مزایای بکارگیری ترانسفورمرهای با تلفات پایین در شبکه های توزیع نیروی برق

ایرج احمدی **علی اصغر امجدی**

شرکت برق منطقه ای مازندران

واژه های کلیدی : ترانسفورمرهای توزیع ، تلفات ، کاهش دیماند ، هزینه

خلاصه :

به دلیل ورود تعداد بسیار زیاد ترانسفورمرهای توزیع در شبکه و درصد تلفات بالای آنها نسبت به ظرفیتشان ، بررسی و کاهش تلفات آنها اهمیت بسیاری دارد به گونه ای که در صورت اصلاح طراحی و ساخت این ترانسفورمرها و کاهش تلفات آنها می توان به صرفه جویی بالایی در مصرف انرژی الکتریکی دست یافت . امروزه امکان طراحی و ساخت ترانسفورمرهای توزیع با تلفات پایین فراهم شده است ولی علیرغم اینکه توانایی طراحی و ساخت این ترانسفورمرها در داخل کشور وجود دارد متاسفانه به دلیل قیمت بالاتر این ترانسفورمرها در مقایسه با ترانسفورمرهای موجود تاکنون در کشور ما این ترانسفورمر ها مورد توجه قرار نگرفته اند. در این مقاله ابتدا مقایسه ای بین ترانسفورمرهای معمولی که تحت استاندارد DIN42503 تولید می شوند با ترانسفورمرهای نوع CC′ و AC′ که تحت استاندارد جدید DIN42500 تولید می شوند صورت گرفته است و سپس هزینه ها و منافع جایگزینی ترانسفورمرهای فعلی با هر یک از انواع CC′ و AC′ مورد بررسی قرار گرفته است .

۱ – مقدمه :

هزینه سنگین سرمایه گذاری احداث نیروگاهها و شبکه های انتقال و توزیع برق و محدود بودن منابع مالی باعث گردیده تا توجه ویژه ای به مصرف بهینه انرژی معطوف گردد . جهت بهبود میزان بهره وری از ظرفیت موجود راهکارهای مختلفی پیشنهاد می گردد همچون اصلاح ضریب بار ، کاهش اوج مصرف و انتقال آن به دره های منحنی بار شبکه ، اعمال مدیریت مصرف و استفاده از تجهیزات با راندمان بالا و تلفات پایین و... . به دلیل تعداد بسیار زیاد ترانسفورمرهای توزیع در شبکه و اینکه درصد تلفات آنها نسبت به ظرفیتشان نسبتا بالا است ، در صورت اصلاح طراحی و ساخت این ترانسفورمرها و کاهش تلفات بی باری و

تلفات مسی آنان می توان به صرفه جویی بالایی در مصرف انرژی الکتریکی دست یافت امروزه با پیشرفت فن آوری ، امکان طراحی و ساخت ترانسفورمرهای توزیع با تلفات بی باری و تلفات بارنامی پایین امکان پذیر می باشد متاسفانه به دلیل قیمت بالاتر این ترانسفورمرها در مقایسه با ترانسفورمرهای موجود که به علت استفاده از مواد مرغوبتر می باشد ، تاکنون در کشور ما این ترانسفورمر ها مورد توجه قرار نگرفته اند و علیرغم اینکه توانایی طراحی و ساخت این ترانسفورمرها در داخل کشور وجود دارد باشد تاکنون این امر تحقق نیافته است.

استفاده از ترانسفورمرهای با تلفات کم دارای مزایای بسیاری است که در مقایسه با قیمت بالاترشان توجیه پذیرند از جمله :

الف – کاهش تلفات انرژی در ترانسفورمر و افزایش راندمان آن

ب – افزایش عمر ترانسفورمر به دلیل کاهش دمای داخلی ترانسفورمر

ج – کاهش تلفات شبکه های بالا دستی

د – افزایش قابلیت اطمینان ترانسفورمر

هـ – کاهش بارگذاری شبکه های بالا دستی

و – کاهش مصرف سوخت و در نتیجه کاهش اثرات مخرب زیست محیطی در نیروگاهها

ز – کاهش تقاضای توان الکتریکی از شبکه های بالادستی و در نتیجه به تعویق انداختن سرمایه گذاری احداث شبکه های بالا دستی .

ترانسفورمرهای با تلفات پایین که مطابق استاندارد DIN42500 طراحی و ساخته می شوند دارای نه طرح مختلف می باشند که ۵ طرح زیر دارای بیشترین کاربرد می باشند .

الف – طرح AA' : با تلفات بارداری متوسط و تلفات بی باری نسبتا بالا.

ب – طرح BB' : با تلفات بارداری نسبتا بالا و تلفات بی باری متوسط.

پ– طرح CB' : با تلفات بارداری نسبتا پایین و تلفات بی باری متوسط.

ت – طرح AC' : با تلفات بارداری متوسط و تلفات بی باری پایین.

ث – طرح CC' : با تلفات بارداری پایین و تلفات بی باری پایین.

به دلیل بهینه بودن طرح های AC' و CC' در مقایسه با دیگر طرحها در این مقاله مزایای استفاده از این دو نوع ترانسفورمر به جای ترانسفورمرهای فعلی بررسی شده است.

در جدول ۱ تلفات بی باری ، بارنامی و قیمت فروش ترانسفورمرهای معمولی ، نوع AC' و نوع CC' در قدرت های نامی مختلف و همچنین تعداد فروش ترانسفورمرهای معمولی در سال ۱۳۸۳ توسط شرکت ایران ترانسفو ارائه شده است [۲].

در این مقاله ابتدا با توجه به تعداد ترانسفورمرهای توزیع که در ۱۳۸۳ توسط شرکت ایران ترانسفو فروخته شدند مقایسه ای بین ترانسفورمرهایی که هم اکنون در این شرکت تحت استاندارد DIN42503 تولید می شوند با ترانسفومرهای نوع CC' و AC' استاندارد جدید DIN42500 صورت گرفته است و سپس هزینه ها و منافع جایگزینی ترانسفورمرهای فعلی با هر یک از انواع CC' و AC' مورد بررسی قرار گرفته است .

۲ ـ تلفات ترانسفورمرهای توزیع :

تلفات ترانسفورمرهای توزیع به دو نوع تلفات بی باری و تلفات بارداری تقسیم می شود. مولفه اصلی تلفات بی باری تلفات هسته ، شامل فوکو و هیسترزیس می باشد که خود تابعی از فرکانس و چگالی شارماکزیمم می باشند. این تلفات در طول زمان بهره برداری از ترانسفورمر ثابت می باشد و مستقل از بار است . برای کاهش تلفات بی باری از هسته های ورقه ورقه شده که از آلیاژهای با کیفیت خوب ساخته شده اند استفاده می شود. مولفه اصلی تلفات بارداری ، تلفات اهمی (RI^2)

سیم پیچ های ترانسفورمر می باشد و برای کاهش این تلفات باید مقاومت اهمی سیم پیچ ها را کاهش داد که برای این کار یا باید از مواد با مقاومت ویژه کمتر و یا از

ترانسفورمرهای طرح 'CC بر اساس استاندارد DIN 42500			ترانسفورمرهای طرح 'AC بر اساس استاندارد DIN 42500			ترانسفورمرهای طرح فعلی بر اساس استاندارد DIN 42503			قدرت (KVA)	تعداد فروش سال ۸۳ شرکت ایران ترانسفو
قیمت (هزار ریال)	تلفات بار نامی (W)	تلفات بی باری (W)	قیمت (هزار ریال)	تلفات بار نامی (W)	تلفات بی باری (W)	قیمت (هزار ریال)	تلفات بار نامی (W)	تلفات بی باری (W)		
22,447	875	125	18,694	1100	125	14,860	1250	210	50	1836
31,391	1475	210	26,595	1750	210	19,066	2150	340	100	1938
45,374	2350	360	38,696	2760	360	28,099	3600	570	200	2376
51,074	2750	425	44,774	3250	425	31,523	4450	610	250	1140
60,169	3250	510	49,639	3860	510	36,087	5460	720	315	2155
73,690	3850	610	58,349	4690	610	47,122	6450	850	400	919
80,652	4950	720	66,093	5350	720	55,828	7800	1000	500	426
99,772	5600	800	85,416	6750	800	64,570	9300	1200	630	269
114,085	7400	950	99,505	8590	950	79,429	11000	1420	800	252
131,229	9500	1100	122,679	10600	1100	94,590	13500	1750	1000	124
160,658	11400	1300	148,722	13200	1300	109,592	16400	2100	1250	114
199,836	14000	1700	159,926	17000	1700	139,615	19800	2550	1600	11

جدول ۱ : تلفات بی باری ، بارنامی و قیمت فروش ترانسفورمرها و تعداد فروش سال ۱۳۸۳ شرکت ایران ترانسفو

سیم با سطح مقطع بزرگتر استفاده نمود.

۳ – ارزیابی ارزش تلفات :

در ارزیابی ارزش کاهش تلفات باید عوامل متعددی را مد نظر قرار داد که عبارتند از :

الف ـ کاهش تلفات انرژی ترانسفورمر : چون ترانسفورمرهای توزیع بطور دائم به شبکه متصلند تلفات بی باری آنها بطور دائم توسط شبکه تامین می گردد لذا باید مقدار تلفات بی باری آنها بر حسب وات را در 8760 ساعت ضرب کرد تا تلفات انرژی سالیانه آنها محاسبه شود. جهت مشخص نمودن تلفات انرژی ناشی از تلفات بارداری ترانسفورمرها باید منحنی بار هر ترانسفورمر را در هر روز مشخص نمود وسپس با توجه به تلفات بار کامل ترانسفورمرها تلفات را در هر لحظه و بار معین بطور دقیق مشخص نمود . این روش گرچه بسیار دقیق است ولی عملی نیست لذا در این مقاله فرض شده است که ترانسفورمر در طول شبانه روز در ۵۰ ٪ بارنامی خود ، کار می کند.

ب ـ کاهش تلفات انرژی شبکه بالا دست : کاهش جریان تلفات بی باری و بارداری ترانسفورمر باعث کاهش تلفات حرارتی شبکه بالا دست (RI^2) می گردد که این کاهش تلفات را در زمان 8760 ساعت ضرب کرده بصورت تلفات انرژی نشان می دهند . بطور تقریبی برای لحاظ نمودن این تلفات در محاسبات ، تلفات ترانسفورمر در عدد ۱/۱۵ ضرب می کنند[۳] .

پ – کاهش تقاضای برق از شبکه بالادست (کاهش دیماند) : کاهش تلفات ترانسفورمرهای توزیع و به تبع آن تلفات RI^2 شبکه بالادست باعث کاهش

تقاضای برق از شبکه فوق توزیع و انتقال و در نهایت کاهش تقاضا از نیروگاهها می شود. اثر این کاهش تقاضا بصورت به تعویق افتادن سرمایه گذاری جهت احداث نیروگاه و شبکه انتقال و فوق توزیع در محاسبات لحاظ می گردد.

با توجه به اینکه به ازاء هر 1KW افزایش تقاضای برق در بخش توزیع باید توان عملی نیروگاهها جهت تامین تلفات شبکه انتقال و فوق توزیع به میزانی بیش از 1KW افزایش یابد و از طرفی چون توان عملی نیروگاهها کمتر از توان نصب شده است (به دلیل مصرف داخلی نیروگاهها و شرایط محیطی و . . .) عملا ضریبی بالاتر از واحد باید در میزان افزایش تقاضا ضرب گردد تا میزان افزایش مورد نیاز در قدرت نامی نیروگاهها بدست آید ضمن اینکه درصدی نیز باید به عنوان رزرو منظور گردد . همچنین به ازاء هر 1KW افزایش تقاضا باید ظرفیت شبکه انتقال و توزیع بیش از 1KVA افزایش یابد که در محاسبات با یک ضریب بزرگتر از واحد لحاظ گردد.

بنا براین به ازاء هر 1KW افزایش تقاضا هزینه ای که باید پرداخت گردد از رابطه زیر بدست می آید.

$$I.C. = (1+CM).(GC.\ IGC + TDC.\ ITDC) \quad (1)$$

که در آن :

IC : هزینه سرمایه گذاری به ازاء 1KW افزایش تقاضا ی شبکه توزیع .

CM : میزان ضریب رزرو شبکه .

GC : هزینه افزایش ظرفیت تولید نامی به میزان 1KW.

IGC : ضریب تناظر ظرفیت عملی وظرفیت نصب شده نیروگاهها

TDC : هزینه افزایش ظرفیت شبکه بالادست (انتقال و توزیع)

ITDC : ضریب تناظر ظرفیت انتقال و توزیع.

جهت تعیین ضرایب تناظر در شبکه ایران در جدول ۲ برخی اطلاعات شبکه برق ایران در سالهای ۸۲ و ۸۳ با یکدیگر مقایسه شده است [۱].

عنوان	سال ۸۲	سال ۸۳	میزان تغییرات
نیاز مصرف (MW)	۲۶۹۵۰	۲۹۲۶۷	۲۳۱۷
قدرت نامی نیروگاهها (MW)	۳۴۳۲۸	۳۷۳۰۰	۲۹۷۲
قدرت عملی نیروگاهها (MW)	۳۱۲۹۵	۳۳۸۰۱	۲۵۰۶
مجموع ظرفیت پستهای انتقال وفوق توزیع (MVA)	۱۲۰۰۰۹	۱۲۶۶۹۷	۶۶۸۸
ظرفیت ترانسفورمرهای توزیع (MVA)	۵۴۹۵۷	۵۸۱۵۲	۳۱۹۵
تعداد ترانسفورمرهای توزیع	۲۹۱۳۰۰	۳۱۱۷۰۰	۲۰۴۰۰

جدول ۲ – مقایسه اطلاعات شبکه در سال ۸۲ و ۸۳

به عنوان مثال مشاهده می گردد به ازاء هر یک واحد افزایش بار، قدرت عملی نیروگاهها ، ۱/۰۸ واحد افزایش یافته است (CM = ۰/۰۸) و به ازاء هر یک واحد افزایش قدرت عملی نیروگاهها ، ۱/۱۸ واحد ظرفیت نامی نیروگاهها (IGC =۱/۱۸) و ۱/۳۳ واحد میانگین ظرفیت شبکه های انتقال و فوق توزیع (ITDC = ۱/۳۳)

افزایش یافته است.

ت – کاهش پیک شبکه : با توجه به اینکه تقریبا تمامی ترانسفورمر های توزیع در ساعت پیک در باری نزدیک بارنامی خودکار می کنند کاهش تلفات بارداری و بی باری آنان مستقیما بر کاهش پیک شبکه تاثیر می گذارد که این موضوع به نوبه خود هم باعث اصلاح منحنی بار شبکه و بهبود ضریب بهره برداری از تجهیزات شبکه و هم باعث افزایش عمر تجهیزات به دلیل د مای پایین تر تجهیزات می گردد .

ث – افزایش قابلیت اطمینان شبکه : کاهش پیک بار و بطور کلی کاهش دیماند باعث افزایش ظرفیت رزرو و بالاتر رفتن قابلیت اطمینان شبکه می گردد.

ج – کاهش اثرات مخرب زیست محیطی: کاهش تلفات انرژی به معنی تولید تلفات حرارتی کمتر در شبکه و همچنین تولید گاز CO_2 کمتر در نیروگاهها است که هر دوی این عوامل باعث کاهش اثرات مخرب زیست محیطی می گردند.

۴ – محاسبات ارزیابی ارزش تلفات :

الف – هزینه : با توجه به جدول ۱ مشاهده می گردد قیمت اولیه ترانسفورمرهای طرح AC' و CC' از قیمت اولیه ترانسفورمرهای معمولی بیشتر است لذا با توجه به تعداد ترانسفورمرهای توزیع تولید شده در سال ۱۳۸۳ در شرکت ایران ترانسفو اختلاف قیمت دو طرح AC' و CC' با ترانسفورمرهای معمولی محاسبه شده و به عنوان افزایش هزینه اولیه طرح لحاظ شده است.

ب – سود: سود حاصل از اجرای طرح به دو بخش کاهش انرژی تلف شده و کاهش دیماند شبکه بالا دست که باعث به تعویق افتادن هزینه احداث نیروگاه و شبکه می گردد، در نظر گرفته شده است.

ب – ۱ – کاهش هزینه تلفات انرژی: میزان تلفات بی باری ترانسفورمرها به علاوه ۲۵٪ تلفات بارنامی آنها به عنوان متوسط تلفات ترانسفورمر در طول شبانه روز در نظر گرفته شده است و با ضرب این عدد در ۸۷۶۰ ساعت و قیمت تولید انرژی ۴۰۰ ریال بر کیلووات ساعت میزان صرفه جویی سالانه تلفات انرژی در صورت استفاده از ترانسفورمرهای نوع AC' و CC' به جای ترانسفورمرهای معمولی محاسبه شده است .

ب ـ ۲ ـ کاهش هزینه احداث نیروگاه و شبکه : با توجه به جدول ۲ و ضرایب تناظر بدست آمده و با در نظر گرفتن هزینه احداث نیروگاه معادل $900 \$/KW$ و هزینه احداث شبکه بالادست معادل $500 \$/KVA$ و در نظر گرفتن قیمت یک دلار معادل ۹۰۹۰ ریال ، کاهش هزینه احداث نیروگاه و شبکه بالا دست محاسبه شده است که خلاصه محاسبات انجام گرفته در جدول ۳ ارائه شده است .

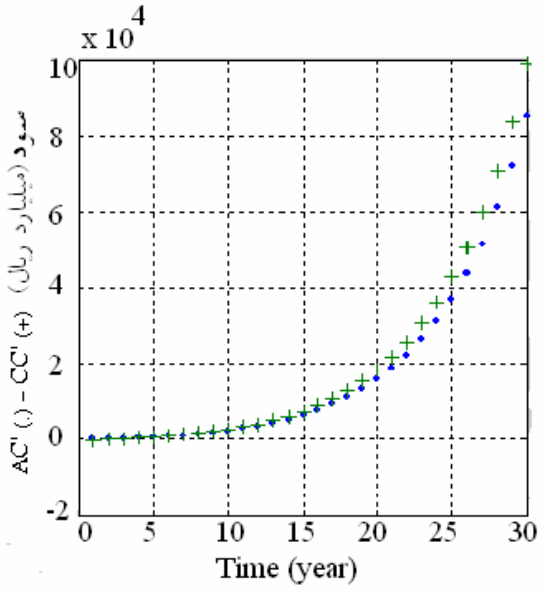
هزینه / طرح	طرح 'AC	طرح 'CC
کاهش هزینه تلفات انرژی (هزار ریال)	۲۲۰۰۳۴۳۹	۲۷۷۷۶۷۹۸
کاهش دیماند شبکه (KW)	۶۲۸۰	۷۹۲۷
کاهش هزینه احداث نیروگاه به دلیل کاهش دیماند (هزار ریال)	۶۶۶۸۱۸۳۸	۸۴۱۷۸۱۱۱
کاهش هزینه احداث شبکه انتقال و فوق توزیع به دلیل کاهش دیماند (هزار ریال)	۴۱۷۵۴۶۳۵	۵۲۷۱۰۳۹۹

مجموع کاهش هزینه ها (هزار ریال)	۱۳۰۴۳۹۹۱۲	۱۶۴۶۶۵۳۰۸
افزایش هزینه خرید (هزار ریال)	۱۲۴۶۴۴۱۰۴	۲۱۷۲۶۶۶۸۹
میزان سود در پایان سال اول(هزار ریال)	۵۷۹۵۸۰۸	- ۵۲۶۰۱۳۸۱

جدول۳ : خلاصه محاسبات سود و هزینه در یک سال

همچنانکه مشاهده می گردد در صورتیکه در سال ۱۳۸۳ به جای تولید ترانسفورمرهای معمولی در شرکت ایران ترانسفو ، ترانسفورمرهای نوع AC′ تولید می گردید در طول یک سال ۵/۷ میلیارد ریال سود عاید وزارت نیرو می گردید. و در صورت تولید نوع CC′، ۵۲/۶ میلیارد ریال هزینه به وزارت نیرو شارژ می گردید. برای محاسبات واقعی سود و زیان باید این محاسبات را برای دوره عمر مفید ترانسفورمرها و با نرخ برگشت سرمایه معینی انجام داد تا ارقام واقعی سود و زیان مشخص گردد. لذا با فرض عمر مفید ترانسفورمرها برابر با ۳۰ سال و با نرخ بهره ۱۸٪ محاسبات انجام شده است.

شکل ۱ نشان دهنده منحنی سود استفاده از ترانسفومرهای نوع AC′ و نوع CC′ در طول ۳۰ سال عمر ترانسفورمرها و با نرخ برگشت سرمایه ۱۸٪ می باشد . همانگونه ملاحظه می شود گرچه بازگشت سرمایه ترانسفورمر نوع AC′ زودتر انجام می شود ولی در طول ۳۰ سال سود حاصله ناشی از ترانسفورمر نوع CC′ بیشتر از سود ترانسفورمر نوع AC′ می باشد.



شکل۱ : منحنی سود استفاده از ترانسفورمرهای نوع AC′ و CC′

۵- کاهش تلفات شبکه :

اگر سهم تلفات ترانسفورمرها را از تلفات کل شبکه ۲٪ در نظر بگیریم و در یک برنامه ۳۰ ساله کلیه ترانسفورمرهای موجود معمولی را (بعد از پایان عمر ۳۰ ساله آنان) با ترانسفورمر های نوع AC′ یا نوع CC′ تعویض کنیم ، در پایان ۳۰ سال با نرخ رشد ۵/۱٪ ، ظرفت کل ترانسفورمرهای توزیع ۲۵۸۶۱۰ MVA خواهد بود که در صورت استفاده از ترانسفورمرهای معمولی تلفات کل انها بطور متوسط ۱۷۰۶/۸ MW و در صورت استفاده از ترانسفورمرهای نوع AC′ تلفات کل بطور متوسط ۱۲۴۱/۳ MW و نوع CC′ تلفات کل بطور متوسط ۱۱۱۲ MW خواهد شد. به این ترتیب از میزان تلفات کل ترانسفورمرهای درصورت استفاده از نوع AC′ به میزان ۲۷/۶۷ ٪ و نوع CC′ به میزان ۳۶/۶ ٪ کاسته می شود و از تلفات کل شبکه به ترتیب به میزان ۰/۵۴٪ و ۰/۷۰ ٪ کاسته می شود.

۶ - نتیجه گیری :

با توجه به محاسبات انجام گرفته و منحنی تغییرات سود ارایه شده مشخص می گردد که استفاده از ترانسفورمرهای نوع AC′ و نوع CC′ کاملا" به نفع شرکتهای برق و نهایتا" وزارت نیرو می باشد و ترانسفورمرهایی که در یک سال در شبکه نصب می شوند در طول ۳۰ سال عمر مفید خود سودی بین ۸۵ تا ۱۰۰ هزار میلیارد ($۱۰^{۱۲} \times ۸۵$ تا $۱۰^{۱۲} \times ۱۰۰$) ریال نصیب وزارت نیرو می نمایند که رقم قابل توجهی است . علاوه

بر آن تلفات کل شبکه نیز بعد از ۳۰ سال بین ۰/۵۴٪ تا ۰/۷۰ ٪ کاهش می یابد.

بنابراین با توجه به اینکه فن آوری ساخت این ترانسفورمرها در داخل کشور وجود دارد ، به نظر می رسد تغییر خط تولید ترانسفورمرها نیازمند یک تصمیم جدی از سوی مسئولین وزارت نیرو می باشد تا با صرف هزینه ای نسبتا" اندک به سود نسبتا" بالایی دست یابند.

۷- مراجع:

۱- آمار تفصیلی صنعت برق ایران در سال ۱۳۸۳.

۲- آمار فروش شرکت ایران ترانسفو و شرکتهای وابسته در سال ۱۳۸۳ .

۳- محمد حسین امراللهی " بررسی فنی و اقتصادی استفاده از ترانسفورماتورهای کم تلفات در شبکه های توزیع " دانشگاه آزاد اسلامی ـ موسسه تحقیقات ترانسفورماتور ایران .

4-J.Olivarres, Y.Liu, Jose M.Canedo "Reducing Losses in Distribution Transformers", IEEE Trans. Power Delivery ,Vol.18 ,No.3 ,July 2003

5-M.Yang, Y.Shi, J.Zhang "Efficient Operation Regions of Power Distribution Transformers", IEEE Trans. Power Delivery, Vol.19, No.4, Oct.2004