تعیین اقتصادی ترانسفورماتور شارژ خودروهای برقی

رضا اسلامی[1]
[1]استادیار دانشکده برق دانشگاه صنعتی سهند تبریز، eslami@sut.ac.ir

چکیده - امروزه کمتر کسی است که از مشکلات آلودگی آب و هوایی ناشی از فعالیت های بشری ناآگاه باشد و خواهان بهبود وضع کنونی نباشد. از مهمترین منابع ایجاد آلودگی در شهرها خودروها می‌باشند. یکی از راهکارهای برون رفت از وضع موجود بهره‌گیری از خودروهای الکتریکی و یا خودروهای الکتریکی هیبریدی در سیستم حمل و نقل شهری است. بنابراین نیاز به ایستگاه‌هایی جهت شارژ این خودروها در سطح شهر الزامی است. در این مقاله هدف بررسی اقتصادی ترانسفورماتورهای این ایستگاه‌ها و انتخاب اقتصادی آنها با توجه به تعداد خودروهایی که در شبانه‌روز به ایستگاه مراجعه می‌کنند، می‌باشد.

کلید واژه- ایستگاه شارژ، ترانسفورماتور، خودرو الکتریکی و هزینه مالکیت.

۱- مقدمه

انتخاب بهینه اقتصادی ترانسفورماتورها در توزیع همواره مورد توجه بهره‌برداران شبکه توزیع بوده است [۱و۲]. از آنجا که ایستگاه‌های شارژ خودروهای الکتریکی نیز در سطح توزیع نصب می‌شوند [۳و۴]، لذا ترانسفورماتورهای این ایستگاه‌ها ترانسفورماتور توزیع خواهند بود. با حقیقی تر شدن بهای برق مصرفی لزوم انتخاب صحیح و اقتصادی ترانسفورماتورها پررنگ تر خواهد شد [۱]. شارژ خودروهای الکتریکی می‌تواند در خانه و یا ایستگاه‌های شارژ[1] انجام شود [۵].

در [۶-۸] نفوذ خودروهای برقی در شبکه توزیع و تأثیر آنها بر روی تلفات ، عملکرد و همچنین ضریب پیری ترانسفورماتورهای توزیع مورد بررسی قرار گرفته‌است. بر اساس این مراجع خودروهای برقی باعث افزایش ضریب پیری این ترانسفورماتورها می‌شوند و با مدیریت صحیح شارژ در شبکه‌های هوشمند می‌توان تلفات و عملکرد ترانسفورماتورها را کنترل نمود [۶].

در این مقاله ابتدا به بررسی ایستگاه‌های شارژ خودروهای الکتریکی پرداخته شده‌است. سپس مباحث اقتصادی مالکیت ترانسفورماتورهای توزیع بیان شده‌است. در ادامه بارگذاری ترانسفورماتورهای توزیع مطابق استانداردهای بین‌المللی مورد بررسی قرار گرفته‌است. در نهایت مسئله انتخاب اقتصادی ترانسفورماتور ایستگاه‌های شارژ خودروهای برقی به عنوان نمونه حل شده‌است.

۲- ایستگاه‌های شارژ خودروهای الکتریکی

به کمک ادوات الکترونیک قدرت و مبدل‌های مربوطه ایستگاه‌های شارژ معمولی و شارژ سریع ایجاد شده‌اند. عموماً خودروها به گونه‌ای طراحی می‌گردند که در خانه و ایستگاه‌های شارژ قابل شارژ باشند. اگرچه در شارژ خانگی مالک خودرو چندین ساعت خودرو خود را به برق می‌زند تا شارژ شود، اما طراحی ایستگاه‌های شارژ باید به گونه‌ای باشد که این خودروها در زمان بسیار کمتری شارژ شوند. بنابراین عمدتاً توان دستگاه‌های شارژ ایستگاه‌ها بسیار بالاتر از شارژرهای خانگی می‌باشد. امروزه یکسوسازهایی طراحی شده‌اند که در ضریب توان ۹۹ درصد کار می‌کنند و کمتر از ۳ درصد اعوجاج هارمونیکی دارند [۵].

۳- هزینه مالکیت ترانسفورماتور

محاسبه هزینه مالکیت ترانسفورماتورها از جمله مسائل اقتصادی است که پارامترهای مختلفی بر آن اثر دارند. هزینه معادل مالکیت آنها در طول عمرشان بر اساس رابطه (۱) به دست می‌آید.

$$TOC = PC + a \times PNL + b \times PFL \qquad (۱)$$

در این رابطه TOC،PC ، PNL، PFL به ترتیب هزینه مالکیت، هزینه خرید اولیه، تلفات بی باری ترانسفورماتور و تلفات بارداری

[1] Charge Station

ترانسفورماتور می‌باشند. ضرایب a,b مطابق روابط(۲) و (۳) محاسبه می‌گردد.

$$a = 8766 \times TPF \times EC \times PW \qquad (۲)$$

$$b = 8766 \times TPF \times EC \times PWT \times LF \qquad (۳)$$

در این روابط TPF، EC، PW، PWT و LF به ترتیب فاکتور آمادگی ترانسفورماتور، قیمت هر kWh انرژی ، ضریب ارزش زمانی، ضریب ارزش زمانی توام و ضریب تلفات می‌باشند. در ادامه به بررسی و نکات پیرامون محاسبه هر یک از پارامترهای فوق می‌پردازیم.

۳-۱- فاکتور آمادگی ترانسفورماتور

فاکتور آمادگی ترانسفورماتور معیاری است که به وسیله آن میزان ساعات کارکرد ترانسفورماتور در یک شبانه‌روز تعیین می‌گردد. بنابراین این فاکتور تابع منحنی باری است که از ترانسفورماتور گرفته می‌شود. از آنجا که اغلب ایستگاه‌های شارژ در ساعات پایانی شب تعطیل می‌باشند این فاکتور حدوداً ۰/۸ درنظر گرفته می‌شود. لکن این موضوع کلیت نداشته و بستگی به سیاست‌های مالکان ایستگاه‌ها و همچنین شهرداری ها و یا سازمان‌های مربوطه دارد.

۳-۲- ضرایب ارزش زمانی

این ضرایب درواقع بیان کننده ارزش اقتصادی مصرف شده در سال‌های آتی و در تمام طول عمر ترانسفورماتور خواهد بود که مطابق مسائل اقتصاد مهندسی توسط رابطه (۴) به سال اول آورده می‌شود.

$$PW = \frac{(1+i)^{life} - 1}{i(1+i)^{life}} \qquad (۴)$$

در این رابطه i ضریب بهره اقتصادی خواهد بود که معمولاً در مسادل اقتصادی ایران حدود۱۰ درصد گرفته می‌شود. البته فرمول فوق مسائلی نظیر تورم و مالیات را پوشش نمی‌دهد و در این مقاله از آنها صرف نظر شده است.
نکته دیگر اینکه PWT درواقع همان PW در شرایط در نظرگیری رشد بار سالانه خواهد بود لیکن در این مقاله فرض بر آن است که ایستگاه‌های شارژ فاقد طرحهای توسعه‌ای می‌باشند.

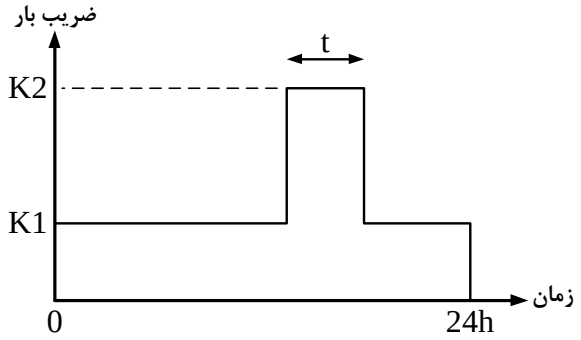
۳-۳- ضریب تلفات

این ضریب تابعی از مجذور جریان کشیده شده از ترانسفورماتور در هر لحظه خواهد بود و بنابراین محاسبه آن تابع منحنی بار می‌باشد. در این مقاله منحنی بار به صورت ساعتی در نظر گرفته می‌شود و بنابراین برای محاسبه LF از فرمول حالت گسسته آن مطابق رابطه (۵) استفاده می‌شود.

$$LF = \frac{1}{24}\sum_{n=1}^{24}\left(\frac{P(t)}{P_{nominal}}\right)^2 \qquad (۵)$$

۴- بارگذاری مجاز ترانسفورماتورها

بر اساس استاندارد IEC میزان بارگذاری مجاز ترانسفورماتورهای توزیع وابسته به جریان بار در یک دوره زمانی معین(معمولاً دوره‌های ۲۴ ساعته در نظر گرفته می‌شود) می‌باشد. در این استاندارد جریان بار در دو حالت فرض شده است. اول اینکه جریان بار تغییرات زیادی نداشته باشد که آن را با یک بار معادل مطابق می‌کند. اما چنانچه منحنی بار تغییرات زیادی داشته باشد آن را با دو سطح K1 و K2 معادل می‌کند. مطابق شکل (۱):
K1 : ضریب بارگذاری نسبت به توان نامی ترانسفورماتور
K2: حداکثر میزان ضریب بارگذاری نسبت به توان نامی ترانسفورماتور برای مدت زمان مشخص t ساعت.



شکل ۱: منحنی بارگذاری دو پله‌ای

در [۹] نمودارهای میزان بارگذاری مجاز ترانس‌ها بر حسب اندازه K1 و K2 و با توجه به دمای محیط داده شده‌است.

۵- حل یک نمونه

با توجه به موارد ذکر شده در بخش سوم این مقاله، در این بخش

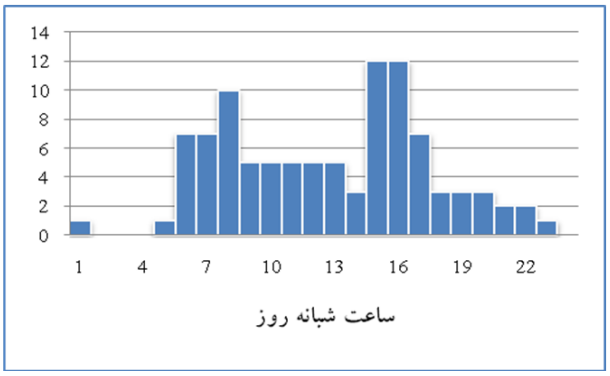
به بیان یک نمونه از بهینه سازی اقتصادی انتخاب ترانسفورماتور با توجه به فرضیات زیر می‌پردازیم. براساس دستورالعمل تعیین الزامات و معیارهای ارزیابی فنی ترانسفورماتورهای روغنی توزیع توانیر که به کلیه شرکت‌های توزیع ابلاغ شده است، حداکثر تلفات ترانسفورماتورهای توزیع بایستی از نوع AB' باشد [۱۰]. لذا در این مقاله موارد تلفات بی باری و بارداری ترانسفورماتورها مطابق جدول (۱) و بر اساس گروه AB' می‌باشد.

هدف محاسبه قدرت نامی بهینه ترانسفورماتور ایستگاه‌های شارژ بر حسب تعداد خودروهایی که در یک شبانه‌روز مراجعه می‌کنند است. دمای هوای محیط ایستگاه مورد نظر ۳۰ درجه فرض شده است.

جدول ۱: مشخصه ترانسفورماتورهای استاندارد[۱۰]

توان نامی (KVA)	تلفات‌بی‌باری (PNL)	تلفات بارداری (PFL)	قیمت میلیون ریال
۵۰	۱۴۵	۱۱۰۰	۱۱.۴
۷۵	۲۰۳	۱۴۲۵	۱۲.۵
۱۰۰	۲۶۰	۱۷۵۰	۱۴.۶
۱۲۵	۳۱۰	۲۰۰۰	۱۷
۱۶۰	۳۷۵	۲۳۵۰	۱۹
۲۰۰	۴۴۵	۲۷۶۰	۲۰
۲۵۰	۵۳۰	۳۲۵۰	۲۵
۳۱۵	۶۲۵	۳۸۵۰	۳۰
۴۰۰	۷۵۰	۴۶۰۰	۳۵.۱
۵۰۰	۸۷۵	۵۴۵۰	۴۰
۶۳۰	۹۴۰	۶۷۵۰	۴۹
۸۰۰	۱۱۵۰	۸۵۰۰	۶۰
۱۰۰۰	۱۴۰۰	۱۰۵۰۰	۷۲
۱۲۵۰	۱۷۳۰	۱۳۲۰۰	۸۴.۲
۱۶۰۰	۲۲۰۰	۱۷۰۰۰	۱۰۴

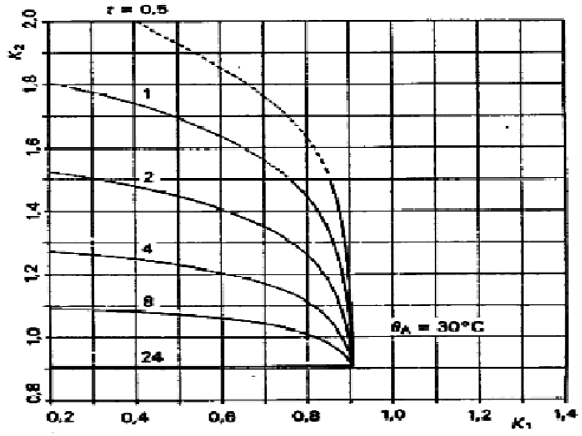
منحنی باری که از ترانسفورماتورهای ایستگاه‌های شارژ کشیده می‌شود تابع مواردی چون الگوی رفتاری مردم، تعداد دستگاه-های شارژ، سیاست‌های مالی و اجتماعی دولت‌ها و ... می‌باشد. در این بخش برای حل نمونه مورد نظر درصد ورود تعداد خودروهای الکتریکی به ایستگاه شارژ نسبت به تعداد کل خودروهایی که در یک شبانه‌روز به ایستگاه مراجعه می‌کنند مطابق شکل (۲) در نظر گرفته شده است. فرض بر آن است که ایستگاه طوری طراحی شده که در زمان پیک ورود خودروها توانایی ارائه خدمات به همه آنها را داشته باشد و با مشکل کمبود تعداد دستگاه شارژ مواجه نمی‌باشد.



شکل ۲: درصد ورود خودروهای الکتریکی به ایستگاه شارژ در یک شبانه‌روز

خودروها ۳۰ کیلوواتی در نظر گرفته شده‌اند. توان مناسب انتخابی ترانسفورماتور بر حسب تعداد کل خودروهایی که در طول یک شبانه‌روز به ایستگاه مراجعه می‌کنند، در جدول (۲) آمده است.

نمودار بارگذاری مجاز ترانسفورماتورهای توزیع ONAN در دمای محیط ۳۰ درجه مطابق شکل است [۹].



شکل ۳: ظرفیت مجاز بارگذاری ترانسفورماتور توزیع ONAN در دمای محیط ۳۰ درجه

با توجه به منحنی درصد ورود خودروها به ایستگاه شارژ K_1/K_2 محاسبه شده و بر اساس آن این ترانسفورماتور می‌تواند تا ۱.۴ برابر بار نامی را در دو ساعت تحمل نماید.

جدول ۲: قدرت بهینه انتخابی ترانسفرمرها بر حسب تعداد دستگاه‌های شارژ

تعداد مراجعه خودروها در یک شبانه‌روز	قدرت نامی انتخابی ترانسفورماتور kVA
۲۵	۱۰۰
۵۰	۲۰۰
۷۵	۲۵۰
۱۰۰	۳۱۵
۱۲۵	۵۰۰
۱۵۰	۵۰۰
۱۷۵	۶۳۰
۲۰۰	۶۳۰
۲۲۵	۶۳۰
۲۵۰	۸۰۰
۲۷۵	۸۰۰
۳۰۰	۱۰۰۰
۳۲۵	۱۰۰۰
۳۵۰	۱۰۰۰
۳۷۵	۱۲۵۰
۴۰۰	۱۲۵۰
۴۲۵	۱۲۵۰
۴۵۰	۱۲۵۰
۴۷۵	۱۶۰۰
۵۰۰	۱۶۰۰

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله انتخاب بهینه قدرت نامی ترانسفورماتور ایستگاه‌های شارژ خودروهای برقی به منظور حداقل نمودن هزینه مالکیت صورت گرفت. بر اساس روابط حاکم بر محاسبه هزینه مالکیت و با توجه به مقادیر استاندارد مربوط به ترانسفورماتورها، نتایج شبیه‌سازی کامپیوتری بر روی یک نمونه در قالب جدولی ارائه شد. و با توجه به پیش بینی تعداد مراجعه خودروها در یک شبانه‌روز به هر ایستگاه جهت شارژ، قدرت نامی بهینه ترانسفورماتور انتخابی محاسبه شد.

۷- مراجع

[۱] نیما فرزین، احسان حاجی‌پور، مهدی وکیلیان، "انتخاب بهینه اقتصادی قدرت نامی ترانسفورماتور توزیع با ملاحظه استانداردهای حرارتی،هارمونیکی و تأثیر رشد بار"، بیست وپنجمین کنفرانس بین المللی برق، ۱۳۸۹.

[2] S. Bahramara and F. G. Mohammadi, "Optimal sizing of distribution network transformers considering power quality problems of non-linear loads", *CIRED - Open Access Proceedings Journal*, vol. 2017, pp. 2471-2475, 2017.

[3] Etezadi-Amoli, M. ; Choma, K. ; Stefani, J. ; "Rapid-Charge Electric-Vehicle Stations", *IEEE transaction on power delivery*, 2011

[4] J. Marty and S. Pietrowicz, "Economic incentives for reducing peak power utilization in electric vehicle charging stations," *IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT)*, pp. 1-5, 2018.

[5] Power Process. Syst., "AV-900 heavy duty cycling stations," *Available:http://www.avinc.com/downloads/AV900_WS_Specs.pdf* , 2007

[6] Mohammad A.S. Masoum, Paul S. Moses, Keyue M. Smedley," Distribution Transformer Losses and Performance in Smart Grids with Residential Plug-In Electric Vehicles", *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies (ISGT)*, 2011.

[7] Hilshey, A.D.; Hines, P.D.H.; Dowds, J.R.;" Estimating the acceleration of transformer aging due to electric vehicle charging", *IEEE Power and Energy Society General Meeting*, 2011.

[8] J. Marty and S. Pietrowicz, "Economic incentives for reducing peak power utilization in electric vehicle charging stations," *IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT)*, pp. 1-5, 2018.

[۹] استاندارد مناطق خاص شبکه‌های انتقال و توزیع نیروی برق کشور، "ترانسفورماتورهای قدرت و توزیع روغنی و تأثیر شرایط محیطی بر آنها در مناطق خاص"، ۱۳۸۴

[۱۰] شرکت توانیر، "دستورالعمل تعیین الزامات و معیارهای ارزیابی فنی ترانسفورماتورهای روغنی توزیع ۲۰ کیلوولت"، فروردین ۱۳۹۰.