

## مبانی کیفیت برق و اثرات آن

### Power Quality Basics & Its Impacts

سعید شعاری نژاد - شرکت مهندسی اترک انرژی - ایران

واژه های کلیدی: کیفیت برق - اعوجاجهای هارمونیکی - آلودگی محیط برق - کنتور تعرفه دار

چکیده:

با افزایش تجهیزات الکترونیکی در شبکه از قبیل کامپیوتر ها ، UPS ها ، کنترل دورها و غیره از یک طرف و پیچیده شدن شبکه ها از طرف دیگر ، موضوع " کیفیت برق " و عبارت دیگر " آلودگی محیط برق " چه از طرف تولید و توزیع کننده انرژی و چه از طرف مصرف کنندگان آن فوق العاده اهمیت پیدا کرده است .

در این مقاله سعی خواهد شد ضمن ارائه تاریخچه و مقدمه کوتاهی از موضوع اصلی ، ابتدا " عوامل مؤثر در کیفیت برق " به اختصار مورد بحث و تجزیه و تحلیل قرار گرفته و سپس روی یکی از مؤثر ترین عوامل یعنی " اعوجاجهای هارمونیکی و منشأ آن " تا حدودی به جزئیات و در حد حوصله مقاله پرداخته شود .

آنچه که بیش از همه روی آن تأکید شده و سعی خواهد شد راه حلهای عملی و اقتصادی برای آن ارائه شود ، موضوع نحوه آگاهی مداوم از کیفیت برق و شیوه های کاستن از آلودگی محیط برق ، بالطبع افزایش راندمان شبکه و تحویل برق با کیفیت بالا به مصرف کنندگان آن می باشد .

کاملاً واضح است که مقوله "کیفیت برق" و عوامل مؤثر در آن بسیار وسیع بوده و مقالات و کتابهای متعددی جهت روشن شدن و تجزیه و تحلیل دقیق آن می توان تهیه و تدوین کرد و لذا در این مقاله سعی خواهد شد مطلب حد الامکان خلاصه گویا باشد تا بتوان به عمده مطالب اشاراتی نمود و تجزیه و تحلیلهای بیشتر را به مقالات دیگر واگذار نمود .

الف: مقدمه

" کیفیت برق " بصورت مقوله ای مد نظر تولید و توزیع کنندگان انرژی و همینطور مصرف کنندگان آن ، حدود سال ۱۹۸۰ بطور علنی مطرح شد . البته معنی و مفهوم " کیفیت برق " بسیار گسترده است و در حقیقت بصورت چتری بر اعوجاجهای شبکه اعم از تولید ، انتقال ، توزیع و مصرف تلقی می شود . آنچه مسلم است عملکرد کلیه اجزاء شبکه و مهمتر از آن بارهای مصرفی در تحت الشعاع قرار دادن کیفیت برق مؤثرند و اگر بخواهیم به درصد تقریبی تأثیر آنها اشاره کنیم شاید بتوان به جرأت گفت که بارهای مصرفی حدود ۸۰٪ در کیفیت برق مؤثرند .

چرا که عواملی مانند مشخصه های الکتریکی بارها ، نحوه توزیع و حتی سیم کشی داخل ساختمان ، نحوه زمین کردن و غیره ، همه و همه در کیفیت برق تأثیر دارند . این اثرات را می توان به آلودگی محیط زیست تشبیه کرد چرا که با وارد شدن فاضلاب یک واحد صنعتی به مثلاً یک رودخانه ، مصرف کنندگان آب آن رودخانه همگی تحت تأثیر قرار می گیرند .

و اگر همین مثال را در برق بزنیم کاملاً روشن می شود که با وارد شدن اعوجاجهای هارمونیکی یک واحد صنعتی به شبکه مشترک مثلاً 20KV ، سایر واحد های صنعتی یا حتی مسکونی و اداری استفاده کننده از همین شبکه نیز تحت تأثیر اثرات منفی آن قرار می گیرند . علل اصلی توجه بیشتر به کیفیت برق از طرف هر دو جناح تولید کننده و مصرف کننده آن بویژه در دو دهه اخیر را می توان به اختصار بشرح زیر طبقه بندی کرد :

۱- تجهیزات امروزی مصرف کننده برق نسبت به گذشته به نوسانات و کیفیت برق بمراتب حساس تر هستند چرا که بیشتر آنها یا خودشان یا بخش کنترل آنها میکروپروسسوری هستند و یا از وسائل الکترونیکی در بخش قدرت آنها استفاده شده است .

۲- تأکید فزاینده بر افزایش بازدهی شبکه قدرت و صرفه جویی در مصرف انرژی باعث شده است که کار برد وسائل با فرکانس بالا ، کنترل دوره های الکترونیکی موتورها و بانک های خازنی جهت تصحیح ضریب قدرت فزونی یابد . همین امر

خود باعث افزایش اعوجاجهای هارمونیک در شبکه قدرت شده و در حال حاضر مطالعات بیشماری روی اثرات آتی آن روی شبکه در حال انجام است .

۳- افزایش آگاهی های مصرف کنندگان برق از موضوع "کیفیت برق" و مسائلی مانند قطع های لحظه ای ، نوسانات ولتاژ ، حالت های گذرای ناشی از قطع و وصل شبکه و غیره باعث شده که شرکت های برق ملزم به ارتقاء کیفیت برق تحویلی به آنها باشند .

۴- پیچیدگی و تراکم شبکه ها باعث شده که هر گونه اشکال در کیفیت برق نتایج بسیار مهمی ببار بیاورد . بطور خلاصه از یک طرف تولید کنندگان بدنبال ماشین آلات با راندمان بیشتر، سرعت بالا و کنترل دقیق تر هستند و از طرف دیگر شرکت های برق نیز آنها را تشویق به این کار می کنند چرا که به این ترتیب مصرف انرژی کاهش یافته و میزان سرمایه گذاری قابل توجه مورد نیاز جهت تولید ، انتقال و توزیع کاهش قابل ملاحظه ای می یابد . حال چنانچه چنین روندی به انجام نرسد .

در مقابل شاهد کاهش کیفیت برق از یک طرف و اثرات نامطلوب آن روی مصرف کنندگان حساس از طرف دیگر که به نوعی خود ایجاد کننده آن نیز هستند می باشیم . کیفیت برق چیست ؟ چه باید کرد ؟ آیا راه حل بهینه ای وجود دارد ؟ آیا بایستی جلوی روند استفاده از الکترونیک صنعتی در صنایع را گرفت ؟ اینها از جمله سئوالاتی هستند که در این مقاله مختصراً به آنها پاسخ داده خواهد شد .

ب : عوامل مؤثر در کیفیت برق

قبل از بحث در مورد عوامل مؤثر در کیفیت برق ، بایستی تعریف یا محدوده مشخصی از کیفیت برق داشته باشیم . تعریف ویژه ای برای این منظور وجود ندارد ولی بطور عام مشکل یا مسئله کیفیت برق را می توان عبارت از " هر مشکلی نامید که بصورت نوسانات ولتاژ ، جریان یا فرکانس باعث قطع یا عملکرد غلط تجهیزات الکتریکی بشود . " جهت روشن تر شدن مفهوم کیفیت برق و محدوده مجاز و غیر مجاز آن ، کلیه سازمانهای تهیه کننده استانداردهای برق مانند IEC , CIGRE , IEEE فعالیت های مداومی را انجام داده و می دهند . جهت آشنائی خوانندگان با مقوله کیفیت برق بصورت اعداد و ارقام قابل اندازه گیری و آزمایش ، جدول شماره ۱ ارائه می گردد که جهت اجتناب از مشکلات احتمالی در مفاهیم آن ، از ترجمه آن خودداری شده و عیناً ذکر می شود .

| Categories                     | Typical spectral content | Typical duration | Typical voltage magnitude |
|--------------------------------|--------------------------|------------------|---------------------------|
| 1.0 Transients                 |                          |                  |                           |
| 1.1 Impulsive                  |                          |                  |                           |
| 1.1.1 Nanosecond               | 5-ns rise                | <50 ns           |                           |
| 1.1.2 Microsecond              | 1- $\mu$ s rise          | 50 ns-1 ms       |                           |
| 1.1.3 Millisecond              | 0.1-ms rise              | > 1 ms           |                           |
| 1.2 Oscillatory                |                          |                  |                           |
| 1.2.1 Low frequency            | <5 kHz                   | 0.3-50 ms        | 0-4 pu                    |
| 1.2.2 Medium frequency         | 5-500 kHz                | 20 $\mu$ s       | 0-8 pu                    |
| 1.2.3 High frequency           | 0.5-5 MHz                | 5 $\mu$ s        | 0-4 pu                    |
| 2.0 Short-duration variations  |                          |                  |                           |
| 2.1 Instantaneous              |                          |                  |                           |
| 2.1.1 Interruption             |                          | 0.5-30 cycles    | <0.1 pu                   |
| 2.1.2 Sag (dip)                |                          | 0.5-30 cycles    | 0.1-0.9 pu                |
| 2.1.3 Swell                    |                          | 0.5-30 cycles    | 1.1-1.8 pu                |
| 2.2 Momentary                  |                          |                  |                           |
| 2.2.1 Interruption             |                          | 30 cycles-3 s    | <0.1 pu                   |
| 2.2.2 Sag (dip)                |                          | 30 cycles-3 s    | 0.1-0.9 pu                |
| 2.2.3 Swell                    |                          | 30 cycles-3 s    | 1.1-1.4 pu                |
| 2.3 Temporary                  |                          |                  |                           |
| 2.3.1 Interruption             |                          | 3 s-1 min        | <0.1 pu                   |
| 2.3.2 Sag (dip)                |                          | 3 s-1 min        | 0.1-0.9 pu                |
| 2.3.3 Swell                    |                          | 3 s-1 min        | 1.1-1.2 pu                |
| 3.0 Long-duration variations   |                          |                  |                           |
| 3.1 Interruption, sustained    |                          | >1 min           | 0.0 pu                    |
| 3.2 Undervoltages              |                          | >1 min           | 0.8-0.9 pu                |
| 3.3 Overvoltages               |                          | >1 min           | 1.1-1.2 pu                |
| 4.0 Voltage unbalance          |                          | Steady state     | 0.5-2%                    |
| 5.0 Waveform distortion        |                          |                  |                           |
| 5.1 dc offset                  |                          | Steady state     | 0-0.1%                    |
| 5.2 Harmonics                  | 0-100th harmonic         | Steady state     | 0-20%                     |
| 5.3 Interharmonics             | 0-6 kHz                  | Steady state     | 0-2%                      |
| 5.4 Notching                   |                          | Steady state     |                           |
| 5.5 Noise                      | Broadband                | Steady state     | 0-1%                      |
| 6.0 Voltage fluctuations       | <25 Hz                   | Intermittent     | 0.1-7%                    |
| 7.0 Power frequency variations |                          | <10 s            |                           |

جدول ۱. طبقه بندیها و مشخصه های پدیده های الکترو مغناطیسی سیستم قدرت

حال بطور خلاصه به عوامل مؤثر یا عبارتی در بر گیرنده کیفیت برق اشاره می شود :

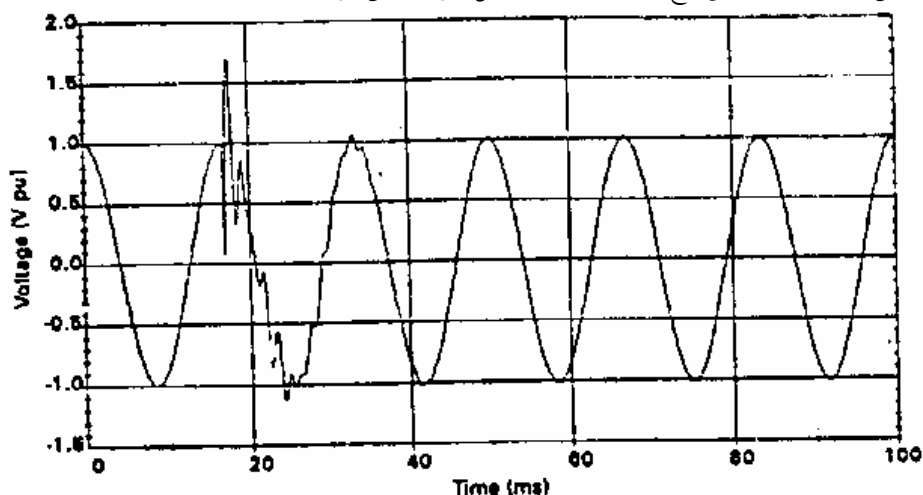
۱- حالت های گذرا ( Transients ) به نواساناتی اطلاق می شود که نامطلوب ولی طبعاً لحظه ای است و بدلیل RLC شبکه مستهلک می شود . البته تعاریف دیگری نیز برای آن شده است ولی اساس آن نوسانات میرا می باشد و اساساً دو دسته است :

۱-۱ - حالت های گذرای ضربه ای ( Impulsive Transient ) که یک تغییر ناگهانی و غیر فرکانس قدرت ( Non - Power Frequency ) در حالت پایدار ولتاژ جریان یا هر دو بوده و از نظر جهت فقط پدارای یک جهت ( منفی یا مثبت ) می باشد . معمول ترین علت حالت های گذرای لحظه ای ، صاعقه است .

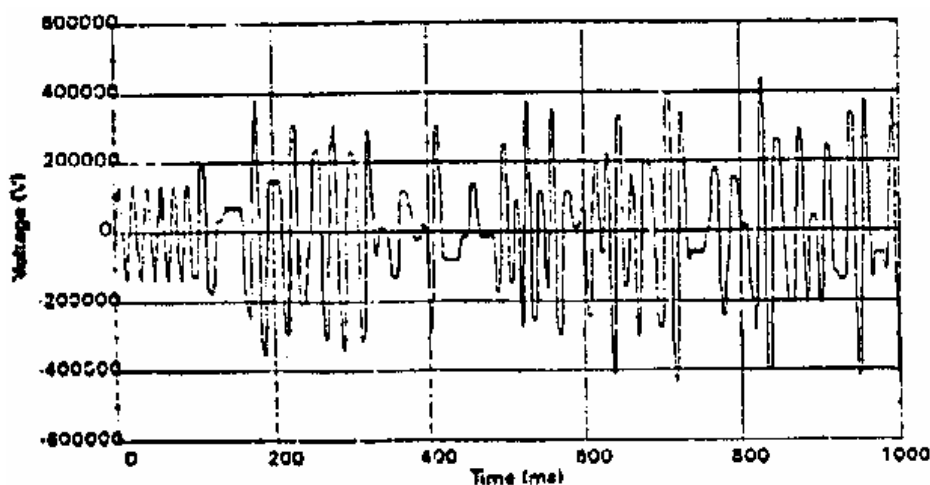
۲-۱ - حالت‌های گذرای نوسانی ( Oscillatory Transient ) که حالت مشابه حالت ضربه ای است با این تفاوت که دارای مقادیری در هر دو جهت مثبت و منفی است . علل عمده وقوع این نوع حالت‌های گذرا ، قطع و وصل خازنها است که می تواند نوساناتی در حد ده ها کیلو هرتز در جریان ها ایجاد کند .

قطع و وصل فیدرهای کابلی که همان حدود نوسانات را در ولتاژها ایجاد می کند نیز از این قبیل موارد است و بیشتر در شبکه های فوق توزیع اتفاق می افتد .

جهت آشنائی با نمونه های از این نوع حالت‌های گذرا در شکل زیر ارائه می گردد :



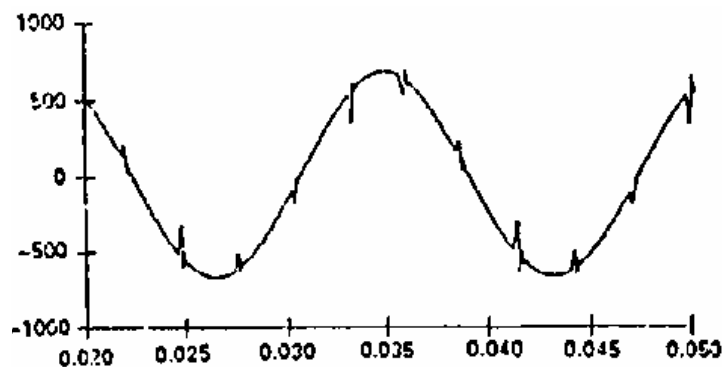
شکل ۱ : حالت گذرای نوسانی فرکانس کم ناشی از برق دار کردن بانک خازنی



شکل ۲ : حالت گذرای نوسانی فرکانس کم ناشی از حالت فرورزونانس یک ترانسفورماتور بی بار

۲- نوسانات ولتاژ تغییرات ولتاژ با بیش از یک دقیقه چه بصورت کاهش و چه بصورت افزایش ولتاژ یکی دیگر از عوامل مؤثر در کیفیت برق می باشد که معمولاً از قطع بارهای بویژه سنگین یا برق دار کردن خازنها بصورت افزایش ولتاژ خود نمایی کرده و بالعکس آنها نیز موجب کاهش ولتاژ می گردد . علاوه براین موارد ، نوسانات ولتاژ کمتر از دقیقه نیز مطرح است که بیشتر موارد لحظه ای تلقی شده و ناشی از وقوع اتصالی ، برق دارکردن بارهای سنگینی که جریانه‌های راه اندازی بالایی دارند و یا اتصالات مثلاً دو شبکه می تواند باشد .

۳- اعوجاج شکل موج نیز یکی از معمول ترین نشانه ها و عوامل مسئله کیفیت برق است و بسیاری مواقع بصورت پایدار در شبکه می باشد و اساساً شامل پنج نوع اعوجاج Inter Harmonics, Harmonics, DC Offset ( هارمونیکهائی که ضریب صحیح از فرکانس شبکه نیستند )، Notching ( مانند شکل شماره ۳ ) و Noise می باشند.



شکل ۳: نمونه ای از اعوجاج در ولتاژ ( Notching ) ناشی از وجود یک مبدل سه فاز

۵- تغییرات و نوسانات فرکانس قدرت یا برق نیز از جمله نشانه های عدول از استانداردهای کیفیت برق می باشد و عمدتاً در نیروگاهها بدلالی مانند تغییر سرعت ژنراتور یا عدم کار کرد صحیح یا پاسخ زمانی نامناسب سیستم کنترل ژنراتور در مقابل تغییرات شدید بار و غیره اتفاق می افتد. همانطور که در مقدمه مقاله نیز اشاره شد برای هر کدام از موارد فوق می توان مقالات متعددی تهیه نمود ولی این موضوع خارج از هدف این مقاله است. تنها بخشی از این قسمت که در این مقاله بیشتر و نه بطور کامل شکافته خواهد شد " اعوجاجهای هارمونیکي " است چرا که این بخش بیشترین و پایدارترین حالت مؤثر در کیفیت برق است.

#### ج: اعوجاجهای هارمونیکي و اثرات آن

اعوجاجهای هارمونیکي پدیده جدیدی در برق نیست و اولین مقالات علمی در این مورد به سالهای ۱۹۳۰ و ۱۹۴۰ بر می گردد. در آن زمانها مشکلات تداخل شبکه های برق با سیستمهای تلفن مطرح بود و بعد که لامپهای قوسی به بازار آمد این پدیده بیشتر مورد توجه قرار گرفت تا اینکه با آمدن مبدلهای الکترونیکی برق و عبارت کلی تر الکترونیک صنعتی در دهه های اخیر، این مسئله فوق العاده اهمیت پیدا کرده است. یکی از مسائلی که خود را بیش از همه نشان داد و باعث وارد آمدن خسارت زیادی به تأسیسات شرکت های برق و خود صنایع شد مسئله رزونانس ظرفیت خازنی ( Capacitance ) با یک فرکانس هارمونیکي خاص است که باعث اعوجاج شدید، افزایش ولتاژ و حتی سوختن تجهیزات شده و می شود و نمونه های آن در سطح کشورمان نیز بسیار زیاد است. با افزایش تجهیزات الکترونیکی در شبکه، میزان خطر وقوع رزونانس بمراتب بیشتر شده و خسارات آن نیز بسیار قابل توجه است. آنچه مسلم است اعوجاجهای هارمونیکي اساساً توسط دستگاههای غیر خطی ( Non Linear ) در شبکه برق ایجاد می شود و همانطور که می دانیم وسیله غیر خطی به نوعی اطلاق می شود که جریان در آن با ولتاژ اعمال شده بر آن متناسب نمی باشد. اگر بخواهیم اعوجاجهای هارمونیکي را دسته بندی کنیم شاید بتوان بصورت زیر آنها را تقسیم بندی نمود:

۱- اعوجاج ولتاژ نسبت به جریان ( Voltage VS. Current Distortion ) : کلمه هارمونیکها اغلب در زبانها جاریست بدون اینکه تفسیر خاصی داشته باشد. مثلاً شنیده می شود که یک کنترل دور الکترونیکی موتور یا یک کوره الکتریکی بدلیل هارمونیکها درست کار نمی کند. یعنی چه؟ منظور آنها می تواند یکی از سه مورد زیر باشد:

۱-۱. ولتاژ هارمونیکي خیلی بزرگ یا پر از اعوجاج هستند و لذا بخش کنترل آنها نمی تواند دقیقاً زوایای آتش را تعیین کند.

۲-۱. جریانهای هارمونیکي بیش از ظرفیت دستگاهها موجود در شبکه مانند ترانسفورماتور و موتور وجود دارد و آنها ناچاراً بایستی در کمتر از قدرت نامی خود کار کنند.

۳- ۱. ولتاژهای هارمونیک خیلی زیاد هستند زیرا جریانه‌های هارمونیک تولید شده توسط دستگاه برای حالت نامی سیستم بسیار زیاد است.

بطور خلاصه اطلاق کلمه هارمونیکها می تواند بر ولتاژ یا جریان باشد ولی معمولاً تا وقتی از اعوجاجهای هارمونیک در ولتاژ صحبت می شود روی سخن با شبکه تولید و توزیع برق است و وقتی اعوجاجهای هارمونیک در جریان مد نظر می باشد موضوع به مصرف و تجهیزات آنها بر می گردد.

۲- اعوجاج هارمونیک کل (THD) و مقدار مؤثر (Total Harmonic Distortion & RMS Value) عموماً چندین شیوه اندازه گیری جهت نشان دادن اعوجاجهای هارمونیک یک شکل موج وجود دارد. یکی از معمول ترین آنها THD است که برای جریان یا ولتاژ بصورت زیر محاسبه می شود.

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{max}} M_h^2}}{M_1}$$

در حالیکه  $M_h$  مقدار میانگین مؤلفه هارمونیک  $h$  از مقدار  $M$  است. THD سنجشی از مقدار مؤثر مؤلفه های هارمونیک یک شکل موج اعوجاج دار است. THD مربوط به مقدار RMS شکل موج است که از فرمول زیر محاسبه می شود:

$$rms = \sqrt{\sum_{h=1}^{h_{max}} M_h^2} = M_1 \cdot \sqrt{1 + THD^2}$$

THD کمیت بسیار مفیدی در بسیاری از کاربردها است و لی محدودیتهای آنرا نیز بایستی در نظر گرفت. این کمیت ایده خوبی برای درک این مطلب می دهد که هنگام اعمال یک ولتاژ اعوجاج دار به یک بار اهمی چه مقدار حرارت اضافی ایجاد می شود. و اینکه جریان اعوجاج دار چگونه باعث تلفات اضافی در مسیر عبور ایجاد می کند.

۳- ضریب قدرت: اعوجاجهای هارمونیک محاسبات ضریب قدرت را پیچیده می کند چرا که بسیاری از عواملی که در محاسبات ضریب قدرت نادیده گرفته می شود با به میدان آمدن اعوجاجهای هارمونیک بایستس ملحوظ گردند چرا که قدرت ظاهری و اکتیو بشدت تحت نفوذ اعوجاجها هستند.

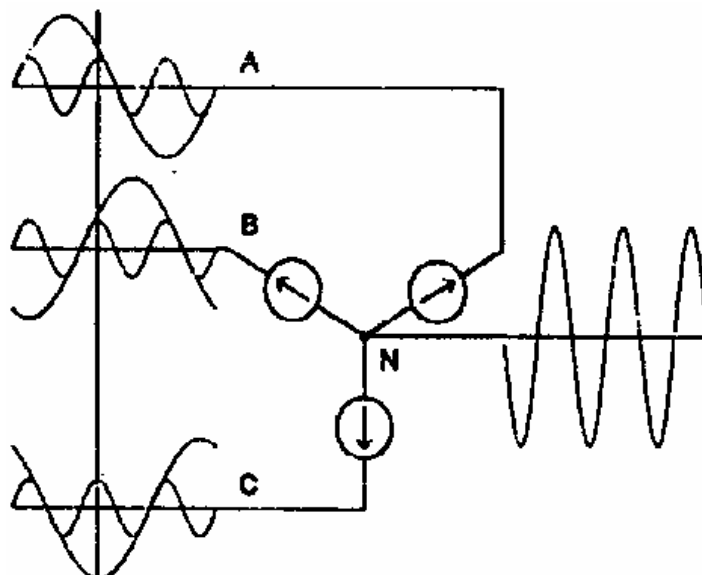
جهت لحاظ کردن اعوجاجها در محاسبه ضریب قدرت، واحدی تحت نام قدرت اعوجاج (Distortion Power) به میدان می آید و با  $D$  نشان داده می شود و واحد آن ولت آمپر است. اگر چه واحد آن ولت آمپر است ولی نمی شود آنرا مانند قدرت انگاشت زیرا این کمیت مانند قدرت (VA یا W) در مدار جریان پیدا نمی کند. فرمول محاسبه ضریب قدرت با ملحوظ کردن قدرت اعوجاج عبارت خواهد بود از

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}$$

$$Q = \sum_k V_k I_k \sin \theta_k$$

که در این فرمول  $P$  قدرت اکتیو،  $S$  قدرت ظاهری و  $Q$  قدرت راکتیو می باشد. البته تجهیزات پیشرفته ای که در حال حاضر جهت اندازه گیری استفاده می شود و دارای توانائی اندازه گیری اعوجاجهای هارمونیک نیز هستند، عملاً ضریب قدرت را براساس فرمولهای فوق حساب کرده و نشان می دهند و بعبارت دیگر مقادیر اندازه گیری شده توسط این دستگاهها واقعی هستند نه آنکه در حال حاضر عمل می شود.

۴ - هارمونیکهای ضریب سه (Triplan Harmonics): منظور از هارمونیکهای ضریب سه آنهایی هستند که ضریب آنها سه و یکی از اعداد فرد ضربدر سه می باشد (یعنی  $h=3,9,15,21, \dots$ )، علت اشاره خاص به این هارمونیکها این است که اصولاً شبکه قدرت در مقابل این هارمونیکها در مقایسه با بقیه هارمونیکها رفتار ویژه ای نشان می دهد. این مسئله در سیستمهای اتصال ستاره با نول زمین شده، بینهایت اهمیت دارد و اثرات آن افزایش بیش از حد جریان نول و اغتشاش در سیستم تلفن بوده و در بعضی موارد اعوجاج بیش از حد در ولتاژ فاز به نول باعث کار کرد غلط دستگاههای یک فاز می شود. برای درک بیشتر مطلب به شکل شماره ۴ مراجعه کنید.



شکل ۴: جریانهای نول بالا در مدارهایی که بارهای غیر خطی یک فاز دارند.

همانطور که در شکل بالا مشاهده می شود جمع جبری جریانهای با فرکانس مبنا صفر است (تعادل جریانهای سه فاز) اما جریانهای هارمونیک سوم متعادل نیز همزمان حضور دارند و در نتیجه جریان نول هیچ مقداری با فرکانس مبنا ندارد ولی مقدار هارمونیک سوم ۳۰٪ جریان فاز است. حال اگر جریانه نامتعادل باشند این هارمونیک ها بیشتر خودشان را نشان می دهند. لذا نکات مهمی که در این ارتباط می توان بطور خلاصه گفت عبارت است از:

- ۱ - ۴ - ترانسفورماتورها، بویژه با اتصال زمین، در معرض گرم شدن بیش از حد خواهند بود بویژه وقتی بارهای تک فاز که دارای هارمونیک سوم زیادی هستند در طرف ستاره آنها حضور دارد.
- ۲ - ۴ - اندازه گیری جریان در طرف مثلث یک ترانسفورماتور نمی تواند نشان دهنده هارمونیکهای ضریب سه بوده و واقعیت گرمایش بیش از حد ترانسفورماتور را روشن کند.

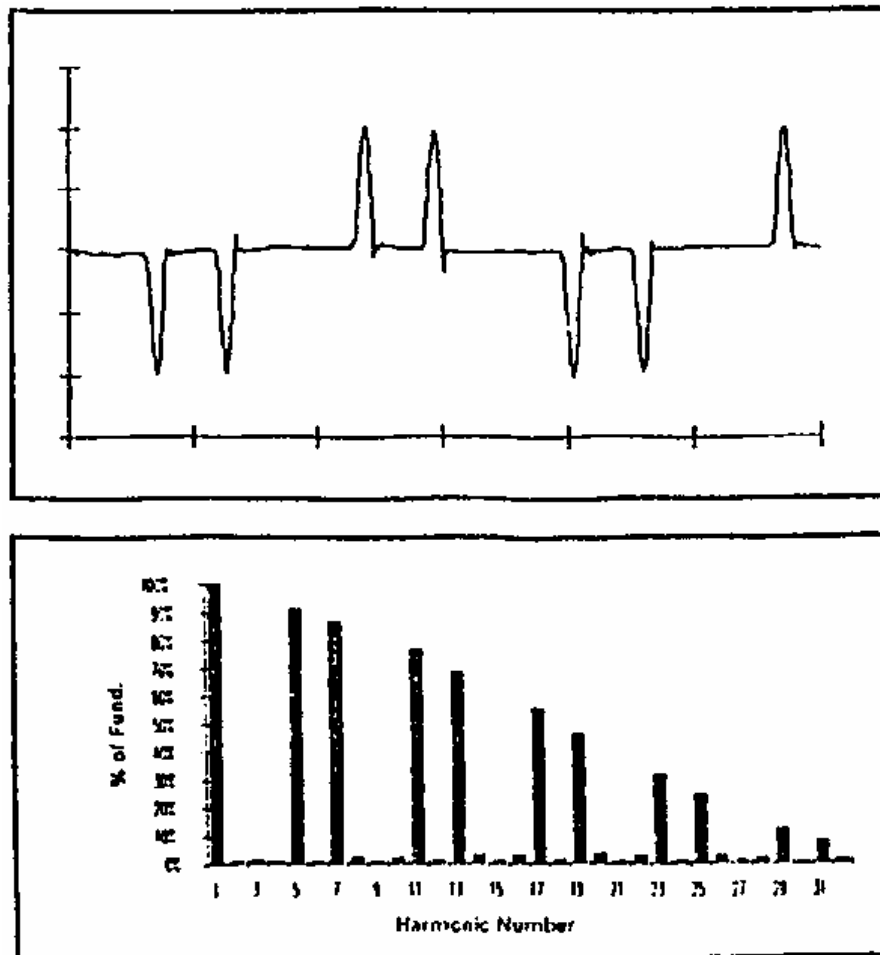
۳ - ۴ - با اضافه کردن یک ترانسفورماتور ایزوله می توان از جاری شدن جریانهای هارمونیک ضریب سه جلوگیری نمود.

۵ - منابع تغذیه تک فاز، منابع تغذیه و مبدلهای برق با توجه به ظرفیت بالای آنها در ایجاد جریان های هارمونیکی مهمترین طبقه بین بارهای غیر خطی در شبکه برق تلقی می شوند. و همانطور که در مقدمه اشاره شد با انقلاب صنعتی در زمینه نیمه هادی ها و میکرو پروسسورها در دهه های اخیر، استفاده وسیع و همه جانبه از تجهیزاتی مانند کامپیوتر ها، UPS ها، کنترل دورها ی الکترونیکی موتورهای AC و DC، باتری شارژرها، چوک های الکترونیکی و عبارتی هر گونه مبدل AC/DC و بالعکس از نوع الکترونیکی غیر قابل اجتناب شده است.

بدلیل یک فاز بودن عمده آنها، هارمونیک سوم در جریان نول بسیار بالا رفته و باعث اضافه جریان قابل توجه در نول / زمین و نیز گرمایش بیش از حد در ترانسفورماتورها می شود. این مشکل در ساختمانهای اداری و بویژه بیمارستانها بیشتر خود نمایی می کند و بدلیل ضعف هایی که معمولاً در سیستم اتصال زمین ساختمانها بویژه در کشور ما وجود دارد و شاید سال تا

سال هم تست نمی شود ( ! ) اعوجاجهای هارمونیکی مشکلات بیشماری مانند سوزاندن دستگاههای حساس ، اتصال بدنه و خطر برق گرفتگی و غیره را بدنبال داشته است .

۶ - مبدل‌های سه فاز ، مبدل‌های سه فاز از نظر ایجاد اعوجاجهای هارمونیکی کاملاً متفاوت از نوع یک فاز هستند چرا که جریانهای هارمونیک سوم تولید نمی کنند . این مزیت بسیار بالای مبدل‌های سه فاز است . با وجود این ، آنها هنوز منبع قابل توجه اعوجاجهای هارمونیکی هستند و شکل زیر تا حدودی گویای این مطلب است :



شکل ۵: جریان و طیف هارمونیکی برای یک کنترل دور نوع PWM (Pulse – Width Modulated)

۷ - تجهیزات با قوس الکتریکی این گونه تجهیزات شامل کوره های قوسی ، وسائل جوشکاری و لامپهای از نوع قوسی ( فلورسنت ، بخار سدیمی ، بخار جیوه ای ) و چوک های مغناطیسی است . همان طور می دانیم که قوس اساساً یک کلمپ ولتاژ بطور سری با یک راکتانس کنترل کننده جریان در حد معقول و منطقی می باشد و مشخصه های ولتاژ - جریان قوسهای الکتریکی بین خطی هستند . همچنین که می دانیم قوس الکتریکی خودش در واقع یک منبع هارمونیکی ولتاژ تلقی می شود و مقدار آن تابع امپدانس مسیر قوس و طول قوس می باشد و لذا این اعوجاجها بویژه هنگام عملیات ذوب بیشتر نمایان می گردد . هارمونیکیهای ضریب سه در کوره های قوسی می توانند از طریق اتصال ترانسفورماتور حذف شود ، اگر چه روی حذف آنها بطور دائمی نمی توان حساب کرد چون عملکرد آنها در مرحله ذوب اغلب نامتعادل است .

۸ - تجهیزات قابل اشباع : از جمله تجهیزاتی که در اعوجاجهای هارمونیکی نقش دارند تجهیزات اشباع شونده مانند ترانسفورماتورها ، موتور ها و اصولاً وسائل الکترو مغناطیسی با هسته فولاد می باشند و هارمونیکیها بدلیل مشخصه های مغناطیس کننده گی غیر خطی فولاد ایجاد می شود اثر این تجهیزات در ایجاد اعوجاجهای هارمونیکی به اندازه مبدل‌های برق



کوره های قوسی نیست ولی در بخش توزیع که صدها ترانسفورماتور روی شبکه هستند قابل توجه می باشد . بویژه اعوجاجهای ضریب سه در اوایل بامداد که بار کم و ولتاژ بالاست بیشتر خود نمایی می کنند و بدلیل فوق تحریک شدن آنها ( ناشی از کمی بار ) اعوجاج در هارمونیک های ولتاژ نیز قابل ملاحظه و مشاهده است .

د : شیوه های عملی و اقتصادی شناسایی و بهبود کیفیت برق

وقتی به مباحث قبلی همین مقاله برمی گردیم و مسائلی که کیفیت برق را تحتالشعاع قرار می دهند مروری می کنیم به این نتیجه کلی می رسیم که دو راه موازی با هم وجود دارد : کی بالا بردن ضریب اطمینان و کارایی شبکه برق و به حداقل رساندن اعوجاجهای ناشی از قطع و وصل و غیره و دیگری پرداختن به بخش توزیع و مصرف و راهنمایی و اگر لازم شد مجبور کردن این دو بخش بویژه بخش مصرف به حل مشکلات داخلی خود یعنی اجتناب از ایجاد آلودگی در محیط برق . در این مقاله فقط به ذکر شیوه های عملی و اقتصادی جهت شناسایی و بهبود کیفیت برق در ناحیه توزیع و مصرف اکتفا می کنیم . اگر چه آن نیز الزاماً بدلیل محدودیت صفحات مقاله مختصر خواهد بود .

۱ - شناسایی اعوجاجها و منابع آن در شبکه های توزیع : آنچه مسلم است برای حل هر مسئله یا مشکلی بایستی ابتدا آنرا شناسایی کرده و اطلاعات کاملاً درست ، دقیق و به روز از آن بدست آورد . برای جمع آوری اطلاعات از اعوجاجهای هارمونیک چهار ای بجز استفاده از دستگاههای ویژه اینکار نداریم . مسئله بعدی که پیش می آید این است که آیا بایستی سراغ دستگاههای پر تابل تست برای این منظور برویم ؟ جواب این است که اینکار بدلیل جمع آوری اطلاعات بصورت کاملاً مقطعی و کوتاه مدت و عدم امکان بسط نتایج حاصله از آن بدوران طولانی مدت و در کنار آن هزینه نیروی انسانی برای این منظور ، یک راه حل اساسی نیست .

شیوه و راه حل اساسی که مشکلات حالت اول را ندارند و در برگیرنده چندین هدف در قالب یک طرح بوده و کاملاً عملی و اقتصادی است ، استفاده از دستگاههای اندازه گیری جدید تحت عنوان کنتور تعرفه دار است که دارای حداقل امکانات زیر هستند :

۱ - ۱- اندازه گیری و ثبت کلیه پارامتر ها

۲ - ۱- اندازه گیری و ثبت اعوجاجهای هارمونیک (THD و ...)

۳ - ۱- اندازه گیری و ثبت ضریب قدرت با احتساب اعوجاجهای هارمونیک

۴ - ۱- دارا بودن بیش از سه تعرفه در اندازه گیری انرژیها و دیماند

۵ - ۱- دارا بودن پورت ارتباط جهت انتقال اطلاعات دستگاه از طریق مودم به مرکز مانیتورینگ یا دیسپاچینگ شرکت های توزیع

در این جا اگر چه ظاهراً از بحث منحرف می شویم ولی وقتی به تاریخچه کنتور توجه کنیم مشاهده می گردد سال ها پیش چون بارها عمده‌تأ اهمی بود لذا اندازه گیری ضریب قدرت ، اعمال جریمه برای مقادیر کم اصلاً مطرح نبود ولی با رشد صنعت و بالا رفتن مصرف برق و افزایش پارامتر های غیر اهمی شرکت های برق ناچار شدند جهت مصرف های غیر خانگی مصرف بالا ، کنتور راکتیو نیز اضافه کنند . حال با افزایش مصرف کننده های الکترونیکی حتی در واحدهای صنعتی و بالا رفتن اعوجاجهای هارمونیک و بعبارت آلودگی محیط برق پس بناچار بایستی وزارت نیرو جهت کاهش تلفات و حفظ امنیت مصرف کنندگان برق از این آلودگی ها وارد عمل شود و اینکار امکان پذیر نمی باشد مگر با تغییرات اساسی در دیدگاه از کنتور و استفاده از کنتورهائی که مشخصات بالا را دارند . چرا که بدین وسیله بتواند واحدهای صنعتی آلوده کننده محیط برق را براساس مقادیر حقیقی شناسائی و آنها را وادار به فیلتر کردن اعوجاجها کرده و از تحمیل این مشکلات به شبکه و سایر واحدها و مصرف کنندگان ممانعت بعمل آورد . برای این کار نیز می توان روی میزان جریمه عدول از THD خاصی مطالعه و بررسی کرده و ارقام منطقی بدست آورد . همچنین با استفاده از این کنتورها ، ضریب قدرت دقیق تر محاسبه می شود و مزایای دیگری نیز قابل دسترسی است که چون جزو بحث های این مقاله نمی باشد بیش از این به آن پرداخته نمی شود .

۲- راه های پیشگیری از ورود اعوجاجهای هارمونیکی به شبکه های توزیع : وقتی منابع آن شناسائی گردید و اطلاعات کاملاً دقیق ، صحیح و به روز بدست آمد می توان واحد های صنعتی را راهنمایی کرد که چگونه با استفاده یکی از شیوه های زیر اعوجاجهای هارمونیکی خود را قبل از ورود به شبکه توزیع حذف کنند :

۱- ۲- کاستن از جریانهای هارمونیک در بارها : این کار روی دستگاههای موجود آسان نیست و حتی بعضی مواقع بسیار مشکل هم است . آنچه می توان بطور عملی انجام داد ، مثلاً در مورد ترانسفورماتورها با پائین آوردن ولتاژ ( در صورت پایین بودن بار آن ) از حالت فوق تحریک خارج شوند ، در مورد کنترل دور های الکترونیکی با اضافه کردن یک راکتیو بطور سری می توان مشخصاً اعوجاجهای هارمونیکی را کاهش داد . ترانسفورماتورهای اتصال زیگ زاگ نیز کمک مؤثری در حذف جریانهای هارمونیکی ضریب سه است .

۲- ۲- فیلتر کردن : فیلتر شنت با اتصال کوتاه کردن جریانهای هارمونیکی در نزدیکی منبع اعوجاج ، نقش کاملاً عملی در حذف آنها بازی می کند . یکی دیگر از شیوه ها استفاده از فیلتر های سری است که با قرار گرفتن بصورت یک امپدانس زیاد در مسیر جریان هارمونیکی ، آنها را حذف می کند . البته این شیوه اغلب استفاده نمی شوند زیرا ولتاژ بار اعوجاج بسیاری خواهد داشت . شیوه معمول دیگر استفاده از خازن در سیم زمین سیستمهای زمین شده می باشد که بدینوسیله هارمونیکیهای ضریب سه بلوک شده و سیستم زمین مناسبی جهت فرکانس مبنا ایجاد می شود . فیلترهای اکتیوی که به شیوه الکترونیکی مؤلفه های هارمونیکی جریان را برای یک بار غیر خطی تأمین می کنند نیز کاربرد دارد . همانطور که قبلاً نیز اشاره گردید بحث هارمونیکیها وفیلتر ها بسیار مفصل بوده و نمی توان به تمام نکات و راه حل ها در یک مقاله پرداخت و لذا بحث را در اینجا تمام می کنیم .

ه : نتیجه گیری و پیشنهادات

همانطور که بطور خلاصه اشاره شد ، مسئله کیفیت برق بسیار حیاتی بوده و اساساً می توان به دو بخش تقسیم کرد :  
الف : کیفیت برق در بخش تولید ، انتقال و توزیع که عمدتاً بصورت حالتهای گذرا در ولتاژها و فرکانس خود نمائی می کند .  
ب : کیفیت برق در بخش مصرف که عمدتاً بصورت اعوجاجهای هارمونیکی در جریانها نمایان می شود .  
آنچه مسلم است ضعف کیفیت برق در موارد فوق روی یکدیگر تأثیر گذاشته و باعث تشدید همدیگر می شوند بعبارت دیگر کیفیت برق در بخش های تولید ، انتقال و توزیع روی بخش مصرف بسیار مؤثر است و می تواند خسارات زیادی به مشترکین بویژه صنعتی تحمیل کند و بالعکس ، اعوجاجهای هارمونیکی ایجاد شده در بخش مصرف ، شبکه توزیع و فوق توزیع حتی سایر مشترکین را بشدت متأثر کرده و خسارات آشکار و پنهانی به آنها وارد نماید .  
چون هدف مقاله بخش اعوجاجهای هارمونیکی کیفیت برق بود لذا پیشنهادات زیر جهت کمک به حل این بخش از کیفیت برق ارائه می گردد .

آنچه که غیر قابل پیشگیری و اجتناب است از یک طرف کار برد روز افزون تجهیزات الکترونیک صنعتی در صنایع و از طرف دیگر اثرات منفی آنها در شبکه به بصورت ایجاد اعوجاجهای هارمونیکی قابل توجه و در نتیجه افزایش قابل ملاحظه تلفات شبکه و اختلال در پارامتر های آن و حتی سوختن بسیاری از تجهیزات در خود صنایع و سایر مصرف کنندگان به عنوان مثال ناشی از رزونانس می باشد . لذا پیشنهاد می گردد :

۱- بخش کنترل کیفی برق در کلیه شرکت های برق منطقه ای تشکیل گردیده و بصورت فعال وارد عمل شوند .  
۲- با فراموش کردن وسائل اندازه گیری ( کنتور ) قدیمی بویژه در صنایع ، به سرعت کلیه صنایع به کنتورهای تعرفه داری که قادر ند اعوجاجهای هارمونیکی ( THD ) را نیز اندازه گیری و ثبت کنند تجهیز شوند . و جرایمی جهت THD بیش از استاندارد ( مانند ضریب قدرت ) برای صنایع در نظر گرفته شده و اعمال شود .

۳- اگرچه شاید پیشنهاد زیر به اصل مقاله ظاهراً مرتبط نباشد ولی چون از نظر اقتصادی اهمیت قابل ملاحظه ای دارد و با اجرای پیشنهاد مطروحه در ردیف ۲ فوق عملاً بدون هزینه اضافی قابل ملاحظه قابل اجرا ست لذا بی مناسبت به نظر نمی رسد که این پیشنهاد نیز مطرح گردد .

بدلیل مجهز بودن کنتورهای تعرفه دار جدید به پورت RS485 می توان به هزینه بسیار پائین سیستم تله متری و مانیتورینگ بین شرکت های برق منطقه ای و واحدهای صنعتی برقرار نمود ( نمونه آن در شرکت برق منطقه ای تهران اجرا شده و در بعضی دیگر از شرکتهای برق منطقه ای از جمله شرکت برق منطقه ای اصفهان و در حد وسیعی بزودی آغاز خواهد شود ) و بدین ترتیب علاوه بر حذف کنتورخوانها و کاهش قابل توجه هزینه های نیروی انسانی در این بخش و نیز در بخش انتقال اطلاعات آنها به کامپیوترها جهت صدور صورتحساب و غیره ، می توان مرتباً اعوجاجهای هارمونیک را نیز اندازه گیری ، ثبت و مشاهده نمود و قبل از ایجاد مشکل در شبکه ، واحدهای صنعتی را سریعاً به فیلتر کردن آنها ترغیب نمود . بدیهی است با دستگاههای آنالیزر پرتابل به هیچوجه نمی توان به چنین نتایجی رسید .

در خاتمه امید است شرکت های برق منطقه ای با اجرای این پیشنهادات و نیز سایر پیشنهادات سازنده کارشناسان خود وزارت نیرو به سرعت در این راستا اقدامات مؤثر و جدی را شروع و پیگیری نمایند و بزودی شاهد کیفیت بالای برق باشیم .

۴- اطلاعات بدست آمده از چنین کنتورهائی در اختیار صنایع نیز قرار داده شود تا نسبت به فیلتر کردن اعوجاجها اقدام کنند زیرا منافع آن نه تنها نصیب شرکتهای برق منطقه ای می شود بلکه بیش از آن واحدهای صنعتی را به وضعیت خودشان آگاه کرده و با فیلتر کردن اعوجاجها باعث بهبود شبکه داخلی خودشان شده و از بسیار مشکلات رهائی می یابند .

۵- با گسترش سیستم GIS در شرکتهای برق منطقه ای ، عملاً پیشنهاد ردیف ۲ فوق نیز به کمک این سیستم شنافته و باعث دقت و اعتبار بالای آن خواهد شد .

و : قدر دانی

بدینوسیله از هیئت علمی ، اجرائی و دبیر محترم سیزدهمین کنفرانس بین المللی برق که سعی و تلاش بسیاری برای این کنفرانس بین المللی و بسیار با ارزش از ابتدا تا اختتام انجام می دهند بینهایت سپاسگزاریم .

ز : منابع و مراجع

- 1- “ The Canadian Guide To Power Quality and Power Harmonics” Valume II , Canadian Electricity Forum , 1997 , CANADA
- 2- “ Electrical Power Systems Quality “ , Roger C.Dugan , Mark F.McGargantuan, H.Wayne Beaty , 1996 Mc Graw- Hill , USA
- 3- “ Recommended Practice on Monitoring Electric Power Quality “ , IEEE PH59 , SCC22 Power Quality , Draft , November , 1994 , USA
- 4- “Power Quality Case Studies – Voltagr Says : The Impact on the Utility And Industrial Customers” G.Beam , E.G Dolack , Proceedings of The Third International Conference on Power Quality ( PQA 93 ) , San Diegs , November 1993 USA
- 5- “An Assessment of Distribution Power Quality “, EPRI RP 3098 – 1 Electric power Research Institute , Pals Alto , Calif . USA
- 6- “IEEE Recommended Practice and Requirements For Harmonic , Control in Electric Power systems “ , IEEE Standard 19 – 1992 Piscata way , N.J.USA 1992