

مقایسه تلفات و هزینه های ناشی از مرتبه های مختلف هارمونیک توسط مدلسازی هارمونیک

شبکه

موسی مرزبند^۱، رضا عبدالله زاده^۱، اکبر قصاب زاده^۲دانشگاه مازندران^۱، دانشگاه صنعتی شریف^۲بابل^۱، تهران^۲

کلمات کلیدی: تلفات هارمونیک، شبکه توزیع، مدل هارمونیک

چکیده:

در این مقاله ابتدا به مدلسازی انواع بارهای خطی و غیرخطی در شرایط هارمونیک پرداخته می شود؛ سپس روشهای مختلف تحلیل هارمونیک معرفی می شود. با استفاده از تحلیل خطی در حوزه فرکانس، پخش بار هارمونیک را بر روی سیستم ۱۳ باس IEEE اعمال نموده، و تأثیر تزریق جریان هارمونیک در باس های مختلف را مشاهده می نماییم. در سیستم IEEE بجای مدل خط، ترانسفورماتور، موتور و بارهای دیگر مدل هارمونیک آنها قرار داده شده است. در نهایت هزینه ناشی از تلفات هارمونیک در یک سیستم قدرت نوعی برآورد می شود.

۱- مقدمه:

با ورود تجهیزات الکترونیک قدرت و افزایش بارهای غیرخطی، مشخصه سینوسی جریان تغذیه AC را بخاطر جاری شدن جریانهای هارمونیک در قسمت AC شبکه قدرت، دستخوش تغییرات می کند. قبل از نصب اینگونه بارهای مهم در شبکه، باید با تحلیل هارمونیک شبکه، چگونگی توزیع جریانهای هارمونیک در خطوط مختلف و نیز ولتاژ هارمونیک در باسهای شبکه تخمین زده شود. از طرف دیگر، محاسبه امپدانس هارمونیک در باسهای مختلف شبکه، در مواقعی که امکان تعیین آن از طریق اندازه گیری جریان و ولتاژ هارمونیک فراهم نمی باشد، از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

در حالت کلی محاسبات هارمونیکها در دو مورد اصلی انجام می شود که عبارتند از ۱- شبیه سازی عناصر تولیدکننده هارمونیک ۲- بررسی اثرات سیستمی هارمونیک. همچنین دو دلیل عمده برای مطالعه هارمونیکها وجود دارد که عبارتند از ۱- بررسی اضافه شدن یک بار تولیدکننده هارمونیک و تأثیر آن بر سیستم قدرت ۲- بررسی تأثیر روشهای مختلف به منظور حذف یا کاهش اعوجاج در سیستم قدرت.

مطالعه هارمونیکها مسأله پیچیده ای است، زیرا بارهای تولیدکننده هارمونیک، غیرخطی هستند و این غیرخطی بودن سبب ایجاد تزویج بین مؤلفه های هارمونیکها و مؤلفه فرکانس پایه موج می گردد. از مواردی که معمولاً در مطالعه هارمونیکها مورد توجه قرار می گیرند، می توان به انتخاب مدل سیستم، تعداد هارمونیکهای مورد بررسی، متعادل یا غیرمتعادل بودن منبع هارمونیک، بررسی شرایط محتمل الوقوع و روشهای

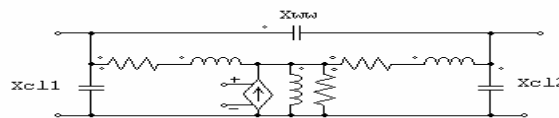
مدلسازی سیستم اشاره کرد. هر کدام از این موارد با توجه به نوع مطالعه، سیستم مورد مطالعه و تعداد اطلاعات قابل دستیابی در مورد سیستم مورد مطالعه، متغیر هستند، یا اینکه در شرایط عادی کار سیستم، فرض می‌شود که شرایط تعادل در سیستم برقرار است و می‌توان تصور کرد که هارمونیک‌های ولتاژ و جریان در هر سه فاز با هم برابر هستند (از نظر دامنه)، و تحت چنین شرایطی مطالعات را می‌توان به صورت تکفاز انجام داد. شرایط نامتعادل زمانی پدید می‌آید که منابع هارمونیک نامتعادل باشند، خطوط ترانسپوز نشده و بانکهای خازنی غیر متعادل باعث تولید تزویج بین توالی‌های مثبت، منفی و صفر در هارمونیک خاص شوند. در مطالعه تداخل‌های مخابراتی این مسأله بسیار مهم است زیرا هارمونیک‌های توالی صفر دارای تزویج قویتری نسبت به هارمونیک‌های توالی مثبت و منفی می‌باشند. وقتی که شرایط نامتعادل مورد بررسی قرار می‌گیرد، سیستم را می‌توان به وسیله کمیت‌های فاز یا کمیت‌های توالی هارمونیک نشان داد. ابتدا مدل هارمونیک ادوات مختلف موجود در شبکه استاندارد IEEE از مراجع استخراج شده و سپس پخش بار هارمونیک را بر روی شبکه اعمال می‌نماییم. ادواتی که در شبکه استاندارد موجود می‌باشند، شامل خطوط هوایی و کابل، ترانسفورماتورها، موتور و بارهای خطی و غیرخطی است. که مدل هارمونیک هر یک از این ادوات در مرجع [۱] بطور کامل ذکر شده است. در ادامه به برخی از این مدلها اشاره می‌شود.

الف- مدل سازی هارمونیک خط هوایی و کابل

با وجود آنکه مقدار اندوکتانس یک کابل الکتریکی به علت اثرات پوستی و مجاورت تابعی از فرکانس می‌باشد؛ اما در اغلب موارد مقدار تغییرات اندوکتانس ناچیز است و می‌توان راکتانس یک کابل در هارمونیک‌های مختلف را به صورت $j\omega L$ در نظر گرفت. کمیت L ، مقدار اندوکتانس کابل در هارمونیک اصلی می‌باشد. میزان ظرفیت خازنی کابل نیز مستقل از فرکانس و ثابت می‌باشد.

ب- مدلسازی هارمونیک ترانسفورماتورهای شبکه توزیع

برای مدل‌سازی هارمونیک ترانسفورماتور مدار معادل شکل (۱) پیشنهاد شده است [۲]. توضیحات کامل در این رابطه در مرجع [۱] آمده است.



شکل (۱) مدار معادل کامل یک ترانسفورماتور برای آنالیز هارمونیک

ج- مدل‌سازی بار

بارها را می‌توان از دو دیدگاه مورد بررسی قرار داد [۳]. از دیدگاه اول می‌توان بارها را به دو دسته خطی و غیرخطی تقسیم نمود. از دیدگاه دیگر، اساساً سه نوع بار استاتیکی، متحرک و بارهای الکترونیک قدرت وجود دارد. در شبکه استاندارد ۱۳ باسه بارهای مختلف موجود می‌باشند و مدل هارمونیک همه آنها از مراجع استخراج شده و در برنامه نوشته شده گنجانده شده است. مدل بارهای استاتیکی و متحرک در مرجع [۳] آورده شده است؛ در اینجا فقط به مدل بارهای خطی و غیرخطی که در شبکه مورد مطالعه از آنها استفاده شده است، اشاره می‌نماییم.

ج-۱- مدل بارهای خطی و غیرخطی

بطور کلی بارهای خطی موجود در شبکه توزیع را می‌توان به سه صورت مدل P-Q ثابت، مدل امپدانس ثابت و مدل توان اکتیو و راکتیو وابسته به ولتاژ مدل کرد [۴]. برای بارهای غیرخطی بطور کلی چهار مدل اصلی وجود دارد:

(۱) مدل منبع جریان ایده‌آل

(۲) مدل معادل تونن یا نورتن

۳) مدل واقعی عنصر (مدل حالت گذرای عنصر)

۴) مدل P-S ثابت

حال روشهای مختلف پخش بار هارمونیک در سیستم توزیع را توضیح می‌دهیم.

۲- روشهای پخش بار در شبکه‌های آلوده به هارمونیک

از مهمترین روشهای پخش بار شبکه‌های آلوده به هارمونیک می‌توان به روشهای مبتنی بر حل شبکه بر اساس راه حل‌های تکراری (مانند نیوتن - رافسون) و همچنین روشهای مبتنی بر تزریق جریان اشاره کرد [۵]. در روشهای پخش بار تکراری، پخش بار در فرکانس پایه، بر این اساس که سیستم‌های ژنراتور منبع توان و بارها مصرف‌کننده توان هستند، فرموله شده‌اند. در این روشها پخش بار هارمونیک حالت عمومی‌تری دارد و این امکان را می‌دهد که بارهای غیرخطی را نیز به عنوان منابع تولید انرژی هارمونیک در نظر گرفت. در این مقاله از روش پخش بار غیرتکراری مبتنی بر تزریق جریان استفاده گردیده است. در روش پخش بار غیرتکراری مبتنی بر تزریق جریان که اساس تحلیل هارمونیک گره در این مقاله می‌باشد، با توجه به اینکه ماشین‌ها و بارها به صورت امپدانسهای ثابت در فرکانسهای هارمونیک مدل می‌شوند، مساله خطی می‌شود و لزومی به استفاده از روشهای تکراری نیست.

۲-۱- پخش بار غیر تکراری مبتنی بر تزریق جریان

با نشان دادن عناصر گوناگون سیستم در هر فرکانسی معادلات گره چند فازه به صورت زیر می‌باشند:

$$[Y_{h_network}] [V_{h_network}] = [I_{h_network}] \quad (1)$$

$h = 1, 2, 3, \dots, n$

در این رابطه $[Y_{h_network}]$: ولتاژ هارمونیک باسها، $[I_{h_network}]$: جریان هارمونیک تزریقی به باسها می‌باشند. با توجه به اینکه فقط بارهای غیرخطی، جریان هارمونیک تولید می‌کنند، در این بردار، عناصر مربوط به بارهای خطی صفر بوده و مقادیر مربوط به بارهای غیرخطی از آنالیز فوریه موج جریان بار غیرخطی بدست می‌آیند. $[Y_{h_network}]$: ماتریس ادmittانس شبکه است. در اینجا ماشینها و بارها به صورت امپدانس ثابت در فرکانسهای هارمونیک مدل شده‌اند؛ بنابراین ماتریس ادmittانس شبکه شامل ماشینها و بارها هم می‌شود. همچنین، در این روشها فرض می‌شود که بین ولتاژهای هارمونیکهای مختلف هیچگونه تزویجی وجود ندارد و در واقع برای هر مرتبه هارمونیک، یک دسته معادلات خطی مستقل حل می‌شود. در این روش بارهای غیرخطی که منابع تولید هارمونیک هستند عموماً بصورت منابع جریان ایده‌آل مدل می‌شوند. بقیه عناصر سیستم نیز المانهای پسیو هستند. در این پخش بار، هدف بدست آوردن ولتاژهای تمام هارمونیکها در کلیه باسهای سیستم می‌باشد. با توجه به اینکه ماتریس امپدانس باس معکوس ماتریس ادmittانس باس می‌باشد؛ و تشکیل ماتریس ادmittانس باس ساده‌تر از تشکیل ماتریس امپدانس باس می‌باشد، در بیشتر تحقیقات از حل معادلات ادmittانس باس استفاده شده است.

۳- تخمین هزینه تلفات هارمونیک [۲]

تلفات حرارتی منجر به بالا رفتن دما و شتاب‌دادن به فرایند پیری عایقی در تجهیزات و کاهش عمر آنها می‌گردد. بنابراین برای محاسبه قیمت تلفات هارمونیک، ابتدا باید تلفات در هر یک از تجهیزات سیستم توزیع از جمله کابلها، ترانسفورماتورها، خازنها، خطوط انتقال، موتورها و ... محاسبه شود. از سوی دیگر باید کاهش عمر تجهیزات ناشی از این تلفات تخمین زده شود. نهایتاً با استفاده از مباحث اقتصاد مهندسی، هزینه تلفات و کاهش عمر تجهیزات محاسبه و با هم جمع شود. از جمله این ارزیابی‌ها که همراه با تقریب می‌باشند، تخمینی برای قیمت‌گذاری هارمونیک بدست می‌آید. برای محاسبه تقریبی تلفات هارمونیک، محاسبات مربوط به هزینه تلفات انرژی را با هزینه کاهش عمر تجهیزات

جمع می‌نماییم. هزینه تولید، انتقال و توزیع هر kWh انرژی برق در سال ۲۰۰۰ طبق مرجع [۲] ۰/۸۵ US\$ می‌باشد. در جدول (۱) هزینه تلفات هر kW توان در تجهیزات مختلف شبکه توزیع آورده شده است.

جدول (۱) واحد هزینه تلفات	
تجهیزات	هزینه سالیانه تلفات توان (US\$/KW)
	سال ۲۰۱۰
MV & LV خطوط	۲۵۱
ترانسفورماتور	۲۷۱
خازنهای شبکه	۷۲۴
موتورهای صنعتی	۲۷۳
سال ۲۰۰۰	۳۲۹
ترانسفورماتور	۳۶۱
خازنهای شبکه	۸۸۳
موتورهای صنعتی	۳۶۴

دول (۲) تلفات هارمونیکی محاسبه شده در قسمت های مختلف شبکه استاندارد	
تجهیزات	تلفات هارمونیکی (kW)
ترانسفورماتور	۲۵/۰۳۰
خطوط	۱۰۰/۷۴۸
خازنهای شبکه	۱/۷۸۰
موتورهای صنعتی مصرف کنندگان	۱۳۱/۳
مجموع تلفات	۲۵۷/۸۵۸

با استفاده از معادلات (۲) و (۳)، و جدول (۲) که بیانگر تلفات تولید شده در شبکه آزمون است و بوسیله برنامه نوشته شده بدست آمده؛ همچنین جدول (۱) که بیانگر واحد هزینه تلفات می‌باشد، هزینه سالیانه تلفات مربوط به شبکه توزیع بدست می‌آید.

$$CE_{DIST} = CU_T \Delta P_{TH} + CU_L \Delta P_{LH} + CU_C \Delta P_{ch} \quad (۲)$$

$$CE_{client} = CU_M \Delta P_{MH} \quad (۳)$$

در این معادله CE_{DIST} : هزینه تلفات هارمونیکی برای شبکه [US\$]، CE_{client} : هزینه تلفات هارمونیکی برای مصرف کنندگان [US\$]، ΔP_{TH} : تلفات هارمونیکی ترانسفورماتورهای شبکه توزیع، ΔP_{LH} : تلفات هارمونیکی خط، ΔP_{ch} : تلفات خازنهای شبکه، ΔP_{MH} : تلفات هارمونیکی موتورهای صنعتی، CU_T : واحد هزینه تلفات ترانسفورماتور، CU_L : واحد هزینه تلفات خط، CU_C : واحد هزینه تلفات خازن، CU_M : واحد هزینه تلفات موتورهای صنعتی، می‌باشند.

در نهایت، هزینه مستقیم تلفات از جمع دو معادله (۲) و (۳) بدست می‌آید:

$$CE_{total} = CE_{DIST} + CE_{client} \quad (۴)$$

سطوح مجاز هارمونیکی برای شبکه توزیع از استاندارد IEEE 519 [۶] استخراج می‌شود و در برنامه نوشته شده اعمال می‌شود. در این قسمت با استفاده از این استاندارد (و تریق هارمونیک بگونه‌ای که سطوح مجاز هارمونیکی در شبکه رعایت شود)، تلفات هارمونیکی و سپس میزان استهلاك تجهیزات در شبکه آزمون بدست می‌آید. بعد از تعیین هزینه مربوط به تلفات انرژی هزینه مربوط به کاهش عمر تجهیزات را تعیین می‌نماییم. نرخ کاهش عمر تجهیزات شبکه در اثر استهلاك عایقی از جدول (۳) محاسبه می‌شود:

جدول (۳) نرخ کاهش عمر تجهیزات شبکه در اثر استهلاك عایقی

تجهیزات	عمر مفید	نرخ کاهش عمر
موتورهای صنعتی	۳۰	۲۵ درصد
ترانسفورماتور	۴۰	۲۰ درصد

هزینه های مربوط به استهلاک تجهیزاتی همچون کابل و خازن باعث افزایش هزینه های بدست آمده خواهد شد. پیش بینی می شود با توجه به نرخ استهلاک تقریبی ۴۰ درصد برای خازن، مجموع هزینه ها از ۵ تا ۱۰ درصد افزایش پیدا کنند. هزینه کلی مربوط به تلفات هارمونیک از مجموع هزینه های تلفات انرژی و هزینه های استهلاک تجهیزات حاصل می شود:

$$CH_i = CPH_i + CVH_i \quad (5)$$

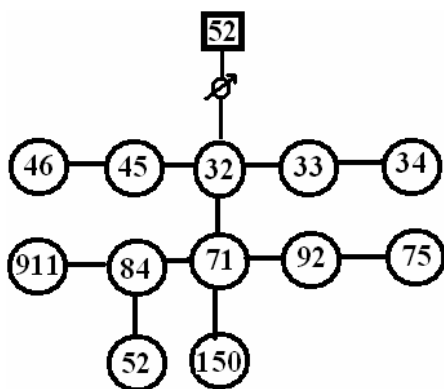
در رابطه (۵) کمیت های CH_i : هزینه کلی مربوط به تلفات هارمونیک، CPH_i : هزینه های تلفات انرژی، CVH_i : هزینه های استهلاک تجهیزات می باشند.

۴- الگوریتم برنامه پخش بار هارمونیک و نحوه اعمال بارهای هارمونیک

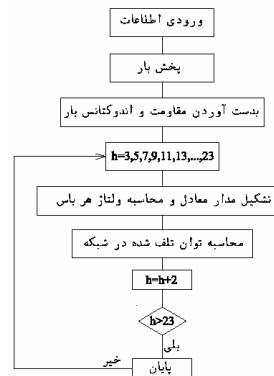
توزیع ولتاژها و جریانهای هارمونیک در یک سیستم خطی که شامل یک یا چند منبع جریان هارمونیک است معمولاً با استفاده از تحلیل گره انجام می شود [۴]. طبیعت سه فاز سیستم قدرت همواره باعث ایجاد عدم تقارن در بارها و خطوط و همچنین توزیع مدارها می گردد. این اثرات باعث بروز عدم تعادل در ادیتمانسهای خودی و متقابل سیستم می شوند. برای سیستم سه فاز، اجزاء ماتریس ادیتمانس، خود یک ماتریس 3×3 شامل ادیتمانسهای هر فاز و ادیتمانسهای انتقال بین فازها می باشد. منظور از حل سه فاز (پخش بار سه فاز) بدست آوردن بردارهای ولتاژ در فازهای سه گانه در هر یک از باسها و نیز محاسبه قدرت های تبدیلی اکتیو و راکتیو بین باسهای مختلف در حالت دائمی است. حل تک فاز حالت خاصی از حل سه فاز می باشد. با انجام پخش بار سه فاز (در حالت نامتعادلی) مشاهده می شود که در یک باس مشخص اندازه ولتاژ در فازهای سه گانه با هم برابر نیستند. البته میان روشهای حل تک فاز و سه فاز یک شبکه، تفاوت اساسی وجود ندارد. روشهای پخش بار همگی مبتنی بر ماتریس سه فاز ادیتمانسهای شبکه هستند. با این توضیحات الگوریتم و پیش فرضهای برنامه پخش بار هارمونیک تهیه شده ارائه می شود [۷]. پیش فرضهای زیر برای اجرای الگوریتم در نظر گرفته شده اند:

- (۱) منابع هارمونیک بصورت منابع جریان ثابت در نظر گرفته می شوند که جریان هارمونیک I_{h1} با مرتبه h را تولید می کند.
- (۲) کل سیستم قدرت مورد مطالعه متعادل در نظر گرفته شده و می توان آنرا با مدل های تک فاز نیز بررسی نمود.
- (۳) کلیه جریانهای هارمونیک تزریق شده توسط منابع، متعادل هستند.

برای هر یک از عناصر شبکه AC دو مدل در نظر گرفته می شود که یکی برای بررسی هارمونیکهای مضرب ۳ (توالی صفر) و دیگری برای سایر هارمونیکها (توالی مثبت و منفی) می باشد. در برنامه تهیه شده توسط نرم افزار Matlab از تمامی مدل های هارمونیک معرفی شده در این مقاله برای مدل سازی خط، موتور، ترانسفورماتور و بار استفاده شده است. بارهای خطی بصورت امپدانس ثابت مدل شده اند و برای مدل سازی بارهای غیرخطی غالباً از مدل های منبع جریان ایده آل استفاده شده است. در شکل (۲) الگوریتم برنامه پخش بار و در شکل (۳) دیاگرام ۱۳ باسه



شکل (۳) دیاگرام فیدر آزمون ۱۳ باسه



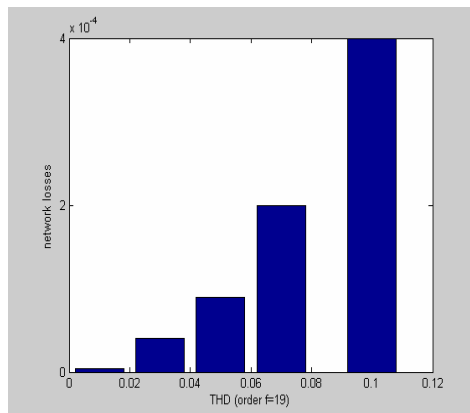
شکل (۲) الگوریتم کلی برنامه پخش بار هارمونیک تهیه شده (بدون تکرار مبتنی بر

تزریق جریان)

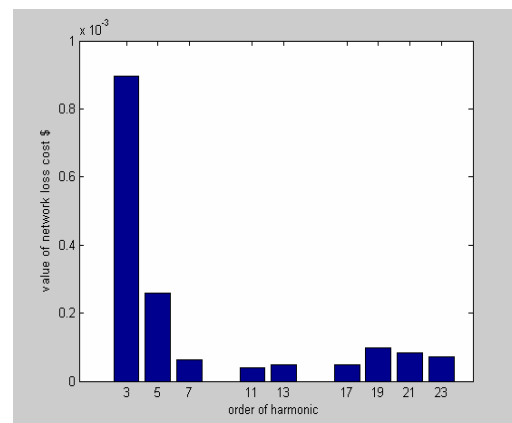
را مشاهده می نماید.

۵- اعمال برنامه پخش بار هارمونیک تهیه شده به شبکه آزمون ۱۳ باسه IEEE

در این قسمت با استفاده از شبکه آزمون ۱۳ باسه IEEE و برنامه پخش بار هارمونیک تهیه شده، نحوه وابستگی تلفات شبکه به فرکانس در حالت های تزریق جریان در باسهای مختلف بررسی می شود. داده های ورودی در الگوریتم برنامه پخش بار هارمونیک، مشخصات منابع تولید هارمونیک در هر باس است. در هر هارمونیک ماتریس ادمیتانس معادل محاسبه می شود و با توجه به آن ولتاژ تمام باسها قابل محاسبه خواهد بود. شکل (۴) نشان دهنده تلفات هارمونیک شبکه در اثر تزریق جریان هارمونیک در باس (۳۴) می باشد. در قسمت اول فرض شده است که دامنه هارمونیک ثابت است و مرتبه هارمونیک تغییر می کند در حالت بعد مرتبه هارمونیک ثابت (h=19) و دامنه آن تغییر می کند. در هر حالت میزان تلفات و هزینه ناشی از آن در شبکه محاسبه شده است.



(ب)



(الف)

شکل (۴) - تلفات هارمونیک شبکه در اثر تزریق جریان هارمونیک در فرکانسهای مختلف

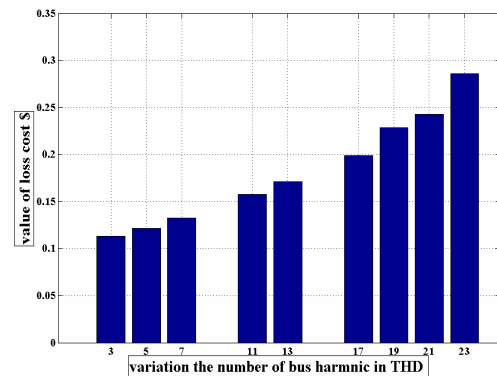
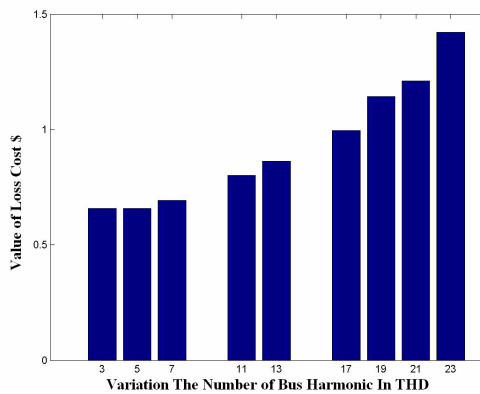
۴-الف) مقایسه هزینه تلفات هارمونیک شبکه برای هارمونیکهای با دامنه یکسان ۵ درصد

۴-ب) مقایسه تلفات هارمونیک شبکه برای دامنه های مختلف در هارمونیک مرتبه ۱۹ بر حسب P.u

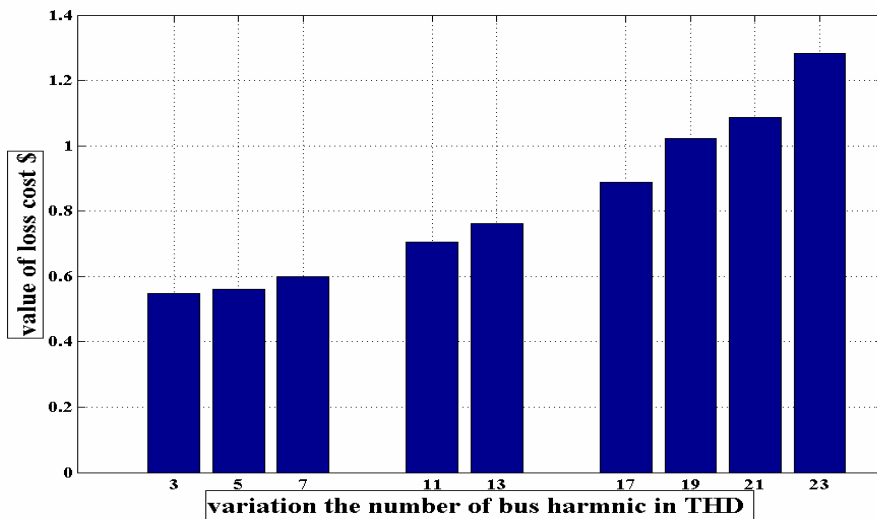
با توجه به اینکه ادمیتانس دیده شده از باس مورد نظر تابع فرکانس می باشد تلفات شبکه نیز طبق شکل فوق با وجود ثابت بودن دامنه های هارمونیک در فرکانسهای مختلف، دارای تغییرات مشاهده شده می باشد، با تزریق جریان در باس (۳۴) تلفات هارمونیک در هارمونیک مرتبه ۱۱ مینیمم شده است. با وارد کردن اثر بارهای غیرخطی در دیگر باسها، این فرکانس دچار تغییر می شود.

در شکل (۴-الف) هزینه تلفات هارمونیک شبکه برای هارمونیکهای با دامنه یکسان ۵ درصد با همدیگر مقایسه شده است. توجه می شود، در همه موارد هارمونیک به باس (۳۴) با دامنه یکسان تزریق شده است. مشاهده می شود، ارتباط قاعده بندی بین تلفات و مرتبه هارمونیک وجود نداشته و فقط با مدلسازی و محاسبه اثرات تک تک هارمونیکها در شبکه می توان به برآورد صحیحی از هزینه های تلفات هارمونیک رسید؛ زیرا مشاهده می شود که هارمونیکهای مرتبه ۳ و ۵ بیشترین میزان تلفات را موجب شده اند. از سویی دیگر تلفات ناشی از هارمونیکهای ۱۹، ۲۱ و ۲۳ از تلفات ناشی از هارمونیک ۱۷ بیشتر است و این خود شاهدی دیگر بر آنست که میزان اثرات مرتبه هارمونیک در یک شبکه خاص تابع توپولوژی شبکه، نحوه ارتباط بارها با یگدیگر، ویژگیهای خطوط انرژی و غیره می باشد و بایستی برای هر مورد تحت مطالعه آنالیز مجزایی انجام داد. در شکل ۶-ب تلفات هارمونیک شبکه برای دامنه های مختلف هارمونیک مرتبه ۱۹ با یگدیگر مقایسه گردیده است. مشاهده می شود که در یک مرتبه معین هارمونیک، تلفات ناشی از این هارمونیک به شدت تابع دامنه آن می باشد؛ بطوریکه با دامنه ۸ درصد تلفات

$(-4) \times 10^4$ پریونیت و با دامنه ۱۰ درصد تلفات $(-4) \times 10^4$ پریونیت بدست آمده است؛ یعنی با افزایش ۲۰ درصد در دامنه هارمونیک، تلفات ۱۰۰ درصد افزایش یافته است. با توجه به تغییر تلفات شبکه در فرکانسهای مختلف با وجود ثابت بودن دامنه های هارمونیک، می توان نتیجه گرفت که اصولاً THD با توجه به اینکه مستقل از فرکانس است، معیار مناسبی برای ارزیابی تلفات هارمونیک شبکه نمی باشد. در ادامه به تزریق جریان هارمونیک به هر باس و همچنین به دو باس مختلف بطور همزمان پرداخته می شود. باسهای انتخاب شده صرفاً برای نشان دادن اثر تزریق هارمونیک بوده و اختیاری می باشند. بدیهی است اگر به باسهای دیگری جریان هارمونیک تزریق گردد مطابق با تحلیلی که در این مقاله آورده شده؛ نتایج متفاوتی حاصل خواهد شد (این کار با استفاده از برنامه نوشته شده انجام شده است).



شکل (۵) - تزریق جریان هارمونیک با دامنه ۵ درصد و مرتبه های مختلف به باس (۳۲) شکل (۶) - تزریق جریان هارمونیک به باس (۳۳)



شکل (۷) - تزریق جریان هارمونیک به باسهای (۳۲) و (۳۳)

نمودار شکل (۵ و ۶) مشابه نمودار (۴-الف) از تزریق جریان هارمونیک با دامنه ثابت ولی مرتبه های مختلف به یک باس معین بدست آمده است. البته در نمودار شماره (۵ و ۶) هزینه تلفات کل شبکه در اثر تزریق جریان به باس شماره (۳۲) و (۳۳) محاسبه شده در حالی که در نمودار شماره (۴-الف)، هزینه تلفات کل شبکه در اثر تزریق جریان به باس (۳۴) محاسبه شده است. مشاهده می شود روندی که در نمودار (۴-الف) وجود داشت در نمودار (۵ و ۶) برقرار نیست و دلیل آنهم قرارگرفتن باسهای (۳۲)، (۳۳) و (۳۴) در نقاط متفاوتی از شبکه و اتصال بارهای

متفاوتی به آنها می‌باشد. بدیهی است که جریان هارمونیک تزریق شده به باسهای (۳۴) و (۳۲) مسیره‌های متفاوتی را در شبکه طی می‌کند و تلفات ناشی از آنها حتی با دامنه یکسان هارمونیک، متفاوت خواهد بود. در شکل (۷) نیز بطور همزمان به دو باس (۳۲) و (۳۳) جریان هارمونیک تزریق شده است. مشاهده می‌شود در این حالت هزینه تلفات هارمونیک در هر مرتبه هارمونیک، نسبت به حالتی که فقط ۴ به یک باس، هارمونیک تزریق شده کاهش می‌یابد. دلیل آن این است که جریانهای هارمونیک تزریق شده به باسهای (۳۲) و (۳۳) مسیره‌های مخالفی را طی نموده و در نتیجه در بخشهایی از شبکه با علامتهای مخالف با همدیگر جمع شده و اثر همدیگر را خنثی نموده‌اند و این امر خود بیانگر آن است که یک روش کاهش تاثیر هارمونیکها در شبکه، تولید هارمونیک در همان فرکانس و تزریق آن از جهت مخالف می‌باشد.

۶- نتیجه گیری:

مدلسازی هارمونیک شبکه‌های قدرت و بویژه شبکه توزیع تحلیلی پیچیده دارد و نتایج بدست آمده نیز حاصل از تعداد زیادی متغیر وابسته به فرکانس می‌باشد. لذا برای هر شبکه با ساختار معین و المانهای متعدد بهتر است مدلسازی اختصاصی با دقت مورد نظر انجام شود. نتایج مطالعات و شبیه‌سازیهای انجام شده در مقاله حاضر نکات اساسی زیر را نشان می‌دهد:

- ۱) برای جریانهای هارمونیک با دامنه ثابت و مرتبه‌های مختلف، تلفات شبکه الگوی معینی نداشته و بسته به محل تزریق جریان و مسیری که این جریان در شبکه طی می‌کند، متفاوت خواهد بود.
- ۲) برای یک مرتبه هارمونیک معین با دامنه‌های مختلف که از یک نقطه معین از شبکه تزریق می‌شود، تلفات شبکه بسیار به دامنه هارمونیک حساس می‌باشد.
- ۳) تزریق همزمان جریانهای هارمونیک با فرکانس برابر به باسهای مختلف شبکه سبب می‌شود در بخشهایی از شبکه، جریانهای هارمونیک تاثیر همدیگر را خنثی کنند و در بخشهایی دیگر با همدیگر جمع شوند. بهرحال با مطالعه مسیر این جریانها می‌توان نقاطی را که تزریق همزمان جریان هارمونیک با فرکانس مشابه سبب کاهش کلی تلفات شبکه می‌شود، یافت.
- ۴) طراحی و نصب فیلتر حذف هارمونیک براساس دامنه و مرتبه هارمونیک (هر دو) بایستی انجام شود. و محل نصب فیلتر جهت نیل به بیشترین تاثیر در کاهش تلفات شبکه بایستی با مدلسازی دقیق بدست آید.

۷- مراجع:

[۱]. تجزیه و تحلیل پخش بار هارمونیک با منابع توزیع شده هارمونیک، موسی مرزبند، دانشگاه مازندران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، سال

۱۳۸۳

[2]. Oury Ba & Roger Bergerson, "Harmonic costs on distribution power system", IEEE PES Winter Meeting, 1999.

[۳]. بررسی هارمونیک سیستمهای قدرت، دکتر محمد علی شرکت معصوم، دانشگاه علم و صنعت ایران، چاپ اول، سال ۱۳۸۱

[4]. Alexander E. Emanuel, Mighao Yang, David J. Pileggi, "The Engineering Economics of Power Systems Harmonics in Sub distribution Feeders", IEEE Trans. On Power Systems, Vol.6, No.3, August 1991.

[5]. Manuel Valcarcel & Julio G. Mayordomo, "Harmonic Power Flow for Unbalanced System", IEEE Transactions On Power Delivery, Vol.8, No.4, October 1993, PP.2052-2059.

[6]. IEEE Standard 519-1992, "IEEE Command Practice and Requirement for Harmonic Control in Electrical Power System", IEEE, 12 April 1993.

[7]. Jen-Hao Teng & ou-yeen Chang "A Fast Harmonic load Flow method for Industrial Dist System" IEEE 1999.