نخستین ترانسفورماتور توربین بادی ساخت ایران

بهروز احمدزاده

واحد تحقیق و توسعه

شرکت ترانسفورماتور توزیع زنگان

زنجان، ایران

b.ahmadzadeh@iran-transfo.com

چکیده — امروزه بحث تولید برق در نیروگاههای با انرژی پاک و تجدیدپذیر مانند نیروگاههای بادی از اولویتهای وزارت نیرو می‌باشد. توربینهای بادی از لحاظ محل نصب ترانسفورماتور به سه دسته تقسیم می‌شوند که دشوارترین حالت نصب در ناسل می‌باشد. در این حالت بدلیل محدودیت فضای داخل ناسل(محفظه پشت توربین) لازم است ابعاد و اوزان ترانسفورماتور تا حد امکان کاهش یابد و بدلیل اینکه استفاده از مواد عایقی متداول در تولید ترانسفورماتورهای شبکه منجر به ابعاد قابل قبول نمی‌شود در نتیجه می‌بایست از مواد عایقی با تحمل دمای بالاتر استفاده نمود. در این مقاله به ارائه گزارشی از پروژه طراحی و ساخت اولین ترانسفورماتور مناسب برای نصب در داخل ناسل توربینهای بادی در گروه صنعتی ایران ترانسفو می‌پردازیم.

واژه‌های کلیدی— ترانسفورماتور-توربین بادی-ناسل-مواد عایقی

۱. مقدمه

امروزه بحث تولید برق در نیروگاههای با انرژی پاک و تجدیدپذیر مانند نیروگاههای بادی از اولویتهای وزارت نیرو می‌باشد. توربینهای بادی از لحاظ محل نصب ترانسفورماتور به سه دسته تقسیم می‌شوند:

الف- در داخل ناسل(Nacelle)

ب- روی زمین در داخل برج (Tower)

ج- روی زمین و بیرون از برج

در نوع اول بدلیل محدودیت فضای داخل ناسل(محفظه پشت توربین) لازم است ابعاد و اوزان ترانسفورماتور تا حد امکان کاهش یابد. با استفاده از عایقهای الکتریکی متداول سلولزی با کلاس حرارتی A (105 ºC) این امر مقدور نبوده ولذا می‌بایست از مواد عایقی با تحمل حرارت بالا مانند کلاس F (155 ºC) ویا کلاس H (180 ºC) در ساخت سیم‌پیچها و اکتیوپارت استفاده نمود. همچنین روغن ترانسفورماتور باید تحمل دمای بالا را داشته و خطر آتش‌سوزی نداشته باشد و بنابراین استفاده از روغنهای متداول معدنی مجاز نبوده و باید از روغنهای غیرمعدنی مانند استرها (Esters) ویا روغنهای سیلیکونی با (Flash point >300 ºC) استفاده گردد.

در همین راستا و جهت امکان تولید این نوع ترانسفورماتور در داخل کشور بمنظور مشارکت در پروژه‌های ساخت نیروگاههای بادی 2500 kW مربوط به یکی از شرکتهای معتبر داخلی فعال در این زمینه و در راستای سیاستهای اقتصاد مقاومتی و عدم نیاز به واردات این تجهیز از سازندگان اروپایی و جلوگیری از خروج ارز از کشور ، پروژه طراحی و ساخت نخستین نمونه ترانسفورماتور جهت نصب در داخل ناسل مطابق با الزامات خریدار و استاندارد IEC 60076-16-2011 [1] ، در شرکت ترانسفورماتور توزیع زنگان متعلق به گروه صنعتی ایران ترانسفو تعریف و انجام شد.

۲. پروژه ترانسفورماتور توربین بادی

پس از بررسی های الزامات خریدار برای این ترانسفورماتور و نیز استانداردهای مربوطه و بمنظور رعایت محدودیتهای ابعاد و اوزان این

تجهیز در ناسل توربین بادی ، برای حصول اطمینان هر چه بیشتر استفاده از مواد عایقی با کلاس حرارتی H بعنوان جایگزین برای مواد عایقی متداول سلولزی کلاس A انتخاب گردید. لازم بذکر است که مشخصات حرارتی عایقها طبق استاندارد [2] IEC 60085 کلاس بندی شده‌اند و عایقهای کلاس H با توجه به دمای قابل تحمل بسیار بالا (180 ºC) از نوع مواد پلیمری (aramid polymers) بوده و از دهه ۷۰ میلادی تحت نام تجاری NOMEX متعلق به شرکت سازنده مواد عایقی DuPont معرفی و مورد استفاده قرار می‌گیرند.

در گام بعدی فرایند محاسبات و طراحی و تعیین مشخصات فنی و ابعادی مواد عایقی مورد نیاز انجام شد و پس از تامین این مواد از جمله انواع عایقهای نومکس و نیز جایگزینی روغنهای متداول معدنی با روغن سیلیکونی تحت استاندارد [3] IEC 60836 ، نهایتا فرایند تولید اولین نمونه در پاییز امسال محقق شد و خوشبختانه نتایج تمامی آزمایشات روتین و تایپ آن نیز طبق استانداردهای مربوطه [4] IEC 60076-1 و [5] IEC 60076-2 و [6] IEC 60076-3 مورد تایید قرار گرفت.

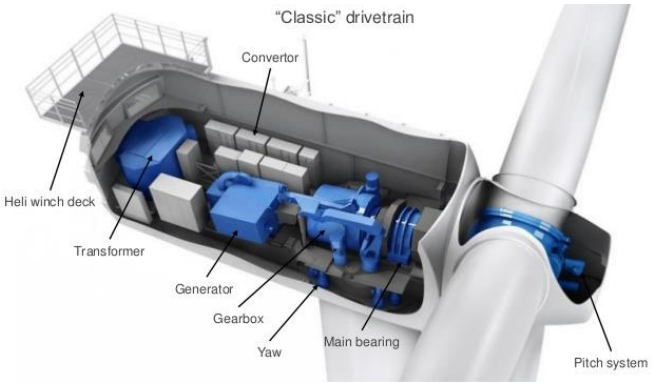
شایان ذکر است که نحوه بهره‌برداری از این ترانسفورماتور بصورت افزاینده بوده و در واقع ولتاژ 690 V خروجی از ژنراتور توربین بادی توسط این ترانسفورماتور به شبکه فشار متوسط بیست کیلوولت ارتباط می‌یابد. ضمنا جهت کاهش فواصل عایقی در ترمینالهای سمت 20 kV از بوشینگهای رزینی (Plug-in type) استفاده شده است. همچنین با توجه به وجود ارتعاشات مکانیکی ناشی از برخورد باد و چرخش پره‌های توربین لازم است از تاثیر آن بر روی ترانسفورماتور تا حد ممکن جلوگیری بعمل آید . این امر توسط یک سیستم فنربندی در داخل ناسل که ترانسفورماتور بر روی آن نصب خواهد شد و نیز با مهار ترانسفورماتور به دیواره‌های ناسل که توسط قلابهای مهاری که روی درپوش تعبیه شده ، انجام می‌شود.

با توجه به محدودیتهای موجود در زمینه تعمیر و نگهداری تجهیزات این نوع توربینهای بادی و لزوم به حداقل رساندن این امر و از جمله عدم نیاز به رطوبت زدایی از روغن ، لذا طراحی و ساخت مخزن این ترانسفورماتور بصورت کاملا آببندی شده (Hermetically sealed) انجام شده است. جدول زیر برخی از مشخصات فنی این ترانسفورماتور را نشان می‌دهد:

جدول ۱- مشخصات فنی ترانسفورماتور توربین بادی

مشخصات فنی	مقادیر گارانتی شده
توان نامی	2700 kVA
ولتاژ نامی سیم‌پیچ HV	20,000 V
ولتاژ نامی سیم‌پیچ LV	690 V
پله های ولتاژ در سیم‌پیچ HV	±2×2.5%
فرکانس نامی	50 Hz
گروه اتصال	Dyn5
نوع خنک کنندگی	KNAN
تلفات بی‌باری P0	2800 W
تلفات بارداری Pk در مبنای 115 ºC	21500 W
امپدانس اتصال کوتاه Uk%	6 %
کلاس عایقی	H
سطوح عایقی سیم‌پیچ HV	LI125 / AC50
سطوح عایقی سیم‌پیچ LV	LI- / AC3
جهش حرارتی حداکثرروغن	80 K (Test result: 67.4 K)
جهش حرارتی مجاز متوسط سیم‌پیچ	120 K (Test result: 89 K)
حداکثر دمای محیط	50 ºC
ارتفاع محل نصب از سطح دریا	1400 m
سطح توان صدا	71 dB (Test result:63.3 dB)
جنس هادی سیم‌پیچهای HV , LV	Copper
ابعاد ارتفاع / عرض / طول	2026 / 1250 / 2035 mm
وزن کل	5500 kg
مخزن	Hermetically corrugated type

چیدمان تجهیزات داخل ناسل در شکل شماتیک زیر نشانداده شده است و همانطور که دیده می‌شود ترانسفورماتور در انتهای ناسل قرار می‌گیرد:



۳.خلاصه

با توجه به اینکه توسعه نیروگاههای با انرژی پاک و تجدیدپذیر مانند نیروگاههای بادی از اولویتهای وزارت نیرو می‌باشد و بدلیل خرید خارجی ترانسفورماتورهای از نوع نصب در داخل ناسل توربینهای بادی، لذا پروژه طراحی و ساخت این نوع ترانسفورماتور در شرکت ترانسفورماتور توزیع زنگان برای اولین بار در کشور انجام گردید. نتایج تستهای تایپ و روتین طبق استانداردهای مربوطه نشاندهنده تایید طراحی و کیفیت محصول بودند. لازم بذکر است که بدلیل محدودیتهای ابعاد و اوزان از عایقهای جامد کلاس **H** در ساختمان اکتیوپارت استفاده شده و نیز بمنظور تحمل دمای بالای روغن و عدم آتش‌گیری آن ، در این ترانسفورماتور روغن سیلیکونی جایگزین روغنهای متداول معدنی شده است.

منابع

[1] IEC 60076-16: Power transformers - Part 16 : Transformers for wind turbine applications (Ed.1–2011)

[2] IEC 60085: Electrical insulation – Thermal evaluation and designation (Ed.4–2007)

[3] IEC 60836: Specifications for unused silicone insulating liquids for electrotechnical purposes (Ed.2–2005)

[4] IEC 60076-1: Power transformers - Part 1: General (Ed.3–2011)

[5] IEC 60076-2: Power transformers - Part 2: Temperature rise for liquid-immersed transformers (Ed.3–2011)

[6] IEC 60076-3: Power transformers - Part 3: Insulation levels, dielectric tests and external clearances in air (Ed.3–2013)