

بررسی عملکرد انواع توپولوژی‌بازیاب دینامیکی ولتاژ بر مبنای مبدل منبع امپدانسی تحت شرایط مختلف

ابوالفضل کاظم دهدشتی^{*}^۱، علیرضا سیفی^۲

*- مربيگروه برق، دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه شيراز، abolfazlkd@yahoo.com

- دانشیار گروه برق، دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه شيراز، siefi@shirazu.ac.ir

چکیده: در این مقاله عملکرد توپولوژی‌های مختلف DVR براساس مبدل منبع امپدانسی (Z-Source Converter) تحت تست‌های مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این سیستم DVR (براساس مبدل منبع امپدانسی) اندازه‌ی اجزاء ذخیره‌کننده‌ی انرژی و مقادیر نامی اجزاء الکترونیک قادر در مقایسه با DVR متعارف که در آن از مبدل منبع ولتاژ (VSC) استفاده می‌شود کمتر است. توپولوژی‌های مطرح شده به دو نوع کلی تقسیم می‌گردند. دو توپولوژی شامل منبع ذخیره‌کننده انرژی به منظور تأمین توان مورد نیاز جهت جبران‌سازی می‌باشند و دو توپولوژی دیگر قادر منبع ذخیره‌کننده انرژی می‌باشند که انرژی مورد نیاز جبران‌سازی (شارژ خازن Link-DC) را از شبکه دریافت می‌کنند. بررسی و مقایسه‌ی عملکرد تحت ۳ آزمایش مختلف به منظور بیان قابلیت‌های هر توپولوژی توسط نرم‌افزار MATLAB/SIMKINK شبیه‌سازی شده است.

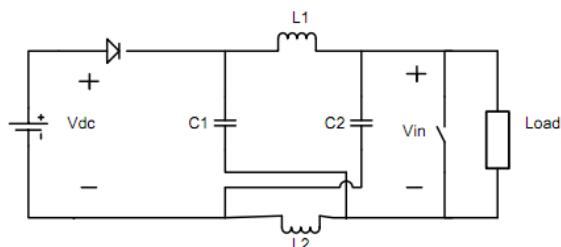
واژه‌های کلیدی: مبدل منبع امپدانسی، افتادگی ولتاژ، توپولوژی، بازیاب دینامیکی ولتاژ

به ورودی می‌باشد لذا برای مقابله با این محدودیت در استفاده از مبدل VSI، باید از یک مبدل تقویت کننده‌ی DC-DC نیز همراه مبدل اصلی (VSI) استفاده‌گردد [۳]. در اینجا مبدل منبع امپدانسی (Z-SI) که یک مبدل تضعیف کننده- تقویت کننده است جایگزین مبدل سنتی VSI به همراه مبدل تقویت کننده‌ی DC-DC شده که چندین مزیت از انواع اقتصادی، قابلیت اطمینان بالاتر و سادگی بیشتر را به همراه دارد. توانایی تقویت کننده‌ی مبدل منبع امپدانسی مربوط به حالتی از سوئیچینگ است که حالت Shoot-Through نام دارد و حالت سوئیچینگ غیر مجازی برای مبدل‌های سنتی (VSI) به شمار می‌رود که منجر به ایجاد خسارت در مدار آن می‌گردد [۴-۶]

۱- مقدمه

با رشد بارهای حساس صنعتی مسئله‌ی کیفیت توان در سال‌های اخیر اهمیت بیشتری پیدا کرده است [۱]. افتادگی ولتاژ (خمندگی ولتاژ) از مهمترین مشکلات کیفیت توانی است که به صورت افت دامنه‌ی ولتاژ ظاهر شده و عدمتآ خطا اتصال کوتاه منشأ آن است. DVR (بازیاب دینامیکی ولتاژ) یکی از مؤثرترین ادوات جبران‌ساز برای مقابله با افتادگی ولتاژ است [۲]. همان طور که در شکل ۱ نشان داده شده DVR متشکل از اجزاء ذخیره‌ی انرژی، مبدل، فیلتر و ترانسفورماتور تزریق می‌باشد. توانایی DVR سنتی و متعارف (که از مبدل VSI استفاده کرده است) در جبران‌سازی به اندازه‌ی منبع ذخیره‌کننده‌ی انرژی وابسته بود، چون مبدل یک مبدل تضعیف کننده است و خروجی آن همواره محدود VSI

باشد که به منظور بررسی، معادلات در هر دو حالت استخراج می-
گردد:

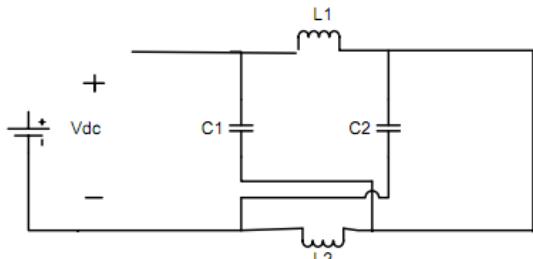


شکل ۲: مدار non shoot through Z-SI در حالت

برای حالت non-Shoot-Through معادلات به صورت زیر است:

$$Vl = Vdc - Vc \quad (1)$$

$$Vin = Vc - Vl$$



شکل ۳: مدار Z-SI در حالت shoot through

برای حالت Shoot-Through معادلات به صورت زیر بیان می-
شود:

$$Vdc = \gamma Vc \quad (2)$$

$$Vin = \cdot$$

non- Shoot-Through مدت زمان T_1 و T .
Shoot-Through از یک سیکل می‌باشد که مقدار متوسط ولتاژ
خازن به صورت زیر بیان می‌گردد.

$$Vc = \frac{T_1}{T_1 + T} Vdc \quad (3)$$

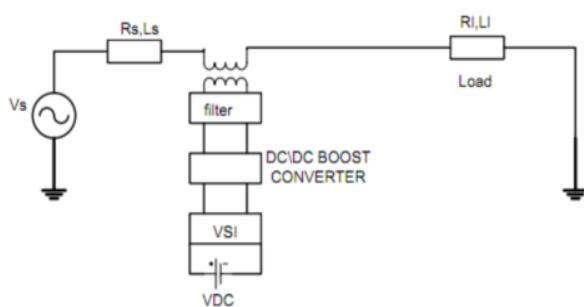
سپس از معادلات بالا ولتاژ V_{in} Link-DC و مقدار پیک
ولتاژ AC خروجی (V_x) به صورت زیر بیان می‌گردد.

$$V_{in} = \frac{1}{1 - \frac{T_1}{T}} Vdc \quad (4)$$

$$V_x = \mu \frac{V_{in}}{\sqrt{2}} \quad (5)$$

که μ در آن شاخص مدولاسیون است و β به صورت (فرمول)
تعریف می‌شود که ضریب تقویت کنندگی نام دارد و مقدار آن به
زمان Shoot-Through بستگی دارد. لذا یک ولتاژ AC خروجی از
معادلات بالا به صورت زیر قابل بیان است.

$$V_x = \beta \mu \frac{Vdc}{\sqrt{2}} \quad (6)$$



شکل ۱: ساختار متعارف DVR

بر اساس نوع منبع ذخیره کننده انرژی ۴ توپولوژی مختلف برای DVR مبنای Z-SI [۸] پیشنهادی می‌شود، همین‌ها در این مقاله از روش کنترلی حلقه بسته [۹، ۱۰] مد جریانی استفاده شده است که در بخش ۲ آورده شده است. هدف این مقاله بیان عملکرد این توپولوژی‌ها تحت شرایط مختلف و بررسی و مقایسه قابلیت باطری استفاده می‌کند در مقاله‌های دیگر مطرح شده اما عملکرد ۳ توپولوژی دیگر در اینجا مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در قسمت ۲، ساختار DVR بر مبنای مبدل منبع امپدانسی (Z-SI) مطرح می‌گردد و سپس توپولوژی‌های دیگر DVR بر اساس مبدل منبع امپدانسی معرفی شده و در قسمت بعد تست‌های مختلف روی این توپولوژی‌ها انجام می‌گیرد.

۲- ساختار DVR بر مبنای مبدل منبع امپدانسی

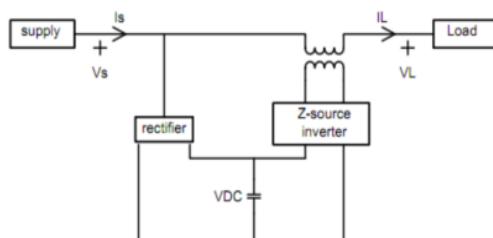
همانطور که گفته شد در این سه مدل منبع امپدانسی (Z-SI) جایگرین VSI و مبدل تقویت کننده DC-DC شده است و از این نظر مثل یک مبدل تقویت/تضعیف کننده DC-DC به همراه مدار سوئیچ هاییکسواساز می‌باشد. مبدل منبع امپدانسی از شبکه X شکلی که در شکل زیر مشخص است به همراه مدار سوئیچینگ تشکیل شده است. به منظور سادگی ظرفیت سلفی L_2 و خازنی C_1 در شبکه X از این نیز بیان شد، که قبل از این شکل شود. حالت Shoot-Through می‌باشد که در شبکه X از این نیز بیان شد، حالت سوئیچینگ منحصر به فرد برای مبدل امپدانسی (Z-SI) می‌باشد که حین آن سوئیچ های بالا و پایین روییک یا چند بازو در حالت وصل قرار می‌گیرند و خروجی اتصال کوتاه می‌گردد. در مبدل های سنتی ۲ حالت سوئیچینگ شامل حالت اکتیو و حالت سوئیچینگ صفر وجود داشت در حالت اکتیو بار تحت ولتاژ ورودی و در حالت صفر بار تحت ولتاژ صفر قرار می‌گرفت. در اینجا حالت Shoot-Through حالت سوئیچینگ سومی برای مبدل منبع امپدانسی است که منجر به ویژگی های منحصر به فردی برای این مبدل می‌شود لذا حالات مختلف سوئیچینگ برای این مبدل شامل حالت Shoot-Through و حالت non-Shoot-Through می-

۱-۳- سیستم بدون منبع ذخیره‌ی انرژی

در این نوع سیستم، انرژی مورد نیاز جبرانسازی، از شبکه جهت شارژ خازن Link-DC دریافت می‌شود. این انرژی توسط یک مبدل موازی با شبکه دریافت می‌گردد. براساس مدل اتصال مبدل موازی به شبکه ۲ نوع توپولوژی مطرح می‌گردد.

۱-۱-۳- مبدل موازی متصل به سمت تغذیه

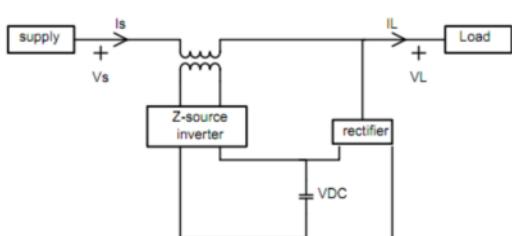
همانطور که از شکل زیر مشخص است مبدل موازی جهت تامین توان مورد نیاز شارژ خازن Link-DC به سمت تغذیه خط توزیع متصل شده است. خازن Link-DC توان مورد نیاز جبرانسازی DVR را فراهم می‌نماید. در این نوع توپولوژی هنگام وقوع خطا ولتاژ تغذیه افت کرده که باعث تاثیر نامطلوبی بر عملکرد مبدل موازی جهت تامین توان شارژ خازن DC می‌گردد. این توپولوژیدر موارد افتادگی ولتاژ طولانی و عمیق پاسخ مناسبی ندارد.



شکل ۵: توپولوژی مبدل موازی متصل به سمت تغذیه

۲-۱-۳- مبدل موازی متصل به سمت بار

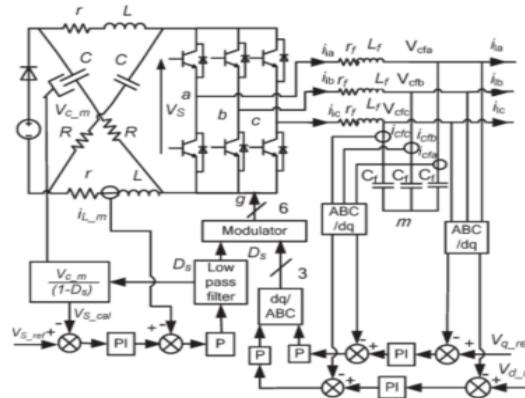
در این نوع توپولوژی مبدل موازی به سمت بار متصل شده و توان مورد نیاز خود را از سر بار دریافت می‌کند. لذا ولتاژ ورودی این مبدل قابل کنترل توسط DVR می‌باشد که می‌تواند ولتاژ سر بار و ولتاژ Link-DC را تقریباً ثابت نگه دارد. در هنگام وقوع خطا ولتاژ مورد نیاز را به خط تزریق می‌کند و ولتاژ بار همواره ثابت می‌ماند لذا ولتاژ ورودی مبدل موازی که تامین کننده‌ی توان مصرفی DVR است ثابت بوده و این نوع توپولوژی پاسخ مناسبی در مواجه با افتادگی عمیق و طولانی ولتاژ دارد.



شکل ۶: توپولوژی مبدل موازی متصل به سمت بار

در اینجا $G = \mu \times \beta$ ضریب مبدل منبع امپدانسی است. مقدار μ در محدوده‌ی $1 \leq \mu \leq \beta$ تغییر می‌کند و مقدار β در محدوده‌ی $1 \leq \beta \leq 0$ ، لذا حاصلضرب آنها هر مقداری از ۱ تا مقدادر بسیار زیاد را می‌تواند به خود بگیرد. در این مقاله از تکنیک سوئیچینگ Simple boost استفاده شده است که در آن حالت Shoot-Through اعمال می‌گردد.

همانطور که از شکل زیر مشخص است تکنیک کنترلی حلقة بسته در اینجا استفاده شده است [۹].



شکل ۴: مدار کنترلی حلقة بسته برای DVR-بازمبنای مبدل منبع امپدانسی

در اینجا از تکنیک کنترلی حلقة بسته مد جریانی به منظور تعیین زمان D_S (Shoot-Through) استفاده شده است. کنترل مد جریانیا مقایسه جریان لحظه‌ای سلف با مقدار رفنس آن سرعت پاسخ سریعتری را مهیا می‌کند. همچنین مقدار رفنس جریان حاصل عبور سیگنال ولتاژ خازن از PI کنترلر می‌باشد. مقدار سیگنال رفنس DVR از مقایسه سیگنال ولتاژ تغذیه و مقدار حقيقی آن به دست می‌آید. سپس تحت تبدیل ۲ محوری (dq.) قرار می‌گیرد و سیگنال خطای آن از PI کنترلر عبور می‌نماید و این بار این سیگنال، سیگنال رفنس جریانی را ایجاد می‌کند که با جریان فیلتر خروجی مبدل مقایسه شده و به حالت ۳ فاز بر می‌گردد تا مقدار تغییرات جزئی D_S را مشخص نماید.

۳- توپولوژی‌های پیشنهادی برای DVR بر مبنای مبدل منبع امپدانسی

همانطور که قبلاً نیز مطرح شد توپولوژی‌های مختلف به دو دسته‌ی کلی تقسیم می‌شوند. ۲ توپولوژی با منبع ذخیره‌ی انرژی و ۲ توپولوژی بدون منبع ذخیره‌ی انرژی هستند.

ولتاژ Link-DC (۲۰ ولت) کاملاً واضح است (در یک آزمایش خروجی با دامنه‌ای حدود ۱۳۰ ولت و در آزمایش دیگر خروجی با دامنه‌ای حدود ۲۰۰ ولت تولید می‌کند). در این سه آزمایش ابتدا توپولوژی با مبدل موازی متصل به سمت بار سپس توپولوژی هایمبدل موازی متصل به سمت تغذیه و ولتاژ Link-DC متغیر تحت آزمایش قرار می‌گیرند.

جدول (۱): مشخصات مبدل و Link-DC

مبدل متع اپدانتی	L	۴۵۰ μH
	C	۴۷۰ μF
	F _S	۱۰ khz
	L _F	۱۰ mh
	C _F	۴۰۰ μH
	P	۸ KVA
	V _{ph}	۳۷۰ V
مشخصات Link-DC	V _{dc}	۲۰ V
	C _{dc}	۰mf

جدول (۲): مشخصات بار

بار امترهای بار	S	۷.۸ KVA
	PF	۰.۹۸
	f	۵۰ Hz
	V _{LL}	۳۷۰ V

۱-۴ - آزمایش افتادگی ولتاژ

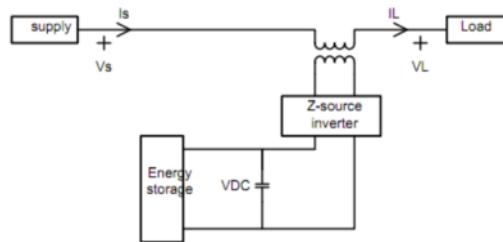
در این آزمایش اتصال کوتاه ۳ فاز در سمت تغذیه رخ می‌دهد. خطای ایجاد شده منجر به کاهش دامنه‌ی ولتاژ می‌گردد. ابتدا دامنه‌ی ولتاژ (یک سیکل پس از خطا) از ۳۰۰ V به حدود ۲۰۰ V و یک سیکل بعد به حدود ۱۷۰ V می‌رسد و تا زمان رفع خطا همین مقدار باقی می‌ماند. اتصال کوتاه از شروع سیکل سوم رخ داده و تا پایان سیکل پانزدهم (۳. ثانیه) باقی می‌ماند. همانطور که از شکل ۸ مشخص است توپولوژی مبدل موازی متصل به سمت بار جهت ثابت بودن ولتاژ بار ولتاژ مورد نیاز (V_{inj1}) را تأمین می‌کند و از طریق ترانسفورماتور سری به خط تزریق می‌نماید. همچنین V_{inj2} و V_{inj3} به ترتیب ولتاژ تزریقی توپولوژی مبدل موازی متصل به

۲-۳ - سیستم همراه با منبع ذخیره انرژی

در سیستم‌های بدون منبع ذخیره انرژی دریافت جریان اضافی جهت شارژ خازن Link-DC منجر به تشديد افت ولتاژ می‌گشت اما در این نوع سیستم تاثیر نامطلوب متقابل DVR و خط (به شکل افت ولتاژ خط ناشی از جریان شارژ خازن یا عدم تامین توان نیاز شارژ خازن Link-DC به دلیل افت ولتاژ خط) وجود ندارد و در این نوع سیستم ذخیره کننده‌ی انرژی باید فراهم گردد. ۲ نوع توپولوژی برای این نوع سیستم مطرح می‌گردند.

۲-۱- سیستم با ولتاژ Link-DC ثابت

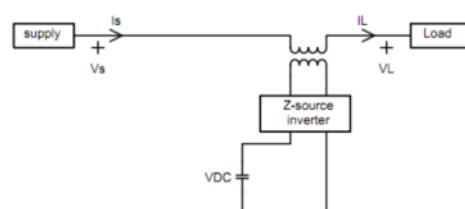
نوع اول آن، سیستم معرف می‌باشد که از باطری به عنوان منبع ذخیره انرژی استفاده می‌کند که در شکل ۷ مشخص است اما نوع دوم آن در اینجا شرح داده می‌شود.



شکل ۷: توپولوژی سیستم با ولتاژ Link-DC ثابت

۲-۲- سیستم با ولتاژ Link-DC متغیر

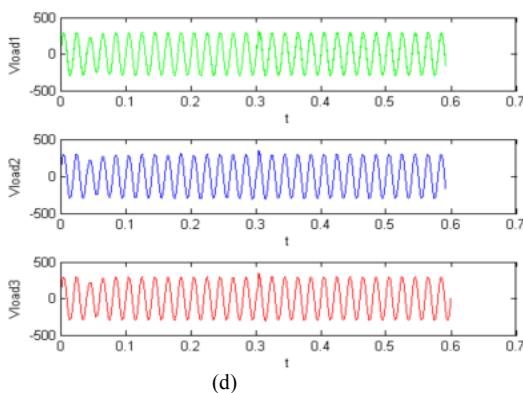
همانطور که از شکل ۸ مشخص است در این نوع سیستم منبع ذخیره انرژیک خازن بزرگ است که پس از هر استفاده شارژ آن کمتر شده و ولتاژ Link-DC بدون آنکه جبران شود تغییر می‌کند. این نوع توپولوژی در مورد افتادگی ولتاژ عمیق عملکرد مطلوبی ندارد.



شکل ۷: توپولوژی سیستم با ولتاژ Link-DC متغیر

۴ - نتایج شبیه‌سازی

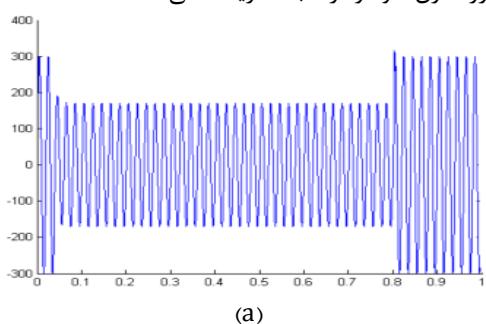
در این قسمت نتایج آزمایش بر روی ۳ توپولوژی معرفی شده قابلیت عملکرد هر یک تحت شرایط مختلف بررسی می‌گردد. مشخصات مبدل، بار و Link-DC در جدول (۱) و جدول (۲) آمده است. ضمناً طی این آزمایشات قابلیت Z-SI در تقویت کنندگی



شکل ۸: a. ولتاژ تغذیه به هنگام خطا b. ولتاژ تولیدی توسط DVRc. ولتاژ خازن d. ولتاژ link-DCd

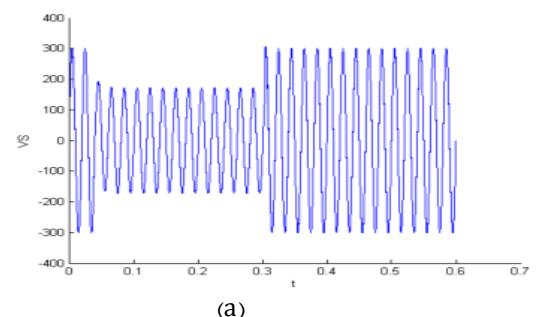
۲-۴- آزمایش افتادگی ولتاژ طولانی مدت

مشابه آزمایش قبل خطا ۳ فاز رخ می‌دهد با این تفاوت که اینبار مدت زمان اتصال کوتاه ۷۸ ثانیه به طول می‌انجامد (از سیکل دوم تا سیکل چهلم). همانطور که از قبل پیش بینی شده بود توپولوژی سوم به دلیل عدم توانایی در جبران ولتاژ خازن b.۹ پاسخ مناسبی در این مورد ارائه نمی‌دهد. همانطور که از شکل ۹ مشخص است بهترین پاسخ (ولتاژ تزریقی) مربوط به توپولوژی اول (مدل موازی متصل به سمت بار) می‌باشد. این قضیه مورد انتظار ماست چرا که طبق فرض جبرانسازی توسط DVR ولتاژ بار (تامین کننده) توان مورد نیاز شارژ خازن Link-DC (ثابت می‌ماند) لذا همانطور که مشاهده می‌شود V_{inj1} با دامنه ثابت ولتاژ بار را در مقدار نامی خود (V_{load1}) نگه می‌دارد. توپولوژی دوم مانند حالت قبل تا حدودی دامنه ولتاژ بار را جبران می‌کند ولی دامنه ولتاژ تزریقی (V_{inj2}) مقداری نوسان دارد که باعث نوسان دامنه ولتاژ بار (V_{load2}) در حدود مقدار نامی خود می‌شود. شکل ۹ بیانگر شارژ خازن Link-DC برای ۳ توپولوژی است. چون ولتاژ Link-DC در توپولوژی سوم (V_{C2}) جبران نمی‌گردد همانطور که از شکل ۲ مشخص است جبرانسازی این توپولوژی تنها تا زمانی حدود ۰.۳ ثانیه که ولتاژ خازن به ۱۰ ولتمیرسد صورت می‌گیرد و قادر به جبرانسازی طولانی مدت نخواهد بود اما ۲ توپولوژی دیگر توان مورد نیاز شارژ خازن خود را از شبکه دریافت می‌کند.

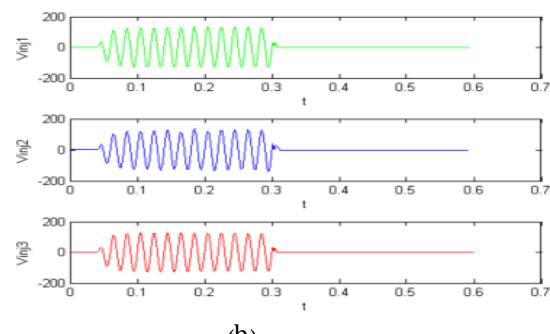


(a)

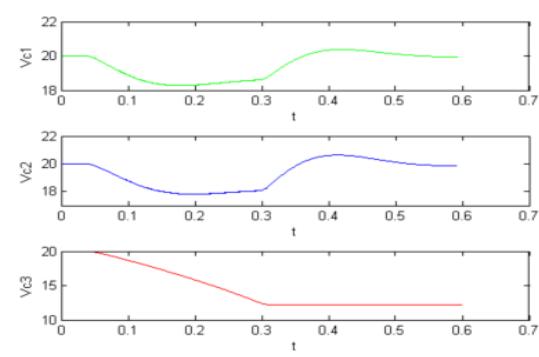
سمت تغذیه و توپولوژی ولتاژ DCLink- متغیر است. ولتاژ تزریقی توپولوژی اول (V_{inj1}) با دامنه ثابت افتادگی دامنه ولتاژ را جبران نموده و در شکل ۸ d. ثابت ولتاژ بار به هنگام عملکرد این توپولوژی می‌باشد. توپولوژی سوم نیز عملکردی مشابه دارد و (۳) بیانگر ولتاژ شده توسط این توپولوژی است. اما توپولوژی دوم هر چند که افتادگی را تا حدی جبران نموده ولی دامنه ولتاژ تزریقی (V_{inj2}) مقداری نوسان دارد که باعث شده دامنه ولتاژ بار حول مقدار مطلوب (۳۰۰V) کمی نوسان کند. شکل ۸ c. ولتاژ خازن Link-DC را برای توپولوژی های مختلف نشان می‌دهد که V_{C1} و V_{C2} پس از رفع خطا جبران شده و به مقدار اولیه خود (۲۰V) باز می‌گردند ولی V_{C3} مربوط به توپولوژی با ولتاژ Link-DC متغیر است که بدون جبران پس از رفع خطا در مقدار ثانویه ای (کمتر از ۲۰V) باقی می‌ماند.



(a)

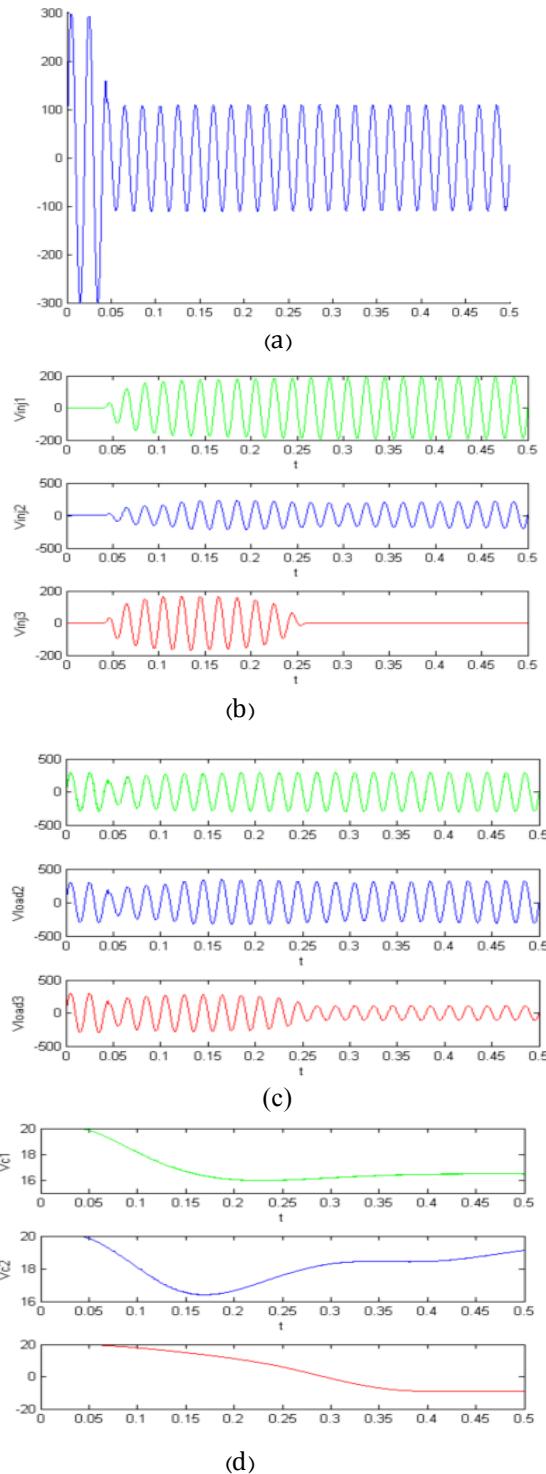


(b)

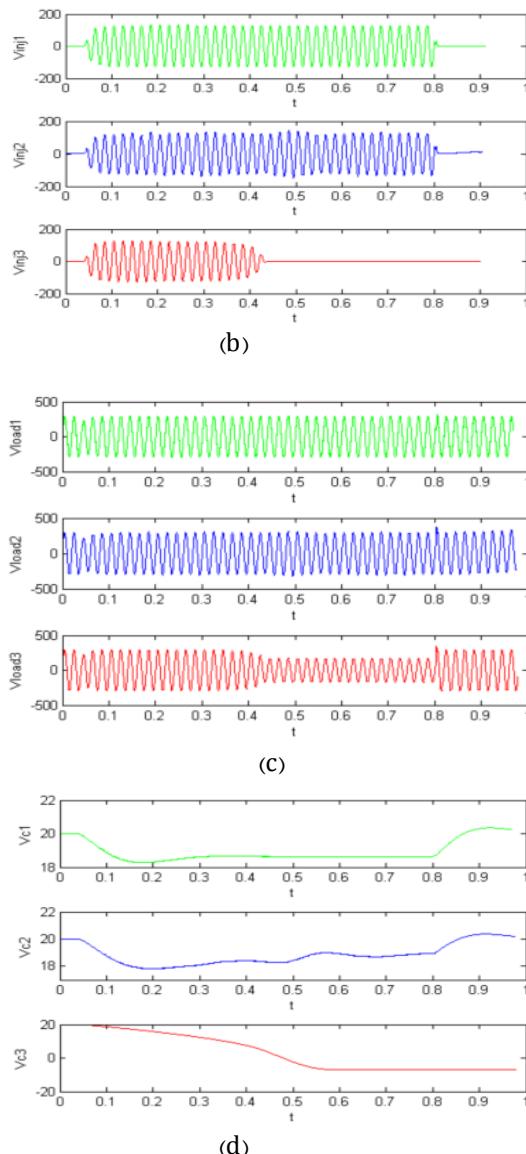


(c)

(مبدل موازی متصل به بار) مانند ۲ حالت قبل پاسخ بسیار مناسبی به خطای ایجاد شده می‌دهد و ولتاژ مناسب (V_{inj1}) جهت جبرانسازی ولتاژ بار (V_{load1}) را تزریق می‌نماید.



شکل ۹: a: ولتاژ تعذیبی به هنگام خطا b: ولتاژ تولیدی توسط DVRc ولتاژ خازن link-DCd ولتاژ بار



شکل ۱۰: a: ولتاژ تعذیبی به هنگام خطا b: ولتاژ تولیدی توسط DVRc ولتاژ خازن link-DCd ولتاژ بار

۳-۴ - افتادگی ولتاژ عمیق

در این آزمایش افتادگی ولتاژ شدت میابد و دامنه ولتاژ تعذیبی را در سیکل سوم به حدود ۱۵۰ ولت و در سیکل چهارم به حدود ۱۰۰ ولت می‌رساند و تارفع خطا در همین مقدار نگه می‌دارد. در این آزمایش خطای لحظه‌ی ۴ ثانیه شروع و تا زمان ۵ ثانیه ادامه دارد. همانطور که از شکل C.1۰ مشخص است مقدار ولتاژ خازن در تپولوژی سوم در زمان حدود ۳ ثانیه از صفر عبور می‌کند و منفی می‌شود. این تپولوژی مانند حالت قبل قادر به جبرانسازی نمی‌باشد و ولتاژ تولیدی آن در زمانی حدود ۲.۵ ثانیه به صفر می‌رسد (V_{inj3}). تپولوژی دوم پاسخی مشابه ۲ حالت قبل دارد یعنی جبرانسازی با کیفیت نامطلوبی انجام می‌شود و دامنه ولتاژ بار جبران شده مقداری نوسان دارد (V_{load2}). اما تپولوژی اول

نتیجه گیری

- IEEE Transaction on Industry Applications, Vol. ۴۱, pp. ۱۲۷۲-۱۲۸۰, ۲۰۰۵.
- [۹] J.G. Nielsen, M. Newman, F. Blaabjerg, H. Nielsen, "Control and testing of a Dynamic Voltage Restorer (DVR) at medium voltage level", IEEE power electronic specialist conference, Vol. ۳, pp. ۱۲۴۸-۱۲۵۳, ۲۰۰۳.
- [۱۰] C.J. Gajanayake, D.M. Vilathgamuwa, P.C. Loh, "Development of a comprehensive model and a multiloop controller for z-source inverter DG systems", IEEE Transaction on Industrial Electronics, Vol. ۵۴, pp. ۲۳۵۲-۲۳۵۹, ۲۰۰۷.

رزومه



ابوالفضل کاظم دهدشتی در ایران، تهران در ۸ اردیبهشت در سال ۱۳۶۶ بدنیا آمد. دوره کارشناسی خود را در سال ۱۳۸۵ در رشته مهندسی برق در دانشگاه چمران اهواز آغاز و در سال ۱۳۸۹ با درجه عالی فارغ التحصیل گردید و در همان سال دوره کارشناسی ارشد خود را در دانشگاه شیراز آغاز نمود و تا سال ۱۳۹۱ با درجه عالی این دوره را به اتمام رساند. مطالعات وی غالباً در زمینه‌های مبدل‌های قدرت، کیفیت توان، حفاظت و تولید پراکنده می‌باشد.



علیرضا سیفی در سال ۱۳۴۷ در ایران، شیراز بدنیا آمد. وی دوره کارشناسی خود را در رشته مهندسی برق در دانشگاه شیراز در سال ۱۳۷۰ به پایان برد و دوره کارشناسی ارشد خود را در دانشگاه تبریز تا سال ۱۳۷۲ گذراند و دوره دکتری تخصصی خود را در دانشگاه تربیت مدرس سال ۱۳۸۰ به پایان رساند. در حال حاضر به عنوان استاد با درجه علمی دانشیاری در دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه شیراز مشغول می‌باشد. مطالعات وی متمرکز بر سیستم‌های قدرت، ماشین‌های الکتریکی، الکترونیک قدرت و بهینه سازی فازی می‌باشد.

در این مقاله ۳ توپولوژی دیگر (غیرازتوپولوژی متعارف) بر مبنای مبدل منبع امپدانسی تحت ۳ آزمایش مختلف قرار گرفت. توپولوژی اول تحت هر ۳ آزمایش پاسخ مناسب به دست می‌دهد اما نسبت به توپولوژی سوم به یک مبدل اضافه تر جهت شارژ خازن Link-DC احتیاج دارد. توپولوژی دوم تحت هر ۳ آزمایش پاسخ نسبتاً مشابه داشت که جبرانسازی را با کیفیت نه چندان خوبی انجام می‌دهد ضمن آنکه به مدار شارژ خازن نیز نیاز دارد. توپولوژی سوم تحت شرایط افتادگی طولانی و عمیق نتوانست جبرانسازی کند اما تحت شرایط خطای کوتاه و نه چندان عمیق بدون نیاز به مدار شارژ خازن پاسخ مناسبی جهت جبرانسازی ولتاژ خازن Link-DC ارائه داد. لذا بهترین توپولوژی بر اساس شرایط عملکرد و پارامترهای مقایسه انتخاب می‌گردد.

ـ مراجع

- [۱] A.K. Al-Othman, T.H. Abdelhamid, "Elimination of harmonics in multilevel inverters with non-equal dc sources using PSO", Elsevier Energy conversion and Management, Vol. ۵۰, pp. ۷۵۶-۷۶۴, ۲۰۰۹.
- [۲] M.K. Nguyen, Y.G. Jung, Y.C. Lim, "Single-phase Z-source voltage sag/swell compensator", IEEE Industrial Symposium on Industrial Electronics, pp. ۲۴-۲۸, ۲۰۰۹.
- [۳] D.M. Vilathgamuwa, C.J. Gajanayake, P.C. Loh, Y.W. Li, "Voltage sag compensation with Z-source inverter based Dynamic Voltage Restorer", IEEE Industry Application conference, Vol. ۵, pp. ۲۲۴۲-۲۲۴۸, ۲۰۰۶.
- [۴] S. Rajakaruna, L. Jayawickrama, "Steady-State analysis and designing impedance network of Z-Source Inverters", IEEE Transaction on Industrial Electronics, Vol. ۵۷, pp. ۲۴۸۳-۲۴۹۱, ۲۰۱۰.
- [۵] D. Vinnikov, I. Roasto, "Quasi-Z-source-based isolated DC/DC converters for distributed power generation", IEEE Transaction on Industrial Electronics, Vol. ۵۸, pp. ۱۹۲-۲۰۱, ۲۰۱۱.
- [۶] D. Vinnikov, I. Roasto, R. Strzelecki, M. Adamowicz, "Step-up DC/DC converters with cascaded Quasi-Z-source network", IEEE Transaction on Industrial Electronics, Vol. ۵۹, pp. ۳۷۲۷-۳۷۳۶, ۲۰۱۲.
- [۷] F.Z. Peng, "Z-source inverter", IEEE Transaction on Industry Applications, Vol. ۴۹, pp. ۵۰۴-۵۱۰, ۲۰۰۳.
- [۸] J.G. Nielsen, F. Blaabjerg, "A detailed comparison of system topologies for Dynamic Voltage Restorers",

