سیزدهمین کنفرانس شبکه های توزیع نیروی برق
۱۱ و ۱۲ اردیبهشت ۱۳۸۷ - گیلان

توسعه روش جاروب رفت و برگشت در پخش بار شبکه‌های توزیع شعاعی با بارهای هارمونیکی

مجید ابدی مرزونی محمودرضا حقی فام مصطفی محمدیان
دانشگاه تربیت مدرس تهران

کلمات کلیدی : پخش بار هارمونیکی، جاروب رفت و برگشت، شبکه های شعاعی

چکیده :

در این مقاله یک پخش بار هارمونیکی برای شبکه‌های توزیع شعاعی ارائه گردیده است. در این پخش بار، با توجه به ساختار شبکه توزیع، توان اکتیو و راکتیو مصرفی هر باس وجریان‌های هارمونیکی تزریقی به شبکه در هر باس، با توجه به قوانین کیرشف، روابط بین ولتاژ باسها، جریان شاخه‌ها و منابع هارمونیکی بدست آمده و سپس ولتاژ اصلی و ولتاژ هارمونیکهای مختلف در هر باس بدست می‌آید. در این پخش بار، از روش جاروب رفت و برگشت برای محاسبه ولتاژ فرکانس اصلی هر باس استفاده می‌گردد و سپس با توجه به جریان‌های هارمونیکی تزریقی به شبکه در هر باس، ولتاژ هارمونیکهای مختلف در هر باس محاسبه می‌گردد. همچنین در این روش، با توجه به نوع اتصال سه فاز ترانس توزیع در هر باس، انتقال یا عدم انتقال جریانهای هارمونیکی مضرب ۳ لحاظ میگردد. در پایان تلفات کل شبکه توزیع نیز محاسبه میگردد و نشان داده می‌شود که با در نظر گرفتن منابع هارمونیکی، تلفات شبکه توزیع افزایش قابل ملاحظه‌ای می‌کند و به مقدار واقعی خود نزدیکتر می‌گردد. این برنامه در محیط MATLAB نوشته شده و نتایج بدست آمده از آن عملکرد صحیح این برنامه را نشان می‌دهد.

۱. مقدمه :

باافزایش استفاده از بارهای غیر خطی و نیز بکارگیری خازنها در سیستمهای قدرت بر میزان اعوجاج هارمونیکی در سیستمهای قدرت افزوده می‌شود. در این میان وسایل الکترونیک قدرت نیز به علت انعطاف‌پذیری و نیز بازده خوب آنها به میزان زیادی در سیستمهای قدرت مورد استفاده قرار می‌گیرند که این وسایل خود از تولیدکنندگان عمده هارمونیک در شبکه‌های قدرت به شمار می‌روند. [۱]

امروزه تحلیل هارمونیکی شبکه‌های توزیع یکی از کارهای بسیار مهم در تحلیل سیستمهای توزیع می‌باشد و با افزایش استفاده از بارهای غیرخطی و المانهای الکترونیک قدرت در

شبکه‌های توزیع این موضوع اهمیت بیشتری می‌یابد. این تحلیلها مشخص می‌کنند که در باسهای مختلف شبکه توزیع به چه میزان اعوجاج هارمونیکی وجود داشته و چگونه می‌توان آن را برطرف نمود. از اثرات پخش هارمونیک در شبکه‌های توزیع می‌توان به افزایش تلفات در شبکه‌های توزیع و افزایش آسیب‌پذیری تجهیزات الکتریکی اشاره نمود.[۲و۳]

یکی از محاسبات لازم در انجام برنامه‌ریزی و همچنین بهره‌برداری از سیستمهای قدرت، انجام پخش بار و محاسبه ولتاژ باسهای مختلف سیستم می‌باشد. برای انجام پخش بار در شبکه‌های قدرت، نیاز به حل یک سری معادلات غیر خطی می‌باشد که برای حل آن از روشهای عددی مانند روش نیوتن‌رافسون استفاده می‌گردد. در شبکه های توزیع شعاعی به علت ویژگی‌های خاص آن از یک روش ساده تر برای پخش بار استفاده می‌کنند. این روش که به روش جاروب رفت و برگشت معروف است به طور عموم برای محاسبه پخش باردر شبکه‌های توزیع مورد استفاده قرار می‌گیرد. از آنجا که بارهای غیر خطی در سیستمهای قدرت در حال افزایش است و همچنین در برخی عملیات‌ها و برنامه‌ریزی‌ها نیاز به انجام دقیقتر پخش بار و محاسبه دقیقتر تلفات در شبکه های توزیع می‌باشد، نیاز است که در این محاسبات روابط مربوط به هارمونیکهای مختلف نیز لحاظ گردد و ولتاژ مربوط به هارمونیکهای مختلف نیز محاسبه گردد[۴و۵].

در این مقاله یک الگوریتم پخش بار بر مبنای روش جاروب رفت و برگشت با در نظر گرفتن جریانهای هارمونیکی تزریقی به شبکه در هر باس، ارائه گردیده است. در این روش پیشنهادی، المانها و تجهیزات شبکه توزیع (مانند ترانس، کابل و ...) برای هارمونیکهای مختلف مدلسازی شده و با انجام برخی محاسبات ولتاژ هارمونیک‌های مختلف و میزان THD در هر باس محاسبه می‌گردد. همچنین در این روش، با توجه به نوع اتصال سه فاز ترانس توزیع در هر باس، انتقال یا عدم انتقال جریانهای هارمونیکی مضرب ۳، لحاظ می‌گردد. این روش برای شبکه ۳۷ باسه استاندارد IEEE مورد تست قرار گرفته است که نتایج حاصل از آن عملکرد مطلوب روش پیشنهادی را نشان می‌دهد.

۲. تحلیل هارمونیکی بر مبنای ماتریس ادمیتانس

پخش بار هارمونیکی بر مبنای ماتریس ادمیتانس یکی از روشهای متداول برای پخش بار در شبکه‌های توزیع می‌باشد.[۶] پروسه انجام پخش بار به شرح زیر می‌باشد :

۱) وارد نمودن اطلاعات سیستم

این اطلاعات شامل اطلاعات باسها، اطلاعات فیدرها، منابع هارمونیکی و . . . می‌باشد.

۲)آنالیز پخش بار برای فرکانس اصلی

با توجه به اطلاعات ورودی، ماتریس ادمیتانس فرکانس اصلی ساخته شده و سپس اندازه و فاز ولتاژ باسها به وسیله برنامه پخش بار بدست می‌آید.

۳)آنالیز پخش بار برای هارمونیک‌ها

برای انجام پخش بار برای هارمونیکهای مختلف، ابتدا لازم است مدل اجزاء مختلف شبکه برای هارمونیک مورد نظر بدست آید. هنگامی که جریان هارمونیکی تزریقی به شبکه در هر باس و ماتریس ادمیتانس متناظر با هر هارمونیک بدست آمد، مسئله پخش بار برای هارمونیکهای مختلف با استفاده از رابطه (۱) حل می‌گردد :

$$[Y]^{(h)}[V]^{(h)} = [I]^{(h)} \qquad (۱)$$

که در آن $[Y]^{(h)}$، $[V]^{(h)}$ و $[I]^{(h)}$ به ترتیب ماتریس ادمیتانس شبکه ، بردار ولتاژ باسها و بردار جریانهای تزریقی باسها برای هارمونیک h ام می‌باشد.

از آنجا که $[Y]^{(h)}$ و $[I]^{(h)}$ برای هر هارمونیک، ماتریس و بردار ثابتی می‌باشند، عمل جاروب رفت و برگشت تنها یک بار انجام می‌پذیرد و نیاز به تکرار مراحل نمی‌باشد. میزان THD هر باس از رابطه (۲) بدست می‌آید :

$$THD_i(\%) = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{n} \left|V_i^h\right|^2}}{\left|V_i\right|} \qquad (۲)$$

که در آن $V_i^{(h)}$ ولتاژ هارمونیک h ام باس i ، V_i ولتاژ فرکانس اصلی باس i و $THD_i(\%)$ میزان THD باس i می‌باشد.

۴) نتایج خروجی

این نتایج شامل نتایج پخش بار فرکانس اصلی و پخش بار هارمونیک‌های مختلف، میزان THD هر باس و میزان تلفات کل شبکه توزیع می‌باشد.

۳. الگوریتم پیشنهادی پخش بار

روش پیشنهادی پخش بار، با استفاده از جریان تزریقی معادل هر باس و روش جاروب رفت و برگشت به حل مسئله پخش بار می‌پردازد. در این قسمت طرز کار این روش به طور مفصل توضیح داده خواهد شد.

جریان تزریقی معادل هر باس

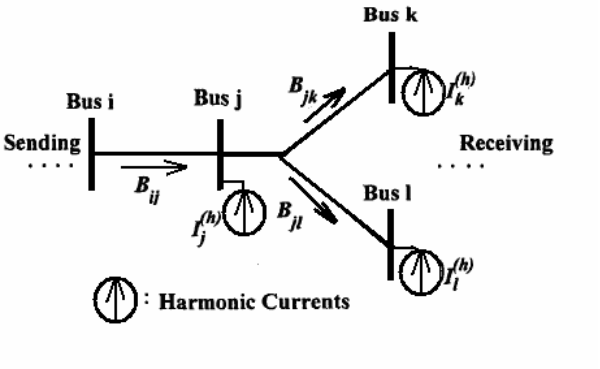
جریان تزریقی معادل، به طور گسترده در سیستم‌های توزیع مورد استفاده قرار می‌گیرد. جریان تزریقی معادل باس i در k امین تکرار از برنامه پخش بار($I_i^{(k)}$)، از رابطه زیر بدست می‌آید :

$$I_i^{(k)} = -\left(\frac{P_i + Q_i}{V_i^{(k-1)}}\right)^* \qquad (۳)$$

که در آن P_i و Q_i توان اکتیو و راکتیو مصرفی باس i و $V_i^{(k-1)}$ ولتاژ باس i در (k-1)امین تکرار از برنامه پخش بار می‌باشد. در پخش بار برای فرکانس اصلی لازم است که جریان تزریقی هر باس در هر تکرار بدست آید، اما چون جریانهای هارمونیکی ثابت در نظر گرفته شده اند، در هر تکرار تغییری نمی‌کنند.

جاروب برگشت جریان

شکل (۱) قسمتی از یک سیستم توزیع و جریانهای هارمونیکی را نشان می‌دهد. جریانهای هارمونیکی با $I_l^{(h)}$، $I_k^{(h)}$ و $I_j^{(h)}$ مشخص شده‌اند و جریانهای B_{jk}، B_{jl} و B_{ij} جریان شاخه‌ها را مشخص می‌کنند.



شکل (۱) : قسمتی از یک سیستم توزیع

روابط بین جریان شاخه‌ها و جریانهای هارمونیکی شکل (۱) به صورت زیر می‌باشد :

$$\begin{aligned} B_{jk}^{(h)} &= -I_k^{(h)} \\ B_{jl}^{(h)} &= -I_l^{(h)} \\ B_{ij}^{(h)} &= B_{jk}^{(h)} + B_{jl}^{(h)} - I_j^{(h)} \end{aligned} \qquad (۴)$$

با استفاده از رابطه (۵)، مشخص می‌گردد که رابطه بین جریان شاخه‌ها و جریان‌های هارمونیکی (یا جریانهای تزریقی باسها) در یک فیدر شعاعی، با استفاده از مجموع جریان باسها از باس دریافت‌کننده به سمت باس فرستنده قابل محاسبه است. صورت کلی این رابطه به صورت زیر می‌باشد :

$$B_{ij}^k = -I_j^k + \sum_{l \in \Omega_j} B_{jl}^k \qquad (۵)$$

که در آن I_j^k جریان تزریقی به شبکه در باس j در k امین تکرار برنامه پخش بار است و Ω_j مجموعه شاخه‌هایی است که به باس j متصل‌اند. در پخش بار فرکانس اصلی، جریان تزریقی باسها در هر تکرار به وسیله رابطه (۳) تغییر می‌کنند و در پخش بار هارمونیکها این جریان ثابت بوده و به عنوان جریان هارمونیکی شناخته می‌شود.

جاروب رفت ولتاژ

با توجه به شکل (۱)، اگر ولتاژ باس i محاسبه شده باشد، رابطه بین ولتاژ باسها و جریان شاخه‌ها به صورت زیر خواهد بود :

$$V_j^{(h)} = V_i^{(h)} - B_{ij}^{(h)} \times Z_{ij}^{(h)}$$
$$V_k^{(h)} = V_j^{(h)} - B_{jk}^{(h)} \times Z_{jk}^{(h)} \qquad (۶)$$
$$V_l^{(h)} = V_j^{(h)} - B_{jl}^{(h)} \times Z_{jl}^{(h)}$$

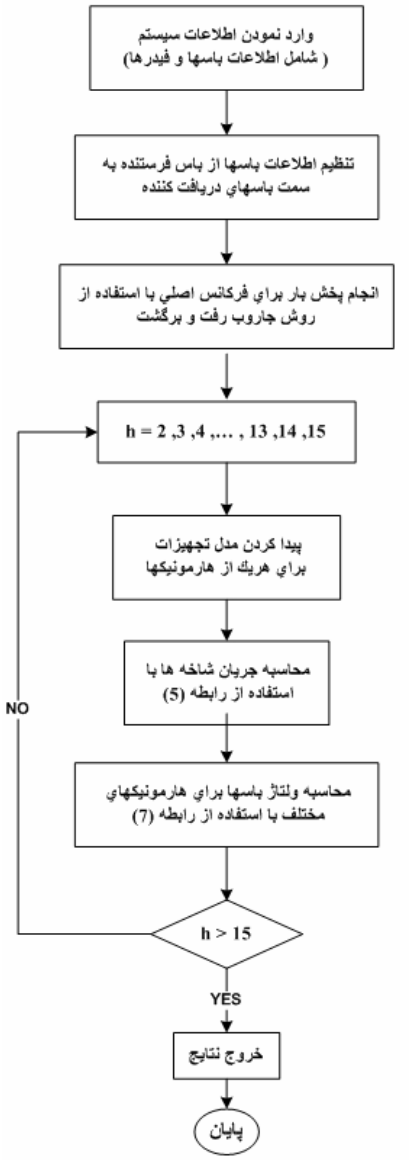
که در آن $Z^{(h)}$ امپدانس معادل خط مربوطه برای h امین هارمونیک می‌باشد.

در یک سیستم توزیع شعاعی، در صورتی که جریان شاخه‌ها مشخص باشد، با استفاده از رابطه (۶) ولتاژ باسها به راحتی قابل محاسبه است. شکل کلی این رابطه به صورت زیر می‌باشد :

$$V_j^k = V_i^k - Z_{ij}\, B_{ij}^k \qquad (۷)$$

بدین ترتیب با استفاده از رابطه (۷)، ولتاژ باسها در یک فیدر از باس فرستنده به سمت باس دریافت‌کننده قابل محاسبه است. Z_{ij} و B_{ij}^k به ترتیب امپدانس شاخه و جریان شاخه از باس i به سمت باس j در پخش بار فرکانس اصلی و امپدانس و جریان هارمونیکی شاخه برای هر یک از هارمونیکها در پخش بار هارمونیکی می‌باشند.

پخش بار فرکانس اصلی با حل روابط (۳) ، (۵) و (۷) در چند تکرار بدست می‌آید. از آنجا که جریانهای هامونیکی ثابت در نظر گرفته شده‌اند، جریانهای هارمونیکی، جریان شاخه‌ها و ولتاژ باسها در پخش بار هارمونیکی به طور مستقیم از روابط (۵) و (۷) بدست می‌آیند و نیاز به تکرار ندارند. لازم به ذکر است که در پخش بار هارمونیکی، مدل اجزاء شبکه توزیع تنها پارامترهای متغیر برای هر هارمونیک در پروسه پخش بار هستند. در الگوریتم پخش بار هارمونیکی ارا ئه شده، تأثیرنوع اتصال ترانس سه‌فاز توزیع در انتقال جریانهای هارمونیکهای مضرب ۳ لحاظ گردیده است. به طور مثال، هرگاه اتصال طرف فیدر ترانس به صورت مثلث باشد، جریانهای هارمونیک سوم از باس به فیدر منتقل نمی‌گردد. در شکل (۲) فلوچارت الگوریتم پیشنهادی پخش بار هارمونیکی ارائه گردیده است.



شکل (۲) : فلوچارت الگوریتم پخش بار پیشنهادی

۴. مدل اجزاء شبکه

در آنالیز هارمونیکی یک سیستم توزیع، مدل تجهیزات شبکه مانند کابل، ترانسفورماتور، خازن، سلف و . . . باید برای هارمونیکهای مختلف بدست آید. به جای استفاده از مدل دقیق این تجهیزات، در این مقاله از مدل تقریبی این تجهیزات استفاده شده است.

کابل توزیع

برخی تصحیحات باید برای مقاومت و اندوکتانس داخلی کابل در فرکانسهای بالا لحاظ گردد. با این حال، یک مدل ساده کابل برای یک آنالیز هارمونیکی کاربردی کافی است. اگر امپدانس خط در فرکانس اصلی به صورت زیر داده شده باشد :

$$Z_L = R_L + jX_L \qquad (۸)$$

آنگاه برای h امین هارمونیک امپدانس خط از رابطه زیر بدست می‌آید :

$$Z_L^{(h)} = R_L + j\,hX_L \qquad (۹)$$

ترانسفورماتور

مدلسازی ترانسفورماتور در فرکانسهای هارمونیکی به علت رفتار غیر خطی آن بسیار مشکل است. علاوه بر آن خود ترانس نیز به علت خاصیت اشباع هسته برخی هارمونیک ها را تولید می‌کند. در این مقاله فرض شده است که ترانس در وضعیت نرمال عمل کرده و یک رفتار خطی تحت هارمونیکهای مختلف از خود نشان می‌دهد. امپدانس ترانس در هارمونیک h ام از رابطه زیر بدست می‌آید :

$$Z_T^{(h)} = R_T + j\,hX_T \qquad (۱۰)$$

سلف و خازن

مدلسازی سلف و خازن در فرکانسهای هارمونیکی مختلف به سادگی با استفاده از رابطه (۱۱) انجام می‌پذیرد :

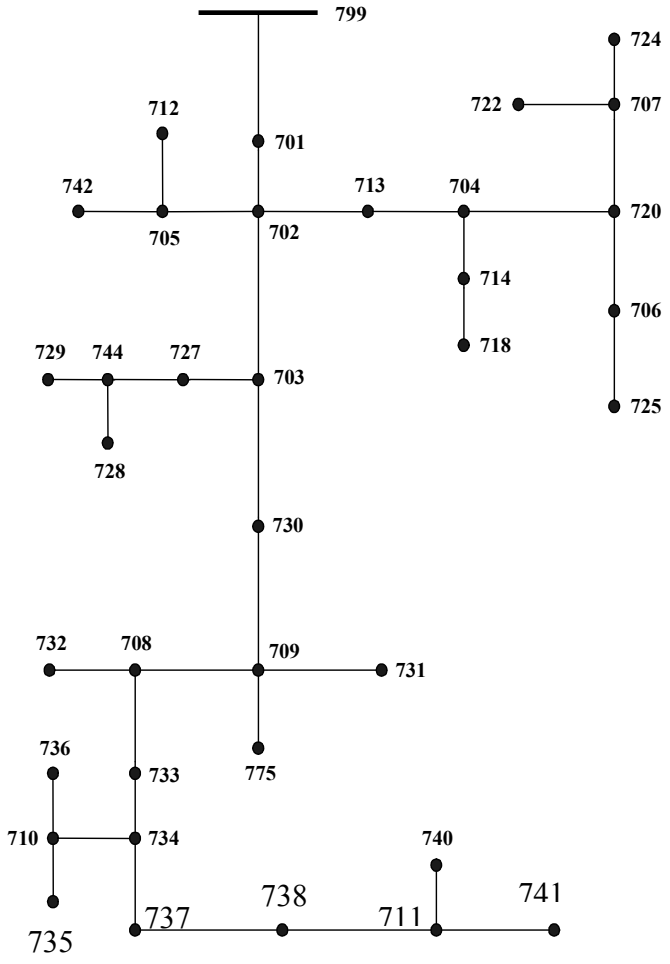
$$X_L^{(h)} = 2\pi hf_1 L$$
$$X_C^{(h)} = \frac{1}{2\pi hf_1 C} \qquad (۱۱)$$

۵. نتایج عددی

برنامه پخش بار هارمونیکی پیشنهادی در محیط نرم‌افزار MATLAB_m-file نوشته شده است. این برنامه اطلاعات ورودی را از نرم‌افزار EXCEL خوانده و دوباره نتایج را در این محیط ذخیره می‌کند.

تست صحت روش پیشنهادی

برای تست روش پیشنهادی از شبکه ۳۷ باسه استاندارد IEEE استفاده شده است. تصویر این شبکه در شکل (۳) ارائه شده است.



شکل (۳) : شبکه ۳۷ باسه استاندارد IEEE

در جدول (۱) اطلاعات مربوط به توان اکتیو و راکتیو مصرفی هرباس آورده شده است. در جدول (۲) جریانهای هارمونیکی تزریقی به شبکه از هر یک از این باسها، ارائه شده است. اطلاعات این دو جدول به علاوه امپدانس فرکانس اصلی فیدرها به عنوان اطلاعات ورودی، وارد برنامه پخش بار می‌شوند.

جدول (۱) : توان اکتیو و راکتیو مصرفی باسها در شبکه ۳۷ باسه

Bus Nu.	P (KW)	Q (KVAR)
702	240	150
708	410	255
709	430	262
710	310	193
711	230	143
712	490	305
713	570	355
714	240	150
718	410	255
720	430	262
722	310	193
724	230	143
725	490	305
727	570	355
728	430	262
729	310	193
730	230	143
731	490	305
732	240	150
733	410	255
734	430	262
735	310	193
736	230	143
737	490	305
738	410	255
740	430	262
741	310	193
742	240	150
744	410	255
775	430	262
799	310	193

در جدول (۳) نتایج حاصل از پخش بار هارمونیکی آورده شده است. ولتاژ فرکانس اصلی باس ۷۹۹ برابر ۲۰ کیلوولت و ولتاژهای هارمونیکی باس ۷۹۹ برابر صفر در نظر گرفته شده است.(باس ۷۹۹ ابتدایی‌ترین باس شبکه می‌باشد.) همچنین اتصال طرف فیدر ترانس همه باسها به جز باسهای ۷۰۹، ۷۱۴، ۷۲۷ و ۷۳۶ ازنوع مثلث می‌باشد و جریان هارمونیک سوم در این باسها به شبکه منتقل نمی‌گردد. با توجه به نتایج، حتی در باسهایی که جریان یکی از هارمونیکها صفر می‌باشد، ولتاژ آن هارمونیک در باس مورد نظر صفر نیست.

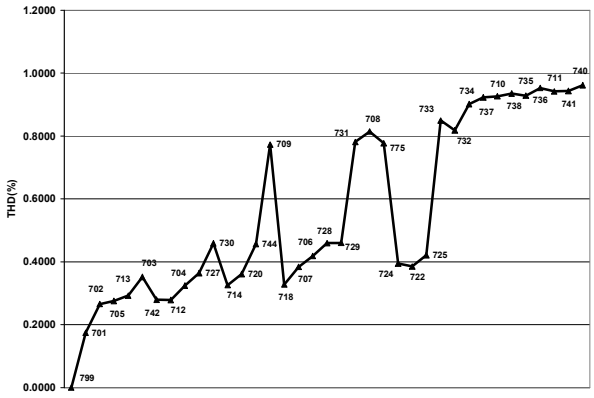
جدول (۲) : جریانهای هارمونیکی تزریقی هر باس در شبکه ۳۷ باسه

Bus Nu.	جریانهای هارمونیکی تزریقی به شبکه (A)						
	3th	5th	7th	9th	11th	13th	15th
702	0	0.797	0.456	0	0.159	0.097	0
708	2.936	2.296	1.341	0.813	0.460	0.279	0.123
709	0	2.152	1.257	0	0.432	0.262	0
710	0	2.991	1.747	0	0.600	0.346	0
711	0.746	0.599	0.350	0.232	0.121	0.073	0.021
712	3.123	2.693	1.576	0.653	0.541	0.328	0.154
713	0	2.928	1.710	0	0.587	0.356	0
714	2.936	2.296	1.341	0.813	0.460	0.279	0.123
718	0	0.797	0.456	0	0.159	0.097	0
720	2.936	2.296	1.341	0.813	0.460	0.279	0.123
722	0	2.152	1.257	0	0.432	0.262	0
724	0	2.991	1.747	0	0.600	0.346	0
725	0	2.152	1.257	0	0.432	0.262	0
727	0	2.991	1.747	0	0.600	0.346	0
728	0	2.928	1.710	0	0.587	0.356	0
729	2.936	2.296	1.341	0.813	0.460	0.279	0.123
730	0	2.152	1.257	0	0.432	0.262	0
731	0	2.991	1.747	0	0.600	0.346	0
732	0	2.152	1.257	0	0.432	0.262	0
733	0	2.991	1.747	0	0.600	0.346	0
734	0	2.928	1.710	0	0.587	0.356	0
735	0	2.412	1.409	0	0.484	0.294	0
736	0	4.326	2.527	0	0.867	0.527	0
737	0	0.797	0.456	0	0.159	0.097	0
738	2.936	2.296	1.341	0.813	0.460	0.279	0.123
740	0	2.152	1.257	0	0.432	0.262	0
741	0	0.797	0.456	0	0.159	0.097	0
742	2.936	2.296	1.341	0.813	0.460	0.279	0.123
744	0	2.152	1.257	0	0.432	0.262	0
775	0	2.991	1.747	0	0.600	0.346	0
799	0.746	0.599	0.350	0.232	0.121	0.073	0.021

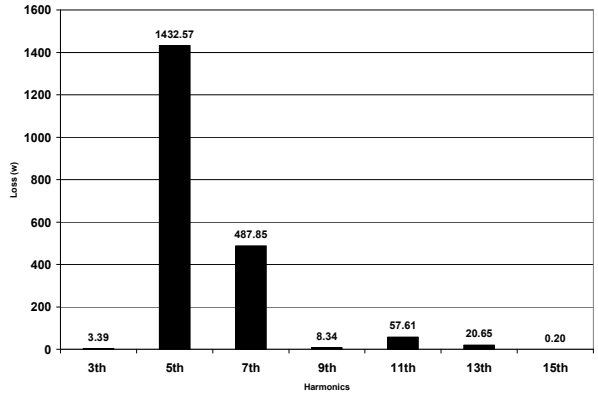
جدول (۳) : نتایج خروجی برنامه پخش بار هارمونیکی برای شبکه ۳۷ باسه

Bus Number	ولتاژ هارمونیکهای مختلف باسها								THD (%)
	Fundamental (kv)	۳th (v)	5th (v)	7th (v)	9th (v)	11th (v)	13th (v)	15th (v)	
799	20.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
701	19.9172	0.6836	24.96	19.99	3.657	10.653	7.522	0.9575	0.1745
702	19.8742	1.0384	37.91	30.36	5.555	16.181	11.425	1.4544	0.2656
705	19.8694	1.0384	39.28	31.44	6.245	16.753	11.833	1.6687	0.2754
713	19.8584	1.5151	41.73	33.38	6.239	17.778	12.555	1.6245	0.2924
703	19.8344	1.0384	50.17	40.17	6.763	21.410	15.107	1.7458	0.3517
742	19.8681	1.0384	39.78	31.84	6.551	16.963	11.983	1.7449	0.2791
712	19.8675	1.0384	39.72	31.79	6.430	16.938	11.965	1.7402	0.2786
704	19.8404	2.2103	46.24	36.95	7.234	19.667	13.888	1.8719	0.3244
727	19.8276	1.0384	51.86	41.51	6.992	22.121	15.607	1.8027	0.3637
730	19.7768	1.0384	65.36	52.20	8.075	27.773	19.579	2.0557	0.4585
714	19.8395	2.3173	46.41	37.08	7.311	19.738	13.938	1.8910	0.3257
720	19.8211	2.2103	51.49	41.10	8.000	21.865	15.433	2.0623	0.3614
744	19.8107	1.0384	64.75	52.18	9.595	27.919	19.769	2.4620	0.4567
709	19.7177	1.0384	109.06	88.26	12.324	47.372	33.415	3.0780	0.7726
718	19.8360	2.3173	46.69	37.30	7.311	19.856	14.023	1.8910	0.3277
707	19.8130	2.2103	54.73	43.67	8.000	23.222	16.373	2.0623	0.3838
706	19.8057	2.2103	59.50	47.75	8.000	25.489	18.035	2.0623	0.4184
728	19.8093	1.0384	65.15	52.49	9.595	28.086	19.889	2.4620	0.4594
729	19.8093	1.0384	65.19	52.52	9.862	28.102	19.900	2.5286	0.4599
731	19.7129	1.0384	110.28	89.22	12.324	47.885	33.763	3.0780	0.7812
708	19.6954	1.0384	114.85	92.86	13.022	49.815	35.143	3.2431	0.8141
775	19.7157	1.0384	109.63	88.71	12.324	47.611	33.578	3.0780	0.7766
724	19.8101	2.2103	56.29	44.90	8.000	23.873	16.815	2.0623	0.3946
722	19.8124	2.2103	54.91	43.81	8.000	23.296	16.426	2.0623	0.3851
725	19.8034	2.2103	59.91	48.08	8.000	25.662	18.159	2.0623	0.4213
733	19.6764	1.0384	119.68	96.70	13.414	51.853	36.580	3.3322	0.8488
732	19.6941	1.0384	115.32	93.23	13.022	50.012	35.283	3.2431	0.8174
734	19.6471	1.0384	127.01	102.52	14.101	54.941	38.771	3.4881	0.9015
737	19.6272	1.0384	129.89	104.80	14.886	56.155	39.639	3.6662	0.9229
710	19.6398	1.0384	130.44	105.24	14.101	56.387	39.790	3.4881	0.9259
738	19.6180	1.0384	131.48	106.06	15.377	56.824	40.117	3.7776	0.9347
735	19.6387	1.0384	130.77	105.51	14.101	56.525	39.889	3.4881	0.9282
736	19.6349	1.0384	134.21	108.24	14.101	57.974	40.926	3.4881	0.9525
711	19.6116	1.0384	132.44	106.82	15.486	57.230	40.407	3.7938	0.9418
741	19.6095	1.0384	132.66	106.99	15.486	57.320	40.472	3.7938	0.9434
740	19.6070	1.0384	135.15	109.05	15.486	58.442	41.276	3.7938	0.9614

در شکل (۴) نمودار مربوط به THD(%) باسهای مختلف شبکه آورده شده است. با توجه به شکل میزان THD(%) باسهای انتهایی شبکه بیشتر از باسهای ابتدای شبکه می باشد. همچنین در شکل(۵)، نمودار مربوط به تلفات شبکه برای هارمونیکهای مختلف ارائه گردیده است. با توجه به شکل، میزان تلفات، با افزایش فرکانس هارمونیک، کاهش می‌یابد.



شکل(۴) : میزان THD(%) باسهای مختلف شبکه



شکل(۵) : میزان تلفات کل شبکه برای هارمونیکهای مختلف

۶. نتیجه‌گیری

در این مقاله یک پخش بار هارمونیکی برای شبکه‌های توزیع شعاعی ارائه گردیده است. در این پخش بار، از روش جاروب رفت و برگشت برای محاسبه ولتاژ فرکانس اصلی هر باس استفاده شده و سپس با توجه به جریان‌های هارمونیکی تزریقی به شبکه در هر باس، ولتاژ هارمونیکهای مختلف در هر باس محاسبه گردیده است. روش پیشنهادی برای شبکه ۳۷ باسه استاندارد تست شده و نتایج این بررسی صحت برنامه پخش بار پیشنهادی را نشان می‌دهد.

منابع و مراجع

[۱] حسین عسگریان ابیانه، احمد مختاری لاله، "تحلیل اعوجاج هارمونیکی در سیستمهای توزیع"، نهمین کنفرانس سیستمهای توزیع شبکه‌های قدرت، زنجان، اردیبهشت ۱۳۸۳

[2] "Effects of the Harmonics on Equipment", Report of the IEEE Task Force on Harmonic Impacts, IEEE Tranc. on PWRD, Vol.8, No.2, April 1994, pp. 672-680.

[3] J. Arrilliaga, D.A. Bradly, "Power system Harmonic", John Wiley and Sons, New York, 1985.

[4] Jen-Hao Teng, Chuo Yean Chang, "A fast harmonic load flow Method for indusrrial distribution systems", IEEE conf., China, 2000.

[5] D. Shirmohammadi, H. W. Hong, A. Semlyn, "A Compensation-Based power flow method for weakly meshed distribution and transmition networks", IEEE Trans. On PWRS, Vol. 3, No. 2, May 1988. pp.753-762.

[6] Y. H. Yan, C. S. Chen, "Harmonic analysis for industrial customers", IEEE Trans. on IAS, Vol. 30 No. 2, March-April 1994, pp. 462-468.

[7] T. H. Chen, M. S. Chen, P. Kotas, E. A. Chebli, "Distribution system power flow analysis , A rigid approach", IEEE Tran. On PWRD, Vol. 6, No. 3, July 1991, pp. 1146-1152.