بسمه تعالی

هفتمین کنفرانس شبکه‌های توزیع نیروی برق

انجمن مهندسین برق و الکترونیک ایران

کد مقاله: DNEC136

نوع پذیرش : ارائه

مدلسازی بار شبکه‌های توزیع بر اساس اطلاعات ثباتها

بهروز رضایی حسن محمدی

مهندسین مشاور قدس نیرو

کلمات کلیدی : مدلسازی بار، ثبات، مدل ZIP

چکیده

برای بدست آوردن رفتار انواع بار در شبکه‌های توزیع به اطلاعات پایه‌ای در طول یک دوره مشخص نیاز داریم. این اطلاعات با استفاده از ثباتهای نصب شده در نقاطی از شبکه توزیع تامین می‌گردند. در این مقاله به معرفی روشی برای تعیین پارامترهای مدل بار در شبکه توزیع با استفاده از اطلاعات ثباتها می‌پردازیم.

به این منظور از مدل چند جمله‌ای استاتیک موسوم به مدل ZIP استفاده می‌کنیم که ارتباط بین دامنه ولتاژ و توان راکتیو را به صورت معادله چند جمله‌ای بیان می‌کند. اطلاعات ثبات شامل ولتاژ، توان اکتیو و راکتیو برای ۱۷ نوع مصرف می‌باشد که در طول یکسال جمع‌آوری می‌گردد.

در ابتدا برای پستهای شبکه توان انواع مصارف آنها را تفکیک نموده و سپس به کمک اطلاعات ثبات، پارامترهای بار را بدست می‌آوریم. در نتیجه برای انواع مصارف مدل بار مشخص می‌گردد و با تعمیم آن برای تمام پستهای شبکه، بار پستها در همه زمانها بدست خواهد آمد.

۱- مقدمه

جهت بررسی و مطالعه سیستم‌های توزیع انرژی الکتریکی اطلاع از ماهیت و رفتار بار نیاز اساسی می‌باشد. در مراجع [5-1] در این زمینه کارهایی انجام شده است. اما این روشها با توجه به تنوع بار مصرف‌کنندگان مختلف اغلب یا قابل استفاده نیست یا با خطای زیادی همراه است.

برای مدلسازی بار نخستین قدم در نظر گرفتن یک مدل پارامتری از بار به صورت ترکیبی از انواع بارهای توان ثابت، جریان ثابت و امپدانس ثابت می‌باشد که در آن مشخصات انواع بار به صورت ترکیبی از توانهای اکتیو و راکتیو و یا بر حسب متغیرهای ولتاژ و فرکانس بیان می‌شود [1].

گام بعدی قراردادن مصرف کنندگان مختلف انرژی الکتریکی در کلاسهای بار مختلف است که اینکار بر اساس ویژگیهای مشترکشان در چگونگی استفاده از انرژی الکتریکی انجام می‌شود. به این ترتیب بار هر یک از پستهای توزیع به صورت ترکیبی از انواع کلاسهای مصرف‌کنندگان مختلف تعیین می‌گردد[4].

برای بدست آوردن رفتار هر کلاس مصرف در همه زمانهای مختلف در طول دوره‌های زمانی سالیانه، فصلی، هفتگی و روزانه نیاز به اطلاعات آماری بار هر مصرف در ساعتهای همه روزهای سال خواهیم داشت که این موضوع با نصب ثاتها در نقاط مختلفی از شبکه میسر خواهد بود[4].

در این مقاله به بررسی الگوریتم مدلسازی بار به روش ثباتها می‌پردازیم که بر اساس روشهای آماری مبتنی براطلاعات ثباتها می‌باشد. در این راستا ابتدا به بررسی پارامتری بار می‌پردازیم. سپس بطور اجمالی انواع مصرف‌کنندگان بار را بر اساس نوع مصرفشان تقسیم‌بندی می‌نمائیم و سپس چگونگی پردازشهای لازم را برای تعیین مدل بار انواع مصارف و در نتیجه بار پستهای شبکه توزیع در زمانهای مختلف، ارائه خواهیم کرد.

۲- مدل پارامتری بار

بدست آوردن مدل دقیق از بارها بنا به دلایل زیر انجام می‌شود:

۱- تنوع بسیار زیاد اجزاء بار[1].

۲- قابل دسترس نبودن مالکیت و مکان تجهیزات بار مشترکین برای صنعت برق بطور مستقیم.

۳- تغییر ماهیت بار با تغییر زمانهای روزانه، هفتگی، فصلی و سالیانه یا دوره‌های زمانی دیگر.

٤- وجود اطلاعات بسیار از ماهیت بار.

---

۱ - منظور از اجزاء بار معادل توافقی برای تجهیزات مشابه مانند هیترها، هواسازها، لامپهای فلورسنت و ... می‌باشد.

۵- عدم قطعیت‌های موجود در مشخصه‌های[1] بسیاری از اجزاء بار مخصوصاً در تغییرات بالای ولتاژ فرکانس.

منظور از مدل بار یک نمایش ریاضی از روابط بین ولتاژ (دامنه و فرکانس) و توان (اکتیو و راکتیو) یا جریان بار می‌باشد. جمله "مدل بار" ممکن است به معادلات آن یا معادلات با مقادیر مشخص از پارامترها برگردد. با پیاده‌سازی محاسباتی این معادلات، توان یا جریان بار می‌تواند محاسبه گردد.

مدل بار استاتیک، مدلی است که توانهای اکتیو و راکتیو را در هر لحظه از زمان به صورت توابعی از دامنه و فرکانس ولتاژ در همان زمان بیان می‌کند. مدلهای بار استاتیک برای اجزاء بار استاتیک مانند بارهای روشنایی و مقاومتی و نیز با تقریب برای اجزاء بار دینامیک مانند بارهای موتوری بکار می‌روند.

مدل بار دینامیک، مدلی است که توان اکتیو و راکتیو را در هر زمان به صورت توابعی از دامنه و فرکانس ولتاژ در زمانهای قبلی که معمولاً شامل زمان فعلی نیز می‌باشد، بیان می‌کند. معادلات دیفرانسیل یا تفاضلی می‌تواند برای این مدلها بکار رود.

در این مقاله از یک مدل بار استاتیک استفاده خواهیم نمود. مدل مورد استفاده یک مدل چند جمله‌ای است که توان را بر حسب دامنه ولتاژ به صورت یک معادله چند جمله‌ای به شکل زیر بیان می‌کند:

$$P = P_0\left[a_1(\frac{V}{V_0})^2 + a_2(\frac{V}{V_0}) + a_3\right] \qquad (۱)$$

$$Q = Q_0\left[a_4(\frac{V}{V_0})^2 + a_5(\frac{V}{V_0}) + a_6\right] \qquad (۲)$$

$$a_1 + a_2 + a_3 = a_4 + a_5 + a_6 = 1 \qquad (۳)$$

پارامترهای این مدل ضرایب a_1 تا a_6 و ضریب توان بار هستند. این مدل به نام "مدل ZIP" شناخته می‌شود و مجموع مدلهای امپدانس ثابت (Z)، جریان ثابت (I) و توان ثابت (P) می‌باشد.

V_0 ولتاژ نامی تجهیزات و P_0 و Q_0 توان اکتیو و راکتیو در ولتاژ نامی می‌باشند. V_0 و P_0 و Q_0 اغلب مقادیر موجود در شرایط عملکرد اولیه سیستم را به خود می‌گیرند.

هر یک از جملات این چند جمله‌ای نمایانگر مدل‌های امپدانس ثابت، جریان ثابت و توان ثابت است.

جمله اول نمایانگر مدل امپدانس ثابت است در این مدل تغییرات توان اکتیو و راکتیو متناسب با توان دوم تغییرات دامنه ولتاژ می‌باشد.

---

۱ - مشخصه بار مجموعه‌ای از پارامترها مانند ضریب توان، تغییرات P با V و ... می‌باشد.

جمله دوم نشاندهنده مدل جریان ثابت است که تغییرات توان مستقیماً با تغییرات دامنه ولتاژ است.

جمله سوم نیز مدل توان ثابت را نشان می‌دهد که توان با تغییرات دامنه ولتاژ تغییری نمی‌کند. این مدل با نام MVA ثابت نیز خوانده می‌شود چون MVA تجهیزاتی مانند موتورها و وسایل الکترونیکی ثابت است.

از انواع دیگر مدلهای بار می‌توان به مدل بار وابسته به فرکانس، مدل بار EPRILOADSYN ومدل بارEPRI ETMSP و مدلهای دیگر اشاره نمود که در این مقاله به آنها نمی‌پردازیم [۱].

۳- معرفی کلاسهای بار مختلف

انواع مصرف‌کنندگان را از نظر استفاده از لوازم و تجهیزات با توجه به تنوع انواع مصارف الکتریکی به صورت زیر طبقه‌بندی می‌نمائیم:

۱- ***خانگی اختصاصی*** : انشعاب برق این مشترکین تامین تمام یا بخشی از انرژی الکتریکی مورد نیاز یک واحد مسکونی را به عهده دارد.

۲- ***خانگی اشتراکی*** : انشعاب برق این مشترکین تامین انرژی الکتریکی مورد نیاز لوازم و تجهیزات برقی قسمتهای مشترک و عمومی ساختمانها (سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی، آسانسور، روشنایی پارکینگ و راه‌پله و ...) را به عهده دارد.

۳- ***کشاورزی ساعتدار*** : انشعاب این مشترکین به منظور تامین انرژی الکتریکی چاههای کشاورزی و پمپاژ است که در ساعات مشخصی مجوز کار دارند.

٤- ***کشاورزی بدون ساعت*** : انشعاب این مشترکین برای تامین انرژی چاه‌های کشاورزی و پمپ‌هایی است که محدودیتی از نظر زمانی ندارند.

۵- ***مشترکین صنعتی*** : این انشعاب به منظور تامین واحدهای صنعتی (کارخانجات و کارگاههای بزرگ) است. این مشترکین عموماً دارای پروانه بهره‌برداری از وزارت صنایع هستند.

٦- ***مراکز عرضه کالا (بازار)*** : این مشترکین، مراکز عرضه کالا در بازار و فروشگاههای لوازم یدکی و ... هستند که تا قبل از غروب آفتاب فعالیت دارند.

۷- ***مراکز عرضه کالا (محلی)***: این مشترکین، مراکز عرضه کالا و اغذیه فروشیهایی هستند که تا چند ساعت بعد از غروب آفتاب فعالیت دارند.

۸- ***مراکز اداری و خدماتی شبانه‌روزی*** : مانند داروخانه‌های شبانه‌روزی، مراکز نظامی و آموزشی و پشتیبانی، فرودگاهها، مراکز مسافرتی و حمل و نقل شبانه‌روزی و ...

۹-*مراکز اداری و خدماتی غیر شبانه‌روزی:* مانند مراکز آموزشی، وزارتخانه‌ها و ادارات، دفاتر شرکتهای دولتی و غیر دولتی و ...

۱۰-*مراکز درمانی و بیمارستانی شبانه‌روزی:* مانند بیمارستانها، کلینیک‌های ویژه، درمانگاههای شبانه‌روزی و ...

۱۱-*مراکز درمانی غیر شبانه‌روزی :* مانند درمانگاهها، مراکز رادیولوژی، فیزیوتراپی، آزمایشگاهی و ...

۱۲-*کارگاهها و مراکز تولیدی:* این گروه کارگاههای تولیدی و صنایع کوچک که عموماً در بافت شهری قرار دارند را در برمی‌گیرد و ساعت کار آنها عموماً تا قبل از غروب آفتاب است مثل کارگاههای جوشکاری و نجاری، ریخته‌گریهای کوچک، کارگاههای خیاطی و ...

۱۳-*پارکها و فضاهای سبز:* که عموماً شامل بار روشنایی و موتورهای پمپ است

۱٤-*مراکز تفریحی و شهربازیها*

۱۵-*روشنایی معابر*

۱٦-*مراکز عمومی :* مانند مساجد ، حسینیه‌ها، گورستانها، غسالخانه‌ها و ...

۱۷-*سایر مصارف*

٤-معرفی روش مدلسازی بار بر اساس اطلاعات ثباتها

محاسبات اصلی مدلسازی بار به روش ثباتها بر اساس اطلاعات نمونه‌برداری شده از شبکه در محل‌های مناسب انجام می‌شود.

دستگاه‌های ثبات نصب شده در مکان‌های مختلف، به نمایندگی از کلاسهای مختلف مصرف، اطلاعات مصرف که شامل توان‌های اکتیو و راکتیو و همچنین ولتاژ می‌باشد را در بازه‌های زمانی مختلف ثبت می‌نماید. بازه زمانی بهینه یکسال است و اطلاعات ثبات برای تمام ساعتهای هفته روزهای یک سال می‌باشند.

مکان نصب ثبات که اغلب پست‌های توزیع هستند، باید به گونه‌ای باشد که مصرف‌کنندگان بیشتر از یک نوع مصرف خاص باشند. به این ترتیب ثبات، نماینده آن نوع مصرف خواهد بود. هر چه درصد تعداد مصرف‌کنندگان این نوع مصرف بیشتر باشد خطای محاسبات کمتر خواهد بود. همچنین هر چه تعداد ثبات‌های نصب شده برای یک کلاس مصرف بیشتر باشد، خطای محاسبات کاهش می‌یابد.

پس از جمع‌آوری اطلاعات ثبات‌ها و حذف اطلاعات نادرست، پردازش‌های لازم روی آن جهت خالص‌سازی، انجام می‌گردد. بر اساس شرایط فصلی منطقه، اطلاعات یک سال به سه

فصل گرم، سرد و معتدل تقسیم‌بندی می‌شوند. اطلاعات ۱۷ نوع مصرف برای تمام ساعات شبانه‌روز در هفت روز هفته در سه فصل، خالص‌سازی می‌گردد.

در مرحله بعد وضعیت مشترکین شبکه شامل درصد قدرت واگذار شده برای انواع مصرف در تمام پستهای موجود در شبکه مورد مطالعه تعیین می‌گردد. در نهایت با استفاده از اطلاعات بدست آمده، محاسبات بار پستها انجام خواهد شد. این محاسبات برای تمام پستها و در تمام زمان‌ها تکرار می‌گردد.

٤-١- مکانهای نصب ثبات

همانطور که در بالا آمد، ثبات‌ها در مکان‌های مختلف شبکه توزیع به نمایندگی از کلاس‌های مختلف مصرف نصب می‌گردند. مکان‌های نصب ثبات که اغلب پست‌های توزیع می‌باشند، باید به گونه‌ای باشند که شرایط زیر را ارضاء نمایند:

۱- در محل پستی نصب شوند که بیشتر مصرف‌کنندگان آن متعلق به یکی از کلاسهای بار باشد.

۲- انتخاب بازه نهایی که در آنها بیشترین بار پست، متعلق به کلاس بار انتخاب شده فوق باشد که البته در اینجا بازه زمانی را یکسال در نظر می‌گیریم.

۳- برای دقت بالاتر بهتر است چند ثبات برای یک نوع مصرف در نظر گرفته شود.

٤-٢- بررسی وضعیت مشترکین پستهای شبکه

در شبکه توزیع نحوه انشعاب‌ها به گونه‌ای است که بیشتر پستهای توزیع و فوق توزیع مصرف‌کنندگان مختلفی را تحت پوشش خود قرار می‌دهند. تخمین اندازه بار هر یک از کلاسهای بار تحت پوشش یک پست در مدلسازی بار آن پست بسیار اهمیت دارد.

در این قسمت وضعیت مشترکین پستهای شبکه مشخص می‌گردد و قدرت واگذار شده پست با محاسبه مجموع قدرت‌های فروخته شده مشترکین آن به دست می‌آید. همچنین با توجه به نوع مصرف مشترکین این پست درصد توان واگذار شده برای تمام ۱۷ نوع مصرف بدست آمده و اندازه بانک خازنی هر پست مشخص می‌گردد.

٤-٣- پردازش اطلاعات بار

پس از نصب ثباتها و جمع‌آوری اطلاعات در بازه یکسال، برای اطلاعات ثباتهای در نظر گرفته شده یک دستور کار تعریف می‌گردد. ابتدا اطلاعات نادرست از ثباتها حذف شده و در مرحله بعد با توجه به شرایط فصلی منطقه، اطلاعات یکسال به ۳ فصل گرم، سرد و معتدل تقسیم‌بندی می‌گردد.

اگر فرض کنیم برای یک مصرف خاص یک ثبات نصب شده است، برای یک زمان خاص،

بعنوان مثال برای ساعت ۱۷ ، روز یکشنبه از فصل گرم برای مصرف خانگی اختصاصی، بسته به شرایط محیطی منطقه، چندین اطلاعات ثبات خواهیم داشت که برای توان اکتیو P_1 و P_2 و ... و نیز برای توان اکتیو Q_1 و Q_2 و ... و برای ولتاژ V_1 و V_2 و ... خواهند بود.

مقادیر اولیه P ، Q و V، در هر زمان از میانگین‌گیری این مقادیر بدست خواهند آمد که تعداد آنها برای هر مصرف ۳x۷x۲٤ = ٥٠٤ مقدار می‌باشد.

سپس اطلاعات توان اکتیو مصرف شده بر قدرت خریداری شده($\frac{P}{P_0}$) و ضریب توان (PF)برای تمام ساعت‌های شبانه‌روز در سه فصل گرم، سرد و معتدل از روابط زیر بدست خواهند آمد. بنابراین برای همه مصارف در هر زمان خواهیم داشت:

$$\frac{P}{P_0}(t) = \frac{P(t)}{SoldPower} \quad t = ۱ ، \ldots ، ٥٠٤ \qquad (٤)$$

$$PF(t) = \frac{P(t)}{\sqrt{P_1^2(t) + (Q_1(t) - Capaci\,tan\,ce)^2}} \qquad (٥)$$

که P(t) و Q(t) توان اکتیو و راکتیو مصرف شده پست ثبات‌دار در یک ساعت شبانه‌روز از یک فصل است. Sold Power مجموع توان فروخته شده مشترکین متصل به پست مورد نظر است و Capacitance مقدار بانک خازنی نصب شده در پست، مورد نظر بر حسب Kvar می‌باشد.

مقادیر a_1 تا a_6 به صورت زیر به دست می‌آیند:

همانطور که گفتیم برای یک زمان خاص t چند P و Q و V خواهیم داشت و بنابراین با استفاده از معادله (۱) و (۲) و (۳) می‌توان دستگاه زیر را تشکیل داد:

$$\begin{cases} P_1 = P_0\left(a_1(\frac{V_1}{V_0})^2 + a_2(\frac{V_1}{V_0}) + a_3\right) \\ P_2 = P_0\left(a_1(\frac{V_2}{V_0})^2 + a_2(\frac{V_2}{V_0}) + a_3\right) \\ a_1 + a_2 + a_3 = 1 \end{cases} \qquad (٦)$$

که جوابهای این دستگاه $\begin{bmatrix} a_1^1 \\ a_2^1 \\ a_3^1 \end{bmatrix}$ می‌باشد.

به همین ترتیب برای تمام ترکیبات دوتایی یک دستگاه مشابه (٦) خواهیم داشت.

در نهایت ماتریس a مطابق رابطه (۷) شکل می‌گیرد:

$$a_{3\times n} = \begin{bmatrix} a_1^1 & a_1^2 & a_1^3 & \cdots \\ a_2^1 & a_2^2 & a_2^3 & \cdots \\ a_3^1 & a_3^2 & a_3^3 & \cdots \end{bmatrix} \qquad (۷)$$

حال با میانه‌گیری از آن، پاسخ‌های مناسب برای a_1 و a_2 و a_3 بدست خواهد آمد. به همین ترتیب برای به‌دست آوردن a_4 و a_5 و a_6 هم روش مشابهی بکار برده می‌شود.

در عملیات محاسبه و ثبت اطلاعات ثبات امکان خطا و خارج از محدوده بودن اطلاعات وجود دارد. همچنین در محاسبات دستگاه ZIP (معادله ٦) مواردی خاص وجود دارد که دستگاه به سمت واگرایی پیش می‌رود و اعداد حاصل از حل دستگاه خارج از محدوده می‌باشند، لذا این موارد به صورت ناخالصی (Bad Data) مطرح می‌شوند و خطای محاسبات را بالا برده و دقت نتایج نهایی کاهش می‌یابد. استفاده از میانه به عنوان یک نوع فیلتر در برابر این ناخالصی عمل می‌کند.

رفتار بار یک مدل مصرف، در واقع نسبت توان آن نوع مصرف به توان فروخته شده می‌باشد. با توجه به مدلهای بدست آمده برای هر مصرف رفتار بار یا منحنی بار آن مصرف مشخص می‌گردد. بنابراین با در دست داشتن توان فروخته شده هر پست و درصدهای مربوط به مصارف مختلف، می‌توان برای هر کلاس مصرف یک پست خاص توان اکتیو و راکتیو را در هر زمان بدست آورد.

بنابراین بطور خلاصه الگوریتم مدلسازی بار به روش ثباتها به صورت زیر خلاصه می‌گردد:

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک روش عملی برای مدلسازی بار در شبکه‌های توزیع معرفی گردید که در آن با استفاده از اطلاعات ثباتهایی که در نقاط مختلف شبکه نصب می‌گردند، مدلهای بار انواع مصارف مختلف بدست آورده می‌شوند و با استفاده از این مدلها، بار تمام پستهای شبکه در زمانهای مختلف محاسبه می‌گردد.

نقطه قوت این روش در نظر گرفتن تنوع بار مصارف مختلف می‌باشد همچنین چون اطلاعات از شبکه مورد مطالعه جمع‌آوری می‌گردند نتایج به واقعیت نزدیک می‌باشند.

دقت محاسبات به درستی اطلاعات ثباتها بستگی دارد و اگر مکان نصب ثباتها و تعداد ثباتها بدرستی انتخاب شوند، خطای مدلسازی کمتر خواهد بود.

٦- مراجع

[1] IEEE Task Force , "Load Representation For Dynamic Performance Analysis" , IEEE Trans. On Power Systems , vol,8 , No.2, May 1993 PP471-481.

[2] M.V Desbpande , "Electrical Power System Design" , Mcgraw-Hill Publishing , Third Edition , 1990.

[3] J.H. Pourk and et-al , "Compositheِ Modeling for Adaptive ShortTerm Load Forecasting" , IEEE Trans. On Power Systems, Vol.6.No2, May 1991 , PP 450-457.

[٤] نصراله کاظمی، محمد مخدومی، "مدلسازی بار شبکه‌های توزیع با استفاده از اطلاعات آماری مشترکین"، ششمین کنفرانس شبکه توزیع نیروی برق، صفحه ٦٦ تا ٧٧

[5] E.Handschin , Ch , Dornemam, "Bus Load Modilling And Forecasting", IEE Trans, on Power Systems , Vol 3 , No.2, May 1998 , PP 627-633

[٦] گزارش فنی برنامه مدلسازی بار، مهندسین مشارو قدس نیرو –١٣٨٠

[٧] مهدی خباز، "مدیریت مصرف"، دومین سمینار مدیریت، اردیبهشت ١٣٧٣

[٨] گزارش تحلیل آماری مصارف خانگی شهر تهران، مرکز تحقیقات نیرو- ١٣٧٣