

شبیه‌سازی سیستم‌های الکتریکی دکل‌های حفاری نفت جهت ارتقا حفاظت سیستم‌های الکتریکی و تسریع عیب‌یابی سیستم با استفاده از نرم‌افزار Dig SILENT

حسین برجویی روشن پور^{*}، کارشناس ارشد برق قدرت دانشگاه علوم و تحقیقات تهران

چکیده

در این مقاله نتایج شبیه‌سازی اتصال کوتاه و هارمونیکی قسمت‌های مختلف یک دکل حفاری انجام می‌شود. در این راستا، شبیه‌سازی اتصال کوتاه در بخش‌های باس‌های ۴۰۰ و ۶۰۰ ولت و قسمت‌های اساسی سیستم برق دکل حفاری انجام شده است. نتایج حاصله بیانگر جریان اتصال کوتاه بسیار بزرگ در بخش ۶۰۰ ولت بوده است که بالاتر از جریان اتصال کوتاه سایر بخش‌ها است. با توجه به این اطلاعات، طراحان می‌توانند نسبت به انتخاب کلیدهای حفاظتی اقدامات شایسته‌ای را انجام دهند. همچنین نتایج شبیه‌سازی هارمونیکی بیانگر تراز کمتر از ۸ درصد تمامی هارمونیکی‌های ایجاد شده در سیستم نسبت به هارمونیکی اصلی است.

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۸/۱۱/۰۸

تاریخ ارسال به داور: ۹۸/۱۱/۱۷

تاریخ پذیرش داور: ۹۹/۰۱/۱۸

واژگان کلیدی:

شبیه‌سازی دکل‌های حفاری، شبیه‌سازی سیستم برق دکل‌های نفتی، برق سکوها نفتی.

مقدمه

الکتریکی و مکانیکی ژنراتور، مدل‌سازی آن و نیز ارائه‌ی اطلاعات به‌صورت آنلاین سبب می‌شود تا شبیه‌سازی حتی‌الامکان بیشتر به واقعیت نزدیک شود. [۱۱] مدل کردن نیروگاه‌های بادی امروزی با تجهیزات و مدارات حفاظتی و سهم مزارع بادی در تامین شبکه و نقاط ضعف و تاثیر آن بر قسمت‌های الکتریکی و مکانیکی ژنراتور نیز توسط این نرم‌افزار انجام شده است. [۱۲] جلوگیری از افت فرکانسی شبکه‌ی قدرت با در نظر گرفتن پاسخ گذرای سیستم و کنترل آن با استفاده از نرخ تغییرات فرکانس ژنراتور [۱۳] در نیروگاه‌های تولید پراکنده^۱ (DG) که متشکل از شبکه‌ی توزیع و با چندین ژنراتور توزیع داده شده از دیگر موارد استفاده از این نرم‌افزار هستند. DG ها در کل ممکن است دچار عدم تعادل و آسیب شوند که به‌منظور جلوگیری از آسیب احتمالی، شبیه‌سازی روش امروزی که در حقیقت استفاده از رله فرکانسی به جای روش حفاظتی قدیمی است نیز با استفاده از الگوریتم‌های خاص دارای ارزش است. [۱۴] استفاده از اطلاعات افت ولتاژ، فرکانس سیستم و کاهش بار و در نظر گرفتن نقطه‌ی آستانه‌ی شکست تعادل سیستم الکتریکی و جلوگیری از ورود سیستم به آن نقطه، باعث جلوگیری از سقوط فرکانسی و فرو ریختن تعادل سیستم الکتریکی می‌شود که توسط دیگسایلنت شبیه‌سازی شده است. [۱۵] مطالعات تعادل سیستم توزیع الکتریکی باعث کاهش تلفات الکتریکی و مدیریت توان در شبکه می‌شود که این امر توسط این نرم‌افزار به‌سهولت انجام شده است. [۱۶] تغییرات ناگهانی شرایط سیستم و تاثیر آن بر قسمت‌های دیگر شبکه یکی از چالش‌هایی است که با استفاده از دو کتابخانه‌ی کاربردی در زمینه‌ی مکانیکی و الکتریکی در این نرم‌افزار مورد استفاده واقع شده است. [۱۷] همچنین برای تقویت و استحکام کنترل‌کننده‌ی شبکه

اشراف اپراتورها بر سیستم‌های تحت فرمان آنها و شناخت عوامل ایجاد خطا و تنش در آنها و نحوه‌ی رفع این خطاها همواره از گذشته‌ی دور مورد توجه طراحان و مهندسان سیستم‌های الکتریکی بوده است. با توجه به پیشرفت‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری حاصل شده در سال‌های اخیر دستیابی به این مهم (شناخت خطا و روش سریع رفع آنها) حاصل شده است. در این راستا، نرم‌افزارهای توانمندی مانند Etap و digSILENT معرفی شده‌اند که به کاربر اجازه می‌دهند دسته‌ی وسیعی از سیستم‌های الکتریکی پیچیده و بزرگ را جهت شناخت بهتر رفتار آنها شبیه‌سازی کنند. نرم‌افزار دیگسایلنت جهت شبیه‌سازی و تحلیل انواع سیستم‌های قدرت الکتریکی تاکنون مورد استفاده قرار گرفته است. [۱-۲۵] به‌عنوان مثال از دیگسایلنت در امکان‌سنجی و توجیه هزینه‌های سرمایه‌گذاری در مزارع بادی و خورشیدی [۱]، یکپارچه‌سازی مدل‌سازی مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر [۲] و در نظر گرفتن تاثیر فرکانس و ولتاژ و همچنین ثبات در شبکه‌ی قدرت مورد استفاده قرار گرفته است. [۳-۴] در همین راستا، شبیه‌سازی توربین بادی جهت تحلیل بین‌ساختار مکانیکی توربین بادی و شبکه الکتریکی در خلال مدهای مختلف عملکرد توربین توسط نرم‌افزار دیگسایلنت انجام شده است. [۵] همچنین از این نرم‌افزار، جهت شبیه‌سازی سیستم قدرت سالم و معیوب بر اساس فاکتورهای شبکه [۶]، به‌منظور اطلاع از عدم تعادل فازها، الگوی ولتاژها، افت توان‌های اکتیو، راکتیو و مقدار خطا استفاده شده است. کنترل بهینه‌ی آنها با در نظر گرفتن استراتژی اقتصادی [۷-۸]، استفاده از الگوریتم‌های خاص و مطلوب مانند الگوریتم ژنتیک و تجزیه و تحلیل شبکه قدرت از این نرم‌افزار استفاده شده است. [۹-۱۰] شناسایی پارامترهای

* نویسنده عهد دار مکاتبات (h.bar20@yahoo.com)

شبیه‌سازی‌های انجام شده توسط دیگسایلنت مثرثمر واقع شده است. [۲۴-۲۵]

۲- ساختار دکل حفاری و قسمت‌های الکتریکی مختلف آن

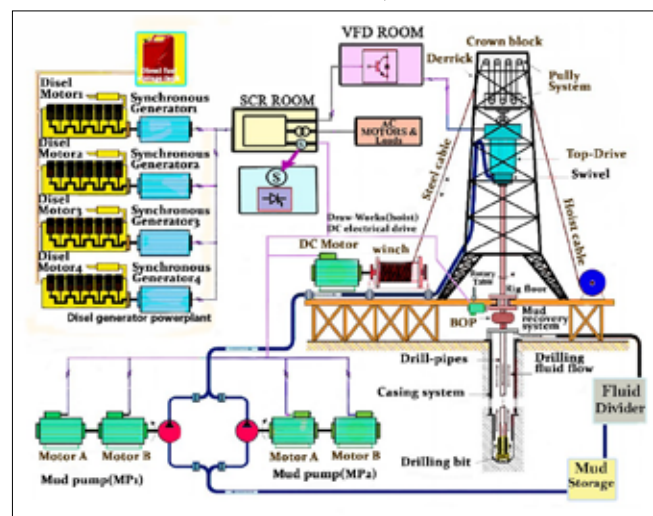
شکل ۱، شمای کلی یک دکل حفاری را نشان می‌دهد. با توجه به شکل، جهت ایجاد توان الکتریکی از دیزل ژنراتور استفاده می‌شود و واحدی به این نام در شکل مشخص شده است. همچنین واحدی جهت پمپ گل حفاری وجود دارد که وظیفه‌ی آن پمپاژ گل حفاری به درون چاه نفت جهت جلوگیری از چسبندگی یا ریزش دیواره‌ی حفاری است. قسمت‌های دیگر دکل حفاری شامل منبع با فرکانس متغیر^۳ (VDF)- جهت تولید ولتاژ با فرکانس متغیر مورد نیاز موتور اصلی دکل، واحد تریستورها (SCR Room) جهت ایجاد ولتاژ مستقیم - که مورد نیاز واحد پمپ‌های گل است- و واحدهای هدایت‌گر بالا کننده (Winch) هستند. شکل ۲ قسمت‌های مختلف دکل حفاری را به صورت بلوک دیاگرامی نشان می‌دهد. در این مقاله شبیه‌سازی قسمت‌های الکتریکی دکل حفاری همراه با جزئیات آن انجام می‌شود. در این راستا فرض می‌شود که تنها ۲ دیزل ژنراتور از ۴ دیزل ژنراتور در مدار هستند. همچنین از ۴ پمپ گل تنها ۲ عدد از آن در مدار هستند. شایان ذکر است که سایر تجهیزات الکتریکی نیز جهت شبیه‌سازی در مدار قرار می‌گیرند.

۳- اتصال کوتاه مقارن

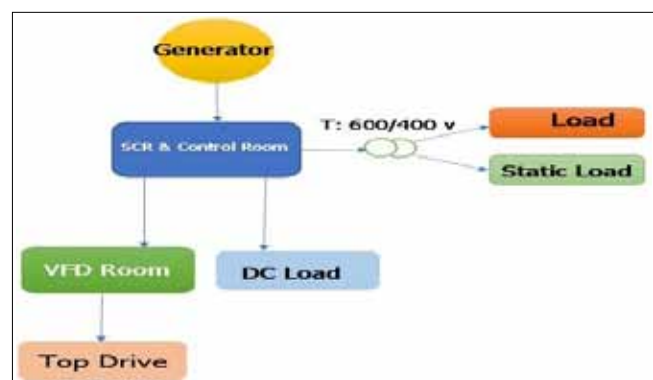
همواره یکی از خصوصیات سیستم‌های الکتریکی واکنش آنها در برابر اتصال کوتاه و خطاهای ناشی از آن است. همین موضوع باعث به وجود آمدن اهداف مطالعاتی فراوانی شده است که مهم‌ترین اهداف محاسبه‌ی جریان اتصال کوتاه عبارتند از:

- هماهنگ کردن رله‌های حفاظتی
- محاسبه‌ی قدرت قطع و وصل اتصال کوتاه کلیدهای حفاظت الکتریکی و اضافه جریان
- محاسبه‌ی قابلیت تحمل حرارتی جریان اتصال کوتاه توسط کابل‌ها، شینه‌ها، ترانسفورماتورها و... تا زمان عملکرد تجهیزات حفاظتی
- محاسبه‌ی قابلیت تحمل نیروهای الکترودینامیکی جریان اتصال کوتاه توسط کابل‌ها، شینه‌ها، ترانسفورماتورها و... تا زمان عملکرد تجهیزات حفاظتی-جریان حداکثر (پیک) اتصال کوتاه مهم است
- محاسبات ایمنی در خصوص Arc Flash (اثر حرارتی قوس الکتریکی)

و عملکرد بهتر آنها و نیز در نظر گرفتن اثر رزنانسی و هارمونیک در نیروگاه‌ها از این نرم‌افزار استفاده می‌شود. [۱۸] مطالعات دیگری جهت شناخت هارمونیک‌های ایجاد شده در سیستم‌های قدرت در اثر رفتار غیرخطی هسته‌ی ترانسفورماتورهای تک فاز و سه فاز توسط نرم‌افزار دیگسایلنت انجام شده است. [۱۹-۲۰] از طرف دیگر، شبیه‌سازی سیستم‌های تولید پراکنده به منظور کاهش تلفات شبکه‌ی توزیع و افزایش شاخص قابلیت اطمینان سیستم نیز توسط این نرم‌افزار انجام شده است. [۲۱-۲۲] رسیدن به حداکثر عملکرد مطلوب یک شبکه و تطبیق و هماهنگ کردن چند تولیدکننده‌ی مختلف همواره یک مشکل اصلی در سیستم تولید بوده که تحلیل آن توسط نرم‌افزار دیگسایلنت محقق شده است. [۲۳] علاوه بر موارد مورد اشاره، در DG جهت استفاده‌ی بهینه و کنترل کارکرد آنها و نیز جلوگیری از کاهش افت توان و ولتاژها در قسمت‌هایی از شبکه همانند ژنراتورها، پست‌های فشار قوی و مصرف‌کننده‌ها



شکل ۱ | دکل حفاری نفت به همراه قسمت‌های مختلف آن



شکل ۲ | دیاگرام شبکه برق دکل حفاری نفت

- کیفیت توان و مطالعه‌ی اثرات آن بر تجهیزات حساس خصوصاً موتورهای دارای درایو کنترل دور
- مطالعه‌ی آسیب‌دیدگی عایق‌ها و جوش خوردن هادی‌ها در اتصالات به دلیل اثرات حرارتی اتصال کوتاه
- مطالعه‌ی پایداری دینامیکی در ژنراتورهای نیروگاه‌ها و قابلیت حفظ سنکرونیزم توسط آنها
- اختلالات، نویز و اغتشاشات حاصله از جریان اتصال کوتاه به صورت انتشار امواج الکترومغناطیسی در سیستم‌های مخابراتی و کنترلی
- محاسبات اتصال زمین و افزایش پتانسیل زمین در اثر عبور جریان اتصال کوتاه از الکتروود زمین

۴- توان الکتریکی اتصال کوتاه

اگر قدرت اتصال کوتاه متقارن اولیه SK را قدرت اتصال کوتاه بنامیم مقدار موهومی تعیین شده برابر با حاصل ضرب جریان اتصال کوتاه متقارن اولیه در ولتاژ نامی سیستم است.

$$SK_{ss} = \sqrt{3} * (IK_{ss} * U_n) \quad (1)$$

جریان اتصال کوتاه IK_{ss}

i_p : جریان اتصال کوتاه پیک یا ماکزیمم مقدار ممکن جریان اتصال

کوتاه

IK_{ss} : جریان اتصال کوتاه گذرا

I_b : سطح جریان قطع اتصال کوتاه

I_n : سطح جریان نامی

بزرگی جریان اتصال کوتاه ماکزیمم برحسب زمانی که اتصال کوتاه رخ می‌دهد، تغییر می‌کند. برای اتصال‌های کوتاه ۳ فاز فرض می‌شود که اتصال کوتاه در همه‌ی هادی‌های فاز به‌طور همزمان رخ دهد. در شبیه‌سازی اتصال کوتاه انجام شده، که به صورت اتصال کوتاه بین ۳ فاز در نظر گرفته شده است از استاندارد (۰۱۲) C که استاندارد دقیق تری می‌باشد و از مولفه‌های مثبت، منفی و صفر برای محاسبات اتصال کوتاه استفاده شده است. پارامتر زمان خطا برابر ۰,۱ ثانیه و پارامتر Fault cleaning time که در حقیقت زمان عملکرد کلید حفاظتی بر اثر گرم شدن است، در محاسبات به کار برده شده است.

۴-۱- بررسی اتصال کوتاه در باس ۴۰۰ ولت

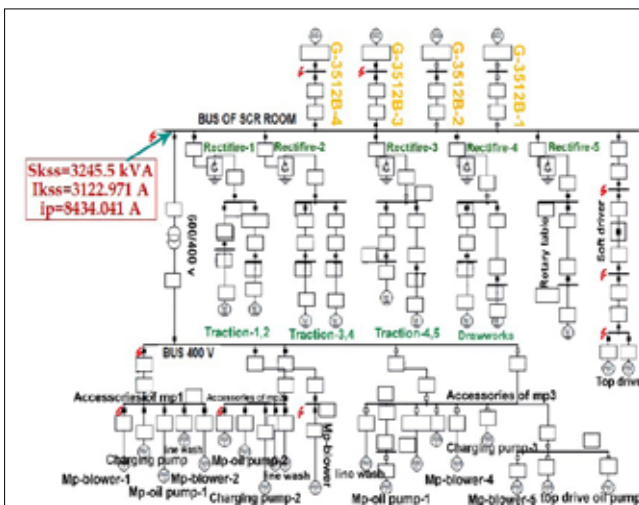
این باس که در حقیقت باس اصلی و مرکزی تغذیه در مصرف‌کننده ۳ فاز ۴۰۰ ولت (شکل ۲) است، از خروجی ترانس تغذیه می‌کند.

جدول ۱ | پارامترهای اتصال کوتاه در باس ۴۰۰ ولت

قدرت و جریان اتصال کوتاه در باس ۴۰۰ ولت	
Sk_{ss}	1421 KVA
IK_{ss}	2051 A
i_p	4707 A

جدول ۲ | قدرت و جریان اتصال کوتاه در باس SCR Room

قدرت و جریان اتصال کوتاه در باس ۴۰۰ ولت	
Sk_{ss}	3245 KVA
IK_{ss}	3122 A
i_p	8434 A



شکل ۴ | محل اتصال در باس SCR Room یا همان باس ۶۰۰ ولت

شکل ۳ | محل اتصال در باس ۴۰۰ ولت یا باس بعد از ترانسفورماتور

جدول، انتخاب کلید قطع‌کننده‌ی مناسب با توجه به جریان بیشینه (A۸۴۳۴) و جریان اتصال کوتاه (A۳۱۲۳) صورت می‌گیرد. به‌طور کلی این نکته را در نظر گرفته که در شبیه‌سازی در بخش اتصال کوتاه، با فرض اینکه اتصال کوتاه در همه‌ی باس بارها سنجیده می‌شود و با ذکر این نکته که اتصال کوتاه به‌طور همزمان در شبیه‌سازی اتفاق نمی‌افتد و در حقیقت می‌توان برای هر جایی از سیستم قدرت محاسبات را انجام داد. شکل ۵، پارامترهای مختلف تست اتصال کوتاه در باس ۴۰۰ و ۶۰۰ ولتی را بر روی نمودار میله‌ای مقایسه می‌کند. با توجه به شکل، کلیه‌ی جریان‌های اتصال کوتاه در باس ۶۰۰ ولتی بزرگ‌تر از باس ۴۰۰ ولتی هستند.

با توجه به پارامترهای شبیه‌سازی شده‌ی اتصال کوتاه، می‌توان جریان عبوری از کلید و نیز تنظیمات کلید را با استفاده از آنها بر طبق روابط ۱ و ۲ به‌دست آورد.

جریان عبوری از کلید

$$I = (S/(V \cdot \sqrt{2})) \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$I = 250000 / (400 \times \sqrt{3}) = 1800A \quad \text{رابطه (۳)}$$

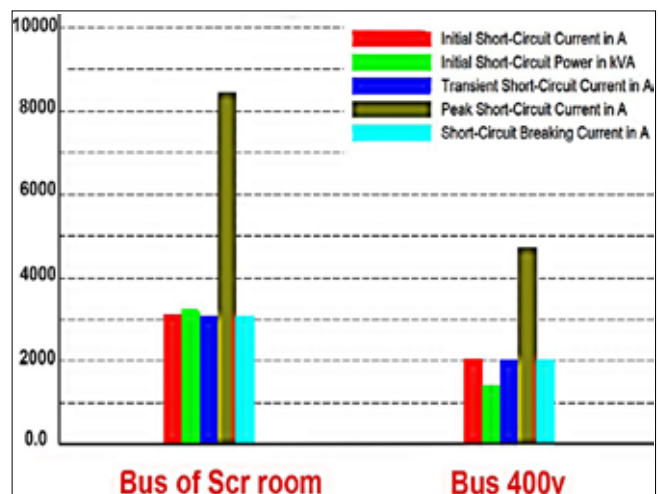
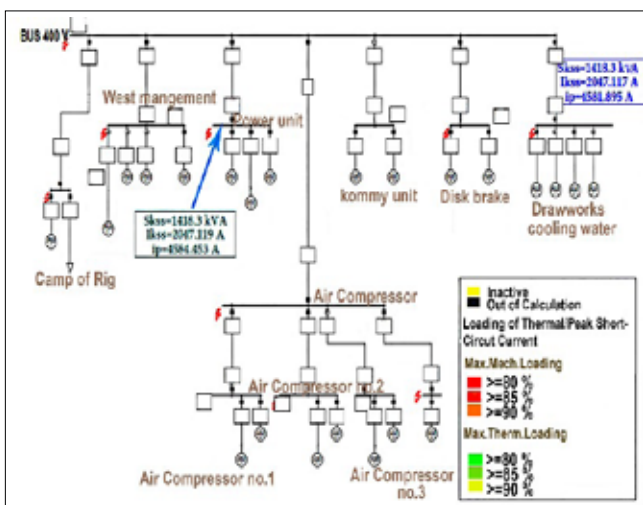
می‌توان از کلیدی با دامنه‌ی بالاتری در حدود ۲KA استفاده کرد. با توجه به اینکه سیستم، هیچ‌گاه در حالت بار کامل کار نخواهد بود، لذا از کلیدی در دامنه‌ی پایین‌تر همانند ۱۵۰۰A استفاده کرد که تنظیمات آن با توجه به جریان به‌دست آمده در شبیه‌سازی در آزمایش اتصال کوتاه در حدود ۳ تا ۱۰ برابر جریان نامی انتخاب می‌کنیم که در حقیقت در واحد مغناطیسی کلید قابل تنظیم است و از طرفی در باس به‌دلیل نزدیکی به ژنراتورها جریان بسیار بزرگی در باس مشترک ژنراتورها است و قبل از ترانس می‌باشد با ولتاژ

شکل ۳ باس ۴۰۰ ولت به‌همراه جزئیات آن را نشان می‌دهد. پس از ایجاد اتصال کوتاه عمده جهت سنجش پارامترها، مشاهده شد که از دو سو جریان به نقطه اتصال سرازیر می‌شود. نتایج به‌دست آمده از تست اتصال کوتاه برای یکی از مصرف‌کننده‌های پایین‌دستی و دیگر ترانسفورماتور تغذیه‌کننده‌ی باس در جدول شماره ۱ نشان داده شده است.

نتایج جدول بالا نشان می‌دهد که کلید قطع‌کننده^۴ (CB) موردنیاز را باید بر اساس جریان اتصال کوتاه بیشینه (۴۷۰۷A) و جریان اتصال کوتاه (۲۰۵۱A) تنظیم یا انتخاب کرد. لازم به‌ذکر است که در شبیه‌سازی اتصال کوتاه، بعضی از مصرف‌کننده‌ها بر اساس ضریب همزمانی خاموش می‌باشند. به‌علت نزدیکی به باس ۴۰۰ ولت، مقدار جریان اتصال کوتاه بالایی به‌دست آمده است و این در انتخاب راه‌حل‌هایی برای محدود کردن جریان اتصال کوتاه موثر است.

۴-۲- بررسی اتصال کوتاه در باس SCR Room

در نرم‌افزار dig SILENT، اتاق SCR به‌صورت یک باس در نظر گرفته شده است، در حقیقت انرژی الکتریکی تولید شده توسط ژنراتورهای ۶۰۰ ولتی پرتوان به‌وسیله‌ی کابل‌های مخصوص پس از اتصال به مدار حفاظتی به ترانس ۱۲۵۰ KVA متصل شده تا به ولتاژ ۴۰۰ ولتی تبدیل شود. باس بار ۶۰۰ ولتی به‌همراه قسمت‌های مختلف آن در شکل ۴ نشان داده شده است. با توجه به شکل، اتصال کوتاه در نقطه‌ی مشخص شده شبیه‌سازی می‌شود. نتایج اتصال کوتاه در جدول شماره ۲ نمایش داده شده است. با توجه به مقادیر



شکل ۶ | اتصال در کلیه باس‌ها

شکل ۵ | محل اتصال در باس SCR Room و Bus ۴۰۰

دیگر دکل حفاری نفت انجام شد. شکل ۶ قسمت‌هایی که در آنها شبیه‌سازی اتصال کوتاه انجام می‌شود، را نشان می‌دهد. مجدداً بر این اساس نتایج این جدول کالیبراسیون و انتخاب مناسب رله‌های حفاظتی و نیز مطالعات پایداری و بهینه‌سازی سیستم الکتریکی محقق می‌شود.

۵- مطالعه‌ی هارمونیک‌ها در سیستم برق دکل حفاری نفت

هارمونیک‌ها در سیستم‌های قدرت بر اثر نوعی از بارهای الکتریکی به وجود آمده و می‌توانند باعث بروز اغتشاشاتی در خطوط انتقال برق، تخریب هادی‌ها و مواد عایق موتورها و ترانسفورماتورها شوند. علاوه بر این، شناسایی محل و اندازه‌ی بارهای غیرخطی مهم‌ترین بخش از برنامه‌های تعمیر و نگهداری، عیب‌یابی و اصلاح برنامه‌ها است. می‌توان گفت وجود هارمونیک در سیستم‌های قدرت، اولین پیامد وجود عناصر غیرخطی در شبکه است. افزایش چند درصدی ولتاژ ممکن است باعث دو برابر شدن جریان و تغییر شکل موج جریان و در نتیجه ایجاد اعوجاج هارمونیک شود. در سیستم‌های قدرت متقارن، یک شیفت فازی بین مولفه‌های هارمونیک هر ۳ فاز وجود دارد. لذا هارمونیک مضرب ۳ مانند مولفه‌های صفر، با یکدیگر هم‌فاز و توسط اتصال مثلث ترانسفورماتور متوقف می‌شوند. متقارن، مرتبه‌های هارمونیک به ترتیب ۳۷ ۵ ۱۱ ۱۳ ۱۷ ۱۹ ۲۳ ۲۵ ۲۹ ۳۱ است. در مشخصه‌ی مرتبه‌های هارمونیک شاخص‌های هارمونیک برای تعریف کیفیت توان الکتریکی از شاخص‌های متفاوتی استفاده می‌شود. بعضی از شاخص‌های استفاده شده در نرم‌افزار dig SILENT به صورت زیر لیست شده است. اگرچه این

۶۰۰ ولت

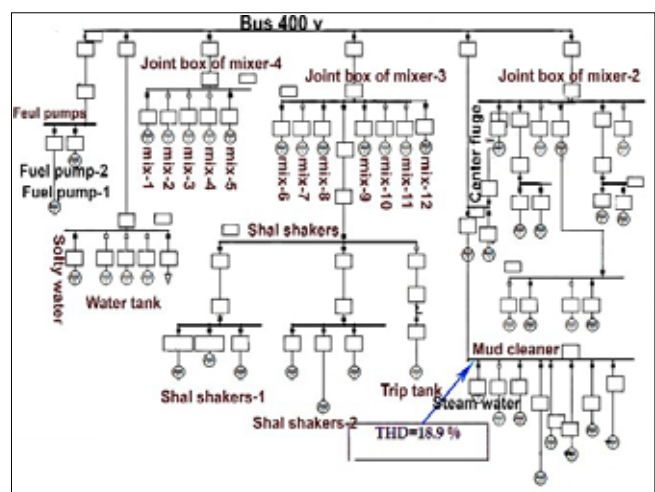
رابطه (۴) $I=1250000 / (600 \times \sqrt{3}) = 1202A$

رابطه (۵) $I=12022402=1200+A$

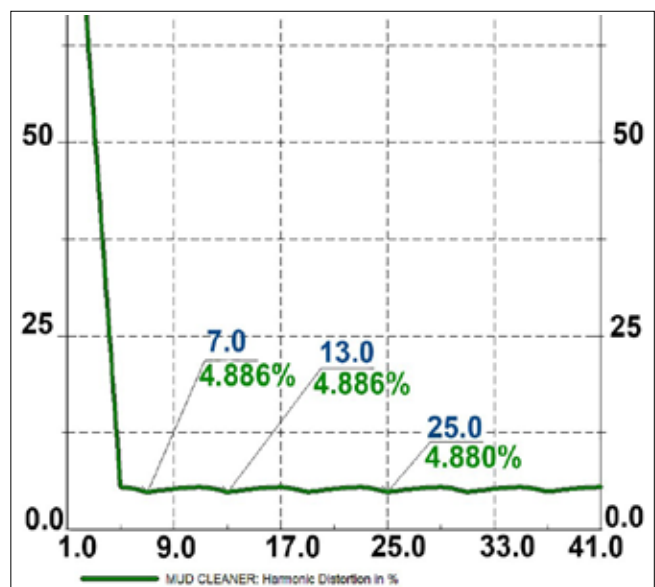
و با توجه به اینکه جریان اتصال کوتاه عبوری از ترانس در حدود چندین برابر جریان نامی است لذا در تنظیم کلید که در حدود ۶ برابر جریان در نظر می‌گیریم.

۳-۴ اتصال کوتاه در بخش‌های دیگر دکل حفاری

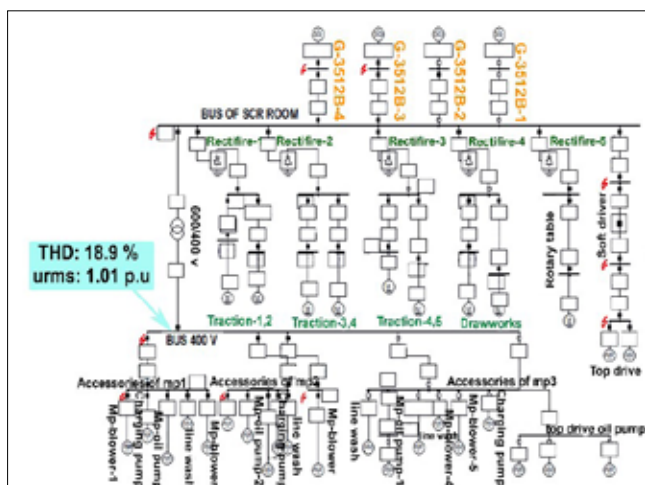
جهت مطالعه‌ی بیشتر، شبیه‌سازی اتصال کوتاه در بخش‌های



شکل ۷ | Bus بار Mud cleaner همراه با مقدار THD



شکل ۸ | هارمونیک‌های ایجاد شده در Bus بار Mud cleaner همراه با مقادیر HD



شکل ۹ | Bus بار ۴۰۰ ولت به همراه محل بررسی هارمونیک

۱-۵- مطالعه‌ی هارمونیک باس بار Mud cleaner

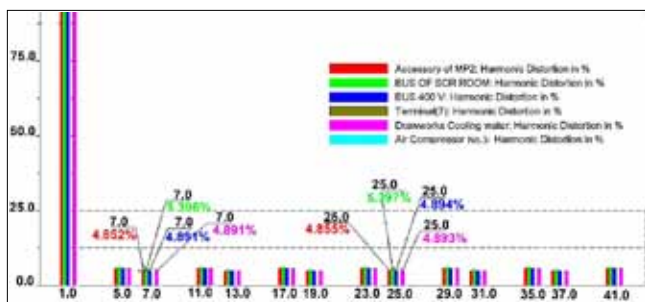
برای باس بار Mud cleaner تست هارمونیک در قسمت نشان داده شده در شکل ۷ انجام شد. در واقع شبیه‌سازی هارمونیک این باس بار دارای نمودار با مشخصه‌های نشان داده شده در شکل ۸ است، که در هارمونیک پایه دارای مقدار ۱۰۰ درصد و در سایر هارمونیک‌ها کاهش می‌یابد. با توجه به این شکل، کلیه‌ی هارمونیک‌ها تا هارمونیک شماره ۴۱ دارای دامنه کمتر از ۸ درصد از هارمونیک اصلی (که استاندارد ۶۱۰۰۰ IEC Standard به آن اشاره شده است) هستند.

۲-۵- بررسی هارمونیک در باس بار ۴۰۰ ولت

جهت بررسی بیشتر رفتارهای هارمونیک سیستم دکل برق حفاری، شبیه‌سازی هارمونیک در بخش باس بار ۴۰۰ ولتی انجام شده است. شکل ۹ محل بررسی هارمونیک‌ها که با علامت پیکان در شکل مشخص شده است را نشان می‌دهد. همچنین نمودار پردازش هارمونیک آن در شکل ۱۰ رسم شده است. در هارمونیک اول طبیعتاً دامنه ۱۰۰ درصد است اما به تدریج دامنه‌ها کم شده و در هارمونیک هفتم به ۴٫۸ درصد می‌رسد. همان‌طور که شکل نشان می‌دهد، تغییرات دامنه‌ی هارمونیک‌ها آهنگ نوسانی به صورت کاهشی با شیب بسیار کم و تدریجی دارد و این روند تا هارمونیک شماره ۴۱ ادامه دارد.

۳-۵- شبیه‌سازی هارمونیک در قسمت‌های دیگر دکل حفاری

در مرحله‌ی بعد، شبیه‌سازی هارمونیک برای چندین قسمت مختلف از سیستم الکتریکی دکل حفاری انجام شد. شکل ۱۱ قسمت‌هایی که در آن قسمت‌ها شبیه‌سازی هارمونیک انجام شده را نشان می‌دهد. نتایج تست هارمونیک انجام شده برای قسمت‌های مختلف به‌همراه نام آنها، در شکل ۱۲ نشان داده شده است. با توجه به شکل، دامنه‌ی هارمونیک‌ها در قسمت‌های مختلف، اختلاف ناچیزی



شکل ۱۲ | مقادیر هارمونیک و HD در باس بارهای انتخابی

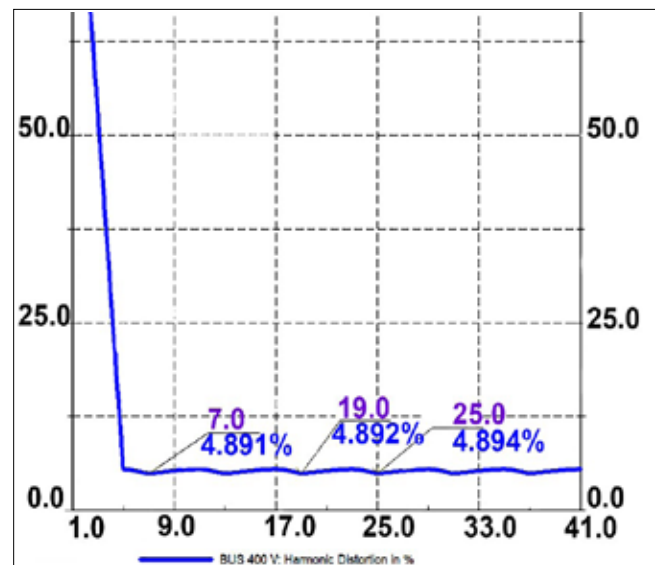
شاخص‌ها برای جریان، تعریف شده‌اند اما به کارگیری آنها برای ولتاژ هم صحیح است.

$$\text{رابطه (۶)} \quad I_{rms} = \sqrt{\sum_{i=1}^{\infty} I_{fi}^2}$$

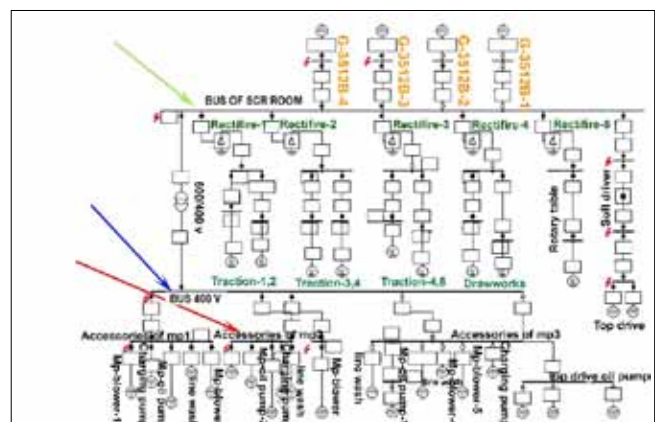
$$\text{رابطه (۷)} \quad \text{HDf} = \frac{I_f}{I_n} \cdot n \quad ; \quad n : \text{nominal}$$

$$\text{رابطه (۸)} \quad \text{THD} = \frac{1}{I_n} \sqrt{\sum_{i=2}^{\infty} I_f^2}$$

در شبیه‌سازی هارمونیک‌ها که برای باس‌های mud cleaner و نیز باس بار ۴۰۰ ولت می‌باشد، هارمونیک سوم مورد بررسی قرار گرفته است. برای سیستم با فرض تعادل سیستم، بر طبق استاندارد IEC6100-2-2 مقدار هارمونیک به دست آمده در یک سیستم الکتریکی پایدار لازم است که کمتر از ۸ درصد باشد.



شکل ۱۰ | نمودار باس بار ۴۰۰ ولتی



شکل ۱۱ | محل‌های بررسی هارمونیک در شبیه‌سازی

نتیجه گیری

با بررسی و شناخت سیستم و به کارگیری این نوع شبیه سازی به عنوان مرجع شبیه سازی سیستم برق و قدرت در دکل حفاری، اپراتور سیستم می تواند به صورت عملی با دقت و اندازه گیری اطلاعات هر دکل و دادن آن به دیگسایلنت و اجرای محاسبات پخش بار، هارمونیک و اتصال کوتاه ثبات سیستم را به دست بیاورد. همچنین می توان از آن در مطالعات حالت های گذرای شبکه و نیز رفتار موتورها، عملکردهای حفاظتی سیستم و نیز استفاده انرژی های تجدیدپذیر با فناوری هایی همچون سلول های خورشیدی و پیل ذخیره انرژی در آینده به کار برد.

دارند اما تمامی آنها دارای دامنه ی کمتر از ۸ درصد که در استاندارد مشخص شده است، هستند. این باس بار به خروجی ترانسفورماتور متصل است و تامین کننده ی بسیاری از مصرف کننده های توان اکتیو و راکتیو سیستم الکتریکی است. پس از رسم نمودار مقادیر مختلفی برای هارمونیک های آن به دست آمد که در جدول مندرج است. با توجه به شکل، از کلیه ی هارمونیک ها کمتر از ۸ درصد هستند. وجود هارمونیک در سیستم های قدرت مشکل طبیعی است و به طوری که اشاره شد ناشی از عوامل مختلفی می باشد. برای حذف یا کاهش هارمونیک جریان و یا ولتاژ، استفاده از فیلترهای مخصوص هارمونیک اجتناب ناپذیر است.

پانویس ها

1. Distributed Generation
2. Mud pump

3. Variable frequency drive
4. Circuit breaker

منابع

- [1]. M. Rafi, T. Vo, and P. Nguyen, "Effective integration of large-scale wind power using PV-STATCOM," *The Journal of Engineering*, vol. 2019, no. 18, pp. 5303-5307, 2019.
- [2]. Y. Qin, M. Korkali, P. Top, and L. Min, "A JModelica.org Library for Power Grid Dynamic Simulation with Wind Turbine Control," Lawrence Livermore National Lab. (LLNL), Livermore, CA (United States), 2019.
- [3]. H. Karbouj and Z. H. Rather, "A Comparative Study on the Impact of Grid Code Regulations on Stability of Wind Integrated Power Systems," in 2019 1st Global Power, Energy and Communication Conference (GPECOM), 2019: IEEE, pp. 342-347.
- [4]. D. Wang, N. Ma, Y. Gao, Y. Hu, and C. Zhang, "Participation in primary frequency regulation of wind turbines using hybrid control method," *International Transactions on Electrical Energy Systems*, vol. 28, no. 5, p. e2527, 2018.
- [5]. X. Fan, J. Shu, and B. Zhang, "Coordinated control of DC grid and offshore wind farms to improve rotor-angle stability," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 33, no. 4, pp. 4625-4633, 2018.
- [6]. M. Shakarami, A. Samanfar, J. Soltani, and E. Rokrok, "Dynamic Analysis of Multi-machine Power Systems Facing Symmetrical and Asymmetrical Simultaneous Faults," *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Electrical Engineering*, vol. 43, no. 1, pp. 461-474, 2019.
- [7]. R. B. Patel, C. Li, L. G. Meegahapola, B. McGrath, and X. Yu, "Enhancing Optimal Automatic Generation Control in a Multi-Area Power System with Diverse Energy Resources," *IEEE Transactions on Power Systems*, 2019.
- [8]. A. Basit, T. Ahmad, A. Yar Ali, K. Ullah, G. Mufti, and A. D. Hansen, "Flexible modern power system: Real-time power balancing through load and wind power," *Energies*, vol. 12, no. 9, p. 1710, 2019.
- [9]. S. Salee and P. Wirasanti, "Optimal siting and sizing of battery energy storage systems for grid-supporting in electrical distribution network," in 2018 International ECTI Northern Section Conference on Electrical, Electronics, Computer and Telecommunications Engineering (ECTI-NCON), 2018: IEEE, pp. 100-105.
- [10]. M. M. Dedović and S. Avdaković, "A new approach for $d\hat{f}/dt$ and active power imbalance in power system estimation using Huang's Empirical Mode decomposition," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 110, pp. 62-71, 2019.
- [11]. A. Khodadadi, M. N. Pishkesh, B. Zaker, and M. Karrari, "Parameters Identification and Dynamical Modeling of Excitation System and Generator in a Steam Power Plant," in 2018 6th International Conference on Control Engineering & Information Technology (CEIT), 2018: IEEE, pp. 1-5.
- [12]. I. A. Abouzeid, M. A. Badr, M. A. Mostafa, R. A. Swief, and D. M. Helmi, "Analysis of the Dynamic Interface Among Doubly Fed Induction Generator Wind Farms and the Egyptian Transmission Network," in 2018 Twentieth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON), 2018: IEEE, pp. 868-874.
- [13]. P. Bhatt, C. Long, J. Wu, and B. Mehta, "Dynamic participation of DFIG for frequency regulation in electrical power systems," *Energy Procedia*, vol. 142, pp. 2183-2188, 2017.
- [14]. B. Mohammadi-Ivatloo, A. Mokari, H. Seyedi, and S. Ghasemzadeh, "An improved under-frequency load shedding scheme in distribution networks with distributed generation," *Journal of Operation and Automation in Power Engineering*, vol. 2, no. 1, pp. 22-31, 2014.
- [15]. B. Hoseinzadeh, F. F. Da Silva, and C. L. Bak, "Power system stability using decentralized under frequency and voltage load shedding," in 2014 IEEE PES General Meeting Conference & Exposition, 2014: IEEE, pp. 1-5.
- [16]. H. Izadinia and A. Sedighi, "The role of the Internet of things in the management and uncertainty of Distributed Generation sources in order to reduce losses and improve the voltage profile," in 2019 27th Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE), 2019: IEEE, pp. 554-558.
- [17]. M. Kyesswa, H. K. Çakmak, U. Kühnapfel, and V. Hagenmeyer, "Implementation of an extended generator subsystem in OpenModelica and comparative analysis with DlgSILENT PowerFactory," *Computer Science-Research and Development*, vol. 33, no. 1-2, pp. 253-255, 2018.
- [18]. F. Freijedo et al., "Harmonic resonances in wind power plants: modeling, analysis and active mitigation methods," in 2015 IEEE Eindhoven PowerTech, 2015: IEEE, pp. 1-6.
- [19]. A. Yahoui and A. Bayadi, "Transformer core modeling for magnetizing inrush current investigation," *MJMS*, vol. 1, pp. 077-088, 2011.
- [20]. M. M. Saied, "A Study on the Low Frequency Transients in Power Transformers and Some Protection-Related Issues," *Electrical Power Quality and Utilisation. Journal*, vol. 17, 2014.
- [21]. L. Mehigan, J. Deane, B. Ó. Gallachóir, and V. Bertsch, "A review of the role of distributed generation (DG) in future electricity systems," *Energy*, vol. 163, pp. 822-836, 2018.
- [22]. M. R. Jannesar, A. Sedighi, M. Savaghebi, and J. M. Guerrero, "Optimal placement, sizing, and daily charge/discharge of battery energy storage in low voltage distribution network with high photovoltaic penetration," *Applied energy*, vol. 226, pp. 957-966, 2018.
- [23]. C. K. Das, O. Bass, G. Kothapalli, T. S. Mahmoud, and D. Habibi, "Overview of energy storage systems in distribution networks: Placement, sizing, operation, and power quality," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 91, pp. 1205-1230, 2018.
- [24]. S. Jain, S. Kalambe, G. Agnihotri, and A. Mishra, "Distributed generation deployment: State-of-the-art of distribution system planning in sustainable era," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 77, pp. 363-385, 2017.
- [25]. L. Hunter, C. Booth, A. J. Ferre, and S. Finney, "MVDC for enhanced utility scale distribution power delivery and control," in 2017 52nd International Universities Power Engineering Conference (UPEC), 2017: IEEE, pp. 1-6.