

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК  
УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ**

*В данной статье рассмотрены вопросы относительно к заданиям и описаниям различными уравнениями режимов электрических сетей, а также вопрос моделирование и учет электрических нагрузок ЭС. Зависимость активных и реактивных мощностей электроприемников от напряжения и частоты, статическая характеристика нагрузки по напряжению*

**ELECTRICALLY MODELING AND ANALYZING IN ELECTRIC NETS ESTABLISHED  
REGIMES**

*The matters referring to tasks and descriptions of electric nets regimes different equations and the problem of ES electrical load modeling and calculation had been concerned in this article. An active and reactive power of current using equipment dependence on an electrical fence and frequency, statistical loan property on an electrical fence also had determined in this paper.*

**1. Схемы замещения нагрузок**

Во многих расчетах установившихся режимов нагрузки потребителей обычно представляются в виде мощностей, но так как в течение времени происходит изменение мощности, то рассчитанный режим является мгновенным, т.е. для определенного момента времени. Установившиеся режимы рассчитывают для наиболее характерных случаев, к которым относятся режимы:

- максимальных нагрузок (за сутки, месяц; год);
- минимальных нагрузок (за сутки, месяц, год);
- послеаварийные и ремонтные.

Во многих случаях нагрузки представляются в расчетах постоянными значениями мощностей  $P$  и  $Q$ .

Потребляемая мощность в СЭС меняется при изменении напряжения и частоты. Характеристики, отражающие изменение мощности от напряжения и частоты в установившихся режимах, называются *статическими характеристиками* нагрузки по напряжению

$$P=f_p(U), Q=f_q(U) \quad (1.1)$$

и частоте

$$P=f_p(f), Q=f_q(f) \quad (1.2)$$

Аналогичные характеристики в переходном режиме СЭС называют *динамическими*. Они получаются при быстром изменении напряжения и частоты.

При малых отклонениях значения  $U$  и  $f$  установившихся режимах изменения мощностей можно получить по линеаризованным уравнениям

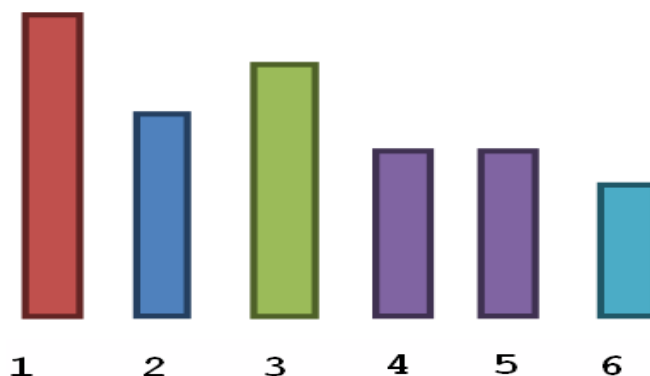
$$\Delta P = \frac{\partial P}{\partial U} \Delta U + \frac{\partial P}{\partial f} \Delta f = a_u \Delta U + a_f \Delta f, \quad (1.3)$$

$$\Delta Q = \frac{\partial Q}{\partial U} \Delta U + \frac{\partial Q}{\partial f} \Delta f = b_u \Delta U + b_f \Delta f, \quad (1.4)$$

где  $a_u, a_f, b_u, b_f$  — коэффициенты, характеризующие степень снижения активной и реактивной нагрузок по напряжению и частоте, называемые *регулирующими эффектами*.

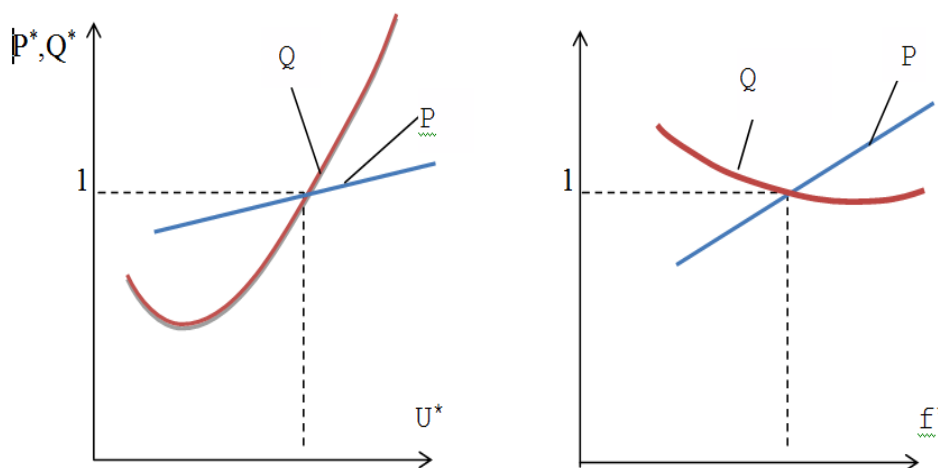
Статические характеристики нагрузки различны для разных типов нагрузки. Так, мощность осветительной нагрузки меняется в зависимости от напряжения пропорционально  $U^{1,6}$ , а дуговых печей —  $U^2$ , мощность люминесцентных ламп зависит от частоты с регулирующим эффектом  $a_f = 0,5 \dots 0,8$ , а у дуговых печей —  $ca_f = -0,5$ .

Как правило, интерес представляют статические характеристики комплексной нагрузки, которая включает в себя нагрузку различных электроприемников. На рис.1, представлен состав типовой нагрузки.



**Рис. 1.** Состав типовой нагрузки: мелкие асинхронный двигатели -1, крупные асинхронные двигатели -2, освещение 3, выпрямители, инверторы, печи и нагревательные приборы -4, синхронные двигатели -5, потери в сети -6

Типовые обобщенные статические характеристики нагрузок показаны на рис.2. Для удобства мощности, напряжение и частота даны в относительных единицах и приведены к номинальным значениям.



**Рис. 2.** Статические характеристики СЭС:  $a$  — по напряжению;  $b$  — по частоте

Для типовых характеристик  $a_u = 0,6$ ;  $b_u = 2,3$  (для  $U_{НОМ} = 6 \dots 10$  кВ),

$b_a = 1,6$  (для  $U_{НОМ} = 110$  кВ).

Таким образом, нагрузки в расчетах могут быть представлены своими статическими характеристиками. Обычно это делается аппроксимирующим полиномом 2-й степени отдельно по  $U$  и  $f$  например по  $U$ :

$$P(U) = P_0 \left[ a_0 + a_1 \frac{U}{U_{НОМ}} + a_2 \left( \frac{U}{U_{НОМ}} \right)^2 \right] \quad (1.5)$$

$$Q(U) = Q_0 \left[ b_0 + b_1 \frac{U}{U_{\text{ном}}} + b_2 \left( \frac{U}{U_{\text{ном}}} \right)^2 \right] \quad (1.6)$$

где  $P_0, Q_0, a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2$  — коэффициенты, полученные путем подбора аппроксимирующего полинома, например методом наименьших квадратов.

Однако в расчетах не всегда требуется учет статических характеристик и во многих случаях используют постоянные значения мощностей нагрузок  $P$  и  $Q$ .

Иногда удобно представлять нагрузки не в виде мощностей, а в виде их схем замещения — сопротивлениями или проводимостями.

## 2. Моделирование нагрузок постоянными сопротивлениями

При моделировании нагрузок режимов, для которых характерны значительные изменения напряжения на выводах нагрузок сети, нагрузку удобно представить параллельно или последовательно соединенными неизменными активными и реактивными сопротивлениями или соответствующими им проводимостями (рис. 3, а, б, в).

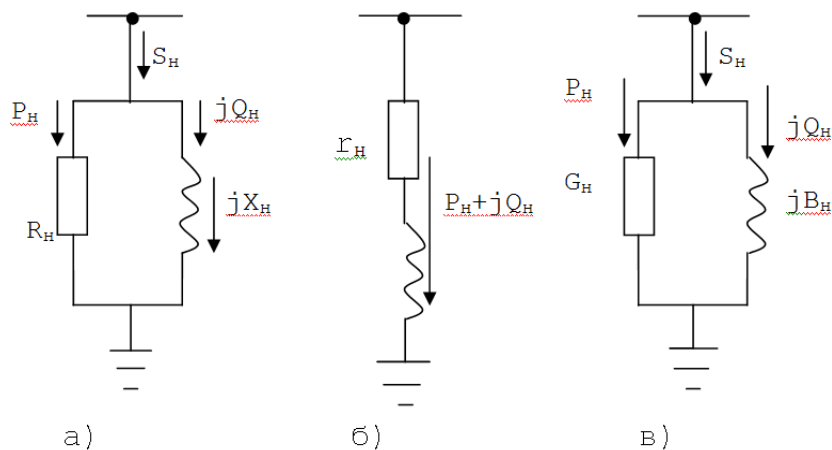


Рис. 3. Способы моделирования электрических нагрузок

Представление нагрузок постоянными проводимостями, включенными в точках присоединения нагрузок, в принципе соответствует их статическим характеристикам в виде квадратичных парабол. Величины этих сопротивлений выбираются таким образом, чтобы определяемая ими мощность при напряжении нормального (исходного) режима была бы равна заданной мощности нагрузок. Тогда, при параллельном соединении сопротивлений (рис. 3, а), имеем

$$I_a = \frac{U_\phi}{R_n} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{U}{R_n}; \quad I_p = \frac{U}{\sqrt{3}X_n}; \quad (2.1)$$

Откуда получаем

$$R_n = \frac{U^2}{\sqrt{3}I_a P_n}; \quad X_n = \frac{U}{\sqrt{3}I_p} = \frac{U^2}{Q_p}. \quad (2.2)$$

При последовательном соединении (рис. 3, б) сопротивления можно записать

$$Z_n = r_n + jx_n = \frac{U}{\sqrt{3}I} = \frac{U^2}{S_n^2} (P_n + jQ_n), \quad (2.3)$$

откуда значения сопротивлений

$$r_n = \frac{U^2}{S_n} \cos \varphi; x_n = \frac{U^2}{S_n} \sin \varphi. (2.4)$$

Для полученных сопротивлений справедливы соотношения

$$R_n \gg r_n; X_n \gg x_n; (2.5)$$

естественно также, что

$$Z_n = r_n + jx_n = \frac{R_n \cdot jX_n}{R_n + jX_n}. (2.6)$$

Тогда моделирующая мощность проводимость определяется в виде (рис. 3,в);

$$Y_n = \frac{1}{Z_n} = \frac{r_n}{r_n^2 + x_n^2} - j \frac{x_n}{r_n^2 + x_n^2} = \frac{1}{R_n} - j \frac{1}{X_n} = G_n - jB_n. (2.7)$$

Представление нагрузок неизменными сопротивлениями или проводимостями в виде квадратичных зависимостей

$$P_n = \frac{U^2}{R_n} = B_n U^2; \quad Q_n = \frac{U^2}{X_n} = B_n U^2 (2.8)$$

не обеспечивает высокой точности результатов, поскольку моделирующие сопротивления и проводимости сами зависят от приложенного напряжения.

Тем не менее такой учет нагрузок электрических сетей дает более точные результаты, чем учет в виде неизменных мощностей, не зависящих от действительных приложенных напряжений.

#### Заключение:

Таким образом, путем задания различным способом электрической нагрузки в расчетах режимов электрической сети можно наиболее точно учитывать его свойства, т.е. учет изменения мощности от изменения напряжения на их зажимах.

#### Литература:

1. **Бессонов, Л.А.** Теоретические основы электротехники. [Текст] /Л.А. Бессонов М.: Высшая школа, 1973.-С.65-69.
2. **Герасименко, А.А., Федин, В.Т.**, Передача и распределение электрической энергии- Ростов на-Дону: [Текст]/ А.А.Герасименко, Федин В.Т. //Феникс; Красноярск: 2006.- С.168-169.
3. **Демирчян, К.Е., Нейман, Л.Р., Коровин, Н.В.**, Теоретические основы электротехники. Учебник для вузов СПб: [Текст] /К.Е.Демирчян, Л.Р. Нейман, Н.В.Коровин //Питер 2009, С.149-153.
4. **Идельчик, К.А.**, Электрические системы и сети [Текст] / К.А.Идельчик // М.: Энергия, 1983.-С.76-77.
5. **Каганов, И.Л.**, Курсовое и дипломное проектирование [Текст] / И.Л. Каганов//М.: Колос, 1990, С.81-83.
6. **Лекин, А.В.**, Электрические системы и сети. Учебное пособие [Текст] / А.В. Лекин// М.: Университетская книга: Лотос, 2008.-С.52-53.
7. **Федоров, А.А.**, Основы электроснабжения промышленных предприятий [Текст] /А.А.Федоров// М.: Энергия, 1986.-С.392-394.