10-E-PQA-1712

Three phase and single phase power quality disturbance Recognition using S-Transform

S.Hasheminejad, S.esmaeili, A.A.gharaveisi

Department of Electrical Engineering
Shahid Bahonar University of Kerman
IRAN

Key words : Classification, Decision tree, Disturbances Power quality, S-transform, sag types

Abstract

In this paper s-transform is introduced as an effective method for power quality disturbance recognition. S-transform is a time-frequency analyzing technique that bridges the gap between the short-time Fourier transform and wavelet transform. The features obtained from ST are distinct, understandable and immune to noise. In proposed method by use of s-transform and a decision making algorithm, thirteen kinds of single disturbances like sag, swell, interrupt, harmonic, spike, notch, noise, oscillatory transient, flicker, sub-harmonic, DC, inter- harmonic, unbalancy, and two complex disturbances are well recognized. The waves extracted from s-transform let us to investigate PQ disturbances in three phases simultaneously. Therefore disturbances like unbalancy and different sag types can be well recognized. After extracting three features from disturbance signals by means of S-transform, ten distinct indices for each signal will be extracted. By means of these indices and a rule-based decision tree various types of power quality disturbances can be classified. For simulation purpose disturbances with random parameters has been produced and for better similarity to real signals they are mixed with noises with different SNR values. It shows that this method can be used for real applications.

10-F-PQA-1731

برآورد اثرات فنی و مالی ناشی از هارمونیک بر روی تلفات و ظرفیت انتقالی خطوط در شبکه‌های توزیع و انتقال

امیربشیان[۱] amir. bashian@stu-mail. um. ac. ir
محمد حسین جاویدی دشت بیاض[۲] h-javidi@ferdowsi. um. ac. ir
مصطفی فراشباشی آستانه[۳] m. farashbashi@krec. ir
ابوالفضل قاسمی[۱] ghassemimail@gmail. com
سیدمهرداد حسینی[۱] mehrdad. hosseyni@gmail. com

۱. دانشجوی دوره تحصیلات تکمیلی - آزمایشگاه تخصصی مطالعات سیستم و تجدید ساختار
دانشکده مهندسی - دانشگاه فردوسی مشهد
۲. استاد گروه برق - دانشکده مهندسی - دانشگاه فردوسی مشهد
۳. شرکت برق منطقه‌ای خراسان

واژه‌های کلیدی: هارمونیک، تلفات، ظرفیت انتقال، DIgSILENT

چکیده

وجود هارمونیک در شبکه می‌تواند شکل موج جریان را از حالت ایده‌آل خارج کند. این خروج از حالت نرمال می‌تواند تبعات مختلفی در شبکه داشته باشد. از آن جمله می‌توان به افزایش تلفات شبکه و اشغال ظرفیت انتقالی خطوط اشاره کرد. بدیهی است که وقتی یک مصرف‌کننده در شبکه، تولید هارمونیک می‌کند، نه تنها باعث ضرر و زیان به خود می‌شود بلکه، خطوط اطراف را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهد. در این مقاله، ابتدا خسارات فنی ناشی از وجود هارمونیک در یک مصرف-کننده را از دید مالک شبکه بررسی کنیم. سپس، طی یک تحقیق عملی به تخمین ضررهای اقتصادی این نارسائی‌ها در قسمتی از شبکه توزیع نیروی برق شهرستان مشهد خواهیم پرداخت. در نهایت، تأثیر هارمونیک روی تلفات و ظرفیت انتقالی خطوط را در یک شبکه انتقال نمونه بررسی و به ارزیابی خسارات مالی و فنی ناشی از آن خواهیم پرداخت.

PSC 2010
25th International
Power System Conference
10-F-PQA-1731

بیست و پنجمین
کنفرانس بین المللی برق

برآورد اثرات فنی و مالی ناشی از هارمونیک بر روی تلفات و ظرفیت انتقالی خطوط در شبکه های توزیع و انتقال

امیربشیان[۱] amir.bashian@stu-mail.um.ac.ir
محمد حسین جاویدی دشت بیاض[۲] h-javidi@ferdowsi.um.ac.ir
مصطفی فراشباشی آستانه[۳] m.farashbashi@krec.ir
ابوالفضل قاسمی[۱] ghassemimail@gmail.com
سیدمهرداد حسینی[۱] mehrdad.hosseyni@gmail.com

۱- دانشجوی دوره تحصیلات تکمیلی، آزمایشگاه تخصصی مطالعات سیستم و تجدید ساختار، دانشکده مهندسی ، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استاد گروه برق - دانشکده مهندسی- دانشگاه فردوسی مشهد

۳- شرکت برق منطقه‌ای خراسان

واژه‌های کلیدی: هارمونیک، تلفات، ظرفیت انتقال،DIgSILENT.

چکیده

وجود هارمونیک در شبکه می‌تواند شکل موج جریان را از حالت ایده‌آل خارج کند. این خروج از حالت نرمال می‌تواند تبعات مختلفی در شبکه داشته باشد. از آن جمله می‌توان به افزایش تلفات شبکه و اشغال ظرفیت انتقالی خطوط اشاره کرد. بدیهی است که وقتی یک مصرف‌کننده در شبکه، تولید هارمونیک می‌کند، نه تنها باعث ضرر و زیان به خود می‌شود بلکه، خطوط اطراف را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهد. در این مقاله، ابتدا خسارات فنی ناشی از وجود هارمونیک در یک مصرف‌کننده را از دید مالک شبکه بررسی کنیم. سپس، طی یک تحقیق عملی به تخمین ضررهای اقتصادی این نارسائی‌ها در قسمتی از شبکه توزیع نیروی برق شهرستان مشهد خواهیم پرداخت. در نهایت، تأثیر هارمونیک روی تلفات و ظرفیت انتقالی خطوط را در یک شبکه انتقال نمونه بررسی و به ارزیابی خسارات مالی و فنی ناشی از آن خواهیم پرداخت.

۱- مقدمه

از دهه ۱۹۸۰ مسئله کیفیت توان بصورت جدی مطرح گردیده است. مصرف‌کنندگان انرژی الکتریکی همواره تمایل داشته‌اند به منبع تامین انرژی قابل اعتماد دسترسی داشته باشند. در حالت طبیعی این خواسته برای مشترکان مختلف متفاوت است. تقاضای کیفیت انرژی الکتریکی برای مشترک مسکونی و یک کارخانه صنعتی یکسان نیست.

کیفیت توان به ۳ دلیل مهم می تواند بررسی شود[۱]:

- دلایل فنی(مهم‌ترین دلیل برای مراکز صنعتی و مدیران تاسیسات می‌باشد)

- دلایل اقتصادی(شامل تمام بخشهای متصل به سیستم الکتریکی)
- دلایل اجتماعی(ملزم بودن سیستم دولتی به ارائه سرویس‌های مطلوب)

یک ولتاژ سینوسی وقتی به یک بار خطی اعمال می‌شود، یک جریان سینوسی ایجاد می‌شود ولی اگر بار اجزای غیر خطی داشته باشد، شکل موج از حالت سینوس خارج می‌شود. همچنین، اگر یک جریان سینوسی به یک امپدانس غیر خطی تزریق شود، ولتاژ دو سر امپدانس به صورت یک شکل موج اعوجاج یافته ظاهر می‌شود. بنابراین، بارهای غیر خطی عامل ایجاد ولتاژ و یا جریان اعوجاج یافته می‌باشند.

از طرفی رابطه غیر خطی بین جریان و ولتاژ تأثیرات نامطلوبی ایجاد می‌کند، از جمله:

ـ افزایش استرس‌های گرمایی، که با توجه به افزایش باس‌ها، فیدرها، کابل‌ها و ترانسفورماتورها باعث کاهش عمر قطعات می‌شود.

ـ افزایش استرس‌های عایقی

ـ بهره‌برداری غیر پایدار و غیر مطمئن از بعضی وسایل

ـ تلفات اضافی

ـ کاهش ضریب توان

در صورت پایین بودن کیفیت توان، به مشترکان خانگی وصنعتی خسارات مالی وارد می‌شود و نرخ مصرف برق نیز تغییر خواهد کرد. در هر حال نباید از این موضوع که برخی از قسمتهای بزرگ مصرف انرژی را مصارف خانگی تشکیل می‌دهد غافل بود.

باید توجه داشته باشیم که تلفات توان، کاهش عمر مفید تجهیزات سیستم قدرت و انرژی فروخته نشده بسبب کمبود کیفیت توان، بخشی از خسارات مالی است که به مدیریت سیستم قدرت وارد شده است.

اولین گام در سنجش اقتصادی کیفیت توان، محاسبه خسارات اقتصادی است. خسارات مالی ناشی از کمبود کیفیت توان، به پارامترهای زیادی وابسته هستند و این خود یک عامل ابهام و پیچیدگی مقایسه کردن روش‌ها در خصوص انجام پروژه‌های بهبود کیفیت توان می‌باشد.

در حالت کلی موضوعات مربوط به کیفیت توان می‌تواند بصورت‌های زیر شناخته شود[۲] :

- اعوجاجات هارمونیکی
- تغییرات ولتاژ
- وقفه ها
- حالات گذرا
- عدم توازن ولتاژ

در این مقاله، عمدتاً در مورد زیان‌های ناشی از اعوجاجات هارمونیکی بحث می‌شود. برای این منظور ابتدا خسارات فنی ناشی از وجود هارمونیک در یک مصرف‌کننده را از دید مالک شبکه بررسی می‌کنیم. سپس، طی یک تحقیق عملی به تخمین ضررهای اقتصادی این نارسائی‌ها در قسمتی از شبکه توزیع نیروی برق شهرستان مشهد خواهیم پرداخت. در نهایت، تأثیر هارمونیک روی تلفات و ظرفیت انتقالی خطوط را در یک شبکه انتقال نمونه بررسی و به ارزیابی خسارات مالی و فنی ناشی از آن خواهیم پرداخت.

۲- خسارات مالی ناشی از هارمونیک ها

تزریق جریان هارمونیکی به شبکه می‌تواند اثرات زیر را روی شبکه بگذارد:

- اعوجاج در شکل موج ولتاژ
- خطای بریکر، سوختن فیوز، شکست دی الکتریک
- افزایش تلفات انرژی تاسیسات و کاهش عمر آنها
- اختلال الکترومغناطیسی با سیستم مخابرات
- خطای تجهیزات و ممانعت از کنترل بهره‌برداری از سیستم

انرژی الکتریکی محصولی است که کیفیت آن وابسته به چگونگی استفاده در سمت مشترک می‌باشد. مشترکان با نوع بار و میزان آن، شکل موج ولتاژ را تحت تاثیر قرار می‌دهند. بنابراین، یک مصرف کننده روی کیفیت توان مورد مصرف مشترکان دیگری که به شبکه متصل هستند هم تاثیر می‌گذارد.

وجود هارمونیک در سیستم قدرت عمدتاً بواسطه بارهای غیرخطی می‌باشند که این هارمونیکها بر بخشهای خطی و غیر خطی سیستم تأثیر می‌گذارند. یک بار غیرخطی نمونه‌ای می‌تواند انرژی وابسته به هارمونیک مرتبه m را جذب کند و هارمونیک با مرتبه n را بوجود آورد ($m \neq n$)[۵].

یک بار غیرخطی متعادل که فازور جریان مرتبه ی h را (I_h) به باس با فازور ولتاژ V_h تزریق می‌کند، توان اکتیو و راکتیو هارمونیکی تولید می‌کند بطوری که:

$$\begin{aligned} I_h &= I_h \angle \beta_h \\ V_h &= V_h \angle \alpha_h \\ \theta_h &= \alpha_h - \beta_h \end{aligned} \qquad (۱)$$

$$\begin{aligned} P_h &= 3V_h I_h \cos\theta_h \\ Q_h &= 3V_h I_h \sin\theta_h >> P_h \end{aligned} \qquad (۲)$$

کاهش عمر تجهیزات، تاثیرات حرارتی، ایجاد نویز در سیستم های مخابراتی و خطای عملکرد تجهیزات الکتریکی از مشکلات هارمونیک ها بشمار می‌آید. در حقیقت، خسارات مالی وارد برلوازم برقی ناشی از ولتاژ هارمونیکی، به ساختار و عملکرد آنها وابسته است. برای جلوگیری از این مشکلات، لازم است تجهیزات به روز باشند یا این که فیلترهای اکتیو ، پسیو و یا ترکیبی نصب شود.

۳- تاثیر هارمونیک روی تلفات شبکه :

وقتی یک مصرف کننده در شبکه هارمونیک تولید می‌کند، نه تنها باعث ضرر و زیان به خود می‌شود بلکه خطوط اطراف را تحت تاثیر قرار می‌دهد. می‌توان این حالت را به رودخانه ای تشبیه کرد که یک نفر آن را آلوده می کند و بقیه مصرف کنندگان این رودخانه از اثرات این آلودگی متأثر خواهند شد. برای محاسبه تلفات در خطوط انتقال، توجه به این نکته ضروری است که با حضور هارمونیک در شبکه، مقدار جریان rms افزایش خواهد یافت :

$$Irms = \sqrt{(I_1 rms)^2 + (I_2 rms)^2 + (I_3 rms)^2 + \ldots} \qquad (۳)$$

در نتیجه با افزایش مقدار جریان موثر در شبکه تلفات نیز در خطوط انتقال افزایش خواهد یافت:

$$P_{loss} = R\left|I_{rms}\right|^2 \qquad (۴)$$

می دانیم که در یک سیستم قدرت ۳ مولفه اصلی توان اکتیو، توان راکتیو و توان ظاهری تعریف می شوند. اگر هارمونیک را بیشتر در جریان تأثیر دهیم و ولتاژ را به صورت کامل سینوسی با فرکانسی برابر با فرکانس اصلی فرض کنیم، توان اکتیو برابر است با:

$$P = \frac{V_1 I_1 \cos\varphi_1}{2} = V_{1rms} I_{1rms} \cos\varphi_1 \qquad (۵)$$

که نشان می‌دهد متوسط قدرت واقعی فقط تابعی از کمیت فرکانس اصلی است. اگر در سیستم قدرت اغتشاش کم باشد (کمتر از ۵٪) این تقریب مناسب می باشد.به عبارت دیگر قدرت ظاهری و راکتیو بیشتر تحت تأثیر اغتشاش قرار می گیرند.

۴- تعیین ضریب قدرت :

برای تعیین ضریب قدرت، راههای مختلفی وجود دارد که ما در ادامه بحث به نحوه محاسبه آن خواهیم پرداخت. برای محاسبه ضریب قدرت از تعاریف اولیه ضریب قدرت استفاده می کنیم. می‌دانیم که این ضریب در همه جا برابر است با :

$$PF = \frac{P_{ave}}{S} \qquad (۶)$$

این مقادیر در حالت عادی برابرند با :

$$P_{ave} = V_{rms} I_{rms} \cos\varphi \qquad (۷)$$

$$S = V_{rms} I_{rms} \qquad (۸)$$

$$PF = \frac{P_{ave}}{S} = \cos\varphi \qquad (۹)$$

اگر هارمونیک را جریانی فرض کنیم (اکثرا هم همین طور است)، داریم:

$$V_{rms} = V_{1rms} \qquad (۱۰)$$

$$Irms = \sqrt{(I_1 rms)^2 + (I_2 rms)^2 + (I_3 rms)^2 + \ldots}$$

در نتیجه مقدار ضریب قدرت برابر است با :

$$P = V_{rms} I_{rms} \cos\varphi \qquad (۱۱)$$

$$PF = \frac{I_{1rms}V_{1rms}\cos\varphi_1}{I_{rms}V_{rms}} = \frac{I_{1rms}}{I_{rms}}\cos\varphi_1 = K\cos\varphi_1$$

$$K = \frac{I_{1rms}}{I_{rms}} \qquad (۱۲)$$

در رابطه فوق φ_1 اختلاف فاز بین مولفه اصلی جریان و ولتاژ می باشد. پس، هر گاه جریان هارمونیکی است ابتدا، مقدار K را حساب می کنیم و سپس ضریب قدرت را به دست می آوریم.

۵- تاثیر هارمونیک روی ظرفیت انتقالی خطوط :

پارامترهایی نظیر عدم تعادل ولتاژ و هارمونیک در شرایطی که از حد استاندارد خارج شوند، می‌توانند تأثیر بسزایی روی ظرفیت انتقالی خطوط بگذارند. در این قسمت، به بررسی تأثیر هارمونیک روی ظرفیت انتقالی خطوط می پردازیم.

بر اساس مدل بودینیو می‌توان مقدار S را ناشی از ۳ کمیت P,Q,D دانست. در مدل بودینیو، برای محاسبه مقدار S در محیط هارمونیکی رابطه زیر به دست می آید :

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2} \qquad (۱۳)$$

کمیت D توان اغتشاش و بصورت ساده ولت آمپر اغتشاشی نام گذاری شده است. واحد آن ولت آمپر می‌باشد ولی مناسب نیست که به آن توان گفته شود زیرا مانند توان در سیستم جریان ندارد. بنابراین D پس از به دست آوردن P,Q,S توسط فرمول زیر تعیین می شود:

$$D = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2} \qquad (۱۴)$$

P,Q اجزای متعارف در S برای حالت سینوسی هستند، در صورتی که D جزئی از توان ظاهری است که توسط هارمونیک ها ایجاد می شود.

توجه به این نکته ضروری است که هنگام حضور هارمونیک در سیستم، حتما داریم :

$$I_{rms} > I_{1rms} \qquad (۱۵)$$

بنابراین با توجه به اینکه $V_{rms} = V_{1rms}$ مقدار توان ظاهری عبوری از خطوط در شرایط حضور مؤلفه های هارمونیکی افزایش خواهد یافت یعنی:

$$S_h > S_1 \qquad (۱۶)$$

لازم به ذکر است که با توجه به فرمول (۱۲) برای ضریب قدرت در شرایط هارمونیکی، این ضریب در حضور مؤلفه های هارمونیکی افت زیادی خواهد داشت. در نتیجه، همان طور که گفته شد مقدار توان راکتیو با توجه به رابطه زیر افزایش خواهد یافت:

$$Q = V_{rms} I_{rms} \sin\varphi \qquad (۱۷)$$

ضمناً همان طور که مشاهده می شود در حالت هارمونیکی هم مقدار Irms و هم مقدار $\sin\varphi$ افزایش خواهند داشت. در نتیجه، مقدار Q نیز در مقایسه با P ، افزایش خواهد داشت زیرا، با توجه به رابطه :

$$P = V_{rms} I_{rms} \cos\varphi \qquad (۱۸)$$

مقدار Irms بیشتر میشود ولی ضریب قدرت افت می کند که در نتیجه، مقدار توان اکتیو تغییرات کمی خواهد داشت.

با توجه به موارد ذکر شده، اشغال ظرفیت انتقالی خطوط بیشتر متأثر از افزایش توان راکتیو ونه توان حقیقی خواهد شد.

۶- آنالیز هارمونیکی شبکه توسط نرم افزار DIgSILENT:

یکی از توابعی که در نرم افزار DIgSILENT مورد استفاده قرار می‌گیرد ، تابع پخش بار هارمونیکی است. پخش بار هارمونیکی ، مقدار هارمونیک واقعی جریان یا ولتاژ را بوسیله منابع هارمونیکی که معمولاً بارهای غیرخطی هستند، محاسبه می‌کند. زمانی که اجرای پخش بار هارمونیکی شروع می شود، نرم افزار آنالیز حالت پایدار شبکه را در هر فرکانسی که منابع هارمونیکی در آن تعریف شده اند، انجام می‌دهد .

هر وسیله کلید زنی ممکن است، هارمونیک تولید می‌کند. بنابراین هر کدام از این تجهیزات باید بصورت یک منبع هارمونیکی مدل شود. در این نرم افزار منابع هارمونیکی می توانند به دو صورت منابع ولتاژ و یا جریان مدل شوند. معمولاً

بارهای عمومی غیرخطی به صورت منابع جریان هارمونیکی و کانورتورهای PWM به صورت منبع ولتاژ هارمونیکی مدل می‌شوند .

برای مدل کردن به صورت منبع جریان هارمونیکی، به اندازه جریان هارمونیک مرتبه n ام و زاویه آن نیاز داریم.

مقدار جریان هارمونیکی واقعی در منبع جریان هارمونیکی در فرکانس مرتبه h بصورت زیر محاسبه می شود :

$$I_{-h} = K_h e^{\Delta\varphi_h} I_1 e^{\varphi_1} \qquad (۱۹)$$

$$K_h = \begin{cases} I_{-h} / I_1 & \text{اگر سیستم متعادل باشد} \\ I_{a_{-h}} / I_{a_1} & \text{اگرفاز a نامتعادل باشد} \\ I_{b_{-h}} / I_{b_1} & \text{اگر فاز b نامتعادل باشد} \\ I_{c_{-h}} / I_{c_1} & \text{اگر فاز c نامتعادل باشد} \end{cases}$$

$$\Delta\varphi_h = \begin{cases} phi_{-h} / phi_1 & \text{اگر فاز a نامتعادل} \\ phiA_{-h} / phiA_1 & \text{اگرفازb نامتعادل} \\ phiB_{-h} / phiB_1 & \text{اگر فاز c نامتعادل} \\ phiC_{-h} / phiC & \end{cases}$$

نتایج مدل سازی فوق در قسمت تخمین خسارات مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت.

۷- بررسی فیدر توزیع ثامن(حرم مطهر) از لحاظ هارمونیکی :

در این قسمت به بررسی فیدر توزیع ثامن برای تحلیل تأثیر هارمونیک روی تلفات شبکه خواهیم پرداخت. این فیدر در سطح ولتاژ ۲۰ کیلوولت می‌باشد و یکی از منابع تغذیه حرم مطهر می‌باشد. سیم به کار گرفته شده در این خط دارای مقاومت اهمی ۰/۵۴۴۱ اهم بر کیلومتر و راکتانس ۰/۲۴۶۴ اهم بر کیلومتر می‌باشد. همچنین طول این فیدر حدود ۴۱۰۰ متر می‌باشد.

مشخصات مختلف بار و مقدار متوسط هارمونیک‌ها برای مراتب مختلف در این فیدر بر اساس اندازه گیری‌های انجام شده به صورت جداول زیر می‌باشند.

جدول (۱)- اطلاعات توان فیدر ثامن

پارامتر	شاخص	فاز۱	فاز۲	فاز۳
توان اکتیو (MW)	Max	۱/۶۹	۱/۸۳	۱/۷۷
	Ave	۰/۹۹	۱/۰۶	۱/۰۲
	Min	۰/۴۵	۰/۴۸	۰/۴۶
توان راکتیو (MVar)	Max	۰/۲۹	۰/۲۲	۰/۳۸
	Ave	۰/۱۱	۰/۰۷	۰/۱۵
	Min	۰/۰۶	۰/۰۹	۰/۰۴

جدول(۲)- مرتبه‌های هارمونیکی بار متصل به فیدر ثامن

مراتب	Ia_{-h} / Ia_1	Ib_{-h} / Ib_1	Ic_{-h} / Ic_1
۲	۰/۳۲	۰/۳۲	۰/۳۴
۳	۰/۲۹	۰/۴۲	۱/۰۲
۴	۰/۲۴	۰/۲۲	۰/۲۳
۵	۱۳/۶۶	۱۲/۳۷	۱۳/۶۳
۶	۰/۳۳	۰/۲۹	۰/۳۳
۷	۱/۵۲	۱/۵	۱/۳۲
۸	۰/۳۲	۰/۳	۰/۳۲
۹	۰/۳۱	۰/۳۲	۰/۳۵
۱۰	۰/۳۴	۰/۳۶	۰/۳۲
۱۱	۱/۱	۱/۰۵	۱/۱۲
۱۲	۰/۳۲	۰/۳۱	۰/۳۳
۱۳	۱/۵	۱/۳	۱/۶۲
۱۴	۰/۴۴	۰/۴۵	۰/۴۱
۱۵	۰/۴۱	۰/۴۱	۰/۴۱

با توجه به مقادیر جداول(۱)و(۲) و رابطه زیر که برای محاسبه مقدار THD استفاده می‌شود، مقدار THD کل جریان به صورت جدول (۳) می باشد.

$$THD = \frac{\sqrt{(I_2 rms)^2 + (I_3 rms)^2 + (I_4 rms)^2 + \ldots}}{I_1} \qquad (۲۰)$$

جدول(۳)- مقدار هارمونیک جریان در هر فاز

پارامتر	شاخص	فاز ۱	فاز ۲	فاز ۳
THD جریان(٪)	Max	۲۳	۲۰/۷	۲۲/۷
	Ave	۱۴/۱۴	۱۲/۶۵	۱۴/۰۹

حال با توجه به مقادیر فوق، بـه تخمـین تـأثیر هارمونیـک روی تلفات در شبکه نمونه مذکور خواهیم پرداخت.

۷-۱- تخمین زیـان مـالی ناشـی از هارمونیـک روی تلفات شبکه توزیع نمونه :

در ایـن قسـمت بـه بررسـی اثـرات زیـان مـالی ناشـی از هارمونیک روی تلفات شبکه خواهیم پرداخت. همان طور کـه گفتیم وجود هارمونیک در بار باعث افزایش Irms می‌شود کـه این موضوع باعث افزایش تلفات خط خواهد شد.

با توجه به مقادیر ذکر شده برای مؤلفه های هارمونیکی بار، مقدار THD متوسط برای ۳ فاز برای مصرف کننده برابر است با :

THD=٪۱۳/۶۲

ملاحظه می کنیم که این مقـدار بیشـتر از مقـدار اسـتاندارد است.

پس از انجام محاسبات در شبکه ذکـر شـده مشـخص مـی شود که مقدار Irms در خط با حضور این مصرف کننده آلوده مطابق جدول زیر می‌باشد :

جدول(۴)- مقدار مؤثر جریان در هر فاز با حضور هارمونیک

پارامتر	شاخص	فاز۱	فاز۲	فاز۳
مقدار موثر جریان (A)	Max	۱۵۲/۱	۱۶۲/۶	۱۵۹/۳
	Ave	۸۷/۰۷	۹۲/۳۸	۸۹/۶
	Min	۴۰/۳	۴۱/۸	۳۹/۹

در نتیجه، با توجه به جدول (۴) مقدار تلفات در خط برابر است با :

$$P_{loss} = R(|I_{1rms}|^2 + |I_{1rms}|^2 + |I_{1rms}|^2)$$
$$= 2.23 \times (|0.0896|^2 + |0.09238|^2 + |0.08707|^2)$$
$$= 0.0538\ MW$$

این در حالی است که اگر THD این مصرف کننده برابر صفر بـود بـا توجـه بـه شـبیه سـازی انجـام شـده در نـرم افـزار DIgSILENT ، مقادیر جریان به صورت جدول (۵) تغییر مـی یافت.

جدول(۵)- مقدار مؤثر جریان در هر فاز بدون حضور هارمونیک

پارامتر	شاخص	فاز۱	فاز۲	فاز۳
مقدار موثر جریان (A)	Ave	۸۲/۱۷	۸۷/۵۱	۸۴/۳

$$P_{loss} = R(|I_{1rms}|^2 + |I_{1rms}|^2 + |I_{1rms}|^2) =$$
$$2.23 \times (|0.0843|^2 + |0.08751|^2 + |0.08217|^2)$$
$$= 0.0479\ MW$$

ملاحظه می شود کـه مقـدار تلفـات خـط در اثـر حضـور هارمونیک حدود ۱۲.۳٪ افـزایش مـی یابـد. البتـه بـا تحلیـل مختصری روی مؤلفه های هامونیکی، متوجه خواهیم شد کـه هارمونیک های زوج مخصوصا هارمونیک ۲ در افزایش Irms ودر نتیجه افزایش تلفات تأثیر چشم گیری دارد.

حال اگر این مقدار تلفات را در طول یک ماه محاسبه کنیم، با توجه به مقدار میانگین جریان محاسبه شده در بالا، با توجه به طول هر ماه که ۷۲۰ ساعت است، افزایش تلفاتی برابر

(۰/۰۵۳۸-۰/۰۴۷۹)×۷۲۰=۴/۲۴۸ MWh

در یک ماه خـواهیم داشـت و همچنـین حـدود 50MWh مصرف اضافی در سال بر شبکه تحمیل خواهد کرد. حال اگـر قیمت هر مگاوات ساعت بـرق ۸۳۲۰۰۰ ریـال باشـد، هزینـه تحمیلی سالانه ناشـی از ایـن مصـرف کننـده هـارمونیکی بـر تلفات این خط انتقال برابر است با :

۸۳۲۰۰۰×۵۰=۴۱،۶۰۰،۰۰۰ ریال

ملاحظه می‌شود که فیدر آلوده به هارمونیک منتهی به حـرم مطهر علاوه بر تحمیل زیان به تجهیزات و کاهش عمـر آنهـا، باعث تحمیل خسارت زیادی بر مالک خط بـه دلیـل افـزایش تلفات و تحمیل هزینه‌های تلفات خواهد شد که مـی‌تـوان در آینده و با برنامه ریزی بیشتر جریمـه سـنگینی بـرای بارهـای آلوده مشخص کرد.

۸- تخمین زیان مالی ناشی از هارمونیک روی ظرفیت انتقالی و تلفات خطوط انتقال:

با توجه به روابط ذکر شده در قسـمتهای ۳ و ۵ و بررسـی فنی تأثیرات هارمونیک روی تلفات و ظرفیت انتقالی خطـوط،

در این قسمت به تخمین زیان مالی ناشی از هارمونیک روی یک شبکه نمونه انتقال خواهیم پرداخت. لذا ابتدا، به بررسی اشغال ظرفیت انتقالی خطوط و سپس به افزایش تلفات ناشی از این بار هارمونیکی نمونه که اطلاعات آن در قسمت زیر بیان می‌شود، می‌پردازیم.

۸-۱- تخمین زیان مالی ناشی از هارمونیک روی ظرفیت انتقالی خطوط:

یکی از تأثیرات مهم وجود هارمونیک در شبکه، اشغال ظرفیت انتقالی خطوط می‌باشد که اکثراً نادیده گرفته می‌شود. با توجه به سطح ولتاژ پایین و نوع شبکه‌های توزیع، این مسئله در شبکه های توزیع موضوعیت زیادی پیدا نمی‌کند. ولی در شبکه‌های انتقال اشغال ظرفیت خطوط توسط هارمونیک‌ها، اهمیت ویژه ای دارد. در این قسمت، به بررسی تأثیر هارمونیک‌ها روی یک شبکه انتقال نمونه و محاسبه زیان اقتصادی حاصل از آن می‌پردازیم.

برای این منظور به بررسی یک بار هارمونیکی متصل به خط انتقال ۶۳ kv برای تحلیل تأثیر هارمونیک روی تلفات و ظرفیت انتقالی خطوط خواهیم پرداخت. سیم به کار گرفته شده در خط انتقال ۲۹ کیلومتری منتهی به این مصرف کننده دارای مقاومت اهمی ۰/۱۶ اهم بر کیلومتر و راکتانس ۰/۳۱ اهم بر کیلومتر می‌باشد. این بار هارمونیکی دارای کوره ها قوس الکتریکی می‌باشد که هارمونیک ۲ نیز در آن وجود دارد. دیاگرام این شبکه نمونه در شکل (۱) نشان داده شده است. همچنین مشخصات هارمونیکی و اطلاعات بار مصرف کننده مطابق اطلاعات مندرج در جداول ۶ و ۷ می‌باشد.

شکل (۱): دیاگرام شبکه نمونه انتقال

جدول (۶)- اطلاعات مراتب هارمونیکی بار نمونه

مراتب هارمونیکی	Ia_{-h} / Ia_1	Ib_{-h} / Ib_1	Ic_{-h} / Ic_1
۲	۴۰	۴۱	۴۰
۳	۳۳	۳۲	۳۳
۵	۱۰	۱۱	۱۰
۷	۶	۶	۵.۸
۱۱	۵	۵/۱	۵/۲
۱۳	۴/۳	۴/۲	۴/۱
۱۵	۴/۰۸	۴/۰۲	۴/۰۶
۱۷	۳/۱	۳/۱۲	۳/۰۹

جدول (۷)- اطلاعات توان بار نمونه

پارامتر	شاخص	فاز۱	فاز۲	فاز۳
توان اکتیو (MW)	Ave	۳/۱	۳/۱۲	۳/۳۴
توان راکتیو (MVar)	Ave	۱/۰۵	۱/۰۹	۱/۱

ابتدا اثر بار هارمونیکی را روی توان ظاهری خط مذکور بررسی کنیم. این افزایش مقدار S همان طور که قبلا ذکر شد، با توجه به رابطه

$$S = V_{rms} I_{rms}$$

و افزایش مقدار Irms امری بدیهی است.

با توجه به مقادیر ذکر شده برای مؤلفه های هارمونیکی بار، مقدار THD برای مصرف کننده برابر است با :

THD= ٪۷/۳۴

ملاحظه می کنیم که این عدد بیشتر از مقدار استاندارد می‌باشد.

در شبکه نمونه فوق الذکر مقدار توان ظاهری عبوری از خط درصورتی که THD این مصرف کننده برابر صفر باشد، برابر است با :

MVA =۱۱/۳۲۸S

P=۱۰/۵۷۶MW

Q=۴/۰۵۳ MVAr

حال اگر THD برای همان مصرف کننده بـه مقـدار ۷/۳۴٪ باشد مقادیر توان برابر خواهد بود با :

S=۱۲/۲۹۶ MVA

P=۱۰/۵۸۲ MW

Q=۶/۲۶ MVA

ملاحظه می شود که در شرایط بـا وجـود ایـن بـار آلـوده، ظرفیت خط به اندازه ۸/۵٪ بیشتر اشغال می‌گردد.

حال با توجـه بـه شـبکه، ایـن اشـغال ظرفیـت مـی توانـد خسارات مالی مختلفی داشته باشد. مثلا، اگر ایـن خـط دارای تراکم باشد، باید هزینه احداث خط جدید را تخمین زد. ایـن افزایش جریان و ظرفیت اشغال شده می تواند باعث کم شدن عمر خط نیز بشود که باعث ضرر در هزینـه سـرمایه گـذاری خطوط انتقال خواهد شد. در واقع می‌خواهیم هزینـه سـرمایه گذاری بلا استفاده خطوط انتقال را محاسبه کنیم.

اگر به عنوان مثال، هزینه احداث هر کیلومتر خط ۶۳ کیلـو ولت ۹۰۰ میلیون ریال باشد، در مثال بالا و با توجه بـه طـول ۲۹ کیلومتری خط، هزینه احداث آن ۲۶ میلیارد ریال است که اشغال بی مورد ۸.۵٪ از ظرفیت آن معادل از بین رفتن حـدود ۲ میلیارد ریال از هزینه سرمایه گذاری خط میباشد.

با توجه به مطالب گفته شده، اگر خط مذبور به مـدت $\frac{h}{24}$ در شبانه روز در حالت تراکم (۶ سـاعت) باشـد، بـا در نظـر گرفتن هزینه احداث P تومان (۲۶ میلیارد ریال برای خط فوق الذکر) و در نظر گرفتن کارکرد n (۳۰) سال و اشغال ظرفیـت خط به مقدار k (۸.۵) درصد ظرفیت نامی و نرخ سود سالانه i برابر با ۱۵ درصد؛ می تـوان مقـدار ضـرر در هزینـه سـرمایه گذاری با پارامترهای ذکر شده را به صورت زیر تخمین زد :

$$F = k \times P \times (1+i)^{n \times \frac{h}{24}} \qquad (۲۱)$$

اگر پارامترها را با توجه بـه اعـداد بیـان شـده، جایگـذاری نماییم خواهیم داشت :

F = ۶/۳ میلیارد ریال

در نتیجه مقدار ۶/۳ میلیارد ریال از هزینـه سـرمایه گـذاری خطوط انتقال به دلیل حضور بار هارمونیکی، بلا استفاده مـی-ماند.

۸-۲- تخمین زیـان مـالی ناشـی از هارمونیـک روی تلفات خطوط انتقال:

در ایـن بخـش، بـه بررسـی اثـرات زیـان مـالی ناشـی از هارمونیک روی تلفات شـبکه انتقـال نمونـه مـذکور خـواهیم پرداخت. همان طور که گفتیم؛ وجود هارمونیک در بار باعـث افزایش Irms می شود که این موضوع باعـث افـزایش تلفـات خط خواهد شد. پس از انجام محاسبات در شبکه ذکـر شـده، مشخص می شود کـه مقـدار Irms در خـط بـا حضـور ایـن مصرف کننده آلوده برابر است با :

Irms =۰/۱۱۳KA

در نتیجه مقدار تلفات با توجه به مقاومت الکتریکـی خـط انتقال، برابر است با :

$$P_{loss} = P_{in} - P_{out} = 0.651 \quad MW$$

این در حالی است که اگر THD این مصـرف کننـده برابـر صفر باشد :

Irms=۰/۱۰۴ KA

$$P_{loss} = ۰/۵۵۱ \text{MW}$$

ملاحظه می شود کـه مقـدار تلفـات خـط در اثـر حضـور هارمونیک حدود ۱۸/۱٪ افزایش می یابد.

حال، اگر این شرکت ۱۰ ساعت در روز کار کنـد و مـاهی ۲۵ روز فعال باشد در هـر مـاه ۲۵۰ سـاعت کـارکرد خواهـد داشت که در یک ماه افزایش تلفاتی برابر

(۰/۶۵۱-۰/۵۵۱)×۲۵۰=۲۵ MWh

خواهـد داشـت و۳۰۰ MWh در سـال بـر شـبکه تحمیـل خواهد کرد. اگر قیمت هر مگاوات ساعت برق ۸۳۲۰۰۰ ریال باشد، هزینـه تحمیلـی سـالانه ناشـی از ایـن مصـرف کننـده هارمونیکی بر تلفات این خط انتقال برابر می‌شود با :

۸۳۲۰۰۰×۳۰۰=۲۴۹،۶۰۰،۰۰۰ ریال

۹- نتیجه‌گیری

وجود هارمونیک در شبکه و تزریق آن به وسیله مصرف کننده های غیر خطی مختلف می‌تواند خسارات زیادی به شبکه وارد کند. از جمله این خسارات می‌توان به افزایش تلفات شبکه و اشغال ظرفیت انتقالی خطوط اشاره کرد. در این مقاله سعی شد که تأثیر هارمونیک روی تلفات و ظرفیت انتقالی شبکه، ابتدا به صورت محاسباتی و سپس، طی یک تحقیق عملی روی فیدر ثامن مشهد و یک شبکه انتقال نمونه مورد ارزیابی قرار گیرد. با توجه به اعداد به دست آمده توسط شبیه سازی که به وسیله نرم افزار DIgSILENT صورت گرفته است، میزان خسارات مالی ناشی از افزایش تلفات و اشغال ظرفیت انتقالی خطوط در اثر هارمونیک در این شبکه محاسبه گردید. نتایج بررسی‌ها نشان دهنده اینست که مناسب است بر روی اثرات هارمونیکها در شبکه‌های قدرت تأمل بیشتری صورت پذیرد.

۱۰- مراجع

[1] Francis C. Pereira, Jose C. de Oliveira,Olivio C. N.Souto, Anderson L.A. Vilaca,Paulo F. Ribeiro; An Analysis of Costs Related To The Loss of Power Quality; 8th International Conference on Harmonics and Power Quality,Volume 2, 14-16 Oct. 1998.

[2] Alexander E. Emanuel ; Harmonic Cost Allocation: A Difficult Task; Power Engineering Society Summer Meeting, 1999 IEEE.

[3] Fernando L. Tofoli, Aniel S. Morais, Carlos A. Gallo, Sérgio M. R. Sanhueza, Aloísio de Oliveira ; Analysis of Losses in Cables and Transformers Under Power Quality Related Issues ; Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2004. APEC '04. Nineteenth Annual IEEE.

[4] Bezuidenhout, S.L.; Rens, A.P.J.; Considerations on tariff strategies for nonsinusoidal conditions ; Africon Conference in Africa, 2002. IEEE AFRICON. 6th

[5] R. Lamedica G. Esposito, E. Tironi, D. Zaninelli A. Prudenzi ; a survey on power quality cost in industrial customers ; 708-0738-0636-7646-732/0-70//0$11/0$.1000. 0(C0)(C20) 02001 IEEE.

[6] P.Pillay, P. Hofmann ; Derating of Induction Motors Operating with a Combination of Unbalanced Voltages and Over- or Undervoltages ; 2001 IEEE.

[7] S.B.Sadati, A.Tahani, B.Darvishi, M.Dargahi, H.yousefi ; Comparison of Distribution Transformer Losses and Capacity under Linear and Harmonic Loads ; 2nd IEEE International Conference on Power and Energy (PECon 08), December 1-3, 2008, Johor Baharu, Malaysia.