـه مـی تـوان سـطح درخواست شارژ در دوره‌های با تقاضای بیشتر را کاهش داد).

۵- در این سناریو بهره‌بردار شبکه، خود اولویت بندی شـبکه را بـه عهـده مـی گیـرد و بـه یـک خروجی مخصوص جهت اتصال خودروها نیاز می‌باشد. در این روش مشترکین زیـر مجموعـه ترانسفورمرهای فوق توزیع (که در واقع باس های اصلی مـا را تشـکیل مـی‌دهنـد) قـرار مـی گیرند. بنابراین تعداد باس های اصلی در سیستم مشخص است. حال باس های اصلی سیستم را به دو دسته و مدت زمان شبانه روز را به سه دوره‌ی زمانی شارژ تقسیم بنـدی مـی کنـیم. سپس طوری برنامه ریزی نموده که هر گروه در یکی از دوره‌های زمانی پیک و متوسط شـارژ شوند و البته دوره شارژ باید بین گروه‌ها چرخش داشته باشد تا تمام مشترکین از همه دوره-های زمانی شارژ در طول یکسال به صورت مساوی برخوردار شوند. مزیت ایـن روش سـادگی عملکرد برای مشترکین می‌باشد که خود امری ضروری در این مبحث می‌باشد، همچنـین در سمت اپراتور شبکه نیز نیازی به یک سیستم پیچیده کنترلی نمی‌باشد. اما از طرفی به دلیـل عدم توانایی شارژ در دوره پیک برای همه مشترکین سطح رضایت مشـترکین پـایین خواهـد آمد، با این وجود به دلیل دوره های زمانی شارژ به صورت چرخشی، مشترکین در طول سـال از تنوع شارژ بیشتری برخوردار شده و این موضوع می تواند باعث جلب رضایت بیشتر مالکان خودروها شود.

۶- این سناریو مانند سناریوی گذشته خواهد بود، با این تفاوت کـه برنامـه‌ریـزی بـر روی تمـام مشترکین در قالب یک دوره زمانی شارژ انجام می شود.

در فصل بعدی به تشریح بیشتر دو سناریوی آخر و شبیه سازی آنها میپردازیم.

۳-۹ مروری بر مطالعات گذشته:

در مطالعات گذشته بر روی طراحی شارژ هماهنگ از روش های مختلفی چون بهینه سازی مرتبه دو مداوم [۳۹] یا برنامه های دینامیکی [۴۱] استفاده شده است. در [۴] برای هدف کاهش تلفات، مساله بهینه سازی تعریف می‌شود که این مسئله بهینه سازی با استفاده از تکنیک برنامه نویسی درجه دو مداوم حل می‌شود. در این روش توان شارژر همه ماشین‌ها به صورت قیود خطی در نظر گرفته می‌شود. اما در این روش حل، نویسنده به درصد نفوذ بیش از ۳۰٪ نمی‌پردازد که در این درصد نفوذ حد ولتاژ به نقاط مرزی می‌رسد بنابراین با افزایش درصد نفوذ به ۵۰٪ که امری محتمل در آینده محسوب می‌شود احتمال تجاوز ولتاژ از حد مجاز بررسی نمی‌گردد. از طرف دیگر تنها هدف در این مسئله کاهش تلفات می‌باشد که باعث عدم جامعیت این برنامه می‌شود.

در [۴۱] رابطه ای بین تلفات خطوط، ضریب توان[۲۷] و انحراف بار[۲۸] بیان می‌شود و در ادامه به اثبات این رابطه پرداخت می‌شود. مساله ای که در این مرجع سعی در اثبات آن است معادل کردن سه مفهوم کاهش تلفات، ماکزیمم کردن ضریب توان و مینیمم کردن انحراف بار می‌باشد. در نهایت با شبیه سازی هماهنگی اتصال خودروهای الکتریکی مشاهده می‌شود هر کدام از این ۳ مفهوم که به عنوان هدف هماهنگ سازی قرار بگیرد جواب تقریبا ثابتی می‌دهد با این تفاوت که سرعت به جواب رسیدن الگوریتم ها با هدف ماکزیمم کردن ضریب توان از همه بیشتر و راحتتر است.

اما آنچه که ما در این فعالیت نشان می‌دهیم اجرای یک برنامه ابتکاری در جهت کاهش تلفات می‌باشد که تساوی را در دوره‌ی زمانی یکساله بین تمام مشترکین برقرار می‌کند و همچنین هدف تسطیح منحنی بار و حفظ پایداری شبکه را نیز ارضا می‌نماید.

[27] load factor
[28] load varience

در نهایت در قسمت نتیجه گیری نیز بیان می‌شود که با استفاده از این روش در حدود نیم درصـد در تلفات بهبود داده می‌شود که در بین مراجع دیگر بهبود داده شده است.

فصل چهارم : تشریح و شبیه سازی برنامه پیشنهادی

۴-۱ مدل سازی و فرضیات

۴-۱-۱ توپولوژی سیستم

سیستم ۳۳ باسه IEEE را در اینجا به عنوان سیستم آزمون انتخاب می کنیم[۳۰]. مختصات این سیستم در شکل (۴-۱) نشان داده شده است. در این سیستم فرض می‌کنیم در هر باس از این ۳۳ باس (که در واقع ترانسفورمرهای توزیع می باشد) ۱۰۰ گره مصرف وجود دارد که هر گره مصرف را می‌توان یک مصرف‌کننده‌ی خانگی فرض کرد. این فرض را به منظور شفافتر شدن عملکرد در نظر می‌گیریم. ۴ فیدر اصلی ۲۰kv و ۳۳ ترانسفورمر توزیع ۲۰kv/۴۰۰v داریم که در واقع باس های اصلی ما به حساب می آیند.

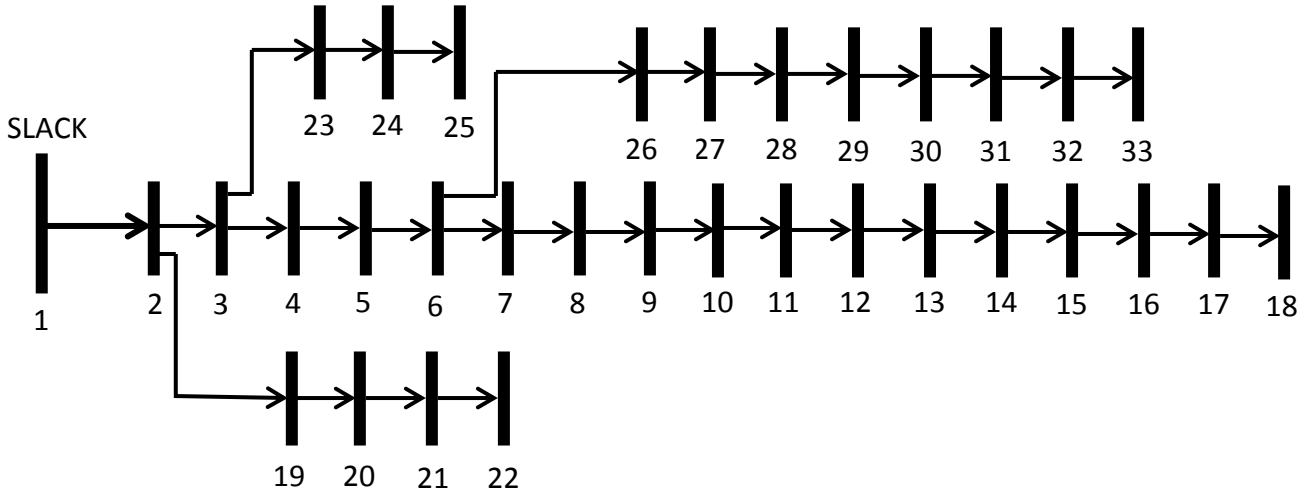
اطلاعات خطوط و بارهای مصرفی در نقاط مختلف شبکه در جداول (۴-۱) و (۴-۲) نمایش داده می شود.

جدول (۴-۱) طول خطوط سیستم ۳۳ باسه IEEE

شماره خط	طول خط(km)	شماره خط	طول خط(km)	شماره خط	طول خط(km)
1	**0.103**	**12**	**0.125**	**23**	**0.650**
2	**0.350**	**13**	**0.427**	**24**	**0.641**
3	**0.335**	**14**	**0.452**	**25**	**0.270**
4	**0.279**	**15**	**0.457**	**26**	**0.390**
5	**0.134**	**16**	**0.245**	**27**	**0.194**
6	**0.560**	**17**	**0.300**	**28**	**0.449**
7	**0.540**	**18**	**0.210**	**29**	**0.304**
8	**0.453**	**19**	**0.224**	**30**	**0.496**
9	**0.510**	**20**	**0.512**	**31**	**0.187**
10	**0.306**	**21**	**0.423**	**32**	**0.192**
11	**0.200**	**21**	**0.198**	**-**	**-**

جدول (۲-۴) مشخصات خطوط و باس‌های سیستم ۳۳ باسه IEEE

باس ارسالی	باس دریافتی	R (Ω)	X (Ω)	میزان بار در باس دریافتی	
				P(kw)	Q(kvar)
1	**2**	**0.0922**	**0.0477**	**100**	**60**
2	**3**	**0.4930**	**0.2511**	**90**	**40**
3	**4**	**0.3660**	**0.1864**	**120**	**80**
4	**5**	**0.3811**	**0.1941**	**60**	**30**
5	**6**	**0.8190**	**0.7070**	**60**	**20**
6	**7**	**0.1872**	**0.6188**	**200**	**100**
7	**8**	**1.7114**	**1.2351**	**200**	**100**
8	**9**	**1.0300**	**0.7400**	**60**	**20**
9	**10**	**1.0400**	**0.7400**	**60**	**20**
10	**11**	**0.1966**	**0.0650**	**45**	**30**
11	**12**	**0.3744**	**0.1238**	**60**	**35**
12	**13**	**1.4680**	**1.1550**	**60**	**35**
13	**14**	**0.5416**	**0.7129**	**120**	**80**
14	**15**	**0.5910**	**0.5260**	**60**	**10**
15	**16**	**0.7463**	**0.5450**	**60**	**20**
16	**17**	**1.2890**	**1.7210**	**60**	**20**
17	**18**	**0.7320**	**0.5740**	**90**	**40**
2	**19**	**0.1640**	**0.1565**	**90**	**40**
19	**20**	**1.5042**	**1.3554**	**90**	**40**
20	**21**	**0.4095**	**0.4784**	**90**	**40**
21	**22**	**0.7089**	**0.9373**	**90**	**40**
3	**23**	**0.4512**	**0.3083**	**90**	**50**
23	**24**	**0.8980**	**0.7091**	**520**	**200**
24	**25**	**0.6960**	**0.7011**	**320**	**200**
6	**26**	**0.2030**	**0.1034**	**60**	**25**
26	**27**	**0.2842**	**0.1447**	**60**	**25**
27	**28**	**1.0590**	**0.9337**	**60**	**20**
28	**29**	**0.8042**	**0.7006**	**120**	**70**
29	**30**	**0.5075**	**0.2585**	**200**	**600**
30	**31**	**0.9744**	**0.9630**	**250**	**70**
31	**32**	**0.3105**	**0.3619**	**210**	**100**
32	**33**	**0.3410**	**0.5302**	**60**	**40**

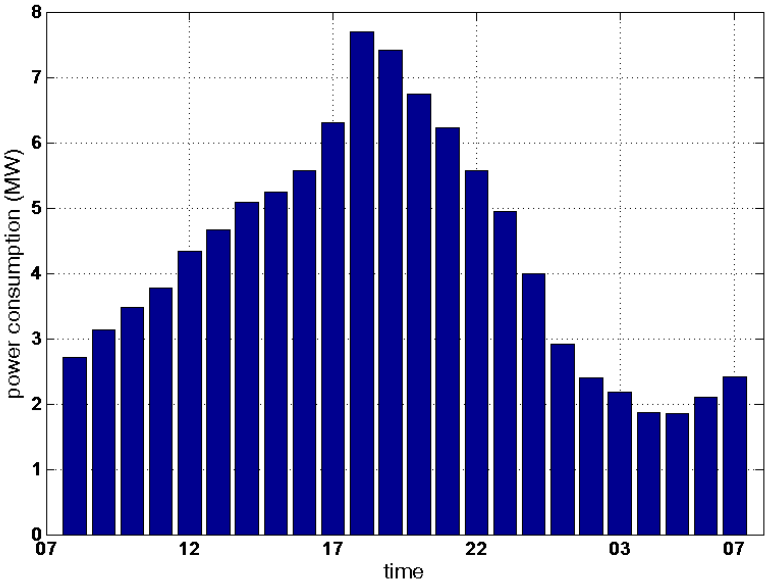


شکل (۴-۱) شبکه توزیع استاندارد ۳۳ باسه IEEE

۴-۱-۲ مدل بار

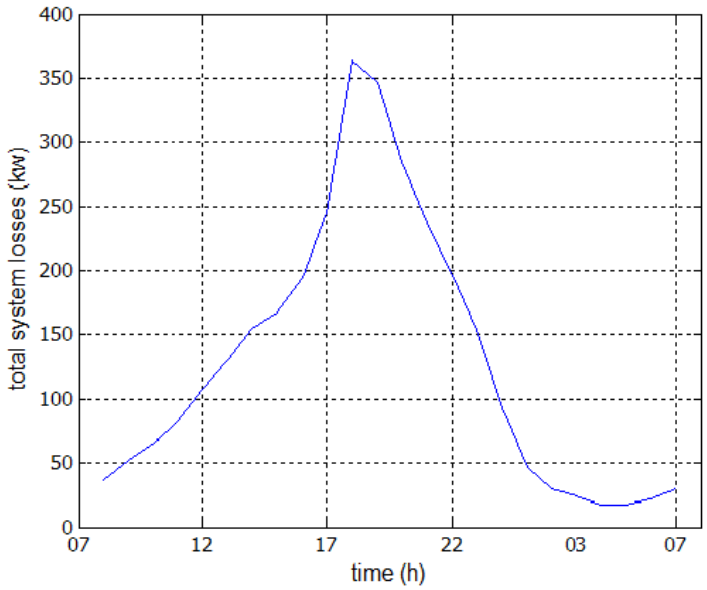
همه بارها به صورت بارهای ثابت ساعتی مدل می‌شوند یعنی در بازه‌ی یک ساعت مقدار بار، ثابت در نظر گرفته می شود. بنابراین منحنی بار به صورت پله ای در می آید که ساعت به ساعت مقدار توان اکتیو و راکتیو مربوط به هر باس تغییر می کند. بنابراین پخش بار را به صورت ساعتی انجام می دهیم. نحوه توزیع بار در ساعات مختلف به صورتی است که میانگین بار مصرفی در کل شبانه روز برابر با مقدار نشان داده شده در جداول بالا می‌باشد.

شکل منحنی بار در حالت عادی و بدون اتصال خودرو برای مدت ۲۴ ساعت به صورت شکل (۴-۲) می‌باشد. همچنین تلفات کل سیستم در مدت یک شبانه روز و بدترین ساعت از نظر انحراف ولتاژ در شکل های (۴-۳) و (۴-۴) نمایش داده می‌شود.



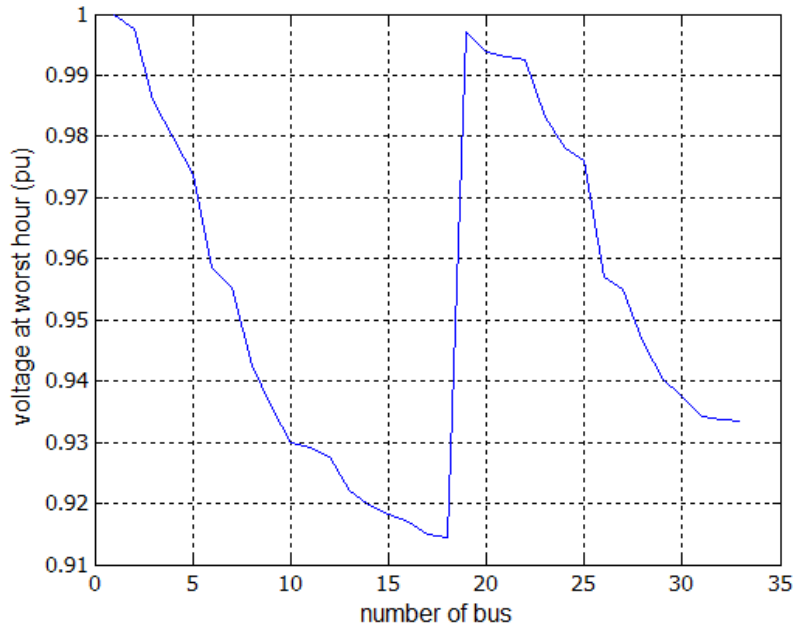
شکل (۴-۲) منحنی بار در مدت یک شبانه روز برای کل سیستم

همانطور که مشاهده می‌شود بار در ساعات مختلف روز به صورت ثابت در نظر گرفته شده است که پیک بار در ساعت ۱۸ یعنی ۶ بعد از ظهر با مقدار تقریبی ۷.۷ مگاوات رخ می‌دهد. بنابراین سطح تجهیزات در این سیستم بر اساس این مقدار بار با حفظ یک حاشیه امنیت طراحی شده است.



شکل (۴-۳) تلفات کل سیستم در مدت یک شبانه روز

مشاهده می‌شود پیک تلفات در حدود ۳۶۰ کیلـو وات در همـان محـدوده بـار پیـک رخ مـی‌دهـد. از انتگرال گیری سطح زیر منحنی تلفات یا در واقع جمع تلفات در هر ساعت مقدار تلفـات در کـل ایـن سیستم ۳۱۰۰ کیلو وات ساعت به دست می‌آید.



شکل (۴-۴) منحنی اندازه ولتاژ در ۳۳ باس در بدترین ساعت از نظر انحراف ولتاژ

پخش بار برای ۲۴ ساعت اجرا می‌شود. برای هر باس ۲۴ مقدار ولتاژ پریونیت به دست می‌آیـد. همـه این مقادیر را به صورت نمودار رسم نموده که در اینجا فقط منحنی اندازه ولتاژ در ۳۳ باس در ساعتی که حداقل ولتاژ در بدترین باس رخ می‌دهد نمایش داده می‌شود. مشاهده می شود در سـاعت ۱۸ یـا همان ۶ بعد از ظهر که سیستم دارای بیشترین بار الکتریکی می‌باشد بدترین حالت افت ولتاژ رخ می-دهد که ولتاژی حدود ۰.۹۱ پریونیت را برای باس شماره ۱۸ رقم می‌زند که ایـن نتیجـه در سیسـتم توزیع که به صورت شعاعی پخش می شود امری معقول می باشد. مشاهده می شـود در حالـت عـدم حضور خودروهای الکتریکی ولتاژ سیستم در محدوده مجاز و البته مطلوبی قرار می گیرد.

۴-۱-۳ مشخصات باتری

غالبا فرض می شود ظرفیت باتری خودروهای هیبریدی (PHEVs) حدود 11kwh باشد[۴۲]. بـرای حفظ بازدهی باتری خودروها، تقریبا ۸۰٪ ظرفیت باتری خودرو استفاده می‌شود که این مقدار ظرفیتی معادل 8.8kwh انرژی می‌طلبد [۴۳] . بنابراین برنامه ریزی‌های انجام گرفته در اینجا بر اساس نیـاز کمتر از 10kwh می‌باشد. خروجی ولتاژ و جریان در کنتورها در مکان‌های مختلف متفاوت می باشد. ولتاژی که ما در اینجا به عنوان ولتاژ پایه در نظر می‌گیریم 230v و مقدار جریانی که به عنوان جریان شارژ در نظر گرفته می شود 15A می‌باشد. با توجه به این نکات توان خروجی مـاکزیمم 3.45kw از خروجی استاندارد در منزل می توان انتظار داشت . بنابراین مقدار توان تحویلی به خودروهـا را حـدود 3.3kw در نظر میگیریم که با این فرض برای شارژ کامل یک خودرو حدود ۳ ساعت زمان شارژ نیـاز می باشد. البته می‌توان برای خروجی منازل، سطح ولتاژ و یا جریان را بالا برد تـا بتـوان خـودروهـا را سریعتر شارژ نمود اما این مستلزم هزینه اضافی برای مشترک و شرکت برق می‌باشد که از نظر اجرایی عمل مناسبی نیست. دیگر اینکه فرض می‌کنیم برای شارژ باتری تنها یک مسیر یک طرفه وجود دارد و باتری خودرو توسط خروجی استاندارد، تنها شارژ می شود و قابل دشارژ نیست یعنی خـودرو نمـی-تواند انرژی خود را به شبکه تحویل دهد (مفهوم V2G در نظر گرفته نمی‌شود). البته نرخ شارژ باتری به صورت یکنواخت در نظر گرفته می‌شود.

همچنین فرض می‌شود که در هر خانه، تنها یک خودرو وجود دارد. بنابراین در کل سیستم ۳۳ باسـه ۳۳۰۰ خانه وجود دارد که در حالت نفوذ ۵۰٪ می‌توان گفت ۱۶۵۰ خودرو در ایـن سیسـتم اسـتفاده می‌شود.

۴-۱-۴ پخش بار

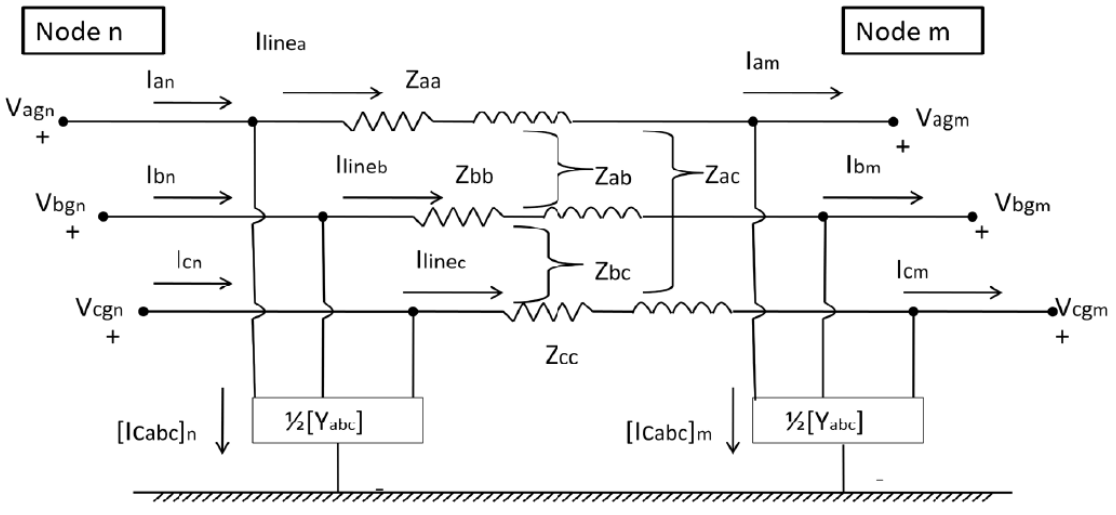
همانطور که در گذشته اشاره شد با نفوذ تولیدات پراکنده به سیستم، شـبکه از حالـت معمـول خـارج شده و از روش های معمول برای کنترل آن نمی توان استفاده کرد.

در حالت کلی پخش بار های نیوتن رافسون، گوس سایدل و ... در شبکه برق برای زمـان طـولانی بـه خوبی رفتار کرده اند اما در سیستم توزیع اوضاع متفاوت است. در شبکه های توزیع بـه دلیـل وجـود سیستمی شعاعی و یا شبه شعاعی، همچنین بزرگ بودن نسبت R/X در مقایسه با شبکه های انتقال، چند فازه بودن، توزیع بار نامتناسب و همچنین عملکرد نـامتوازن نمیتـوان از پخـش بارهـای معمـول استفاده کرد. بنابراین نیاز است از روش حل متناسب با شبکه توزیع به عنوان پخش بار استفاده کـرد. تحلیلی که بتواند به خوبی مقادیر جریان و ولتاژ در خطوط و باس ها را تحویل دهد.[۳۱-۳۲]

در این قسمت روش جاروب رفت و برگشتی[۲۹] را به عنوان برنامه حل پخـش بـار در ایـن پایـان نامـه توضیح می دهیم.[۴۴]

۱-۴-۱-۴ مدل کلی خط:

اولین مرحله از معرفی این الگوریتم، آشنایی با یک نمونه خط ۳ فاز کلی می باشد که بتوان برای هـر نوع خطی استفاده شود. نمایش معمول یک مدل π به صورت شکل (۴-۵) می باشد.



شکل (۴-۵) مدل π خط سه فاز

[29] Forward backward sweep method(FBS)

که نشانه گذاری های استفاده شده در آن به صورت زیر تشریح می شود:

علامت گذاری a، b و c فازها را نشان می دهند همچنین g نقطه خنثی یا زمین را نمایش می دهد.

گره ارسال توان با حرف n و گره دریافت توان با حرف m طراحی شده است.

Zaa امپدانس خودی خط برای فاز a می باشد.

Zab امپدانس متقابل بین فاز a و فاز b می باشد.

Vag_n عبارتست از ولتاژ فاز به زمین برای فاز a در گره n.

[Yabc] ماتریس ادمیتانس 3*3 برای خط شامل ادمیتانس خودی و متقابل می باشد.

$[Iline_a]$ ماترس جریان بین گره های m و n می باشد.

Ia_n جریان گره در گره n می باشد.

قانون جریان کیرشهف (KCL) برای شکل (۴-۵) در گره m به صورت زیر بیان می شود:

$$\begin{bmatrix} Iline_a \\ Iline_b \\ Iline_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix}_m + \frac{1}{2}. \begin{bmatrix} Y_{aa} & Y_{ab} & Y_{ac} \\ Y_{ba} & Y_{bb} & Y_{bc} \\ Y_{ca} & Y_{cb} & Y_{cc} \end{bmatrix}. \begin{bmatrix} V_{ag} \\ V_{bg} \\ V_{cg} \end{bmatrix}_m \qquad (۱-۴)$$

یا می توان به صورت خلاصه به صورت زیر نمایش داد:

$$[Iline_{abc}]_n = [I_{abc}]_m + \frac{1}{2}.[Y_{abc}] \ .[VLG_{abc}]_m \qquad (۲-۴)$$

که VLG ولتاژ خط به زمین می باشد. قانون ولتاژ کیرشهف برای شکل (۴-۵) نیز به صورت زیر بیـان می شود:

$$[VLG_{abc}]_n = [VLG_{abc}]_m + [Z_{abc}] \ .[Iline_{abc}]_m \qquad (۳-۴)$$

با جایگذاری معادله ۲ در ۳ و جابجایی های لازم در آن می توان به سه معادله در رابطه با ولتاژ فاز به زمین و جریان در گره ها دست یافت که توسط آنها میتوان به ولتاژ و جریان در یک قسمت خط با استفاده از تعمیم ماتریس ها به صورت زیر رسید:

$$[VLG_{abc}]_n = [a]\,[VLG_{abc}]_m + [b]\,[I_{abc}]_m \quad (۴-۴)$$

$$[I_{abc}]_n = [c]\,[VLG_{abc}]_m + [a]\,[I_{abc}]_m \quad (۵-۴)$$

$$[VLG_{abc}]_m = [A]\,[VLG_{abc}]_n - [B]\,[I_{abc}]_m \quad (۶-۴)$$

$$[a] = [ID] + \frac{1}{2}[Z_{abc}]\,[Y_{abc}]\ ,\ [b] = [Z_{abc}] \quad (۷-۴)$$

$$[c] = [Y_{abc}] + \frac{1}{4}\,[Y_{abc}]\,[Z_{abc}]\,[Y_{abc}] \quad (۸-۴)$$

$$[A] = [a]^{-1}\ ,\ [B] = [a]^{-1}[b] \quad (۹-۴)$$

که [ID] ماتریس شناسایی ۳*۳ و [a] و [b] و [c] و [A] و [B] ماتریس های تعمیم یافته خط هستند. این ماتریس ها تنها به امپدانس و ادمیتانس قطعه خط بستگی دارند و در طول تمام محاسبات ثابت در نظر گرفته می شوند. معادلات بالا برای یک خط سه فاز در نظر گرفته می شوند که به راحتی برای خطوط تک فاز و یا دو فاز از طریق صفر قرار دادن امپدانس و ادمیتانس در ماتریس ها قابل تعمیم می باشند.

۴-۱-۴-۲ الگوریتم جاروب رفت و برگشتی:

همان طورکه قبلا اشاره شد برنامه ای که در اینجا به عنوان برنامه پخش بار استفاده می‌شود روش پخش بار جاروب رفت و برگشتی می‌باشد. برای الگوریتم ارائه شده در اینجا از چندین فرض برای ساده‌سازی استفاده کرده‌ایم. اول سطح ولتاژ پست در تمام مدت استفاده از الگوریتم ثابت در نظر گرفته می شود. همه بارها به صورت مختلط شامل توان اکتیو و راکتیو می باشند که فرض می‌شود

پخش بار در حالت پایدار انجام می‌گردد. ترانسفورمر ثانویه امپدانس بسیار کمی دارد بنابراین در محاسبات لحاظ نمی‌شود. پس تمام بارها در سمت شبکه به صورت بارهای نقطه ای در نظر گرفته می شوند.

در این روش، ابتدا از دورترین باس آغاز می‌شود. ولتاژ آخرین باس (نود m) را برابر با ولتاژ پایه در نظر می‌گیرند سپس با استفاده از توان مختلط که در همه باس ها مشخص است جریان در آن باس به صورت زیر به دست می‌آید:

$$[I_{abc}]_m = \left[\frac{[S_{abc}]_m}{[VLG_{abc}]_m} \right]^* \qquad (۱۰-۴)$$

که * مختلط مزدوج و $[S_{abc}]_m$ توان مختلط ۳ فاز را در باس m نشان می دهد.

در ادامه با استفاده از معادله (۴-۴) و جریان در شاخه به دست آمده از (۴-۱۰) ، ولتاژ باس بالا دست محاسبه می‌شود که با استفاده از این ولتاژ می توان جریان در باس بالا دست را با استفاده از معادله (۴-۵) به دست آورد.

اگر یک باس نقطه تقاطع باشد که یک یا چند انشعاب از آن گسترش می یابد پس نیاز است هر دو ولتاژ پایین دست قبل از استفاده از معادلات (۴-۴) و (۴-۵) مشخص شوند. با این روش، ولتاژ و جریان باس مرحله به مرحله و خط به خط به سوی باس پست محاسبه می شوند. اگر ولتاژ محاسبه شده برای پست دارای تلورانس قابل قبولی از مقدار واقعی شناخته شده از قبل برای باس باشد که الگوریتم همگرا شده است و تکرار متوقف می‌شود در غیر این صورت روش برگشتی آغاز می شود.

جاروب برگشت در جهت خلاف جهت جاروب رفت عمل می کند. جاروب برگشت با استفاده از جریان به دست آمده برای پست و ولتاژ شناخته شده برای آن، ولتاژ باس پایین دست را محاسبه میکند. جاروب برگشت با استفاده از معادله (۴-۶) برای به روز رسانی ولتاژ باس پایین دست استفاده می کند تا به گره پایانی برسد. زمانی که ولتاژ گره انتهایی محاسبه شد جاروب رفت می تواند با استفاده از

ولتاژ به روز شده، دوباره اجرا می‌شود. این جاروب رفت و برگشتی تکرار می شود تا زمانی که الگوریتم همگرا شود یعنی اختلاف بین دو مقدار ولتاژ به دست آمده برای یک پست کمتـر از مقـدار تلـورانس مورد نظر باشد.

بعد از همگرا شدن پخش بار، توان تلف شده شبکه محاسبه می شود. توان تلف شده مختلط می تواند با استفاده از اختلاف ولتاژ به دست آمده برای دو سر ارسال و دریافت تـوان در یـک خـط، ضـرب در مزدوج جریان عبوری از آن خط محاسبه شود:

$$[Sloss]_m=([V_{abc}]_n-[V_{abc}]_m)\,[I_{abc}]_n^* \qquad (۱۱-۴)$$

در نهایت از جمع تلفات همه خطوط، تلفات کل سیستم به دست می آید [۴۰].

۴-۱-۵ دوره های شارژ

برای شارژ خودروها چند دوره در نظر گرفته می‌شود. دوره اول که دوره زمانی پیک نامیده می شـود، زمانی است که شارژ خودرو هم زمان می شود با دوره پیک بار در شبکه، یعنی بازه ۴ ساعته ۱۸ تا ۲۱ که ابتدای شب محسوب می‌شود. دوره دوم برای شارژ که پریود متوسط شارژ محسوب می شـود دوره زمانی ۳ ساعته ۲۲ تا ۲۴ می باشد که دوره متوسط بار می‌باشد. بازه زمانی ساعت ۱ تـا سـاعت ۱۷ را بازه زمانی آزاد در نظر میگیریم.[۴] در طراحی زمان شارژ برای هر منزل باید سعی شـود کـه تسـاوی بین تمام مشترکین رعایت شود تا امتیاز خاصی برای محل‌های خاصی از شهر ایجـاد نشـود. بـه ایـن ترتیب باید به هر مشترک خانگی در ساعات پیک و یا متوسط، یک مرتبه انـرژی بابـت شـارژ خـودرو داده شود و اگر شخص در ساعت مورد نظر که برق در خروجی منزل برای شارژ خودرو متصل است به منزل نرسد، در زمانی آزاد قادر به شارژ خودروی خود خواهد بود.

۴-۱-۶ درصد نفوذ خودرو

برای اینکه بتوان به صورت احتمالی شرایط به وجود آمده حاصل از اتصال خودروها را بررسی کرد نیاز است که درصدی برای نفوذ خودروها در نظر گرفت. بنابراین درصد نفوذ به صورت زیر تعریف می شود: تعداد گره‌هایی(مشترکین خانگی) که خودروی الکتریکی دارند تقسیم بر تعداد کل گره‌ها(کل مشترکین خانگی).[۳۶] برای بررسی در شرایط مختلف در این پایان نامه از درصد نفوذهای ۲۱٪ ، ۳۵٪ و ۵۰٪ استفاده می‌شود.

۴-۲ شارژ ناهماهنگ

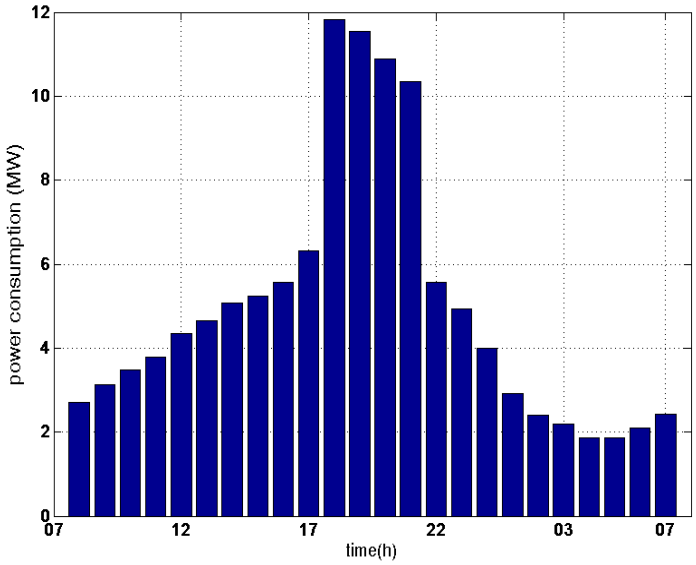
در این سناریو ، خودروهای الکتریکی بدون هیچ قیدی و در شرایط کاملا تصادفی به شبکه برق متصل می شوند. این شرایط عملا در حالتی که از سیستم هوشمند استفاده نمی‌کنیم رخ می‌دهد بنابراین دیگر نیازی به بستر مخابراتی اشاره شده در قسمت های قبل نیست.

برای بررسی نتایج شارژ ناهماهنگ، چندین دوره زمانی را می توان در نظر گرفت. آن چه که احتمال می رود در عمل رخ دهد این است که صاحبان خودروها به محض رسیدن به منزل، خودروی خود را به برق متصل کرده تا شاید برای کار و یا تفریح شبانه، خودروی آنها دارای شارژ باشد و یا اینکه از داشتن شارژ برای روز بعد اطمینان حاصل کنند. بنابراین بازه ای را که در اینجا به عنوان دوره زمانی شارژ فرض می‌کنیم همان دوره شارژ پیک یعنی بازه ۴ ساعته ۱۸ تا ۲۱ می باشد. انرژی مصرفی توسط خودروها را به صورت یکنواخت در دوره ۴ ساعته تقسیم می کنیم.

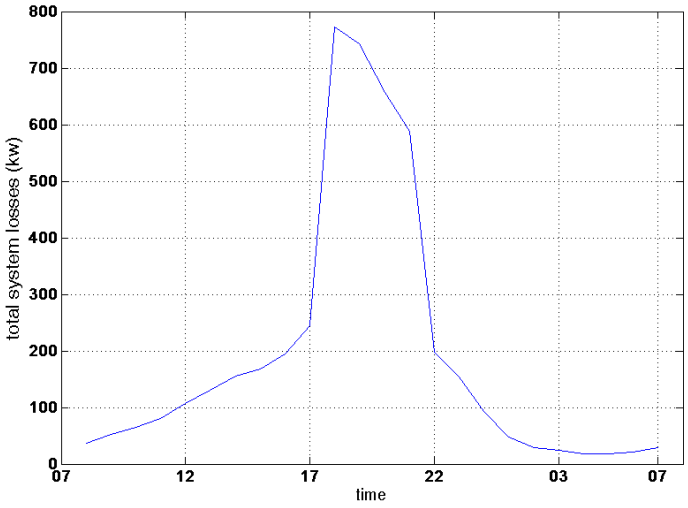
در ادامه ما به بررسی عملکرد سیستم در درصد نفوذهای ۲۱٪ و ۳۵٪ و ۵۰٪ می‌پردازیم.

نتایج با درصد نفوذ ۵۰٪ در شکل‌های (۴-۶) و (۴-۷) و (۴-۸) و درصد نفوذ ٪۳۵ در شکل‌های (۴-۹) و (۴-۱۰) و (۴-۱۱) نمایش داده شده است.

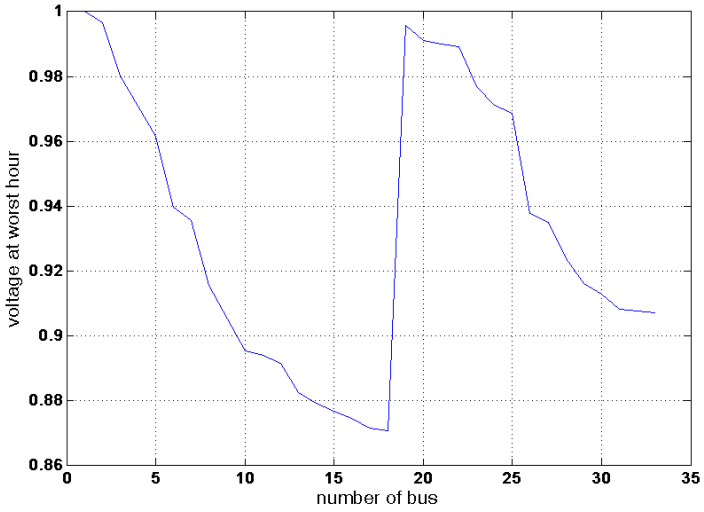
همانطور که مشاهده می‌شود اندازه ولتاژ در بعضی ساعات به حدود 0.87pu می‌رسد که خارج از حد استاندارد در سیستم توزیع می‌باشد.



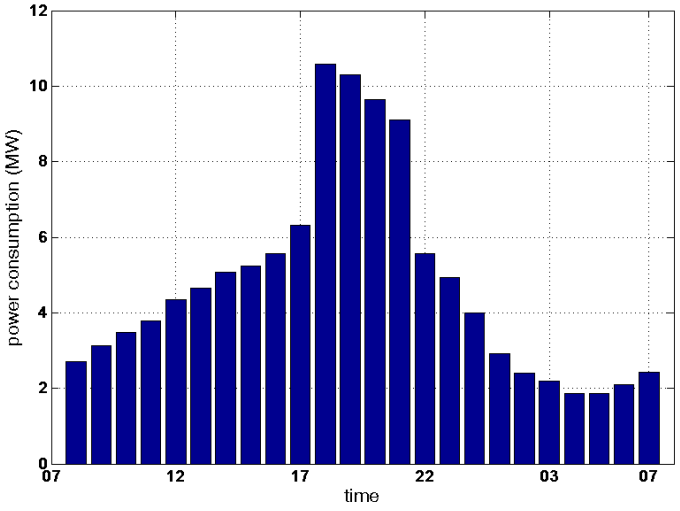
شکل (۴-۶) منحنی تقاضای کل سیستم با شارژ ناهماهنگ خودروها با نفوذ ٪۵۰



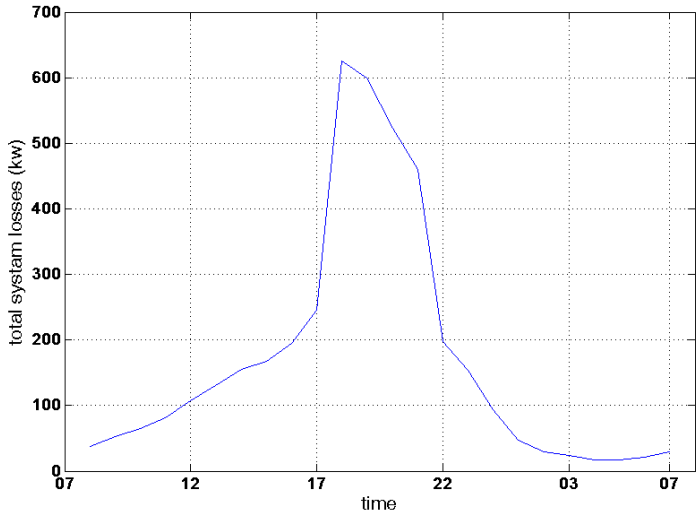
شکل (۴-۷) توان تلف شده در کل سیستم با شارژ ناهماهنگ ٪۵۰



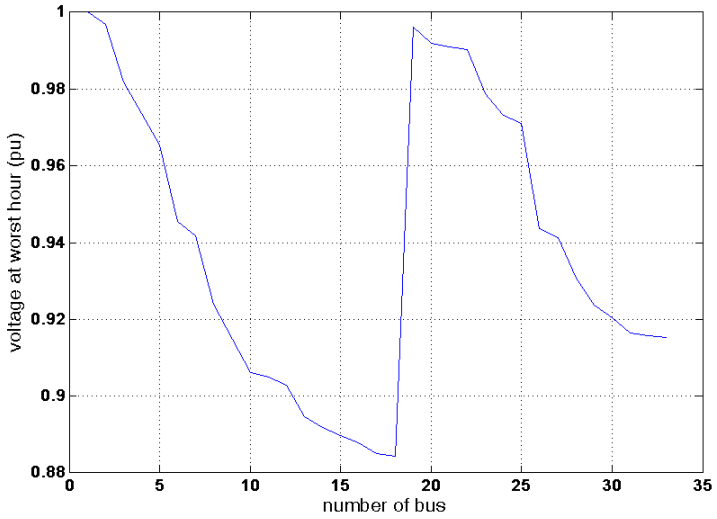
شکل (۴-۸) منحنی اندازه ولتاژ در ۳۳ باس در بدترین ساعت از نظر انحراف ولتاژ با شارژ ناهماهنگ ٪۵۰



شکل (۴-۹) منحنی تقاضای کل سیستم با شارژ ناهماهنگ خودروها با نفوذ ٪۳۵



شکل (۴-۱۰) توان تلف شده در کل سیستم با شارژ ناهماهنگ ۳۵٪



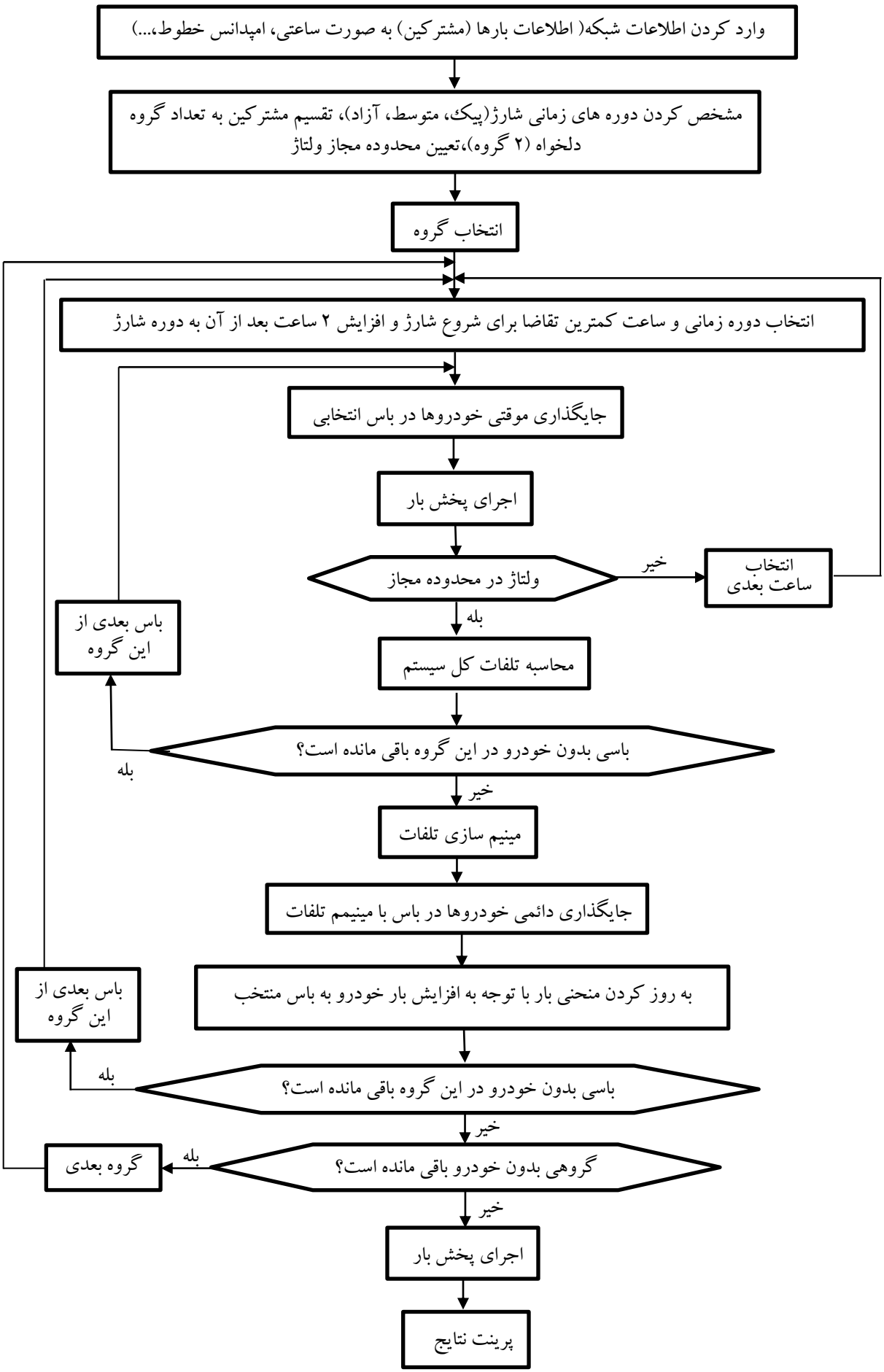
شکل (۴-۱۱) منحنی اندازه ولتاژ در ۳۳ باس در بدترین ساعت از نظر انحراف ولتاژ با شارژ ناهماهنگ ۳۵٪

۴-۳ شارژ هماهنگ شده

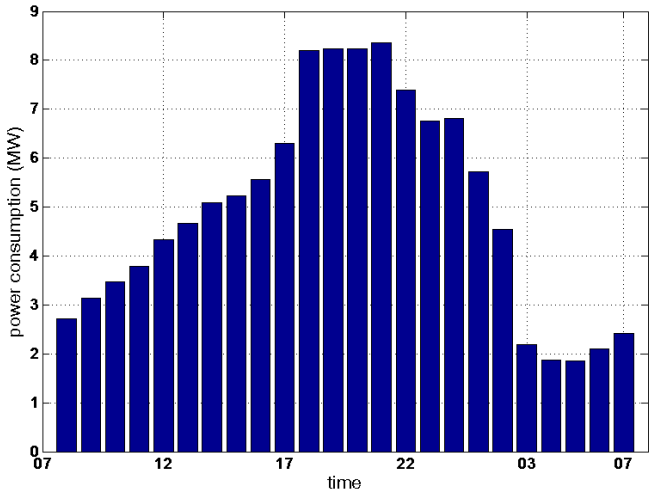
۴-۳-۱ سناریوی اول

همانطور که قبلا اشاره شد هدف از طراحی یک برنامه هماهنگ شده برای اتصال خودروها بـه شـبکه برق، کاهش تلفات در شبکه می‌باشد در کنار آن سعی در تسطیح منحنی بار خواهیم داشت به طوری که قید کنترل ولتاژ در محدوده مجاز رعایت شود.

در شکل ۵ فلوچارت کاملی از نحوه اجرای برنامه در نرم افزار مطلب ارائه شده است که به تشـریح آن پرداخته می‌شود. روش اجرای برنامه به نحوی است که برای هـر بـاس کـه دارای ۱۰۰ گره(مشـترک خانگی) می‌باشد ساعت شروع شارژ مشخص می‌شود. منظور از مشخص کـردن سـاعت شـروع شـارژ، زمانی است که در خروجی استاندارد کنتور در منازل برق وارد می شود و اجازه‌ی شارژ کردن خـودرو به آنها داده می‌شود. برای شارژ کامل یک خودرو نیاز به حدود ۳ ساعت زمان می‌باشد بنابراین ساعتی که به عنوان ساعت شارژ در یک باس مشخص می‌شود تا ۲ ساعت بعد نیز ادامه پیدا می‌کند. برنامه‌ای که در اینجا ارائه می‌شود به این ترتیب است که در ابتدا تعداد باس های سیستم یـا در واقـع تـرانس های توزیع را به دو گروه اختیاری تقسیم می‌کنیم. سپس متعهد می‌شویم هر گروه را در یکی از دوره-های زمانی پیک و یا متوسط شارژ کنیم، در ادامه به صورت ماهانه دوره زمانی اتصال هـر گـروه را بـا گروه دیگر تعویض می کنیم به این ترتیب تمام باس های سیستم در طول سال، با سـهم مسـاوی در دوره زمانی پیک شارژ می‌شوند. به عنوان مثال اگر در اینجا ما ۳۳ باس به عنوان باس‌های اصلی داریم که خانه‌ها زیر مجموعه این ۳۳ باس می‌باشند، این ۳۳ باس را به دو گروه ۱۶ باسه و ۱۷ باسه تقسیم می‌کنیم. سپس در ماه اول برای گروه ۱۶ باسه برای شارژ در دوره زمانی پیک برنامه ریزی می‌کنیم و گروه ۱۷ باسه را در دوره زمانی متوسط شارژ می‌کنیم. برای ماه بعد جای این دو گروه را عوض کـرده و گروه ۱۷ باسه را در دوره زمانی پیک شارژ می نماییم. به این ترتیب از نظر اتصال خودروها در زمان های مختلف تساوی را رعایت کرده‌ایم. پس قدم اول، گروه بندی باس‌های شبکه می‌باشد. در گام دوم، برای دوره زمانی پیک، ساعت کمترین تقاضا را انتخاب می‌کنیم (تسـطیح منحنـی بـار) و بـه میـزان درصد نفوذ خودرو در سیستم، تقاضا را در باس اول از گروه اول در ساعت انتخـاب شـده و دو سـاعت بعد از آن به صورت موقت افزایش داده و پخش بار را انجام می‌دهیم. پس از انجام پخش بار، اگر قید

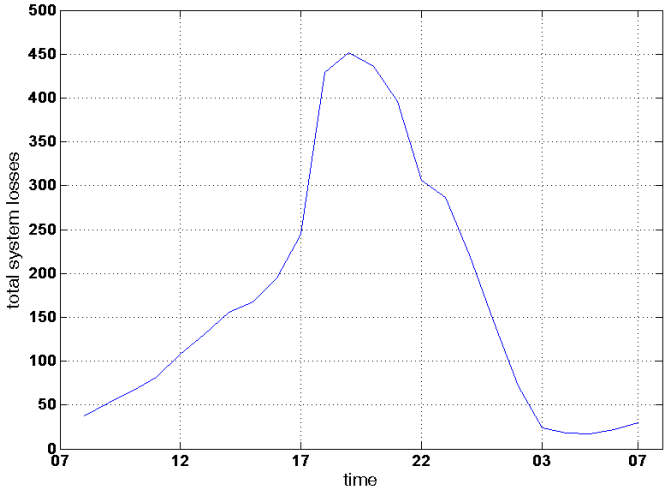

وارد کردن اطلاعات شبکه(اطلاعات بارها (مشترکین) به صورت ساعتی، امپدانس خطوط،...)
مشخص کردن دوره های زمانی شارژ(پیک، متوسط، آزاد)، تقسیم مشترکین به تعداد گروه دلخواه (۲ گروه)،تعیین محدوده مجاز ولتاژ
انتخاب گروه
انتخاب دوره زمانی و ساعت کمترین تقاضا برای شروع شارژ و افزایش ۲ ساعت بعد از آن به دوره شارژ
جایگذاری موقتی خودروها در باس انتخابی
اجرای پخش بار
ولتاژ در محدوده مجاز
خیر
انتخاب ساعت بعدی
بله
باس بعدی از این گروه
محاسبه تلفات کل سیستم
باسی بدون خودرو در این گروه باقی مانده است؟
بله
خیر
مینیم سازی تلفات
جایگذاری دائمی خودروها در باس با مینیمم تلفات
باس بعدی از این گروه
به روز کردن منحنی بار با توجه به افزایش بار خودرو به باس منتخب
بله
باسی بدون خودرو در این گروه باقی مانده است؟
خیر
گروه بعدی
بله
گروهی بدون خودرو باقی مانده است؟
خیر
اجرای پخش بار
پرینت نتایج

ولتاژ رعایت شده بود، تلفات را در سیستم جدید محاسبه می‌نماییم و خودروها را در باس بعـدی بـه همین نحو و به صورت موقت جایگزین می‌نماییم و دوباره پخش بار را برای ساعت های انتخاب شـده انجام می‌دهیم، ولی اگر قید ولتاژ رعایت نشده بود باید ساعت انتخابی برای شروع شارژ را در آن باس تغییر دهیم تا قید ولتاژ ارضا شود. به همین ترتیب ادامه می‌دهیم تا برای تمـام بـاس‌هـای گـروه اول پخش بار انجام شده و تلفات محاسبه شود. سپس در میان این تلفات مینیمم گیری کـرده و بـاس بـا کمترین تلفات را انتخاب می‌نماییم. با جایگذاری دائمی خودروها در ساعت های انتخـابی در بـاس بـا مینیمم تلفات، دوباره روند بالا را تکرار می کنیم تا خودروها در تمـام باسـهای گـروه اول جایگـذاری دائمی شوند. در مرحله بعد دوباره همه این کارها را برای گروه دوم و دوره زمـانی بـار متوسـط انجـام می‌دهیم. در انتها با انجام پخش بار برای ۲۴ ساعت، می‌توانیم پروفایل ولتاژ و تلفـات کـل سیسـتم را مشاهده کنیم همچنین تاثیر مثبتی که در تسطیح منحنی بار گذاشته می‌شود. نتـایج تسـت بـر روی سیستم ۳۳ باسه در زیر نمایش داده می‌شود.



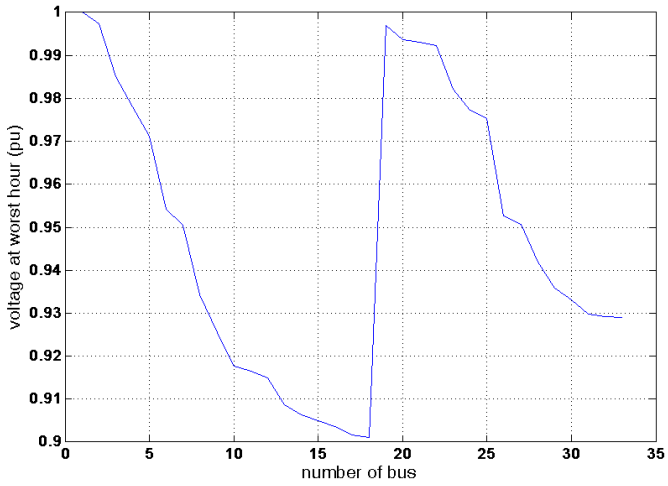
شکل (۴-۱۲) منحنی تقاضای کل سیستم با شارژ هماهنگ خودروها در نفوذ ۵۰٪

مشاهده می شود منحنی از حالت پیک شدید خارج شده و در واقع هموارتر گشته است. پیـک بـار در حدود ۸ مگاوات ثابت مانده است که این نکته باعث استفاده بهینه از امکانات شبکه می شود و نیـازی به نصب نیروگاه‌های جدید نیست.



شکل (۴-۱۳) توان تلف شده در کل سیستم با شارژ هماهنگ در نفوذ ۵۰٪

مجموع توان تلف شده در کل خطوط سیستم در شکل بالا مشاهده می شـود. تلفـات در حـدود ۴۵۰ کیلو وات حفظ شده است. با محاسبه سطح زیر منحنی تلفات کل برابر با ۴۰۹۱ کیلو وات می شود.



شکل (۴-۱۴) منحنی اندازه ولتاژ در ۳۳ باس در بدترین ساعت از نظر انحراف ولتاژ با شارژ هماهنگ در نفوذ ۵۰٪

قدر مطلق ولتاژ یا در واقع اندازه ولتاژ را در تمام باس های سیستم در ساعت ۱۸ که بدترین ساعت از نظر کاهش اندازه ولتاژ میباشد مشاهده می‌کنید.

ترتیب حضور خودروهای الکتریکی در باس های مختلف و همچنین ساعت شروع شـارژ آنهـا در نفـوذ ۵۰٪ به صورت زیر می باشد:

۲۴ ۲۲ ۲۳ ۲۱ ۲۰ ۱۹ ۱۶ ۱۵ ۱۴ ۱۳ ۱۲ ۱۱ ۱۰ ۹ ۸ ۷ ۶ ۵ ۴ ۳ ۲

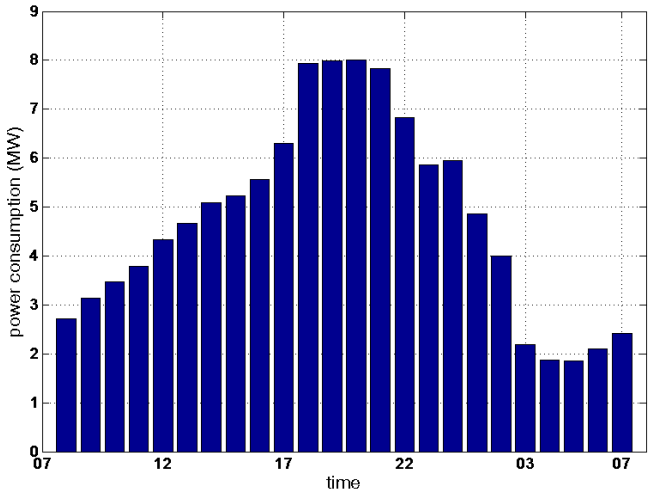
۱۸ ۱۷ ۳۳ ۳۲ ۳۱ ۳۰ ۲۹ ۲۸ ۲۷ ۲۶ ۲۵

ساعت شروع شارژ به ترتیب حضور باس ها

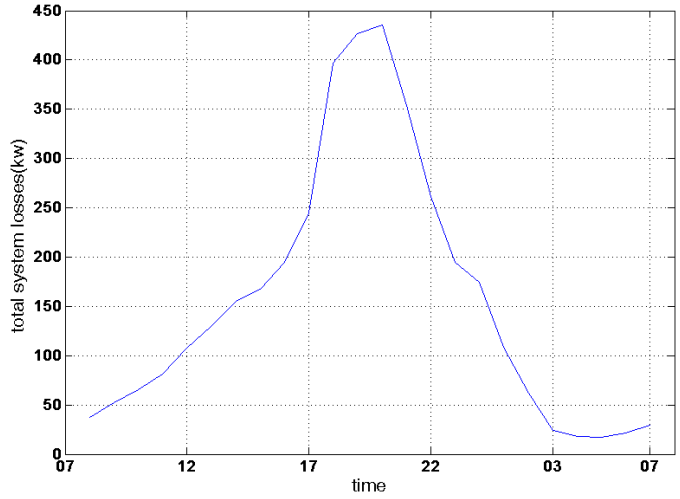
۲۴ ۲۴ ۲۴ ۲۱ ۲۱ ۱۸ ۲۱ ۱۸ ۱۸ ۱۹ ۱۹ ۲۰ ۲۰ ۲۰ ۲۰ ۲۱ ۲۱ ۲۱

۲۳ ۲۳ ۲۳ ۲۳ ۲۴ ۲۴ ۲۴ ۲۴ ۲۴ ۲۴ ۲۴ ۲۴ ۲۴ ۲۴ ۲۴

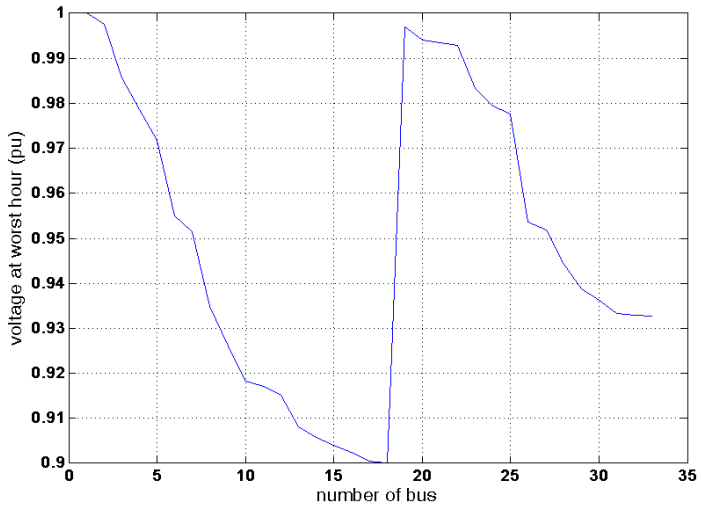
به عنوان مثال مشخص می شود خودروها در باس ۲ در ساعت ۲۱ و یا باس ۱۱ در ساعت ۱۸ شـروع به شارژ می کنند.



شکل (۴-۱۵) منحنی تقاضای کل سیستم با شارژ هماهنگ خودروها در نفوذ ۳۵٪



شکل (۴-۱۶) توان تلف شده در کل سیستم با شارژ هماهنگ در نفوذ۳۵٪



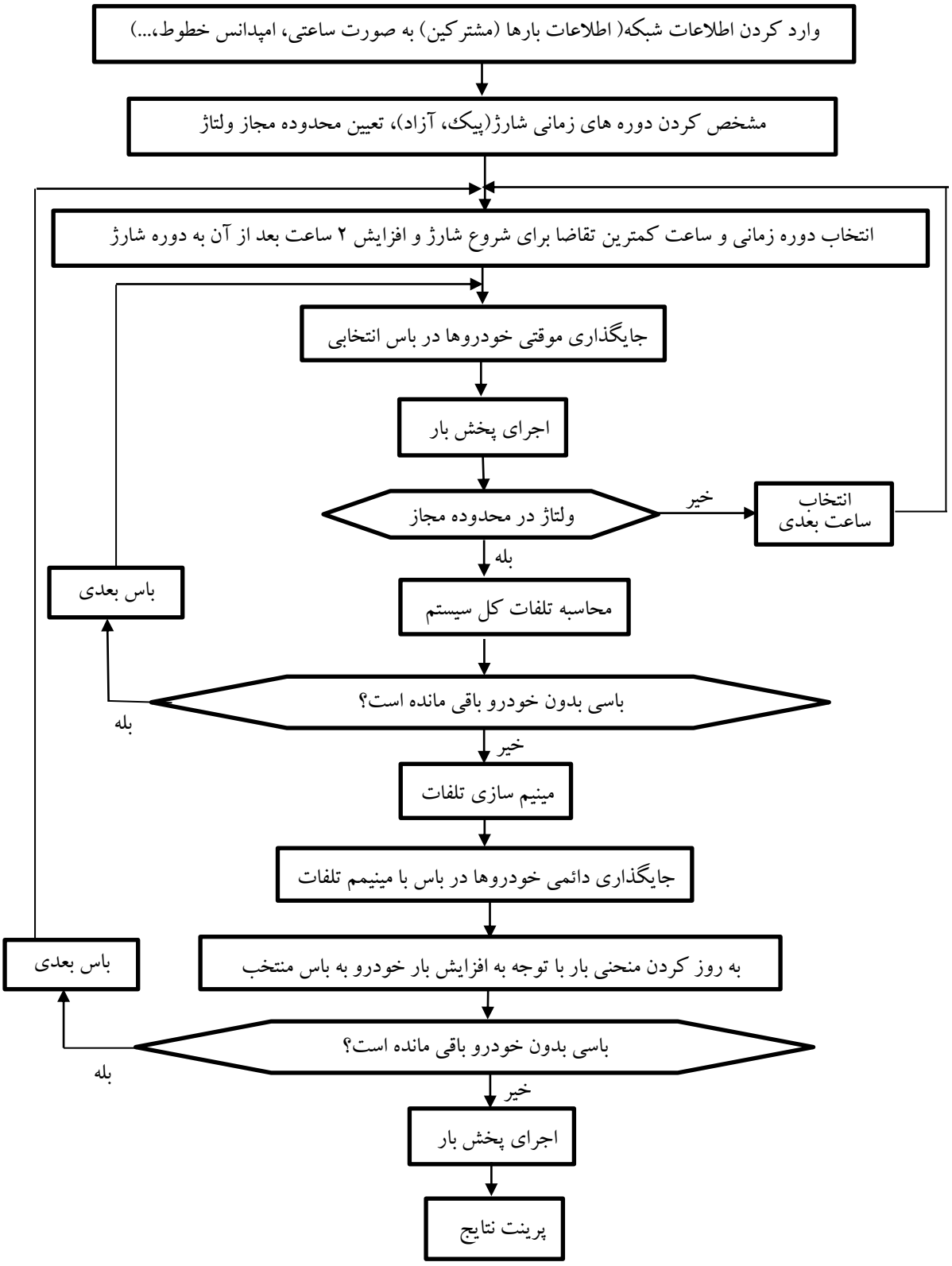
شکل (۴-۱۷) منحنی اندازه ولتاژ در ۳۳ باس در بدترین ساعت از نظر انحراف ولتاژ با شارژ هماهنگ در نفوذ ۳۵٪

نتایج مربوط به نفوذ ۲۱٪ تقریبا مشابه نتایج نفوذ ۳۵٪ و ۵۰٪ می‌باشد بنابراین از تکرار آن پرهیز می‌کنیم.

۴-۳-۲ سناریوی دوم:

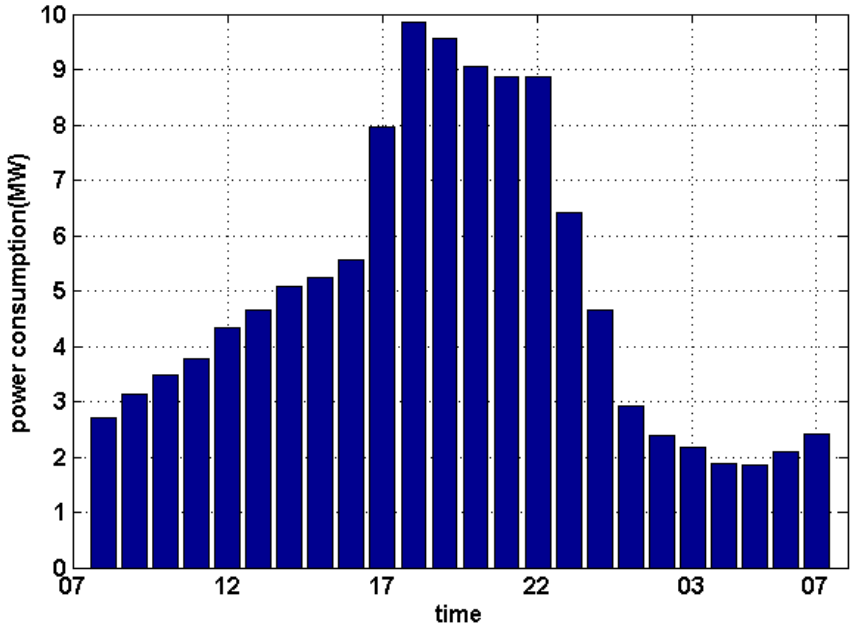
همانطور که در بخش گذشته اشاره شد این سناریو همانند سناریوی اول می باشد با این تفاوت که در این سناریو یک دوره زمانی شارژ برنامه ریزی می‌شود. این دوره زمانی در محدوده ساعت های ۱۷ تا

۲۲ یعنی به مدت ۶ ساعت می باشد. همین طور تمام مشترکین به صورت یک گـروه در نظـر گرفتـه می شوند. بقیه فرضیات مانند فرضیاتی است که در سناریوی اول در نظر گرفته شـده اسـت. بنـابراین فلوچارت برنامه به صورت زیر می باشد.



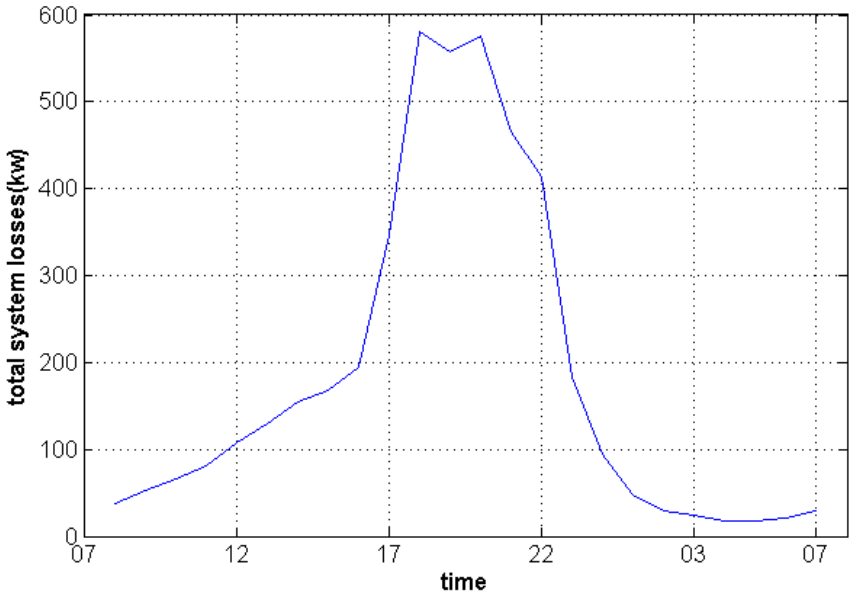
همانند سناریوی قبل، برای هر باس که دارای ۱۰۰ گره(مشترک خانگی) می‌باشد ساعت شروع شارژ مشخص می‌شود. منظور از مشخص کردن ساعت شروع شارژ، زمانی است که خروجی استاندارد کنتور در منازل برق دار می شود و اجازه‌ی شارژ کردن خودرو به آنها داده می‌شود. برای شارژ کامل یک خودرو نیاز به حدود ۳ ساعت زمان می‌باشد بنابراین ساعتی که به عنوان ساعت شارژ در یک باس مشخص می‌شود تا ۲ ساعت بعد نیز ادامه پیدا می‌کند. برنامه‌ای که در اینجا ارائه می‌شود به این ترتیب است که برای دوره زمانی شارژ، ساعت کمترین تقاضا را انتخاب می‌کنیم (تسطیح منحنی بار) و به میزان درصد نفوذ خودرو در سیستم، تقاضا را در باس اول در ساعت انتخاب شده و دو ساعت بعد از آن به صورت موقت افزایش داده و پخش بار را انجام می‌دهیم. پس از انجام پخش بار، اگر قید ولتاژ رعایت شده بود، تلفات را در سیستم جدید محاسبه می‌نماییم و خودروها را در باس بعدی به همین نحو و به صورت موقت جایگزین می‌نماییم و دوباره پخش بار را برای ساعت های انتخاب شده انجام می‌دهیم، ولی اگر قید ولتاژ رعایت نشده بود باید ساعت انتخابی برای شروع شارژ را در آن باس تغییر دهیم تا قید ولتاژ ارضا شود. به همین ترتیب ادامه می‌دهیم تا برای تمام باس‌ها پخش بار انجام شده و تلفات محاسبه شود. سپس در میان این تلفات مینیمم گیری کرده و باس با کمترین تلفات را انتخاب می‌نماییم. با جایگذاری دائمی خودروها در ساعت های انتخابی در باس با مینیمم تلفات، دوباره روند بالا را تکرار می کنیم تا خودروها در تمام باسها جایگذاری دائمی شوند. در انتها با انجام پخش بار برای ۲۴ ساعت، می‌توانیم پروفایل ولتاژ و تلفات کل سیستم را مشاهده کنیم همچنین تاثیر مثبتی که در تسطیح منحنی بار گذاشته می‌شود.

این سناریو را نیز مانند سناریوی گذشته در سه درصد نفوذ ۲۱٪ و ۳۵٪ و ۵۰٪ شبیه سازی میکنیم که نتایج به صورت زیر است.

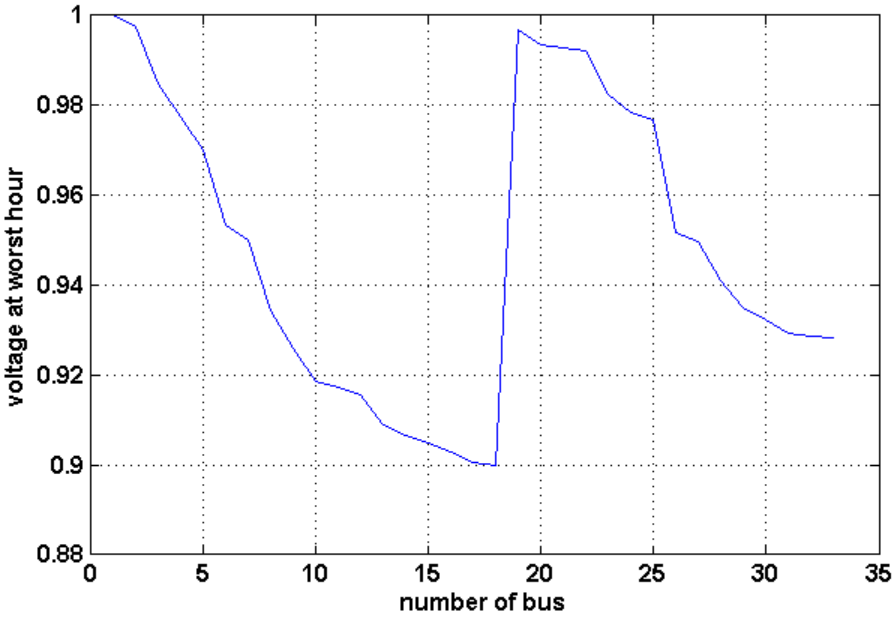


شکل (۱۸-۴) منحنی تقاضای کل سیستم با شارژ هماهنگ خودروها در نفوذ ۵۰٪

همانطور که مشاهده می‌شود منحنی تقاضا نسبت به حالت پیک سوزنی در حالت عدم هماهنگی بسیار بهتر شده و هموارتر شده است.

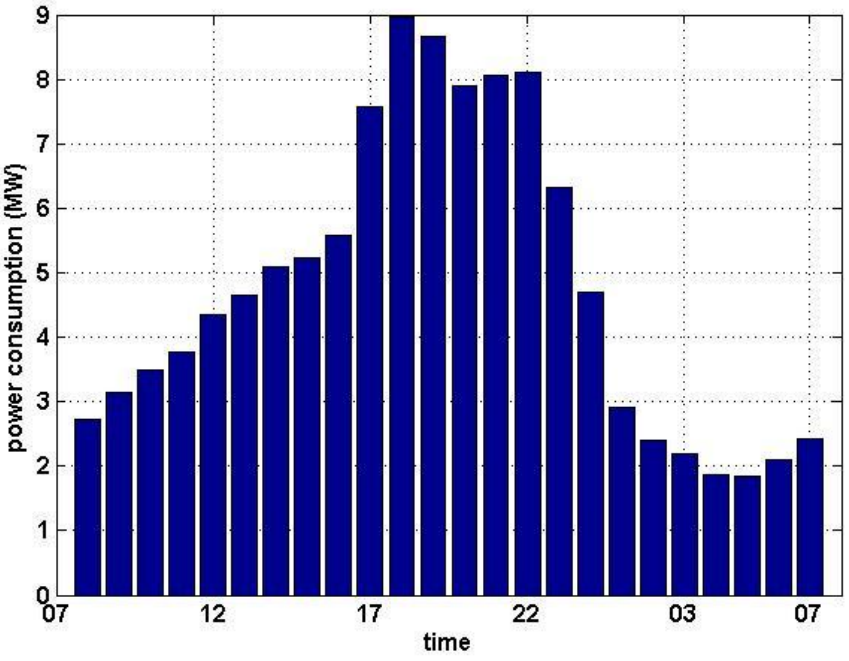


شکل (۱۹-۴) توان تلف شده در کل سیستم با شارژ هماهنگ در نفوذ۵۰٪

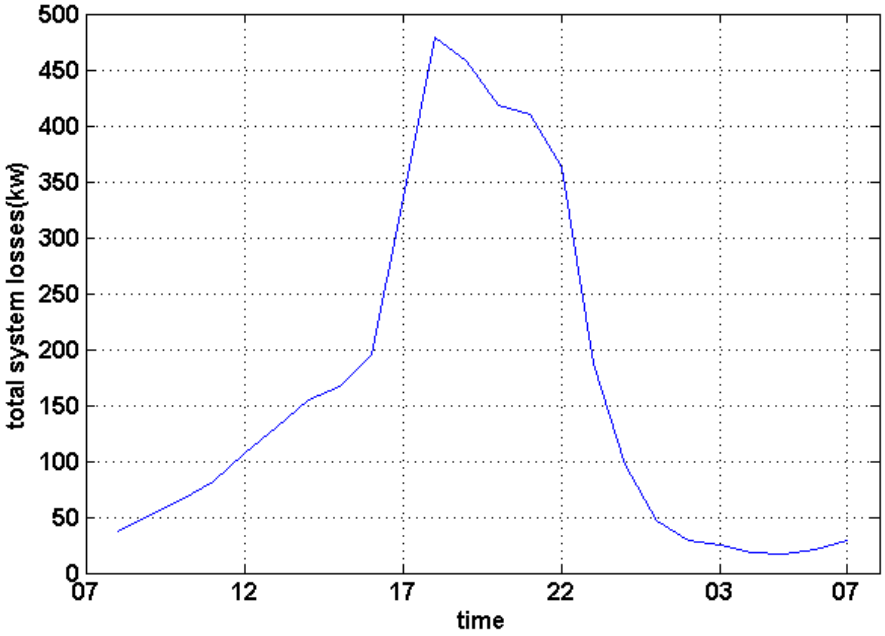


شکل (۲۰-۴) منحنی اندازه ولتاژ در ۳۳ باس در بدترین ساعت از نظر انحراف ولتاژ با شارژ هماهنگ در نفوذ ۵۰٪

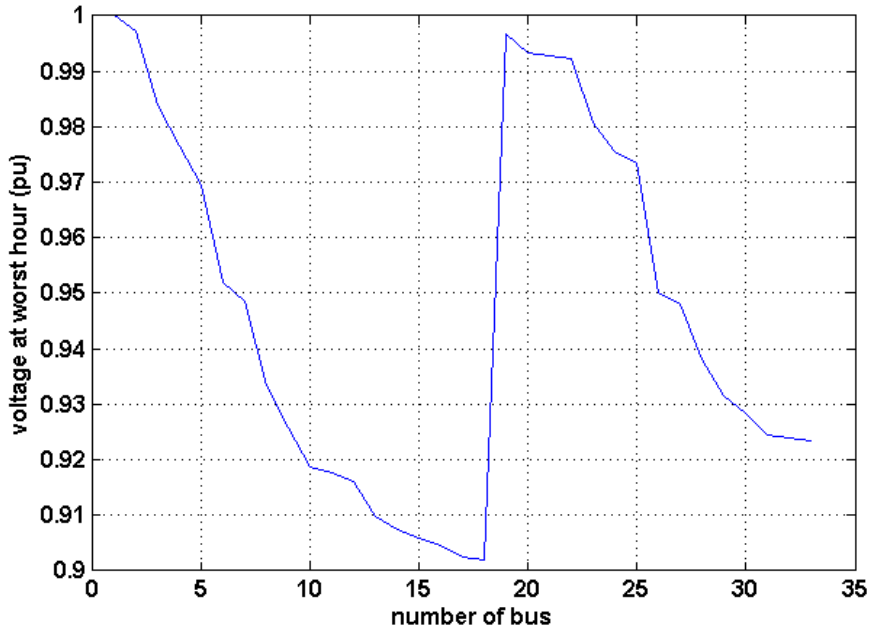
مشاهده می شود در بدترین ساعت از نظر انحراف ولتاژ یعنی ساعت پیک بار شبکه (ساعت ۱۸) ،ولتاژ در مرز تعیین شده متوقف می شود.



شکل (۲۱-۴) منحنی تقاضای کل سیستم با شارژ هماهنگ خودروها در نفوذ ۳۵٪



شکل (۲۲-۴) توان تلف شده در کل سیستم با شارژ هماهنگ در نفوذ ۳۵٪



شکل (۲۳-۴) منحنی اندازه ولتاژ در ۳۳ باس در بدترین ساعت از نظر انحراف ولتاژ با شارژ هماهنگ در نفوذ ۳۵٪

برای داشتن مقایسه بهتر بین حالت عدم هماهنگی و حالت برنامه ریزی شده، به جزئیات بیشـتری از آنها در جدول‌های (۳-۴) و (۴-۴) پرداخته شده است.

جدول (۳-۴) مقایسه بین سناریوهای مختلف

پارامترها	شارژ هماهنگ نشده			سناریوی دوم			سناریوی اول		
درصد نفوذ خودروها	21%	35%	50%	21%	35%	50%	21%	35%	50%
پیک بار (MW)	9.5	10.7	12	8.4	9	9.9	7.7	8	8.3
مینیمم ولتاژ (pu)	0.895	0.883	0.87	0.903	0.901	0.9	0.912	0.9	0.902
تلفات در کل سیستم (kwh)	3635	4076	4629	3557	3924	4396	3453	3760	4091
نسبت توان تلف شده به کل توان مصرفی	3.31%	3.56%	3.88%	3.25%	3.45%	3.65%	3.15%	3.29%	3.43%

جدول (۴-۴) مقایسه بین حالت هماهنگ، ناهماهنگ و عدم حضور خودروها

پارامترها	بدون خودرو	شارژ هماهنگ نشده			شارژ هماهنگ (سناریوی اول)		
درصد نفوذ خودروها	۰٪	21%	35%	50%	21%	35%	50%
پیک بار (MW)	7.7	9.5	10.7	12	7.7	8	8.3
مینیمم ولتاژ (pu)	0.915	0.895	0.883	0.87	0.912	0.9	0.902
تلفات در کل سیستم (kwh)	3100	3635	4076	4629	3453	3760	4091
نسبت توان تلف شده به کل توان مصرفی	3.02%	3.31%	3.56%	3.88%	3.15%	3.29%	3.43%

همانطور که مشاهده می شود تاثیر نفوذ خودروهای الکتریکی در شبکه توزیع در ۳ حالت مختلف عدم هماهنگی، سناریوی اول و سناریوی دوم در ۳ درصد نفوذ مختلف (۲۱٪ ، ۳۵٪ و ۵۰٪) بررسی شد. در حالت عدم هماهنگی پیک شبکه تا ۱۲ مگاوات افزایش می یابد که باعث تحمیل هزینه های زیادی به سیستم برای ارتقاء سیستم های تولید، انتقال و توزیع در زمینه های مختلف افزایش نیروگاه، خطوط انتقال، ترانسفورماتورهای توزیع و ... می‌شود. این مسئله در حالت واقعی نیز امری بدیهی است زیرا زمانی که مالکان خودروها در پایان روز کاری به منزل می‌آیند برای استفاده از

خودروی الکتریکی برای تفریح شبانه یا انجام کارهای شبانه خود و یا اطمینان داشتن از شارژ خـودرو برای روز بعد خودروی الکتریکی‌اشان را به سیستم متصل می‌کنند که نتیجه آن امـری اسـت کـه در نتایج در زمینه افزایش بار پیک ملاحظه می شود. بنابراین نیاز است تا کنترلـی بـر روی ایـن مسـئله ایجاد شود که دو نوع سناریوی مطرح شده در زمینه اتصال هماهنـگ ایـن خودروهـا مطـرح شـد. در سناریوی دوم که زمان شارژ تمام مشترکین را در یک دوره زمانی برنامه ریزی می کند، مقدار پیک تا حد ۹.۹ مگا وات کاهش می یابد که این برنامه ریزی نسبت به حالت عدم هماهنگی تاثیر مطلـوبی را بر روی سیستم گذاشته است. در نهایت در سناریوی اول مقدار پیک تا میزان ۸.۳ کاهش می یابد. این مقدار چیزی در حدود مقدار بار پیک در حالت عدم حضور خودروها می باشد که باعث کاهش هزینـه های ارتقاء سیستم در حالت حضور خودروهای الکتریکی می‌شود.

در حالت عدم حضور خودروهای الکتریکی پایین ترین حد ولتاژ به مقدار ۰.۹۱۵ پریونیت می رسد که در سیستم توزیع مقداری مناسب و قابل قبول می باشد. این مقدار در حالت شارژ ناهماهنگ به ۰.۸۷ پریونیت می رسد. این میزان از افت ولتاژ در یک سیستم توزیع مناسب نیسـت و مـی توانـد تـاثیرات نامطلوبی بر روی سیستم بگذارد. در حالت افـزایش بـیش از ایـن مقـدار از خودروهـای الکتریکـی در سیستم و یا حتی بیشتر شدن ظرفیت باتری خودروهای الکتریکی یا افزایش سرعت شارژرها و... مـی-تواند سیستم را تا مرز ناپایداری ولتاژ و در نتیجه فروپاشی شبکه بکشاند. برای کنترل این افـت ولتـاژ باید سعی در کنترل پیک بار داشته باشیم. در سناریوی دوم مقدار افت ولتـاژ بـر روی حـدی کـه در حین برنامه ریزی به عنوان مقدار استاندارد (بازه ۰.۹ تا ۱.۱ پریونیت) تعیین شده است متوقـف مـی-شود. این مسئله در سناریوی اول نیز رعایت شده است. بنابراین هر دوی این سناریوها در ایـن زمینـه نیز موفق عمل کرده اند.

در نهایت موضوع کاهش تلفات در این سناریوها باید بررسی شود که هدف اصلی برنامه ریزی در اینجا می باشد. با افزایش جریان سیستم در ساعات پیک، تلفات نیز به صورت تصـاعدی افـزایش مـی‌یابـد،

بنابراین اولین نکته در کاهش تلفات، هموار سازی منحنی بار و کاهش اتصال خودروهای الکتریکی در ساعات پیک شبکه در حد امکان می باشد تا از جریان‌های زیاد و درنتیجه افزایش تلفات در سیستم جلوگیری به عمل آید. مشاهده می شود در حالت عدم حضور خودروهای الکتریکی در سیستم، تلفات در حدود ۳.۰۲٪ توان تولید شبکه یعنی ۳۱۰۰ کیلو وات ساعت می باشد. این مقدار در حالت حضور خودروهای الکتریکی در سیستم در نفوذ ۵۰٪ خودروها به ۳.۸۸٪ می رسد که افزایش تلفاتی به میزان ۰.۸۶٪ نشان می دهد. در سناریوی دوم، این مقدار به ۳.۶۴٪ تقلیل و در سناریوی اول تا ۳.۴۳٪ کاهش می یابد. مشاهده می شود در سناریوی اول نسبت به حالت عدم هماهنگی ۰.۴۵٪ و نسبت به سناریوی دوم ۰.۲۲٪ تلفات بهبود می یابد. این بهبود تلفات در مرحله اول حاصل از کاهش پیک بار شبکه می باشد. در مرحله بعد، می توان گفت این بهبود تلفات، حاصل از تنظیم ساعت اتصال خودروهای الکتریکی به سیستم توزیع و بار شبکه در باس‌های مختلف می باشد.

در پایان باید اشاره کرد که تلفاتی که در اینجا محاسبه می شود مربوط به سیستم توزیع می‌باشد اما قسمت دیگری از تلفات در سیستم تولید رخ می دهد که با افزایش بار در ساعات پیک، افزایش تلفات در سیستم تولید نیز به صورت تصاعدی افزایش می یابد که ذکر جزئیات و محاسبات آن، می تواند در کاری جداگانه بررسی شود.

فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهادات

در این پایان نامه، در ابتدا توضیحاتی در مورد شناخت بیشتر خودروهای الکتریکی، هیبریدی و ... ارائه شد. با توجه به توضیحات ارائه شده به این نتیجه رسیدیم که با توجه به محاسن این خودروها باید به سمت استفاده از خودروهای الکتریکی بیش از گذشته پیش برویم. مشخصات و ورودی‌های لازم از جمله سیستم آزمون، فرضیات و مدل سازی‌ها برای سیستم تشریح شد. بنابراین مسئله اتصال خودورهای الکتریکی به سیستم توزیع و جنبه‌های مختلف مزایا و معایب آن بررسی شد. نشان داده شد که با افزایش نفوذ خودروهای الکتریکی در سیستم و اتصال آنها زمانی که با دوره پیک بار همپوشانی دارد باعث تاثیرات مخرب در شبکه می‌شود و عدم هماهنگی اتصال خودروها به شبکه در کنار محاسنی که خودروها به صورت کلی دارند، باعث تحمیل هزینه‌های زیادی از جمله نیاز به ارتقاء تجهیزات شبکه برق، افزایش تلفات، کاهش کیفیت توان و حتی فروپاشی شبکه می‌شود. برای کاهش این هزینه‌ها و در واقع بهینه کردن استفاده از خودروهای الکتریکی در شبکه امروزی، چندین راهکار برای ایجاد هماهنگی و برنامه‌ریزی برای اتصال خودروها به سیستم توزیع بیان شد. برای اجرای این راهکارها نیاز به زیرساخت‌های لازم تحت عنوان شبکه هوشمند، شامل سیستم هماهنگ کننده، کنتورهای هوشمند و ... می‌باشد که توضیح لازم ارائه شد. هر کدام از این سناریوها، دارای مزایا و معایب مختلفی می‌باشند که بیان گردید تا راهکار مناسب با توجه به نیاز شبکه انتخاب گردد.

در ادامه دو سناریو از سناریوهای مطرح شده بر روی سیستم آزمون در نرم افزار مطلب شبیه سازی شد.

در سناریوی اول مشاهده شد این برنامه با رسیدن به اهدافش یعنی کاهش تلفات و تسطیح منحنی بار به منظور استفاده بهینه از امکانات شبکه برق و همچنین حفاظت سیستم از فروپاشی توانست به بهترین نحو، مشترکین را نیز پاسخگویی کند. همچنین تساوی بین تمام مشترکین نقاط مختلف سیستم برقرار می‌شود.

در سناریوی دوم که از سادگی بیشتری نسبت به سناریوی اول برخوردار است قیود لازم ارضا شده است اما کاهش تلفات نسبت به سناریوی اول کمتر است، بنابراین سناریوی اول در اولویت اجراست.

در ادامه همانطور که در نتایج ملاحظه می‌شود هر چقدر مقدار بار و درصد نفوذ خودروها در سیستم افزایش پیدا می‌کند درصد کاهش تلفات در اتصال هماهنگ بیشتر مشاهده می‌شود تا مرحله ای که در نفوذ ٪۵۰ خودروها ٪۰.۴۵ در تلفات کاهش داده می‌شود و مقدار پیک بار تقریبا ثابت باقی می‌ماند با این شرط که ولتاژ نیز در محدوده مجاز حفظ می‌شود و البته همه مشترکین در اسرع وقت پاسخ داده می‌شوند.

در نهایت به طرح هایی که می تواند در آینده، در ادامه‌ی این کار پرداخته شود اشاره می‌شود.

در ادامه‌ی همین پایان نامه می توان مساله V2G یا بازگشت انرژی از خودروها به سیستم را در حین این برنامه ریزی بررسی نمود که می توان از آن به عنوان یک برنامه تشویقی در جهت کاهش بار بقیه خودروها استفاده نمود.

از جمله زمینه های دیگر فعالیت در آینده، تحقیق بر روی جنبه‌های مختلف هارمونیکی و کیفیت توان در شبکه توزیع در زمان استفاده گسترده از خودروهای الکتریکی در سیستم می‌باشد که قطعا با اتصال حجم گسترده ای از شارژرهای با قدرت و سرعت شارژ بالا، مساله‌ای قابل پیگیری و مهم می-باشد.

مسئله دیگری را که باید در کارهای آینده بررسی شود اثر حضور گسترده خودروهای الکتریکی بر روی سیستم تولید و انتقال می باشد و در ادامه‌ی آن؛ طراحی اتصال هماهنگ خودروهای الکتریکی به سیستم توزیع با در نظر گرفتن اثرات خودروهای الکتریکی بر روی سیستم های تولید و انتقال.

مراجع

[1] M.Anderman, "The challenge to fulfil electrical power requirements of advanced vehicles," journal of Power Sources, vol. 127, issues 1–2, pp. 2–7, Mar. 2004.

[2] A.S. Masoum , S. Deilami ,P.S. Moses , M.A.S., Masoum , A. Abu-Siada "Smart load management of plug-in electric vehicles in distribution and residential networks with charging stations for peak shaving and loss minimization considering voltage regulation" IET Gener. Transm. Distrib., 2011, Vol. 5, Iss. 8, pp. 877–888

[3] K. Clement, E. Haesen, and J. Driesen, "Coordinated charging of multiple plug-in hybrid electric vehicles in residential distribution grids," in Proc. Power Syst. Conf. Expo., 2009, pp. 1–7.

[4] K. Clement-Nyns, E. Haesen, and J. Driesen, "The impact of charging plug-in hybrid electric vehicles on a residential distribution grid," IEEE Trans. Power Syst., vol. 25, no. 1, pp. 371–380, 2010.

[5] Eric Sortomme, Mohammad M. Hindi, S. D. James MacPherson, and S. S. Venkata "Coordinated Charging of Plug-In Hybrid Electric Vehicles to Minimize Distribution System Losses" IEEE TRANSACTIONS ON SMART GRID, VOL. 2, NO. 1, MARCH 2012

[6] Liam Kelly " Probabilistic Modelling of Plug-in Hybrid Electric Vehicle Impacts on Distribution Networks in British Columbia" B.A.Sc, University of Waterloo, 2005

[7] H. E. Brown and S. Suryanarayanan. A survey seeking a definition of a smart distribution system. North American Power Symposium'09, pages 1–7, 2009

[8]M. Chertkov, F. Pan, and M. G. Stepanov. Predicting failures in power grids: The case of static overloads. IEEE Trans. Smart Grid, 2(1):162– 172, 2013.

[9] R. Hassan and G. Radman. Survey on smart grid. IEEE SoutheastCon 2010, pages 210–213, 2013.

[10] A. Molderink, V. Bakker, M. G. C. Bosman, J. L. Hurink, and G. J. M. Smit. Management and control of domestic smart grid technology. IEEE Trans. Smart Grid, 1(2):109–119, 2010.

[11] T. Takuno, M. Koyama, and T. Hikihara. In-home power distribution systems by circuit switching and power packet dispatching. IEEE SmartGridComm'10, pages 427–430, 2010.

[12] http://fa.wikipedia.org

[13] http://www.imdc.ir

[14] http://www.asrekhodro.com

[15] William F. 1998, "Development and Validation of a Modular Hybrid Electric Vehicle Simulation Model" College of Engineering and Mineral Resources of West Virginia University Department of Mechanical and Aerospace Engineering organtown

[16] Hemmingsson M. 1999 "A Power Control Strategy to Minimize Energy Losses in Hybrid Electric Vehicles" ; Department of Industrial Electrical Engineering and Automation Lund Institute of Technology, Lund University

[17] Kempton W. and Kubo Toru., "Electric-drive vehicles for peak power in Japan," Energy Policy, vol.28, no.1, Jan. 2000, pp. 9-18.

[18] Yu Liu ;Qiushuo Li ; Shun Tao ; Xiangning Xiao "Coordinated EV charging and its application in distribution networks" Technological Advances in Electrical, Electronics and Computer Engineering (TAEECE), pp. 600 – 604; 2013

[19] M. Biserica , B. Berseneff , Y. Besanger and C. Kieny "Upgraded coordinated voltage control for distribution systems", PowerTech, Trondheim, pp.1 -6 2011

[20] M. Fila , G. A. Taylor , J. Hiscock , M. R. Irving and P. Lang "Flexible voltage control to support distributed generation in distribution networks", Proc. 43rd Int. Universities Power Eng. Conf. (UPEC 2008), pp.1 -5

[21] Mohamed E. Elkhatib, Ramadan El-Shatshat, Magdy M. A. Salama ; "Novel Coordinated Voltage Control for Smart Distribution Networks With DG " IEEE TRANSACTIONS ON SMART GRID, VOL. 2, NO. 4, DECEMBER 2011

[22] Mesut E. Baran, Member, IEEE, and Ismail M. El-Markabi "A Multiagent-Based Dispatching Scheme for Distributed Generators for Voltage Support on Distribution Feeders" IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, VOL. 22, NO. 1, FEBRUARY 2007

[23] Letendre S.and Kempton W., "The V2G concept: A new model for power?",Public Utilities Fortnightly, vol.140,no.4, Feb. 2002,pp.16-26.

[24] Tu yiyun, Li Can, Cheng Lin , Le Lin , "Research on Vehicle-to-grid Technology", 2011 International Conference on Computer Distributed Control and Intelligent Environmental Monitoring, pp.1013-1016

[25] W. Kempton, S. Letendre, "Electric vehicles as a new power source for electric utilities", Elsevier science ,vol.2,no.3, 1997,pp.157–175.

[26] Kempton W. and Kubo Toru., "Electric-drive vehicles for peak power in Japan," Energy Policy, vol.28, no.1, Jan. 2000, pp. 9-18.

[27] Kempton W. and Tomic J., "Vehicle to grid implementation: from stabilizing the grid to supporting large-scale renewable energy," Journal of Power Sources, vol. 144, no.1, Jun. 2005,pp.280-294

[28] Zhiyu "Nick" Duan, "Comparison of Vehicle-to-Grid versus Other Grid Support Technologies" A Master's Project submitted in partial fulfillment of the requirements for the Master of Environmental Management degree in the Nicholas School of the Environment of Duke University.

[29] Sekyung Han, Soo Hee Han, Kaoru Sezaki, " Design of an Optimal Aggregator for Vehicle to Grid Regulation Service" 978-4244-6266-7/10, 2010 IEEE

[30] Moses1 M., Abungu N., Mwangi J. , " Reducing Real and Reactive Power Losses in the Power Distribution System by DFIG Placement and Sizing Using Ordinary PSO and HGAPSO" INTERNATIONAL JOURNAL OF EMERGING TECHNOLOGY AND ADVANCD ENGINEERING , ISSN 2250-2459 , VOLUME 2 , ISSUE 11, 2012

[31] M. S. Srinivas, " Distribution Load Flow : A Brief Review ",IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, pp. 942 – 945, 2000.

[32] D. Shirmohammadi, H. W. Hong, A. Semlyen, G. X. Luo, " A Compensation-Based Power Flow Method for Weakly Meshed Distribution and Transmission Network ", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 3, No. 2, pp. 753-762, 1988.

[33] Javier Gallardo-Lozano*, M. Isabel Milanés-Montero,Miguel A. Guerrero-Martínez, Enrique Romero-Cadaval, "Electric vehicle battery charger for smart grids" Electric Power Systems Research 90 (2012)

[34] X. Zhou, S. Lukic, S. Bhattacharya, A. Huang, "Design and control of grid-connected converter in bi-directional battery charger for plug-in hybrid electric vehicle" application, in: Proc. IEEE Vehicle Power and Propulsion Conf. VPPC'09, 2009, pp. 1716–1721.

[35] X. Zhou, G. Wang, S. Lukic, S. Bhattacharya, A. Huang, Multi-function bi-directional battery charger for plug-in hybrid electric vehicle application, in: Proc. IEEE Energy Conversion Congress and Exposition ECCE 2009, 2009, pp. 3930–3936.

[36] Deilami S. Masoum A., Moses P., Masoum M.; "Real-Time Coordination of Plug-In Electric Vehicle Charging in Smart Grids to Minimize Power Losses and Improve Voltage Profile" IEEE TRANSACTIONS ON SMART GRID, VOL. 2, NO. 3, SEPTEMBER 2011

[37] Y. Ota, H. Taniguchi, T. Nakajima, K. M. Liyanage, J. Baba, Member, IEEE, and A. Yokoyama, "Autonomous Distributed V2G (Vehicle-to-Grid) considering Charging Request and Battery Condition" Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe, P .1-6 , 2010 IEEE PES

[38] K. M. Liyanage, A. Yokoyama, Y. Ota, H. Taniguchi, and T. Nakajima, "Coordinated Control of Elements in Ubiquitous Power Networks to Support Load Frequency Control", in Proc. 2009 International Conference on Industrial and Information Systems (ICIIS).

[39] A. Hajimiragha, C. A. Cañizares,M.W. Fowler, and A. Elkamel, "Optimal transition to plug-in hybrid electric vehicles in Ontario, Canada, considering the

electricity-grid limitations," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 57, no. 2, pp. 690–701, Feb. 2010.

[40] Liam Kelly " Probabilistic Modelling of Plug-in Hybrid Electric Vehicle Impacts on Distribution Networks in British Columbia" B.A.Sc, University of Waterloo, 2005

[41] S. Han, K. Sezaki, "Development of an optimal vehicle-to grid aggregator for frequency regulation," IEEE Trans. Smart Grid, vol. 1, no. 1, pp. 65–72, 2012.

[42] P. Denholm and W. Short, An Evaluation of Utility System Impacts and Benefits of Optimally Dispatched Plug-In Hybrid Electric Vehicles, Oct. 2006, Tech. Rep.

[43] M. Duvall and E. Knipping, "Environmental Assessment of Plug-In Hybrid Electric Vehicles", Volume 1: National Wide Greenhouse Gas Emissions, EPRI, 2007, Tech. Rep.

[44] W. H. Kersting. Distribution System Modeling and Analysis. (2nd ed.) CRC Press, 2007

Abstract: Electric vehicles and hybrid vehicles are inseparable instruments human life in the future that Due to the high efficiency and reduce greenhouse gas emissions, are being developed day-to-day. But their Uncoordinated connection to the power grid causes extremely undesirable impact on the network, Such as exceeding voltage of permissible bound , increasing losses and heavily loading network that may collapse it. This case indicates necessity of planning in joining vehicles. Therefore the purpose of this Thesis is to reduce losses and increase network efficiency, level load curve and maintain voltage range to avoid network collapse. This program runs offline and Usess mathematical, accurate response in order to reduce losses with respect to providing equality for all consumers. For this purpose, be used the forward backward sweep method and prioritize consumers in three different time periods, peak, average and free in different PEVs penetration.

In order to investigate variety conditions of vehicle connections is needed to consider percentage for penetration vehicle.

Keywords: coordinated charging, distribution network, minimize losses, plug-in hybrid electric vehicles

Shahrood university of technology

Faculty of Electrical and Robotic Engineering

Design of coordinated connection of electric vehicles to the distribution system

Rasoul Rabbani Zabihi

Supervisor: Dr. Mohsen asili

February 2014