

طرح‌های بهبود فرآیند استارت و بهره برداری توربین گاز V94.2 DLN

علی اسماعیلی

شرکت بهره برداری و تعمیراتی مپنا - نیروگاه گازی BOT فارس

Esmaeili_AL@Mapnagroup.com

چکیده - در این مقاله چندین طرح بهبود فرآیند های راه اندازی و بهره برداری از توربین های V94.2 با مشعل DLN ارائه شده است . با اجرای آنها آمادگی واحد های گازی در راه اندازی و قابلیت اطمینان در بهره برداری افزایش می یابد . یکی از اشکالات بارز و بعضاً تکراری توربین گاز V94.2 راه اندازی ناموفق با سوخت گازوییل به دلیل ازدست رفتن شعله می باشد که در این مقاله دو طرح برای بهبود این فرآیند ارائه شده است . یکی دیگر از اشکالاتی که مختص توربین گازی V94.2 با مشعل DLN می باشد راه اندازی ناموفق با سوخت گاز بدلیل از دست رفتن شعله است که در این مقاله یک طرح جهت بهبود آن ارائه شده است . یکی دیگر از اشکالاتی که بعضاً در توربینهای V94.2 دیده می شود نوسان های جزئی در حد ۱۰ تا ۲۰ درجه سانتی گراد در دماهای خروجی توربین در مشعل پرمیکس می باشد که دو طرح جهت برطرف نمودن آن یکی در مشعل پرمیکس گازوییل و دیگری در مشعل پرمیکس گاز ارائه شده است.

واژگان کلیدی : توربین گازی V94.2 DLN ، استارت ناموفق ، تشکیل شعله ، Start Position ، پایداری مشعل پرمیکس گازوییل ، پایداری مشعل پرمیکس گاز

مقاله سه طرح اصلاحی فرآیند استارت با سوخت گاز و گازوییل و دو طرح اصلاحی در جهت پایدار سازی مشعل پرمیکس گازوییل و گاز DLN به شرح ذیل ارائه شده است.

- حذف استارت ناموفق با دو پله ای نمودن Start Position کنترل ولو سوخت گاز در استارت واحد با سوخت گاززوییل با ایگنیشن با گاز طبیعی
- حذف استارت ناموفق با سوخت گاز با دو پله ای نمودن Start Position کنترل ولو سوخت گاز
- اصلاح منحنی استارت توربین با اضافه نمودن رمپ سوم کنترل ولو مسیر برگشت گازوییل
- رفع نوسانات دماهای خروجی توربین در مشعل پرمیکس گازوییل
- رفع نوسانات دماهای خروجی توربین در مشعل پرمیکس گاز

۱- مقدمه: یکی از مشخصه های بارز توربینهای گازی قابلیت استارت سریع و نرخ بارگیری بالا می باشد . در حال حاضر توربینهای گازی و به خصوص توربین V94.2 سهم بزرگی از ظرفیت نصب شده در شبکه تولید برق ایران را به خود اختصاص داده است . همچنین در فصول کم بار مثل پاییز و زمستان این واحد ها بعضاً به دلیل عدم نیاز شبکه و به صورت ذخیره گردان، خاموش و آماده به کار هستند و بعضاً برای ساعات پیک بار مورد استفاده قرار می گیرند . لذا بهبود شرایط بهره برداری از این واحد ها جهت پاسخ گویی به نیاز شبکه و حفظ پایداری شبکه و بهبود شرایط استارت در جهت افزایش قابلیت اطمینان^۱ ، آمادگی^۲ و حفظ قابلیت سرعت پاسخگویی از اهمیت ویژه ای برخوردار است . در این

^۱-Reliability

^۲- Availability

لاچیک دو پله ای Start position شیر سوخت گاز برای استارت با سوخت گازوییل در فصول مختلف سال در نیروگاه BOT فارس مورد آزمایش قرار گرفته و کارایی آن اثبات شده است. (شکل شماره (۱))



شکل شماره (۱) - منحنی زرد رنگ Start Position دو پله ای کنترل ولو گاز در استارت با سوخت گازوییل

۳- حذف استارت ناموفق سوخت گاز با دو پله ای نمودن موقعیت اولیه کنترل ولو گاز و کاهش دور جرقه زنی

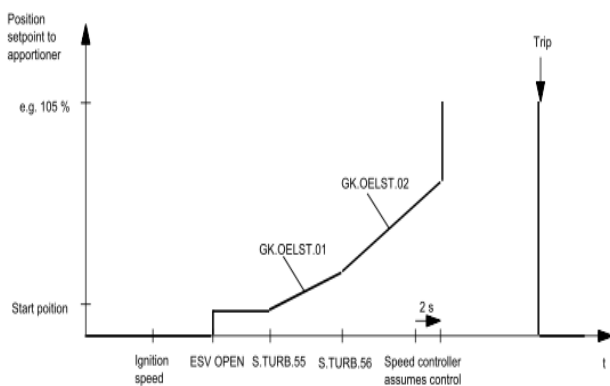
یکی از اشکالات توربین V94.2 با مشعل DLN در نیروگاه BOT فارس استارت ناموفق با سوخت گاز به دلیل از دست رفتن شعله ایگنیشن بود. شایان ذکر است که در مشعلهای DLN بر خلاف مشعلهایی که از نوع DLN نیستند، شعله ایگنیشن از مسیر دیفیوژن گاز با قرار گرفتن کنترل ولو سوخت در Start Position ایجاد می گردد. لذا مشابه مباحث مطرح شده در آیتم شماره ۲ با تغییر دبی هوا و ثابت بودن مقدار سوخت بدلیل ثابت بودن درصد کنترل ولو سوخت، احتمال تشکیل نشدن شعله در دور های پایین بدلیل زیاد بودن سوخت و از دست رفتن شعله در دور های بالاتر (مثل ۶۰۰ rpm) بدلیل افزایش دبی هوا به خصوص در فصول سرد سال وجود دارد. برای رفع این اشکال نیز Start Position کنترل ولو سوخت از یک مقدار ثابت به دو پله

۲- حذف استارت ناموفق با سوخت گازوییل با ایگنیشن با گاز طبیعی با دو پله ای نمودن Start Position کنترل ولو سوخت گاز

یکی از اشکالاتی که در بهره برداری از واحد های نیروگاه BOT فارس که از نوع مشعل DLN هستند بروز می کرد استارت ناموفق به دلیل از دست رفتن شعله در استارت با ایگنیشن با گاز طبیعی بود. شایان ذکر است که در واحد های DLN از دو نوع شعله ایگنیشن در استارت واحد با سوخت گازوییل استفاده می گردد. در حالت اول مشابه مشعلهایی که از نوع DLN نیستند از مخلوط گاز پروپان و بوتان و با استفاده از واپرایزر و از مسیر مختص ایگنیشن این شعله تشکیل می گردد.

در حالت دوم که موضوع بحث ماست و به مشعلهای DLN اختصاص دارد، شعله ایگنیشن از مسیر دیفیوژن گاز و با قرار گرفتن کنترل ولو گاز در Start Position ایجاد می گردد. بدین صورت که از دور جرقه زنی (۴۸۰ rpm) تا پایان جرقه زنی کنترل ولو سوخت گاز در موقعیت ثابت مثلاً ۰.۶٪ قرار گرفته و شعله ایگنیشن تشکیل می گردد. در این حالت اشکالی که رخ می دهد بدین صورت است که اگر Start Position کنترل ولو مقدار کمی انتخاب گردد شانس تشکیل شعله ایگنیشن در دور های پایین بالا می رود اما در دورهای بالاتر مثل دور باز شدن Stop valve (حدود ۶۰۰ rpm) بدلیل افزایش دبی هوا احتمال خاموش شدن مشعل و استارت ناموفق بسیار بالا می رود. برعکس اگر Start Position کنترل ولو مقدار بالایی انتخاب گردد (مثلاً ۰.۷٪) امکان تشکیل نشدن شعله در دور جرقه زنی و پس از آن بدلیل کم بودن مقدار هوا و دبی بالای سوخت وجود دارد. هر دو حالت بیان شده با تغییر Start Position کنترل ولو در نیروگاه BOT فارس تجربه شده است. لذا با بررسی حالات مختلف فرآیند استارت با سوخت گازوییل با ایگنیشن با گاز طبیعی موقعیت اولیه کنترل ولو سوخت از یک مقدار ثابت به دو مقدار ثابت تغییر داده شد. در دور های پایین از دور جرقه زنی تا دور حدود ۶۰۰ rpm مقدار کم (مثلاً ۰.۳٪) و برای دور های بالاتر تا پایان جرقه زنی مقدار بیشتر (مثلاً ۰.۶٪) تعیین و در لاجیک اعمال می گردد.

اشکال و برقراری مناسب نسبت هوا به سوخت و ثابت نگه داشتن تقریبی شیب دور گیری توربین و بهینه نمودن زمان استارت یک رمپ دیگر به کنترل ولو خط برگشت گازویل اضافه گردید. همانطور که در شکل شماره (۳) دیده می شود در مدارک سازنده اصلی توربین تنها دو رمپ برای دور گیری توربین در استارت با سوخت گازویل در نظر گرفته شده است.



شکل شماره (۳): منحنی استارت توربین با دو رمپ در طرح اولیه و طبق مدارک سازنده

با اضافه نمودن رمپ سوم و انجام تنظیمات مورد نیاز و بهینه نمودن مقادیر رمپها و سرعتهای اعمال هر کدام از رمپها منحنی دور گیری توربین همانطور که در شکل شماره (۴) نشان داده شده است اصلاح می گردد.



شکل شماره (۴) : منحنی در صد کنترل ولو گازویل با سه رمپ (منحنی صورتی رنگ)

ثابت تغییر داده شد. بدین صورت که قبل از رسیدن به دور جرقه زنی کنترل ولو در پله اول (برای مثال ۳٪) قرار گرفته و با افزایش دبی هوا در طول استارت و احتمال خاموشی شعله ایگنیشن (که همانا مشعل دیفیوژن می باشد) در دور مثلاً ۶۰۰rpm به پله دوم (مثلاً ۶٪) افزایش می یابد. همچنین جهت بالابردن ضریب اطمینان تشکیل شعله اولیه ایگنیشن دور جرقه زنی از ۴۸۰ rpm به ۳۵۰ rpm کاهش داده شد. در این حالت پله اول Start Position کنترل ولو سوخت به نحوی انتخاب می گردد که شعله ایگنیشن به خوبی تشکیل گردد. لاجیک دوپله ای Start Position کنترل ولو سوخت گاز برای استارت با سوخت گاز در نیروگاه BOT فارس تست شده است و کارایی آن به اثبات رسیده است. شکل شماره (۲) پله های Start Position کنترل ولو گاز را نشان می دهد.



شکل شماره (۲) : منحنی دوپله ای Start Position کنترل ولو سوخت گاز در استارت با گاز

۴- اصلاح منحنی استارت توربین با اضافه نمودن یک رمپ دیگر کنترل ولو در استارت با سوخت گازویل

یکی دیگر از اشکالاتی که در استارت توربین V94.2 با سوخت گازویل وجود دارد ترکیب نامناسب سوخت و هوا و رعایت نشدن نسبت این دو و بروز احتراق نامناسب می باشد که در نهایت منجر به استارت ناموفق واحد می گردد. در حالت خفیفتر، این اشکال با عث تغییر شیب دور گیری توربین و افزایش زمان دور گیری از دور ترینگیر تا دور نامی (در حالت نرمال حدود ۴ دقیقه) می گردد. برای رفع این

ضمناً رمپها و سرعتهای متناظر هر کدام در استارت با سوخت گازوییل برای شش واحد نیروگاه فارس در جدول شماره (۱) آمده است. با اصلاحیه های انجام شده بر روی رمپها و سرعتهای آنها تعداد استارت های ناموفق در نیروگاه BOT فارس در سال سوم بهره برداری تجاری به صفر رسیده است.

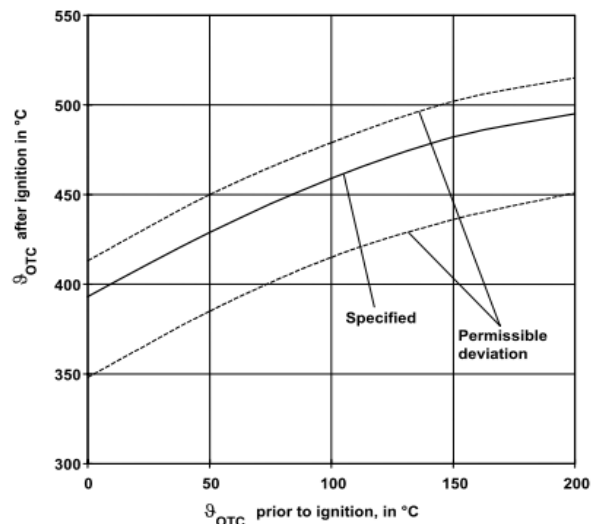
۵- رفع نوسانات دماهای خروجی توربین در مشعل پرمیکس گازوییل

یکی از اشکالاتی که در بهره برداری با مشعل پرمیکس گازوییل دیده می شود نوسانات دمای خروجی توربین به صورت پله ای می باشد. این نوسانات دما معمولاً در دماهای مربوط به یک محفظه احتراق دیده می شود. شکل نوسانات به نحوی است که همزمان برای مثال دماهای شماره ۱ و ۲ کاهش یافته و دمای شماره ۳ تقریباً به همان اندازه افزایش می یابد. طی بررسی های صورت گرفته منشأ بسیاری از این نوسانات گرفتنی حتی در حد جزئی نازل های مشعل پرمیکس می باشد که با انجام تمیز کاری نازلها (که در مطلوبترین حالت با بیرون آوردن مشعلها و کربن زدایی آنها قابل انجام است) برطرف می گردد. طبق تجربیات بدست آمده در بهره برداری از مشعل پرمیکس گازوییل نیروگاه BOT فارس مشخص گردید دامنه این نوسانات با افزایش دمای محیط کاهش می یابد (شکل شماره (۶)).



شکل شماره (۶): کم شدن دامنه نوسانات دما با افزایش دمای محیط

نکته قابل توجه در تنظیم رمپها و سرعتهای اعمال هر کدام از رمپها اینست که بدلیل استفاده از سوخت گازوییل به خصوص در فصل سرد سال و در حالی که دمای هوا به شدت کاهش می یابد لازم است این تنظیمات در این فصل انجام شده و شرایط ذکر شده برای منحنی استارت واحد ها مطابق دستورالعمل سازنده شکل شماره (۵) رعایت گردد.



شکل شماره (۵): منحنی تغییرات دمایی مناسب خروجی توربین در یک استارت موفق

FARS POWER PLANT(BOT)

UNITS	F.O. RAMPS			F.O. SPEEDS		F.O. CONTROL VALVES MINIMUM POSITION	
	FIRST RAMP	2.00E-02	FIRST SPEED	16.5 S ⁻¹	CONTROL VALVE MIN. POS	17.85%	
UNIT1	SECOND RAMP	6.80E-02	SECOND SPEED	23.33 S ⁻¹	CONTROL VALVE MIN. POS	17.85%	
	THIRD RAMP	4.80E-02	THIRD SPEED	35 S ⁻¹			
	FIRST RAMP	2.33E-02	FIRST SPEED	16.5 S ⁻¹			
UNIT2	SECOND RAMP	7.50E-02	SECOND SPEED	23.33 S ⁻¹	CONTROL VALVE MIN. POS	13.40%	
	THIRD RAMP	6.00E-02	THIRD SPEED	35 S ⁻¹			
	FIRST RAMP	8.24E-02	FIRST SPEED	16.75 S ⁻¹			
UNIT3	SECOND RAMP	1.77E-01	SECOND SPEED	25 S ⁻¹	CONTROL VALVE MIN. POS	13.83%	
	THIRD RAMP	8.53E-02	THIRD SPEED	35 S ⁻¹			
	FIRST RAMP	5.00E-02	FIRST SPEED	17 S ⁻¹			
UNIT4	SECOND RAMP	1.45E-01	SECOND SPEED	24 S ⁻¹	CONTROL VALVE MIN. POS	12.00%	
	THIRD RAMP	6.97E-02	THIRD SPEED	33.33 S ⁻¹			
	FIRST RAMP	2.00E-02	FIRST SPEED	16 S ⁻¹			
UNIT5	SECOND RAMP	5.55E-02	SECOND SPEED	20 S ⁻¹	CONTROL VALVE MIN. POS	14.10%	
	THIRD RAMP	1.10E-01	THIRD SPEED	25 S ⁻¹			
	FIRST RAMP	3.15E-02	FIRST SPEED	16.5 S ⁻¹			
UNIT6	SECOND RAMP	8.50E-02	SECOND SPEED	24.66 S ⁻¹	CONTROL VALVE MIN. POS	12.10%	
	THIRD RAMP	4.50E-02	THIRD SPEED	36.66 S ⁻¹			
	FIRST RAMP	2.00E-02	FIRST SPEED	16.5 S ⁻¹			

جدول شماره (۱): رمپهای کنترل ولو سوخت گازوییل در نیروگاه BOT فارس

با بررسی دقیقتر این رفتار توربین مشخص گردید این قبیل نوسانات بدلیل ضعیف بودن مشعل پایلوت پرمیکس گازوییل می باشد (البته همانطور که می دانیم شعله پایلوت مشعل پرمیکس گازوییل همان مشعل دیفیوژن در حالت حلقه کنترل فشار خط برگشت گازوییل نسبت به فشار خروجی کمپرسور می باشد). با تقویت این مشعل با افزایش ستینگ اختلاف فشار مذکور در پلی گان^۲ WPRDR (که مربوط به ستینگ اختلاف فشار حلقه کنترل فشار مسیر دیفیوژن در سیستم کنترل می باشد) بسته به اینکه نوسان دما در بار حداقل یا بار حداکثر وجود داشت نوسان دما برطرف گردید.

۶- رفع نوسانات دماهای خروجی توربین در مشعل پرمیکس گاز

یکی دیگر از اشکالاتی که بعضاً در توربینهای V94.2 دیده می شود نوسانات دمای خروجی توربین در بهره برداری با مشعل پرمیکس گاز می باشد. این نوسانات دما مشابه آیتیم شماره ۵ معمولاً پله ای بوده و در دماهای مربوط به یک محفظه احتراق دیده می شود. شکل نوسانات به نحوی است که همزمان برای مثال دماهای شماره ۱ و ۲ کاهش یافته و دمای شماره ۳ تقریباً به همان اندازه افزایش می یابد. با بررسی های صورت گرفته و بازدید های مختلف از مسیر داغ توربین اشکال سخت افزاری مشاهده نگردد. لذا با بررسی های دقیقتر مشابه حالت قبل این اشکال مربوط به ضعیف بودن شعله پایلوت تشخیص داده شد. درصد کنترل ولو پایلوت در مشعل پرمیکس گاز تغییر داده شد و مشاهده گردید با افزایش جزئی درصد کنترل ولو پایلوت مثلاً حدود ۱٪ در پارامترهای GP15 و GP16 (بسته به اینکه نوسان دما در بار حداقل یا حداکثر بوده باشد) در پلی گان مربوط به کنترل ولو پایلوت گاز، نوسانات دما برطرف گردید.

۷- مراجع

[1] Gas Turbine Operation And Maintenance Manual (TSM/FB-00/TG-B-38-TGD-317)

^۲-Polygon