وضعیت موجود و آینده هارمونیکها در شبکه‌های توزیع

حسن نصرآزادانی

شرکت برق منطقه‌ای اصفهان

چکیده :

باتوجه به نقش بارهای غیرخطی درایجادهارمونیکها وسیرجایگزینی این بارها در مصرف‌کننده‌های خانگی ،تجاری وصنعتی هرساله برمیزان اعوجاج ولتاژ شبکه‌افزوده میگردد. درصورت تجاوزاین اعوجاج از مقادیرمجاز که توسط استانداردهای معتبروازجمله استاندارد حدود مجاز هارمونیکها درسیستم برق ایران [۱] مشخص گردیده‌است، شرکتهای برق ملزم به اتخاذ تدابیری جهت کنترل آن خواهند بود.

دراین مقاله دوفیدر۲۰KV باطولهای مختلف ازدوایستگاه فوق توزیع انتخاب گردیده است طی نمونه‌برداری ازجریان این فیدرها وفیدرهای ۳۸۰V مربوط به آنها درزمانهای مختلف و همچنین براساس نمونه‌برداری ازبارهای مولدهارمونیک مصارف خانگی وتجاری ، شرایط فعلی اعوجاج هارمونیکی ولتاژ درنقطه اتصال مشترک (محل تغذیه) بررسی گردیده‌است. سپس بامدلسازی فیدرها جهت محاسبات هارمونیکی وبادرنظرگرفتن نرخ رشد بارهای غیرخطی میزان اعوجاج ولتاژ درسالهای آتی محاسبه گردیده‌است که نتیجه آن حاکی ازایمن بودن فیدرهای کوتاه و وخیم شدن اعوجاج ولتاژ فیدرهای بلندطی سالهای آتی است.

۱- مقدمه

تاسالهای نـه چـندان دورتـنهامنبع ایـجاد جـریانهای هـارمونیکی درسـیستمهای قـدرت ، ترانسفورماتورهای قدرت دراثر گذرنقطه کارازنقطه‌زانوی مـغناطیسی هسـته‌بود. بـاپیشرفت عـلم الکترونیک و کاربردالمانهای الکترونیکی دروسائل مختلف ،سیستمهای قدرت نیزشاهد ظهورایـن وسائل درشبکه‌بوده است. آنچه که امروزاتفاق می‌افتدگسترش روزافزون وتنوع اینگونه سیستمهای الکترونیکی بعناوین مختلف درشبکه‌می‌باشدکه اصطلاحاً بارهای غیرخطی نامیده می‌شوند. مسئله صرفه‌جوئی وتمرکز برتعدیل منحنی بار ومصرف ازمسائل مهمی مـحسوب مـیگردد کـه اسـتفاده ازوسائلی مانند لامپهای کم‌مصرف با بالاست الکترونیکی وسیستمهای کنترل ضریب قدرت شبکه‌و موتورهای الکتریکی وهمچنین تنظیم‌کننده‌های قدرت ورودی و خـروجی مـوتورهای الکـتریکی رااجتناب‌ناپذیرخواهد نمود.[۶-۱]

اینگونه دستگاههای الکترونیکی درمصارف خانگی شامل تلویزیون ،رادیوپخش ، ویدئو و با یک سیر جایگزینی لامپهای کم مصرف با بالاست الکترونیکی می‌باشند. کامپیوترهای شـخصی و تجهیزات وابسته مانند چاپگرها وهمچنین شارژرهای ازدیگر وسائل الکترونیکی درمصارف تجاری بشمار می‌روند. سیستمهای کنترل سـرعت مـاشینهای الکـتریکی ومـبدلهای AC-DC ، DC-DC ، DC-AC و AC-AC نیز ازجمله بارهای غیرخطی درمصارف تجاری وصنعتی محسوب مـیگردند. درسیستمهای قدرت وسائلی که براساس تخلیه گازها ویاایجاد قوس و جرقه کارمیکنند فراوان وجود دارد. این وسائل شامل لامپهای فلورسنت ،بخارسدیم وبخار جیوه وکوره‌های قوسی هستندکه همگی تقریباً هارمونیکهای مشابهی تولید می‌نمایند.

تجهیزات نامبرده بالابعنوان منابع جـریان هـارمونیکی مـوجب افت ولتـاژهارمونیکی روی امپدانس تونن شبکه‌درنقطه اتصال مشترک خواهندشد که این افت به ولتاژ تونن افزوده شده و ولتاژ محل تغذیه‌مصرف‌کننده‌ها رادچار هارمونیک خواهدنمود .

• ازجمله‌آثار سوءهارمونیکها برتجهیزات می‌توان به تأثیرآنها برخـازنها بـه دلیـل تـلفات دی الکتریک بالاتر، لامپهای روشنائی والمانهای حرارتی درجذب قدرت بـیشتر وکـوتاه شـدن طـول عمرمفید، موتورهای آسنکرون بدلیل تلفات بیشتر وگشتاورهای نوسانی ،ترانسفورماتورهادر بروز تلفات بیشتر، رله‌های حفاظتی ،وسائل اندازه‌گیری وترانسدیوسرها درسنجش وعـملکرد اشـتباه، کلیدها بدلیل افزایش شیب جریان درنقطه‌صفر ومشکل قطع ،عایقها ،فیوزها، تداخل سـیستمهای

مخابراتی بصورت القاء یا مستقیم و بالاخره تلفات خطوط اشاره نمود.

۲- اندازه‌گیری و بررسی هارمونیکها درباره‌غیرخطی مصارف خانگی ،تجاری وصنعتی

درراستای بررسی میزان هارمونیک زائی وسائل الکترونیکی وغیرالکترونیکی اقدام به نمونه‌برداری از جریانهای وسائل مختلف که مصارف عمده‌خانگی ،تجاری وبادرصد کمی صنعتی را تشکیل می‌دهند، شده است. این وسائل شامل تلویزیون ،ویدئو، رادیوپخش ، کامپیوترهای شخصی ،لامپهای کم‌مصرف با بالاست الکترونیک ،لامپهای فلورسنت ویخچال می‌باشد (شکل ۱). باآنالیز تبدیل فوریه منفصل شکل موجها، دامنه‌مؤلفه‌های هارمونیک اصلی و مرتبه‌های بالاتر بدست‌آمده است که همگی نشاندهنده هارمونیکهای فردی هستندکه با افزایش مرتبه ازدامنه‌آنها کاسته می‌گردد. دروسائل الکترونیکی مزبورکه شکل موج پالسی دارند به میزان کمی هارمونیکهای زوج وجود دارد که باتوجه به دامنه کم آنها نسبت به دامنه‌هارمونیکهای فرد میتوان ازآنها صرفنظرنمود. باتوجه به تعدد جداول مربوط به دامنه‌هارمونیکهای این وسائل تنها اعوجاج هارمونیکی کل[1] جریان آنها براساس رابطه زیر محاسبه‌ودرجدول (۱) آورده شده است.

$$THD = \frac{\left(\sum_{n=۲}^{N} I_n^{۲} \right)^{\frac{۱}{۲}}}{I_۱} * ۱۰۰$$

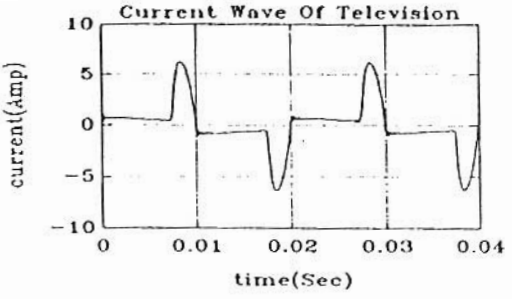
دراین رابطه I_n دامنه‌هارمونیک جریان مرتبه nام میباشد و I^1 دامنه‌جریان مؤلفه‌اصلی است.

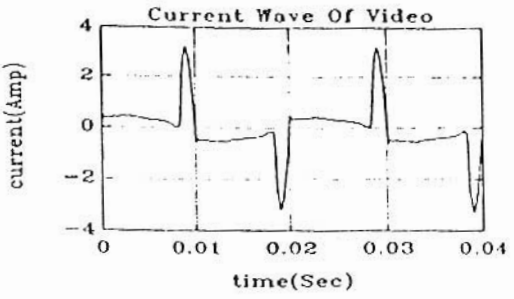
جدول ۱ : اعوجاج هارمونیکی کل جریان وسائل شکل (۱)

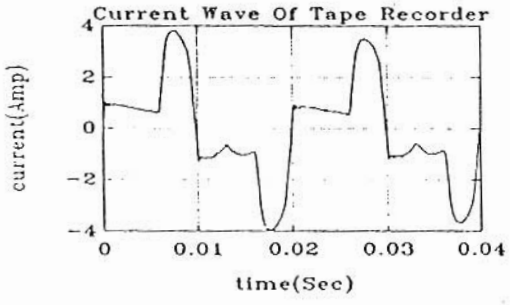
	تلویزیون	رادیوپخش	ویدئو	کامپیوتر شخصی	لامپ فلورسنت	بالاست الکترونیک	یخچال
THD	۱۱۶	۷۳	۱۵۹	۱۴۰	۱۰/۵	۱۵۲	۱۱/۳

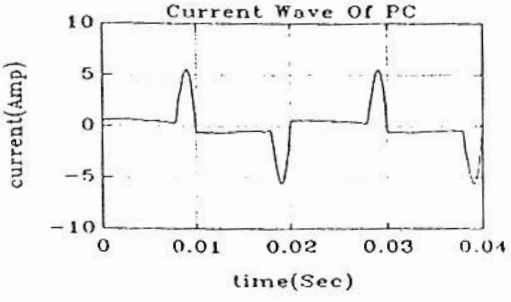
باتوجه به شکل موجهای فوق وهمچنین شکل موجهای مربوط به مبدلهای جریان ویکسوکننده‌ها و مبدلهای AC جهت کنترل دور موتورها، بارهای غیرخطی رامیتوان به چهارگروه مختلف تقسیم نمود. [۲،۳،۶،۷،۱۰]

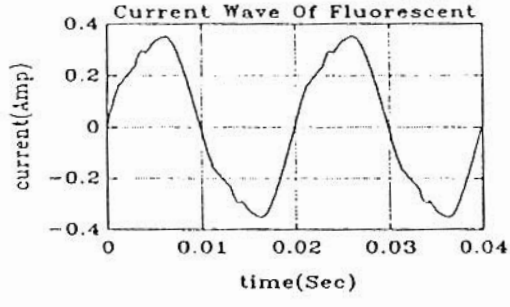
1- Total Haarmonic Distorsin

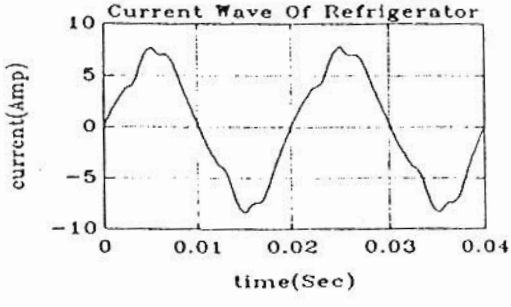


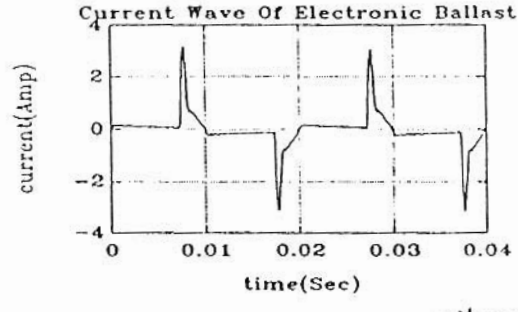












شکل ۱ : شکل موجهای جریان در

تلویزیون، ویدئو، رادیوپخش، کامپیوترشخصی،

لامپ فلورسنت، لامپ کم مصرف اسرام و یخچال فریزر

گروه ۱ : بارهای غیرخطی باپالسهای مجزا درهرنیم سیکل که مربوط به وسائلی مانند تلویزیون ، ویدئو، رادیوپخش ،لامپهای کم مصرف بالاست الکترونیکی وسیستم کنترل دورتکفاز میباشد این شکل موجهابسته به پهنای پالس می توانندداراى اعوجاج هارمونیکی کلی از ۴۰٪ تا ۱۶۰٪ باشند.

گروه ۲ : بارهای غیرخطی باموجهای ذوزنقه‌ای یانزدیک به موج مربعی که مربوط به یکسوکننده‌های تکفازبااندوکتانس صاف‌کننده‌بالا،باطری شارژرها، سیستمهای کنترل دور مورتورهای سری ، دسته‌ای از بالاستهای الکترونیکی بافیلتر مخصوص وبالاخره اینورترهای نوع منبع جریان می‌باشد.

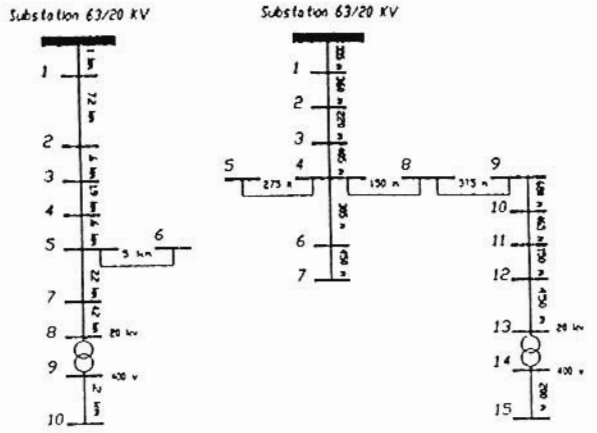
گروه۳: بارهای غیرخطی بادوپالس درهرنیم سیکل که مربوط به سیستمهای کنترل دور سه فاز بوده و اعوجاج هارمونیکی کل آنها به ۱۰۰٪ میرسد که بااتخاذ تدابیری جهت حذف هارمونیک سوم یامعرفی اندوکتانس ورودی میتوان میزان آنها رابه ۶۰٪ کاهش داد.

گروه۴ : بارهای غیرخطی باشکل موج سینوسی معوج ناشی ازوسائل فرومغناطیسی شامل ترانسفورماتورها و موتورهای الکتریکی وهمچنین تجهیزات تخلیه‌ای که اعوجاج هارمونیکی کل جریان آنها تقریباً به ۲۰٪ میرسد.

۳- اندازه‌گیری هارمونیکها درفیدرهای تحت مطالعه

جهت بررسی شرایط موجود وآتی هارمونیکها دوفیدر ۲۰ کیلوولت F1 و F2 باطولهای مختلف به ترتیب از دوایستگاه ۶۳/۲۰ KV شهرکرد وهزارجریب (تحت‌پوشش شرکت برق منطقه‌ای اصفهان) انتخاب شده‌است.(شکل ۲)

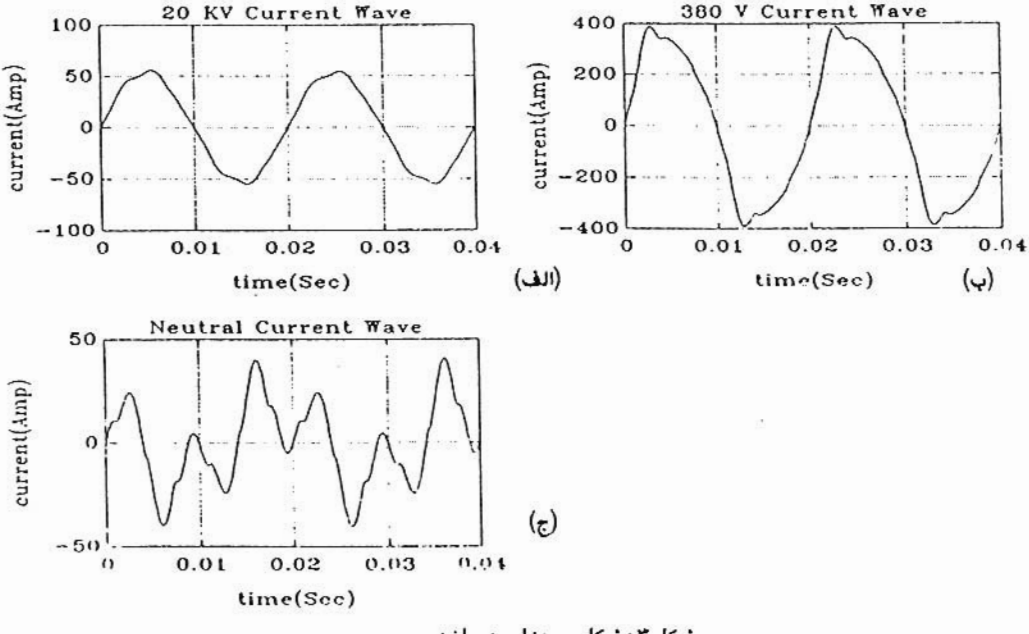
فیدر F1 توسط شبکه‌هوائی باحداکثر طول ۱۷ کیلومترازداخل شهربه طرف حومه شهر امتداد یافته است. این فیدربعنوان شاخصی برای فیدرهائی است که یابه طرف خارج شهرامتداد دارندو یاتوسط یک ایستگاه فوق توزیع واقع درحومه شهربه طرف داخل شهرکشیده‌شده‌اند ولذا اینگونه فیدرها معمولاً دارای طول زیادی می‌باشند. فیدر F2 توسط شبکه‌زیر زمینی وباحداکثر طول ۳/۶ کیلومتر قسمتی ازداخل شهر راتغذیه می‌نماید. هردو فیدر عمدتاً مصارف خانگی ،تجاری وبصورت بسیارمعدودصنعتی راتغذیه‌می‌نمایند.



(ب) (الف)

شکل ۲ : الف: شمای تکخطی فیدر F2 ایستگاه ۶۳/۲۰ KV هزارجریب

ب : شمای تکخطی فیدر F1 ایستگاه ۶۳/۲۰ KV شهرکرد



شکل ۳ : شکل موجهای جریان : ر

الف: فیدر ۲۰ کیلوولت ب: فیدر ۳۸۰ ولت ج: نوترال فیدرهای ۳۸۰ ولت

بانمونه‌گیری ازجریان فیدرهادرپستهای فوق توزیع مربوطه حداکثراعوجاج جریان طی ساعات میانی روز وشامگاه بدست آمده که درشکل (۳-الف) آورده‌شده‌است. نتایج آنالیز فوریه موج جریان توأم با اعوجاج هارمونیکی کل درجدول (۲) آورده‌شده‌است. همچنین شکل موج جریان فاز ونوترال در فیدرهای ۳۸۰ ولت طی ساعات مختلف ودرمکانهای مختلف اندازه‌گیری شده‌است که شکل (۲الف‌وب) آنها رانشان می‌دهد. نتایج آنالیزاین دونمونه‌نیز درجدول (۲) آورده‌شده‌است. بدلیل وجود اتصال مثلث-ستاره ترانسفورماتورهای توزیع هارمونیک سوم به طرف ۲۰KV ترانسهامنتقل نشده‌است که نتایج جدول (۲) مبین این واقعیت میباشد.

جدول ۲ : اعوجاج تکی وکلی جریان برحسب درصد

	هارمونیک مرتبه				THD
	اول	سوم	پنجم	هفتم	
فیدر ۲۰ KV	۱۰۰		۳/۷۶۶	۱/۷۵۶	۴/۲۰۵
فیدر ۳۸۰ V	۱۰۰	۲/۹۷۶	۵/۰۶۳	۲/۵۰۴	۶/۳۸۵
نوترال	۱۰۰	۱۰۶/۳	۹/۴۹	۲/۹۳۳	۱۰۸/۲

همچنین میزان اعوجاج تکی وکلی ولتاژ طی نمونه‌برداریهای فوق درفیدرهای تحت مطالعه در جدول (۳) آورده شده‌است. لازم بذکراست که براساس استاندارد حدودمجازهارمونیکها درسیستم برق ایران [۱] حداکثرمقدارمجاز برای هارمونیکهای فرد وزوج ولتاژبترتیب ۳٪ و ۱/۵٪ و برای اعوجاج هارمونیکی کل ولتاژ ۵٪ درشینه‌های ۲۰KV و ۳۸۰V تعیین گردیده‌است. بنابراین تحت شرایط فعلی هارمونیکها درمحدوده مجاز قرار دارند.

جدول ۲ : اعوجاج تکی وکلی ولتاژ برحسب درصد

	هارمونیک مرتبه				THD
	اول	سوم	پنجم	هفتم	
ایستگاه فوق توزیع	۱۰۰		۱/۲۷		۱/۲۷
ثانویه ترانسفورماتور آخر خط	۱۰۰		۱/۴۱۸		۱/۴۱۸

٤- مدلسازی فیدرها وبررسی اعوجاج هارمونیکی ولتاژ درآینده

درصورت اعمال یک ولتاژ سینوسی به بارغیرخطی ، جریان اعوجاجی ایجاد میگردد. ازآنجاکه سیستمهای قدرت به گونه‌ای طراحی می‌شوندکه ولتاژ تنظیم شده‌ای زا دراختیار مصرف‌کننده قرار دهند و بعبارتی امپدانس منابع درمقایسه‌باامپدانس بارکم است بنابراین می‌توان تصورنمود که ولتاژ تقریباً شکل سینوسی خودرا داراست ولذاشکل موج جریان بارهای غیرخطی مستقل ازشکل موج ولتاژ است ودرنتیجه براحتی میتوان بارهای غیرخطی رادرسیستمهای قدرت بصورت منابع ثابت هارمونیک جریان تصور نمود. این منابع باتزریق جریان هارمونیکی به شبکه ایجاد افت ولتاژ هارمونیکی روی امپدانس سری خطوط و ترانسها می‌نمایند که به ولتاژ سینوسی منبع افزوده شده وباعث معوج شدن ولتاژ درنقطه اتصال مشترک با محل تغذیه میگردد.

باتوجه به مطالب فوق، امپدانس فیدرها برحسب فرکانس مربوط به هرهارمونیک محاسبه گردیده است. بااستفاده ازبارکل فیدرهای تحت مطالعه واستفاده ازجدول (۲) که مشخص کننده میزان هرهارمونیک نسبت به جریان کل است منابع جریان هارمونیکی درمحل مصرف درهرشینه معرفی گردیده‌اند. لازم بذکراست که برای رسیدن به مقداراعوجاج ولتاژ برای آخرین مشترک درانتهای فیدرها همانطوری که شکل (۲) نشان می‌دهد ترانسفورماتور توزیعی باقدرت ۳۱۵KVA به آخرین شینه‌فیدرها اتصال یافته است که شبکه ۳۸۰ ولتی راباطول ۲۰۰ .مترتغذیه می‌نماید. پس ازانجام محاسبات ،افت ولتاژهای مربوط به هرهارمونیک برحسب درصدی ازولتاژ نامی (۲۳۱ ولت) مشخص گردیده است که نتایج آن باتوضیحی که درزیرداده خواهدشد درجدول (۴) آورده شده‌است. دراین محاسبات اثرهارمونیک سوم جریان بدلیل نوع اتصال ترانسفورماتورهای توزیع تنها برای شبکه ۳۸۰V منظورگردیده است. بدیهی است برای رسیدن به اعوجاج هارمونیکی ولتاژ درمحل تغذیه بایستی این افت ولتاژها به اعوجاج ولتاژ درایستگاه فوق توزیع که درجدول (۳) آورده شده‌است اضافه‌گردد. تطبیق نتایج محاسباتی و مقادیر اندازه‌گیری شده دال برصحت مدلسازی ومحاسبات بوده ودراین راستا درمقطع بعد بادرنظر گرفتن سیر جایگزینی وتکنولوژی روبه رشد بارهای غیرخطی ،طی مراحل مختلف اقدام به افزایش میزان اعوجاج جریان از ۱٪ تا ۱۵٪ باگامهای یک درصدی شده‌است وسپس براین اساس برای هارمونیکهای مختلف محاسبات افت ولتاژ هارمونیکی صورت پذیرفته‌است که نتایج آنراجدول (۴) نشان می‌دهد.

جدول ۴ : اعوجاج هارمونیکی ولتاژ بر حسب مقادیر مختلف هارمونیک جریان

درصد اعوجاج هارمونیکی جریان	درصد افت ولتاژ روی فیدر F1 برای هارمونیک مرتبه			درصد افت ولتاژ روی فیدر F2 برای هارمونیک مرتبه		
	سوم	پنجم	هفتم	سوم	پنجم	هفتم
۱	۰/۱	۰/۳	۰/۴	۰/۱	۰/۱	۰/۱
۲	۰/۲	۰/۶	۰/۸	۰/۲	۰/۲	۰/۲
۳	۰/۳	۰/۹	۱/۲	۰/۲	۰/۳	۰/۴
۴	۰/۴	۱/۲	۱/۶	۰/۳	۰/۴	۰/۵
۵	۰/۵	۱/۵	۲	۰/۴	۰/۵	۰/۶
۶	۰/۶	۱/۸	۲/۴	۰/۵	۰/۶	۰/۷
۷	۰/۷	۲/۱	۲/۸	۰/۶	۰/۷	۰/۹
۸	۰/۸	۲/۴	۳/۲	۰/۶	۰/۸	۱
۹	۰/۹	۲/۷	۳/۶	۰/۷	۰/۹	۱/۱
۱۰	۱	۳/۱	۴	۰/۸	۱	۱/۲
۱۱	۱/۲	۳/۴	۴/۴	۰/۹	۱/۱	۱/۴
۱۲	۱/۲	۳/۷	۴/۸	۰/۹	۱/۲	۱/۵
۱۳	۱/۳	۴	۵/۲	۱	۱/۳	۱/۶
۱۴	۱/۴	۴/۳	۵/۶	۱/۱	۱/۴	۱/۷
۱۵	۱/۵	۴/۶	۶	۱/۲	۱/۵	۱/۹

باتوجه به جدول (۴) نتیجه میگردد فیدر F2 بدلیل طول کوتاهتر بمراتب ازفیدر F1 از نظر اعوجاج ولتاژ ایمن‌تر میباشد.

درصورتی که درپستهای فوق توزیع اعوجاج هارمونیک سوم وهفتم ولتاژ راصفر و هارمونیک پنجم ولتاژ را ۱/۲۷٪ فرض نمائیم (جدول ۳). تحت شرایط فعلی که طبق جدول (۲) اعوجاج هارمونیک سوم، پنجم و هفتم جریان بترتیب ۲/۹۷۶ ، ۳/۷۷۶ و ۱/۷۵۶ میباشد بااستفاده از جدول (۴) وتوسط درون‌یابی میتوان افت ولتاژهای هارمونیکی متناظر رااستخراج نمود که باافزودن آن به اعوجاج ولتاژ منبع، اعوجاج ولتاژ درمحل تغذیه برحسب درصد بصورت زیر بدست‌می‌آید.

F1:

$V_3 = ۰/۳ + ۰ = ۰/۳$

$V_5 = ۱/۱۳ + ۱/۲۷ = ۲/٤$

$V_7 = ۰/۷ + ۰ = ۰/۷$

THD=۲/۵۲

F2:

$V_3 = ۰/۲ + ۰ = ۰/۲$

$V_5 = ۰/۳۷۵ + ۱/۲۷ = ۱/٦٤۵$

$V_7 = ۰/۱۷۵ + ۰ = ۰/۱۷۵$

THD = ۱/٦۷

درصورتی که فرض نمائیم هرساله نیم درصد به اعوجاج جریان اضافه گردد پس ازطی ۵ سال به کمک جدول (۴) و باانجام محاسبات بالا هارمونیکهای ولتاژ مقادیر زیرراخواهندداشت.

(فرض میگردد اعوجاج ولتاژ درپست فوق توزیع همان مقادیرقبل راداشته‌باشد).

F1:

$V_3 = ۰/۵٤۷ + ۰ = ۰/۵٤۷$

$V_5 = ۱/۸۸ + ۱/۲۷ = ۳/۱۵$

$V_7 = ۱/۷ + ۰ = ۱/۷$

THD=۳/٦۲

F2:

$V_3 = ۰/٤٤۸ + ۰ = ۰/٤٤۸$

$V_5 = ۰/٦۲۷ + ۱/۲۷ = ۱/۹$

$V_7 = ۰/۵۲٦ + ۰ = ۰/۵۲٦$

THD = ۲/۰۲

باردیگر محاسبات شرایط فعلی وآینده، دلالت برحادبودن شرایط فیدر بلندتردارد با فرضی که در قسمت دوم محاسبات مبنی‌بر افزایش اعوجاج جریان بمیزان سالانه ۰/۵٪ شد نتیجه میگردد درپنج سال آینده هارمونیک سوم ازمحدوده مجاز تجاوز مینماید. درصورت منظورکردن نرخ رشد دقیق بارهای غیرخطی که زمینه تحقیق آتی مؤلف است بااستفاده از جدول (۴) میتوان اعوجاج واقعی‌تر ولتاژ رادرآینده پیش‌بینی نمود.

۵- نتیجه‌گیری وپیشنهادات

باتوجه به بررسی انجام شده حادشدن اعوجاج هارمونیکی ولتاژ طی سالهای آینده اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. سیرجایگزینی بارهای غیرخطی براساس دسته‌بندی که درمتن مقاله ارائه شد موجب میگردد که اعوجاج تکی یاکلی ولتاژ ازمحدوده مجاز خارج گردد واین مسئله در فیدرهای بلندزودتر اتفاق خواهد افتاد. طبیعی است که استفاده ازفیلتر ویاتزریق هارمونیک [۸] دراین شرایط میزان اعوجاج درمحدوده مجاز حفظ خواهد نمود ولیکن باتوجه به نتایج حاصله واهمیت موضوع، شرکتهای برق میتوانند بااتخاذ تدابیری که ذیلاً مطرح میگردد، زمان وقوع شرایط نامتعارف را به‌تأخیراندازند.

الف: شرکت‌های برق باجدی گرفتن مسئله بایستی قبل از پذیرفتن مشترکین صنعتی و یاشهرکها و مجتمعهای مسکونی وتجاری ضمن بررسی نوع بار آنها، درصورت نیاز مشترک راملزم به استفاده ازفیلترهایی که جهت تضعیف هارمونیکهای قالب طراحی میگردد، نمایند.

ب: درطراحی بانکهای خازنی موردنیازدرپستهای فوق توزیع ویا روی فیدرهای ۲۰KV [۹] تجدیدنظر گردیده‌و جهت اجتناب ازاحتمال وقوع رزونانسهای سری وموازی ناشی ازاندوکتانسهای سری شبکه‌وخازنها که بمراتب اعوجاج هارمونیکی ولتاژ را تشدید می‌نمایند، محاسبات دقیقی انجام گیرد. ازطرفی لازم است توسط شرکتهای برق دستورالعملهای بهره‌برداری جهت تعیین چگونگی ورود بانکهای خازنی ازنظر تعداد وزمان ورود آنها برای اجتناب ازرزونانسهاتنظیم و به پستهای فوق توزیع ارسال گردد.

ج: چنانچه مقرر گردد سیرجایگزینی لامپهای کم‌مصرف توسط شرکتهای برق صورت گیرد لازم است ضمن مطالعه ،این حرکت ازفیدرهای کوتاه آغاز گردد. [۱۰]

د: درتولید و واردات وسائل وتجهیزات الکترونیکی وبعبارتی بارهای غیرخطی مسئله هارمونیک‌زائی آنها مدنظر قرار گرفته ودستورالعملهای استاندارد درمورد آنها اعمال شده ودرصورت نیاز تدوین گردد.

۶- منابع

۱- " استاندارد حدود مجازهارمونیکها درسیستم برق ایران " امورپرق معاونت تحقیقات و تکنولوژی وزارت نیرو، ۱۳۷۳

2- A.E.Emaanuel'J.AOrr "ASurvey of Harmonic Voltages and Currents at Distribution Substation "IEEE Trans.on Power Delivery' Vol.6'No.4 'Oct.1991'pp.1883-90

3- A.E. Emanuel, D.J. Pileggi "Distribution Feeders With Nonlinear Loads in Nothest U.S.A, Part I-Voltage distortion Forecast "IEEE Trans . on Power Delivery, Vol.100'No.1,Jan.1995'pp.340-345

4- A.E. Emanuel, D.J. Pileggi "Distribution feeders With Nonliner lids in northest U.S.A, Part II- Economic Evaluation Of Harminic Effect "IEEE Trans. on power Delivery, vol.100, No.1 ,Jan. 1995,pp. 348-354

5- A.E. Emanuel, D.J. Pileggi "The Engineering Economics Of Power System Harmonics In Subst ation Feeders, A Preliminary Study "IEEE Trans. on P.S.,Vol.6, No.3 , Agust 1991,pp.1092-98

6- "Power System Semiconductor Circuits " S.B.Dewan,A.Straughen,A wiley-Interscience Publication,1975

۷- "الکترونیک صنعتی ، الکترونیک قدرت" تألیف هانس رودی بولر، ترجمه قدیر عزیزی قنادی ، مرکز نشر دانشگاهی تهران ، ۱۳۶۴

۸- "کاهش هارمونیک جریان بارهای غیرخطی بااستفاده از روش تزریق هارمونیک درشبکه‌های توزیع "جمال نظرزاده، سیدکمال‌الدین نیک‌روش ،پنجمین کنفرانس سراسری شبکه‌های توزیع نیروی برق .

۹- " جایابی خازن درخطوط توزیع انرژی الکتریکی بادرنظرگرفتن اثرات هارمونیک " رضا قاضی ، حمیدرمضان دهنوی ،ابوالقاسم عباس‌زاده، پنجمین کنفرانس سراسری شبکه‌های‌توزیع نیروی برق .

۱۰- " مشکلات ناشی ازکاربرد انبوه لامپهای کم‌مصرف بر روی شبکه‌های توزیع "سیدحسین حسینی ، افشین روشن میلانی ، پنجمین کنفرانس سراسری شبکه‌های توزیع نیروی برق .