

بهبود کیفیت توان در نیروگاههای بادی با استفاده از UPFC

مهدی هاتف¹، بهزاد تقی پورموزن²، سعید شریفی³ و علیرضا توکلی⁴

¹ مربی، آموزشکده فنی و حرفه ای سما سیاهکل، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد لاهیجان، سیاهکل، ایران، hataf_mehdi@yahoo.com

² مربی، دانشگاه آزاد اسلامی مرکز سیاهکل-سیاهکل - ایران، Taghipoor_behzad@yahoo.com

³ دانشجو کترا، دانشکده برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان، En.saeedsharifi@yahoo.com

⁴ استادیار، دانشکده برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان، Tavakoli@liau.ac.ir

چکیده- امروزه ادوات FACTS در سیستم‌های قدرت از ابعاد متنوعی قابل ارزیابی می‌باشند. این ادوات می‌توانند ابزارهای مطمئنی برای اصلاح کیفیت توان، جبران توان راکتیو، کنترل توان اکتیو انتقالی یک شبکه قدرت باشند. از طرفی با توجه به رشد روزافزون مصرف انرژی الکتریکی و اتصال تولیدات پراکنده به سیستم‌های قدرت، بهره‌برداری از این شبکه و ارائه توان الکتریکی با کیفیت بالا، از مسائل مهم مهندسی برق می‌باشند. در این مقاله، ابتدا مدل کنترلی برای UPFC پیشنهاد می‌شود. سپس مدل منبع ولتاژ چهل و هشت پالسه برای UPFC شرح داده می‌شود. در مرحله بعد تاثیرات اتصال تولید پراکنده به شبکه، بررسی و تحلیل می‌گردد. به منظور عملکرد مطلوب شبکه قدرت از کنترل کننده یکپارچه توان استفاده می‌شود. به نحوی که کنترل کننده UPFC پیشنهادی دارای پاسخ دینامیکی سریع بوده و می‌تواند ولتاژ باس و قدرت انتقالی Q و P سیستم را تنظیم کند. بنابراین برای بهبود تنظیم ولتاژ و جبران سازی توان سیستم قدرت عملکرد مناسبی خواهد داشت. نتایج شبیه سازی که توسط نرم افزار MATLAB/SIMULINK انجام گرفته است، دقت و کارایی این طراحی را در شرایط مختلف نشان می‌دهد.

کلیدواژه- کنترل کننده یکپارچه توان، کیفیت توان، نیروگاه بادی، خطا-UPFC

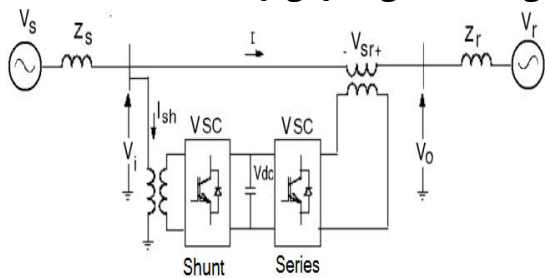
1-مقدمه

کنترل کننده یکپارچه توان، عضوی از خانواده ادوات FACTS می‌باشد که توانایی جبران سازی سری و موازی را بطور همزمان دارا است و بر همین اساس می‌تواند عملکرد استاتیکی و دینامیکی سیستم قدرت را بهبود بخشد [6 و 7]. به عبارت دیگر UPFC دارای این قابلیت منحصر به فرد است که می‌تواند توأمآ کنترل پخش توان اکتیو و راکتیو را به صورت مستقل از هم، فراهم آورد. این قابلیت اساسی، UPFC را به قدرتمندترین وسیله کنترل شبکه تبدیل کرده است [8 و 9]. کنترل کننده UPFC از دو مبدل پشت به پشت تشکیل شده است که بوسیله یک اتصال خازنی DC، بهم متصل شده‌اند. یکی از این مبدل‌ها بصورت سری به شبکه متصل می‌باشد (نظیر SSSC) و از طریق تزریق یک ولتاژ سری با اندازه و فاز قابل کنترل، توان اکتیو و راکتیو عبوری از شبکه را کنترل می‌کند. دومین مبدل به صورت موازی به شبکه متصل می‌باشد (نظیر STATCOM) و عملکرد آن براساس ثابت نگه داشتن ولتاژ باس UPFC و لینک خازنی DC، می‌باشد که این کار را از طریق جذب توان اکتیو به منظور ثابت نگه داشتن ولتاژ DC و جذب یا تحویل

توسعه تجهیزات الکترونیک قدرت، امکان استفاده از تکنولوژی‌های جدید نظیر ادوات FACTS را به منظور کنترل پخش بار، کیفیت توان، بار گذاری ایمن و میرایی نوسانات سیستم قدرت فراهم می‌سازد [1].

در گذشته منابع تولید پراکنده به عنوان رزرو برای بارهای اضطراری به کار می‌رفتند ولی امروزه این منابع بجای قرار گرفتن در یک نیروگاه بزرگ، به شبکه موجود و در مناطق مختلف وصل هستند. مشکلات طراحی و بهره‌برداری اقتصادی، مسائل زیست-محیطی، مشکلات سوخت و پایین بودن راندمان نیروگاه‌های بزرگ، بالابودن هزینه نصب و بهره‌برداری شبکه‌های انتقال و توزیع، تکنولوژی رو به گسترش صنعت، افزایش روز افزون تقاضای بار مصرف کنندگان از جمله دلایل بکارگیری DG در شبکه می‌باشد. از سویی دیگر استفاده از DG تغییرات ولتاژ، جریان و یا فرکانس [2 - 4] را به همراه دارد و لذا بهبود آنها در شبکه‌های واقعی، امری ضروری و لازم است.

توان DC تبدیل می‌شود که در لینک DC بصورت ظرفیت توان حقیقی مثبت یا منفی ظاهر می‌گردد.



1. شکل (1): ساختار کنترل کننده UPFC

طرف AC مبدل موازی از طریق یک ترانسفورماتور با خط انتقال بطور موازی متصل می‌شود. این مبدل یک جریان با دامنه و زاویه توان قابل کنترل به سیستم قدرت تزریق و یا از آن جذب می‌کند. وظیفه اصلی این مبدل تغذیه و یا جذب توان اکتیو مورد نیاز مبدل سری و همچنین کنترل ولتاژ شین متصل به آن است [12].

2-1 سیستم کنترل اینورتر سری

با توجه به جزئیات مدل UPFC شکل 1، پارامترهای L_{sr} ، L_{sh} ، R_{sr} و R_{sh} بیانگر اندوکتانس‌های ناشی ترانسفورماتورها و تلفات اینورترها است. اینورتر سری، ولتاژ V_{sr} را بصورت سری با خط انتقال تزریق می‌کند. با فرض تبدیل d-q معادلات (1) و (2) بیان می‌گردد.

(1)

$$V_{dq0} = T(\theta)V_{abc}$$

$$T(\theta) = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{pmatrix} \cos(\theta) & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \sin(\theta) & \sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix} \quad (2)$$

با توجه به تبدیل فوق می‌توان معادلات KVL را برای اینورتر سری بدست آورد.

$$V_{srd} = \frac{1}{N_{sr}}(V_{od} - V_{id}) + \left(R_{sr} + L_{sr} \frac{d}{dt}\right)I_{srd} \quad (3)$$

$$V_{srq} = \frac{1}{N_{sr}}(V_{oq} - V_{iq}) + \left(R_{sr} + L_{sr} \frac{d}{dt}\right)I_{srq} \quad (4)$$

با کنترل جریان خط می‌توان توان اکتیو و راکتیو خط را کنترل نمود. جریان خط توسط ولتاژ تزریقی اینورتر سری کنترل می‌شود. توان‌های اکتیو و راکتیو سری از معادلات (5) و (6) بدست می‌آیند.

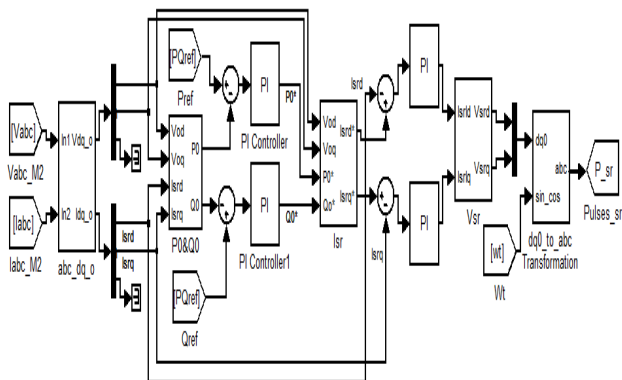
توان راکتیو به شبکه برای کنترل ولتاژ باس UPFC انجام می‌دهد [10]. برای بهبود عملکرد کنترل توان اکتیو و راکتیو الگوریتم کنترلی pq استفاده می‌شود [6]. مدلی از UPFC در مرجع [7] بیان شده است. مرجع [13] مدلی از UPFC را نشان می‌دهد که شامل یک منبع ولتاژ سری با خط انتقال و دو منبع جریان موازی با خط انتقال است.

در این مقاله مدل UPFC بر مبنای الگوریتم کنترلی pq و روش اویلر پیش‌رو شرح داده می‌شود. سیستم کنترل پیشنهادی، ظرفیت کنترل شارش توان اکتیو و راکتیو خط، تنظیم ولتاژ و بهبود رفتار گذرای سیستم قدرت بعد از رخداد شرایط تغییرات بارها و اثرات نامطلوب اتصال و قطع تولید پراکنده را دارد. همچنین ولتاژ خازن DC در سیستم کنترلی طوری طراحی شده که در تمام شرایط بتواند ثابت باقی مانده و عملکرد جبران‌کننده را بهبود دهد. در مرحله بعد تأثیرات اتصال تولید پراکنده روی یک سیستم آزمایشی مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد. لذا در این راستا، در بخش 2- مدل کنترل کننده یکپارچه توان، در بخش 3- مدل منبع ولتاژ 48 پالس و در بخش 4- مدل DG و ژنراتور القایی آن ارائه گردیده است. سپس در بخش 5- شبیه‌سازی شبکه مورد مطالعه و تحلیل نتایج آن ارائه شده است.

2-2 مدل کنترل کننده UPFC

در شکل 1 ساختار مداری یک UPFC متشکل از دو مبدل منبع ولتاژی (VSC) سری و موازی را نشان می‌دهد. این دو مبدل از طریق یک لینک DC مشترک که توسط یک خازن محقق می‌گردد، به تبادل توان اکتیو می‌پردازند. این ساختار کلی مانند یک مبدل AC به AC یا سیکلوکانورتر عمل خواهد کرد که توان می‌تواند در هر جهت در ترمینال‌های AC مبادله شود. وظیفه اصلی UPFC توسط مبدل سری محقق می‌گردد. این مبدل یک ولتاژ AC با دامنه و فاز قابل کنترل در فرکانس اصلی شبکه تولید کرده و توسط یک ترانسفورماتور افزایش یافته بطور سری در خط انتقال تزریق می‌نماید. این ولتاژ تزریقی می‌تواند به عنوان یک منبع ولتاژ AC سنکرون در نظر گرفته شود که با عبور جریان از این منبع ولتاژ، تبادل توان اکتیو و راکتیو بین این منبع و سیستم AC صورت می‌گیرد. توان اکتیو مورد نیاز این مبدل از طریق لینک DC و مبدل موازی تأمین می‌شود ولی توان راکتیو توسط هر مبدل بطور مجزا جذب یا تولید می‌گردد. توان اکتیو مبادله شده در ترمینال AC توسط مبدل موازی به

در این معادلات پارامترهای Y خروجی، X ورودی، u ورودی پله و T زمان نمونه‌گیری می‌باشند. همچنین اشباع نیز در نظر گرفته می‌شود که در صورت لزوم، انتگرال‌گیری به اتمام برسد. در مرحله بعد با استفاده از ولتاژهای V_d ، V_q و ولتاژ خازن، مقادیر زاویه هدایت (δ) برای فرستادن به پالس آتش بدست می‌آید. بلوک دیاگرام سیستم کنترل سری در شکل (2) نشان داده شده است.



2. شکل (2): سیستم کنترل مبدل سری UPFC

2-2 سیستم کنترل اینورتر موازی

حلقه قفل شونده فاز (PLL)، مولفه توالی مثبت ولتاژ اولیه سه فاز را همزمان می‌سازد. خروجی PLL، (زاویه $\theta = \omega t$) برای محاسبه مولفه‌های محور مستقیم و عمودی ولتاژ و جریان سه‌فاز AC استفاده می‌گردد. با استفاده از معادلات (1) و (2) می‌توان برای مبدل موازی نیز معادلات KVL را بیان داشت.

(16)

$$V_{shd} = \frac{1}{N_{sr}}(V_{id}) - \left(R_{sr} + L_{sr} \frac{d}{dt} \right) I_{shd} \quad (17)$$

$$V_{shq} = \frac{1}{N_{sr}}(V_{iq}) - \left(R_{sr} + L_{sr} \frac{d}{dt} \right) I_{shq}$$

سیستم‌های اندازه‌گیری، توالی مثبت مولفه‌های ولتاژ و جریان AC را اندازه‌گیری می‌نمایند. سپس برای استخراج مولفه نامطلوب جریان از فیلترهای پایین‌گذر مرتبه دوم با فرکانس قطع 1200 HZ برای جریان‌های I_d و I_q استفاده شده است.

مبدل موازی از دو حلقه تنظیم‌کننده جریان داخلی و ولتاژهای خارجی AC و DC استفاده می‌کند. تنظیم‌کننده ولتاژ AC شامل کنترل‌کننده PI با روش اویلر پیش‌رو و شیب تنظیم‌کننده است. خروجی تنظیم‌کننده ولتاژ AC، مرجع

$$P_{sr} = \frac{2}{3}(V_{od} I_{srd} + V_{oq} I_{srq}) \quad (5)$$

$$Q_{sr} = \frac{2}{3}(V_{od} I_{srq} - V_{oq} I_{srd}) \quad (6)$$

جریان‌های مرجع اینورتر سری از معادله‌های (7) و (8) بدست می‌آیند.

$$I_{srd} = \frac{2}{3} \frac{1}{(V_{od}^2 + V_{oq}^2)} (V_{od} P_o - V_{oq} Q_o) \quad (7)$$

$$I_{srq} = \frac{2}{3} \frac{1}{(V_{od}^2 + V_{oq}^2)} (V_{oq} P_o + V_{od} Q_o) \quad (8)$$

مبدل سری در حالت کنترل پخش توان، مقادیر توان اکتیو و توان راکتیو را اندازه‌گیری می‌کند و با مقادیر مرجع مقایسه کرده تا خطاهای P و Q را تولید کند. این خطاها توسط دو تنظیم‌کننده PI استفاده می‌شود تا به ترتیب مولفه‌های V_d و V_q ولتاژ بدست آید. (V_q بر ولتاژ شبکه عمود است و توان اکتیو را کنترل می‌کند و V_d هم‌فاز با ولتاژ شبکه بوده و توان راکتیو را کنترل می‌کند).

در تنظیم‌کننده PI از روش اویلر پیش‌رو استفاده شده است. روش اویلر پیش‌رو بدین شرح است:

برای یک مرحله مفروض n ، نرم افزار مقادیر $y(n)$ و $x(n+1)$ را به روز رسانی می‌کند. نتایج این روش با n مرحله بصورت ذیل می‌باشد.

$$y(n) = y(n-1) + k.T.u(n-1) \quad (9)$$

رض:

$$x(n+1) = x(n) + k.T.u(n)$$

مرحله صفر:

$$y(0) = x(0) = cte \quad (10)$$

$$x(1) = y(0) + k.T.u(0) \quad (11)$$

مرحله 1:

$$y(1) = x(1) \quad (12)$$

$$x(2) = x(1) + k.T.u(1) \quad (13)$$

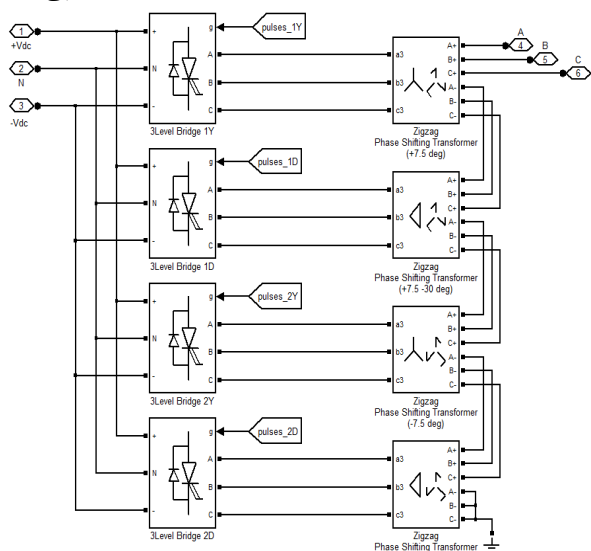
مرحله n:

$$y(n) = x(n) \quad (14)$$

$$x(n+1) = x(n) + k.T.u(n) \quad (15)$$

3- مدل منبع ولتاژ 48 پالس

شکل (4) مبدل GTO، 48 پالس بیان شده در این مقاله را نشان می‌دهد. در این مبدل از چهار اینورتر سه‌سطحی سه‌فاز و چهار ترانسفورماتور شیفت فاز استفاده شده است. ولتاژهای تولیدی اینورترها به سیم‌پیچ ثانویه چهار ترانسفورماتور شیفت فاز زیگزاگ بصورت ستاره یا مثلث اعمال می‌گردد. سیم‌پیچ‌های اولیه ترانسفورماتورها بصورت سری به هم متصل شده‌اند. الگوهای پالسی مبدل بصورتی جابجایی فاز یافته‌اند که چهار فاز مولفه پایه ولتاژ در سمت اولیه با هم جمع می‌شوند. خازن DC، به چهار اینورتر متصل می‌گردد. هر کدام از اینورترهای سه‌سطحی، سه ولتاژ مربعی بصورت V_{dc} ، 0 و $-V_{dc}$ تولید می‌کنند که می‌توان توسط بلوک تولیدکننده پالس آتش مقادیر سیگما را بین صفر تا 180 درجه تنظیم نمود. در این مدل هر پایه شامل 4 کلید GTO، 4 دیود موازی معکوس و 2 دیود کلامپی است.



4. شکل (4): مبدل منبع ولتاژ 48 پالس

جابجایی فاز ایجاد شده توسط اتصالات مثلث (Δ) ثانویه (30- درجه) و اتصالات زیگزاگ اولیه (+7/5 درجه برای $1Y$ و 1Δ ترانسفورماتورها و -7/5 درجه برای $2Y$ و 2Δ) منجر به حذف هارمونیک‌ها تا مرتبه 45ام می‌گردد. بنابراین اولین هارمونیک‌های محسوس از مرتبه‌های 47ام و 49 است. این نوع اینورترها دارای شکل موجی تقریباً سینوسی با 48 پله هستند. شکل (5) ولتاژ خروجی خط به خط مبدل 48 پالس را نشان می‌دهد.

جریان I_{qref} برای رگولاتور جریان است. (I_q جریان عمود بر ولتاژ بوده و سیلان توان را کنترل می‌کند). برای تعیین محدودیت I_q از مقدار حقیقی جریان I_d بصورت رابطه (18) استفاده شده است.

$$\sqrt{I_{shd}^2 + I_{shq}^2} < 1.05 \quad (18)$$

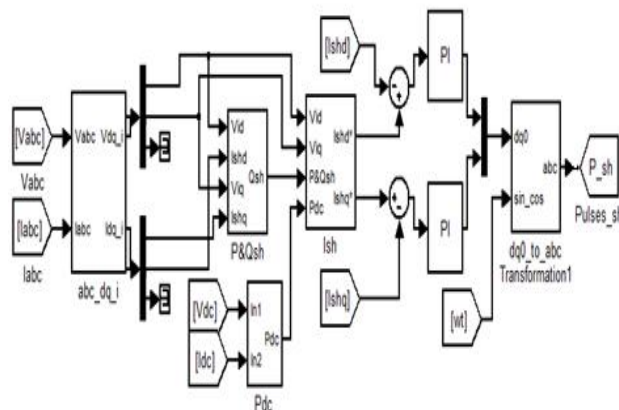
حلقه تنظیم‌کننده جریان داخلی، دامنه و فاز ولتاژ تولیدی مبدل منبع ولتاژ را کنترل می‌کند.

برای بهبود عملکرد دینامیکی مبدل 48 پالس، یک حلقه تنظیم‌کننده تکمیلی با استفاده از ولتاژ خازن DC نیز اعمال شده است. بنابراین برای یک دوره زمان کوتاه (Δt)، انحراف دامنه V_{dc} اندازه‌گیری می‌شود. اگر این انحراف بزرگتر از مقدار خاص K باشد، حلقه تکمیلی فعال می‌شود. مفهوم اصلی، آشکارسازی هر تغییر سریع در ولتاژ DC می‌باشد. استراتژی تنظیم‌کننده میراثونده تکمیلی، تصحیح زاویه ولتاژ (θ) نسبت به علامت مثبت یا منفی این تغییرات می‌باشد. در این حالت مبدل مقدار کمی توان اکتیو از سیستم AC جذب می‌کند تا تلفات داخلی را جبران نموده و ولتاژ خازن را در حالت شارژ یا دشارژ خازن کاهش می‌دهد و قابلیت کنترلی سریعتری را برای مبدل فراهم می‌دارد.

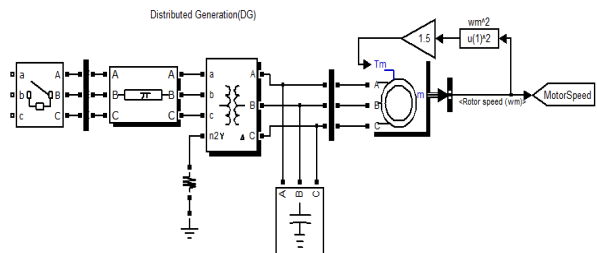
توان‌های اکتیو و راکتیو موازی از معادلات (19) و (20) بدست می‌آیند.

$$P_{sh} = \frac{2}{3}(V_{id}I_{shd} + V_{iq}I_{shq}) \quad (19)$$

$$Q_{sh} = \frac{2}{3}(V_{id}I_{shq} - V_{iq}I_{shd}) \quad (20)$$



3. شکل (3): سیستم کنترل مبدل موازی UPFC



شکل (7): مدل ژنراتور القایی نیروگاه بادی

9

شکل (7) مدل ژنراتور القایی نیروگاه بادی را نشان می‌دهد. مدل دو محوری آن توسط روابط (24) تا (29) بیان می‌گردد:

$$V_{sd} = R_s I_{sd} + \frac{d}{dt} \psi_{sd} - \omega_d \lambda_{sq} \quad (24)$$

$$V_{sq} = R_s I_{sq} + \frac{d}{dt} \psi_{sq} - \omega_d \lambda_{sd} \quad (25)$$

$$V_{rd} = R_r I_{rd} + \frac{d}{dt} \psi_{rd} - \omega_{dA} \lambda_{rq} \quad (26)$$

$$V_{rq} = R_r I_{rq} + \frac{d}{dt} \psi_{rq} - \omega_{dA} \lambda_{rd} \quad (27)$$

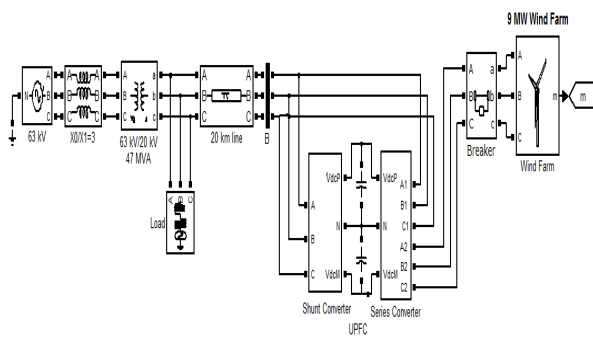
$$\omega_{dA} = \omega_d - \omega_m \quad (28)$$

$$T_{em} = \frac{P}{\gamma} = (\lambda_{rd} I_{rd} - \lambda_{rd} I_{rq}) \quad (29)$$

که در آن V_{rd} و V_{rq} ، i_{rd} ، i_{rq} ، λ_{rd} ، λ_{rq} ، V_{sd} و V_{sq} ، i_{sd} ، i_{sq} ، λ_{sd} ، λ_{sq} و همچنین ω_d ، سرعت مرجع سنکرون و ω_n ، سرعت روتور می‌باشند.

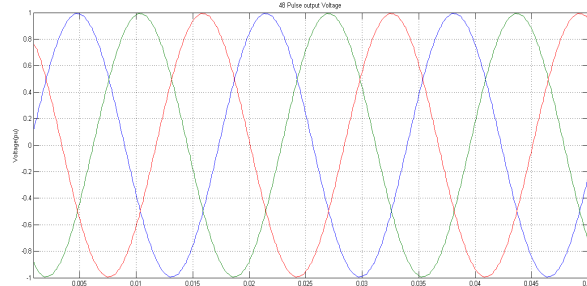
5- شبیه‌سازی سیستم مورد مطالعه

در این بخش به منظور نشان دادن عملکرد مناسب UPFC، یک شبکه قدرت سه‌فاز همانند شکل 8 در نظر گرفته شده است.



شکل (8): مدل شبکه مورد مطالعه

برای بررسی عملکرد سریع UPFC پیشنهادی، پدیده‌هایی نظیر کمبود و بیشبود ولتاژ، عدم تعادل ولتاژ و هارمونیک ناشی از اتصال تولید پراکنده و کلیدزنی بارهای القایی و خازنی شبکه، در دو بخش بررسی شده است. بخش اول شامل چهار حالت می‌باشد



شکل (5): ولتاژ خروجی مبدل 48 پالس

5

4- مدل نیروگاه بادی

یکی از انواع تولیدات پراکنده که در حال حاضر توجه زیادی را به خود جلب کرده و مطالعات زیادی بر روی آن صورت گرفته است، تولید برق توسط انرژی باد می‌باشد. از این رو در این مقاله اتصال نیروگاه بادی به شبکه مورد بررسی قرار می‌گیرد. مدل توربین بادی مورد مطالعه در شکل (6) نشان داده شده است که توان مکانیکی خروجی توربین، توسط رابطه (21) بدست می‌آید.

$$P_m = \frac{1}{\gamma} \rho A C_p V_{\omega}^3 \quad (21)$$

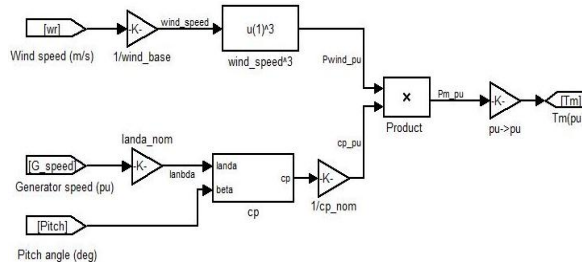
که در آن ρ چگالی هوا، A مساحتی که جریان هوا عمود بر پره‌های توربین جاروب می‌کند، C_p ضریب توان آیرودینامیکی توربین و V_{ω} سرعت باد می‌باشند. C_p تابعی از سرعت باد، سرعت زاویه‌ای چرخش پره‌های روتور و پارامترهای متناسب با پره‌های روتور می‌باشد. مقدار تقریبی ضریب توان آیرودینامیکی از رابطه زیر بدست می‌آید [13].

$$C_p = \frac{1}{\gamma} \left(\frac{R}{\gamma} - 0.022\beta^2 - 5.6 \right) e^{-\frac{0.1\gamma R}{v}} \quad (22)$$

که در آن v (نرخ سرعت نوک) عبارت است از:

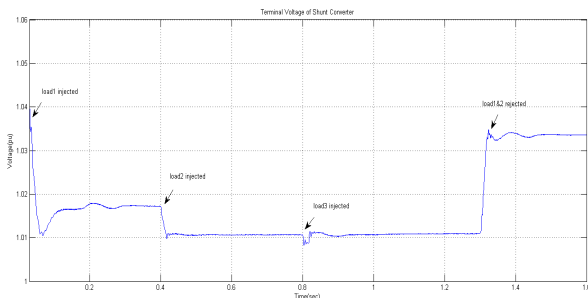
$$v = \frac{V_T R}{V_{\omega}} \quad (23)$$

در روابط فوق، ω_T و β به ترتیب سرعت زاویه‌ای چرخش پره‌های روتور و زاویه انحراف پره‌های توربین می‌باشند.

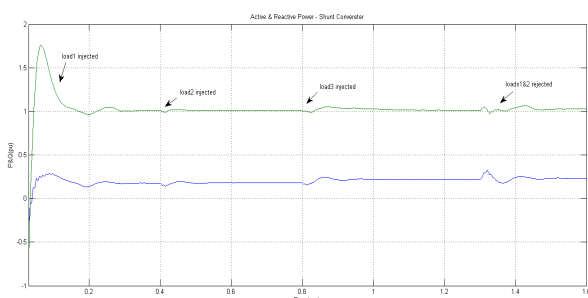


شکل (6): مدل توربین بادی

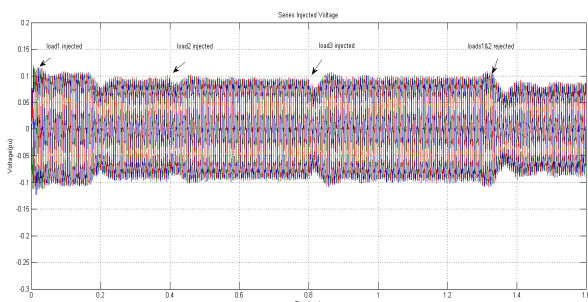
7



شکل (9): ولتاژ باس مبدل موازی

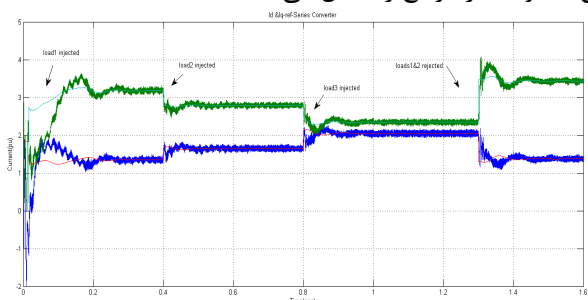


شکل (10): توان‌های اکتیو و راکتیو مبدل موازی



شکل (11): ولتاژ تزریقی مبدل سری

در شکل (12) منحنی نمایش جریان مستقیم (I_d) و جریان عمودی (I_q) مبدل سری UPFC و مقادیر مرجع آن نشان داده شده است. همانطور که دیده می‌شود، با تغییر بار، این جریان‌ها به خوبی مقادیر مرجع را ردیابی می‌کنند. در شکل (13) جریان عمود مبدل موازی UPFC نشان داده شده است. کنترل‌کننده پیشنهادی در اینجا هم به خوبی عمل می‌کند و مقدار مرجع را دنبال می‌کند.



که عبارتند از: حالت اول: اتصال بار اهمی - القایی شماره 1، حالت دوم: اتصال بار القایی شماره 2، حالت سوم: اتصال بار خازنی و حالت چهارم: قطع بارهای القایی. بخش دوم نیز مشابه بخش اول بوده با این تفاوت که برخلاف بخش اول، دو فاز منبع تولید پراکنده در برخی از زمان‌ها قطع می‌شود. در این بخش یک شبکه قدرت نمونه در معرض کلید زنی بار در باس سوم انجام می‌گیرد. همچنین نیروگاه بادی به شبکه متصل می‌باشد که خود عامل ایجاد مشکلاتی در کیفیت توان است. وضعیت‌های مختلف بررسی شده به شرح ذیل است.

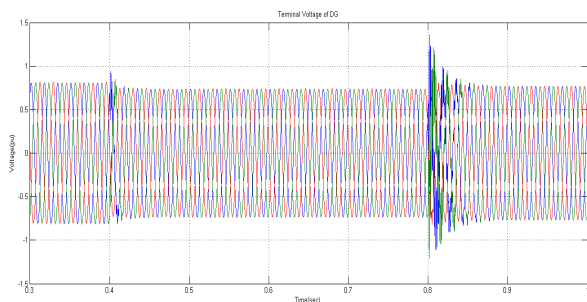
1-5 اتصال نیروگاه بادی در تمام زمان‌ها

الف) حالت اول: در این مرحله بار اهمی - القایی اول توسط کلید در همان لحظه اول به شبکه متصل می‌گردد. مقدار بار اهمی - القایی اول در ولتاژ نامی $P=1\text{ pu}$ و $Q=0/8\text{ pu}$ است. با توجه به شکل‌های (9) و (10) پس از اتصال کنترل‌کننده UPFC در زمان $t=0/1$ ثانیه، مقدار ولتاژ باس مبدل موازی آن به 1 pu افزایش می‌یابد و مقدار توان راکتیو تزریقی 1 pu می‌باشد. شکل‌های (11) و (12)، ولتاژ و جریان تزریقی مبدل سری را نمایش می‌دهد. مقدار ولتاژ در این مرحله تقریباً $0/093\text{ pu}$ می‌باشد.

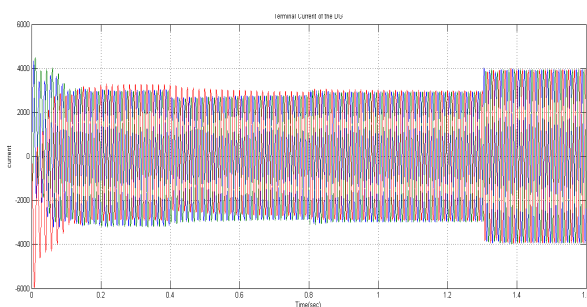
ب) حالت دوم: در این مرحله بار اهمی - القایی دوم با مقدارهای $P=0/7\text{ pu}$ و $Q=0/5\text{ pu}$ در ولتاژ نامی، توسط کلید در زمان $t=0/4$ ثانیه به شبکه اتصال می‌یابد. همانطور که از شکل‌های (9) و (10) مشاهده می‌گردد، ولتاژ باس مبدل موازی به مقدار 1 pu و توان راکتیو تزریق شده به $1/012\text{ pu}$ می‌رسد. ولتاژ سری تزریقی به مقدار $0/096\text{ pu}$ افزایش می‌یابد (شکل (11)). ج) حالت سوم: در مرحله سوم بار اهمی - خازنی با مقدارهای $P=0/6\text{ pu}$ و $Q=0/4\text{ pu}$ توسط کلید در زمان $t=0/8$ ثانیه به شبکه اتصال می‌یابد. با توجه به شکل‌های (9) و (10)، ولتاژ باس مبدل موازی به مقدار $1/012\text{ pu}$ و توان راکتیو تزریق شده به $1/027\text{ pu}$ می‌رسد. ولتاژ سری تزریقی با توجه به شکل (11)، دارای مقدار $0/098\text{ pu}$ است.

د) حالت چهارم: در این مرحله دو بار اهمی - القایی در زمان $t=1/3$ ثانیه از شبکه قطع می‌شوند. با مشاهده شکل‌های (9) و (10)، ولتاژ باس مبدل موازی به مقدار $1/03\text{ pu}$ و توان راکتیو تزریق شده به $1/02\text{ pu}$ می‌رسد. بر اساس شکل (11)، ولتاژ سری تزریقی به $0/085\text{ pu}$ کاهش می‌یابد.

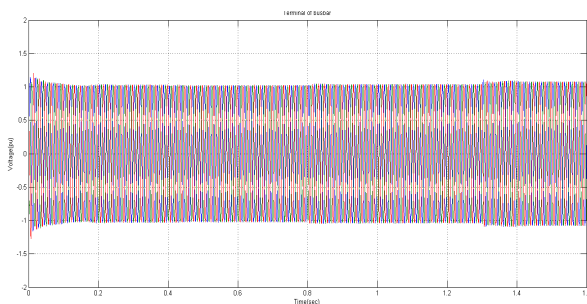
ای از لحظات دچار هارمونیک، عدم تعادل ولتاژ و نوسان ولتاژ می‌باشد. این مسائل می‌تواند بر روی باس بار اثرات نامطلوبی داشته باشد.



شکل (16): ولتاژ باس تولید بادی



شکل (17): جریان باس تولید بادی



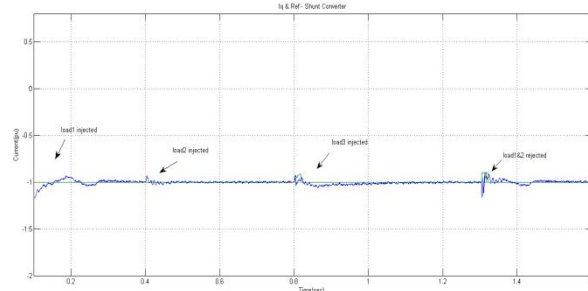
شکل (18): ولتاژ باس بار

همانطور که از شکل (18) مشاهده می‌شود، کنترل کننده UPFC ولتاژ باس بار را در سطح مطلوب 1 pu نگهداشته و مشکلات کیفیت توان ایجاد شده توسط منبع تولید پراکنده و همچنین شرایط کلیدزنی را به خوبی برطرف ساخته است.

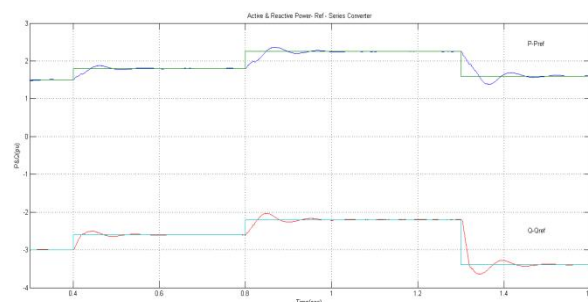
2-5 قطع دو فاز منبع تولید پراکنده

در این بخش به منظور تحلیل و بررسی بیشتر در مورد عملکرد کنترل کننده UPFC مراحل بخش (5-1) را با اعمال شرایط جدید در اتصال منبع تولید پراکنده اعمال می‌کنیم. بدین صورت که در زمان $t=0/7$ ثانیه فازهای b و c منبع تولید بادی را توسط کلید قطع کرده و تنها یک فاز از آن به شبکه متصل می‌گردد.

شکل (12): جریان های I_d و I_q مبدل سری UPFC و مراجع



شکل (13): جریان عمود مبدل موازی و مرجع آن

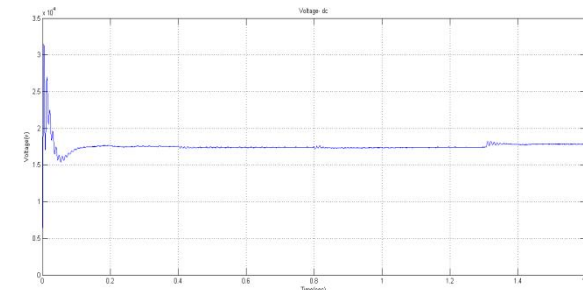


شکل (14): توان اکتیو و راکتیو مبدل سری و مقادیر مرجع آن

شکل (14) نیز منحنی توان اکتیو و راکتیو مبدل سری به همراه مقادیر مرجع آن را نشان می‌دهد.

همانطور که در شکل‌های (12) تا (14) نشان داده شده است، کنترل کننده PI پیشنهادی با روش اوپلر پیش‌رونده عملکرد دینامیکی مطلوب و پاسخ سریعی دارد. بنابراین تنظیم ولتاژ و جریان سازی توان را به خوبی انجام می‌دهد.

در شکل (15) ولتاژ خازن dc نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، تقریباً دارای مقدار ثابتی است.



شکل (15): ولتاژ خازن dc

شکل‌های (16) و (17) به ترتیب منحنی‌های ولتاژ و جریان منبع تولید پراکنده را نشان می‌دهد. همانطور که در این دو شکل دیده می‌شود، منبع تولید پراکنده دارای کمبود ولتاژ و در پاره-

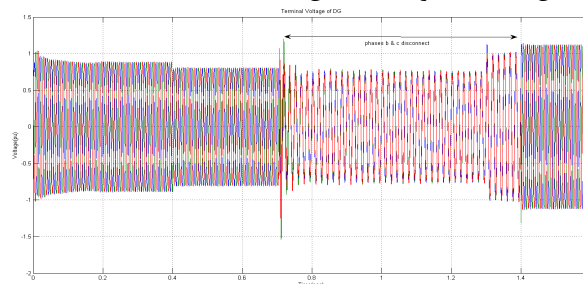
6- نتیجه

در این مقاله ابتدا سیستم کنترلی پیشنهادی UPFC به همراه مبدل منبع ولتاژ 48 پالسه بیان گردید. سیستم کنترلی UPFC می تواند شارش توان اکتیو، راکتیو و ولتاژ شبکه را تنظیم نماید. همچنین این سیستم کنترلی توانایی پاسخ به تغییرات پله‌ای توان اکتیو و راکتیو را دارد و آنها را بطور مستقل کنترل می نماید. در مرحله بعد، مدل تولید پراکنده (توربین بادی) استفاده شده در این مقاله به طور مشروح بیان شد. سپس به منظور نشان دادن عملکرد مطلوب سیستم کنترلی UPFC، پدیده‌هایی کمبود، عدم تعدل ولتاژ و هارمونیک در دو بخش و چهار حالت تعریف شد و مورد بررسی قرار گرفت. در بخش اول DG در تمام لحظات به شبکه متصل است و سیستم در معرض کلیدزنی بار قرار می گیرد و در بخش دوم با همان شرایط کلیدزنی، اما دو فاز DG قطع می گردد. با بررسی شرایط فوق، ملاحظه شد که این طراحی، باعث بهبود پارامترهای شبکه از قبیل کمبود ولتاژ، عدم تعدل ولتاژ و ... شده است که نتایج شبیه سازی این موضوع را به وضوح نشان می دهد.

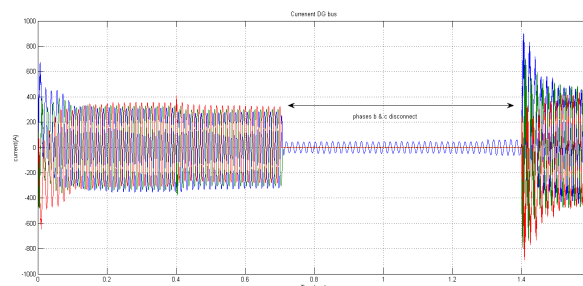
7-مراجع

- [1] IEEE FACTS Working Group, IEEE Transmission and Distribution committee, "FACTS Application", *IEEE Publication* No. 96TP 116-0.
- [2] IEC, "Testing and Measurement Techniques-Power Quality Measurement Methods", *IEC 61000-4-30 Standard*, 2001.
- [3] A. Peter, "Measurement Methods for Calculating of the Direction to a Flicker Source", *Technical report*, No. 436L, ISSN. 1651, 2003.
- [4] M.H. Bollen, "Understanding Power Quality Problems-Voltage Sags and Interruption", *IEEE Press*, 2000.
- [5] W.A. Moncrief, D. Sabin, "Roadmap for Power Quality Standards Development", *Trans. On Industry Applications*, Vol. 43, No. 2, pp. 412-411, 2007.

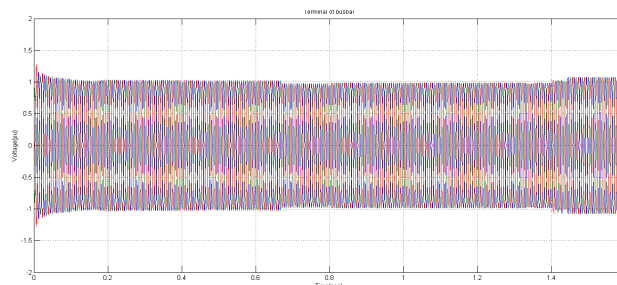
بنابراین شاهد شرایط عدم تعدل ولتاژ خواهیم بود. این موضوع در شکل های (19) و (20) نشان داده شده است.



شکل (19): ولتاژ باس تولید بادی



شکل (20): جریان باس تولید بادی



شکل (21): ولتاژ باس بار

همانطور که از شکل (21) مشاهده می شود، در این وضعیت نیز کنترل کننده UPFC، ولتاژ را در سطح مطلوب 1 pu نگه داشته و مسائل کیفیت توان (عدم تعدل ولتاژ، کمبود ولتاژ و ...) ناشی از منبع تولید پراکنده را برطرف ساخته است. با ملاحظه عملکرد کنترل کننده UPFC پیشنهادی می توان دریافت که این طرح جبران سازی موازی و جبران سازی سری را به نحو مطلوبی انجام می دهد و به این طریق اهداف کنترلی را با اضافه کردن ولتاژ تزریقی به طور مناسب برآورده سازد. بنابراین کنترل کننده UPFC پیشنهادی کارایی قابل قبول و پاسخ سریعی را دارد.

- on *Electrical Engineering, ICEE '07*, pp. 1-6, 11-12 April 2007.
- [12] B. Han, Senior Member, IEEE, B. Bae, H. Kim, and S. Baek, " Combined Operation of Unified Power-Quality", *IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY*, VOL. 21, NO. 1, JANUARY 2006.
- [13] K.R. Padiyar, K. Uma Rao, " Modeling and control of unified power flow controller for transient stability ", *Electric Power Systems Research*, Vol. 21, P.P 1-11, 1999.
- Woei_Luen, Yaun Yih, "Controller design -1 for an induction generator driven by a variable speed wind turbine", *IEEE Transaction on Energy conversion*, Vol "21, No 3, [9] CIGRE TF 38-0-508 .
- Techniques for Power System Planning , Nov . 1998 "Under Uncertainties
- [10] P. Maghouli, M.H. Marzuni, H. Hosseini. "Transmission Expansion Planning for Improving Market Efficiency Using Probabilistic Reliability Criteria " , Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - vol .4 –No.1 –Spring and Summer 2007
- [11] " Modern Power System Planning " , Wang X ., McDonald J.R., McGraw – Hill, 1994
- [14]
- [6] M. Tumay, A.M. Vural, K.L. Lu, "The effect of Unified Power Flow Controller location in power systems", *Electrical Power and Energy Systems*, No. 26, pp. 561-569, 2004.
- [7] L. Liming, Z. Pengcheng, K. Yong, Ch. Jian, "Unified Power Flow Controller: Comparison of Two Advanced Control Schemes and Performance Analysis for Power Flow Control " , *5th International Conference of Power Electronics and Motion Control, IPEMC '06. CES/IEEE*, pp. 1-5, 2006.
- [8] M. Tripathy, S. Mishra, "Bacteria Foraging-Based Solution to Optimize Both Real Power Loss and Voltage Stability Limit", *IEEE Trans. On Power System*, Vol. 22, No.1, pp.240-248, 2007.
- [9] L. Liu, P. Zhu, Y. Kang, J. Chen, "Power-Flow Control Performance Analysis of Unified Power Flow Controller in a Novel Control Scheme", *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 22, No. 3, pp.1613-1619, 2007.
- [10] M. H. Haque, "Application of UPFC to Enhance Transient Stability Limit", *Power Engineering Society General Meeting*, 2007, pp.1-6, 24-28 June 2007.
- [11] Ch. Tariq, S.A. Qureshi, "FACTS Control Devices (Statcom, SSSC and UPFC) Re-Configuration Techniques by PSIM/MATLAB", *International Conference*