اندازه گیری ، بررسی و بهبود نوسانات ولتاژ شبکه توزیع برق شهر مشهد

حمیدرضا محمد زاده[۱] علی اکبر قره‌ویسی[۲] مسعود رشیدی نژاد[۲]
h.mohammadzade@krec.com a_gharaveisi@yahoo.com
۱- شرکت برق منطقه ای خراسان ۲- گروه برق دانشگاه شهید باهنر کرمان

کلید واژه : کیفیت توان ، فلیکر ولتاژ ، ارزیابی فلیکر ولتاژ.

۱- مقدمه

یکی از مهمترین پدیده‌هایی که شرکتهای برق منطقه ای را در امر توزیع برق با مشکل مواجه ساخته، مسئله کیفیت توان ناشی از نوسان ولتاژ می‌باشد. تاثیر نوسان ولتاژ در چشمک زدن لامپها بصورت پدیده فلیکر قابل رویت است[۱] و فلیکر اغلب خود را به صورت سوسوزدن لامپها نشان می دهد. از عوامل اصلی تولید این پدیده، بارهای صنعتی، ماشینهای جوشکاری، کارخانه نورد آهن و کوره های قوس الکتریکی می باشند[۲]. نوسان ولتاژ می تواند نور خروجی لامپهای رشته ای را به مقدار زیادی کاهش دهد ولی لامپهای گازی تاثیر کمتری از این پدیده می پذیرند [۳]. علاوه بر این نوسان ولتاژ می تواند روی گیرنده های تلویزیونی، وسایل کنترل الکترونیکی و کامپیوترها نیز تاثیر بگذارد[۵-۴].

به طور کلی می‌توان گفت: «نوسان ولتاژ تغییرات تصادفی و بی قاعده در شکل موج ولتاژ می‌باشد.»

نوسان ولتاژ را می‌توان به دو دسته کلی تقسیم نمود [۷-۶]:

۱- نوسان ولتاژ ناشی از تجهیزات سیستم که موجب چشمک زدن لامپها می‌گردد .

۲- نوسان ولتاژ ناشی از حالت گذرای دستگاههای مختلف و بخصوص معیوب موجود در شبکه که باعث وارد شدن خسارت به تجهیزات شبکه می‌شود .

نوسان ولتاژ و هارمونیک ولتاژ دو پدیده کاملاً متفاوت هستند. در نوسان ولتاژ اعوجاجهایی در موج ولتاژ دیده می‌شود که بدون قاعده بوده و باعث می‌شوند مقدار موثر ولتاژ نیز تابعی متغیر با زمان‌گردد. ضمناً در نوسان ولتاژ، فرکانس اعوجاجها کوچکتر از مولفه اصلی است، اما در پدیده هارمونیک ولتاژ، تغییرات با قاعده‌ای در شکل موج ولتاژ ایجاد شده و مقدار موثر ولتاژ آغشته به هارمونیک نسبت به زمان همواره ثابت می‌باشد. ضمناً فرکانس هارمونیکها مضرب صحیحی‌از مولفه اصلی است[۸].

در این مقاله به بررسی و آنالیز داده های برداشت شده از پستهای سیستم توزیع برق شهر مشهد خواهیم پرداخت. در هر مورد شاخصهای کوتاه و بلند مدت فلیکر، نمودارهای تغییرات زمانی، احتمال تجمعی و نمودار تداومی مورد بررسی قرار می گیرند. همچنین در ادامه نشان خواهیم داد که با راهکار جایگزین کردن شبکه فشار ضعیف با شبکه فشار قوی می توان با جبران فلیکر بهبود کیفیت توان را نتیجه گرفت.

۲- ارزیابی و اندازه گیری فلیکر ولتاژ

ارزیابی فلیکر به معنای تعیین سطح فلیکر موجود در ولتاژ لحظه‌ای و قابل قبول بودن یا نبودن آن می باشد؟[۹]. به عبارت دیگر آیا سطح فلیکر آزاردهنده است یانه؟ بدین منظور لازم است ابتدا سطح فلیکر اندازه‌گیری شود. بنابراین با دو بحث مهم اندازه‌گیری فلیکر و ارزیابی آن روبرو هستیم.

۲-۱- اندازه گیری فلیکر ولتاژ

فلیکر ولتاژ پدیده‌ای است که می توان آنرا در لامپهای رشته ای مشاهده نمود. اغتشاشهای بوجود آمده در ولتاژ باعث عملکرد نامطلوب تجهیزات الکترونیکی می‌شود، ولی در مبحث فلیکر، اثر آن از نظر آزاردهندگی چشم انسان مورد بررسی قرار گرفته است. اغتشاشهای ولتاژ ممکن است طیف وسیعی از فرکانس را بپوشاند. معمولاً طیفی از اغتشاشها با فرکانس بین ۰,۱ تا ۲۵ یا ۳۰ هرتز را فلیکر می‌نامند. تغییرات ناگهانی در دامنه ولتاژ که با فاصله یک یا چند ثانیه اتفاق می‌افتد و برای مدت چند ثانیه باقی می‌ماند نیز از این دسته به حساب می‌آید. این تغییرات ولتاژ ممکن است منظم و یا اتفاقی باشند. در سالهای اخیر تحقیقاتی جهت یافتن حدود و سطح فلیکر، روشهای اندازه‌گیری آن و وسایل مربوطه انجام گرفته است. طراحی کنونی تجهیزات جبرانسازی که دامنه و طیف اغتشاشهای ولتاژ را تصحیح می‌کنند، مسأله را پیچیده‌تر کرده‌است. در مواردی که از این جبرانسازها استفاده می‌شود، هرچند مؤلفه‌های فرکانس پایین اغتشاشات به طور نسبتاً زیادی تضعیف می‌گردد، اما فلیکرهایی که فرکانس آنها بین ۱۰ الی ۱۵ هرتز می‌باشند کمتر تضعیف می‌شوند. به همین جهت در سالهای اخیر، سیستم بینایی انسان به عنوان مرجع در نظر گرفته شده است[۱۰].

۲-۲- شاخصهای ارزیابی فلیکر و نوسانات ولتاژ

مهمترین روشهای ارزیابی فلیکر ولتاژ عبارتند از[۱۱] :

۱- شاخص ولتاژ فلیکر (Vfg)

۲- شاخص تغییر نسبی ولتاژ (d)

۳- شاخص کوتاه مدت شدت فلیکر (Pst)

۴- شاخص بلند مدت شدت فلیکر (Plt)

در روش Vfg با اندازه‌گیری نوسانات ولتاژ در یک بازه زمانی چند روزه شاخص Vfg محاسبه می شود. اساس کار در روش شاخص تغییر نسبی ولتاژ محاسبه فلیکر با استفاده از شکل موج تغییرات ولتاژ در ترمینالهای دستگاه تحت آزمایش انجام می گیرد که تغییر نسبی ولتاژ را از رابطه ذیل بدست می آید:

$$d = \frac{\Delta u}{u_n} \qquad (۱)$$

بزرگتر شدن مقادیر حالت دائمی و حداکثر تغییر نسبی ولتاژ از یک مقدار معین، نشانه بروز فلیکر و نوسانات ولتاژ می باشد. شاخص کوتاه مدت فلیکر یکی از متداولترین روشهای ارزیابی فلیکر می باشد که با استفاده از روابط زیر بدست می آید.

$$P_{st} = [0.0314F_{0.1S} + 0.052F_{1S} + 0.0657F_{3S} + 0.28F_{10S} + 0.08F_{50S}]^{1/2} \qquad (۲)$$

که $F_{0.1S}$ ، F_{1S}، F_{3S}، F_{10S} و F_{50S} به ترتیب سطوح فلیکری هستند که در یک پریود مشاهده برای ۰/۱ ، ۳ ، ۱۰ و ۵۰ درصد زمان از این حدود بیشتر می شوند. دقت گردد که برای هر سطح باید مقادیر متوسط انتخاب گردند. این مقادیر از روابط زیر بدست می آیند :

$$F_{0.1S} = F_{0.1S}$$
$$F_{1S} = \frac{F_{0.7S} + F_{1S} + F_{1.5S}}{3}$$
$$F_{3S} = \frac{F_{2.2S} + F_{3S} + F_{4S}}{3} \qquad (۳)$$
$$F_{10S} = \frac{F_{6S} + F_{8S} + F_{10S} + F_{13S} + F_{17S}}{5}$$
$$F_{50S} = \frac{F_{30S} + F_{50S} + F_{80S}}{3}$$

شاخص بلند مدت نیز به اینصورت تعیین می شود که ابتدا شاخص کوتاه مدت را برای چند بازه کوتاه مدت بدست می آوریم. سپس P_{lt} از رابطه زیر را بدست می آوریم :

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^{N} P_{sti}^3}{N}} \qquad \begin{matrix} i=۱,۲, \\ ۳,.... \end{matrix} \qquad (۴)$$

که در آن P_{sti} مقادیر شدت P_{st} در بازه‌های کوتاه مدت است N عدد صحیح و برابر **۱۲** می‌باشد بنابراین بازه زمانی اندازه‌گیری P_{lt} برابر ۲ ساعت خواهد بود.

در ایران نیز دو شاخص P_{st} و P_{lt} در استانداردهای ارائه شده از طرف وزارت نیرو مورد توجه قرار گرفته است [۱۳] که مقادیر مجاز این دو شاخص در سطوح ولتاژ مختلف در جدول در استانداردهای مربوطه ارائه شده است.

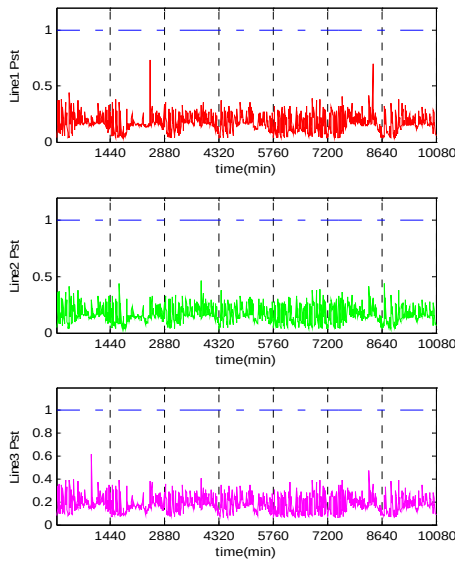
۳- اندازه گیری و بررسی فلیکر ولتاژ شبکه توزیع شهر مشهد

در این بخش با بررسی و آنالیز داده های برداشت شده از چند پست سیستم توزیع برق مشهد کیفیت توان این سیستم را از نظر فلیکر مورد توجه قرار می دهیم.

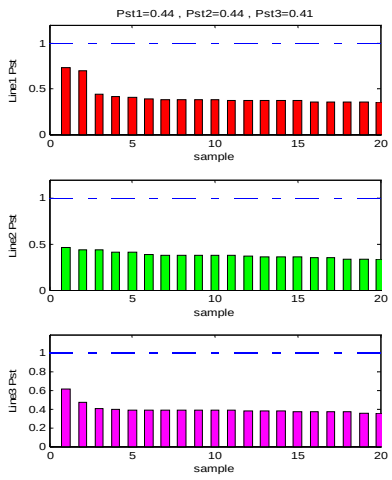
۳-۱ – اندازه گیری و بررسی فلیکر در محل پست داروخانه رضا

پست ۲۰kv داروخانه رضا در امور توزیع برق منطقه ۸ شهر مشهد قرار دارد. این پست که از نوع عمومی (تجاری-

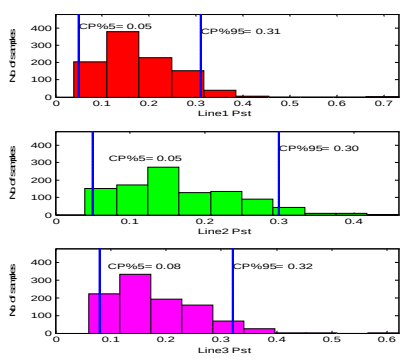
خانگی) می باشد, ترانسی از گروه DYN۵ با قدرت ۸۰۰kVA دارد و کلید اتومات این پست ۱۶۰۰A است. در این پست اندازه گیری داده ها به مدت یک هفته از ۸۴/۰۵/۱۲ تا ۸۴/۰۵/۱۹ انجام گرفته است. منحنیهای (۱) تا (۶) شاخصهای کوتاه مدت و بلند مدت فلیکر را نشان می دهند :



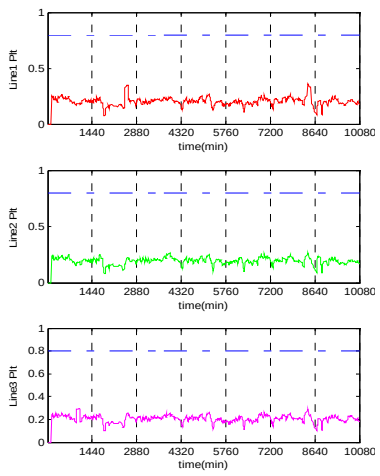
شکل۱: فلیکر کوتاه مدت پست داروخانه رضا



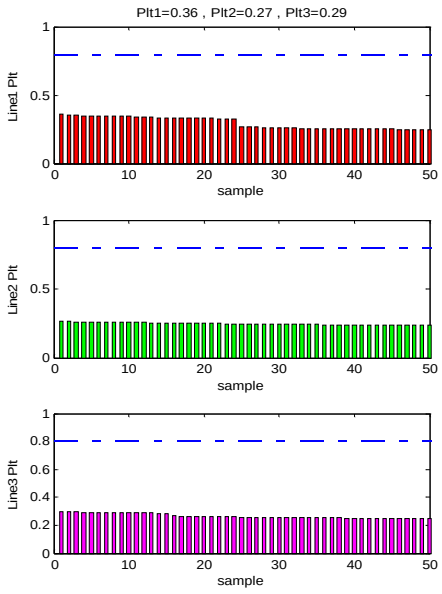
شکل۲: نمودار تداومی فلیکر کوتاه مدت پست داروخانه رضا



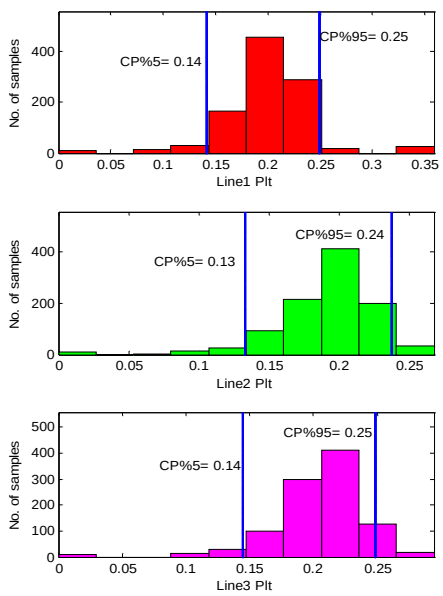
شکل۳: نمودار تجمعی فلیکر کوتاه مدت پست داروخانه رضا



شکل۴: فلیکربلند مدت پست داروخانه رضا



شکل۵: نمودارتداومی فلیکربلندمدت پست داروخانه رضا



شکل۶: نمودارتجمعی فلیکر بلندمدت پست داروخانه رضا

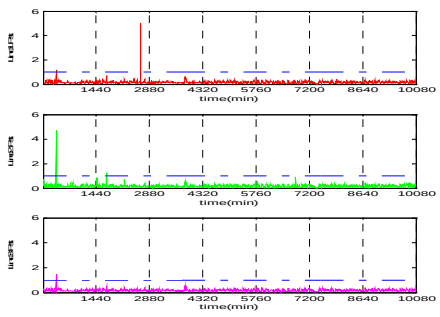
چنانکه در جدول (۱) ملاحظه می شود در این پست، شاخص فلیکر کوتاه مدت و ماکزیمم آن در محدوده مجاز بوده، و حاشیه اطمینان مناسبی را نشان می دهند. فلیکر بلند مدت نیز همینگونه است و بدین ترتیب به نظر می رسد در آینده، در این پست و بارهای مربوط به آن مشکلی از نظر فلیکر ولتاژ ایجاد نخواهد شد.

		فاز اول	فاز دوم	فاز سوم	مقدار مجاز
فلیکر کوتاه مدت	ماکزیمم	۰,۷۳	۰,۴۶	۰,۶۲	۱
	متوسط	۰,۱۷	۰,۱۶	۰,۱۸	–
	Pst	۰,۴۴	۰,۴۴	۰,۴۱	۱
	CP*۹۵٪	۰,۳۱	۰,۳۰	۰,۳۲	–
	CP۵٪	۰,۰۵	۰,۰۵	۰,۰۸	–
فلیکر بلند مدت	ماکزیمم	۰,۳۶	۰,۲۷	۰,۲۹	۰,۸
	متوسط	۰,۲۰	۰,۱۹۱	۰,۲۰	–
	CP۹۵٪	۰,۲۵	۰,۲۴	۰,۲۵	–
	CP۵٪	۰,۱۴	۰,۱۳	۰,۱۴	–

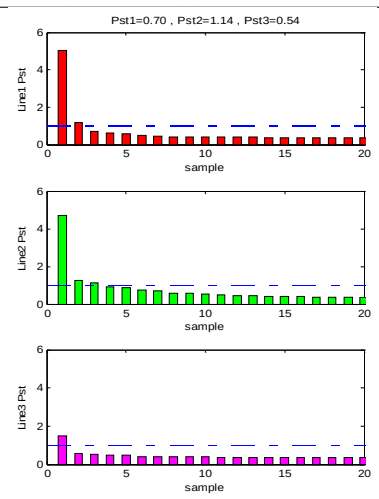
جدول(۱) : وضعیت فلیکر پست داروخانه رضا

۳-۲- اندازه گیری و بررسی فلیکر در محل پست پاساژ انقلاب

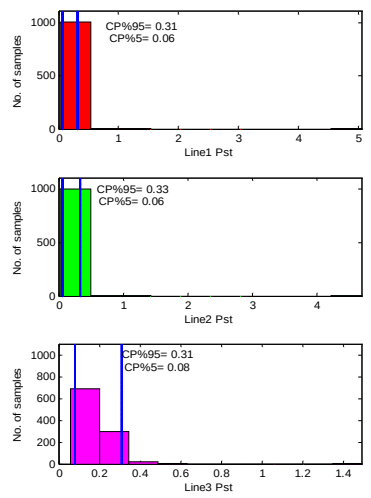
پست ۲۰kv پاساژ انقلاب در امور توزیع برق منطقه۸ قرار دارد. این پست که از نوع عمومی (تجاری-خانگی) می باشد, ترانسی از گروه DYN۵ با قدرت ۱۲۵۰kVA دارد و کلید اتومات این پست ۱۶۰۰A است. در این پست نیز، اندازه گیری به مدت یک هفته از ۸۴/۰۵/۱۹ تا ۸۴/۰۵/۲۶ انجام گرفته است. منحنیهای (۷) تا (۱۲) شاخصهای کوتاه مدت و بلند مدت فلیکر اندازه گیری شده را نشان می دهند.



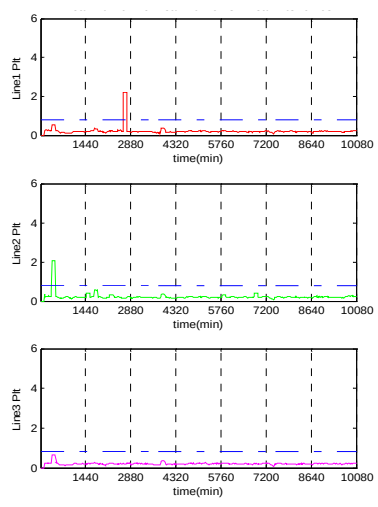
شکل ۷ : فلیکر کوتاه مدت پست پاساژ انقلاب



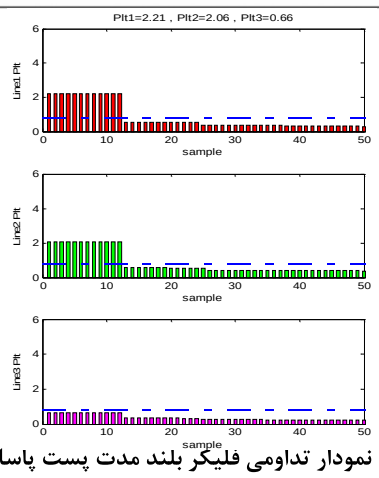
شکل ۸ : نمودار تداومی فلیکر کوتاه مدت پست پاساژ انقلاب



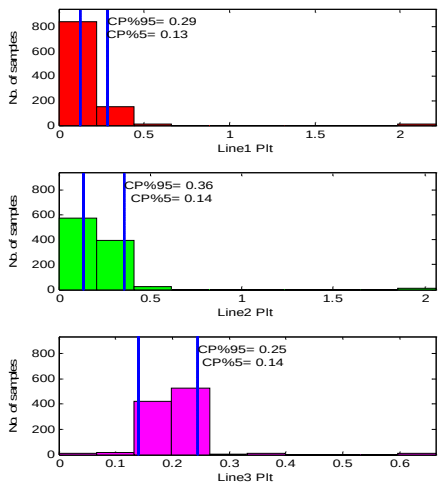
شکل۹ : نمودار تجمعی فلیکر کوتاه مدت پست پاساژ انقلاب



شکل۱۰ : فلیکر بلند مدت پست پاساژ انقلاب



شکل ۱۱ : نمودار تداومی فلیکر بلند مدت پست پاساژ انقلاب



شکل ۱۲ : نمودار تجمعی فلیکر بلند مدت پست پاساژ انقلاب

		فاز اول	فاز دوم	فاز سوم	مقدار مجاز
فلیکر کوتاه مدت	ماکزیمم	۵,۰۵	۴,۶۹	۱,۴۹	۱
	متوسط	۰,۱۷	۱,۱۸	۰,۱۷	-
	Pst	۰,۷۰	۱,۱۴	۰,۵۴	۱
	CP۹۵٪	۰,۳۱	۰,۳۳	۰,۳۱	-
	CP۵٪	۰,۰۶	۰,۰۶	۰,۰۸	-
	تعدادعبورازمجاز	۲	۳	۱	-
فلیکر بلند مدت	ماکزیمم (Plt)	۲,۲۱	۲,۰۶	۰,۶۶	۰,۸
	متوسط	۰,۲۱۹	۰,۲۳۲	۰,۲۰۳	-
	CP۹۵٪	۰,۲۹	۰,۳۶	۰,۲۵	-
	CP۵٪	۰,۱۳	۰,۱۴	۰,۱۴	-
	تعدادعبورازمجاز	۱۲	۱۲	۰	-

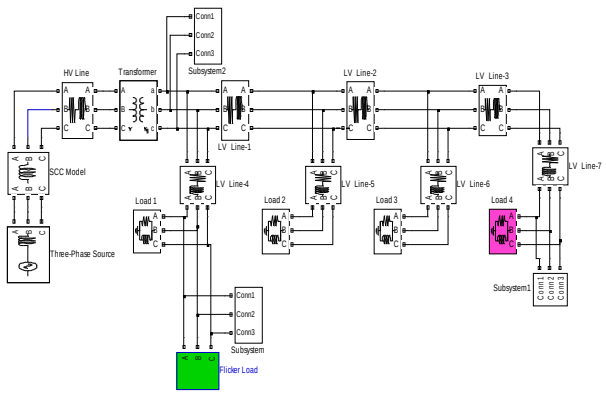
جدول(۲) : وضعیت فلیکر پست پاساژ انقلاب

چنانکه ملاحظه می شود در این پست، شاخص فلیکر کوتاه مدت در فاز دوم و ماکزیمم آن در هر سه فاز و نیز فلیکر بلند مدت در فاز دوم خارج از محدوده مجاز است. هر چند با بررسی شاخصهای احتمال تجمعی مشخص می شود که فلیکر کوتاه مدت و بلند مدت به طور کلی در محدوده مجاز قرار دارند؛ اما با توجه به مقادیر شاخصهای یاد شده و اختلاف زیاد آنها با مقدار مجاز که طبیعتا تاثیر شدیدی در قابل مشاهده بودن فلیکر ولتاژ دارند؛ لازم است که شرکت برق تمهید خاصی در این رابطه اتخاذ نماید.

در مجموع با توجه به اندازه گیریهای نتیجه می گیریم که : در *برخی از پستهای سیستم توزیع مشهد شاخصهای فلیکر کوتاه و بلند مدت و نیز مقادیر ماکزیمم آنها، از مقادیر مجاز فراتر رفته اند که در نتیجه آن ، فلیکر می تواند برای برخی از مشترکین در سطح فشار ضعیف ایجاد مشکل نماید . در اینصورت باید در جهت کاهش سطح فلیکر اقدامات لازم انجام گیرد.*

۴- روش جبران فلیکردر شبکه توزیع برق مشهد.

در این بخش از مقاله ، مدل یکی از فیدرهای توزیع شهر مشهد در محیط simulink ، به صورت شکل(۱۳) مورد بررسی قرار می گیرد.



شکل۱۳: شبکه فشار ضعیف شهر مشهد با بار فلیکرزا در ابتدای خط

بار مولد فلیکر در این شبیه سازی به صورت یک مدل ساده متشکل از یک جریان سه فاز ۵۰ هرتز به همراه یک پوش با فرکانسی کمتر از ۵۰ هرتز, در نظر گرفته می شود. جریان این بار سه فاز یکبار ۱۰ و بار دیگر ۲۰ آمپر و فرکانس پوش ۶, ۱۰ و ۱۴ هرتز انتخاب می گردند[۱۱] . در ادامه مقاله با استفاده از شیسه سازی نشان داده می شود که با جایگزین کردن شبکه فشارضعیف با شبکه فشار قوی اثرات فلیکر بطور قابل ملاحظه‌ای بهبود می یابد. در این شبیه سازیها دوحالت زیر بررسی می‌گردد:

حالت اول : **بار فلیکر زا نزدیک شبکه بالاسری و دستگاه اندازه گیری فلیکر در محل دورترین بار شبکه قرار می گیرد.**

حالت دوم : **دستگاه اندازه گیری فلیکر نزدیک شبکه بالاسری و بار فلیکر زا در محل دورترین بار شبکه قرار می گیرد.**

۴-۱- جایگزینی شبکه فشار ضعیف با شیکه فشار قوی:

یکی از راهکارهای بهبود مشخصه های کیفیت توان، نزدیک کردن بارها به ژنراتورها با حذف شبکه فشار ضعیف طولانی است[۹]. همچنانکه می دانیم، در شهرهای بزرگ شهرنشینی دارای رشد عمودی است و آپارتمان نشینی به میزان زیادی رواج پیدا کرده است. این گونه به نظر می رسد که با تمرکز میزان زیادی از بار در هر محل مسکونی این امکان وجود داشته باشد که شبکه فشار قوی سیستم توزیع (۲۰ کیلو ولب) تا مقابل هر مجموعه مسکونی کشیده شود و بار مصرفی از طریق یک ترانس اختصاصی به هر مصرف کننده تحویل گردد. در این بخش از مقاله به بررسی این روش پیشنهادی پرداخته و با اعمال آن بر روی شبکه مدل شده در شکل(۱۳) به بررسی نتایج حاصل از آن خواهیم نمود.

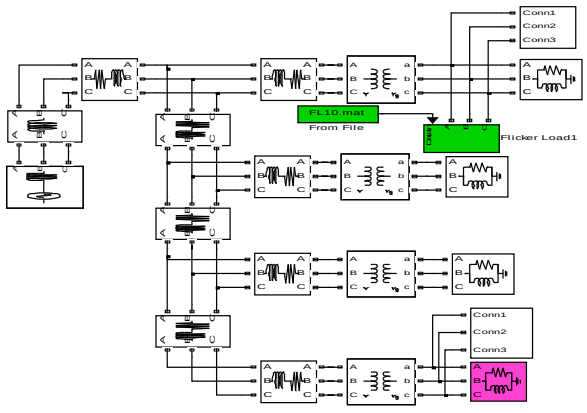
همانطور که بیان شد هدف از روش پیشنهادی ، تعویض شبکه فعلی ۴۰۰ ولت توزیع ، با شبکه ۲۰ کیلو ولت می باشد. به این معنی که خطوط ۲۰ کیلو ولت تا محل مصرف آورده شده, در آنجا به منظور جلوگیری از افزایش طول خطوط ۴۰۰ ولت، از ترانسفورماتورهای با ظرفیت پایین در محل مصرف مشترکینی که از نظر مکانی به هم نزدیکند، برای تغذیه آنها استفاده شود.

۴-۲- اثر حذف شبکه فشار ضعیف در فلیکر ولتاژ

با حذف شبکه فشار ضعیف مدل ارائه شده در شکل(۱۳) ، مدل شکل(۱۴) بدست می آید. پارامترهای درنظرگرفته شده در این مدل براساس اطلاعات موجود شبکه ۲۰ کیلوولت شهر مشهد انتخاب شده است.

حالت اول در جدول (۴) نتایج شبیه سازی را برای بار فلیکرزا سه فاز ۱۰ آمپری در دو وضعیت شبکه (یعنی شبکه دارای سیستم فشار ضعیف و شبکه فاقد آن) و برای سه فرکانس فلیکر ۶, ۱۰ و ۱۴ هرتز به صورت درصد فلیکر ولتاژ نشان می دهد(حالت اول). معیار به کار رفته برای محاسبه فلیکر همان معیار درصد ولتاژ فلیکر می باشد [۶].

در شبیه سازی دوم محل دستگاه اندازه گیری و بار فلیکرزا را با هم تعویض می کنیم که نتایج آن نیز در جدول (۳) نشان داده شده است (حالت دوم).



شکل۱۴: مدل شبکه توزیع با حذف شبکه فشار ضعیف

فرکانس فلیکر	حالت اول		حالت دوم	
	با شبکه فشار ضعیف	بدون شبکه فشار ضعیف	با شبکه فشار ضعیف	بدون شبکه فشار ضعیف
۶ هرتز	۰,۱۲۸۴	۰,۰۱۱۹	۰,۱۱۷۹	۰,۰۱۲۲
۱۰ هرتز	۰,۱۹۷۲	۰,۰۱۱۹	۰,۱۸۴۹	۰,۰۱۲۲
۱۴ هرتز	۰,۲۷۷۳	۰,۰۱۱۹	۰,۲۵۸۳	۰,۰۱۲۲

جدول (۳) : مقایسه درصد ولتاژ فلیکر در حالت های اول و دوم

با بررسی جدول (۳) نتایج زیر بدست می آید :

- در حالتی که در سیستم توزیع شبکه فشار ضعیف وجود دارد با تعویض محلهای دستگاه اندازه گیری و بار فلیکرزا ۸/۹٪ ولتاژ فلیکر را کاهش می یابد. دلیل این امر نزدیک شدن محل دستگاه اندازه گیری به شبکه بالاسری است.
- در حالتی که در سیستم توزیع فاقد شبکه فشار است با تعویض محلهای دستگاه اندازه گیری و بار فلیکرزا ۲/۵٪ ولتاژ فلیکر را کاهش می یابد. دلیل کوچک بودن تغییرات میزان فلیکر را می توان به اینصورت بیان کرد : در شبکه های فشار قوی باتوجه به اینکه امپدانس بین نقاط مختلف یک فیدر و نیز امپدانس اتصال کوتاه این نقاط بسیار بهم نزدیک است, و نیز با توجه به اینکه انتقال تغییرات ولتاژ از یک نقطه به نقطه دیگر مشابه یک تقسیم ولتاژ مداری ساده انجام می گیرد، بنابراین میزان فلیکری که در نقاط مختلف یک فیدر رخ می دهد بسیار به هم نزدیک است.
- چنانکه ملاحظه می شود درصد ولتاژ فلیکر با حذف سیستم فشار ضعیف و جایگزینی یک شبکه فشار قوی به جای آن تا ده برابر کاهش می یابد. بنابراین نتیجه

می گیریم که تنها با حذف شبکه فشار ضعیف و بدون بکار بردن هر گونه وسیله کنترل کننده یا جبران سازی فلیکر ولتاژ بطور چشمگیری بهبود یافته است.

۵- نتیجه گیری

با توجه به رشد شهرنشینی و توسعه هرچه بیشتر شهرهای بزرگ، کیفیت برق شبکه های توزیع انرژی الکتریکی از جمله مسائلی است که باید بطور جدی مورد توجه قرار گیرد. در این مقاله با مطالعه بخشی از شبکه توزیع ضعیف شهر مشهد و اندازه گیری و بررسی شدت فلیکر در آن، نشان داده شده که کیفیت برق تحت تاثیر پدیده فلیکر ولتاژ قرار می گیرد. در نهایت با حذف شبکه فشار ضعیف و جایگزینی آن با سیستم فشار قوی نشان داده می شود که جبران فلیکر ولتاژ و در نتیجه کیفیت توان بطور قابل ملاحظه ای بهبود می یابد.

۶- مراجع

[۱] R. Dugan & et al, “Electrical Power System Quality”, McGraw-Hill, ۱۹۹۶.

[۲] Bishop, M.T.; Do, A.V.; Mendis, S.R.; “Voltage flicker measurement and analysis Computer Applications in Power,system”IEEE Volume ۷, Issue ۲, April ۱۹۹۴ Page(s):۳۴ - ۳۸

[۳] Peixoto, G.R.; de Oliveira, J.C.; de Oliveira, F.A.; “A proposal for voltage flicker measurement in electrical power systems” Proceedings of the ۳۸th Midwest Symposium Volume ۲, ۱۳-Circuits and Systems, ۱۹۹۵.,on ۱۶ Aug. ۱۹۹۵ Page(s):۱۳۰۹ - ۱۳۱۲ .

[۴] Zhang, Z.; Fahmi, N.R.; Norris, W.T.; “Flicker analysis and methods for electric arc furnace flicker (EAF) mitigation (a survey)” Power Tech Proceedings,۲۰۰۱ IEEE Porto Volume ۱, ۱۰-۱۳ Sept. ۲۰۰۱ Page(s):۶-۱۳.

[۵] Girgis, A.A.; Stephens, J.W.; Makram, E.B.; “Measurement and prediction of voltage flicker magnitude and frequency” IEEE Transactions Volume ۱۰, Issue ۳, July Power Delivery, on ۱۹۹۵ Page(s):۱۶۰۰ – ۱۶۰۵.

[۶]Cornfield, G.C.”Definition and measurement of voltage flicker [in lighting]” Electronics in Power Colloquium on IEE ۱۸ Apr۱۹۸۸ Page(s):۴/۱- Systems Measurement, ۴/۴.

[۷] Ozgun, O.; Abur, A.; “Development of an arc furnace model for power quality studies” Power Engineering Society ۱۹۹۹. IEEE Volume ۱, ۱۸-۲۲ July ۱۹۹۹ Summer Meeting, Page(s):۵۰۷ – ۵۱۱.

[۸] Akdag, A.; Cadirci, I.; Nalcaci, E.; Ermis, M.; Tadakuma, S.; “Effects of main transformer replacement on the performance of an electric arc furnace system” IEEE Transactions on Volume ۳۶, Issue ۲, Industry Applications, March-April ۲۰۰۵, Page(s):۶۴۹ – ۶۵۸.

[۹] Fei, R.W.; Lloyd, J.D.; Crapo, A.D.; Dixon, S.;” Light flicker test in the United States” Industry Applications,IEEE Transactions on Volume ۳۶, Issue ۲, March-April ۲۰۰۵, Page(s):۴۳۸ – ۴۴۳.

[۱۰] Deckmann, S.K.; Rabelo, G.F.; “A quality index based on voltage flicker and distortion Applied Power evaluations” Twelfth Annual Electronics Conference and Exposition, ۱۹۹۷. APEC '۹۷ Conference Proceedings ۱۹۹۷., Volume ۱, ۲۳-۲۷ Feb. ۱۹۹۷ Page(s):۲۳۵ – ۲۴۱.

[۱۱] Hong, Y.-Y.; Lee, L.-H. “Analysis of equivalent ۱۰ Hz voltage flicker in power Generation, systems”; IEE Proceedings on Volume ۱۴۶, Transmission and Distribution, Issue ۵, Sept. ۱۹۹۹ Page(s):۴۴۷ – ۴۵۲.

[۱۲] Stump, M.D.; Keane, G.J.; Leong, F.K.S.; “The role of custom power products in enhancing power quality at industrial facilities” Proceedings of EMPD '۹۸. ۱۹۹۸ International Energy Management and Power Conference on Volume ۲, ۳-۵ March ۱۹۹۸ Delivery,۱۹۹۸. Page(s):۵۰۷ - ۵۱۷ .

[۱۳] مجموعه استانداردهای صنعت برق، چاپ اول؛ قسمت چهارم، تغییرات ولتاژ و فرکانس، اردیبهشت ۱۳۸۱ .

This document was created with Win2PDF available at http://www.daneprairie.com.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.