

# کنترل ولتاژ در شبکه های توزیع الکتریکی شعاعی توسط جبران ساز سری GCSC با استفاده از منطق فازی

سعید لسان\*      عبدالرضا شیخ الاسلامی\*      رضا سیدی\*      شهرام جوادی\*\*  
گروه قدرت دانشکده مهندسی برق دانشگاه مازندران\* - شرکت سهامی خدمات مهندسی برق (مشانیر)\*\*

## کلید واژه : منطق فازی - جبران سازی سری - GCSC

### چکیده

حاضر، توربین گازی می باشد، در این طرح، شبکه برقرسانی ۳۳ کیلوولت مستقلاً از پست ۱۱/۳۳/۱۳۲ کیلوولت میانکوه مربوط به شرکت سهامی برق منطقه ای خوزستان برای تغذیه الکتروموتور پیشنهادی جهت گرداندن کمپرسور گاز موجود، طراحی گردیده است. شبیه سازی این شبکه توزیع الکتریکی توسط نرم افزار PSCAD انجام شده است. ولتاژ مؤثر شبکه، قبل و بعد از نصب سیستم GCSC مقایسه شده و لزوم استفاده از این سیستم در شبکه توزیع الکتریکی شعاعی مورد مطالعه، کاملاً مشخص گردیده است.

در مدار کنترلی تولید پالس گیت های  $GTO^3$ ، از کنترل کننده با منطق فازی، استفاده شده است.

در این سیستم می توان مقدار خازن سری را برابر کل راکتانس معادل مدار، انتخاب نمود و به دلیل کنترل پذیر بودن آن، هیچ گونه پدیده رزونانس، فرورزونانس و ناپایداری توان و ولتاژ در شبکه، پدید نخواهد آمد.

در این مقاله، راهکاری مناسب جهت کنترل ولتاژ در شبکه های توزیع الکتریکی شعاعی با استفاده از جبران ساز سری  $GCSC^1$  با استفاده از منطق فازی<sup>۲</sup> بررسی می شود. یکی از راههای کنترل ولتاژ در شبکه های توزیع الکتریکی شعاعی که نسبت راکتانس به مقاومت معادل آن فیدر از یک بیشتر بوده ( $\frac{X}{R} > 1$ ) و بار بزرگ و متغیر یا ثابتی را تغذیه نماید، استفاده از سیستم  $GCSC$  می باشد.

شبکه توزیع الکتریکی مورد مطالعه در این تحقیق، مربوط به بخشی از طرح پیشنهادی جهت جایگزینی گرداننده کمپرسور گاز از توربین گازی به الکتروموتور برقی در کارخانه گاز و گاز مایع ۳۰۰ آغاچاری (NGL300) می باشد. به علت مشکلات زیاد تعمیرات، نگهداری، بهره برداری و قدمت زیاد گرداننده کمپرسور گاز که در حال

<sup>1</sup> GTO Controlled Series Capacitor

<sup>2</sup> Fuzzy Logic

<sup>3</sup> Gate Turn Off Thyristor

توان ولتاژ و راکتانس مؤثر خازن را کنترل نمود. هنگامی که بازشدن کلید به اندازه زاویه  $\gamma$  نسبت به اوج جریان خط، به تأخیر افتد، ولتاژ خازن می تواند با یک جریان خط تعریف شده به صورت زیر بیان شود:

$$i(t) = I \cos \omega t \quad (1)$$

$$V_{CF}(t) = \frac{1}{C} \int_{\frac{\gamma}{\omega}}^t i(t) dt = \frac{I}{C\omega} (\sin \omega t - \sin \gamma) \quad (2)$$

$$(\gamma - \pi \leq \omega t \leq \gamma)$$

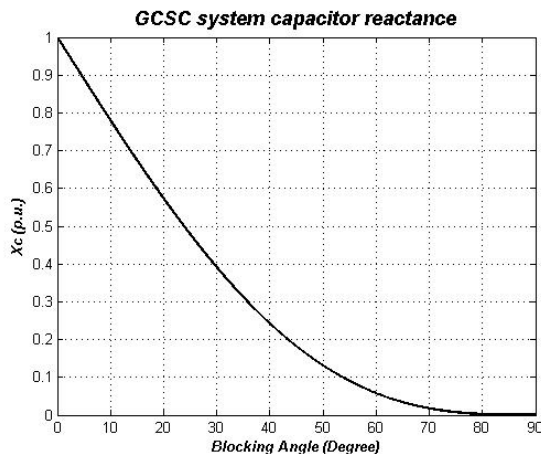
طبق محاسبه مؤلفه اول سری فوریه شکل موج ولتاژ خازن، دامنه مؤلفه اصلی ولتاژ خازن  $V_{CF}(\gamma)$  و راکتانس خازنی برای مؤلفه اصلی ولتاژ برحسب تابعی از زاویه تأخیر قطع  $\gamma$ ، مطابق روابط شماره (۳) و (۴) و (۵) می باشند.

$$V_{CF}(\gamma) = \frac{I}{C\omega} \left(1 - \frac{2\gamma}{\pi} - \frac{\sin 2\gamma}{\pi}\right) \quad (3)$$

$$X_C(\gamma) = \frac{V_{CF}(\gamma)}{I} \quad (4)$$

$$X_C(\gamma) = \frac{1}{C\omega} \left(1 - \frac{2\gamma}{\pi} - \frac{\sin 2\gamma}{\pi}\right) \quad (5)$$

در این روابط،  $I$  دامنه جریان خط،  $C$  ظرفیت خازن سری شده با خط و  $\omega$  فرکانس زاویه ای ولتاژ سیستم قدرت متناوب می باشد [۱]. منحنی تغییرات  $X_C(\gamma)$  برحسب زاویه تأخیر قطع  $\gamma$ ، در شکل شماره (۲)، توسط نرم افزار MATLAB رسم گردیده است.



شکل شماره (۲): منحنی مشخصه راکتانس خازنی برای مؤلفه اول ولتاژ برحسب زاویه تأخیر قطع  $\gamma$

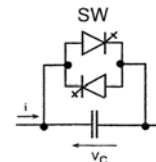
بر اساس این شکل، با تغییر مؤلفه اصلی ولتاژ خازن در یک جریان خط ثابت، سیستم GCSC می تواند به عنوان یک راکتانس خازنی متغیر یا به عنوان یک منبع ولتاژ کنترل شده

جبران سازی سری در شبکه های قدرت الکتریکی توسط خازن های سری انجام می گیرد. خازن های سری به منظور جبران سازی راکتانس سلفی خط، به طور سری با هادی های آن قرار می گیرند. این موضوع سبب کاهش راکتانس انتقالی بین شین هایی که خط به آنها متصل است، افزایش توان اکتیو حداکثری که می تواند انتقال یابد، همچنین باعث کاهش تلفات مؤثر توان راکتیو ( $XI^2$ ) می شود. توان راکتیو تولیدی به وسیله یک خازن سری با افزایش انتقال توان، افزایش می یابد. از این نظر خازن سری، ابزاری خود تنظیم است [۲].

جبران ساز سری کنترل پذیر در واقع یک منبع ولتاژ کنترل شده است که برای کنترل جریان خط انتقال به صورت سری به آن متصل می شود. جبران ساز سری می تواند به صورت امپدانس راکتیو متغیر یا به صورت منبع ولتاژ کنترل شده، به صورت سری با خط انتقال اجرا شود [۱].

## ۲- جبران ساز سری کنترل پذیر GCSC

امروزه یکی از تجهیزاتی که برای جبران سازی کنترل پذیر در شبکه های انتقال و توزیع کاربرد زیادی پیدا کرده است، سیستم GCSC بوده که نوعی از تجهیزات FACTS<sup>4</sup> جهت جبران سازی سری با خازن کنترل شده توسط کلید های GTO ضد موازی می باشد. این سیستم از قابلیت انعطاف، سرعت و دقت بسیار بالایی برخوردار می باشد. شکل شماره (۱) سیستم GCSC را نمایش می دهد.

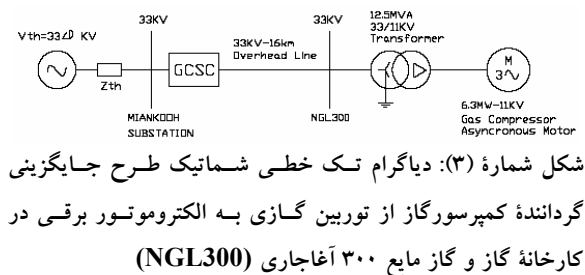


شکل شماره (۱): مدار خازن سری کنترل شده با GTO (GCSC)

هدف از طراحی این سیستم، کنترل ولتاژ متناوب روی خازن ( $V_C$ )، در جریان مفروض خط ( $i$ ) می باشد. بدیهی است که با کنترل زاویه تأخیر قطع کلید های GTO، می

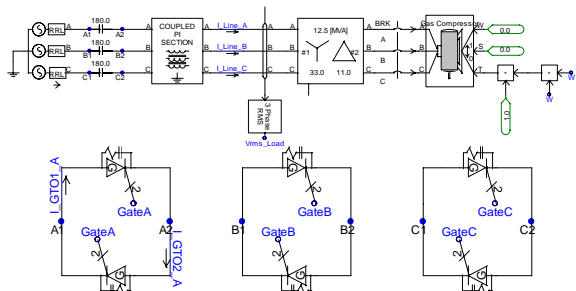
<sup>4</sup> Flexible AC Transmission Lines

طرح در پیوست شماره (۱) ذکر گردیده است.

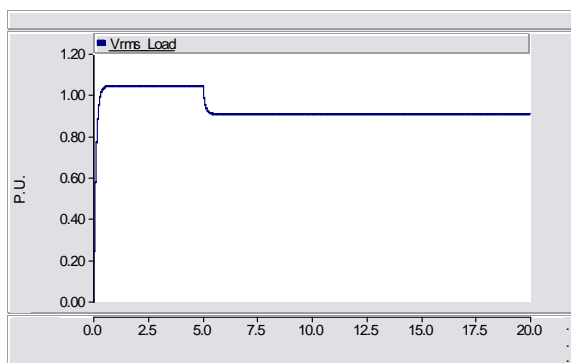


شکل شماره (۳): دیاگرام تک خطی شماتیک طرح جایگزینی گرداننده کمپرسور گاز از توربین گازی به الکتروموتور برقی در کارخانه گاز و گاز مایع ۳۰۰ آغاچاری (NGL300)

به علت مشکلات زیاد تعمیرات، نگهداری، بهره برداری و قدمت زیاد گرداننده کمپرسور گاز که در حال حاضر، توربین گازی می باشد، شبکه برقرسانی ۳۳ کیلوولت مستقلی از پست ۱۳۲/۳۳/۱۱ کیلوولت میانکوه مربوط به شرکت سهامی برق منطقه ای خوزستان برای تغذیه الکتروموتور پیشنهادی جهت گرداندن کمپرسور گاز موجود، طراحی گردیده است.



شکل شماره (۴): شبکه برق مورد مطالعه توسط نرم افزار PSCAD



شکل شماره (۵): ولتاژ مؤثر شبکه هنگام راه اندازی موتور آسنکرون فشارقوی بدون وجود سیستم GCSC

شبیه سازی این شبکه توزیع الکتریکی توسط نرم افزار PSCAD انجام شده است. شکل شماره (۴) شبکه توزیع الکتریکی مذکور را نشان می دهد. شکل شماره (۵)، ولتاژ مؤثر شبکه هنگام راه اندازی موتور آسنکرون فشارقوی،

با جریان خط، در نظر گرفته شود. کاربرد خاص سیستم GCSC در شبکه های شعاعی فوق توزیع و توزیع با خطوط هوایی بلند که بارهای بزرگی را در انتهای خط تغذیه می کنند، مناسب می باشد. در اینگونه شبکه ها هر چه نسبت راکتانس به مقاومت معادل فیدر ( $\frac{X}{R}$ ) بزرگتر باشد، تأثیر جبران سازی سری در آن بیشتر خواهد بود. در این روش، اثر راکتانس سلفی خط کم شده ولی به اندازه سیستم جبران سازی موازی، تأثیر زیادی روی ضریب قدرت، نخواهد گذاشت و برای کنترل ولتاژ و کم کردن اثر نامتعادلی بارها، کاربرد خواهد داشت. در مواقعی که شبکه توزیع شعاعی بارموتوری بزرگی را تغذیه می کند، استفاده از خازن های سری ثابت، ممکن است باعث بروز پدیده رزونانس بین راکتانس موتور یا خط انتقال و خازن سری شود. ولی در سیستم GCSC این مشکل حل شده و هنگام راه اندازی که موتورها جریان زیادی از شبکه می کشند، به آرامی راکتانس خط را به همان اندازه لازم جبران می کند. در هنگامی که بار شبکه شعاعی کم باشد، بایستی خازن بطور کامل از مدار خارج شود ( $\gamma = 90$ ) چون باعث بروز اضافه ولتاژ در انتهای خط خواهد شد و برای بارهای خیلی بزرگ، خازن باید بطور کامل در مدار باشد ( $\gamma = 0$ ). در شبکه های فشار ضعیف به دلیل کم بودن نسبت راکتانس به مقاومت معادل فیدر ( $\frac{X}{R}$ )، کاربرد GCSC بسیار محدود شده و نصب آن برای کنترل ولتاژ، تأثیر زیادی نداشته و غیر اقتصادی می باشد.

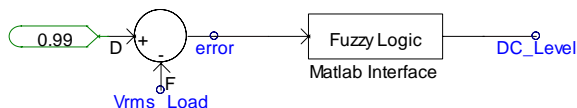
### ۳- شبکه توزیع الکتریکی مورد مطالعه

شبکه توزیع الکتریکی که در این مقاله، انتخاب گردیده است، مربوط به بخشی از طرح پیشنهادی جهت جایگزینی گرداننده کمپرسور گاز از توربین گازی به الکتروموتور برقی در کارخانه گاز و گاز مایع ۳۰۰ آغاچاری (NGL300) واقع در ۲۰ کیلومتری شمال غرب شهرستان امیدیه در استان خوزستان می باشد. دیاگرام تک خطی شماتیک این طرح در شکل شماره (۳) نشان داده شده است. مشخصات فنی تجهیزات و پارامترهای شبکه این

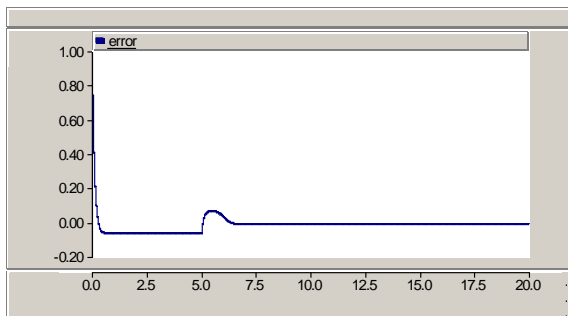
به  $0.990p.u.$  می‌رسد. همانطور که از شکل (۷) پیداست، زمان راه‌اندازی موتور تا رسیدن به ولتاژ تعریف شده در کنترل‌کننده با منطق فازی، یعنی مقدار  $0.990p.u.$  حدود  $1/5$  ثانیه می‌باشد و در زمان  $t=5.395sec$  ولتاژ مؤثر به حداقل مقدار خود یعنی  $0.915p.u.$  می‌رسد و از زمان  $t=5.395sec$  تا زمان  $t=6.50sec$  یعنی در مدت زمان  $1/105$  ثانیه، خود را به مقدار نهائی یعنی  $0.990p.u.$  می‌رساند. همانطور که از نتایج شبیه‌سازی مشخص است، وضعیت راه‌اندازی موتور بهبود زیادی تا حدود ایده‌آل پیدا کرده است. بنابراین بهبود ولتاژ در این شبکه توزیع الکتریکی شعاعی کاملاً مشخص می‌باشد.

#### ۴- طراحی سیستم کنترل با منطق فازی

شکل شماره (۸)، بلوک دیاگرام سیستم کنترل زاویه تأخیر قطع  $\gamma$  را نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود، در ابتدا، ولتاژ مؤثر بار با ولتاژ مطلوب، مقایسه شده و خروجی آن خطای حالت ماندگار می‌باشد که توسط عملکرد کنترلر به صفر می‌رسد. منحنی تغییرات آن در شکل شماره (۹)، نشان داده شده است.



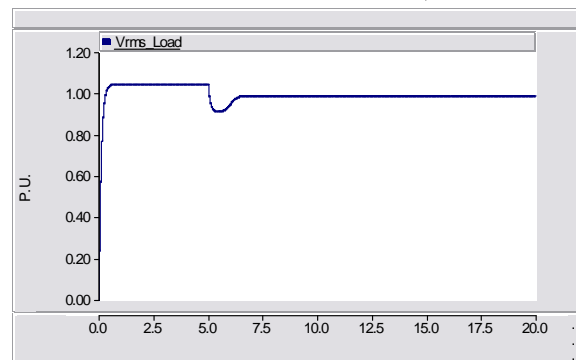
شکل شماره (۸): بلوک دیاگرام سیستم کنترل زاویه تأخیر قطع  $\gamma$



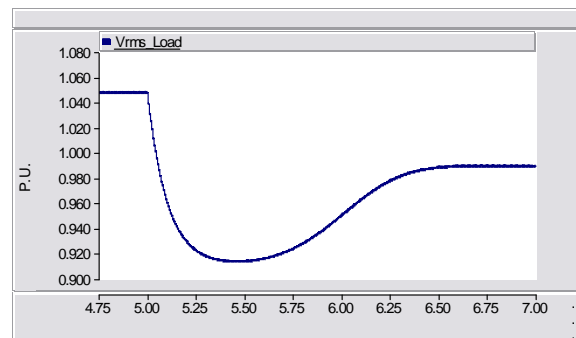
شکل شماره (۹): منحنی تغییرات خطای حالت ماندگار سیستم کنترل

در نهایت خروجی این سیستم کنترل با منطق فازی، یک سطح DC خواهد بود. یکی از امکانات نرم افزار PSCAD، برقراری ارتباط

بدون وجود سیستم GCSC را که از شبیه‌سازی نتیجه گرفته شده است را نشان می‌دهد. در این شکل، موتور در  $t=5sec$  راه‌اندازی شده و ولتاژ مؤثر شبکه به  $0.9125p.u.$  می‌رسد که در حالت کار دائمی موتور، غیر قابل قبول می‌باشد. بنابراین راه‌اندازی این موتور آسنکرون فشار قوی بطور مستقیم، افت ولتاژ نسبتاً شدید و پایداری را در شبکه قدرت الکتریکی ایجاد می‌نماید. از این نظر در این طرح لزوم استفاده از تجهیزاتی جهت اصلاح این افت ولتاژ، کاملاً مشهود است. یکی از روش‌های مؤثر برای کنترل ولتاژ در این گونه شبکه‌های توزیع الکتریکی شعاعی که دارای بار بزرگ و متغیر می‌باشند، استفاده از سیستم GCSC است.

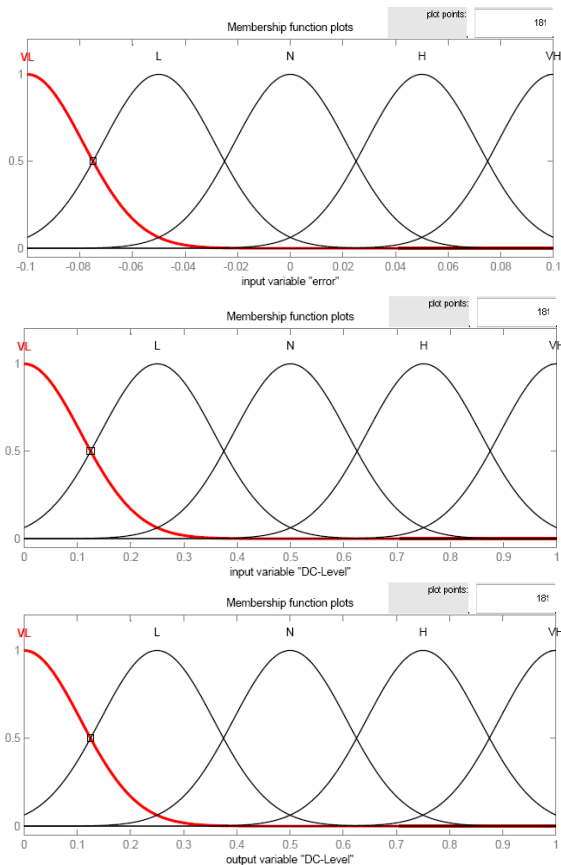


شکل شماره (۶): ولتاژ مؤثر شبکه، هنگام راه‌اندازی و کار عادی موتور آسنکرون فشارقوی با استفاده از سیستم GCSC



شکل شماره (۷): بزرگنمایی بخش راه‌اندازی شکل شماره (۶)

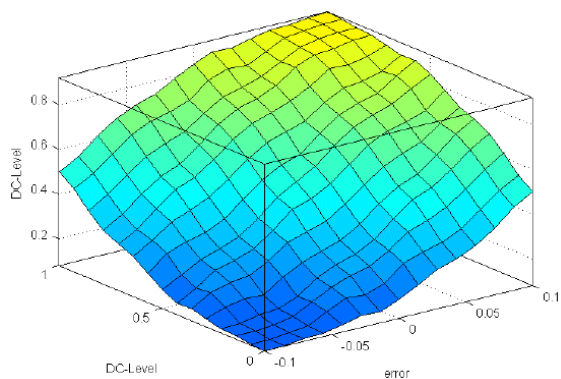
شکل شماره (۶)، ولتاژ مؤثر شبکه، هنگام راه‌اندازی و کار عادی موتور آسنکرون فشارقوی مذکور را با استفاده از سیستم GCSC نشان می‌دهد. در این شکل، موتور در زمان  $t=5sec$  راه‌اندازی شده و ولتاژ مؤثر شبکه، توسط کنترل‌کننده با منطق فازی، در زمان  $t=6.50sec$



شکل شماره (۱۱): منحنی های گوسی منطق فازی

جدول شماره (۱): قوانین منطق فازی برای تعیین سطح DC مطلوب

DC-Level \ error	VL	L	N	H	VH
VL	VL	VL	VL	L	N
L	VL	VL	L	N	H
N	VL	L	N	H	VH
H	L	N	H	VH	VH
VH	N	H	VH	VH	VH

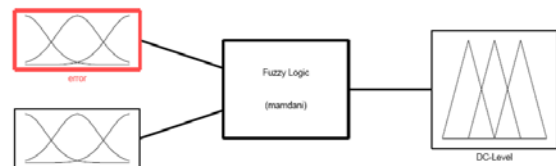


شکل شماره (۱۲): رویه مجموعه قوانین سیستم کنترل با منطق فازی

مستقیم با نرم افزار MATLAB می باشد. بنابراین در این پروژه، جهت طراحی سیستم کنترل با منطق فازی، از این امکان استفاده شده و قوانین مربوط به منطق فازی، با کمک نرم افزار MATLAB، نوشته شده، نتایج مربوطه توسط نرم افزار PSCAD، فراخوانده و روی سیستم قدرت مورد مطالعه به طور خودکار، اعمال می گردد. شکل شماره (۱۰)، بلوک دیاگرام منطق فازی را نشان می دهد. همانطور که در این شکل مشخص شده است، سیستم کنترل با منطق فازی، شامل ورودی های خطای حالت ماندگار و سطح DC فعلی سیستم بوده و خروجی آن سطح DC مطلوب خواهد بود. Membership Function های مورد استفاده برای این سه ورودی از نوع Gaussmf گوسی شکل خواهد بود که در شکل شماره (۱۱) نشان داده شده است. تعاریف این توابع به شرح زیر می باشند:

VL:Very Low, L:Low, N:Normal, H:High, VH:Very High

قوانین<sup>۵</sup> نوشته شده جهت کنترل سیستم قدرت مورد مطالعه با منطق فازی، طوری طراحی گردیده که همیشه سطح DC روی مقدار مطلوب در جهت صفر شدن خطای حالت ماندگار، قرار گیرد. مجموعه قوانین منطق فازی برای تعیین سطح DC مطلوب در جدول شماره (۱) درج شده است. علائم داخل این جدول، وضعیت سطح DC مطلوب را نشان می دهند. برای مثال، اگر خطای حالت ماندگار، زیاد شده و سطح DC موجود در حالت نرمال باشد، آنگاه سطح DC مطلوب، بایستی زیادتر شود. شکل شماره (۱۲)، رویه رسم شده برای کلیه قوانین نوشته شده را نشان می دهد. در این شکل، محورهای مسطح، خطای حالت ماندگار و سطح DC موجود و محور عمودی سطح DC مطلوب، می باشد.



شکل شماره (۱۰): بلوک دیاگرام منطق فازی

<sup>5</sup> Rules

## ۶- طراحی خازن در سیستم GCSC

طبق تجربیات به دست آمده در این تحقیق و مرجع شماره [5]، بهترین مقدار خازن جبران ساز سری مورد استفاده در شبکه های توزیع الکتریکی شعاعی که دارای سیستم GCSC می باشند، بایستی برابر راکتانس کل مدار اعم از مدار معادل تونن، خطوط هوایی انتقال انرژی، کابلها و ترانسفورماتورهای قدرت انتخاب و نرم شود. علی رغم تصورات موجود در مورد ناپایداری سیستم قدرت و نوسانات ولتاژ هنگام مقاومتی شدن شبکه، (که دلیل آن جبران اثر سلفی شبکه توسط خازن سری می باشد) در این سیستم، هنگامی که مقدار خازن سری با درجه جبران کنندگی ۱۰۰٪ انتخاب شده باشد، بهترین و دقیق ترین پاسخ را خواهد داد. زیرا اصولاً فلسفه وجود خازن در سیستم GCSC، کنترل راکتانس و ولتاژ مؤثر آن می باشد و هر مقداری که مدار الکتریکی نیاز به خازن داشته باشد، وارد مدار یا خارج می کند و به دلیل کنترل پذیر بودن آن، هیچ گونه پدیده رزونانس، فرورزونانس، ناپایداری و نوسانات توان و ولتاژ در شبکه، پدید نخواهد آمد. طبق محاسبات انجام شده در این شبکه توزیع الکتریکی شعاعی، مقدار خازن سیستم GCSC، برابر ۱۸۰ میکروفاراد در سطح ولتاژ نامی ۳۳ کیلوولت طراحی گردیده است که تقریباً برابر با راکتانس سلفی کل مدار می باشد.

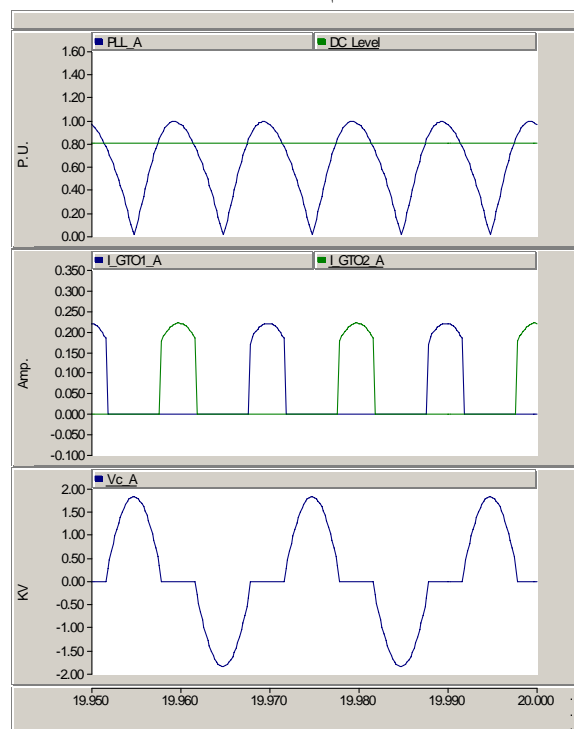
## ۷- نتیجه گیری

یکی از راههای کنترل ولتاژ در شبکه های توزیع الکتریکی شعاعی که نسبت راکتانس به مقاومت معادل آن فیدر از یک بیشتر بوده ( $\frac{X}{R} > 1$ ) و بار بزرگ و متغیر یا ثابتی را تغذیه نماید، استفاده از سیستم GCSC می باشد. معمولاً به دلیل کم بودن نسبت  $\frac{X}{R}$  در سطوح ولتاژ فشار ضعیف، استفاده از این سیستم مقرون به صرفه نبوده و عمده کاربرد آن در شبکه های توزیع و فوق توزیع الکتریکی شعاعی و شبکه های انتقال که نسبت  $\frac{X}{R}$  در آنها قابل توجه است، می باشد.

همانطور که در شکل شماره (۱۲) مشخص است، کلیه حالت های به وجود آمده احتمالی، حتی وضعیت خازنی شدن شبکه (خطای حالت ماندگار منفی) و غیره نیز در این قوانین لحاظ گردیده است.

## ۵- طراحی مدار فرمان گیت کلیدهای GTO

شکل شماره (۱۳)، فرآیند تولید پالس های فرمان و کنترل ولتاژ خازن سیستم GCSC را نشان می دهد.



شکل شماره (۱۳): فرآیند تولید پالس های فرمان و کنترل ولتاژ خازن سیستم GCSC

برای ساختن فرمان گیت کلیدهای GTO، از جریان های سه فاز خط، نمونه برداری شده و توسط سیستم PLL<sup>6</sup>، شکل موجی سنکرون با شکل موج جریان های اصلی شبکه ولی با دامنه یک و قدر مطلق گرفته شده، با سطح DC، تلاقی داده شده و تفاضل آنها همان فرمان گیت ها می باشد. جهت تولید این پالس های فرمان از تکنیک PWM<sup>7</sup> ثابت، که از روشهای مرسوم در صنعت می باشد، استفاده شده است.

<sup>6</sup> Phase Locked Loop

<sup>7</sup> Pulse Width Modulation

شبکه توزیع الکتریکی مورد مطالعه در این مقاله، مربوط به بخشی از طرح پیشنهادی جهت جایگزینی گرداننده کمپرسور گاز از توربین گازی به الکتروموتور برقی در کارخانه گاز و گاز مایع ۳۰۰ آغاچاری (NGL300) می باشد. به علت مشکلات زیاد تعمیرات، نگهداری، بهره برداری و قدمت زیاد گرداننده کمپرسور گاز که در حال حاضر، توربین گازی می باشد، در این طرح، شبکه برقرسانی مستقلی برای تغذیه الکتروموتور پیشنهادی جهت گرداندن کمپرسور گاز موجود، طراحی گردید. شبیه سازی این شبکه توزیع الکتریکی توسط نرم افزار PSCAD انجام شد. ولتاژ مؤثر شبکه، پس از راه اندازی موتور آسنکرون فشارقوی بدون وجود سیستم GCSC به مقدار 0.9125 p.u. رسید که در حالت کار دائمی موتور، غیر قابل قبول می باشد. بنابراین در این طرح لزوم استفاده از تجهیزاتی جهت اصلاح این افت ولتاژ، کاملاً مشهود است. با استفاده از سیستم GCSC، موتور راه اندازی شده و ولتاژ مؤثر شبکه، توسط کنترل کننده با منطق فازی، روی مقدار 0.990 p.u. به عنوان ولتاژ مرجع، تنظیم گردید. زمان راه اندازی موتور تا رسیدن به ولتاژ مرجع تعریف شده، حدود ۱/۵ ثانیه بود و در زمان ۰/۳۹۵ ثانیه پس از لحظه راه اندازی ولتاژ مؤثر به حداقل مقدار خود یعنی 0.915 p.u. رسید و در مدت زمان ۱/۱۰۵ ثانیه پس از آن، ولتاژ مؤثر شبکه، خود را به مقدار نهائی یعنی 0.990 p.u. رساند. همانطور که از نتایج شبیه سازی مشخص گردید، وضعیت راه اندازی موتور، بهبود زیادی تا حدود ایده آل پیدا کرد. بنابراین بهبود سطح ولتاژ توسط سیستم GCSC در این شبکه توزیع الکتریکی شعاعی کاملاً مشخص گردید. در این سیستم می توان مقدار خازن سری را برابر کل راکتانس معادل مدار، انتخاب نمود و به دلیل کنترل پذیر بودن آن، هیچ گونه پدیده رزونانس، فرورزونانس، ناپایداری و نوسانات توان و ولتاژ در شبکه، پدید نخواهد آمد.

**پیوست شماره (۱): مشخصات فنی تجهیزات**  
 مشخصات فنی تجهیزات و پارامترهای شبکه طرح جایگزینی گرداننده کمپرسور گاز از توربین گازی به الکتروموتور برقی در کارخانه گاز و گاز مایع ۳۰۰ آغاچاری (NGL300) به شرح زیر می باشد:

#### • الکتروموتور

- نوع آسنکرون قفس سنجابی آلومینیومی
  - قدرت نامی: ۶/۳ مگاوات
  - تعداد قطب: ۴
  - فرکانس نامی: ۲٪ ± ۵۰ هرتز
  - ولتاژ نامی: ۵٪ ± ۱۱ کیلوولت
  - کلاس عایقی: F
  - جریان نامی: ۳۹۳/۵ آمپر
  - درصد جریان روتور قفل شده: ۵۵۰٪
  - سرعت نامی: ۱۴۸۹ دور در دقیقه
  - گشتاور نامی: ۴۰۴۰۳ نیوتن متر
  - درصد گشتاور روتور قفل شده: ۵۵٪
  - درصد گشتاور فروپاشی: ۲۱۰٪
  - راندمان در بار نامی: ۹۶/۶٪
  - ضریب توان در بار نامی: ۰/۸۷
  - جرم ماشین: ۲۰۰۰۰ کیلوگرم
  - اینرسی روتور: ۳۲۵ کیلوگرم متر مربع یا  $J = 325 \text{ kg.m}^2 \Rightarrow H = 0.5456 (\text{MW.sec/MVA})$
  - درجه حفاظت: IP55
  - پارامترهای مدار معادل:
- $$R_s = R'_r = 0.0968(\Omega) \approx 0.006(p.u.)$$
- $$X_s = X'_r = 3.9804(\Omega) \approx 0.2466(p.u.)$$
- $$X_m = 50(\Omega) \approx 3.0976(p.u.)$$
- بار مکانیکی:
  - کمپرسور گاز
  - مشخصه تقریبی گشتاور-سرعت:

$$T \cong \omega^2 \begin{cases} T(N.m) \\ \omega(rad/sec) \end{cases}$$

## ۸- فهرست مراجع

۱- هینگورانی، نارین جی- گایوگی، لازلو، (۱۳۸۴)،  
آشنایی با FACTS- مفاهیم و فن آوری شبکه های انتقال  
نیروی انعطاف پذیر، احمد فریدون درافشان، تهران،  
مهندسين مشاور قدس نيرو.

۲- کندور، پرابها، (۱۳۷۶)، پایداری و کنترل سیستمهای  
قدرت (جلد اول)، حسین سیفی- علی خاکی صدیق، ۳۶،  
تهران، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس.

۳- میلر، تی.جی.ای، (۱۳۷۱)، کنترل توان راکتیو در  
سیستم های الکتریکی، رضا قاضی، مشهد، انتشارات جهاد  
دانشگاهی مشهد.

4- L.F.W.de Souza, E.H.Watanabe, M.Aredes, "A GTO Controlled Series Capacitor for Distribution Lines", proceeding of CIGRE 1998 session, session 14, paper 201, paris, August 1998.

5- Miske, S.A., "Consideration For The Application of Series Capacitors to Radial Power Distribution circuits", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.16, No.2, April 2001.

6- E.H. Watanabe, L.F.W.de Souza, F.D.de Jesus, J.E.R. Alves, A. Bianco, "GCSC- Gate Controlled Series Capacitor: A New Facts Device for Series Compensation of Transmission Lines", proceeding of IEEE/PES Transmission & Distribution Conference & exposition: Latin America, 2004.

7- L.F.W. de Souza, E.H. Watanabe, M. Aredes, "GTO controlled series capacitors : Multi Module and Multi-Pulse Arrangements", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.15, No.2, April 2000.

8- L.F.W.de Souza, E.H.Watanabe, L.A.S. Pilotto, "Harmonic Analysis of a GTO Controlled Series Capacitor Operating under Unbalanced Currents", proceeding of IEEE conference, 2002, 176.

9- IEEE standard For Series Capacitors In Power Systems. IEEE Std. 824-1985

## • ترانسفورماتور قدرت:

- نوع: سه فاز- روغنی- مخزن دار
- قدرت نامی: ۱۲/۵ مگاوات آمپر
- سطح ولتاژها: ۳۳/۱۱ کیلوولت
- فرکانس نامی: ۵۰ هرتز
- امپدانس درصد: ۸/۳۵٪
- گروه برداری: YNd11
- نوع سیستم خنک کنندگی: ONAN
- تپ چنجر:  $5 \times (\pm 2.5\%) - OFTC$
- تلفات مسی: ۸۱ کیلووات دردمای  $75^{\circ}C$
- تلفات آهنی: ۱۵ کیلووات
- حداکثر درجه حرارت روغن:  $50^{\circ}C$
- حداکثر درجه حرارت سیم پیچ:  $55^{\circ}C$
- قدرت صدا در ۳ متری: ۶۳ دسی بل

## • خط انتقال انرژی:

- ۱۶ کیلومتر خط انتقال ۳۳ کیلوولت
- دکل:
- فلزی- جناقی- ۲۴/۸۰ متر ارتفاع از سطح زمین- تکمداره- تک باندله- فاصله فازها:  
 $ab = 2.55m, bc = 2m, ca = 2.55m$
- هادی:

$$\begin{cases} ACSR - Linnet \\ R_{dc(max)} = 0.1699(\Omega/km)at20^{\circ}c \\ S_{total} = 107.23mm^2 \\ D = 18.31mm \\ I_{tropical} = 182A - I_{temperate} = 371A \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} R^+_{ac} = 0.20125(\Omega/km)at60^{\circ}c \\ X^+_{L} = 0.36433(\Omega/km) \\ X^+_{C} = 0.31738(M\Omega/km) \\ R^0 = 0.34929(\Omega/km)at60^{\circ}c \\ X^0 = 0.12350(\Omega/km) \end{cases}$$

## • مدار معادل تونن شبکه تغذیه کننده از پست

میانکوه شرکت سهامی برق منطقه ای خوزستان:

$$Z_{th} = 0.02455 + 0.40928j(p.u.)at \begin{cases} V_{base} = 33KV(L-L) \\ S_{base(3\phi)} = 100MVA \end{cases}$$