بررسی تاثیر تلفات کلید زنی بر کیفیت توان سیستم های قدرت

مهدی رهنمائی هشجین *[۱]

*۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه برق، دانشگاه علم و صنعت ایران، ایران
mahdi.rahnamaei1997@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۱۰

چکیده: کیفیت توان مبحثی است که شرکت‌های برق و حتی مشترکین توجه زیادی را نسبت به این موضوع دارند. بدون شک کیفیت برق تولیدی در شبکه قدرت در حال حاضر همانند یا بهتر از گذشته می‌باشد. عامل اساسی بازنگری مسئله، گسترش بکارگیری تجهیزات جدید الکتریکی در شبکه‌ها می‌باشد. پیشرفت تجهیزات الکترونیک قدرت مثل میکروپروسسورها، کامپیوترها، وسایل الکترونیکی، سیستم‌های منابع تغذیه و سیستم‌های روشنائی و کوره‌های القائی و ... که از یک سو حساس‌اند و باید توان الکتریکی با بالاترین کیفیت را در اختیار داشته باشند و از سویی عدم تحویل توان مطلوب به این وسایل موجب اثراتی همچون: پدیده گذرا یا نوسانی، کاهش یا افزایش ولتاژ، انحراف شکل موج، تغییر فرکانس، عدم تعادل ولتاژ و هارمونیک می‌شوند. برای بیان کیفیت توان در شبکه قدرت، اغلب از شاخص قدیمی قابلیت اطمینان استفاده می‌شود. در محاسبه قابلیت اطمینان شرکت‌های برق عمدتاً میزان قطع برق مشترک(خاموشی) را مبنا قرار داده و میزان متوسط دسترسی به برق را محاسبه می‌نمایند. این شاخص بصورت نسبت ساعات برق دار بودن مشترکین و صنایع به کل ساعات یک سال تعریف می‌شود و اکثر شرکت‌های توزیع برق با ضریب اطمینان بیش از ۹۹/۹۹ درصد کار می‌کنند. ولی قابلیت اطمینان برای ارزیابی و بیان کیفی کارکرد شبکه‌های قدرت امروزی ناکافی است.

واژه‌های کلیدی: کیفیت توان ، سیستم قدرت ، اختلالات شبکه قدرت ، کلید زنی.

۱- مقدمه

از نخستین روزی که بشر توانست برق را انتقال دهد تا به مصرف برسد سال‌های زیادی گذشته است و امروزه، تنها هدف، انتقال این انرژی کارآمد نیست، بلکه در کنار آن بهبود کیفیت برق تولیدی نیز مورد اهمیت قرار گرفته است. کیفیت توان در سال‌های اخیر به طور جدی مورد توجه شبکه توزیع برق و هم چنین مصرف‌کنندگان متصل به شبکه در برخی از کشورها قرار گرفته است. عامل اصلی ضرورت بازنگری این مساله، گسترش بکارگیری تجهیزات جدید الکتریکی در شبکه‌هاست . با توجه به گستردگی و وسعت شبکه‌های قدرت به دلایل گوناگون احتمال بروز خطا و اغتشاش وجود دارد. لذا مصرف‌کنندگان انرژی الکتریکی در یک محدوده توان مشخص قادر به عملکرد می-باشند. از طرفی، از سیستم قدرت انتظار می‌رود که توان را با کیفیت مطلوب به مصرف‌کننده تحویل دهد. تجهیزاتی همچون لوازم الکترونیکی، سیستم‌های منابع تغذیه، الکتروموتورها و .... نیازمند کیفیت توان مطلوب جهت کارکرد هستند. تجهیزات فوق در صورتی که توان مطلوب را دریافت نکنند، خود موجب اغتشاش در سیستم قدرت می‌شوند. بنابراین، هدف شبکه قدرت تامین توان مورد نیاز مصرف‌کنندگان با بالاترین کیفیت با کم‌ترین قطعی و حداقل اغتشاش و هارمونیک است، که این موضوعات، از دغدغه‌های سیستم قدرت می‌باشد. با توجه به اهمیت بالای موضوع کیفیت توان، برای ارزیابی کیفیت توان می‌بایست شناخت کافی از اغتشاشات که موجب کاهش کیفیت توان شبکه قدرت می شوند را داشته باشیم.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1396.6.2.4.3]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 6-No. 2- Autumn 2017 & Winter 2018

نظارت و کنترل مستمر اختلالات کیفیت توان در سیستم‌های توزیع انرژی الکتریکی، به مسئله مهم برای تاسیسات شبکه و مشتریان تبدیل شده است. بهره‌برداری از سیستم قدرت را می‌توان با تجزیه و تحلیل اختلالات کیفیت توان ، به طور سیستماتیک بهبود بخشید. در این بخش، مدل‌سازی و شبیه‌سازی اختلالات کیفیت توان در اثر بارهای مختلف بررسی می‌شود. اختلالات کیفیت توان باعث تغییرات ولتاژ مانند: کاهش، افزایش و قطعی توسط انواع بارها و خطاها در شبکه توزیع ایجاد می‌شود. انواع تغییرات فرکانس در اثر اختلال کیفیت توان، مشابه هارمونیک‌ها هستند، که در اثر استفاده از بارهای غیر خطی، نظیر مبدل های الکترونیک قدرت ایجاد می‌شوند. اختلالات غیر ثابت و گذرا با استفاده از کلیدزنی در بانک‌های خازنی در شبکه توزیع ایجاد می‌شوند.

در یک سیستم قدرت الکتریکی، انواع خطاهای گوناگون، عملکرد دینامیکی تجهیزات برق و افزایش بهره‌برداری از بارهای غیرخطی، اغلب اختلالات کیفیت توان را در شبکه برق ایجاد می‌کنند. در واقع کیفیت توان ترکیبی به کیفیت ولتاژ و جریان وابسته است اما در بیشتر مواقع به کیفیت ولتاژ بستگی دارد، زیرا در واقعیت سیستم تغذیه فقط می‌تواند کیفیت ولتاژ را کنترل کند. از طرفی عملکرد شبکه سیستم قدرت به صورت ولتاژ سینوسی با فرکانس ۵۰ یا ۶۰ هرتز طراحی شده است. اختلالات کیفیت توان در هر زمان باعث تغییر بخصوصی در میزان ولتاژ شبکه ، فرکانس شبکه و انحراف شکل موج سینوسی در اثر انواع خطاهای گوناگون، بارهای غیر خطی، کلیدزنی بارهای سنگین و نیز ادوات الکترونیک قدرت ایجاد می‌شوند.

اختلالات کیفیت توان موجب خسارات مالی شدیدی به تاسیسات الکتریکی، مشتریان(به ویژه مشتریان صنعتی) و تامین‌کنندگان تجهیزات الکتریکی می‌شود. بیشتر مصرف‌کنندگان با انواع اختلالات کیفیت توان، که در شبکه سیستم قدرت اتفاق می‌افتد آشنا نیستند. بنابراین شناسایی و طبقه بندی اختلالات کیفیت توان به منظور افزایش کیفیت و جلوگیری از هر گونه حادثه در سیستم قدرت مهم است. اختلالات کیفیت توان معمولا تحت تاثیر ولتاژ سیستم و فرکانس آن مشخص می‌شود. این اختلالات بر اساس تغییرات ولتاژ، فرکانس و پدیده‌های گذرا طبقه‌بندی می‌شوند.

۱-۱- اختلالات کیفیت توان

۱-۱-۱-کاهش ولتاژ

کاهش ولتاژ رایج‌ترین نوع اختلالات سیستم قدرت است که معمولا از نیم تا ۱۰ سیکل اتفاق می‌افتد. کاهش ولتاژ معمولا به نوع خطا مانند خطای تکفاز به زمین (LG)، خط به خط (LL)، دو خط به زمین (LLG)، خطای سه فاز (LLL) و خطای سه فاز به زمین (LLLG) بستگی دارد. هم چنین وارد شدن بارهای سنگین و یا راه اندازی موتورها نیز می‌تواند از عوامل کاهش ولتاژ باشند.

۱-۱-۲- افزایش ولتاژ

افزایش ولتاژ نیز با خطاهای اتصال کوتاه رابطه دارد. در خطای تک فاز به زمین، کاهش ولتاژ در قسمتی که خطا رخ داده و افزایش ولتاژ در قسمتی که خطا رخ نداده(۲ فاز دیگر) اتفاق می افتد. خارج شدن بارهای سنگین یا کلیدزنی بانک‌های خازنی در سیستم قدرت موجب افزایش ولتاژ می‌شود.

۱-۱-۳- قطعی ولتاژ

از دست رفتن ولتاژ به مدت ۱ دقیقه، به عنوان قطعی شناخته می-شود. ولتاژ شبکه قدرت تا ۱۰ درصد ولتاژ نامی ممکن است کاهش یابد. خطاهای سیستم قدرت، خرابی تجهیزات و توابع کنترلی از عوامل قطعی ولتاژ هستند.

۱-۱-۴- هارمونیک‌ها

هارمونیک‌ها، ولتاژها و جریان‌های سینوسی که دارای فرکانس با مضرب صحیح از فرکانس اصلی ۵۰ یا ۶۰ هرتز هستند. هارمونیکها بر اثر بارهای غیر خطی و اینورترها به وجود می‌آیند.

۱-۱-۵- حالات گذرا

یک حالت نامطلوب و ناخواسته و موقت در یک سیستم قدرت، به عنوان گذرا شناخته می‌شود. گذراها به نوسانات و نویزها، طبقه بندی می‌شوند. گذراها از طریق بارگذاری یا خاموش شدن بارهای سنگین، انرژی بانک خازنی و نیروی ترانس به وجود می‌آیند.

۱-۱-۶- نوسانات ولتاژ

نوسانات ولتاژ یا جهش‌ها، تغییرات سیستماتیک ولتاژ منبع تغذیه یا مجموعه‌ای از تغییرات ولتاژ ناگهانی است، که مقدار آن بین ۰.۹ تا ۱.۱ است. انحراف ولتاژ ناشی از تغییرات سریع و مداوم در بار فیلکر نامیده می‌شود. نوسان ولتاژ پدیده‌ای است الکترومغناطیسی که فیلکر، نتیجه نامطلوب نوسان ولتاژ در برخی بارها به وجود می‌آید. نوسان ولتاژ و فیلکر اصطلاح معنایی مشابه در استانداردها دارند.

۱-۱-۷- تغییرات فرکانس قدرت

تغییرات فرکانس شبکه سیستم قدرت، از مقدار نامی ۵۰ یا ۶۰ هرتز، نوسانات فرکانس نامیده می شوند. فرکانس سیستم قدرت (F) رابطه مسقیمی با سرعت چرخش ژنراتورهای سنگرون (Ns) با قطب ثابت (P) دارد که به صورت رابطه (۱) نشان داده می‌شود:

$$N_s = \frac{120\,F}{P} \qquad (۱)$$

۱-۲- حالت های گذرا در سیستم قدرت

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1396.6.2.4.3]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 6-No. 2- Autumn 2017 & Winter 2018

واژه گذرا مدت‌هاست که در تحلیل برخی پدیده‌های موجود در شبکه قدرت به کار می‌رود و مشخص کننده یک حادثه غیرمطلوب و لحظه-ای است. تعریفی که عموماً برای این واژه استفاده می‌شود به شکل زیر می‌باشد:

بخشی از تغییرات یک متغییر که در طی انتقال از یک شرایط کاری ماندگار به حالت ماندگار دیگر از بین برود. واژه دیگری که اغلب به عنوان مترادف کلمه گذرا استفاده می‌شود، واژه موج ضربه‌ای است . موج ضربه در شبکه‌های متناوب را می‌توان به صورت پدیده‌ای که با یک تابع زمانی مشخص می‌شود، معرفی کرد. هنگام طراحی تجهیزات و به منظور ایمن‌سازی آن‌ها در مقابل موج ضربه، طراح باید بداند که عوامل به وجود آورنده حالت گذرا چیست و موج ضربه چگونه و تحت چه شرایطی به تجهیزات می‌رسد.

۱-۲-۱- اضافه ولتاژ های گذرا

در شبکه‌های الکتریکی، حالات گذرا به دو دلیل اساسی و مهم ایجاد می‌گردند: کلید زنی و صاعقه، این عوامل علاوه بر عوامل دیگر، منبع ایجاد اضافه ولتاژ گذرا در تجهیزات مشترکین نیز می‌باشند. همچنین برخی از تجهیزات الکترونیک قدرت نیز ممکن است در هنگام کلیدزنی حالت گذرایی را در سیستم قدرت ایجاد کنند.

۱-۲-۲- حالت گذرا ناشی از کلید زنی

حالت گذرای کلیدزنی را می‌توان به ۲ دسته اصلی، یعنی حالت گذرای ناشی از شرایط عادی و غیرعادی تقسیم‌بندی کرد. موارد و شرایط مختلف را که می‌توان به عنوان حالت گذرای ناشی از کلید زنی در نظر گرفت به شرح زیر است:

- کلیدزنی نزدیک به شین مشترکین، مانند برق‌دار کردن وسایل خانگی یا دیگر بارها
- حالت‌های گذرایی که در هر سیکل در هنگام کموتاسیون در مبدل‌های الکترونیک قدرت به وجود می‌آید.
- جرقه زدن‌های پیاپی در هنگام کلیدزنی از دیگر عوامل اضافه ولتاژ می باشند.
- کنتاکتورها یا کلیدهای جیوه‌ای می‌توانند ولتاژهای ضربه‌ای با شکل موج پیچیده‌ای که مقدار آن چندین برابر بیشتر از ولتاژ سیستم باشند را به وجود بیاورند.
- کلید زنی بانک های خازنی (حالت‌های ناشی از کلیدزنی خازن‌های تصحیح ضریب قدرت می‌تواند باعث ایجاد اضافه ولتاژی در حدود دو برابر ولتاژ نامی سیستم گردد. اگر چندین قطع و وصل در هنگام بازشدن خازن به وجود آید آنگاه اضافه ولتاژ می‌تواند به سه برابر ولتاژ نامی شبکه نیز برسد.)
- انواع خطاهای مختلف در سیستم ، مانند اتصال کوتاه در شبکه و یا به وجود آمدن قوس در سیستم به دلیل بعضی از حالت‌های گذرای ناشی از کلید زنی. به علت عملکرد وسایل حفاظتی اضافه جریان سریع مانند فیوزهای محدود کننده جریان و کلیدهایی که زمان قوس آن زیر ۲ میکروثانیه است می‌باشد. این تجهیزات انرژی را در مدار حبس نموده و به علت از بین رفتن میدان ناشی از قطع جریان، ولتاژهای بالایی به وجود می‌آید.

۱-۲-۳- حالت گذرای ناشی از صاعقه

بررسی حالت گذرای ناشی از صاعقه بر روی سیستم‌های قدرت الکتریکی یک پدیده پیچیده می‌باشد. در یک بررسی ساده، عوامل اصلی تولید موج ضربه ولتاژ ناشی از صاعقه به شرح زیر دسته‌بندی می‌شوند:

برخورد صاعقه به زمین در نزدیکی‌های تجهیزات مورد مطالعه و یا ایجاد صاعقه بین لایه‌های ابر، تولید میدانی الکترومغناطیسی می‌کند که این میدان می تواند باعث القاء ولتاژ در هادی‌های مدارهای سیستم قدرت شود. در اثر تخلیه ابر به زمین جریانی در زمین ایجاد می‌شود و حرکت آن در مسیر های مختلف سیستم زمین می‌تواند باعث اختلاف ولتاژ در نقاط آن گردد.

هنگامی که برقگیر از نوع فاصله هوایی، عمل می‌نماید، افت سریع ولتاژ به وجود می‌آید. در حقیقت ولتاژ از طریق خازن سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور به سمت ثانویه منتقل می‌شود و در نتیجه ولتاژ ضربه‌ای علاوه بر قسمتی که از طریق عمل عادی ترانسفورماتوری به مدار ثانویه القاء می‌گردد، مستقیما وارد ثانویه می‌شود. برخورد مستقیم صاعقه به مدارهای ولتاژ بالا، جریان‌های بالایی را به مدارهای اولیه تزریق می‌کند. به دلیل عبور این جریان‌ها از مقاومت زمین، اضافه ولتاژهایی پدید می‌آید که باعث تغییر پتانسیل سیستم زمین می-گردد. در بعضی مواقع صاعقه مستقیماً به مدارات ثانویه سیستم برخورد می‌کند و در اثر آن جریان‌های بسیار بالا و در نتیجه ولتاژهای بزرگی ایجاد می‌شود که می‌تواند از قابلیت تحمل تجیهزات بالاتر باشد.

۲- مدلسازی مسئله

۲-۱- مدار اسنابر

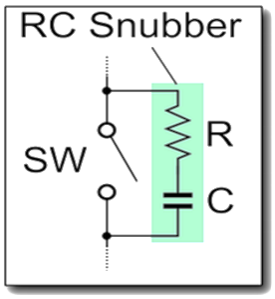
در اثر کلیدزنی بارهای مختلف در سیستم قدرت به دلیل جرقه زدن، کموتاسیون بارهای الکترونیکی و یا بارهای خازنی، اضافه ولتاژی در شبکه ایجاد می‌شود. این اضافه ولتاژ به حدود ۲ برابر ولتاژ نامی سیستم قدرت می‌رسد. در مواردی اگر تعداد دفعات کلیدزنی بالا باشد این افزایش ولتاژ تا ۳ برابر ولتاژ نامی سیستم نیز خواهد رسید.

در شرایط عادی یک سیستم قدرت، کلیدزنی رخ نداده ولتاژ مقداری ثابت داشته و هیچ گونه تلفات ناشی از کلیدزنی وجود ندارد. اما هنگامی که باری به شبکه توسط کلید، وصل می‌شود(مانند بانک

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1396.6.2.4.3]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 6-No. 2- Autumn 2017 & Winter 2018

خازنی)، در اثر جرقه‌ای که به وجود می‌آید، اضافه ولتاژ پیش می‌آید که می‌تواند برای تجهیزات خطوط انتقال و سیستم قدرت آسیب‌پذیر باشد. به همین منظور در این مقاله سعی شده تا با ارائه راه‌کاری، کاهش تلفات کلیدزنی در بارها کاهش یابد. برای کاهش تلفات کلیدزنی از مدار اسنابر کلید قدرت و تنظیم مقدار آن جهت رفع این تلفات، استفاده گردیده است .

مدار اسنابر یک مدار خازنی و اهمی است که این مدار جهت حفاظت مدارهای الکترونیکی در مقابل تغییرات ولتاژ نسبت به زمان استفاده می‌شود. این مدار ماهیت خازنی دارد و می تواند از تغییرات ولتاژ مشتق‌گیری نماید و جریان خازنی ایجاد می‌کند که این جریان شدید لحظه‌ای که به صورت توان در مقاومت سری با خازن تلف می‌شود همان انرژی لحظه‌ای مربوط به سلف یا موتور می‌باشد. درحالت کلی مدارهای اسنابر، دو دسته هستند: یک نمونه قطع شدن و دیگری روشن شدن، که به وسیله سوئیچینگ کنترل می‌شوند. در هر دو نمونه، عنصر ذخیره‌ساز انرژی کوچکی(در مورد قطع شدن، خازن و در مورد روشن شدن، سلف می‌باشد.) مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل (۱) نمایانگر کلید قدرت به همراه مدار اسنابر می‌باشد.



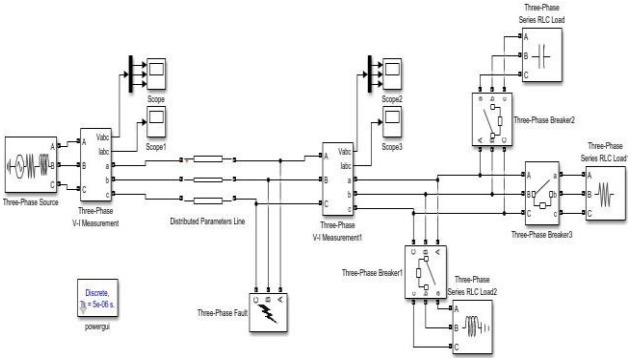
شکل (۱): مدار اسنابر کلید قدرت

این مدار موازی با کلید قدرت قرار گرفته و از نوع RC ثابت می‌باشد که از پرکاربردترین مدارات در سیستم الکترونیک قدرت می‌باشد. در کلید قدرت هنگامی که کلید برای اتصال بار مربوطه به شبکه بسته می‌شود جریانی از کلید عبور می‌کند که همین جریان اولیه باعث ایجاد اضافه ولتاژ کلیدزنی در شبکه می‌شود. به همین منظور مدار اسنابر طراحی شده است که در اثر عبور جریان از کلید، جریانی از شاخه موازی نیز بگذرد و خازن شارژ شده و سپس ولتاژ خازن توسط مقاومت سری با خازن مصرف می‌شود. این مسئله به کاهش اضافه ولتاژ تولیدی در اثر کلیدزنی کمک خواهد کرد.

همچنین در حالت خاموش شدن کلید، خازن دوباره به میزان خود شارژ شده و باعث می‌شود ولتاژ تولیدی در اثر کلیدزنی کاهش یافته و تاثیر زیادی بر روی شبکه نخواهد گذاشت.

۲-۲- سیستم مورد مطالعه

مدلسازی و شبیه‌سازی اختلال کیفیت توان در سیستم قدرت یکی از روش های تحلیل سیستم قدرت می‌باشد که به صورت گسترده ای قابل اجراست. شکل موج و نتایج بدست آمده در پی شبیه‌سازی می‌تواند به لحاظ جمع‌آوری و تشخیص و طبقه‌بندی اطلاعات مفید باشد. در این قسمت برای انجام شبیه‌سازی از نرم‌افزار MATLAB استفاده شده است. در این مدلسازی اختلالات کیفیت توان که به دلیل کلیدزنی بارهای مختلف به وجود آمده، بررسی شده است. در شکل (۲) شبکه سیستم قدرت مورد مطالعه نشان داده شده است.



شکل (۲): مدل شبیه‌سازی سیستم قدرت

این شبکه دارای ولتاژ ۴۰۰ ولت، فرکانس نامی۵۰ هرتز، طول خط انتقال ۴۰ کیلومتر، خطای فاز به زمین(فاز A به زمین)، مدت زمان شبیه‌سازی ۱.۱ ثانیه، زمان وصل خطا ۰.۱۱ تا ۰.۱۶ ثانیه، مقدار بار اهمی ۲۰ کیلووات، مقدار بار سلفی ۵ کیلو وار، مقدار بار خازنی ۳ کیلو وار می‌باشد.

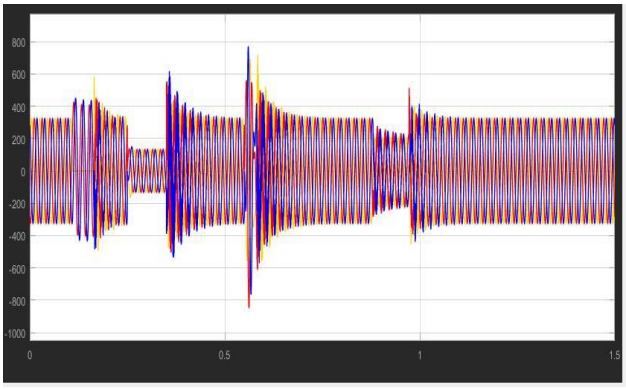
۳- بیان نتایج شبیه سازی

شکل موج خروجی در اثر ایجاد خطا در شکل (۳)، ورود و خروج بارهای اهمی و سلفی وخازنی را نشان می‌دهد. در شکل (۳) ولتاژ فاز A در اثر خطای فاز به زمین در زمان ۰.۱۱ ثانیه اتفاق افتاده و ولتاژ B و C افزایش پیدا کرده است. زمانی که خطای ایجاد شده در زمان ۰.۱۶ ثانیه پایان می‌یابد، خطای اتصال کوتاه تمام شده و قطع می‌شود. به دلیل وجود مولفه DC در جریان اتصال کوتاه، ولتاژ A کمی بزرگتر از مقدار خود می‌شود. با کاهش مولفه DC، ولتاژ فاز A به مقدار نرمال خود باز می‌گردد. زمانی که خطا قطع می‌شود، ولتاژ فازهای B و C به مقدار نامی خود کاهش پیدا می‌کنند. سپس با ورود بار اهمی توسط کلید قدرت به شبکه، باعث افت ولتاژ شدید می‌شود که پس از اتمام اتصال بار اهمی از مدار در اثر کلیدزنی اضافه ولتاژی رخ می‌دهد که در اثر جرقه بین کنتاکت‌های کلید به وجود می‌آید.

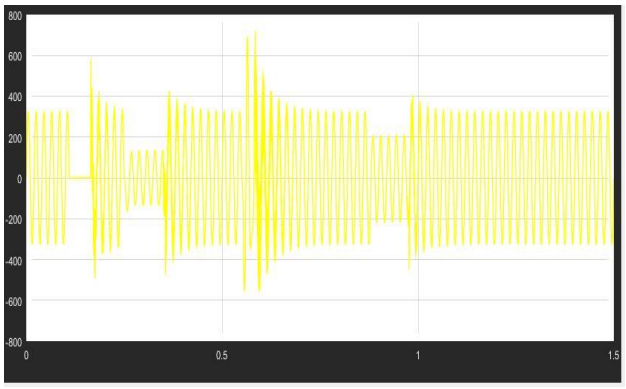
باتوجه به شکل (۳) مشاهده می‌شود که بعد از خروج بار اهمی ولتاژ شبکه به حالت نرمال خود بازگشته و در زمان ۰.۵۵ ثانیه بانک خازنی وارد مدار شده که موجب اضافه ولتاژ شدید تا ۲ برابر ولتاژ نامی سیستم می‌شود. پس از قطع بانک خازنی در ۰.۵۸ ثانیه ولتاژ شبکه به حالت اصلی بازگشته و در زمان ۰.۸۸ ثانیه بار سلفی وارد مدار شده که در اثر این امر، کاهش ولتاژ محسوسی پیش آمده و در زمان ۰.۹۷ بار سلفی از مدار خارج شده در هنگام خروج بار سلفی،

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1396.6.2.4.3]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 6-No. 2- Autumn 2017 & Winter 2018

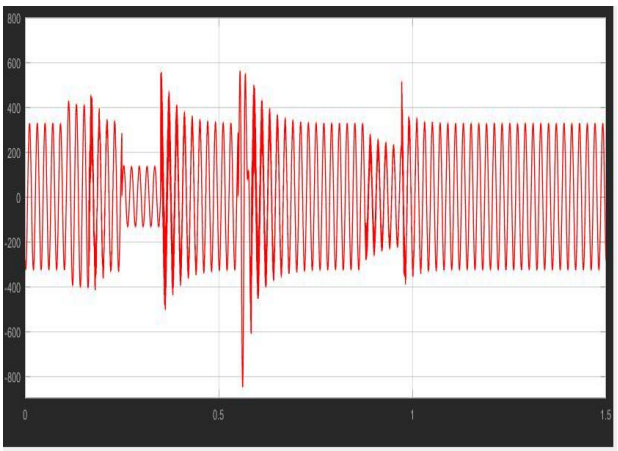
تلفات کلیدزنی ظاهر شده و اضافه ولتاژی در شبکه پدید می‌آید که پس از گذشت مدت زمان کوتاه دوباره شبکه به حالت نرمال خود باز می‌گردد.



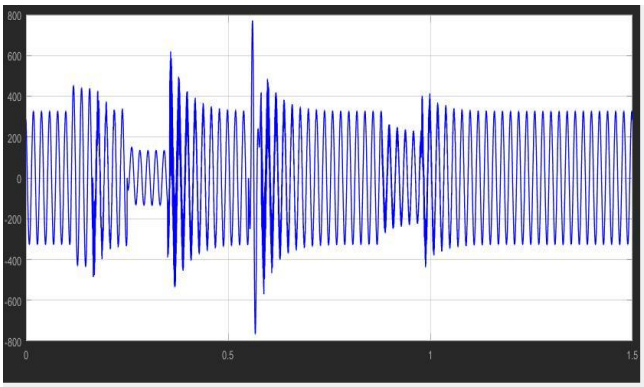
شکل (۳): خروجی ولتاژ سیستم قدرت در اثر ایجاد خطا، ورود و خروج بارهای اهمی، سلفی و خازنی



شکل (۴): موج خروجی فاز A در اثر ایجاد خطا، ورود و خروج بارهای اهمی، سلفی و خازنی



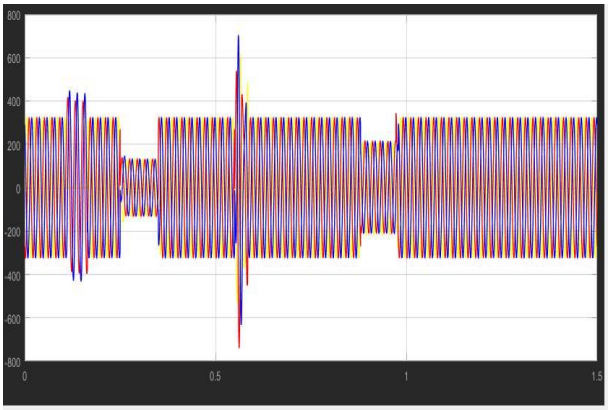
شکل (۵): موج خروجی فاز B در اثر ایجاد خطا، ورود و خروج بارهای اهمی، سلفی و خازنی



شکل (۶): موج خروجی فاز C در اثر ایجاد خطا، ورود و خروج بارهای اهمی، سلفی و خازنی

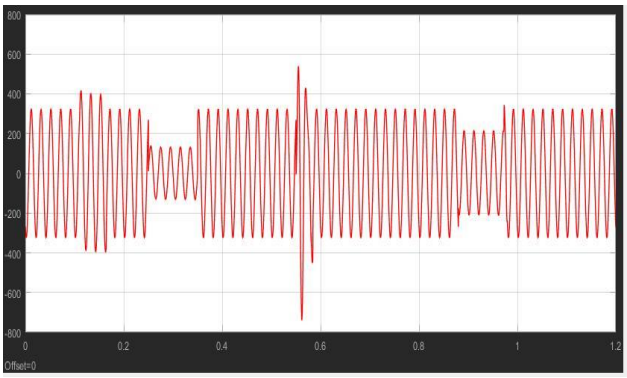
شکل (۷) تغییرات شکل موج خروجی در اثر تغییرات مقاومت مدار اسنابر و بهبود تلفات کلیدزنی را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود با کاهش مقاومت مدار اسنابر کلید قدرت، تلفات کلیدزنی و اضافه ولتاژ ناشی از آن به شدت کاهش یافته است. این کاهش را می‌توان در زمان ورود و خروج بانک خازنی مشاهده کرد، که تنها اضافه ولتاژ بانک خازنی بر روی شبکه ایجاد شده و کلید زنی بانک خازنی اضافه ولتاژ ایجاد نکرده و برای دیگر بارها نیز به همین صورت است. برای کاهش تلفات کلیدزنی مقدار مقاومت مدار اسنابر از 10^6 اهم به مقدار ۱۰۰۰ اهم کاهش داده‌ایم و مقدار خازن همان بی‌نهایت فرض شده است.

در شکل (۸) مشاهده می شود با کاهش مقاومت مدار اسنابر کلید قدرت، تلفات کلیدزنی و اضافه ولتاژ ناشی از آن به شدت کاهش یافته است. این کاهش را می‌توان در زمان ورود و خروج بانک خازنی مشاهده کرد که تنها اضافه ولتاژ بانک خازنی بر روی شبکه ایجاد شده و کلیدزنی بانک خازنی اضافه ولتاژ ایجاد نکرده و برای دیگر بارها نیز به همین صورت است.

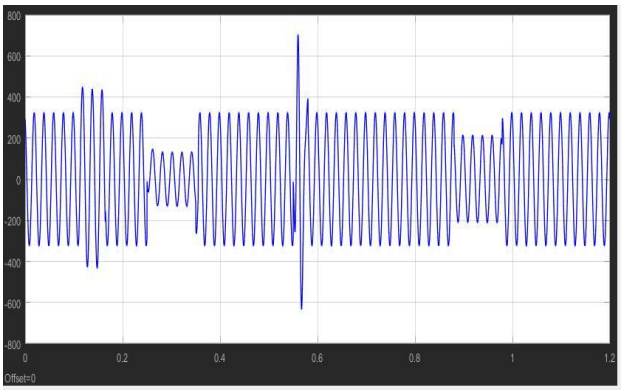


شکل (۷): خروجی ولتاژ سیستم قدرت در اثر ایجاد خطا، ورود و خروج بارهای اهمی، سلفی و خازنی

[DOR: 20.1001.1.23222468.1396.6.2.4.3]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 6-No. 2- Autumn 2017 & Winter 2018
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]



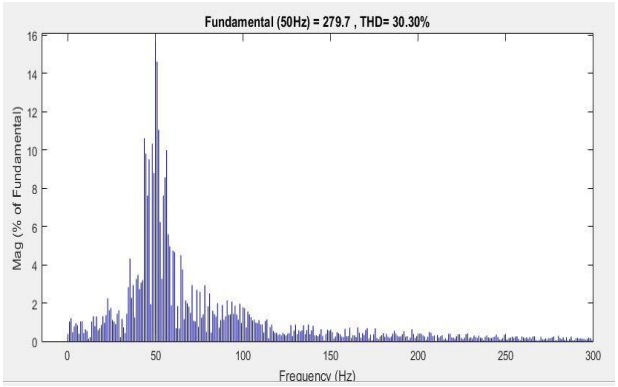
شکل (۸): موج خروجی فاز B در اثر ایجاد خطا، ورود و خروج بارهای اهمی، سلفی و خازنی



شکل (۹): موج خروجی فاز C در اثر ایجاد خطا، ورود و خروج بارهای اهمی، سلفی و خازنی

۳-۱- آنالیز FFT

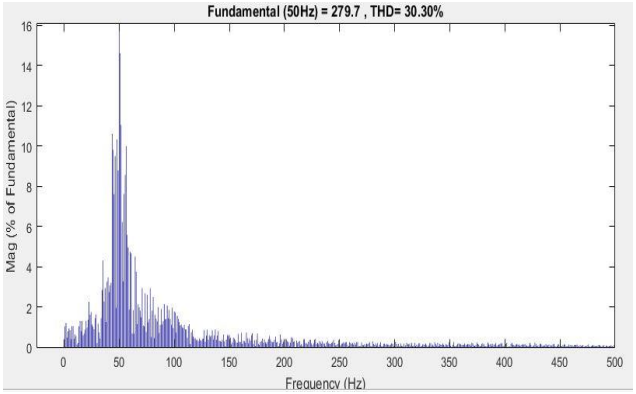
در زمان کلیدزنی باتوجه به طراحی مدار اسنابر می‌توان مقدار تلفات را به طور چشم‌گیری کاهش داد. با توجه به شبیه‌سازی انجام شده و تغییر مقاومت مدار اسنابر کلید قدرت مشاهده شد که تلفات کلیدزنی کاهش یافته و اثرات هارمونیک‌ها کاسته شد. به همین منظور برای بررسی تاثیر کلیدزنی برکاهش هارمونیک‌ها از آنالیز FFT در قسمت POWER gui استفاده کرده‌ایم.



شکل (۱۰): آنالیز FFT برای فرکانس ۳۰۰ هرتز

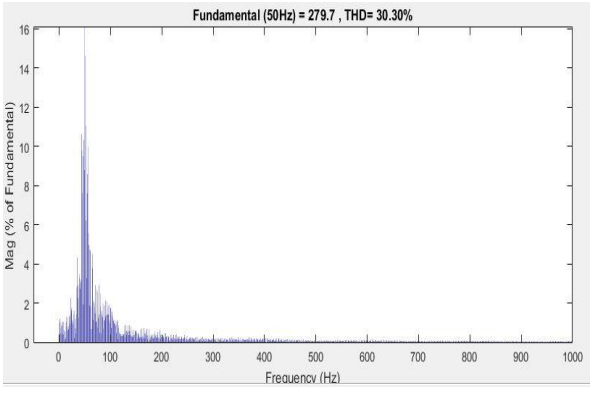
با توجه به شکل (۱۰) مشاهده می‌شود که بیشترین هارمونیک‌ها در زمانی اتفاق می‌افتد که کلیدزنی بارهای در فرکانس ۵۰ هرتز رخ می‌دهد. با توجه به شکل (۱۰)، FFT تا فرکانس ۳۰۰ هرتز بررسی شده است.

در شکل (۱۱) آنالیز FFT تا فرکانس ۵۰۰ هرتز انجام شده که نمایانگر کاهش هارمونیک در فرکانس های بالای ۳۰۰ هرتز است.



شکل (۱۱): آنالیز FFT برای فرکانس ۵۰۰ هرتز

شکل (۱۲) آنالیز FFT سیستم قدرت در فرکانس ۱ کیلوهرتز بررسی شده است. در این بررسی مشخص شد که هارمونیک‌ها از فرکانس ۳۰۰ هرتز به بالا عموماً قابل چشم‌پوشی بوده و می‌بایست برای کلیدزنی، میزان فرکانس کلیدزنی را بین ۳۰۰ هرتز تا ۱ کیلوهرتز انتخاب کنیم.



شکل (۱۲): آنالیز FFT برای فرکانس ۱۰۰۰ هرتز

۴- نتیجه گیری

با توجه به مسائل یاد شده در طی این مقاله، مشخص شد که کیفیت توان مبحث مهم و از اساسی‌ترین فاکتورهای یک سیستم قدرت در شبکه می‌باشد. به طوری که برای بهبود و افزایش کیفیت آن راه-

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1396.6.2.4.3]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 6-No. 2- Autumn 2017 & Winter 2018

کارهای زیادی ارائه شده که هر یک بخشی از این اختلالات پیش آمده را رفع می‌کنند. بدین منظور در این مقاله سعی شده تا بررسی و تحلیل نحوه کلیدزنی و رفع اضافه ولتاژ ناشی از آن رفع شود. با توسعه و پیشرفت لوازم الکترونیکی در صنایع و همچنین مدارات، THD کاهش یافته و تلفات کلیدزنی نیز به همان میزان کاهش می‌یابد. این نتیجه حاصل می‌شود که برای کاهش هارمونیک‌ها می‌بایست کلیدزنی قدرت در فرکانسی غیر از فرکانس ۵۰ هرتز انجام گردد. با توجه به آنالیز FFT، هرچه مقدار فرکانس کلیدزنی بیشتر باشد اثرات هارمونیک‌ها به طور قابل توجهی کاسته می‌شود .

مراجع

[1] شمسی نژاد ، محمدعلی، ارائه یک استراتژی نوین کنترلی برای جبرانساز DVR جهت بهره وری بیشتر از آن در کیفیت توان مصرف کننده ، مجله علمی و پژوهشی کیفیت و بهره‌وری در صنعت برق ایران، سال اول، شماره اول، ۱۳۹۱.

[2] اکبری، احسان، بهینه سازی فیلتر اکتیو جهت بهبود کیفیت توان شبکه-های توزیع نیروی برق به کمک الگوریتم PSO ، همایش ملی مهندسی برق و توسعه پایدار با محوریت دستاوردهای نوین در مهندسی برق، ۱۳۹۲.

[3] یزدانی، محمد روح الله، کاهش نویز در مبدل سوئیچینگ فلای بک به کمک عملکرد لا به لا و اسنابر RCD، اولین کنفرانس ملی ایده های نو در مهندسی برق، دانشگاه آزاد اسلامی خوارستان، اصفهان، ۱۳۹۱.

[4] Sarah Rönnberg, MathBollen, " Power quality issues in the electric power system of the future", The Electricity Journal, Vol. 29, pp. 49-61, December 2016.

[5] M. I. Marei, E. F. El-Saadany, M. M. A. Salama,"Estimation techniques for voltage flicker envelope tracking", Electric Power Systems Research, Vol. 70, pp. 30-37, June 2004.

[6] A. M. Alkandari, S. A. Soliman, "Measurement of a power system nominal voltage, frequency and voltage flicker parameters", International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol. 31, pp. 295-301, September 2009.

[7] Shi Sansheng, Gao Liming, Ma Lei, Chen Zhuoya, Zhang Yuxiao, "Research on Flicker Measurement Algorithm Based on FFT", Energy Procedia, Vol. 14, pp. 1709-1716, June 2012.

[8] Yadaiah Ch, S. K. Goswami, Debashis Chatterjee, "Effect of network reconfiguration on power quality of distribution system", International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol. 83, pp. 87-95, December 2016.

[9] Walid G. Morsi, M. E. El-Hawary, " On the appropriate monitoring period for voltage flicker measurement in the presence of distributed generation", Electric Power Systems Research, Vol. 79, pp. 557-561, April 2009.

[10] Ana Tomasović Teklić, Božidar Filipović-Grčić, Ivica Pavić, "Modelling of three-phase electric arc furnace for estimation of voltage flicker in power transmission network", Electric Power Systems Research, Vol. 146, pp. 218-227, May 2017.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1396.6.2.4.3]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 6-No. 2- Autumn 2017 & Winter 2018
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

Investigation of the effect of switching losses on power quality of power systems

Mehdi Rahnamaei Hashjin[1]

1- MSc student, Department of Electrical Engineering, Iran University of Science and Technology.

Abstract: Power quality is a topic that most electricity companies and even subscribers pay close attention to. A key factor in the review is the expansion of the use of new electrical equipment in the networks. The development of power electronics equipment such as microprocessors, computers, electronic devices, power supply systems, lighting systems and induction furnaces, etc., which are sensitive on the one hand and must possess the highest quality electrical power and on the other hand lack Delivering optimum power to these devices causes effects such as transient or oscillatory phenomena, decreasing or increasing voltage, waveform deviation, frequency shift, voltage imbalance and harmonics. The old reliability index is often used to express power quality in the power grid. In calculating the reliability of power utilities, they mainly base the rate of shared power outages and calculate the average rate of access to electricity. This index is defined as the ratio of the hours of electricity to subscribers and industries to the total hours of a year, and most electricity distribution companies operate with a confidence factor of more than 99.99%. But reliability is not enough to evaluate and express the quality of today's power networks.

Keywords: Power quality, power system, power grid disturbances, switching.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1396.6.2.4.3]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 6-No. 2- Autumn 2017 & Winter 2018
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]