

بررسی حد مجاز ولتاژ موتور القایی تغذیه شده توسط اینورتر منبع ولتاژ PWM برای فرو رفتگیهای ولتاژ متقارن و نامتقارن

صلاح محمدی

کارشناس ارشد مهندسی برق، دانشگاه صنعتی شریف

چکیده

موتورهای القایی یکی از وسایل الکتریکی بسیار حساس به تغییرات ولتاژ هستند. در این مقاله رفتار موتور القایی تغذیه شده توسط اینورتر منبع ولتاژ تحت شرایط فرورفتگیهای ولتاژ متقارن و نامتقارن^(۱) بررسی شده است. اثرات خطاهای مختلف روی باس بار DC برای یکسوکننده شش پالسه و دوازده پالسه و موتور القایی بررسی شده است. منحنیهای حد مجاز ولتاژ موتور القایی برای مقادیر متفاوت خازن و برای خطاهای مختلف با توجه به میزان مجاز تغییرات لغزش به دست آمده است. نگه داشتن موتور در حالت کار، می تواند بهترین راه کاهش اثر فرورفتگی ولتاژ بر بار باشد [۱]. با توجه به اینکه حدود ۶۶٪ خطاهایی که اتفاق می افتد خطاهای تک فاز به زمین و دو فاز به زمین هستند [۲]، با انتخاب مقدار مناسب خازن باس بار DC این خطاها برای محرک قابل تحمل خواهد بود. در پایان نتایج شبیه سازی ارائه شده است.

کلمات کلیدی: موتورهای القایی، اینورتر منبع ولتاژ PWM، فرورفتگی ولتاژ، خطاهای متقارن و نامتقارن.

Analysis of voltage tolerance of induction motors fed from PWM voltage source inverter for balanced and unbalanced sags

S. Mohammadi

School of Electrical Engineering, Sharif University of Technology

Abstract

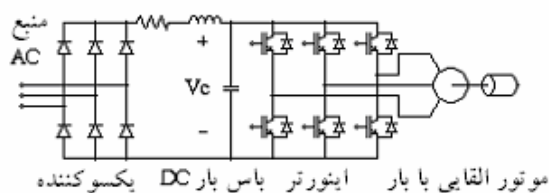
Induction motors are the type of equipment most sensitive to voltage changes. In this paper behavior of induction motor fed from voltage source inverter under balanced and unbalanced voltage sags has been analyzed. Effects of various faults on the DC bus for six and twelve pulse rectifiers and induction motor have been analyzed. Voltage tolerance curves of induction motor for various rating capacitor and for various fault due to amount of allowable slip changes have been obtained. Keeping the drive online would be the best way of mitigating the effect of sag on the mechanical load. Since 66% of the faults are related to single-phase and phase-to-phase, by adding relatively amount of DC bus capacitance, these faults for drives can be tolerated.

Key words: Induction motors, PWM voltage source inverter, Voltage sags, Balanced and unbalanced faults.

1- Balanced and unbalanced voltage sags

۱- مقدمه

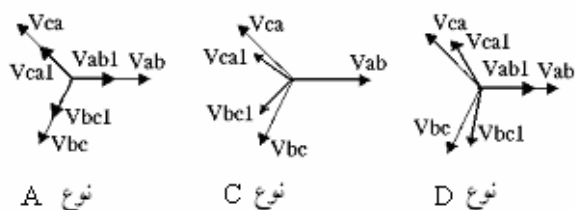
یکسوکننده دیودی شش پالسه یکسو می‌شود. ولتاژ یکسو شده وارد باس بار DC می‌شود. سلف جریان خروجی یکسوکننده را صاف می‌کند و خازن هم جهت صاف کردن ریپل‌های ولتاژ مورد استفاده قرار می‌گیرد. ولتاژ باس بار DC توسط اینورتر منبع ولتاژ به روش کنترلی PWM سینوسی به ولتاژ AC تبدیل می‌گردد. بار مبدل در اینجا یک موتور القایی است که مشخصات آن در ضمیمه آمده است.



شکل ۱- اینورتر منبع ولتاژ PWM تغذیه کننده موتور القایی

۳- مشخصات فرورفتگیهای ولتاژ

طبق استاندارد شماره (۱۹۹۵-۱۱۵۹) IEEE، فرورفتگی ولتاژ کاهش بین ۰/۱ تا ۰/۹ پروینیت در مقدار موثر ولتاژ در فرکانس شبکه قدرت برای مدت ۰/۵ سیکل تا یک دقیقه می‌باشد [۳]. ولتاژ در ترمینال وسایل الکتریکی فقط به نوع خطا وابسته نیست، بلکه به نوع اتصال سیم پیچی ترانسفورماتور و بار هم بستگی دارد. طبق تقسیم‌بندی منبع [۶]، فرورفتگیهای ولتاژ به‌وجود آمده در اثر خطا در بارهایی با اتصال مثلث را مطابق شکل (۲) می‌توان به سه گروه تقسیم کرد: ۱- فرورفتگیهای متقارن (نوع A) ۲- فرورفتگیهای نامتقارن نوع C ۳- فرورفتگیهای نامتقارن نوع D



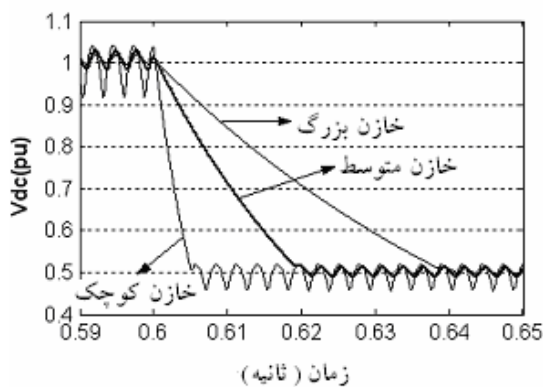
شکل ۲- انواع فرورفتگیهای ولتاژ در بارهای با اتصال مثلث

موتورهای القایی تغذیه شده توسط اینورترهای منبع ولتاژ PWM به دلیل توانایی ذخیره انرژی، بازده بالا و فرآیند کنترلی بهتر در مراکز صنعتی، کاربرد زیاد و روز افزونی دارند [۳]. علی‌رغم برتریها و ویژگیهای خوبی که دارند، به تغییرات ولتاژ بسیار حساس هستند و بردبار ساختن آنها در مقابل تغییرات ولتاژ مشکل است [۱]. فرورفتگیهای ولتاژ عامل اصلی اغتشاشات شبکه هستند و میزان آن بسته به نوع منبع در حدود ۶۱٪ تا ۸۷٪ است [۲]. فرورفتگیهای ولتاژ معمولاً با خطاهای اتصال کوتاه همراه است. البته کلیدزنی بارهای سنگین یا راهاندازی موتورهای القایی پر قدرت هم می‌تواند علت آن باشد. کارهای زیادی در مورد اثرات فرورفتگیهای ولتاژ روی عملکرد موتورهای القایی انجام شده است [۴ و ۵]. بررسی حد مجاز ولتاژ درایوهای سرعت متغیر برای فرورفتگیهای ولتاژ متقارن و نامتقارن در منبع [۱] انجام شده است. در این منبع فقط مدل ساده شده این درایوها مورد بررسی قرار گرفته است و نتایج به‌دست آمده فقط به ثابت زمانی محرک بستگی دارد. در این مقاله از مدل کامل موتور القایی تغذیه شده توسط اینورتر منبع ولتاژ PWM سینوسی استفاده شده است. با توجه به اینکه باس بار DC نقش اساسی در تریپ موتور القایی به هنگام کاهش ولتاژ می‌تواند داشته باشد، بنابراین اثر خطاهای متقارن و نامتقارن روی این باس بار برای یکسوکننده شش پالسه و دوازده پالسه بررسی شده است. البته چون یکسوکننده شش پالسه معمول تر است، نتایج شبیه‌سازی برای این یکسوکننده بررسی شده است. جهت مقایسه، حداقل ولتاژ باس بار DC برای یکسوکننده دوازده پالسه برای خطاهای مختلف به‌دست آمده است. به هنگام فرورفتگیهای ولتاژ کمیتهای گشتاور، سرعت و توان موتور القایی تغییر می‌کنند. چون این کمیتهای متأثر از همدیگر هستند، در اینجا فقط منحنی‌های حد مجاز ولتاژ موتور القایی با توجه به میزان مجاز تغییرات سرعت بار بررسی شده است. در این مقاله از نرم افزار Matlab/Simulink جهت شبیه‌سازی استفاده شده است.

۲- مدل اینورتر منبع ولتاژ PWM

شکل (۱) دیاگرام اینورتر منبع ولتاژ را نشان می‌دهد که یک موتور القایی را تغذیه می‌کند. در این مبدل، ولتاژ سه فاز توسط

حدود ۳۱٪ خطاهایی که در شبکه اتفاق می‌افتد خطاهای سه فاز متقارن هستند [۲]. شکل (۳) نتایج شبیه‌سازی ولتاژ باس بار DC را برای زمانی نشان می‌دهد که یک خطای متقارن سه فاز در طرف AC یکسوکننده اتفاق افتاده و دامنه هر کدام از فازها به ۵۰٪ مقدار اولیه خود رسیده است. ولتاژ دو سر خازن (V_c) برای سه حالت خازن کوچک ($150\mu F$)، خازن متوسط ($600\mu F$) و خازن بزرگ ($1200\mu F$) نشان داده شده است. در مدت زمان خطا ولتاژ باس بار DC کمتر از دامنه ولتاژ AC ورودی است و یکسوکننده در حالت بایاس معکوس قرار دارد. بعد از زمان مشخصی خازن توسط بار دشارژ می‌شود و ولتاژ آن کمتر از دامنه ولتاژ ورودی خواهد شد و یکسوکننده در حالت بایاس مستقیم قرار می‌گیرد و ولتاژ دو سر خازن در مقدار جدیدی تثبیت می‌شود. با توجه به شکل ملاحظه می‌شود که مقدار ظرفیت خازن فقط روی زمان رسیدن ولتاژ به مقدار جدید تأثیر می‌گذارد.



شکل ۳- ولتاژ باس بار DC در حالت فرورفتگی نوع A

شکل (۴) نتایج همین شبیه‌سازی را برای سرعت مکانیکی روتور، گشتاور الکتریکی، جریان فاز ورودی موتور (I_a) و جریان فاز ورودی یکسوکننده (I_a) در حالتیکه خازن باس بار بزرگ است را نشان می‌دهد. با کاهش ولتاژ باس بار، گشتاور الکتریکی و در نتیجه سرعت موتور کاهش می‌یابد و در مدت زمان خطا در این شبیه‌سازی (۱/۰ ثانیه) به ۱۷۳ رادیان در ثانیه رسیده است در صورت ادامه خطا سرعت باز هم کاهش می‌یابد. در زمان وقوع خطا سرعت، گشتاور و جریانها نوسانات زیادی ندارند. اما در زمان برداشتن خطا، گشتاور و جریانها نوسانات زیادی خواهند داشت. جریان I_a بعد از خطا در یک فاصله زمانی صفر شده است.

۴- فرورفتگیهای متقارن

با توجه به شکل (۲) دامنه ولتاژ سه فاز در این حالت به یک اندازه کاهش می‌یابد، لذا دامنه ولتاژهای خط به یک اندازه تغییر خواهد کرد و میزان پرش زاویه فاز^(۱) صفر خواهد بود. دامنه ولتاژ سه فاز ورودی یکسوکننده کمتر از ولتاژ باس بار DC خواهد شد؛ در نتیجه خازن تا زمانی که ولتاژ آن کمتر از دامنه ولتاژ سه فاز ورودی شود، دشارژ می‌شود. بعد از آن ولتاژ باس بار DC در مقداری کمتر از مقدار اولیه تثبیت می‌شود. زمان دشارژ خازن بستگی به مقدار بار، ظرفیت خازن و دامنه فرورفتگی ولتاژ دارد. در زمان دشارژ خازن انرژی الکتریکی مورد نیاز بار توسط خازن تأمین می‌شود. انرژی خازن در زمان t بعد از وقوع خطا برابر انرژی اولیه خازن منهای انرژی که اینورتر دریافت کرده است که به صورت رابطه زیر است.

$$\frac{1}{2}CV^2(t) = \frac{1}{2}CV_0^2 - Pt \quad (1)$$

در این رابطه C ظرفیت خازن، $V(t)$ ولتاژ باس بار DC، V_0 ولتاژ اولیه باس بار DC و P توان ورودی اینورتر می‌باشد. با توجه به رابطه (۱) می‌توان زمان لازم برای رسیدن ولتاژ باس بار DC به تعادل جدید را به دست آورد.

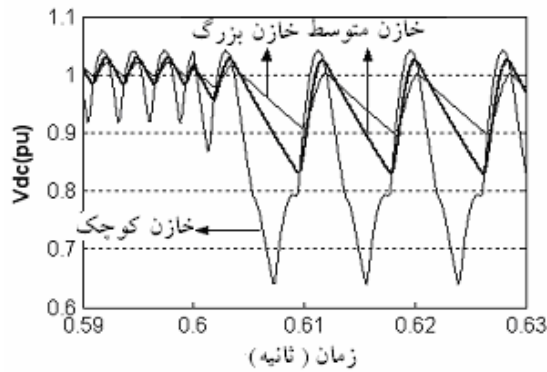
$$t = \frac{C}{2P}(V_0^2 - V_{\min}^2) \quad (2)$$

که در آن V_{\min} مقدار ولتاژ باس بار DC در تعادل جدید است. مقدار خازن برای باس بار DC در حدود $(75 - 360\mu F / KW)$ است [۱]. اگر فرض کنیم V_{\min} حداقل ولتاژ قابل قبول برای تغذیه بار باشد و سیستم کنترل برای ولتاژهای کمتر از V_{\min} فرمان تریپ صادر کند، با استفاده از رابطه (۲) می‌توانیم مدت زمانی که محرک توانایی تحمل خطا را دارد را به دست آوریم. این فاصله زمانی به عواملی از قبیل مقدار ظرفیت خازن، مقدار توان بار و ولتاژ اولیه باس بار DC بستگی دارد.

۵- تأثیر فرورفتگیهای متقارن روی عملکرد سیستم

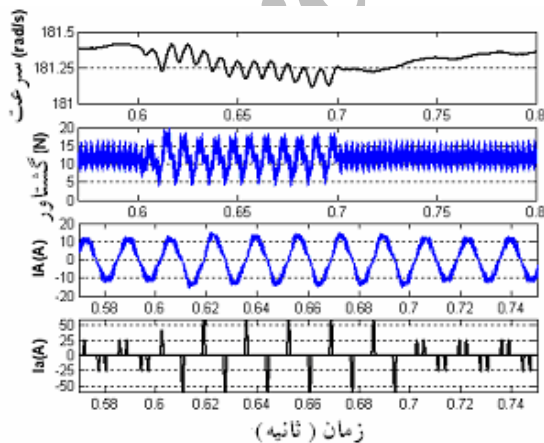
1- Phase angle jump

DC ندارد به طوری که ولتاژ دو سر خازن حتی برای خازن کوچک کمتر از ۰/۶ پرینیت نخواهد شد و برای خازنهای بزرگ و متوسط بزرگتر از ۰/۸ پرینیت است.



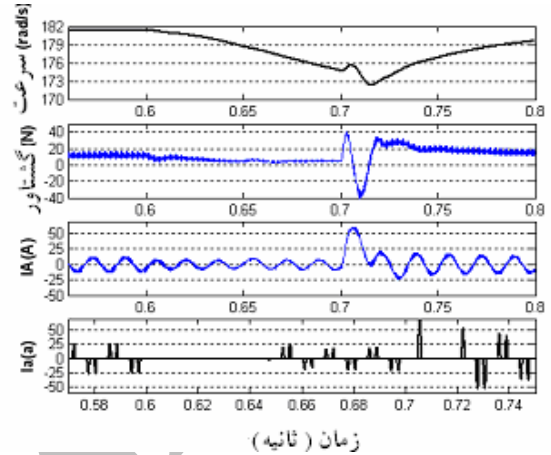
شکل ۵- ولتاژ باس بار DC برای فرورفتگی نوع C

شکل (۶) نتایج همین شبیه‌سازی را برای سرعت مکانیکی روتور، گشتاور الکتریکی، جریان فاز ورودی موتور (I_A) و جریان فاز ورودی یکسوکننده (I_a) در حالتیکه خازن باس بار بزرگ است را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که به دلیل کاهش ناچیزی ولتاژ باس بار، گشتاور و در نتیجه سرعت هم کاهش ناچیزی دارند. جریان فاز (I_A) در زمان خطا تقریباً ثابت است ولی جریان I_a افزایش یافته است. دلیل این افزایش این است که در این مدت زمان ولتاژ دو سر خازن تغییرات زیادی دارد و در نتیجه جریان عبوری از خازن هم افزایش می‌یابد.



شکل ۶- سرعت مکانیکی روتور، گشتاور الکتریکی، جریان فاز ورودی موتور (I_A) و جریان فاز ورودی یکسوکننده (I_a) برای فرورفتگی نوع C

دلیل آن این است که در این فاصله ولتاژ باس بار بیشتر از ولتاژ فاز ورودی یکسوکننده است.



شکل ۴- سرعت مکانیکی روتور، گشتاور الکتریکی، جریان فاز ورودی موتور (I_A) و جریان فاز ورودی یکسوکننده (I_a) برای فرورفتگی نوع A

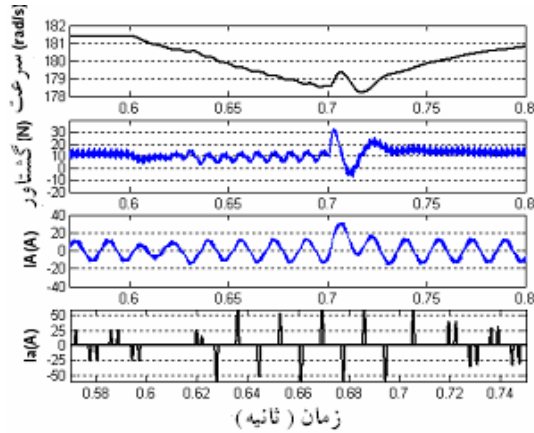
۶- تأثیر فرورفتگیهای نوع C روی عملکرد سیستم

این نوع خطا عمومی‌ترین عامل فرورفتگی ولتاژ در سیستم‌های قدرت است به طوری که حدود ۴۵٪ خطاهایی که اتفاق می‌افتد از این نوع هستند [۲]. البته این خطا که به صورت خطای تک فاز به زمین است بعد از اتصال ترانسفورماتور مثلث-ستاره به صورت خطای دو فاز به هم ظاهر خواهد شد. در این حالت دامنه ولتاژ فازهای مختلف بعد از وقوع خطا با هم برابر نیستند و اختلاف فاز بین ولتاژ فازها تغییر می‌کند. در شبیه‌سازی انجام شده فرض شده که یک خطای فاز به زمین در طرف AC یکسوکننده اتفاق افتاده و ولتاژ فاز سوم (فاز C) به میزان ۵۰٪ کاهش پیدا کرده و دو فاز دیگر تغییری نداشته‌اند. در نتیجه ولتاژ خط V_{ab} تغییر نمی‌کند و دامنه ولتاژهای خط V_{bc} و V_{ca} به ۰/۸۶۶ مقدار اولیه کاهش می‌یابد. V_{ab} صفر، میزان پرش زاویه فاز V_{ca} ۳۰ درجه و V_{bc} -۳۰ درجه خواهد بود. میزان پرش زاویه فاز بستگی به میزان فرورفتگی ولتاژ و زاویه بین فیدر مختلط^(۱) و امپدانس منبع (زاویه امپدانس) دارد. یکسوکننده شش پالسه در مدت دشارژ خازن شبیه یکسوکننده یک فازه پل عمل می‌کند. شکل (۵) ولتاژ خازن را برای این حالت نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود این نوع خطا تأثیر زیادی روی باس بار

1- complex feeder

۷- تأثیر فرورفتگیهای نوع D روی عملکرد سیستم

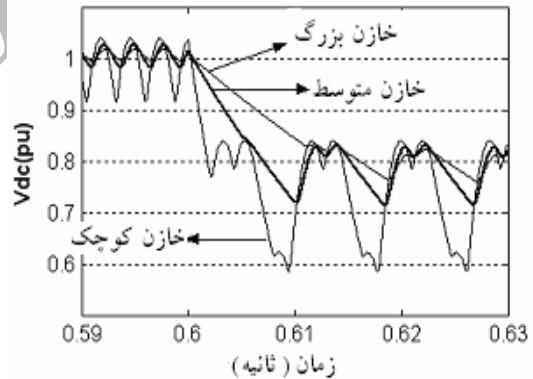
حدود ۲۱٪ خطاهایی که در شبکه اتفاق می افتد از این نوع هستند [۲]. در این حالت فرض شده که یک خطای فاز به فاز اتفاق افتاده است. دامنه ولتاژ فاز اول (فاز a) بدون تغییر و فازهای دوم و سوم به میزان ۴۰٪ کاهش پیدا کرده اند. این خطا باعث نامتقارن شدن ولتاژها و جریانهای خط خواهد شد. ولتاژ V_{bc} به ۶۰٪ مقدار اولیه کاهش می یابد و زاویه فاز آن تغییر نمی کند. V_{ca} و V_{ab} به ۸۰٪ مقدار اولیه کاهش می یابد. میزان پرش زاویه فاز V_{ab} $-۸/۲۱$ درجه و V_{ca} $۸/۲۱$ درجه خواهد بود. شکل (۷) ولتاژ خازن را برای این حالت نشان می دهد. ملاحظه می شود که مقدار ظرفیت خازن تأثیر زیادی روی ولتاژ باس بار DC دارد به طوری که ولتاژ باس بار DC برای مقدار خازن بزرگ کمتر از ۷۴٪ پریونیت نخواهد شد. در صورتیکه برای خازن کوچک به ۵۸٪ پریونیت کاهش یافته است.



شکل ۸- سرعت مکانیکی روتور، گشتاور الکتریکی، جریان فاز ورودی موتور I_A و جریان فاز ورودی یکسوکننده I_a برای فرورفتگی نوع D

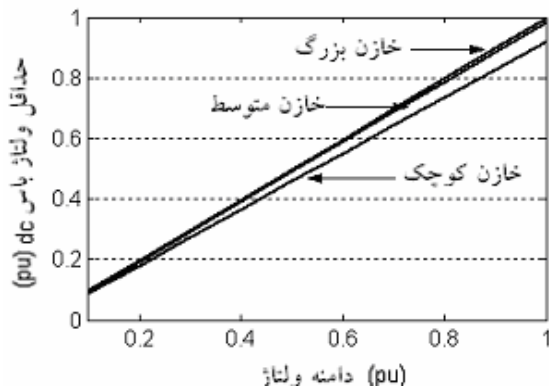
۸- حداقل ولتاژ باس بار DC

یکی از موارد تریپ محرکهای الکتریکی در مقابل فرورفتگیهای ولتاژ کاهش ولتاژ باس بار DC است. حداقل ولتاژ باس بار DC به نوع خطا، دامنه فرورفتگی ولتاژ و مقدار ظرفیت خازن بستگی دارد. شکل (۹) حداقل ولتاژ باس بار DC را برای فرورفتگی نوع A بر حسب تغییرات دامنه ولتاژ نشان می دهد. در این حالت ولتاژ دو سر خازن متناسب با تغییرات دامنه فرورفتگی کاهش می یابد و مقدار ظرفیت خازن هم تأثیر قابل ملاحظه ای روی آن ندارد. شکل (۱۰) حداقل ولتاژ باس بار DC را برای فرورفتگی نوع C نشان می دهد.



شکل ۷- ولتاژ باس بار DC در حالت فرورفتگی نوع D

شکل (۸) نتایج همین شبیه سازی را برای سرعت مکانیکی روتور، گشتاور الکتریکی، جریان فاز ورودی موتور I_A و جریان فاز ورودی یکسوکننده I_a در حالتیکه خازن باس بار بزرگ است را نشان می دهد. سرعت موتور در مدت ۰/۱ ثانیه به ۱۷۸/۵ رادیان بر ثانیه رسیده است. جریان I_A در زمان خطا تغییرات زیادی ندارد اما در زمان برداشتن خطا دامنه آن افزایش یافته است. در این حالت هم به دلیل افزایش تغییرات ولتاژ دو سر خازن جریان I_a افزایش یافته است.



شکل ۹- حداقل ولتاژ باس بار DC برای فرورفتگی نوع A در مقادیر ظرفیت خازن کوچک، متوسط و بزرگ

نتایج شبیه سازی حداقل ولتاژ باس بار DC برای خطاها و

خازنهای مختلف برای یکسوکننده شش پالسه و دوازده پالسه در جداول (۱) و (۲) در ضمیمه نشان داده شده است. با توجه به نتایج به دست آمده در یکسوکننده دوازده پالسه رایپل ولتاژ باس بار DC کاهش می یابد و حداقل ولتاژ باس بار DC درمقایسه با یکسوکننده شش پالسه برای خطاهای مختلف افزایش می یابد در نتیجه محرک مدت زمان بیشتری می تواند خطا را تحمل نماید. البته روند افزایش در خطاهای نوع C و نوع D کمتر است به این دلیل که خطای نوع C بعد از انصال مثلث یکسوکننده دوازده پالسه تبدیل به خطای نوع D می شود و خطای نوع D تبدیل به خطای سه فاز نامتقارن خواهد شد که در هر دو حالت دامنه ولتاژ کاهش می یابد.

۹- تغییرات سرعت موتور

در بخشهای قبلی اثر فرورفتگی ولتاژ روی باس بار DC بررسی شد. ولتاژ ورودی موتور متناسب با ولتاژ باس بار DC است. با کاهش ولتاژ DC، ولتاژ ورودی موتور هم کاهش می یابد. با کاهش ولتاژ، گشتاور الکتریکی تولیدی کاهش می یابد در نتیجه سرعت موتور کاهش می یابد. میزان مجاز کاهش سرعت موتور بستگی به میزان بار موتور دارد. معادله حرکت موتور القایی به صورت زیر است.

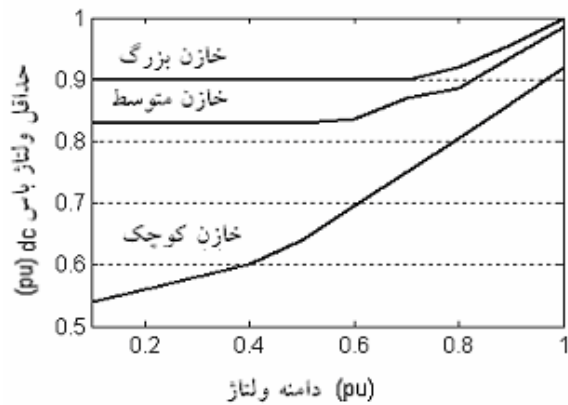
$$J \frac{d\omega_r}{dt} = T_e - T_l \tag{5}$$

در این رابطه J ممان اینرسی، ω_r سرعت مکانیکی موتور، T_e گشتاور الکتریکی و T_l گشتاور مکانیکی بار است. فرض می کنیم T_l مقدار ثابتی (۱۱/۹ نیوتن) داشته باشد. مقدار گشتاور الکتریکی را از نتایج شبیه سازی به دست می آوریم. مقدار لغزش طبق تعریف برابر است با:

$$s = \frac{\omega_0 - \omega_r}{\omega_0} \tag{6}$$

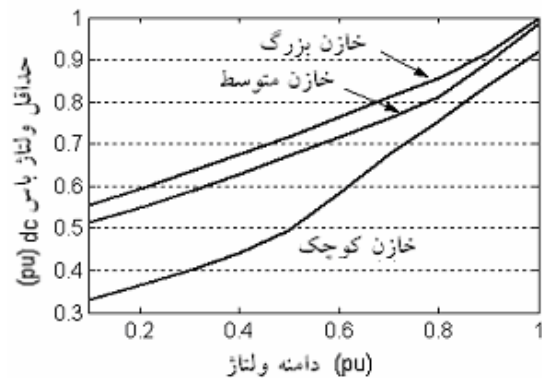
با مشتق گرفتن از این رابطه خواهیم داشت:

$$\frac{ds}{dt} = - \frac{1}{\omega_0} \frac{d\omega_r}{dt} \tag{7}$$



شکل ۱۰- حداقل ولتاژ باس بار DC برای فرورفتگی نوع C در مقادیر ظرفیت خازن کوچک، متوسط و بزرگ

ملاحظه می شود که ولتاژ برای مقادیر خازن بزرگ بیشتر از ۰/۹ پریونیت است و برای خازن کوچک بیشتر از ۰/۵۴ پریونیت است. برای خازن بزرگ کاهش دامنه فرورفتگی ولتاژ از ۰/۸ پریونیت به بعد تأثیری روی ولتاژ دو سر خازن ندارد. این مقدار برای خازن متوسط ۰/۴ پریونیت است. دلیل آن این است که ولتاژ خط V_{ab} تغییر نکرده است. شکل (۱۱) حداقل ولتاژ باس بار DC را برای فرورفتگی نوع D نشان می دهد. ملاحظه می شود که با کاهش دامنه ولتاژ، ولتاژ دو سر خازن هم کاهش می یابد آهنگ کاهش ولتاژ بستگی به مقدار ظرفیت خازن دارد. به طوری که برای خازن کوچک حداقل ولتاژ ۰/۳۳ پریونیت و برای خازن بزرگ ۰/۵۵ پریونیت است.



شکل ۱۱- حداقل ولتاژ باس بار DC برای فرورفتگی نوع D در مقادیر ظرفیت خازن کوچک، متوسط و بزرگ

با توجه به روابط ۵ و ۷ خواهیم داشت:

$$\frac{ds}{dt} = \frac{T_l - T_e}{J \cdot \omega_0} \quad (8)$$

می‌توان نوشت که:

$$\Delta s = \frac{ds}{dt} \Delta t = \frac{T_l - T_e}{J \cdot \omega_0} \Delta t \quad (9)$$

تغییرات لغزش بزرگتر از ۱٪ تریپ نخواهد داد. در شکل (۱۵) تأثیر مقدار ظرفیت خازن برای تغییرات لغزش ۰/۲٪ نشان داده شده است. در فرورفتگیهای نوع C مقدار ظرفیت خازن نقش تعیین کننده در توانایی موتور در تحمل خطا دارد. شکل (۱۶) منحنی‌های حد مجاز ولتاژ را برای فرورفتگیهای نامتقارن نوع D در حالتیکه مقدار خازن باس بار DC کوچک است را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که موتور فرورفتگی نوع D را در زمان طولانی‌تری نسبت به فرورفتگی نوع A تحمل می‌کند و در زمان کمتری نسبت به فرورفتگی نوع C، تحمل می‌کند. در این حالت هم افزایش ظرفیت خازن باعث افزایش توانایی موتور در تحمل خطا می‌شود و شکل (۱۷) این موضوع را به خوبی نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که افزایش ظرفیت خازن در این حالت تأثیر کمتری نسبت به حالت نوع C دارد و تأثیر بیشتری نسبت به حالت نوع A دارد.

۱۰- نتیجه‌گیری

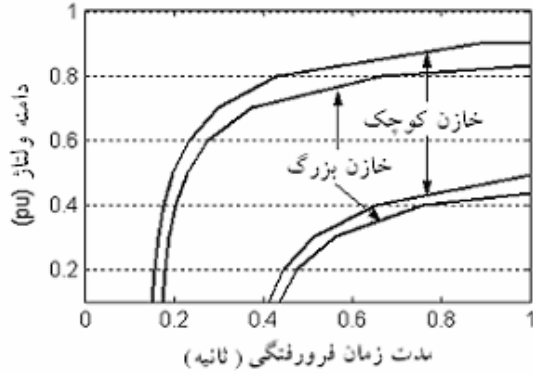
با توجه به نتایج به‌دست آمده نوع خطا و مقدار ظرفیت خازن عوامل تعیین کننده ولتاژ باس بار DC هستند به طوری که برای خطای نوع C مقدار ولتاژ باس بار DC کمترین تغییر را دارد و برای خطای نوع A بیشترین تغییر را دارد. مقدار ظرفیت خازن برای خطای نوع C بیشترین تأثیر را دارد و برای خطای نوع A کمترین تأثیر را دارد. عوامل تعیین کننده حد مجاز ولتاژ موتور القایی نوع خطا، مقدار لغزش، عمق فرورفتگی، مدت زمان فرورفتگی و ظرفیت خازن هستند. محرک توانایی بیشتری در تحمل خطاهای نوع C دارد. اگر تغییرات سرعت برای بار مجاز باشد، با انتخاب خازن مناسب این نوع خطا برای محرک قابل تحمل خواهد بود. با انتخاب خازن مناسب محرک توانایی تحمل خطاهای نوع D را در لغزشهای بیشتری نسبت به خطای نوع C دارد. برای خطاهای نوع A عمق فرورفتگی و مدت زمان آن نقش تعیین کننده دارد. بسته به میزان مجاز لغزش و مقدار انرژی خازن این خطا در محدوده خاصی برای محرک قابل تحمل خواهد بود.

مراجع

- [1] M. H. J. Bollen and L. D. Zhang "Analysis of voltage tolerance of AC adjustable-speed drives for three-phase balanced and unbalanced sags" IEEE transactions on

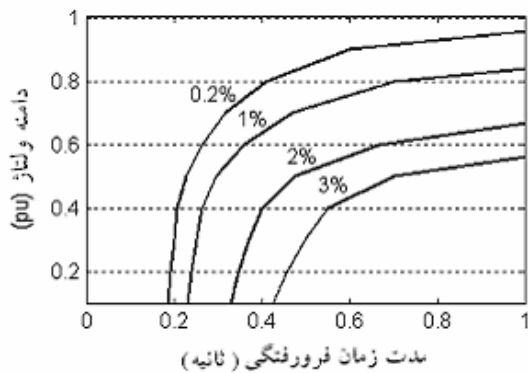
در این رابطه Δs میزان مجاز تغییرات لغزش و Δt مدت زمان فرورفتگی ولتاژ است. در اینجا عامل محدود کننده عملکرد موتور لغزش است. شکل (۱۲) منحنی‌های حد مجاز ولتاژ برحسب مدت زمان فرورفتگی را برای فرورفتگیهای متقارن با توجه به میزان مجاز Δs ، در حالتیکه مقدار خازن باس بار DC کوچک است را نشان می‌دهد. با توجه به این منحنی‌ها می‌توانیم مدت زمانی که موتور توانایی تحمل شرایط به‌وجود آمده را دارد به‌دست آوریم به این معنا که موتور خطاهای را می‌تواند تحمل کند که دامنه فرورفتگی و مدت زمان کمتری نسبت به منحنی داشته باشند. به عنوان مثال اگر دامنه ولتاژ سه فاز به میزان ۲۰٪ کاهش یابد و خازن باس بار DC کوچک باشد و میزان مجاز تغییرات لغزش ۲٪ باشد، موتور القایی این خطا بیشتر از یک ثانیه تحمل می‌کند. ملاحظه می‌شود که هر چه میزان مجاز تغییرات لغزش بزرگتر باشد موتور خطاهای با دامنه فرورفتگی بیشتر را برای زمانهای طولانی‌تر تحمل می‌کند. با افزایش ظرفیت خازن موتور مدت زمان طولانی‌تری می‌تواند خطا را تحمل کند. شکل (۱۳) تأثیر مقدار ظرفیت خازن را برای تغییرات لغزش ۱٪ و ۱۰٪ نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، تأثیر مقدار ظرفیت خازن در لغزشهای بالاتر روشن‌تر است در لغزشهای پایین مقدار ظرفیت خازن تأثیر کمتری دارد. شکل (۱۴) منحنی‌های حد مجاز ولتاژ را برای فرورفتگیهای نامتقارن نوع C در حالتیکه مقدار خازن باس بار DC کوچک است را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که چون در این حالت ولتاژ دو سر خازن کمتر از ۵۴٪ پریونیت نخواهد شد در نتیجه موتور زمان طولانی‌تری نسبت به حالت خطای متقارن، می‌تواند خطا را تحمل کند و برای تغییرات لغزش بالا (بزرگتر از ۷٪) مدار فرمان موتور تریپ نخواهد داد (بیشتر از یک ثانیه خطا را تحمل می‌کند). همانطور که قبلاً اشاره شد در خازنهای بزرگ ولتاژ دو سر خازن کمتر از ۹٪ پریونیت نخواهد شد به همین دلیل موتور توانایی بیشتری در تحمل خطا دارد و مدار فرمان موتور برای

شکل ۱۲- منحنی‌های حد مجاز ولتاژ برای فرورفتگی نوع A

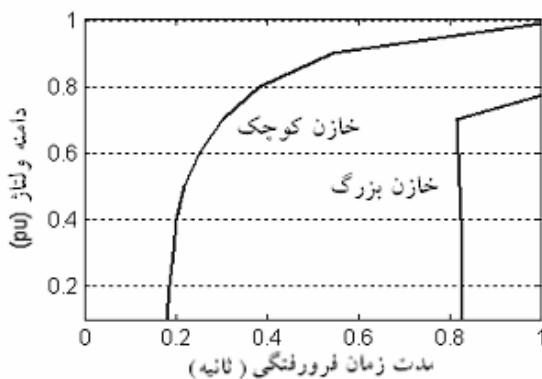


شکل ۱۳- مقایسه منحنی‌های حد مجاز ولتاژ فرورفتگی نوع A

برای مقادیر خازن کوچک و بزرگ در تغییرات لغزش ۱٪ و ۱۰٪



شکل ۱۴- منحنی‌های حد مجاز ولتاژ برای فرورفتگی نوع C



industry applications, vol. 36, no. 3, pp. 904-910, May/June 2000.

- [2] J. C. Gomez, M. M. Morcos, C. Reineri, and G. Campetelli, "Behavior of induction motor due to voltage sags and short interruptions" IEEE transactions on power delivery, vol. 17, no. 2, pp. 434-440, Apr. 2002.
- [3] P. C. A. Leao and J. C. Oliveira "A computational and practical analysis of VSI-PWM frequency converter under balanced and unbalanced voltage sag" IEEE 10th international conference on harmonics and quality of power, vol. 2, pp. 730-736, 2002.
- [4] J. C. Gomez, M. M. Morcos, C. Reineri, and G. Campetelli, "Induction motor behavior under short interruptions and voltage sags: An experimental study" IEEE power Eng. Rev., vol. 21, pp. 11-15, Feb. 2001.
- [5] C. Y. Lee, "Effects of unbalanced voltage on operation performance of a three-phase induction motor," IEEE Trans. Energy Conv., vol. 14, pp. 202-208, Jun. 1999.
- [6] IEEE recommended practice for monitoring electric power quality, IEEE standard, pp. 1159-1995, Nov. 1995.

ضمیمه

پارامترهای موتور القایی انتقال داده شده به استاتور به صورت

زیر است:

$$P=3 \text{ hp}, V=220 \text{ v}, \text{poles}=4, f=60 \text{ Hz},$$

$$J=0.089 \text{ Kg.m}^2, R_s=0.435 \Omega, R_r=0.816 \Omega,$$

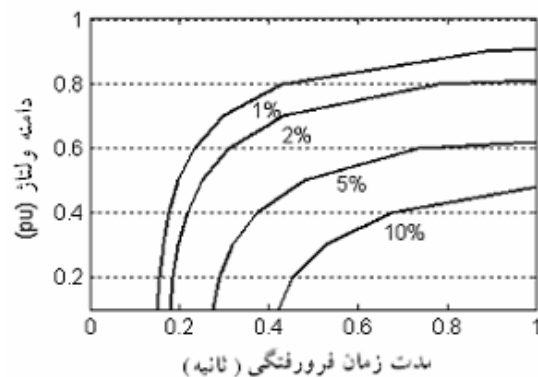
$$X_r=0.754 \Omega, X_s=0.754 \Omega, X_m=26.13 \Omega,$$

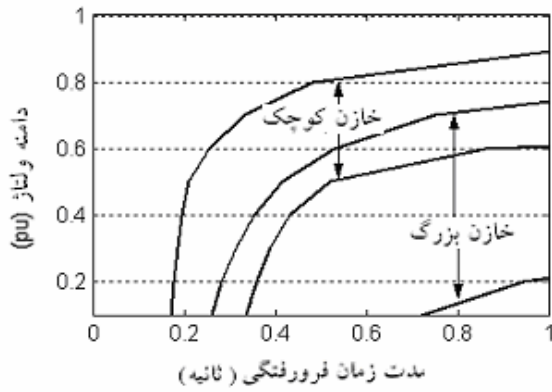
مقادیر باس DC: $R=0.1\Omega$ $L=0.1\text{mh}$

$C(\text{Small})=150\mu F, C(\text{Medium})=600\mu F$

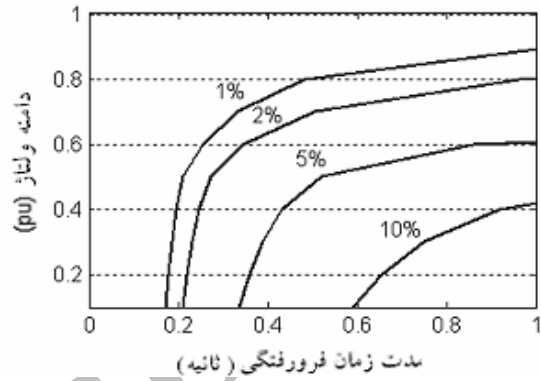
$C(\text{Large})=1200\mu F$

فرکانس موج مثلثی در اینورتور برابر ۱۹۸۰ هرتز است.





شکل ۱۵- مقایسه منحنی‌های حد مجاز ولتاژ فرورفتگی نوع C برای مقادیر خازن کوچک و بزرگ در تغییرات لغزش ۰/۲٪



شکل ۱۷- مقایسه منحنی‌های حد مجاز ولتاژ فرورفتگی نوع D برای مقادیر خازن کوچک و بزرگ تغییرات لغزش ۱٪ و ۵٪

شکل ۱۶- منحنی‌های حد مجاز ولتاژ برای فرورفتگی نوع D

جدول شماره (۱) حداقل ولتاژ باس بار DC برای یکسوکننده شش پالسه

		حداقل ولتاژ باس بار DC برای یکسوکننده شش پالسه								
نوع فرورفتگی		فرورفتگی نوع A			فرورفتگی نوع C			فرورفتگی نوع D		
مقدار ظرفیت خازن	دامنه فرورفتگی	خازن کوچک	خازن متوسط	خازن بزرگ	خازن کوچک	خازن متوسط	خازن بزرگ	خازن کوچک	خازن متوسط	خازن بزرگ
		۰/۱	۰/۱۸۲۷	۰/۱۸۸۶	۰/۱۸۹۷	۰/۱۸۶	۰/۹۳۵	۰/۹۵	۰/۱۸۴	۰/۱۸۷
۰/۲	۰/۱۷۳۵	۰/۱۷۸۷	۰/۱۷۹۷	۰/۱۸۰۵	۰/۸۷۵	۰/۹۵۵	۰/۱۷۵۵	۰/۱۸۱	۰/۱۸۵	
۰/۳	۰/۱۶۴۵	۰/۱۶۸۸	۰/۱۶۹۷	۰/۱۷۴	۰/۸۴۵	۰/۹۴	۰/۱۶۷۵	۰/۱۷۶۲	۰/۱۸۱	
۰/۴	۰/۱۵۵	۰/۱۵۸۹	۰/۱۵۹۷	۰/۱۶۹۵	۰/۸۳۵	۰/۹۳	۰/۱۵۸۵	۰/۱۷۱۵	۰/۱۷۶۵	
۰/۵	۰/۱۴۵۸	۰/۱۴۹	۰/۱۴۹۷۵	۰/۱۶۴	۰/۸۳۵	۰/۹۲	۰/۱۴۹۵	۰/۱۶۷۲	۰/۱۷۱۷	
۰/۶	۰/۱۳۶۴	۰/۱۳۹	۰/۱۳۹۷	۰/۱۶	۰/۸۳۵	۰/۹	۰/۱۴۴	۰/۱۶۲۸	۰/۱۶۷۵	
۰/۷	۰/۱۲۷۵	۰/۱۲۹۱	۰/۱۲۹۶۵	۰/۱۵۸	۰/۸۳۵	۰/۹	۰/۱۴	۰/۱۵۸۵	۰/۱۶۳۵	
۰/۸	۰/۱۱۸	۰/۱۱۹۱	۰/۱۱۹۷	۰/۱۵۶	۰/۸۳۵	۰/۹	۰/۱۳۶۵	۰/۱۵۵	۰/۱۵۹۳	
۰/۹	۰/۱۰۹	۰/۱۰۹۱۵	۰/۱۰۹۵۳	۰/۱۵۴	۰/۸۳	۰/۹	۰/۱۳۳	۰/۱۵۱۵	۰/۱۵۵۴	

جدول شماره (۲) حداقل ولتاژ باس بار DC برای یکسوکننده دوازده پالسه

حداقل ولتاژ باس بار DC برای یکسوکننده دوازده پالسه									
نوع فرورفتگی	فرورفتگی نوع A			فرورفتگی نوع C			فرورفتگی نوع D		
	خازن کوچک	خازن متوسط	خازن بزرگ	خازن کوچک	خازن متوسط	خازن بزرگ	خازن کوچک	خازن متوسط	خازن بزرگ
مقدار ظرفیت خازن									
دامنه فرورفتگی									
۰/۱	۰/۸۷۶	۰/۸۹۷	۰/۸۹۸	۰/۹۳۵	۰/۹۵۷	۰/۹۷	۰/۸۹۵	۰/۹۲	۰/۹۴۵
۰/۲	۰/۷۸۷	۰/۷۹۸	۰/۷۹۹	۰/۸۷۵	۰/۸۹۷	۰/۹۶۵	۰/۸۲	۰/۸۴۵	۰/۸۸۵
۰/۳	۰/۶۸۶	۰/۶۹۷	۰/۶۹۹۵	۰/۷۸۷	۰/۸۸۵	۰/۹۴۵	۰/۶۹	۰/۷۶۵	۰/۸۴۵
۰/۴	۰/۵۸۶	۰/۵۹۷	۰/۵۹۹۸	۰/۷۲	۰/۸۷۵	۰/۹۴	۰/۵۹۵	۰/۷۴	۰/۸۱
۰/۵	۰/۴۸۵۵	۰/۴۹۷	۰/۴۹۹	۰/۶۸	۰/۸۶۵	۰/۹۳۵	۰/۵۲	۰/۶۸	۰/۷۶۷
۰/۶	۰/۳۸۵	۰/۳۹۶۵	۰/۳۹۸	۰/۶۳	۰/۸۵۱	۰/۹۳	۰/۴۶	۰/۶۸۵	۰/۷۴۵
۰/۷	۰/۲۸۴۵	۰/۲۹۷	۰/۲۹۸	۰/۵۹	۰/۸۴۷	۰/۹۳	۰/۴۲۵	۰/۶۳	۰/۷۱
۰/۸	۰/۱۸۵	۰/۱۹۶	۰/۱۹۸	۰/۵۸	۰/۸۴	۰/۹۳	۰/۳۹	۰/۵۹۵	۰/۶۸
۰/۹	۰/۰۹۴۵	۰/۰۹۶۵	۰/۰۹۷۳	۰/۵۷	۰/۸۴	۰/۹۳	۰/۳۶	۰/۵۷	۰/۶۵