



University of Kurdistan

Dept. of Electrical and Computer Engineering

Smart/Micro Grid Research Center

smgrc.uok.ac.ir

Transient stability enhancement in microgrids with inverter-based DGs (in Persian)

Shokoohi S, Moshtagh J, Bevrani H

Published (to be published) in: 2nd Iranian Conf. on Smart Grid-ICSG 2012

(Expected) publication date: 2012

Citation format for published version:

Shokoohi S, Moshtagh J, Bevrani H (2012) Transient stability enhancement in microgrids with inverter-based DGs (in Persian). 2nd Iranian Conf. on Smart Grid-ICSG 2012, Tehran, Iran.

Copyright policies:

- Download and print one copy of this material for the purpose of private study or research is permitted.
- Permission to further distributing the material for advertising or promotional purposes or use it for any profit-making activity or commercial gain, must be obtained from the main publisher.
- If you believe that this document breaches copyright please contact us at smgrc@uok.ac.ir providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



2nd Iranian Conference on Smart Grid, May 23&24, 2012, Tehran, Iran (ICSG 2012)

دومین کنفرانس شبکه های الکتریکی هوشمند، ۳ و ۴ خرداد ۱۳۹۱، تهران، ایران

بهبود پایداری گذرای ریزشکته های مبتنی بر منابع پراکنده اینورتری

شورش شکوهی^۱، جمال مشتاق^۲ و حسن بیورانی^۳

^۱دانشگاه کردستان، shokoohi@ieee.org

^۱شرکت خطوط لوله و مخابرات نفت ایران، shokoohi@ieee.org

^۲دانشگاه کردستان، j.moshtagh@uok.ac.ir

^۳دانشگاه کردستان، bevrani@ieee.org

چکیده - درصد مشارکت منابع تولید پراکنده (DGs) و ریزشکته ها در سیستم های توزیع به سرعت در حال رشد است. دلایل زیادی در افزایش تمایل به حضور DG ها در سیستم های قدرت مرسوم وجود دارد که شاید مهمترین دلیل، مزایای اقتصادی آنها است. ریزشکته ها علی رغم مزایای فراوان، مشکلات جدیدی از قبیل تغییر الگوی پخش بار، افزایش هارمونیک های فرکانس بالا، تغییر رفتار گذرای سیستم حین بروز خطا در سیستم های توزیع به وجود آورده اند. تحلیل رفتار ریزشکته در حالات کاری مختلف آن و تحت اغتشاشات شدیدی همچون وقوع خطا اهمیت فراوانی دارد. با توجه به DC بودن خروجی اغلب DG ها، وجود انواع اینورتر در ریزشکته ها اجتناب ناپذیر است. وقوع یک خطا، ممکن است منجر به عبور اضافه جریان های شدید گذرا از اینورتر و خروج DG از سیستم شود. در نتیجه، میزان برق تولیدی کاهش یافته و خطر فروپاشی ریزشکته افزایش می یابد. در این مقاله، رفتار گذرای یک ریزشکته، حین وقوع خطا، در حالت متصل به شبکه اصلی، بررسی شده است. با اعمال یک ساختار کنترلی نوین مبتنی بر مشخصه های افت و نیز اضافه کردن یک حلقه کنترلی گذرا به اینورتر، از فروپاشی سیستم حین وقوع خطا جلوگیری شده است.

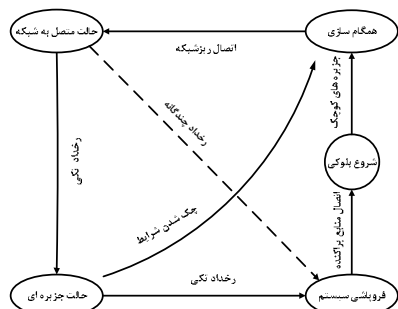
کلید واژه- اینورتر منبع ولتاژ (VSI)، پایداری گذرا، ریزشکته، کنترل افت، منبع تولید پراکنده (DG).

الکترونیک قدرت، نوسانات فرکانس و ولتاژ و تغییر رفتار گذرای سیستم اشاره کرد [۳] و [۴].

۱- مقدمه

دو حالت کاری اصلی برای ریزشکته وجود دارد که عبارتند از: حالت جزیره ای و حالت متصل به شبکه. این دو حالت به همراه حالت های گذار بین آنها، در اثر وقوع انواع رخداد در شکل ۱ نشان داده شده است [۵]. چنانچه یک اغتشاش در سیستم رخ دهد، بریکر موجود در نقطه اتصال مشترک (PCC) ریزشکته را به حالت کاری جزیره ای می برد. بنابراین، ریزشکته به تنهایی وظیفه تامین توان بارهای محلی را به عهده می گیرد [۳].

با حضور مزارع بادی و منابع زمین گرمایی از یک سو و پیدایش منابع تجدید پذیر کوچک همچون سلول های سوختی و خورشیدی از سوی دیگر، در هر دو حوزه انتقال و توزیع سیستم های قدرت، تغییرات وسیعی در حال وقوع است. افزایش حضور منابع تجدید پذیر در سیستم های توزیع، ساختار جدیدی بنام ریز شبکه را به وجود آورد [۱]. هر ریزشکته از چندین منبع تولید توان الکتریکی کوچک به نام منبع تولید پراکنده (DG) تشکیل شده است که وظیفه اصلی آنها تامین توان مصرفی بارهای محلی است [۲]. علی رغم مزایای فراوان ریزشکته از قبیل کاهش مشکلات زیست محیطی، کاهش هزینه های ناشی از احداث نیروگاه جدید، افزایش قابلیت اطمینان سیستم، افزایش بازدهی در اثر کاهش تلفات توان انتقالی، کاهش تراکم در فیدرهای توزیع، مشکلات جدیدی در سیستم های توزیع به وجود آمده است. از جمله این مشکلات می توان به تغییر الگوی پخش بار، افزایش هارمونیک های فرکانس بالا در اثر کاربرد ادوات



شکل ۱: فرآیند تغییر حالت های کاری (ماندگار و گذرا) یک ریزشکته.

پس از رفع اغتشاش در سیستم توزیع لازم است که ریزشبه دوباره به سیستم توزیع متصل شود. در این حالت، اختلاف دامنه و فاز در برق تولیدی سیستم توزیع و ریزشبه وجود خواهد داشت لذا بایستی قبل از عمل اتصال، فرآیند همگام‌سازی فاز بین دو سیستم رخ دهد.

در ادامه اصول اساسی طراحی یک کنترل کننده بمنظور حفظ پایداری گذرای DG ها حین وقوع خطا بیان شده و سپس عملکرد ساختار پیشنهادی در شرایط کاری جزیره‌ای و متصل به شبکه، حین وقوع خطاهای داخلی و خارجی ریزشبه، با شبیه‌سازی یک شبکه نمونه در نرم‌افزار MATLAB، مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت.

۲- پایداری گذرای سیستم قدرت در حضور ریزشبه

در سیستم‌های قدرت مرسوم، پایداری گذرا معمولاً محدود به اولین نوسان گذرا می‌شود. یعنی چنانچه ماشین‌های سنکرون در اولین نوسان گذرا پایدار بمانند، سیستم قدرت پایدار خواهد ماند [۶ و ۷]. چنانچه اغتشاش به اندازه کافی کوچک باشد، پس از طی حالت گذرا، سیستم قدرت به یک نقطه تعادل دائمی دیگر می‌رسد. ولی چنانچه شدت اغتشاش از حدی بزرگتر باشد، سیستم ناپایدار خواهد شد [۸].

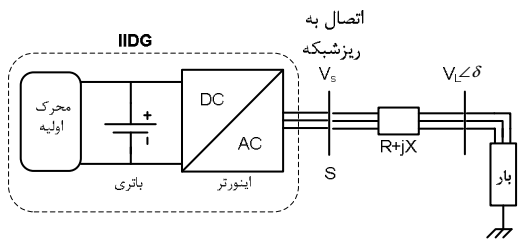
در سیستم‌های قدرت مرسوم، سرعت روتور شاخص مناسبی برای پایداری گذرای ماشین‌های سنکرون است به گونه‌ای که هر چه شدت خطا بیشتر و فاصله محل خطا از ژنراتور کمتر باشد، میزان افزایش سرعت روتور بیشتر است. لذا با توجه به کند بودن عکس‌العمل گاورنر، ولتاژ به شدت افت می‌کند و منجر به فروپاشی سیستم می‌گردد [۹]. اما پایداری گذرای ریزشبه تفاوت‌هایی با سیستم‌های قدرت مرسوم دارد از جمله آن تفاوت‌ها می‌توان به حضور منابع تجدید پذیر انرژی همچون توربین‌های بادی، سلول‌های سوختی و خورشیدی اشاره کرد. دینامیک و ساختار این منابع پراکنده کاملاً متفاوتند [۱۰-۱۳]. به همین دلیل پایداری گذرای ریزشبه‌های شامل این نوع از منابع متفاوت خواهد بود و شاخص‌های دیگری برای پایداری گذرا تعریف می‌گردد.

زمانی که خطایی در سیستم، اتفاق می‌افتد ریزشبه بایستی از سیستم اصلی جدا شود تا تامین توان بارهای حساس با مشکل جدی مواجه نشود. لذا هر چه سریعتر بایستی ریزشبه به حالت جزیره‌ای سوئیچ کند. چنانچه عمل جداسازی با سرعت کافی انجام نگیرد ممکن است ریزشبه نتواند به یک حالت پایدار

برسد و منابع پراکنده دچار خاموشی شوند.

دو دسته اصلی ریزمنبع وجود دارند. یکی منابع DC همانند سلول‌های سوختی و خورشیدی و دیگری منابع فرکانس بالای AC همانند میکروتوربین‌ها که نیاز به یکسوسازی دارند. در هر دو مورد بایستی ولتاژ DC بدست آمده به ولتاژ AC قابل قبول تبدیل شود. لذا لازم است که از یک مبدل الکترونیک قدرت جهت تبدیل برق تولیدی استفاده شود [۲]. چنین منابع پراکنده‌ای که توسط یک واسط الکترونیک قدرت به سیستم متصل می‌شوند را منابع پراکنده متصل به اینورتر (IIDG) می‌نامند [۱۴ و ۱۵]. شمای کلی یک IIDG در شکل ۲ نشان داده شده است. یک IIDG از سه قسمت محرک اولیه، واسط DC و اینورتر تشکیل شده است. قسمت محرک اولیه می‌تواند سلول سوختی، سلول خورشیدی و یا خروجی یکسو شده سایر منابع پراکنده فرکانس بالا باشد. خروجی محرک اولیه یک خروجی ثابت DC نیست و این از ماهیت نوسانی این منابع سرچشمه می‌گیرد. به همین دلیل برای اینکه توان خروجی اینورتر از نوسانات محرک اولیه تاثیر نگیرد از یک منبع ذخیره کننده انرژی بین محرک اولیه و اینورتر استفاده می‌شود [۲، ۱۶-۱۸]. به دلیل وجود واسط ذخیره کننده انرژی، حین گذراها می‌توان ورودی اینورتر را ثابت فرض کرد و از دینامیک‌های محرک اولیه صرفنظر کرد [۱۴].

مهمترین مزیت IIDG، پاسخ سریع به تغییرات در خروجی است و این ناشی از ماهیت اینورتر و فرکانس سوئیچینگ بالای مدولاسیون عرض پالس (PWM) است. اما به جرات می‌توان گفت همین دینامیک سریع اینورتر می‌تواند اثرات مخربی روی جریان خطا و سیستم داشته باشد [۱۵]. لذا در طول یک گذرا، پاسخ IIDG اصولاً به کنترل کننده اینورتر وابسته است [۱۴]. به منظور جلوگیری از تخریب وسایل نیمه‌هادی، اینورتر به سیستم قطع اضافه جریان آنی مجهز می‌شود. این وسایل حفاظتی معمولاً اگر به مدت چند میکرو ثانیه اضافه جریان خطرناک از ادوات سوئیچینگ عبور کند فعال می‌شوند و جریان خروجی را در کمتر از یک میلی ثانیه به صفر کاهش می‌دهند [۱۵].



شکل ۲: ساختار کلی یک IIDG.

$$\delta = -\frac{RQ}{V_s V_L}, V_s - V_L = \frac{PR}{V_s} \quad (6)$$

رابطه (۵) وجود یک رابطه قوی بین توان اکتیو و فرکانس و همچنین بین توان راکتیو و ولتاژ ریزشیکه را در ریزشیکه های سلفی نشان می دهد. برعکس، رابطه (۶) رابطه محکم بین توان اکتیو و ولتاژ و توان راکتیو با فرکانس سیستم را در ریزشیکه های مقاومتی بیان می دارد. با یک تقریب خطی می توان رابطه (۵) را به شکل زیر نوشت:

$$f - f_0 = -k_p (P - P_0) \quad (7)$$

$$V_s - V_{s0} = -k_q (Q - Q_0) \quad (8)$$

روابط (۷) و (۸)، دو رابطه اصلی در بحث کنترل افت ریزشیکه های سلفی می باشند. منحنی مشخصه های مربوط به روابط (۷) و (۸) در شکل ۳ نشان داده شده اند. به طور مشابه می توان برای ریزشیکه های مقاومتی روابط و منحنی مشخصه ها را بدست آورد.

در حالت کلی، بایستی پارامترهای خط توسط تبدیل رابطه (۹) در توان خروجی IIDG در نظر گرفته شوند [۲۰].

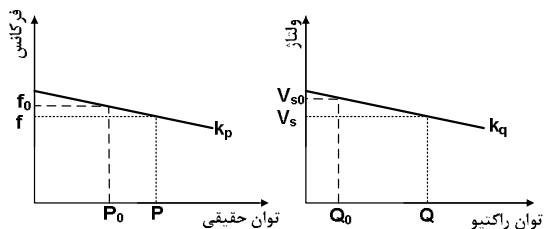
$$\begin{bmatrix} P' \\ Q' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & -R \\ R & X \\ Z & Z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P \\ Q \end{bmatrix} \quad (9)$$

با تعریف شاخص میزان مقاومتی بودن خط ($K_R = R/X$) و اعمال روابط (۷) و (۸) به رابطه (۹) و انجام یک سری اعمال ریاضی، روابط زیر برای کنترل افت بدست می آید.

$$\Delta f = \frac{1}{K_f} \left(\frac{Z}{X} P' - P_0 \right) + \frac{K_R K_V}{K_f} \Delta V_s + \frac{K_R}{K_f} Q_0 \quad (10)$$

$$\Delta V_s = \frac{1}{K_V} \left(\frac{Z}{X} Q' - Q_0 \right) - \frac{K_R K_f}{K_V} \Delta f - \frac{K_R}{K_V} P_0 \quad (11)$$

که در آن $K_f = -1/k_p$, $K_V = -1/k_q$ و ΔV و Δf به ترتیب انحراف فرکانس و ولتاژ خروجی IIDG هستند.



شکل ۳: منحنی مشخصه های افت ریزشیکه های سلفی.

نتایج نشان می دهد که ولتاژ در سیکل اول پس از وقوع خطا سریعاً افت می کند و به یک مقدار ثابتی می رسد و جریان خطا به سرعت افزایش می یابد. نکته اساسی این است که در طول دوره زیر گذرا (سیکل اول) و گذرا (سیکل های ۳ تا ۱۰) کنترل کننده اینورتر منبع ولتاژ (VSI) نمی تواند روی پیک جریان خطا اثر بگذارد و این به دلیل تغییرات اندک توان حین خطا و نیز میانگین گیری در محاسبه توان است [۱۴]. تنها محدودیتی که منجر به ناپایداری گذرای IIDG می شود عبور جریان خطای بیشتر از توان تحمل وسایل سوئیچینگ اینورتر است. در کاربردهای عملی وسایل حفاظت اضافه جریان آنی طوری طراحی می شوند که عبور جریان های بیش از دو برابر جریان نامی اینورتر منجر به خاموشی اینورتر شود [۱۴] و [۱۵]. لذا می توان شاخص پایداری گذرای IIDG را میزان جریان اتصال کوتاه تعیین کرد. در ادامه با ارائه یک ساختار کنترلی کارا، پایداری گذرای IIDG را بهبود داده و از شکست آن حین خطا جلوگیری می شود.

۳- ساختار کنترلی پیشنهادی

همانگونه که از شکل ۲ مشخص است یک ریزمنبع توسط یک خط به بار L متصل است. روابط توان حقیقی و راکتیو در نقطه S به صورت زیر بدست می آید [۱۹]:

$$P = \frac{V_s^2}{Z} \cos \theta - \frac{V_s V_L}{Z} \cos(\theta + \delta) \quad (1)$$

$$Q = \frac{V_s^2}{Z} \sin \theta - \frac{V_s V_L}{Z} \sin(\theta + \delta) \quad (2)$$

با فرض $Ze^{j\theta} = R + jX$ روابط (۱) و (۲) را می توان به صورت (۳) و (۴) بازنویسی کرد.

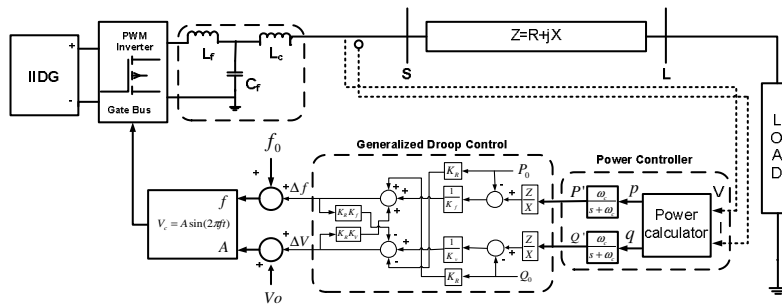
$$P = \frac{V_s}{R^2 + X^2} [R(V_s - V_L \cos \delta) + X V_L \sin \delta] \quad (3)$$

$$Q = \frac{V_s}{R^2 + X^2} [-R V_L \sin \delta + X(V_s - V_L \cos \delta)] \quad (4)$$

در ریزشیکه های سلفی ($X \gg R$)، می توان رابطه (۳) و (۴) را به صورت زیر تقریب زد:

$$\delta = \frac{XP}{V_s V_L}, V_s - V_L = \frac{XQ}{V_s} \quad (5)$$

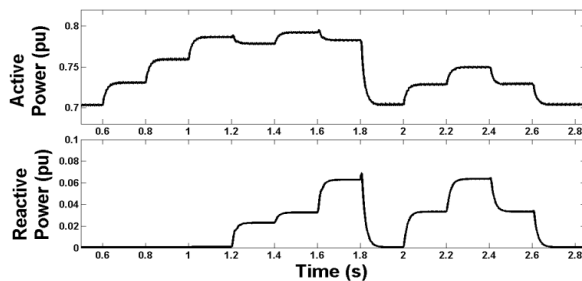
و برای ریزشیکه های مقاومتی ($X \ll R$)، رابطه (۳) و (۴) به شکل زیر در می آیند:



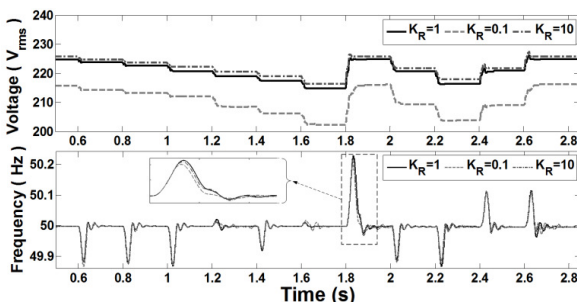
شکل ۴: ساختار کنترل IIDG

جدول ۱: پارامترهای IIDG

پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
C_f	$380 \text{ } \mu\text{F}$	V_{L-L}	$380 \text{ } v_{rms}$
r_{cf}	5Ω	f	50 Hz
L_{Lc}	3 mH	P_{nom}	30 kVA
r_{Lc}	0.1Ω	f_s	4 kHz
K_f	-1.06	L_f	6 mH
K_v	-100	r_f	0.2Ω



شکل ۵: روند تغییر بار حقیقی و راکتیو.

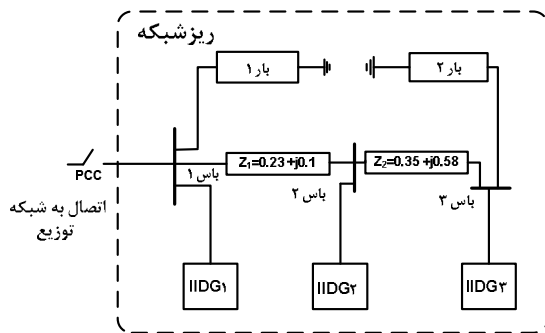


شکل ۶: پروفیل ولتاژ و فرکانس IIDG برای سه مقدار مختلف K_R .

با در نظر گرفتن روابط (۱۰) و (۱۱)، ساختار کنترل IIDG به صورت شکل ۴ می‌باشد. این ساختار کنترلی مدل واقعی تری از کنترل افت در IIDG ها ارائه می‌دهد. مقادیر عددی پارامترهای سیستم شکل ۴ در جدول ۱ آورده شده است. با اعمال تغییر بار نشان داده شده در شکل ۵، کارایی ساختار کنترلی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. شکل ۶ پروفیل ولتاژ و فرکانس خروجی IIDG را تحت این تغییرات نشان می‌دهد. نتایج نشانگر کارا بودن ساختار کنترلی پیشنهادی است.

۴- بررسی رفتار گذرای IIDG

با توجه به پهنای باند بلوک کنترل کننده توان و میانگین-گیری در محاسبه توان حقیقی و راکتیو خروجی IIDG، انتظار می‌رود که در هنگام وقوع خطا در سیستم به صورت مطلوبی نتواند جریان عبوری از اینورتر را محدود کند. لذا به منظور بررسی رفتار گذرای این کنترل کننده، بایستی حین وقوع خطا در سیستم توزیع و با فرض عدم جداسازی ریزشبهه از سیستم، چند سیکل اول جریان و ولتاژ خروجی IIDG های موجود در ریز شبکه تحلیل شوند. به همین منظور یک ریز شبکه به صورت شکل ۷ در نظر گرفته می‌شود. این ریز شبکه شامل سه IIDG و دو بار محلی می‌باشد که در نقطه PCC به سیستم توزیع متصل می‌شود. سیستم توزیع در نظر گرفته شده، سیستم استاندارد ۳۷ گره IEEE است که ریز شبکه در گره ۷۷۵ به آن متصل می‌شود. سیستم تست مورد نظر در شکل ۸ نشان داده شده است.



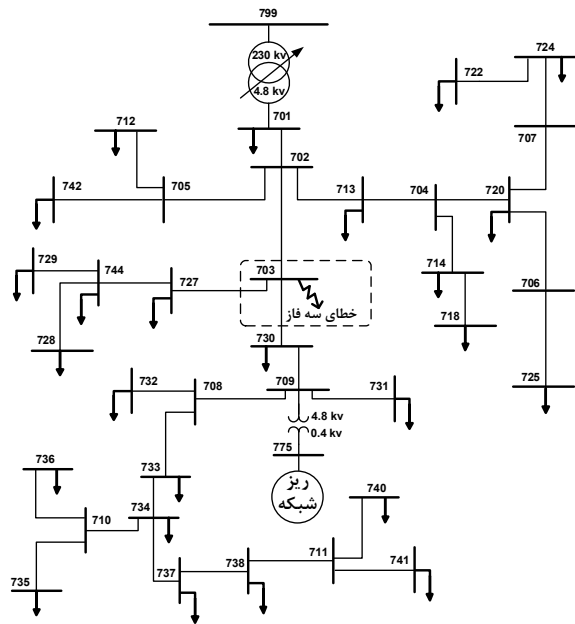
شکل ۷: ریزشبهه آزمون جهت اتصال به سیستم توزیع.

در حالت متصل، مقادیر مرجع ولتاژ و فرکانس IIDG ها بایستی از گرهی که ریزشبهه به سیستم توزیع متصل شده است گرفته شود و در حالت جزیره‌ای، مقادیر نامی ولتاژ و فرکانس به عنوان مرجع انتخاب شوند [۲۱]. در زمان $t=0.5\text{s}$ یک خطای سه فاز متقارن در گره ۷۰۳ اتفاق می‌افتد و ریزشبهه حین خطا به سیستم توزیع همچنان متصل می‌ماند (خطا برطرف نمی‌شود).

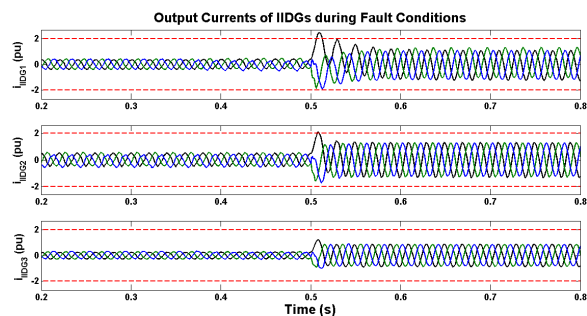
سیستم‌های حفاظتی اینورتر عمل کرده و اینورترها خاموش می‌شوند. لذا چنانچه بریکر موجود در PCC در مدت زمانی بیشتر از سیکل اول بعد از خطا ریزش شبکه را به حالت کاری جزیره‌ای ببرد، آنگاه ریزش شبکه با شکست دو IIDG مواجه شده و عملاً نمی‌تواند بار محلی خود را تامین کند.

هنگام وقوع خطا در سیستم، تغییرات جریان بسیار شدید می‌شود و دامنه این تغییرات افزایشی است و همین امر منجر به افزایش پیک جریان در سیکل اول می‌شود. لذا به نظر می‌رسد چنانچه این تغییرات توسط یک کنترل کننده به محدوده تغییرات ولتاژ مرجع تبدیل شود و با علامت منفی به سایر حلقه‌های کنترلی، که تغییرات مرجع ولتاژ را می‌سازند، اضافه شود می‌توان پاسخ کنترل کننده را سریعتر کرد. حلقه کنترلی مورد نظر بایستی به گونه‌ای طراحی شود که در حالت‌های ماندگار و شبه ماندگار که تغییرات پارامترهای سیستم کم است اثر چندانی روی خروجی IIDG نداشته باشد و در هنگام تغییرات شدید بار و حین وقوع خطا اثر مطلوب خود را در جهت کم کردن جریان گذرای اینورترها نشان دهد. ساختار مورد نظر در شکل ۱۰ نشان داده شده است. در این ساختار از تغییرات RMS جریان خروجی نمونه برداری شده و پس از مقایسه با مقدار مرجع صفر با عبور از یک کنترل کننده تناسبی - انتگرالی (PI) به ساختار کنترلی قبلی اضافه شده است. با روش آزمون و خطا مقادیر ضریب تناسبی و انتگرالی به ترتیب 0.004 و -0.01 بدست آمده است.

با اعمال این ضرایب و تکرار سناریوی خطا، جریان خروجی اینورترها صورت شکل ۱۱ تغییر می‌یابد. همانگونه که از شکل ۱۱ مشاهده می‌شود پیک‌های جریان در دوره‌های زیرگذرا و گذرا به مراتب کاهش یافته است و با طراحی حلقه کنترلی گذرا، ریزش شبکه می‌تواند هر زمان که بریکر PCC عمل کند در حالتی جزیره‌ای به صورت پایدار و مطلوب به تامین بارهای محلی بپردازد. برای اینکه کارایی حلقه کنترلی تغییرات جریان بهتر مشخص شود، اندیس مدولاسیون IIDG در حضور و عدم حضور حلقه کنترلی گذرا با هم مقایسه می‌شود. در شکل ۱۲ این مقایسه برای IIDG شماره ۱ صورت گرفته است. در سیکل اول پس از وقوع خطا، چون دامنه تغییرات جریان زیاد است اثر کنترل کننده گذرا بیشتر بوده و منجر به کاهش ولتاژ مرجع اعمال شده به اینورتر می‌شود. افت شدید شاخص مدولاسیون در سیکل اول پس از وقوع خطا، تایید کننده این مطلب است. این در حالی است که بدون حلقه مذکور، با توجه به پهنای باند کنترل افت تعمیم یافته در حالت گذرا تغییر چندانی در شاخص مدولاسیون دیده نمی‌شود. در واقع با حضور کنترل کننده گذرا،



شکل ۸: سیستم توزیع ۳۷ گره استاندارد IEEE.



شکل ۹: تغییرات جریان خروجی IIDGها حین وقوع خطا.

شکل موج جریان‌های خروجی IIDGها در شکل ۹ نشان داده شده است. همانگونه که قبلاً ذکر شد غالب پیک‌های جریان در حالت زیرگذرا (سیکل اول) اتفاق می‌افتد. در اینجا نیز جریان‌های خروجی IIDGهای شماره ۱ و ۲ در سیکل اول بعد از وقوع خطا از دو برابر مقدار نامی فراتر رفته است اما جریان IIDG شماره ۳ از این محدوده خارج نشده است و این به دلیل فاصله بیشتر آن از PCC است.

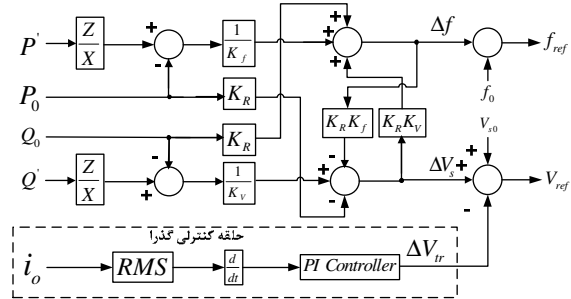
۵- اضافه کردن یک حلقه کنترلی گذرا

با توجه به محدوده پاسخ فرکانسی کنترل کننده اینورتر و تغییرات سریع جریان حین شرایط خطا، کنترل کننده‌های اینورتر قادر به کاهش سریع جریان خطا نیستند و پیک جریان گذرای اینورتر در سیکل اول همچنان باقی خواهد ماند [۱۴]. برای مثال در شکل ۹، حین دوره زیر گذرا جریان خروجی IIDGهای شماره ۱ و ۲ از محدوده خطر فراتر می‌رود و سپس

مراجع

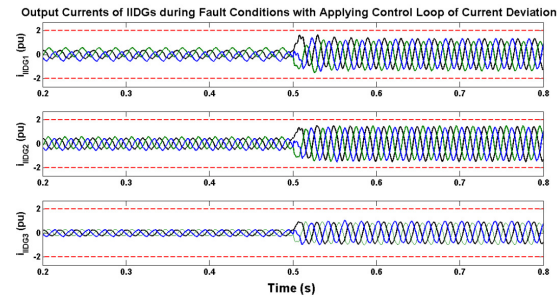
- [1] H. Bevrani, M. Watanabe and Y. Mitani, "Microgrid Controls" To be published as invited Chapter in: *Standard handbook for Electrical engineers*, 16th Edition. H. Wayne Beaty (Ed), McGraw-Hill Expected 2012.
- [2] R. H. Lasseter, "MicroGrids," *Power Engineering Society Winter Meeting, 2002. IEEE*, vol. 1, no. 1, pp. 305-308, 2002.
- [3] A. Salam, A. Mohamed, and M. A. Hannan, "Technical challenges on Microgrids," *Asian Research publishing Network (ARPN)*, vol. 3, no. 6, pp. 64-69, Dec. 2008.
- [4] S. Diaf, G. Notton, M. Belhamel, M. Haddadi, and A. Louche, "Design and techno-economical optimization for hybrid PV/wind system under various metrological conditions," *Journal of Applied energy*, vol. 85, pp. 968-987, 2008.
- [5] N. Gil, F. Resende, E. Voumvoulakis, and N. Hatzigiorgiou, "Advanced Artichures and Control Concepts for MORE MICROGRIDS," Dec 2008.
- [6] P. Varaiya, F. F. Wu, and Rong-Liang Chen, "Direct methods for transient stability analysis of power systems: Recent results," *Proceedings of the IEEE*, vol. 73, no. 12, pp. 1703-1715, Dec. 1985.
- [7] Y. Wang, L. Xie, D.J. Hill, and R. H. Middleton, "Robust nonlinear controller design for transient stability enhancement of power systems," 1992, *Proc. Int. Conf. on Decision and Control*, vol. 1, no. 1, pp. 1117-1122, 1992.
- [8] P. Kundur, and et al, "Definition and classification of power system stability IEEE/CIGRE joint task force on stability terms and definitions," *IEEE Trans. Power Systems*, vol. 19, no. 3, pp. 1387-1401, Aug. 2004.
- [9] C. Xinhe, P. Wei, and T. Xisheng, "Transient stability analyses of micro-grids with multiple distributed generations," *Int. Conf. on Power System Technology (POWERCON)*, vol. 1, no. 1, pp. 1-8, 24-28 Oct. 2010.
- [10] A. Ishchenko, L. M. A. Myrzik, and W. L. Kling, "Transient stability analysis of distribution network with dispersed generation", *Proc. Int. Conf. on Universities Power Engineering*, vol. 1, pp. 227-231, Sept. 2006.
- [11] A. M. Azmy, and I. Erlich, "Impact of distributed generation on the stability of electrical power system", *Power Engineering Society General Meeting, IEEE*, vol. 2, pp: 1056-1063, 2005.
- [12] G. Sloatweg, and W.L. Kling, "Impacts of distributed generation on power system transient stability", *Power Engineering Society Summer Meeting, IEEE*, vol. 2, pp: 862-867, 2002.
- [13] F. Katiraei, and M.R. Iravani, "Transients of a Micro-Grid System with Multiple Distributed Energy Resources", *Int. Conf. on Power Systems Transients (IPST'05)*, June 19-23, 2005.
- [14] M.E. Baran and I. El-Markaby, "Fault analysis on distribution feeders with distributed generators", *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 2, no. 4, pp. 945-950, November 2005.
- [15] S. R. Wall, "Performance of inverter interfaced distributed generation", in *IEEE/PES Transmission and Distribution Conference Exposition*, vol. 2, pp. 945-950, October. 2001.
- [16] T. L. Vandoorn, B. Meersman, L. Degroote, B. Renders, and L. Vandevelde, "A Control Strategy for Islanded Microgrids With DC-Link Voltage Control," *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol. 26, no. 2, pp. 703-713, April 2011.
- [17] E. Serban, and H. Serban, "A Control Strategy for a Distributed Power Generation Microgrid Application With Voltage- and Current-Controlled Source Converter," *IEEE Trans. on Power Electronics*, vol. 25, no. 12, pp. 2981-2992, Dec. 2010.
- [18] J. Kim, J. Lee, and K. Nam, "Inverter-Based Local AC Bus Voltage Control Utilizing Two DOF Control," *IEEE Trans. on Power Electronics*, vol. 23, no. 3, pp. 1288-1298, May 2008.
- [19] K. De Brabandere, B. Bolsens, J. Van den Keybus, A. Woyte, J. Driesen, and R. Belmans, "A voltage and frequency droop control method for parallel inverters," *IEEE Trans. Power. Electron.*, vol. 22, no. 4, pp. 1107-1115, July. 2007.
- [20] J. A. P. Lopes, C. L. Moreira, and A. G. Madureira, "Defining control strategies for MicroGrids islanded operation," *IEEE Trans. Power Systems.*, vol. 21, no. 2, pp. 916-924, May. 2006.
- [21] J. M. Guerrero, J. C. Vasquez, J. Matas, L. G. de Vicuna, and M. Castilla, "Hierarchical control of droop-controlled ac and dc microgrids—a general approach toward standardization," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 58, no. 1, pp. 158-172, Jan. 2011.

در لحظاتی که تغییرات جریان خروجی IIDG زیاد باشد، جریانی خروجی را کاهش می‌دهد تا جریانی کل عبوری از اینورتر از محدوده دو برابر جریانی نامی فراتر نرود. چنانچه ضرایب کنترل کننده PI مناسب انتخاب شود، حلقه مورد نظر یک سیستم حفاظتی آنلاین محسوب شده و از شکست IIDG جلوگیری می‌کند.

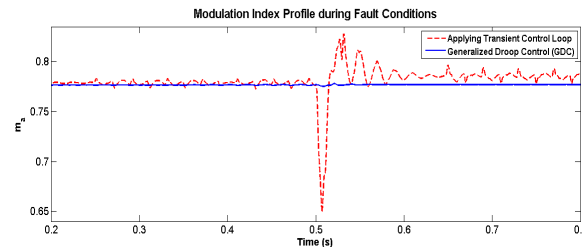


شکل ۱۰: اضافه کردن حلقه کنترلی تغییرات جریان به ساختار کنترل افت

تعمیم یافته



شکل ۱۱: تاثیر حلقه کنترلی گذرا در بهبود جریانی خروجی IIDG ها حین وقوع خطا.



شکل ۱۲: مقایسه پروفیل اندیس مدولاسیون IIDG شماره ۱ حین خطا قبل و بعد اضافه کردن حلقه کنترلی گذرا.

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله، یک روش جدید برای حفاظت آنلاین IIDG ها در ریزشکبه‌های متصل به سیستم اصلی حین وقوع خطا، ارائه شده است. اثر خطای خارج از ریزشکبه روی جریانی خروجی IIDG ها و رفتار گذرای آن‌ها بررسی شده است. نتایج، چه در حالت تغییرات شدید بار و چه حین وقوع خطا، کارایی مناسب کنترل کننده پیشنهادی را نشان می‌دهد.