



УГТУ-УПИ
Кафедра Автоматизированных Электрических Систем



ИСТОЧНИКИ И ПОТРЕБИТЕЛИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ



Понятия источника и потребителя электрической энергии

Источник электрической энергии – электроустановка, предназначенная для производства (генерации) электрической энергии путем преобразования различных видов энергии в электрическую, а также часть внешней по отношению к рассматриваемому объекту электроэнергетической системы, содержащая ряд подобных источников.

К реальным источникам электроэнергии относятся все виды электрических станций и генерирующих установок.

Потребитель электрической энергии – группа электроприемников, размещающаяся на определенной территории, представляющая совокупность электрических нагрузок.

К потребителям относятся все виды **электроприемников** – аппаратов, преобразующих электрическую энергию в другие формы энергии.

Выработка и потребление электроэнергии в электрических системах зависят от параметров качества электроэнергии – частоты в сети f и напряжения U на шинах электростанции или потребителя.



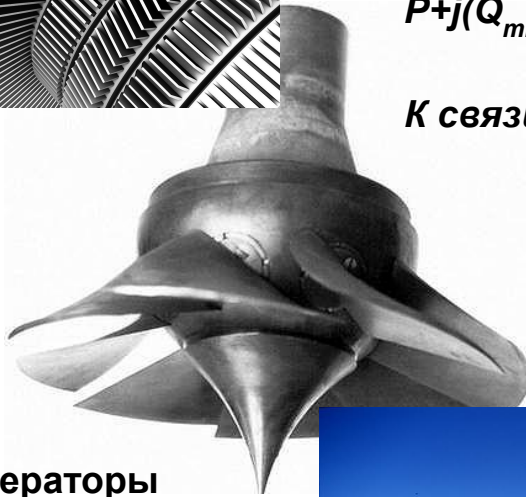
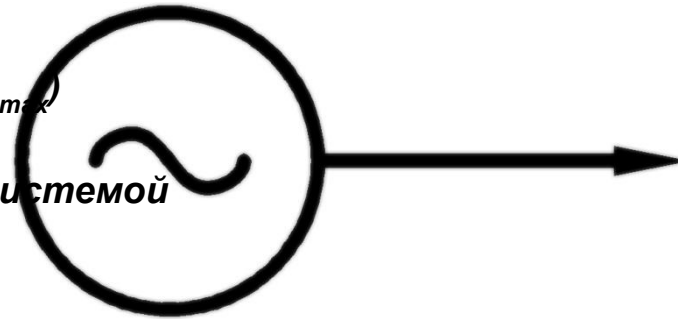
Основные источники электроэнергии

Турбогенераторы тепловых и атомных электростанций



$$P + j(Q_{min} \div Q_{max})$$

К связи с системой



Гидрогенераторы
гидроэлектростанций

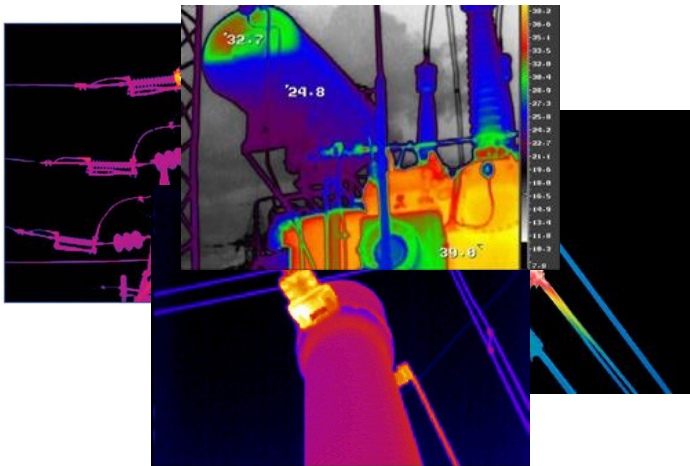
Другие источники





Потери в сетях как потребление электроэнергии

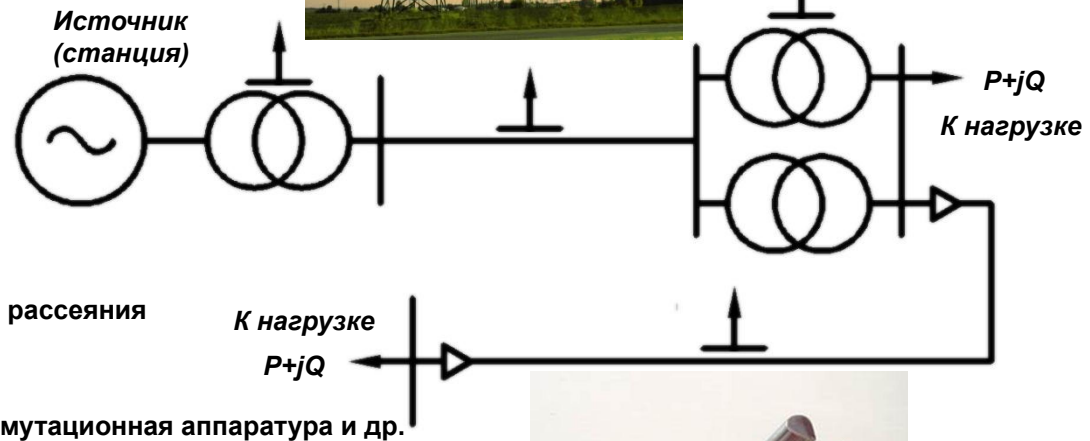
Потери активной мощности P и энергии \mathcal{E} на нагрев проводников



Воздушные ЛЭП



Трансформаторы,
автотрансформаторы,
реакторы



Потери реактивной мощности Q на создание полей рассеяния



06.06.2017

Коммутационная аппаратура и др.



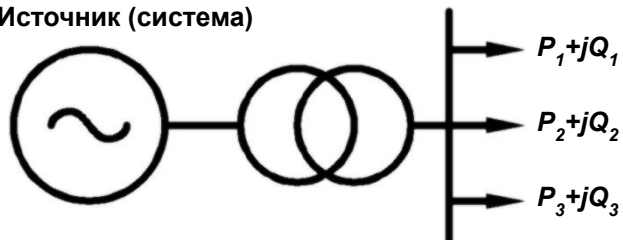
Кабельные ЛЭП





Потребители электроэнергии

Источник (система)



Полупроводниковые преобразователи и выпрямители

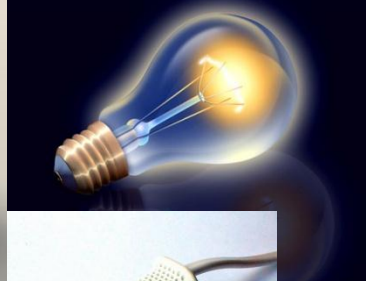


Установки электролиза

Синхронные двигатели



Освещение



Асинхронные двигатели

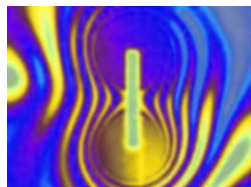


Электрические печи



Бытовые потребители

Активная мощность P преобразуется в электроприемниках в другие виды энергии (тепловая, механическая, химическая), полезные человеку



Реактивная мощность Q расходуется на создание магнитных полей для функционирования электрических и электронных аппаратов, т.е. полезна человеку только косвенно



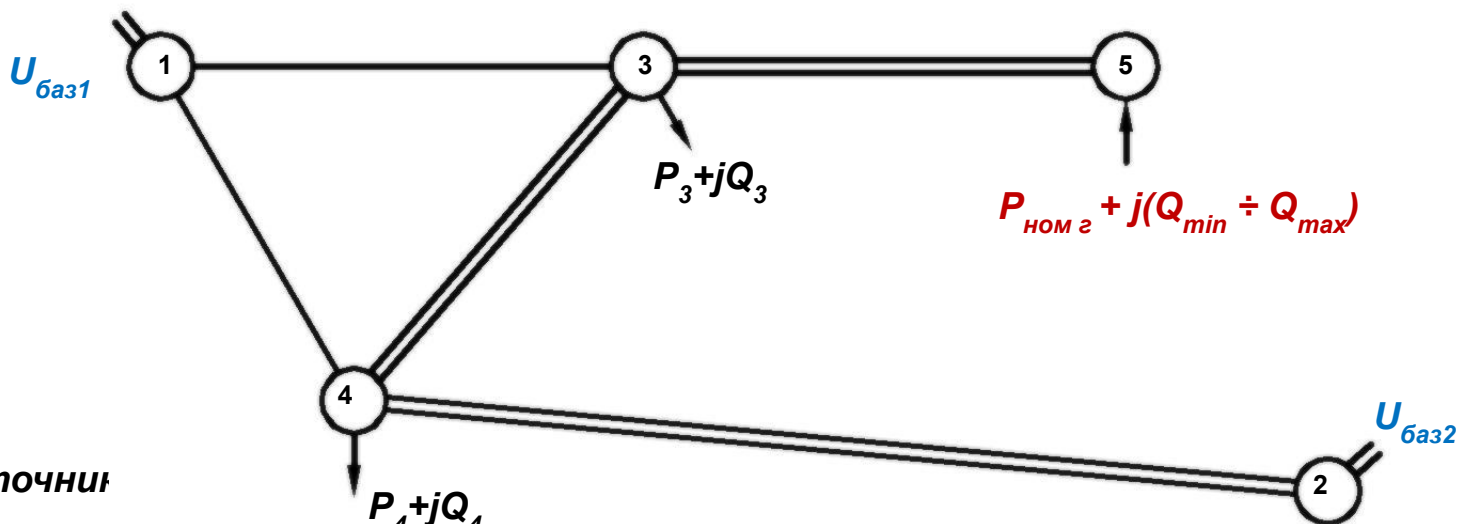
Представление источников электроэнергии при расчетах установившихся режимов

При расчетах установившихся режимов района электрической сети все источники условно делят на две группы.

1. Источники *конечной мощности*:

– электрические станции.

$$P = \text{const}, \quad Q \in [Q_{\min}; Q_{\max}]$$



2. Источники

– узлы связи с системами бесконечной мощности через шины мощных ТЭС.

06.06.2017

$$U = \text{const}, \quad \psi = \text{const}, \quad P, \quad Q.$$

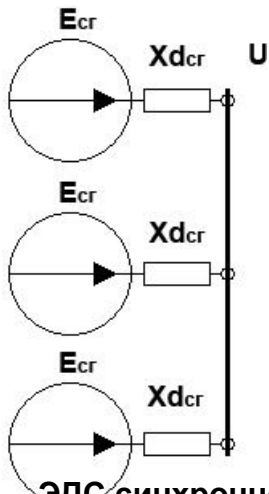


Модели источников в соответствии с теоретическими основами электротехники

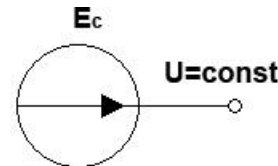
Кафедра Автоматизированных Электрических Систем

1. Источники конечной мощности:

- напряжение на шинах источника зависит от выдачи мощности и режима системы;
- имеется внутреннее сопротивление источника;



$$\underline{U} = \underline{E}_{cr\Sigma} - \underline{I} X_{d_{cr\Sigma}}$$



$$\underline{U} = \underline{E}_c = \text{const}$$

E_{cr} – ЭДС синхронного генератора;

$X_{d_{cr}}$ – индуктивное сопротивление синхронного генератора.

2. Источники бесконечной мощности:

- напряжение на источнике неизменно;
- внутреннее сопротивление источника отсутствует;

06.06.2017



Потребление электроэнергии при изменении параметров ее качества

При отклонениях частоты f и напряжения U от номинальных значений меняются величины нагрузок в узлах электрической сети.

Зависимости активных и реактивных мощностей потребителей от частоты и напряжения, построенные при медленном изменении f и U , называются *статическими характеристиками нагрузки*. Виды этих характеристик зависят от типа потребителей.

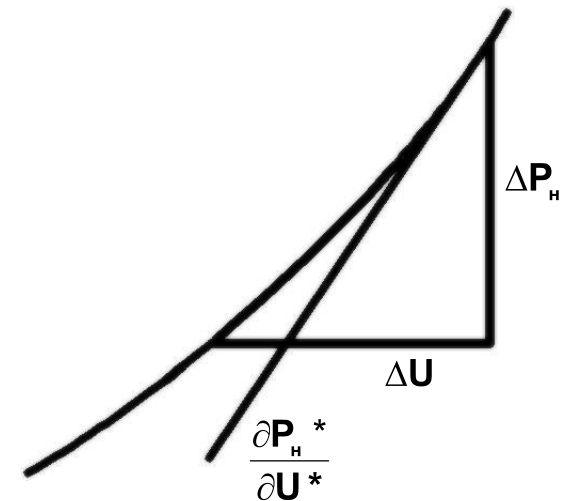
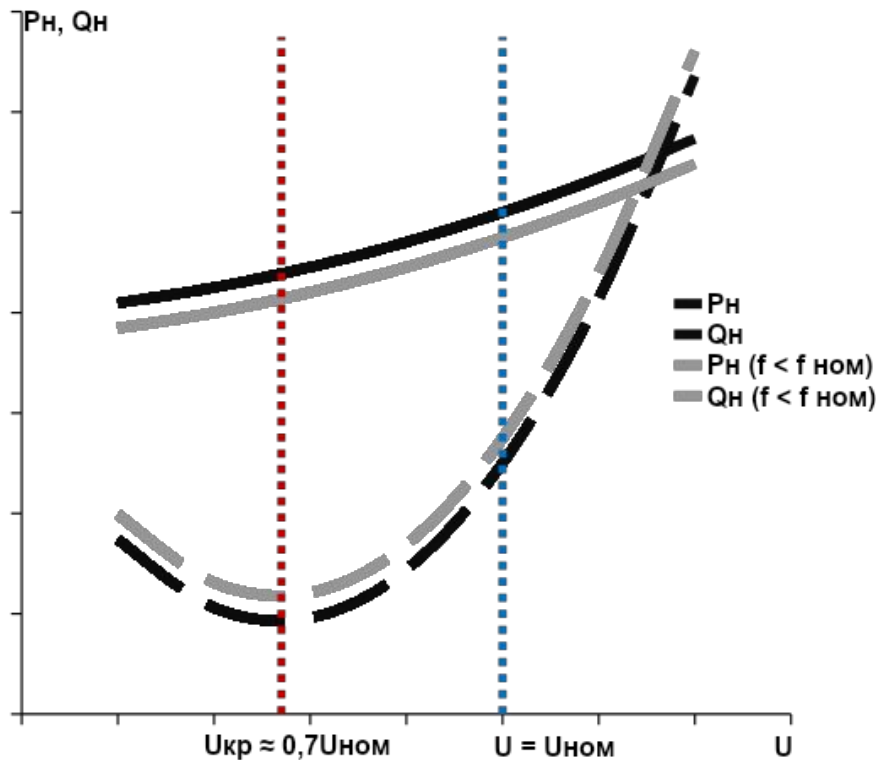
Для расчета параметров установившегося режима системообразующей и распределительной сетей в первую очередь представляют интерес *статические характеристики нагрузок по напряжению (СХН)* $P_H = f(U)$, $Q_H = f(U)$.

Явление снижения мощности нагрузки при снижении напряжения на шинах потребителя получило название *регулирующего эффекта нагрузки*. Количественно регулирующий эффект нагрузки определяется производными статических характеристик

$$\frac{\partial P_H}{\partial U} \text{ и } \frac{\partial Q_H}{\partial U}$$



Статические характеристики по напряжению. Регулирующий эффект нагрузки



$$\frac{\partial P_H^*}{\partial U^*} = 0,6 \approx \frac{\Delta P_H^*}{\Delta U^*}$$

$$\frac{\partial Q_H^*}{\partial U^*} = 1,6 - 2,3$$



Способы представления электрических нагрузок при расчетах установившихся режимов

Критерии выбора способа представления нагрузок:

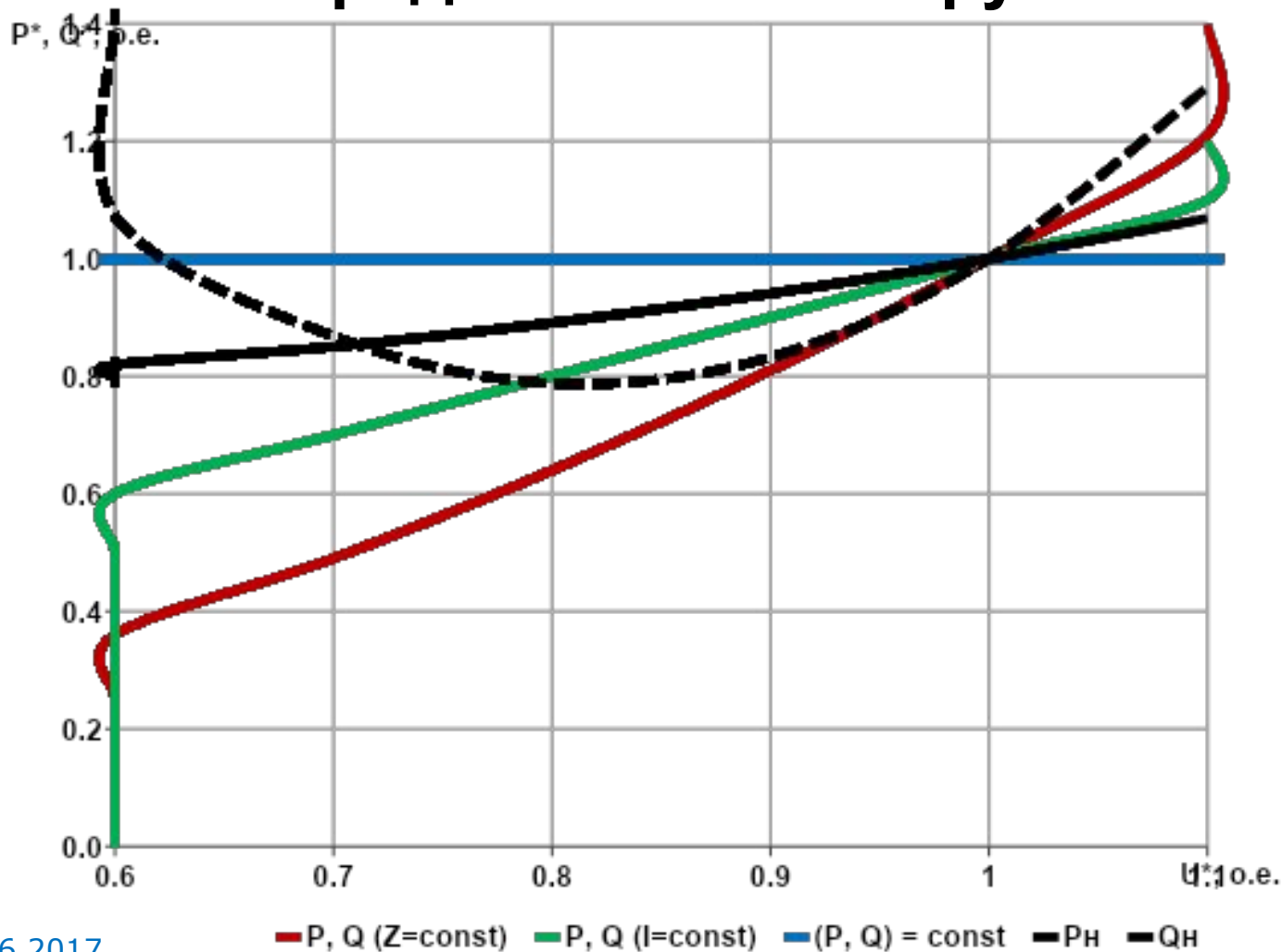
- цели и задачи расчетов;
- точность расчетов;
- состав нагрузки;
- рассчитываемые режимы.

Нагрузка может задаваться:

- неизменными активной и реактивной мощностями P_H , Q_H ;
- неизменным сопротивлением Z_H или R_H , X_H ;
- неизменным током \dot{I}_H ;
- в смешанном виде;
- статическими характеристиками по напряжению $P_H = f(U)$, $Q_H = f(U)$.



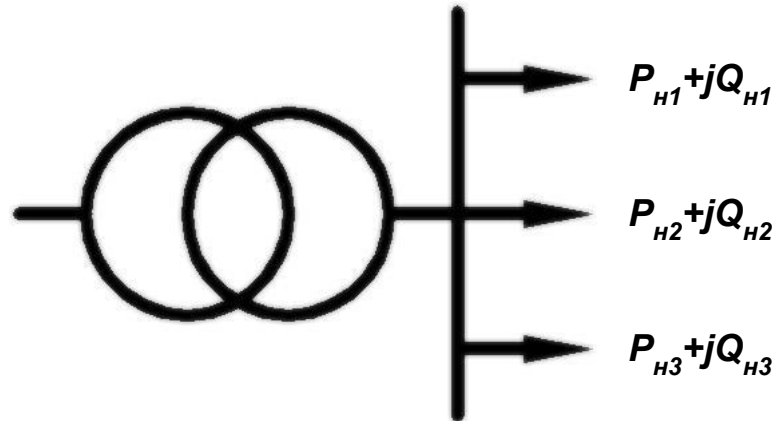
Сопоставление различных способов представления нагрузок





Представление нагрузок неизменными активными и реактивными мощностями

Применяется в проектных расчетах с использованием прогнозных мощностей нагрузок.



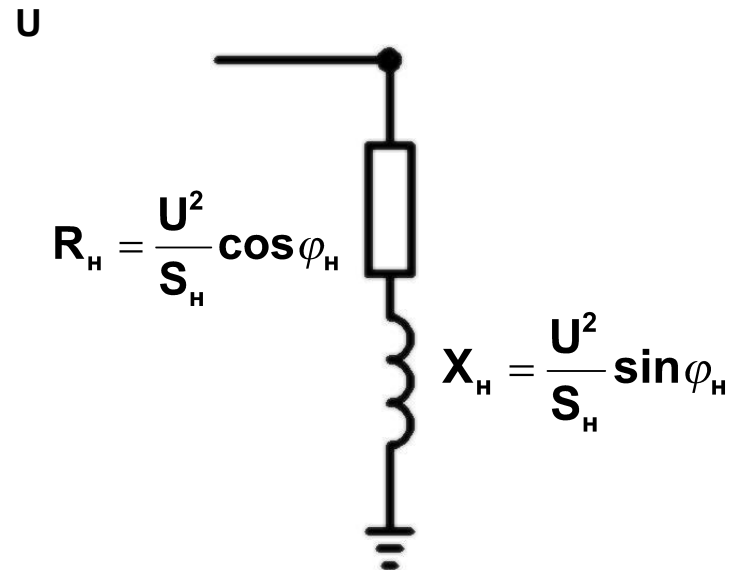
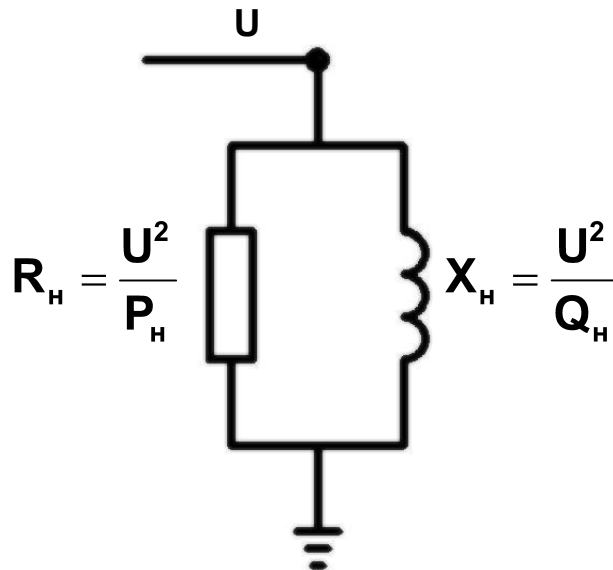
$$P_H = \text{const}, \quad Q_H = \text{const}.$$

- «+» Наиболее распространенный и простой способ.
Универсальный способ: учет комбинированной нагрузки.
- «-» Отсутствие учета изменения нагрузки при изменении напряжения.



Представление нагрузок неизменными сопротивлениями

Применяется при расчетах режимов для учета нелинейного характера зависимости мощностей нагрузок от напряжения.



- «+» Эффективный учет пассивной нагрузки.
Частичный учет изменения нагрузки при изменении напряжения.
- «-» Недостоверный учет двигательной нагрузки.
Недостоверные результаты расчета тяжелых режимов.

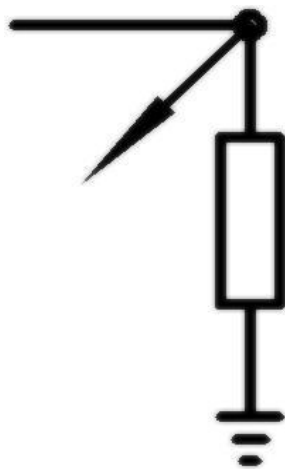


Представление нагрузок в смешанном виде

Используется для расчета сложных схем методом уравнений узловых напряжений и позволяет учесть статические характеристики нагрузки по напряжению при одновременном сохранении линейности системы уравнений.

$$\mathbf{I} = \mathbf{I}' - j\mathbf{I}''$$

$$\mathbf{Y}_H = \mathbf{G}_H - j\mathbf{B}_H$$



$$S_H = \dot{U} \left(\sqrt{3} \mathbf{I} + \frac{\mathbf{U}}{\hat{Z}} \right)^*$$

$$P_H = \gamma_1 U + \gamma_2 U^2$$

$$Q_H = \gamma'_1 U + \gamma'_2 U^2$$

$$\gamma_1 = \sqrt{3} \mathbf{I}'_H \quad \gamma_2 = \mathbf{G}_H \quad \gamma'_1 = \sqrt{3} \mathbf{I}''_H \quad \gamma'_2 = \mathbf{B}_H$$

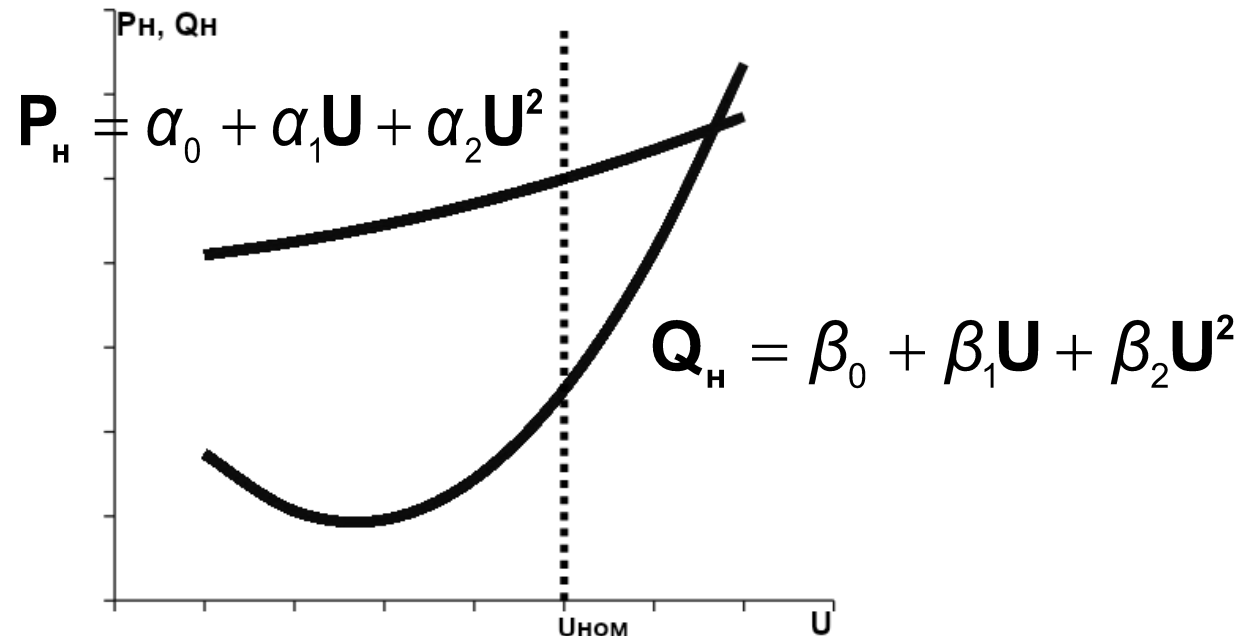
«+» Эффективный учет статических характеристик нагрузок по напряжению.
Учет всех видов нагрузки.

«-» Объем и сложность вычислений.



Представление нагрузок статическими характеристиками

Используется для качественного анализа поведения всех видов нагрузок во всем диапазоне изменения напряжения, для точного учета с помощью экспериментально полученных зависимостей.



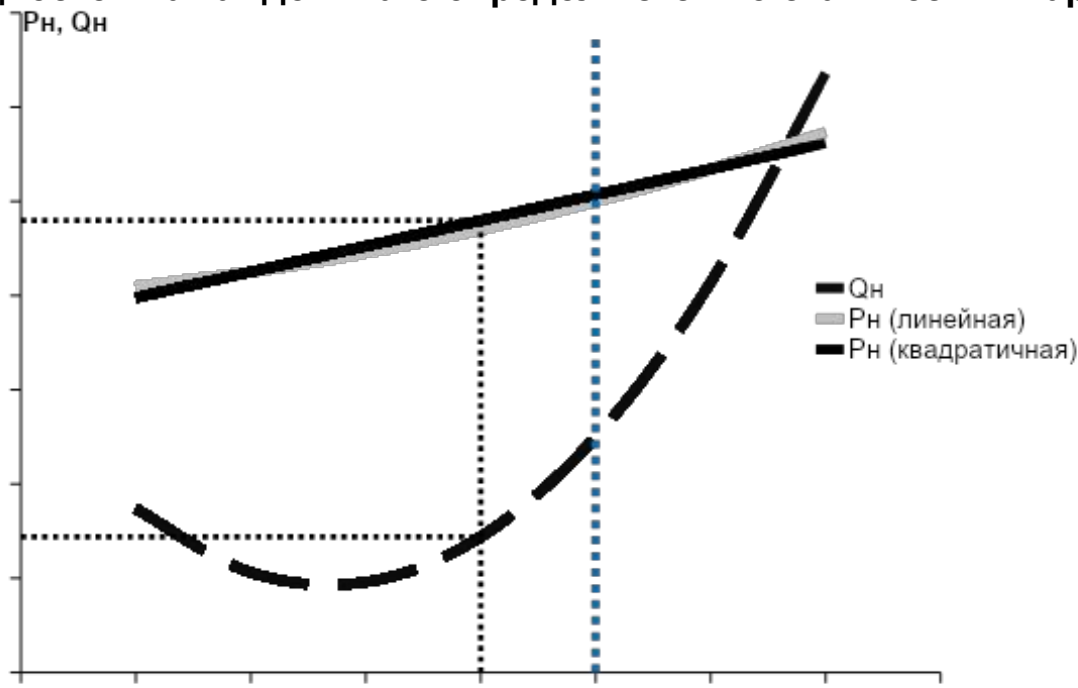
«+» Наиболее точный способ задания нагрузок.

«-» Нелинейность системы уравнений. Объем и сложность вычислений.



Аппроксимация статических характеристик при расчетах

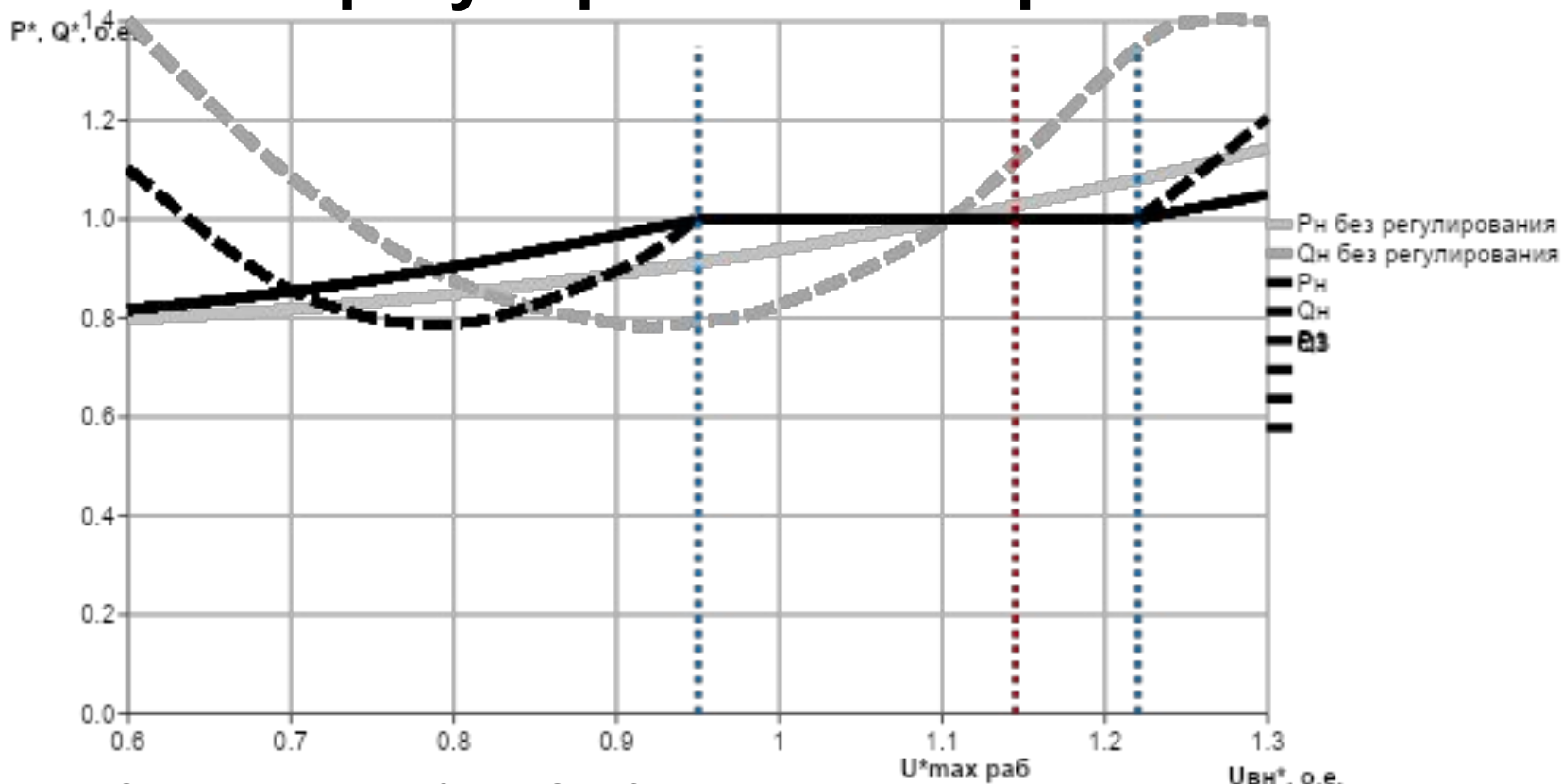
При расчетах установившихся режимов с использованием СХН значения активной и реактивной мощностей на каждом шаге определяются по статическим характеристикам.



Обычно для представления статических характеристик принимается квадратичная аппроксимация. Для представления мощностей, особенно активной, при небольших отклонениях напряжения от номинального, возможна линейная аппроксимация.



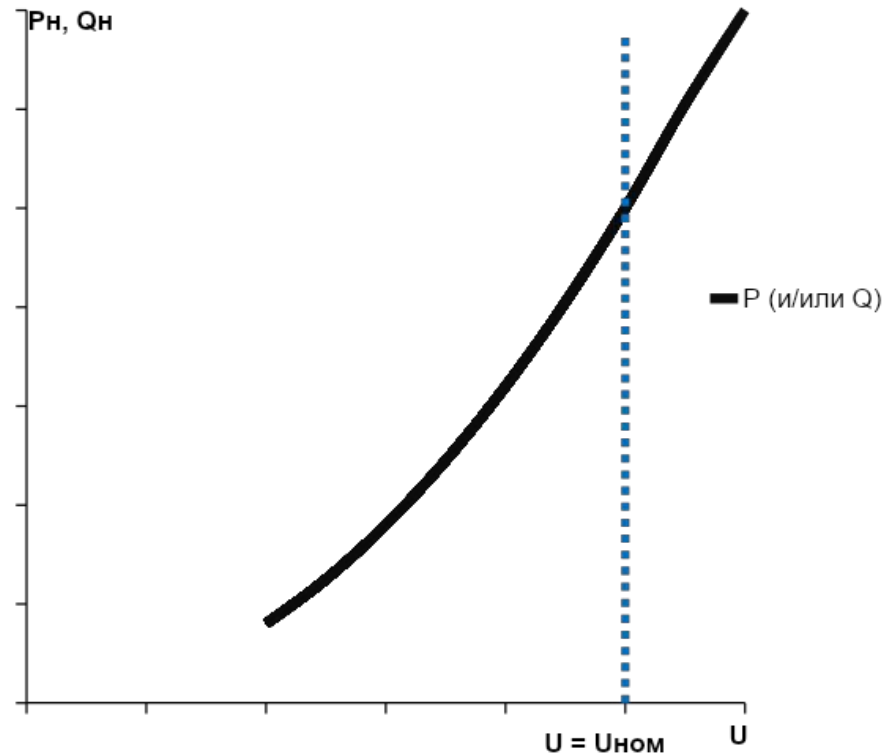
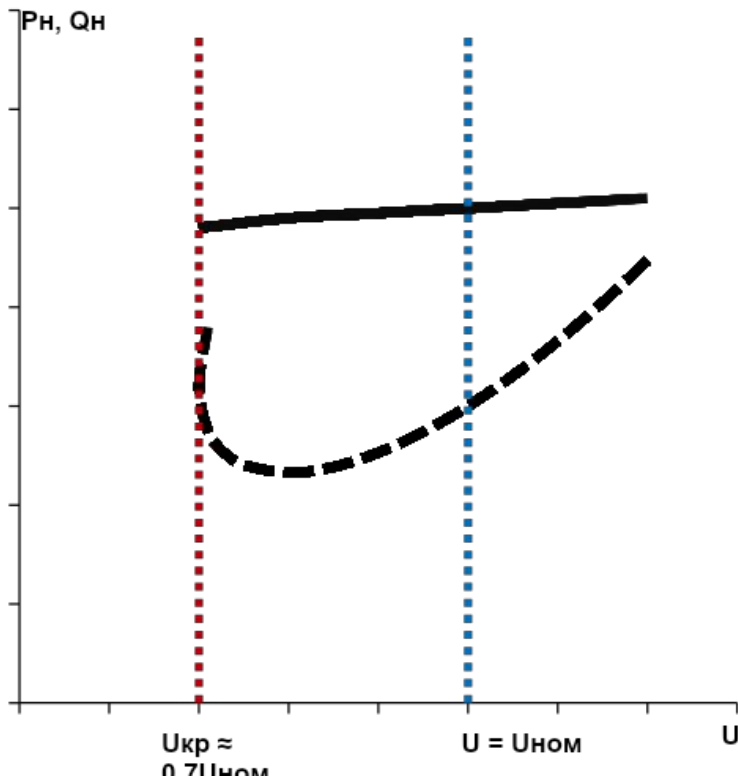
Статические характеристики нагрузки при регулировании напряжения



Зависимости $P_n = f(U_{вн})$, $Q_n = f(U_{вн})$ приведены в относительных единицах для типового трансформатора $U_{вн} / U_{нн} = 115/10,5$, $U_k = 10,5\%$, устройство РПН $\pm 9 \cdot 1,78\% \cdot 115$.



Статические характеристики по напряжению основных видов нагрузок

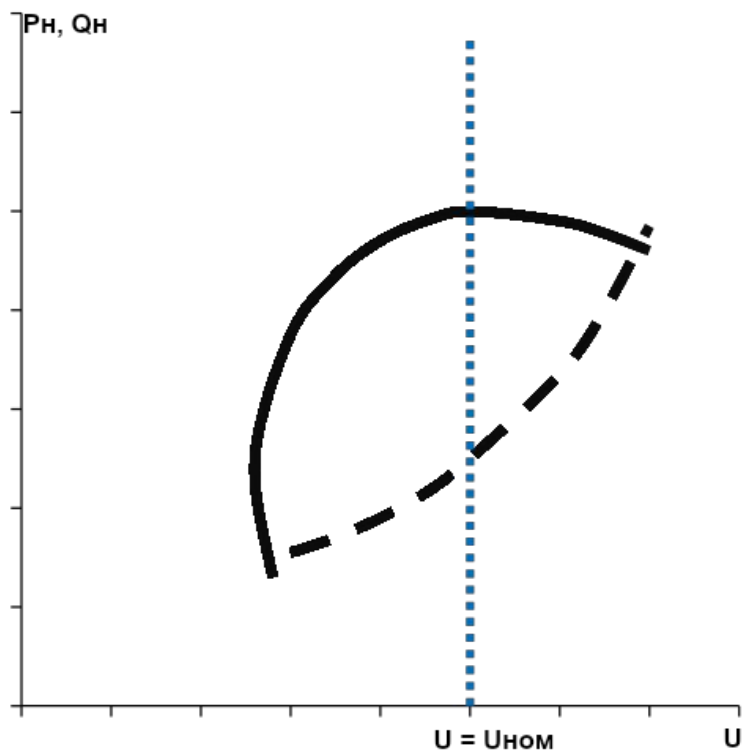


Асинхронная:

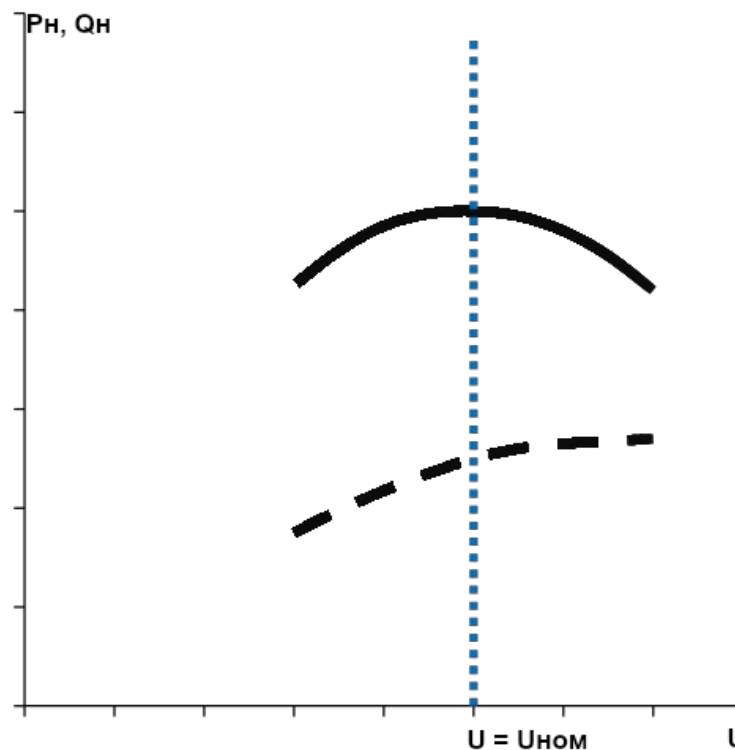
крупные и мелкие асинхронные двигатели.



Статические характеристики по напряжению других видов нагрузок



— P — Q



— P — Q

Выпрямительная:

мощные полупроводниковые выпрямители,
выпрямительные подстанции ППТ.

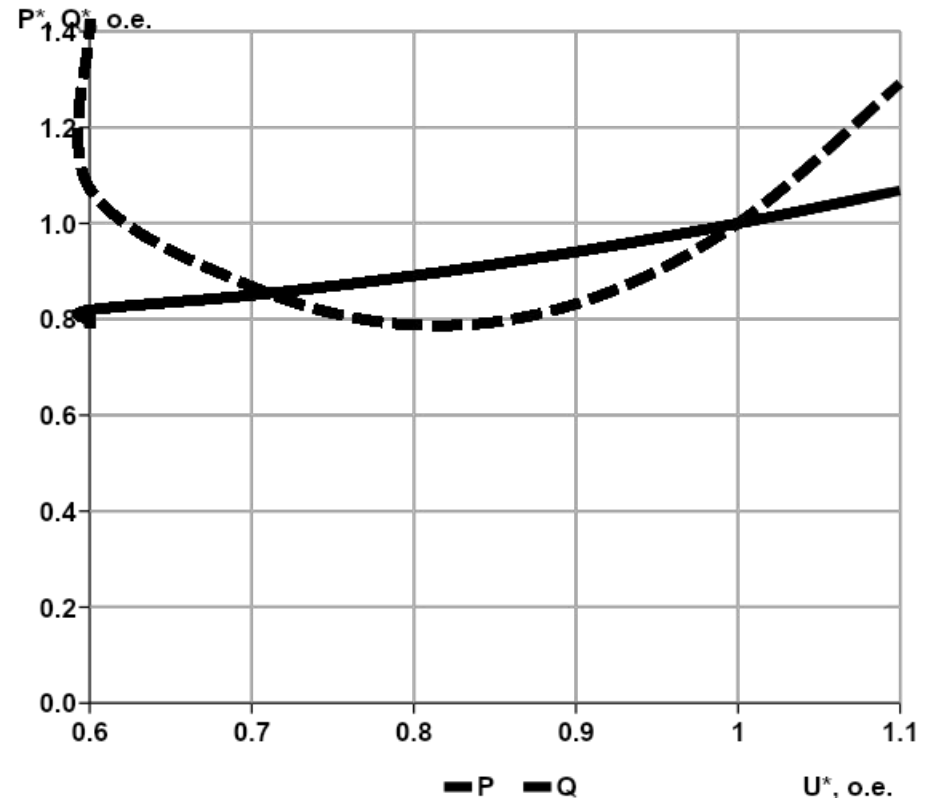


Статические характеристики по напряжению комплексных нагрузок

В общем случае используются типовые обобщенные СХН для характерного в отечественных ЭЭС состава нагрузок (в %):

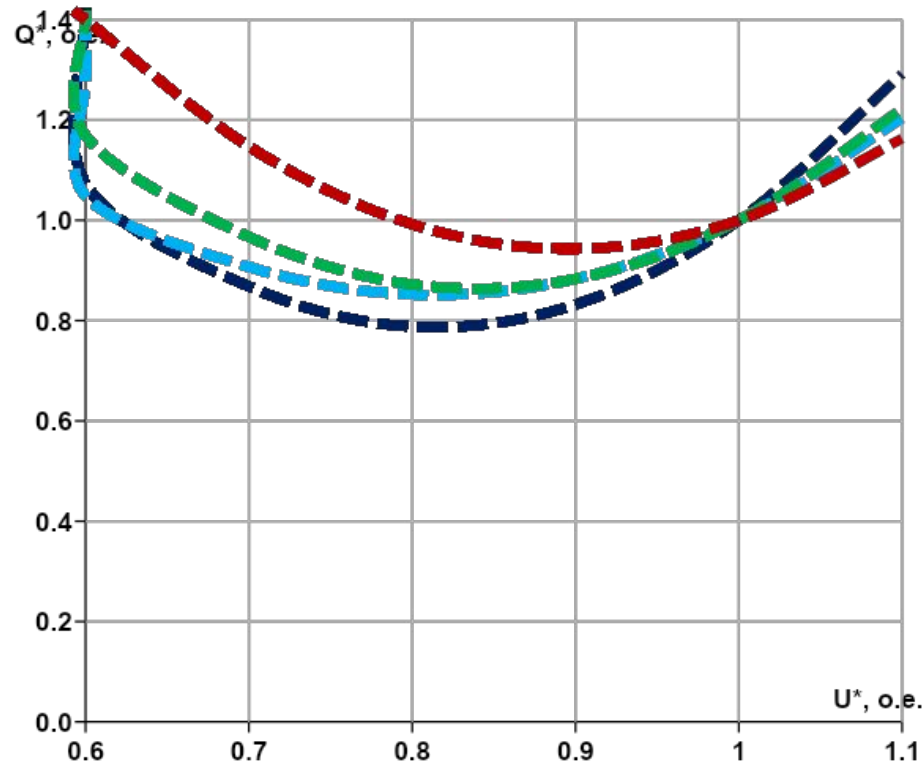
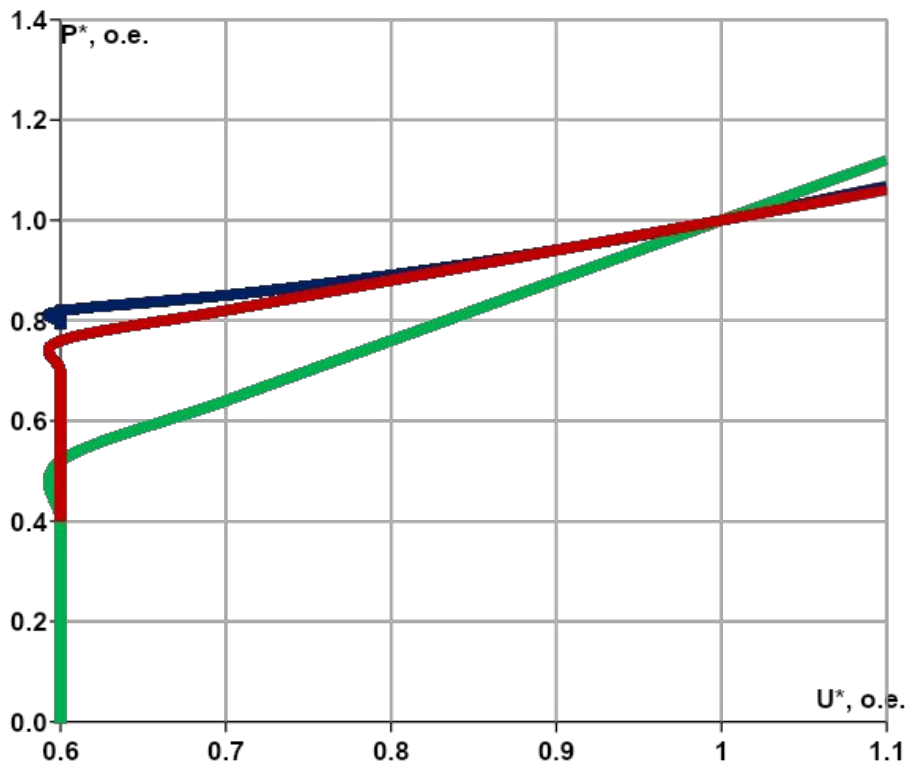
Крупные асинхронные двигатели	34
Мелкие асинхронные двигатели	14
Освещение и бытовые потребители	25
Электрические печи	10
Синхронные двигатели	10
Потери в сетях	7
Итого	100

Здесь и далее СХН приведены в относительных единицах.





Статические характеристики по напряжению комплексных нагрузок



1 – обобщенная, 6-10 кВ;

3 – сельскохозяйственные районы, 6-10 кВ;

2 – обобщенная, 110-220 кВ;

4 – промышленные потребители, 6-10 кВ;



Рекомендуемая литература

1. Ананичева, С.С. Схемы замещения и установившиеся режимы электрических сетей: учебное пособие / С.С. Ананичева, Л.А. Мызин. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006. – 82 с.
2. Герасименко, А.А. Передача и распределение электрической энергии: учебное пособие / А.А. Герасименко, В.Т. Федин ; изд. 2-е. – Ростов н/Д: Феникс, 2008. – 716 с.
3. Окуловская, Т.Я. Устойчивость электрических систем: учебное пособие / Т.Я. Окуловская, М.В. Павлова, Т.Ю. Паниковская, В.А. Смирнов ; изд. 4-е. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2007. – 60 с.
4. Статические характеристики нагрузки: методические указания к лабораторной работе / Кафедра АЭС УГТУ-УПИ. – Электронное издание, 2003. – 8 с.