

عملکرد ریز شبکه قدرت با بهره گیری ادوات UPQC با روش منطق فازی

رضا محمدی^۱، سید ایمان سیدی^۲، احد سلیمی^۳

^۱ دانشکده مهندسی برق، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زرین دشت، زرین دشت، ایران. Rezam6584@gmail.com

^۲ دانشکده مهندسی برق، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زرین دشت، زرین دشت، ایران SI.Sayedi@iau.ac.ir

^۳ دانشکده مهندسی برق، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زرین دشت، زرین دشت، ایران ahad.salimi60@gmail.com

چکیده

از عمومی ترین مسائل در توزیع توان، بهبود کیفیت ریز شبکه و توسعه شبکه های هوشمند است. بسیاری از کاربردهایی که در سطح ریز شبکه اجرا می شوند را می توان به عنوان عملگرهای شبکه هوشمند در نظر گرفت. در این مقاله، دو استراتژی کنترلی مختلف برای بهسازی یکپارچه کیفیت توان ارائه و پیاده سازی شده اند. استراتژی کنترلی اول با استفاده از روش منطق فازی و استراتژی کنترلی دوم با استفاده از کنترل کننده تناسبی انتگرالی در سیستم انرژی ریز شبکه پیاده سازی شده است. ریز شبکه با بهره گیری از این روش، به دنبال ردیابی اختلالات شبکه هوشمند و بهبود کیفیت سیستم با انعطاف پذیری بالا است. در انتها، نتایج عملکرد کنترل کننده منطق فازی پیشنهادی را با کنترل کننده تناسبی انتگرالی مرسوم و کنترل کننده پیشبین مدل مقایسه می کنیم.

کلمات کلیدی

بهسازی یکپارچه کیفیت توان، کیفیت توان، فیلتر، کنترل منطق فازی، ریز شبکه.

۱. مقدمه

در گذشته، پرداختن به مسائل کیفیت برق و توان ارسالی به مشترکین چندان مهم نبود و تنها پایداری ریزشیکه شبکه با توجه به تغییر بار حائز اهمیت بود. دلیل آن، توقع پایین مشترکین از این انرژی بود چرا که کاربرد آن بیشتر در زمینه روشنایی بوده است. صنایع نیز از تجهیزاتی که با منبع انرژی دیگر تامین می شدند استفاده می کردند. طبعاً وابستگی مشترکین نیز به این انرژی چندان نبوده و کیفیت توان پایین تأثیر کوچکی در زندگی داشته است. صنایع نیز مشابه مشترکین خانگی، نیاز چندان به تأمین انرژی از طریق برق نداشتند. با گذشت زمان و پیشرفت صنایع و ساخت وسائل مختلف که توسط این انرژی تأمین می شدند، اهمیت کیفیت انرژی ارسالی هم به مشترکین و هم به صنایع سازنده تجهیزات بیشتر شد. به طور مثال با ساخت موتورهای الکتریکی توان راکتیو قابل ملاحظه ای توسط آنها مصرف می شد و جریان راه اندازی آنها سبب افت ولتاژ می گردید.

همچنین با گسترش شبکه ها و استفاده از ترانسفورماتورها و مسئله به اشباع رفتن آنها تولید هارمونیک ها در شبکه افزایش یافت. این موارد سبب ناپایداری، تلفات و افت ولتاژ برای مصرف کننده ها و غیره در شبکه شدند و مشترکین و صنایع را تحت تأثیر قرار دادند. با گسترش شهرها و تولید برق در خارج آنها و افزایش فاصله بین مراکز تولید برق و مصرف کننده ها مسائلی مانند، ظرفیت انتقال توان توسط خطوط انتقال نیرو اهمیت یافت. با جبران توان راکتیو در محل بار و جلوگیری از انتقال آن در خطوط انتقال، ظرفیت انتقال توان افزایش یافت.

امروزه، با ساخت لوازم مختلف که توسط این انرژی تأمین می گردند و تبدیل انرژی های مصرفی به شکل برق و گسترش شبکه ها، مسائل دیگری پدید آمدند. ابزاری که توسط مبدل های الکترونیک قدرت کار می کنند و موتورهایی که سرعتشان کنترل می گردد (محرکه های الکتریکی) از سوئیچ هایی در مبدلشان استفاده می شود که منجر به تولید هارمونیک در جریان و نامتعادلی در ولتاژ می شوند.

جهت برآوردن کیفیت توان مطلوب به یک دستگاه حساس و جلوگیری از متأثر شدن توان ارسالی به آن از هرگونه اغتشاش شبکه و یا فیدر تغذیه کننده آن، ساخت ادواتی با نام Custom Power گسترش یافته است. با توجه به تأثیرپذیری سیستم حساس به نوع اغتشاش و براساس هدف، جبرانگر خاص آن طراحی می گردد. تنها جبرانگری که می تواند تا حدودی کلیه اغتشاشات را همزمان جبران نماید، بهساز یکپارچه کیفیت توان (UPQC) است که مورد بحث این پروژه نیز می باشد.

UPQC توانایی غلبه بر نامتعادلی بار و یا ولتاژ و همچنین حذف هارمونیک های ولتاژ و جریان و تامین توان راکتیو بار را دارد. UPQC دارای کنترل های مختلفی است که هرکدام از آنها دارای نقاط قوت در یک یا چند مورد می باشند. نامتعادلی نیز سبب به وجود آوردن توالی منفی در ولتاژ می گردد. توالی منفی سبب وارد آمدن نیروی برخلاف شار مغناطیسی گردان در موتورها شده و لرزش و صدا و بهره برداری دربار پایین تر را به همراه دارد. توان راکتیو نیز موجب کاهش قابلیت انتقال توان در خطوط و احاطه بخشی از توان تولیدی در ژنراتورها می گردد.

همچنین با ساخت وسایلی که به کیفیت توان حساس هستند نیاز است که انرژی ارسالی به آنها استانداردهای مطروحه در مورد کیفیت توان را رعایت نماید. این استانداردها هرگونه نامتعادلی، هارمونیک، افت یا افزایش ولتاژ را شامل می شوند. معمولاً دلایل تغییر در اندازه ولتاژ، کلیدزنی در شبکه قدرت، راه اندازی موتورهای پرتوان در همان فیدر تغذیه، یا اتصال با توجه به افزایش طول فیدرهای تغذیه کننده است.

۲. اصول اجرایی ساختار پیشنهادی

باید در نظر داشت که مهم ترین بخش در موضوع مرتبط با توزیع توان، اصلاح کردن کیفیت در بخش شبکه قدرت و هم چنین گسترش توسعه شبکه هوشمند را شامل می شود. طیف وسیع و گسترده کاربرد متنوع که در بخش مرتبط با سطح شبکه قدرت پیاده سازی خواهند شد در حقیقت نمونه ای از مدل عملکرد در بخش شبکه هوشمند به حساب می آید. بدین منظور، دو روش و شیوه کنترل گوناگون به منظور بهبود مناسب و دقیق کیفیت توان مورد شبیه سازی قرار می گیرد. در ابتدا روش کنترل با به کارگیری منطق فازی (FL) و هم چنین شیوه کنترل بعدی با به کارگیری کنترلر تناسبی-انترگرالی (PI) در یک مجموعه انرژی شبکه قدرت شبیه سازی می شود. باید در نظر داشت که سیستم پیشنهادی با مدنظر قرار دادن شیوه کنترل، با هدف پیدا کردن اختلالات شبکه هوشمند و بهبود کیفیت سیستم با انعطاف پذیری بالا است. مرحله بعدی، نتیجه های مرتبط با کارکرد مناسب کنترلر مرتبط با منطق فازی (FLC) پیشنهادی را با کنترل کننده تناسبی-انترگرالی مرسوم مورد ارزیابی قرار می گیرد.

مسئله کیفیت تغذیه مرتبط با بخش توانی در سیستم مدنظر با علت های گوناگونی قابلیت این را دارند که دچار مشکل شود. مشکلاتی که در حقیقت به علت وجود داشتن قطعه های الکترونیکی حاضر در بخش شبکه قدرت می باشند، دربرگیرنده اعوجاج و هم چنین هارمونیک در بخش رفتار بدست آمده از پارامتر ولتاژ، افزایش دمای بخش های مختلف، کارکرد نامناسب در بخش سیستم حفاظتی، جریان خنثی گسترده تر از حد استاندارد، چشمک زدن (فلیکر)، خواندن نادرست واحدهای اندازه گیری و ... می شوند. در نتیجه ان قابل ذکر است که نبود کارکرد دقیق به طریق گوناگون مشاهده خواهند شد. در ادامه مشتری های مصرفی برق احتمال دارد دچار قطعی برق، کاهش ولتاژ، فلیکر و هارمونیکها و عدم تعادل ولتاژ شوند. در بخش ریزشیکه قدرت نیز، قابل ذکر است که سیستم محلی تامین توان را شامل می شوند که تشکیل شده از تولید های پراکنده، بارالکتریکی، بخش ذخیره سازی برای توان، قطعات بازیابی حرارت و هم چنین قطعات الکترونیک قدرت است. اخیراً، به کارگیری فراوان از منابع انرژی جایگزین (AES) با دلیل ویژگی های مناسب

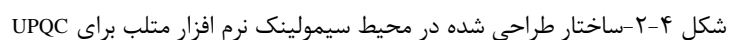
اقتصادی و زیست محیطی شان در ارتباط با با نیروگاه های بزرگ سنتی، به سرعت در حال رشد استمیزان مناسب بهینه سازی در یک شبکه توزیع سالم به وسیله استاندارد اروپایی EN ۵۰۱۶۰ و معیارهای IEEE تعریف شده است.

اکثر موارد مشاهده شده برای AES مانند انرژی نو مثل سلول خورشیدی، سیستم توربین بادی و هم چنین سلول سوختی، از یک دامنه ولتاژ با فرکانس نمونه ۵۰ هرتز تولید نمی شود، در نتیجه میتوان ذکر کرد که آن دستگاه الزام به وجود ارتباط مفید با هدف اصلاح و رگولاسیون دقیق توان AC دارند. گسترش فراوان میکروگرید قدم دیگر به منظور تامین الزامات مرتبط با گسترش انرژی برق و تامین کیفیت خدمات است. میکروگرید سیستم قدرتی شامل می شود که این توانایی را دارد به وسیله یکپارچه سازی دستگاه های هوشمند به طور مشابه شیوه کنترل پیشرفته و مخابرات دیجیتال، آشفتگی های مختلف بر روی شبکه برق را به سرعت تشخیص دهد، تجزیه و تحلیل کند و اقدام مناسب در قبال شان انجام دهد. نمونه تجهیزات هوشمند منجر به تولید شبکه قدرت دارای قابلیت منعطف شدن و آسیب ناپذیر کمک می کنند. بهینه ساز یکپارچه کیفیت توان از مهم ترین روش جدید می باشد که این توانایی را دارد با هدف اصلاح کیفیت توان در شبکه قدرت مورد کاربرد قرار بگیرد، به علاوه قابل ذکر می باشد میکروگرید در حقیقت شامل مشخصه بالایی از قابلیت اعتماد، انعطاف پذیری مناسب، تنوع و به صورت دینامیکی قابل کنترل باشد. باید در نظر داشت با کنترل کردن مناسب سیستم قدرت به منظور تبدیل کردن انرژی نمونه از تجهیز هوشمند با هدف بهره برداری از مجموعه چه در حالت اتصال به شبکه با سطح ولتاژ کمتر و چه با تغییر حالت کاری بدون اختلال، در حالت جدا از شبکه می دهند.

باید در نظر داشت که مد کاری اتصال به شبکه قدرت، مجموعه بخش ریزشبه به طور گسترده در حالت کنترل جریان ثابت برای ارائه توان پیش-تنظیم به نیروگاه سیستم قدرت کار می کند.

مهم ترین ویژگی ساختار بهینه سازی انرژی، در حقیقت شامل دو مبدل DC/AC به طور دقیق کنترل شده را شامل می شود که به صورت پشت به پشت اتصال داده می شوند. مد کاری، با در نظر گرفتن ساختار کنترلی، مبدل این احتمال وجود دارد که اهداف مرتبط با جبران سازی متفاوتی داشته باشند. به طور نمونه می توان ذکر کرد، این قابلیت را دارند نمونه ای از فیلتر اکتیو در دو بخش سری و موازی با هدف جبران سازی توان به طور زمان مشخص جریان الکتریکی بار و نوسانات ولتاژ منبع عمل کنند. در حقیقت ادوات UPQC دربرگیرنده تجهیزات با اهداف گوناگونی می باشند که این قابلیت را دارند به طور تقریبی همه ایرادات مرتبط با کیفیت توان به طور مثال موضوع هارمونیک و هم چنین نبود تعادل مناسب بین فازها، فلیکر ولتاژ، کاهش یا بیشبود ولتاژ و ... را جبران کند. امروزه موضوع اصلاح کاهش یا افزایش ولتاژ الکتریکی به کارگیری از تجهیزات UPQC می شود. دلایل اصلی وقوع کاهش یا افزایش ولتاژ الکتریکی، میتوان به تغییرات لحظه ای جریان خط عبوری از امپدانس منبع است. به تبع آن قابل بررسی است، افزایش مقدار به اندازه مقدار کاهشی آن پدید نمی آید ولی تاثیر های گسترده افزایش ولتاژ می تواند مخرب تر از کمبود باشد. به طور نمونه، مقدار ولتاژ بالاتر از استاندارد در زمان وقوع افزایش ولتاژ، احتمال دارد به علت خرابی قطعه های الکتریکی یا تجهیزات شود. معنی و کاربرد منطق فازی، در حقیقت به کارگیری از علم کیفی در سیستم قدرت با هدف کنترل یک متغیر عملی می باشد. در سیستم مرتبط با کنترل پردازشگر، روش مشخص کنترل فازی از آگاهی و تجربه بهره بردار بهره گیری می کند. به منظور انجام پروسه کنترل، الزام به مدلسازی دقیق ریاضی برای نیروگاه برق وجود ندارد، در نتیجه آن شیوه مورد نظر به منظور پروسه مورد نظر که در آن مدل ناشناخته و یا بد تعریف شده است و به خصوص با دینامیک نامشخص و یا پیچیده به کار رفته شده است، به خوبی مناسب است. اجرای کامل نمونه یک کنترلر هوشمند برای ادوات UPQC که در سیستم قدرت به کار گرفته شده است، الگو مناسب و جدیدی در این کار شامل می شود. یک ادوات UPQC در حالت اتصال به شبکه قدرت، با هدف بررسی و آنالیز دقیق انعطاف پذیری و آسیب پذیری سیستم مرتبط انرژی ریزشبه ارائه شده است. به کارگیری مناسب از کنترلر هوشمند ادوات UPQC نمونه ای از ادوات هوشمند، کارکرد و هم چنین میزان کیفیت توان در سیستم انرژی ریزشبه را می توان بهبود بخشید. در ادامه به تحلیل و آنالیز شیوه کلی از کارکرد تجهیزات UPQC، روش های کنترلی و هم چنین استفاده منطق فازی در بخش کنترلی UPQC می پردازیم. در بخش پایانی هم نتیجه های حاصل شده در شبیه سازی و مقایسه بیان خواهد شد.

به کارگیری مناسب از تجهیزات UPQC به سیستم انرژی شبکه قدرت اتصال شده که شامل موارد AES مختلف متصل شده به سیستم شبکه برق است. نحوه دقیق از ساختار UPQC در شکل (۴-۱) مشاهده می شود. هم چنین باید در نظر داشت که UPQC توانایی بهبود دادن میزان کیفیت توان در مکان نصب در بخش سیستم انرژی شبکه قدرت و هم چنین سیستم های برق صنعتی می باشد. در ادامه جریان الکتریکی منابع، به طور سینوسی می باشند و هم چنین زاویه های فاز منطبق پایه می باشند.



The circuit diagram shows a voltage source v_s in series with a dependent current source i_{sh} . The dependent current source is controlled by the voltage v_{sr} across a resistor Z . The current i_s flows from the voltage source, and the current i_l flows through the resistor Z .

۴

$$v_s + v_{sr} = v_l$$

به منظور دستیابی به میزان ولتاژ بار سینوسی متعادل با مقدار دامنه ثابت V ، ولتاژ خروجی APF سری می بایست مطابق معادله زیر محاسبه شود:

$$v_{sr} = (V - V_{1p}) \sin(\omega t + \theta_{1p}) - v_{1n}(t) - \sum_{k=2}^{\infty} v_k(t) \quad (1-1)$$

فیلتر اکتیو APF به صورت موازی نمونه ای از منابع جریانی کنترل شونده به گونه ای مناسب رفتار می کنند و پارامتر متناسب باخروجی آن می بایست دربرگیرنده مولفه های هارمونیک، توانراکتیو و توالی منفی باشند تا قادر باشند که این مقادارهای را در جریان بار، جبران نمایند. در این هنگام، جریان خروجی APF موازی، i_{sh} برابر با مولفه ای از بار که طبق رابطه زیر تعریف می شود، نگه داشته می شود:

$$(2-1)$$

$$i_1 = I_{1p} \cos(\omega t + \theta_{1p}) \sin \phi_{1p} + i_{1n} + \sum_{k=2}^{\infty} i_{1k}$$

$$\phi_{1p} = \phi_{1p} - \theta_{1p} \quad (3-1)$$

مشاهده می شود که در معادله ذکر شده، پارامتر ϕ_{1p} برابر با فاز اولیه جریان توالی مثبت است.

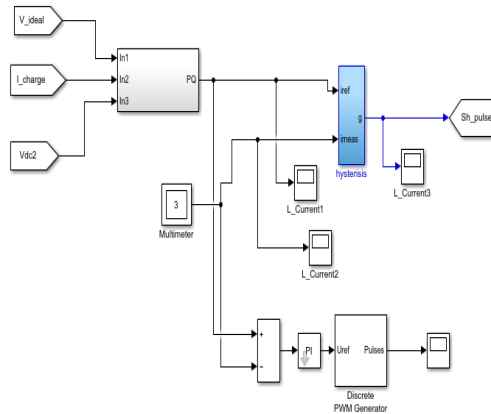
باید در نظر داشت که پارامتر مرتبط با جریان هارمونیک، توان راکتیو و مقدار منفی مرتبط با منبع توان وجود ندارند. در نتیجه آن، مقدار جریان منبع ترمینال، یک موج سینوسی عاری از هارمونیک است و زاویه فازش برابر با زاویه فاز ولتاژ در ترمینال بار است.

$$i_s = i_l - i_{sh} = I_{1p} \sin(\omega t - \theta_{1p}) \cos \phi_{1p} \quad (4-1)$$

روش مطلوب کنترل UPQC

روش مطلوب به کار رفته برای کنترل، به چندین مورد شامل شیوه مدنظر کنترل موازی، استراتژی کنترل سری و کنترل خازن DC تقسیم می شود. عملکرد هر یک در ادامه آورده شده است

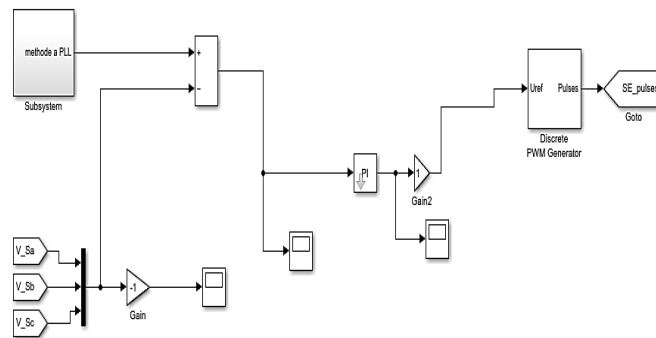
فیلتر توان اکتیو موازی، با توجه به الزام شبکه قدرت، پارامترهای جریان الکتریکی و هم چنین توان راکتیو را به طور مناسب جبران سازی می کند. هم چنی این نوع از فیلتر، نمونه ای از منبع جریان الکتریکی کنترل شونده پیاده سازی می شوند به گونه ای که میتوانند جریان بار به طرز مطلوب جبران کنند تا در مرحله بعد جریان الکتریکی کشیده شده از سیستم قدرت، نوع سینوسی، و متعادل و هم فاز با ولتاژهای توالی مثبت سیستم باشد. مشاهده می شود که در شکل (۴-۴) نیز، مجموعه به کار رفته به منظور کنترل موازی UPQC در این پایان نامه نشان داده شده است. مطابق ساختار پیشنهادی، پارامترهای ولتاژ و جریان پایه، مرحله نخست به بخش مرجع pq منتقل داده خواهند شد و هم چنین با پارامترهای اندازه گیری شده ارزیابی می شوند و سپس در مرحله بعد سیگنال کنترلی موازی SH_PULSES را تولید می کنند.



شکل ۴-۴- اصول اجرای مهم کنترلر بخش موازی UPQC در SIMULINK

بخش مرتبط کنترل کننده سری

در بخش مربوط به فیلتر برای توان اکتیو قسمت سری، نیز موضوع جبران سازی پارامتر ولتاژ تهیه می شود. در حقیقت این مدل فیلتر، ولتاژ نوع جبران ساز ایجاد خواهد کرد بعد از مکمل و ترکیب مبدل PWM و سپس تزریق شدن به طریق سری به ولتاژ تغذیه، ولتاژ در نقطه اتصال مشترک (PCC) ۱ را وادار خواهد کرد به شکل سینوسی و متعادل باشد. بیان کردن نوع کنترل سری PI پیاده شده در سیمولسینک متلب در شکل (۴-۵) نشان داده شده است. مطابق با نحوه بیان شده میتوان دید که نوع ورودی PI، تفاوت میزان کم در سیستم حلقه قفل شده فاز (PLL) ۲ و مقادیر مرجع است. به کارگیری مفید از بخش خروجی PI نمونه ای از ورودی بخش ایجاد شونده سیگنال مدولاسیون عرضی پالس (PWM) ۳، سیگنال کنترلی سری SE_PULSES تولید می شود.



شکل ۴-۵- بخش مرتبط با کنترل سری در شیوه مدنظر کنترل کننده PI

¹ Point of Common Coupling

² Phase Locked Loop

³ Pulse Width Modulation

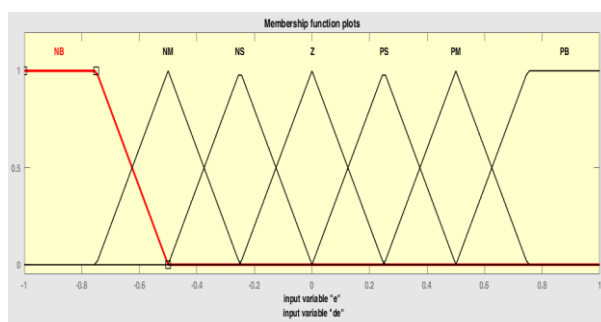
اجرای دقیق منطق فازی در UPQC

باید در نظر داشت که کنترلر مبتنی بر منطق فازی، میتواند شیوه کنترلی زبانی ۴ را به روش کنترلی خودکار اصلاح کند. در حقیقت قاعده های بر اسا منطق فازی نیز با توجه به مجموع اطلاعات تجربی و علمی افراد خبره ساخته می شوند. مشاهده می شود بخش نخست، $e(t)$ خطا و $\Delta e(t)$ اختلاف خطا، به نمونه ای از سرعت زاویه ای در متغیرهای ورودی FLC قرار داده شده اند. در مرحله بعد نیز متغیر خروجی FLC به وسیله ولتاژ کنترلی $u(t)$ مشخص شده است. پژوهش مربوطه، موتور استنتاج فازی Mamdani انتخاب شده است. متغیرهای زبانی بصورت NB، NS، Z، PS، PM و PB تعریف می شوند که به ترتیب به معنی منفی بزرگ، منفی کوچک، صفر، مثبت کوچک و مثبت بزرگ هستند. توابع عضویت $e(t)$ و $\Delta e(t)$ در شکل (۴-۸) نشان داده شده اند. سازوکار استنتاج فازی مورد استفاده در این تحقیق توسط رابطه (۴-۷) داده شده است و قواعد فازی در جدول (۴-۱) خلاصه شده اند.

$$\mu_{\beta}(u(t)) = \max_i^m \left[\mu_{A1j}(e(t)); \mu_{A2j}(\Delta e(t)); \mu_{Bj}(u(t)) \right] \quad (۵-۱)$$

خروجی فازی $u(t)$ می تواند با روش جداسازی فازی مرکز ثقل طبق ... محاسبه شود:

$$u(t) = \frac{\sum_{i=1}^m \mu_{\beta}(u_i(t)) u_i}{\sum_{i=1}^m \mu_{\beta}(u_i(t))} \quad (۶-۱)$$



شکل ۴-۸- توابع عضویت FLC

جدول ۴-۱- جدول تصمیم گیری FCL

u	e						
	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
Δe	PB	Z	PS	PM	PB	PB	PB
	PM	NS	Z	PS	PM	PB	PB
	PS	NM	NS	Z	PS	PM	PB
	Z	NB	NM	NS	Z	PS	PM
	NS	NB	NB	NM	NS	Z	PS
	NM	NB	NB	NM	NM	NS	Z
	NB	NB	NB	NB	NB	NM	NS

⁴ Linguistic

⁵ Membership

با توجه به آن چیزی در جدول (۴-۱) قابل مشاهده می باشد، هر طیفی از پارامتر ورودی به هفت مجموعه از توابع عضویت بخش بندی می شوند: منفی بزرگ (NB)، منفی متوسط (NM)، منفی کوچک (NS)، صفر (Z)، مثبت کوچک (PS)، مثبت متوسط (PM) و مثبت بزرگ (PB). در مجموع ۴۹ قانون ۱۳ وضع شده است. هم چنین شکل (۴-۹) هم به بیان پارامترهای ورودی و به علاوه خروجی کنترل کننده منطق فازی در نمایش پوسته ای ۱۴ نشان داده شده اند.

۳- تجزیه و تحلیل نتایج خروجی

پژوهش پیش رو، شیوه های مرتبط با کنترل نوین مبتنی بر منطق فازی بیان شده برای UPQC اتصال داده شده به شبکه قدرت، بکار گیری شده در نرم افزار متلب بخش سیمولینک اجرا شده اند. در بخش شبیه سازی صورت گرفته در سیستم مختلف اجرا خواهند شد. در حقیقت پارامتر مرتبط با ولتاژ الکتریکی سیستم معادل $220V-430V$ (خط به خط) و امپدانس های سیستم برابر 1Ω و $1mH$ است. هم چنین میزان دقیق بار الکتریکی غیر خطی یک یکسوساز با مقاومت $2/5\Omega$ و اندوکتانس $3/5mH$ در سمت DC است. استراتژی دقیق کنترل مرتبط با اینورتر بخش سری، نیز مدولاسیون پهنای پالس سینوسی (SPWM)^{۱۰} شامل می شود و هم چنین اینورتر بخش موازی، در استراتژی کنترلر جریان الکتریکی هیستریزس^{۱۶} است. باید در نظر داشت که میزان دقیق ظرفیت خازن DC برابر با $8/7mH$ و ولتاژ مرجع برابر با $735/6V$ است. داده های ورودی سیستم شبیه سازی پیاده سازی می باشد.

در بخش بعدی شکل های با ترتیب (۴-۱۰) تا (۴-۱۵)، نیز برای خروجی بخش ولتاژ الکتریکی شبیه سازی را بیان می کنند. در ادامه شکل (۴-۱۰)، به بیان جریان الکتریکی منبع در زمان وقوع کاهش ولتاژ الکتریکی نشان می شود. کاهش پارامتر ولتاژ الکتریکی در مدت زمان مرتبط با $0/1$ ثانیه تا $0/2$ ثانیه در منبع ولتاژ رخ می دهد. هم چنین در شکل مرتبط با (۴-۱۱) و (۴-۱۲)، شکل موج ولتاژهای جبران سازی شده در زمان کاهش ولتاژ به وسیله تجهیزات UPQC به ترتیب به وسیله کنترلر مبتنی بر منطق فازی و هم چنین برای کنترل کننده تناسبی انتگرالی نشان داده شده اند در نظر می توان داشت که کنترلر تناسبی انتگرالی کارکرد به مراتب مناسب تری خواهد داشت.

در ادامه روند شکل (۴-۱۳)، بیانگر ولتاژ الکتریکی منبع در زمان وقوع عدم تعادل ولتاژ الکتریکی نشان داده شده است. نامتعادلی ولتاژ در بازه $0/3$ ثانیه تا $0/4$ ثانیه در منبع ولتاژ رخ می دهد. باید ذکر کرد که شکل به ترتیب (۴-۱۴) و (۴-۱۵)، نیز بیانگر شکل موج ولتاژ الکتریکی جبران سازی شده زمان وقوع عدم تعادل ولتاژ به وسیله تجهیزات UPQC به ترتیب با کنترلر فازی و کنترل کننده PI نشان داده شده اند. باید در نظر داشت که کنترلر تناسبی انتگرالی در نوع کاری خود به مراتب کارکرد بهتری دارد.

⁶ Negative Big

⁷ Negative Medium

⁸ Negative Small

⁹ Zero

¹⁰ Positive Small

¹¹ Positive Medium

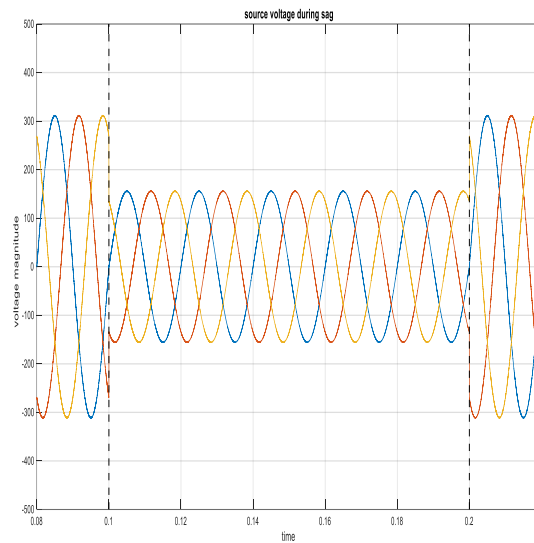
¹² Positive Big

¹³ Rule

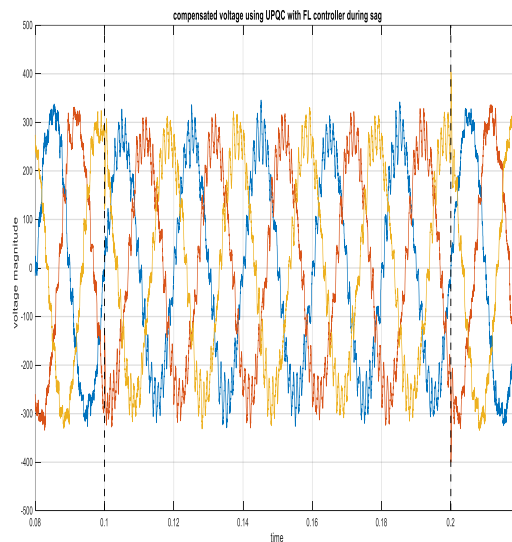
¹⁴ Surface

¹⁵ Sinusoidal Pulse Width Modulation

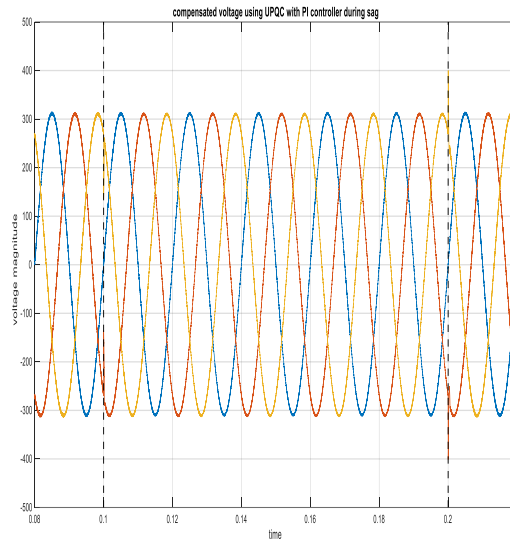
¹⁶ hysteresis current control



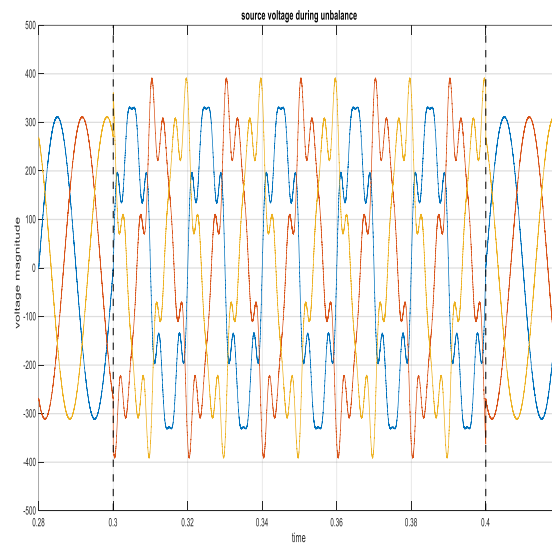
شکل ۴-۱۰- ولتاژ منبع در هنگام بروز کمبود ولتاژ



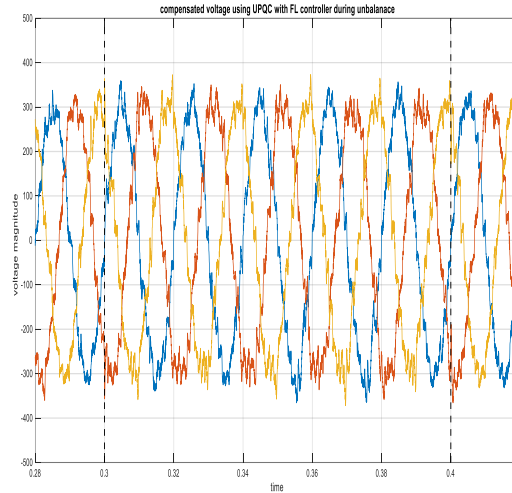
شکل ۴-۱۱- ولتاژ جبران سازی شده در حالت کمبود ولتاژ توسط UPQC با استفاده از کنترل کننده FL



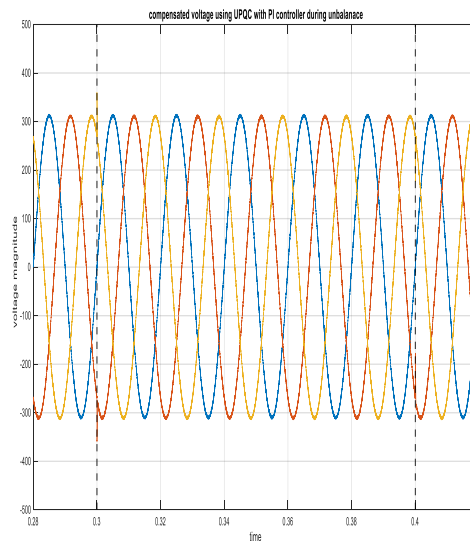
شکل ۴-۱۲- ولتاژ جبران سازی شده در حالت کمبود ولتاژ توسط UPQC با استفاده از کنترل کننده PI



شکل ۴-۱۳- ولتاژ منبع در هنگام بروز نامتعادلی ولتاژ



شکل ۴-۱۴-ولتاژ جبران سازی شده در حالت نامتعادلی ولتاژ توسط UPQC با استفاده از کنترل کننده FL

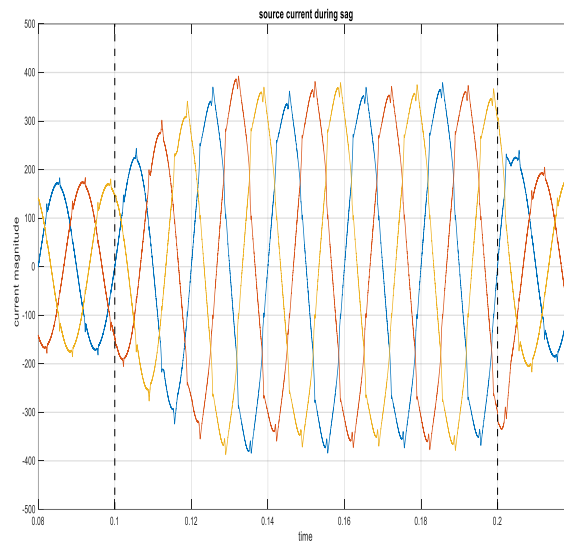


شکل ۴-۱۵-ولتاژ جبران سازی شده در حالت نامتعادلی ولتاژ توسط UPQC با استفاده از کنترل کننده PI

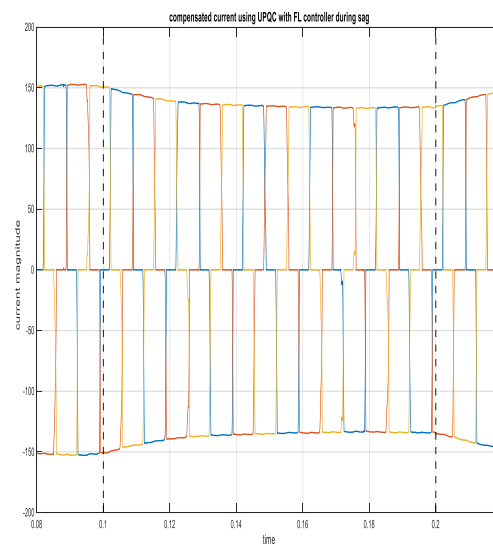
مشاهده می شود که در شکل به ترتیب (۴-۱۶) تا (۴-۲۱)، مولفه های خروجی جریان الکتریکی مورد شبیه سازی قرار گرفته بیان می دارد. هم چنین در مرحله بعد در شکل (۴-۱۶)، نیز مقدار دقیق جریان الکتریکی منبع زمان بروز پدیده افت ولتاژ نشان داده شده است. کاهش ولتاژ الکتریکی در حقیقت در بازه ۰/۱ ثانیه تا ۰/۲ ثانیه در منبع ولتاژ رخ می دهد. باید در نظر داشت که در شکل به ترتیب (۴-۱۷) و (۴-۱۸)، نیز شکل موج جریان جبران سازی شده زمان بروز افت ولتاژ به وسیله ادوات UPQC به ترتیب با به کارگیری کنترلر مبتنی بر منطق فازی و هم چنین کنترلر تناسبی انتگرالی نشان داده شده اند. باید در نظر داشت که کنترلر تناسبی انتگرالی PI عملکرد به مراتب بهتری داشته است.

در ادامه شکل (۴-۱۹)، به بیان جریان الکتریکی بخش منبع زمان وقوع پدیده عدم تعادل ولتاژ نشان داده شده است. عدم وجود تعادلی ولتاژ الکتریکی

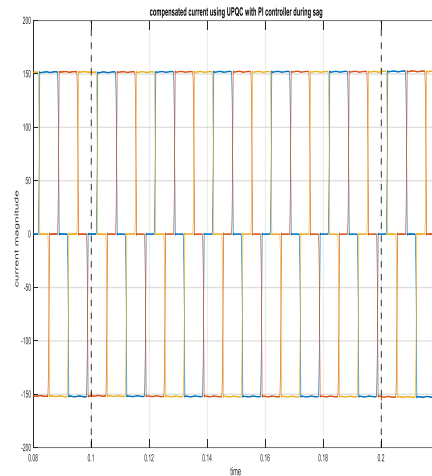
در حقیقت در بازه $0/3$ تا $0/4$ ثانیه در منبع ولتاژ رخ می دهد. در شکل های (۴-۲۰) و (۴-۲۱)، شکل موج جریان های جبران سازی شده در هنگام نامتعادلی ولتاژ توسط UPQC به ترتیب توسط کنترل کننده فازی و کنترل کننده PI نشان داده شده اند. ملاحظه می کنیم که کنترل کننده PI عملکرد به مراتب بهتری داشته است.



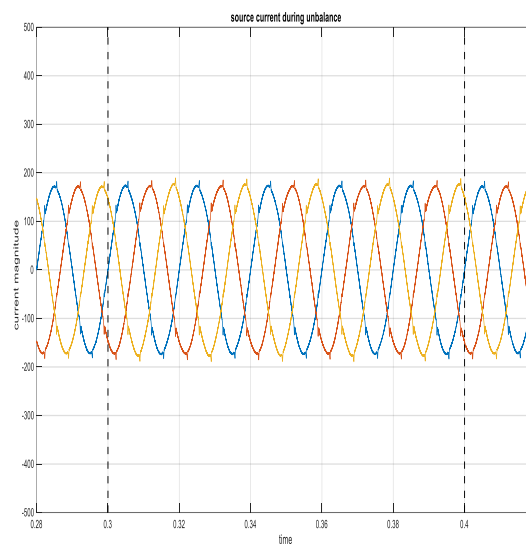
شکل ۴-۱۶-جریان منبع در هنگام بروز کمبود ولتاژ



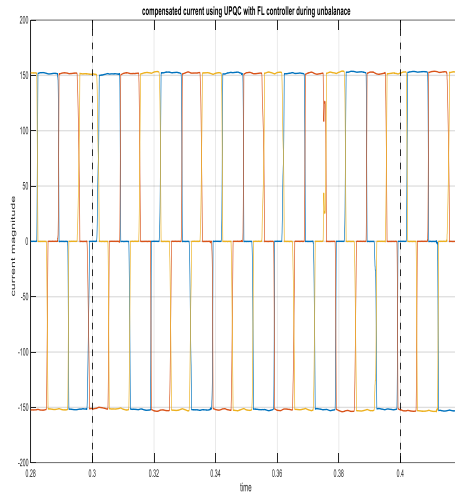
شکل ۴-۱۷-جریان جبران سازی شده در حالت کمبود ولتاژ توسط UPQC با استفاده از کنترل کننده FL



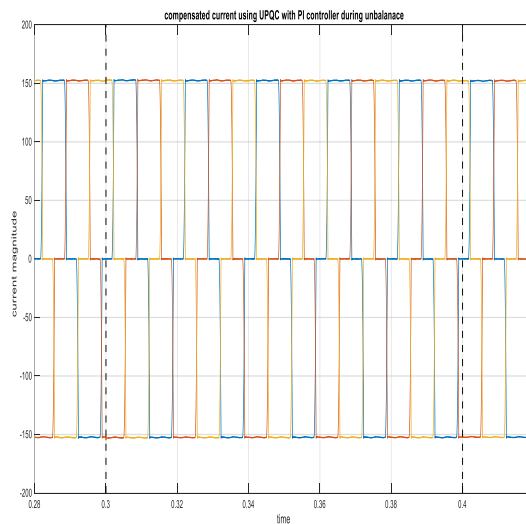
شکل ۴-۱۸- جریان جبران سازی شده در حالت کمبود ولتاژ توسط UPQC با استفاده از کنترل کننده PI



شکل ۴-۱۹- جریان منبع در هنگام بروز نامتعادلی ولتاژ



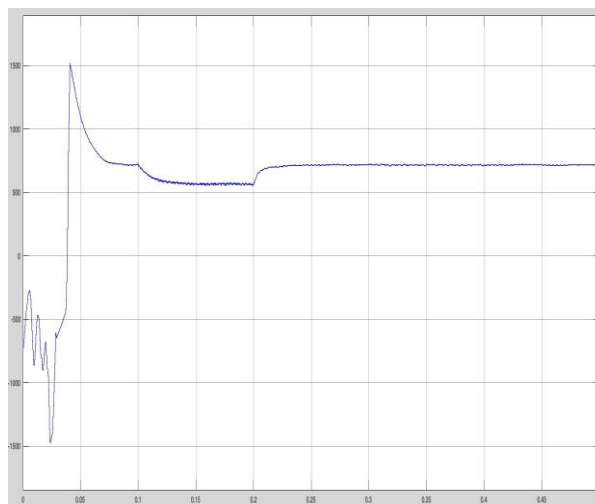
شکل ۴-۲۰ جبران سازی شده در حالت نامتعادلی ولتاژ توسط UPQC با استفاده از کنترل کننده FL



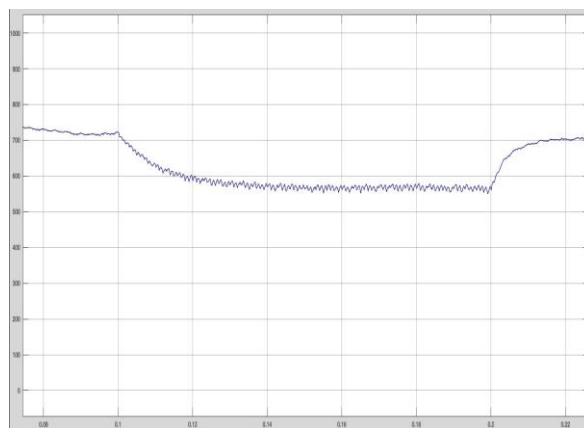
شکل ۴-۲۱ ولتاژ جبران سازی شده در حالت نامتعادلی ولتاژ توسط UPQC با استفاده از کنترل کننده PI

باید در نظر داشت که شکل موج های مرتبط با ولتاژهای لینک DC بهینه ساز یکپارچه بخش کیفیت توان شبیه سازی به کارگیری از دو بخش کنترلر تناسبی انتگرالی PI و هم چنین شیوه کنترلی مبتنی بر منطق فازی در شکل به ترتیب (۴-۲۲) تا (۴-۲۷) بیان می شود. قابل بیان می باشد که مقدار، ولتاژ DC در قسمت کنترل کننده موازی و با استفاده از کنترل کننده PI و اینورتر موازی، کنترل کننده جریان هیستریزس کنترل می شود.

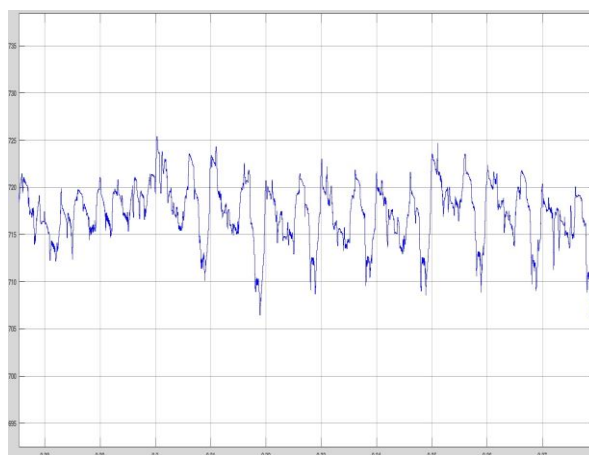
هم چنین شکل (۴-۲۲)، نیز به بیان دقیق خروجی پارامتر موج ولتاژ DC برای کل دوره شبیه سازی برای UPQC با کنترل کننده منطق فازی مشاهده می شود. کمبود ولتاژ در بازه ۰/۱ تا ۰/۲ ثانیه و نامتعادلی در بازه ۰/۳ تا ۰/۴ ثانیه رخ می دهد. در شکل (۴-۲۳) و شکل (۴-۲۴)، نواحی مربوط به دوره کمبود و نامتعادلی برای کنترل کننده FL بزرگ شده اند. در شکل (۴-۲۵)، خروجی موج ولتاژ DC برای کل دوره شبیه سازی برای UPQC با کنترل کننده PI مشاهده می شود. در شکل (۴-۲۶) و شکل (۴-۲۷)، نواحی مربوط به دوره کمبود و نامتعادلی برای کنترل کننده FL بزرگ شده اند.



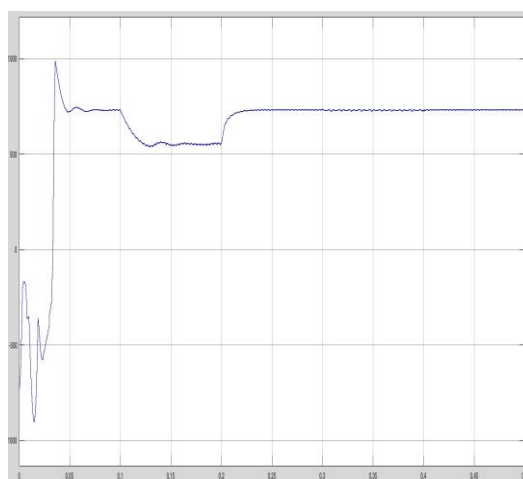
شکل ۴-۲۲-ولتاژ DC کل دوره شبیه سازی UPQC با استفاده از کنترل کننده فازی



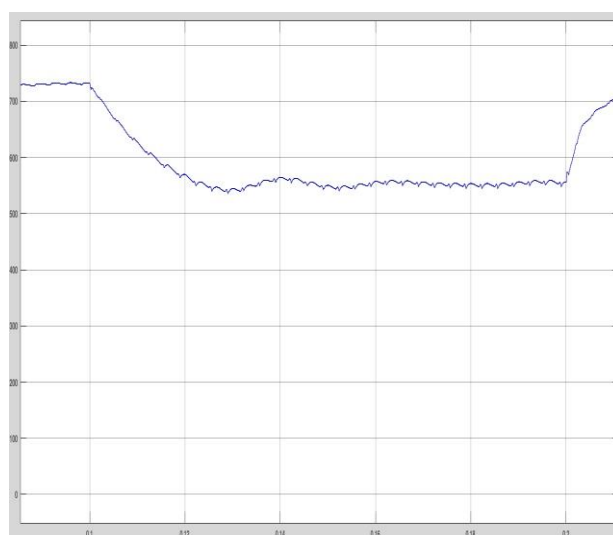
شکل ۴-۲۳-ولتاژ DC حین بروز کمبود ولتاژ در منبع با استفاده از کنترل کننده فازی



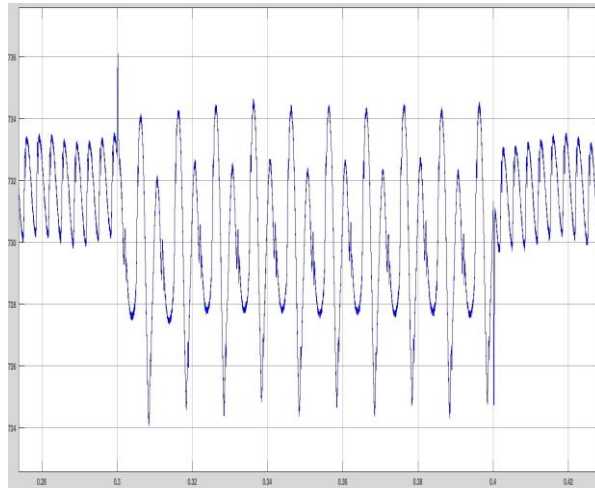
شکل ۴-۲۴-ولتاژ DC حین بروز نامتعادلی ولتاژ در منبع با استفاده از کنترل کننده فازی



شکل ۴-۲۵-ولتاژ DC کل دوره شبیه سازی UPQC با از کنترل کننده PI



شکل ۴-۲۶-ولتاژ DC حین بروز کمبود ولتاژ در منبع با استفاده از کنترل کننده PI



شکل ۴-۲۷- ولتاژ DC حین بروز نامتعادلی ولتاژ در منبع با استفاده از کنترل کننده PI

در بخش آخر به بیان جدول (۴-۲) مرتبط با میزان هارمونیک THD برای هر دو نوع مناسب کنترلر با هدف تحلیل اعوجاج هارمونیک نشان داده شده اند. باید در نظر داشت که میزان برحسب دسی بل هستند در نتیجه هرچه مقدار آن کمتر باشد، کیفیت شکل موج بهتر است. همچنین THD را با یک کنترل کننده پیشبین توزیع شده مورد بررسی قرار گرفته است.

جدول ۴-۲- ارزیابی میان دو کنترل کننده به کار رفته.

کنترل کننده	کنترل کننده	کنترل کننده	ولتاژ منبع	THD(dB)
کنترل کننده PI	کنترل کننده MPC[38]	فازی		
-۱۸/۱	-۱۷/۱	-۱۲/۸	-۱۸/۱	کمبود ولتاژ
-۱۸/۱	-۱۵/۴	-۱۰/۲	-۱۲/۵	نامتعادلی ولتاژ

۱۲. نتیجه گیری

موضوع مهم در این پروژه، تحلیل و طراحی و هم چنین فراهم آوردن بهینه سازی بهینه و مناسب پارامتر کیفیت توان با هدف کم کردن مقدار هارمونیک برای پارامتر ولتاژ الکتریکی و جریان الکتریکی می باشد. در مرحله بعد آنالیز مفهوم مرتبط با پارامتر کیفیت توان، به طور دقیق مورد بررسی قرار گرفته شد. در ادامه نیز به بررسی ساختارهای کنترلی مربوط به UPQC پرداختیم. نیز، دو کنترل کننده مختلف را برای UPQC اعمال کردیم و نتایج را مقایسه نمودیم.

شیوه کنترلر مبتنی بر تناسبی انتگرالی PI و همچنین مبتنی بر منطق فازی FLC با هدف بهبود کیفیت توان، ارائه و شبیه سازی شده اند. برای برخی از مولفه های کلیدی پارامترهای ورودی و خروجی، بحث هایی کردیم. به منظور اجرای همه مشخصات پیاده سازی سیستم، از برنامه MATLAB و محیط SIMULINK استفاده کرده ایم. کارایی کنترل کننده هوشمند جهت اثبات اثرات استفاده از UPQC با راهبرد کنترلی FLC و PI در سطح ولتاژ پایین

بر روی ریزشبه، تست شد. نتایج عملکرد کنترل کننده منطق فازی، FLC و کنترل کننده تناسبی انتگرالی مرسوم، PI را نشان دادیم. همچنین برای مقایسه بهتر این روش کنترل پیشنهادی را با کنترل کننده پیشبین مدل MPC مورد ارزیابی قرار گرفته است. با توجه به نتایج می توان گفت کنترل PI عملکرد بهتری در مقایسه با کنترل فازی و پیشبین داشته است. با توجه به بهبود دقیق کیفیت توان شبکه قدرت توسط کنترل کننده تناسبی انتگرالی، می توان آن به عنوان یک عملگر شبکه هوشمند در نظر گرفت.

۱۲. منابع و مراجع

1. Heidari, Mohammad Amin, Mehdi Nafar, and Taher Niknam. "A Novel Sliding Mode Based UPQC Controller for Power Quality Improvement in Micro-Grids." *Journal of Electrical Engineering & Technology* (2021): 1-11.
2. Rao, T. Eswara, Krishna Mohan Tatikonda, S. Elango, and J. Charan Kumar. "Power Quality Improvement in Microgrid System Using PSO-Based UPQC Controller." *Microgrid Technologies* (2021): 287-307.
3. Heidari, Mohammad Amin, Mehdi Nafar, and Taher Niknam. "A Novel Sliding Mode Based UPQC Controller for Power Quality Improvement in Micro-Grids." *Journal of Electrical Engineering & Technology* (2021): 1-11.
4. Bacon, Vinícius Dário, Sérgio Augusto Oliveira da Silva, and Josep M. Guerrero. "Multifunctional UPQC operating as an interface converter between hybrid AC-DC microgrids and utility grids." *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 136 (2022): 107638.
5. Ni, Fuyin, Songlin Wo, and Zhengming Li. "Coordinated control strategy of UPQC by dynamic collaborative task-solving scheme based on multi-agent system." *Energy Systems* (2021): 1-19.
6. Sarker, Krishna, Debashis Chatterjee, and S. K. Goswami. "A modified PV-wind-PEMFCs-based hybrid UPQC system with combined DVR/STATCOM operation by harmonic compensation." *International Journal of Modelling and Simulation* 41, no. 4 (2021): 243-255.
7. D. Rivas, L. Moran, J. Dixon, J. Espinoza, "A simple control scheme for hybrid active power filter", *IEEE Power Electronics Specialists Conf.*, vol. 2, pp. 991–996, June 2002.
8. F. Z. Peng, H. Akagi, A. Nabae, "A New Approach to Harmonic Compensation in Power Systems ,A Combined System of Shunt Passive and Series Active Filters", *IEEE Trans. Industrial Appl.*, vol. 26, no. 6, pp. 983-990, Dec. 1990.
9. C. A. Quinn, N. Mohan, H. Mehta, "A Four-Wire, Current-Controlled Converter Provides Harmonic Neutralization in Three-Phase, Four-Wire Systems", *IEEE Appl. Power Electronics Conf.*, pp. 841-846, Mar. 1993.
10. Y. Wang, Z. Wang, J. Yang, J. Liu, Z. Fu, Y. Duan, Y. Hua, "A new hybrid parallel active filter", *IEEE 34th Conf. on Power Electronics Specialist*, Vol. 3, pp. 1049- 1054, June 2003.
11. D.Moran, L.Dixon, J.Espinoza,"A Simple Control Scheme fro Hybrid Active Power Filter", *IEE Proceedings of Generation, Transmission and Distribtion*, Vol.149, No.4, July 2002.
12. Yuanjie Rong, Chunwen Li, Qingqing Ding," An adaptive harmonic detection and a novel current control strategy for unified power quality conditioner," *Simulation Modelling Practice and Theory* 17 (2009) 955–966.
13. S. Moran. "A Line Voltage Regulator/Conditioner for Harmonic-sensitive Load Isolation," in *Proc. Ind. Appl. Soc. Annu. Meet. Conf.*, , pp. 947–951, Oct. 1989.
14. V. Khadkikar. "Enhancing Electric Power Quality Using UPQC:A Comprehensive Overview," *IEEE Trans on Power Electron*, vol. 27, no. 5, may. 2012.
15. B. M. Han, B.Bae. "Unified Power Quality Conditioner With Super Capacitor for Energy Storage", *European Trans. on Electrical Power*, vol. 18, pp 327-343, 2007.

16. S. Chakraborty, M.G. Simoes. "Experimental Evaluation of Active Filtering in a Single-Phase High-Frequency AC Micro Grid", IEEE Trans on energy conversion, vol. 24, pp. 673-682, 2009.
17. H.R. Mohammadi, A.Y. Varjani, H.Mokhtari. "Multiconverter Unified Power Quality Conditioning System: MC-UPQC", IEEE Trans on Power Del., vol. 24, no. 3, pp. 1679-1686, Jul, 2009.
18. W.C. Lee, T.K. Lee, D.S. Hyun. "A Fault Protection CHAE "Scheme For Unified Power Quality Conditioners", Power Electronics and Drive Systems, Proceedings, 4th IEEE International Conference., vol. 1, pp 66-71, 2001.
19. M. Aredes." Active Power Line Conditioners", School, Ph.D. Thesis, 1996.
20. L. Zuquan , S. Hongchun, "A Novel Pildm Controller And Its Application In UPQC DC Voltage Control " in Proc. 3rd Int. Conf. Electr. Utility Deregulation Restruct. Power Technol, pp. 1859– 1862, Apr. 6–9, 2008.
21. F. Mekri, M. Machmoum, N.A. Ahmed, B. Mazari. "A Fuzzy Hysteresis Voltage And Current Control Of An Unified Power Quality Conditioner", in Industrial Electronics, IECON 34th Annual Conference of IEEE, pp: 2684 – 2689,2008.
22. R. Liu, N. Xia, X. Wang, "The Research On Fuzzy-PID Control In Unified Power Quality Conditioner" in Proc. 4th IEEE Int. Conf. Ind. Electron. Appl, pp. 821–824,May 25–27, 2009.
23. V. G. Kinhal, P. Agarwal, H.O. Gupta, "Performance Investigation Of Neural-Network- Based Unified Power-Quality Conditioner", IEEE Trans on Power Del., vol. 26, no. 1, pp. 431–437, Jan. 2011.
24. M. Kesler, E. Ozdemir. "Synchronous-Reference-Frame-Based Control Method for UPQC under Unbalanced and Distorted Load Conditions", IEEE Trans on Industrial electronics, vol. 58, no. 9, pp 3967 - 3975, Sep. 2011.
25. F. Ng, M.C. Wong, Y. D. Han, "Analysis And Control Of UPQC And Its DCLink Power By Use Of P-Q-R Instantaneous Power Theory" in Proc. Power Electron. Syst. Appl. pp. 43–53,Nov. 9–11, 2004 H. Dehbonei, "Power conditioning for distributed renewable energy generation," Ph.D. Dissertation, Curtin University of Technology, Perth, Western Australia, 2003.
26. V. Khadkikar, P. Agarwal, A. Chandra, A. Barry, T. Nguyen. "A Simple New Control Technique for Unified Power Quality Conditioner (UPQC)", in Proc. 11th Int. Conf.Harmonics Quality Power, pp. 289–293, Sep. 12–15, 2004
27. H. Shen, J.Wan, C. Yuan, Y. Liu, G. Li. "Harmonic Signal Detection Algorithm In Parallel Of UPQC Studies Based On PSO-FUZZY " in Proc. Asia-Pacific Power Energy Eng. Conf, pp. 1–4, Mar. 27–31.
28. X. Zhang, W. Zhang, Y. Lv, W. Liu, Q. Wang. "Unified Power Quality Conditioner with Model Predictive Control", in Proc. 5th Int. Conf. Comput. Sci. Educ., pp. 1239–1244, Aug. 24–27, 2010.
29. R. Rajasree, S. Premalatha. "Unified Power Quality Conditioner (UPQC) Control Useing Feed Forward (FF)/ Feedback (FB) Controller", in Proc. Int. Conf. Comput., Commun. Electr. Technol. Conf., pp. 364–369, Mar. 18–19, 2011.
30. L. M. Landaeta, C. A. Sepulveda, J. R. Espinoza, C. R. Baier. "A Mixed LQRI/PI Based Control For Three-Phase UPQCs", in Proc. 32nd Annu. Conf. Ind. Electron. Soc., pp. 2494–2499,Nov. 9–10, 2006.
31. S. Chen, G. Joos. "A Unified Series–Parallel Deadbeat Control Technique For An Active Power Quality Conditioner With Full Digital Implementation", in Proc. IEEE 36th Ind. Appl. Soc. Annu. Meet. Ind. Appl. Conf., pp. 172–178. 30 Sep.–4 Oct., 2001.

32. Y.Y. Kolhatkar, R.R. Errabelli, S.P. Das. "A Sliding Mode Controller Based Optimum UPQC With Minimum VA Loading", IEEE Power Engineering Society General Meeting, vol. 1, pp. 871–875, June 2005.
33. L. H. Tey, P. L. So, Y.C. Chu. "Neural Network-Controlled Unified Power Quality Conditioner For System Harmonics Compensation", in Proc. IEEE/PES Transmiss. Distrib. Conf. Exhib., pp. 1038–1043, 2002.
34. Xiangjun L, Yu-Jin S, Soo-Bin H. Study on power quality control in multiple renewable energy hybrid microgrid system, Proc Power Tech. 2007 IEEE. Lausanne; 1-5 July 2007, p. 2000-2005.
35. Georgakis D. Operation of a prototype micro-grid system based on micro-sources equipped with fast-acting power electronics interfaces. Proc Power Electronics Specialists Conference, PESC 04. IEEE 35th Annual vol.4; 2004, p. 2521-2526.
36. Cavalcanti MC, Azevedo GMS, Amaral BA, Neves FAS. A photovoltaic generation system with Unified Power Quality Conditioner functions. 31st Annual Conference of IEEE Indus. Elect. Society; Nov. 6-10, 2005, p. 750-755.
37. Benachaiba, C., Haidar, A.M., Habab, M. and Abdelkhalek, O., 2011. Smart control of UPCQ within microgrid energy system. Energy Procedia, 6, pp.503-512.
38. I. Sayedi, M. H. Fatehi and M. Simab, "Optimal load distribution in DG sources using model predictive control and the state feedback controller for switching control", *Int. Trans. Electr. Energy Syst.*, vol. 2022, pp. 1-16, Mar. 2022.

Improving the power microgrid performance by using UPQC tools with FLC Method

Reza Mohammadi¹, Sayed Iman Sayedi², Ahad Salimi³

1-Department of Electrical Engineering, Zarindasht Branch, Islamic Azad University, Zarindasht, Iran, rezam65842@gmail.com

2-Department of Electrical Engineering, Zarindasht Branch, Islamic Azad University, Zarindasht, Iran, SI.sayedi@iau.ac.ir

3-Department of Electrical Engineering, Zarindasht Branch, Islamic Azad University, Zarindasht, Iran, ahad.salimi60@gmail.com

Abstract— One of the most common issues in power distribution is the improvement of microgrid quality and the development of smart grids. Many applications that run at the microgrid level can be considered smart grid operators. In this thesis, two different control strategies have been presented and implemented for integrated improvement of power quality. The first control strategy is implemented using the fuzzy logic method and the second control strategy is implemented using the integral proportional controller in the microgrid energy system. By using this method, the micro-grid seeks to track the disturbances of the smart grid and improve the quality of the system with high flexibility. Finally, we compare the performance results of the proposed fuzzy logic controller with the conventional integral proportional controller.

keywords: Integrated optimization of power quality, power quality, filter, fuzzy logic control, microgrid