هشتمین کنفرانس شبکه های توزیع نیروی برق
انجمن مهندسین برق و الکترونیک ایران
۳۰ و ۳۱ اردیبهشت ۱۳۸۲

روش اندازه گیری کیفیت توان در شبکه های توزیع و جمع بندی آماری نتایج اندازه گیری مشترکین بزرگ برق تهران

مهدی معلم- مهری مولانایی- مسعود حیرانی- همایون حائری
دانشگاه صنعتی اصفهان- شرکت تحقیقات صنعتی پژوهنده نیرو- برق منطقه ای تهران

کلید واژه ها *: کیفیت توان - روشهای اندازه گیری*

چکیده

یکی از دلایل اصلی مانیتور کردن کیفیت برق در برخی از نقاط شبکه و نقاط تحویلی برق به مشترکین بزرگ، مسأله اقتصادی است، به ویژه زمانی که فرآیندهای کلیدی مشترکین تحت تأثیر پدیده‌های الکترومغناطیسی ناشی از کیفیت نامناسب برق قرار گیرد. علاوه بر آن با استفاده از داده‌های بدست آمده از مانیتورینگ می‌توان پایگاه اطلاعاتی از میزان حساسیت تجهیزات ایجاد نمود و به کمک این اطلاعات مشخصه "سازگاری الکترومغناطیسی" را ارائه نمود و برای بهبود رفتار تجهیزات از آن بهره گرفت. همچنین می‌توان علل بوجود آمدن کیفیت نامناسب برق را ارائه نمود و در نتیجه برای بهبود سیستم برق رسانی اقدامات لازم را صورت داد. دراین مقاله دستورالعمل اندازه گیری پارامترهای مختلف پدیده‌های‌کیفیت توان براساس استانداردهای سری IEC_ 61000 و نیز استاندارد صنعت برق ایران مورد بررسی قرار می گیرد و در ادامه نتایج آماری وضعیت پدیده های مختلف کیفیت برق در اندازه گیری روی مشترکین بزرگ در دو قسمت ۳۸۰ ولت و ۲۰ کیلوولت بررسی می شود.

۱- مقدمه

امروزه به دلیل گسترش استفاده از سیستم‌های‌کنترل میکروپروسسوری و قطعات الکترونیک قدرت در بسیاری از تجهیزات، حساسیت مصرف‌کننده‌ها نسبت به تغییرات کیفیت توان افزایش یافته است. از طرف دیگر به دلیل وجود بارهای غیرخطی امکان آلودگی در شبکه های برق افزایش یافته است. به همین دلیل یکی از دلایل مهم جهت بررسی مسأله کیفیت توان، نیاز مصرف‌کننده های با تجهیزات حساس مانند ربات ها درایوهای سرعت متغیر- سیستم های PLC و .... ،به انرژی با کیفیت توان بالا جهت عملکرد صحیح و پیوسته است.

همچنین اهمیت روزافزون بهبود راندمان کلی سیستم قدرت باعث افزایش استفاده از تجهیزات پر بازده از قبیل محرکه های پر بازده با قابلیت تنظیم سرعت موتور و حازن های موازی تصحیح ضریب قدرت برای کاهش تلفات گردیده است که این امر موجب افزایش سطح آلودگی‌های شبکه برق گردیده است و این مسأله موجب نگرانی افزایش آلودگی روی شبکه های توزیع شده است [۳]

مسأله دیگری که باعث توجه روز افزون به کیفیت توان شده است. اتصال شبکه ها به یکدیگر و تسکیل شبکه های سراسری است که موجب شده که خطا در یک قسمت از شبکه تبعات نامطلوب بیشتری را در بقیه قسمتها به دنبال داشته باشد

دلیل دیگر اهمیت مسأله کیفیت توان مسائل اقتصادی است چرا که اولاً اثرات سوء پدیده های کیفیت توان روی تجهیزات باعث عملکرد نادرست و صدمه دیدن دستگاهها و قطع روند تولید می گردد و چنین اشکالاتی علاوه بر آنکه باعث متوقف شدن فرآوری تولید می شود و راه اندازی مجدد مستلزم هزینه است ممکن است باعث صدمه دیدن تجهیزات شود و تعمیرات آن نیاز به صرف هزینه دارد. همچنین به دلیل رقابت بین شرکت های برق، جهت برآوردن انتظار مشترکین و تأمین اعتماد مصرف کننده در جهت سرویس مطمئن توجه به مسأله کیفیت توان نسبت به قبل اهمیت بیشتری پیدا کرده است

براساس گزارشی‌که مؤسسه تحقیقات قدرت آمریکا(EPRI) در مورد برآورد هزینه های مربوط به کیفیت توان منتشر کرده، کیفیت توان نامناسب هزینه های بین ۳ تا ۶ میلیارد دلار را در جهت اصلاح پدیده‌ها به صنعت امریکا تحمیل می‌کند. از طرف دیگرکاهش در آمد در اثر مسائل کیفیت توان به ویژه در اثر افت ولتاژها و قطعی‌های لحظه‌ای ۲۶ میلیارد دلار در سال است همچنین طبق برآورد موسسه

تحقیقات برق آمریکا هزینه مربوط به نظارت کیفیت توان برای هر پدیده در هر نقطه بطور متوسط ۳۰۰۰۰ دلار در سال است. در مجموع هزینه تحقیقات کیفیت توان شرکت مؤسسه (EPRI) بطور متوسط ۲ میلیارد دلار در سال است.
طبق تحقیقات Frost & Sullivan درآمد حاصل از فروش تجهیزات حفاظتی کیفیت توان در امریکا در سال ۱۹۹۲ ، ۱/۲ میلیارد دلار در سال بوده و تا سال ۲۰۰۳ فروش این تجهیزات به ۸/۳۷ میلیارد دلار در سال می‌رسد.

۲- دستورالعملهای اندازه گیری پدیده های کیفیت توان مطابق با استانداردهای ملی و بین المللی

این دستورالعمل بطور مختصر اندازه گیری پدیده های کیفیت توان براساس استانداردهای صنعت برق و IEC سری 61000 را شرح می دهد.

۱- روش اندازه گیری عدم تعادل ولتاژ و تعیین شاخص آن

براساس استاندارد ملی (عدم تعادل ولتاژ با نسبت مؤلفه‌صفرولتاژ به مؤلفه مثبت تعریف می‌شود $(\frac{U_0}{U_1})$.مراحل بدست آوردن شاخص عدم تعادل ولتاژ یک شینه به شرح زیر می‌باشد:

۱- مدت اندازه گیری حداقل باید چهار روز بوده به نحوی که یک تعطیلی آخرهفته را نیز در برداشته باشد.

۲- درهر بازه زمانی ۱۰ دقیقه‌ای یکبار میزان $(\frac{U_0}{U_1})$ محاسبه می‌گردد که در انتهای هر روز ۱۴۴ نمونه خواهیم داشت. بعنوان شاخص باید عددی را انتخاب نمود که احتمال اینکه عدم تعادل ولتاژ از این عدد بیشتر شود تنها ۵ درصد باشد. این عدد $(\frac{U_0}{U_1})$ را ذخیره می کنیم. این عدد را ٪۹۵ $(\frac{U_0}{U_1})$ مینامند.

۳- در انتهای چهارروز اندازه گیری چهارنمونه ٪۹۵ $(\frac{U_0}{U_1})$ خواهیم داشت که بزرگترین آنها بعنوان شاخص عدم تعادل ولتاژ انتخاب می‌شود.

۲- روش اندازه گیری فلیکر (نوسان ولتاژ)

پریود مشاهده P_{st} مطابق استاندارد IEC-61000-3-3 ده دقیقه در نظرگرفته می شود. با توجه به روش پیشنهادی IEC برای محاسبه شاخص بلندمدت فلیکر یعنی P_{lt} بازه مشاهده ۲ ساعت است. بنابراین روزانه ۱۴۴ مقدار P_{st} و ۱۲ مقدار P_{lt} موجود خواهد بود. نمایش گرافیکی تغییرات زمانی P_{st} بسیار مفید می‌باشد. کل زمان مشاهده باید حداقل یک هفته باشد.
در انتهای یک هفته از میان اعداد اندازه گیری شده باید عددی بعنوان شاخص فلیکر مشترک انتخاب شده و با سطوح مجاز مقایسه گردد. در مورد P_{st} و P_{lt} مقادیر زیر پیشنهاد می‌شود:

- اگر داده‌های مربوط به P_{st} از بزرگ به‌کوچک ردیف شوند سومین داده از بالا به عنوان شاخص P_{st} انتخاب می‌گردد.
- حداکثر مقدار P_{lt} های اندازه گیری بعنوان شاخص P_{lt} انتخاب می شود.

۳- هارمونیک

۳-۱- بازه های زمانی برای انجام مطالعات آماری بر روی مقادیر اندازه گیری شده هارمونیکها

برای مقایسه اطلاعات اندازه گیری شده ، بازه های زمانی زیرطبق استاندارد ملی ۱۳-۲۰۱ پیشنهاد شده است.

- بازه زمانی بسیار کوتاه مدت T_{VS} : ۳ ثانیه
- بازه زمانی کوتاه مدت (T_{SH} : ۱۰ دقیقه
- بازه زمانی بلند مدت (T_L) : ۱ ساعت
- بازه زمانی یک روزه (T_D) : ۲۴ ساعت
- بازه زمانی یک هفته ای (T_{wk}) : ۷ روز

۳-۱-۱- بازه زمانی بسیار کوتاه مدت

مقدار جذر مربعات یک هارمونیک دراین حالت بصورت زیر تعریف می شود:

$$V_{hvs} = \sqrt{(\sum_{k=1}^{N} U_{h,k}^2)/N} \qquad (۱-۳)$$

که در آن N تعداد دفعاتی است که دریک بازه زمانی ۳ ثانیه ای FFT از یک موج گرفته می شود و $U_{h,k}$ نیز هارمونیک ولتاژ مرتبه h در اندازه گیری k ام می باشد. به منظور بررسی مسائل خاص مرتبط با پالسهای هارمونیکی کوتاه ، مجموعه پنجره زمانی ۸۰ تا ۱۶۰ میلی ثانیه برای هر اندازه گیری مناسب به نظر می رسد.

۳-۱-۲- بازه زمانی کوتاه مدت

بازه‌زمانی‌کوتاه‌مدت (T_{sh}) به‌مدت ۱۰ دقیقه پیشنهاد می گردد. مقدار مؤثر U_{hsh} درهر بازه زمانی ۱۰ دقیقه ای را باید از کلید مقادیر U_{hvs} هایی‌که در بازه زمانی ۱۰ دقیقه ای به وقوع پیوسته است بدست آورد. تعیین U_{hsh} بسیار مفید است، زیرا تخمین خوبی از اثرات گرمایی هر هارمونیک خاص را در یک دوره بلند مدت نشان می دهد.

۳-۳-۳- بازه زمانی بلندمدت

انتخاب‌بازه زمانی بلندمدت (T_L) از طرف استاندارد IEC بصورت اختیاری تعیین شده است پیشنهاد می‌گردد که این زمان ۱ ساعت انتخاب شود. (روش محاسبه هارمونیک بلندمدت)

۳-۳-۴- بازه زمانی یک روزه (T_D)

در مطالعه هارمونیکهای شبکه بازه زمانی یک روزه برای نمایش آماری اطلاعات به فرم مناسب بکار می‌رود. هنگام بررسی اثرات کوتاه مدت، مقدار ماکزیمم ولتاژهای مؤثر اندازه گیری شده (U_{hvs}) برای برهه زمانی بسیار کوتاه مدت را باید برای بررسی در بازه زمانی یک روزه (T_D) نگهداری نمود. علاوه بر آن، احتمال تجمعی CPF مقادیر مؤثر مربوط به بازه زمانی بسیار کوتاه مدت را باید محاسبه نمود. به کمک این اطلاعات می‌توان مقادیر مؤثر ولتاژ در هر مرتبه هارمونیکی و نیز کل اعوجاج هارمونیکی (THD) را برای یک بازه زمانی یک روزه (T_D) محاسبه نمود.

۳-۳-۵- بازه زمانی طولانی مدت

برای این بازه زمانی هیچگونه پیشنهادی توسط IEC داده نشده است. بنابراین برای این بازه مدت یک هفته پیشنهاد می شود. اطلاعات مربوط به این بازه زمانی براساس اطلاعات خلاصه شده روزانه آماده می گردد. باید بخاطر داشت که اختلافات فاحشی بین مقادیر بدست آمده برای روزهای کاری و تعطیلی وجود خواهد داشت.

۳-۲- روش اندازه گیری

نقاط اندازه گیری نقاط اتصال مشترک (PCC) می‌باشد که عبارتند از :

الف) شینه یا مشابه آن برای ولتاژ

ب) ترانسفورماتور جریان در خط یا خطوط تغذیه به سمت مصرف کننده برای جریان

استاندارد (۲۰۱-۱۳) ایران طول مدت اندازه گیری را به دو صورت زیر پیشنهاد می‌کند:

- حداقل ۲۴ ساعت در یک نوبت از هفته وقتیکه واحد پیشنهادی ممکن است در وضعیت بهره برداری باشند.شرایط سیستم ممکن است در طول هفته بطور وسیعی تغییر کند. لذا تست ها باید در بدترین شرایط انجام شود.

زمان اندازه گیری : ۱۰ ثانیه برای هر هارمونیک

تکرار اندازه گیری : هر ۱۵ دقیقه

- یک هفته با شرایط حالت قبل

مؤلفه‌های هارمونیکی تا هارمونیک مرتبه ۵۰ باید شناسایی شود.

در انتهای یک دوره زمانی مشاهده اطلاعات مسأله اصلی پیدا کردن یک مقدار برای هر هارمونیک یا هارمونیک میانی می باشد. این مقادیر می توانند برای نمایش کیفیت ولتاژ و مقایسه با سطح هارمونیکی مجاز استفاده شوند.

مشخص است که $U_{hvs.max}$ را نمی توان برای مقایسه با سطوح مجاز بکار برد. طبق استاندارد IEC سطوح مجاز نه بعنوان مقدار ماکزیمم یک اعوجاج بلکه بعنوان سطح اعوجاجی که به تعداد دفعات کمی از آن سطح فراتر می رویم تعریف می‌شود. بعنوان مثال احتمال تجمعی ۹۵ درصد هارمونیک ولتاژ U_{hvs} می‌توان را برای برای مقایسه با سطوح مجاز بکار برد.

به دلیل اثرات بلندمدت هارمونیکها، $U_{hsh.max}$ را نیز نباید از نظردور داشت. مطالعات‌وبررسی‌ها نشان می‌دهند که U_{hshma} نزدیک به مقدار $U_{hvs.95\%}$ می باشد. ماکزیمم این دو مقدار را می توان برای مقایسه با سطوح مجاز نیز بکار برد.

اندازه‌گیری ها در شبکه نشان می دهند که $U_{hsh.max}$ حدوداً ۱/۵ تا ۲ برابر بزرگتر از $U_{hvs.95\%}$ است. در نتیجه اگر قرار است از پارامتر $U_{hsh.max}$ برای بررسی کیفیت ولتاژ استفاده شود باید این پارامتر با ۱/۵ تا ۲ برابر سطح مجاز باید مقایسه گردد.

۴-پدیده‌های‌کوتاه‌مدت،بلندمدت‌و حالت‌های گذرا

پدیده‌های کوتاه مدت،بلند مدت و نیزحالت‌های گذرا برحسب دامنه و زمان رخ دادن آنها مطابق شکل (۱) باید ثبت شود. پدیده‌های که در زمان کمتر از یک سیکل رخ می‌دهند جزء پدیده‌های گذرا دسته بندی می‌شوند.

پدیده‌هایی که بین نیم سیکل تایک دقیقه ، با دامنه کمتر از ۹۰٪ مقدار نامی رخ می‌دهند ، کمبود ولتاژ و در صورتیکه در همین فاصله زمانی دامنه بیشتر از ۱۱۰٪ مقدار نامی باشد بیشبود ولتاژ نامیده می‌شود. در صورتیکه دامنه ولتاژ برای مدت زمان بیشتر از یک دقیقه کمتر از ۹۰٪ مقدار نامی باشد کاهش ولتاژ رخ داده است و اگر افزایش بیش از ۱۱۰٪ مقدار نامی ولتاژ بیشتر از یک دقیقه اتفاق بیفتد این پدیده را در دسته افزایش ولتاژ فرار می‌دهند.

۵- بررسی آماری نتایج اندازه‌گیری روی مشترکین بزرگ

دراین بخش نتایج اندازه گیری که به منظور تعیین وضعیت کیفیت توان بر روی ۵۰ مشترک بزرگ در تهران انجام گرفت ارائه می گردد. در ۴۷ مورد این تعداد اندازه گیری در قسمت ۳۸۰ وقت انجام گرفته و سه مورد در پست ۲۰ کیلوولت نمونه برداری شده است. جدول (۱) نتایج آماری پدیده های مختلف در ۴۷ کارخانه در قسمت ۳۸۰ ولت را نشان می دهد. نتایج پست های ۲۰ کیلوولت در جدول (۲) دسته بندی شده است. دراین جدول مقدار درصد فلیکر و هارمونیک و THD و درصد ولتاژ کارخانه هایی است که مقدار این پدیده ها در آنها از حد مجاز استاندارد بیشتر بوده است.

در مورد پدیده های کوتاه مدت ، بلند مدت و گذرا منظور درصد کارخانه هایی است که این پدیده ها در آنها مشاهده شده است.

در ۶۰ درصد موارد، پدیده هایی کوتاه مدت به شکل پدیده کمبود ولتاژ (sag) و وقفه رخ داده و ۴۰ درصد دیگر، بیشبود اتفاق افتاده است. که در هر دو حالت ۹۰ درصد از نوع آنی ، ۹درصد آنها لحظه ای و یک درصد باقی پدیده های موقتی بوده است.جدول (۲) نشان می دهد که در هر سه مورد پست ۲۰ کیلوولت پدیده فلیکر ازحد مجاز بالاتر است. مقدار ولتاژ دریک پس از حد مجاز بالاتر است.

اعوجاج هارمونیکی تکی ولتاژ به جز یک مورد (هارمونیک دوم) که از حد مجاز بالاتر است در باقی موارد مقدار آنها کمتر ازحد مجاز تعریف شده استاندارد است.

در این بررسی پدیده های کوتاه مدت در هر سه مورد از نوع کمبود است . در ۹۰ درصد کمبودهای رخ داده از نوع کمبود آنی و بقیه از نوع کمبود لحظه ای است

۶- نتیجه گیری

دراین مقاله ابتدا دستورالعمل های اندازه گیری مطابق استاندارد های IEC و استاندارد صنعت برق ارائه شده و سپس جمع بندی آماری اندازه گیری های انجام شده روی ۵۰ مشترک صنعتی ارائه گردید دراین جمع بندی درصد پدیده های مختلف مشاهده شده، که از حدود تعریف شده استاندارد خارج بودند نشان داده شده است که نشانگر آلوده شدن شبکه به پدیده های کیفیت توان می باشد و گسترش آن در آینده مشکلات زیادی را بوجود خواهد آورد و بنابراین اعمال راهکارهای پیشگیری و اصلاح شبکه بسیار ضروری و فوری می باشد.

۷- مراجع

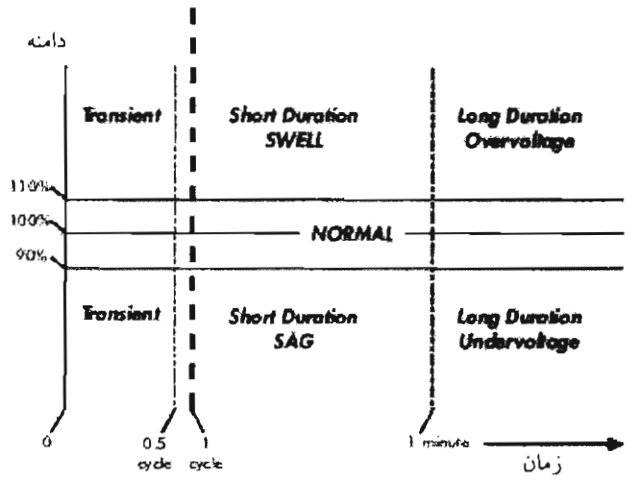
[۱] مولانائی ،م ،"*شناسایی دقیقتر پدیده های کیفیت توان با روش تبدیل موجک*" ، *دانشگاه صنعتی اصفهان . پایان نامه کارشناسی ارشد ۱۳۸۱*

[۲] استانداردمشخصات و خصوصیات انرژی الکتریکی " *دستورالعمل اندازه گیری کیفیت برق*" ، ۳۰۱-۶۵ .

[۳] استاندارد مشخصات و خصوصیات انرژی الکتریکی" *تغییرات ولتاژ و فرکانس* " ، ۶۵-۲۰۲ . (استاندارد صنعت برق)

[٤] IEC 61000-4-11(1994): Electromagnetic compatability-part 3: esting and measurment techniques- section 11: Voltage dips, Short Interruption and Voltage Variation Immunity test.

[٥] IEEE 519 . Recommended Practices and Requirments Harmonic Control in Power system(1981)



شکل (۱) : محدوده تعریف شده استاندارد برای پدیده های مختلف

نوع پدیده		موارد بالاتر از حد مجاز استاندارد
فلیکر		37.5%
هارمونیک ولتاژ	THD	4.16%
	هارمونیک پنجم	18.75%
گذرا		37%
پدیده های کوتاه مدت		25%
پدیده های بلند مدت		4.1%

جدول(۱) : بررسی آماری وضعیت کیفیت برق (۳۸۰ ولت)(تعداد= ۴۷ نمونه)

نوع پدیده		موارد بالاتر از حد مجاز استاندارد
فلیکر		۳ مورد
هارمونیک ولتاژ	THD	۱ مورد
	هارمونیک دوم	۱ مورد
گذرا		۰
پدیده های کوتاه مدت		۳ مورد
پدیده های بلند مدت		۱ مورد

جدول(۲) : بررسی آماری وضعیت کیفیت برق روی پست ۲۰ کیلو ولت (تعدادکل = ۳ نمونه)