

Лекционные материалы

Дисциплина «Электроэнергетические системы и сети»

Разработаны доцентом кафедры «Электроэнергетические системы»
ВятГУ Вычегжаниным А.В.

Электрические нагрузки.



Электрические нагрузки

- Общие положения
- Графики нагрузок
- Состав нагрузок
- Характеристики нагрузок
- Представление нагрузок в расчетных схемах и схемах замещения для расчетов установившихся режимов

Общие положения

- От характера нагрузки зависят требования, предъявляемые к электрической сети для обеспечения надежного и качественного электроснабжения потребителей при наибольшей экономической эффективности.
- Потребление энергии в электроэнергетических системах изменяется при изменении параметров режима, т.е. при изменении частоты и напряжения. Поэтому для проведения расчетов важно знать, как изменится мощность нагрузки в указанных выше обстоятельствах.

Графики нагрузок

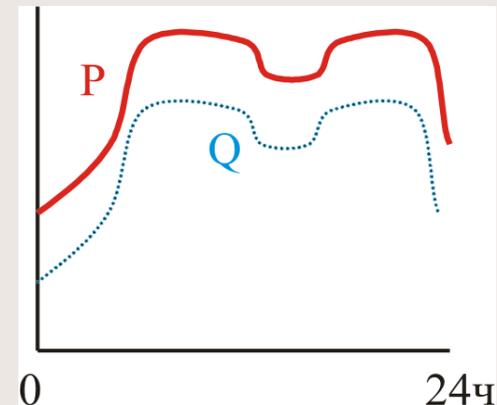
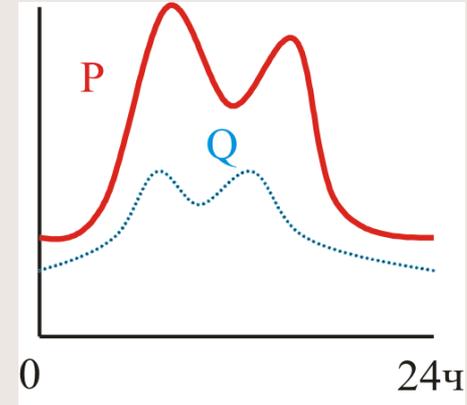
- Одной из наиболее существенных характеристик нагрузки является **величина потребляемой активной и реактивной мощности**. Эта мощность зависит от числа и режима работы отдельных приемников энергии и изменяется как в течение суток, так и в течение года. Для характеристики такого изменения пользуются графиками нагрузки.

Графики нагрузок

- График нагрузки представляет собой **графическое изображение изменения нагрузки** потребителя во времени.
- В зависимости от рассматриваемого интервала времени различают **суточные, сезонные и годовые** графики нагрузки, а по степени охвата потребителей - **индивидуальные и групповые**.

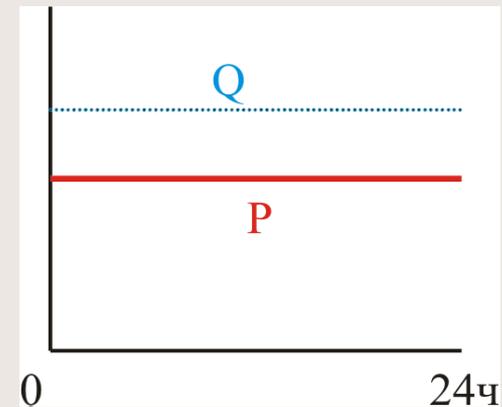
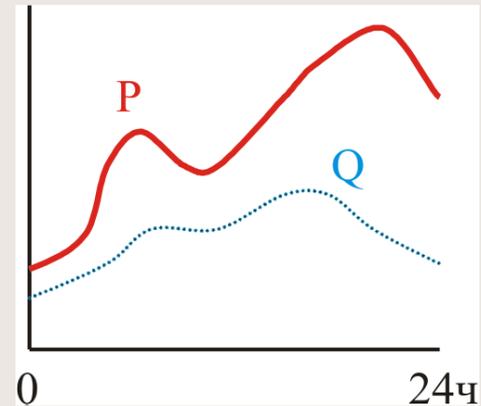
Суточные графики нагрузок

- Суточный график односменного предприятия
- Суточный график двухсменного предприятия



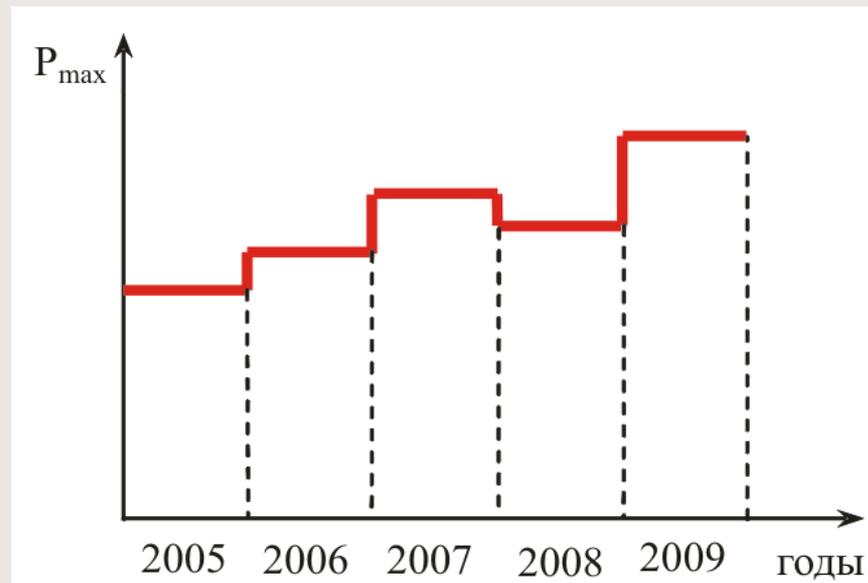
Суточные графики нагрузок

- Суточный график коммунально-бытовой нагрузки
- Суточный график водопровода и насосных станций



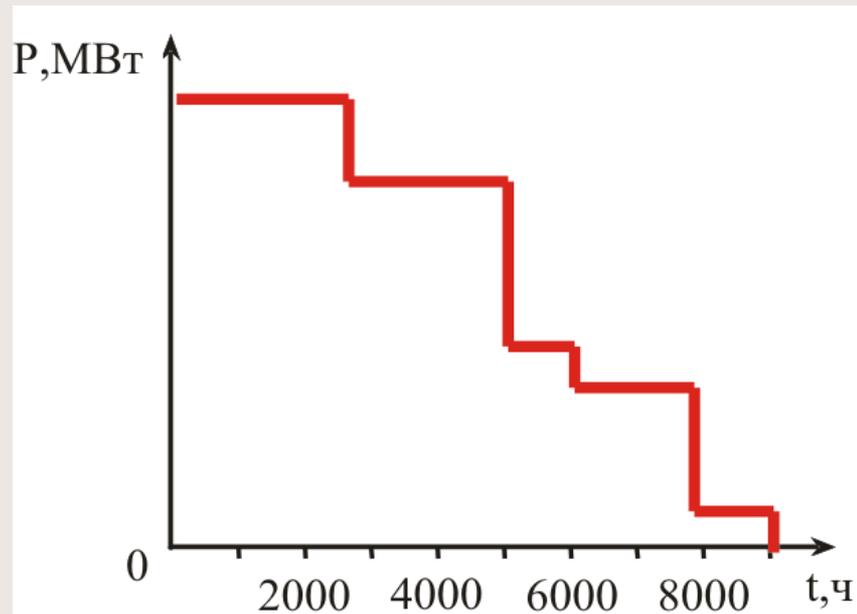
Годовые графики нагрузок

- График годовых максимумов



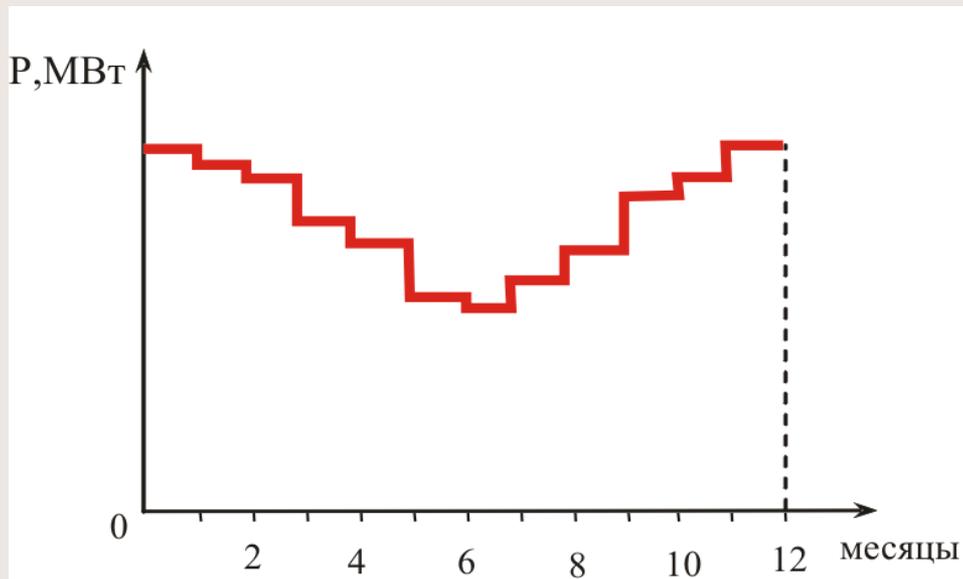
Годовые графики нагрузок

- График по продолжительности



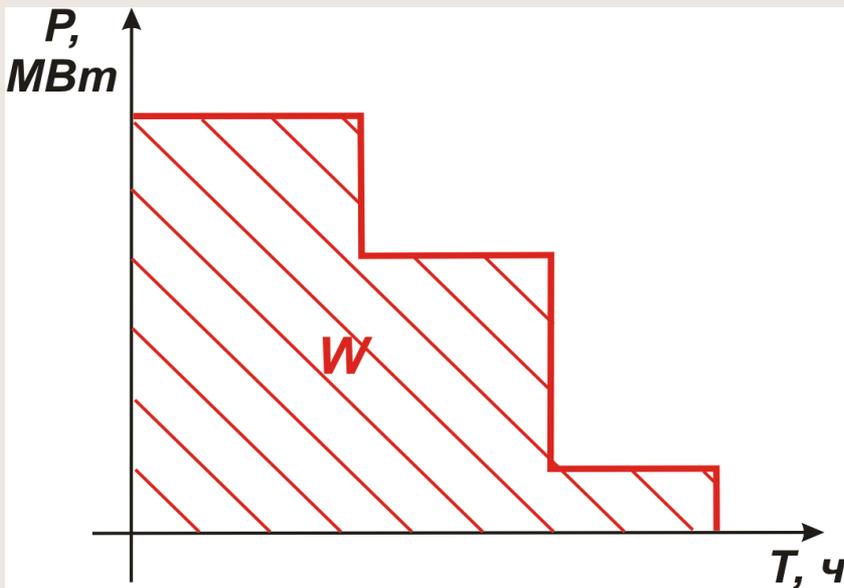
Годовые графики нагрузок

- График наибольших нагрузок по месяцам



Годовые графики нагрузок

Площадь годового графика нагрузки представляет собой электроэнергию, полученную потребителем, в течение года:



$$\int_0^T P dt = W.$$

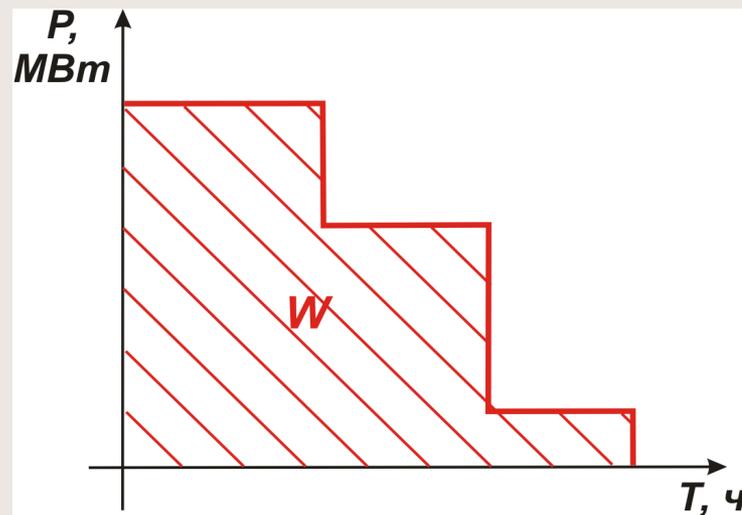
Время использования наибольших нагрузок

- При отсутствии графика нагрузки потребителя электроэнергии можно охарактеризовать с помощью дополнительных показателей.
- Для характеристики наибольшей мощности потребления указывается величина ***$R_{нб}$*** .
- Для характеристики потребляемой энергии за рассматриваемый период времени вводится параметр, называемый временем использования наибольшей нагрузки ***$T_{нб}$*** .

Время использования наибольших нагрузок

- Данная величина может быть определена из справочных материалов, а при наличии графика нагрузки по формуле:

$$T_{НБ} = \frac{W}{P_{НБ}},$$



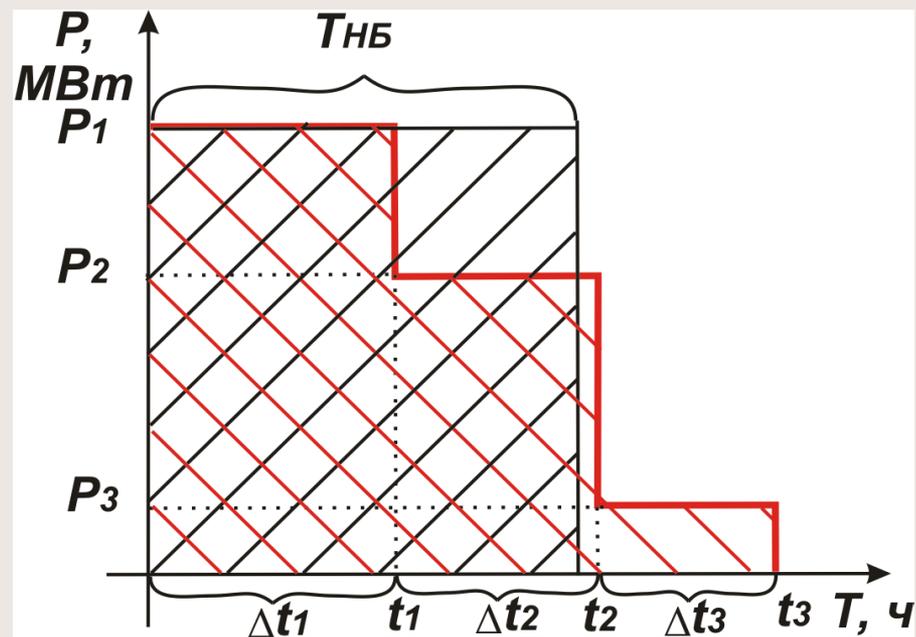
где W – электроэнергия, полученная потребителем за определенный промежуток времени (обычно за год);

$P_{НБ}$ – наибольшее значение мощности потребителя.

Время использования наибольших нагрузок

- $T_{НБ}$, час - время использования наибольшей нагрузки – это время, течение которого при работе потребителя с наибольшей мощностью последний получит такую же энергию, что и при работе по реальному графику ($W = P_{НБ} \cdot T_{НБ}$).

$$T_{НБ} = \frac{W}{P_{НБ}},$$

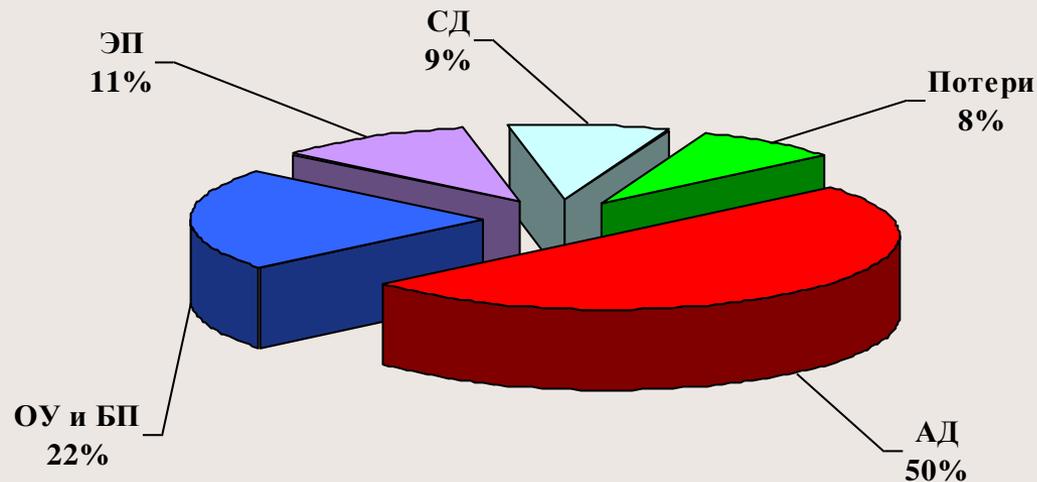


Время использования наибольших нагрузок

- Время использования наибольшей нагрузки важнейший показатель, который характеризует не только потребителя, но и интенсивность работы электрической сети в целом. Так для предприятий его годовая величина может быть оценена в следующих диапазонах:
 - для односменных $T_{НБ} = 2000-3000$ ч;
 - для двухсменных $T_{НБ} = 3000-4500$ ч;
 - для трехсменных $T_{НБ} = 4500-8000$ ч;
 - для коммунально-бытовой нагрузки $T_{НБ} = 1300-3500$ ч.

Состав нагрузок

- Примерный состав потребителей электроэнергии по группам:
- АД – асинхронные двигатели; ОУ и БП – осветительные установки и бытовые потребители; ЭП – электрические печи; СД – синхронные двигатели; потери электроэнергии в сетях

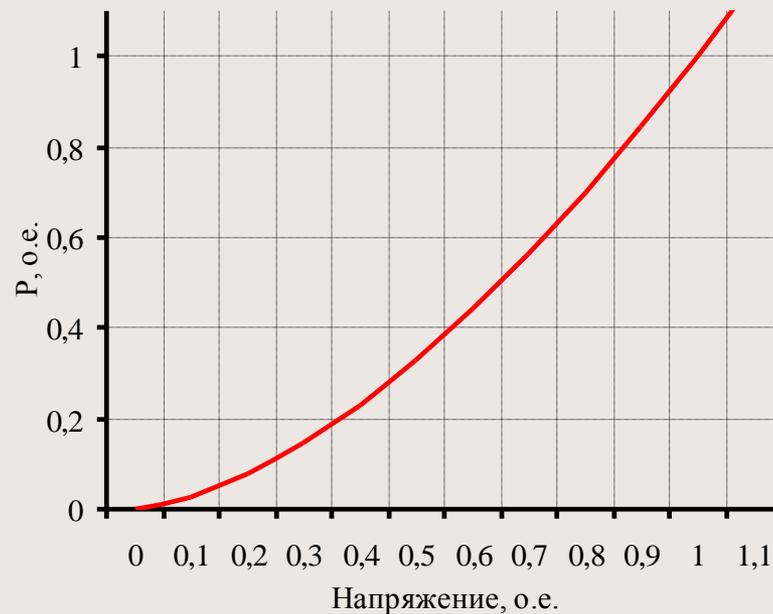


Статические характеристики нагрузки

- Характеристики, дающие зависимость потребляемой нагрузкой мощности от напряжения или от частоты при медленном изменении перечисленных параметров режима, называются **статическими характеристиками нагрузки**
- Статические характеристики представляются в виде кривой или группы кривых. Различают статические характеристики нагрузки **по напряжению и по частоте.**
- Точные характеристики комплексной нагрузки могут быть получены только опытным путем. Тем не менее, у таких характеристик имеются и общие закономерности.

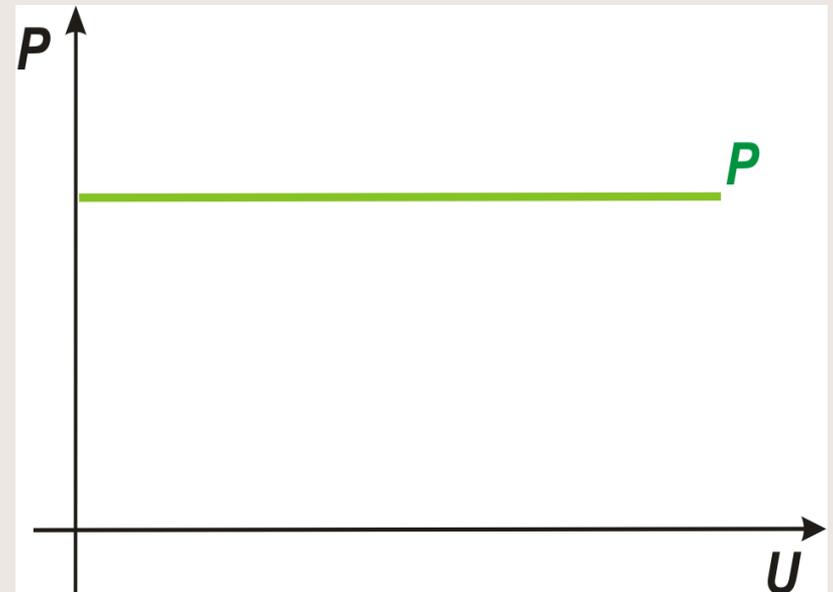
Статическая характеристика по напряжению осветительной установки

- **Активная мощность**, потребляемая осветительной установкой, содержащей лампы **накаливания**, не зависит от частоты и примерно **пропорциональна напряжению в степени 1,6**. **Реактивной мощности такая нагрузка не потребляет**.
- Активная мощность осветительной установки, состоящей из люминесцентных ламп мало, зависит от напряжения, а ее реактивная мощность, как правило, бывает полностью скомпенсирована.



Статические характеристики асинхронного двигателя

- Асинхронный двигатель потребляет мощность, равную мощности рабочей машины, т.е. машины, приводимой во вращение двигателем.
- При этом **активную мощность**, потребляемую асинхронным двигателем **можно считать не зависящей от напряжения** на его зажимах, так как при изменении напряжения в небольших пределах скольжение машины меняется незначительно, поэтому и скорость вращения двигателя и активная мощность на его валу получают малые изменения.



Статические характеристики асинхронного двигателя

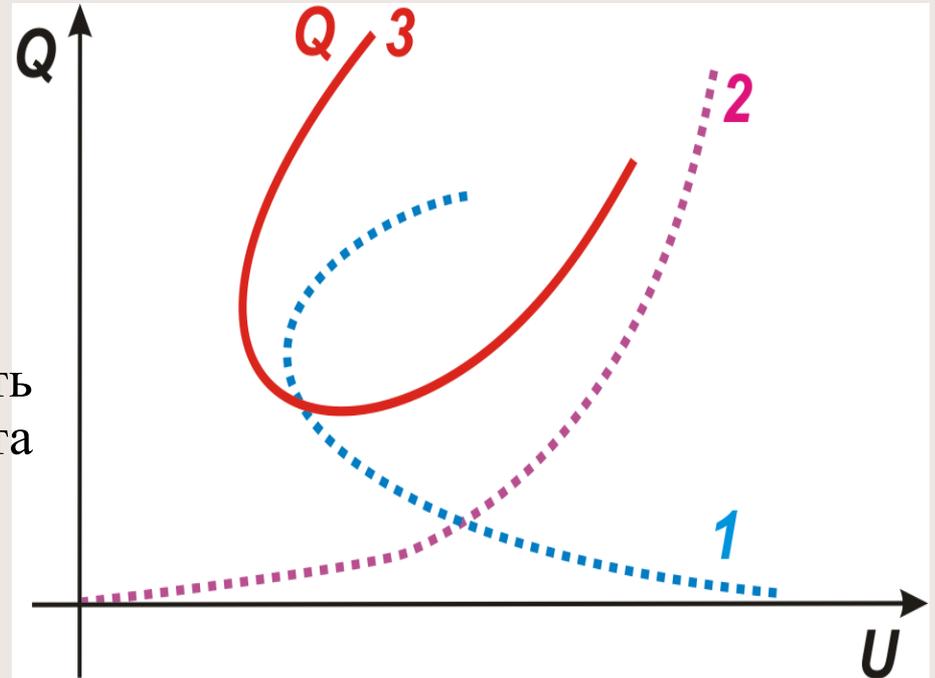
Реактивная мощность, потребляемая двигателем, имеет две составляющие:

$$Q = Q_{\mu} + Q_S,$$

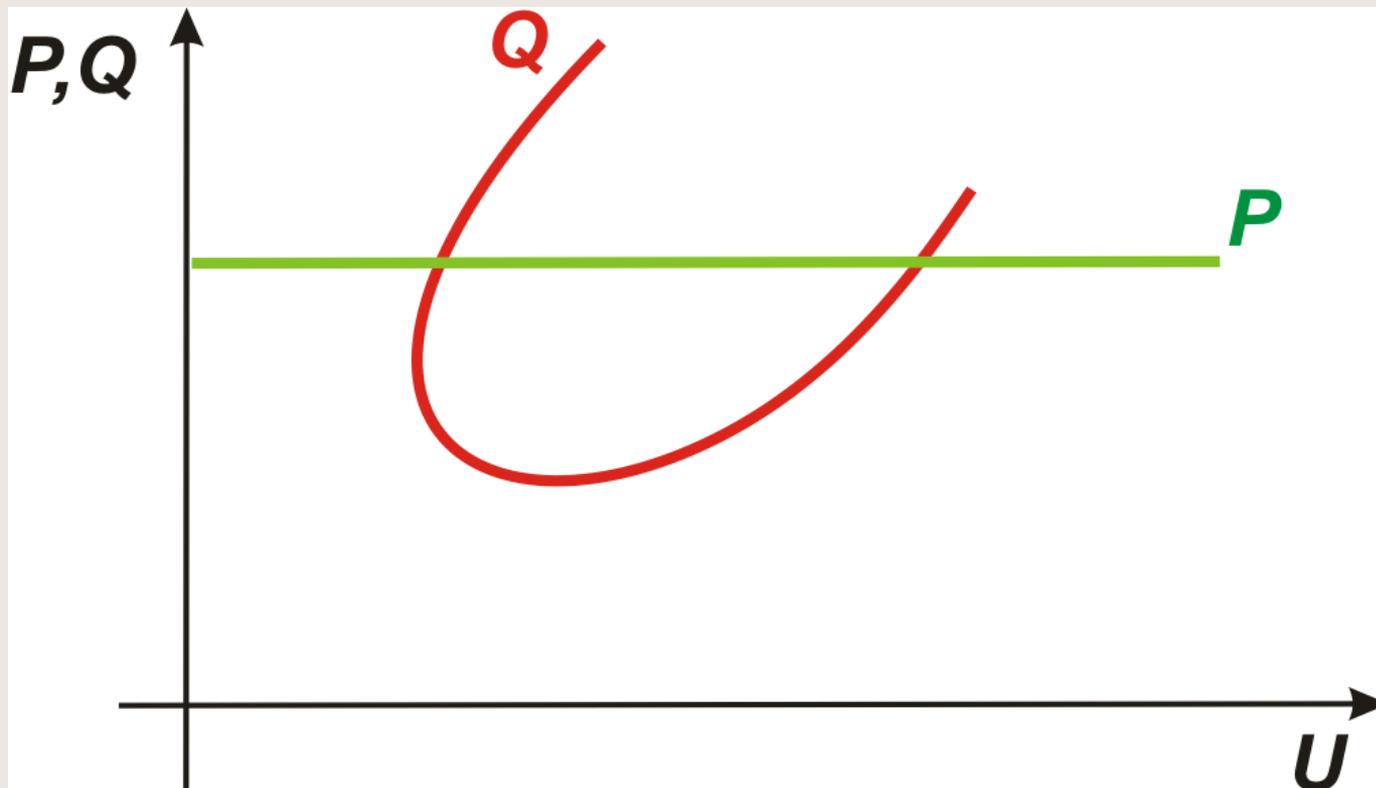
Намагничивающая мощность Q_{μ} зависит от квадрата напряжения:

$$Q_{\mu} = \frac{U^2}{x_{\mu}}.$$

Мощность Q_S пропорциональна квадрату тока: $Q_S = 3 \cdot I^2 \cdot x_S.$

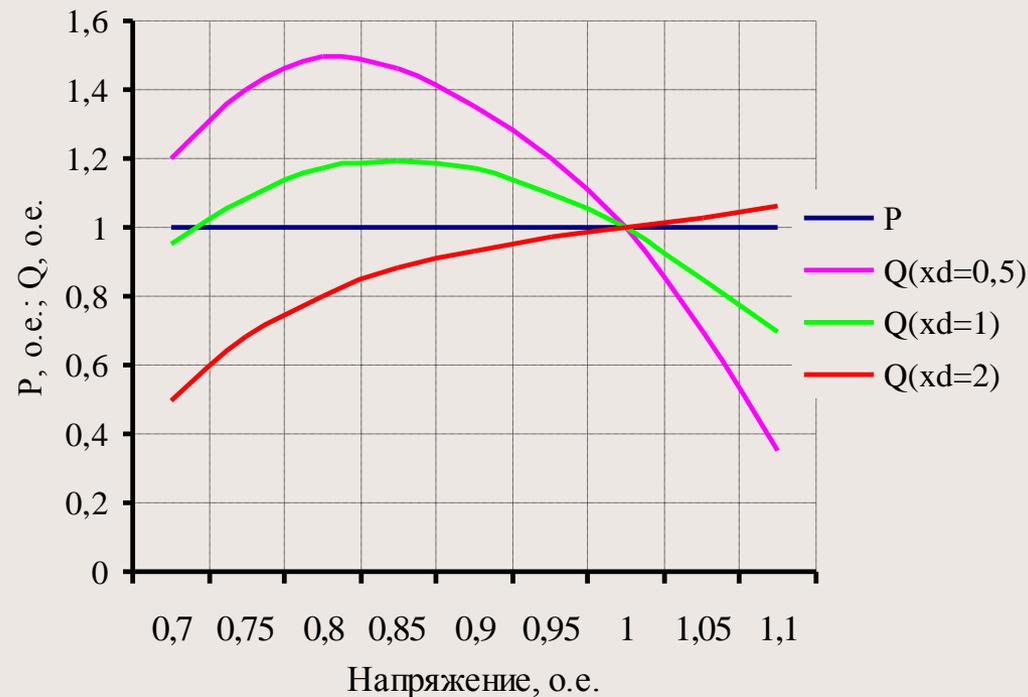


Статические характеристики асинхронного двигателя



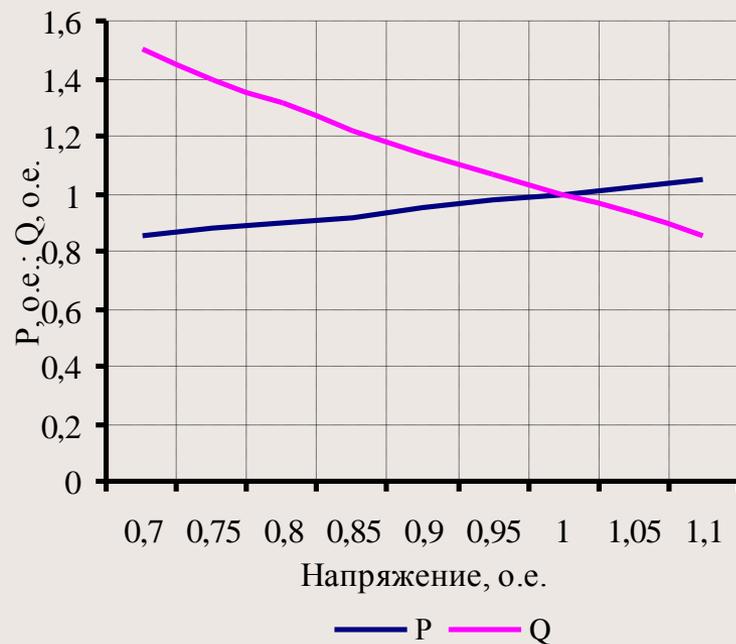
Статические характеристики синхронного двигателя по напряжению

- Зависимости для реактивной мощности синхронного двигателя с независимым возбуждением представлены семейством кривых при различных значениях величины x_d (сопротивления двигателя), принятого в относительных единицах равным значениям 0,5; 1 и 2.



Статическая характеристика по напряжению печной нагрузки

- Печная нагрузка имеет различные характеристики в зависимости от типа печи.
- Дуговые печи и печи сопротивления всех типов от мощных до малых бытовых потребляют **только активную мощность**, ее величина примерно пропорциональна квадрату напряжения.
- Характеристика печей имеет сходство с характеристикой осветительной нагрузки.
- Мощные карборундовые печи потребляют также реактивную мощность, имеющую в области нормальной работы совершенно специфический характер.

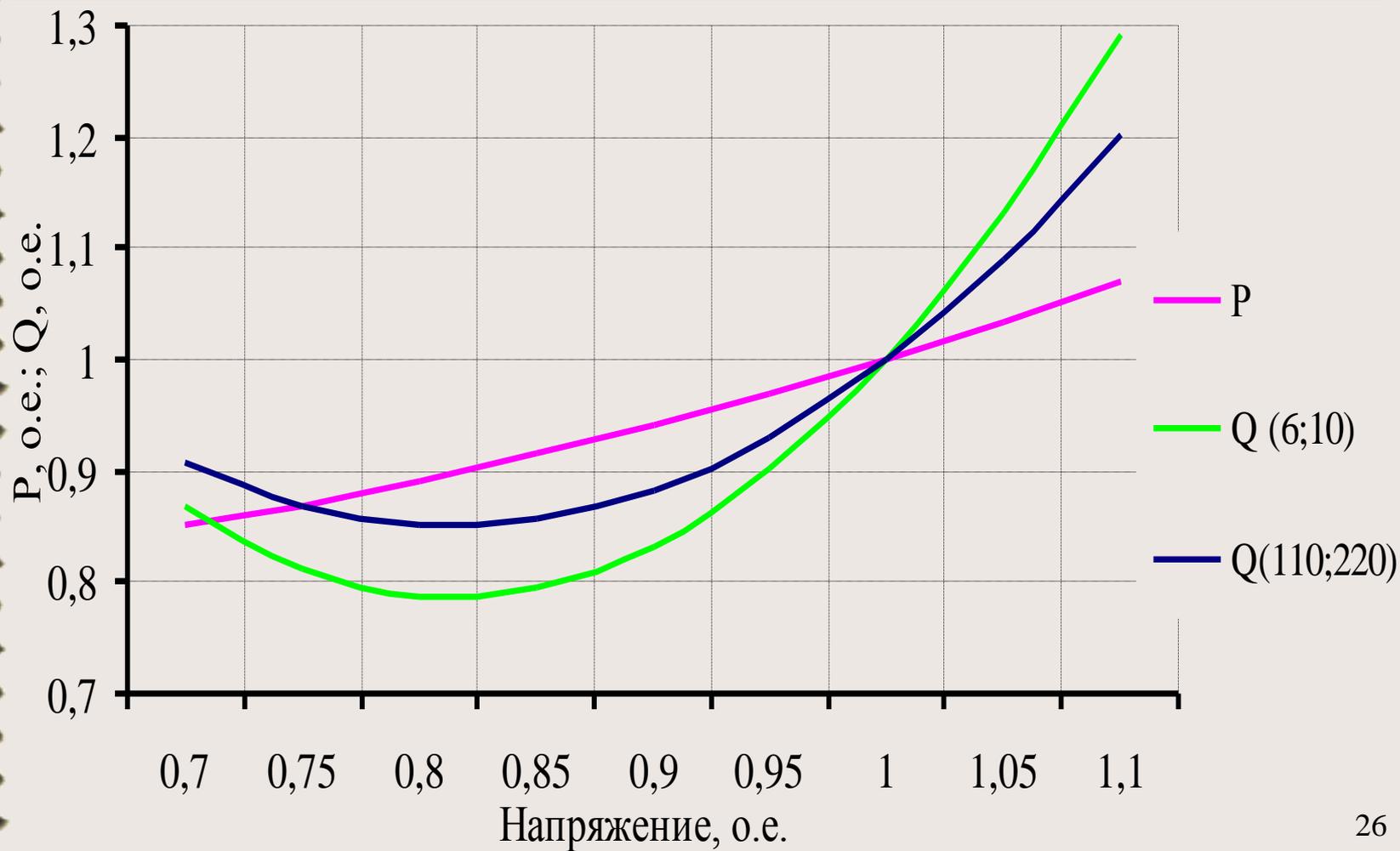


Обобщенные статические характеристики нагрузки по напряжению и по частоте

При анализе режимов крупных электрических сетей принято использовать типовые обобщенные статические характеристики

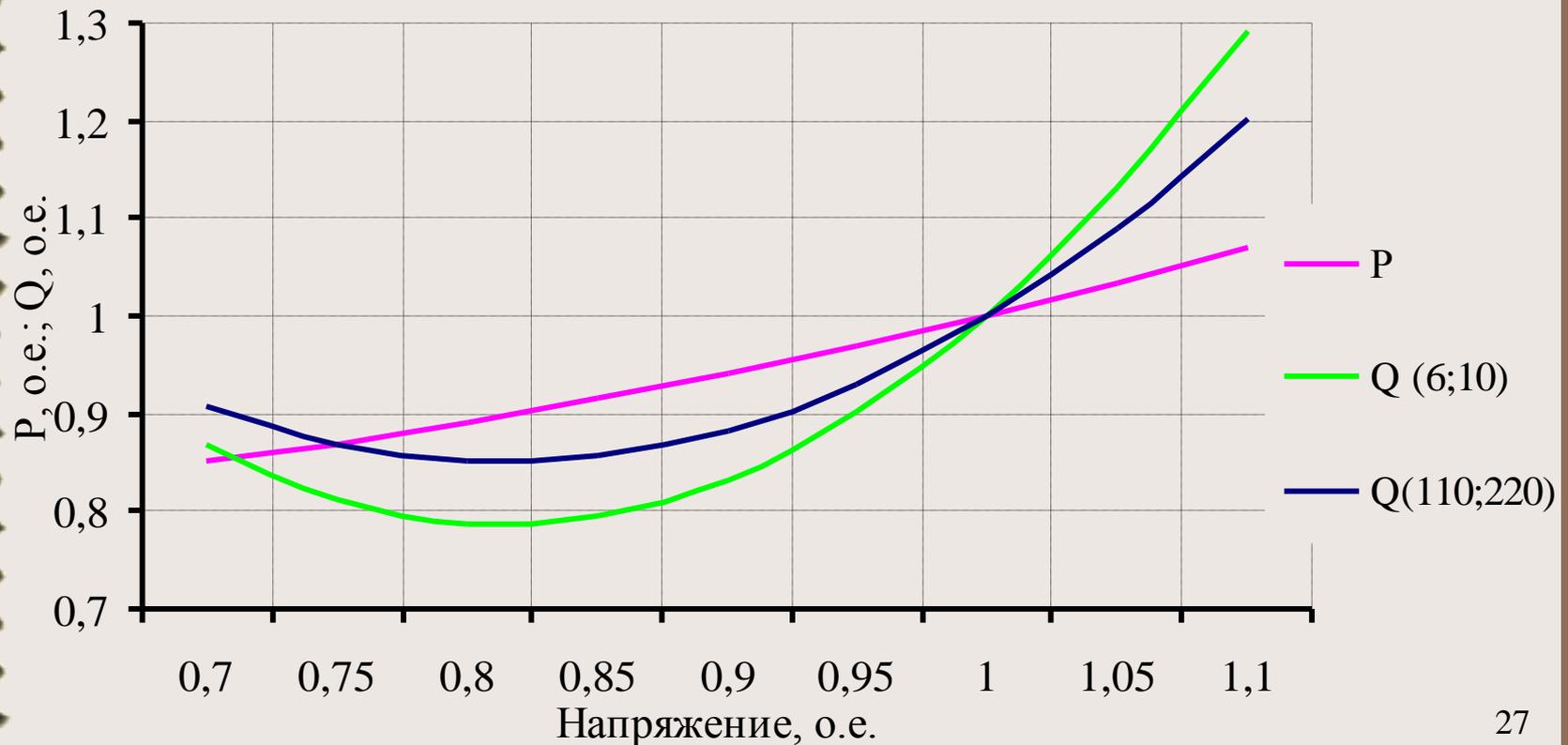
Такие характеристики получены расчетным путем в институте "Энергосетьпроект" для характерного состава нагрузок и их схем соединения.

Обобщенные статические характеристики нагрузки по напряжению



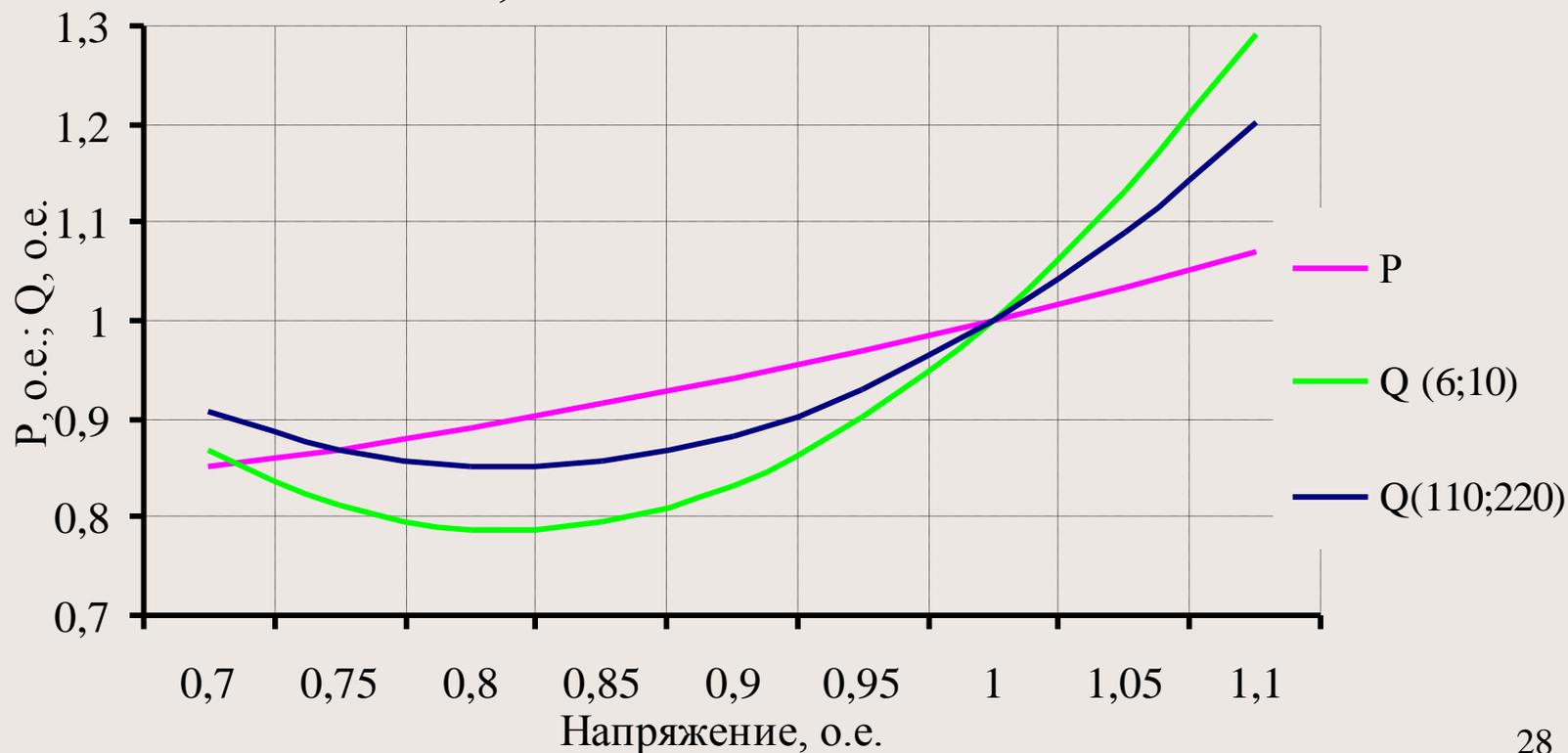
Обобщенные статические характеристики нагрузки по напряжению

при изменении напряжения в узлах потребления активная мощность, потребляемая нагрузкой, меняется меньше реактивной мощности

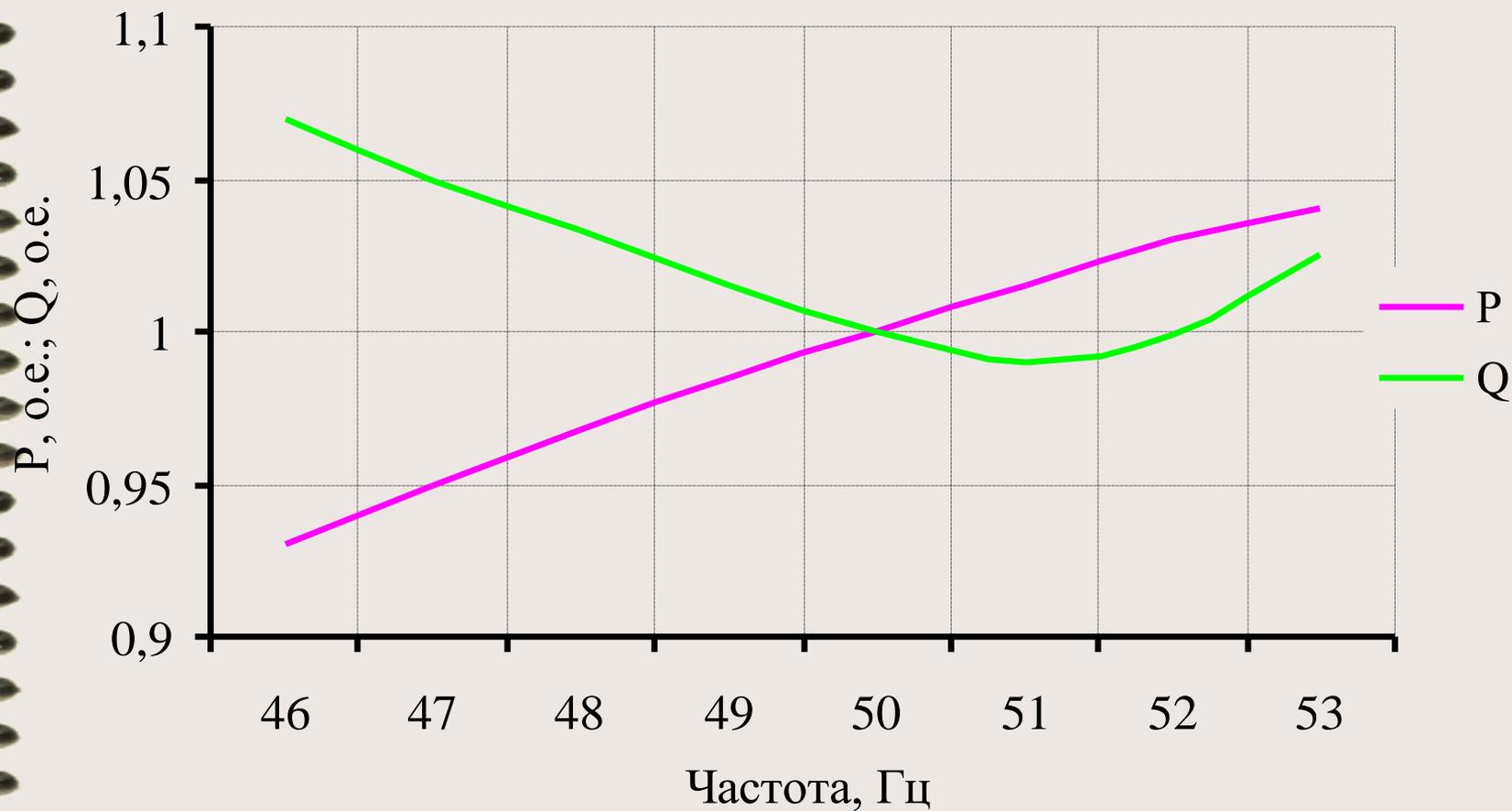


Обобщенные статические характеристики нагрузки по напряжению

Это объясняется тем, что при изменении напряжения в определенных небольших пределах скорость вращения асинхронных двигателей и активная мощность, потребляемая ими, изменяются незначительно



Обобщенные статические характеристики нагрузки по частоте



Обобщенные статические характеристики нагрузки по напряжению и по частоте

Статические характеристики реактивной мощности по напряжению и частоте имеют U -образный характер.

При этом нормальным режимам соответствуют правая ветвь характеристики по напряжению и левая – по частоте.

Поэтому при незначительном снижении напряжения происходит снижение и реактивной мощности нагрузки, а при незначительном снижении частоты потребляемая нагрузкой реактивная мощность увеличивается.

Обобщенные статические характеристики нагрузки по напряжению и по частоте

Регулирующий эффект нагрузки – степень изменения активной и реактивной мощности нагрузки при изменении напряжения или частоты. Численно регулирующий эффект характеризуется значениями частных производных:

$$\frac{\partial P_{\text{НАГР}}}{\partial U_{\text{НАГР}}}; \frac{\partial Q_{\text{НАГР}}}{\partial U_{\text{НАГР}}}; \frac{\partial P_{\text{НАГР}}}{\partial f}; \frac{\partial Q_{\text{НАГР}}}{\partial f}.$$

$\frac{\partial P_{\text{НАГР}}}{\partial U_{\text{НАГР}}}; \frac{\partial P_{\text{НАГР}}}{\partial f}$ - обладают положительным регулирующим эффектом во всем рассматриваемом диапазоне,

Обобщенные статические характеристики нагрузки по напряжению и по частоте

Регулирующий эффект нагрузки – степень изменения активной и реактивной мощности нагрузки при изменении напряжения или частоты. Численно регулирующий эффект характеризуется значениями частных производных:

$$\frac{\partial P_{\text{НАГР}}}{\partial U_{\text{НАГР}}}; \frac{\partial Q_{\text{НАГР}}}{\partial U_{\text{НАГР}}}; \frac{\partial P_{\text{НАГР}}}{\partial f}; \frac{\partial Q_{\text{НАГР}}}{\partial f}.$$

$$\frac{\partial Q_{\text{НАГР}}}{\partial U_{\text{НАГР}}}$$

- при малых изменениях напряжения обладает положительным регулирующим эффектом,

Обобщенные статические характеристики нагрузки по напряжению и по частоте

Регулирующий эффект нагрузки – степень изменения активной и реактивной мощности нагрузки при изменении напряжения или частоты. Численно регулирующий эффект характеризуется значениями частных производных:

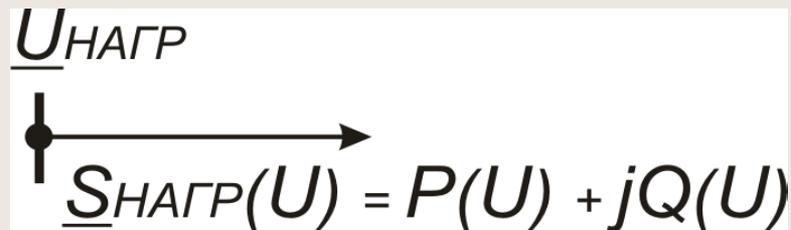
$$\frac{\partial P_{\text{НАГР}}}{\partial U_{\text{НАГР}}}; \frac{\partial Q_{\text{НАГР}}}{\partial U_{\text{НАГР}}}; \frac{\partial P_{\text{НАГР}}}{\partial f}; \frac{\partial Q_{\text{НАГР}}}{\partial f}.$$

$$\frac{\partial Q_{\text{НАГР}}}{\partial f}$$

- во всем рассматриваемом диапазоне обладает отрицательным регулирующим эффектом.

Представление нагрузок в расчетах установившихся режимов

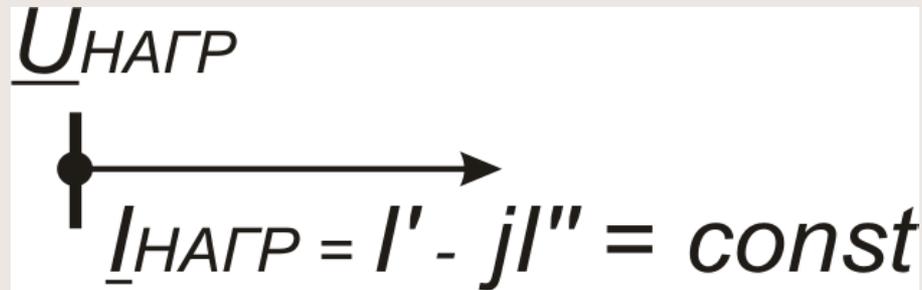
Наиболее точный способ учета электрических нагрузок при расчете режимов работы электрических сетей - представление их в виде статических характеристик по частоте и напряжению.


$$\underline{S}_{НАГР}(U) = P(U) + jQ(U)$$

Однако из-за большой сложности расчетов этот способ применяется лишь в том случае, когда напряжение и частота значительно отличаются от номинальных значений. Чаще ограничиваются менее строгим описанием свойств нагрузки.

Представление нагрузок в расчетах установившихся режимов

Задание нагрузки постоянным по модулю и фазе
ТОКОМ:


$$\underline{U}_{\text{НАГР}}$$
$$\underline{I}_{\text{НАГР}} = I' - jI'' = \text{const}$$

Такой способ представления нагрузки применяется в случаях, когда необходимо отразить изменение мощности нагрузки при изменении напряжения на ее зажимах. Наиболее часто применяется при расчете сетей с номинальным напряжением $U_{\text{НОМ}} \leq 35$ кВ.

Представление нагрузок в расчетах установившихся режимов

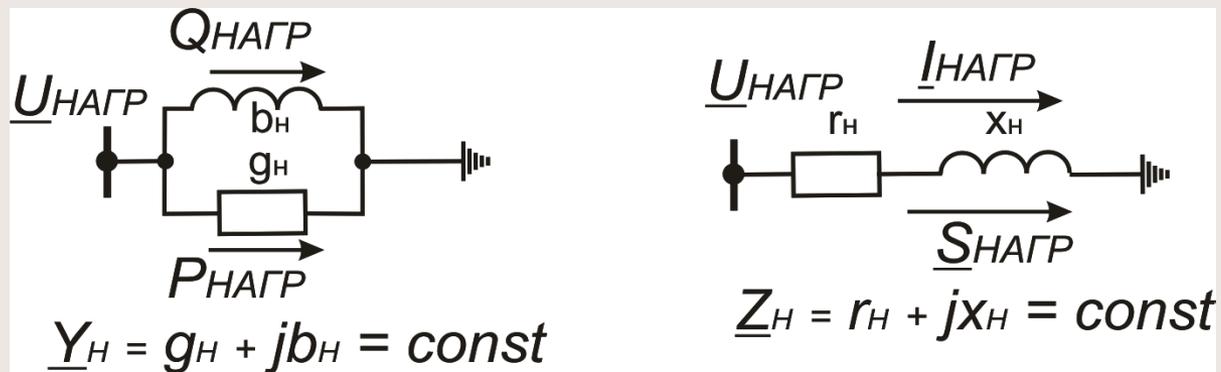
Задание нагрузки **постоянной по величине
мощностью:**

$$\begin{array}{c} \underline{U}_{\text{НАГР}} \\ \downarrow \\ \bullet \longrightarrow \\ \underline{S}_{\text{НАГР}} = P + jQ = \text{const} \end{array}$$

Указанным способом пользуются при расчете
установившихся режимов **питающих и
распределительных сетей высокого напряжения.**

Представление нагрузок в расчетах установившихся режимов

Задание нагрузки постоянными параллельно или последовательно соединенными активным и индуктивным сопротивлениями (проводимостями) :



Указанным способом пользуются при расчете установившихся режимов, характеризующихся значительными изменениями напряжения на зажимах нагрузки.

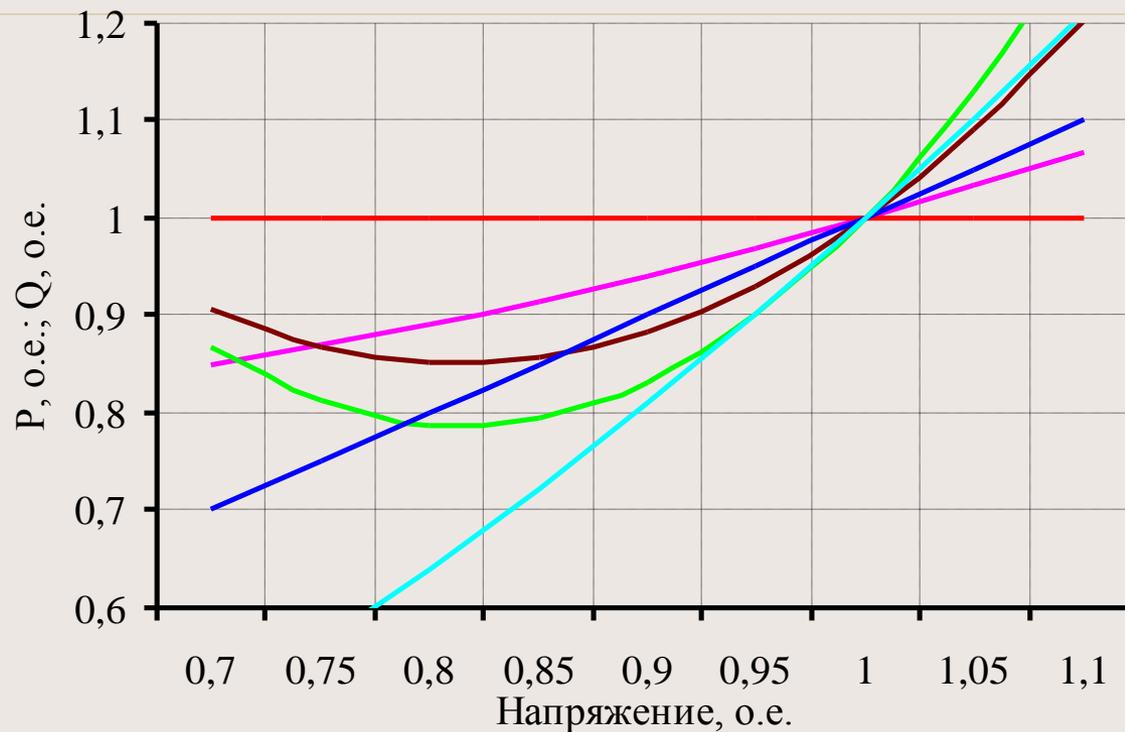
Представление нагрузок в расчетах установившихся режимов

Задание нагрузки постоянными параллельно или последовательно соединенными активным и индуктивным сопротивлениями (проводимостями) :

$$r_H = \frac{U_{\text{НАГР}}^2}{P_{\text{НАГР}}} = \frac{U_{\text{НАГР}}^2}{S_{\text{НАГР}}} \cdot \cos \varphi;$$

$$x_H = \frac{U_{\text{НАГР}}^2}{Q_{\text{НАГР}}} = \frac{U_{\text{НАГР}}^2}{S_{\text{НАГР}}} \cdot \sin \varphi.$$

Способы задания нагрузки для расчетов установившихся режимов.



- обобщенная характеристика P
- обобщенная характеристика Q (110 кВ)
- обобщенная характеристика Q (10 кВ)
- при задании постоянной мощностью
- при задании постоянным током
- при задании постоянными сопротивлениями

Источники дополнительных сведений

- **Идельчик В.И. Электрические системы и сети. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 588 с.**
- **Электрические системы. Т. 2. Электрические сети/ Под ред. В.А. Веникова. - М.: Высшая школа, 1971. - 440 с.**
- **Передача и распределение электрической энергии. Учебное пособие. / Герасименко А.А., Федин В.Т. - Изд. 2-е. – Ростов н/Д : Феникс, 2008. - 715, [2] с. – (Высшее образование).**
- **Боровиков В.А. и др. Электрические сети энергетических систем. Изд. 3-е, переработанное. Л., «Энергия», 1977.**
- **Черепанова Г.А., Вычегжанин А.В. Установившиеся режимы электрических сетей в примерах и задачах. - Киров: изд. ВятГУ, 2009 - 114 с.**



Спасибо за внимание!
