

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



عضویت در خبرنامه



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛ شبکه های توجه گرافی (GAN)

مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛
شبکه های توجه گرافی
(Graph Attention Networks)



آموزش استفاده از وب آو ساینس

کارگاه آنلاین آموزش استفاده از
وب آو ساینس



کارگاه آنلاین مقاله روزمره انگلیسی

کنترل محلی واحدهای تولید پراکنده به منظور بهبود کیفیت توان در ریزشبکه‌های جزیره‌ای

مرتضی حق شناس ، محمود عبادیان ، رضا غنی زاده

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه بیرجند

بیرجند ، ایران

Haghshenas.M@birjand.ac.ir

ریزشبکه‌ها در حالت جزیره‌ای دارای امپدانس معادل تونن بزرگتری نسبت به حالت متصل به شبکه هستند [۱] و اغتشاشات بار در این حالت می‌تواند به طور قابل ملاحظه‌ای کیفیت توان این سیستم‌ها را تحت تأثیر قرار دهد. لذا کنترل این اغتشاشات در سیستم‌های جزیره‌ای، نسبت به شبکه‌های توزیع سنتی از اهمیت بالاتری برخوردار می‌باشد.

تا کنون روش‌های متعددی برای کنترل ریزشبکه‌ها با هدف جبران‌سازی اغتشاشات هارمونیک ارائه شده است. در حالت کلی این روش‌ها یا مبتنی بر کنترل خودگردان مبدل واسط منابع تولید پراکنده هستند یا در آنها از یک کنترلکننده مرکزی برای جبران اغتشاشات استفاده شده است. در این راستا، در [۲ و ۳] جهت بهبود پارامترهای کیفیت توان از یک روش کنترل بهینه مبتنی بر الگوریتم بهینه‌سازی تجمع ذرات (PSO) استفاده شده است. در [۴-۷] روش‌هایی برای کنترل محلی DGها ارائه شده که در آنها از ایده رفتار مقاوم‌تی برای جبران‌سازی هارمونیک‌های ولتاژ استفاده شده است.

مؤلفین [۶] یک روش کنترل محلی را برای ریزشبکه‌های جزیره‌ای پیشنهاد داده‌اند که در آن علاوه بر ساختار پایه DGها، از یک جبرانکننده بار هم استفاده شده است. در [۷] پیشنهاد شده است که برای تقسیم بار کاری جبران‌سازی بین DGها از یک مشخصه افت بر مبنای توان راکتیو هارمونیک استفاده گردد. روش‌های دیگری نیز در [۸-۱۰] برای تقسیم بار غیرخطی بین DGها ارائه شده است که عملکرد آنها بر مبنای ایجاد امپدانس مجازی بر سر راه جریان‌های غیر مؤلفه اصلی می‌باشد.

در اکثر روش‌های فوق جبران‌سازی هارمونیک‌های ولتاژ در خروجی DG انجام شده است. این در حالی است که وقتی DGها تلاش میکنند هارمونیک‌های ولتاژ را بصورت محلی در خروجی خود یا نقطه‌های نزدیک به آن جبران‌سازی کنند، ممکن است اغتشاش هارمونیک در برخی از شینهای

چکیده — در پی گسترش استفاده از تولیدات پراکنده در سیستم قدرت، ریزشبکه‌ها از جایگاه ویژه‌ای برخوردار شده‌اند. در این مقاله یک روش غیرمتمرکز مبتنی بر کنترل واحدهای تولید پراکنده (DG) به منظور بهبود کیفیت توان در ریزشبکه‌های جزیره‌ای ارائه شده است. در این روش سیستم کنترل محلی DGها در قاب مرجع $\alpha\beta$ طراحی شده و جبران‌سازی هارمونیک‌های ولتاژ ریزشبکه بصورت انتخابی انجام گرفته است. همچنین به منظور بهبود عملکرد سیستم کنترل، ساختاری نوین برای امپدانس مجازی پیشنهاد شده است که شامل یک حلقه امپدانس مجازی مؤلفه اصلی برای بهبود تقسیم توان‌های مؤلفه اصلی و حلقه‌های امپدانس مجازی هارمونیک برای تقسیم مناسب بار غیرخطی بین DGها می‌باشد. شبیه‌سازی این روش در نرم‌افزار MATLAB انجام گرفته و نتایج حاصل از آن صحت عملکرد طرح پیشنهادی را برای بهبود کیفیت توان ریزشبکه‌ها و سیستم‌های تولید پراکنده تأیید کرده است.

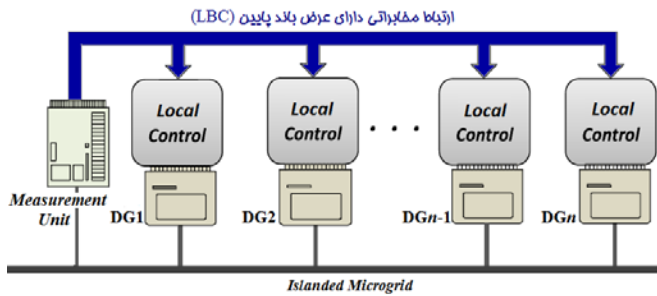
واژه‌های کلیدی — تولید پراکنده؛ ریزشبکه جزیره‌ای؛ امپدانس مجازی؛ جبران‌سازی هارمونیک‌های ولتاژ.

۱. مقدمه

ریزشبکه‌ها شبکه‌های محلی شامل واحدهای تولید پراکنده، سیستم‌های ذخیره‌ساز انرژی و بارهای توزیع شده هستند که می‌توانند در حالت متصل به شبکه اصلی یا مستقل از آن (جزیره‌ای) مورد بهره‌برداری قرار بگیرند [۱]. امروزه با توجه به افزایش استفاده از بارهای غیرخطی در سطح ولتاژ توزیع، هارمونیک‌های ولتاژ و جریان به رایجترین مشکل کیفیت توان در ریزشبکه‌ها و شبکه‌های توزیع انرژی الکتریکی تبدیل شده‌اند. از طرفی

کنترل محلی واحدهای تولید پراکنده به منظور بهبود کیفیت توان در ریزشبکههای جزیره‌ای

بیست و نهمین کنفرانس بین‌المللی برق - ۱۳۹۳ تهران، ایران



شکل ۱. طرح کلی کنترل غیر متمرکز ریز شبکه در حالت جزیره‌ای.

سیستم الکتریکی (از جمله شین بار حساس) افزایش یابد. این پدیده به ویژه در سیستمهای جزیره‌ای میتواند برای بارهای حساسی که دور از محل نصب DG قرار دارند مشکل آفرین باشد. لذا در این مقاله پیشنهاد میشود جبران سازی هارمونیکهای ولتاژ برای شین بار ریز شبکه انجام پذیرد و جهت جلوگیری از اضافه بار شدن مبدلهای واسط، هر یک از DGها با توجه ظرفیت نامی خود در جبران این اغتشاشات مشارکت داشته باشند.

۲. کنترل غیر متمرکز ریز شبکهها

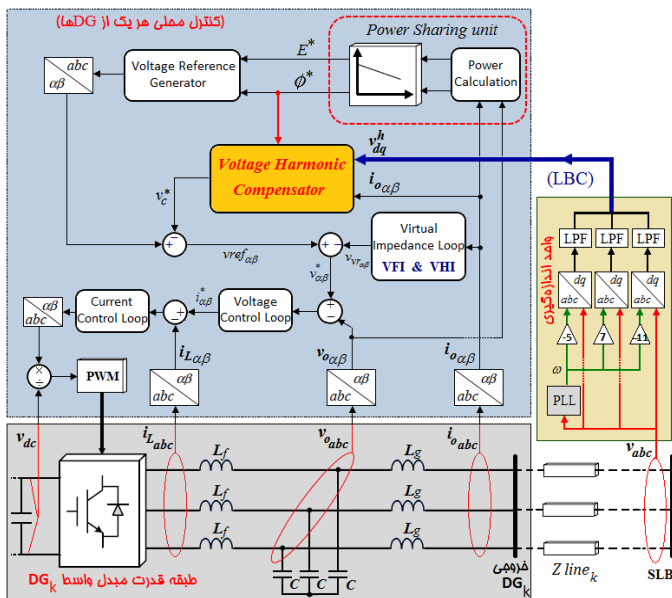
در حالت کلی ریز شبکهها یا بصورت غیر متمرکز توسط کنترل محلی واحدهای تولید پراکنده کنترل میشوند یا اینکه کنترل آنها بصورت متمرکز و با استفاده از یک کنترل کننده مرکزی انجام میگردد [۱۱]. شکل (۱) ساختار کلی طرح کنترل غیر متمرکز پیشنهادی برای بهبود کیفیت ولتاژ شین بار حساس (SLB) را نشان میدهد که در آن از یک ارتباط مخابراتی با عرض باند پایین (LBC) برای انتقال اطلاعات از واحد اندازه گیری به کنترل کنندههای محلی DGها استفاده شده است. در این واحد اطلاعات مورد نیاز ولتاژ SLB استخراج شده و از آنجا که ممکن است DGها از این نقطه دور باشند، این اطلاعات از طریق ارتباط مخابراتی به کنترل کنندههای محلی ارسال میگردد.

انتخاب LBC با هدف اجتناب از وابستگی عملکرد سیستم کنترل به وجود عرض باند بالا انجام گرفته است. از طرفی به منظور کافی بودن عرض باند پایین، باید دادههای منتقل شده توسط LBC شامل سیگنالهای تقریباً DC باشد. از اینرو، در این مقاله ابتدا مؤلفه‌های هارمونیک ولتاژ SLB در قاب مرجع سنکرون (dq) استخراج شده و سپس به کنترل کننده های محلی DGها ارسال شده است.

۳. کنترل محلی واحدهای تولید پراکنده به منظور

بهبود کیفیت توان

در شکل (۲) جزئیات طرح پیشنهادی برای کنترل سیستمهای تولید پراکنده به همراه طبقه قدرت DG نشان داده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده میشود، جبران سازی هارمونیکهای ولتاژ در سطح کنترل محلی و به صورت انتخابی انجام میگردد. بخش قدرت هر DG شامل لینک DC، یک مبدل واسط از نوع منبع ولتاژی و یک فیلتر LC میباشد. همچنین جهت محدود کردن جریان گردشی بین DGهای ریز شبکه در حالت جزیره ای از یک سلف در خروجی DG استفاده شده است که در اینجا سلف خروجی مبدل (L_g) نامیده میشود.



شکل ۲. طرح پیشنهادی برای کنترل محلی DGها.

سیستم کنترل محلی DGها در قاب مرجع $\alpha\beta$ طراحی شده و برای انتقال متغیرها از قاب abc به قاب $\alpha\beta$ از روابط آشنای تبدیل کلارک [۱۲] استفاده شده است. همانطور که در بلوک کنترل محلی DG_k در شکل (۲) نشان داده شده است، مرجع ولتاژ خروجی DG در قاب $\alpha\beta$ ($v_{\alpha\beta}^*$) توسط مشخصه‌های کاهشی کنترل توان، حلقه‌های امپدانس مجازی و بلوک جبران سازی هارمونیکهای ولتاژ تولید میگردد. از سوی دیگر ولتاژ لحظه‌ای خروجی DG (v_{abc}) به قاب مرجع $\alpha\beta$ منتقل شده و پس از مقایسه با $v_{\alpha\beta}^*$ ، مرجع کنترل جریان ($i_{\alpha\beta}^*$) را میسازد. در نهایت پاسخ کنترل کننده جریان به خطای حاصل از مقایسه جریان سلف فیلتر و جریان مرجع $i_{\alpha\beta}^*$ به قاب abc باز گردانده میشود تا ولتاژهای مرجع سه فاز در این مختصات تولید شده و کلیدزنی مبدل واسط DG بر اساس این مرجع انجام گیرد. شایان ذکر است در این مقاله هارمونیکهای مرتبه ۵، ۷ و ۱۱ به عنوان هارمونیکهای اصلی جبران سازی میشوند. جزئیات استخراج مؤلفه‌های

$$G_V(s) = k_{pV} + \sum_{h=1,5,7,11} \frac{2.k_{rV}h.\omega_{cV}.S}{S^2 + 2.\omega_{cV}.S + (h.\omega_0)^2} \quad (5)$$

$$G_I(s) = k_{pI} + \sum_{h=1,5,7,11} \frac{2.k_{rI}h.\omega_{cI}.S}{S^2 + 2.\omega_{cI}.S + (h.\omega_0)^2} \quad (6)$$

در این روابط k_{pI} و k_{pV} به ترتیب ضرایب تناسبی کنندهای ولتاژ و جریان، $k_{rI}h$ و $k_{rV}h$ ضرایب رزونانسی این کنترل‌کنندها در هارمونیک h و ω_c فرکانس قطع کنترلکنندهای رزونانسی میباشند.

۳.۳. ساختار پیشنهادی برای امپدانس مجازی

همانطور که در بخش ۳-۱ بیان شد، کنترل توانهای مؤلفه اصلی با فرض سلفی بودن امپدانس ریزشبکه انجام میگیرد. از اینرو امپدانس مجازی در فرکانس اصلی (هارمونیکی) به نحوی ایجاد میگردد که توان مؤلفه اصلی (غیر مؤلفه اصلی) به طور مناسبی بین DGها تقسیم گردد. بر اساس [۱۵]، بکارگیری مقاومت مجازی باعث میراسازی نوسانات سیستم میگردد و اندوکتانس مجازی در فرکانس اصلی میتواند امپدانس خروجی DG را سلفیتر کرده و عملکرد مشخصه‌های کاهشی را در کنترل توان بهبود بخشد. لذا در این مقاله از یک حلقه امپدانس مجازی مؤلفه اصلی (VFI) شامل مقاومت و اندوکتانس مثبت که در قاب مرجع $\alpha\beta$ پیاده‌سازی شده است برای بهبود تقسیم توانهای مؤلفه اصلی بین DGها استفاده میگردد.

همانطور که در شکل (۲) مشاهده میشود، در طرح پیشنهادی به منظور کاهش جریان گردشی بین DGها و بهبود عملکرد واحد تقسیم توان در حالت جزیره‌ای از سلف L_g در خروجی مبدل استفاده شده است. حال اگر با طراحی مناسب کنترل کنندهای ولتاژ و جریان بتوان اغتشاش ولتاژ خروجی فیلتر LC (ولتاژ خازن فیلتر) را محدود نمود، افت ولتاژ اغتشاشی ایجاد شده روی L_g باعث ایجاد اغتشاش در خروجی DG میگردد و از آنجا که معمولاً بارهای ریزشبکه با فاصله کمی از این نقطه قرار میگیرند، چنین اغتشاشی میتواند باعث اختلال در عملکرد بارهای حساس گردد. در اینجا پیشنهاد میشود که برای جبران افت ولتاژ هارمونیکی ایجاد

شده روی سلف خروجی مبدل، از حلقه‌های امپدانس مجازی هارمونیکی (VHI) شامل مقاومت مثبت و اندوکتانس منفی استفاده گردد. در این حالت حضور مقاومت مجازی هارمونیکی باعث بهبود تقسیم بار غیرخطی بین DGها شده و اندوکتانس مجازی منفی اثر نامطلوب سلف خروجی در فرکانسهای هارمونیکی را جبران مینماید. شایان ذکر است که حلقه‌های

هارمونیکی ولتاژ شین بار $(v_{dq}^5, v_{dq}^7, v_{dq}^{11})$ در واحد اندازه‌گیری شکل (۲) نشان داده شده است. در این راستا ولتاژ نمونه‌برداری شده از شین بار (v_{abc}) به قابهای مرجع dq که به ترتیب با سرعتهای -5ω ، 7ω و 11ω میچرخند منتقل شده و سپس مؤلفه‌های هارمونیکی ولتاژ توسط فیلترهای پایین‌گذر (LPF) مرتبه دوم با فرکانس قطع ۲HZ استخراج شده‌اند. در ادامه بخشهای مختلف سیستمهای کنترل محلی معرفی شده است.

۳.۱. محاسبه و کنترل توانهای مؤلفه اصلی

همانطور که در شکل (۲) مشاهده میشود به منظور محاسبه توان‌های اکتیو و راکتیو لحظهای، ابتدا ولتاژ و جریان خروجی DG به قاب مرجع $\alpha\beta$ منتقل میشوند تا به ترتیب $i_{o\alpha\beta}$ و $v_{o\alpha\beta}$ حاصل گردند. سپس این مقادیر به بلوک "محاسبه توان" اعمال میشوند که در آن توانهای اکتیو و راکتیو لحظهای بر اساس [۱۲] و مطابق با روابط (۱) و (۲) محاسبه میشوند.

$$p = \bar{p} + \tilde{p} = v_{\alpha}i_{\alpha} + v_{\beta}i_{\beta} \quad (1)$$

$$q = \bar{q} + \tilde{q} = v_{\beta}i_{\alpha} - v_{\alpha}i_{\beta} \quad (2)$$

هر یک از توانهای اکتیو و راکتیو لحظهای محاسبه شده توسط روابط (۱) و (۲) دارای یک مؤلفه DC و یک مؤلفه نوسانی هستند. در این مقاله از فیلترهای مرتبه اول با فرکانس قطع ۲HZ برای جداسازی مؤلفه‌های DC استفاده شده است. از طرفی با فرض سلفی بودن امپدانس ریزشبکه، توان‌های اکتیو و راکتیو مؤلفه اصلی به صورت تقریباً مستقل و به ترتیب توسط زاویه فاز و دامنه ولتاژ خروجی DGها قابل کنترل هستند [۱۳]. بر این اساس، در این مقاله از مشخصه‌های کاهشی زیر برای تقسیم توانهای اکتیو و راکتیو مؤلفه اصلی بین DGهای ریزشبکه در حالت جزیره‌ای استفاده شده است. در این روابط \bar{q} و \bar{p} توانهای اکتیو و راکتیو مؤلفه اصلی، ϕ_0 مرجع زاویه فاز ولتاژ، E_0 مرجع دامنه ولتاژ فاز، m_p و m_i ضرایب تناسبی و انتگرالی کنترل توان اکتیو و n_p ضریب تناسبی کنترل توان راکتیو میباشد.

$$\phi^* = \phi_0 - (m_p \cdot \bar{P} + \frac{m_i}{s} \cdot \bar{P}) \quad (3)$$

$$E^* = E_0 - n_p \cdot \bar{q} \quad (4)$$

۳.۲. حلقه‌های داخلی کنترل ولتاژ و جریان

از آنجا که کنترلکننده‌های PI عملکرد مناسبی در کنترل متغیرهای غیر DC ندارند، استفاده از کنترلکننده‌های تناسبی رزونانسی (PR) در قاب مرجع $\alpha\beta$ ترجیح داده میشود [۱۴]. در این مقاله کنترلکننده‌های رزونانسی ولتاژ و جریان مطابق با روابط (۵) و (۶) پیاده‌سازی شده‌اند.

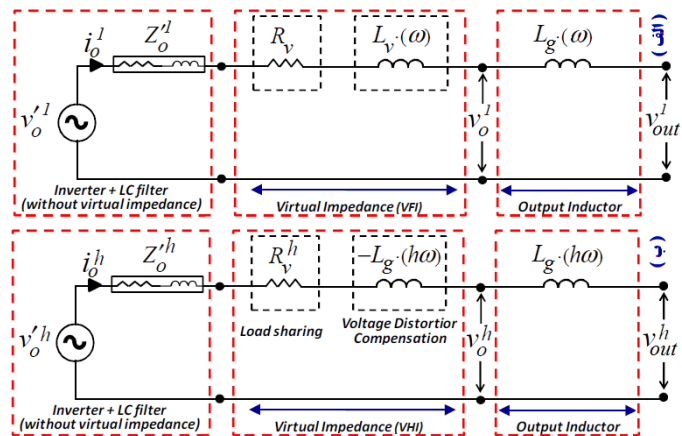
¹ Virtual Fundamental Impedance - VFI

² Virtual Harmonic Impedance - VHI

۳.۴. جبران‌سازی هارمونیکهای ولتاژ شین بار

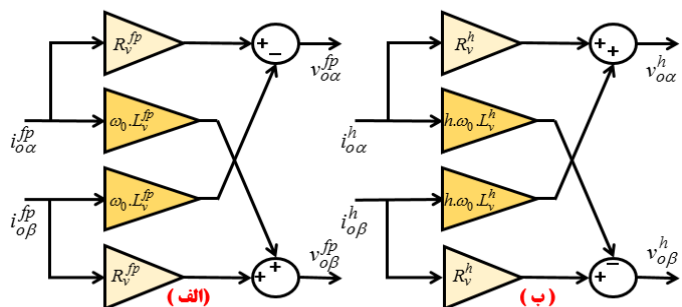
VHI تنها باید بر سر راه جریانهای هارمونیک قرار بگیرند تا اثرات

مطلوب L_g در محدود کردن جریان گردشی و همچنین حفظ امپدانس عمدتاً سلفی ریزشبهه در مؤلفه اصلی باقی بماند. شکل (۳) نحوه تأثیر ساختار پیشنهادی برای امپدانس مجازی را در مؤلفه‌های اصلی و هارمونیک نشان میدهد. در این شکل، V'_o و Z'_o به ترتیب ولتاژ و امپدانس خروجی مبدل دارای فیلتر LC بدون حضور امپدانس مجازی هستند. علاوه بر این، در این شکل V_o ولتاژ خروجی فیلتر LC با حضور امپدانس مجازی و V_{out} ولتاژ خروجی فیلتر LCL میباشند.



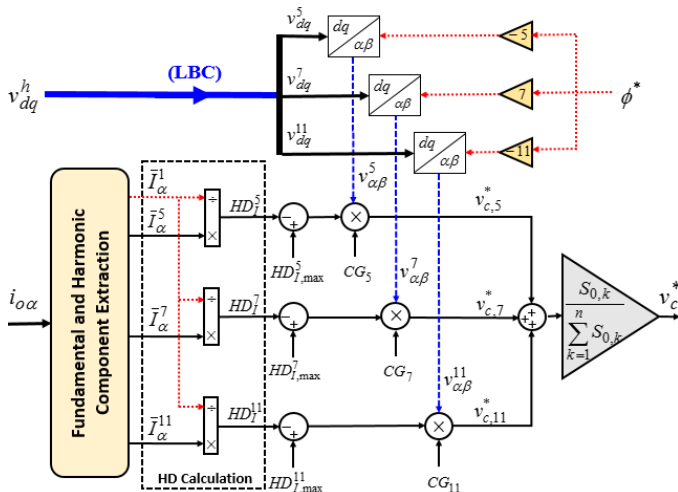
شکل ۳. مدار معادل مبدل واسط DG در فرکانس‌های مؤلفه اصلی (الف) و هارمونیک (ب).

نحوه پیاده‌سازی حلقه‌های امپدانس مجازی مؤلفه اصلی و هارمونیک در شکل (۴) نشان داده شده است. در این شکل ω_o فرکانس پایه، f_p بیانگر پارامترهای توالی مثبت در فرکانس پایه، R_v و L_v به ترتیب مقاومت و اندوکتانس مجازی و i_o جریان خروجی DG میباشند. در انتخاب پارامترهای حلقه VHI توجه به این نکته ضروری است که افزایش R_v^h به منظور بهبود تقسیم بار غیرخطی، افزایش اغتشاش ولتاژ خروجی DGها را به همراه خواهد داشت [۱۶]. لذا در انتخاب پارامترهای حلقه VHI باید مصالحهای بین اغتشاش ولتاژ خروجی DG و دقت تقسیم بار غیرخطی ایجاد گردد.



شکل ۴. نحوه پیاده‌سازی حلقه‌های VFI (الف) و VHI (ب).

شکل (۵) جزئیات بلوک جبران‌سازی هارمونیکهای ولتاژ در سیستم کنترل محلی DGها را نشان میدهد. بر اساس این شکل، مرجع جبران‌سازی برای هر هارمونیک $(v_{c,h}^*)$ به صورت جداگانه تولید شده و سپس مراجع مربوط به تمام هارمونیکهای تحت جبران‌سازی با هم جمع میشوند. در نهایت مقدار حاصل در نسبت توان نامی مبدل DG_k به مجموع توان نامی تمام DGها ضرب شده تا مرجع جبران‌سازی (v_c^*) برای DG_k تولید گردد و بخشی از مرجع کنترلکننده ولتاژ را بسازد. بدین ترتیب بار کاری جبران سازی متناسب با توانهای نامی بین DGها تقسیم میگردد. بر اساس شکل (۵)، v_c^* توسط رابطه (۷) تولید میگردد، که در آن $v_{\alpha\beta}^h$ ولتاژ هارمونیک مرتبه h در قاب مرجع $\alpha\beta$ و CG_h بهره جبران‌سازی هارمونیک h میباشد.



شکل ۵. جزئیات بلوک جبران‌سازی هارمونیکهای ولتاژ.

$$v_{c,h}^* = (v_{\alpha\beta}^h) \cdot CG_h \cdot (HD_I^h_{max} - HD_I^h) \quad (7)$$

با توجه به علامت منفی مورد استفاده برای تزریق v_c^* در شکل (۲)، CG_h باید مقداری مثبت داشته باشد تا یک ولتاژ هارمونیک در فاز مخالف $v_{\alpha\beta}^h$ تولید شود و بتواند اغتشاش هارمونیک در شین بار را کاهش دهد. در رابطه (۷)، HD_I^h شاخص اغتشاش هارمونیک مربوط به هارمونیک h ام جریان خروجی DG است که نحوه محاسبه آن در شکل (۵) نشان داده شده است. در این روش HD_I^h به عنوان شاخصی برای میزان تلاش هر DG برای جبران‌سازی در نظر گرفته شده است، به نحوی که جبران‌سازی هارمونیکهای ولتاژ شین بار با تزریق جریانهای هارمونیک هم مرتبه توسط DGها و در نتیجه افزایش HD_I^h حاصل میگردد. لذا در نظر گرفتن

شده است. در گام اول (0 sec < t < 1.5 sec) نتایج حاصل از کنترل محلی DGها با ساختار کنترلی پایه و بدون هیچ گونه جبران‌سازی جهت بهبود کیفیت توان ارائه شده است. در گام دوم (1.5 sec < t < 3 sec) با اضافه شدن حلقه‌های امپدانس مجازی هارمونیک (VHI) به ساختار کنترلی پایه، اثر این حلقه‌ها بر عملکرد سیستم بررسی شده و پس از قرار گرفتن سیستم در یک شرایط ماندگار، در گام سوم (3 sec < t < 4.5 sec) واحد جبران‌ساز انتخابی هارمونیک‌های ولتاژ در سیستم‌های کنترل محلی فعال می‌گردد.

جدول ۱. پارامترهای کنترل محلی واحدهای تولید پراکنده.

مشخصه‌های کاهش‌کننده کنترل توان اکتیو و راکتیو					
DG1			DG2, DG3		
m_p (rad/W)	m_i (rad/W.s)	n_p (V/VAR)	m_p (rad/W)	m_i (rad/W.s)	n_p (V/VAR)
8×10^{-6}	8×10^{-5}	8×10^{-2}	16×10^{-6}	16×10^{-5}	16×10^{-2}
حلقه‌های داخلی کنترل ولتاژ (DG1, DG2, DG3)					
k_{pV}	k_{rV1}	k_{rV5}	k_{rV7}	k_{rV11}	ω_{cV} (r/s)
1	100	100	150	150	2
حلقه‌های داخلی کنترل جریان (DG1, DG2, DG3)					
K_{IV}	k_{rI1}	k_{rI5}	k_{rI7}	k_{rI11}	$(r/s)\omega_{cI}$
5	500	100	100	100	2
حلقه‌های امپدانس مجازی مؤلفه اصلی و هارمونیک					
DG1				DG2, DG3	
$L_{V,1+}$ (mH)	$R_{V,1+}$ (Ω)	$L_{V,h}$ (mH)	$R_{V,h}$ (Ω)	$L_{V,1+}$ (mH)	$R_{V,1+}$ (Ω)
0.2	3	1.2	17.405	0.4	6
				$L_{V,h}$ (mH)	$R_{V,h}$ (Ω)
				1.2	6.830
واحد جبران‌ساز انتخابی هارمونیک‌های ولتاژ (DG1, DG2, DG3)					
CG ₅		CG ₇		CG ₁₁	
52.0237		32.6008		19.7140	

جدول ۲: پارامترهای بخش قدرت ریزشبکه.

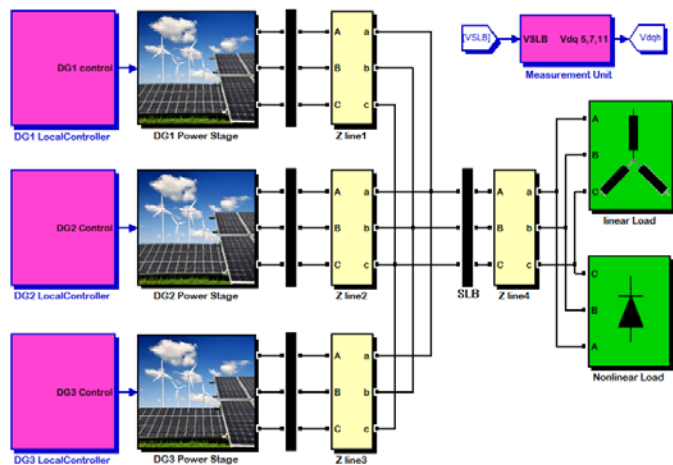
پارامترهای بخش قدرت منابع تولید پراکنده			
Vdc (V)	Cf (μ F)	Lf (mH)	Lg (mH)
650	25	1.2	1.2
خطوط توزیع		بار غیر خطی	
DG1	DG 2,3	Load	Z_L
R_{NL} (Ω)	L_{NL} (mH)	C_{NL} (μ F)	Z_L (Ω)
0.2+j0.8	0.08+j0.4	0.05+j0.08	50+j6.5

شکل (۷) شاخص‌های اغتشاش هارمونیک ولتاژ خروجی DGها و شین بار ریزشبکه را در گام‌های اول تا سوم شبیه‌سازی نشان می‌دهد. همین‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، در گام اول شبیه‌سازی که هنوز حلقه‌های VHI فعال نشده است ولتاژ خروجی DGها تقریباً بدون هارمونیک است. این موضوع به صورت مقادیر کوچک THD و همچنین شاخص‌های اغتشاش هارمونیک ولتاژ (HD^5, HD^7, HD^{11}) در این گام قابل مشاهده است. این در حالی است که ولتاژ SLB در گام اول شبیه‌سازی

عبارت $(HD_{I,max}^h - HD_1^h)$ در رابطه (۷) باعث تقسیم بار کاری جبران‌سازی بین DGها می‌گردد. شایان ذکر است که در بخش‌های مختلف این مقاله، جداسازی مؤلفه‌های اصلی و هارمونیک جریانی بر اساس [۱۷] و مبتنی بر ساختار انتگرال‌گیر کلی درجه دوم (SOGI) انجام گرفته است.

۴. نتایج شبیه‌سازی و مطالعات عددی

شکل (۶) ریزشبکه شبیه‌سازی شده در محیط سیمولینک نرم افزار MATLAB را نشان می‌دهد که در حالت جزیره‌ای مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. این ریزشبکه دارای ۳ واحد تولید پراکنده است که در آن توان نامی DG₁ دو برابر توان نامی واحدهای دیگر می‌باشد. لذا پارامترهای سیستم کنترل با تحلیل پایداری برای DG₁ محاسبه شده و مقادیر متناظر برای واحدهای دیگر با توجه به ظرفیت آنها تعیین شده است. بدیهی است که میتوان تحلیل پایداری را برای واحدهای DG₂ و DG₃ نیز انجام داده و به نتایج مشابهی دست یافت. مقادیر نامی ولتاژ فاز و فرکانس ریزشبکه به ترتیب ۲۳۰V و ۵۰Hz و نظر گرفته شده و پارامترهای کنترل محلی DGها و بخش قدرت ریزشبکه به ترتیب در جدول‌های (۱) و (۲) ارائه شده است. همچنین یک بار سه‌فاز با اتصال ستاره و یک یکسوساز دیودی تمام موج به عنوان بارهای خطی و غیرخطی ریزشبکه انتخاب شده‌اند.



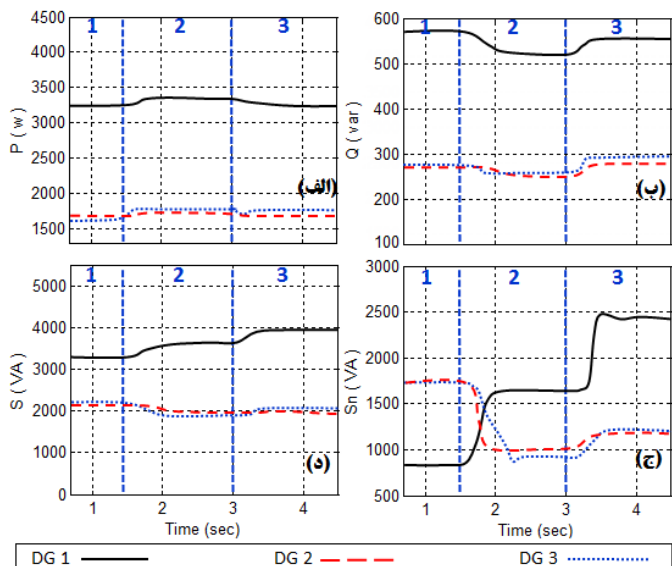
شکل ۶. ساختار کلی ریزشبکه شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار MATLAB.

در این شبیه‌سازی به منظور مشاهده عملکرد ساختار امپدانس مجازی پیشنهادی در تقسیم مؤلفه‌های مختلف توان بین DGها، امپدانس خطوط توزیع به نحوی تعیین شده است که یک شرایط نسبتاً نامتقارن در حالت جزیره‌ای ایجاد گردد. از این‌رو، به منظور بررسی و تحلیل عملکرد سیستم کنترل در تقسیم توان بین DGها و جبران‌سازی هارمونیک‌های ولتاژ SLB، شبیه‌سازی به صورت پیوسته انجام گرفته و نتایج آن در سه گام مجزا ارائه

کنترل محلی واحدهای تولید پراکنده به منظور بهبود کیفیت توان در ریزشبکههای جزیره‌ای

بیست و نهمین کنفرانس بین‌المللی برق - ۱۳۹۳ تهران، ایران

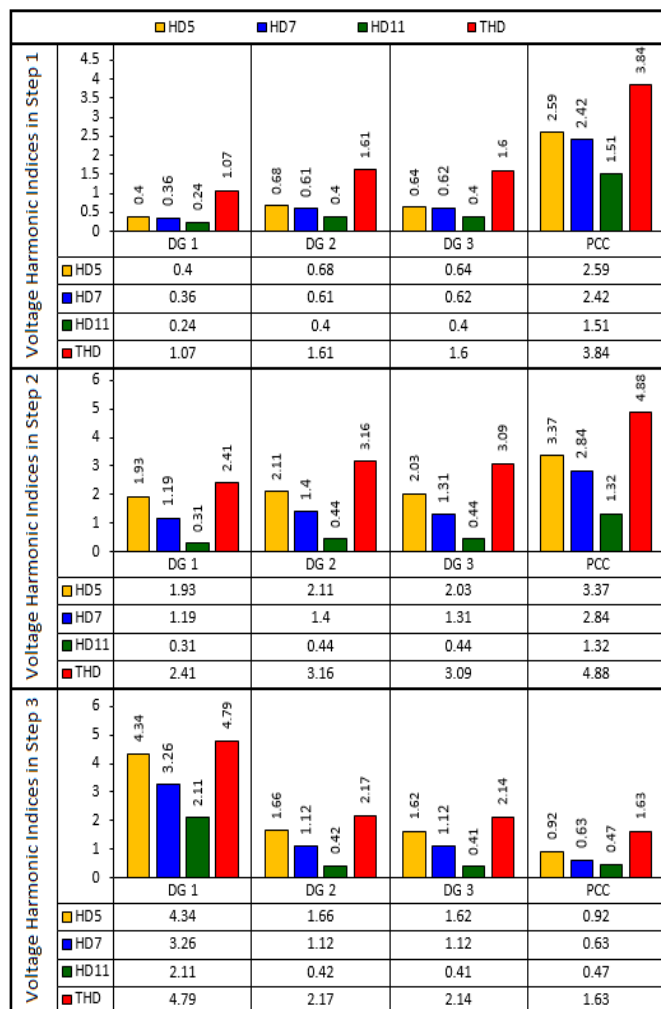
دارای مقدار قابل ملاحظه‌ای اغتشاش می‌باشد، که عامل اصلی آن افت ولتاژ هارمونیک ایجاد شده روی خطوط توزیع DGها است.



شکل ۸. توان‌های اکتیو مؤلفه اصلی (الف)، راکتیو مؤلفه اصلی (ب)، ظاهری غی مؤلفه اصلی (ج) و ظاهری کل (د) در گام‌های شیعی سازی.

در گام دوم شبیه‌سازی، حلقه‌های امپدانس مجازی هارمونیک به ساختار کنترل پایه DGها افزوده می‌شود. این حلقه‌ها به صورت مجزا بر سر راه جریانهای هارمونیک اصلی قرار می‌گیرند تا تقسیم بار غیرخطی بین DGها را بهبود بخشند. در نتایج شکل (۸-ج) مشاهده می‌شود که پس از اضافه شدن این حلقه‌ها تقسیم بار غیرخطی بین DGها به میزان قابل توجهی بهبود یافته ولی همچنان متناسب با توان نامی DGها نیست. از طرفی بر اساس نتایج شکل (۷) برای گام دوم، اضافه شدن حلقه‌های امپدانس مجازی در فرکانسهای هارمونیک، افزایش اغتشاش ولتاژ خروجی DGها و در پی آن افزایش اغتشاش ولتاژ در SLB را به همراه داشته است. در واقع نتایج این گام نشان می‌دهد که بهبود تقسیم بار غیرخطی بین DGها به قیمت افزایش اغتشاش در ولتاژ خروجی آنها حاصل می‌گردد.

در گام سوم شبیه‌سازی واحد جبران‌ساز هارمونیکهای ولتاژ در کنترل کننده محلی DGها فعال می‌گردد. از نتایج شکل (۷) مشخص است که جبران‌ساز هارمونیکهای ولتاژ SLB، کاهش قابل ملاحظه‌ای را در شاخصهای اغتشاش هارمونیک ولتاژ این نقطه به همراه داشته است. این واقعیت در حالی است که بهبود کیفیت ولتاژ SLB به قیمت افزایش اغتشاش در ولتاژ خروجی DGها ایجاد شده است. زیرا بر اساس توضیحات بخش ۳-۴ با فعال شدن واحد جبران‌ساز هارمونیکها، اغتشاش خروجی DGها به مقدار بالاتری افزایش داده می‌شود تا پس از افت ولتاژ هارمونیک روی خط توزیع و مقاومت‌های مجازی هارمونیک یک ولتاژ تقریباً سینوسی در SLB فراهم گردد. در این راستا توجه به این نکته ضروری است که



شکل ۷. شاخص‌های اغتشاش هارمونیک ولتاژ بر حسب درصد.

در شکل (۸) نحوه تغییر مؤلفه‌های مختلف توان در طول دوره شبیه سازی نشان داده شده است. همانطور که در شکل‌های (۸-الف) و (۸-ب) مشاهده می‌شود، علی‌رغم عدم تقارن امپدانسهای خطوط توزیع، توانهای اکتیو و راکتیو مؤلفه اصلی متناسب با توان نامی DGها بین آنها تقسیم شده است. لذا، این نتایج عملکرد صحیح مشخصه‌های کاهش را در کنترل توان اول، توان ظاهری غیر مؤلفه اصلی (S_n) که در این مقاله میتوان آن را توان هارمونیک نیز نامید تقریباً به نسبت عکس ظرفیت DGها تقسیم شده است. این در حالی است که توان نامی DG1 دو برابر توان نامی واحدهای DG2 و DG3 بوده و انتظار میرود میزان مشارکت آن نیز در تأمین توان هارمونیک بار بیشتر باشد.

منابع

- [1] IEEE Std. 1547.4-2011, "IEEE Guide for Design, Operation, and Integration of Distributed Resource Island Systems with Electric power systems", 2011.
- [2] W. Al-Saedi, S. W. Lachowicz, D. Habibi, and O. Bass, "Power quality enhancement in autonomous Microgrid operation using Particle Swarm Optimization," International Journal of Electrical Power & Energy Systems, vol.42, no.1, pp.139-149, 2012.
- [3] W. Al-Saedi, S. W. Lachowicz, D. Habibi, and O. Bass, "Voltage and frequency regulation based DG unit in an autonomous microgrid operation using Particle Swarm Optimization," International Journal of Electrical Power & Energy Systems, vol.53, pp. 742-751, 2013.
- [4] M. Prodanovic, K. D. Brabandere, J. V. Keybus, T. C. Green and J. Driesen, "Harmonic and Reactive Power Compensation as Ancillary Services in Inverter-Based Distributed Generation", IET Generation, Transmission and Distribution. Vol. 1, No. 3, pp. 432-438, May 2007.
- [5] J. He, Y. W. Li and M. S. Munir, "A Flexible Harmonic Control Approach through Voltage Controlled DG-Grid Interfacing Converters", IEEE Trans. Ind. Electron., Vol. 59, No. 1, pp. 444-455, Jan. 2012.
- [6] X. Wang, F. Blaabjerg, and Z. Chen, "Autonomous control of inverter-interfaced Distributed Generation units for harmonic current filtering and resonance damping in an islanded micro-grid," IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 50, no. 1, January/February 2014.
- [7] T. L. Lee, P. T. Cheng, "Design of New Cooperative Harmonic Filtering Strategy for Distributed Generation Interface Converters in an Islanding Network", IEEE Transaction on Power Electronics, vol. 22, no. 5, pp. 1919-1927, Sep. 2007.
- [8] J. M. Guerrero, J. Matas, L. G. Vicuna, M. Castilla, J. Miret, "Wireless control strategy for parallel operation of distributed generation inverters," IEEE Transaction on Industrial Electronics, vol. 53, no. 5, pp. 1461-1470, Oct. 2006.
- [9] J. M. Guerrero, J. Matas, L. G. de Vicuña, M. Castilla, and J. Miret, "Decentralized Control for Parallel Operation of Distributed Generation Inverters Using Resistive Output Impedance", IEEE Transaction on Industrial Electronics, Vol. 54, No. 2, pp. 994-1004, Apr. 2007.
- [10] D. De and V. Ramanarayanan, "Decentralized Parallel Operation of Inverters Sharing Unbalanced and Nonlinear Loads", IEEE Trans. Power Elec., Vol. 25, No. 12, pp. 3015-3025, Dec. 2010.
- [11] J. M. Guerrero, M. Chandorkar, T. L. Lee, P. C. Loh, "Advanced Control Architectures for intelligent microgrids - Part I: Decentralized and hierarchical control", IEEE Transaction on Industrial Electronics, vol. 60, no. 4, pp. 1254-1262, Apr. 2013.
- [12] "Instantaneous Power Theory and Applications to Power Conditioning" by: Hirofumi Akagi, Edson Hirokazu Watanabe, Mauricio Aredes, Apr. 2007, Wiley-IEEE Press.
- [13] Q. Shafiee, J. M. Guerrero, J. C. Vasquez, "Distributed Secondary Control for Islanded Microgrids—A Novel Approach," IEEE Transaction on Power Electronics, vol. 29, no. 2, pp. 1018-1031, 2014.
- [14] G. R. Dehnavi, "Coordinated Control of Power Electronic Converters in an Autonomous Microgrid", PhD. Thesis, University of South Carolina, 2013.
- [15] J. M. Guerrero, J. Matas, L. G. Vicuna, M. Castilla, and J. Miret, "Wireless-Control Strategy for Parallel Operation of Distributed-Generation Inverters", IEEE Transaction on Industrial Electronics, vol. 54, no. 2, pp. 994-1004, Apr.2007.
- [۱۶] م. ثوابی، ع. جلیلیان، "کنترل سلسله مراتبی برای جبران‌سازی هارمونیک‌های ولتاژ در ریزشبکه‌های جزیره‌ای"، مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز، جلد ۴۱، شماره ۲، ۱۳۹۱.
- [17] P. Rodrigues, A. Luna, I. Candelà, R. Mujal, R. Teodorescu, and F. Blaabjerg, "Multiresonant Frequency Locked Loop for Grid Synchronization of Power Converters Under Distorted Grid Condition", IEEE Transaction on Industrial Electronics, vol. 58, no. 1, pp. 127-138, Jan. 2011.

امپدانس خط توزیع DG_1 نسبتاً بزرگتر از مقدار متناظر در DG های دیگر بوده و با توجه به توان نامی آن، میزان بار هارمونیک که توسط این DG تأمین میگردد بیش از واحدهای دیگر است. لذا با توجه به نتایج ارائه شده در شکل (۷) افزایش بیشتری در شاخصهای هارمونیک ولتاژ خروجی این DG نسبت به واحدهای دیگر مشاهده میشود.

در شکل (۸-ج) نشان داده شده است که پس از جبران‌سازی هارمونیک‌های ولتاژ SLB ، توانهای غیرمؤلفه اصلی در تمام DG ها افزایش یافته است. این افزایش عمدتاً بدین دلیل است که هارمونیک‌های اصلی جریان DG ها (مرتبه‌های ۵، ۷ و ۱۱) افزایش یافته‌اند تا جبران‌سازی هارمونیک‌های ولتاژ هم مرتبه با آنها امکانپذیر گردد. بنابراین همانطور که در بخش ۳-۴ ذکر شد، افزایش HD_I^h میتواند به عنوان شاخص بار کاری جبران‌سازی DG ها در نظر گرفته شود. همچنین، از آنجا که توان نامی DG_1 دو برابر توان نامی DG_2 و DG_3 است جبران‌سازی هارمونیک‌های ولتاژ SLB عمدتاً توسط این DG انجام می‌گیرد. از اینرو نتایج گام سوم در شکل‌های (۷) و (۸-ج) افزایش بیشتری را در اغتشاش هارمونیک ولتاژ و توان غیر مؤلفه اصلی DG_1 نسبت به واحدهای دیگر نشان میدهند.

همچنین در شکل (۸-ج) مشاهده میشود که پس از جبران‌سازی هارمونیک‌های ولتاژ SLB ، تقسیم بار غیرخطی بین DG ها به طور قابل ملاحظه‌ای بهبود یافته و علیرغم عدم تقارن در ساختار ریزشبکه، این توان تقریباً متناسب با توان نامی DG ها بین آنها تقسیم شده است. این بهبود تقسیم بار غیرخطی بین DG ها کارایی ساختار پیشنهاد شده برای امپدانس مجازی هارمونیک را نشان می‌دهد.

۵. نتیجه‌گیری

هدف این مقاله ارائه یک روش کنترل غیرمتمرکز برای ریزشبکه‌ها جهت تقسیم مناسب توانهای مؤلفه اصلی و غیراصلی و همچنین بهبود کیفیت ولتاژ در حالت جزیره‌ای بوده است. در این روش که مبتنی بر کنترل محلی واحدهای تولید پراکنده است، سیستم کنترل در قاب مرجع ساکن طراحی شده و جبران‌سازی هارمونیک‌های ولتاژ در شین بار ریزشبکه به صورت انتخابی انجام گرفت. همچنین در کنترل محلی سیستم‌های تولید پراکنده، ساختاری برای امپدانس مجازی پیشنهاد شده است که علاوه بر بهبود عملکرد کنترلکننده‌های توان مؤلفه اصلی مؤلفه‌های هارمونیک توان را نیز به نحو مطلوب بین DG ها تقسیم نموده است. با توجه به نتایج شبیه‌سازی در نرم‌افزار MATLAB روش پیشنهادی میتواند برای کنترل ریزشبکه‌ها و سیستم‌های تولید پراکنده با اهداف مذکور کاربرد داشته باشد.

SID



سرویس های
ویژه



سرویس ترجمه
تخصصی



کارگاه های
آموزشی



بلاگ
مرکز اطلاعات علمی



عضویت در
خبرنامه



فیلم های
آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛
شبکه های توجه گرافی
(Graph Attention Networks)



کارگاه آنلاین آموزش استفاده از
وب آوساینس



کارگاه آنلاین مقاله روزمره انگلیسی