

مروری بر چند روش بهبود کیفیت توان در سیستم‌های توزیع با استفاده از DSTATCOM

داود طالبی

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی برق- قدرت

Dawood_Talebi@ee.iust.ac.ir



دانشگاه علم و صنعت ایران

سعید رضازاده

دانشجوی کارشناسی مهندسی برق- قدرت

Saeed_Rezazadeh@ee.iust.ac.ir

دانشگاه علم و صنعت ایران

مقدمه:

جبرانسازهای سنکرون استاتیک توزیع (DSTATCOMs) یک راه حل ماندنی برای بهبود کیفیت توان در سیستم‌های توزیع شامل کاهش قطعیهای موقت، dip ولتاژ، هارمونیکها و فلیکر ولتاژ است. DSTATCOMهای معمولی با استفاده از دو حلقه آبخاری^۱، یک حلقه کنترل جریان ac و یک حلقه کنترل ولتاژ dc ساخته می شوند. در این قسمت یک ساختار کنترلی جایگزین بر مبنای کنترل همزمان جریان خط و ولتاژ لینک dc به وسیله کنترل آنی توان پیشنهاد می شود. محاسبات آنی توان حقیقی و موهومی استخراج و شرح داده شده اند. نیازها برای کاهش فلیکر و هارمونیک مشخص شده اند. کنترل کننده با استفاده از دو مقایسه گر هیستریزس و یک جدول کلیدزنی بهینه اجرا شده است. نقاط قوت روش پیشنهادی به وسیله شبیه سازی و نتایج آزمایشگاهی شرح داده شده اند. مزیت‌های این روش عبارتند از: یک ساختار کنترل ساده و مقاوم و دنبال کردن^۲ بهتر نوسانات بار و هارمونیکها.

DSTATCOMهای PWM معمولی از یک طرح کنترل آبخاری استفاده می کنند. حلقه جریان داخلی مولفه های توان راکتیو و هارمونیکها را تولید می کند و حلقه بیرونی ولتاژ شین dc را کنترل می کند. معمولاً حلقه جریان داخلی تا اندازه‌ای که تولید الگوی PWM اجازه دهد سریع است اما زمان پاسخ حلقه ولتاژ بیرونی طولانی تر است و خازن باید توانایی ذخیره انرژی کافی را داشته باشد تا در ولتاژ شین dc ثابت باقی بماند. حامل‌های معمول و یا روشهای بردارفضایی بطور معمول برای مدولاتورها و مولدهای الگو برای اینورتر PWM استفاده می شوند.

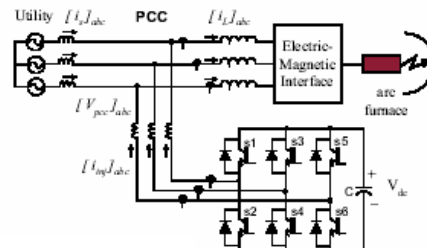
^۱ - cascade

^۲ - tracking

(۱) کنترل مستقیم توان در DSTATCOM برای کاهش فلیکر ولتاژ

تشریح سیستم پیشنهادی

اینورتر DSTATCOM یک اینورتر استاندارد سه فاز دو سطحی است. وقتی کوره القایی شروع به کار می‌کند نوسانات جریان بار را خواهیم داشت که به خاطر وجود راکتور مولد نوسانات ولتاژ در PCC می‌شود.



شکل ۱- مدار قدرت DSTATCOM سه فاز با بار کوره القایی

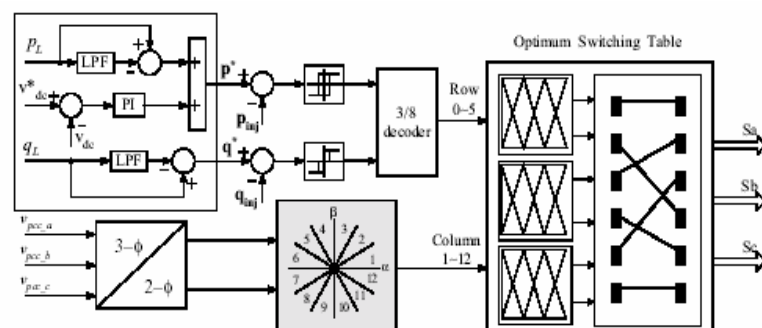
برای جبران نوسانات جریان، روش جریان معمول برای کنترل جریان استفاده می‌شود و تعدیل جریان آلوده کننده برای از بین بردن نوسانات جریان و ولتاژ استفاده می‌شود. روش کنترل مستقیم توان با این روش در تولید مرجع و ساختار حلقه کنترل بسیار متفاوت است. این روش پیشنهادی می‌خواهد مولفه‌های توان حقیقی P و توان موهومی Q را در طرف منبع ثابت نگه دارد.

جدول کلیدزنی مبدل‌های PWM

دو مقایسه گر هیستریزیس برای کنترل بکار می‌روند. توان لحظه‌ای مبدل در داخل محدوده هیستریزیس تغییر می‌کند. بنابراین این روش کنترلی مثل روش شکل موج متوسط است. برای کنترل مبدل‌های PWM از روش dead-beat و بردار فضایی استفاده می‌شود. فرمانهای تریستورها با استفاده از جدول زیر استخراج می‌شوند.

Row	Column											
	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	θ_6	θ_7	θ_8	θ_9	θ_{10}	θ_{11}	θ_{12}
0	$W_{\leq 0}$ $W_{> 0}$	(1,0,1)	(1,0,0)	(1,0,0)	(1,0,0)	(0,1,0)	(0,1,0)	(0,1,1)	(0,1,1)	(0,0,1)	(0,0,1)	(1,0,1)
1	$W_{\leq 0}$ $W_{> 0}$	(1,0,0)	(1,1,0)	(1,1,0)	(0,0,0)	(0,0,1)	(0,1,1)	(0,0,1)	(0,0,1)	(1,0,1)	(1,1,1)	(1,0,1)
2	$W_{\leq 0}$ $W_{> 0}$	(1,1,0)	(0,1,0)	(0,1,0)	(0,1,1)	(0,1,1)	(0,0,1)	(1,0,1)	(1,0,1)	(1,0,0)	(1,0,0)	(1,1,0)
3	$W_{\leq 0}$ $W_{> 0}$	(1,1,1)	(0,0,1)	(0,0,0)	(1,0,1)	(1,1,1)	(1,0,0)	(0,0,0)	(1,1,0)	(1,1,1)	(0,1,0)	(0,1,1)
4	$W_{\leq 0}$ $W_{> 0}$	(1,1,1)	(0,0,0)	(0,0,0)	(1,1,1)	(1,1,1)	(0,0,0)	(0,0,0)	(1,1,1)	(1,1,0)	(0,0,0)	(0,0,0)
5	$W_{\leq 0}$ $W_{> 0}$	(0,1,1)	(0,0,0)	(0,0,1)	(1,1,1)	(0,0,0)	(0,0,0)	(1,0,0)	(1,1,1)	(1,1,0)	(0,0,0)	(0,1,0)

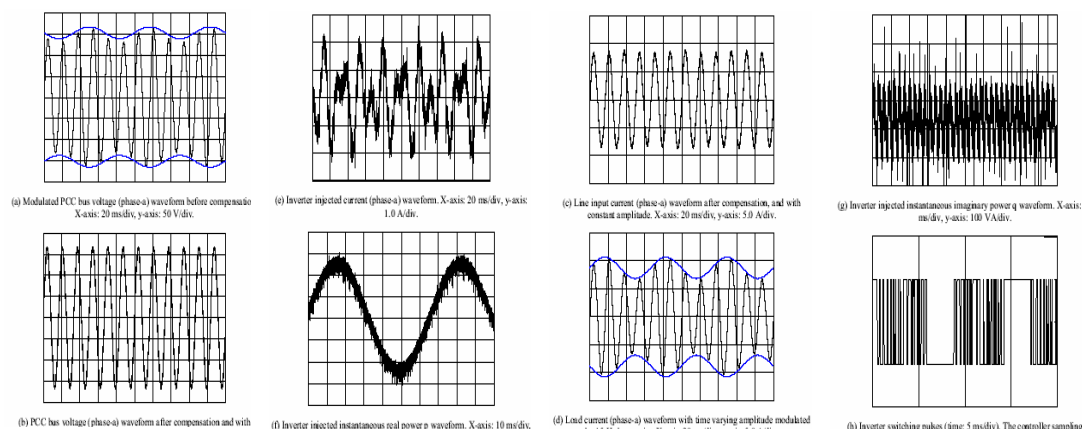
مدار استنتاج سیگنالهای کنترلی در روش کنترل مستقیم توان در شکل زیر دیده می‌شود.



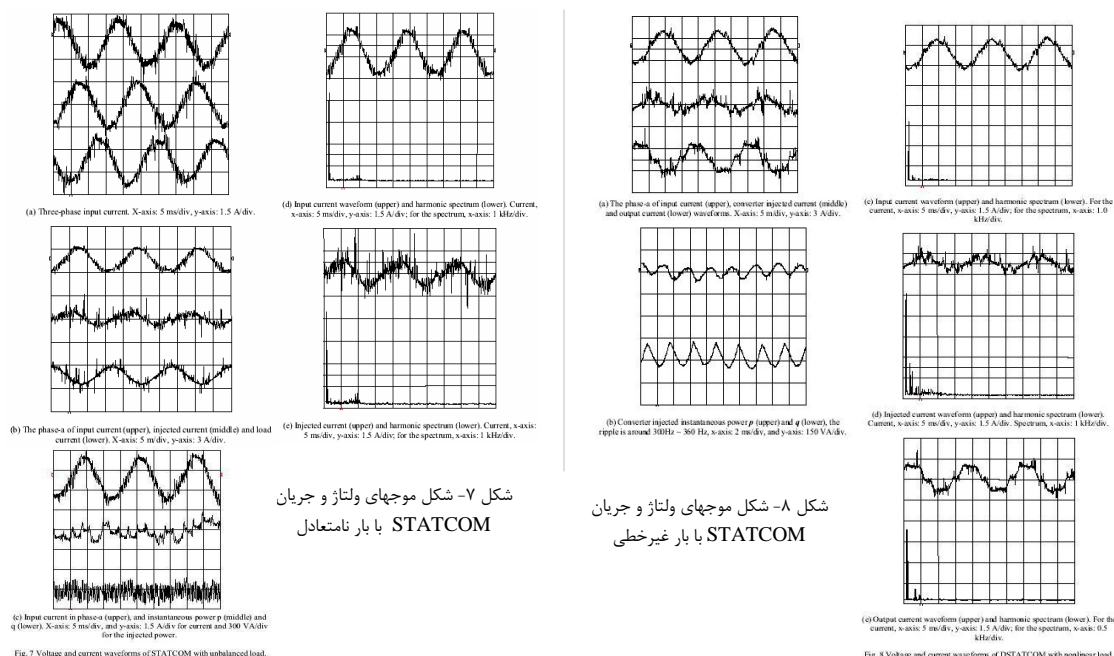
شکل ۵- بلوک دیاگرام کنترل، مستقیم توان DSTATCOM سه فاز؛

نتایج شبیه‌سازی:

DSTATCOM موازی با بار به شبکه وصل شده است. تلفات کلیدزنی از طریق خط تامین می‌شود و نیازی به منبع dc خارجی نیست. برای جبران‌سازی فلیکر ولتاژ اندازه DSTATCOM به راکتانس خط و اندازه نوسانات بار بستگی دارد. برای نوسانات شبیه سازی شده با یک منبع ۱۵ هرتز نتایج شبیه سازی قبل و بعد از جبران‌سازی در شکل ۶ دیده می‌شوند. نتایج آزمایش با بارهای نامتعادل سه فاز در شکل ۷ دیده می‌شود.



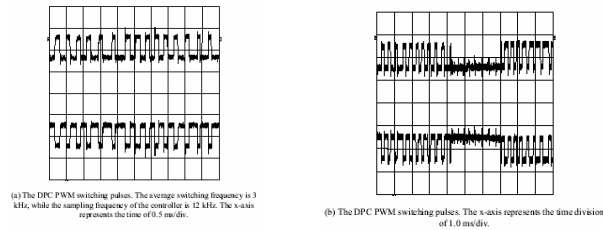
شکل ۶-جبران‌سازی فلیکر ولتاژ بوسیله کنترل مستقیم فون



شکل ۷- شکل موجهای ولتاژ و جریان STATCOM با بار نامتعادل

شکل ۸- شکل موجهای ولتاژ و جریان STATCOM با بار غیرخطی

نتایج آزمایش DSTATCOM با بار غیر خطی (یکسوساز پل دیودی) در شکل ۸ نشان داده شده است. دیده می‌شود که جریان منبع سینوسی می‌ماند و هارمونیک‌های مورد نیاز بار را DSTATCOM تولید می‌کند. پالسهای فرمان کلیدزنی برای روش کنترل توان مستقیم در شکل ۹ دیده می‌شود.



شکل ۹- پالسهای فرمان کلیدزنی برای روش کنترل توان مستقیم

همانطور که نشان داده شد با ترکیب کنترل ولتاژ شین dc و جریان خط روش حلقه ای مرکبی به دست آمده است که پاسخ دینامیک سریعی دارد. محدوده کنترل جریان از روشهای مرسوم بیشتر است بعلاوه سیستم مناسب روش کنترل توان حقیقی و موهومی بدون تزویج است.

۲) بهبود کیفیت توان با استفاده از DSTATCOM و سیستم ذخیره انرژی

گسترش اتوماسیون در صنایع مدرن و تجدید ساختار نیازمندیهای کیفیت توان را تغییر داده اند. کامپیوتر و تجهیزات کنترل فرایند و همچنین مبدل‌های محرکها به سینوسی نبودن ولتاژ خط حساس هستند. Sag و ولتاژ، آشفته‌گی هارمونیک، فلیکر و قطعی تغذیه معمولترین مشکلات هستند. در اینچنین مواقعی که تجهیزات معمول نمی‌توانند مشکلات را حل کنند. اینورتر PWM سری و موازی به نامهای DSTATCOM و DVR معرفی می‌شوند. با این وسایل به همراه یک منبع ذخیره انرژی حتی قابلیت انعطاف در عملکرد و برنامه ریزی سیستم برای صنایع و مصرف کنندگان بیشتر می‌شود. در این بخش کاربرد DSTATCOM با ذخیره انرژی با جزئیات بحث شده و سپس سیستم کنترل سطح مبدل وسیله که قادر به جبرانسازی سریع توان راکتیو می‌کند طراحی شده است. سیستم پیشنهادی با نرم افزار NETOMAC شبیه سازی شده است.

همچنین ممکن است یک وسیله ذخیره انرژی مثل باتریهای شیمیایی و چرخ هرزگرد یا SMES از طریق DVR یا DSTATCOM به سیستم وصل شود. این تجهیزات باید به یک خازن DC وصل شوند. در این بخش روی مزایای استفاده از ذخیره ساز انرژی به همراه DSTATCOM بحث می شود. اگر نیاز بار فقط در ساعاتی از روز از ظرفیت ترانسفورماتور تغذیه یا توان انتقالی بیشتر می شود توان حقیقی مورد نیاز اضافی می تواند به وسیله یک اصلاحگر توان تامین گردد. علاوه بر این اگر اصلاحگر توان به صورت کامل برای شارژ و دشارژ استفاده نشده باشد می تواند برای جبران سازی توان راکتیو استفاده شود. تکنولوژیهای جدید می تواند برای به تعویق انداختن یا اجتناب از سرمایه گذاریهای بزرگ برای بهینه کردن هزینه مصرف انرژی استفاده می شود.

مناطق استفاده

یکی از راههای امکان پذیر برای کنترل بار این است که انرژی را در ساعات کم مصرف ذخیره کرده و در ساعات پر مصرف انرژی ذخیره شده را به سیستم باز گردانیم. DSTATCOM با استفاده از ESS (سیستم ذخیره انرژی) برای حل مسائل مختلف شبکه های توزیع مانند تغذیه راه آهن به کار می روند

الف - شبکه توزیع مصرف

استفاده از DSTATCOM با ESS برای مواجهه با پیک بار شبکه مزایای زیادی دارد. مثلاً می تواند برای کاهش پیک توان مورد نیاز به کار رود. این امر وقتی که قیمت انرژی بر حسب بیشترین بار مورد نیاز است یا در ساعات مختلف روز فرق می کند هزینه مصرف انرژی را کاهش می دهد. ذخیره انرژی این جریان انرژی را از ساعات پرمصرف و گرانبه به زمانهای ارزانبه جابجا می کند. کاربرد دیگر ذخیره انرژی بهبود کیفیت توان و جلوگیری از اضافه بار ترانسفورماتور است. مخصوصاً در شبکه هایی با سطح اتصال کوتاه پایین و مقاومت بالا ولتاژهای پایین ممکن است بخاطر بارگذاری زیاد اتفاق بیفتد. در اینجا DSTATCOM به همراه ESS راه حلی است در مقابل راههای دیگر مثل نصب ترانسفورماتور.

ب - کارخانه های صنعتی

مزایای استفاده از DSTATCOM با ESS در صنایع مثل مزایای آن در شبکه های توزیع است اما مزایای دیگری نیز دارد. توان DSTATCOM با ESS در برخی صنایع مثل نساجی یا چسب کافی است تا از توقف فرایند تولید جلوگیری کند. در مورد توقفهای طولانی تر که منبع توان کمکی باید به سرعت وارد مدار شود ترکیب DSTATCOM با ESS و یک واحد دیزل می تواند راه حل مناسبی باشد.

ج- شبکه تغذیه راه آهن

اگر به عنوان مثال فاصله فاصله بین راه آهن از یک شبکه تکفاز یا سه فاز به زنجیره نسبتاً طولانی وصل شود قطارهای با شتاب ممکن است افت ولتاژهای جدی در زنجیره و همینطور در شبکه به وجود آورند. این امر ممکن است به خروج بعضی از بارها در شبکه بینجامد. برای جلوگیری از این نوسان ولتاژ DSTATCOM با ESS ممکن است به شبکه وصل شود. علاوه بر توان حقیقی کشیده شده از ذخیره ساز انرژی توان راکتیو می تواند به وسیله DSTATCOM تبادل شود.

بنابراین بهبودهای بزرگ در تغذیه شبکه راه آهن عبارتند از:

- کنترل ولتاژ شبکه با جبرانسازی پیک توان اکتیو مورد نیاز و یا جبرانسازی توان راکتیو با DSTATCOM
- ذخیره موقتی برای قطعی توان در محدوده ۲۰ تا ۳۰ درصد توان کشش
- تغذیه اضافی محدود برای رساندن مسافران به ایستگاه بعدی: در صورت قطع شبکه DSTATCOM در شبکه سه فاز میتواند جریانهای تغذیه را در صورت نیاز متعادل کند.

سیستم کنترل برای جبرانسازی سریع توان حقیقی

در بسیاری از موارد کاربرد DSTATCOM تبادل سریع توان حقیقی لازم نیست ولی در مواقع خاصی کنترل سریع توان حقیقی بسیار در کاربرد این وسیله در شبکه موثر است مثلاً در جبرانسازی دینامیک بارهای بزرگ مثل دستگاههای جوش

الف) سیستم کنترل وات-وار بدون تزویج

به منظور استفاده در سیستم کنترل روش کنترل وات-وار کلاسیک توضیح داده می شود. این سیستم از دو کنترل کننده PI تشکیل شده است. i_d^* و i_q^* مقادیر مرجع جریانهای اکتیو و وراکتیو هستند. V_I و V_P ضرایب حلقه های

$$x_d' = \frac{\omega_B}{L} (v_d' - e_d') ; \quad x_q' = -\frac{\omega_B}{L} e_q' \quad (5)$$

$$x_d' = \left(V_P + \frac{V_I}{p} \right) (i_d^* - i_d') - \omega i_q' \quad (6)$$

$$x_q' = \left(V_P + \frac{V_I}{p} \right) (i_q^* - i_q') + \omega i_d' \quad (7)$$

بلوک دیاگرام کامل سیستم در شکل ۲ دیده می شود. کنترل وقتی بهینه است با توجه به شاخص مربع خطای

$$F(s) = \frac{i_d(s)}{i_d^*(s)} = \frac{i_q(s)}{i_q^*(s)} = \frac{V_I + sV_P}{V_I + s\left(\frac{R\omega_B}{L} + V_P\right) + s^2} \quad (8)$$

$$V_{Popl} = V_{Pmax} ; \quad V_{lopt} = V_{Imax} \quad (9)$$

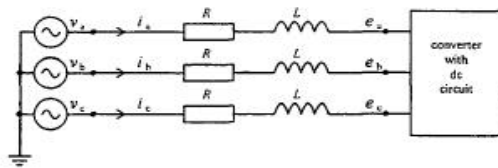
دینامیک V_P و V_I ماکزیمم باشند.

V_I و V_P می توانند به دست آیند.

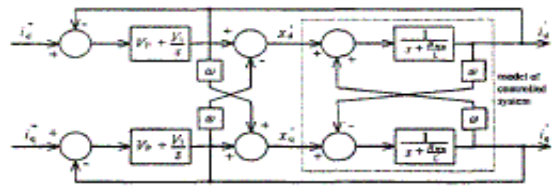
$$V_I = \frac{R' \omega_B}{L'} V_P \quad (10)$$

$$F(s) = \frac{V_P}{V_P + s} \quad (11)$$

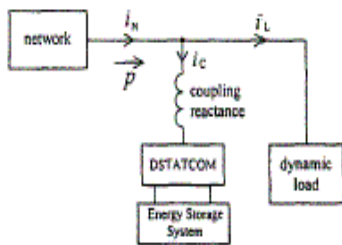
$$V_P = \frac{1}{T} ; V_I = \frac{R' \omega_B}{L'} \frac{1}{T} \quad (12)$$



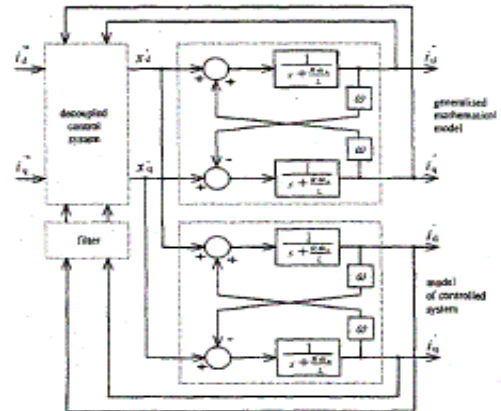
شکل ۱- دیاگرام مدار معادل مبدل متصل به سیستم



شکل ۲- بلوک دیاگرام مبدل متصل به سیستم



شکل ۳- مدار معادل DSTATCOM و سیستم ذخیره انرژی متصل به شبکه



شکل ۴- بلوک دیاگرام سیستم کنترل

ب- سیستم کنترل بدون تزویج اصلاح شده

در سیستم بالا معادلات با فرض ایده آل بودن مبدلها به دست آمده اند و مقادیر آنلاین مولفه های اصلی فرض شده اند. در حالی که در واقعیت جریان فیلتر می شود و مولفه های اصلی با کمی تاخیر محاسبه می شوند. این روش بر پایه همان مدل عمومی است که در شکل ۳ داده شده است که یک حلقه پیشبین^۳ اضافه شده است. در خروجی مقادیر مرجع در محورهای d و q محاسبه شده اند.

^۳ - predictive

نتایج شبیه سازی

سیستم پیشنهادی در محیط شبیه سازی NETOMAC آزمایش شده است. DSTATCOM با ESS به وسیله یک منبع ولتاژ کنترل شده و متصل به یک شبکه ۴۰۰ ولتی با یک راکتانس مدل شده است. منبع DC با یک منبع ولتاژ با قابلیت جذب توان اکتیو مدل شده است. بار به وسیله یک بار اهمی که با یک کلید ۵ بار قطع و وصل می شود مدل شده است. نتایج در شکل ۵ دیده می شوند.

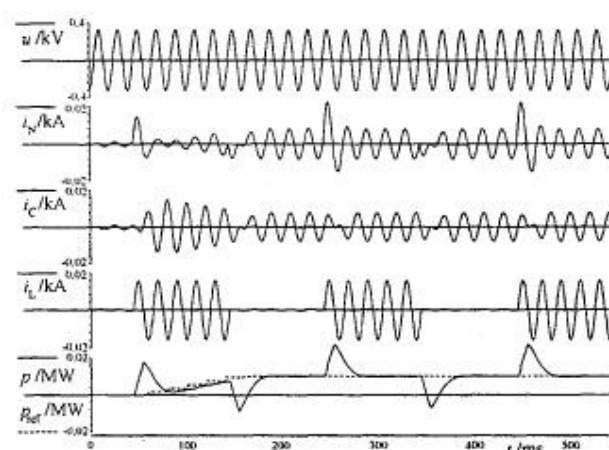


Fig. 5. Traces of some characteristic values of supply network using DSTATCOM with Energy Storage System

۳) جبران سازی بار با DSTATCOM در شبکه های ac ضعیف

در این بخش درباره جبران سازی بار با استفاده از DSTATCOM بحث می شود. فرض شده است که DSTATCOM مربوط به باری است که از منبع دور است. نشان داده شده است که عملکرد یک DSTATCOM که در آن موقعیت به یک منبع سخت وصل شده است باعث آشفتگی در ولتاژ و جریان منبع در نقطه اتصال به شبکه^۴ (PCC) می شود. برای جلوگیری از آن DSTATCOM به موازات یک خازن فیلتر که به مولفه های فرکانس بالا اجازه عبور می دهد وصل شده است. این اگر چه روشهای کنترل می طلبد که کنترلهای استاندارد مانند کنترل هیستریزیس مناسب این امر نیستند. در این مباحث یک طرح جدید کنترل کلید زنی پیشنهاد و مناسب بودن آن را برای

⁴ - point of common coupling

این مسئله اثبات میشود. همچنین روشی ارائه می‌شود که مولفه های اصلی توالی سیگنالهای سه فاز از نمونه های آن محاسبه می شود. کارایی کلی این روش پیشنهادی با استفاده از شبیه سازی کامپیوتری مشخص شده است.

اگر DSTATCOM به درستی استفاده شود می تواند اثرات زیر را حذف کند:

۱- اثر ضریب توان پایین در بار تا آنجا که جریان کشیده شده از منبع، ضریب توان ۱ داشته شود.

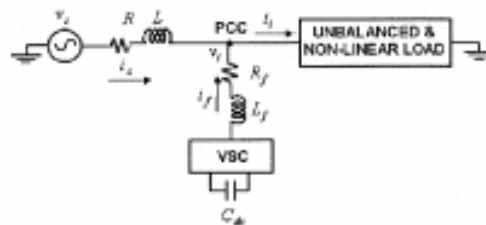
۲- اثر هارمونیک در بار تا آنجا که جریان کشیده شده از منبع نزدیک به سینوسی شود.

۳- اثر بار نامتعادل تا آنجا که جریان کشیده شده از منبع متعادل شود.

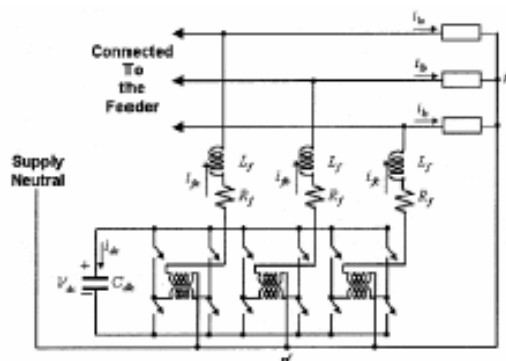
۴- اثر افست dc در بار تا آنجا که جریان کشیده شده از منبع افست نداشته باشد.

در این قسمت درباره DSTATCOM که قادر به حذف ۳ اثر نخست است حتی وقتی که سیستم تغذیه ac ضعیف باشد بحث می شود.

یکی از مسایل اصلی در کاربرد DSTATCOM تولید جریانه های جبران ساز منبع است. جبران ساز وقتی که تغییرات در جریانه ها را دنبال می کند جریانه های سه فازی در سیستم تزریق می کند تا اغتشاشات ناشی از بار را حذف کند. بنابراین تولید چنین جریانه های مرجعی با استفاده از متغیرهای محلی مورد علاقه محققین بوده است. این روش یک فرض برای ساده سازی انجام می دهد و آن این است که فرض می کند ولتاژ PCC با تزریق جریان تغییر نمی کند و منبع سخت است، اما این فرض نمی تواند درست باشد.



شکل ۱- دیاگرام تک خطی جبران سازی شنت یک بار



شکل ۲- ساختار جبران سازی بکار رفته که در آن سه VSC مجزا از یک مخزن خازنی تغذیه می شوند

در این بخش فرض می‌شود یک منبع متعادل یک بار نامتعادل را از طریق یک فیدر طولانی تغذیه می‌کند. ضریب توان ممکن است پایین باشد و ممکن است جریان هارمونیک داشته باشد. جبرانسازی طوری طراحی می‌شود که نه تنها آشفستگی‌ها را از بین می‌برد بلکه کیفیت ولتاژ PCC را نیز بهبود می‌بخشد. جبران‌ساز پسیو برای همین منظور است.

ارزیابی راندمان DSTATCOM

الف - ساختار DSTATCOM

DSTATCOM مفروض شکل ۲ از سه مبدل منبع جریان (VSC) پل H متصل به یک خازن ذخیره انرژی dc تشکیل شده است. هر VSC از طریق یک ترانسفورماتور به شبکه متصل است. کاربرد این ترانسفورماتور این است که خازن dc از طریق کلیدهای VSC های مختلف اتصال کوتاه نشود. اندوکتانس L_f برای اندوکتانس نشی ترانسفورماتور و اندوکتانس خارجی است. تلفات کلید زنی اینورتر و تلفات مسی اتصالات ترانس با R_f مدل شده است. از تلفات آهنی صرف‌نظر شده است. برای بار ستاره نقطه زمین ترانسها به سیم نول وصل شده است.

مشکل استفاده از یک اینورتر پل سه فاز آماده این است که جمع جریانها در آن صفر است. اما اینجا ما نیاز داریم که DSTATCOM از هر شاخه‌اش جریان متفاوتی را عبور دهد. این شکل با استفاده از سه اینورتر تکفاز پل H حل می‌شود. باید توجه شود که به خاطر وجود ترانس این توپولوژی برای حذف مولفه dc در بار مناسب نیست. برای این منظور یک مبدل ۴ شاخه و روشهای کنترلی دیگری مورد نیاز است که در [6] توضیح داده شده است.

ب) راندمان DSTATCOM

در این مبحث از روش تولید جریانهای مرجع در [4] و [5] استفاده می‌شود. این روش تضمین می‌کند که :

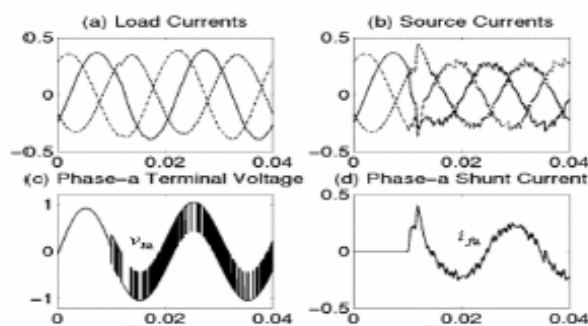
$$1- \text{ جمع جریانهای منبع صفر است. } i_{sa} + i_{sb} + i_{sc} = 0$$

۲- سیستم ترکیبی بار و جبران‌ساز ضریب توان ۱ خواهند داشت. یعنی اختلاف زاویه بین جریان منبع و ولتاژ ترمینال صفر است. منبع فقط توان حقیقی مورد نیاز بار را تامین می‌کند. $v_{ta}.i_{sa} + v_{tb}.i_{tb} + v_{tc}.i_{sc} = PL_{av}$ جبران‌سازی نوسانات توان مورد نیاز برای بار غیر خطی نامتعادل با متوسط صفر را تامین می‌کند. دقت کنید که ضریب توان منبع بخاطر وجود امپدانس خط شاید صفر نباشد.

کاربرد مستقیم این روش بخاطر کلیدزنی اینورتر ما را دچار مسئله هارمونیک در PCC خواهد کرد. در مثال ۱ شکل 3-a جریان بار را نشان می‌دهد که نامتعادل است و جبران‌ساز در پایان نیم سیکل وقتی که متوسط توان را محاسبه کرد

وارد مدار می شود. کنترل هیستریزس وقتی که جریان از حدی بالاتر می رود ولتاژ را به سطح پایین سوئیچ می کند و برعکس.

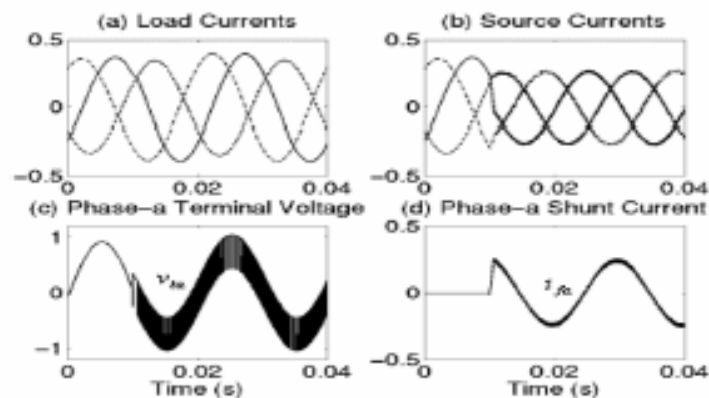
در شکل 3-b جریان منبع بعد از وصل جبران ساز شده است. دلیل این امر این است که جریان تزریق شده دارای هارمونیکهای بالا است. این جریانهای هارمونیکی وقتی به فیدر تزریق می شوند ولتاژ ترمینال را خراب می کنند. حالا چون ولتاژ ترمینال سینوسی نیست طرح تولید جریان مرجع که براساس این ولتاژ است درست جواب نمی دهد. در نتیجه جریان جبران ساز خطا دار می شود و این باعث تزریق هارمونیک بیشتری در فیدر می شود.



شکل ۳- دیاگرام تک خطی جبران ساز موازی در حضور یک فیلتر خازنی

شکل 3-c نشان می دهد که جبران ساز اگر چه نامتعادلی را از بین برده است اما هنوز هارمونیک زیادی در ولتاژ ترمینال دیده می شود. شکل 3-d جریان تزریق شده را نشان می دهد. این مثال نشان می دهد که روش بالا بطور مستقیم نمی تواند اعمال شود. بنابراین مولفه اصلی ولتاژ ترمینال باید بصورت آنالین استخراج شود. این الگوریتم فرض می کند که سیگنالهای ولتاژ نمون ای گسسته ای در فاصله های زمانی مساوی هستند. این نمونه ها سپس به شکل مولفه های متقارن آنی تبدیل می شوند و با استفاده از تبدیل فوریه گسسته مولفه های متقارن استخراج می شوند.

در مثال ۲ می بینیم که هارمونیکهای جریان منبع از بین رفته است ولی ولتاژ ترمینال همچنان هارمونیکهای بالا



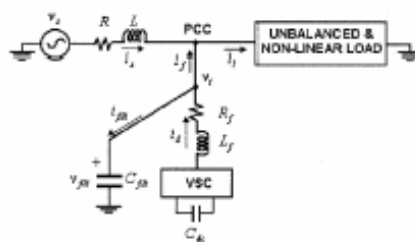
شکل ۴ جبران سازی قابل اغماض اما ولتاژ نامطلوب سیستم

دارد.

DSTATCOM برای منابع غیر سخت

الف) ساختار DSTATCOM برای حذف هارمونیکهای ولتاژ ترمینال

باید جریان هارمونیک فیلتر شود. برای این یک فیلتر خازنی برای هارمونیکهای بالا قرار می‌دهیم. شکل ۶ نشان می‌دهد که جریان منبع فاز a به محض وارد شدن جبران‌ساز همگرا می‌شود. برای این حالت کنترلر هیستریزس مثل یک کنترل تناسبی با بهره بزرگ است. برای سیستم درجه یک مثل این DSTATCOM باعث ناپایداری نمی‌شود ولی بر نوسانات سیستم تاثیر منفی می‌گذارد. بنابراین باید روش دیگری برای کنترلر این سیستم طراحی شود.



شکل ۵- دیاگرام تک خطی یک جبران‌ساز موازی در حضور یک فیلتر خازنی

ب) کنترل DSTATCOM

۱- کنترل تناسبی:

با فرض کنترل پذیری u یک کنترل LQR می‌تواند برای این مسئله طراحی شود.

$$J = \int_0^{\infty} \{ (\dot{x} - \dot{x}_{ref})^T Q (\dot{x} - \dot{x}_{ref}) + u^T R u \} dt$$

$$Q = \text{diag}([10 \ 0 \ 1 \ 0])$$

با تعریف ضریب راندمان J و محاسبه Q و R و با حل معادله ریکاتی حالت ماندگار و سپس محاسبه بهره ماتریس فیدبک $k = [13.8 \ 4.7 \ 8.0 \ -2.3]$ می‌توان کنترل مناسب را طراحی کرد. برای پرهیز از پیچیدگی ترکیب سیگنالها برای تولید جریان مرجع ماتریس را بصورت $k = [13.8 \ 4.7 \ 8.0 \ 0]$ می‌گیریم.

۲- کنترل کلید زنی:

برای این امر سیگنال گسسته تولید می‌کنیم که فقط شامل اعداد +۱ و -۱ باشد. یک مشخصه مهم کنترل LQR تلورانس ورودی آن است. برای این منظور باید از غیر خطی بودن ورودی در بازه ۰/۵ و ۲ محدود شود. وقتی خطاها بزرگ است و کنترل بین اعداد +۱ و -۱ است بهره k باید کوچک شود. مقدار کنترل کلیدزنی +۱ وقتی LQR مثبت و

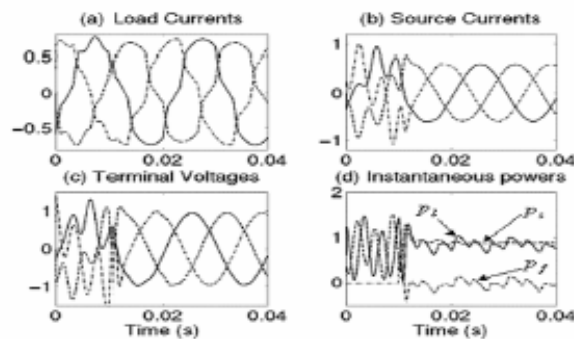
۱- وقتی LQR منفی است می باشد. برای مسئله همگرایی هر چقدر k به سمت بینهایت و R به سمت صفر میل کند همگرایی نمایی کنترل تناسبی بهتر خواهد شد. برای مسئله دنبال کردن بعد از یک حالت گذرای اولیه به سمت سیگنال مرجع همگرا می شود.

۳- محاسبه مرجع ها:

مولفه اصلی توالی مثبت ولتاژ ترمینال را بدست می آوریم. سپس می توانیم هر دو مرجع ولتاژ ترمینال و جریان خازن فیلتر را محاسبه کنیم.

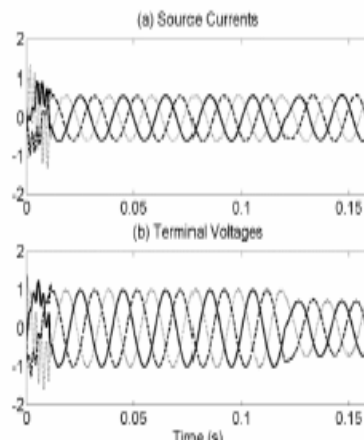


شکل ۸- کنترل فیدبکی با یک عنصر غیر خطی در مسیر مستقیم



شکل ۹- جبران سازی یک بار هارمونیک هنگامی که جبران ساز شامل یک فیلتر خازنی است

چنان که می بینیم هم جریان منبع و هم ولتاژ ترمینال بعد از یک حالت گذرای کوتاه بدون هارمونیک خواهند بود. مقادیر ماتریس k با استفاده از مقادیر فاز a محاسبه می شود و متعاقباً برای فازهای دیگر استفاده می شود. پارامترهای بار برای فازهای مختلف متفاوت است ولی این الگوریتم برای تغییرات پارامترهای بار مقاوم است.

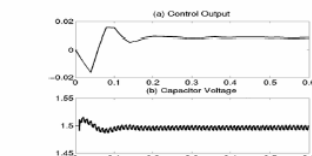


شکل ۱۰- پاسخ سیستم به تغییرات پارامترهای فیدر

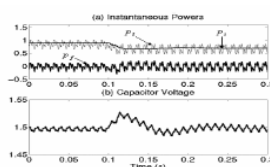
کنترل خازن DC

قبلا بحث شد که DSTATCOM با یک منبع DC استفاده می شود. در عمل از یک خازن DC استفاده می کنند. همچنین فرض کردیم که جبران ساز بدون تلفات است که فرض درستی نیست. تلفات سوئیچینگ و ترانسفورماتورهای اتصال می خواهند خازن را دشارژ کنند که باعث خلل در دنبال کردن مرجع می شود. همچنین لازم است که ولتاژ ذخیره شده در خازن در حدود مورد انتظار باشد. بنابراین لازم است یک مدار تغذیه اضافی برای جبران تلفات خازن طراحی کنیم. برای این منظور یک مدار PI برای جبران هرگونه دشارژ خازن استفاده می شود. فرض شده است خازن تا $1/5$ پر یونیت شارژ شده و مقدار مرجع آن همینقدر است. شکل ۱۱ نشان می دهد بعد از یک حالت گذرای اولیه ولتاژ خازن به مقدار مطلوبش می رسد. زمان تثبیت آن $0/3$ ثانیه است.

برای تحقیق اثر تغییر بار در سیستم جبران ساز بار RL به یکباره به مقدار داده شده تغییر می کند. هارمونیکهای جریان بار بدون تغییر می مانند. حتی اگر توان بار در چند سیکل تثبیت شود توان منبع و توان جبران ساز زمان بیشتری طول می کشد تا تثبیت شود. ولتاژ خازن در $0/15$ ثانیه تثبیت می شود.



شکل ۱۱- سیگنال کنترل و ولتاژ dc خازن هنگامی که سیستم از شرایط اولیه صفر شروع می شود



شکل ۱۲- تغییرات در ولتاژ خازن و توان لحظه ای با تغییر بار

در این قسمت درباره جنبه های مختلف تصحیح نامتعادلی بار و آشفستگی در یک شین ac ضعیف با استفاده از DSTATCOM بحث می شود. نشان داده شده که برای شینهای ac ضعیف DSTATCOM ممکن است آشفستگی در جریان خط و یا ولتاژ PCC وارد کند. آشفستگی جریان خط با استفاده از مولفه اصلی ولتاژ

PCC در معادلات حاکم از بین می رود اما آشفستگی ولتاژ نمی تواند بدون اضافه کردن یک فیلتر موازی با DSTATCOM از بین برود. اگر چه اضافه کردن این فیلتر خازنی مسئله دنبال کردن مرجع را پیچیده تر می کند. برای حل این مسئله یک طرح کنترلی پیشنهاد شده که به استخراج سیگنالهای مرجع بستگی دارد. طرح تولید جریان مرجع همراه استخراج مولفه اصلی ولتاژ PCC مرجع این کنترل کننده را تشکیل می دهد.

طرح کنترلی پیشنهادی بر مبنای متوسط گیری لغزنده نیم سیکل است. این طرح زمان تثبیت کمتری برای استخراج مرجع نسبت به متوسط گیری سیکل به سیکل دارد. در نتیجه کمیت های سیستم سریعتر تثبیت می شوند.

مراجع:

- 1- Using Static Compensators(D-STATCOMs) to Extend the Capability of Voltage-Limited Distribution Feeders - Stewart Ramsay\Patrick E.Cronin
- 2- Field Demonstration of a Distribution Static Compensator Used to Mitigate Voltage Flicker - James R.Clouston\James H.Gurney
- 3- Power Quality Improvement Using Distribution Static Compensator with Energy Storage System - I.Papic
- 4- Dynamic Performance of PWM STATCOMs Operating under Unbalance and Fault Conditions in Distribution Systems – Su Chens \ Geza Joos \ Luis T.Moran