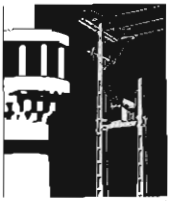
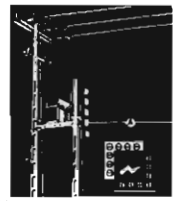




پنجمین کنفرانس شبکه‌های توزیع نیروی برق

محاسبه تلفات در خطوط توزیع انرژی بوسیله یک روش جدید احتمالاتی

مسعود علی اکبر گلکار

مرکز تحقیقات نیرو

چکیده:

یکی از فاکتورهای مهم در طراحی و بهره‌برداری از سیستمهای توزیع انرژی تلفات است که تأثیر زیادی روی رفتار سیستم به صورت بالا بردن هزینه و نیاز به ظرفیت بالاتر می‌گذارد. برای محاسبه تلفات لازم است که مقادیر بار در پستهای مختلف شبکه در ساعات مختلف شبانه‌روز در نظر گرفته شوند. محاسبه تلفات به ازای کلیه مقادیر مختلف بار در پستهای مختلف عملاً امکان‌پذیر نیست.

در این مقاله توان مصرفی در پستها به صورت تابع دانسیته بیان شده است، با بکار بردن یک روش احتمالاتی مخصوص برای حل شبکه‌های توزیع تابع دانسیته تلفات در شاخه‌های مختلف شبکه محاسبه می‌شود. بدین منظور لازم است معادلات پخش بار خطی شده و برای خطی کردن آنها از یک روش جدید استفاده شده است. با محاسبه تابع دانسیته تلفات تغییرات تلفات در شبکه به ازای تغییرات بار روزانه مشخص می‌شود.

شرح مقاله :

تلفات در تمام قسمتهای سیستم قدرت وجود دارد و روی عملکرد سیستم بوسیله افزایش مقدار سوخت مصرفی و افزایش ظرفیت مورد نیاز تأثیر می‌گذارد. تأثیر روی ظرفیت مورد نیاز وقتی که سیستم دارای محدودیت ظرفیت تولیدی باشد خیلی اهمیت پیدا می‌کند. گاهی تلفات بوسیله صرف هزینه کمی می‌تواند کاهش یابد ولی در اکثر مواقع برای کاهش آن هزینه زیادی صرف می‌شود.

برای محاسبه تلفات در سیستم توزیع انرژی، لازم است که مطالعات پخش بار در شبکه به منظور مشخص شدن ولتاژ پستها و جریان توان در خطوط برای یک شرایط بارگذاری خاص انجام شود. روشهای مختلف و دقیقی برای مطالعه پخش بار در شبکه‌های قدرت وجود دارند [۶-۳]. این روشها ذاتاً قطعی[1] هستند و در آنها اطلاعات ورودی به صورت مقادیر ثابت ارائه می‌شوند. برای ارزیابی وضعیت سیستم به صورت دقیق با روشهای قطعی لازم است مطالعات پخش بار برای ترکیبات مختلف بارها در هر پست انجام شود. برای مطالعه یک سیستم N شینه با K مقدار مختلف برای بار در هر پست K^N بار بایستی محاسبات پخش بار تکرار شوند. زمان لازم برای انجام این محاسبات یک زمان نجومی شده و عملاً انجام این مطالعات غیرممکن است.

برای حل این مشکل در محاسبات پخش بار مقادیر کمیات در هر پست به صورت تابع احتمالاتی دانسیته آن مقدار[2] بیان شده در نتیجه نیاز به تغییر معادلات پخش بار در شبکه است. مشکل اصلی در حل معادلات پخش بار در این حالت غیرخطی بودن معادلات است. با بدست آوردن تابع دانسیته هر خروجی از محاسبات پخش بار، تغییرات احتمالاتی آن متغیر بدست می‌آید.

در این مقاله تابع دانسیته توان تلفاتی در هر شاخه سیستم توزیع بوسیله یک روش جدید احتمالاتی محاسبه می‌شود. با محاسبه این تابع حدود تغییرات تلفات در هر شاخه سیستم مشخص می‌شود. برای انجام محاسبات پخش بار از روش سریع جدیدی که مخصوص شبکه‌های شعاعی توزیع انرژی است استفاده می‌شود [۱]. برای انجام محاسبات پخش بار معادلات خطی می‌شوند. روشهای مختلف خطی کردن معادلات پخش بار بررسی شده [۷] و یک روش مناسب مخصوص شبکه‌های توزیع ارائه شده است. اطلاعات ورودی شامل توان مصرفی در پستهای مختلف شبکه بوسیله منحنی متوسط بار روزانه در هر پست بیان شده است.

---

1 - Deterministic.

2 - Probability Density Function.

۱ ـ تابع دانسیته توان مصرفی در هر پست[1] :

قدم اول در محاسبات به صورت احتمالاتی تبدیل اطلاعات بار مصرفی روزانه در هر پست به تابع دانسیته بار به صورت احتمالاتی است. همانطور که نشان داده شده منحنی بار روزانه در هر پست متفاوت و در ساعات مختلف شبانه‌روز متغییر بوده و شکل رفتار خاصی ندارد. نظر به اینکه تابع مشخص را نمی‌توان برای تغییرات آن در نظر گرفت لازم است به صورت منفصل[2] بیان شود. منحنی بار در هر پست را در ساعات مختلف می‌توان به صورت مجموعه زیر بیان نمود.

$\{(P_i,t_i)\}\ I = 1,...,n_p$

وقتی که P_i مقدار بار در لحظه t_i از روز و n_f تعداد نقاط مشخص شده از منحنی بار روزانه است. تابع دانسیته به صورت مجموعه زیر بیان می‌شود. $\{(P_k,\eta_k)\}\ K = 1,...,n_f$

وقتی که P_k مقدار توان و η_k احتمال وقوع P_k n_f تعداد نقاط تابع دانسیته است. برای محاسبه تابع دانسیته مراحل زیر دنبال می‌شود. ابتدا فاصله بین هر دو نقطه متوالی از تابع دانسیته به صورت زیر مشخص می‌شود.

$$\Delta P = \frac{P_{max} - P_{min}}{n_f - 1}$$

نقاط P_kها به صورت زیر محاسبه می‌شوند. $P_k = P_{min} + (\Delta P)(K - 1)\ K = 1,...,n_f$

حال تمام نقاط P_i از مجموعه $\{(P_i , t_i)\}$ بین P_kها به نسبت متوسط وزنی خود توزیع می‌شوند. وزن هر نقطه P_i که بین P_k ، P_{k+1} قرار می‌گیرد با توجه به فاصله آن بین هر یک از نقاط P_k ، P_{k+1} تقسیم می‌شود. بنابراین یک مجموعه زوج نقاط به صورت زیر بدست می‌آید.

$\{(P_k , \sum_{i=1}^{n_t} f_{kj}\}$

وقتی که n_t تعداد المانهای مجموعه $\{(P_i , t_i)\}$ در فاصله (K) تا $(K + 1)$ و f_{ki} اثر وزن متوسط P_i روی P_k است. برای هر k مشخص داریم.

$$P_i \in (P_{k-1} , P_{k+1}) \Rightarrow f_{ki} = 1 - \frac{|P_k - P_i|}{\Delta P}$$

$$P_i \notin (P_{k-1} , P_{k+1}) \Rightarrow f_{kj} = 0$$

مجموعه‌ای که اکنون تشکیل شده است عبارت است از :

{(تعداد دفعات در شبانه‌روز که این مقدار واقع شده است و مقدار قدرت)}

اگر عبارت $\sum_{i=1}^{n_t} f_{ki}$ را بر تعداد کل نقاط (n_p) تقسیم کنیم احتمال وقوع هر مقدار P_k محاسبه می‌شود. سپس منحنی دانسیته به صورت مجموعه زیر بیان می‌شود.

(P_k , η_k)

---

1 - Power Denand Density Function-PDF.

2 - Discrete.

وقتی که :

$$\eta_k = \frac{\sum_{i=1}^{nt} f_{ki}}{n_p}$$

۱ـ۲ـ تقریب با تابع دانسیته نرمال[۱] :

مقدار توان مصرفی در هر پست در یک شبکه می‌تواند مطابق بالا به صورت یک تابع دانسیته منفصل توان (PDF) ارائه شود. عملیات با PDFها بسیار وقت‌گیر بوده و حافظه زیادی از کامپیوتر را اشغال می‌کند. بنابراین در بعضی مواقع مقرون به صرفه است که تابع دانسیته منفصل را با تابع دانسیته نرمالی با مقدار متوسط[۲] و انحراف ویژه[۳] معادل تقریب زد. یک تابع دانسیته نرمال به صورت زیر بیان می‌شود.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\,\Pi}} \text{EXP}\ \{-\frac{(x-\mu)^2}{2\,\sigma^2}\}$$

وقتی که μ مقدار متوسط و σ انحراف ویژه تابع هستند.

۳ـ روشهای ریاضی در محاسبات احتمالاتی :

پس از محاسبه توابع دانسیته برای قدرت مصرفی در هر پست لازم است توان جاری در خطوط و تلفات آنها را از روشهای پخش بار بدست آوریم بدین منظور لازم است متغیرها را که به صورت توابع دانسیته هستند در محاسبات بکار بریم. بنابراین لازم است که عملیات با توابع دانسیته را بدانیم. متغیرها به در محاسبات پخش بار را که به هر تابع دانسیته اختصاص را داده شده است متغیر دلخواه[۴] گویند.

۱ـ۳ـ جمع متغیرهای دلخواه :

فرض کنید X و Y دو متغیر دلخواه مستقل باشند که می‌توانند مثلاً جریان دو شاخه در شبکه باشند. اگر PDF این دو متغیر به ترتیب f(x) ، g(y) باشند. برای Z که نماینده جمع دو متغیر دلخواه X و Y است خواهیم داشت.

$$f_t(\Im) = \int_{-\infty}^{+\infty} g(y)\, f(\Im - y)\, dy = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x)\, g(\Im - y)\, dx$$

معادله بالا تابع دانسیته مربوط به جمع دو تابع دانسیته X و Y است که کنولوشن[۵] [۸] دو تابع فوق است و به صورت زیر نوشته می‌شود.

$$f_t(\Im) = f(x) * g(y)$$

رابطه فوق را برای n تابع دانسیته مستقل به صورت زیر می‌نویسیم.

$$f_t(\Im) = f(x) * g(y) * h(t) \ldots * s(u)$$

---

1 - Normal Denstiy Function - NDF.
2 - Mean Value.
3 - Standerd Deviation.
4 - Random Variable.
5 - Convolution.

۲ـ۳ـ ضرب یک ضریب ثابت در یک تابع دانسیته :

اگر a یک ثابت و x یک متغیر دلخواه باشد. در اثر ضرب a در x یک متغیر دلخواه y به صورت زیر بدست می‌آید. اگر f(x) , f(y) توابع دانسیته X و Y باشند می‌خواهیم بدانیم چه رابطه‌ای بین X و Y وجود دارد. دو نوع تابع دانسیته یعنی تابع دانسیته منفصل و تابع دانسیته نرمال می‌توانند برای متغیرهای دلخواه در نظر گرفته شوند.

اگر تابع دانسیته x منفصل باشد می‌تواند به صورت یک سری نقاط با احتمال وقوع مشخص برای هر نقطه به صورت مجموع یک سری ایمپاس [۸] نوشته شود.

$$f(x) = \sum_{i=1}^{n} \eta_i \, \delta(x - xi)$$

ضریب "a" فقط روی مقدار x_i اثر گذارده در نتیجه خواهیم داشت.

$$f(y) = \sum_{i=1}^{n} \eta_i \, \delta(y - axi) = \sum_{i=1}^{n} \delta_i \, \sigma(y-yi)$$

اگر تابع دانسیته f(x) یک تابع دانسیته نرمال باشد. ضرب ثابت a در آن تولید تابع دانسیته f(y) به صورت زیر را می‌کند [۸].

$$f(y) = \frac{1}{\sigma_y \sqrt{2\,\Pi}} \, EXP \, \{- \frac{(x - \mu)^2}{2\,\sigma^2 y}\}$$

وقتی که

$$\sigma_y = |a| \; \sigma_x \qquad \eta_y = a\eta_x$$

۳ـ۳ـ روشهای کنولوشن :

از جمع دو متغیر دلخواه X و Y متغیر دلخواه Z بدست می‌آید. اگر f(x) و f(y) به ترتیب توابع دانسیته متغیرهای دلخواه X و Y باشند. تابع دانسیته متغییر دلخواه Z از کنولوشن توابع دانسیته متغییرهای X و Y بدست می‌آید.

$$f_t\,(\Im) = f(x) * g(y)$$

برای تابع منفصل داریم.

$$f(x) = \sum_{i=1}^{nx} a_i \, \delta(x - c_i) \qquad g(y) = \sum_{ny}^{j=1} bj \, \delta(y - dj)$$

می‌توان ثابت کرد [۸] که برای تابع f_t خواهیم داشت.

وقتی که

$$f_t\,(\Im) = \sum_{k=1}^{nt} e_k \, \delta(g - h_k)$$

$$n_t = n_x \cdot n_y$$

$$h_k = C_i + d_j \qquad e_k = a_i b_j \qquad i = 1,...,n_x \quad j = 1,...,n_y$$

اگر تعداد انجام (عمل کنولوشن) زیاد باشد تعداد نقاط توابع حاصل خیلی زیاد می‌شود که لازم است پس از هر عمل کنولوشن تعداد نقاط تابع جدید را به تعداد از پیش تعیین شده‌ای کاهش داد. برای این کار از روش که در قسمت (۲) گفته شد استفاده می‌شود. تابع دانسیته حاصل از کنولوشن دو تابع فوق به صورت زیر است.

$$f_i(\Im) = \frac{1}{\sigma_\Im \sqrt{2\Pi}} \text{EXP}\{-\frac{(\Im - \mu_\Im)^2}{2\sigma^2_\Im}\}$$

وقتی که داریم $\sigma^2_\Im = \sigma^2_x + \sigma^2_y$ $n_\Im = n_x + n_y$

۴ ـ روش جدید برای حل پخش بار احتمالاتی شبکه‌های شعاعی توزیع انرژی *(RP)* :

برای حل شبکه‌های توزیع انرژی از روش خاص حل شبکه‌های توزیع [۱] استفاده شده است. نظر به اینکه کمیات به صورت توابع دانسیته بیان می‌شوند لازم است روابط پخش بار را به صورت خطی حول نقطه کار درآوریم.

برای جریان پست i داریم. $I_{BUSi} = \frac{P_i - jQ_i}{V^*_i}$

نظر به اینکه ولتاژ در طول یک فیدر تغییرات کمی دارد می‌توان یک مقدار ثابت برای ولتاژ پست در نظر گرفت.

$$V_i = V_{io} \qquad I_{BUSi} = \frac{1}{V^*_{io}}[P_i - jQ_i]$$

جریان در شاخه‌های مختلف فیدر از معادله زیر بدست می‌آید.

$$I_{BRI} = I_{BUSi} + I_{BRj}$$

وقتی که i پست قبل از شاخه j در شبکه می‌باشد [۱].

محاسبات از یک شاخه به شاخه دیگر انجام می‌شود تا تابع دانسیته جریان تمام شاخه‌ها بدست آیند. جهت دنبال کردن مسیر شاخه‌ها از یک جدول انعکاس شاخه که در مرجع [۱] آمده است استفاده می‌شود. از تابع دانسیته جریان شاخه‌ها که بدین طریق بدست می‌آید برای محاسبه تلفات شاخه‌ها استفاده می‌شود.

برای جریان شاخه‌ها داریم. $I_{BRi} = I_{pi} + jI_{gi}$

وقتی که I_{pi} و I_{gi} به ترتیب مؤلفه‌های اکتیو و راکتیو جریان شاخه i هستند.

تلفات حقیقی در شاخه i برابر است با: $P_{Iossi} = R_i [I^2_{pi} + I^2_{gi}]$

و اگر روابط فوق را خطی کنیم خواهیم داشت [۷].

$$I^2_{pi} = 2 I_{pio} I_{pi} - I^2_{pio} \qquad I^2_{gi} = 2 I_{gio} I_{gi} - I^2_{gio}$$

وقتی که I_{pio} و I_{gio} به ترتیب مقادیر پیش‌بینی شده[1] مقادیر حقیقی و کمپلکس I_{BRi} هستند. برای محاسبه تابع دانسیته تلفات حقیقی توان در شاخه i از معادلات بالا خواهیم داشت.

$$P_{Iossi} = R_i [2 I_{pio} I_{pi} + 2 I_{gio} I_{gi} - I^2_{pio} - I^2_{gio}]$$

---

1 - Expected Value.

۱ـ۴ـ خطای روش جدید پخش بار ـ RP :

مدل پخش بار احتمالاتی فوق در حقیقت می‌تواند معادل بینهایت مطالعه پخش بار که نتایج به صورت مناسبی (بطور احتمالاتی) منظم شده باشند در نظر گرفته شود. اکنون سؤال این است که این مدل خطی چگونه رفتار می‌کند.

دو منبع خطا در پخش بار احتمالاتی وجود دارد. اولین مربوط به خطی کردن معادلات پخش بار در حول مقدار پیش‌بینی شده آن است. هر حرکت به طرف دور شدن از این ناحیه باعث بوجود آمدن خطای خطی کردن می‌شود. دومین منبع خطا تعداد محدود نقاط تابع دانسیته نمایانگر هر کمیت در محاسبات است.

یک راه برای محاسبه خطای مدل خطی فوق انجام تعداد بسیار زیادی مطالعات پخش بار برای مقادیر مختلف توان در زمانهای مختلف از منحنی بار در هر پست است.

راه دیگر برای ارزیابی دقت روش محاسبه حد اطمینان[1] توابع دانسیته بدست آمده از محاسبات است که بوسیله محاسبه خطای استاندارد مقادیر متوسط [۱۱-۹] بدست می‌آید. خطای استاندارد مقدار متوسط یک تابع دانسیته با انحراف استاندارد σ به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$\text{خطای استاندارد} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

وقتی که n تعداد نقاط تابع دانسیته است. این بدین معنا است که با احتمال 68% مقادیر متوسط در فاصله $[\mu - \sigma / \sqrt{n} , \mu + \sigma / \sqrt{n}]$ که حد اطمینان نامیده می‌شود قرار دارند. بنابراین هر چه این فاصله کمتر باشد جوابها دقت بیشتری دارند.

۵ـ مثال عددی و نتایج :

در این مقاله دو روش برای محاسبات احتمالاتی تلفات در شبکه مورد بررسی قرارگرفته است:

ابتدا مطالعات با توجه به فرموله کردن معادلات به طریق جدید (RP) انجام شده است. منحنی تغییرات بار در پستها به صورت ارائه شده در مرجع [۲] در نظر گرفته می‌شود. سپس منحنی بار در هر پست تبدیل به یک تابع دانسیته مطابق الگوریتم ارائه شده در بخش ۲ می‌شود. با استفاده از اطلاعات فوق پخش بار احتمالاتی انجام شده و تلفات در شاخه‌های مختلف به صورت یک تابع دانسیته بدست می‌آیند.

روش دوم براساس همان روش اول می‌باشد، تنها تفاوت آن با روش اول آن است که در اینجا مقادیر اطلاعات ورودی با توابع دانسیته نرمال تقریب زده می‌شوند و در محاسبات از این توابع

---

1 - Confidence Limit.

استفاده می‌شود. در نتیجه اطلاعات خروجی که شامل تلفات توان در شاخه‌ها می‌باشد نیز به صورت تابع دانسیته نرمال بدست می‌آید.

مطالعات برای شبکه‌های نمونه با ۵ پست، با ۱۱ پست و با ۴۷ پست نشان داده شده است. اطلاعات شبکه‌های فوق در مرجع ۱ آمده است. تفاوت اصلی بین شبکه‌های فوق پیچیدگی و تفاوت منحنی بار روزانه آنهاست. روشهای NRP,RP براساس یک روش یکسان فرموله شده‌اند تنها در روش NRP تابع دانسیته منفصل با یک تابع نرمال با مقدار متوسط و انحراف استاندارد برابر با تابع منفصل تقریب زده می‌شود. برای مقایسه دو روش از شبکه‌های نمونه استفاده می‌شود. تفاوتی بین مقدار متوسط و انحراف استاندارد جوابهای حاصل از دو روش نیست و مقایسه بایستی روی شکل تابع دانسیته حاصل از دو روش فوق صورت گیرد.

شکل ۱ خروجی پخش بار احتمالاتی برای شبکه‌های نمونه با استفاده از روش NRP را نشان می‌دهد که با نتایج حاصل که از روش RPکه در شکل ۱ آمده است مقایسه می‌شود. با توجه به قضیه حد مرکزی[1] [۱۵-۸]، نتایج حاصل با استفاده از روش NRP تقریب خوبی از نتایج حاصل از روش RP است. جدول ۱ زمان کامپیوتری لازم برای انجام هر کدام از این مطالعات را نشان می‌دهد.

همانطور که مشاهده می‌شود زمان کامپیوتری لازم در روش NRP خیلی کمتر از زمان کامپیوتری لازم در روش RP است. حافظه کامپیوتری مصرفی نیز در روش NRP خیلی کمتر از روش RP است.

در شکل ۲ تابع دانسیته توان تلفاتی محاسبه شده در شاخه ۲ برای هر شبکه نمونه بوسیله روش RP و نیز NRP رسم و باهم مقایسه شده‌اند. شباهت دو منحنی فوق قابل توجه است. ضمناً وقتی که عملیات برای محاسبه تابع دانسیته زیاد است، دو منحنی خیلی به هم نزدیک می‌شوند (مثلاً در شبکه ۴۷ پست). بنابراین مشاهده می‌شود که در شبکه‌های بزرگ جوابهای بدست آمده از روشهای NRP,RP بسیار به هم نزدیک بوده و می‌توان از توابع دانسیته نرمال به جای توابع دانسیته منفصل استفاده کرد.

یک راه برای ارزیابی دقت پخش بار احتمالاتی RP انجام تعداد بسیار زیادی پخش بار به ازای مقادیر مختلف بار در پستهای مختلف شبکه و سپس تبدیل نتایج به یک منحنی دانسیته احتمالاتی و مقایسه این منحنی با منحنی حاصل از روش RP است. بدین منظور ۵۱۲ مطالعه پخش بار به ازای مقادیر مختلف بار در پستهای مختلف برای شبکه نمونه با ۵ پست انجام و تلفات کلی محاسبه شده است. نتایج حاصل تبدیل به یک منحنی دانسیته احتمالاتی گردیده و با نتایج حاصل از محاسبات به روش RP روی یک صفحه در شکل ۳ رسم شده است.

---

1 - Central Limit Theorem - CLT.

از مقایسه دو منحنی ملاحظه می‌شود که نتایج حاصل از مطالعات پخش بار قطعی نزدیک به نتایج حاصل از روش RP قرار دارند. تغییرات شدید در اطراف انتهای تابع به خاطر دور شدن از نقطه‌ای که معادلات حول آن خطی شده‌اند و به عبارت دیگر خطای حاصل از خطی کردن معادلات پخش بار است. تعداد محدود نقاط توابع دانسیته و تعداد کم مطالعات پخش بار نیز عوامل دیگری هستند که باعث اختلاف دو منحنی در شکل ۳ می‌شوند.

۶ ـ نتیجه گیری :

در این مطالعه محاسبه تلفات در شبکه‌های توزیع انرژی شعاعی بوسیله یک روش احتمالاتی انجام شده است. بار در هر پست شبکه به صورت یک تابع دانسیته در نظر گرفته می‌شود. برای محاسبه تلفات، روشهای پخش بار احتمالاتی بررسی و یک روش مناسب مخصوص شبکه‌های توزیع انرژی شعاعی ارائه شده است. منحنی بار در هر پست که به صورت تابعی از زمان مشخص می‌باشد به یک تابع دانسیته که مقدار بار را برحسب احتمال وقوع آن می‌دهد تبدیل می‌شود. به عبارت دیگر متغیر ساده P که مقدار بار مصرفی در هر پست است به متغیر دلخواه تبدیل می‌شود.

برای محاسبه مقادیر متوسط (مثلاً تلفات در یک خط) از یک پخش بار قطعی که مخصوص شبکه‌های توزیع شعاعی است استفاده شده است. سپس روابط پخش بار فوق خطی شده و مورد استفاده برای محاسبات پخش بار احتمالاتی قرار می‌گیرد. فرمهای منفصل و نرمال توابع دانسیته در نظر گرفته شده است. در فرموله کردن به طریق منفصل تابع دانسیته به صورت یک سری پله‌ها در نظر گرفته می‌شود در صورتی که در فرموله کردن به صورت نرمال تابع منفصل با یک تابع نرمال با مقدار متوسط و انحراف استاندارد مساوی با تابع منفصل تقریب زده می‌شود.

دو منبع اصلی خطا در محاسبات پخش بار احتمالاتی خطا در خطی کردن معادلات پخش بار و کاهش تعداد نقاط تابع دانسیته در مراحل مختلف عملیات هستند. اشکال دیگر این پخش بار زمان و حافظه کامپیوتری زیاد مورد نیاز می‌باشد که با تقریب آن توسط تابع نرمال به مقدار قابل توجهی کاهش می‌یابد.

هزینه محاسباتی یک پخش بار احتمالاتی خیلی بیشتر از یک پخش بار معمولی است ولی وقتی اطلاعات زیادی که از یکبار اجرای این پخش بار بدست می‌آوریم را با اطلاعات بدست آمده‌اند از یک پخش بار معمولی مقایسه نمائیم هزینه اضافی صرف شده توجیه می‌شود.

۷ ـ مراجع و منابع :

[۱] مسعود علی‌اکبر گلکار "یک روش جدید پخش بار برای شبکه‌های شعاعی توزیع انرژی" کنفرانس مهندسی برق ۱۳۷۰، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

[۲] مسعود علی‌اکبر گلکار "جایابی بهینه خازنهای موازی ثابت و قابل قطع وصل در شبکه‌های شعاعی توزیع انرژی" سومین کنفرانس بین‌المللی برق، وزارت نیرو، ۱۳۶۷.

[3] TINNEY.W.F. and HART.L.E. "Power flowsolution by Newton's method". IEEE Trans. PAS.86. PP.1449-1460 1967.

[4] STAGG.G and ELABIADA. "Computer methods in Power System analysis". Mc-Graw Hill,1968.

[5] STOTT.B. and HOBSON.E. "Solution of large power system network by ordered climination: a comparison of ordinary scheines" Proc: IEE. Vol 118. PP. 126-135, January 1971.

[6] STOTT.B. and ALSAC.O. "Fast decoupled load flow" IEEE Trans PAS. 93. PP. 859-869. May/June 1974.

[7] ALLANR.N. and Lerre DA Sll. VAA.M. "Probabilistic load flow using multi linearisation". IEEProc., Vol.128, Pt.C. No.5. Sept. 1981.

[8] PAPOULIS.A. "Probability, random variables and stochastic processes". MeGraw Hill International Publication 1965.

[9] MORONEY, M.J. "Facts From Figures", Penguin Book Ltd., 1951.

[10] MORAN.P.A.P. "AnIntroduction to probability theory", Clarendon Press. Oxford.

[11] MACDONALDP. "Mathematics and Statistics for Scientists and Engineers", D.Van Nostrand Company Ltd.

تلفات حقیقی درشاخه۲ درشبکه ۵ باس پست (کیلووات ساعت درروز)	احتمال	تلفات حقیقی درشاخه۲ درشبکه ۱۱ پست (کیلو وات ساعت درروز)	احتمال	تلفات حقیقی درشاخه۲درشبکه ۴۷ باس پست (کیلووات ساعت درروز)	احتمال
69.35	.03007	2217.17	.00006	134.11	.0000
145.98	.04005	2707.12	.00030	291.86	.0000
222.61	.04366	3207.06	.00114	429.44	.0001
299.24	.04343	3707.01	.00346	577.22	.0010
375.87	.04635	4206.96	.00873	725.12	.0111
452.50	.05561	4706.91	.01887	872.78	.0625
529.13	.06359	5206.35	.03556	1020.56	.1878
605.75	.06648	5706.80	.05639	1168.33	.3063
682.38	.06579	6206.75	.03473	1315.83	2675
759.01	.06385	6706.70	.11033	1463.61	.1266
835.64	.06213	7206.64	.12902	1611.39	.0325
912 27	.05882	7706.59	.13509	1759 17	.0044
988.90	.05273	8206.54	.12683	1906.94	.0003
1065.53	.04706	8706.49	.10619	2054 72	.0000
1142.16	.04462	9206.44	.07878	2202 51	0000
1218.78	.04312	9706.38	.05119		
1295.41	.03883	10206.33	.02895		
1372.04	.03107	10706.28	.01410		
1448.67	.02200	11206.23	.00574		
1525.30	.01547	11706.17	.00192		
1601.93	.01269	12206.12	.00051		
1673.56	.01097	12706.07	.00010		
1755.19	.00848	13206.02	.00001		
1831.81	.00523	13705.96	.00000		

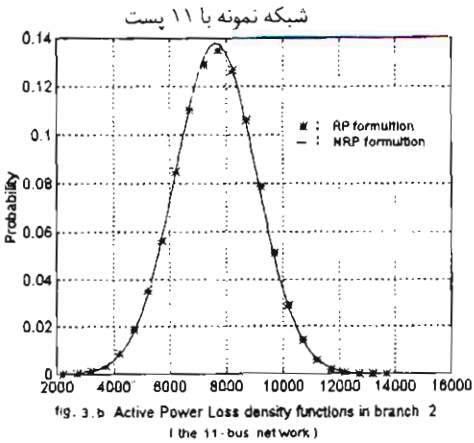
شکل ۱- نتایج حاصل از روش RP برای محاسبه تلفات درشاخه ۲ از شبکه‌های نمونه

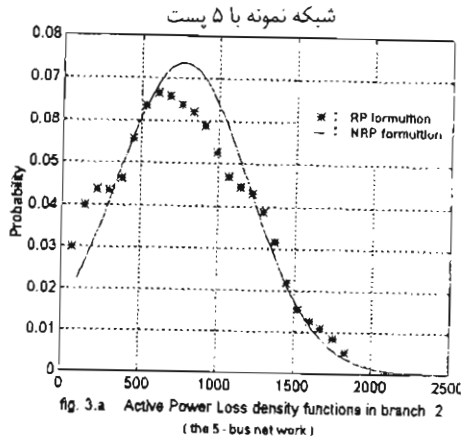
تلفات حقیقی درشاخه۲ درشبکه ۵ باس پست (کیلووات ساعت درروز)	تلفات حقیقی درشاخه۲ درشبکه ۱۱ پست (کیلو وات ساعت درروز)	تلفات حقیقی درشاخه۲درشبکه ۴۷ باس پست (کیلووات ساعت درروز)
مقدارمتوسط ۷۶۹/۱۷	مقدار متوسط ۷۶۲۶/۴۵	مقدار متوسط ۱۲۱۰/۷۳
انحراف ویژه ۴۳۱/۱۹	انحراف ویژه ۱۳۹۶/۵۴	انحراف ویژه ۱۲۶/۴۷

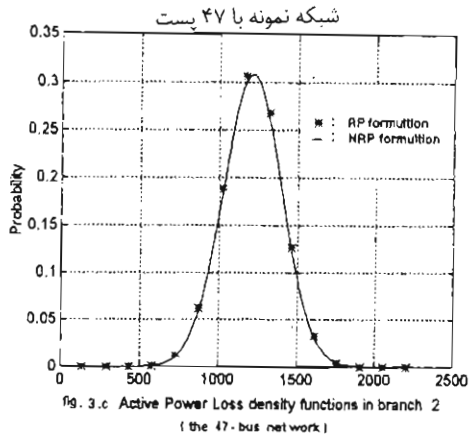
شکل ۲ نتایج حاصل اروش NRP برای محاسبه درشاخه ۲ از شبکه‌های نمونه

Formulation / Network	Formulation RP	Formulation NRP
5-Bus Network (RPDF=101)	6.29	5.11
11-Bus Network (RPDF=101)	18.29	5.28
47-Bus Network (RPDF=191)	19.55	1.36

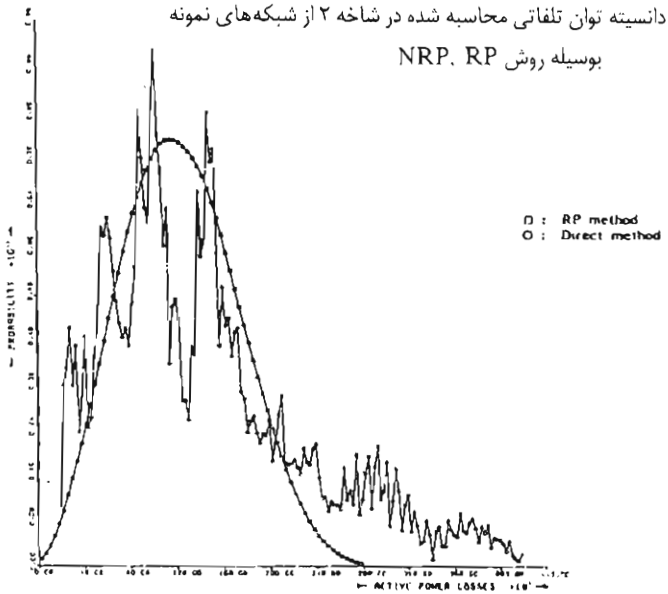
جدول ۱- زمان کامپیوتری لازم برای مطالعه پخش بارشبکه‌های نمونه را ازروشهای NRP,RP مقایسه می‌کند (NPDF تعداد نقاط تابع دانسیته)







شکل ۲ ـ مقایسه تابع دانسیته توان تلفاتی محاسبه شده در شاخه ۲ از شبکه‌های نمونه بوسیله روش NRP، RP



شکل ۳ ـ مقایسه تابع دانسیته توان تلفاتی کل در شبکه نمونه با ۵ پست حاصل از روش RP و روش مستقیم