بکار گیری و مقایسه روشهای جبران توان راکیتو برای بهبود پایداری ولتاژ در کندانسورهای سنکرون Super VAR و سیستم های D-VAR با ادوات FACTS

مهران شادمان
دانشگاه آزاد واحد علوم تحقیقات
mehranshademan@yahoo.com

دکتر هادی ورهرام
دانشگاه صنعتی شریف
varahram@sharif.edu

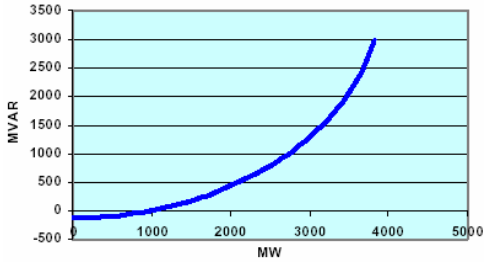
چکیده :

ناپایداری ولتاژ در سیستمهای انتقال و توزیع بواسطه کافی نبودن توان راکتیو تولیدی ، توسط منابع تغذیه توان راکتیو نظیر ژانراتورها و جبران کننده های استاتیکی وار می باشد . با افزایش تقاضای توان راکتیوشبکه دراثرازدیاد بار و تأمین نشدن توسط منابع دینامیکی ،کنترل و تأمین توان راکتیو توسط کندانسورهای سنکرون سوپر وار ابر رسانا درجه حرارت بالا [1] (HTSDSC) و سیستم [2](D-VAR) وهمچنین خطوط انتقال انعطاف پذیر [3] (FACTS) می باشد . HTSDSC و سیستم D-VAR توسط مؤسسه ابر رسانایی آمریکا (AMSC) طراحی شده اند. وHTSDSC ماشین سنکرون دوار ساخته شده با سیم پیچ میدان ابر رسانا درجه حرارت بالا، بطور پیوسته و سنکرونیزم با شبکه ، به تزریق توان راکتیو در اثر عبور جریان آنی حدود(8(pu برای رسیدن به محدوده مطلوب ولتاژ حالت دایم می پردازد .[1-2]

از لحاظ هزینه پایین و افزایش قابلیت اطمینان ، بالاتر از ادوات FACTS عمل می کند. سیستم D-VAR کاربردهای سیستم الکترونیک قدرت در ابر رسانایی بوده و با شناسایی مکان بارهای بحرانی و نوع و میزان سطح بار، مقدار توان راکتیو برای جبران آنی ولتاژ نقاط مورد نیاز شبکه به شبکه تزریق می کند. از ویژه گی آن نصب آسان در مکانهای که نیاز به مقدار بیشتر وار حمایتی دارند میباشد.

مقدمه :

دینامیک توان راکیتو یکی از مهمترین المان برای افزایش بار پذیری خط انتقال ورسیدن به پایداری دینامیکی و جلوگیری از فروپاشی ولتاژ می باشد. به هر حال یک سری اجزاء و بارهای متناظر با آنها در شبکه قدرت AC وجود دارند، که در بعضی از زمانهای بصورت خازنی و در بعضی از زمانهای دیگر بصورت سلفی عمل می کنند و همانطورکه در شکل (۱) برای خط انتقال 200km-500kv با امپدانس ضربه SIL=1000MW نشان داده شده است



شکل (۱) وابستگی بار پذیری شبکه با افزایش خیلی سریع قدرت راکیتو

قدرت در خواستی با افزایش خیلی سریع قدرت راکیتو افزایش پیدا می کند و عدم حمایت توان راکیتو می تواند باعث محدود شدن توان اکتیو عبوری وتراکم بارپذیری خط انتقال شود. کافی نبودن افزایش توان راکیتو باعث خاموشی فراوانی در آگوست سال 2003 واقع در

1-High Temperature Superconductor SuperVAR dynamic synchronous condensers
2-Dynamic VAR
3- Flexible AC Transmission System

آمریکایی شمالی شد. در صورت تأمین نشدن توان راکتو ولتاژ خط انتقال سقوط کرده و جریان عبوری برای ثابت نگه داشتن توان، افزایش پیدا می کند و جریان بزرگتر باعث سقوط بیشتر ولتاژ بواسطه حرارت اضافی و خمش سیمها می شود. در طراحی جدید کندانسورهای سنکرون سوپر وار ساخته شده با سیم پیچ میدان ابر رسانا درجه حرارت بالا ، [4-5-6] جریان سیم پیچ میدان روتور از بی باری تا بار کامل در درجه حرارت ثابت، خیلی کم تغییر می کند و بواسطه همین کاهش تلفات در سیم پیچ میدان بازده ماشین HTSDSC حدود 98.8 % می باشد و مقدار بزرگ وار خروجی ،امکان تغییر اندک در جریان گردشی می دهد.[2] برای امتحان این خواص جالب از HTSDSC اولین واحد ساخته شده توسط مؤسسه AMSC[1] در شبکه ایالت تینسی TVA[2] و در یک واحد کوره برقی نزدیک Gallatin قرار داده شد. درمقایسه با ادوات FACTS دارای مزایای زیر می باشد :

۱- کاهش تلفات
۲- افزایش قابلیت اطمینان سیستم
۳- نصب ساده
۴- عدم تولید هارمونیک
۵- حمایت سریع و گذرا دینامیکی ولتاژ و افزایش پایداری سیستم

سیستم تنظیم ولتاژ D-VAR AMSCs کاربردهای سیستم الکترونیک قدرت در ابر رسانایی بوده و تقریباً یک STATCOM جمع شده با پیک بار (3(pu بوده و راه حل قوی و کم هزینه برای تنظیم سطح ولتاژ دینامیکی با استفاده از جبران دینامیکی وار در کارخانجات صنعتی و شبکه های انتقال می باشد. از ویژه گی آن نصب آسان در مکانهای که نیاز به مقدار بیشتر وار حمایتی دارند میباشد و از مزیت های آن بر ادوات FACTS عبارت است :

۱- نرخ افزایش بار تا 3X (X بر حسب پریونیت) در بازه زمانی کوتاه
۲- نیاز به وار حمایتی کمتر برای تنظیم ولتاژ شبکه با توجه به نصب دقیق در محل کمبود وار
۳- ساختار کانورتری قدرت اجازه کارکرد سیستم D-VAR را در صورت خرابی یکی از کانورترها قدرت می دهد.

جدول (۱) مقایسه ای بین THSDSC وسیستم D-VAR را با ادوات FACTS بیان می کند

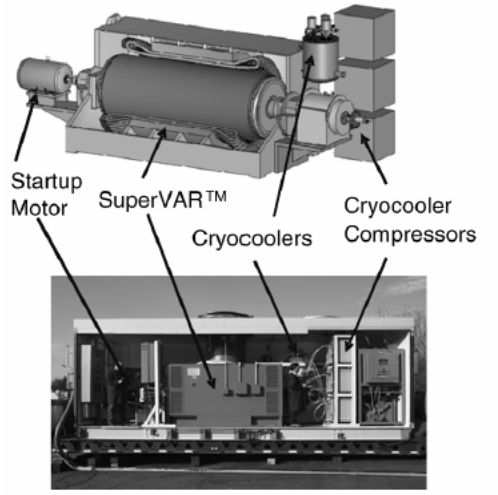
مشخصات توابع	STATCOM	D-VAR	Super VAR DSC
قدرت اکتیو خروجی	صفر	اختیاری	صفر
نرخ افزایش بار گذراری	صفر	3X	بالاتر از 8X
کنترل ادوات دیگر	بله	بله	بله
وابستگی به کنترل فاز	بله	بله	خیر
کُند	سریع	سریع	کنترل خروجی ناپیوسته
نیاز به فیلترهارمونیک	بله	وابسته به کاربرد	خیر
وابستگی خروجی به ولتاژ باس	کاهش خطی با ولتاژ	کاهش خطی با ولتاژ	وابسته نبودن به ولتاژ باس
بازده	98-99%	98-99%	98-99%
طریقه نصب	پیچیده	ساده	ساده
تلفات	بالا	پایین	پایین
مدت زمان کارکرد بدون تعمیر	یک سال	۶ ماه	۶ ماه

جدول (۱) مقایسه ای بین THSDSC و D-VAR با ادوات FACTS

1-American Superconductor Corporation's
2-Tennessee Valley Authority
3-Static Synchronous Compensator

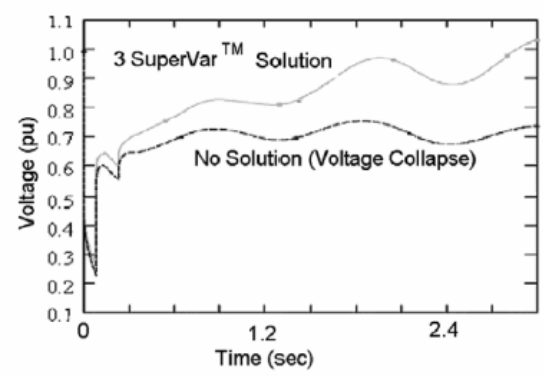
کندانسور سنکرون سوپر وار ابر رسانا درجه حرارت بالا (HTSDSC):

ماشین HTSDCS با توان دینامیکی بالا، در خارج از شبکه قادر است برای هر نقطه مورد نیاز شبکه توان راکیتو تولید یا جذب کند. واکنش سریع زمانی تزریق وار در طول اغتشاشات و قابلیت اعتماد بالا و بالا بردن پایداری شبکه ان را یکی از اجزاء مهم شبکه کرده است. [3] شکل شماره (۲) یک HTSDSC را نشان می دهد و تنها سیم پیچ میدان روتور از جنس ابر رسانا درجه حرارت بالا می باشد و در محفظه سرد کننده $۳۵-۴۰\ ^{o}k$ قرار داده شده ولی سیم پیچ های استاتور از جنس سیم پیچ های مسی معمولی می باشند. بنابراین ماشین های HTSDSC از بی باری تا بار کامل گرمایی شدیدی در سیم پیچ های میدان خود احساس نمی کند و با تغییر بار چندان تلفاتی در سیستم نخواهیم داشت و لذا ها رمونیک تولید نمی کنند. برای خطای اتصال کوتاه ، در پیک اول جریان اتصال کوتاه $8(pu)$ و بعد از پنج سیکل جریان متوسط $6.5(pu)$ بر قرار و جریان حدود $2(pu)$ را برای مدت 120 ثانیه از خود عبور دهد



شکل (۲) کندانسور سنکرون SuperVAR ابر رسانا درجه حرارت بالا +8 MVAR

بصورت تجربی نشان داده شده است که به ازای تغییرات بار روزانه، تغییرات ولتاژ روزانه بزگتر از 15% بواسطه کمبود منابع تولید توان راکیتو است. که با قراردادن یک کندانسور سنکرون سوپر وار ابر رسانا درجه حرارت بالا 8MVAR نزدیک بزرگترین بار شبکه به تغییرات ولتاژ کمتر از5% می رسیم و از ناپایداری ولتاژ جلوگیری میشود . شکل شماره(۳) ولتاژ شبکه را با نصب و بدون نصب HTSDSC نشان می دهد .

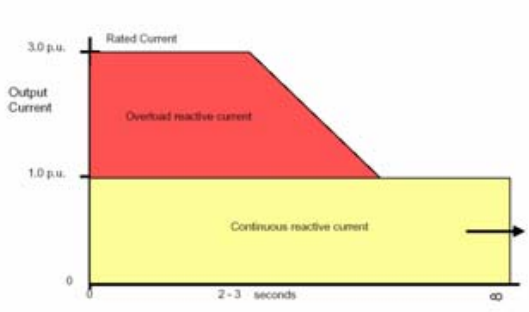


شکل (۳) ولتاژ شبکه را با نصب و بدون نصب HTSDSC

ماشین های HTSDSC دیگر و یا حتی بانکهای خازنی موازی که با ماشین های HTSDSC کنترل می شوند می توانند در محل های استراتژیک ، برای رشد بار شبکه نصب شوند.

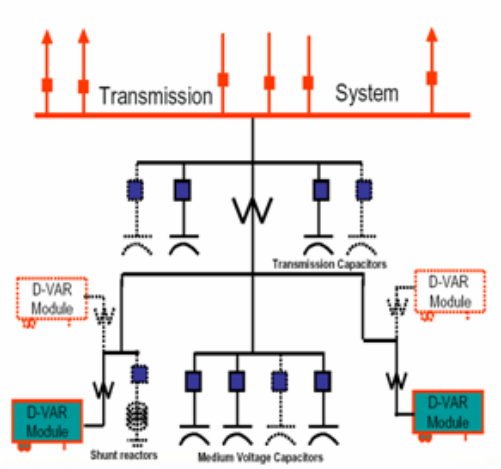
سیستم تنظیم ولتاژ –D-VAR

سیستم D-VAR کاربردهای سیستم الکترونیک قدرت در ابر رسانایی بوده وراه حل قوی و کم هزینه برای تنظیم سطح ولتاژ دینامیکی در کارخانجات صنعتی یا شبکه انتقال قدرت ارائه می دهد. سیستم D-VAR ، با جبران آنی ولتاژ نقاط مورد نیاز شبکه بوسیله تزریق توان راکیتو پس فاز یا پیش فاز اندازه گیری شده بر حسب وار، می تواند در داخل تریلرهای استانداردی قرار بگیرد و با شناسایی مکان بارهای بحرانی و نوع و میزان سطح بار ـ مقدار توان راکیتو مورد نیاز به شبکه تزریق کند و این امر باعث افزایش بار پذیری شبکه تا 3X (X بر حسب پریونیت) برای بازهٔ زمانی کوچک می شود . [7]شکل شماره (۴) مقدار دینامیکی وار در خواستی برای افزایش بار پذیری سیستم را نشان می دهد



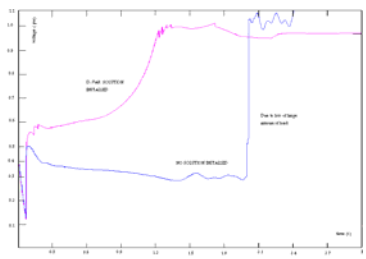
شکل (۴) مقدار دینامیکی وار در خواستی برای افزایش بار پذیری سیستم

دیاگرام تک خطی سیستم D-VAR همراه با بانکهای خازنی کم هزینه در شکل شماره (۵) نشان داده شده است.



شکل (۵) دیاگرام تک خطی سیستم قدرت شامل D-VAR.

سیستم D-VAR به طور ایده ال با حمایت دینامیکی وار ، برای کاهش ناپیداری ولتاژ در نقطه اتصال توربینهای بادی به شبکه مناسب میباشد. شکل شماره
(۶) پایداری ولتاژ را به ازای تغییرات وسیع بار نشان میدهد.

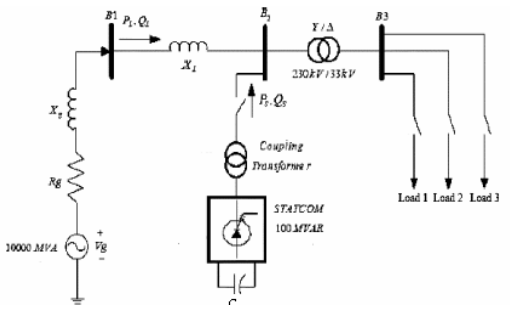


شکل (۶) پایداری ولتاژ شبکه با نصب D-VAR

سیستمهای انتقال انعطاف پذیر (FACTS):

کنترل سطوح ولتاژ از طریق کنترل تولید ، جذب و جریان توان راکتیو در تمام سطوح در سیستم عملی می شود. واحدهای تولید وسیله اصلی کنترل ولتاژ هستند . تنظیم کننده های خود کار ولتاژ، جریان تحریک را به منظور حفظ سطح برنامه ریزی شده ای از ولتاژدر تمام پایانه های ژنراتور ، کنترل می نمایند و معمولاً به منظور کنترل ولتاژ در سرتاسر سیستم به تکنولوژی اضافی همچون سیستمهای انتقال انعطاف پذیر (FACTS) که پایداری ولتاژ شبکه با تزریق توان راکتیو بهبود می بخشند نیازمندیم.[8] FACTS عبارت است از بکارگیری کنترل کننده های بر مبنای تجهیزات الکترونیک قدرت در سیستم انتقال AC به منظور افزایش کنترل پذیری و افزایش قابلیت اطمینان سیستم . از ادوات FACTS می توان به جبران کننده استاتیکی سنکرون (STATCOM) برای بهبود پایداری ولتاژ با تزریق توان راکتیو به شبکه اشاره کرد. قبل از افت ولتاژ ، STATCOM نزدیک جریان نامی پس فاز خود در حال کار کردن است، در صورت افت ناگهانی ولتاژ سیستم ، STATCOM برای تقویت ولتاژ ، بصورت ذاتی با تولید یک جریان خازنی واکنش نشان می دهد.[9] البته با رفع خطا و بازگشت ولتاژ سیستم به مقدار قبل از خطا تمایل به ایجاد یک جریان اضافه بار سلفی در STATCOM پدید می آید و سیستم کنترل STATCOM این تغییر را تشخیص داده و ولتاژ مرجع را بصورت مناسب تنظیم تا جریان نامی پس فاز حاصل شود.

شکل شماره (۷) دیاگرام تک خطی سیستم قدرت همراه STATCOM دوازده پا لسه ای را نشان می دهد، که براساس شبیه سازی انجام شده مسئله بهبود پایداری ولتاژ را به ازای تغییرات وسیع بار نشان میدهد.



شکل (۷) دیاگرام تک خطی سیستم قدرت همراه STATCOM

مرحله اول : در زمان t=0.1 ثانیه STATCOM به داخل مدار سوئیچ می شود ودر حا لیکه ولتاژ STATCOM نسبت به ولتاژ خط پس فاز است ولتاژ دو سر خازن افزایش و STATCOM در مُد خازنی قرار میگرد.

مرحله دوم: در زمان t= 0.2 ثانیه بار سلفی Q_L= 0.8(pu) P=1 (pu) وارد مدار شده و برای تنظیم ولتاژ باس به جبران توان راکتیو بیشتری نیازاست و بنابراین ولتاژ دو سر STATCOM با اختلاف فاز بیشتری نسبت به مرحله اول ، پس فاز است. و ولتاژ dc خازن افزایش پیدا می کند و در این حالت STATCOM توان راکتیو بیشتری به شبکه تزریق و تنظیم کننده ولتاژ باس با افت بیشتری نسبت به مرحله قبل قرار دارد.

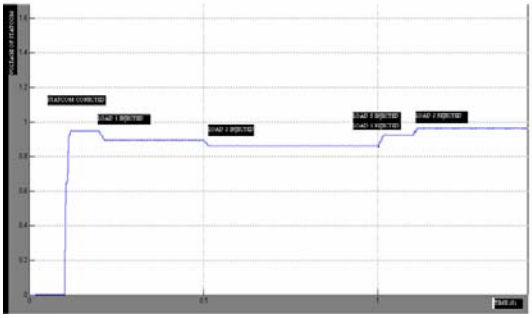
مرحله سوم: در زمان t = 0.5 ثانیه دومین بار سلفی (Q_L=0.5(pu) و P=0.7(pu)) وارد مدار شده و در این حالت ولتاژ STATCOM نسبت به ولتاژ خط در حالت پس فازتری قرار دارد و STATCOM توان راکتیو بیشتری به شبکه تزریق می کند و تنظیم کننده ولتاژ با افت بیشتری از حالت قبل همراه است.

مرحله چهارم: در زمان t=1 ثانیه بار خازنی (Q_c=0.4(pu) و P=0.6(pu) وارد و بار سلفی شماره ۱ از مدار خارج شده است. در این حالت اختلاف فاز پس فاز بین ولتاژ STATCOM با ولتاژ خط در حالت کمتری نسبت به مرحله سوم قرار دارد و توان راکتیو کمتری به شکبه تزریق می شود و تنظیم ولتاژ حالت بهتری نسبت به مرحله سوم دارد.

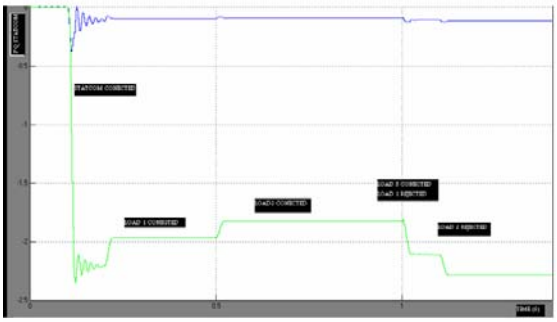
مرحله پنجم: در زمان t=1.2 ثانیه بار سلفی شماره ۲ از مدار خارج و تنها بار خازنی در شبکه باقی می ماند بواسطه این بار خازنی اختلاف فاز ولتاژ STATCOM با ولتاژ خط پیش فازاست و ولتاژ dc خازن کاهش پیدا می کند. STATCOM در مُد سلفی عمل می کند و توان راکتیو از شبکه جذب می کند و در این حالت سیستم از تنظیم ولتاژ بهتری نسبت به حالت شماره ۱ یا ۲ یا ۳ برخوردار است .

شکل شماره (۸) اثر STATCOM برای بهبود پایداری ولتاژ و شکل شماره (۹) اثر STATCOM برای تزریق توان راکتیو به شبکه را نشان می دهد.

از نمودار های پایین می توان نتیجه گرفت وقتی که دامنه ولتاژ STATCOM کمتر از دامنه ولتاژ باس شبکه باشد در این حالت STATCOM مانند یک اندوکتانس عمل کرده و توان راکتیو از شبکه جذب می کند و موقعی که دامنه ولتاژ STATCOM بیشتر از دامنه ولتاژ شبکه باشد مانند یک خازن توان راکتیو به شبکه تزریق می کند.



شکل (۸) اثر STATCOM برای بهبود پایداری ولتاژ



شکل (۹) اثر STATCOM برای تزریق توان راکتیو به شبکه

نتیجه گیری:

براساس شبیه سازی انجام شده بر روی STATCOM دوازده پا لسه نصب شده در سیستم قدرت و مقا یسه آن با تستهای کارخانه ای انجام شده بر روی کندانسورهای سنکرون سوپر وار ابر رسانا درجه حرارت بالا و سیستم D-VARوجدول (۱) می توان نتیجه گر فت کندانسورهای سنکرون سوپر وار ابر رسانا درجه حرارت بالا و سیستم D-VAR دارای پاسخ دینامیکی سریعتر برای انواع بارها وتمام رنج های قدرت پس فاز یا پیش فاز ، نیاز به وار حمایتی کمتر برای تنظیم ولتاژ شبکه دارند. بارپذیری بالاتر ، تلقات پا ییتر ، نصب کم هزینه وآسان از مزایای آنها در مقایسه با ادوات FACTS می باشد.

مراجع:

[1] American Superconductor Corporation , SuperVAR TM Dynamic Synchronous Condensers and D-VAR system"http://www.amsuper.com/html/products/motorsgenerators/quickvar.ht

[2] S. S. Kalsi et al., “Superconducting dynamic synchronous condenser for improved grid voltage support, ” presented at the IEEE T&D Conf. presented at 2003 IEEE T&D Conference, Dallas, Texas,

[3] Swarn S. Kalsi, David Madura," Super conductor Synchronous Condenser for Reactive Power Support in an Electric Grid" IEEE Transaction on Applied Superconductivity, Vol. 15, No. 2, June 2005

[4] M.Borhani, M. H. Varahram, Sh. Behzadi Rafi "Application of Super-conductivite Equipment in Power Industry "18th International Power System Conference PSC 2003, Vol. III, pp. 59-64

[5] A. Ehsani, M. H. Varahram," Applications of Superconductivity in the New Restructured Electric Power Utility Industry" 18th International Symposium on Superconductivity (ISS2005) Tokyo, Japan, 23-26 October 2005, SAP-9-18

[6] S. Soltani, M. H. Varahram,: "Application of SMES Unit for Voltage Profile Improvements " 7th European Conference on Applied Superconductivity (EUCAS 05), Vienna, Austria: 11.10.2005 – 15.10.2005, TU-P2-23

[7] S. Kalsi, K. Weeber, H. Takesue, C. Lewis, H.-W. Neumueller, andR. D. Blaugher, “Development status of rotating machines employing superconducting field windings,” Proc. IEEE, no. 10, pp. 1688–1704,Oct. 2004.

[8] M. S. El-Moursi and A. M. Sharaf, “Novel Controllers for the 48-Pulse VSC STATCOM and SSSC for Voltage Regulation and Reactive Power Compensation,” IEEE Transactions On Power Systems, Vol. 20, No. 4, November 2005

[9] Miller, T. J. E., ’Reactive Power Control in Electric Systems’,John Willey & Sons, 1982