

مدلسازی احتمالاتی میزان کاهش عمر ترانسفورماتورهای توزیع با در نظر گرفتن نفوذ خودروهای اتصال الکتریکی هایبریدی

حامد نفیسی^۱، حسین عسکریان ایبانه^۱، مهرداد عابدی^۱

۱- دانشکده مهندسی برق- دانشگاه صنعتی امیرکبیر- تهران- ایران

nafisi@aut.ac.ir, askarian@aut.ac.ir, abedi@aut.ac.ir

چکیده: استفاده از خودروهای الکتریکی یکی از راهکارهای جوامع امروزی جهت برون رفت از معضلات آلودگی هوای کلان شهرها شده است. یکی از انواع این نوع خودروها که استفاده از آنها را اقتصادی تر می‌نماید نوع اتصال الکتریکی هایبریدی آن می‌باشد. اتصال این خودروها به شبکه توزیع برق، اثرات زیادی بر شبکه خواهد گذاشت. شارژ همزمان این خودروها در ساعات عصرگاهی و شبانه، میزان پیک مصرف را افزایش داده و سبب افزایش ضریب پیرشدن ترانسفورماتورهای شبکه خواهد شد. میزان اثرگذاری شارژ بدون مدیریت این نوع خودروها در فضای احتمالات و با در نظر گرفتن پارامترهای تصادفی مربوطه از قبیل رفتار خودروها و نوع آنها، در این مقاله مدلسازی شده و نتایج برای یک شبکه توزیع نمونه IEEE ارائه شده است.

واژه های کلیدی: خودرو اتصال الکتریکی هایبریدی، ترانسفورماتور، ضریب پیر شدن، مدلسازی احتمالاتی

تاریخ ارسال مقاله : ۱۳۹۲/۰۸/۲۵

تاریخ پذیرش مقاله : ۱۳۹۳/۰۲/۲۲

نام نویسنده‌ی مسئول : حسین عسکریان ایبانه

نشانی نویسنده‌ی مسئول : دانشکده مهندسی برق- دانشگاه صنعتی امیرکبیر ۴۲۴ خیابان حافظ، تهران، ایران. صندوق پستی ۱۵۸۷۵-۴۴۱۳.

۱- مقدمه

می‌باشند [۱۸ و ۱۹]. بر این اساس دمای نقطه داغ سیم‌پیچ ترانسفورماتور از سه مولفه اصلی دمای محیط، افزایش دمای روغن قسمت بالای تانک ترانسفورماتور نسبت به محیط و افزایش دمای نقطه داغ نسبت به دمای روغن قسمت بالای تانک تشکیل شده است.

T_{HT} دمای نقطه داغ، T_{OT} دمای روغن قسمت بالای تانک، \bar{T}_A دمای محیط، ΔT_{OT} افزایش دمای روغن قسمت بالا نسبت به محیط و ΔT_{HST} افزایش دمای نقطه داغ نسبت به روغن قسمت بالا در روابط استاندارد IEEE می‌باشند.

افزایش دمای روغن قسمت بالا نسبت به محیط (ΔT_{OT}) بر اساس رابطه (۱) قابل محاسبه است. در این روابط i زیرنویس حالت اولیه، U زیرنویس حالت نهایی، r نشان دهنده مقدار نامی و K نسبت بار به بار نامی است. پارامتر R نسبت تلفات بار در بار نامی به تلفات بی‌باری، n_o نمای تجربی، σ_{oil} ثابت زمانی افزایش دمای روغن قسمت بالا و t زمان است.

$$\Delta T_{OT} = (\Delta T_{o/T,U} - \Delta T_{o/T,i}) \times (1 - e^{-\frac{t}{\sigma_{oil}}}) + \Delta T_{o/T,i} \quad (1)$$

افزایش دمای نقطه داغ سیم‌پیچ نسبت به روغن قسمت بالا بر اساس رابطه (۲) محاسبه می‌شود. در این روابط m_w یک نمای تجربی و $\sigma_{winding}$ ثابت زمانی دمای سیم‌پیچ است.

$$\Delta T_{HST} = (\Delta T_{HT/U} - \Delta T_{HT/i}) \times (1 - e^{-\frac{t}{\sigma_{winding}}}) + \Delta T_{HT/i} \quad (2)$$

پارامترهای مجهول روابط فوق بر اساس روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$\Delta T_{HT/U} = (\Delta T_{HT/R}) \times (K_U^{2m_w}) \quad (3)$$

$$\Delta T_{HT/i} = (\Delta T_{HT/R}) \times (K_i^{2m_w}) \quad (4)$$

$$\Delta T_{o/T,U} = (\Delta T_{o/T,R}) \times \left(\frac{K_U^2 R + 1}{R + 1}\right)^{n_o} \quad (5)$$

$$\Delta T_{o/T,i} = (\Delta T_{o/T,R}) \times \left(\frac{K_i^2 R + 1}{R + 1}\right)^{n_o} \quad (6)$$

با توجه به دمای نقطه داغ ضریب پیر شدن ترانسفورماتور از رابطه (۷) محاسبه می‌گردد:

$$F_{AA} = e^{\left(\frac{B}{110+273} - \frac{B}{T_m+273}\right)} \quad (7)$$

در رابطه اخیر F_{AA} ضریب پیر شدن ترانسفورماتور بوده و با توجه به دمای مرجع (T_{ref}) ۱۱۰ درجه سانتیگراد و ثابت B برابر ۱۵۰۰۰ محاسبه می‌شود.

۳- مدل سازی احتمالاتی شارژ مورد نیاز خودروها

مدل شبیه سازی رفتار صاحبان خودروهای الکتریکی هایبریدی بایستی دو فاکتور نوع خودروها که در واقع مشخصات فنی آنها را مشخص می‌سازد و هم چنین الگوی حرکتی آنها را در برگیرد.

امروزه استفاده از خودروهای اتصال الکتریکی هایبریدی به دلیل انتشار آلودگی کم آنها در شهرهای بزرگ افزایش یافته است. این مسئله توجه برخی مراکز تحقیقاتی همچون PNNL* و NERL[†] را نیز به خود جلب نموده است [۱ و ۲]. صاحبان خودروهای الکتریکی غالباً در ساعات عصرگاهی که از سر کار به منزل باز می‌گردند اقدام به اتصال خودروهای خود به شارژ نموده تا باتری خودروها برای روز کاری آتی آماده و شارژ شود. تحقیقات اخیر تاثیر نفوذ این خودروها بر اغلب پارامترهای شبکه را مورد بررسی قرار داده‌اند [۳-۵]. به عنوان نمونه پروفیل ولتاژی و پخش بار احتمالاتی موضوعات مورد توجه در پژوهش‌های [۶] و [۷] می‌باشند. برخی مقالات به بررسی و بهبود تلفات [۸ و ۹] و منحنی بار شبکه مورد مطالعه خود در اثر نفوذ خودروهای الکتریکی هایبریدی پرداخته‌اند. تأثیر بر افزایش بار مصرفی و افت ولتاژ [۱۰]، مباحث مربوط به بازبینی حفاظت شبکه توزیع در حضور این نوع خودروها [۱۱]، تأثیر شارژ خودروهای الکتریکی هایبریدی بر عدم تعادل فازها در شبکه توزیع [۱۲] و مباحث کیفیت توان و الکترونیک قدرت این خودروها [۱۳ و ۱۴] از نمونه‌های دیگر مطالعات اخیر می‌باشند. تأثیر شارژ غیرهمانگ و مدیریت نشده خودروهای الکتریکی هایبریدی بر عمر ترانسفورماتور توزیع در [۱۵-۱۷] مورد بررسی قرار گرفته است. تقریباً اکثر مطالعات انجام شده تاکنون رفتار احتمالاتی خودروها را در مدلسازی اثرات آنها در نظر نگرفته‌اند. نوعی از مدلسازی احتمالاتی این خودروها در [۱۵] معرفی شده است. مدل معرفی شده در این مقاله تاثیر شارژ غیر همانگ و مدیریت نشده خودروهای اتصال الکتریکی هایبریدی بر عمر ترانسفورماتورهای توزیع را مورد بحث و بررسی قرار داده است. لیکن تنها تاثیر شارژ کردن این نوع خودروها را بر یک ترانسفورماتور و بدون در نظر گرفتن امکان وجود شارژ در محل کار خودروها انجام داده است. در این مقاله پس از معرفی مدل حرارتی ترانسفورماتور و ارائه مدل احتمالاتی پیشنهادی در خصوص پیش‌بینی رفتار خودروهای الکتریکی در یک شبکه توزیع نمونه، به تاثیر شارژ مدیریت نشده آنها بر میزان پیر شدن ترانسفورماتورهای توزیع، با فرض امکان شارژ در محل کار و عدم این امکان در محل کار پرداخته شده است.

۲- مدل حرارتی ترانسفورماتور

مدل‌های استاندارد IEEE و IEC با توجه به اهمیت بارگذاری مناسب ترانسفورماتور به منظور حفظ عمر مفید آن راهنمایی‌هایی برای بارگذاری ترانسفورماتور ارائه داده‌اند. این راهنمایی‌ها روابطی تجربی را برای پیش‌بینی دمای نقطه داغ پیشنهاد می‌کنند که با تفاوت جزئی در استاندارد IEC60354 و استاندارد IEEE C57.91 موجود

* Pacific Northwest National Laboratory

† National Renewable Energy Laboratory

جدول ۲: تابع توزیع احتمالاتی رفتار صاحبان خودروها

عنوان	مسافت سفرهای صبح گاهی (km)	مسافت سفرهای عصرگاهی (km)	ساعت خروج از منزل	ساعت بازگشت به منزل
میانگین	۱۵	۲۵	۷ صبح	۱۷
انحراف معیار	۲	۳	۱ ساعت	۱/۵ ساعت

الگوریتم ارائه شده در شکل شماره (۵) مدلسازی انجام شده به روش مونت کارلو را در خصوص تعیین میزان پیرسازی ترانسفورماتورهای توزیع در اثر شارژ خودروهای الکتریکی هایبریدی در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. در این مقاله روش مونت کارلو با ۱۰۰۰ تکرار انجام شده است.

الگوریتم مدلسازی انجام شده پارامترهای مهمی دارد. این پارامترها شامل نرخ شارژ خودرو (PR)، ظرفیت باتری (B)، وضعیت شارژ باتری (SOC)، انرژی مصرفی به ازای هر کیلومتر (EU)، کل انرژی مورد نیاز در هر سفر (E)، توان مصرفی خودرو در هر ساعت (PD)، مسافت طی شده در هر سفر ($Dist$) و بارگذاری ترانسفورماتور در هر ساعت (TL) می‌باشد. در این مقاله با فرض استفاده از شارژهای ۲۳۰ ولتی، نرخ شارژ خودروها ۳/۳ کیلووات بر ساعت در نظر گرفته شده است.

برای خودرو ۷ در زمان t روابط زیر بین پارامترهای فوق حاکم می‌باشند.

$$E^{(v,t)} = EU^{(v)} \times Dist^{(v,t)} \quad (8)$$

$$SOC^{(v,t)} = B^{(v)} - SOC^{(v,t-1)} - E^{(v,t-1)} + PR^{(v)} \quad (9)$$

چنانچه خودروی ۷ در ساعت t هیچ گونه تغییر مکانی نداشته و انرژی مصرف نکرده باشد، وضعیت شارژ باتری بدون تغییر مانده و توان مصرفی خودرو در آن ساعت برابر صفر خواهد بود.

حال اگر این خودرو مسافتی را پیموده یا اصطلاحاً سفری انجام داده باشد میزان SOC آن کاهش می‌یابد بنابراین در صورت اتصال به شبکه برق به میزان نرخ شارژ خود توان مصرفی به شبکه تحمیل خواهد نمود.

الگوریتم شکل (۱) میزان بار تحمیلی هر خودرو بر شبکه را محاسبه و بار کلی هر ترانسفورماتور را در هر ساعت مشخص می‌نماید. در این مقاله میانگین عمر کاهش یافته ترانسفورماتورها با توجه به الگوریتم معرفی شده و بر اساس رابطه (۱۰) محاسبه شده است.

$$LOL = \frac{\sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^{24} Tr_A(i,t)}{I} \quad (10)$$

تعیین دقیق تعداد خودروها از هر نوع نیازمند انجام آمارگیری از خرید و تمایلات مردم می‌باشد. لیکن از آنجا که امروزه هنوز خرید این خودروها چندان رشد قابل توجهی نداشته است این بخش از مدل بر اساس تابع اتفاقاتی random از مدل‌های ساخته شده این خودروها صورت گرفته است.

در خصوص الگوی حرکتی این خودروها، الگوی رفتاری صاحبان این خودروها در منطقه مورد مطالعه ملاک عمل قرار می‌گیرد. این الگو شامل موقعیت منزل افراد، زمان ترک منزل، مسافت طی شده تا محل کار، موقعیت محل کار؛ زمان ورود به محل کار، مسافت پیموده شده پس از ترک محل کار و ساعت برگشت به منزل می‌باشد.

آنچه در این الگو ساده سازی شده است در نظر گرفتن رفتار کارمندی صاحبان خودروها و دو سفره بودن الگوی رفتاری آنهاست. با این فرض عموم صاحبان خودروها در ساعتی بین ۶ تا ۸ صبح از خانه خود خارج شده و پس از طی مسافتی که با تابع توزیع نرمال تعیین شده است به محل کار می‌رسند. امکان انجام شارژ یا عدم امکان شارژ در محل کار هر دو در شبیه‌سازی انجام شده مؤثر بوده و مدلسازی شده است.

این افراد در ساعتی بین ۳ تا ۵ بعدازظهر محل کار خود را ترک نموده و پس از صرف مدت زمانی جهت انجام کارهای شخصی خود و همچنین طی مسافتی مجدداً به خانه خود بازگشته و اقدام به اتصال خودرو خود به شبکه برق می‌نمایند. این الگو با توجه به موقعیت جغرافیایی محل مورد مطالعه در فصل زمستان ممکن است تغییراتی با فصل تابستان داشته باشد.

حداقل و حداکثر مقدار مشخصات فنی خودروهای PHEV ساخته شده فعلی به صورت زیر و بر اساس مرجع [۲۰] در نظر گرفته شده اند.

جدول ۱: مشخصات فنی PHEV های موجود

حداقل	راندمان مصرف سوخت فسیلی (liter/km)	راندمان الکتریکی (kWh/km)	ظرفیت باتری (kWh)
۰/۰۵	۰/۲۵	۸	حداقل
۰/۱۵	۰/۴۵	۲۳	حداکثر

مدلسازی رفتاری صاحبان خودروها نیز بر اساس موارد جدول (۲) بر اساس تابع توزیع احتمالاتی و بیبول برای خروج از منزل و نرمال برای ورود به منزل انجام گرفته است.

انتخاب تابع توزیع و بیبول برای مدلسازی خروج خودروها از منزل با توجه به ماهیت رفتاری مالکین PHEVها صورت گرفته است. چرا که عمده این افراد در ساعات نزدیک به ۸ از منزل خود خارج می‌شوند. درواقع ساعت خروج از منزل تابع توزیع نرمال نبوده و شباهت بیشتری به تابع توزیع و بیبول دارد.

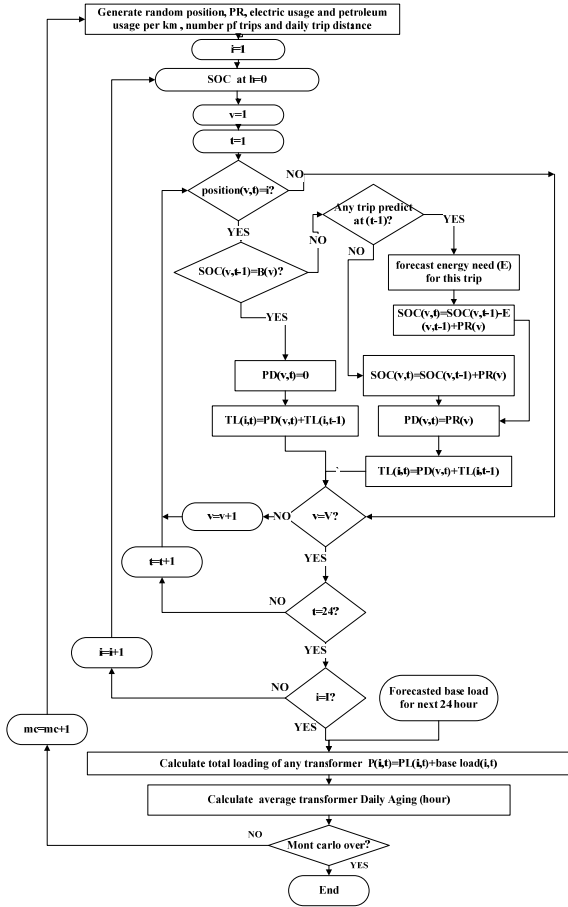
جدول ۳: مشخصات ترانسفورماتورها و مشترکین فیدر نمونه مورد

مطالعه				
شماره ترانسفورماتور	نوع مشترکین	تعداد مشترکین	بار پیک (kW)	ظرفیت تخمینی ترانسفورماتور (kVA)
۵-۳-۲-۱	خانگی	۲۱۰	۷۶۲.۵	۸۰۰
۸-۷-۶-۴	خانگی	۲۴۰	۷۴۵	۸۰۰
۱۳-۱۲-۱۱-۱۰-۹	خانگی	۱۹۵	۵۷۴	۶۳۰
۲۵-۲۴-۲۳-۲۲	صنعتی	۱	۱۱۱۰	۱۲۵۰
۱۷-۱۶-۱۵-۱۴	تجاری	۱۵	۷۴۰	۸۰۰
۲۱-۲۰-۱۹	اداری	۱	۶۱۶.۷	۶۳۰

بار ساعتی این ترانسفورماتورها در دو فصل زمستان و تابستان و همچنین دمای ساعتی یک روز نوعی مورد مطالعه، مطابق جدول ۴ می باشد.

جدول ۴: دمای هوا و بار ساعتی ترانسفورماتورهای فیدر نمونه مورد

مطالعه				
ساعت	دمای هوای تابستان (°C)	بار پیک ساعتی تابستان	دمای هوای زمستان (°C)	بار پیک ساعتی زمستان
۱-۰	۳۰	۶۴	۱	۶۷
۲-۱	۲۹.۵	۶۰	۰.۵	۶۳
۳-۲	۲۹.۲	۵۸	۰.۵	۶۰
۴-۳	۲۹	۵۶	۰	۵۹
۵-۴	۲۸.۷	۵۶	-۰.۷	۵۹
۶-۵	۲۸.۵	۵۸	۰	۶۰
۷-۶	۲۸.۲	۶۴	۰.۹	۷۴
۸-۷	۲۹.۸	۷۶	۳.۳	۸۶
۹-۸	۳۱.۸	۸۷	۵.۵	۸۵
۱۰-۹	۳۳.۹	۹۵	۷	۹۶
۱۱-۱۰	۳۵.۹	۹۹	۸.۷	۹۶
۱۲-۱۱	۳۷.۱	۱۰۰	۱۰.۵	۹۵
۱۳-۱۲	۳۸.۴	۹۹	۱۱	۹۵
۱۴-۱۳	۳۹.۶	۱۰۰	۱۰.۵	۹۵
۱۵-۱۴	۴۰	۱۰۰	۹.۵	۹۳
۱۶-۱۵	۴۰	۹۷	۹	۹۴
۱۷-۱۶	۳۹.۶	۹۶	۸	۹۹
۱۸-۱۷	۳۸.۲	۹۶	۷.۲	۱۰۰
۱۹-۱۸	۳۶.۸	۹۳	۷	۱۰۰
۲۰-۱۹	۳۵.۴	۹۲	۶	۹۶
۲۱-۲۰	۳۳.۹	۹۲	۵.۵	۹۱
۲۲-۲۱	۳۲.۵	۹۳	۵.۵	۸۳
۲۳-۲۲	۳۱.۷	۸۷	۴.۵	۷۳
۲۴-۲۳	۳۰.۸	۷۲	۲	۶۳

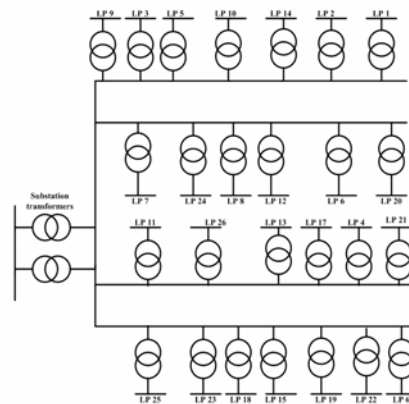


شکل ۱: الگوریتم تعیین میزان پیرشدن ترانسفورماتورها

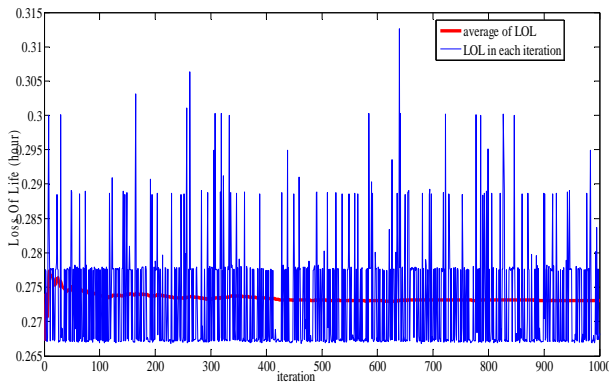
۴- بررسی یک نمونه

جهت انجام مدل سازی معرفی شده در بخش های قبل و شبیه سازی اثر نفوذ PHEV ها بر شبکه های توزیع، یکی از فیدرهای ۳۳ کیلوولت شبکه مدل IEEE RBTS که جهت انجام محاسبات قابلیت اطمینان می باشد انتخاب و مدل مذکور بر روی آن پیاده سازی شده است [۲۱].

دیاگرام تک خطی این فیدر در شکل (۲) ارائه شده است.



شکل ۲: دیاگرام تک خطی فیدر مورد مطالعه



شکل ۴: میزان پیر شدن ساعتی ترانسفورماتور LP8 در هر تکرار

مقادیر جدول (۵) نشان می‌دهد که تا نفوذ ۴۰ درصدی خودروهای الکتریکی در شبکه مورد مطالعه شارژ بدون مدیریت در فصل تابستان قابل قبول خواهد بود، اما نفوذهای بالاتر نیاز به اجرای برنامه مدیریت شارژ خواهند داشت چرا که سلامت ترانسفورماتورها مخصوصاً ترانسفورماتورهای خانگی به خطر خواهد افتاد.

جدول ۵: میانگین پیر شدن ترانسفورماتورها در صورتی که قابلیت

شارژ در محل کار موجود باشد

درصد نفوذ	میزان پیر شدن در یک شبانه روز از فصل زمستان (ساعت)		میزان پیر شدن در یک شبانه روز از فصل تابستان (ساعت)	
	غیر خانگی	خانگی	غیر خانگی	خانگی
۰٪	۰/۰۴۸	۰/۰۴۷	۲/۰۸	۲/۰۷
۱۰٪	۰/۰۵	۰/۰۷۴	۲/۱۳	۲/۹
۲۰٪	۰/۰۵۱	۰/۱۲	۲/۱۷	۴/۵
۳۰٪	۰/۰۵۳	۰/۲۶	۲/۲۲	۷/۸
۴۰٪	۰/۰۵۵	۰/۵۹	۲/۲۷	۱۵/۱
۵۰٪	۰/۰۵۹	۱/۵	۲/۳۴	۳۲/۸
۶۰٪	۰/۰۶۴	۴/۲۸	۲/۴۱	۷۷/۷
۷۰٪	۰/۰۷۵	۱۳/۳۷	۲/۵۲	۲۰۱/۸

شکل‌های (۵) و (۶) توزیع احتمالاتی میزان پیر شدن ترانسفورماتورها را در حضور نفوذ ۴۰ درصدی PHEVها در روز نمونه تابستان و زمستان نشان می‌دهند.

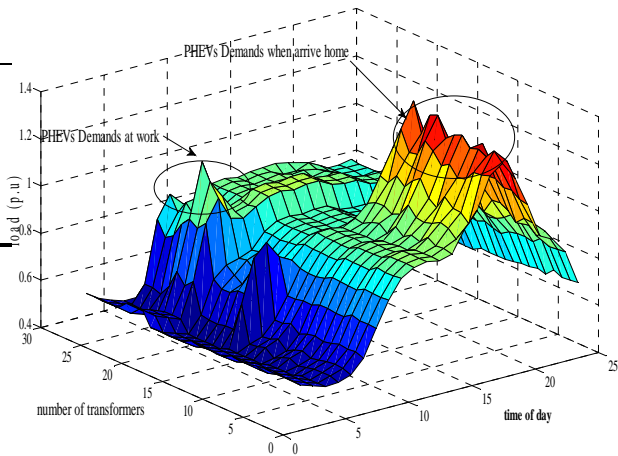
۴-۱- تاثیر نفوذ PHEVها با فرض امکان شارژ در

محل کار

گرایش به سمت خودروهای الکتریکی هایبریدی زمانی افزایش خواهد یافت که زیرساخت‌های اولیه و اساسی مورد نیاز این تکنولوژی فراهم باشد. در واقع تنها زمانی می‌توان استفاده از این نوع خودروها را اقتصادی و ممکن فرض نمود که در اغلب مناطق من جمله محل کار صاحبان خودروها، شارژرهای آنها نصب شده و آسایش خاطر آنها را به ارمغان آورد.

در این بخش تاثیر وجود امکان شارژ در محل کار شبیه سازی شده است. طبیعتاً وجود این امکان از بارگذاری عصرگاهی ترانسفورماتورهای خانگی خواهد کاست و عمر آنها را افزایش خواهد داد. نتایج ارائه شده در جدول (۵) گواهی بر این ادعاست. به منظور شبیه سازی این مسئله با توجه به ماهیت احتمالاتی آن، از روش شبیه سازی مونت کارلو استفاده شده است.

میانگین بار ساعتی ترانسفورماتورهای شبکه مورد مطالعه با فرض نفوذ ۶۰ درصدی PHEVها در فصل تابستان در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل ۳: منحنی بار ترانسفورماتورها در روز نمونه تابستان

شکل (۳) به خوبی میزان اضافه باری تحمیل شده به ترانسفورماتورها را در ساعات عصر گاهی نشان می‌دهد.

شکل (۴) میزان پیر شدن ساعتی ترانسفورماتور واقع در LP8 را در تکرارهای مختلف مونت کارلو در ساعت ۱۸ روز نمونه تابستان با فرض نفوذ ۶۰ درصدی خودروهای اتصال الکتریکی نشان می‌دهد. این شکل میزان پراکندگی عمر از دست رفته ترانسفورماتور مذکور را در هر تکرار نسبت به مقدار میانگین نشان می‌دهد. با میانگین‌گیری از عمر از دست رفته ساعتی هر یک از ترانسفورماتورها در طول شبانه روز، میانگین کاهش عمر ترانسفورماتورهای خانگی و غیرخانگی به صورت مجزا محاسبه شده و در جدول (۵) ارائه شده است.

تعداد PHEVها با درصد نفوذهای مختلف ۱۰ الی ۷۰ درصد (با پله‌های ۱۰ درصدی) در نظر گرفته شده است. این تعداد بر اساس درصدی از مشترکین متصل به هر ترانسفورماتور محاسبه می‌گردد. نتایج شبیه سازی این بخش در جدول (۶) ارائه شده است. چنانچه ترانسفورماتوری در تمام طول شبانه روز تحت بار نامی خود بارگذاری شود به اندازه ۲۴ ساعت کاهش عمر خواهد داشت. لیکن عموماً ترانسفورماتورها در زیر ۷۰ درصد بار نامی خود بهره‌برداری می‌شوند تا عمر آنها افزایش یابد. به همین دلیل در صورت افزایش بار در یک منطقه ظرفیت ترانسفورماتور منصوبه بایستی افزایش یابد. اما در این مورد افزایش ظرفیت ترانسفورماتور در اغلب شرایط اقتصادی نخواهد بود. چرا که همانگونه که نتایج جدول (۶) نشان می‌دهد میزان این پیر سازی تا نفوذ ۵۰ درصدی PHEVها در فصل زمستان منطقی و معمول است لیکن همین امر برای تابستان به نفوذ ۳۰ درصد محدود می‌شود.

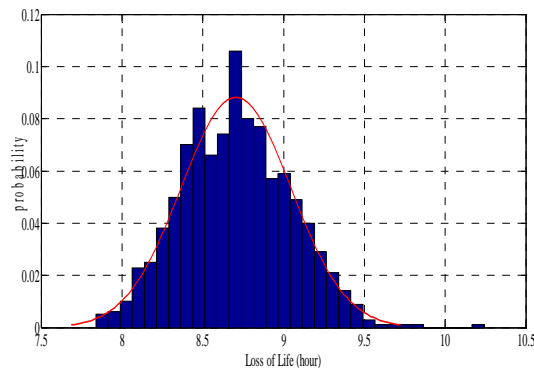
جدول ۶: میانگین پیر شدن ترانسفورماتورها در صورتی که قابلیت شارژ در محل کار موجود نباشد

درصد نفوذ	میزان پیر شدن در یک شبانه روز از فصل زمستان (ساعت)		میزان پیر شدن در یک شبانه روز از فصل تابستان (ساعت)	
	غیر خانگی	خانگی	غیر خانگی	خانگی
۰٪	۲/۰۴۸	۰/۰۴۷	۲/۰۰۷	۲/۰۰۸
۱۰٪	۰/۰۴۹	۰/۰۰۸	۳/۳۶	۲/۱۱
۲۰٪	۰/۰۵	۰/۰۲۵	۶/۵	۲/۱۲
۳۰٪	۰/۰۵۱	۰/۰۸۴	۱۶	۲/۱۵
۴۰٪	۰/۰۵۱	۳/۳	۴۶/۶	۲/۱۶
۵۰٪	۰/۰۵۲	۱۵/۳	۱۶۴/۵	۲/۱۹
۶۰٪	۰/۰۵۳	۷۸/۶	۶۴۶/۶	۲/۲
۷۰٪	۰/۰۵۴	۴۶۳/۳	۲۹۰۶	۲/۲۳

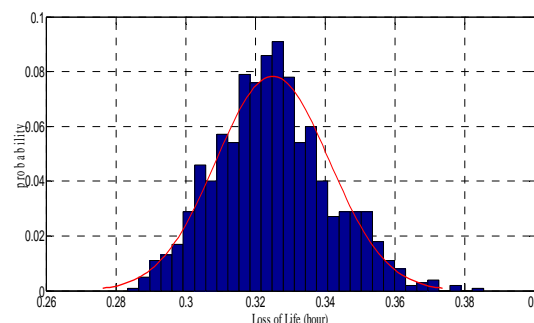
مقادیر جدول (۶) نشان می‌دهد که عدم وجود امکان شارژ در محل کار، میانگین پیر شدن ترانسفورماتورهای خانگی را افزایش داده است. به عنوان نمونه در نفوذ ۶۰ درصدی خودروها، عدم امکان شارژ در محل کار میزان پیر شدن ترانسفورماتورها را در فصل تابستان ۸ برابر خواهد نمود.

۵- نتیجه گیری

بارگذاری ترانسفورماتورهای توزیع با توجه به تأثیری که بر طول عمر آنها خواهند داشت همواره مورد توجه بهره‌برداران شرکت‌های توزیع بوده‌اند. نفوذ خودروهای الکتریکی که توسط شبکه برق شارژ می‌شوند، بارگذاری ترانسفورماتورها را افزایش داده و توجه بهره‌برداران ترانسفورماتورهای توزیع را به خود جلب نموده است. در این مقاله



شکل ۵: توزیع احتمالاتی کاهش عمر ترانسفورماتورها در فصل تابستان با فرض نفوذ ۴۰ درصدی خودروهای الکتریکی



شکل ۶: توزیع احتمالاتی کاهش عمر ترانسفورماتورها در فصل زمستان با فرض نفوذ ۴۰ درصدی خودروهای الکتریکی

۴-۲- تأثیر نفوذ PHEVها با فرض عدم امکان شارژ در محل کار

چنانچه زیر ساخت‌ها و امکانات لازم در محل کار صاحبان خودروهای الکتریکی هایبریدی جهت اتصال PHEVها به شبکه برق وجود نداشته باشد، این خودروها در طول روز و در محل کار شارژ نشده و اغلب با باتری‌های خالی به خانه باز می‌گردند.

صاحبان خودرو به محض ورود به منزل جهت شارژ شدن خودرو خود و آماده بودن آن برای روز آتی اقدام به اتصال آن به شبکه برق می‌نمایند. در صورت نبود مدیریت شارژ این خودروها، به علت اتصال یکباره شمار زیادی از این خودروها، بار زیادی از شبکه کشیده شده و احتمال اضافه بار شدن برخی از ترانسفورماتورها وجود خواهد داشت. چنانچه این اضافه بار، شدید و طولانی باشد حتی امکان صدمه دیدن و خرابی زود هنگام ترانسفورماتور دور از واقع نخواهد بود.

با توجه به مدل حرارتی ارائه شده در مورد ترانسفورماتورها و با لحاظ نمودن مدل رفتار حرکتی خودروها در یک روز عادی فصل تابستان و زمستان، میزان اثرگذاری آنها بر شبکه توزیع فیدر نمونه IEEE به روش مونت کارلو و در فضای احتمالات مورد بررسی قرار گرفت.

- considering voltage regulation", IET Gener. Transm. Distrib., 2011, Vol. 5, Iss. 8, pp. 877-888.
- [11] X. Wang, et al., "The Application of Electric Vehicles as Mobile Distributed Energy Storage Units in Smart Grid," in Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 2011 Asia-Pacific, 2011, pp. 1-5.
- [12] G. A. Putrus, et al., "Impact of electric vehicles on power distribution networks," in Vehicle Power and Propulsion Conference, 2009. VPPC '09. IEEE, 2009, pp. 827-831.
- [13] Zhaofeng Yang; Xinghuo Yu; Holmes, G., "Evaluating impact of plug-in hybrid electric vehicle charging on power quality", International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), 2011.
- [14] Gomez, J.C.; Morcos, M.M., "Impact of EV battery chargers on the power quality of distribution systems," Power Delivery, IEEE Transactions on , vol.18, no.3, pp.975,981, July 2003.
- [15] Darabi, Z. Ferdowsi, M. "Aggregated Impact of Plug-in Hybrid Electric Vehicles on Electricity Demand Profile", IEEE Transactions on Sustainable Energy, 2011, Page(s): 501 – 508.
- [16] Pieltain Fernandez, L., Gomez San Roman, T., Cossent, R., Domingo, C.M., Frias, P., "Assessment of the Impact of Plug-in Electric Vehicles on Distribution Networks", Power Systems, IEEE Transactions on , Vol. 26, No. 1, pp. 206-213, Feb. 2011.
- [17] Turker, H.; Bacha, S.; Chatroux, D.; Hably, A., "Low-Voltage Transformer Loss-of-Life Assessments for a High Penetration of Plug-In Hybrid Electric Vehicles (PHEVs)," Power Delivery, IEEE Transactions on , vol.27, no.3, pp.1323,1331, July 2012.
- [18] IEEE Guide for Loading Mineral-Oil-Immersed Transformers, IEEE Std. C57.91-1995.
- [19] Loading Guide for Oil-Immersed Power Transformers, IEC 60354.
- [20] Françoise Nemry, Guillaume Leduc, Almudena Muñoz, "Plug-in Hybrid and Battery Electric Vehicles: State of the research and development and comparative analysis of energy and cost efficiency", JRC Technical Notes, 2009.
- [21] Roy Billinton; Satish Jonnavithula; "A Test System For Teaching Overall Power System Reliability Assessment"; IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 11, No. 4, November 1996.
- [22] روش احتمالاتی تعیین میزان اثرگذاری نفوذ خودروهای الکتریکی بر بارگذاری ترانسفورماتورهای توزیع و میزان کاهش عمر آنها ارائه شده است. شبیه‌سازی مونت کارلو با توجه به ماهیت تصادفی پارامترهایی چون رفتار خودروها و نوع خودروها پیشنهاد شده است. نتایج عددی این شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد که نفوذهای بالای خودروهای الکتریکی در شبکه توزیع می‌تواند شرایط بحرانی را برای این نوع ترانسفورماتورها ایجاد نماید و بنابراین وجود برنامه مدیریت شارژ با فرض امکان شارژ در محل کار در نفوذهای بالای ۴۰ درصد در فصل تابستان و بالای ۷۰ درصد در فصل زمستان الزامی خواهند بود. چنانچه امکانات شارژ در محل کار موجود نباشد، وجود برنامه مدیریت شارژ در فصل تابستان به نفوذ بالای ۳۰ درصد و در فصل زمستان به نفوذ بالای ۵۰ درصد محدود خواهد شد.
- ### منابع
- [1] R. Pratt et al., "Potential impacts of high penetration of plug-in hybrid vehicles on the US power grid." in Pacific Northwest National Laboratory, DOE/EERE PHEV Stakeholder Workshop, Jun. 2007.
- [2] M. Kintner-Meyer, K. Schneider, and R. Pratt, "Impacts assessment of plug-in hybrid vehicles on electric utilities and regional U.S. power grids," Pacific Northwest National Laboratory, Nov. 2007.
- [3] Shafiee, S.; Fotuhi-Firuzabad, M.; Rastegar, M., "Investigating the Impacts of Plug-in Hybrid Electric Vehicles on Power Distribution Systems," Smart Grid, IEEE Transactions on , vol.4, no.3, pp.1351,1360, Sept. 2013.
- [4] Shengnan Shao; Pipattanasomporn, M.; Rahman, S., "Challenges of PHEV penetration to the residential distribution network," Power & Energy Society General Meeting, 2009. PES '09. IEEE , vol., no., pp.1,8, 26-30 July 2009.
- [5] Robert C. Green II, Lingfeng Wang, Mansoor Alam, The impact of plug-in hybrid electric vehicles on distribution networks: A review and outlook, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 15, Issue 1, January 2011, Pages 544-553.
- [6] Tae-Kyung Lee. Bareket, Z. Gordon, T. Filipi, Z.S. "Stochastic Modeling for Studies of Real-World PHEV Usage: Driving Schedule and Daily Temporal Distributions", IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2012 , Page(s): 1493 – 1502.
- [7] Gan Li; Xiao-Ping Zhang, "Modeling of Plug-in Hybrid Electric Vehicle Charging Demand in Probabilistic Power Flow Calculations, IEEE Transactions on Smart Grid, 2012 , Page(s): 492 – 499.
- [8] Deilami, S.; Masoum, A.S.; Moses, P.S.; Masoum, M.A.S.; "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, september 2011.
- [9] Clement-Nyns, K.; Haesen, E.; Driesen, J., "The Impact of Charging Plug-In Hybrid Electric Vehicles on a Residential Distribution Grid," Power Systems, IEEE Transactions on , vol.25, no.1, pp.371,380, Feb. 2010.
- [10] 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 minimisation