

## ارزیابی کیفیت برق در نقطه اتصال بار اغتشاشی ماشین سازی اراک به شبکه، تحلیل و ارائه راههای بهبود آن

فاطمه سفیانیان<sup>۲</sup>

امیررضا رضایی<sup>۲</sup>

داود جلالی<sup>۱</sup>

سعیده برقی نیا<sup>۱</sup>

Am-122001@yahoo.com

#djalali@nri.ac.ir

sbarghinia@nri.ac.ir

۱. پژوهشکده برق - پژوهشگاه نیرو

۲. شرکت برق منطقه‌ای باختر - دفتر برنامه‌ریزی فنی

تهران - ایران

کلمات کلیدی: کیفیت برق، فلیکر، عدم تعادل ولتاژ، هارمونیک کل ولتاژ، هارمونیک تکی ولتاژ

### ۱- مقدمه:

وظیفه اصلی شرکت‌های برق تامین انرژی الکتریکی مصرف‌کنندگان به طور مداوم و با کیفیت مطلوب می‌باشد. کیفیت نامناسب برق به معنای وجود تغییرات، اغوجاجات یا اغتشاشات در کمیت‌های ولتاژ، جریان و فرکانس می‌باشد که عمدتاً ناشی از اتصال بارهای مولد اغتشاش به شبکه بوده و می‌تواند سبب خرابی یا عملکرد نادرست تجهیزات حساس منصوبه در شبکه و یا مورد استفاده توسط مشترکین گردد. به همین دلیل امروزه در شبکه‌های قدرت با توجه به گسترش سریع تعداد بارهای مولد اغتشاش از قبیل عناصر الکترونیک قدرت، کوره‌های الکتریکی و ... از یک طرف و نیز افزایش روزافزون تعداد مصرف‌کنندگان حساس به اغتشاش از قبیل کامپیوترها، دستگاه‌های حساس الکترونیکی، PLC و ... از طرف دیگر باعث گردیده که کنترل کیفیت انرژی الکتریکی در زمره الزامات اساسی شبکه‌های قدرت قرار داشته باشد. در این راستا به منظور تامین برق با کیفیت

### چکیده:

امروزه کیفیت برق یکی از مباحث مورد توجه صنعت برق کشور می‌باشد. به طوری که با گسترش سریع کاربردهای گوناگون بارهای غیرخطی و حساس در شبکه‌های توزیع، مساله کیفیت برق روز به روز از اهمیت بیشتری برخوردار می‌شود.

در این مقاله به منظور ارزیابی کیفیت برق بار اغتشاشی ماشین‌سازی اراک در ابتدا ضمن ارائه نتایج اندازه‌گیری پارامترهای کیفیت برق در نقطه کویلاژ مشترک (PCC) کارخانه، این مقادیر با حدود مجاز استانداردهای ایران و کشورهای اروپایی (EN50160) مقایسه شده و موارد تخطی از حدود مجاز مشخص شده‌اند. سپس ضمن بررسی و تجزیه و تحلیل علل و چگونگی بهبود پارامترهای غیرمجاز، راههای ارتقاء کیفیت برق و کاهش اثرات مخرب اغتشاشات تزریق شده از طریق این بار اغتشاشی بر روی مصرف‌کننده‌های مجاور تغذیه شونده از پست اراک ۲ ارائه شده‌اند.

کشورهای صنعتی اروپایی و معتبر بودن آن مورد استناد قرار گرفته است). در بخش (۴) مشکلات موجود در فیدر ماشین سازی بررسی شده است. در بخش (۵) راه‌های بهبود کیفیت برق و در بخش (۶) نیز نتیجه گیری نهایی مقاله آمده است.

## ۲- بررسی شاخص‌های کیفیت برق فیدر ماشین‌سازی

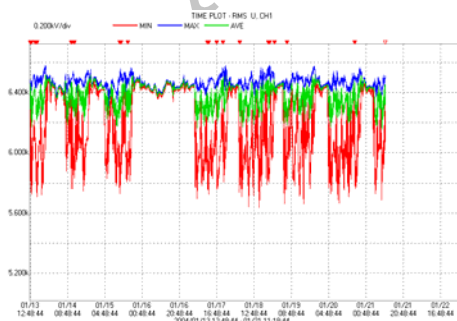
در این بخش، شاخص‌های ولتاژی کیفیت برق فیدر ماشین سازی به دلیل درجه اهمیت آنها و تخطی از حدود مجاز تعیین و بررسی می‌گردند [۵].

### ۱-۲- ولتاژ

تغییرات بلند مدت ولتاژ برای سطح ولتاژ فشار متوسط طبق استاندارد ایران، ۵٪+ (حداکثر ولتاژ) و ۵٪- (حداقل ولتاژ) می‌باشد. بنابراین برای سطح ولتاژ ۱۱ کیلوولت، حداکثر ولتاژ برابر ۱۱/۵۵ و حداقل ولتاژ برابر ۱۰/۴۵ کیلوولت خواهد بود.

در فاز یک حداکثر ولتاژ ۱۱/۴۰۷ کیلوولت و حداقل ولتاژ ۹/۷۶۵ کیلوولت، در فاز دو، حداکثر ولتاژ ۱۱/۳۴۸ کیلوولت و حداقل ولتاژ ۹/۷۰۶ کیلوولت و در فاز سه، حداکثر ولتاژ ۱۱/۳۶۴ کیلوولت و حداقل ولتاژ ۹/۷۱۲ کیلوولت می‌باشد.

ملاحظه می‌شود که حداقل ولتاژ در هر سه فاز از محدوده مجاز تجاوز نموده است. شکل موج ولتاژ فاز اول و نمودار درصدی مقادیر ولتاژ به عنوان نمونه آمده است:



شکل (۱): شکل موج ولتاژ فاز اول فیدر ماشین سازی

مناسب در اکثر کشورهای جهان و از جمله در کشور ما استانداردهای مربوطه تدوین و رعایت آنها نیز الزامی گردیده است.

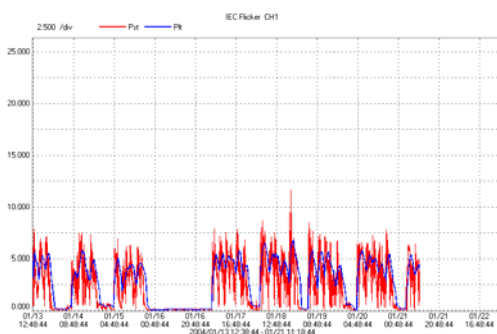
در این مقاله به منظور نشان دادن میزان انتشار اغتشاشات توسط یک بار صنعتی اغتشاش‌زا و چگونگی مخدوش شدن کیفیت برق به واسطه وجود این نوع مصرف‌کنندگان در شبکه و همچنین راه‌های بهبود کیفیت برق و رفع مشکل ایجاد شده، یکی از بارهای صنعتی بزرگ و مهم کشور به عنوان نمونه انتخاب شده است. ماشین‌سازی اراک که بار اغتشاشی منتخب می‌باشد با توجه به نوع فعالیت‌های جاری در آن دارای منابع متعدد اغتشاش‌زا از جمله دستگاههای جوشکاری، یکسوسازها و غیره بوده و با توجه به دیماند قابل توجه آن، تاثیرات بزرگی بر کیفیت برق مصرف‌کنندگان مجاور می‌گذارد. این مصرف‌کننده در پست فوق توزیع اراک ۲ واقع است و دیگرام تک‌خطی این پست در پیوست (۱) آمده است. پست اراک ۲ شامل سه ترانس ۶۳/۲۰kV با ظرفیت ۳۰MVA می‌باشد که فیدر ماشین‌سازی بر روی ترانس T1 قرار دارد. دستگاه اندازه‌گیری کیفیت توان بر روی فیدر ماشین‌سازی به مدت یک هفته نصب و راه‌اندازی شده [۱-۳] و پارامترهای کیفیت برق اندازه‌گیری و جمع‌آوری گردیده است. از آنجایی که این فیدر یک فیدر اغتشاشی می‌باشد جهت بررسی چگونگی جلوگیری از تاثیر آن روی فیدرها و حتی پست‌های مجاور، در سمت ۶۳kV ترانس T1 نیز پارامترهای کیفیت توان به مدت یک هفته اندازه‌گیری و جمع‌آوری گردیده است که نتایج این دو اندازه‌گیری در پیوستهای (۲) و (۳) قرار دارد. سپس تجزیه و تحلیل اطلاعات جمع‌آوری شده از اندازه‌گیری‌ها انجام گرفته و راه‌حل‌های مناسب جهت بهبود کیفیت برق به شرح زیر ارائه گردیده است.

در بخش (۲) این مقاله، شاخصهای پارامترهای کیفیت برق اندازه‌گیری شده در فیدر ماشین‌سازی بررسی و تعیین شده‌اند. در بخش (۳) شاخصهای تعیین شده در بخش (۲) طبق استاندارد ایران و استاندارد EN50160 مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. (استاندارد EN50160 به دلیل کاربرد وسیع آن در

### ۲-۳- فلیکر کوتاه مدت و بلند مدت

شاخص فلیکر کوتاه مدت طبق استاندارد ایران، سومین مقدار داده‌های  $P_{st}$  از بزرگ به کوچک مرتب شده می‌باشد که به ترتیب در فازهای یک، دو و سه برابر  $۸/۷۱۲$ ،  $۹/۴۰۴$  و  $۹/۲۶۵$  می‌باشد. حد مجاز در سطح فشار متوسط برابر  $۰/۹$  می‌باشد. ملاحظه می‌شود که فلیکر کوتاه مدت در هر سه فاز بسیار بیش از حد مجاز بوده است.

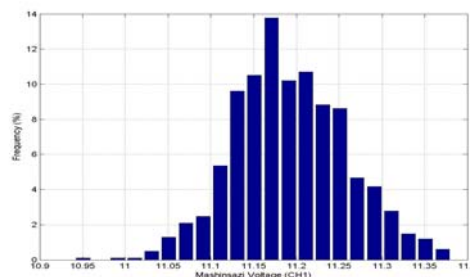
شاخص فلیکر بلند مدت طبق استاندارد حداکثر مقدار  $P_{lt}$  در دوره اندازه‌گیری می‌باشد که به ترتیب در فازهای یک، دو و سه برابر  $۶/۸۵۴$ ،  $۶/۶۴۲$  و  $۶/۷۵۸$  می‌باشد. حد مجاز در سطح فشار متوسط برابر  $۰/۷$  می‌باشد. ملاحظه می‌شود که فلیکر بلند مدت نیز در هر سه فاز تجاوز فاحشی از حد مجاز داشته است. شکل موج فلیکر کوتاه مدت و بلند مدت ولتاژ فاز اول به عنوان نمونه آمده است:



شکل (۵): شکل موج فلیکر کوتاه و بلند مدت ولتاژ فاز اول ماشین سازی

### ۲-۴- هارمونیک کل ولتاژ (THDV)

شاخص اعوجاج هارمونیک کل طبق استاندارد ایران، مقدار بزرگتر از بین حداکثر ولتاژ هارمونیک اندازه‌گیری کوتاه‌مدت (۱۰ دقیقه) و یا احتمال  $۰/۹۵$  ولتاژ هارمونیک در دوره اندازه‌گیری بسیار کوتاه مدت (۳ ثانیه) می‌باشد که به ترتیب در فازهای یک، دو و سه برابر  $۶/۲۹$ ،  $۵/۶$  و  $۵/۶۲$  است. حد مجاز در سطح ولتاژ فشار متوسط  $۵/۵$  می‌باشد. ملاحظه می‌شود که شاخص اعوجاج هارمونیک کل از حد مجاز تجاوز کرده است. شکل موج هارمونیک کل ولتاژ فاز اول و نمودار درصدی مقادیر آن به عنوان نمونه آمده است:



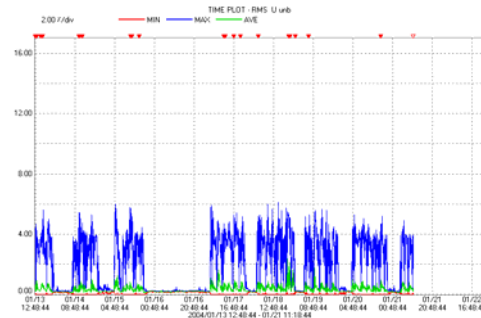
شکل (۲): نمودار درصدی مقادیر ولتاژ فاز اول فیدر ماشین سازی

### ۲-۲- عدم تعادل ولتاژ

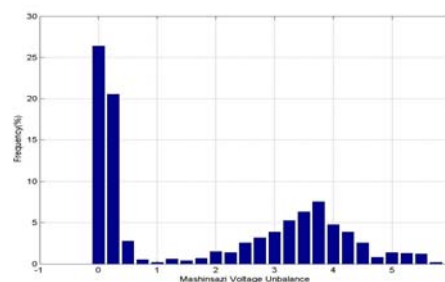
جدول (۱): مقادیر نامتعادلی ولتاژ با احتمال  $۰/۹۵$  در هر روز هفته

دوشنبه	یکشنبه	شنبه	جمعه	پنجشنبه	چهارشنبه	سه شنبه
۴/۵۷	۵/۳۹	۵/۱۹	۴/۶۹	۴/۱۰	۴/۴۲	۴/۶۸

شاخص عدم تعادل ولتاژ طبق استاندارد ایران، بزرگترین احتمال  $۰/۹۵$  حداقل در چهار روز (شامل تعطیلی آخر هفته) می‌باشد. بدین ترتیب شاخص عدم تعادل ولتاژ برابر  $۵/۳۹$  می‌باشد. حد مجاز در سطح ولتاژ فشار متوسط  $۰/۲$  می‌باشد. ملاحظه می‌شود که شاخص عدم تعادل ولتاژ از حد مجاز تجاوز کرده است. شکل موج نامتعادلی ولتاژ و نمودار درصدی مقادیر آن آمده است:



شکل (۳): شکل موج نامتعادلی ولتاژ فیدر ماشین سازی



شکل (۴): نمودار درصدی مقادیر نامتعادلی ولتاژ فیدر ماشین سازی

بدین ترتیب ملاحظه می‌شود که دامنه هارمونیک‌های مرتبه سوم و پنجم در هر سه فاز از حد مجاز تجاوز کرده است.

### ۲-۵-۲- هارمونیک‌های زوج ولتاژ

در جدول زیر مقادیر ماکزیمم دامنه هارمونیک‌های زوج ولتاژ سه فاز به صورت درصد تا هارمونیک چهاردهم آمده است. حد مجاز دامنه هارمونیک‌های زوج ولتاژ در سطح ولتاژ فشار متوسط ۱/۵٪ می‌باشد.

جدول (۳): مقادیر ماکزیمم دامنه هارمونیک‌های زوج ولتاژ سه فاز

هارمونیک	۲	۴	۶	۸	۱۰	۱۲	۱۴
فاز یک	۵/۴۶	۲/۶۶	۱/۵۶	۱/۰۶	۰/۷۹	۰/۶۵	۰/۷۹
فاز دو	۴/۶۸	۲/۶۴	۱/۷۱	۱/۱۵	۰/۷۸	۰/۶۶	۰/۷۵
فاز سه	۴/۷۴	۲/۶۱	۱/۶۱	۱	۰/۸۲	۰/۶	۰/۸۱

بدین ترتیب ملاحظه می‌شود که دامنه هارمونیک‌های مرتبه دوم، چهارم و ششم در هر سه فاز از حد مجاز تجاوز کرده است.

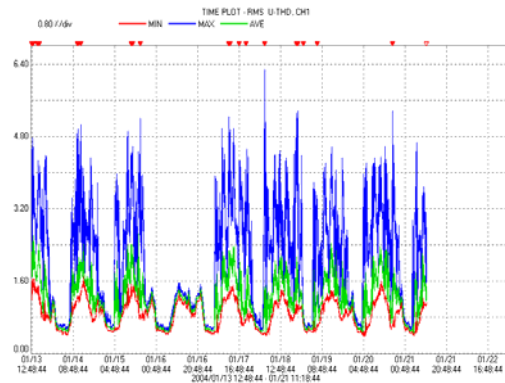
### ۲-۶- هارمونیک‌های میانی ولتاژ

در جدول زیر مقادیر ماکزیمم دامنه هارمونیک‌های میانی ولتاژ در هر سه فاز تا هارمونیک ۶/۵ نشان داده شده است. حد مجاز دامنه هارمونیک‌های میانی در سطح ولتاژ فشار متوسط ۰/۲٪ می‌باشد.

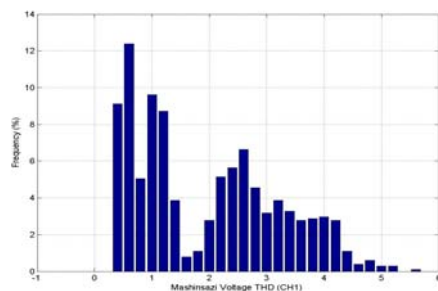
جدول (۴): مقادیر ماکزیمم دامنه هارمونیک‌های میانی ولتاژ سه فاز

هارمونیک	۰/۵	۱/۵	۲/۵	۳/۵	۴/۵	۵/۵	۶/۵
فاز یک	۲/۸۸	۴/۷۷	۲/۲۷	۱/۹۵	۱/۳۹	۱/۳۶	۱/۱۶
فاز دو	۳/۸۲	۴/۲۹	۲/۰۶	۱/۸۴	۱/۴۸	۱/۴۵	۱/۰۲
فاز سه	۳/۶۷	۴/۱۳	۲/۳۴	۱/۶۷	۱/۳۶	۱/۴۱	۱/۱۸

با توجه به پاسخ فرکانسی CT و PTها و بررسی تا هارمونیک مرتبه ۱۵ ملاحظه می‌شود که هارمونیک‌های ضریب ۰/۵ تا ۱۵/۵ در هر سه فاز از حد مجاز تجاوز کرده‌اند.



شکل (۶): شکل موج هارمونیک کل ولتاژ فاز اول فیدر ماشین سازی



شکل (۷): نمودار درصدی مقادیر هارمونیک کل ولتاژ فاز اول ماشین‌سازی

### ۲-۵-۲- هارمونیک‌های ولتاژ

از آنجایی که پاسخ فرکانسی CT و PTها محدود می‌باشد لذا تا هارمونیک مرتبه ۱۵ قابل بررسی است و هارمونیک‌های مرتبه‌های بالاتر با اعوجاج و خطای اندازه‌گیری همراه می‌باشد. قابل توجه است که در استاندارد EN50160 نیز تا هارمونیک مرتبه ۲۵ در نظر گرفته شده است.

### ۲-۱-۵-۲- هارمونیک‌های فرد ولتاژ

در جدول زیر مقادیر ماکزیمم دامنه هارمونیک‌های فرد ولتاژ سه فاز به صورت درصد تا هارمونیک پانزدهم آمده است. حد مجاز دامنه هارمونیک‌های فرد ولتاژ در سطح فشار متوسط ۳٪ می‌باشد.

جدول (۲): مقادیر ماکزیمم دامنه هارمونیک‌های فرد ولتاژ سه فاز

هارمونیک	۳	۵	۷	۹	۱۱	۱۳	۱۵
فاز یک	۴/۰۴	۳/۳۷	۱/۸۸	۱/۰۴	۰/۸۱	۰/۶۶	۱/۲۲
فاز دو	۴/۲۳	۳/۳۳	۱/۹	۱/۱۲	۰/۸۳	۰/۷۲	۱/۲
فاز سه	۳/۹۵	۳/۳۲	۲/۰۶	۱/۰۳	۰/۷۸	۰/۶۸	۱/۲۶

باشد در این فیدر احتمال تجمعی ۹۵٪ فلیکر بلندمدت به ترتیب ۵/۶۱۶، ۵/۹۸۳ و ۵/۸۱ می‌باشد و این نشان می‌دهد که این فیدر طبق استاندارد اروپایی نیز از لحاظ فلیکر مشکل اساسی و جدی دارد.

➤ افزایش THD ولتاژ در هر سه فاز اکثراً مربوط به حالات گذرای سیستم می‌باشد. احتمال تجمعی ۹۵٪ THD ولتاژ در هر سه فاز به طور متوسط ۴/۳٪ می‌باشد که در محدوده مجاز است.

➤ افزایش هارمونیک مرتبه سوم و پنجم ولتاژ هر سه فاز مربوط به ماهیت بار می‌باشد. البته طبق استاندارد EN50160 که می‌بایست احتمال تجمعی ۹۵٪ هارمونیک ۳، ۵٪ و هارمونیک ۵، ۶٪ باشد این فیدر از نظر هارمونیک فرد مشکل خاصی ندارد.

➤ افزایش هارمونیک مرتبه دوم، چهارم و ششم ولتاژ هر سه فاز مربوط به ماهیت بار و وجود اتصالاتی‌ها در شبکه می‌باشد. طبق استاندارد EN50160 که احتمال تجمعی ۹۵٪ هارمونیک ۲ می‌بایست ۲٪ و هارمونیک ۴، ۱٪ و بقیه ۰/۵٪ باشد در این فیدر احتمال تجمعی ۹۵٪ هارمونیک ۲ در هر سه فاز به ترتیب ۲/۷۶٪، ۲/۸۹٪ و ۲/۷۷٪ می‌باشد و این نشان می‌دهد که حتی در استاندارد اروپایی نیز این فیدر از نظر هارمونیک زوج مشکل دارد.

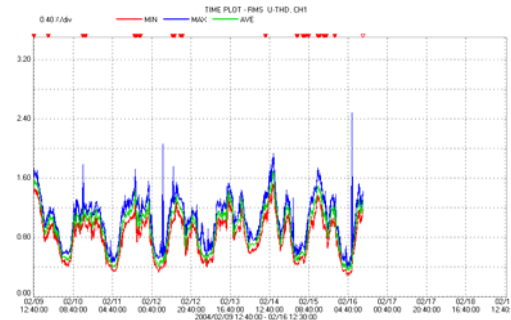
#### ۴- بررسی مشکلات کیفیت برق در فیدر ماشین‌سازی ۴-۱- هارمونیک

یکی از مشکلات نه چندان جدی در فیدر ماشین‌سازی، وجود هارمونیک‌های غیرمجاز مرتبه سوم و پنجم و هارمونیک‌های دوم، چهارم و ششم و نیز بالا بودن هارمونیک کل ولتاژ در هر سه فاز می‌باشد.

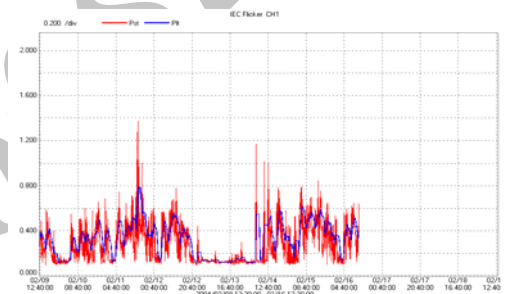
هارمونیک‌های مرتبه سوم یکی از مهمترین موضوعات در سیستم‌های با ستاره زمین شده است که جریان در نوترال آنها وجود دارد. نوع اتصال سیم‌پیچ ترانسفورماتور، تاثیر بسزایی در عبور جریان‌های هارمونیک مرتبه سوم ناشی از بارهای غیرخطی تکفاز دارد. قطع نمودن اتصال نوترال در یک یا دو طرف سیم‌بندی‌های ستاره، عبور جریان هارمونیک مرتبه سوم را سد می‌نماید [۶].

#### ۷-۲- نمونه‌هایی از اندازه‌گیری در سمت ۳kV ترانس T1

شکل موج هارمونیک کل ولتاژ فاز اول و شکل موج فلیکر کوتاه مدت و بلند مدت ولتاژ فاز اول به عنوان نمونه آمده است:



شکل (۸): شکل موج هارمونیک کل ولتاژ فاز اول ترانس T1



شکل (۹): شکل موج فلیکر کوتاه‌مدت و بلندمدت ولتاژ از اول ترانس T1

#### ۳- ارزیابی شاخص‌های کیفیت برق اندازه‌گیری شده در فیدر ماشین‌سازی

از بررسی شاخص‌های کیفیت توان اندازه‌گیری شده در فیدر ماشین‌سازی چنین برمی‌آید که:

- کاهش ولتاژ در هر سه فاز مربوط به ماهیت بار می‌باشد و میزان کاهش ولتاژ در هر سه فاز با مقادیر مینیمم ثبت شده به ترتیب ۱۱/۲۲۷٪، ۱۱/۷۶۴٪ و ۱۱/۷۰۹٪ می‌باشد.
- افزایش درصد عدم تعادل ولتاژ مربوط به ماهیت بار می‌باشد. احتمال تجمعی ۹۵٪ عدم تعادل ولتاژ در تمامی روزهای هفته بالا بوده و در حدود ۴/۷٪ می‌باشد. بنابراین طبق استاندارد EN50160 نیز این فیدر از نظر عدم تعادل ولتاژ مشکل دارد.
- افزایش فلیکر کوتاه مدت و بلندمدت هر سه فاز مربوطه به ماهیت بار می‌باشد. طبق استاندارد EN50160 که می‌بایست احتمال تجمعی ۹۵٪ فلیکر بلندمدت کمتر از ۱

راهکارهای زیر جهت جلوگیری از اعوجاجات هارمونیکی به ویژه هارمونیک پنجم توصیه می‌شود [۷-۹]:

- ۱- جابجایی فاز ۳۰ درجه‌ای نیمی از مبدل‌های شش پالسی (در صورت وجود) و در نتیجه دارا بودن مزایای مبدل دوازده پالسی جهت کاهش هارمونیک پنجم
- ۲- سری نمودن راکتور با خازن سیستم
- ۳- استفاده از فیلتر پسیو
- ۴- استفاده از فیلتر اکتیو
- ۵- استفاده از فیلتر هیبرید

#### ۴-۲- فلیکر

مشکل اساسی و جدی در فیدر ماشین‌سازی ایجاد فلیکر خیلی بالا می‌باشد. از عوامل ایجاد فلیکر در شبکه می‌توان موارد زیر را برشمرد [۱۰]:

- راه‌اندازی موتورها
  - بارهایی که جریان ناگهانی و بالا می‌کشند نظیر دستگاههای جوش قوسی یا نقطه‌ای، کوره‌های القایی یا قوسی (این بارها باعث تغییرات ناگهانی در ولتاژ تغذیه شده و در نتیجه باعث ایجاد فلیکر می‌شوند).
  - جهت جلوگیری از فلیکر راهکارهای زیر پیشنهاد شده‌اند:
  - استفاده از راه‌اندازهای موتوری نظیر راه‌اندازهای موتوری الکترونیکی (ASD)
  - استفاده از خازن‌های سری در مدار تغذیه موتورهای عامل ایجاد فلیکر
  - استفاده از جبران‌کننده‌های استاتیکی توان راکتیو (SVC)
  - تغییر آرایش سیستم
- درخصوص فیدر ماشین‌سازی با توجه به ماهیت بارهای موجود در آن که عمدتاً دستگاههای جوشکاری و یکسوسازهای الکترونیکی می‌باشند، یکی از دو راه حل زیر قابل کاربرد می‌باشد:

الف - تغییر آرایش سیستم

ب - استفاده از SVC

البته در هنگام عدم تعادل فازها هارمونیک‌های مرتبه سوم حتی در هنگامی که انتظار وجود آنها نمی‌رود ایجاد می‌شوند یک مورد قابل توجه از این حالت وجود کوره قوس الکتریکی سه فاز می‌باشد. گرچه این کوره‌ها توسط اتصال مثلث تغذیه می‌شوند ولی زمانی که در حال کار کردن در شرایط نامتعادل باشند هارمونیک مرتبه سوم زیادی را در جریان خط بوجود می‌آورند. از دیگر عوامل تولید هارمونیک سوم می‌توان به منابع تغذیه سوئیچینگ اشاره نمود. چون مولفه‌های هارمونیک سوم جریان در نقطه نوترال با یکدیگر جمع می‌شوند لذا افزایش کاربرد منابع تغذیه سوئیچینگ باعث اضافه بار در هادی‌های نوترال می‌گردد. بنابراین احتمال بروز افزایش هارمونیک مرتبه سوم در فیدر ماشین‌سازی با شرایط فوق می‌تواند وجود داشته باشد.

از منابع تولید هارمونیک مرتبه پنجم نیز می‌توان به یکسوکننده‌های قدرت، دستگاههای جوشکاری، کوره‌های القایی و کوره‌های قوس الکتریکی و ... اشاره نمود که در فیدر ماشین‌سازی از آنها استفاده شده است.

زمانی که هر دو نیم سیکل مثبت و منفی یک موج شبیه یکدیگر باشند سری فوریه فقط شامل هارمونیک‌های فرد خواهد بود. وجود هارمونیک‌های زوج اغلب نشان‌دهنده وجود اشکالی در سیستم می‌باشد. این اشکال می‌تواند ناشی از بار و یا وجود حادثه‌ای در سیستم باشد. از آنجایی که در طی اندازه‌گیری در فیدر ماشین‌سازی حادثه خاصی اتفاق نیافتاده است وجود هارمونیک‌های دوم، چهارم و ششم ناشی از بار خواهد بود. به عنوان نمونه کوره‌های قوس الکتریک که در آن قوس به صورت اتفاقی زده می‌شود می‌تواند تولیدکننده هارمونیک زوج باشد. همچنین بارهایی که رفتار آنها مشابه ایجاد اتصال کوتاه در سیستم باشد (مشابه آنچه که در ماشین‌سازی دیده می‌شود) می‌توانند تولیدکننده هارمونیک زوج باشند.

بدین ترتیب به نظر می‌رسد که عمده منبع تولید هارمونیک در این فیدر وجود بارهای تکفاز باشد که هم باعث افزایش هارمونیک سوم و هم هارمونیک دوم می‌شود.

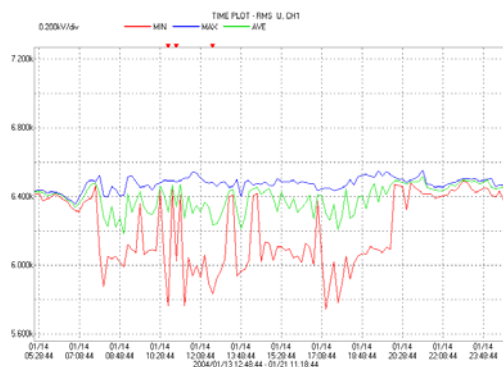
### ۳-۴- عدم تعادل ولتاژ

از دیگر مشکلات بارز در فیدر ماشین‌سازی، نامتعادلی ولتاژ می‌باشد. از عوامل تولید نامتعادلی ولتاژ در فیدر ماشین‌سازی می‌توان به وجود بارهای تکفاز اشاره کرد. از اثرات نامتعادلی ولتاژ می‌توان موارد زیر را نام برد:

- عدم استفاده از ظرفیت نامی توان سه فاز
  - ایجاد تلفات حرارتی در سیم‌پیچ مثلث ترانسفورماتور به علت ایجاد جریان گردشی در آن توسط جریانهای صفر
  - ایجاد تلفات حرارتی در موتورها به علت ایجاد میدان گردان منفی توسط جریانهای مولفه منفی
- راهکارهای مهم جهت جلوگیری از انتشار عدم تعادل ولتاژ استفاده از جبران‌کننده SVC و یا ترانسفورماتورهای با اتصال مثلث می‌باشد.

### ۴-۴- کاهش ولتاژ بلند مدت

مشکل افت ولتاژ در فیدر ماشین‌سازی، به دلیل وجود حالت نوسانی در ولتاژ به احتمال زیاد مربوط به جوشکاری خواهد بود. به عنوان نمونه شکل موج ولتاژ فاز اول در یک بازه زمانی مشخص به صورت Scale شده در زیر دیده می‌شود:



شکل (۱۰): شکل موج ولتاژ فاز اول ماشین‌سازی در یک بازه زمانی مشخص

### ۵- ارائه راه‌های بهبود کیفیت توان در فیدر ماشین‌سازی

با توجه به اغتشاشی بودن فیدر ماشین‌سازی لازم است که تمهیداتی بکار برده شود تا از تاثیر اغتشاشات این فیدر بر روی فیدرهای مجاور و مشترکین تغذیه شونده از آنها

جلوگیری شود. بدین منظور راهکارهای زیر پیشنهاد می‌گردد] ۱۱ و ۱۲]:

– استفاده از جبران‌کننده SVC جهت کاهش فلیکر و نامتعادلی ولتاژ یکی از مناسب‌ترین روشها می‌باشد متها هزینه آن بالا بوده و نیز دارای مشکلات بهره‌برداری و نگهداری که ناشی از پیچیدگی سیستم است، می‌باشد. بدین منظور و در صورت عدم امکان استفاده از SVC روش‌های زیر می‌توانند به عنوان جایگزین در نظر گرفته شوند.

الف- تغییر آرایش سیستم در پست اراک ۲ یکی از بهترین و عملی‌ترین راه‌حلها می‌باشد. همچنانکه می‌دانیم پست اراک ۲ شامل سه ترانس هر کدام با ظرفیت ۳۰MVA می‌باشد. از آنجایی که در دو ترانسفورماتور مجاور هم و غیرموازی، اغتشاشات یک فیدر روی فیدرهای مجاور همان ترانس تاثیر بیشتری دارد تا فیدرهایی از ترانسهای دیگر، لذا پیشنهاد می‌گردد کوپلاژ بین شینه‌های فشار متوسط ترانسفورماتورها باز نگهداشته شده و سپس فیدرهای اغتشاش‌زا نظیر فیدرهای ماشین‌سازی و آذراب و ... به شینه فشار متوسط یک ترانسفورماتور و فیدرهایی که به اغتشاشات حساس می‌باشند و نیز فیدرهای مصارف شهری و خانگی روی شینه‌های ترانسفورماتورهای دیگر قرار داده شوند. البته بدیهی است که جابجایی فیدرها می‌بایست با توجه به ظرفیت هر یک از ترانسها صورت پذیرفته و در انجام این کار دقت گردد که روی شینی که فیدرهای ماشین‌سازی به آن متصل است به هیچ عنوان فیدر مربوط به مصارف شهری و نیز فیدرهای شامل بارهای حساس قرار نگیرند. با انجام این کار تاثیر فیدرهای اغتشاش‌زا روی فیدرهای دیگر در سطح ولتاژ بالاتر که سطح اتصال کوتاه بالاتری نیز دارد صورت پذیرفته و در نتیجه تاثیر اغتشاشاتی نظیر فلیکر و نامتعادلی و ... روی فیدرهای حساس به مراتب کمتر خواهد شد. ولی ذکر این نکته ضروری است که در این حالت سایر فیدرهای متصل به شینه ماشین‌سازی همچنان در معرض اغتشاشات بالا و غیر مجاز ناشی از فیدر ماشین‌سازی خواهند بود.

ب- تغییر آرایش در پست اراک ۲ می‌تواند به طریق دیگری نیز صورت پذیرفته به نحوی که مشکل موجود در

## ۶- نتیجه‌گیری:

در این مقاله جهت بررسی و ارزیابی کیفیت برق ناشی از وجود در یک بار اغتشاشی در شبکه و تاثیر آن بر روی مصرف‌کنندگان مجاور، کارخانه ماشین‌سازی اراک که یکی از بارهای صنعتی مهم در شبکه برق کشور و دارای منابع اغتشاشی متعدد می‌باشد انتخاب شده است. پس از انجام عملیات اندازه‌گیری پارامترهای کیفیت برق در فیدر ماشین‌سازی و سپس ارزیابی آن مشخص گردید که در اکثر موارد، پارامترهای مذکور از حدود مجاز مشخص شده در استانداردها تجاوز نموده‌اند و این تجاوز از حدود مجاز در مورد فلیکر بسیار جدی و اساسی می‌باشد. پس از بررسی‌ها و تحلیل‌های صورت گرفته مشخص گردید که مناسب‌ترین روش جهت جلوگیری از نفوذ تاثیر عوامل اغتشاشی این فیدر روی مصرف‌کنندگان مجاور آن است که یک ترانس اختصاصی جهت تغذیه آن در نظر گرفته شود. بدین ترتیب تاثیر اغتشاشات این بار روی بارهای مجاور به مراتب خیلی کمتر خواهد شد. بدین ترتیب می‌توان این نتیجه مهم را گرفت که در مورد یک مصرف‌کننده اغتشاشی، تنها میزان دیماند مصرفی نمی‌تواند نشان‌دهنده سطح ولتاژ انتخابی برای تغذیه آن مصرف‌کننده باشد بلکه می‌بایست با توجه به کیفیت برق مصرف‌کننده، نقطه اتصال آن به شبکه (PCC) آن تعیین گردد.

بنابراین در صورتی که بار اغتشاشی داشته باشیم که به دیماند کمتر نیاز داشته ولی دارای کیفیت برق نامناسب باشد، PCC آن باید از سطح ولتاژ بالا که سطح اتصال کوتاه بالاتری دارد انتخاب شود. بدین ترتیب پیشنهاد می‌گردد که آیین‌نامه و دستورالعمل برقراری انشعاب مشترکین صنعتی با توجه به نتایج فوق‌الذکر اصلاح شده و علاوه بر دیماند مشترکین، میزان اغتشاشی بودن بار نیز به عنوان معیار انتخاب سطح ولتاژ برقراری انشعاب قرار داده شود.

روش قبلی را نداشته باشد در واقع این راه حل که می‌تواند مناسب‌ترین باشد آن است که جهت جلوگیری از نفوذ تاثیر پارامترهای ماشین‌سازی (دارای اغتشاشات فراوان) روی فیدرهای مجاور و نیز فیدرهای ترانس‌های دیگر از یک ترانس اختصاصی در پست اراک ۲ جهت تغذیه ماشین‌سازی استفاده شود و بدین ترتیب دیماند مورد نیاز ماشین‌سازی از سطح ولتاژ فوق توزیع تامین گردد. بدین ترتیب با تغییر نقطه کولپلاژ مشترک (PCC) ماشین‌سازی به سطح ولتاژ فوق توزیع که سطح اتصال کوتاه بالایی دارد، تاثیر اغتشاشاتی نظیر فلیکر از فیدر ماشین‌سازی روی فیدرهای دیگر خیلی کمتر خواهد شد. از طرف دیگر سیم‌پیچ ثانویه ترانس که به صورت مثلث بسته می‌شود می‌تواند از انتشار هارمونیک سوم و نامتعادلی نیز جلوگیری نماید. اندازه‌گیری‌های صورت گرفته در سمت فوق توزیع ترانس مربوطه نیز صحت درستی عملکرد این راه حل را نشان می‌دهد. همچنانکه مشاهده گردید فیدر ماشین‌سازی دارای فلیکر، نامتعادلی ولتاژ و هارمونیک بسیار بالا می‌باشد. از طرف دیگر طی اندازه‌گیری‌های به عمل آمده در ورودی ترانس ۶۳ کیلوولت که فیدر ماشین‌سازی به آن متصل است مشخص گردید که تقریباً مشکلات کیفیت توان ناشی از فیدر ماشین‌سازی در ورودی ترانس مربوطه (شینه ۶۳ کیلوولت) برطرف شده و تخطی پارامترها از محدوده مجاز در صورت وجود بسیار جزئی می‌باشد.

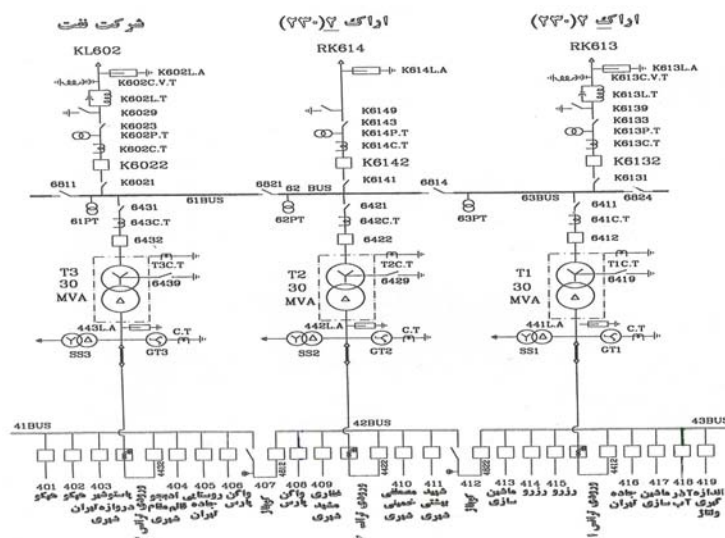
بدین ترتیب راه حل مناسب جهت جلوگیری از نفوذ اغتشاشات ناشی از ماشین‌سازی روی مشترکین مجاور تغذیه‌شونده از پست اراک ۲ آن است که از یک ترانس اختصاصی در پست اراک ۲ جهت تغذیه ماشین‌سازی استفاده شود و دیماند ماشین‌سازی از سطح ولتاژ فوق توزیع تامین گردد. از آنجایی که در پست اراک ۲ دو فیدر فشار متوسط تغذیه‌کننده ماشین‌سازی می‌باشند لذا ترانس با ظرفیت ۱۵MVA می‌تواند بدین منظور اختصاص داده شود. در این حالت سیم‌پیچ مثلث ترانس نیز می‌تواند از انتشار هارمونیک سوم و نامتعادلی نیز جلوگیری نماید. دیاگرام تک خطی پست اراک ۲ در پیوست (۲) آمده است.



## ۷- مراجع

- [۱] استاندارد صنعت برق ایران، مشخصات و خصوصیات انرژی الکتریکی - قسمت ششم - زمین کردن
- [۲] استاندارد صنعت برق ایران، مشخصات و خصوصیات انرژی الکتریکی - قسمت هشتم - مشخصات فنی وسایل اندازه‌گیری و معیار انتخاب آنها
- [۳] استاندارد صنعت برق ایران، مشخصات و خصوصیات انرژی الکتریکی - قسمت نهم - دستورالعمل اندازه‌گیری کیفیت برق بازرسی و اطمینان از کیفیت آن
- [4] British Standard, BS EN50160
- [۵] استاندارد صنعت برق ایران، مشخصات و خصوصیات انرژی الکتریکی - قسمت هفتم - کیفیت برق تحویلی به انواع مشترکین
- [۶] استاندارد صنعت برق ایران، مشخصات و خصوصیات انرژی الکتریکی - قسمت دوم - حدود مجاز هارمونیک‌ها
- [7] Richard Limbert Lenis Chambi, Ricardo Leon Vasquez-Arnez , “A Study of the Harmonic
- Perturbation within the Power Quality in the Bolivian Distribution System”, ISBN 0-7803-6499-6 2000 IEEE.
- [8] Jean -Marc Lupin, Philippe Ferracci, “Power Quality: Monitoring and Innovation in PFC and Harmonic Filtering”, CIRED 2001, 18-21 June, No. 482.
- [9] Raymond E.Beighley, Charles A.Gougler, James R.Johnson, “Application of Active Harmonic Filters for Power Quality Improvement”, ISBN 0-7803-5569-5 1999 IEEE.
- [۱۰] استاندارد صنعت برق ایران، مشخصات و خصوصیات انرژی الکتریکی - قسمت چهارم - تغییرات ولتاژ و فرکانس
- [11] Mladen Kezunovic, “Advanced Assessment of the Power Quality Events”, ISBN 0-7603-6499-6 2000 IEEE.
- [12] Hugh M Ryan, Mark Osborne , “Power Quality: A Perspective of System Problems and Solution Considerations”.

بیوست (۱): دیاگرام تک خطی پست اراک ۲



پیوست (۲): نتایج اندازه‌گیری پارامترهای کیفیت برق در فیدر ماشین‌سازی

توضیحات	تعداد دفعات تجاوز از حد مجاز (۱۰ دقیقه ای)	حد مجاز	احتمال تجمعی ۹۵٪	مقدار مینیمم	مقدار ماکزیمم	پارامترهای کیفیت توان	
						ولتاژ (kV)	پارامترهای کیفیت توان
	۳۲۰ بار کمتر از ۱۰/۴۵ kv	±۵ در ۱۱ kv ۱۰/۴۵ < V < ۱۱/۵۵	۱۱/۱۸۹ < CH1 < ۱۱/۳۱۹	۹/۷۶۵	۱۱/۴۰۷	CH1	ولتاژ (kV)
	۳۸۶ بار کمتر از ۱۰/۴۵ kv		۱۱/۱۴۶ < CH2 < ۱۱/۲۶۲	۹/۷۰۶	۱۱/۳۴۸	CH2	
	۳۴۵ بار کمتر از ۱۰/۴۵ kv		۱۱/۱۵۱ < CH3 < ۱۱/۲۶۴	۹/۷۱۲	۱۱/۳۶۴	CH3	
هارمونیک ۳ و ۵	۷۵ بار	٪۳	٪۳/۰۶ هارمونیک ۳ ام	—	٪۴/۰۴	CH1	اعوجاج هارمونیک ولتاژ (هارمونیک فرد)
هارمونیک ۳ و ۵	۸۱ بار		٪۳/۰۱ هارمونیک ۳ ام	—	٪۴/۲۳	CH2	
هارمونیک ۳ و ۵	۴۸ بار		٪۲/۹۲ هارمونیک ۳ ام	—	٪۳/۹۵	CH3	
هارمونیک ۲ و ۴ و ۶	۳۰۱ بار	٪۱/۵	٪۲/۷۶ هارمونیک ۲ ام	—	٪۵/۴۶	CH1	اعوجاج هارمونیک ولتاژ (هارمونیک زوج)
هارمونیک ۲ و ۴ و ۶	۳۱۴ بار		٪۲/۸۹ هارمونیک ۲ ام	—	٪۴/۶۸	CH2	
هارمونیک ۲ و ۴ و ۶	۳۱۷ بار		٪۲/۷۷ هارمونیک ۲ ام	—	٪۴/۷۴	CH3	
هارمونیکهای تا ۱۲/۵	۶۲۵۱ بار	٪۰/۲	٪۳/۰۲ هارمونیک ۱/۵ ام	—	٪۴/۷۷	CH1	اعوجاج هارمونیکهای میانی ولتاژ
هارمونیکهای تا ۱۲/۵	۶۳۲۷ بار		٪۳/۱۷ هارمونیک ۱/۵ ام	—	٪۴/۲۹	CH2	
هارمونیکهای تا ۱۲/۵	۶۱۷۹ بار		٪۲/۸۶ هارمونیک ۱/۵ ام	—	٪۴/۱۳	CH3	
—	۸ بار	٪۵	٪۴/۲۳	—	٪۶/۲۹	CH1	اعوجاج هارمونیکهای کل ولتاژ
—	۹ بار		٪۴/۳۳	—	٪۵/۶	CH2	
—	۵ بار		٪۴/۰۹	—	٪۵/۶۲	CH3	
	۴۸۴ بار	٪۲	٪۴/۶۸	—	٪۵/۶۶	سه شنبه	عدم تعادل ولتاژ
			٪۴/۴۲	—	٪۶/۰۳	چهارشنبه	
			٪۴/۱۰	—	٪۵/۷۱	پنجشنبه	
			٪۴/۶۹	—	٪۵/۹۴	جمعه	
			٪۵/۱۹	—	٪۶/۰۲	شنبه	
			٪۵/۳۹	—	٪۶/۱۳	یکشنبه	
			٪۴/۵۷	—	٪۵/۶۷	دوشنبه	
	۶۴۳ بار	۰/۹	۶/۶۳۷	—	۱۱/۶۶	CH1	فلیکر (کوتاه مدت)
	۶۴۴ بار		۷/۱۹۴	—	۱۰/۶۹	CH2	
	۶۴۸ بار		۶/۹۰۸	—	۱۰/۲۴۶	CH3	
	۵۰۵ بار	۰/۷	۵/۶۱۶	—	۶/۸۵۴	CH1	فلیکر (بلند مدت)
	۵۰۱ بار		۵/۹۸۳	—	۶/۶۴۲	CH2	
	۴۹۸ بار		۵/۸۱	—	۶/۷۵۸	CH3	

پیوست (۳): نتایج اندازه‌گیری پارامترهای کیفیت برق در ورودی ترانس T1

توضیحات	تعداد دفعات تجاوز از حد مجاز (۱۰ دقیقه ای)	حد مجاز	احتمال تجمعی ۹۵٪	مقدار مینیمم	مقدار ماکزیمم	پارامترهای کیفیت توان	
						ولتاژ (kV)	CH1
	-	$\pm 5\%$ در ۶۳ kV	$64/190 < CH1 < 64/536$	۵۹/۹۹۸	۶۴/۹۵۲	CH1	ولتاژ (kV)
	-	$59/85 < V < 66/15$	$64/207 < CH2 < 64/588$	۶۰/۱۰۲	۶۵	CH2	
	-		$64/103 < CH3 < 64/467$	۵۹/۹۴۶	۶۴/۹	CH3	
هارمونیک ۵	۱۴ بار	٪۱/۵	٪۱/۳۲	-	٪۲/۲۹	CH1	اعوجاج هارمونیک ولتاژ (هارمونیک فرد)
هارمونیک ۵	۲۲ بار		٪۱/۳۶	-	٪۱/۷۵	CH2	
هارمونیک ۵	۲۸ بار		٪۱/۳۷	-	٪۲/۴۶	CH3	
-	-	٪۰/۷	٪۰/۳۱	-	٪۰/۴۸	CH1	اعوجاج هارمونیک ولتاژ (هارمونیک زوج)
-	-		٪۰/۳۰	-	٪۰/۵۹	CH2	
-	-		٪۰/۳۱	-	٪۰/۴۸	CH3	
هارمونیک تا ۱۲/۵	۳۲۶ بار	٪۰/۲	٪۰/۳۲	-	٪۱/۸۱	CH1	اعوجاج هارمونیکهای میانی ولتاژ
هارمونیک تا ۱۲/۵	۳۸۶ بار		٪۰/۳۰	-	٪۲/۱۰	CH2	
هارمونیک تا ۱۲/۵	۴۱۸ بار		٪۰/۳۲	-	٪۲/۳۴	CH3	
-	-	٪۲/۵	٪۱/۵۴	-	٪۲/۴۹	CH1	اعوجاج هارمونیکهای کل ولتاژ
-	-		٪۱/۵۹	-	٪۲	CH2	
-	۱ بار		٪۱/۶۳	-	٪۲/۶	CH3	
	۲۹ بار	٪۱	٪۰/۴۳	-	٪۲/۱۲	دوشنبه	عدم تعادل ولتاژ
			٪۰/۵۲	-	٪۱/۷	سه شنبه	
			٪۱/۱۳	-	٪۲/۲	چهارشنبه	
			٪۰/۴۲	-	٪۱/۹۱	پنجشنبه	
			٪۰/۲۸	-	٪۱/۴۲	جمعه	
			٪۰/۸۹	-	٪۱/۱۸	شنبه	
			٪۰/۹۴	-	٪۱/۲۷	یکشنبه	
	۷ بار	۰/۸	۰/۶۰۳	-	۱/۳۷۴	CH1	فلیکر (کوتاه مدت)
	۵ بار		۰/۵۷۵	-	۱/۹۲۱	CH2	
	۱۶ بار		۰/۶۲۴	-	۱/۶۸۱	CH3	
	۲۰ بار	۰/۶	۰/۵۵۶	-	۰/۷۹۱	CH1	فلیکر (بلند مدت)
	۳۶ بار		۰/۵۴۰	-	۰/۸۷۲	CH2	
	۴۶ بار		۰/۵۹۴	-	۰/۹۷۷	CH3	