

بررسی دلایل ورود خودکار راکتور 230 کیلوولت مغان و

ارائه راهکار عملی

حسین مختاری¹، افشین روشن میلانی²، بابک اسدزاده³، رضا مهری⁴

¹دانشگاه صنعتی شریف، ²شرکت برق منطقه ای آذربایجان، ⁴شرکت یکتا بهینه توان

کلید واژه: اثر کیفیت توان بر رله حفاظتی، رله ولتاژ، هارمونیک ولتاژ، اضافه ولتاژ

1- چکیده

در ادامه رفتار عملکردی رله استاتیکی و رله دیجیتال در شرایط مختلف هارمونیک آزمایش شده است. این آزمایشها نشان می‌دهد که عملکرد رله استاتیکی نه تنها به اندازه بلکه فاز هارمونیک های ولتاژ بستگی دارد در حالی که رله دیجیتال به این پارامترها حساس نمی باشد.

2- مقدمه

اختلالات کیفیت توان از جمله مشکلات پیش روی صنعت برق و صنایع می باشد که با افزایش اختلالات و حساس شدن تجهیزات شبکه از اهمیت بیشتری برخوردار شده است. در سالهای اخیر با افزایش چشم‌گیر مصرف‌کننده‌های غیرخطی در شبکه قدرت و وجود عوامل مختلف تقویت هارمونیکهای جریان و ولتاژ شبکه، سطح هارمونیکهای ولتاژ افزایش یافته است. از سوی دیگر با کاهش کیفیت توان شبکه، خسارات فراوانی بر مصرف‌کننده‌ها و تجهیزات وارد شده و باعث عملکرد اشتباه تجهیزات حفاظتی و کنترلی شبکه می شود که

اختلالات کیفیت توان از جمله مشکلات پیش روی صنعت برق و صنایع می باشد که با افزایش اختلالات و حساس شدن تجهیزات شبکه از اهمیت بیشتری برخوردار شده است. این مقاله به یکی از اختلالات عملکردی در سیستم حفاظتی (رله ولتاژی) راکتور نصب شده در سیم پیچ ثالثیه ترانسفورمر پست 230 کیلوولت مغان می پردازد که این اختلالات باعث ورود و خروج ناخواسته راکتور این پست شده است.

مطالعات اولیه نشان می دهد که با افزایش هارمونیک ولتاژ شبکه، این اختلال بیشتر نمایان می شود. اندازه گیریهای متعدد و همزمان در نقاط مختلف این شبکه نشان می دهند که سیستم های اندازه گیری در این پست و پست های متصل به آن مشکلی نداشته و علت عملکرد ناخواسته رله ولتاژی تحریک راکتور، ساختار این رله در شبکه‌های آلوده هارمونیکی می باشد. [1]

این موضوع ضرورت مطالعه کیفیت توان در شبکه‌های مختلف را آشکار می‌نماید [2] و [3] و [4].

این مقاله به یکی از اختلالات عملکردی در سیستم حفاظتی (رله و لتاژی) راکتور نصب شده در سیم پیچ ثالثیه ترانسفورمر پست 230 کیلوولت مغان می‌پردازد که این اختلالات باعث ورود و خروج ناخواسته راکتور این پست شده است.

پست 230/63 کیلوولت مغان از سه ترانسفورمر تشکیل شده است که بصورت موازی توسط یک خط از پست تقی‌دیزه تغذیه می‌شود. امکان تغذیه این پست در باس 230 کیلوولت از طریق خط ایمنشلی جمهوری آذربایجان نیز وجود دارد. البته در صورت اتصال به شبکه برق این جمهوری، تغذیه از پست تقی‌دیزه قطع می‌گردد و بنابراین امکان اتصال همزمان از طریق جمهوری آذربایجان و پست تقی‌دیزه وجود ندارد. با توجه به ساختار شبکه 230 کیلوولت در این منطقه و امکان اضافه ولتاژ در باس 230 کیلوولت پست مغان، دو راکتور در این پست تعبیه شده است که اتصال آنها از طریق سیم پیچی سوم ترانسفورمرهای T1 و T2 در سطح ولتاژ 20 کیلوولت صورت می‌پذیرد. سوابق این اختلال نشان می‌دهد که در بعضی موارد علی‌رغم این که ولتاژ باس 230 کیلوولت به اندازه آستانه عملکرد رله اضافه ولتاژ تحریک کننده راکتورها (مثلاً 5% افزایش) نمی‌رسد، اما راکتور بطور خودکار وارد مدار می‌شود. یا در مواقع لزوم ورود راکتور، راکتور وارد مدار نشده است. در این مقاله ضمن بررسی سوابق این اختلال و تعریف مساله، نتایج اندازه‌گیریهای متعدد انجام شده در نقاط مختلف شبکه ارائه می‌شود. پس از بررسی نتایج اندازه‌گیریها، عملکرد رله ولتاژی مورد بررسی قرار گرفته و رفتار آن رله با رله ولتاژ دیجیتال مورد مقایسه قرار می‌گیرد [1].

3- شرح و روش حل مسئله

با توجه به عملکرد نادرست راکتور در پست مغان فرضیات مختلفی می‌تواند مورد نظر باشد تا با بررسی آنها و انجام اندازه‌گیریها به علت این اختلالات پی‌برد. این فرضیات را به سه عنوان می‌توان دسته‌بندی کرد:

الف) قرار گرفتن مقدار ولتاژ در حد عملکرد و صحت عملکرد رله اضافه ولتاژ در پست مغان و خطا در ادوات اندازه‌گیری جهت نشان دادن مقدار واقعی.

ب) عملکرد نادرست رله اضافه ولتاژ در پست مغان به علت وجود هارمونیک‌ها در شکل موج ولتاژ شبکه 230 کیلوولت.

ج) عملکرد نادرست رله اضافه ولتاژ در پست مغان به علت عیب داخلی رله.

به منظور بررسی فرضیات فوق لازم است اندازه‌گیری پارامترهای فوق‌بطور گسترده در پستهای مختلف مرتبط با پست مغان انجام گیرد و رله ولتاژی توسط دستگاه تزریق هارمونیک در شرایط مختلف مورد تست و بررسی قرار گیرد.

برای بررسی صحت اطلاعات ورودی رله ولتاژی، اندازه‌گیری پارامترهای مختلف ولتاژ سه فاز و هارمونیکهای ولتاژ بصورت گسترده و همزمان در 16 نقطه به مدت سه هفته در شبکه 230 کیلوولت (در سطوح ولتاژ 20، 63 و 230 کیلوولت) مشتمل بر پست‌های مغان، تقی‌دیزه، و نیروگاه سبلان انجام گردید. این اندازه‌گیریها توسط دستگاههای آنالیزگر کیفیت توان Hioki-3196 با کلاس دقت 0/2 انجام شده است.

4- تحلیل نتایج اندازه‌گیریها

اندازه‌گیری دامنه موثر ولتاژ

اندازه‌گیریها نشان می‌دهد که تمام اندازه‌گیریها در شبکه 230 کیلوولت مورد نظر (پست مغان، پست تقی‌دیزه و نیروگاه سبلان) تقریباً نتایج یکسانی را نشان می‌دهند و مقادیر ثبت شده با مقادیر سیستم اندازه‌گیری پست همخوانی دارد. به منظور بررسی صحت داده‌های ورودی به رله و چگونگی عملکرد رله ولتاژی رله، مانورهای توسط کارشناسان بهره‌بردار برق منطقه ای آذربایجان انجام شد. همزمان با این مانور، تنظیمات رله در حالات مختلف بصورت زیر تنظیم شد:

الف - تغییرات مجاز ولتاژ با دامنه 10% با تاخیر 5 ثانیه.

ب - تغییرات مجاز ولتاژ با دامنه 10% با تاخیر 3 ثانیه.

ج- تغییرات مجاز ولتاژ با دامنه 5% با تاخیر 3 ثانیه.

رله اضافه ولتاژ می توان نتیجه گرفت علت ورود راکتور در پست مغان به علت افزایش rms ولتاژ در این پست نمی باشد.

که نتایج حاصل از مانورها و تنظیمات انجام شده بصورت

زیر می باشد:

اندازه گیری هارمونیک ولتاژ

الف- در حالت 10% با تاخیر 5 ثانیه، راکتور هیچ وقت

به منظور بررسی فرض دوم مبنی بر تاثیر هارمونیک ولتاژ بر عملکرد رله اضافه ولتاژ، دامنه هارمونیکهای ولتاژ اندازه گیری شده با حدود مجاز استاندارد مقایسه شده و تاثیر آن بر عملکرد رله ولتاژی بررسی شده است ([2] و [3]).

وارد مدار نگردید.

ب- در حالت 10% با تاخیر 3 ثانیه، راکتور یک بار وارد

مدار شد.

ج- در حالت تنظیم 5% با تاخیر 3 ثانیه راکتور دائماً وارد

مدار شد.

در شکل 2 اندازه هارمونیک 5 ولتاژ در باس بار 230 کیلوولت پست مغان-خط تقی دیزه نشان داده شده است. هارمونیک غالب ولتاژ در این باس بار، هارمونیک پنجم می باشد که دامنه آن خیلی بیشتر از حد استاندارد (1%) می باشد که در ساعت اوج مصرف به 12 برابر حد استاندارد هم می رسد.

در شکل 1 ولتاژ ثبت شده در پست مغان (خط تقی دیزه)

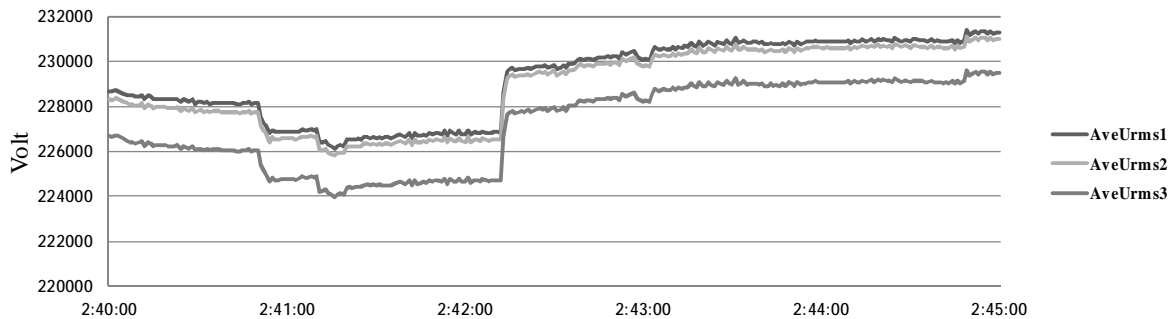
در زمان ورود راکتور به مدار را نشان داده شده است. اندازه

گیریها نشان می دهد که حداکثر افزایش ولتاژ در این لحظه

2/17% می باشد در حالی که تنظیم عملکردی رله 5% می باشد.

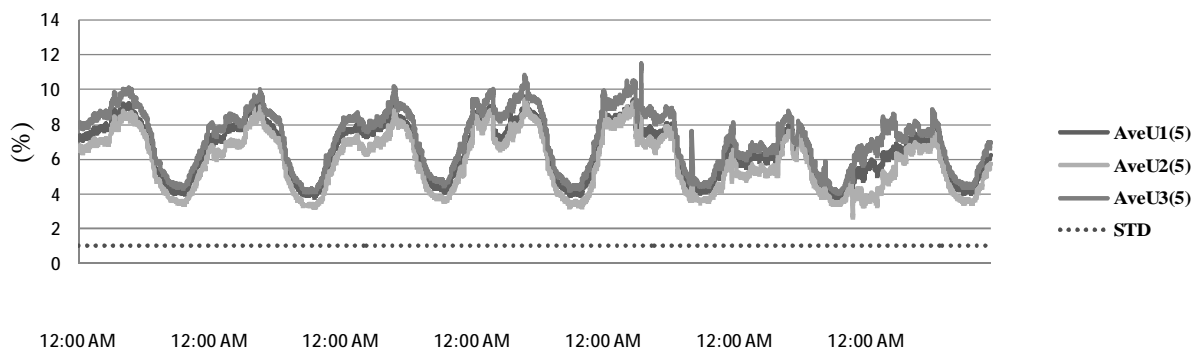
لذا با توجه به نتایج اندازه گیریها و نتایج حاصله از عملکرد

3 Phase Voltages Profile



شکل 1: ولتاژ خط تقی دیزه در زمان ورود راکتور - پست مغان

Uh5 Profile



شکل 2: نمودار مقایسه ای مقدار هارمونیک 5 ولتاژ - خط تقی دیزه در پست مغان با حد مجاز استاندارد

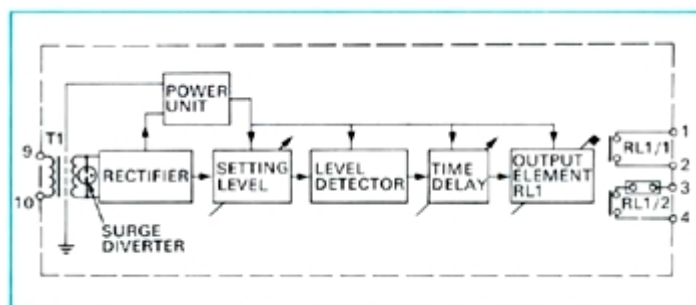
با استخراج مولفه هارمونیک اصلی ولتاژ اندازه گیری شده و مقایسه آن با دامنه موثر ولتاژ، مشاهده می شود که افزایش میزان rms ولتاژ بر اثر هارمونیک ها قابل نظر کردن است. بطوریکه اگر حداکثر THD ولتاژ در این پست 12% فرض شود، میزان افزایش rms ولتاژ نسبت به مولفه اصلی حداکثر 0/72% می باشد. بنابراین اگر عملکرد رله بر اساس rms ولتاژ باشد، افزایش هارمونیک ولتاژ و در نتیجه افزایش مقدار موثر ولتاژ نمی تواند باعث عملکرد رله شود.

با توجه به ثابت بودن ولتاژ دو سر دیود زبر، اضافه ولتاژ ایجاد می کند. ولتاژ دو سر مقاومت در بلوک Level Detector با مقدار آستانه عملکرد رله تنظیمی توسط بلوک Level Setting مقایسه شده و در صورت بالا بودن اندازه ولتاژ، خروجی بلوک Level Detector پس از ایجاد یک تاخیر قابل تنظیم توسط بلوک Time Delay به کنتاکتهای خروجی جهت تحریک و فرمان ارسال می گردد.

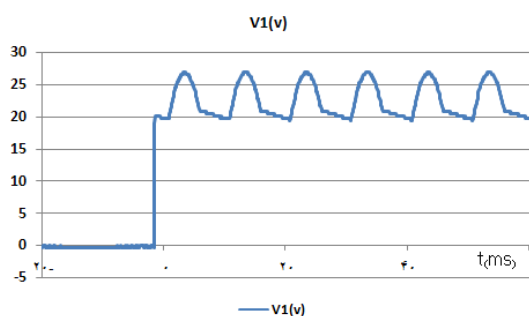
با استخراج مولفه هارمونیک اصلی ولتاژ اندازه گیری شده و مقایسه آن با دامنه موثر ولتاژ، مشاهده می شود که افزایش میزان rms ولتاژ بر اثر هارمونیک ها قابل نظر کردن است. بطوریکه اگر حداکثر THD ولتاژ در این پست 12% فرض شود، میزان افزایش rms ولتاژ نسبت به مولفه اصلی حداکثر 0/72% می باشد. بنابراین اگر عملکرد رله بر اساس rms ولتاژ باشد، افزایش هارمونیک ولتاژ و در نتیجه افزایش مقدار موثر ولتاژ نمی تواند باعث عملکرد رله شود.

5- ساختار رله ولتاژی VTU

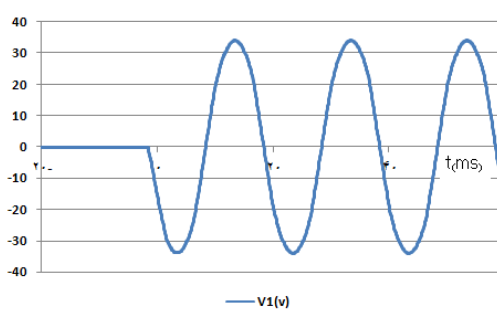
رله ولتاژی مورد استفاده جهت ورود و خروج راکتورهای پست مغان از نوع VTU ساخت کارخانه GEC و از نوع نسل دوم رله های حفاظتی (نوع استاتیکی) می باشد. شکل 2 بلوک دیاگرام این رله را نشان می دهد. در ورودی این رله از یک ترانسفورماتور کاهنده جهت کاهش ولتاژ ورودی رله جهت تغذیه المانهای رله استفاده شده است.



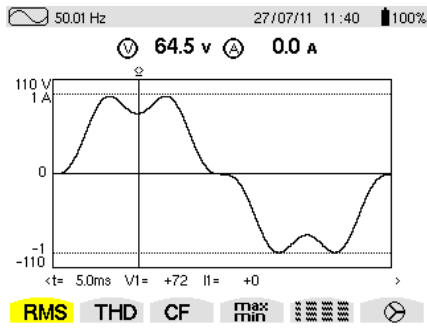
شکل 3: بلوک دیاگرام رله VTU [6]



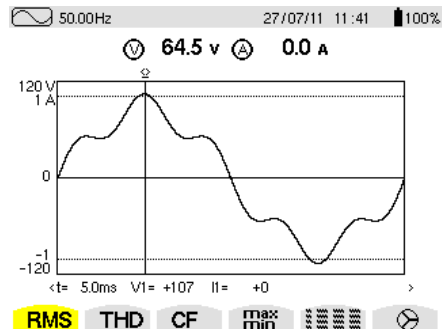
شکل 5: شکل موج خروجی یکسو ساز رله VTU



شکل 4: خروجی ترانسفورمر ورودی رله VTU



شکل 7: سیگنال ورودی رله با 20% هارمونیک 5 ولتاژ با اختلاف زاویه 180 سیگنال اصلی



شکل 6: سیگنال ورودی رله با 20% هارمونیک 5 ولتاژ هم فاز با سیگنال اصلی

غیرهارمونیکی و هارمونیکی با فازهای متفاوت به رله اعمال و نتایج مختلفی بدست آمد که نتایج آزمایشها در جدول 1 نشان داده شده است. بررسی نتایج آزمایشها نشان می دهد که:

- در شرایط بدون هارمونیک عملکرد رله صحیح می باشد با افزایش مقدار موثر از مقدار تنظیمی رله تحریک می شود.
- در شرایط اعمال هارمونیک با زاویه صفر و تا میزان 20% علیرغم افزایش مقدار موثر ولتاژ تا 3/0% و فاصله داشتن تا مقدار تنظیمی، رله ولتاژی تحریک شده و عملکرد کاذب دارد.
- با اعمال سیگنالهای بند قبل ولی با این تفاوت که اختلاف فاز 180 درجه به بجای صفر درجه اعمال شود عملکرد کاذب از خود نشان نمی دهد.

از انجام این تست ها نتیجه می شود که رله استاتیکی VTU فقط به پیک ولتاژ پاسخ می دهد از آنجا که دامنه و بطور خاص زاویه هارمونیکها بر مقدار پیک ولتاژ موثر است و در محیط هارمونیکی عملکرد کاذب و اشتباه خواهد داشت.

چنین آزمایشی بطور واقعی در محل پست مغان انجام گرفت. در این حالت یک رله دیجیتال مدل PL70(Ingeteam) نیز بطور موازی با رله استاتیکی نصب شد. در این آزمایش مجدداً مانورهایی در شبکه 230 کیلوولت انجام و سطوح ولتاژ و مقدار هارمونیکها ثبت

با توجه به شکلهای فوق مشاهده می شود که علیرغم برابری درصد هارمونیک ولتاژ و در نتیجه برابری مقدار موثر ولتاژ، مقدار پیک ولتاژ متفاوت می شود که این حالت زمانی که تجهیزات به پیک ولتاژ موثر باشد زاویه هارمونیکی تاثیر بسیار زیادی بر عملکرد آن تجهیزات خواهد گذاشت. با اعمال چنین سیگنالهایی به رله ولتاژی VTU مورد نظر، دو مشکل ایجاد می شود:

- با اعمال ولتاژ هارمونیکی با اختلاف فاز صفر درجه نسبت به مولفه اصلی، مقدار پیک ولتاژ افزایش می یابد و بدون افزایش موثری در مقدار موثر ولتاژ، در این رله می تواند باعث عملکرد کاذب و ورود راکتور به مدار شود.
- با اعمال ولتاژ هارمونیکی با اختلاف فاز 180 درجه نسبت به مولفه اصلی، مقدار پیک ولتاژ کاهش می یابد و در زمانی که مقدار موثر ولتاژ بالا باشد و لازم باشد تا راکتور وارد مدار شود بدلیل کاهش پیک ولتاژ، رله تحریک نشده و راکتور وارد مدار نمی شود.

6- تست رله ولتاژی در شرایط هارمونیکی

- تست رله ولتاژی استاتیکی VTU

جهت بررسی و تأیید فرضیه های فوق تست های متفاوتی بر روی رله ولتاژی انجام گردید. در این تستها سیگنالهای

گردید. نتایج ثبت شده نشان می دهد که افزایش کم ولتاژ (زیر میزان تنظیمی 5% رله) سبب عملکرد رله VTU گردید در حالی که رله دیجیتال PL70 موازی با این رله هیچگونه عملکردی از خود نشان نمی دهد.

- تست رله ولتاژی دیجیتال PL70

برای بررسی عملکرد رله دیجیتال PL70 [7] در محیط های هارمونیک و مقایسه آن با عملکرد رله استاتیکی، تست های مشابه انجام شده بر روی رله VTU انجام شد.

جدول 1- نتایج مقایسه ای تست رله های دیجیتالی PL70(Ingeteam) و آنالوگ (GE)

شماره تست	اندازه مولفه اصلی ولتاژ (ولت)	اندازه مولفه هارمونیک 5 ولتاژ (درصد)	زاویه مولفه هارمونیک 5 ولتاژ (درجه)	میزان افزایش rms ولتاژ (درصد)	میزان تنظیم رله اضافه ولتاژ (درصد)	تاخیر رله اضافه ولتاژ (ثانیه)	عملکرد رله آنالوگ	عملکرد رله دیجیتال
1	63/4	0	0	0	5	0/5	خیر	خیر
2	64/8	0	0	2/2	5	0/5	خیر	خیر
3	65/9	0	0	3/9	5	0/5	خیر	خیر
4	66/5	0	0	4,88	5	0/5	خیر	خیر
5	67/1	0	0	5/8	5	0/5	بلی	بلی
6	67/1	0	0	5/8	5	3	بلی	بلی
7	66/9	0	0	5/5	5	3	بلی	بلی
8	66/6	0	0	5/04	5	3	خیر	خیر
9	63/4	20	0	1/73	5	3	بلی	خیر
10	63/4	14/8	0	0/95	5	3	بلی	خیر
11	63/4	12/5	0	0/63	5	3	بلی	خیر
12	63/4	10	0	0/3	5	3	خیر	خیر
13	63/4	9/8	0	0/32	5	3	خیر	خیر
14	63/4	9/8	0	0/32	ماکزیمم	3	خیر	خیر
15	63/4	20	180	1/73	5	3	خیر	خیر
16	63/4	12/5	180	0/63	5	3	خیر	خیر
17	63/4	12/5	100	0/63	5	3	خیر	خیر
18	63/4	12/5	10	0/63	5	3	بلی	خیر
19	63/4	12/5	40	0/63	5	3	بلی	خیر
20	69/7	0	0	9/9	10	3	خیر	خیر
21	71/8	0	0	13/2	10	3	بلی	بلی
22	71	0	0	11/8	10	3	بلی	بلی
23	71	10	0	11/8	10	3	بلی	خیر
24	71	10	180	11/8	10	3	بلی	خیر
25	71	10	140	11/8	10	3	خیر	خیر
26	69	20	0	11/9	10	3	-	خیر
27	69	40	0	17	10	3	-	خیر
28	69	60	0	26/6	10	3	-	خیر

که نتایج آن در جدول 1 نشان داده شده و با رله VTU مقایسه شده است. ساختار این رله بصورتی است که سیگنال ورودی به رله پس از فیلتر شدن مقدار مولفه اصلی را استخراج می کند و این مولفه با حد تنظیمی مقایسه می شود. بررسی نتایج آزمایشها نشان می دهد که:

- در شرایط بدون هارمونیک عملکرد رله PL70 نیز مانند رله VTU صحیح می باشد با افزایش مقدار موثر از مقدار تنظیمی رله تحریک می شود.

- در شرایط اعمال هارمونیک با زاویه صفر و یا 180 درجه مقدار هارمونیک بر عملکرد رله موثر نمی باشد و عملکرد کاذب از خود نشان نمی دهد.

- از انجام این تست ها نتیجه می شود که رله دیجیتال (Ingeteam) PL70 فقط به مولفه اصلی ولتاژ پاسخ می دهد.

7- نتیجه گیری و پیشنهادات:

با توجه به مشکلات ایجاد شده در عملکرد راکتور پست مغان، اندازه گیریهای متعدد با زمان طولانی انجام شد. در این اندازه گیریها ولتاژ، جریان و ولتاژ هارمونیک در سطوح ولتاژ 20، 63 و 230 کیلوولت بررسی شد. نتایج اندازه گیریها نشان می دهد که سیستمهای اندازه گیری (CVT) بدرستی اندازه گیری نموده و دامنه هارمونیک ولتاژ بالای موجود در باس بار 230 کیلوولت کمترین تاثیر را بر مقدار موثر ولتاژ می گذارد. ولی با این وجود در مانورهای مختلف انجام شده عملکرد کاذب مشاهده می شود. بررسی ساختار رله ولتاژی استاتیکی VTU نیز نشان داد با توجه به استفاده از یکسوساز در طبقه ورودی، رله بر اساس مقدار پیک ولتاژ و نه بر مبنای مقدار rms مولفه اصلی و یا rms کل سیگنال عمل می نماید.

با توجه به منطبق عملکرد رله اضافه ولتاژ VTU، هارمونیک های ولتاژ بسته به فاز هارمونیک ها می توانند بر عملکرد رله تاثیر نامناسب داشته و موجب عملکرد کاذب در صورت

مجاز بودن ولتاژ موثر و یا عدم عملکرد آن در صورت نامجاز بودن ولتاژ گردند.

با توجه به استفاده همزمان یک رله دیجیتالی PL70 با رله استاتیکی VTU نشان می دهد که عملکرد نامناسب رله VTU ارتباطی به خطای CVT در پست مغان در فرکانس مینا ندارد. با توجه به اینکه رله دیجیتالی بر اساس مولفه اصلی ولتاژ کار می کند این رله عملکرد صحیحی داشته و عملکرد آن به مقدار هارمونیکها بستگی ندارد.

با توجه به وابستگی عملکرد رله استاتیکی VTU به مقدار دامنه و زاویه هارمونیک و در نتیجه پیک ولتاژ، پیشنهاد می گردد تا این رله با یک رله مناسب که بر مبنای rms مولفه اصلی و یا rms کل عمل کند، جایگزین آن گردد.

با توجه مقادیر بسیار بالای میزان هارمونیک 5 ولتاژ ثبت شده در پست های تقی دیزه، نیروگاه سبلان و بویژه مغانو غیر مجاز بودن آنها، پیشنهاد می گردد تا بر روی میزان واقعی هارمونیک 5 ولتاژ و روش های کاهش این ولتاژ هارمونیک مطالعات لازم صورت پذیرد.

8- تشکر و قدردانی:

مقاله حاضر حاصل مطالعات و ارزیابی های مشترک معاونت بهره برداری شرکت برق منطقه ای آذربایجان و گروه مطالعات کیفیت توان شرکت یکتا بهینه توان بوده که لازم است از مدیریت و کارشناسان انتقال و تعمیرات استان اردبیل، مدیریت و کارشناسان نیروگاه سبلان، مدیریت و پرسنل بهره برداری پست 230 کیلوولت مغان و کارشناسان و پرسنل شرکت یکتا بهینه توان تشکر و قدردانی گردد. همچنین لازم می دانیم از مدیریت و کارشناس محترم دفتر فنی و نظارت انتقال شرکت توانیر که در جهت ایجاد فضای مذاکره و تبادل نظر و حمایت های لازم پشتیبان این مجموعه بودند کمال تشکر را داریم.

9- مراجع:

[4] "Effects of Harmonics on Equipment", Report of the IEEE Task Force on the Effects of Harmonics on Equipment, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 8, No. 2, pp:672-680, Apr, 1993.

[5] M.S. Sachdev, T.S. Sidhu, "Modelling Relays for use in power system protection studies", Developments in Power System Protection, Conference Publication N0.479, IEE 2001, pp.523-526.

[6] GEC Measurements Type VTIG and VTU , Instantaneous and Definite Time over Voltage Relay , The General Electric Company P.L.C of England, Publication are 5297

[7] PL70 Voltage Relays(TH,TF,TT,SV and SY) Data Sheet , Ingeteam Co. , Spain

[1] گزارش نهایی پروژه "انجام خدمات مهندسی مربوط به بررسی دلایل ورود خودکار راکتور 230 کیلوولت مغان و ارائه راهکار عملی جهت حل مشکل" شرکت برق منطقه‌ای آذربایجان به شماره قرارداد شماره قرارداد 136-89

[2] استاندارد صنعت برق ایران، مشخصات و خصوصیات انرژی الکتریکی (کیفیت برق)، قسمت دوم، حدود مجاز هارمونیک ها، سازمان مدیریت تولید و انتقال نیروی برق ایران- وزارت نیرو - چاپ اول، اردیبهشت 1381

[3] IEEE std-519-1992, "IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems", 1992.