

## اصلاح لاجیک شیب بارگیری واحدهای گازی فریم ۹ نیروگاه سیکل ترکیبی شریعتی مشهد در حالت بارگیری دستی

حمید قائمی لائین<sup>(۱)</sup>

سید امیرحسین بحرینی<sup>(۱)</sup>

علیرضا مرتضوی فر<sup>(۲)</sup>

(۱) کارشناس قسمت مهندسی و پشتیبانی فنی نیروگاه شریعتی

(۲) مدیرعامل و عضو هیئت مدیره نیروگاه شریعتی

شرکت مدیریت تولید برق نیروگاه سیکل ترکیبی شریعتی مشهد

### چکیده

سیستم کنترل توربین‌های گازی فریم ۹ در نیروگاه شریعتی با نام Speed Tronic Mark IV می‌باشد. شیب بارگیری واحدهای مذکور در مدهای مختلف بارگیری از جمله بارگیری دستی که در این مقاله بررسی شده، متأثر از اعداد ثابتی هستند که در Data List ۱۷ از سیستم کنترل نامبرده شده وجود دارد. در این مقاله پس از بررسی‌های دقیق دلایل تریپ واحد در زمان بارگیری به صورت دستی توسط گاورنر و مطالعه لاجیک Speed Tronic و انجام محاسبات ریاضی لازم و بررسی مقادیر واقعی واحد در حین بهره‌برداری و نهایتاً مقایسه با نیروگاههای مشابه در کشور، با اصلاح لاجیک و متعاقباً کاهش شیب بارگیری در این حالت، از تریپ مجدد واحد جلوگیری بعمل آمد.

**واژه‌های کلیدی:** ژنراتور واحدهای گازی، شیب بارگیری، لاجیک کنترلی، گاورنر.

### ۱- مقدمه

در میان مطالعات گسترده الکتریکی، پژوهش‌های کمتری بر روی تاثیر قیود ژنراتور بر اقتصاد برق و همچنین اثر این قیود بر تریپ واحد انجام گرفته است. آقایان بالدیک و هوگان یک مدل معادله تابع تامین برای آنالیز بازارهای الکتریکی با ژنراتورهای ظرفیت محدود انجام داده است [۱]. آقایان آروی و کونجو یک وسیله تسویه بازار را توصیف نمودند که قیود حداقل زمان روشن و خاموش بودن ژنراتور را در نظر می‌گیرد [۲].

اخیراً، صنعت برق دچار تجدید ساختار اساسی شده است و مالکیت انحصاری تجهیزات در حال تبدیل شدن به مالکیت خصوصی می‌باشد. با ادامه روند خصوصی‌سازی، همگام با مطالعات اقتصادی، پژوهش‌های بسیاری راجع به امور فنی برقی نیز انجام شده است. در این محیط، یکی از دغدغه‌های هر نیروگاه به حداقل رساندن خروج‌های اضطراری ناشی از عوامل غیر قابل پیش‌بینی می‌باشد.

مدهای بارگیری مانند بارگیری نرمال (Auto Load)، بارگیری سریع (FastLoad)، بارگیری دستی توسط گاورنر (Manual Load) به شرح زیر اقدام گردید. توضیح آنکه بارگیری دستی معمولاً بلافاصله پس از سنکرون واحد با شبکه و در ابتدای بارگیری استفاده می‌گردد که دقیقاً در همین مواقع واحد با ظهور آلارم ۱۲۰ تریپ می‌نمود.

### ۳- محاسبات شیب بارگیری

شیب بارگیری واحد F9 متأثر از ثابت‌هایی تحت عنوان TNKR1-N یا همان Speed Load Setpoint Rates میباشد که در صفحه ۲۴E از مدرک Speed Tronic نحوه بکارگیری آن در لاجیک بارگیری واحد آمده است و این پارامتر در صفحه ۱۷ DataList ۱D Page از پانل اسپید ترونیک واحد تنظیم شده است. مقدار پارامتر TNKR1-2 که مربوط به بارگیری در حالت Manual Load می‌باشد برابر ۲.۶۷٪ N/m است.

مقدار پارامتر TNKR1-4 که مربوط به بارگیری در حالت Auto Load میباشد برابر ۰.۳۳٪ N/m است.

توضیحات تکمیلی در خصوص پارامترهای TNKR1-N به شرح جدول ۱ میباشد و مشاهده می‌گردد که مطابق این جدول، شیب بارگیری در حالت Manual Load و Fast Load با هم برابر می‌باشد.

پارامتر TNKR2 مقدار درصد سرعت را زمانیکه واحد در دور ۳۰۰۰ rpm قرار دارد و آماده سنکرون با شبکه می‌باشد نشان می‌دهد. به منظور محاسبه شیب بارگیری واحد، ابتدا پس از انجام هماهنگی‌های لازم، واحد در بار کامل (Base Load) قرار گرفت و مقادیر جدول ۲ استخراج گردید.

جدول ۱: مقایسه مقادیر تنظیم ثابت مربوط به شیب بارگیری واحد F9 قبل اصلاح

|           |                          |              |
|-----------|--------------------------|--------------|
| TNKR1 - 2 | Manual Load              | ۲.۶۷ % N/Min |
| TNKR1 - 3 | Fast Load                | ۲.۶۷ % N/Min |
| TNKR1 - 4 | Auto Load                | ۰.۳۳ % N/Min |
| TNKR1 - 8 | Auto Synch Speed Machine | ۶ % N/Min    |
| TNKR2     | Full Speed No Load       | ۱۰۰.۳ % SPD  |

یکی از مهمترین قیود اقتصادی که به طور قابل توجهی بر اقتصاد تولید توان ژنراتور اثر می‌گذارد قید نرخ شیب تغییر توان آن است. آقایان ونگ و شاهیده‌پور برای حل مساله تخصیص توان به واحدها قید نرخ شیب واحد را در محیط سنتی بازار، در نظر گرفتند [۳]. آقای لی و همکاران یک مدل نرخ شیب مبتنی بر قیمت را ارائه دادند [۴]. به هر حال، آنها تعامل استراتژیک ژنراتورها را در بازار لحاظ نکردند. آقای شریستا و همکاران قیود نرخ شیب را در محیط تجدیدساختاریافته مطالعه کردند. در مرجع [۵] نیز یک مدل بازی دینامیکی برای در نظر گرفتن تعاملات استراتژیک یک ژنراتور و با قیود نرخ شیب معرفی گردیده است. راه حل بازی مورد استفاده نیز مبتنی بر مفاهیم زیربازی معادلات نش می‌باشد [۶].

در این مقاله، به بررسی روند اصلاح یکی از قیود ژنراتور F9 نیروگاه شریعتی مشهد جهت بهره‌برداری اقتصادی و در عین حال ممانعت از تریپ این واحد پرداخته می‌شود.

در نیروگاه شریعتی سه نوع توربین با توان‌های متفاوت نصب و در حال بهره‌برداری می‌باشد. یکی از انواع توربین‌هایی که در این نیروگاه وجود دارد توربین فریم ۹ (جان براون) مدل PG9171E است. این توربین دارای توان خروجی MW ۱۲۳/۴ در شرایط ایزو بوده و دارای کمپرسور ۱۷ مرحله‌ای و توربین ۳ مرحله‌ای است. سیستم کنترلی استفاده شده در این توربین Speed Tronic Mark IV بوده که دارای سه کامپیوتر R,S,T و یک کامپیوتر C میباشد که کلیه فرمانهای کنترلی و حفاظتی به توربین از طریق آنها ارسال می‌گردد.

در ادامه این مقاله، ابتدا به تبیین مسئله پرداخته شده و پس از انجام محاسبات لازم جهت رفع عامل تریپ، نتیجه‌گیری مساله بیان شده است.

### ۲- بیان مسئله

آلارم ۱۲۰ یا همان آلارم " High Exhaust Temperature TRIP" یکی از آلارم‌هایی است که منجر به تریپ توربین F9 میگردد. عوامل متعددی از جمله: نقص عملکرد کنترل ولو سوخت یا سرور ولو آن، نقص و گرفتگی انژکتورهای سوخت، نقص ترموکوپل‌های خروجی اگزوز و احتراق ناقص باعث ظهور این آلارم می‌شود. پس از بررسی‌های دقیق عوامل فوق و اطمینان از صحت عملکرد هر یک از تجهیزات، به منظور اطمینان از صحت مقدار شیب بارگیری واحد در هر یک از

جدول ۲: مقادیر پارامترهای واحد F۹ در حالت بار پایه

| پارامتر      | مقدار در Base Load |
|--------------|--------------------|
| TNR          | ۱۰۳.۷۳ %spd        |
| TNH          | ۱۰۰.۰۴ %spd        |
| Active Power | ۱۰۲.۵۴ MW          |

$$Ramp = \frac{۱۰۲.۵۴}{۱۰.۳۹} = ۹.۸۶ \text{ MW / min}$$

همانطور که مشاهده می‌شود شیب بارگیری واحد در حالت Auto تقریباً همان ۱۰ MW/min است که در مدارک فنی نیز بیان شده است.

اینک به محاسبه شیب بارگیری در حالت بارگیری دستی توسط گاورنر می‌پردازیم.

مقدار پارامتر ۲-TNKR۱ (مطابق جدول ۱ و شکل ۲-الف) برابر ۲.۶۷٪ N/Min است. لذا مدت زمان مورد نیاز برای رسیدن بار واحد به Base Load در حالت بارگیری دستی برابر :

| دور  | دقیقه |
|------|-------|
| ۲.۶۷ | ۱     |
| ۳.۴۳ | T=??  |

$$T = \frac{۳.۴۳}{۲.۶۷} = ۱.۲ \text{ Min}$$

و در نتیجه شیب بارگیری برابر است با :

$$Ramp = \frac{۱۰۲.۵۴}{۱.۲۸} = ۷۹.۸ \text{ MW / min}$$

همانطور که مشاهده می‌شود شیب بارگیری واحد در حالت Manual تقریباً برابر ۸۰ MW/min است.

پارامتر TNR بیان کننده دور رفرنس در بار کامل و پارامتر TNH بیان کننده دور واقعی واحد در بار کامل است. میزان تغییرات TNR از لحظه رسیدن واحد به دور ۳۰۰۰ rpm تا زمان Base Load برابر است با:

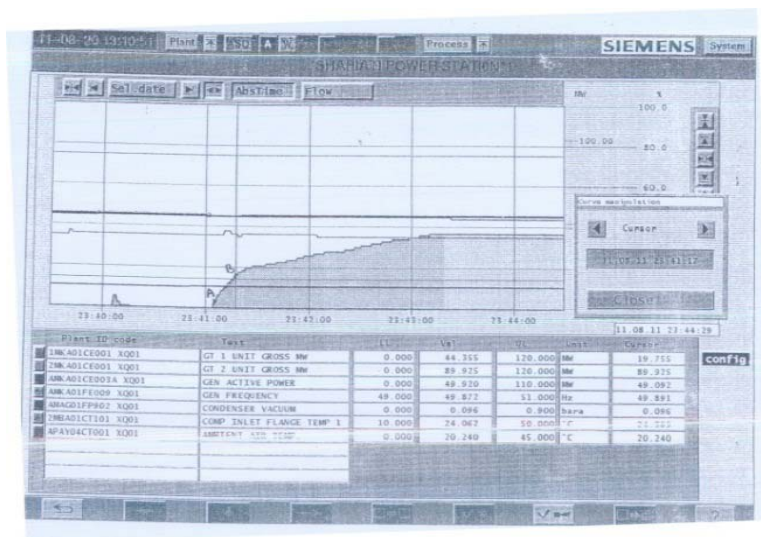
$$SPD = ۱۰۳.۷۳ \% - ۱۰۰.۰۳ \% = ۳.۴۳ \% SPD$$

از طرفی مقدار پارامتر ۴-TNKR۱ (مطابق جدول ۱) برابر ۰.۳۳٪ N/Min است. لذا مدت زمان مورد نیاز برای رسیدن بار واحد به Base Load در حالت بارگیری Auto برابر :

| دور  | دقیقه |
|------|-------|
| ۰.۳۳ | ۱     |
| ۳.۴۳ | T=??  |

$$T = \frac{۳.۴۳}{۰.۳۳} = ۱۰.۳۹ \text{ Min}$$

در نتیجه شیب بارگیری واحد F۹ در حالت Auto Load برابر است با :



شکل ۱: منحنی شیب بارگیری واحد F۹ قبل اصلاح پارامتر ۲-TNKR۱

| DATA LIST 1D         |       |       | CONTROL CONSTANTS |        |       | 25 JAN 12 09:57:16 U8 |  | PAGE 017      |  |
|----------------------|-------|-------|-------------------|--------|-------|-----------------------|--|---------------|--|
|                      |       |       |                   |        |       | INITIALS:             |  | PREVIOUS PAGE |  |
| NAME                 | VALUE | UNITS | NAME              | VALUE  | UNITS |                       |  |               |  |
| TNK14SC2             | 1.00  | % SPD | TNKHOS            | 110.00 | % SPD | NEXT                  |  |               |  |
| TNK14SC3             | 1.17  | % SPD | TNKHOST           | 113.50 | % SPD | PAGE                  |  |               |  |
| TNK14SCH             | 8.33  | % SPD | TNKLOST           | 0.00   | % SPD |                       |  |               |  |
| TNK14SCL             | 3.00  | % SPD | TNKR1_0           | 9.00   | %N/m  |                       |  |               |  |
| TNK14TM1             | 15.00 | % SPD | TNKR1_1           | 0.00   | %N/m  | ADJUST                |  |               |  |
| TNK14TM2             | 20.00 | % SPD | TNKR1_2           | 2.67   | %N/m  | ENTER                 |  |               |  |
| TNK14TM3             | 2.00  | % SPD | TNKR1_3           | 2.67   | %N/m  |                       |  |               |  |
| TNK49TCF             | 130   | deg C | TNKR1_4           | 0.33   | %N/m  |                       |  |               |  |
| TNK49TRC             | 105   | deg C | TNKR1_5           | 11.40  | %N/m  |                       |  |               |  |
| TNK49TRF             | 0     | deg C | TNKR1_6           | 15.00  | %N/m  |                       |  |               |  |
| TNK4TRC              | 120   | deg C | TNKR1_7           | 18.00  | %N/m  |                       |  |               |  |
| TNKH1                | -6    | CNT15 | TNKR1_8           | 6.00   | %N/m  |                       |  |               |  |
| TNKH2                | 19660 | CNT15 | TNKR2             | 100.30 | % SPD |                       |  |               |  |
| TNKH3                | -2    | CNT15 | TNKR3             | 107.00 | % SPD |                       |  |               |  |
| TNKHf                | 5.00  | % SPD | TNKR4             | 95.00  | % SPD |                       |  |               |  |
| 1.00 S: 1.00 T: 1.00 |       |       | SELECT:           |        |       |                       |  |               |  |

### الف) مقدار پارامتر ۲-TNKR قبل از اصلاح

| DATA LIST 1D         |       |       | CONTROL CONSTANTS |        |       | 09 DEC 14 14:13:20 U7 |  | PAGE 017      |  |
|----------------------|-------|-------|-------------------|--------|-------|-----------------------|--|---------------|--|
|                      |       |       |                   |        |       | INITIALS:             |  | PREVIOUS PAGE |  |
| NAME                 | VALUE | UNITS | NAME              | VALUE  | UNITS |                       |  |               |  |
| TNK14SC2             | 1.00  | % SPD | TNKHOS            | 110.00 | % SPD | NEXT                  |  |               |  |
| TNK14SC3             | 1.17  | % SPD | TNKHOST           | 113.50 | % SPD | PAGE                  |  |               |  |
| TNK14SCH             | 8.33  | % SPD | TNKLOST           | 0.00   | % SPD |                       |  |               |  |
| TNK14SCL             | 3.00  | % SPD | TNKR1_0           | 9.00   | %N/m  |                       |  |               |  |
| TNK14TM1             | 15.00 | % SPD | TNKR1_1           | 0.00   | %N/m  | ADJUST                |  |               |  |
| TNK14TM2             | 20.00 | % SPD | TNKR1_2           | 0.66   | %N/m  | ENTER                 |  |               |  |
| TNK14TM3             | 2.00  | % SPD | TNKR1_3           | 2.67   | %N/m  |                       |  |               |  |
| TNK49TCF             | 130   | deg C | TNKR1_4           | 0.33   | %N/m  |                       |  |               |  |
| TNK49TRC             | 105   | deg C | TNKR1_5           | 11.40  | %N/m  |                       |  |               |  |
| TNK49TRF             | 0     | deg C | TNKR1_6           | 15.00  | %N/m  |                       |  |               |  |
| TNK4TRC              | 120   | deg C | TNKR1_7           | 18.00  | %N/m  |                       |  |               |  |
| TNKH1                | -6    | CNT15 | TNKR1_8           | 6.00   | %N/m  |                       |  |               |  |
| TNKH2                | 19660 | CNT15 | TNKR2             | 100.30 | % SPD |                       |  |               |  |
| TNKH3                | -2    | CNT15 | TNKR3             | 107.00 | % SPD |                       |  |               |  |
| TNKHf                | 5.00  | % SPD | TNKR4             | 95.00  | % SPD |                       |  |               |  |
| 1.00 S: 1.00 T: 1.00 |       |       | SELECT:           |        |       |                       |  |               |  |
|                      |       |       | L30GBT 0 LOGIC    |        |       |                       |  |               |  |
|                      |       |       | LK30GBT 111 deg C |        |       |                       |  |               |  |

### ب) مقدار پارامتر ۲-TNKR بعد از اصلاح

شکل ۲: اعداد ثابت کنترلی صفحه لیست داده‌های اسپید ترونیک

مقایسه گردید و مشخص شد که پارامتر فوق در سایر نیروگاههای مشابه بر روی عدد ۰.۶۶٪ N/Min تنظیم شده است، لذا پس از انجام هماهنگی های لازم نهایتا این پارامتر در صفحه ۱۷ DataList 1D Page از پانل اسپید ترونیک به عدد ۰.۶۶٪ N/Min تغییر یافت (شکل ۲-ب).

با انجام این اصلاحیه، شیب بارگیری واحد در حالت بارگیری دستی با گاورنر طبق محاسبات زیر به حدود ۲۰ MW/min کاهش یافت.

$$TNKR1-2 = 0.66 \% N/Min$$

با محاسبه شیب منحنی بارگیری واحد در زمانی که واحد توسط همکاران بهره برداری از طریق گاورنر بارگیری شده است (شیب منحنی در شکل ۱، بین نقاط A,B) نیز مشاهده گردید که شیب بارگیری تقریبا همان ۸۰ MW/min است.

جهت اطمینان از صحیح بودن شیب بارگیری محاسبه شده، بهترین راه حل مقایسه با مقادیر مورد تایید سازنده می باشد. لذا پارامتر ۲-TNKR که در نیروگاه شریعتی بر روی ۲.۶۷ % N/Min تنظیم شده است با سایر واحدهای ۹ Frame مشابه در کشور از جمله نیروگاه نیشابور و نیروگاه منتظر القائم

Industry Computer Application Conference, pp. ۱۱-۱۷, May ۱۹۹۳.

[۴] F. N. Lee, L. Lemonidis, and K.-C. Liu, "Price-based ramp-rate model for dynamic dispatch and unit commitment," IEEE Trans. on Power Systems, Vol. ۹, No. ۳, pp. ۱۲۳۳-۱۲۴۲, Aug. ۱۹۹۴.

[۵] Manho Joung, and Jin-Ho Kim, " The Ramp-Rate Constraint Effects on the Generators' Equilibrium Strategy in Electricity Markets", Journal of Electrical Engineering & Technology, Vol. ۳, No. ۴, pp. ۵۰۹-۵۱۳, ۲۰۰۸.

[۶] A. Mas-Colell and M. D. Whinston, Microeconomic Theory, Oxford University Press, Inc., ۱۹۹۵.

| دقیقه  | دور  |
|--------|------|
| ۱      | ۰.۶۶ |
| T = ?? | ۳.۴۳ |

$$T = \frac{۳.۴۳}{.۶۶} = ۵.۱۹۶ \text{ Min}$$

$$\text{Ramp} = \frac{۱۰۲.۵۴}{۵.۱۹۶} = ۱۹.۸ \text{ MW / Min}$$

#### ۴ - نتیجه گیری

در این مقاله به بررسی علت تریپ واحدهای گازی فریم ۹ در نیروگاه شریعتی مشهد هنگام راه اندازی در مود دستی پرداخته شد. پس از بررسی های فنی معلوم گردید که علت تریپ شیب بالای بارگیری واحد است. این شیب حدود ۸۰ MW/Min تنظیم شده بود. پس از تغییر تنظیمات مربوط به شیب بارگیری، مشاهده می گردد که شیب صحیح بارگیری در حالت بارگیری نرمال برابر ۱۰ MW/min و در حالت بارگیری دستی برابر ۲۰ MW/min است و تنها در حالت بارگیری سریع یا Fast Load است که شیب بارگیری حدود ۸۰ MW/Min می باشد که آن هم در مواقع خاص و تنها با دستور دیسپاچینگ ملی استفاده می گردد.

#### تشکر و قدردانی

با تشکر از آقای مهندس قربانیان که در انجام این پروژه ما را یاری نمودند.

#### مراجع

- [۱] R. Baldick and W. Hogan, "Capacity constrained supply function equilibrium models of electricity markets: stability, non-decreasing constraints, and function space iterations," University of California Energy Institute Working paper PWP-۰۸۹, Dec. ۲۰۰۱.
- [۲] J. M. Arroyo and A. J. Conejo, "Multiperiod auction for a pool-based electricity market," IEEE Trans. on Power Systems, Vol. ۱۷, No. ۴, pp. ۱۲۲۵-۱۲۳۱, Nov. ۲۰۰۲.
- [۳] C. Wang and S. M. Shahidehpour, "Optimal generation scheduling with ramping costs," Power