

یک مبدل منبع ولتاژ چند سطحی پوششی جدید برای کاربرد قدرت بالای FACTS

مجید عزتی مصلح

محمد مهدی قنبریان

دانشکده صنعت آب و برق شیراز

دانشگاه آزاد اسلامی واحد کازرون - برق منطقه‌ای فارس

بخش برق - گروه قدرت

تلفن: ۰۹۱۷۷۱۰۰۸۳۳

تلفن: ۰۹۱۲۳۰۸۴۶۹۷

E-mail: omidezati2000 @ yahoo.com

E-mail: m_ghanbarian @yahoo.com

چکیده:

یک مبدل منبع ولتاژ چند سطحی پوششی برای به کارگیری SVC جهت کاربرد قدرت مقیاس بزرگ ایجاد می‌شود. این مبدل چند سطحی پوششی شامل تمامی پلهای تک فاز $(M-1)/2$ می باشد. این مبدل برای سیستم‌های انتقالی ac اعطاف پذیر (FACTS) شامل SVC، سری‌های موازنه‌ای و انتقال فاز مناسب می باشد. همچنین می‌تواند مشکلات مبدلهای مولتی پالس ترانسفورمر based متعارف و مبدلهای دیود - کلامپ مولتی-لول، را حل نماید. در این مقاله، SVC سه فاز با استفاده از تغییر شکل (ترانسفورمیشن) $d-q$ مدل سازی و به طور کامل تجزیه و تحلیل شده است. استراتژی کنترل که اساس این مبدل می باشد نیز مطرح گردیده است. با استفاده از نتایج شبیه سازی، اعتبار SVC همراه با مبدل چند سطحی پوششی جهت به کار گیری قدرت بالا نشان داده می شود.

کلمات کلیدی: SVC، مبدلهای مولتی پالس، مبدل چند سطحی پوششی FACTS، TCR، مبدل فول بریج.

۱- مقدمه:

در شبکه سیستم قدرت بزرگ، کنترل اکتیو قدرت راکتیو، برای تثبیت نمودن سیستم های قدرت و حفظ ولتاژ ایجاد شده، ضروری می‌باشد. SVC ها با استفاده از مبدلهای منبع ولتاژ (VSI) ها به طور گسترده ای به عنوان کنترل کننده‌های قدرت راکتیو ایجاد شده بعدی سیستم قدرت جهت جایگزین شدن به جای var compensator های متعارف، پذیرفته شده‌اند، مانند (TCR) ها (Thyristor Controlled Reactors) و (TCS) ها (Thyristor Switched Capacitors) [۴ و ۱]. کاملاً معلوم است که SVC ها قدرت راکتیو اساسی را ایجاد می‌کنند. توانایی کنترل مقدار بسیار زیاد و مرحله ای و نیز فرکانس ولتاژ خروجی در VSI، تغییرات مستمر بارگیری یا قدرت راکتیو عایق شده را جهت سیستم قدرت ac ایجاد می‌کند. مبدل 48 پالس، که به طور کلی در SVC استفاده می‌شود، شامل مبدلهای ۶ پالس متصل شده ای می باشد که از طریق ترانسفورمرهای اتصال زیگ-زاکی، جهت کاهش انحراف هارمونیکی با به کارگیری تکنیک جمع‌آوری (کالکشن) هارمونیک، متصل شده‌اند. [۲ و ۱] مشکلات این ترانسفورمرهای کوپل شده این است که بزرگ، سنگین و زیان آور هستند. آنها همچنین سبب بروز مشکلاتی در کنترل مربوط به مغناطیسی کردن dc و اشکالات نوسانی افزایش ولتاژ حاصل از اشباع ترانسفورمرها در شرایط موقتی می‌شوند.

برای حل این مشکلات، مبدلهای چند سطحی دیود کلامپ، برای کاربرد SVC ارائه شده‌اند. [۵ و ۷] این کلامپ کردن دیودها نه تنها هزینه‌ها را افزایش می‌دهد بلکه سبب پیچیده شدن مشکلات و ایجاد آندوکتانس پارازیتیک می‌شوند؛ بنابراین تعداد سطوح برای مبدل دیود کلامپ چند سطحی ممکن است محدود به هفت یا نه سطح در محدوده عملی

گردد. برای حل کردن این مشکلات، یک مبدل چند سطحی پوششی، ارائه شده است. [۸] این مبدل پوششی به طور فزاینده‌ای تعداد زیادی از ترانسفورمرهای بزرگ و کلامپ کردن دیودهای مورد نیاز را توسط مبدل‌های مولتی پالس متعارف، حذف می نماید.

در این مقاله، سیستم SVC با مبدل چند سطحی به طور ریاضی، با استفاده از تغییر شکل (ترانسفورمیشن) $d-q$ مدل‌سازی شده و سپس به طور کامل تجزیه و تحلیل گردیده است. این مقاله به عملکرد دینامیکی مبدل چند سطحی پوششی بر اساس SVC متمرکز شده است. استراتژی کنترل که پایه و اساس این مبدل می‌باشد نیز مطرح گردیده است. برای نشان دادن برتری (بزرگتر بودن) مبدل چند سطحی پوششی، نتایج شبیه سازی به طور مفصل مورد بحث قرار گرفته است این سیستم برای به کار گیری قدرت در مقیاس بزرگ جهت سیستم FACTS بسیار مناسب تر از مبدل‌های متعارف می باشد زیرا پکیجینگ بسیار آسان تر است که علت آن هم سادگی ساختار در کاربرد می باشد.

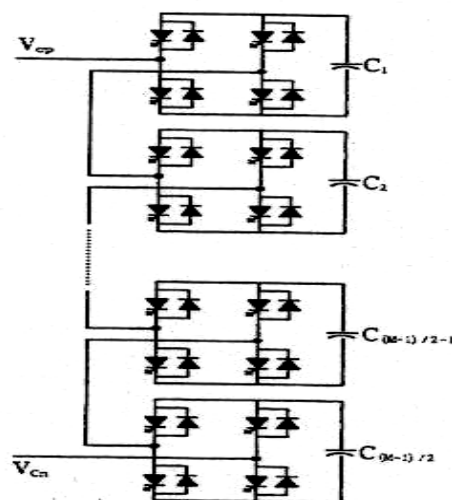
2- ساختار مبدل چند سطحی

2.1 اصل مبنا

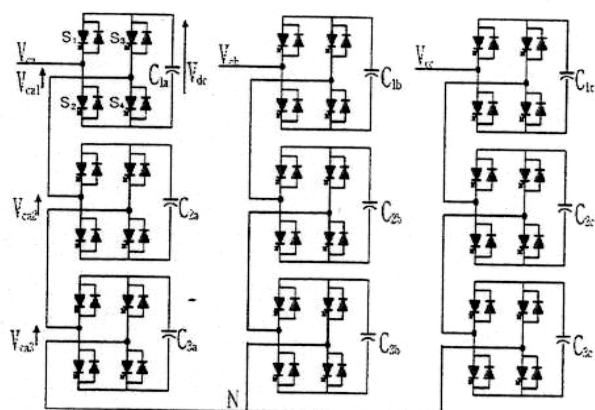
مبدل چند سطحی پوششی شامل هر یک از منابع ولتاژ dc با کاپاسیتورهای مجزا می باشد. این مبدل می تواند دیود های کلامپ شده اضافی را کاهش دهد. شکل ۱ نشان می‌دهد که ساختار پایه مبدل چند سطحی پوششی، با منابع dc مجزا چگونه می باشد. هر منبع dc مجزا در رابطه با یک مبدل فول بریج (Full bridge) تک فاز می‌باشد.

نمودار 2 دیاگرام متصل را برای یک مبدل 7 سطحی اتصال wye با استفاده از مبدل - پوششی همراه با مبدل‌های فول بریج تک فاز نشان می دهد. شکل 3 نشان دهنده شکل موجی ولتاژ فاز ترکیبی یک مبدل پوششی 7 سطحی همراه با سه مبدل فول بریج تک فاز، می باشد. ولتاژ خروجی فاز، ترکیبی از مجموع سه خروجی مبدل، یعنی:

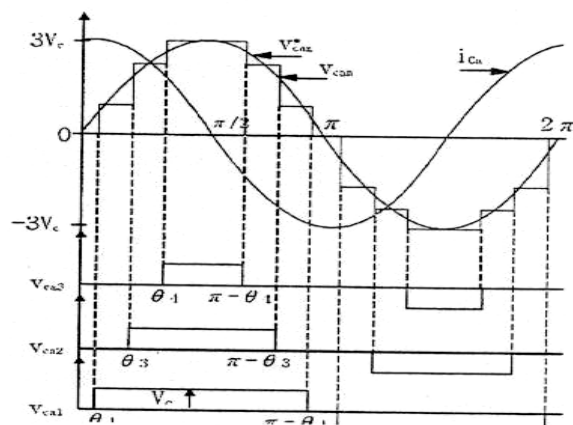
$V_{can} = V_{ca1} + V_{ca2} + V_{ca3}$ می باشد. هر مبدل فول بریج تک فاز، می تواند سه خروجی سطحی ایجاد کند، $+V_{dc}$ ، 0 ، $-V_{dc}$. این با متصل کردن منابع dc به طور دنباله ای جهت ac side از طریق چهار طرح GTO، ممکن می گردد.



شکل ۱- ساختار تک فاز مبدل چند سطحی پوششی



شکل ۲- ساختار سه فاز اتصال Y هفت سطحی



شکل ۳- شکل موجی مبدل پوششی ۷ سطحی

هر سطح تک فاز مبدل فول بریج شامل سه سوئیچ S_1, S_2, S_3, S_4 می باشد. ولتاژ فاز هر مبدل با حالت on - off چهار طرح سوئیچینگ، ایجاد می شود. به عنوان مثال، چرخاندن سوئیچ روی S_1 و S_4 را $V_{ca1} = +V_{dc}$ ، چرخاندن سوئیچ روی S_2 و S_3 را $V_{ca1} = -V_{dc}$ ، و چرخاندن هر سوئیچ روی $V_{ca1} = 0$, off را حاصل می نماید.

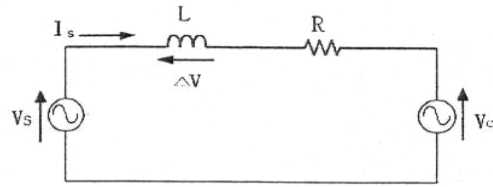
برای تبدیل قدرت، (ac به dc و dc به ac)، مبدل - پوششی نیاز به کاپاسیتور dc مجزا دارد. به طور خلاصه، مزایای مبدل پوششی بر اساس VSI می تواند به ترتیب زیر لیست شود:

(۱) طراحی کردن مدار مدوله شده و پکیجینگ آن امکان پذیر می باشد زیرا هر سطح، ساختار مشابه و یکسانی دارد.

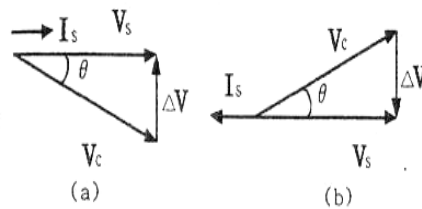
(۲) استفاده از ولتاژ بالا و قدرت بالا در FACTS بسیار مناسب تر از مبدلهای معمولی می باشد.

(۳) این مبدل یک ولتاژ پلکانی چند مرحله ای ایجاد می کند که به ولتاژ خروجی سینوسی خالص نزدیک می شود.

(۴) پکیجینگ آن بسیار ساده تر از مبدلهایی است که ساختار ساده متصل به فول بریج تک فاز دارند.



شکل ۴- مدار هم ارز تک فاز



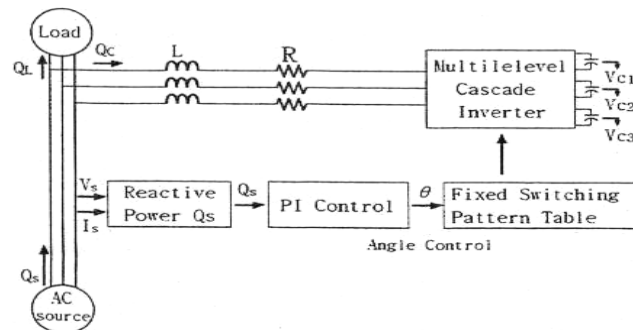
شکل ۵- دیاگرام فاز ور SVC

(a) شارژر کاپاسیتور dc، (b) دشارژر کاپاسیتور dc

2.2 موازنه (compensation) قدرت راکتیو

وقتی که ولتاژ خروجی مبدل، بالاتر از ولتاژ سیستم ac می باشد، جریان راکتیو (Var) از سیستم تولید می شود. وقتی که ولتاژ خروجی مبدل پایین تر از ولتاژ سیستم ac باشد، جریان راکتیو lagging تولید می شود (Varها جذب می شوند). وقتی که ولتاژ خروجی مبدل برابر با ولتاژ سیستم ac باشد، تغییرات قدرت راکتیو صفر می باشد. شکل ۴

یک مدار هم ارز تک فاز SVC را نشان می دهد که V_s ، phasor ولتاژ منبع می باشد، و نیز V_c ولتاژ خروجی ac از SVC، می باشد که R و h به ترتیب مجموعه ای از راکتور ac متصل شده و رزیستانس هم ارز شامل افت های SVC را ارائه می نماید. قدرت راکتیو SVC می تواند با کنترل نوسان (آمیلی تیود) $|V_c|$ انطباق پیدا کند. اگر $|V_s| > |V_c|$ باشد آنگاه SVC یک قدرت راکتیو lagging را از منبع ایجاد می نماید، که به عنوان یک راکتور عمل می کند و اگر $|V_s| < |V_c|$ باشد آنگاه، جریانی را تولید می کند، که به عنوان یک کاپاسیتور عمل می کند.



شکل ۶- دیاگرام مسدود سیستم SVC با مبدل پوششی

ولتاژ ac کنترل شده SVC می تواند نوسان ولتاژ ac را با ایجاد یک مقدار کوچکی از قدرت اکتیو کنترل کند تا جریان قدرت در داخل یا خارج از SVC ایجاد شود.

شکل (a) یک دیاگرام فازور (phasor) را در حالتی که V_c ، V_s را به تاخیر می اندازد نشان می دهد. در اینجا θ زاویه phasor (فازور) V_c با توجه به V_s می باشد IS یک فازور جریان تولید شده می باشد و I_s در شکل (a) V_s در فاز I_s قرار دارد، به طوری که مقدار کمی از قدرت اکتیو در داخل SVC جریان می یابد، بنابراین کاپاسیتور dc شارژ می شود. در حالتی که VC منجر به V_s می شود، همچنان که در شکل (b) 5 نشان داده شده، مقدار کوچکی از قدرت اکتیو به بیرون هدایت می شود، بنابراین کاپاسیتور dc دشارژ می شود از اینرو، مقدار بزرگی از جریان راکتیو به توسط SVC می تواند با انطباق یافتن زاویه فازی θ با مقدار کوچک (مذکور)، کنترل شود.

۳- استراتژی های کنترل و مدل سازی

نمودار ۶، ترکیب (شکل) سیستم و دیاگرام کنترل مسدود یک SVC را با استفاده از یک مبدل پوششی جدید، نشان می دهد، این سیستم SVC شامل یک مبدل VSI چند سطحی، ذخایر کاپاسیتور dc مجزا می باشد، که I_s, V_s ولتاژ و جریان منبع را نشان می دهد، و L مجموعه ای از راکتور ac متصل شده می باشد. استراتژی های کنترل بر اساس افت های قدرت و واکنش های دینامیکی می باشند برای کاهش افت های سوئیچینگ، هر GTO در مبدل فول بریج تک فاز، در هر سیکل تنها یک بار سوئیچینگ می شوند. [۳ و ۶] برای انجام وظیفه آن به عنوان یک عنصر کنترلی در سیستم قدرت، متعادل (موازنه) کننده می بایست به عنوان منبع قدرت راکتیو قابل کنترل عمل نماید.

3.1 مدل سازی سیستم

در این بخش، مدار سه فاز با استفاده از تغییر شکل d-q تبدیل به مدار ایستگاهی می شود. که عبارتست از مداری که اساساً با طبیعت تغییر زمانی می تواند با به کار گیری متناسب تغییر شکل چرخشی به طور همزمان، حذف شود.

برای ساده شدن کار، فرضیات زیر در مدل سازی SVC در نظر گرفته می شود:

(۱) هر گونه هارمونیک ولتاژ ایجاد شده از سوئیچینگ برای عمل کرد مبدل های فول بریج، از ولتاژ ac ترکیب شده SVC، حذف می شود.

(۲) نوسان فوری جزو اساسی ولتاژ ac متناسب با ولتاژ فوری قدرت خروجی dc می باشد.

(۳) هیچ افت قدرتی در مبدل روی نمی دهد؛ بنابراین قدرت اکتیو در طرف ac برابر با قدرت خروجی dc می باشد.

(۴) در مبدل های فول بریج، ولتاژ به طور ثابت شارژ می شود.

فرضیات 1,2 به این معنی هستند که ولتاژ هارمونیک ایجاد شده از نوسانات ولتاژ dc در ولتاژ ac ترکیبی گنجانده می شود. عرضه قدرت سه فاز مطلوب با رابطه زیر ارائه می شود:

$$\begin{bmatrix} V_{sa} \\ V_{sb} \\ V_{sc} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} V_s \begin{bmatrix} \sin(\omega t) \\ \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \\ \sin(\omega t + \frac{2\pi}{3}) \end{bmatrix} \quad (1)$$

که VS عبارت از ولتاژ rms تولید شده و ω فرامس زاویه ای آن می باشد. فرضیات 1,2 منجر به ولتاژ ac زیر از SVC می شود:

$$\begin{bmatrix} V_{ca} \\ V_{cb} \\ V_{cc} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} D V_c \begin{bmatrix} \sin(\omega t - \theta) \\ \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3} - \theta) \\ \sin(\omega t + \frac{2\pi}{3} - \theta) \end{bmatrix} \quad (2)$$

که θ زاویه ولتاژ ac اصلی نسبت به ولتاژ عرضه شده می باشد، و D نسبت ولتاژ ac به dc از SVC می باشد. با استفاده از شکل 4 می توان معادله زیر را به دست آورد:

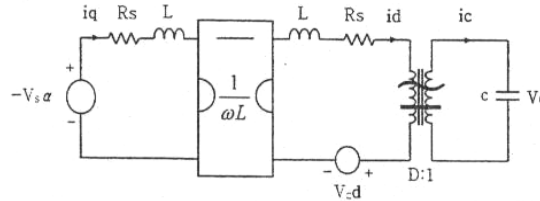
$$\begin{bmatrix} V_{sa} \\ V_{sb} \\ V_{sc} \end{bmatrix} = (R + L \frac{di}{dt}) \begin{bmatrix} I_{sa} \\ I_{sb} \\ I_{sc} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V_{sa} \\ V_{sb} \\ V_{sc} \end{bmatrix} \quad (3)$$

هر کدام از ولتاژ ها و جریان های ac با ماتریس S ترانسفور میشن $d-q$ تغییر داده می شوند. معادلات (1)، (2) و (3) با ماتریس ترانسفور میشن S ، به ۳ فاز و ۲ فاز تبدیل می شوند.

$$S = \sqrt{\frac{2}{3}} D \begin{bmatrix} \cos(\omega t + \theta) & \cos(\omega t + \theta - 2\frac{\pi}{3}) & \cos(\omega t + \theta + 2\frac{\pi}{3}) \\ \sin(\omega t + \theta) & \sin(\omega t + \theta - 2\frac{\pi}{3}) & \sin(\omega t + \theta + 2\frac{\pi}{3}) \\ \sqrt{\frac{1}{2}} & \sqrt{\frac{1}{2}} & \sqrt{\frac{1}{2}} \end{bmatrix} \quad (4)$$

که $\sqrt{\frac{2}{3}} D$ عبارت از MI (شاخص مدولاسیون) سوئیچینگ

پس با استفاده از ماتریس S برای هر متغیر سیستم، معادلات زیر، (5) و (6) حاصل می شوند.



شکل ۷- دیاگرام تک مدار کوچک

$$\begin{bmatrix} V_{sd} \\ V_{sq} \\ V_{so} \end{bmatrix}^T = S \begin{bmatrix} V_{sa} \\ V_{sb} \\ V_{sc} \end{bmatrix}^T \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} I_d \\ I_q \\ I_o \end{bmatrix}^T = S \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix}^T \quad (6)$$

تجزیه و تحلیل ac می تواند با ایجاد اختلال در متغیر کنترلی α جهت مدار تبدیل شده $d-q$ به خصوص که در شکل 7 نمایش داده شده انجام می شود. در اینجا متغیر های فیزیکی مدار $d-q$ شامل اجزا ac و dc می باشد و بنابراین اجزاء مختل شده (مقادیر ac) از بعضی مقادیر $quiescent$ با علامت α نشان داده شده اند و برای متمایز کردن متغیر های متشابه از مقادیر $quiescent$ به کار می روند. همچنین فرضیات زیر در نظر گرفته می شوند:

۱) عبارات (اصطلاحات) ثانویه مانند، نتایج تغییرات، نادیده گرفته می شوند.

۲) $\hat{\alpha}$ مختل شده ناچیز می باشد. ($|\hat{\alpha}| < 5^\circ$)

۳) Quiescent α تقریباً صفر می باشد و بنابراین $\sin(\alpha) \approx \alpha$ و $\cos(\alpha) \approx 1$ در نتیجه سه معادله اینطور می شوند :

$$V_{sq} = -V_s \sin(\alpha + \hat{\alpha}) + V_s \sin(\alpha) \approx -V_s \hat{\alpha} \quad (7)$$

$$V_{sd} \approx -DV_c + \hat{d}V_c \text{ (dc component)} \quad (8)$$

$$\hat{Q} = (V_{sq}I_d - V_{sd}I_q) - (V_{sq}I_d - V_{sd}I_q) \approx -V_s \hat{I}_q \quad (9)$$

بنا بر این مدار سیگنال کوچک حاصله می تواند به مانند شکل 7 ترسیم شود، که تمامی اجزا dc حذف می شوند. حال، می توان بدون واسطه و صریحاً به معادلات وضعیتی سیستم رسید. [۵] در شکل 7، معادلات زیر تشکیل می شوند:

$$\dot{X} = AX + BU \quad (10)$$

$$\hat{Q} = CX \quad (11)$$

که:

$$X = \begin{bmatrix} \hat{I}_q & \hat{I}_d & \hat{V}_c \end{bmatrix}^T$$

$$U = \begin{bmatrix} \hat{d} & \hat{a} \end{bmatrix}^T$$

$$A = \begin{bmatrix} -R_s/L & \omega & 0 \\ \omega & -R_s/L & -D/L \\ 0 & D/C & 0 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & V_s/L \\ -V_s/L & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} -V_s & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

با استفاده از معادلات (9), (10), (11) اگر متغیر داخلی (MI) ثابت باشد، آنگاه تابع انتقالی سیستم این گونه به دست می آید:

$$\frac{\hat{Q}_s(s)}{\hat{a}(s)} = C(SI - A)^{-1} B = \frac{N(s)}{D(s)} \quad (12)$$

Where که

$$N(s) = \frac{V_s^2}{L} \left[s^2 + \frac{R_s}{L} s + \frac{D^2}{LC} \right]$$

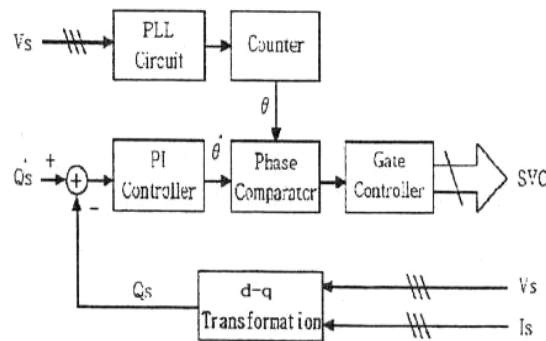
$$D(s) = s^3 + \frac{2R_s}{L} s^2 + \left\{ \left[\frac{R_s}{L} \right]^2 + \frac{D^2}{LC} + \omega^2 \right\} s + \frac{D^2 R_s}{L^2 C}$$

MI این گونه تعریف می شود $V_c / V_{c\max}$ که $V_c = \sqrt{V_{ca}^2 + V_{cb}^2 + V_{cc}^2}$ و مقدار مرجع (اصلی) ولتاژ مبدل

می باشد و $V_{c\max} = \sqrt{\frac{3}{2}} \frac{4}{\pi} (3V_{dc})$ که حداکثر مقدار قابل حصول ولتاژ است وقتی که تمام زوایای فاز سوئیچینگ برابر صفر می باشد.

3.2 الگوریتم کنترل

از معادله انتقالی (12)، یک کنترلر می‌تواند به گونه‌ای طراحی گردد که سیستم متوازن‌کننده var دارای خصوصیات دینامیکی سریع باشد. شکل 8 دیاگرام کنترل سیستم SVC را نشان می‌دهد که با کنترلر PI (نسبت جزء صحیح) ایجاد شده است. فیدبک قدرت راکتیو با استفاده از کنترلر PI این امکان را ایجاد می‌کند که واکنشهای موقتی قدرت راکتیو را بهبود ببخشد. (اصلاح نماید). مدار تبدیلی d-q قدرت راکتیو فوری Q_s را از ولتاژهای عرضه شده سه فاز V_{sc}, V_{sb}, V_{sa} و جریان‌های سه فاز I_{sc}, I_{sb}, I_{sa} محاسبه می‌نماید. قدرت راکتیو محاسبه شده Q_s و قدرت راکتیو مرجع (اصلی) Q_s^* برای کنترلر PI، به کار گرفته می‌شود. خروجی کنترلر PI، سیگنال مرجع (اصلی) ایجاد کننده θ^* زاویه فازی می‌باشد. کنترلر، اطلاعات فازی را ایجاد می‌کند، ωt از یک سیگنال ایجاد شده توسط یک مدار PLL به دست می‌آید. مقایسه گر فازی θ^* را با θ مقایسه می‌کند، و زمان on / off طرحهای (برنامه‌های) GTO را تعیین می‌کند. سیگنال کنترل ورودی در هر GTO، تنها یک بار در هر سیکل عرضه می‌شود، حتی اگر θ به سرعت تغییر داده شود.



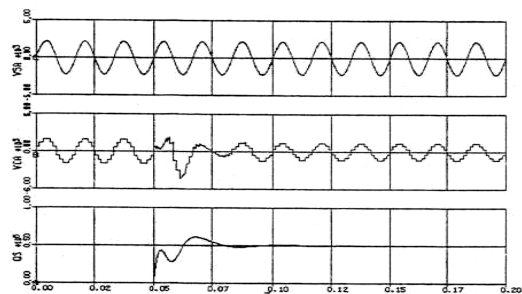
شکل ۸- دیاگرام کنترلی سیستم SVC

| Meaning | Symbol | Value |
|--|----------|--------------------------|
| fundamental frequency | f | 60[Hz] |
| fundamental angular frequency | ω | $2\pi f[\text{rad/sec}]$ |
| rated power | VA | 1[MVA] |
| rms line to line voltage | V_s | 2.2[kV] |
| effective resistance | R_s | 0.6[Ω] |
| linked reactor | L | 10[mH] |
| total dc-side capacitor ($\sum_{i=1}^3 C_i$) | C | 2000[uF] |

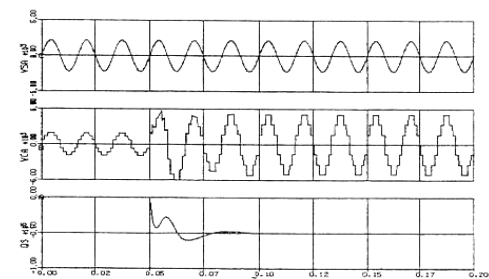
جدول ۱ پارامترهای سیستم

4- نتایج شبیه‌سازی

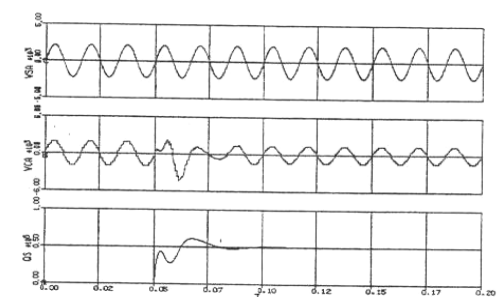
برای نشان دادن اعتبار مبدل چند سطحی، سیستم‌های SVC با استفاده از مبدلهای پوششی 11,7 سطحی، شبیه‌سازی شده‌اند. جدول ۱ پارامترهای سیستم مورد استفاده در شبیه‌سازی را نشان می‌دهد. در این شبیه‌سازی‌ها، بار راکتیو به منبع متصل نشده است و بنابراین قدرت راکتیو منبع، Q_s برابر با Q_c قدرت SVC می‌باشد. varcommand منبع، Q_s^* برای سیستم SVC ایجاد شده، تا قدرت راکتیو لازمه را ایجاد نماید. از شکل 9 تا 12 شکل‌های موجی شبیه‌سازی شده، ارائه شده است.



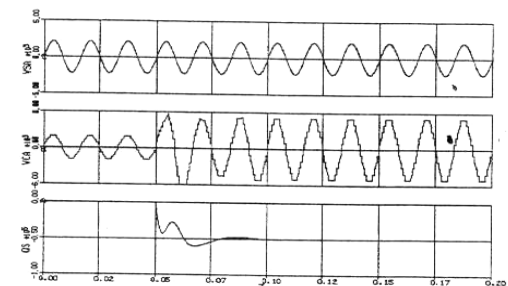
شکل ۹- تولید var القایی در مبدل ۷ سطحی (از ۰ تا ۵۰۰ کیلو var متغیر)



شکل ۱۰- تولید var کپاسیتیو در مبدل ۷ سطحی (از ۰ تا ۵۰۰ کیلو var)



شکل ۱۱- تولید var القایی در مبدل ۱۱ سطحی (از ۰ تا ۵۰۰ کیلو var)



شکل ۱۲- تولید var کپاسیتیو در مبدل ۱۱ سطحی (از ۰ تا ۵۰۰ کیلو var)

ولتاژ عرضه شده فاز V_{sa} و قدرت راکتیو Q_s می‌باشد. ولتاژ فاز V_{ca} و SVC دارای شکل موجی چند سطحی می‌باشد. شکل ۹, ۱۰ شبیه‌سازی‌های مبدل ۷ سطحی را نشان می‌دهد. شکل ۹ نتایج واکنش موقتی را برای تولید var القایی نشان می‌دهد. $Var_{command}$ اصلی Q_s^* و ac از صفر تا ۵۰۰ kvar تغییر می‌کند. در حالت تغییر مرحله‌ای قدرت راکتیو مرجع اصلی Q_s^* از ۰ تا ۵۰۰ kvar تغییر می‌کند شکل ۱۰

نتایج واکنش موقتی را برای تولید Var کاپاسیتو نشان می دهد. شکل 11 و 12 شکلهای موجی مبدل ۱۱ سطحی را نشان می دهد. شکل ۱۱ نتایج واکنش دینامیکی را برای تولید var القایی نشان می دهد. که var اصلی ac از 0 تا 500kvar تغییر می کند. شکل ۱۲ نتایج واکنش موقتی را برای تولید var کاپاسیتو نشان می دهد. که var اصلی از 0 تا 500kvar تغییر می کند. نتایج بالا نشان می دهد که ولتاژ خروجی (Vc), SVC در یک ولتاژ خروجی سینوسی خالص با آخرین حد آن سطح تولید می شود. در تغییرات مرحله‌ای از شکل 9 تا 12 واکنشهای موقتی سریع 2 msec ~ 2.3 msec در مبدلهای 7 و 11 سطحی نشان داده شده اند. این مبدل چند سطحی هر طرح را تنها یک بار در هر سیکل خطی سوئیچ می کند و افتهای سوئیچینگ را در سیستم مبدل، کاهش می دهد. امکان دارد که برای به دست آمدن ولتاژ و قدرت بالا، تعداد بیشتری از سطح ولتاژ، مبدل تک فاز به کار گرفته شود.

5- نتیجه گیری

یک مبدل منبع ولتاژ چند سطحی پوششی برای استفاده از SVC جهت کاربرد قدرت در مقیاس بزرگ ایجاد گردیده است که می تواند مشکلات ترانسفورمر معمولی مبدل‌های مولتی پالس و مبدل‌های دیود کلامپ چند سطحی را برطرف نماید. در این مقاله، SVC سه فاز با استفاده از تبدیل d-p مدل سازی و به طور کامل تجزیه و تحلیل گردید. استراتژی کنترل که اساس این مدل می باشد نیز مطرح شد. و از نتایج شبیه سازی، اعتبار طرح کنترل مطرح شده برای کاربرد SVC با استفاده از مبدل چند سطحی پوششی نشان داده شد. و همچنین این مبدل برای سیستم‌های FACTS شامل سری‌های موازنه‌ای، SVC و انتقال فاز مناسب می باشد.

۶- مراجع

- 1- C. Schauder et. al.(1994). Development of a ± 100 MVAR Static Condenser for Voltage Control of Transmission Systems. *IEEE PES Summer Power Meeting*, Paper no.94 SM479 -6PWRD.
- 2- Mon et. al.(1986). Development of Large Static Var Generator Using Self-Commutated Inverters for Improving Power System Stability. *IEEE PES Winter Power Meeting*, Paper no. 92 WM165-1.
- 3- L. H. Walker(1986). Force-commutated reactive power compensator. *IEEE Trans. Ind Appl.*, vol. IA-22, no. 6, pp. 1091-1104.
- 4- Moran et. al.(1989) Analysis and design of a three-phase current source solid-state var compensator. *MEE Trans. Ind. Appl.*, vol. IA-25, no. 2.
- 5- Nam S. Choi et. al.(1994). Modeling and analysis of a static var Compensator using multilevel voltage source inverter. *IEEEIAS '94 Annual Meeting*, pp 946-953.
- 6- D. A. Woodford and R. W. Menzies(1994) Controlling a Back-to-Back DC Link to Operate as a Phase Shift Transformer. paper no. 14-202, GIGRE.
- 7- J. B. Ekanyake and N. Jenkins.(1996) A 7three-level. Advanced Static Var Compensator. *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol. 11, no. 1, pp. 540-545.
- 8- J. S. Lai and F. Z. Pena
 ..,(1996). Multilevel Converter of A New Breed of Power Converter. *IEEE Trans. Ind Appl.*, vol. 32, no. 3, pp. 356-365.