

مدل سازی و شبیه سازی یک Distribution Statcom

فرانک بابایی	معصومه علیزاده	موسی درکاله خواجه
باشگاه پژوهش گران جوان شعبه تبریز	باشگاه پژوهش گران جوان شعبه تبریز	باشگاه پژوهش گران جوان شعبه تبریز
دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز	دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز	دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز
Email : Syringe_pump_1@yahoo.com	Email : Syringe_pump_2@yahoo.com	Email : musa_dr_kh@hotmail.com

چکیده:

این مقاله درمورد جبران سازی راکتیو یک شبکه توزیع توسط Statcom بحث می کند. مدارات قدرت حاصل از D_Statcom و شبکه توزیع توسط بلوک های خاصی از مجموعه چند واحد از سیستم های قدرت با سیستم کنترلی در این مقاله مدل سازی شده است. عملکرد دینامیکی و استاتیکی یک D_Statcom به اندازه $3\text{Mvar} \pm$ است که روی یک شبکه 25KV قابل تنظیم است. روش مدل سازی متوسط جهت مشخص نمودن عملکرد اینورتر PWM مورد استفاده قرار گرفته شده است که نتایج شبیه سازی عملکرد کنترلی طرح را نشان می دهد.

کلمات کلیدی: جبران سازی توان راکتیو، D-Statcom، سیستم توزیع

1 - مقدمه:

امروزه تولید کنندگان تجهیزات الکتریکی کار خود را بر اساس میزان کیفیت توان به مشتریان خود ارائه می دهند که توسعه تجهیزات الکترونیک قدرت و ارائه روش های متعدد در جهت جبران سازی نوسانات مشاهده شده بر روی شبکه های توزیع، به منظور تضمین کیفیت توان در بالاترین حد ممکنه برای مشتریان می باشد. این تجهیزات کیفیت توان مبدل های الکترونیک قدرت هستند که به صورت موازی و یا سری در خطوط به همدیگر متصل می شوند و عملکرد آنها توسط یک سیستم کنترلی دیجیتال هوشمند تحت کنترل قرار می گیرد.

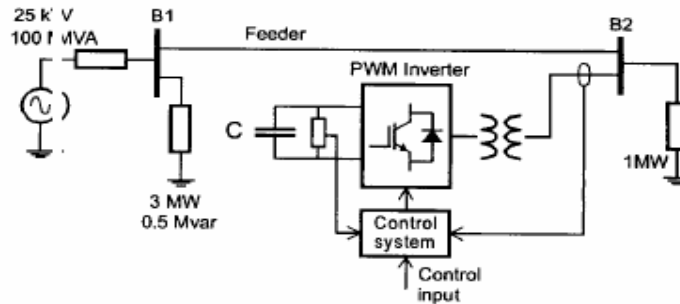
نتایج عملکرد بین تجهیزات توان و شبکه توسط شبیه سازی بررسی شده است که نشان می دهد این سیستمها ترکیبی از مدارات قدرت و سیستمهای کنترلی هستند و می توانند در مبنای متفاوتی که بستگی به تبادلهایی (تعادلات تمامی مشخصه های یک سیستم به منظور بهبود کیفی آن) دارد مورد استفاده قرار گرفته و می توان مقدار دقت کنترلی را توسط نتایج حاصله از شبیه سازی بررسی کرد (سوییچینگ در مبدل های قدرت یا تنظیم کنترل). مدل حاصله را می توان با مطالعه و بررسی سیستم شبیه سازی کرد در این مقاله دو روش جهت مدل سازی یک Statcom شبکه توزیعی وجود دارد این دو روش عبارتند از:

1- مدل سازی وسیله ای، 2 - مدل سازی متوسط

هر دوروش مدل سازی دارای مزایایی از جمله سیستم چند واحدی از سیستم قدرت و کنترل می باشند که ارتباط میان نتایج شبیه سازی بلوک های قدرت و کنترل در یک دیاگرام بررسی شده است.

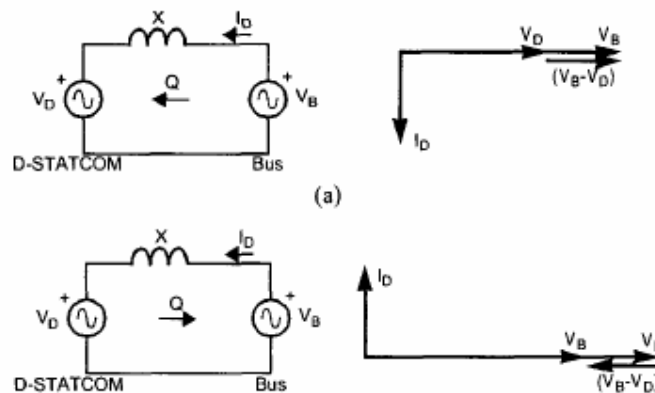
2 - توصیف عملکرد D_Statcom:

در شبکه های توزیع، Statcom بصورت موازی بسته می شود که ولتاژ سیستم را تنظیم می کند و این کار توسط جذب توان راکتیو صورت می گیرد. شکل (1) یک شبکه توزیع جبران شده را نشان می دهد.



شکل (1) - شبکه توزیع جبران شده

Statcom اصولاً شامل یک اینورتر PWM متصل شده به شبکه از طریق یک ترانسفورمر می باشد که با جذب ولتاژ DC شبکه توسط خازن C میزان ولتاژ خط را کنترل می نماید. Statcom D₋ برای تنظیم و رگولاسیون ولتاژ خط، توان راکتیو را از شبکه جذب نموده و مثل یک جبران کننده استاتیکی ترستوری عمل می نماید این توان راکتیو از طریق افت راکتانسی حاصله از کوپل ترانسفورمری با استفاده از یک ولتاژ ثانویه هم فاز با ولتاژ اولیه (در طرف شبکه) انتقال یافته و این ولتاژ توسط یک منبع ولتاژ مبدل PWM فراهم می گردد. عملکرد D₋Statcom توسط دیاگرام های فازی در شکل (2) نشان داده شده است.



شکل (2) - دیاگرام های فازی D₋ Statcom

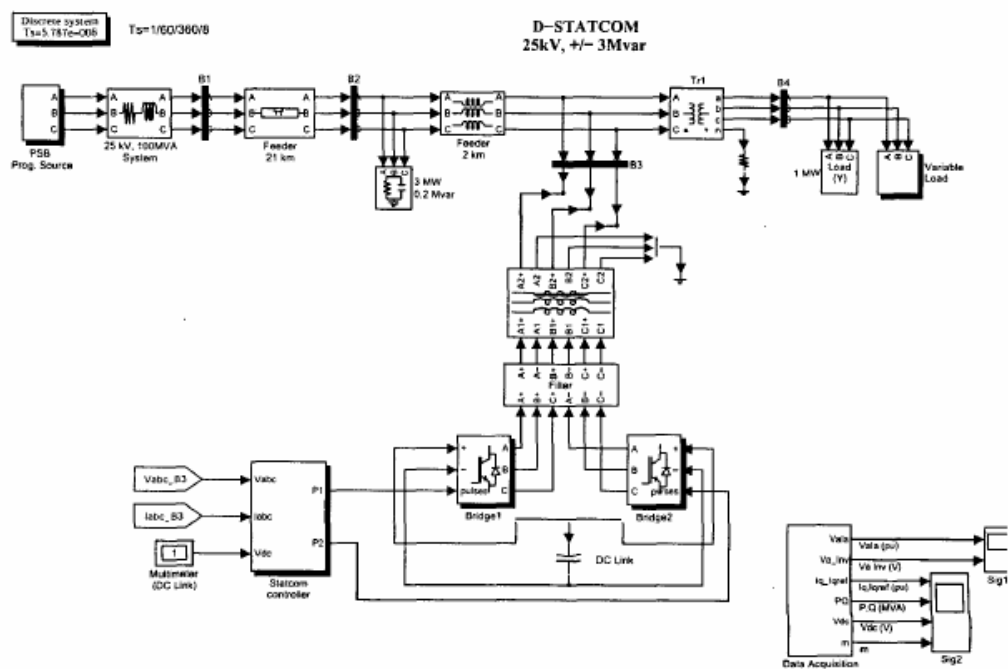
وقتی ولتاژ ثانویه (V_D) نسبت به ولتاژ باس (V_B) کمتر باشد در این صورت D₋ Statcom بصورت یک اندکتانس عمل می کند که انرژی اکتیو را از باس جذب می کند. وقتی ولتاژ ثانویه یا (V_D) نسبت به ولتاژ باس بیشتر شد در این صورت D₋Statcom مثل یک خازن عمل می کند یعنی توان راکتیو تولید می کند. در حالت پایدار (شرایطی که در آن بعد از حذف نوسانات و تغییرات اولیه تمامی کمیت های سیستم ثابت باقی می ماند) باتوجه به اینکه اینورتر اغلب ولتاژ باس را کاهش می دهد لذا مقاومت داخلی اینورتر موجب می شود که توان اکتیو جزئی تلف شود.

3 - مزایای Statcom :

یک Statcom در مقایسه با جبران کننده های ترستوری معمولی دارای چندین مزیت می باشد که می تواند توان راکتیو را در محدوده ولتاژ پایین تولید کرده و نیازی به ترستورهای کنترل شده نداشته باشد و همچنین هارمونیک های مرتبه پایین تر را نیز ارائه نمی دهد.

4 - مدل سازی D_Statcom در یک سیستم توزیع :

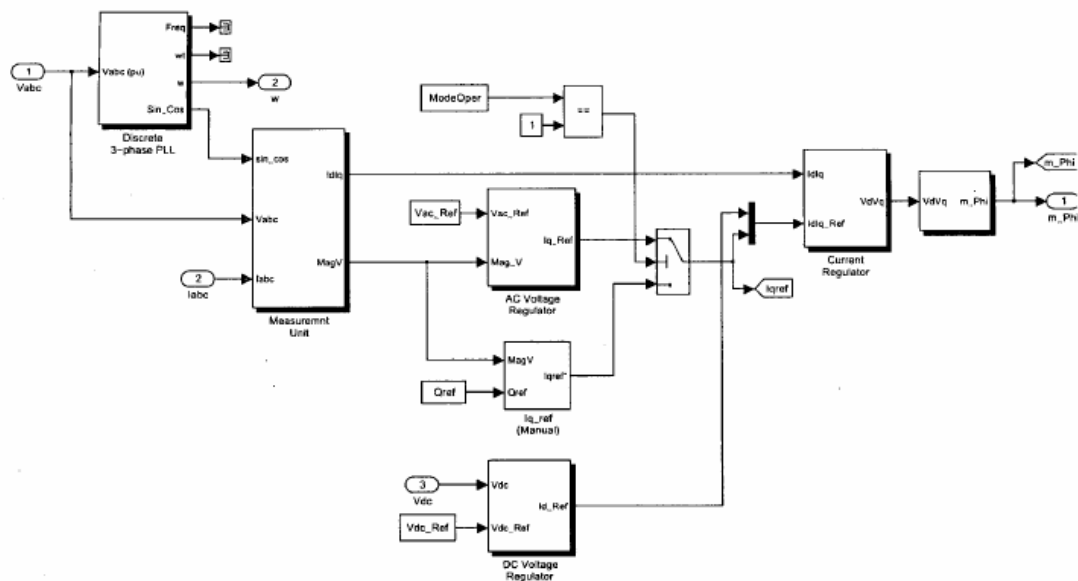
برای شبیه سازی شبکه قدرت و سیستم کنترلی یک D_Statcom ، نیاز به بلوک های الکتریکی سیستم های قدرت و کنترلی داریم که این بلوک های شبیه سازی شده در شکل (3) نشان داده شده است



شکل (3)- بلوک های الکتریکی سیستم های قدرت و کنترل

این مدار دارای توانی به اندازه $\pm 3\text{Mvar}$ می باشد که به یک شبکه توزیع 25KV متصل است ، مدار معادل شبکه تغذیه نشان داده شده با (B₁) توسط یک تغذیه کننده ای به طول 21-KM و یک مدار معادل (P₁) که به باس دوم یا (B₂) متصل است ، پشتیبانی می شود . به این باس ، یک بار 3MW و یک ترانسفورمر معادل 25KV/600V متصل شده است و از طریق بار متغیری به اندازه 1MW متصل به باس دوم یا (B₂) که به طول 2-KM می باشد تغذیه می شود . خروجی D_Statcom در حالت موازی توسط شبکه و از طریق یک ترانسفورمر راه انداز مثلث به ستاره 2.5/25KV کوپل شده است.

اولیه این ترانسفورمر توسط یک منبع ولتاژ کنترل شده با سیگنال PWM تغذیه می شود که شامل دو پل IGBT است. یک فیلتر در خروجی اینورتر به کار گرفته می شود تا هارمونیک های مرتبه پایین را حذف کند و یک خازن 1000 uF به عنوان منبع DC به مبدل متصل شده است .منبع فرکانس PWM با تولید فرکانس حامل 1.68 KHz به منظور کنترل نمودن هر دو پل IGBT استفاده شده است که نمونه مدل سازی شده از نوع سینوسی می باشد . بلوک دیاگرام کنترل کننده سینوسی نشان در شکل (4) داده شده است .

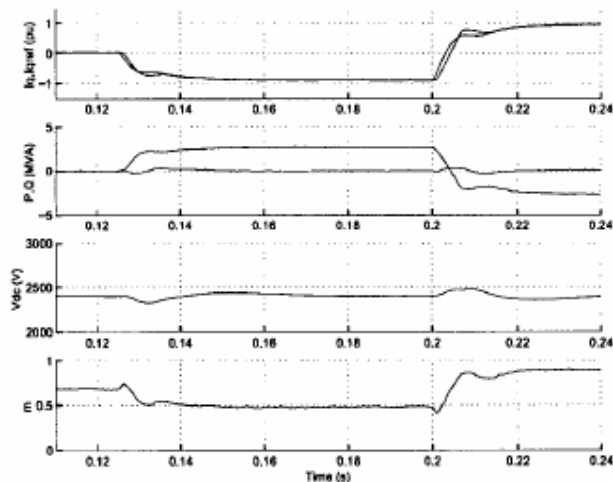


شکل (4) - بلوک دیاگرام کنترل کننده سینوسی

این شکل شامل چندین زیر مجموعه است. که عبارتند از: حلقه قفل شده فازی یا PLL، دو سیستم اندازه گیری، حلقه تنظیم ولتاژ و تنظیم ولتاژ اتصال DC. که PLL توسط ترانسفورمر اولیه با ولتاژ اولیه سنکرون شده است تا اینکه مرجع نمونه مورد نیاز سنکرون شده ی $[\sin(\omega t), \cos(\omega t)]$ که به وسیله انتقال و تغییر شکل abc-qd صورت می گیرد، تولید کند. بلوک های اندازه گیری V_{rms} و I_{rms} که اجزای تشکیل دهنده ولتاژ و جریان در محور d و q است جریان داخلی در حلقه رگولاسیون شامل دو کنترلر PI می باشد که جریانات I_d و I_q را کنترل می کنند خروجی کنترلرها دارای اجزای متشکل یافته از ولتاژ مستقیم محوری V_d و ولتاژ V_q محور راکتیو است که اینورتر PWM آنها را تولید می کنند. V_d و V_q ولتاژهایی هستند که قابل تبدیل به ولتاژهای فازی V_a و V_b و V_c می باشند که جهت سنتی ساینموند ولتاژهای PWM به کار می روند. ولتاژ باس شبکه توسط یک کنترلر PI تنظیم شده که I_q مرجعی را به عنوان جریان کنترلر معرفی می کند. جریان I_d مرجع موجب می شود که خازن به مقدار ثابتی تنظیم شود.

5_ شبیه سازی عملکرد D_Statcom :

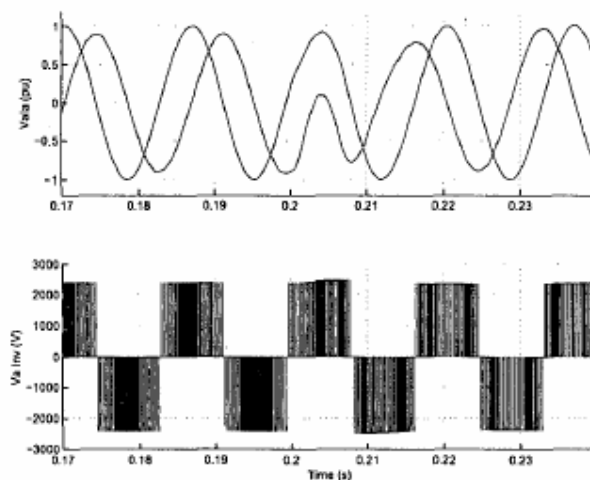
بلوک دیاگرام توصیف شده بالا به منظور شبیه سازی نمودن عملکرد D_Statcom تحت شرایط مختلف بکار گرفته شده است تا اینکه عملکرد استاتیکی و دینامیکی آنرا نشان دهد. شبیه سازی در بازه زمانی $(T=58\mu\text{sec})$ انجام شده است و شکل های (5) و (6) شکل موجهایی را نشان می دهند که در طول یک شبیه سازی D_Statcom از تغییرات مرحله ای در ولتاژهای سیستم مشاهده شده است.



شکل (5)- شکل موج های تغییرات سیستم

بلوک منبع DSB جهت مدوله نمودن ولتاژ داخلی 25 Kv است. در ابتدا ولتاژهای D_Statcom غیر فعال است، انرژی راکتیوی نه تولید و نه جذب شبکه می شود. در مدت زمان معینی معادل $T=0.125$ sec ولتاژ منبع به اندازه 6٪ افزایش می یابد. D_Statcom افزایش ولتاژ را از طریق جذب انرژی راکتیوی از شبکه جبران می کند ($Q=+2.7$ Mvar). در مدت زمان $t=0.2$ sec منبع ولتاژهای Vs با 6٪ از مقدار تطبیق کننده و هماهنگی با $Q=0$ افزایش می یابد (یعنی در ازای $Q=0$) در این صورت D_Statcom بایستی انرژی راکتیو تولید کند تا اینکه ولتاژ 1 Pv را کنترل نماید (Q از $+2.7$ Mvar به -2.8 Mvar تغییر می کند).

قابل توجه است که D_Statcom از حالت اندوکتیوی به حالت عملکرد خازنی تبدیل شده و تغییر حالت پیدامی کند و مدولاسیون اینورتری حاوی m از 0.48 به 0.87 افزایش می یابد که مطابق با یک افزایش نسبی در ولتاژ اینورتر است. بر عکس جریان، انرژی راکتیو بسیار سریع می باشد (در حدود 1 سیکل) که در شکل (6) نشان داده شده است.

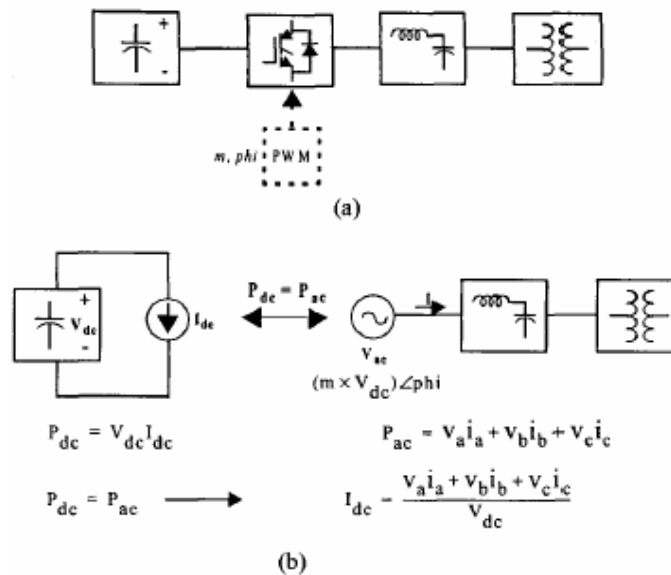


شکل (6)- شکل موج های تغییرات سیستم براساس پالس های PWM

شبیه سازی فوق در یک مدل دقیق و جزئی از یک مبدل می باشد که شامل سویچینگ حاصله از سویچ های قدرت اینورتری است (یا سویچ های قدرت معکوس کننده). این مدل برای محاسبه نیاز به یک مرحله زمانی خیلی کوچکی دارد تا بخوبی اشکال موج PWM را نشان دهد.

(T=508 usec) زمان شبیه سازی شده خیلی طولانی است. اگر مایل به نشان دادن برش شکل موجهای PWM نباشیم در این صورت می توانیم به جای آن یک منبع ولتاژ به همان میزانی از آن را استفاده کنیم که با توجه به دوره برش محاسبه می شود. با استفاده از این مدل میانگین یا متوسط، ما می توانیم عملکرد سیستم را شبیه سازی کنیم که با افزایش زمان نمونه برداری مقدار آن کاهش می یابد. مدل متوسط می تواند بر اساس نمونه توان ساخته و ایجاد شود. در شکل (7) نشان داده شده که نمونه های قدرت بایستی در طرف DC باهم یکسان باشند و در کنار اینورتر AC نیز باید این امر در نظر گرفته شود. (فرض کنید اینورتر ایده آل است) مقدار توان DC را می توان از رابطه (1) بدست آورد.

$$V_{dc} * I_{dc} = V_a * I_a + V_b * I_b + V_c * I_c \quad (1)$$

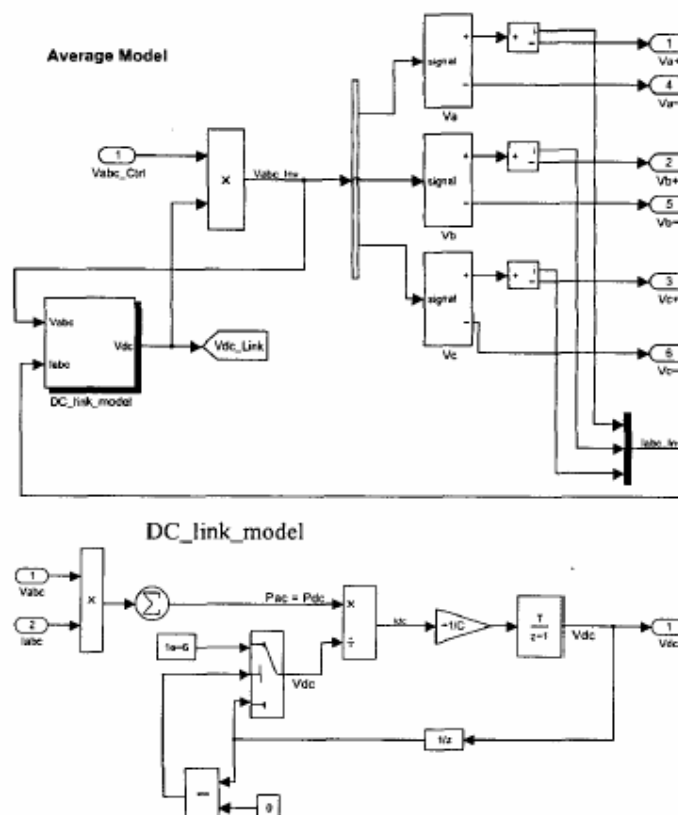


شکل (7) - مدل متوسط طراحی شده بر اساس نمونه توان

جریان DC در خازن اتصال DC می تواند از طریق قدرت نمونه های AC اندازه گیری شده و جریان DC از رابطه (2) بدست می آید:

$$I_{dc} = (V_a * I_a + V_b * I_b + V_c * I_c) / (V_{dc}) \quad (2)$$

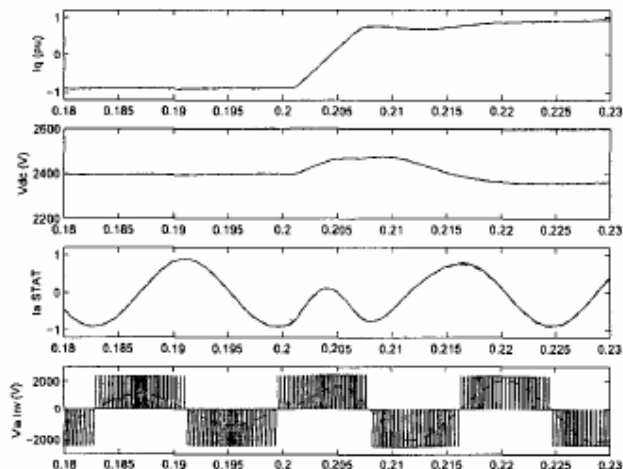
شکل (8) چگونگی شبیه سازی از یک مدل متوسط را نشان میدهد.



شکل(8)- نمونه شبیه سازی از یک مدل متوسط

که در طرف AC اینورتر بصورت سه منبع ولتاژ کنترل شده مدل سازی می شود که توسط سه ولتاژ V_{abc} حاصله از سیستم کنترل تعیین می شوند و خازن در طرف DC شارژ می شود که مقدار آن طبق فرمول (2) قابل محاسبه است. تا وقتی که خازن شارژ نشده باشد بلوک سویچ به منظور جلوگیری نمودن یک بخش که از صفر شروع می شود بکار می رود. تست دینامیکی یکسانی با مدل بررسی شده دقیق و جزئی با مدل میانگین $D_Statcom$ بکار گرفته شده است که با استفاده از یک مرحله زمانی به اندازه 8 مرتبه بیشتر از مدل بررسی شده صورت می گیرد تا زمان شبیه سازی تقریباً به میزان 8 برابر کاهش یابد. شکل(9) یک مقایسه بین شکل موج های مشخص شده از مدل های دقیق و میانگین را نشان می دهد که سیستم را از حالت اندوکتانسی به حالت عملکرد خازنی در مدت زمان $T=0.2\text{sec}$ می برد.

شکل موج های نشان داده شده، ولتاژ و جریان فاز A و جریان محور Q یا Iq را در $D_Statcom$ مد نظر دارد. شکل موج ها برای هر دو حالت بجز برای شکل موج های ولتاژ خروجی اینورتر کاملاً مشخص شده اند و در مدل دقیق و جزئی می توانیم برش ولتاژ DC را مشاهده کنیم. ولی در مدل میانگین یا متوسط تنها مقدار متوسط نشان داده شده است و لازم به توضیح است که جزئیات دینامیکی توسط مدل متوسط قابل بیان می باشد.



شکل (9) - شکل موج های مشخص شده از مدل های دقیق و میانگین

6 - نتیجه گیری:

در این مقاله از یک مدل دقیق و جزیی از D_Statcom برای شبیه سازی استفاده داده شده است که از مجموعه چند واحد از سیستم قدرت بدست می آید. در شبیه سازی مدل های حاصله مدارات قدرت و سیستم های کنترل در یک دیاگرام استفاده شده است. که در این شبیه سازی دو روش مدل سازی (مدل ابزاری و مدل متوسط) نشان داده شده است که D_Statcom ، ± 3 MVAR متصل به شبکه توزیع 25Kv است. شبیه سازی تعیین شده نتایجی را به اثبات رسانده است که خطای مدل های توسعه یافته را در بر دارد یعنی مدل سازی متوسط امکان شبیه سازی سریع تری را فراهم کرده که به خوبی و برای تنظیم سیستم در این مقاله مد نظر گرفته شده است.

مراجع:

- [1] k.k. sen, "STATCOM: Theory, Modeling, Applications," in IEEE PES 1999 Winter Meeting Proceedings, pp. 1177-1183.
- [2] Flexible AC Transmission Systems (FACTS), edited by Y.H song and A.T Johns, The Institution of Electrical Engineers, London, UK, 1999.
- [3] K.V. Patil, et al., "Application of STATCOM for Damping Torsional Oscillations in Series Compensated AC Systems," IEEE Trans. On Energy Conversion, Vol. 13, No. 3, Sept. 1998, pp.237-243.
- [4] C.D. Schauder, H. Mehta, "Vector Analysis and Control of Advanced Static VAR Compensators," IEE Proceeding-c, Vol. 140, no. 4, July 1993, pp. 299-306.
- [5] power system Blockset For use with Simulink, User's guide, the mathWorks Inc., 2000.
- [6] IECON 01 : The 27 th Annual Conference of IEEE industrial Electronics Society