

تاثیر ادوات جبران ساز سری (CSC) و موازی (SVC) بر روی انشعابات یک سیستم قدرت سه

باسه و مقایسه ی نقش آن ها

رضاکشاورز^۱، بهادر فانی^۲ و مهران زمانی فر^۳

^۱دانشگاه آزاد واحد نجف آباد، keshavarz2031@gmail.com

^۲دانشگاه آزاد واحد نجف آباد، bahador_fani@yahoo.com

^۳دانشگاه آزاد واحد نجف آباد، mehran_zamanifar@yahoo.com

چکیده - در این مقاله یک سیستم قدرت سه باسه به همراه بار اکتیو و راکتیو، و دو ماشین که یکی به عنوان مرجع در نظر گرفته شده، مدل گردیده است. ساختار دینامیکی و استاتیکی سیستم به گونه ای می باشد که تغییر بار راکتیو در سیستم منجر به رخ دادن انشعابات گوناگونی در آن، اعم از انشعاب هاپف ($Hopf\ Bifurcation(HB)$)، انشعاب فولد ($Fold\ Bifurcation(FB)$)، انشعاب گره زینی ($Saddle\ Node\ Bifurcation(SNB)$) و انشعاب چند دوره ای ($Period\ Doubling\ Bifurcation(PDB)$) می گردد که با جابجایی آن ها قادر به پیش بینی فروپاشی ولتاژ در سیستم خواهیم بود. در این زمینه تاثیر دو مدل دینامیکی ادوات فکس موازی و سری تحت عنوان جبران ساز استاتیک توان راکتیو (SVC) و همچنین خازن سری قابل کنترل (CSC)، بر روی انشعابات این سیستم مورد بررسی قرار گرفته است که تفاوت عملکرد و تاثیر آن ها بر روی انشعابات سیستم مشهود می باشد. کلید واژه- انشعاب، جبران ساز سری، سیستم قدرت، فروپاشی ولتاژ

سیستم به منظور تنظیم ولتاژ در یک باس معین در سیستم به کار می رود [۳]. هدف اصلی این مقاله یافتن و بررسی و ردیابی انشعابات دوره ای (PDB) به منظور پیش بینی فروپاشی ولتاژ در سیستم قدرت می باشد که با مقایسه ی تاثیر جبران ساز استاتیک توان راکتیو (SVC) و خازن سری کنترل پذیر (CSC) در به تاخیر انداختن فروپاشی ولتاژ و ارتقای پایداری ولتاژ سیستم انجام شده است.

۲- مدل سازی و توصیف سیستم قدرت

مدل سیستم قدرت بررسی شده در این مقاله در شکل (۱) آورده شده است. در این مدل یک سیستم سه شینه در نظر گرفته شده است که شامل دو باس ژنراتوری و یک باس بار می باشد. یکی از باس های ژنراتوری به عنوان باس مرجع (دامنه ولتاژ با مقدار یک پریونیت و با فاز صفر) عمل کرده و ژنراتور دیگر (باس ۲) با معادلات بیان شده مدل شده است [۱، ۲، ۵]:

$$\dot{\delta}_m = \omega$$

(۱)

۱- مقدمه

امروزه اکثر سیستم های قدرت تحت شرایط بحرانی راه اندازی می گردند و با تهدید ناپایداری یا فروپاشی ولتاژ روبرو هستند. در سال های اخیر تمایل زیادی نسبت به تحلیل های پایداری ولتاژ دینامیکی بر اساس قضیه ی انشعابات دیده شده است. در تحقیقات و تحلیل های شبیه سازی انجام شده بر روی سیستم ها نشان داده شده است که فروپاشی ولتاژ در یک سیستم ممکن است ناشی از وجود انشعاب هاپف (HB) شود که قبل از ظاهر شدن انشعاب گره زینی (SNB) و در لحظه ی عبور یک جفت از مقادیر ویژه ی مختلط سیستم از محور موهومی رخ می دهد [۲]. مدل سیستم قدرت سه باسه ی ارائه شده در این مقاله نشان می دهد که تاثیر متقابل بین بار و ژنراتور، یک انشعاب گره زینی (SNB) را منجر می گردد که در این لحظه یکی از مقادیر ویژه ی سیستم از نقطه ی صفر عبور می کند [۱]. ادوات فکس با کاربرد و محبوبیت

زیادی که در دنیای قدرت دارند، قادر به افزایش چشم گیر توانایی کنترل انتقال توان در کل یک سیستم قدرت می باشند. در بین گونه های این ادوات، SVC به عنوان قدیمی ترین و بدیهی ترین نوع، با افزایش ظرفیت خازنی یا اندوکتانس موازی

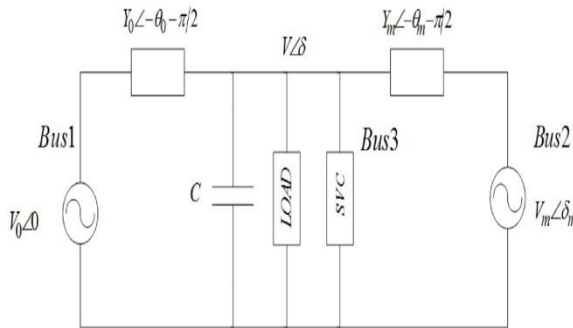
$$\theta'_0 = \theta_0 + \tan^{-1} \left(\frac{CY_0^{-1} \sin(\theta_0)}{1 - CY_0^{-1} \cos(\theta_0)} \right) \quad Y'_0 = Y_0 \Gamma \quad E'_0 = \frac{E_0}{\Gamma}$$

$$\Gamma = \sqrt{1 + C^2 Y_0^{-2} - 2CY_0^{-1} \cos(\theta_0)}$$

تعادل بین توان تولید شده و توان مصرفی در باس بار این گونه نتیجه می شود [۱،۲،۴]:

$$P(\delta_m, \delta, V) = P_0 + k_{pw} \delta + k_{pv} (V + TV) + P_1 \quad (7)$$

$$Q(\delta_m, \delta, V) = Q_0 + k_{qw} \delta + k_{qv} V + k_{qv2} V^2 + Q_1 \quad (8)$$



شکل ۱: دیاگرام مدل سیستم قدرت الکتریکی سه باسه با SVC

۳- سیستم سه باسه با SVC :

۳-۱- جبران ساز توان راکتیو استاتیک (SVC)

SVC یک جبران ساز موازی و استاتیک توان راکتیو می باشد که خروجی آن به منظور مبادله ی جریان القایی یا خازنی برای نگهداری و کنترل متغیرهای خاص و ولتاژ باس نصب شده بر روی آن تنظیم شده است. SVC در فرم اصلی آن می تواند به عنوان یک سوسپتانس متغیر و پیوسته در نظر گرفته شود که به منظور دست یابی به یک دامنه ولتاژ خاص استفاده می گردد.

۳-۲- مدل دینامیکی SVC

مدل SVC ارائه شده در این قسمت یک مدل با ساختار دینامیکی مرتبه سه با سوسپتانس متغیر می باشد که به منظور دست یابی به یک دامنه ولتاژ مطلوب طراحی شده است. مدل دینامیکی آن بدین گونه می باشد [۳]:

$$\dot{\omega} = \frac{1}{M} [-d_m \omega + P_m + E_m^2 Y_m \sin(\theta_m) + E_m V Y_m \sin(\delta - \delta_m + \theta_m)] \quad (2)$$

M اینرسی، d_m جبرانسازی و P_m توان مکانیکی ژنراتور، $Y_0 \angle -\theta_0 - \pi/2$ و $Y_m \angle -\theta_m - \pi/2$ ادmittانس های خطوط انتقال می باشند. باس بار با دامنه ی ولتاژ V و زاویه ی δ ، شامل یک موتور القایی، یک بار عمومی $P-Q$ و یک خازن می باشد. مدل موتور القایی و بار استاتیکی توسط معادلات زیر ارائه می گردد [۱،۲،۵]:

$$P_{load} = \underbrace{P_0 + k_{pw} \delta + k_{pv} (V + TV)}_{P_{motor}} + P_1 \quad (3)$$

$$Q_{load} = \underbrace{Q_0 + k_{qw} \delta + k_{qv} V + k_{qv2} V^2}_{Q_{motor}} + Q_1 \quad (4)$$

K_{qv} ، K_{qv2} ، T ، K_{pw} ، K_{pv} ، K_{qw} ، K_{qv} ثابت های موتور، P_0 و Q_0 توان های اکتیو و راکتیو موتور و P_1 و Q_1 توان های اکتیو و راکتیو بار استاتیک می باشند. پارامترهای مربوط به بار و ژنراتور سیستم در ضمیمه آورده شده اند. با در نظر گرفتن ولتاژ باس ها و ادmittانس های خطوط، توان اکتیو و راکتیو فراهم شده جهت مصرف بارها بدین سان است [۱،۲،۵]:

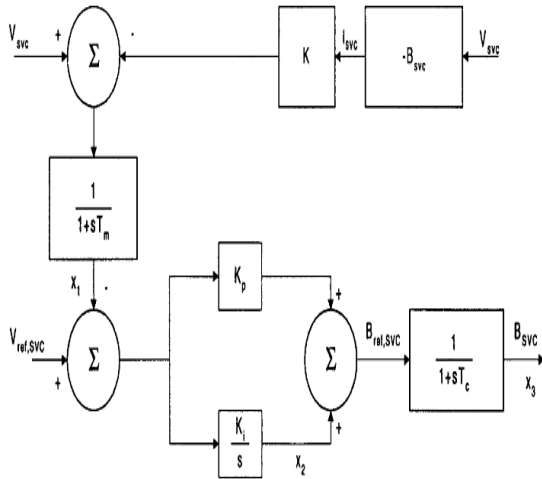
(5)

$$P(\delta_m, \delta, V) = -E'_0 Y'_0 V \sin(\delta + \theta'_0) - E_m Y_m V \sin(\delta - \delta_m + \theta_m) + V^2 [Y'_0 \sin(\theta'_0) + Y_m \sin(\theta_m)]$$

$$Q(\delta_m, \delta, V) = E'_0 Y'_0 V \cos(\delta + \theta'_0) + E_m Y_m V \cos(\delta - \delta_m + \theta_m) - V^2 [Y'_0 \cos(\theta'_0) + Y_m \cos(\theta_m)] \quad (6)$$

Y'_0 و E'_0 از یک مدار معادل تونن به سمت باس بی نهایت شامل خازن به دست آمده است که معادلات آن در زیر آمده است:

معادلات (۱)، (۲)، (۱۲) و (۱۳)، دینامیک مدل سیستم سه شینه را با متغیرهای حالت δ_m ، ω ، δ ، V نمایش می دهند. پارامتر آزاد به کارگیری شده در تحلیل های انشعابات این سیستم، Q_1 (توان راکتیو بار استاتیک) می باشد.



شکل ۲: بلوک دیاگرام مدل SVC مرتبه ی سه

با قرار دادن SVC بر روی باس بار سیستم، تاثیر آن بر روی انشعابات سیستم و افت ولتاژ را در سیستم می توان مشاهده کرد. پارامترهای جبران ساز در ضمیمه آورده شده است. سیگنال خطا به عنوان اختلاف بین مقدار مرجع V_{ref} و مقدار ولتاژ باس بار V می باشد. شبیه سازی و ارائه ی نتایج انشعابات در این مقاله با استفاده از نرم افزار قدرتمند Auto انجام شده است [۶]. همانگونه که در شکل (۳) مشاهده می گردد در حضور SVC با بهره ی $K_{svc} = 2$ در باس بار سیستم، دو نقطه ی HB_1 در مقدار بار $Q_1 = 6.79363$ و HB_2 در بار $Q_1 = 6.88975$ و یک نقطه ی SNB در $Q_1 = 6.89189$ رخ می دهد. نقاط خط چین در شکل، محل نقاط ناپایدار می باشد. در نقطه ی HB_1 یک جفت از مقادیر ویژه ی سیستم از محور موهومی عبور می کند که در این مقدار بار، این مقادیر ویژه ی موهومی سیستم برابر با $+j2.8039$ و $-j2.8039$ و در نقطه ی HB_2 نیز همین اتفاق می افتد که در این مقدار بار، این مقادیر ویژه ی موهومی سیستم برابر با $+j2.044$ و $-j2.044$ می باشد. در نقطه ی SNB یکی از مقادیر ویژه ی سیستم صفر خواهد شد. در این حالت، این میزان توان مطابق با محدوده ی راه اندازی حالت ماندگار سیستم می باشد و طبق شکل (۳) مشهود است که

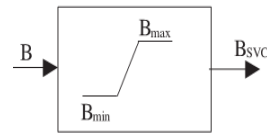
$$\dot{x}_1 = \frac{1}{T_m} (V_{svc} (1 + Kx_3) - x_1) \quad (9)$$

$$\dot{x}_2 = K_i (V_{ref,svc} - x_1)$$

$$\dot{x}_3 = \frac{1}{T_c} (x_2 + K_p (V_{ref,svc} - x_1) - x_3)$$

سوسپتانس SVC (B_{svc}) متغیر حالت x_3 می باشد. ولتاژ باس بار می باشد که SVC بر روی آن قرار گرفته است. شیب مشخصه کنترلی SVC می باشد که مقدار آن برابر با $0/1$ در نظر گرفته شده است. دو مقدار ثابت زمانی T_c و T_m برابر با $0/0.2$ ثانیه در نظر گرفته شده است [۳]. بلوک دیاگرام این مدل در شکل (۲) آورده شده است. به منظور مدل کردن دقیق دینامیک جبران ساز، از یک تابع محدود ساز \tanh استفاده شده است. خروجی کنترل کننده، سوسپتانس SVC می باشد که با استفاده از یک محدود ساز اجازه ی تغییر آن را در محدوده ی B_{min} و B_{max} می دهد [۲].

$$B_{svc} = B_{LIMIT} \cdot \tanh\left(\frac{B}{B_{LIMIT}}\right) \quad (10)$$



تاثیری که سوسپتانس این جبران ساز بر روی شبکه می گذارد به عنوان یک منبع توان راکتیو در نظر گرفته می شود [۲،۳].

$$Q_{svc} = V_{svc}^2 x_3 \quad (11)$$

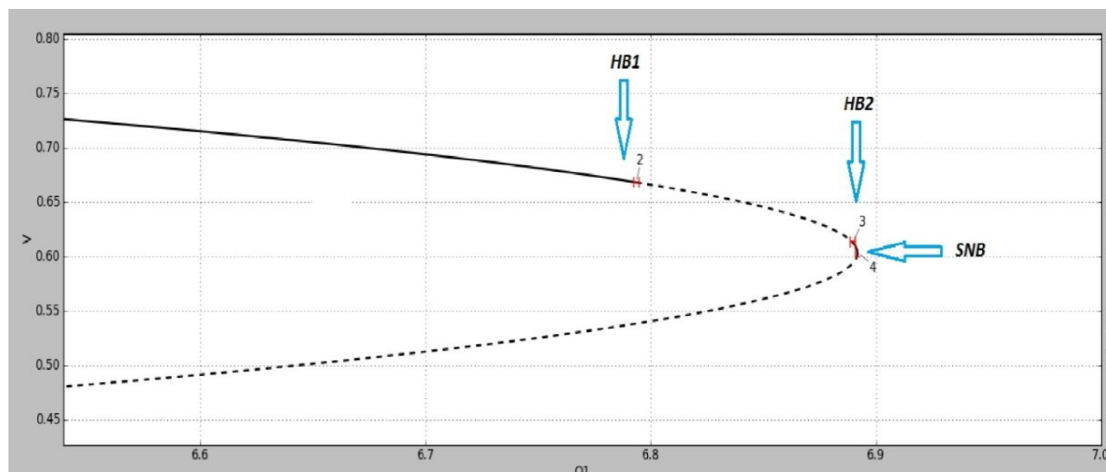
معادلات (۷) و (۸) با حضور SVC در سیستم، به این فرم، متغیرهای حالت ولتاژ باس بار و زاویه ی ولتاژ باس بار را ارائه خواهند کرد:

$$\dot{\delta} = \frac{1}{k_{qw}} [-k_{qv2} V^2 - k_{qv} V - Q_0 - Q_1 + Q(\delta_m, \delta, V) + Q_{svc}] \quad (12)$$

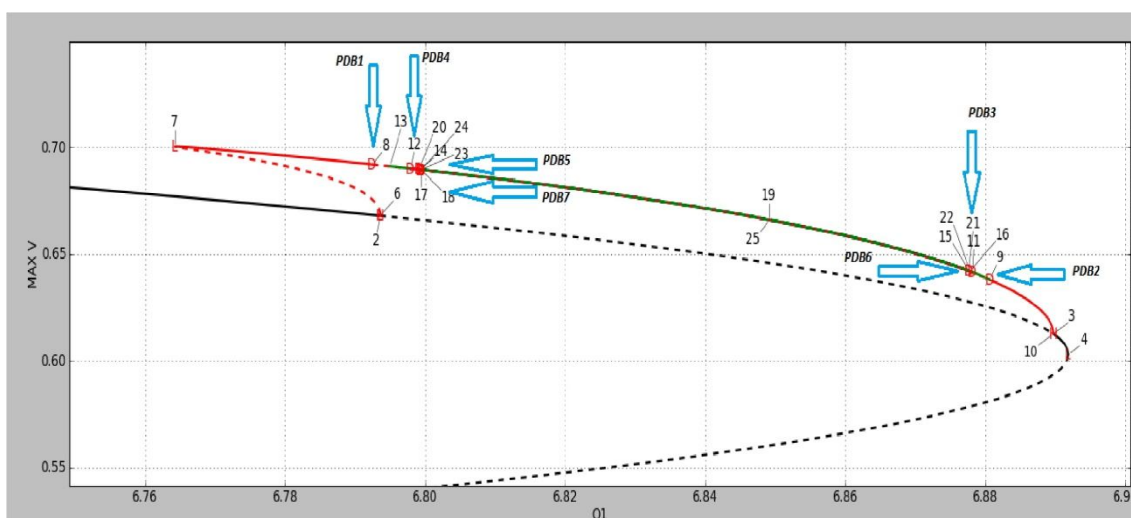
$$\dot{V} = \frac{1}{Tk_{qv}k_{pv}} \{k_{pv}k_{qv}2V^2 + (k_{pv}k_{qv} - k_{qv}k_{pv})V + k_{qv}[P(\delta_m, \delta, V) - P_0 - P_1] - k_{pv}[Q(\delta_m, \delta, V) - Q_0 - Q_1 + Q_{svc}]\} \quad (13)$$

سیستم در نقاط $Q_1 > 6.89189$ نقطه ی راه اندازی نخواهد داشت و دچار فروپاشی ولتاژ خواهد شد [۱،۲]. با این وجود، پدیده ی فروپاشی ولتاژ ممکن است منجر به رخ دادن انشعابات پیچیده ی دیگری گردد. در این وضعیت نیز با بررسی و تحلیل مقادیر ویژه ی سیستم موقعیت پایداری سیستم مشخص می گردد. زمانی که یک مقدار ویژه ی منفرد از سیستم از نقاط ۱ یا ۱- محور حقیقی دایره ی واحد عبور می کند، در این حالت به مقادیر ویژه ی سیستم عنوان ضرایب ویژه تلاقی می گردد که گوییم یکی از دو انشعاب (SNB) یا (PDH) در سیستم رخ می دهد. حال اگر یکی از ضرایب ویژه از سمت چپ دایره ی واحد خارج گردد، انشعاب PDH و زمانی که یکی از ضرایب ویژه از سمت راست دایره ی واحد خارج گردد، انشعاب SNB رخ می دهد. در سیستم سه باسه ی تحت بررسی با ادامه نقطه ی

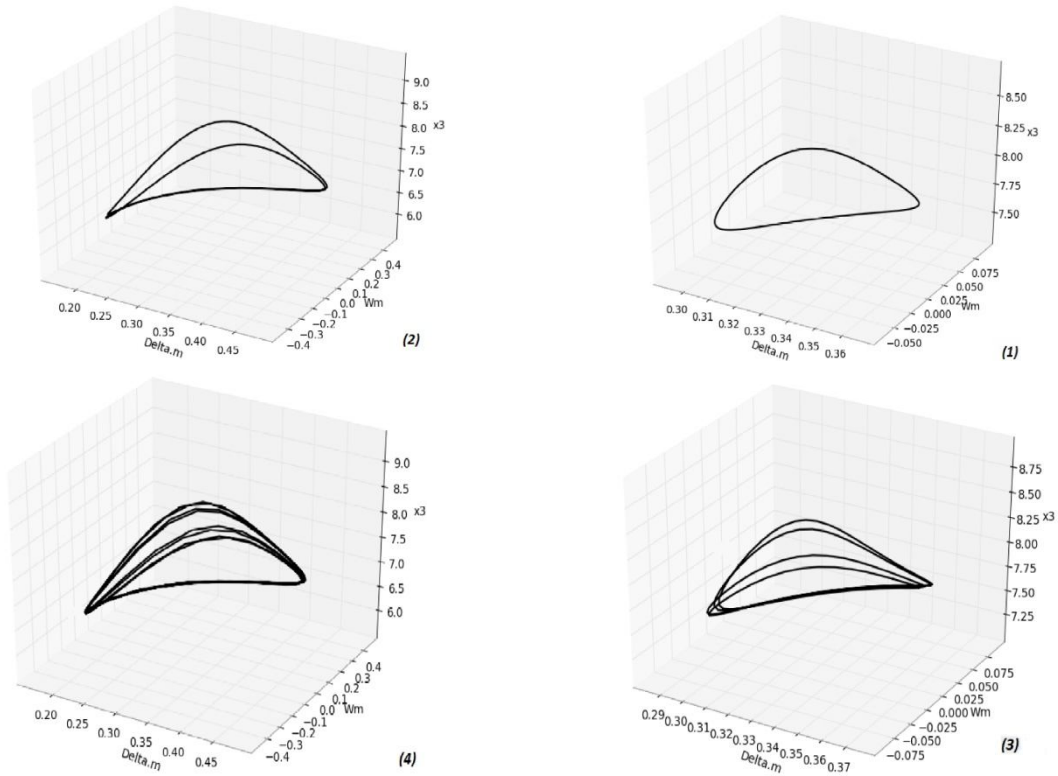
اولین نقطه ی انشعاب سیکل حد (PD_1) در بار $Q_1 = 6.79251$ رخ می دهد. در این نقطه یک سیکل حد با دوره ی ۲ و پایدار ایجاد می گردد. این سیکل حد در PD_2 در بار $Q_1 = 6.88068$ ناپایدار می گردد و یک سیکل حد با دوره ی دو برابر در این نقطه به وجود می آورد. این فرایند با افزایش بار ادامه پیدا می کند تا نهایتاً به آشوب در سیستم منجر می گردد و همان گونه که در شکل (۶ و ۷) مشاهده می شود سیکل حد ها در اثر توالی و تکرار از فرم منظم خود خارج می شوند [۱]. نقاط مختلف انشعاب PDB در این سیستم به ازای مقادیر مختلف بار Q_1 در ادامه در جدول (۱) آمده است که همان گونه که در شکل (۴) با پیکان مشخص شده اند به ترتیب نقاط ۱۸، ۱۵، ۱۴، ۱۲، ۱۱، ۹، ۸ می باشند.



شکل ۳: نمودار انشعاب HB و SNB سیستم بر اساس ولتاژ بار در حضور SVC



شکل ۴: نمودار انشعابات کامل سیستم با جبران ساز SVC بر اساس ولتاژ بار با تغییر پارامتر Q_1 ، $P_1 = 0$



شکل ۵: توالی انشعاب های PDB در سیستم با حضور SVC

۴- سیستم سه باسه با CSC :

۴-۱- خازن سری کنترل پذیر (CSC)

جبران ساز CSC یکی از ادوات کنترل تریستوری متشکل از خازن سری می باشد که راکتانس سری خروجی خود را با ردیابی سیگنال خطا از طریق کنترل فیدبک تنظیم می کند (X_{csc}). برای جبران سازی نوسانات، این سیگنال خطا از تغییرات سرعت ژنراتور گرفته شده است. این سیگنال فیدبک می تواند به عنوان اختلاف میان مقدار مرجع سرعت ژنراتور (X_r) و مقدار اندازه گیری شده X_m مربوطه باشد.

جدول (۱)- انشعابات PD سیستم با SVC

Bifurcation	Q_1
$PD1$	۶/۷۹۲۵۱
$PD2$	۶/۸۸۰۶۸
$PD3$	۶/۸۷۸۲۲
$PD4$	۶/۷۹۷۹۵
$PD5$	۶/۷۹۹۱۵
$PD6$	۶/۸۷۷۶۴
$PD7$	۶/۷۹۹۴۳

۲-۴- مدل دینامیکی CSC

در این مقاله یک مدل مرتبه اول ساده برای ارائه ی دینامیک CSC در نظر گرفته شده است که خروجی آن (X_{csc}) توسط Y بین دو محدوده ی Y_{min} و Y_{max} متغیر می باشد. T_s ثابت زمانی و K_s بهره ی کنترل کننده می باشد. ثابت زمانی مدل ۰/۰۱ در نظر گرفته شده است. دینامیک این مدل در فرمول (۱۴) ارائه شده است [۴]:

$$T_s \frac{dY}{dt} = K_s (X_r - X_m) - Y \quad (14)$$

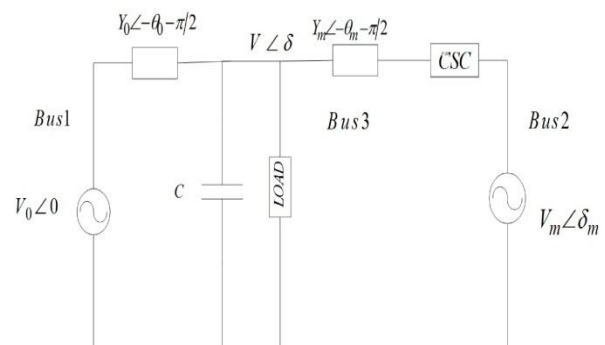
$$Y_{min} \leq Y \leq Y_{max} \quad (15)$$

$$X_{csc}^{min} = -0.1 p.u. \quad , \quad X_{csc}^{max} = 0.1 p.u. \quad (16)$$

همانگونه که در مقدمه اشاره شد، سیستم در نظر گرفته شده در این مقاله، یک سیستم سه باسه شامل یک باس بی نهایت (باس ۱)، یک باس ژنراتور (باس ۲) و یک باس بار (باس ۳) می باشد. مدل CSC در خط بین باس ۲ و باس ۳ واقع شده است. مدل ژنراتور همان مدل ارائه شده در روابط (۱) و (۲) می باشد ولی روابط توان اکتیو و راکتیو (۵) و (۶) در باس بار، به واسطه ی وجود CSC به روابط (۱۷) و (۱۸) تبدیل می گردد. در این مدل نیز بار Q_1 به عنوان پارامتر سیستم در نظر گرفته شده است. نتایج شبیه سازی و پیدایش انشعابات مختلف به ازای مقادیر مختلف بهره ی کنترل کننده (K_s) توسط نرم افزار Auto برای سیستم بررسی شده است.

۳-۴- تحلیل انشعابات سیستم با مدل CSC

در حالت اول با در نظر گرفتن مقدار $K_s = 0$ دو انشعاب HB_1 و HB_2 به ترتیب در نقاط بار $Q_1 = 6.27274$ و $Q_1 = 6.54205$ در یک انشعاب SNB در بار $Q_1 = 6.54322$ سیستم رخ می دهد. در مرحله ی بعد مقدار بهره ی CSC برابر با $K_s = 0.004$ انتخاب شده است که در این حالت نیز دو نقطه ی انشعاب HB_1 و HB_2 به ترتیب در نقاط بار $Q_1 = 6.27888$ و $Q_1 = 6.56263$ در یک انشعاب SNB در بار $Q_1 = 6.56328$ رخ می دهد. در وضعیتی دیگر بهره ی کنترل کننده برابر با $K_s = 0.006$ در نظر گرفته شده است. با این بهره نیز دو انشعاب HB_1 در بار $Q_1 = 6.28307$ و HB_2 در بار $Q_1 = 6.57310$ در یک انشعاب SNB در بار $Q_1 = 6.56328$ رخ می دهد. در آخرین حالت بررسی شده با بهره ی $K_s = 0.008$ دو انشعاب HB_1 و HB_2 در سیستم به نقاط انشعاب در بارهای $Q_1 = 6.28798$ و $Q_1 = 6.58372$ به ترتیب جا به جا خواهند شد. انشعاب SNB نیز در بار $Q_1 = 6.58406$ مشاهده می گردد. نتایج به دست آمده به ازای مقادیر مختلف بهره ی K_s حاکی از آن است که با افزایش بهره ی CSC قادر خواهیم بود که وقوع انشعابات و در نهایت ناپایداری و فروپاشی ولتاژ را در سیستم به تاخیر بیندازیم به طوری که هر چه این بهره افزایش یابد در مقدار بیشتری از بار به این انشعابات خواهیم رسید. شکل (۶) محل وقوع انشعاب های HB و SNB در سیستم را با حضور CSC به ازای دو مقدار $K_s = 0.004$ و $K_s = 0.008$ نشان می دهد و واضح است که با افزایش مقدار این بهره، این انشعابات به سمت مقدار بیشتر بار بر اساس تغییرات ولتاژ بار حرکت می کنند. با ادامه ی انشعاب HB_1 مشابه حالت قبل (با حضور SVC)، به چند انشعاب متوالی PDB می رسمیم که دوره ی هر یک پس از دیگری دو برابر می گردد شکل (۷).



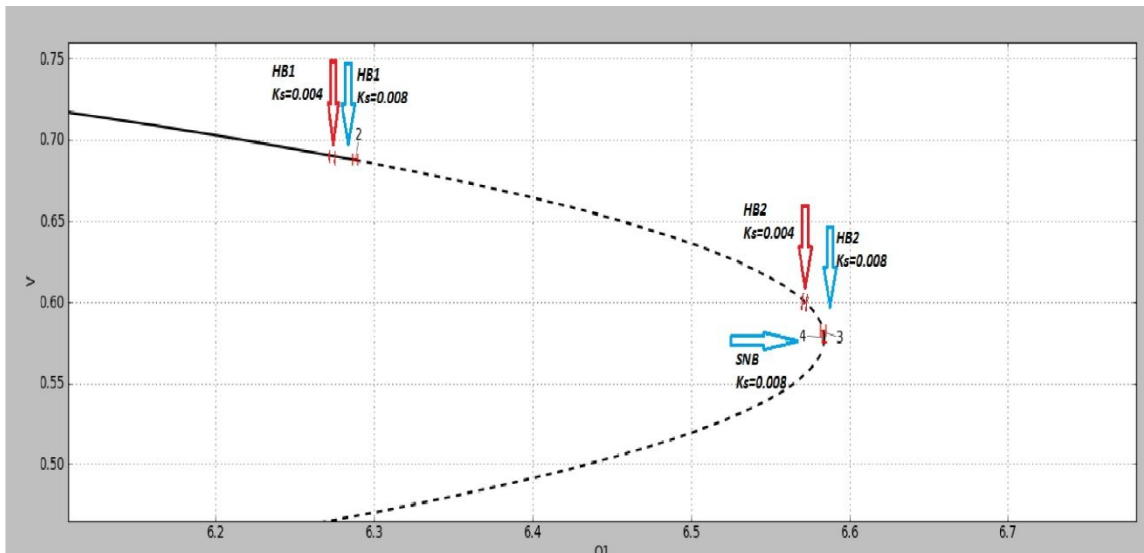
شکل ۶: دیاگرام مدل سیستم قدرت الکتریکی سه باسه با CSC

(۱۸)

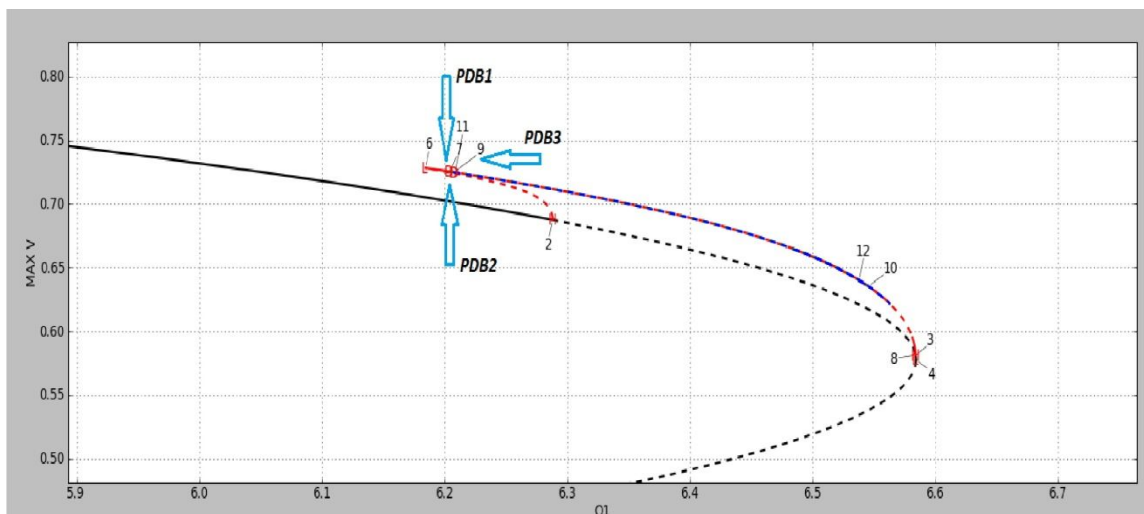
$$Q = \left[\begin{aligned} & \left(-\frac{1}{Y_m} \sin \theta_m \right) (E_m V \sin(\delta - \delta_m)) \\ & - \left(X_c - \frac{\cos \theta_m}{Y_m} \right) (E_m V \cos(\delta - \delta_m)) + \left(X_c - \frac{\cos \theta_m}{Y_m} \right) V^2 \end{aligned} \right] \\ \sqrt{\left[\left(\frac{1}{Y_m} \sin \theta_m \right)^2 + \left(X_c - \frac{\cos \theta_m}{Y_m} \right)^2 \right]} \\ + E_0 V Y_0 \cos(\delta + \theta_0) - V^2 Y_0 \cos \theta_0$$

(۱۷)

$$P = \left[\begin{aligned} & \left(-\frac{1}{Y_m} \sin \theta_m \right) (E_m V \cos(\delta - \delta_m)) \\ & + \left(X_c - \frac{\cos \theta_m}{Y_m} \right) (E_m V \sin(\delta - \delta_m)) + \frac{V^2}{Y_m} \sin \theta_m \end{aligned} \right] \\ \sqrt{\left[\left(\frac{1}{Y_m} \sin \theta_m \right)^2 + \left(X_c - \frac{\cos \theta_m}{Y_m} \right)^2 \right]} \\ - E_0 V Y_0 \sin(\delta + \theta_0) + V^2 Y_0 \sin \theta_0$$



شکل ۷: نمودار انشعاب HB و SNB سیستم بر اساس ولتاژ بار در حضور CSC با دو مقدار متفاوت K_S



شکل ۸: نمودار انشعابات کامل سیستم با جبران ساز CSC و بهره ی $K_S = 0.008$ بر اساس ولتاژ بار با تغییر پارامتر Q_1 ، $P_1 = 0$

جدول ۲ - انشعابات PD سیستم با CSC

Bifurcation	Q_1
PD1	۶/۲۰۴۲۸
PD2	۶/۲۰۷۶۶
PD3	۶/۲۰۸۳۷

ضمیمه:

پارامترهای شبکه:

$$Y_0 = 20, \quad \theta_0 = -0.08726, \quad V_0 = 1, \quad Y_m = 5$$

$$\theta_m = -0.08726, \quad C = 3$$

۵- نتیجه گیری:

پارامترهای ژنراتور:

$$E_m = 1, \quad P_m = 1, \quad M = 0.3, \quad D = 0.05$$

پارامترهای بار:

$$K_{pw} = 0.4, \quad K_{pv} = 0.3, \quad K_{qw} = -0.03, \quad K_{qv} = -2.8$$

$$K_{qv2} = 2.1, \quad T = 8.5, \quad P_0 = 0.6, \quad Q_0 = 1.3, \quad P_1 = 0$$

مراجع:

- [1] R. Gustavo, A. Diego M and M. Jorge L, "Bifurcation theory applied to the analysis of power systems," Union Matematica Argentina, Vol. 49, No. 1, pp. 1-14, 2002.
- [2] S. D. Padma, D. R. P. Kummudini, R. Saravanaselvan, "A new algorithm for analysis of SVC's impact on bifurcation, chaos and voltage collaps in power systems," *Electrical power and energy systems*, pp. 1194-1202, 2011.
- [3] J. L. Mark and M. A. Pai, "Hupf bifurcation control in power systems with static var compensators" *Electrical power & Energy systems*, Vol. 19, No. 5, pp. 339-347, 1997
- [4] K. N. Srivastava and S. C. Srivastava, "Elimination of dynamic bifurcation and chaos in power systems using Facts Device" *IEEE*, Vol. 45, No. 1, pp. 72-78, 1998
- [5] C. Hsiao-Dong, D. Ian, T. Robert, T. James and F. Lazhar, "On voltage collapse in electric power system" *IEEE*, Vol. 5, No. 2, pp. 601-611, 1990
- [6] Doedel Ej. Auto97, Continuation and bifurcation software for in ordinary differential equations (with HomCont). Concordia University, Montreal; 1998.

در این مقاله تاثیر دو نوع مختلف موازی (SVC) و سری (CSC) از ادوات فکس، بر روی انشعابات یک سیستم قدرت سه باسه با پارامتر کنترلی بار راکتیو Q_1 بررسی و دیاگرام های انشعابات آن ها آورده شده است که در این حالت توان اکتیو P_1 برابر با صفر می باشد. در این دیاگرام ها نقاط انشعاب SN ، HB و PD در سیستم نشان داده شده اند. حضور انشعابات HB اشاره به امکان وقوع PD ها، آشوب و افت ولتاژ و از این رو کاهش پایداری دینامیکی نقطه ی راه اندازی نامی سیستم دارد. به منظور ارائه ی تاثیر بهره ی K_s در انشعابات CSC ، مقادیر مختلف بهره با ایجاد نقاط انشعاب HB مختلف نشان داده شده است که تاثیر افزایش این بهره در به تاخیر انداختن وقوع انشعاب HB در سیستم رویت شد. همانگونه که در نتایج شبیه سازی و دیاگرام های انشعاب و هم چنین در جداول ۱ و ۲ آشکار است، SVC به عنوان یک جبران ساز موازی در مقایسه با CSC به عنوان یک جبران ساز سری، قابلیت بهتری در به تاخیر انداختن وقوع انشعابات در سیستم را دارد زیرا با وجود SVC در سیستم، انشعاب HB در ازای مقدار بار Q_1 بیشتری نسبت به حضور CSC در سیستم رخ می دهد (با حضور SVC در بار $Q_1 \square 6.5$ و با حضور CSC در بار $Q_1 \square 6.2$) و در کل با حضور SVC در شبکه، سیستم دیرتر به فروپاشی ولتاژ می رسد.