استخراج یک روش میانی در کاهش حجم محاسبات CPU

یاشار امامی

کارشناس ارشد برق قدرت- موسسه غیر انتفاعی مهرآستان-آستانه اشرفیه

& PEEEY6@gmail.comEEEY6@yahoo.com

چکیده - در این مقاله ابتدا به بررسی رفتار ادوات FACTS در شبکه‌های قدرت اشاره شده است. سپس مقدمه‌ای دربارهٔ TCSC آورده شده است. نهایتاً هدف اصلی این مقاله که تاثیر روش میانی در کاهش حجم محاسبات CPU می‌باشد، پرداخته می‌شود. در انتها شکل‌موج حاصل از شبیه‌سازی به روش میانی و مقایسه آن با دو روش حوزه زمان و فازوری ارائه شده است.

کلید واژه- TCSC، فازور دینامیکی و CPU

1-مقدمه

اصولاً برای بررسی رفتار ادوات FACTS[1] در شبکه های قدرت دو روش کلی وجود دارد :

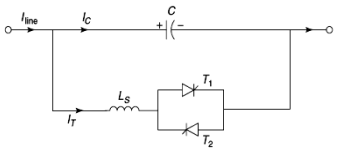
الف) روشی بر پایه حل معادلات دیفرانسیل در حوزه زمان ب) روش فازوری.

روش اول توسط نرم افزارهایی مانند PSCAD صورت می گیرند که از نظر حافظهٔ رایانه و زمان محاسبات تنها برای شبکه‌های کوچک در یک بازه زمانی کوتاه مناسب هستند. از سوی دیگر روش فازوری روشی سریع بوده و می‌تواند برای شبکه‌های بزرگ هم بکار رود ولی برای تحلیل شبکه‌های نزدیک به فرکانس نامی مناسب است. در این مقاله یک روش شبیه‌سازی میانی استخراج و به کار گرفته شده است.

این روش بر پایه بدست‌آوردن معادلات حالت سیستم، شامل سیستم قدرت و کنترل‌کننده‌های TCSC[2] خواهد بود که با بدست آوردن آن می‌توان به خوبی شبکه را توسعه داد بطوریکه حجم محاسبات CPU بصورت محسوسی کاهش می‌یابد.

2-TCSC

مدل ساده شدهٔ TCSC همانند شکل (1) شامل یک خازن سری، به حالت موازی با یک راکتوری که توسط تریستورها هدایت می‌شوند قرار گرفته است. TCSC یک راکتانس خازنی سری کنترل شده می‌باشد که می‌تواند کنترل پیوسته‌ای از توان در محدودهٔ وسیعی از خطوط AC را فراهم کند.



شکل 1: مدار ساده شدهٔ TCSC

2-1 مزایای جبران‌سازهای خازن سری کنترل شده با تریستور (TCSC)

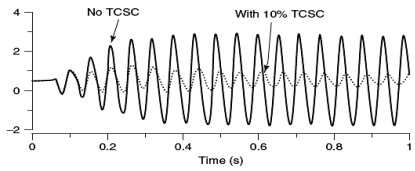
الف) کنترل پیوسته و سریع جهت جبران‌سازی سری خط انتقال

ب) جلوگیری از نوسانات زیرسنکرون

---

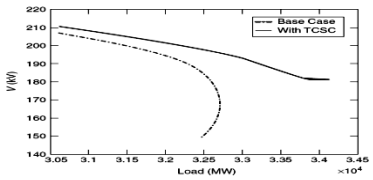
[1] Flexible AC Transmission System

[2] Thyristor Controlled Series Capacitor



شکل 2: تعدیل نوسانات زیر سنکرون به همراه TCSC

د) پشتیبانی ولتاژ، TCSC با اتصال خازن‌های سری می‌تواند توان راکتیو تولید کند که بارگیری خط را افزایش دهد



شکل 3: پروفایل ولتاژ شین ضعیف با بکارگیری 50٪ جبرانسازی TCSC

ی) کاهش جریانات اتصال‌کوتاه

3- مقدمه ای بر فازورهای دینامیکی

همان‌طوری که می‌دانیم پایداری و رفتار دینامیکی سیستم های قدرت اغلب با استفاده از برنامه‌های پایداری گذرا بررسی می‌شوند. در حوزهٔ زمانی محدودیت های ناشی از حافظهٔ کامپیوتر و زمان محاسبات برای سیستم قدرت بزرگ کار خیلی مشکلی می‌باشد، بنابراین برای رفع این مشکل مفهوم فازور دینامیکی ارائه شده است. در این بخش ابتدا به تحلیل حالت ماندگار کمیت‌های TCSC می‌پردازیم که به ما اجازه خواهد داد، ضرایب فوریه متغیر با زمان را در حوزه فازور دینامیکی، برای بهبود سرعت و دقت مدل TCSC بدست آوریم. نهایتاً دقت و سرعت مدل فازور دینامیکی، با مدل‌های حوزهٔ زمانی (Detailed) و همچنین با مدل فازوری مقایسه می‌شود.

از مزایای روش مبتنی بر پایهٔ فازور دینامیکی می توان به موارد زیر اشاره کرد:

الف) پهنای باند وسیع‌تری دارد.

ب) اگر برای محاسبهٔ گذراهای الکترومغناطیسی با بازهٔ زمانی بزرگتر، از فازورهای دینامیکی استفاده شود نسبت به شبیه‌سازی مشابه در حوزهٔ زمان، زمان شبیه‌سازی به طورمحسوسی کاهش می‌یابد.

با توجه به شکل (1) معادلات مدل حوزهٔ زمانی TCSC می‌تواند بصورت زیر باشد:

$$C\frac{d\upsilon}{dt}=i_L-i \qquad (1)$$

$$L\frac{di}{dt}=q.\upsilon \qquad (2)$$

که q تابع کلیدزنی وضعیت تریستورها که در شکل (4) نشان داده شده، می‌باشد. اگر یکی از تریستورها هدایت کند $q=1$ و اگر هر دو تریستور مسدود باشد $q=0$ خواهد بود.

3-1 مدل فازور دینامیکی فرکانس اصلی

در این بخش مدل فرکانس اصلی TCSC با استفاده از تقریب فازورهای دینامیکی بررسی می‌گردد. همانطوری که در بخش قبلی ذکر شد فرض بر این بود که کمیت های الکتریکی با تقریب خوبی از فرکانس اصلی‌شان نشان داده شوند بطوریکه بتوان جریان و ولتاژ را بصورت زیر نشان داد:

$$i(t)\approx\Re\{I_1(t)e^{j\omega_s t}\}$$

$$\upsilon(t)\approx\Re\{V_1(t)e^{j\omega_s t}\} \qquad (3)$$

با این فرضیات می‌توان معادلات را بصورت زیر نوشت:

$$C\frac{d\upsilon}{dt}=I_L-i \quad\Rightarrow\quad C\frac{dV_1}{dt}=I_L-I_1-j\omega_s CV_1 \qquad (4)$$

$$L\frac{di}{dt}=q\upsilon \quad\Rightarrow\quad L\frac{dI_1}{dt}=\langle q\upsilon\rangle_1-j\omega_s LI_1$$

با در نظر داشتن معادلاتِ 5 و 6

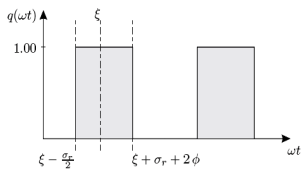
$$\langle xy\rangle_k=\sum_{\ell=-\infty}^{\infty}(X_{k-\ell}Y_\ell) \qquad (5)$$

$$X_{-k}=(X_k^*)^*\Rightarrow X_{-k}=X_k^* \qquad (6)$$

می‌توان اصطلاح $\langle q\upsilon\rangle_1$ را به صورت زیر نوشت:

$$\langle q\upsilon\rangle_1=Q_0V_1+Q_2V_{-1}=Q_0V_1+Q_2V_1^* \qquad (7)$$

برای مشخص کردن هر یک از مولفه های Q_0 و Q_2 که تابع عملکرد کلیدزنی به مانند شکل4 می‌باشد، خواهیم داشت:



شکل 4 : عملکرد کلیدزنی

$$Q_0=\langle q\rangle_0=\frac{\sigma}{\pi}$$
$$Q_2=\langle q\rangle_2=\frac{\sin(\sigma)}{\pi}e^{-2j(\xi+\phi)} \qquad (8)$$

بطور کلی می توان ضریب Q را برای اندیس Kام نیز بصورت زیر تعمیم داد:

$$Q_k=\langle q\rangle_k=\frac{\sin(\frac{k\sigma}{2})}{\frac{k\pi}{2}}e^{-jk(\xi+\phi)} \qquad (9)$$

که منجر به رابطهٔ نهایی به صورت زیر خواهد بود:

$$\langle q\upsilon\rangle_1=\frac{1}{\pi}(V_1\sigma+V_1^*\sin(\sigma)e^{-2j(\xi+\phi)}) \qquad (10)$$

بنابراین رابطهٔ 4 را می‌توان برای مدل فازور دینامیکی فرکانس اصلی بصورت زیر مرتب کرد:

$$C\frac{dV_1}{dt}=I_L-I_1-j\omega_s CV_1 \qquad (11)$$
$$L\frac{dI_1}{dt}=\frac{V_1^*}{\pi}(\sin(\sigma)e^{-2j(\xi+\phi)})-j\omega_s LI_1+V_1\sigma/\pi$$

اکنون با استفاده روابط 5 و 6 و 9 همین روابط را می‌توان برای یافتن معادلات فازور دینامیکی شامل هارمونیک‌های اصلی، سوم و پنجم انجام داد.

$$\upsilon(t)\approx\Re\{V_1(t)e^{j\omega_s t}+V_3(t)e^{j3\omega_s t}+V_5(t)e^{j5\omega_s t}\} \qquad (12)$$

برای این روش روابط زیر برقرارند:

$$C\frac{dV_1}{dt}=I_L-I_1-j\omega_s CV_1\ \&\ C\frac{dV_3}{dt}=-I_1-j3\omega_s CV_3\ \&\ C\frac{dV_5}{dt}=-I_5-j5\omega_s CV_5 \qquad (13)$$
$$L\frac{dI_1}{dt}=\langle q\upsilon\rangle_1-j\omega_s LI_1\ \&\ L\frac{dI_3}{dt}=\langle q\upsilon\rangle_3-j3\omega_s LI_3\ \&\ L\frac{dI_5}{dt}=\langle q\upsilon\rangle_5-j5\omega_s LI_5$$

اکنون برای مشخص شدن معادلات به معلوم کردن مولفه‌های $\langle q\upsilon\rangle_1,\langle q\upsilon\rangle_3,\langle q\upsilon\rangle_5$ می‌پردازیم.

با استفاده از رابطهٔ 5 و 6 داریم:

$$\langle q\upsilon\rangle_1=Q_0V_1+Q_{-2}V_3+Q_{-4}V_5+Q_1V_0+Q_2V_{-1}+Q_4V_{-3}+Q_6V_{-5}=$$
$$Q_0V_1+Q_2^*V_3+Q_4^*V_5+Q_2V_1^*+Q_4V_3^*+Q_6V_5^* \qquad (14)$$

بنابراین طبق رابطهٔ 14 خواهیم داشت:

$$\begin{cases}Q_0V_1=\frac{\sigma}{\pi}V_1\\ Q_2^*V_3=\frac{1}{\pi}\sin(\sigma)e^{2j(\xi+\phi)}V_3\\ Q_4^*V_5=\frac{1}{2\pi}\sin(2\sigma)e^{4j(\xi+\phi)}V_5\\ Q_2V_1^*=\frac{1}{\pi}\sin(\sigma)e^{-2j(\xi+\phi)}V_1^*\\ Q_4V_3^*=\frac{1}{2\pi}\sin(2\sigma)e^{-4j(\xi+\phi)}V_3^*\\ Q_6V_5^*=\frac{1}{3\pi}\sin(3\sigma)e^{-6j(\xi+\phi)}V_5^*\end{cases} \qquad (15)$$

و برای $\langle q\upsilon\rangle_3$ و $\langle q\upsilon\rangle_5$ نیز به همین ترتیب خواهیم داشت:

$$\langle q\upsilon\rangle_3=Q_2V_1+Q_0V_3+Q_{-2}V_5+Q_3V_0+Q_4V_{-1}+Q_6V_{-3}+Q_8V_{-5}$$
$$=Q_2V_1+Q_0V_3+Q_2^*V_5+Q_4V_1^*+Q_6V_3^*+Q_8V_5^* \qquad (16)$$

$$\begin{cases}Q_2V_1=\frac{1}{\pi}\sin(\sigma)e^{-2j(\xi+\phi)}V_1\\ Q_0V_3=\frac{\sigma}{\pi}V_3\\ Q_2^*V_5=\frac{1}{\pi}\sin(2\sigma)e^{2j(\xi+\phi)}V_5\\ Q_4V_1^*=\frac{1}{2\pi}\sin(2\sigma)e^{-4j(\xi+\phi)}V_1^*\\ Q_6V_3^*=\frac{1}{3\pi}\sin(3\sigma)e^{-6j(\xi+\phi)}V_3^*\\ Q_8V_5^*=\frac{1}{4\pi}\sin(4\sigma)e^{-8j(\xi+\phi)}V_5^*\end{cases} \qquad (17)$$

برای $\langle q\upsilon\rangle_5$ نیز داریم:

$$\langle q\upsilon\rangle_5=Q_4V_1+Q_2V_3+Q_0V_5+Q_5V_0+Q_6V_{-1}+Q_8V_{-3}+Q_{10}V_{-5}=$$
$$Q_4V_1+Q_2V_3+Q_0^*V_5+Q_6V_1^*+Q_8V_3^*+Q_{10}V_5^* \qquad (18)$$

$$\begin{cases}Q_4V_1=\frac{1}{2\pi}\sin(2\sigma)e^{-4j(\xi+\phi)}V_1\\ Q_2V_3=\frac{1}{\pi}\sin(\sigma)e^{-2j(\xi+\phi)}V_3\\ Q_0V_5=\frac{\sigma}{\pi}V_5\\ Q_6V_1^*=\frac{1}{3\pi}\sin(3\sigma)e^{-6j(\xi+\phi)}V_1^*\\ Q_8V_3^*=\frac{1}{4\pi}\sin(4\sigma)e^{-8j(\xi+\phi)}V_3^*\\ Q_{10}V_5^*=\frac{1}{5\pi}\sin(5\sigma)e^{-10j(\xi+\phi)}V_5^*\end{cases} \qquad (19)$$

اکنون باید هر یک از ولتاژهای V_5,V_5^*,V_3,V_3^* را بر حسب V_1 نوشت:

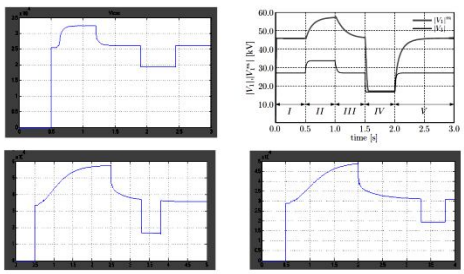
$$V_3=|V_1|\rho_3(\sigma)e^{-j3\psi} \qquad V_3^*=|V_1|\rho_3(\sigma)e^{+j3\psi}$$
$$V_5=|V_1|\rho_5(\sigma)e^{-j5\psi} \qquad V_5^*=|V_1|\rho_5(\sigma)e^{+j5\psi} \qquad (20)$$

بطوریکه $\rho_k = \frac{|V_k|}{|V_1|}$ & $\psi \angle V_1^*$ می‌باشد.

نکته‌ای که در این روش مهم است، این است که می‌توان از دینامیک‌های سریع چشمپوشی کرد یعنی $\frac{dI_1}{dt} = \frac{dI_3}{dt} = \frac{dI_5}{dt} = 0$

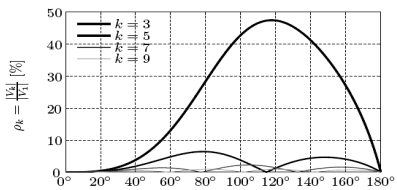
4-شکل موجهای حاصل از شبیه سازی TCSC در حوزه فازور دینامیکی

برای ارزیابی رفتار دینامیکی TCSC، اطلاعات لازم به ترتیب زیر می‌باشد: ظرفیت خازن= $21.977\mu F$ و راکتور(سلف) = $0.043H$ و فرکانس = $60Hz$



شکل 5 : ولتاژ خازن TCSC اندازه گیری شده در حوزه فرکانس اصلی در مقایسه با مدل فازور دینامیکی

همانطوری که در شکل (6) نشان داده شده است، سهم هارمونیک‌های بالاتر با استفاده از روش فازوری در محدودهٔ زوایای هدایت $40^\circ \le \sigma_r \le 180^\circ$ خیلی بالاتر است. خصوصاً هارمونیک‌های سوم و پنجم محسوس می‌باشند.



شکل 6 : ضریب اعوجاج هارمونیکی نسبت به زاویهٔ هدایت

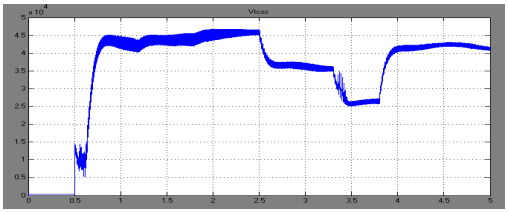
با استفاده از روش فازور دینامیکی می‌توان به نتایج جدیدی دست یافت:

+ در همهٔ حالتهای مدل فازور دینامیکی در شرایط ماندگار نتایج، رضایت‌بخش می‌باشد در حالیکه در مدل فرکانسی نتیجهٔ رضایت‌بخش فقط برای بازه کوچکی از زوایه هدایت بدست آمد.

+ همچنین پاسخ دینامیکی در همهٔ حالتها با تغییرات دامنهٔ جریان خط، نسبت به زمان دقت کاملی دارد. هر دو مدل تفصیلی V_1^m, V_3^m, V_5^m و مدل فازور دینامیکی V_1, V_3, V_5 با تغییرات دامنهٔ جریان خط پاسخ دینامیکی مشابه‌ای را نشان می‌دهند.

+ در روش فازورهای دینامیکی زمان شبیه‌سازی نسبت به مشابه خود در حوزهٔ زمان، به طورمحسوسی کاهش می‌یابد.

مدل فازور دینامیکی بهبود یافته با هارمونیک‌های سوم و پنجم نتایج بهتر در همهٔ حالتهای پنج‌گانه را می‌دهد بطوریکه سهم هارمونیک‌های بالاتر نیز بهتر شده است.



شکل 7 : ولتاژ خازن TCSC شبیه سازی شده حاصل از مدل فازور دینامیکی

5-نتیجه

اکنون با توجه به حجم محاسبات توسط CPU همانطوری که در جدول (1) مشاهده می‌گردد می‌توان مقایسه‌ای بین روش فازور دینامیکی و روش حوزه زمانی انجام داد که این نتیجه حاصل می شود که روش فازور دینامیکی روشی مبتنی بر سرعت و دقت بالا می‌باشد.

DYNPH K={1,3,5}	DETAILED	PHASOR
29 ثانیه	75 ثانیه	2 ثانیه

جدول 1 : مقایسهٔ حجم محاسبات توسط CPU در روشهای مختلف

6-منابع

[1] D.jovcic "Analytical Modeling of TCSC dynamic", vol. 20, no.2 IEEE , PWRD,2005, pp.1097-1104

[2] PaoloMattavelli,Georgec C.Verghese,Aleksandar M. Stankovic"Phasor Dynamics of Thyristor-Controlled Series Capacitor Systems,IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 12, No. 3, August 1997

[3]TURHAN HILMI DEMIRAY Simulation of Power System Dynamics using Dynamic Phasor Model for the degree of Doctor of Sciences Diss. ETH No. 17607