بررسی اهمیت فنر آکامولاتور (spring accumulator) در عملکرد صحیح OLTC در ترانسفورماتورهای قدرت "مطالعه موردی پست برق فشار قوی ۶۳ کیلو ولت تاکستان"

شیرزاد صادقی[۱]، احمد فخاریان[۲]، محمدمهدی کاظمی نسب[۳]
شرکت برق منطقه ای زنجان[۱]، استاد دانشگاه آزاد قزوین[۲]، شرکت آبفای استان قزوین[۳]

چکیده — ترانسفورماتور های قدرت نقش مهم و بسزایی در تامین برق پایدار برق دارد از این رو انجام عملیات پیشگیرانه از مهم ترین اقدامات لازم به منظور استفاده حداکثری از ظرفیت ترانسفورماتورها خواهد بود، در این بین تپ چنجرها جزء حساس ترین اجزا تشکیل دهنده تراتس بوده لذا اهمیت انجام عملیات PM بر روی تپ چنجرها بسیار حائز اهمیت خواهد بود. در این مقاله سعی شده است به اهمیت فنر آکامولاتور (spring accumulator) در عملکرد صحیح OLTC در ترانسفورماتورهای قدرت پرداخته و یک مطالعه موردی کامل بر روی ترانسفورماتور ۶۳ کیلوولت انجام گردیده است. در این مقاله لزوم عملیات PM بر روی فنر آکامولاتور عنوان نموده است و بر اساس نتایج تست های روتین ترانسفورماتور، تاثیرات آرک های داخلی تپ چنجر به میزان tanσ را نتیجه گیری نموده است.

واژه‌های کلیدی — ترانسفورماتور قدرت، تپ چنجر، فنر آکامولاتور

۱. مقدمه

با توجه به ماهیت عملکرد تپ چنجر در ترانسفورماتورهای قدرت ، به دلیل وجود جرقه های دائمی در تپ چنجرها ، باعث رسوب کربن و تجمع لجن بر روی قسمت های مختلف آن گردیده و میزان ایزولاسیون آنها را بشدت کاهش میدهد و ادامه این فرایند میتواند منجر به اتصالی های جزئی یا عمده در تپ چنجر گردد. از طرفی دیگر عدم سرویسهای دوره ای بموقع و یا عدم توجه و نظارت کافی به قطعات و متعلقات دایورتر سوییچ از جمله ؛ لغی یاتاقانها ، ضعیف شدن فشار فنر آکامولاتورها و ... باعث میشود که فشار کنتاکتها کمتر شده و موجب بالایرفتن چگالی جریان در آنها میشود که این امر خود با گذشت زمان باعث افزایش گازهای تولید شده در تپ چنجر گردیده و هنگامیکه مقدار آن از حد مجاز تجاوز نماید(شکل۸) باعث عملکرد ناخواسته بریکرهای ترانسفورماتور شده و ترانسفورماتور از مدار خارج میگردد.در این میان عدم شناسایی بموقع قطعات در حال فرسایش و در آستانه تخریب ، در زمان سرویسهای دوره ای ، میتواند در زمان کارکرد ترانسفورماتور ، یکی از قطعات مستهلک شده کار خود را بدرستی انجام نداده و در نهایت موجب تحریک رله تپ چنجر شود و یا باعث انفجار مخزن روغن گردیده و قطعات متلاشی شده آن از داخل به سیم پیچ ها و عایقهای ترانسفورماتور صدمات جبران ناپذیری وارد نماید.

۲. اصول کار تپ جنجر

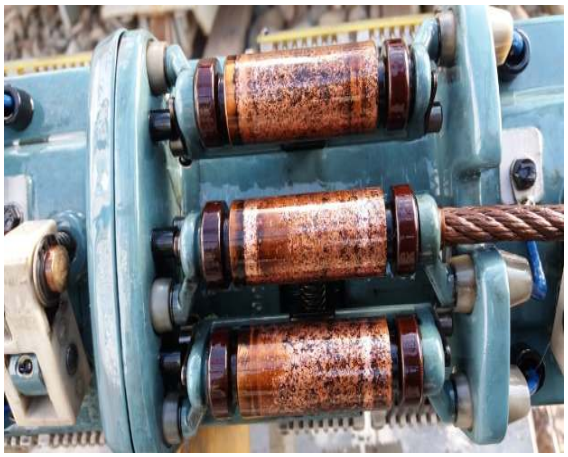
2.1.تپ چنجر مدل V

قرار گرفتن مقاومتهای گذرا در مسیر جریان برای زمانی در حدود ۵۰میلی ثانیه مستلزم مکانیزمی بسیار سریع جهت باز و بستن کنتاکتهای

مقاومتی میباشد. در شکل ۱ و ۲ نمائی از تپ چنجر مدل V نمایش داده شده است.

رسوب کربن حاصل از جرقه های عملکرد تپ چنجرو جذب رطوبت موجود در روغن ، موجب بوجود آمدن سطوح هادی در تپ چنجرمی گردد که نهایتا باعث بروز اتصال کوتاه می شود. این ذرات کربن در قسمتهای مختلف دایورترسوئیچ نفوذ کرده و باعث بروز مشکلات زیادی خواهد شد. در شکل ۳ وضعیت ناسالم کنتاکتورها قابل مشاهده بوده و این مورد بدلیل جذب رطوبت موجود در روغن اتفاق افتاده است.

شکل ۱- شمای واقعی از دایورتر سوییچ تیپ v



شکل ۲- کنتاکت ها دروضعیت سالم

شکل ۳- وضعیت ناسالم کنتاکتها

جهت توضیح کامل تپ چنجرها و شرایط نگهداری و تعمیرات، تهیه شده توسط شرکت تولید کننده به شرح جداول ۱ الی ۳ آورده شده است، با بررسی جداول و user manualهای سازنده، متوجه عدم توجه به فنر آکامولاتور شده ایم. که با توجه به یافته های این تحقیق، اهمیت بررسی فنر آکامولاتور بیش از پیش روشن گردیده است. هم چنین در شکل ۴ متعلقات دایورتر سوئیچ آورده شده است.

جدول۱- قطر کنتاکتها در وضعیت نو و زمان تعویض

Tap changer, no. of contact palne		new condition Mn. Arcing contacts	new condition Aux. Arcing contacts	Min contact diameter
V 200	10	22.0	22.0	16.0
	12	22.0	22.0	
	14	22.0	20.0	
V 350	10	22.0	22.0	17.0
	12	22.0	22.0	
	14	22.0	20.0	

جدول۱- مقدار حجم روغن مورد نیاز مخزن دایورتر سوییچ

Model	VIII 200Y	VIII 200Δ 30kV/60kV	VI200	VIII350Y	VIII350 Δ 30kV/60kV	VI350	VI800
without changeover selector	100	130/145	55	105	170/185	60	85
with changeover selector	125	150/165	80	130	205/220	85	100

۳. حادثه بوجود آمده بر روی تپ چنجر

جدول۳- مدت زمان نظارت و سرویس

On- load tap changer	Operating through - current	Number of tapchanging operations
VIII 200 Y/Δ , V I 200	up to 100 A over 100 A	100,000 70,000
VIII 350 Y/Δ , V I 350	up to 200 A over 200 A	100,000 70,000
V I 700	up to 350 A over 350 A	70,000 50,000

شکل ۴- متعلقات دایورتر سوئیچ

3.1.تحلیل حادثه:

ترانسفورماتور۶۳/۲۰ کیلو ولتT2 پست تاکستان ، با عملکرد رله حفاظتی تپ چنجر RS2001 معرف به رله جانسون از مدار خارج میگردد. اقدامات اولیه جهت روشن شدن این حادثه به جهت تعیین عملکرد کاذب و یا صحیح رله حفاظتی صورت میگیرد. بررسی های اولیه بر روی ترانسفورماتور T2 بیانگر عملکرد صحیح رله حفاظتی می باشد.رلهRS2001 در اثر عبور جریان روغن از مخزن روغن به سمت منبع انبساط تپ چنجر عمل مینماید . این رله اجازه عبور به گازهای حاصل در اثر جرقه عملکرد عادی تپ چنجر را می دهد . عملکرد رله مذکور باعث جدا شدن ترانسفورماتور از شبکه می گردد. ازآنجاییکه رله RS2001 بصورت مکانیکی(با جدا سازی وایرینگ های آن) و الکتریکی مورد بازرسی و تست قرار می گیرد و همچنین در مسیرارتباطی فلوی روغن از محل کنسرواتورتپ چنجر به طرف مخزن روغن دایورترسوئیچ کلیه اتصالات و شیرها مورد بازرسی قرار گرفته است. و اهم مطلب ، درجه حرارت و گرمای فوق العاده شدید ، در محل دیافراگم سر تپ چنجرOLTC Head احساس شده است. بطوریکه به مدت چند ثانیه تحمل لمس این حرارت بالا را نمی توان داشت.دیافراگم که از تعبیه یک صفحه آلومینیومی نازک و یا با اعمال یک شیار روی سر تپ چنجرOLTC Head بوجود آمده است در صورت بروز اتصالی شدید و افزایش ناگهانی فشار در داخل دایورتر سوئیچ پاره شده و فشار داخل مخزن روغن را آزاد نموده و از انفجار این مخزن جلوگیری مینماید .این حفاظت برای فشار 4 تا 5 بار بدون تاخیر زمانی عمل مینماید.بنابراین شواهد امر، بیانگر بروزاتصالی شدید در داخل مخزن دایورترسوئیچ می باشد. که در ادامه فرایند عیب یابی از ترانسفورماتور حادثه دیده ، تستهای الکتریکی تکمیلی می بایست انجام گیرد. در شکل ۵ شکستگی فنر آکامولاتور کاملا قابل شهود می باشد.

شکل ۵- فنر آکامولاتور شکسته شده

۴. نتایج آزمایشات

جهت بررسی بیشتر موضوع، ترانسفورماتورهای T1 و T2 پست ۶۳کیلوولت تاکستان، مورد ارزیابی و تست های روتین قرار گرفت، لازم بذکر است که حادثه بوجود آمده بر روی تپ چنجر ترانس شماره ۲ بوده و مقایسه ترانس های T1 و T2 به منظور بررسی تفاوت های بوجود آمده بر اثر خرابی تپ چنجر می باشد.

4.1.تست های نسبت تبدیل

تست نسبت تبدیل مطابق با مشخصات جدول شمار ۴، بر روی ترانسفورماتور ها انجام شده است.

جدول ۴ – مشخصات ترانس و تست نسبت تبدیل

Ratio and No load current Test			
Substation Name:	63 takestan	Test Voltage (V):	200.0
Transformer code:	T2&T1	Voltage Level :	63/20
Rated Power:	30.0	Test Date:	97/9/2
Vector Group:	YNd11	Weather Condition:	17C-33%
Test device:	cpc100	Measuring sequence:	

در جدول ۵ و ۶ به ترتیب نتایج تست های بر روی ترانس های ۱ و ۲ نیز آمده است، از نتایج تست نسبت تبدیل اینطور می توان برداشت نمود که خرابی تب چنجر و شکستگی فنر آکامولاتور بر روی نسبت تبدیل ترانسفورماتور بی تاثیر بوده است، این مقایسه را برای تست مقاومت DC و Tanσ را نیز تکرار می کنیم و در قسمت نتیجه گیری به بررسی خرابی فنر آکامولاتور و تاثیرات آن بر روی نتایج تست ها خواهیم پرداخت.

4.2.تست مقاومت DC

در این قسمت به تست مقاومت DC سیم پیچ های ترانسفورماتور می پردازیم، تست مقاومت DC مطابق با جدول ۴ و نتایج آن برای ترانسفورماتور ۱ و ۲ مطابق با جدول ۵ و ۶ می باشد، با بررسی نتایج تست مقاومت DC نیز در می یابیم که با توجه به رفتار مناسب مقاومت سیم پیچها با توجه به نمودار مقاومت سیم پیچها (شکل ...)خرابی فنر آکامولاتور و به تبع آن فالت ترانسفورماتور، میتواند تاثیری بر روی سیم پیچ های ترانس و تپ چنجر نگذاشته و سیم پیچ ها همچنان سالم می باشد.

جدول ۵ – نتایج تست برای ترانسفورماتور T2

	VOLTAGE (V)		
TAP	HV	LV	NOM.RATIO
1	72450	20000	2.0915
2	71400	20000	2.0611
3	70350	20000	2.0308
4	69300	20000	2.0005
5	68250	20000	1.9702
6	67200	20000	1.9399
7	66150	20000	1.9096
8	65100	20000	1.8793
9	64050	20000	1.849
10	63000	20000	1.8187
11	61950	20000	1.7883
12	60900	20000	1.758

بشود و این موضوع اهمیت PM های دوره ای برای فنر آکاامواتور را دو چندان می کند. *موضوعی که در عملیات PM دوره ای ترانسفورماتورها نادیده گرفته می شود.*

جدول ۶ – نتایج تست برای ترانسفورماتور T1

	VOLTAGE (V)		
TAP	HV	LV	NOM.RATIO
1	72450	20000	2.0915
2	71400	20000	2.0611
3	70350	20000	2.0308
4	69300	20000	2.0005
5	68250	20000	1.9702
6	67200	20000	1.9399
7	66150	20000	1.9096
8	65100	20000	1.8793
9	64050	20000	1.849
10	63000	20000	1.8187
11	61950	20000	1.7883
12	60900	20000	1.758

جدول ۷- مشخصات تست مقاومت DC

DC Resistance Test			
Substation Name:	63 takestan	Test device:	0.0
Transformer code:	T2	Voltage Level :	63/20
Rated Power:	30	Test Date:	97/9/2
Vector Group:	YNd11	Weather Condition:	17C-33%
Winding temp.:	16.0	Measuring Sequence:	0

جدول ۸ – نتایج تست مقاومت DC – ترانسفورماتور۲

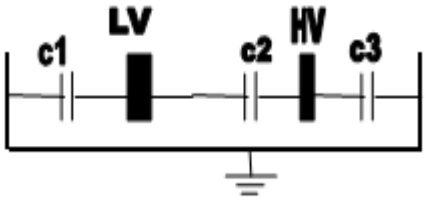
HV winding resistance					Test Current (A):	17.0
tap	1U-1N mohm	Difference	1V-1N mohm	Difference	1W-1N mohm	Difference
1	271.28	4.9	272.52	5.08	273.14	4.91
2	266.38	4.99	267.44	4.83	268.23	4.84
3	261.39	4.93	262.61	5.03	263.39	4.84
4	256.46	4.86	257.58	4.74	258.55	4.92
5	251.6	4.9	252.84	5	253.63	4.9
6	246.7	4.96	247.84	4.85	248.73	4.9
7	241.74	4.81	242.99	4.82	243.83	4.89
8	236.93	4.79	238.17	4.88	238.94	4.71
9	232.14	6.11	233.29	6.01	234.23	6.99
10	226.03	4.1	227.28	4.35	227.24	3.49
11	221.93	4.94	222.93	4.9	223.75	4.98
12	216.99	4.91	218.03	4.87	218.77	4.86
13	212.08	4.96	213.16	4.95	213.91	5
14	207.12	4.86	208.21	4.82	208.91	4.78

جدول ۹ – نتایج تست مقاومت DC ترانسفورماتور ۱

HV winding resistance					Test Current (A):	17.0
tap	1U-1N mohm	Difference	1V-1N mohm	Difference	1W-1N mohm	Difference
1	291.73	5.32	291.43	5.11	291.75	5.37
2	286.41	5.32	286.32	5.39	286.38	5.26
3	281.09	5.24	280.93	5.11	281.12	5.18
4	275.85	5.22	275.82	5.42	275.94	5.18
5	270.63	5.4	270.4	5.23	270.76	5.19
6	265.23	5.11	265.17	5.13	265.57	5.24
7	260.12	5.3	260.04	5.23	260.33	5.2
8	254.82	5.13	254.81	5.05	255.13	5.17
9	249.69	6.62	249.76	6.73	249.96	7.29
10	243.07	3.85	243.03	3.95	242.67	3.04
11	239.22	5.3	239.08	5.31	239.63	5.18
12	233.92	5.24	233.77	5.16	234.45	5.28
13	228.68	5.23	228.61	5.23	229.17	5.15
14	223.45	5.29	223.38	5.19	224.02	5.23

۳.۳- تست Tanσ

این تست مهم ترین تست ترانسفورماتور بوده در این بخش بوده و نتایج تست نشان می دهد که خرابی فنر آکامولاتور باعث آرک های شدید و خرابی روغن محفظه تپ چنجر شده به نحوی که تاثیر آن بر روی Tanσ کل ترانسفورماتور دیده می شود. لازم به توضیح است وجود آرک های این چنین و تغییرات شدید Tanσ به ندرت در تست های روتین دیده می



شکل ۶ – ظرفیت های معادل در تست های Tanσ

جدول ۱۰- نتایج تست Tanσ بر روی ترانسفورماتور T2

HV out put	V test (KV)	Capacitance	Tan δ(%)	Measured	mode	connection
HV	10	6.7954 nF	0.2586	C2	UST-A	
	10	1.7876 nF	1.586	C3	GSTg-A+B	
	2	1.7672 nF	1.613			
	4	2.1230 nF	1.2895			
	6	2.4265 nF	1.0299			
	8	2.8109 nF	0.4714			
	10	4.8167 nF	0.2757	C2+C3	GSTg-B	
LV	10	6.7976 nF	0.2583	C2	UST-A	
	10	5.2266 nF	0.3143	C1	GSTg-A+B	
	10	7.9337 nF	0.3012	C1+C2	GSTg-B	

جدول ۱۱- نتایج تست Tanσ بر روی ترانسفورماتور T1

HV out put	V test (KV)	Capacitance	Tan δ(%)	Measured	mode	connection
HV	10	7.0168 nF	0.1856	C2	UST-A	
HV	10	2.0880 nF	0.3743	C3	GSTg-A+B	
HV	10	9.105	0.2292	C2+C3	GSTg-B	
LV	10	7.0176 nF	0.1873	C2	UST-A	
LV	10	6.8115 nF	0.3902	C1	GSTg-A+B	
LV	10	13.830 nF	0.2868	C1+C2	GSTg-B	

۳.۴- تست مقاومت عایقی سیم پیچ ترانسفورماتور

این تست مطابق استاندارد IEC تست ویژه است[۲].اما مطابق استاندارد IEEE تست روتین محسوب میشود[۳].مقادیر $PI \geq 2$ شرایط عایقی خوبی را نشان میدهد. $PI \leq 1$ شرایط ضعف عایقی را نشان میدهد.

جدول ۱۲ – تست مقاومت عایقی سیم پیچ

Conection type	*Voltage test*	*Insulation resistance* GΩ			*PI*
		15 sec	*60 sec*	*10 min*	
HV/LV	*5 KV*	*2.2*	*4.1*	*5.7*	*1.39*
HV/G	*5 KV*	*1.8*	*3.7*	*5.9*	*1.59*
LV/G	*5 KV*	*1.2*	*2.5*	*3.9*	*1.56*

۳.۵- تست مقاومت عایقی روغن تپ چنجر

روغن عایق موجود در محفظه تپ چنجراز همان نوع روغن عایق ترانسفورماتور می باشد. با توجه به اینکه تپ چنجر در سمت فشارقوی ترانسفورماتور نصب میشود لذا میزان دی الکتریک روغن از اهمیت بالایی برخوردار است. میزان عایقی و میزان رطوبت موجود در روغن از مهمترین تستهای روغن تپ چنجر می باشد که می بایستی در شرایط عادی هر شش ماه یکبار انجام پذیرد. حداقل میزان دی الکتریک روغن برای تپ چنجرهای نصب شده در سیم پیچ مثلث ترانسفورماتورها 40 کیلو ولت و در اتصال ستاره 30 کیلو ولت می باشد .حداکثر رطوبت مجاز که بطریقه کارل – فیشر اندازه گیری می شود و در تپ چنجرهای با اتصال مثلث 30ppm و در اتصال ستاره 40ppm می باشد.در این ترانسفورماتور تحت مطالعه ما میزان مقاومت عایقی روغن اندازه گیری شده در حدود ۲۵ کیلو ولت بدست آمده است. که مقدار مطلوبی نمی باشد و وضعیت نامناسب روغن موجود در تپ چنجر را نشان میدهد.

۴. نتیجه گیری

در این مقاله نقش و اهمیت تپ چنجر در ترانسفورماتورهای قدرت بررسی گردید. اهمیت فنر آکامولاتور (spring accumulator) در عملکرد صحیح OLTC در ترانسفورماتورهای قدرت مورد بحث قرار گرفت. قرار گرفتن مقاومتهای گذرا در مسیر جریان در زمان بسیار محدود مستلزم مکانیزمی بسیار سریع جهت باز و بسته کردن کنتاکتهای مقاومتی میباشد.این مکانیزم بایستی در سرویسهای دوره ای مورد بازرسی قرار گرفته و فشار فنرهای آکومولاتور انرژی و سختی آن اندازه گیری شود.تمامی تستهای روتین برروی ترانسفورماتور مورد مطالعه انجام گرفت.با وجود عیب در فنر آکامولاتور و تاثیر منفی آن بر عملکرد تپ چنجر ، کلیه تستهای ترانسفورماتور به جز تست تانژانت دلتا ، قادر به شناسایی عیب داخلی تپ چنجر نبوده است. بنابراین تست تانژانت دلتای ترانسفورماتورها میتواند مبنایی برای شناسایی عیوب داخلی و عملکردی دایورترسوئیچ واتصالات آن محسوب شود.

منابع

[1] صیاوند منفرد, حسن و افشین روشن میلانی، ۱۳۸۴، بررسی حادثه تپ چنجراتوترانس ۱۲۵ MVA و آموخته هایی از آن، ششمین همایش کیفیت و بهره وری در صنعت برق، تهران، شرکت توانیر، پژوهشگاه نیرو،

[2] IEC 60076-1(2000) , clause 10.1.3: power transformer-part 1 "General"

[3] IEEE Std 57.12.90 1999 , clause:10.11 "insulation resistance tests"