

## تحلیل تأثیر مقاومت زمین نقطه نوترال ترانسفورمر در شبکه برق مجتمع فولاد مبارکه

جواد نیلی

علی باهنر

بهرام کل کیان

مهدی ترابیان اصفهانی

فولاد مبارکه اصفهان

فولاد مبارکه اصفهان

فولاد مبارکه اصفهان

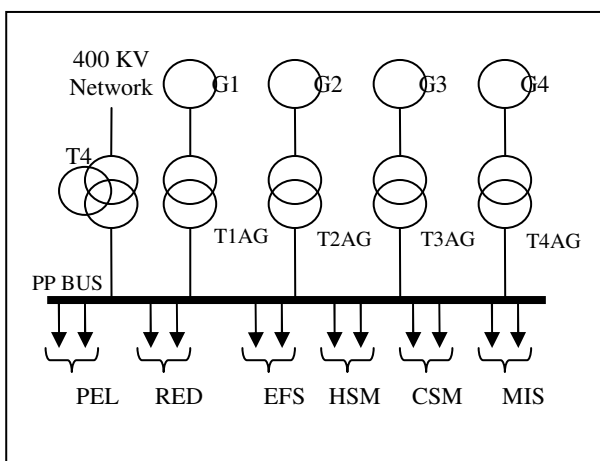
دانشگاه اصفهان

Jni @mobarakeh-steel.ir aup@ mobarakeh-steel.ir knb@ mobarakeh-steel torabian\_mehdi@yahoo.com.

چکیده - پایداری خطوط تولید صنایع، به ویژه صنایع پربراری مثل صنایع فولاد و ذوب فلز و اهمیت حفظ شبکه‌های پر بار از دیدگاه شبکه انتقال انرژی بسیار حائز اهمیت است. آنالیز خرابی‌های ایجاد شده در شبکه‌های توزیع داخلی این صنایع و اقدام در جهت رفع این عیوب می‌تواند به طور مستقیم منجر به پایداری شبکه انتقال و نیز تداوم تولید واحدهای تولیدی شود. در این مقاله به آنالیز یکی از فالت‌های ایجاد شده در مجتمع فولاد مبارکه که منجر به ایجاد افت ولتاژ شدید و توقف خطوط تولید گردید پرداخته و نقش مقاومت زمین نقطه نوترال ترانسفورمرها مورد بررسی قرار گرفته است.

کلید واژه- اتصال کوتاه، افت ولتاژ، ترانسفورمر، مقاومت زمین، نرم افزار پاشا

### ۱- مقدمه



شکل ۱: آرایش شبکه برق مجتمع فولاد مبارکه

مشخصات المان‌های شکل فوق به شرح ذیل است:

شبکه توزیع برق فولاد مبارکه اصفهان، به دو بخش کلی تقسیم می‌گردد؛ بخش مربوط به تغذیه کوره‌های قوس الکتریکی (باس بار کوره‌ها) و بخش مربوط به تغذیه سایر بارها نظیر نورد گرم، نورد سرد، آهن سازی و مصارف جنبی (باسبار نیروگاه).

در این مقاله به تحلیل اتصال کوتاه ایجاد شده در بخش تغذیه سایر بارها (باسبار نیروگاه) پرداخته شده است و نقش مقاومت نوترال ترانسفورمرها مورد بحث و بررسی قرار گرفته است و نهایتاً نتیجه گیری شده است که نصب مقاومت نوترال مناسب با توجه به نوع اتصال ترانسفورمرهای پایین دست می‌تواند کمک زیادی به حفظ ولتاژ بار نماید.

### ۲- کلیات شبکه توزیع برق

آرایش شبکه توزیع برق مجتمع فولاد مطابق شکل ۱ می‌باشد.

جدول ۱: مشخصات المانهای شبکه

### ۳- بررسی علل بروز مشکل و تحلیل آن

حادثه مطرح شده از دو جنبه قابل بررسی است یکی دلایل بروز فالت روی کابل و دیگری علت توقف سایر واحدهای تولیدی مجاور، آنچه در این مقاله به آن پرداخته می شود بررسی علل مشکل از جنبه دوم یعنی توقف سایر واحدهای تولیدی است.

همانطور که ذکر شد علت توقف سایر واحدهای تولیدی، افت ولتاژ لحظه ای در اثر ایجاد اتصالی تکفاز و تغییر وضعیت رله های لاجیک سیستمهای کنترل بوده است. این رله ها از ولتاژ فشار ضعیف (۲۲۰ ولت) تغذیه می شوند و افت ولتاژ تا ۶۰٪ مقدار نامی منجر به تغییر وضعیت این رله ها خواهد شد.

یکی از راه های جلوگیری از این مشکل، تغذیه کلیه سیستمهای کنترلی و حفاظتی واحدهای تولیدی از طریق UPS می باشد که هر چند راه حل بسیار مطمئن و مفیدی است ولی به دلیل فراوانی و پراکندگی زیاد رله های مذکور در خطوط تولید، مستلزم صرف هزینه زیاد و نیز تحمیل توقفات متعدد به خطوط تولید جهت جابجایی تغذیه آنها است و عملاً در کوتاه مدت قابل اجرا نمی باشد.

با بررسی های به عمل آمده مشخص شد که مرکز ستاره تمامی ترانسفورمرهای واحدهای نیروگاهی از طریق مقاومت ۱۰ اهمی به زمین متصل شده است و فقط یکی از آنها که جدیداً نصب شده است (T4AG) فاقد مقاومت زمین است و به صورت مستقیم زمین شده است و چون این ترانسفورمرها با یکدیگر پارالل هستند عملاً سایر مقاومت های مرکز ستاره را نیز بی اثر می گرداند.

راه حل دوم مطرح شده برای کاهش اثرات اتصال کوتاه یک فیدر روی ولتاژ سایر فیدرها، نصب مقاومت مرکز ستاره ترانسفورمر T4AG بود که با اجرای آن هم جریان اتصال کوتاه تکفاز کمتر شود [۱] و هم ولتاژ مصرف کنندگان دیگر وضعیت بهتری پیدا کند [۲]، و با توجه به اینکه اکثر فالتهای واقعی در سیستمهای قدرت از نوع تکفاز است [۳] حل این مسأله می تواند بسیار مفید واقع شود.

برای بررسی دقیق نتایج نصب مقاومت نقطه نوترال، شبکه مجتمع فولاد در نرم افزار پاشا مدل گردید و اطلاعات واقعی

Specification	Element
400/63/30.5 KV – 14/12/5% - Yn/Yn/d – 220 MVA	T4
15/63 KV – 100 MVA – 10% - d/Yn11 (Steam Turbine)	T1AG ~ T3AG
11.5/63 KV – 135 MVA – 14% - d/Yn11 – (Gas Turbine)	T4AG
پست تغذیه کننده آهن سازی	PEL
پست تغذیه کننده احیا مستقیم	RED
پست تغذیه کننده فولادسازی	EFS
پست تغذیه کننده نورد گرم	HSM
پست تغذیه کننده نورد سرد	CSM
پست تغذیه کننده مصرف داخلی شبکه و نیروگاه	MIS
63 KV – 34 KA	PP BUS

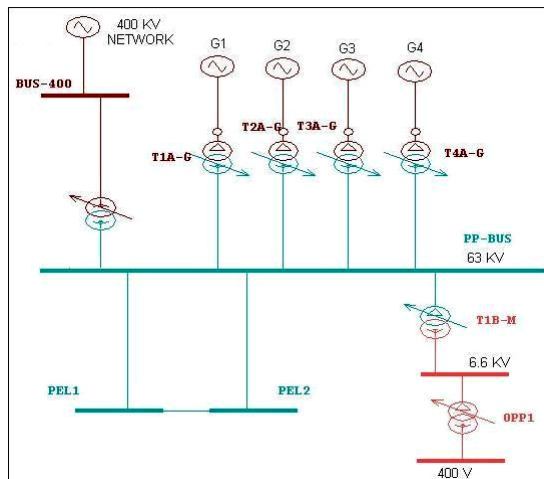
شبکه داخلی فولاد مبارکه شامل ۳ واحد نیروگاه بخار (G1~G3) و ۱ واحد نیروگاه گازی جدید نصب (G4) میباشد که هر یک از واحدهای نیروگاهی از طریق یک ترانسفورمر افزایش دهنده به باسبار ۶۳ کیلوولت مرکزی (PP BUS) متصل شده اند و ترانسفورمر (T4) این باسبار را با شبکه سراسری ۴۰۰ کیلوولت کشور پارالل نموده است.

لازم به ذکر است که نقطه نوترال ثانویه تمامی ترانسفورمرهای مذکور از طریق مقاومت ۱۰ اهمی زمین شده اند و در زمان وقوع حادثه فقط نوترال ترانسفورمر واحد ۴ نیروگاه (T4G) به طور مستقیم زمین شده بود.

تمامی پستهای فرعی دارای باسبار ۶۳ کیلو ولت بوده و از نوع Indoor هستند که از طریق کابل از باسبار مرکزی، تغذیه می گردند.

### ۱-۲- شرح حادثه (خرابی)

در تاریخ ۸۳/۳/۲۴ بر اثر انفجار مفصل فاز R کابل ۶۳ کیلوولت خط دوم پست PEL، اتصال کوتاه تکفاز به زمین رخ داد و بر اثر افت ولتاژ باسبار PP و تأثیر بر مدارات کنترلی داخل پستهای فرعی منجر به توقف نیروگاه گازی، واحد تولید اکسیژن، احیا مستقیم، نورد سرد و فولادسازی گردید و با توجه به اینکه واحد اکسیژن تأمین کننده هوای سرویس های پنوماتیکی کلیه نواحی تولیدی است، توقف آن بسیاری از قسمتهای خطوط تولید را از مدار خارج گرداند.



شکل ۲: شبکه شبیه سازی شده با نرم افزار پاشا

در این شبیه سازی موارد قابل توجه ذیل به چشم می خورد:

۱- با نصب مقاومت مرکز ستاره ترانسفورمر T4AG جریان اتصال کوتاه تکفاز از 18.4 KA به 14 KA تقلیل می یابد.

۲- ولتاژ فاز به زمین فاز معیوب روی باس 63 KV (باس PP) تفاوت چندانی قبل و بعد از نصب مقاومت نخواهد داشت.

۳- ولتاژ فاز به زمین فازهای سالم روی باس 63 KV (باس PP) به طور قابل ملاحظه ای پس از نصب مقاومت مرکز ستاره افزایش یافته است.

۴- ولتاژ خط در باس 63 KV (باس PP) پس از نصب مقاومت نسبت به قبل از آن بهبود قابل توجهی یافته است.

۵- ولتاژهای هر سه فاز در باسبارهای ثانویه ترانسفورمرهای ستاره - مثلث یعنی ترانسفورمرهای T1BM و OPP1 بهبود یافته است ( کمترین ولتاژ روی فاز T باس OPP1 به میزان 0.51 PU بوده است که به 0.88 افزایش یافته است)

۶- باتوجه به افزایش ولتاژ فاز به زمین فازهای سالم تا حدود 1.7PU باید پیش بینی های لازم از نظر عایقی در نظر گرفته شود.

#### ۴- آنالیز بیشتر حالت های مختلف

نظر به اهمیت نوع اتصال ترانسفورمرها در پایداری ولتاژ شبکه در این بخش مقاله بررسی بیشتری روی تأثیر انواع

شبکه و تجهیزات در آن وارد شد، سپس در دو حالت با وجود مقاومت زمین مرکز ستاره و بدون آن (اتصال زمین مستقیم مرکز ستاره)، اتصال کوتاه تکفاز به زمین روی فیدر دچار خرابی (PEL2) شبیه سازی شد.

طبق محاسبات انجام گرفته توسط نرم افزار پاشا نتایج ذیل به دست آمد.

جدول ۲: نتایج شبیه سازی نرم افزار پاشا

نام باس	حالت (۱):			حالت (۲):		
	نوترال ترانسفورمر T4G به صورت مستقیم زمین شده			نوترال ترانسفورمر T4G با مقاومت ۱۰ اهم زمین شده		
	ولتاژ (PU)			ولتاژ (PU)		
	T	S	R	T	S	R
اولیه ترانسفورمر T4G	0.7	0.87	0.68	0.93	0.94	0.78
باس PP (63KV)	1.04	0.94	0.17	1.74	1.13	0.13
باس T1B-M (6.6 KV)	0.7	0.99	0.63	1.06	1.04	0.76
باس OPP1 (400 V)	0.51	0.93	0.87	0.88	1.13	0.86

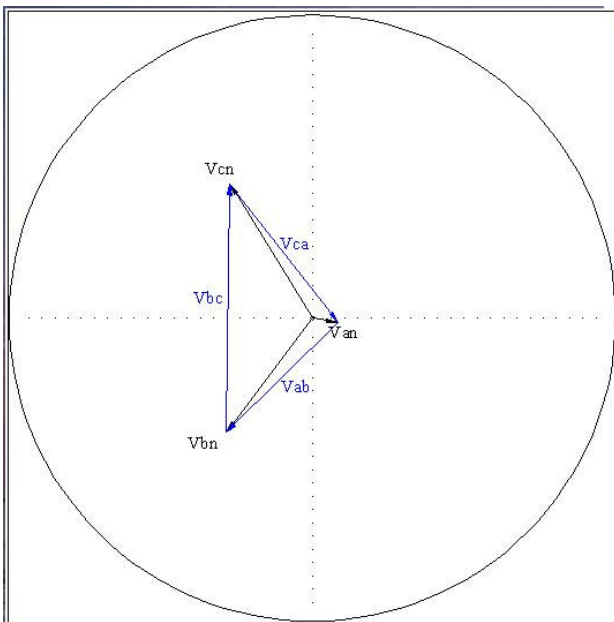
شکل زیر شبکه شبیه سازی شده با نرم افزار پاشا را نشان می دهد که در آن G1 , G2 , G3 , G4 چهار واحد نیروگاهی و NET400KV مدل شبکه 400 KV تغذیه کننده مجتمع فولاد است. ترانسفورمر T1B-M یکی از ترانسفورمرهای توزیع 63/6.6 KV است که یکی از فیدرهای آن واحد تولید اکسیژن را تغذیه می کند. در این شکل باس ۴۰۰ ولت OPP1 مربوط به تجهیزات جنبی واحد اکسیژن است که رله های سیستم کنترل آن نیز از همین باس تغذیه می شوند.

اطلاعات کلیه ترانسفورمرها و کابلها مطابق مشخصات واقعی تجهیزات وارد نرم افزار شده اند.

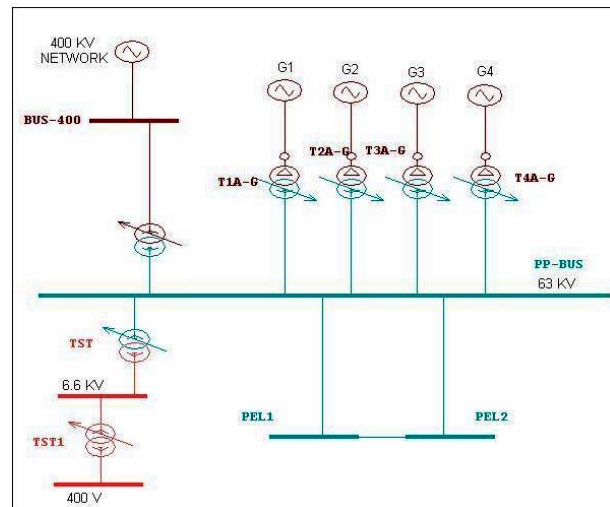
جدول ۳: نتایج شبیه‌سازی شبکه فرضی در پاشا

حالت (۲):			حالت (۱):			نام باس
نوترال ترانسفورمر T4G با مقاومت ۱۰ اهم زمین شده			نوترال ترانسفورمر T4G به صورت مستقیم زمین شده			
ولتاژ (PU)			ولتاژ (PU)			
T	S	R	T	S	R	
0.93	0.94	0.78	0.7	0.87	0.68	اولیه ترانسفورمر T4G
1.74	1.13	0.13	1.04	0.94	0.17	باس PP (63KV)
1.8	1.16	0.16	1.08	0.98	0.2	باس TST (6.6 KV)
1.8	1.16	0.16	1.08	0.98	0.2	باس TST1 (400 V)

دلیل این موضوع با رسم دیاگرام فازوری ولتاژها مشخص می‌گردد:



شکل ۴: دیاگرام فازوری ولتاژهای باس PP، بدون مقاومت نوترال ترانسفورمر



شکل ۳: شبکه فرضی مدل شده در نرم‌افزار پاشا

همانطور که نتایج نشان می‌دهد با اینکه تمامی شرایط مانند شبکه قبل است و فقط اتصال ترانسفورمرهای توزیع متفاوت است ولتاژهای ثانویه ترانسفورمرهای توزیع پس از نصب مقاومت نقطه نوترال به هیچ وجه بهبود نیافته است بلکه فازهای سالم، دچار افزایش ولتاژ خطرناکی شده‌اند.

نتایج شبیه سازی مطابق جدول ۲ ذیل است.

مختلف اتصال ترانسفورمرها در مسأله عنوان شده انجام گرفته که نشان می‌دهد صرف نصب مقاومت زمین نقطه نوترال، بدون توجه به نوع اتصال ترانسفورمرهای شبکه، احتمال عدم بهبود مورد نظر را به دنبال دارد.

در شبکه مجتمع فولاد همانگونه که تشریح شد ترانسفورمرهای توزیع (6.6/0.4 , 63/6.6 KV) دارای اتصال  $\Delta/Y$  هستند و با این اتصال طبق جدول شماره ۲ مشکل مورد نظر با نصب مقاومت زمین نقطه نوترال ترانسفورمر T4A-G حل گردید.

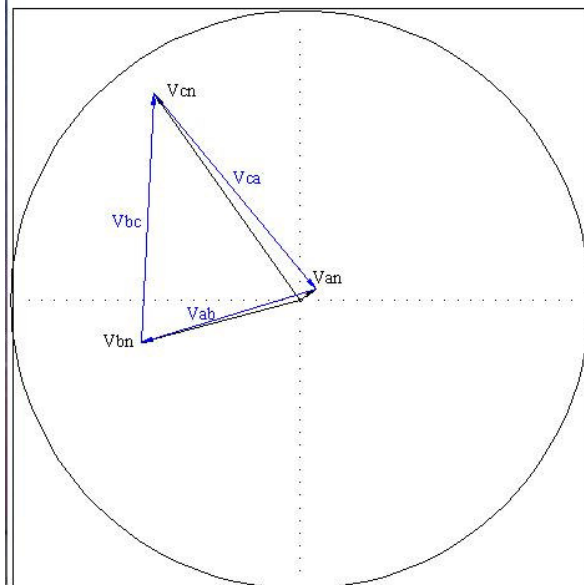
بررسی بیشتر نشان می‌دهد که اگر در یک شبکه فرضی از ترانسفورمرهای با اتصال Y/Y استفاده شده باشد نتایج کاملاً متفاوت است.

برای روشن شدن این مسأله شبکه زیر که در آن ترانسفورمرهای TST , TST1 با اتصال Y/Y مدل شده اند توسط نرم افزار پاشا شبیه سازی شده است.

نتایج محاسبات صورت گرفته در این مقاله به صورت عملی نیز به اثبات رسید و در حادثه مورخ ۸۶/۰۹/۲۷ که فالت مشابهی دقیقاً روی همان فیدر اتفاق افتاد به خاطر نصب شدن مقاومت زمین نقطه نوترال ترانسفورمر T4A-G، هیچیک از مدارات کنترلی تحت تأثیر افت ولتاژ قرار نگرفت و توقف به خطوط تولید تحمیل نشد.

#### ۶- مراجع

- [1]. P. M. Anderson, "Analysis of Faulted Power Systems", IEEE Press, 1995.
- [2]. V. Leitloff, L. Pierrat, and R. Feuillet, "Study of the Neutral-to-Ground Voltage in a Compensated Power System", European Transactions on Electrical Power Engineering, Vol. 4, No. 2, March/April 1994, pp. 145-153.
- [3]. W.D.Stevenson, "Elements of Power System Analysis", Mc Grow Hill 1982.



شکل ۵: دیاگرام فازوری ولتاژهای باس PP، با مقاومت نوترال ترانسفورمر

با توجه به شکل‌های ۴ و ۵ مشخص می‌شود که با نصب مقاومت زمین ترانسفورمر T4A-G ولتاژهای خط از نظر دامنه بسیار بهبود یافته‌اند به طوری که قبل از نصب مقاومت نوترال ولتاژهای خط باس PP به ترتیب 0.67, 0.95, 0.6 به پریونیت بوده اند و پس از نصب مقاومت نوترال ولتاژهای خط در اثر افزایش ولتاژ فازهای سالم و نیز تغییر زاویه آنها به مقادیر 1.01, 0.99, 0.72 پریونیت بهبود پیدا کرده‌اند، بنابراین در ترانسفورمرهای  $\Delta/Y$  که ولتاژ خط به فازهای ثانویه منتقل می‌شود ولتاژ فاز ثانویه بهبود می‌یابد ولی در ترانسفورمرهای Y/Y که ولتاژ فاز اولیه به ثانویه منتقل می‌شوند هیچ بهبودی در ولتاژهای فاز ثانویه ایجاد نمی‌شود.

#### ۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق مشخص گردید که مقاومت زمین نقطه نوترال ترانسفورمرها می‌تواند نقش به‌سزایی در جریان اتصال کوتاه و نیز افت ولتاژهای ناشی از آن داشته باشد که البته در این زمینه نوع اتصال ترانسفورمرهای توزیع نیز تأثیرگذار است، زیرا بهبود حاصل شده در ولتاژهای خط (فاز به فاز) ایجاد می‌شود نه در ولتاژهای فاز به زمین.

نکته قابل توجه اینست که در ترانسفورمرهای پارالل استفاده از مقاومت زمین در نوترال تمامی ترانسفورمرها الزامی است و در صورتیکه حتی یک ترانسفورمر به صورت مستقیم زمین شود اثر سایر مقاومتها را از بین می‌برد.