



**ИНЖЕНЕРНАЯ  
ШКОЛА  
ЭНЕРГЕТИКИ**



**Разработчик: В.В. Шестакова**

# **Современные технологии компенсации реактивной мощности**

**Преподаватель: Шестакова Вера Васильевна**  
**ауд. 162, корпус 8**  
**Почта: [shestakova@tpu.ru](mailto:shestakova@tpu.ru)**

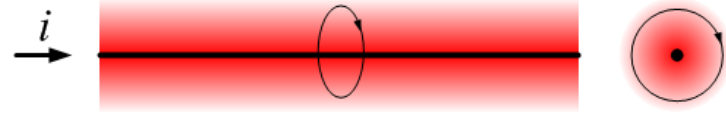


# Что такое реактивная мощность

Это мощность ( $Q$ , Вар), которая расходуется на создание **переменных** электромагнитных полей и создает дополнительную нагрузку на электрическую сеть.

## Потребители реактивной мощности

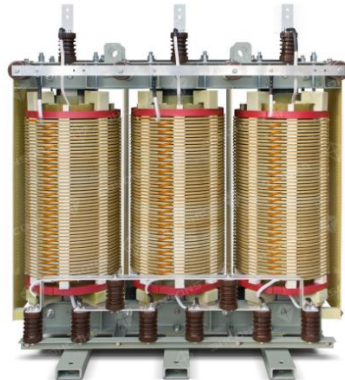
- асинхронные двигатели, 40% всей мощности;
- трансформаторы всех ступеней трансформации 35%;
- преобразователи 10%;
- электрические печи 8%;
- линии электропередач 7%.



Магнитное поле (МП)  
прямого проводника



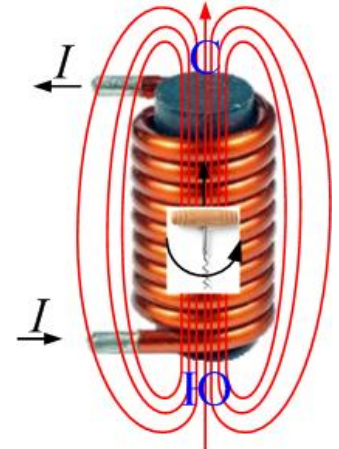
Обмотка  
двигателя



Обмотки трансформатора



Контурсы воздушной линии



МП катушки



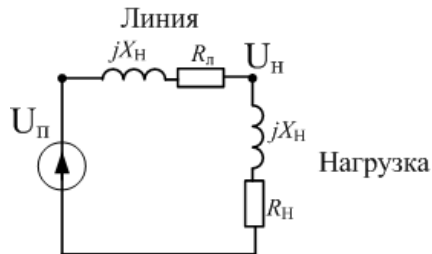
# Негативные последствия наличия реактивной мощности

- возникают дополнительные потери в проводниках вследствие увеличения тока;
- снижается пропускная способность распределительной сети;
- отклоняется напряжение сети от номинала (падение напряжения из-за увеличения реактивной составляющей тока питающей сети).

## Положительные следствия компенсации реактивной мощности

Использование установок для компенсации реактивной мощности позволяет:

- разгрузить питающие линии электропередачи, трансформаторы и распределительные устройства;
- снизить расходы на оплату электроэнергии;
- подавить сетевые помехи, снизить несимметрию фаз;

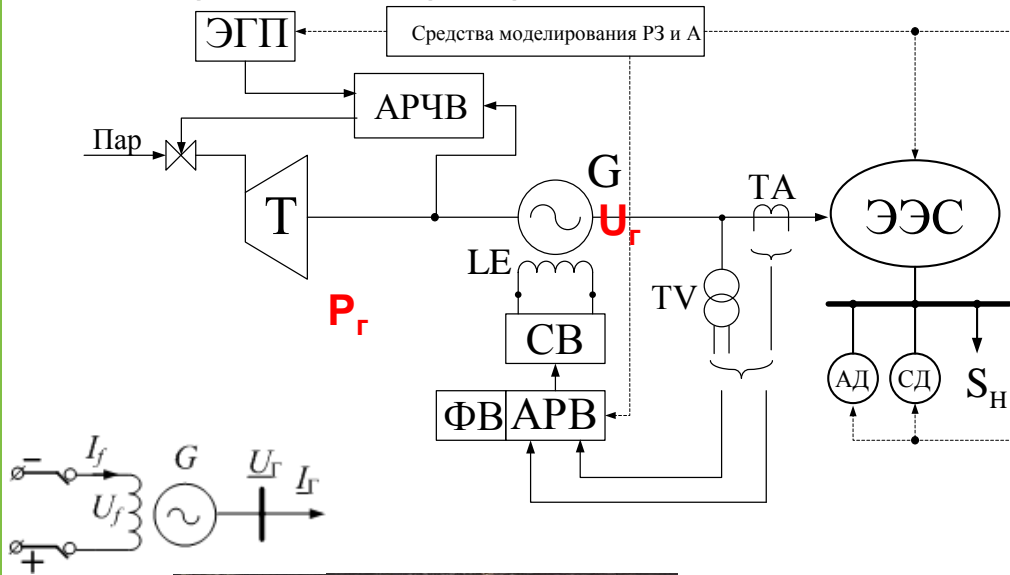


Электроснабжение



# Источник реактивной мощности

## 1. Синхронные генераторы

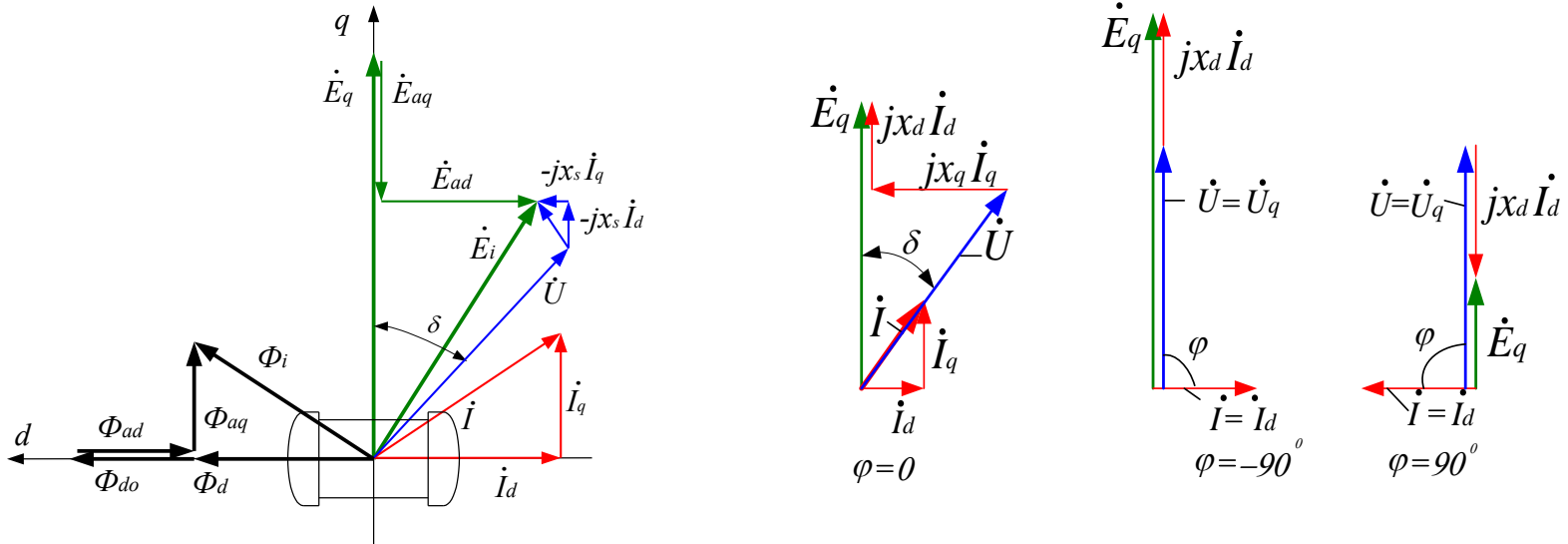


Т – турбина,  
ЭГП – электрогидравлическая приставка,  
АРЧВ – автоматическое регулирование частоты вращения  
СВ – система возбуждения,  
ФВ – форсировка возбуждения,  
АРВ – автоматическое регулирование возбуждения,  
LE – обмотка возбуждения (на роторе),  
ЭЭС – электроэнергетическая система,  
РЗиА – релейная защита и автоматика.



# Источник реактивной мощности

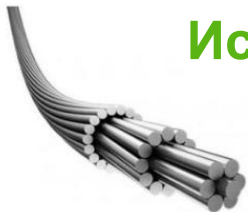
## 1. Синхронные генераторы



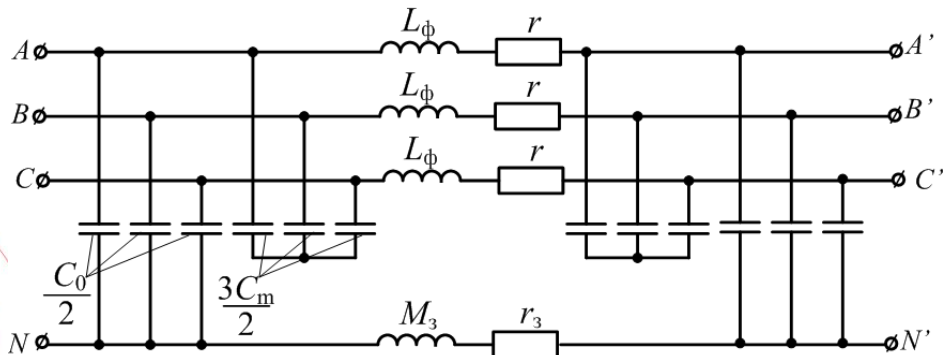
Векторные диаграммы синхронной машины в установившемся режиме

$$Q_{Г \text{ ном}} = P_{Г \text{ ном}} \cdot \text{tg}(\varphi_{Г})$$

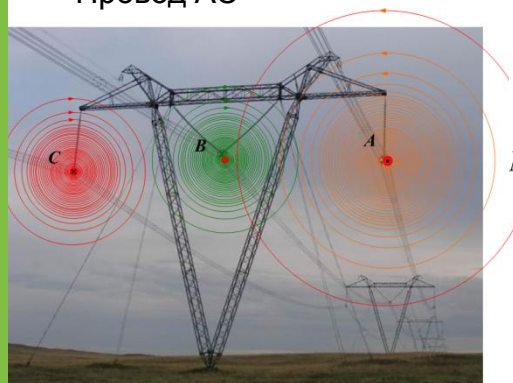
# Источник и потребитель реактивной мощности - ЛЭП



Провод АС



Полная схема замещения ЛЭП (ОТЦ, Зевеке Г.В., стр. 273)  $M$



Линии магнитного поля линии

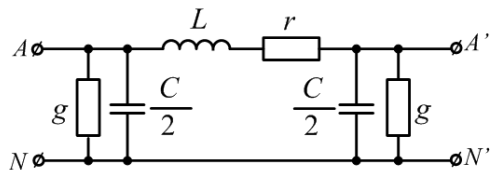
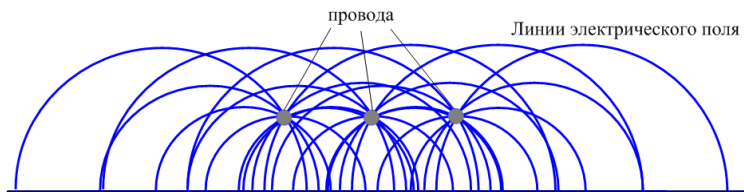
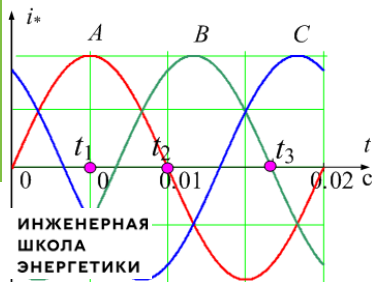
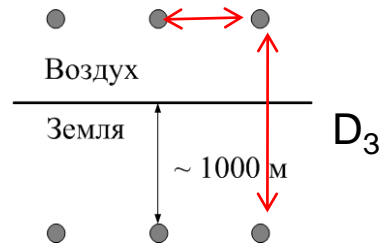


Схема замещения ЛЭП однолинейная



Линии электрического поля линии (выше 35 кВ)



Поперечный  
разрез 3-х фазной  
линии

$$L_{\phi} = L_3 + M_3$$

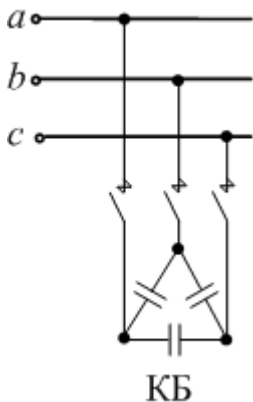


# Технические средства для компенсации реактивной мощности

1. Конденсаторные батареи – вырабатывают  $Q$ , поддерживают напряжение.



Конденсаторные установки УКМ58-0,4



БСК-110-52 УХЛ1 – батарея статических конденсаторов, номинальным напряжением 110 кВ, номинальной мощностью – 52 МВАр

$$Q_{кб} = P \cdot [\operatorname{tg}(\varphi_{\phi}) - \operatorname{tg}(\varphi_{\text{тр}})]$$

$$Q_{кб} = 3 \cdot \omega \cdot C_{к} \cdot U^2$$

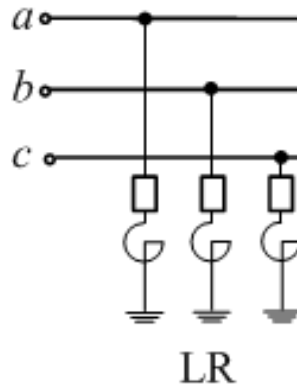
**Недостатки:** регулируются дискретно, выработка  $Q$  зависит от напряжения сети



# Технические средства для компенсации реактивной мощности

2. Реакторы – потребляют Q,  
Предотвращают перенапряжения.

$$Q_p = U_f^2 / (\omega \cdot L_p)$$



**Недостатки:** регулируются дискретно,  
выработка Q зависит от напряжения сети

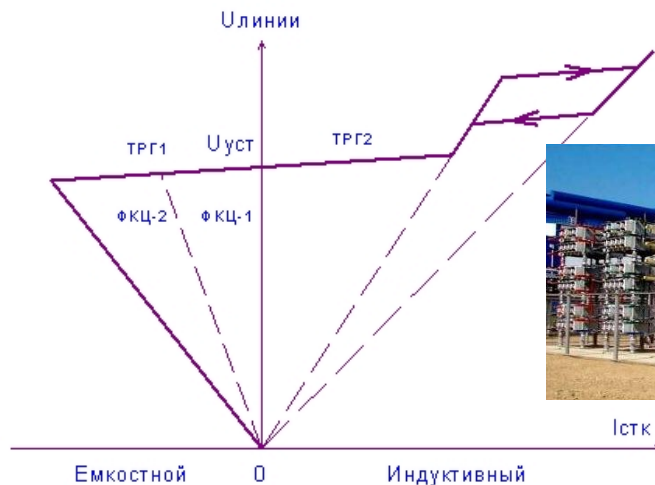
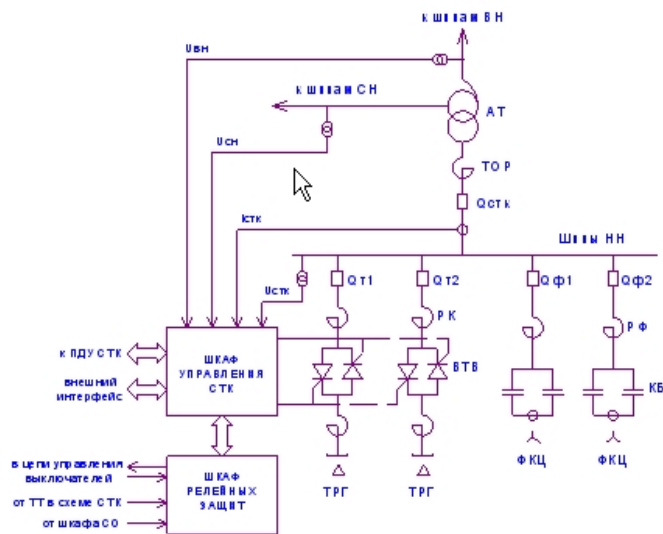




# Технические средства для компенсации реактивной мощности

<https://ukz.com/ru/catalog/staticheskie-tiristornye-kompensatory-reaktivnoj-moshchnosti.html>

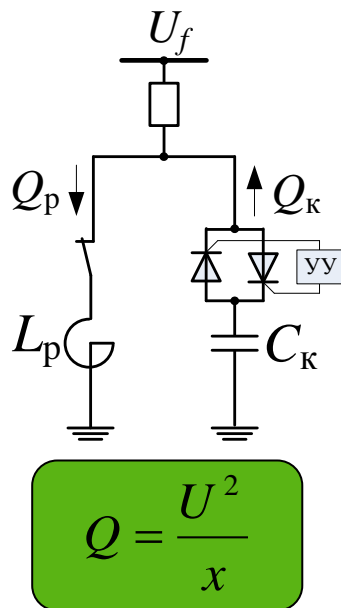
**3. Статические тиристорные компенсаторы** – вырабатывают и потребляют  $Q$  согласно заданному алгоритму. Изменение  $Q$  происходит за счет изменения действующего значения напряжения.



# Технические средства для компенсации реактивной мощности

<https://ukz.com/ru/catalog/staticheskie-tiristornye-kompensatory-reaktivnoj-moshchnosti.html>

## 3. Статические тиристорные компенсаторы

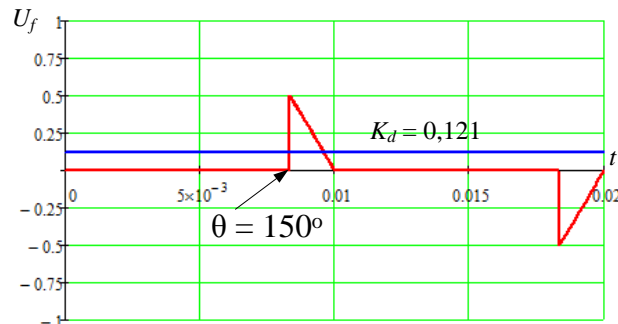
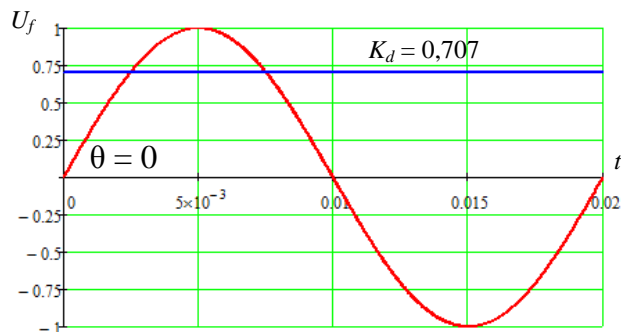


$$u(t) = 1 \cdot \sin(\omega t)$$

$$K_d = U/U_m$$

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u(t)^2 dt}$$

**Действующее значение переменного тока** равно величине такого постоянного тока, который за время, равное одному периоду переменного тока  $T$ , произведёт такую же работу (тепловой или электродинамический эффект), что и переменный ток.



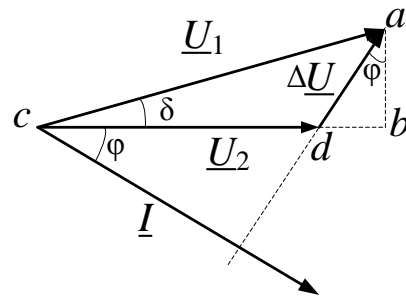
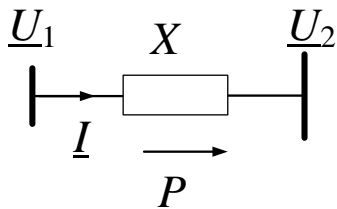
# Технические средства для компенсации реактивной мощности

**4. Технология FACTS** (flexible alternating current transmission system) - гибкая система передачи переменного тока.

Устройства, обеспечивающие регулирование **всех** режимных параметров на базе полностью управляемых приборов силовой электроники:

- гибкая продольная и поперечная компенсация,
- распределение перетоков активной мощности,
- включение/отключение устройств для ограничения токов КЗ,
- ....

Упр.реж. ЭЭС  
на базе СЭ



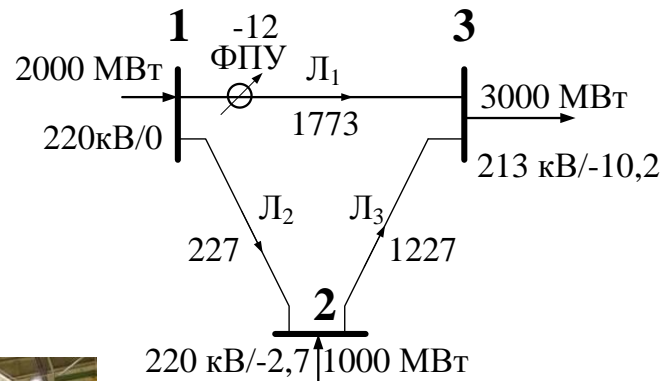
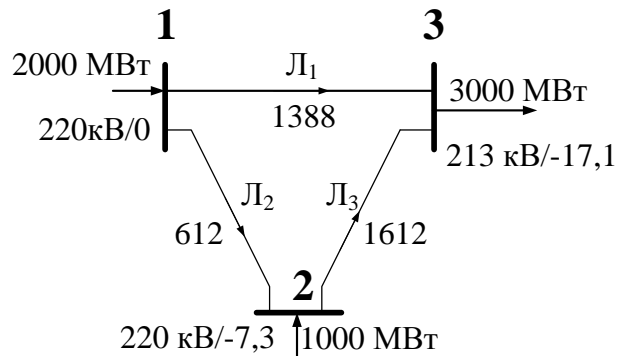
$$P(\delta) = \frac{U_1 U_2}{X} \sin(\delta)$$



# Технические средства для компенсации реактивной мощности

## МОЩНОСТИ

4. Технология FACTS (flexible alternating current transmission system) - гибкая система передачи переменного тока.



Фазоповоротный трансформатор

# Задача 1

## Расчет параметров компенсирующей установки

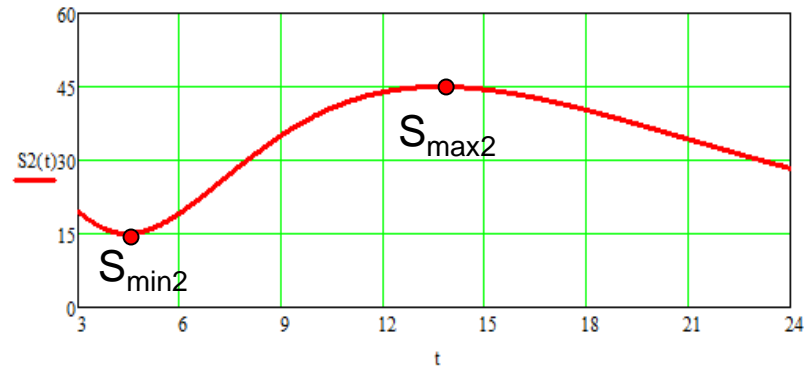
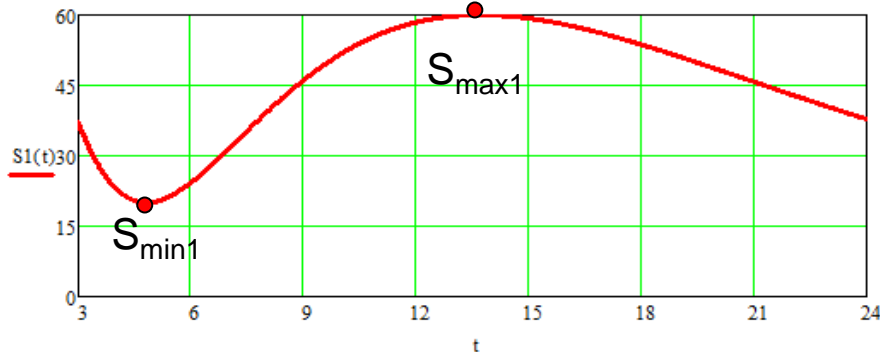
На химическом предприятии, работающем 21 час в сутки (перерыв с 00:00 до 03:00 часов) используется замкнутый цикл водоснабжения. Подготовленная в цехе водоподготовки очищенная вода собирается в резервуаре и насосами подается в цеха предприятия. После использования вода подвергается очистке в цехе водоочистки и снова закачивается в резервуар.

Потребление полной электрической мощности цеха водоподготовки описывается выражением

$$S_1(t) = 100(2 + \sin(\ln(t^3 - 0,25))), \text{ кВт}$$

Потребление полной электрической мощности цеха водоочистки описывается выражением

$$S_2(t) = 100(2 + \sin(\ln(t^3 + 23))), \text{ кВт}$$

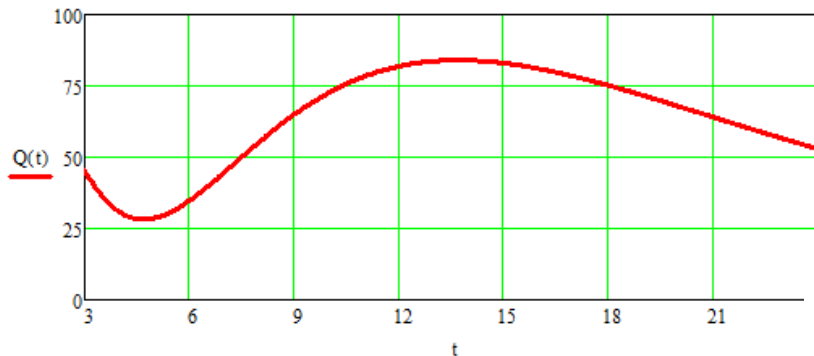


# Задача 1

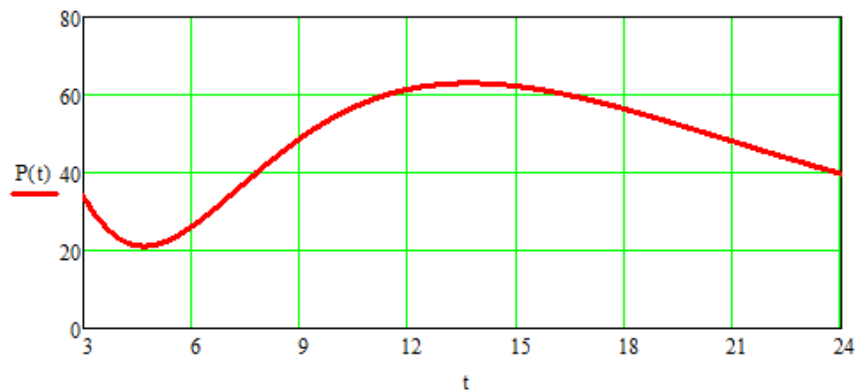
## Расчет параметров компенсирующей установки

Потребление реактивной мощности двумя цехами

$$Q(t) = [S_1(t) + S_2(t)]\sin(\varphi)$$



$$P(t) = [S_1(t) + S_2(t)]\cos(\varphi)$$

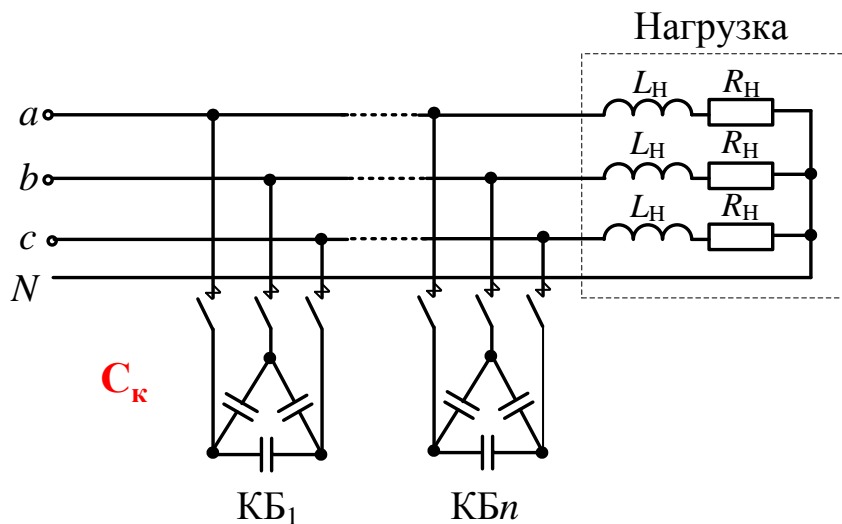


# Задача 1

## Расчет параметров компенсирующей установки

### Задание

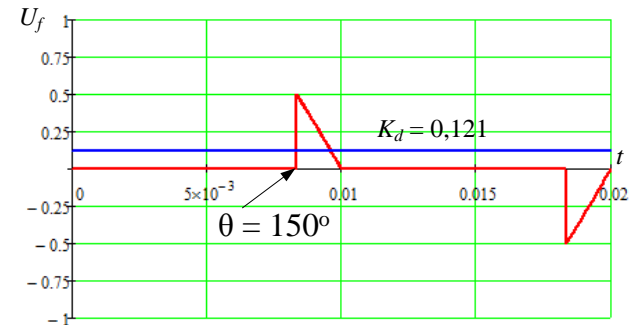
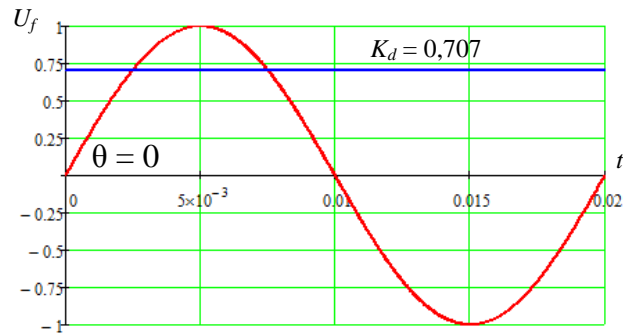
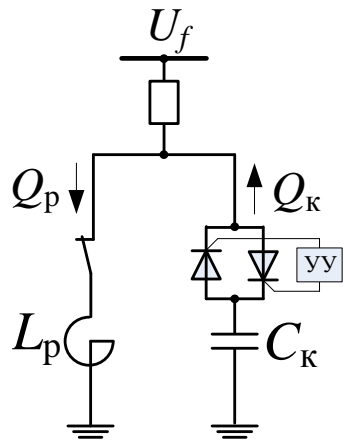
Рассчитайте емкости конденсаторов  $C_k$  и количество ( $n$ ) конденсаторных батарей (КБ), которые необходимо установить для компенсации максимальной реактивной мощности и достижения требуемого  $\cos(\varphi_{\text{тр}}) = 0,89 - 0,91$ .



## Задача 2

### Расчет параметров СТК

На подстанции принято решение установить статический тиристорный компенсатор (СТК) для регулирования напряжения и улучшения производственных показателей в целом.



Примеры временных диаграмм напряжений при угле открытия тиристора  $\theta = 0^\circ$  и  $\theta = 150^\circ$

$$K_d = U/U_m$$

