

Methods of determining the harmonic contribution in the electricity company and the customer

Vahid Farhadiyan ^{1,*}

¹ Department of Electrical Engineering, Shahed University of Tehran, Tehran, Tehran, Iran

E-mails: vahid.farhadiyan@shahed.ac.ir

* Corresponding Author

Abstract

Today, electronic power circuits have improved in providing the required power on the one hand, and on the other hand, they have also increased the harmonic emission, which itself has caused problems such as line losses and excessive heating, etc. One of the issues and problems of power quality in distribution systems And transmission is the issue of harmonics, which has attracted a lot of attention, so that many materials in this regard can be found in various books and articles. Harmonic distortions cause certain problems in power networks. Among these problems, it can be mentioned that the equipment does not function properly, as well as reducing the life and efficiency of the devices. Power quality problems cause discomfort to consumers and economic losses to industries, which harmonics are caused by loads. Non-linearity and power electronic devices are created. These loads usually comprise 40% of the load. Technical losses are usually allowed up to 5%, which automatically increase to more than 7% due to harmonics. Harmonics can be found in electromechanical meters and also some types of meters that They are smart, they influence by using their converters.

Keywords

Power quality, phase angle, harmonic contribution.

روش های تعیین سهم هارمونیک در شرکت برق و مشتری

وحید فرهادیان^{۱*}

گروه مهندسی برق، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شاهد تهران، تهران، ایران

ایمیل نویسنده: vahid.farhadiyan@shahed.ac.ir

چکیده

امروزه مدارهای الکترونیک قدرت در تامین توان مورد نیاز از یک سو بهبود بخشیده از سوی دیگر انتشار هارمونیک را نیز افزایش داده اند، که خود باعث مشکلاتی مانند تلفات خط و گرمایش بیش از حد و... شده است. یکی از مسائل و مشکلات کیفیت برق در سیستم های توزیع و انتقال، مسئله هارمونیک ها می باشد، که توجه زیادی را به خود جلب نموده است. بطوریکه مطالب بسیاری در این خصوص میتوان در کتب و مقالات گوناگون جستجو نمود. اعوجاج های هارمونیک باعث ایجاد مشکلات خاصی در شبکه های قدرت میشود از جمله ی این مشکلات می توان به عدم عملکرد مناسب تجهیزات و نیز کاهش عمر و پایین آمدن راندمان دستگاه ها اشاره کرد.

کلمات کلیدی: کیفیت توان، زاویه فاز، سهم هارمونیک

نام نویسنده مسئول: وحید فرهادیان

ایمیل نویسنده مسئول: vahid.farhadiyan@shahed.ac.ir

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۲/۰۹/۲۸

تاریخ (های) اصلاح مقاله: ۱۴۰۲/۱۰/۲۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۱۱/۰۵

۱- مقدمه

پیدا می کند و علیرغم اهمیت موضوع، تحقیقات بسیار کمی در این زمینه صورت گرفته است.

همچنین تخمین دقیق تلفات نقش مهمی در تعیین سهم خسارات فنی و تجاری دارد و محققان سعی کرده اند با روش های مختلف تلفات سیستم های توزیع را تخمین بزنند. بسته به نوع بار و تجهیزاتی که ما استفاده می کنیم هارمونیک های ولتاژ و جریان ما هم تغییر می کنند تا به اکنون اندازه گیری های دقیق و مشخصی برای هارمونیک ها انجام نشده، چرا که هارمونیک بسته به زمان و استفاده از آن تجهیز تغییر می کنند و تنها راه حل آن محدود کردن اثراتی که باعث هارمونیک میشوند میباشد. [3,4]

۲-۱- تعریف هارمونیک

مولفه هایی با فرکانس بالاتر از فرکانس مؤلفه اصلی در یک شکل موج (ولتاژ یا جریان) هستند که در شبکه قدرت، به طور ناخواسته و بر اثر عناصر غیر خطی تولید می شوند. هارمونیک ها علاوه بر دامنه، زاویه هم دارند چون از جنس \sin هستند. اعوجاج هارمونیک، محاسبه توان و ضریب قدرت رامشکل می سازد. زیرا بسیاری از ساده سازی های صورت گرفته راکه در تحلیل فرکانس قدرت بکار می رود، در این حالت قابل اعمال نخواهد بود.

۳-۱- روش های اندازه گیری

اولین گام در تعیین منشا هارمونیک در نقطه ی PCC، هارمونیک ولتاژ و جریان آن نقطه است. روش های مختلفی بر اساس مدیریت اندازه گیری که به دو دسته روش های اندازه گیری نقطه ای و چند نقطه ای تقسیم می شوند. روش های چند نقطه ای اطلاعات دقیقی در مورد هارمونیک شبکه در اختیار می دهد. اما پیاده سازی این روش ها مشکل بوده و نیازمند استفاده از تجهیزات گران قیمت و پیچیده اندازه گیری می باشد. در مقابل روش های تک نقطه ای قابلیت پیاده سازی آسان و هزینه پایین و احتمال کمتر بروز خطا در شبکه می باشد. ولی باید توجه داشت که با توجه به در اختیار داشتن اطلاعات محدودی از وضعیت

۱ بحث هارمونیک ها ما را با چالش های مختلفی همچون کیفیت توان و قابلیت اطمینان سیستم و عدم تعادل فرکانس و ولتاژ مواجه کرده است، که خود به دو جنبه ی هارمونیک های ولتاژ و جریان تقسیم می شوند که توانسته اثرات نامطلوبی بر عملکرد سیستم قدرت داشته باشد. همچنین در سیستم های قدرت، هارمونیک های توانمند هم از سمت شبکه برق وهم از سمت مشتری باشند. در مصرف کنندگان استفاده از یکسری بارهای غیر خطی مانند مدارهای مدرن الکترونیکی و دستگاه های سوئیچینگ، که بارهای غیر خطی غالب مشتریان مسکونی عبارتند از: الکترونیک مصرفی و دستگاه های نوری مدرن مانند لامپ های فلورسنت فشرده و دیودهای نوری و سایر تجهیزات که مهم ترین بارهای غیر خطی شامل کامپیوترها و نورپردازی از قبیل CFL و LED و سیستم های گرمایش و تهویه هوا هستند. برای صنعت بارهای غیر خطی غالب بسته به نوع صنعت می توانند متفاوت باشند و این بارها می توانند شامل محرک های سرعت متغیر (VSD)، تجهیزات الکترونیک صنعتی و کوره های قوس و... باشند که بطور مکرر بر کیفیت تامین برق تاثیر می گذارد. همچنین وسایل مورد استفاده در تاسیسات تجاری و مسکونی می توانند منابع قابل توجهی از جریان های هارمونیک باشند [1-2].

۱-۱- اهمیت موضوع هارمونیک ها

در زمینه ی تشخیص هارمونیک ها روش های بسیار کمی ارائه شده است علاوه بر کاستی هایی که این روش ها دارند هیچ یک از آن ها در شرایطی که دو یا چند بار هارمونیک یکسان تولید می کنند قادر به تعیین سهم هر یک از بارها نخواهند بود. با توجه به اینکه منشا هارمونیک های هر نقطه از شبکه قدرت می تواند هر یک از بارهای درون شبکه باشد، تعیین بارهای هارمونیک را و تعیین میزان سهم هر یک از بارها به منظور انتخاب مناسب تجهیزات جبران ساز اهمیت

شبکه ممکن است این روش ها در جاهایی دچار خطا شوند و اطلاعات نادرستی به دست آید.

هارمونیک ها کیفیت توان را تحت تاثیر قرار می دهند و تلفات سیستم را تا 20 درصد افزایش می دهند که 27 درصد آن ها را می توان به هارمونیک ها نسبت داد. مطالعات اخیر نشان می دهد که تلفات توان اضافی در شبکه های توزیع ممکن است در محدوده 4 تا 8.5 درصد برای سطوح مختلف هارمونیک باشد. تلفات سیستم توزیع با بارهای غیر خطی تغییر می کند. بارهای مسکونی و غیر خطی از 38٪ تا 42٪ بار مصرفی را متغیر می دهند و بارهای روشنایی فلورسنت در ساختمان ها از 40٪ تا 70٪ می توانند تغییر کنند [5].

هارمونیک ها مستقل از هم نیستند و مانند جمع دو عدد تصادفی هر بار جمع آن می تواند متفاوت باشد، پس به راحتی قابل جمع نیستند چون توزیع نرمال وجود ندارد. در جمع هارمونیک ها به نوع تجهیز هم بستگی دارد که بهترین حالت $a=1.1$ است. حتی برای هارمونیک های مرتبه سوم که جمع جبری می شوند چون زاویه ندارند این ها بطور کامل صادق نیستند بخاطر شرایطی که گفته شده است. [6]

جدول ۱. ضریب جمع برای هارمونیک ها

| مرتبه هارمونیک | a |
|----------------|-----|
| $h < 5$ | 1 |
| $5 < h < 10$ | 1.4 |
| $h > 10$ | 2 |

۲- روش های کیفی و کمی در سهم هارمونیک ها

۲-۱- روش کمی

روش های کمی رایج معمولاً بر اساس اندازه گیری امپدانس هارمونیک شرکت برق هستند. اینها را می توان به عنوان تهاجمی و غیر تهاجمی طبقه بندی کرد. در روش های تهاجمی، امپدانس هارمونیک شرکت برق از تغییرات ولتاژ و جریان ناشی از جریان هارمونیک تزیقی استخراج می شود. روش های غیر تهاجمی اصلی برای محاسبه امپدانس هارمونیک شرکت برق شامل روش نوسان، روش رگرسیون خطی، و روش های مبتنی بر ویژگی های کوواریانس بردارهای تصادفی، انتخاب داده و تجزیه و تحلیل مؤلفه های مستقل است.

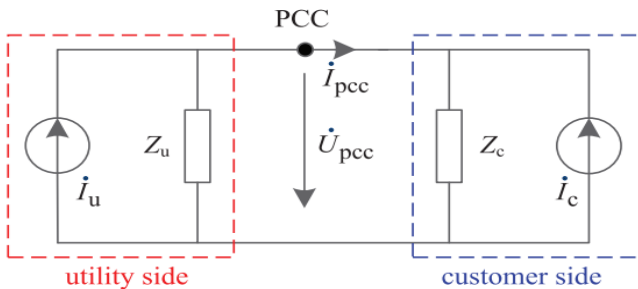
۲-۲- روش کیفی

از روش های کیفی فقط برای شناسایی می توان استفاده کرد. منبع هارمونیک غالب تا حدودی شناخته شده ترین روش کیفی، روش جهت توان است که در آن جهت توان اکتیو هارمونیک شرط کافی و ضروری برای شناسایی منبع هارمونیک غالب مشخص شده است. از آنجایی که اختلاف زاویه فاز بین منابع هارمونیک در هر دو طرف می تواند از 0 درجه تا 360 درجه متفاوت باشد، زمانی که اختلاف زاویه فاز بین دو طرف زیاد باشد، روش جهت توان نمی تواند به طور موثر کار کند. روش کیفی دیگر روش توان راکتیو است که مبتنی بر مقایسه سه کمیت توان راکتیو مختلف است و می تواند به طور کامل در حوزه زمان پیاده سازی شود. روش ساده ای است، اما از نظر تئوری دقیق نیست [7].

۳- روش های تشخیص و تعیین سهم هارمونیک شرکت برق و مشتری

۳-۱- امپدانس هارمونیک

برآورد امپدانس هارمونیک و سهم هارمونیک برای کنترل هارمونیک مفید است و داده های فازورهای هارمونیک برای روش های تخمین موجود ضروری است با این حال، زوایای فازورهای هارمونیک در برخی از ابزارهای اندازه گیری کیفیت توان فعلی ثبت نشده است، که باعث می شود روش های موجود در دسترس نباشند. برای حل این مشکل، مدل مدار معادل نورتون تحت فرکانس هارمونیک بهبود یافته است که شکل مداری آن بصورت زیر است [8].



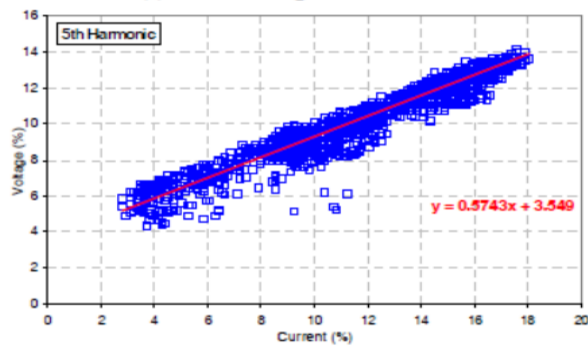
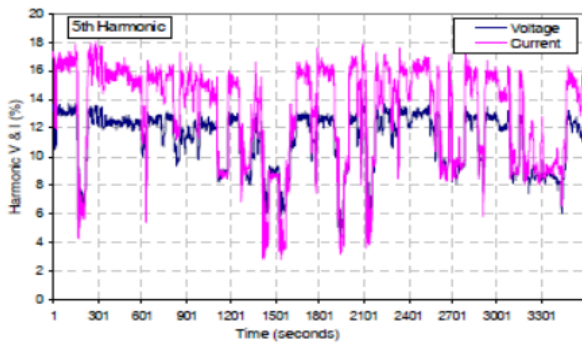
شکل ۱. مدار معادل نورتون از منابع هارمونیک مرتبه h و امپدانس هارمونیک بر اساس مدل امپدانس هارمونیک، می توان با استفاده از الگوریتم تجزیه و تحلیل مولفه مستقل تخمین زد و دیگر نیازی به داده فازور هارمونیک نیست. این الگوریتم دو مزیت در تخمین امپدانس هارمونیک دارد: (1) می تواند امپدانس هارمونیک هر دو طرف PCC را به طور همزمان محاسبه کند، در حالی که سایر روش های معمولی معمولاً فقط می توانند امپدانس یک طرف را تخمین بزنند. (2) هنگامی که امپدانسهای هارمونیک هر دو طرف PCC تقریباً معادل هستند و تغییرات هارمونیک پس زمینه قابل توجه است، می تواند به دقت تخمین بالایی دست یابد [9].

همانطور که از جدول (2) مشاهده می شود، روش با امپدانس واقعی فرض می کند که مشارکت شبکه در اعوجاج هارمونیک با افزایش تعداد خازن های مورد استفاده افزایش می یابد. که اینجا ما برای هارمونیک پنجم محاسبه کردیم. جدول ۲. سهم جریانی شرکت برق و مشتری

| Capacitor bank (kVAr) | I_{Us} (%) | I_{Cs} (%) | I_{Us} (%) | I_{Cs} (%) |
|-----------------------|------------------|--------------|----------------------|--------------|
| | Actual impedance | | Reference impedances | |
| 0 | 1.1 | 98.9 | -24.8 | 124.8 |
| 125 | 77.4 | 22.6 | -14.1 | 114.1 |
| 212.5 | 131.1 | -31.1 | -3.4 | 103.4 |
| 287.5 | 164.6 | -64.6 | -1.1 | 101.1 |

۳-۲- روش FFT

تبدیل فوری قدیمی ترین روش کلاسیک است که برای تشخیص هارمونیک استفاده می شود. با این حال، این روش به طور کلی فقط برای تجزیه و تحلیل سیگنال های ثابت مناسب است. برای تجزیه و تحلیل نوسانات غیر ثابت در سیستم های قدرت، نشت طیفی و اثر محدودیت رخ خواهد داد، که کاربرد الگوریتم FFT را در تشخیص هارمونیک های سیستم قدرت محدود می کند. بر اساس الگوریتم FFT تبدیل فوری کوتاه مدت (STFT) پارامترهای هارمونیک را با کاهش عرض پنجره فرکانس استخراج می کند. با این حال الگوریتم (STFT) دارای وضوح فرکانس پایین است [10].



شکل ۲. تحلیل همبستگی ولتاژ و جریان هارمونیک

رابطه (5) نشان می دهد که جهت توان راکتیو در واقع با مقادیر ولتاژ

مرتبط است. و طبق آن اگر سمت منبع، توان راکتیو جذب کند ($Q > 0$) باید E_c بزرگتر از E_u باشد. به عبارتی می توان نتیجه گرفت مصرف کننده سهم بیشتری در هارمونیک جریان دارد. اگر منبع، راکتیو تولید کند ($Q < 0$) لزوماً تضمین نمی کند که سمت منبع، منبع هارمونیک غالب باشد [13-17].

جدول ۳- مزایا و معایب روش های تعیین سهم شرکت برق و مشتری

| معایب | مزایا | روش FFT |
|--|--|---------------------|
| فقط برای تجزیه و تحلیل سیگنال های ثابت مناسب است- دامنه ها و مراحل دقیق هارمونیک ها را نمی توان بدست آورد- فرآیند محاسبه را پیچیده میکند و ممکن است، مقادیر نادرستی بدهد | فرکانس های هارمونیک را می توان به دست آورد- اجزای هارمونیک در سیگنال را تعیین می کند | روش FFT |
| از نظر تئوری نامناسب است- در محاسبه آن نیازمند امپدانس واقعی سیستم است- اختلاف زاویه فاز بین دو منبع به طور قابل توجهی بر عملکرد آن تأثیر می گذارد | پیاده سازی آسان و کم هزینه است- عدم وابستگی به امپدانس هارمونیک شرکت برق و مشتری است | جهت توان اکتیو |
| شناسایی منبع جریان هارمونیک معادل غالب مورد توجه قرار نگرفته است | سهم هر دو طرف در اعوجاج هارمونیک در PCC مشخص است- زاویه ی هارمونیکی در آن مشخص است | نسبت ولتاژ به جریان |
| به تنهایی برای شناسایی منبع هارمونیک معادل غالب کافی نیست- عدم دقت در امپدانس هارمونیک شرکت برق و مشتری- نیاز داشتن اطلاعات امپدانس تقریبی | شاخص قابل اعتمادتری در مورد منابع هارمونیک غالب است- جهت توان راکتیو در واقع با مقادیر ولتاژ مرتبط است | جهت توان راکتیو |

۳-۳- روش جهت توان اکتیو (APD)

اگرچه متداول ترین روش مورد استفاده است که توسط صنعت پذیرفته شده است، زیرا پیاده سازی آن آسان و کم هزینه است. اما مفهوم برهم نهی با جهت جریان توان اکتیو در تناقض است زیرا جریان توان هارمونیک می تواند در هر دو جهت باشد زمانی که زاویه فاز از 180 بیشتر شود. از آنجایی که زاویه فاز فعلی بین شرکت برق و مشتری است هیچ تضمینی برای باقی ماندن در محدوده معینی ندارد.

$$P_{pcc} = \text{Re}\{V_{pcc} I_{pcc}^*\} \rightarrow (1)$$

باتوجه به رابطه ی (1) اگر مقدارش منفی شد یعنی منبع ولتاژ هارمونیک معادل طرف شرکت برق غالب است و اگر مقدارش مثبت شد، منبع ولتاژ هارمونیک معادل طرف مشتری غالب است [11].

۳-۴- روش نسبت ولتاژ به جریان

مفهوم مبتنی بر نسبت ولتاژ به جریان به صراحت در کار اصلی برای شناسایی منبع ولتاژ هارمونیک معادل غالب ارائه شده است. برای این منظور، ولتاژ و جریان اندازه گیری شده در PCC و همچنین امپدانس هارمونیک معادل طرف شرکت برق و مشتری مورد نیاز است. با استفاده از این روش، نه تنها می توان منبع ولتاژ هارمونیک معادل غالب را شناسایی کرد، بلکه می توان سهم هر دو طرف را در اعوجاج هارمونیک در PCC نیز تعیین کرد. در اینجا علاوه بر بزرگی نسبت سهم هارمونیک، می توان زاویه این نسبت را نیز تعیین کرد [12]. نسبت ولتاژ به جریان در PCC به صورت زیر قابل محاسبه است

$$R_{vi} = \frac{V_{pcc}}{I_{pcc}} \rightarrow (2)$$

در جریان خطی برای تعیین نقش شبکه و بار در تولید هارمونیک، جریان بار به دو بخش جریان خطی و جریان غیرخطی تقسیم می شود. بخش اول، آن قسمت از جریان است که توسط بار سلفی-اهمی معادل کشیده شده و توسط رابطه ی (14) محاسبه می شود. باقی مانده ی جریان، بخش غیرخطی جریان نامیده می شود و از طریق رابطه ی (15) محاسبه می شود.

$$i_i(t) = \sum_{h=1}^n \sqrt{2} \frac{V_h}{Z_h} \sin(h\omega_1 t + \phi_h) \rightarrow (3)$$

$$i_{nl}(t) = i(t) - i_1(t) \rightarrow (4)$$

۳-۵- روش جهت توان راکتیو

جهت جریان توان راکتیو میتواند به طور قابل توجهی تحت تأثیر بزرگی دو منبع هارمونیک معادل باشد. با این حال اشاره شده است که جهت جریان توان راکتیو به تنهایی برای شناسایی منبع هارمونیک معادل غالب کافی نیست، زیرا اختلاف زاویه فاز نیز در این رابطه نقش دارد.

$$Q = E_u I \sin \theta = \frac{E_c}{X} (E_c \cos \theta - E_u) \rightarrow (5)$$

- [9] Hongru Zheng Fangwei Xu Qin Shu Chuan Wang Quan Zhou' Estimation of harmonic impedance and harmonic contribution with harmonic complex power in the absence of harmonic phase angle/2022.
- [10] B. Blažič, Student Member, IEEE, T. Pfajfar and I. Papič, Member, IEEE' A Modified Harmonic Current Vector Method for Harmonic Contribution Determination/2004.
- [11] Guowei Cai, Lixin Wang *, Deyou Yang , Zhenglong Sun and Bo Wang' Harmonic Detection for Power Grids Using Adaptive Variational Mode Decomposition/2019.
- [12] Farhad Safarholi, Kaveh Malekian, and Wolfgang Schufft, Member, IEEE' On the Dominant Harmonic Source Identification— Part I: Review of Methods/2017.
- [13] A. Kalaira , N. Abasb , A.R. Kalairc , Z. Saleemd , N. Khan' Review of harmonic analysis, modeling and mitigation techniques/2017.
- [14] Hesarian MS, Tavooosi J. Prediction the Effect of Tensile and Elongation Properties of Dry and Wet Cotton Fibre on the Fabric Wrinkle Grade Based on Polynomial Type2 Fuzzy Neural Network Modelling. *Fibers and Polymers*. 2023 Jun;24(6):2255-62.
- [15] شیرخانی، اعظمی، رحمت، اسماعیل بیگی، شیرخانی/ Improvement of flux and torque ripple in direct torque control (DTC) of induction motor using improved switching tables. ۲۰۲۳. روش های محاسباتی در علوم مهندسی. Nov 22;1(3):22-9.
- [16] Tian MW, Mohammadzadeh A, Tavooosi J, Mobayen S, Asad JH, Castillo O, Várkonyi-Kóczy AR. A deep-learned type-3 fuzzy system and its application in modeling problems. *Acta Polytech. Hung.* 2022 Jan 1;19(2):151-72.
- [17] J. Tavooosi and F. Mohammadi, "A New Type-II Fuzzy System for Flexible-Joint Robot Arm Control," *2019 6th International Conference on Control, Instrumentation and Automation (ICCIA)*, Sanandaj, Iran, 2019, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICCIA49288.2019.9030872.
- [18] Vladimir C'uk, Joseph F.G. Cobben, Wil L. Kling, Paulo F. Ribeiro' Analysis of harmonic current summation based on field measurements/2013.
- [19] Abdali A, Monjezi V. Machine Learning-based Flexible Link Robot Control. *Computational methods in engineering sciences*. 2023 Aug 23;1(2):12-7.
- [20] دانیالی، شیرخانی، دادوند، شکر بیگی، امیرمحمد. ارائه و بررسی یک مبدل DC-DC افزایشده با ورودی از سیستم خورشیدی. روش های محاسباتی در علوم مهندسی. Aug 19. ۲۰۲۳.
- [21] Abdali A. Numerical investigation of heat transfer increase in nanofluid flow inside sinusoidal tubes. *Computational methods in engineering sciences*. 2023 May 22;1(1):16-20.

۴- همبستگی جریان و ولتاژ هارمونیک

در صورتی که جریان هارمونیک بار غیرخطی در طول دوره اندازه گیری دارای تغییرات باشد، می توان از همبستگی ولتاژها و جریان های هارمونیک اندازه گیری شده در لحظات مختلف به منظور تعیین سهم هارمونیک بار و شبکه استفاده کرد [18-21].

معادله خط در شکل بالا بصورت زیر است:

$$V_{pcc,h} = \alpha * I_{pcc,h}(\%) + b \rightarrow (6)$$

۵- نتایج

* با افزایش هارمونیک های ولتاژ شبکه منبع تغذیه به خطر می افتد.
 * جهت جریان توان اکتیو برای تشخیص منبع هارمونیک مناسب نیست.
 * روش نسبت ولتاژ به جریان، نه تنها می تواند منبع ولتاژ هارمونیک معادل غالب را شناسایی کرد بلکه می تواند سهم هر دو طرف را در اعوجاج هارمونیک در PCC نیز تعیین کند. در اینجا علاوه بر بزرگی نسبت سهم هارمونیک، می توان زاویه این نسبت را نیز تعیین کرد.
 * جهت توان راکتیو هارمونیک به جای توان اکتیو، شاخص قابل اعتمادتری در مورد منابع هارمونیک غالب است. این روش به اطلاعات امپدانس تقریبی نیاز دارد.

۶- پیشنهادات

* روش جهت توان اکتیو اگرچه دچار خطا است، اما روش پیاده سازی ساده و در کاربردهای مهندسی بسیار مناسب است. این روش در محاسبه آن نیازمند امپدانس واقعی سیستم است که به دست آوردن امپدانس سیستم واقعی برای اغلب مواقع دشوار است و اگر بتوان روشی اسان تر برای بدست آوردن امپدانس پیدا کرد محاسبات آن ساده می شود.
 * مدار معادل نورتن میتوان به عنوان روشی مناسب برای تخمین مکان و سهم منابع هارمونیک است.

مراجع

- [1] [1] Yufang Chen *, Wei Han 'Harmonic current control strategy of DC distribution network based on deep learning algorithm'/2022.
- [2] Iranmehr H, Aazami R, Tavooosi J, Shirkhani M, Azizi AR, Mohammadzadeh A, Mosavi AH, Guo W. Modeling the price of emergency power transmission lines in the reserve market due to the influence of renewable energies. *Frontiers in Energy Research*. 2022 Jan 13;9:792418.
- [3] Tavooosi J, Shirkhani M, Azizi A, Din SU, Mohammadzadeh A, Mobayen S. A hybrid approach for fault location in power distributed networks: Impedance-based and machine learning technique. *Electric Power Systems Research*. 2022 Sep 1;210:108073.
- [4] Kamran Daniel 1,2, Lauri Kütt 1 , Muhammad Naveed Iqbal 1,3,* , Noman Shabbir 1 , Ateeq Ur Rehman 3 , Muhammad Shafiq 4,* , and Habib Hamam' Current Harmonic Aggregation Cases for Contemporary Loads/2022.
- [5] Adnan Bosovic , Herwig Renner2 , Andreas Abart3 , Ewald Traxler3 , Jan Meyer4 , Max Domagk4 , Mustafa Music1' Deterministic aggregated harmonic source models for harmonic analysis of large medium voltage distribution networks/2018.
- [6] عزیز، پاریاب، عرفان. Comparing the performance of SVC and STATCOM for reactive power compensation in transmission lines. روش های محاسباتی در علوم مهندسی. Nov 22;1(3):12-21. ۲۰۲۳.
- [7] Bolin Wang, Gang Ma, Jiefeng Xiong, Haijiang Zhang, Longqin Zhang and Zhihong Li' Several Sufficient Conditions for Harmonic Source Identification in Power Systems/2018.
- [8] Azizi A, Toohidinejad Z, Haghghatpoor I. Design and analysis of adaptive control of the reference model to control the output pressure of the boiler system. *Computational methods in engineering sciences*. 2023 May 22;1(1):21-6.