

# آنالیز عملکرد واحدهای گازی هیتاچی نیروگاه شریعتی مشهد در ولتاژ خروجی کمتر از مقدار نامی

سید امیر حسین بحرینی

مصطفی کریم پور

نیروگاه سیکل ترکیبی شریعتی مشهد

## چکیده

تجهیزات مختلف صنعتی برای عملکرد در مقدار نامی طراحی شده‌اند. بهره‌برداری از هر تجهیز در نقطه کاری غیر از شرایط نامی تعریف شده برای آن تجهیز، علاوه بر کاهش عمر مفید و راندمان خود تجهیز، باعث ایجاد صدماتی به بقیه اجزای سیستم نیز می‌شود. در نیروگاه سیکل ترکیبی شریعتی مشهد ژنراتور واحدهای گازی کوچک ۲۷،۸ مگاواتی در ولتاژی کمتر از مقدار نامی خود در حال بهره‌برداری می‌باشند. در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزارهای موجود و تحلیل‌های صورت گرفته، به بررسی پیامدهای ناشی از این تغییر نقطه کار و ارائه پیشنهاد جهت بهره‌برداری بهینه واحدها پرداخته شده است. این پژوهش، نتایج مفیدی در راستای افزایش بهره‌وری نیروگاه داشته است.

**واژه‌های کلیدی:** واحدهای گازی، ولتاژ ترمینال ژنراتور، تپ ترانسفورماتور، تلفات، توان راکتیو.

## ۱- مقدمه

اطلاعات سیستم تحریک واحد گازی کرافت نیروگاه و مدل کنترلی هر یک از اجزاء آن اقدام به استخراج مدل کلی آن شده است، سپس با نرم‌افزار سیمولینک متلب پیاده‌سازی شده است. در کنار همه موارد فوق، تپ ترانسفورماتور اصلی هر واحد تولید توان نیز اثر مستقیم بر ولتاژ ترمینال آن واحد دارد.

در این مقاله، به بررسی تپ ترانسفورماتور اصلی واحدهای گازی کوچک نیروگاه سیکل ترکیبی شریعتی مشهد و اثرات قرار گرفتن این تپ در حالت غیرنامی پرداخته می‌شود. در ادامه تحقیق پس از تشریح مساله به بررسی اثرات عدم عملکرد ژنراتور در ولتاژ نامی پرداخته می‌شود، سپس عوامل

عملکرد تجهیزات الکتریکی در ولتاژ نامی، یکی از مهمترین شرایط برای نقطه کار بهینه آنها می‌باشد. امروزه از روش‌ها و تجهیزات مختلفی برای کنترل ولتاژ در نیروگاه‌ها استفاده می‌گردد [۱]. جبرانگرافت خط [۲-۴]، کنترل یکپارچه توان راکتیو [۵]، کنترل ثانویه ولتاژ [۶] و رگولاتور پیشرفته کنترل ولتاژ شین فشار قوی نیروگاه [۷] همگی از روش‌های کنترل ولتاژ مرتبط با نیروگاه می‌باشند. منبع [۸] برای کنترل ولتاژ نیروگاهی، به طراحی تنظیم‌کننده ولتاژ خودکار (AVR) هوشمند برای یکی از واحدهای نیروگاه سیکل ترکیبی یزد پرداخته است. در این مدل ابتدا با توجه به

محتمل قرار داشتن واحدهای F5 در شرایط موجود بیان شده که از آن جمله کنترل توان راکتیو واحدها می باشد و در نهایت نتیجه گیری بحث و ارائه پیشنهاد تبیین می گردد.

## ۲- تشریح مساله

نیروگاه سیکل ترکیبی شریعتی مشهد دارای ۶ واحد گازی فریم ۵ (F5) با ظرفیت نامی ۲۷/۸ MW و ولتاژ نامی ۱۱/۵ kV می باشد. هر واحد از طریق یک ترانسفورماتور واحد به ولتاژ ۱۳۲ kV تغییر سطح می دهد. ترانسفورماتورهای ۶ واحد از طریق ساختار ۱/۵ کلیدی به پست متصل شده اند (شکل ۱). تنظیم گاورنر هر ۶ واحد نیز، که ولتاژ اولیه ترانس را ایجاد می کند، یکسان می باشد. ترانس واحد اصلی متصل به هر واحد با تپ off-load کار می کند. تپ های ترانس های مذکور به ترتیب زیر است:

۱- ۱۱/۵ / ۱۵۱/۸ kV

۲- ۱۱/۵ / ۱۴۵/۲ kV

۳- ۱۱/۵ / ۱۳۸/۶ kV

۴- Rated: ۱۱/۵ / ۱۳۲ kV

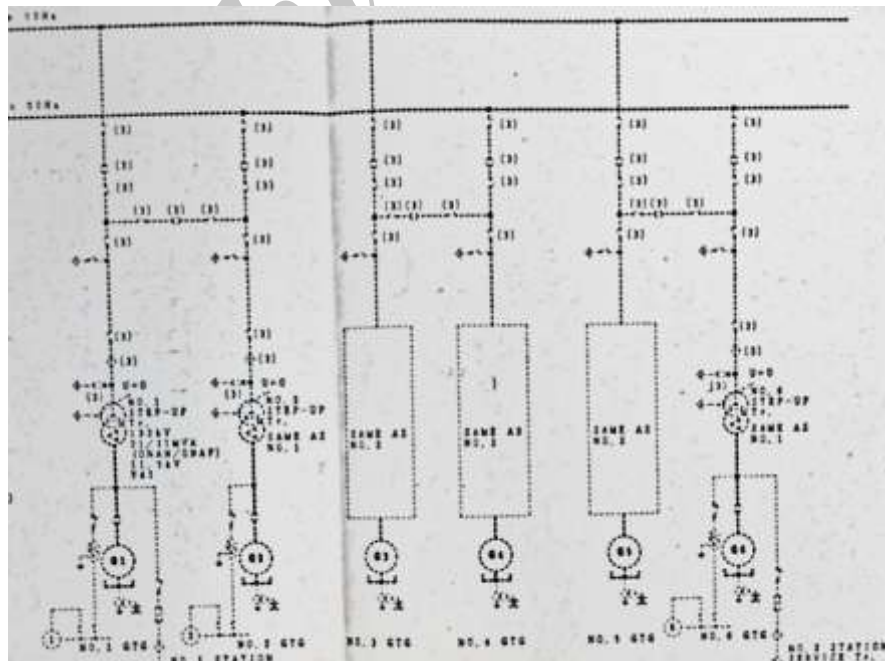
۵- ۱۱/۵ / ۱۲۵/۴ kV

در شرایط نامی، تپ ترانس روی تپ چهارم قرار می گیرد. البته در حال حاضر، ترانس ها در تپ دوم قرار گرفته اند. علت این تغییر تپ که سال ها پیش رخ داده است بر کارکنان فعلی نیروگاه معلوم نمی باشد. در شرایط کنونی، ولتاژ ۱۳۲ kV شبکه در شرایط نامی باعث تحمیل شدن ولتاژی حدود ۱۰/۵ kV در ترمینال ۶ واحد گازی F5 می گردد.

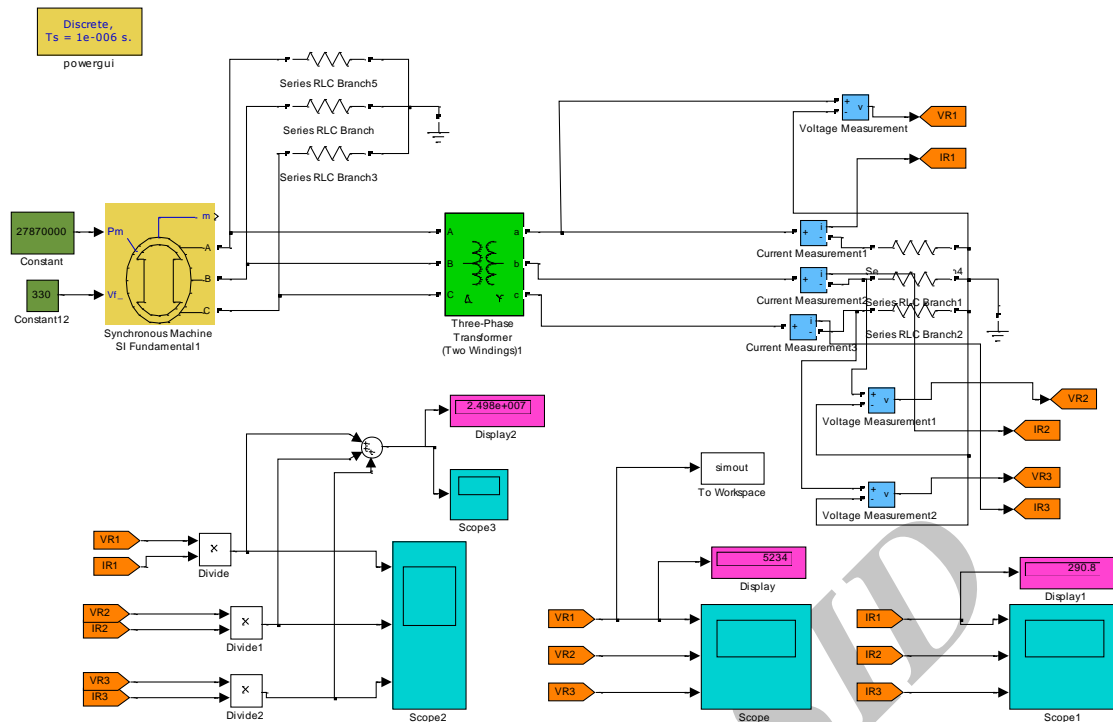
اکنون سوال مطرح شده این است که آیا مطلوب است که شرایط ولتاژی حاضر در ترمینال واحدها حفظ شود یا با تغییر تپ ترانس به تپ نامی (تپ ۴) به شرایط نامی ژنراتور (ولتاژ ترمینال ۱۱/۵ kV) برگشت شود. در ادامه با بهره بردن از تحلیل های نرم افزاری و اطلاعات نخبگان سیستم به بررسی اثرات شرایط بهره برداری کنونی و یافتن شرایط مطلوب بهره برداری پرداخته می شود.

## ۳- اثرات عدم عملکرد ژنراتور در ولتاژ نامی

طبق شبیه سازی صورت گرفته، شکل ۲، قرار نگرفتن ولتاژ ترمینال ژنراتور در مقدار نامی خود، تبعاتی برای سیستم نیروگاه دارد. چنانچه ژنراتور در ولتاژی کمتر از مقدار نامی مورد بهره برداری قرار بگیرد، معایب زیر به سیستم تحمیل می شود:



شکل ۱: دیاگرام تک خطی اتصال واحدهای گازی کوچک نیروگاه شریعتی به پست



شکل ۲: دیاگرام تک خطی اتصال واحدهای گازی کوچک نیروگاه شریعتی به پست

منجر به افزایش تلفات در برخی قسمت های ژنراتور می گردد، سعی بر این است که با تنظیم بهینه توان راکتیو، تلفات ژنراتور را کاهش داده و در مصرف انرژی نیز صرفه جویی گردد و شرایط بهره برداری از ژنراتور تا حدی بهبود یابد [۹]. از طرفی، قابلیت تولید توان اکتیو و راکتیو ژنراتور نیز محدود می باشد. در شکل (۳) منحنی قابلیت تولید توان اکتیو و راکتیو ژنراتور واحدهای F5 نیروگاه شریعتی مشهود قابل مشاهده است. لذا ممانعت از تجاوز از حد مجاز تولید توان راکتیو ژنراتور یا به عبارتی تلاش جهت تبادل کمتر توان راکتیو می تواند عامل تصمیم بهره برداران قبلی نیروگاه برای تغییر تپ ترانسفورماتور اصلی واحدهای F5 باشد.

کنترل توان راکتیو در نیروگاه از طریق تنظیم جریان تحریک و تپ ترانس اصلی صورت می گیرد. توان راکتیو تولیدی در ژنراتور از رابطه ۱ بدست می آید.

$$Q_s = \frac{V_s(E \cos \delta - V_s)}{X_s} \quad (1)$$

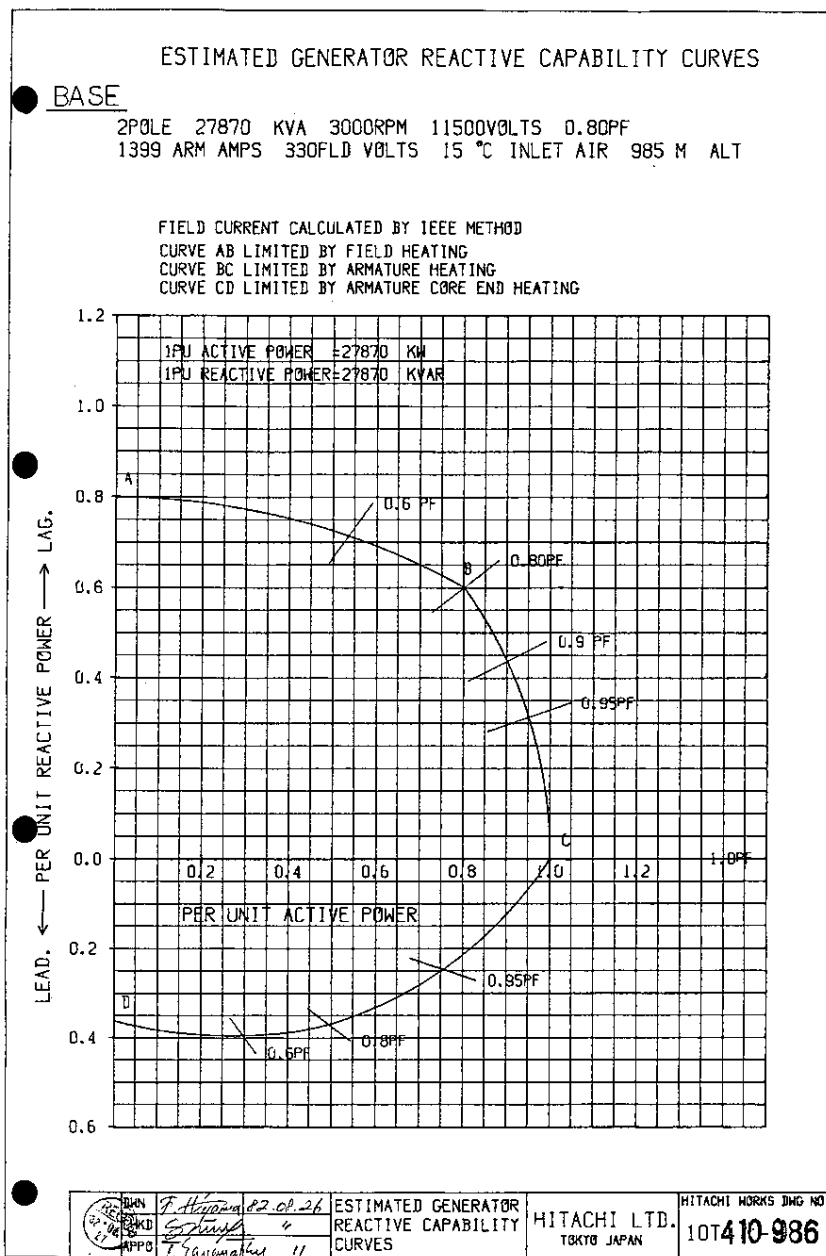
که  $V_s$  ولتاژ ترمینال ژنراتور،  $E$  ولتاژ قلب ماشین و  $X_s$  راکتانس بین دو نقطه با ولتاژ  $E$  و  $V_s$  می باشد. در این رابطه در توان اکتیو ثابت واحد، مقادیر کمیت های  $X_s$  و  $\delta$  ثابت بوده و پارامترهای تعیین کننده مقدار توان راکتیو تبدالی ژنراتور با شبکه، ولتاژ قلب ژنراتور ( $E$ ) و ولتاژ ترمینال ژنراتور ( $V_s$ ) می باشد.

- افزایش جریان در آرمیچر ژنراتور و سیم پیچ اولیه ترانس
- افزایش تلفات اهمی سیم پیچ ها
- کاهش سطح حداکثر بارگذاری واحدها (در صورت عملکرد با ظرفیت نامی از جریان نامی تجهیزات تجاوز خواهد شد)
- کاهش ظرفیت آمادگی قابل اعلام در بازار برق و پایین آمدن درآمد نیروگاه
- کاهش عمر تجهیزات به دلیل بهره برداری از آنها در جریان بالاتر

البته در کنار موارد زیر، کاهش ولتاژ ترمینال ژنراتور بر میزان توان راکتیو تبادل شده با شبکه نیز اثر دارد. میزان توان راکتیو تبدالی ژنراتور با شبکه و همچنین میزان تلفات اهمی واحد در زیر بخش های بعد تشریح گردیده است.

### ۳-۱- کنترل توان راکتیو

تغییر تپ ترانسفورماتور اصلی واحدهای گازی بر میزان تبادل توان راکتیو واحد با شبکه اثرگذار است. یکی از عواملی که امکان دارد منجر به پیشنهاد تغییر تپ ترانسفورماتور اصلی واحدهای گازی نیروگاه شریعتی شده باشد، میزان تبادل توان راکتیو واحد با شبکه است. از آن جا که تولید توان راکتیو



شکل ۳: منحنی قابلیت تولید توان اکتیو و راکتیو ماشین سنکرون

مجاز بوده باشد، تغییر تپ واحد می‌توانسته راه‌حلی برای بهره‌برداران جهت کاهش توان راکتیو تبادلی باشد.

### ۳-۲- تلفات

ولتاژ ترمینال ژنراتور، در توان ثابت، تعیین کننده میزان آمپراژ خروجی ژنراتور و در نتیجه تلفات اهمی واحد است. همانطور که می‌دانیم شبکه سراسری ولتاژ خود را از طریق ثانویه ترانسفورماتور به سیم‌پیچ اولیه تحمیل می‌کند. البته ولتاژ خروجی ژنراتور، که همان اولیه ترانسفورماتور است، توسط سیستم تحریک ژنراتور نیز تنظیم می‌گردد. چنانچه با تغییر تپ ترانسفورماتور سطح ولتاژ تحمیل شده از شبکه به سیم‌پیچ اولیه کاهش یابد، جریان سیم‌پیچ اولیه ترانسفورماتور اصلی و

همانطور که می‌دانیم،  $E$  با جریان تحریک کنترل می‌شود، لذا جریان تحریک یکی از عوامل کنترل توان راکتیو در نیروگاه است. عامل دیگر موثر بر توان راکتیو تبادلی بین نیروگاه و شبکه، ولتاژ ترمینال ژنراتور است که این کمیت با توجه به ولتاژ شبکه و تپ ترانس اصلی واحد به ژنراتور تحمیل می‌گردد. هر چه این ولتاژ بیشتر باشد، ظرفیت تبادل توان راکتیو بین نیروگاه و شبکه افزایش می‌یابد. در حال حاضر که تپ دوم ترانسفورماتور باعث تحمیل ولتاژی کمتر از مقدار نامی به ترمینال ژنراتور شده است، ژنراتور توان راکتیو کمتری با شبکه تبادل می‌کند.

حال چنانچه در شرایط بهره‌برداری مرسوم واحد در ادوار گذشته، میزان توان راکتیو تولیدی یا مصرفی واحد بیش از مقدار

گذشته که نوسانات ولتاژ شبکه بیشتر بوده ممکن است بهره-برداران واحدهای F5 با سنکرون کردن واحد مشکل داشته‌اند. لذا مشکل خود را با کاهش سطح ولتاژ بهره‌برداری رفع نموده‌اند.

از طرفی دیگر، آنچه موجبات نگرانی بهره‌برداران نیروگاه را با برگرداندن تپ ترانس به تپ نامی می‌تواند ایجاد کند، عبور تپ راکتیو تولیدی یا جذب شده واحد از مقدار مجاز می‌باشد. جهت اطمینان از میزان توان راکتیو تبادلی بین نیروگاه و شبکه در ولتاژ نامی نیز می‌توان به بررسی ثبات‌های داده (log) در ادوار گذشته نیروگاه که ولتاژ ترمینال ژنراتورها در مقدار نامی بوده است، مراجعه نمود.

در نهایت، چنانچه موانع احتمالی بیان شده وجود نداشته باشد، بهتر است که تپ ترانس‌ها را به تپ چهارم (تپ نامی) برگردانده و ژنراتور را در ولتاژ نامی مورد بهره‌برداری قرار داد.

## مراجع

[۱] اصغر اکبری فرود، حسین سیفی و علی خاکی صدیق، "بهبود پایداری ولتاژ در شبکه‌های قدرت با کنترل ولتاژ شین فشار قوی نیروگاه"، نشریه فنی و مهندسی مدرس، شماره ۲۶، صفحه ۴۵-۵۸، زمستان ۱۳۸۵.

- [2] P. Kundur; Power System Stability; and Control; McGraw-Hill; 1994.
- [3] D. Kosterev; "Design, Installation and Initial Operation Experience with Line Drop Compensation at John Day Power House"; IEEE Trans on Power Systems; No. 2, pp. 261-265; May 2001.
- [4] A. Murdoch, J.J. Sanchez; M.J.O. Antonic; "Excitation Control for High Side Voltage Regulation"; IEEE Power Engineering Society Summer Meeting; Vol. 1; pp. 285-289; July 2000.
- [5] J.B Davis; L.E. Midford; "High Side Voltage Control at Manitoba Hydro"; IEEE Power Engineering Society Summer Meeting; Vol. 1; pp. 271-277; July 2000.
- [6] C Guo; M. Crow; B. Chowdhury; L. Acar; "A New Approach to Secondary Voltage Control"; IEEE PES Summer Meeting; Chicago; pp. 1605-1609; July 2002.
- [7] H. Kitomura; M. Shimomura and J. Paserba; "Improvement of Voltage Stability by the Advanced High Side Voltage Control Regulator"; IEEE Power Engineering Society Summer Meeting; Vol. 1; pp. 278-284; July 2000.

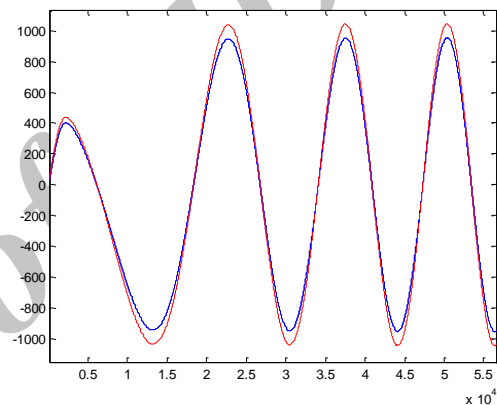
همچنین استاتور ژنراتور افزایش می‌یابد. مطالعه صورت گرفته در این پژوهش روی تغییر تپ ترانسفورماتور از ۱۱/۵ kV (مقدار نامی) به مقدار ۱۰/۵ kV انجام شده است. این تغییر ولتاژی در توان ثابت تولیدی ژنراتور موجب افزایش جریان ژنراتور به نسبت  $\frac{I_2}{I_1} = 1.0952$  می‌گردد (شکل ۴). طبق رابطه (۲)، تلفات اهمی سیم‌پیچ‌ها رابطه مستقیم با مجذور آمپراژ دارد.

$$P_{loss} = R \cdot I^2 \quad (2)$$

لذا در حالت بهره‌برداری از واحدهای گازی در ولتاژ ترمینال کاهش یافته، طبق رابطه (۲)، تلفات اهمی ژنراتور ۱۹/۹۵ درصد

$$\frac{P_{loss2}}{P_{loss1}} = \left(\frac{I_2}{I_1}\right)^2 = 1.1995$$

یعنی می‌گردد یعنی ۱.۱۹۹۵



شکل ۴: مقایسه جریان آرمیچر ژنراتور در ولتاژ ۱۱/۵ kV (مقدار نامی) و ۱۰/۵ kV

## ۴- نتیجه‌گیری

طبق آنچه در بخش‌های گذشته ذکر شد، عملکرد ژنراتور در ولتاژی کمتر از مقدار نامی معایب فنی و اقتصادی زیادی برای نیروگاه دارد که هر تصمیم‌گیرنده‌ای را در مورد شرایط کنونی واحدهای F5 که در ولتاژ پایین‌تر بهره‌برداری می‌شوند به تامل وامی‌دارد.

البته اولین احتمالی که به نظر می‌رسد این است که حداقل در یک ترانسفورماتور تپ چهارم چسبیده باشد یا اشکال فنی دیگری داشته باشد که مانع قرار دادن تپ در آن وضعیت باشد.

سنکرون شدن واحدها زمانی که ولتاژ شبکه درای نوسانات ولتاژی باشد یا سطح ولتاژی کمتر از مقدار نامی داشته باشد با سختی انجام می‌گیرد. احتمال دیگر این است که در سال‌های

[۸] غلامرضا لاله زار، "طراحی و شبیه سازی تنظیم کننده های ولتاژ خودکار با استفاده از کنترل کننده هوشمند"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه یزد، ۱۳۸۹.

[۹] محمد مهدی طاهری، "بررسی اثر تولید بهینه توان راکتیو بر مصرف انرژی داخلی و شرایط بهره برداری ژنراتور واحد ۷۹۴.۲ با تخمین به هنگام تلفات ژنراتور"، بیست و نهمین کنفرانس بین المللی برق، ۱۳۹۳.

Archive of SID