

بهبود پروفیل ولتاژ سیستم الکتریکی شناور با بکارگیری جبران ساز توان راکتیو

محمد پورامیران، محمد یوسفی کیا*

گروه الکترونیک و مخابرات دریایی، دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۶/۲۶

شناسه دیجیتال (DOI): [10.22113/jmst.2017.44305](https://doi.org/10.22113/jmst.2017.44305)

چکیده

در این پژوهش جبران سازی توان راکتیو در شناور به عنوان یک عامل کمکی برای بهبود شرایط ژنراتور و نیز افزایش میزان بهره‌وری سوخت مصرفی کشتی در نظر گرفته شده است. برای تحقق این منظور شبکه الکتریکی ساده شده‌ی یک کشتی نظامی تماماً الکتریکی شامل بار پیشرانه، بارهای توزیع، سنسور و دیگر بارهای اضطراری و بارهای پالسی (سلاح‌های ریلی، سکوی پرتاب هوایی، و غیره) مدلسازی شده است. در میان بارهای مذکور، بارهای پالسی اثر مخرب بیشتری بر پارامتر پروفیل ولتاژ در کیفیت توان سیستم توزیع کشتی دارند. این قبیل بارها نیازمند انرژی بالا در مدت زمان کوتاهی هستند که این امر عمدتاً باعث بوجود آمدن مشکلاتی در کیفیت توان سیستم شده و در بعضی موارد باعث تخریب کل سیستم الکتریکی می‌شود.

در ادامه اثرات جبران سازی بانک خازن استاتیک به منظور بهبود پارامتر پروفیل ولتاژ سیستم الکتریکی یک شناور نظامی در شرایط حضور بار پالسی بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد که بکارگیری این جبران ساز اثرات به سزایی در بهبود افت ولتاژ (Voltage Sag) داشته و از طرف دیگر منحنی‌های سرعت و گشتاور موتورهای پیشرانه پایداری بیشتری خواهند داشت. شبیه‌سازی در محیط Matlab/Simulink و برای شرایط مختلف بارهای پالسی و جبران‌کننده‌ی خازنی به لحاظ مقدار صورت گرفته است و نتایج حاکی از مقاوم بودن روش ارائه شده و بهبود پارامترهای کیفیت توان در شرایط متفاوت می‌باشد.

واژگان کلیدی: جبران سازی توان راکتیو، پروفیل ولتاژ، بانک خازنی استاتیک، بار پالسی، سیستم قدرت کشتی

* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: yousefi-kia@kmsu.ac.ir

۱. مقدمه

سیستم انرژی الکتریکی یک سیستم مستقل است که از تعداد محدودی ژنراتور و تعداد زیادی بار تشکیل شده است که اکثر آنها موتورهای القایی می باشند. برای ایجاد تعادل در سیستم انرژی الکتریکی، می بایست توان نامی ژنراتور متناسب با انرژی مورد نیاز شناور مشخص گردد که این انتخاب در توان اکتیو بر حسب (w) و در توان راکتیو بر حسب (VAR) می باشد. اگرچه اغلب فقط توان اکتیو در انتخاب ظرفیت ژنراتور ملاک قرار می گیرد (Prousalidis, 2011) ولی معمولاً نیاز به توان راکتیو سیستم را با مشکلاتی مواجه می سازد. به همین دلیل است در آنالیز بار الکتریکی نیاز توان راکتیو در طراحی ها وارد شده است (Kourtesis, 2014 & Prousalidis, 2011).

این مقاله روشی برای حل مشکل افت ولتاژ ناشی از افزایش تقاضای توان راکتیو را ارائه می نماید. علاوه بر آن می توان بیان نمود که این روش باعث افزایش توان راکتیو باعث ایجاد حرارت و گرما در مدار می شود (J. M. L. R. J. D. R. Dixon et al, 2005) ولی با جبران سازی توان راکتیو با توجه به نزدیک شدن

تولید به مصرف، تلفات RI^2 و در نتیجه کاهش حرارت در سیستم توزیع توان کاهش می یابد. (K. (T. C. E. Y. E. (N. A. Suhail et al, 1995) Vardar et al, 2010)

به طور کلی جبران سازی باعث بهبود پروفیل ولتاژ در محل بار و کاهش جریان خط در سیستم توزیع و ترانسفورماتور می شود که این امر افزایش باردهی سیستم را بدون تغییرات اساسی در ساختار شبکه ممکن می سازد.

یکی از مزایای به کارگیری جبران کننده ها بهینه سازی سیستم های توزیع انرژی الکتریکی به لحاظ پارامترهای کیفیت توان می باشد. (Milan Stork et al, 2017)

مهمترین انواع جبران کننده های توان راکتیو شامل کندانسور سنکرون، خازن استاتیک و جبران کننده ی

میزان بهره وری کشتی، کاهش تلفات کاهش مصرف سوخت و همچنین بهبود اثرات زیست محیطی می شود.

اثرات بارهای پالسی بر کیفیت توان سیستم توزیع برق کشتی بسیار مخرب است. بارهای پالسی نیازمند توان بسیار بالایی در مدت زمان خیلی کوتاه هستند. به منظور بهبود پایداری شبکه ی برق یک کشتی در شرایط جنگی می توان از جبران کننده های توان راکتیو استفاده کرد که این امر باعث کاهش تاثیر منفی بارهای پالس بر ولتاژ خط و در نتیجه باعث حفظ ولتاژ خط در سطح مورد نظر می شود.

در یک سیستم الکتریکی، موتور های القایی نیازمند توان راکتیو هستند در حالی که ژنراتورهای القایی توان راکتیو تولید می کنند. در این صورت همواره تعادل برقرار می باشد و هنگامی که این تعادل ناشی از محدودیت های ژنراتور برقرار نباشد میبایست عمل جبران سازی توان راکتیو انجام شود. توان راکتیو استاتیک (SVC)¹ می باشد که در ذیل مختصراً به توصیف آنها پرداخته شده است.

یک ماشین سنکرون بدون بار مکانیکی متصل به شفت که به صورت موازی به سیستم انرژی الکتریکی متصل شده و توان راکتیو به سیستم تزریق می کند کندانسور سنکرون نامیده می شود. توان راکتیو خروجی از طریق تنظیم جریان DC تزریقی به روتور (جریان تحریک) به کمک AVR کنترل می گردد.

بنابراین کندانسور هم میتواند به عنوان خازن (تولید کننده ی توان راکتیو) و هم به عنوان سلف (جذب کننده ی توان راکتیو) به کار گرفته شود. این روش برای مدت طولانی در سیستم های تاسیسات دریایی با طرح های مولد محور به کار گرفته شده است.

(Prousalidis et al., 2005)

به طور کلی هدف اصلی از جبران سازی بهبود ضریب توان و بهبود پروفیل ولتاژ می باشد. ضریب توان کسینوس اختلاف فاز بین شکل موج ولتاژ و جریان

¹ Static var compensator

خازن باید تا حد امکان نزدیک به بار قرار گیرد تا هم تلفات کم شود و هم افزایش ولتاژ حداکثر شود. بانک‌های خازنی باید به گونه ای مورد استفاده قرار گیرند که میزان ولتاژ در تمام مراحل بهتر مورد کنترل قرار گیرد.

شایان ذکر است جبران کننده‌ی توان راکتیو استاتیک یک منبع تامین توان راکتیو پیچیده تر در مقایسه با بانک خازنی بوده که توسط کلیدهای الکترونیک قدرت (تریستور) کنترل می‌شود. SVC را می‌توان به عنوان یه جبران کننده که ترکیبی از مزایای کندانسور سنکرون (کنترل دقیق از خروجی توان راکتیو بدون حالت گذرا) و یک بانک خازنی (بدون هیچ گونه قطعات دوار) در نظر گرفت. این تجهیز علی رغم هزینه‌ی بالای آن دارای پاسخ سریع بوده که این ویژگی از طریق افزایش تعداد پله‌های توان راکتیو و قابلیت جذب این توان ممکن می‌شود. SVC می‌تواند موجب بهبود ضریب توان و پروفیل ولتاژ در بارهای با کیفیت توان پایین شود (Yu-Wei Liu et al 2017). SVC به عنوان یک دستگاه الکترونیکی قدرت به دما حساس می‌باشد و همچنین نصب و راه اندازی آن در سیستم‌های الکتریکی کشتی نیاز به مطالعه بسیار کامل از شرایط عملیاتی محیط دارد (Papadias 1985; Greenwood 1991).

۲. مواد و روش‌ها

در این بخش یک روش برای مدل‌سازی بکارگیری منبع توان راکتیو نشان داده شده است. روابط ریاضی مدار قبل و بعد از نصب منبع توان راکتیو توسط معادله‌ی (۱) تا (۸) نشان داده شده است. در حالت اول و هنگامی که از جبران کننده‌ی خازنی استفاده نکنیم روابط به صورت زیر خواهد بود.

$$P_{tot} = \sum_{k=1}^M P_k \quad (4)$$

$$Q_{tot} = \sum_{k=1}^M Q_k \quad (5)$$

$$pf_{tot} = \cos(\arctan(\frac{Q_{tot}}{P_{tot}})) \quad (6)$$

است. به عبارت دیگر ضریب توان نسبت توان اکتیو (P) به قدرت ظاهری (S) می‌باشد. (D. Chapman et al., 2012) از مزایای استفاده از بانک خازنی ثابت می‌توان به تلفات کمتر، هزینه‌ی پایین تر نسبت به روش‌های دیگر جبران سازی، عملکرد به صورت پله‌ای و قابلیت کلید زنی در طول بهره برداری و از معایب آن نیز می‌توان انعطاف پذیری کمتر در تنظیم خروجی توان راکتیو، عدم امکان استفاده به عنوان راکتور، عدم تحمل اضافه بار برای لحظات کوتاه، لزوم اتصال به مدار قبل از وقوع شرایط تقاضای توان راکتیو (در غیر این صورت منجر به افت ولتاژ می‌شود)، افزایش دما و مشکلات رزونانس در مسیر الکتریکی، عدم مشارکت در پایداری سیستم در هنگام بروز خطای اتصال کوتاه و لزوم نزدیکی به محل جبران سازی را عنوان کرد.

از روش‌های جدید برای یافتن مکان بهینه‌ی جایابی بانک خازنی ثابت می‌توان به استفاده از الگوریتم BFO اشاره کرد. (Santi Behera et al, 2015) با توجه به اینکه توان راکتیو تامین شده به وسیله‌ی خازن متناسب با مربع ولتاژ است بنابراین برای کنترل ولتاژ، همواره بانک خازنی باید قبل از اتصال بار پالسی به مدار متصل شود.

بر خلاف شبکه‌های زمینی که در آن مکان‌های زیادی برای جایگذاری خازن وجود دارد، در شبکه‌ی کشتی با توجه به نزدیکی تجهیزات خازن را می‌توان نزدیک به موتورهای القایی قرار داد.

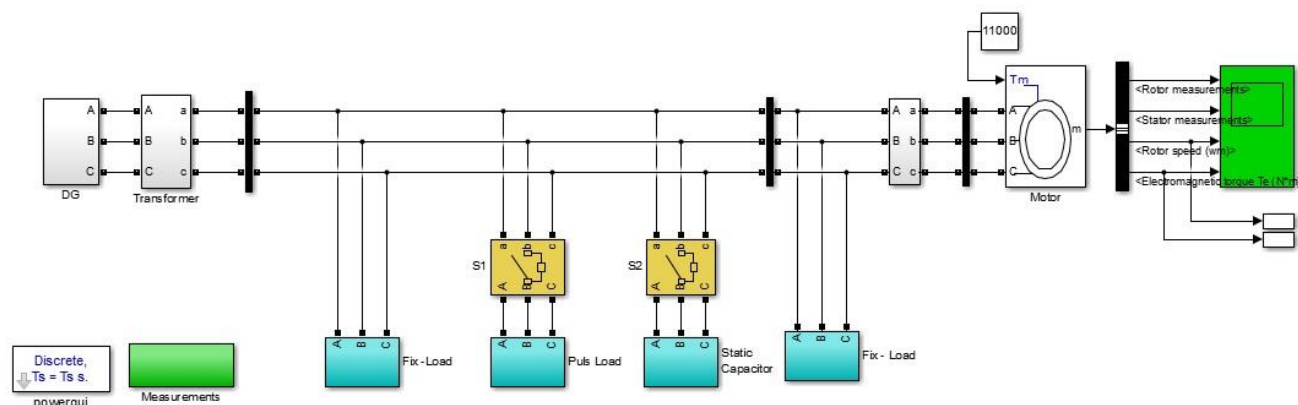
به منظور طراحی بهینه و یافتن محل مناسب جبران کننده‌ی خازنی اغلب باید عوامل مختلفی رو در نظر گرفت که در ذیل برخی راهکارهای جایابی خازن ارائه شده اند:

✓ حداقل مقدار جبران‌سازی با اتصال دائم خازن که در این روش به کلید قطع و وصل نیاز نبوده و این امر نیز باعث کاهش هزینه‌ها می‌شود.

$$P_k = f_{s,k} \cdot P_{N,k} \quad (1)$$

$$Q_k = \frac{P_k}{(pf)} \sqrt{1 - (pf_k)^2} \quad (2)$$

$$I_k = \frac{P_k}{\sqrt{3} V \cdot (pf_k)} \quad (3)$$



شکل ۲. شبکه قدرت شبیه سازی شدهی مورد مطالعه

قبل از زمان ۲ ثانیه بدون تغییر است. در ثانیه ۲ با وصل شدن کلید S1 بار پالسی وارد مدار شده و باعث افت ولتاژ در مدار می شود و مقدار ولتاژ را به حدود ۲۸۱ ولت کاهش پیدا می دهد. سپس در لحظه ی ثانیه ۳ با قطع شدن کلید S1 بار پالسی از مدار خارج شده و ولتاژ کم کم به حالت ثابت قبلی خود بر می گردد.

جریان تولید شده ی سه فاز توسط دیزل ژنراتور نیز در این حالت حدوداً ۷۰۰۰۰ آمپر است که به دلیل خاصیت لختی (اینرسی) و همچنین نحوه ی اتصال به روش DOL^۱ به وجود آمده که این حالت گذرا بوده و در حدود ۰,۴ ثانیه به مقدار نامی خود که تقریباً ۵۰۰۰ آمپر است می رسد. همچنین افزایش جریان ناشی از ورود بارهای پالس در لحظه ی $t=2(s)$ باعث می شود جریان افزایش یابد و پس از خروج بار پالسی نیز با کاهش جریان مواجه می شویم.

در حالت دوم، با توجه به شکل ۴، ولتاژ خط موثر فاز a تولید شده در بازه ی زمانی صفر تا ۶ ثانیه نشان داده شده است. مشاهده می کنیم این ولتاژ ۲۸۳ ولت بوده و تا قبل از زمان ۲ ثانیه بدون تغییر است. در لحظه ی $t=2(s)$ با وصل شدن کلید S1 بار پالسی وارد مدار شده و افت ولتاژ محسوسی را در مدار ایجاد شده

در حالت اول مدار دارای دو بار مقاومتی (Fix-Load) به مقدار ۱۰ کیلووات و یک بار پالسی با توان اکتیو ۱۰ مگاوات و توان راکتیو سلفی ۱۰ مگاوار است. در این مرحله دیزل ژنراتور را استارت کرده و همزمان دو بار مقاومتی در مدار حضور دارند و موتور نیز شروع به کار می کند. پس از دو ثانیه کلید S1 وصل و بار پالس وارد مدار می شود و باعث افت ولتاژ در مدار می شود، کلید S2 نیز قطع می باشد.

در حالت دوم مدار دارای دو بار مقاومتی (Fix-Load) به مقدار 10KW و یک بار پالسی با توان اکتیو 10 MW و توان راکتیو سلفی 10 Mvar و یک جبران کننده ی خازنی با توان راکتیو خازنی ۵ Mvar است. در این مرحله دیزل ژنراتور را استارت کرده و همزمان دو بار مقاومتی در مدار حضور دارند و موتور نیز شروع به کار می کند. در لحظه ی $t=2(s)$ کلید S1 وصل و بار پالس وارد مدار می شود و باعث افت ولتاژ در مدار می شود. پس از ۰,۵ ثانیه و در لحظه ی $t=2.5(s)$ کلید S2 وصل شده و جبران کننده ی خازنی وارد مدار می شود و افت ولتاژ ایجاد شده توسط بار پالسی را جبران می کند.

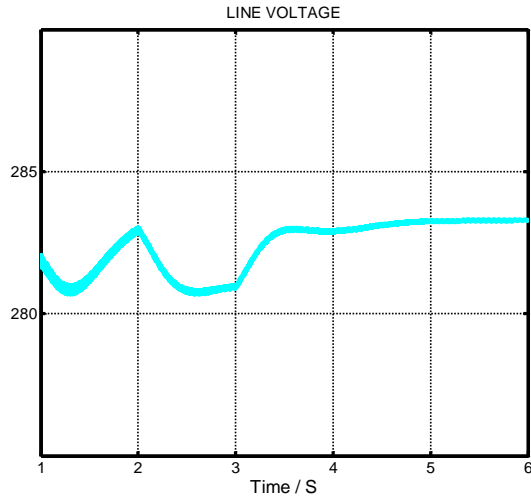
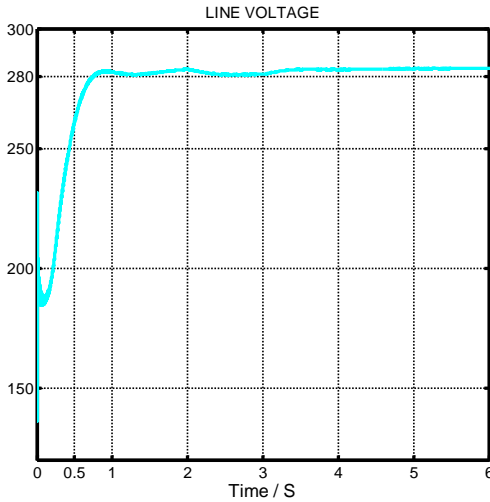
۳. نتایج

در حالت اول، با توجه به شکل 3 ولتاژ خط موثر تولید شده توسط دیزل ژنراتور ۲۸۳ ولت بوده و تا

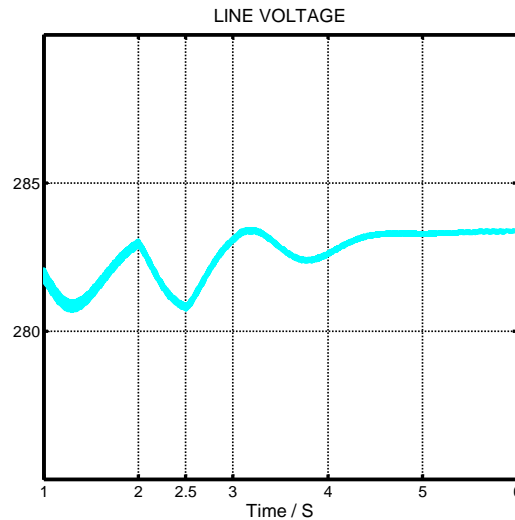
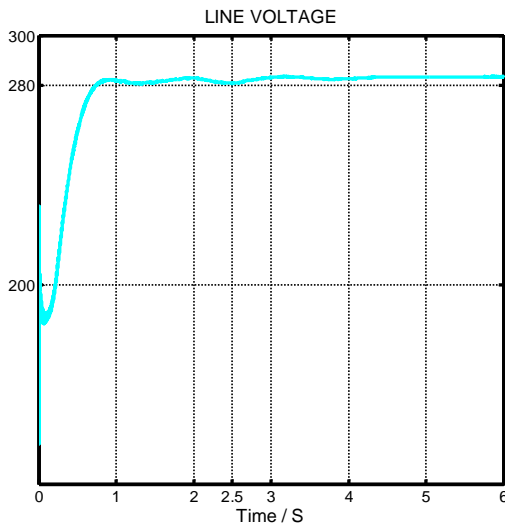
¹ Direct online

ولت می رسد و در لحظه ی (s) $t=3$ پس از قطع شدن کلیدهای S1 و S2 بار پالسی و جبران کننده‌ی خازنی از مدار خارج شده و ولتاژ به سطح معمول خود می‌رسد.

و مقدار ولتاژ به ۲۸۱ ولت می‌رسد. پس از ۰,۵ ثانیه و در لحظه‌ی (s) $t=2.5$ با وصل شدن کلید S۲ جبران کننده‌ی خازنی وارد مدار شده و افت ولتاژ ایجاد شده توسط بار پالسی را جبران کرده و مقدار ولتاژ به ۲۸۳



شکل ۳. ولتاژ خط موثر فاز a تولید شده توسط دیزل-ژنراتور بدون خازن



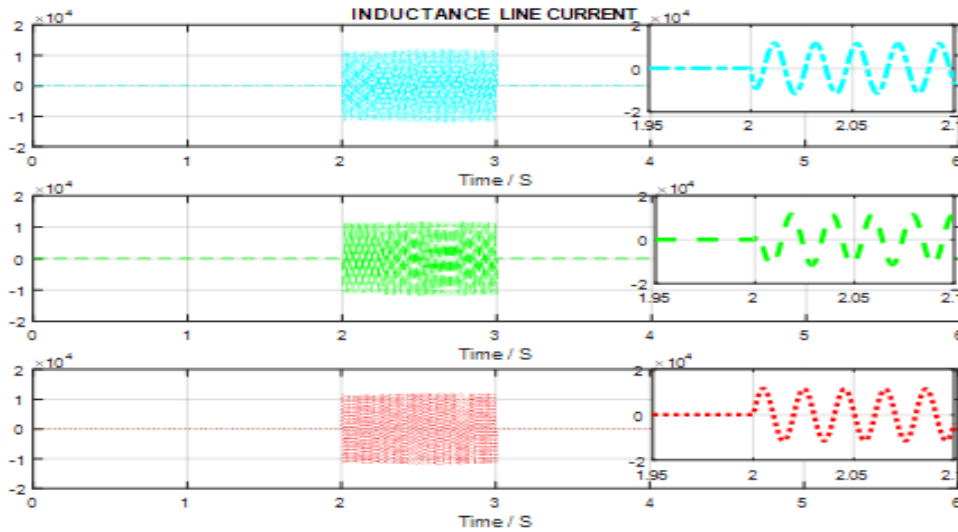
شکل ۴. ولتاژ خط موثر فاز a تولید شده توسط دیزل-ژنراتور در حضور خازن

ورود بار پالس جریان افزایش یافته و در لحظه‌ی (s) $t=2.5$ جبران کننده‌ی خازنی وارد مدار می‌شود اما تغییر محسوسی در جریان کشیده شده ایجاد نمی‌شود و در لحظه‌ی (s) $t=3$ بارهای پالسی و جبران کننده‌ی خازنی از مدار خارج می‌شوند و مقدار جریان دوباره به حدود ۵۰۰۰ آمپر می‌رسد.

جریان تولید شده‌ی سه فاز توسط دیزل ژنراتور نیز در این حالت در لحظه‌ی راه اندازی موتور حدوداً ۷۰۰۰۰ آمپر است که به دلیل خاصیت لختی (اینرسی) و همچنین نحوه‌ی اتصال به روش DOL به وجود آمده و همانطور که مشخص است این حالت گذرا بوده و در حدود ۰,۴ ثانیه به مقدار نامی خود که تقریباً ۵۰۰۰ آمپر است می‌رسد. در لحظه‌ی (s) $t=2$ و به هنگام

در لحظه‌ی $t=2$ (s) به مقدار ۱۵۰۰۰ آمپر می‌رسد و در لحظه‌ی $t=3$ (s) پس از خروج بار پالس مقدار جریان دوباره به صفر می‌رسد.

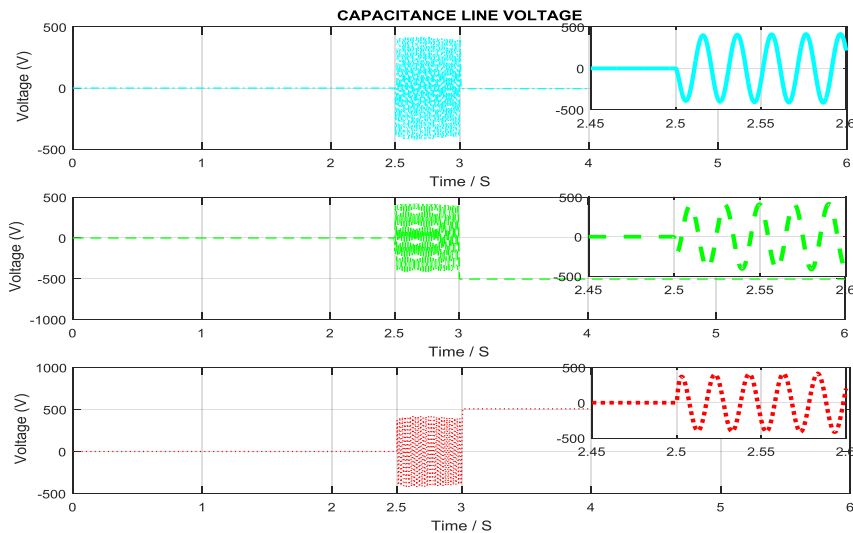
در شکل ۵ جریان مدار فقط در لحظه‌ی حضور بار پالسی برای حالت اول نشان داده شده است. در این مرحله مشاهده می‌کنیم جریان در حضور بار پالس در



شکل ۵. جریان سه فاز بار پالس

با توجه به شکل ۶، در حالت دوم ولتاژ مدار فقط در لحظه‌ی حضور جبران کننده‌ی خازنی نشان داده شده است. در این مرحله مشاهده می‌کنیم که ولتاژ خط در حضور جبران کننده‌ی خازنی در لحظه‌ی $t=2.5$

در حالت دوم ولتاژ مدار فقط در لحظه‌ی حضور جبران کننده‌ی خازنی نشان داده شده است. در این مرحله مشاهده می‌کنیم که ولتاژ خط در حضور جبران کننده‌ی خازنی در لحظه‌ی $t=2.5$



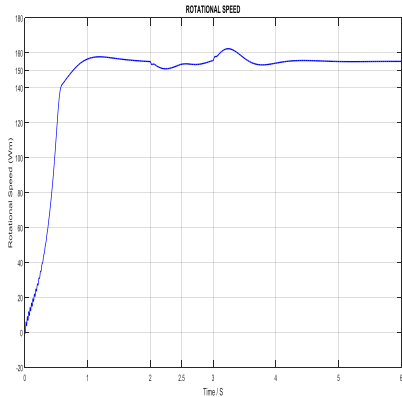
شکل ۶. ولتاژ سه فاز تولید شده جبران کننده‌ی خازنی

در هنگام ورود و خروج بار پالسی و به دلیل کلید زنی تغییرات گذرای داشته که به سرعت مستهلک شده و بلافاصله به وضع عادی خود می‌رسد و مقدار گشتاور دوباره به مقدار ثابت 11000 (N.m) می‌رسد. در شکل ۸ سرعت موتور مورد استفاده نشان داده شده

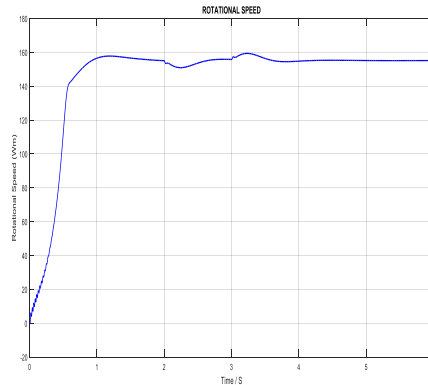
در شکل ۷ گشتاور موتور مورد استفاده یک بار در حضور جبران کننده‌ی خازنی و یک بار بدون جبران کننده‌ی خازنی نشان داده شده است و ملاحظه می‌کنیم مقدار گشتاور در اکثر لحظات برابر 11000 (N.m) می‌باشد فقط در لحظه‌های $t=2$ (s) و $t=3$ (s)

۱۵۷ می‌باشد.

است و ملاحظه می‌کنیم پروفیل سرعت موتور پس از رسیدن به حالت ماندگار تقریباً ثابت و برابر با (Wm)

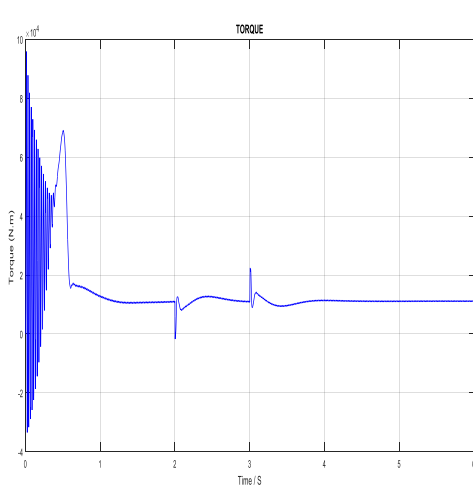


(ب)

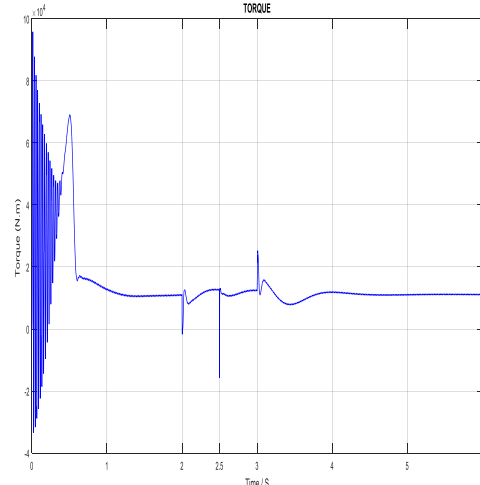


(الف)

شکل ۷ سرعت موتور (الف) با جبران کننده‌ی خازنی (ب) بدون جبران کننده‌ی خازنی



(ب)



(الف)

شکل ۸ گشتاور موتور (الف) با جبران کننده‌ی خازنی (ب) بدون جبران کننده‌ی خازنی

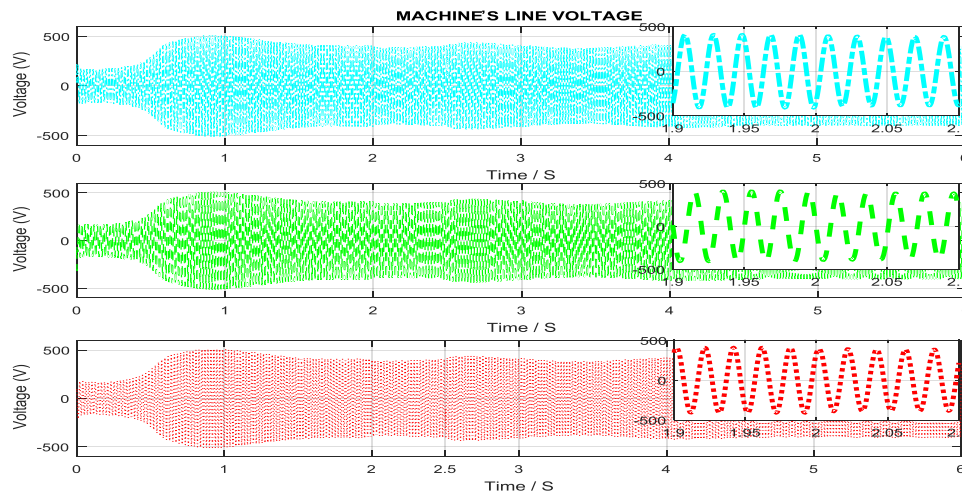
تغییرات گذرای می‌شود که بلافاصله به وضع عادی خود می‌رسد و مقدار گشتاور دوباره به مقدار ثابت 11000 (N.m) می‌رسد. پروفیل سرعت موتور نیز پس از رسیدن به حالت ماندگار تقریباً ثابت و برابر با 157 (Wm) می‌باشد. البته می‌توان به منظور محدود کردن دامنه تغییرات ناشی از کلید زنی از مدارهای جانبی شامل محدود کننده‌های جریان به موازات کلید بهره برد.

در حالت اول، ولتاژ موتور پس از رسیدن به حالت پایدار تقریباً برابر 400 ولت است و هنگام حضور بار

در حالت دوم، توان موتور 2MW به طور معمول در کلیه‌ی مراحل ثابت بوده است و فقط در لحظه‌های $t=2\text{(s)}$ و $t=2.5\text{(s)}$ و $t=3\text{(s)}$ هنگام ورود و خروج بار پالسی و جبران کننده‌ی خازنی و همچنین به دلیل کلید زنی تغییرات گذرای داشته که به سرعت مستهلک شده و در نهایت موتور با توان مورد نیاز خود عمل می‌کند. مقدار گشتاور نیز در اکثر لحظات برابر 11000 (N.m) می‌باشد. در لحظه‌ی ورود بارهای پالسی و جبران کننده‌ی خازنی و همچنین در لحظه‌ی خروج آنها به علت کلیدزنی مقدار گشتاور دچار

رسیدن به حالت پایدار تقریباً برابر ۴۰۰ ولت است و در لحظه‌ی $t=2(s)$ با حضور بار پالسی افت ولتاژ در موتور نیز ایجاد می‌شود، در لحظه‌ی $t=2.5(s)$ و با حضور جبران کننده‌ی خازنی افت ولتاژ ایجاد شده جبران می‌شود و در لحظه‌ی $t=3(s)$ با خروج بار پالسی مقدار ولتاژ به حالت ۴۰۰ ولت معمول خود باز می‌گردد. همچنین گذر از حالت گذرا به ماندگار ناشی از استارت اولیه موتور در کمتر از ۱ ثانیه اتفاق می‌افتد.

پالسی افت ولتاژ در موتور ایجاد می‌شود در لحظه‌ی خروج بار پالسی مقدار ولتاژ به حالت معمول خود باز می‌گردد همچنین گذر از حالت گذرا ناشی از استارت اولیه موتور در کمتر از ۱ ثانیه اتفاق می‌افتد. همچنین جریان موتور پس از رسیدن به حالت ماندگار حدود ۵۰۰۰ آمپر است و در کمتر از ۱ ثانیه جریان موتور به مقدار نامی خود می‌رسد. در شکل ۹ ولتاژ فاز موتور در حالت دوم نشان داده شده است. مشاهده می‌کنیم ولتاژ موتور پس از



شکل ۹ ولتاژ موتور سه فاز جداگانه در تمام لحظات؛

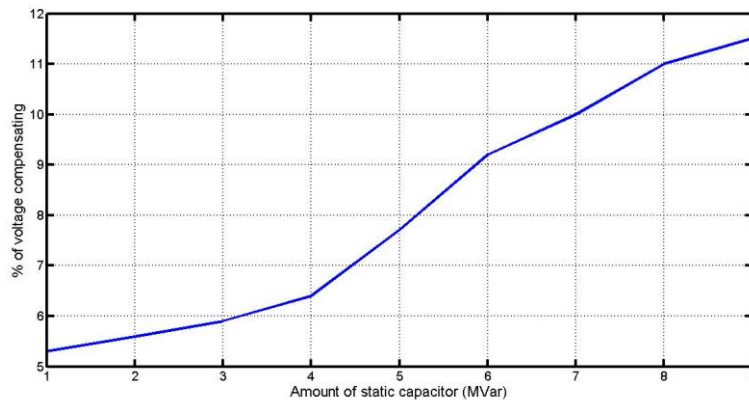
پس از رسیدن به حالت ماندگار حدود ۵۰۰۰ آمپر است. خازن‌گذاری صورت پذیرد. جدول ۲ مقادیر تجربی مربوط به مقدار نیاز به خازن ثابت بر اساس نوع بار را نشان می‌دهد.

جریان موتور نیز در این حالت در کمتر از ۱ ثانیه جریان موتور به مقدار نامی خود می‌رسد و مقدار آن با بررسی کلی حالت‌های مورد نظر مشاهده می‌کنیم که با استفاده از یک الگوریتم مشخص می‌توان از بهینه‌ترین مقدار جبران کننده‌ی خازنی برای جبران افت ولتاژ ایجاد شده استفاده کرد. خلاصه‌ی نتایج شبیه‌سازی برای تعدادی از حالت‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است. لازم به ذکر است اعداد انتخابی مربوط به مقدار خازن ثابت صرفاً جهت آنالیز حساسیت و مشاهده‌ی درصد تغییرات جبران‌سازی می‌باشد.

همانطور که از نتایج جدول ۱ و شکل ۱۰، مشخص می‌شود تعیین مقدار بهینه‌ی خازن وابستگی زیادی به شرایط شبکه داشته و این انتخاب می‌بایست با رایه‌ی الگوریتمی هوشمند شامل قیود مربوط به سطح ولتاژ مطلوب شبکه و پارامترهای اقتصادی

جدول ۱ مقادیر حالت های بررسی شده

شماره حالت	مقدار توان اکتیو بار ثابت (مگاوات)	مقدار توان راکتیو بار پالسی (مگاوار)	مقدار ظرفیت بانک خازنی (مگاوار)	میزان عددی جبران سازی ولتاژ در حضور بانک خازنی و بار پالسی	میزان عددی جبران سازی ولتاژ بدون حضور بانک خازنی و بار پالسی	درصد جبران سازی با بانک خازنی
۱	۱۰	۱۰	0	۴۰۰	۳۹۰	۰
۲	۱۰	۱۰	1	۴۱۱	۳۹۰	۵/۳
۳	۱۰	۱۰	2	۴۱۲	۳۹۰	۵/۶
۴	۱۰	۱۰	3	۴۱۳	۳۹۰	۵/۹
۵	۱۰	۱۰	4	۴۱۵	۳۹۰	۶/۴
۶	۱۰	۱۰	5	۴۲۰	۳۹۰	۷/۷
۷	۱۰	۱۰	6	۴۲۶	۳۹۰	۹/۲
۸	۱۰	۱۰	7	۴۲۹	۳۹۰	۱۰
۹	۱۰	۱۰	8	۴۳۳	۳۹۰	۱۱
10	۱۰	۱۰	9	۴۳۵	۳۹۰	۱۱/۵



شکل ۱۰ درصد جبران سازی افت ولتاژ با مقادیر مختلف خازن گذاری

جدول ۲ مقدار نیاز به خازن ثابت بر اساس نوع بار (Prousalidis et al., 2016)

Type of component	Reactive power requirement
Transformer	~ 0.05 kVAr/kVA
Induction motor	0.5–0.9 kVAr/kW
Fluorescent light	~ 2 kVAr/kW
LED light	~ 1 kVAr/kW

۴. بحث و نتیجه‌گیری

برداری شبیه‌سازی شده است و نتایج حاکی از آن است که این جبران ساز قابلیت کنترل ولتاژ در محدوده‌ی مطلوب را دارا بوده و موجب بهبود پروفیل ولتاژ می‌گردد. آنالیز حساسیت شبکه‌ی مذکور صورت گرفته و بازدهی بالا و قابلیت اطمینان روش پیشنهادی در شرایط مختلف نشان داده شده است. کلیه شبیه‌سازی‌ها در محیط Matlab/Simulink انجام شده است.

توان راکتیو یکی از مهم‌ترین عوامل در طراحی و بهره برداری سیستم‌های قدرت الکتریکی می‌باشد که عدم تامین آن می‌تواند شبکه را دچار افت ولتاژ شدید (Voltage Sag) نماید و در نهایت موجب ناپایداری سیستم گردد. به منظور جلوگیری از این افت ولتاژ می‌توان از جبران‌کننده‌های توان راکتیو استفاده نمود که در این مقاله از خازن استاتیک برای جبران‌سازی توان راکتیو مورد نیاز برای جبران افت ولتاژ ناشی از بارهای پالس (سلاح‌ها) در شناورهای نظامی استفاده شده است. شبکه‌ی الکتریکی یک شناور نظامی در حضور جبران ساز و بارپالسی در شرایط مختلف بهره CPM LCA Database – Capacitor for Surface mounting Ericsson RJC 388, RJC 441 Capacitor Size 1206. D. Chapman, Introduction to power quality, European Copper Institute publication, February 2012. Greenwood A. 1991. Fast Electromagnetic Transients. New York, NY: John Wiley and Sons. J. M. L. R. J. D. R. Dixon, "Reactive Power Compensation Technologies", Proceedings of the IEEE Publication, 2005. John Prousalidis, George Antonopoulos, Panagiotis Mouzakis & Elias Sofras, "On resolving reactive power problems in ship electrical energy systems", Journal of Marine Engineering & Technology, 24 Feb 2016, Vol. 14, No. 3, 124–136. K. N. A. Suhail, A. Qureshi, "Efficient Power Factor Improvement Techniques and Energy conservation of Power System", international conference on Energy Management & Power Delivery EMPD-95, 1995, 21-23-Nov. M. A. Eldery, E. F. El-Saadany, and M. M. A. Salama, "Sliding Mode Controller for Pulse Width Modulation Based DSTATCOM", Proceedings of Canadian Conference on

منابع

Electrical and Computer Engineering, CCECE '06
Milan Stork, Daniel Mayer Electronic system for reactive power compensation of sampled resistive load 2017.
Papadias BC. 1985. Analysis of electric energy systems-Part II: transient state operation. Athens: Papadamis Publications.
Pinaki Mitra and Ganesh K. Venayagamoorthy "Artificial Immune System Based DSTATCOM Control for an Electric Ship Power System" IEEE 2008
Prousalidis J. 2011. The necessity of reactive power balance in ship electric energy systems. IMarEST Journal of Marine Engineering and Technology. 10(January):37–47.
Prousalidis J, Hatzilau IK, Michalopoulos P, Pavlou I, Muthumuni D. Studying ship electric energy systems with shaft generator. Proceedings of International Symposium on Electric Ship Technologies (ESTS05), Philadelphia – USA (25–27 July), 2005.
Prousalidis J, Kourtesis C. 2014. Ship electric energy systems: design and operation principles. London: IMarEST Publications, ISBN:978–0–9565600–4–9.

Computing and Electrical Engineering. The Mathworks Inc, MATLAB User Manual.

Y. Xiao-ping, Z. Yan-ru, W. Yan, "A Novel Control Method for DSTATCOM Using Artificial Neural Network," CES/IEEE 5th International Power Electronics and Motion Control Conference, 2006. IPEMC '06. Volume 3, 14-16 Aug. 2006

Yu-Wei Liu , Shiuan-Hau Rau, Chi-Jui Wu, Wei-Jen Lee Improvement of Power Quality by using Advanced Reactive Power Compensation 2017

for evaluating diesel-electric propulsion. Proceedings of the Institute of Marine Engineering, Science and Technology, Journal of Marine Engineering and Technology 13(3) December:63–92.

T. C. E. Y. E. Vardar, "Energy Efficiency with Reactive Power Compensation and Reactive Power Compensation in Public Institutions", International Journal of Engineering Research and Development, June 2010.

Santi Behera, Manish Tripathy, J. K. Satapathy A novel approach for load margin improvement with optimal location and size of static capacitor using BFO algorithm 2015

Tiina Alaviitala – Life cycle assessment of power capacitors Master's Thesis – Tampere University of Technology – Faculty of

Voltage profile improvement of the ship electrical system by using reactive power compensation

Mohammad Pour Amiran, Mohammad Yousefi Kia*

Lecturer of marine communication and electronic department, khorramshahr university of marine science and technology, khorramshahr, Iran.

(DOI): [10.22113/jmst.2017.44305](https://doi.org/10.22113/jmst.2017.44305)

Abstract

In this research, reactive power compensation in the ship is considered as an auxiliary factor for improving generator conditions and improving the ship efficiency in terms of fuel consumption and emissions. To accomplish this purpose, a simplified electrical network is modeled for an all-electric military marine vessel, including propulsion load, distribution loads, sensors, emergency loads and pulse loads (rail guns, aircraft launchers, etc.) Among these loads, pulsed loads have a more damaging effect on the voltage profile of power quality in the ship distribution system. Such loads often require high energy over a short period of time, which mainly causes problems in system power quality and in some cases leads to the destruction of the entire electrical system.

In the following, the compensation effect of static capacitors is investigated on voltage profile improvement of a navy ship during a pulse load. The obtained result show that using their kind of compensating has a great impact on decreasing voltage sag and, on the other hand, the speed and torque curves of the propulsion motors will be more stable. All simulation is done in Matlab/Simulink environment and for various situations (different pulse load and static capacitors). Suggested method is robust and improves the parameters of power quality in all proposed scenarios.

Key words: Reactive power compensation, Voltage profile, Static capacitor bank, Pulsed load, Ship electrical system.

List of tables and figures

Figure 1- The power grid diagram studied

Figure 2- Simulated power network of the study

Figure 3- The voltage of the three phase of the diesel generator

Figure 4- Three-phase flow of bar-pulsing

Figure 5- Motor torque at all moment

Figure 6- Engine speed at all moments

Figure 7- Separate three-phase line voltage generated by diesel generator

Figure 8- Three-phase voltage produced by capacitor compensation

Figure 9- Separate three-phase motor voltage at all moments

Table 1- lists the values of the checked states

Table 2-Safe compensation for the ship's electrical system

*Corresponding author, E-mail: yousefi-kia@kmsu.ac.ir