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

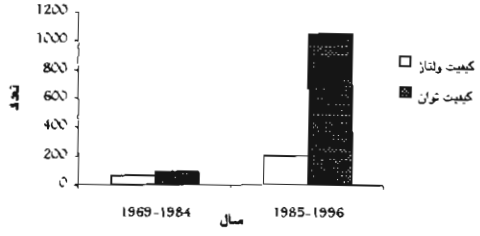
کیفیت توان از دید مهندسین توزیع

محبوبه زراعت زاده [۱] - علیرضا فریدونیان [۲] – سیدمحمودعطاری [۱] – حمید لسانی [۲]
(۱) شرکت توزیع نیروی برق جنوب استان کرمان
(۲) گروه مهندسی برق و کامپیوتر دانشکده فنی دانشگاه تهران

واژه های کلیدی :
کیفیت توان ، اندازه گیری ، توان راکتیو ، محیط هارمونیکی ، شرایط غیر سینوسی

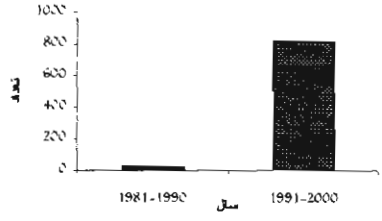
۱- مقدمه

لزوم سرمایه گذاری مستمر در توسعه منابع انرژی الکتریکی ، افزایش بهای واقعی انواع انرژی های پایه به عنوان سرمایه بشر ، و فشار طرفداران محیط زیست تمایل روز افزونی را برای استفاده بهینه از انرژی الکتریکی بوجود آمده است . بهبود کیفیت توان الکتریکی یکی از ابعاد تلاش برای این استفاده بهینه است که در چند سال اخیر بشدت مورد توجه محافل دانشگاهی و صنعتی قرار گرفته است . در یک جستجو در پایگاه اطلاعاتی INSPEC در فاصله سالهای ۱۹۸۴ – ۱۹۶۹ برای کلمه Power Quality ، ۹۱ مورد وبرای Voltage Quality ، ۶۴ مورد یافته شده است. در عوض در فاصله سالهای ۱۹۹۶ – ۱۹۸۵ بترتیب ۲۰۵۱ و ۲۰ مورد برای عبارات فوق پیدا شد. [1]، این افزایش در تعداد ، نشان دهنده رشد توجه محافل پژوهشی به مسئله کیفیت توان است .



شکل (۱)- تعداد مطالب پیدا شده در مورد کیفیت توان و کیفیت ولتاژ در پایگاه INSPEC

همچنین در جستجویی که در مقالات IEEE و IEE صورت گرفت ، در دهه ۹۰ – ۱۹۸۱ ، ۲۷ مورد برای کیفیت توان یافته شد در حالیکه در دهه ۲۰۰۰-۱۹۹۱ ، ۸۱۶ مورد پیدا شد که نشاندهنده رشد چشمگیر مقالات این زمینه است .



شکل(۲)- نمایش رشد چشمگیر تعداد مقالات IEE,IEEE با موضوع کیفیت توان دردودهه متوالی اخیر

مهمترین علل افزایش توجه به موضوع کیفیت توان از این قرار است :

- رشدسریع استفاده ازتجهیزات سویچینگ-سیستم های الکترونیک قدرت ، بارهای غیرخطی و هارمونیک زا از سوی مصرف کنندگان ، بدلیل مزایای بسیار این تجهیزات وتوسعه فاوری تجهیزات نیمه هادی قدرت. این تجهیزات -علیرغم مزایای بسیار برای مصرف کننده – مشکلات بسیاری را از نظر آلودگی هارمونیکی شبکه برای شرکتهای برق ایجاد می کند [1] .
- تجهیزات مورد استفاده مشترکین نسبت به اغتشاشات ولتاژی و مسائل کیفیتی توان ، از تجهیزات ده یا بیست سال پیش حساس تر شده اند .
- کارخانجات تولیدی (و یا مراکز خدماتی) -بدلیل افزایش رقابت و کاهش حاشیه امنیت سود- نسبت به وقفه و یا مشکل در خط تولید (یا ارائه خدمات) ناشی از قطع برق یاآلودگی هارمونیکی شبکه حساستر

شده اند. در نتیجه ، وقفه در تولید (یا خدمات) بدلیل مشکل در برق می تواند منجر به شکایت از شرکتهای برق گردد [2] .

- تحول در نگرش شرکتهای برق نسبت به بار : تغییر از عبارت ساده "بار" به پدیده پیچیده ای بنام "مشتری" . نتیجه این تحول ، توجه بیشتر به خواسته های مشتری (و نه بار) با رویکردی مشتری گرا است [1] .
- تولید دستگاهها و روشهای اندازه گیری کیفیت توان و هارمونیک ، و ایجاد امکان ارزیابی کیفیت توان الکتریکی به عنوان محصول تحویلی به مشتری. [3,4]
- خصوصی سازی ، دی رگولاسیون ، بازار رقابتی برق و تلاش شرکت های برق برای ارائه خدمات کیفی تر و مطلوب تر .
- بالا رفتن استانداردها و انتظارات مصرف کنندگان انرژی الکتریکی بنا به دلایل فرهنگی - اجتماعی.

انجمن مهندسین برق و الکترونیک IEEE ، کیفیت توان را "مبحث قدرت رسانی (Powering) و زمین کردن (grounding) تجهیزات حساس" تعریف می کند [5,6] کمیسیون بین المللی الکروتکنیک IEC تعریف مفصل تری ارائه می کند . "مجموعه پارامترهایی که ویژگیهای منبع توان تحویلی به مصرف کننده را بر مبنای تداوم تغذیه و مشخصات ولتاژآن تعریف می کند".[7] سازگاری الکترومغناطیسی (ElectroMagnetic Compatibility / EMC) مفهومی است که نزدیکی بسیاری با کیفیت توان دارد و دربسیاری از موارد در کنار یا بجای آن بکار می رود . استاندارد IEC 61000-1-1 ، سازگاری الکترومغناطیسی را " توانایی یک تجهیز یا سیستم در عملکرد رضایتبخش در یک محیط الکرومغناطیسی ، بدون وارد آوردن اغتشاشات غیرقابل تحمل به هر چیزی در آن محیط" می داند.[8]

در کشورهای اسکاندیناوی [1,9] و شوروی سابق [1,10] عمدتاً عبارت کیفیت ولتاژ به عنوان معادل کیفیت توان بکار رفته است . یکی از اولیس کارها در زمینه تعریف و تحلیل توان در محیط های غیر سینوسی و هارمونیکی توسط بودینو در سال ۱۹۲۷ ارائه شده است . [11] وی مفهوم توان اعوجاجی را در فرمولاسیون خود به کار گرفت . پس از آن ، محققین متعددی روی این زمینه کار کرده اند.[4] اولین اشاره به نام "Power Quality" در مقاله ای در سال ۱۹۶۸ توسط کبجاهارا انجام شد. [12,1]

اساساً زمینه کیفیت توان همانند بسیاری از زمینه های فناوری در صنایع هوافضا و الکترونیک فضایی بوجود آمد و سپس به سایر زمینه های صنعت گسترش یافت [1] .

اکثر متخصصین معتقدند که سهم بارهای غیرخطی و هارمونیک های ناشی از آنها در حال افزایش است. در این مقاله ، پس از طرح مسئله تعابیر مختلف از مفاهیم کیفیت توان ، نتایج یک نظر سنجی آماری بهمراه تحلیل نتایج حاصله ارائه شده است . سعی شده که برداشت کلی شرکتهای برق از این مفاهیم با ارزیابی دورنمای آگاهی آنان از مشکلات اندازه گیری صحیح توان در حضور شکل موجهای ولتاژ و جریان غیر سینوسی ، دریافت و ارائه شود .

اهداف اصلی این پژوهش عبارت است از :

- تعیین نوع دستگاههای اندازه گیری موجود به منظور اندازه گیری توان و انرژی اکتیو و راکتیو
- ارزیابی آگاهی مهندسین توزیع از محدوده های تعاریف موجود توان راکتیو، توان اعوجاج ، توان ظاهری و . . .
- ارزیابی آگاهی مهندسین توزیع از خطا ها و عملکرد نامناسب دستگاهها در یک محیط غیر سینوسی
- تشخیص نحوه اعمال ضریب زیان به مشترکین هارمونیک زا
- آماده کردن مسیر لازم برای تعریف عملی کمیتهائی که باید برای در آمد ، کنترل شکل ولتاژ و کیفیت توان اندازه گیری شوند.

۲- جامعه آماری و محدوده نظر سنجی

پرسشنامه ای در ۱۹ سوال تهیه شد و به ۴۰شرکت توزیع نیروی برق و ۱۴شرکت برق منطقه ای ارسال شد . نامه ها به عنوان مدیران محترم عامل شرکتها و به امضای مدیریت محترم عامل شرکت توزیع نیروی برق جنوب استان کرمان تهیه گردیدند و طی آن خواسته شد که حداقل ۶نفر از کارشناسان خبره آن شرکت نسبت به تکمیل و ارسال فرم مربوطه اقدام نمایند . علاوه بر ارسال نامه مذکور ، تماسهای مجدد جهت پیگیری ارسال پاسخنامه انجام شد نهایتاً ۱۴شرکت توزیع یا بعبارتی ۲۶درصد از شرکتها نسبت به ارسال پاسخنامه اقدام نمودند(شکل (۳)) و این درصد در مقایسه با اقدام مشابه انجام شده در آمریکا و کانادا که ۴۱درصد بوده درصد پاتینی به نظر می رسد[13] . در مجموع ۵۲ نفر از کارشناسان ارزنده صنعت برق با

سمنهای معاونت ، مدیریت و کارشناس پستهای مهندسی ، بهره برداری ، دیسپاچینگ ، تضمین کیفیت ، برنامه ریزی ، طراحی ، مدیریت مصرف ،دستگاههای اندازه گیری ، پستها،

شکل۳- پراکندگی جغرافیایی شرکتهای پاسخ دهنده

تحقیقات ، امور خدمات و مطالعات شبکه پاسخنامه ها را تکمیل و ارسال کردند .

در مورد شرکتهایی که به پرسشنامه پاسخ ندادند این احتمال وجود دارد که درگیر با موضوع هارمونیکها نبوده اند و تصمیم گرفته اند که پاسخی ارسال نمایند .

۳- دستگاههای اندازه گیری

اکثر دستگاههای اندازه گیری که در آمد شرکتها را تعیین می کنند، دستگاههای اندازه گیری انرژی (kwh) آنالوگ و یا دیجیتال هستند. به اثبات رسیده است که اگر اعوجاج ولتاژ کمتر از ۵درصد باشد خطای اندازه گیری توان هارمونیک دار قابل صرفنظر می باشد.[15.16.17.18.19] این نظرسنجی نشان داد که ۵۵ درصد شرکتها ازاین امرآگاهی دارند و۶۴ درصد شرکتها برای کاهش خطای اندازه گیری راه حل جایگزینی کنتورهای آنالوگ موجود را با کنتورهای دیجیتال پیشنهاد کرده اند، ۱۱ درصد معتقدند که در هر دو صورت استفاده از دستگاه دیجیتال و الکترومکانیکی خطا بهم نزدیک است و تفاوت چندانی ندارد . ۲۵ درصد معتقدند که خطا ربطی به نوع دستگاه ندارد. به اعتقاد یکی از ایشان تنها استفاده از دستگاه دیجیتال در صورتی موثر است که با مارک معتبر و با لحاظ نمودن دقت و اندازه گیری هارمونیکی انتخاب شده باشد.

در این نظرسنجی تعاریف متعددی در مورد تعریف KVA وkvar ارائه گردید .

۴- توان ظاهری

درمورد پاسخهای ارسالی اتفاق نظری روی تعریف توان ظاهری وجود نداشت .

۲۹ درصد کارشناسان رابطه (۱) را بعنوان تعریف توان ظاهری علامت زدند

$$S = \sqrt{(P_a + P_b + P_c)^2 + (Q_a + Q_b + Q_c)^2} \quad (۱)$$

۳۸ درصد دیگر رابطه (۲)

$$S = S_a + S_b + S_c \quad (۲)$$

که در آن

$$S_a^2 = P_a^2 + Q_a^2$$

$$S_b^2 = P_b^2 + Q_b^2$$

$$S_c^2 = P_c^2 + Q_c^2$$

و $P_{a.b.c}, Q_{a.b.c}$ توانهای اکتیو و راکتیو روی فازهای A.B.C می باشند .

۴ درصد معتقد به رابطه(۳)

$$S = 1.11^2 V_{AVG} I_{AVG} \quad (۳)$$

بودند که در آن V_{AVG}, I_{AVG}مقادیر متوسط موجهای تمام موج یکسو شده هستند .

ظاهراً تعداد کمی از شرکتها درگیر با مسئله اندازه گیری ضریب توان و تصحیح آن در سیستمهای سه فاز با بارهای نامتعادل بودند زیرا تنها ۴ درصد به استفاده از رابطه (۵)

$$S = 3Vele \quad (۵)$$

عقیده داشتند که Va ، Vb ، Vc ، Ia ، Ib ، Ic مقادیر rms ولتاژها و جریانهای خط و

$$Ve = \sqrt{\frac{(V_a^2 + V_b^2 + V_c^2)}{3}} \quad , \quad Ie = \sqrt{\frac{(I_a^2 + I_b^2 + I_c^2)}{3}}$$

هستند.[14]

و ۲۵ درصد پاسخ دهندگان معتقد بودند که هیچیک از پاسخهای فوق صحیح نمیباشد.

۵۲ درصد از شرکتها از دستگاه اندازه گیری توان ظاهری استفاده می کنند که دلیل استفاده را محاسبه ضریب توان(۲۵درصد)، تعیین رنج تجهیزات(۲۳درصد) وتعیین میزان مصرف(۴درصد) بیان نموده اند .

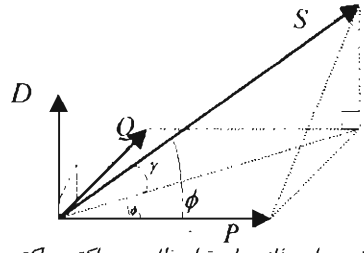
۵- توان راکتیو

همه شرکتها توان راکتیو (Q) ،را برای مشتریان بزرگ خود اندازه گیری می کنند .

دستگاههای اندازه گیری kwh اغلب دیجیتالی یا الکترومکانیکی هستند . خیلی از شرکتها از قرائت kvar برای محاسبه صورتحساب (قبض) استفاده می کنند .
مولفه راکتیو قبض مقدار متوسط است نه پیکkw مصرف .
۹۰/۸ درصد دستگاههای اندازه گیری الکترومکانیکی و ۹/۲ درصد دیگر دیجیتالی هستند .

۶- آگاهی از مفهوم توان اعوجاجی

۴۲درصد کارشناسان رابطه$S^2 = P^2 + Q^2$ راپذیرفته اند اما ۵۸ درصد آن را در حالت کلی رد کردند و این مفهوم درک ایشان ازرابطه صحیح $S^2 = P^2 + Q^2 + D^2$ است .

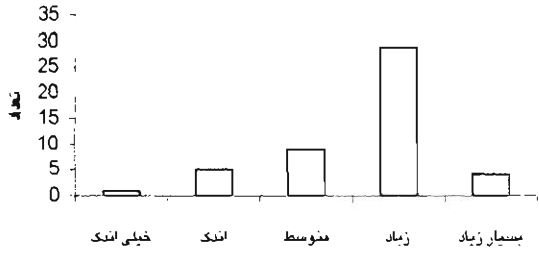


شکل۴- نمایش برداری فازورهای توان ظاهری ، اکتیو، راکتیو و اعوجاج

تنها ۲ درصد ایشان توان اعوجاجی (D) را نمی شناسند، بقیه با آن آشنا هستند اما در ۲۰ درصد از شرکتها در نظر گرفته میشود و در۷۸ درصد باقیمانده منظور نمی شود
۶۲ درصد از کارشناسان اطلاعی از تعریف استاندارد IEEE ، 100 ازD ، Q ، P ، S ندارند،۲۴درصد آن را تائید میکنند و۱۴ درصد در آن اشکال مشاهده کرده اند .[20]

۷- خطاهای اندازه گیری

در بین پاسخنامه های دریافتی ۸۳ درصد کارشناسان اعتقاد به وجود بارغیرخطی مهم در بین مشترکین خود دارند . منظور ازبارغیرخطی مهم : واحدهای حرارتی القائی ، کوره های قوس الکتریکی ، کارخانجات الکترو شیمیائی ، موتورهای با مدارهای اینورتری کنترل سرعت با قدرت بالای 100KVA است. این مطلب در پرسشنامه بهمین ترتیب توضیح داده شده بود .
در پرسشنامه خواسته شده بود که خطای اندازه گیری ایجاد شده در اثر بارهای غیرخطی مهم به صورت خیلی اندک، متوسط، زیاد و بسیار زیاد درجه بندی شود . که پاسخهای دریافتی مطابق با شکل(۵)می باشد .



شکل۵- درجه خطاهای اندازه گیری ناشی از جریانها و ولتاژهای غیر سینوسی

از آنجا که۷۴درصد از شرکتهای درگیر با مسائل توزیع نسبت به تکمیل و ارسال پرسشنامه اقدام ننمودند، این احتمال وجود دارد که نتایج شکل(۵) را حتی به سطح پائینتری از وضعیت نشان داده شده بتوان انتقال داد .
مشکلات عمده در مورد بارهای غیرخطی به صورت زیر عنوان شده بود :

- قرائت های w . wh مورد اعتماد نیستند (۷۹٪)
- دستگاههای اندازه گیری الکترومکانیکی انرژی راکتیو، خطای مثبت می دهند (۲۱٪)

وسایر مشکلات به شرح زیر ارسال شده بود :
تشدیدهای سری موازی احتمالی در حضور هارمونیکها و افزایش تلفات تجهیزات در شبکه و مشترکین.
۹۶ درصد از کارشناسان معتقد به لزوم وجود دستگاه اندازه گیری هارمونیک هستند.

۸- جریمه بارهای غیرخطی

در پاسخ به معیار فعلی اعمال ضریب زیان به مشترکین ۴درصد معتقد به معیار انرژی مصرفی(kwh) ، ۲ درصد ماکزیمم مصرف ، ۷۱ درصد ضریب توان و ۲۳ درصد توان راکتیو(Q) بودند .
پیشنهادات جهت اعمال ضریب زیان (جریمه بارغیرخطی) ۲ درصد اعمال معیار انرژی مصرفی، ۲ درصد اعمال ماکزیمم مصرف ، ۳۸ درصد اعمال ضریب توان، ۱۸ درصد اعمال توان راکتیو(Q) ، ۳ درصد اعمال توان ظاهری و ۳۷ درصد اعمال معیار هارمونیکها،فلیکریا جریانهای مؤلفه صفر و مفی بود . سایر پیشنهادات عبارت بود از :
۱ در نظر گرفتن بارهای هحومی و نا متعادلی بار
۲ بایستی عملکرد دستگاههائی که مشترکین سنگین وارد مدار می کنند لحاظ هارمونیک سنجیده شود و در صورتی که بیش از مقدار استاندارد باشد پیشنهادات لازم جهت جلوگیری از ایجاد هارمونیک به شبکه به مصرف کننده اعلام شود ۳ اعمال ضریب زیان طبق رابطه :
ضریب زیان =۱ (ضریب قدرت/ ۰/۹)
۴- تاثیرات ادوات هارمونیک زا بر رله های حفاظتی

به اعتقاد۵۷ درصداز کارشناسان، هارمونیک ها باعث عملکرد غلط (ناخواسته)رله ها و ۵ درصد باعث عدم عملکرد رله ها در هنگام خطا می شود . ۳۸ درصد اعلام داشته اند که گزارش یا تجربه ای در این مورد نداشته اند .

۹- خازن گذاری

تاثیر خازن گذاری در شبکه در جهت کاهش هارمونیک ۶درصد و درجهت افزایش آن ۶۰ درصد عقاید را به خود اختصاص داده است . ۲۵ درصد معتقدند که ابزار لازم برای اندازه گیری این سوال را نداشته اند و ۹ درصد اصلاً به این موضوع فکر نکرده اند، یکی از ایشان انتخاب محل نصب و مقدار خازن بصورت تجمعی یا پراکنده میتواند اثر مثبت یا منفی بر هارمونیکها داشته باشد.

۳۹ درصد از کارشناسان معتقدند خازن گذاری باعث عملکرد ناخواسته (غلط)رله ها می شود ، ۲ درصد معتقدند که باعث عدم عملکرد رله ها در هنگام خطا شده است و ۵۹ درصد گزارش یا تجربه ای در این مورد نداشته اند .

۱۰- روشنایی

استفاده از لامپهای کامپکت (کم مصرف) و فلورسنت به اعتقاد اکثر کارشناسان باعث افزایش هارمونیک می شود .

۱۱- سیستم زمین

اجرای سیستم زمین امری متداول در شبکه توزیع است ۸۳ درصد معتقدند که اجرای صحیح یک سیستم زمین از نظر مولفه صفر بسیار مهم است ، ۴درصد اعتقاد دارند که از نظر سازگاری الکترومغناطیسی تاثیر گذار است و ۱۳درصد معتقدند که سیستم زمین فقط ارزش حفاظتی داشته و ربطی به هارمونیک ندارد .

۱۲- نتیجه گیری و خلاصه

کیفیت توان الکتریکی و بالایش هارمونیکی شبکه تحت تاثیر بازار و نگرش مشتری گرا در شرکت های برق مورد توجه قرار گرفته است . استانداردهای کیفیت توان و سازگاری الکترومغناطیسی روز به روز سخت گیرانه تر می شوند تا لطمات ناشی از مشکلات هارمونیکی به حداقل کاهش یابد . از سوی دیگر آلودگی روز افزون شبکه های قدرت با سیستم های الکترونیک قدرت تلاش برای تعریف مجدد مفاهیم توان ظاهری ، اکتیو ، راکتیو و اعوجاجی و ساخت دستگاههای اندازه گیری جدیدرا الزام آورمی سازد .

بررسی تعداد مقالات منتشره در زمینه کیفیت توان در روند افزایشی تعداد آنها در دو دهه اخیر نشان دهنده توجه پژوهشگران به این موضوع است (شکل۱و۲) .

اکثریت مهندسین توزیع ، توان ظاهری را مجموع توانهای ظاهری سه فاز مطابق با رابطه ۲ می دانند ، در حالی که در تحقیق مشابه امریکای شمالی[13] ، توان ظاهری بصورت جمع برداری توان ظاهری سه فاز، مطابق رابطه۱ اکثریت دیدگاه ها را در بر داشته است. اکثر شرکتها توان راکتیو را برای مشترکین بزرگ خود اندازه گیری نموده در صورتحساب (قبض) لحاظ می دارند .

بیشتر مهندسین توزیع جامعه آماری ایرانی با مفهوم توان اعوجاجی آشنا هستند در حالیکه عده بسیار کمی از آنان این کمیت را در اندازه گیری ملحوظ می دارند . در مقابل بسیاری از مهندسین توزیع در آمریکای شمالی مفهوم توان اعوجاجی را بی معنی می دانند . عده نسبتاً زیادی از مهندسین توزیع ایرانی با تعاریف استاندارد توانایی اعوجاجی و . . .

آشنا نیستند در حالیکه عده این افراد در تحقیق مشابه امریکایی کمتر است .[13]

وجود بارهای غیرخطی درصد زیادی از پاسخ های مهندسین ایرانی و آمریکایی - هر دو - را به خود اختصاص داده است . اکثر شرکتهای ایرانی از ضریب قدرت برای محاسبه ضریب زیان استفاده میکنند ، در حالیکه اکثر شرکتهای آمریکایی از پیک دیماند، بیش از ضریب قدرت برای شارژ کردن مشتریان خود استفاده می کنند . در رابطه با آینده ، باز هم مهندسین ایرانی ضریب قدرت را بهترین گزینه برای جریمه مشتریان می دانند . اما اکثریت مهندسین توزیع آمریکای شمالی پیشنهادی در مورد جریمه بابت هارمونیک ، جریانهای مولفه منفی و صفر ، بابت KVA و عده کمی تعرفه های سالانه دارند .

اکثریت مهندسین ایرانی ، اثر هارمونیک را بر عملکرد ناخواسته رله ها مهم می دانند و اثر خازن گذاری را نیز در این مورد حائز اهمیت می دانند . همچنین ، سیستم زمین – بخصوص از نظر تاثیر بر مولفه صفر – از دیدگاه مهندسین توزیع ایرانی دارای اهمیت است ولی درصدد معنی داری از آنان نیز اعتقادی به این تاثیر ندارند .

هر یک از مباحث طرح شده در این پژوهش از مشکلات مبتلا به صنعت برق هستند و شایسته توجه و تعمق متخصصین بخش توزیع می باشند . بدیهی است توجه به این مطالب و تلاش در جهت بکارگیری عملی این مفاهیم

در طراحی ، اجرا و بهره برداری سیستم های توزیع ، نقش درخور توجهی بر بهبود کیفیت توان و رضایت مشترکین شبکه های توزیع خواهد داشت .

۱۳- سپاسگزاری

از کلیه همکاران شرکت توزیع نیروی برق کرمان خانمها مریم نامی، اقدس عماری و اقای علامرضا لهراسبی که در انجام این نظر سنجی همکاری کرده اند سپاسگزاری می شود .
همچنین از شرکتهای توزیع نیروی برق استان ادربایجان غربی، استان مرکزی ، بوشهر ، خوب کرمان ، چهارمحال بختیاری ، خراسان ، شمال کرمان ، شمالغرب تهران ، شهرستان مشهد ، غرب تهران ، لرستان ، مازندران ، همدان و یزد (به ترتیب حروف الفبا) که به دقت و علاقه به پرسشهای مطرح شده پاسخ داده اند کمال سپاسگزاری به عمل می اید .

۱۴- مراجع

[1] Bollen . M.H.J. "Understanding Power Quality Problems : Valtage Sags and Interruptions " . IEEE Press Series in Power Engineering . New York . 2000
[2] Hof . R.D. . "The <<Dirty Power>> Clogging Industry's Pipleline " . Business Week . April . 8 . 1991 .
[3] Dugan . R.C. . McGranaghan . M.F. . Wayne Beaty . H. . "Electrical Power System Quality" . Mc Graw_Hill co . . 1996
[4] Svensson .S. . "Power Measurement Techniques for Nonsinusoidal Situations " Ph.D. Thesis . Chalmers University . 1999
[5] IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding Sensitive Electronic Equipment . IEEE std. 1100 . 1992
[6] IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems . IEEE std. 519– 1992
[7] Marteloff . F. . "Power Quality Work at the International Electrotechnical Commision " International Electrotechnical Commision " PQA-97 Europe . June1997 . Stockholm . Sweden .
[8] Electromagnetic Compatibility (EMC) . Part1 :
General . Section1 : Application and Interpretation of Fundamental Definitions and Terms . IEC 61000-1-1
[9] Knoller . P.M. . Lonnstam .L. . "Voltage Quality and Voltage Tendency Recorders " Siemens – Review . Vol.36 . No.8 . Aug.1969 . PP.302-303
[10] Konstantinov . B.A. . Bagiev . G.L. . "Financial Losses Due to Deterioration of Voltage Quality " . Electric – technology – USSR . Vol.1 . 1970 . PP.119 – 123
[11] Budeanu "Reactive and Fictitious Power " Rumanian National Institute . No.2 . 1927
[12] Kijahara . H.H. . "Quality Power for Electronics " Electro-Technologgy . Vol.82 . No.5 . Nov.1968 . P.46
[13] IEEE working group on nonsinusoidal situations."A Surveyof North American Electric Utility Concerns Regarding Nonsinusoidal Waveforms". IEEE Transaction on Power Delivery. Vol.11. No.1. January 1996.
[14] P.S.Filipski and R.Arseneau." Definition and Measurement of Apparent Power under Distorted Waveform Condition.", ibid. pp.37-42
[15] R.Arseneau and P.S.Flipski. "The Effect of Nonsinusoidal Waveforms on the Performance of Revenue Meters". IEEE Tutorial Course on Nonsinusiodal Situations: Effects on the performance of meters and Definition of Power. Course Text 90 EH 0327-7PWR.1990.pp. 25-30
[16] A.G.Bagot. "The Effect of Wave Distortion on the Measurements of Energy Tarriff Meters." IEE Metering Apparatus and Tarriff for Electricity Supply.Conf. Publ No. 156. pp. 280-284. London. 1977
[17]A.E.Emanuel.F.G.Levitsky. E.M.Gulachenski." Induction Watthour Meter Performance on Rectified/Inverter Circuits." IEEE Trans.power App.Syst.,Vol.PAS-100.pp.4422-4427.November 1981
[18]A.J.Baldvin.N.G.Planner.D.E.Nordell.N.Mohan," Evolution of Electrical Interference to the Induction Watthour Meter " EPRIEL 2315 . Reaserch Project 1737. Final Report. April 1982
[19] Y.Baghzouz.O.T.Tan." Harmunic Analys of Induction Watthour Meter Performance." IEEE Trans.Power APP.Syst.. Vol.PAS 104. No.2. pp.399-406
[20] The New IEEE Standard Dectionary of Electrical and Electronics Terms. IEEE Std.100 1992.Fifth Edition pp.373 and 996