

کنترل پخش توان با حضور مولد پراکنده با استفاده از کنترل کننده یکپارچه پخش توان

غضنفر شاهقلیان^۱، رحمت الله هوشمند^۲، رضا قنبری عدیوی^۳
^۱- استادیار، گروه برق دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نجف آباد، shahgholian@iaun.ac.ir
^۲- دانشیار، گروه برق، دانشگاه اصفهان، hooshmand_r@eng.ui.ac.ir
^۳- دانشجوی کارشناسی ارشد برق، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، reza_adivy@yahoo.com

چکیده

در این مقاله، به روشی برای کنترل پخش توان در سیستم‌های قدرت با حضور مولد پراکنده پرداخته می‌شود. هدف کار استفاده از کنترل کننده یکپارچه پخش توان (UPFC) برای کنترل پخش توان در باس بار است، در حالی که منبع اصلی و مولد پراکنده به‌طور همزمان برای تامین بار عمل می‌کنند. این کار نشان می‌دهد که استفاده از UPFC، باعث کاهش نوسانات توان و ولتاژ هنگام وجود خطای سه‌فاز در سیستم می‌شود. مطالعات به‌وسیله MATLAB/SIMULINK و با تقریب‌های خوبی انجام شده است. نتایج شبیه‌سازی، پایداری و موثر بودن کاربرد مولد پراکنده در انطباق با منبع اصلی با استفاده از UPFC را نشان می‌دهند.

واژه‌های کلیدی

مولد پراکنده، پخش توان، ادوات UPFC، FACTS.

۱- مقدمه

عوامل زیادی از قبیل، نیاز به تجدید ساختار صنعت برق، مشکل مدیریت شبکه برق در تعدیل بار، رشد سریع تکنولوژی، مشکلات آلودگی هوا و محیط زیست، استفاده از منابع انرژی‌های نو و سوخت‌های فسیلی با ارزش حرارتی پایین، ایجاد بسترهای خصوصی‌سازی و افزایش مصرف انرژی باعث استفاده از تولید پراکنده در صنعت برق در کشورهای جهان شده است [۳ و ۵].

علل فوق و عوامل دیگری از جمله افزایش هزینه‌های تولید، توزیع و انتقال برق با استفاده از نیروگاه‌های متمرکز متداول، طولانی بودن زمان نصب و راه اندازی نیروگاه‌های کنونی، موجب گرایش کشورهای جهان به استفاده از تولید پراکنده شده است و پس از تقریباً سه دهه از معرفی تولید پراکنده در بازارهای انرژی جهان،

مولد پراکنده^۱ (DG) روشی آشکار برای فراهم ساختن توان الکتریکی در قلب سیستم‌های قدرت است. DG ها ژنراتورهای الکتریکی کوچکی هستند (معمولاً زیر 10 MW) که به‌عنوان مولد برق در مقیاس کوچک تعریف می‌شوند. تکنولوژی‌های DG نقش مهمی در ساختار سیستم توزیع توان الکتریکی و مشکلات کیفیت توان سیستم‌های توزیع قدرت دارند [۱].

انتخاب DG باعث بهره‌مندی از جبران رشد بار در آینده می‌شود. یک تحقیق جدید به‌وسیله انستیتو تحقیق توان الکتریکی^۲ (EPRI) نشان می‌دهد که در سال ۲۰۱۰، ۲۵ درصد از ژنراتورهای جدید نوع DG هستند و در تحقیق دیگری نشان داده شد که این رشد ممکن است از ۳۰ درصد نیز بالاتر رود [۲].

کنترل زاویه فازی می‌توانند توسط مشخص کردن مناسب V_{pq} و I_q در کنترل‌کننده پخش توان که در شکل (۱) نشان داده شده، ایجاد شوند.

در مورد (۱)، فرض کنید که V_{pq} و I_q صفر هستند (کنترل‌کننده پخش توان خاموش است). بنابراین توان انتقال یافته بین ژنراتورهای طرف فرستنده و طرف گیرنده می‌تواند توسط فرمول شناخته شده‌ی زیر بیان شود: (با فرض این که $V_R = V_S = V$ است).

$$P_{(1)} = \frac{V^2}{X} \sin \delta \quad (1)$$

درحالی که δ ، زاویه بین فازهای ولتاژ طرف فرستنده و گیرنده است.

برای مورد (۲)، فرض کنید که $I_q = 0$ و $V_{pq} = -jkxI$ است، که ولتاژ در سری با جریان خط ۹۰ درجه‌ی پس‌فاز، بایک دامنه متناسب با بزرگی جریان خط و امپدانس خط است. به عبارت دیگر، منبع ولتاژ در فرکانس اصلی، به‌عنوان یک جبران‌کننده خازن سری عمل می‌کند. درجه‌ی جبران سری توسط ضریب k ($0 \leq k \leq 1$) تعریف شده است. پس، رابطه‌ی P برحسب δ به‌صورت زیر می‌شود:

$$P_{(2)} = \frac{V^2}{X(1-K)} \sin \delta \quad (2)$$

برای مورد (۳) فرض کنید که $V_{pq} = 0$ و $I_q = -j(4V/X)[1 - \cos(\delta/2)]$ است. یعنی منبع جریان I_q تنها جریان خازنی کافی‌ای را برای برابر ساختن دامنه ولتاژ نقطه وسط V_M با V ترسیم می‌کند، به عبارت دیگر منبع جریان راکتیو مثل یک جبران‌کننده موازی ایده‌آل عمل می‌کند که بخش‌های خط انتقال را در دو بخش مستقل هرکدام با یک امپدانس $X/2$ در نظر می‌گیرد و جریان راکتیو را جهت ثابت نگه داشتن ولتاژ نقطه وسط و مستقل از زاویه δ تولید می‌کند. برای این مورد از جبران‌سازی ایده‌آل نقطه وسط، رابطه P برحسب δ می‌تواند به‌صورت زیر نوشته شود:

$$P_{(3)} = 2 \frac{V^2}{X} \sin \frac{\delta}{2} \quad (3)$$

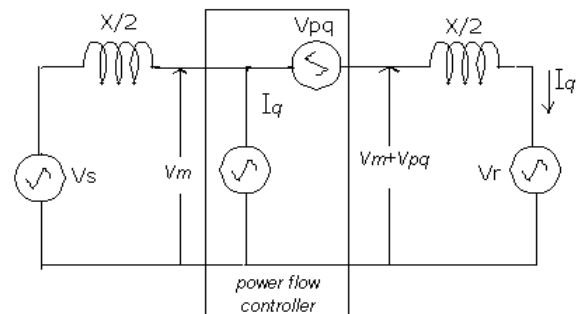
در مورد (۴) فرض کنید که $I_q = 0$ و $V_{pq} = \pm jV_M \tan \alpha$ است. ایده‌ی اساسی در مورد تغییردهنده‌ی فاز، نگه داشتن توان انتقال یافته در سطح مطلوب و مستقل از زاویه δ در یک رنج قابل

خود را به‌عنوان یک منبع تولید انرژی جایگزین در این میان جای داده است [۴].

در مرجع [۶] کنترل پخش توان به‌وسیله ادوات FACTS³ بررسی شده است. در این مقاله هیچ پیشنهادی برای مواجهه سیستم‌های قدرت با افزایش تقاضا نشده، ولی در مرجع [۷] علاوه‌بر کنترل پخش توان، مولدهای پراکنده به‌عنوان راه حلی برای مواجهه با افزایش تقاضا توصیه شده‌اند. در مقاله حاضر، از UPFC⁴ برای کنترل پخش توان در سیستم‌های قدرت با حضور مولد پراکنده استفاده شده است. در این مقاله همچنین پایداری ولتاژ و توان نیز بررسی گردیده است. در این مقاله نشان داده می‌شود که علاوه‌بر این که UPFC کنترل پخش توان را به‌خوبی انجام می‌دهد، نوسانات ولتاژ و توان را نیز کاهش می‌دهد.

۲- روابط اساسی برای کنترل پخش توان

با توجه به کنترل پخش توان، یک مدل دوماشینی ساده، در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱- مدل دوماشینی ساده سیستم قدرت با یک کنترلر پخش توان

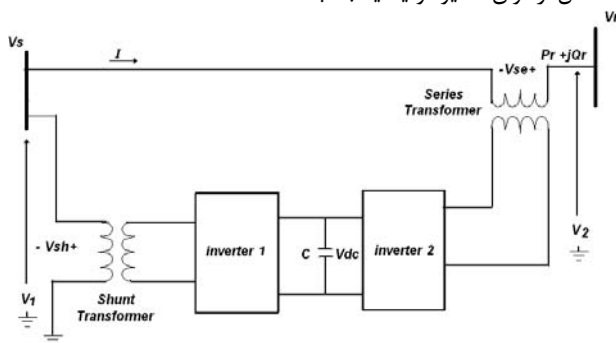
شکل (۱)، ژنراتور طرف فرستنده را با ولتاژ V_S ، ژنراتور طرف گیرنده را با ولتاژ V_R و امپدانس خط انتقال X را در دو بخش با $X/2$ نشان می‌دهد و یک کنترل‌کننده پخش توان در میانه خط عمل می‌کند. کنترل‌کننده پخش توان شامل دو عنصر قابل کنترل است، یکی منبع ولتاژ V_{pq} که در سری با خط قرار داده شده و دیگری منبع جریان I_q که در مداری موازی با خط در نقطه وسط متصل است. هم‌دامنه و هم‌زاویه ولتاژ V_{pq} ، متغیر هستند درحالی‌که تنها دامنه جریان I_q متغیر است.

۴ مورد طبقه‌بندی شده انتقال توان (۱) بدون جبران‌سازی خط (۲) با جبران‌سازی خازن سری (۳) با جبران‌سازی موازی و (۴) با

عمل می‌کند. میزان VA از منبع ولتاژ تزریقی (یعنی اینورتر ۲) توسط تولید ماکسیمم ولتاژ تزریقی و ماکسیمم جریان خط که در آن کنترل پخش توان فراهم شده، مشخص می‌شود. این VA کلی از دو مؤلفه تشکیل شده است. یکی ماکسیمم توان اکتیو که توسط ماکسیمم جریان خط و مؤلفه ماکسیمم ولتاژ تزریقی هم‌فاز با این جریان مشخص شده و دیگری ماکسیمم توان راکتیو است.

اینورتر منبع ولتاژ استفاده شده در عملکرد، می‌تواند کل توان راکتیو مورد تقاضا را توسط کنترل ولتاژ یا امپدانس یا زاویه فازی بکار رفته، تولید یا جذب کند و توان اکتیو مورد تقاضا باید در پایانه ورودی DC تامین شود.

اینورتر ۱ در اصل برای فراهم ساختن تقاضای توان اکتیو اینورتر ۲ در پایانه اتصال DC از سیستم قدرت AC، مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین اینورتر ۱ می‌تواند توان راکتیو را در پایانه‌اش مستقل از توان اکتیو تولید یا جذب کند.



شکل ۲- شماتیک دیاگرام یک UPFC

اینورتر ۱ توان اکتیو را برای خازن DC تامین می‌کند و جبران‌سازی موازی راکتیو را برای خط انتقال فراهم می‌سازد. پخش توان اکتیو در درون یا خارج از خازن اتصال DC توسط مبادله توان اکتیو بین اینورتر و سیستم قدرت AC کنترل می‌شود. این مبادله توان اکتیو توسط زاویه فازی بین اینورتر و ولتاژهای سیستم AC اداره می‌شود. در مقابل مبادله توان راکتیو حاصله از جبران‌کننده خط، توسط تفاوت دامنه بین ولتاژ اینورتر و ولتاژ سیستم AC مشخص می‌شود. اگر این تفاوت صفر است (ولتاژ اینورتر دامنه‌ای همانند دامنه ولتاژ سیستم دارد) مبادله توان راکتیو نیز صفر است و اگر مثبت است، اینورتر توان راکتیو را برای سیستم AC تولید می‌کند و اگر منفی باشد اینورتر توان راکتیو را از سیستم AC جذب می‌کند.

اینورتر ۲، ولتاژ AC مطلوبی را در سری با خط برای کنترل پخش توان تزریق می‌کند. در کل زاویه فاز ولتاژ تزریقی، نوع کنترل کننده پخش توان را (ولتاژ خط انتقال، امپدانس یا زاویه) مشخص

قبول و مشخص است. با توجه به $(\delta - \alpha)$ به‌عنوان زاویه فازی مؤثر بین ولتاژهای طرف فرستنده و گیرنده، توان انتقال یافته‌ی P می‌تواند به‌صورت زیر بیان شود:

$$P_{(4)} = \frac{V^2}{X} \sin(\delta - \alpha) \quad (4)$$

معادلات (۴-۱)، ارتباط بین توان منتقل شده و زاویه انتقال با جبران سری و موازی و تغییردهنده فازی تعریف می‌کنند. باید در نظر داشت که این معادلات برای شرایط حالت دائمی هستند، یعنی آنها توان انتقال یافته را برای ولتاژهای ارائه شده، امپدانس و زاویه خط تعریف می‌کنند [۹ و ۱۰].

ایده در مورد مفهوم انتقال انعطاف‌پذیر A، کنترل هم‌زمان این پارامترهاست و بنابراین توان انتقال یافته را طبق شرایط متداول سیستم تغییر می‌دهند (افزایش یا کاهش می‌دهند).

۳- عملکرد کنترل کننده یکپارچه پخش توان

مشکل پایداری ولتاژ و انتقال توان ارزان ممکن است به‌وسیله استفاده از تجهیزاتی که کنترل‌کننده‌های FACTS نامیده می‌شوند بهبود یابند. این مفهوم به‌وسیله EPRI در سال ۱۹۸۰ معرفی شده است.

کنترل توان به‌وسیله تغییر سه پارامتر امپدانس، تغییر دامنه ولتاژ و زاویه ولتاژ تاثیر می‌پذیرد. می‌دانیم که جبران‌کننده‌های استاتیک VAR تنها یکی از پارامترهای مهم (ولتاژ، امپدانس و زاویه فازی) که مشخص‌کننده پخش توان در سیستم‌های قدرت است را کنترل می‌کنند، که آن کنترل دامنه ولتاژ در ترمینال انتخاب شده خط انتقال است. مطالعات اخیر [۸] نشان می‌دهند که کاربرد یک سیستم قدرت AC مطلوب و انعطاف‌پذیر، ممکن است به کنترل هم‌زمان امپدانس خط و زاویه فازی نیز نیاز داشته باشد. در میان ادوات FACTS متفاوت، UPFC موثرترین ابزار برای کنترل هر سه پارامتر به‌طور هم‌زمان، قابل توجه است.

عملکرد UPFC با استفاده از دو اینورتر منبع ولتاژ که به یک خازن اتصال DC متصل شده، در شکل (۲) نشان داده شده است. اینورتر ۲ در آرایش نشان داده شده، برای تولید ولتاژ در فرکانس اصلی W با دامنه متغیر و زاویه فازی $(0 \leq \phi_{pq} \leq 2\pi)$ که توسط ترانسفورماتور سری به خطوط انتقال سیستم AC متصل شده، مورد استفاده قرار می‌گیرد. با این شرایط، ولتاژ خروجی تزریقی اینورتر در سری با خط می‌تواند برای جهت دادن به کنترل ولتاژ جبران‌سازی سری و تغییر فاز، مورد استفاده قرار گیرد. ولتاژ تزریقی خروجی اینورتر در سری با خط ضرورتاً به‌عنوان یک منبع ولتاژ AC

۴- روش‌های کنترل پخش توان فعلی با حضور DG و محدودیت‌های آن

دو روش فعلی و قدیمی تقسیم توان DG برای انواع مختلف DG در انطباق با منبع اصلی در باس بار وجود دارد. روش ۱: DG می‌تواند به‌عنوان یک منبع تنها، آماده برای مواجهه با تقاضای مصرف‌کنندگان استفاده شود.

روش ۲: DG می‌تواند در اتصال با منابع اصلی استفاده شود. برای مثال منبع DG و منبع اصلی به باس بار عمومی برای تقسیم بار متصل هستند. در این روش، باس بار به دو باس در دو مسیر تقسیم می‌شود به طوری که قسمتی از بار به وسیله DG تامین می‌شود و باقیمانده بار به وسیله منبع اصلی تغذیه می‌شود که به باس بار اصلی متصل شده است [۷].

فرایند تغییر مکان قسمتی از بار از باس اصلی به باس دو مسیر در طی ساعت پیک، به وسیله سوئیچینگ دستی انجام می‌شود. هنگامی که منبع DG برای تغذیه مقداری بار وجود دارد سوئیچ برای اتصال بار به باس دو مسیر غیرمتصل است.

در این روش منبع DG برای باس بار دومسیره به صورت مستقل وجود دارد، یعنی منبع اصلی در موازی با DG برای تامین کل بار متصل نیست. هنگامی که منبع DG جدا است، منبع اصلی به باس بار دومسیره با سوئیچینگ دستی متصل است.

معایب روش‌های تقسیم بار فوق برای کنترل پخش توان در زیر آمده است.

اول: سوئیچ‌های دستی برای وارد و خارج کردن باس بار دومسیره خود یک منبع تلفات و نوعی از پارازیت تولید می‌کنند.

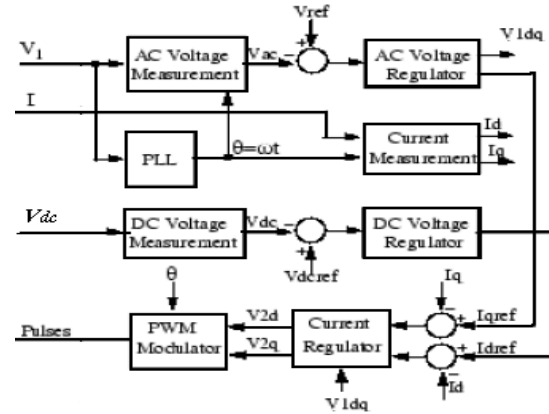
دوم: اگر که DG و منبع اصلی به صورت مستقل عمل کنند، پخش توان نمی‌تواند به طور موثر کنترل شود بنابراین کنترل پخش توان در روش (۱) اقتصادی نیست اگر چه دستاوردهای خوبی با روش (۲) بدست می‌آید.

سوم: کاربرد DG اقتصادی نیست و از منبع اصلی نیز به طور مستقل عمل می‌کند و مقداری از بار بر روی باس دو مسیر انتقال می‌یابد. بنابراین ظرفیت DG هنگامی که کاملاً در جریان است نمی‌تواند ظرفیت منبع اصلی را بهبود دهد. در نهایت تاثیر خوب قابلیت اعتماد و بازده عملکرد DG در انطباق با شبکه اصلی بدست نمی‌آید و مصرف‌کننده سود نمی‌برد.

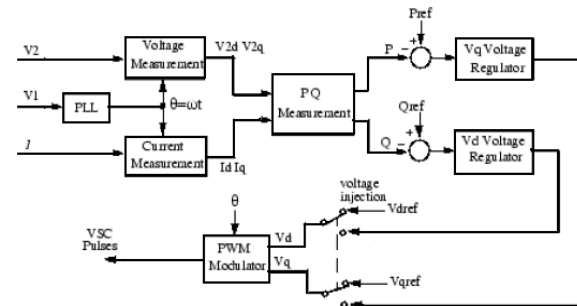
DGهای خصوصی معمولاً به‌عنوان یک بار پایه برای فراهم کردن قسمتی از توان احتیاجی و حمایت شبکه به وسیله افزایش پروفایل ولتاژ و توان سیستم، کاهش تلفات توان و بهبود کیفیت توان سیستم بکار می‌روند.

می‌کند و دامنه، مقدار و محدوده بکار رفته را تعریف می‌کند. بنابراین دامنه ولتاژ خروجی که به وسیله اینورتر ۲ تولید شده است باید از صفر به مقدار ماکسیمم که توسط میزان کنترل کننده پخش توان مشخص می‌شود، قابل کنترل باشد [۱۱ و ۱۲].

در شکل (۳) سیستم کنترل اینورتر شنت و در شکل (۴) سیستم کنترل اینورتر سری رسم شده است.



شکل ۳- سیستم کنترل اینورتر شنت



شکل ۴- سیستم کنترل اینورتر سری

سیستم کنترل اینورتر شنت شامل قسمت کنترل توان اکتیو و قسمت کنترل توان راکتیو است. توان اکتیو مورد نیاز اینورتر ۲ توسط قسمت کنترل توان اکتیو تامین می‌شود. قسمت کنترل توان اکتیو، ولتاژ خازن اتصال DC را با مرجع ورودی مقایسه کرده و تفاوت آنها به وسیله کنترلر PI، تنظیم می‌شود. قسمت کنترل توان راکتیو، می‌تواند توان راکتیو را برای سیستم قدرت برای کنترل اتصال شنت تامین کند.

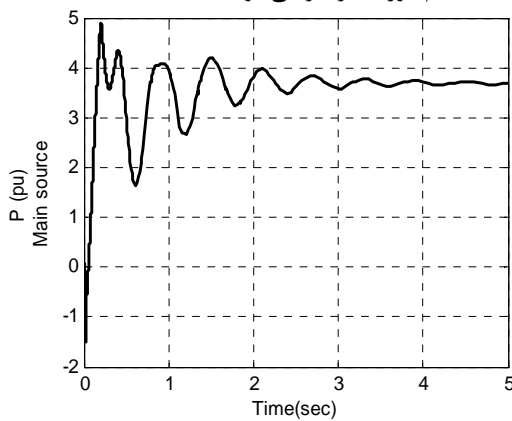
در سیستم کنترل اینورتر سری، توان اکتیو خط توسط قسمت کنترل توان اکتیو کنترل می‌شود. این قسمت توان اکتیو را با مرجع ورودی مقایسه می‌کند و تفاوت آنها به وسیله کنترل کننده PI، تنظیم می‌شود.

۶- نتایج شبیه سازی

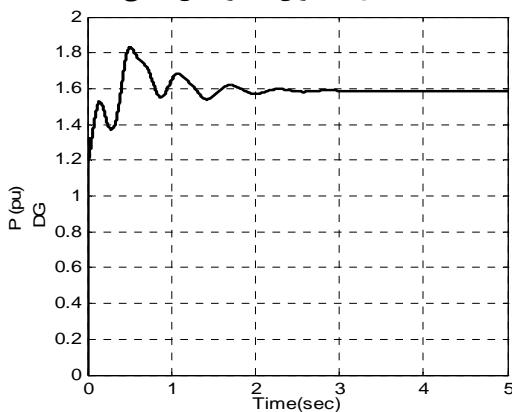
شبیه سازی سیستم مورد آزمایش در محیط MATLAB/SIMULINK انجام شده است. توان اکتیو تولید شده به وسیله منبع اصلی و منبع DG برای تامین بار سیستم به ترتیب در شکل های (۷) و (۸) بر حسب پریونیت نشان داده شده اند.

همچنین توان اکتیو بکار برده شده برای بار در شکل (۹) نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود توان در شکل (۹) برابر مجموع توان در شکل های (۷) و (۸) است. یعنی توان بار در شکل (۹) برابر مجموع توان DG و توان تامین شده توسط منبع اصلی است که این نشان دهنده این است که UPFC پخش توان را در سیستم به خوبی انجام داده است.

همچنین در مدار شکل (۶) ما یک خطای سه فاز در زمان ۲ تا ۳ ثانیه وارد کرده ایم. شکل (۱۰) تغییرات ولتاژ بار و شکل (۱۱) تغییرات توان بار را قبل از حضور UPFC و بعد از حضور UPFC با وجود خطای سه فاز در سیستم نشان می دهند. همان طور که شکل ها نشان می دهند نوسانات ولتاژ و توان بار پس از حضور UPFC بسیار کاهش یافته اند، که این نشان دهنده این است که UPFC باعث پایداری سیستم مورد نظر نیز می شود.



شکل ۷- توان اکتیو منبع اصلی

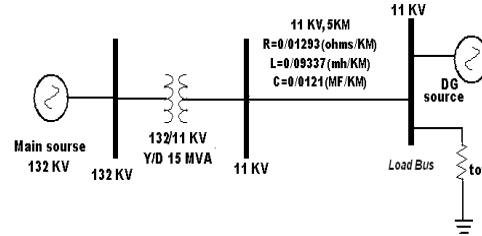


شکل ۸- توان اکتیو تولید شده توسط منبع DG

DG می تواند مقداری یا تمامی توان احتیاجی را بدون نیاز به افزایش ظرفیت ژنراتورهای اصلی، فراهم کند. DG اگر به طور صحیح بکار گرفته شود، پتانسیل تامین توان مصرفی بار برای سیستم های توزیع و انتقال را دارد.

۵- کنترل پخش توان با حضور DG و با استفاده از UPFC

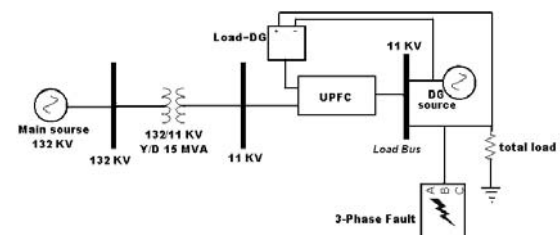
شکل (۵) دیاگرام خطی یک سیستم با منبع اصلی و باس بار و منبع DG برای هدف کنترل پخش توان را نشان می دهد.



شکل ۵- تغذیه باس بار توسط منبع اصلی و DG به طور هم زمان

در این روش ارتباط میان DG با منبع اصلی به صورت همزمان است.

سیستم مورد آزمایش شامل سیستم انتقال 132 KV و سیستم توزیع 11 KV است. باس بار در ولتاژ 11 KV است که ۵٫۳ (PU) توان اکتیو مصرف می کند. منبع DG در باس B_p نصب شده و دارای ظرفیت، (PU) ۱٫۶ در ولتاژ 11 KV است. ما در اینجا از یک ژنراتور سنگرون به جای منبع DG استفاده می کنیم. همان طور که در شکل (۶) نشان داده شده است در این مقاله ما یک مدار کنترلی استفاده کرده ایم به طوری که دارای ۲ ورودی است. یکی از ورودی ها، توان خروجی DG است که به اندازه ی ظرفیت خود، مقداری از بار را تامین می کند و ورودی دیگر، مقدار کل توان مورد نیاز برای تامین بار است. پس از اندازه گیری این ۲ ورودی، کنترل کننده آنها را از هم تفریق می کند. سپس خروجی کنترل کننده که مقدار توان مورد نیاز برای تامین باقیمانده بار است به عنوان یک ورودی برای UPFC عمل می کند.



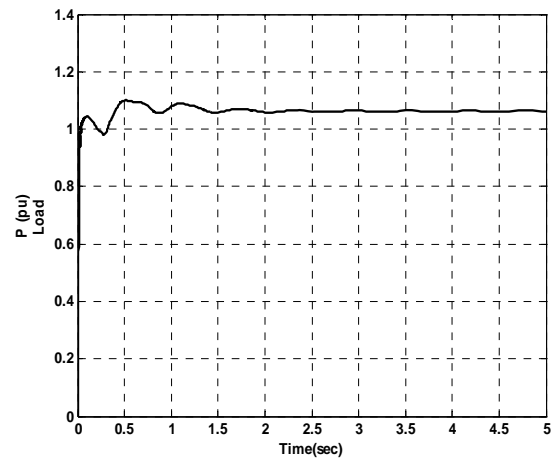
شکل ۶- سیستم طراحی شده برای کنترل پخش توان با حضور DG و با استفاده از UPFC

۷- نتیجه گیری

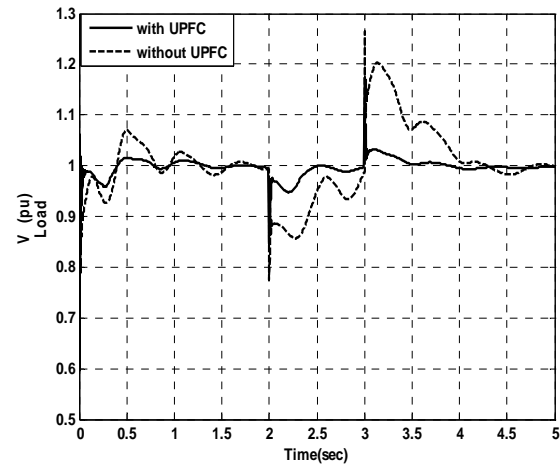
مقاله حاضر به بررسی کنترل پخش توان در سیستم‌های قدرت با حضور مولد پراکنده و با استفاده از UPFC و نیز بررسی پایداری ولتاژ و توان سیستم مورد نظر پرداخته است. نتایج شبیه‌سازی نشان دادند که کنترل پخش توان در باس بار، در حضور DG و به صورت هم‌زمان با منبع اصلی، با استفاده از UPFC به خوبی انجام شده است. همچنین UPFC می‌تواند باعث کاهش نوسانات توان و ولتاژ بار شود و در نتیجه سیستم را به سمت پایداری پیش ببرد.

۸- مراجع

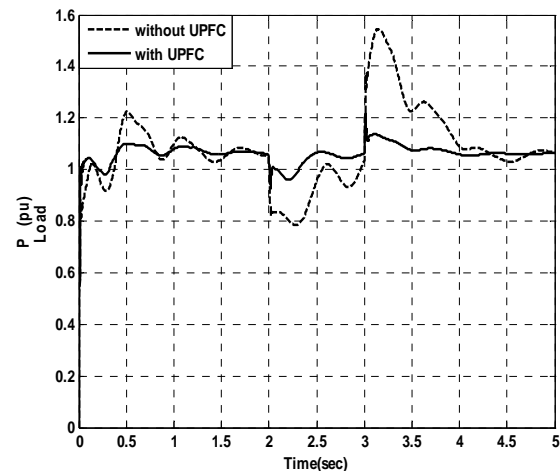
- [1] K.U. Leuven; **“Distributed Generation: Definition Benefits and Issues”**, Elsevier Energy Policy. Vol. 33, pp. 787 - 798, 2005.
- [2] T. Ackermanm, G. Andersosn, L. Soder; **“Distributed Generation: a Definition”**, Elsevier electric power systems research Vol. 57, pp. 195 - 204, 2001.
- [3] W. Khattan, M.M.A. Salama; **“Distributed Generation Technologies, Definitions and Benefits”**, Elsevier electric power systems research, Vol. 71, pp. 119 - 128, 2004.
- [4] N. Hadjsaid, J.F. Canard, F. Dumas; **“Dispersed Generation Impact on Distribution Networks”**, IEEE, Vol. 12, No. 2, pp. 22 - 28, 1999.
- [5] W. El-Khattam, M.M.A. Salama; **“Impact of Distributed Generation on Voltage Profile in Deregulated Distribution System”**, IEEE, Clemson, SC, USA, Vol. 19, No. 6, pp.13 - 15, March 2002.
- [6] N.P. Padhy, M.A. Abdel Moamen; **“Power Flow Control and Solutions with Multiple and Multi-Type FACTS Devices”**, Elsevier electric power and energy systems, Vol. 74, pp. 341 - 351, 2005.
- [7] A. Hanif, M.A. Choudhry; **“Investigating Mooth Power Flow Control for Dispersed Generator Working Parallel to the Grid System on the Load Side”**, IEEE PSCE. Vol. 142, pp. 856 - 864. 2006.
- [8] M. Noroozian, L. Anguist, M. Ghandhari, G. Andersson; **“Use of UPFC for Optimal Power Flow Control”**, IEEE Trans, Vol. 17, No. 4, pp. 1629 - 1634, 1997.
- [9] L. Gyugyi; **“Unified Power-Flow Control Concept for Flexible AC Transmission System”**, IEEE Conference, Vo1. 139, No. 4, pp. 323 - 331, 1992.



شکل ۹- کل توان اکتیو بار که مجموع توان تولیدی منبع اصلی و منبع DG است.



شکل ۱۰- تغییرات ولتاژ بار بدون UPFC و با UPFC



شکل ۱۱- تغییرات توان بار بدون UPFC و با UPFC است.

۹- پی نوشتها

- 1- Distribution Generation
- 2- Electric power research Institute
- 3- Flexible Ac transmission System
- 4- Unified power flow controller