

Лекция

Тема: Компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения промышленных предприятий.

# **Выбор мощности компенсирующих устройств.**

Мощность компенсирующего устройства электроустановки потребителя электрической энергии определяется :

$$Q_{\text{к}} = P (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2).$$

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{Q}{P}; \quad \operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{Q - Q_{\text{к}}}{P}.$$

Выбор средств компенсации должен производиться для режима наибольшего потребления реактивной мощности в сети проектируемой электроустановки.

Выбор типа, мощности, места установки и режима работы компенсирующих устройств должен обеспечивать наибольшую экономичность при соблюдении:

- а) допустимых режимов напряжения в питающей и распределительных сетях;
- б) допустимых токовых нагрузок во всех элементах сети;
- в) режимов работы источников реактивной мощности в допустимых пределах;
- г) необходимого резерва реактивной мощности.

Минимум приведенных затрат учитывает:

а) затраты на установку компенсирующих устройств и дополнительного оборудования к ним;

б) снижение стоимости оборудования трансформаторных подстанций и сооружения распределительной и питающей сети, а также потерь электроэнергии в них

в) снижение установленной мощности электростанций, обусловленное уменьшением потерь активной мощности.

Выбор мощности компенсирующих устройств осуществляется в два этапа:

На первом этапе определяется

- мощность батарей низковольтных конденсаторов, устанавливаемых в сети до 1 кВ по критерию выбора минимального числа цеховых трансформаторных подстанций;
- рассчитывается реактивная мощность синхронных двигателей

## Ход расчета

1. Для каждой технологически группы ЭП определяется минимальное число цеховых трансформаторов одинаковой единичной мощностью при полной компенсации.

$$N_0 = \frac{P}{\beta_{тр} S_{тр}},$$

где  $P$  — активная мощность на стороне до 1000 В;

$\beta_{тр}$  — коэффициент загрузки трансформаторов;

$S_{тр}$  — номинальная мощность одного трансформатора



2. По найденному количеству трансформаторов рассчитывается наибольшая мощность, которая может быть передана через трансформаторы в сеть до 1 кВ:

$$Q_T = \sqrt{(K_{\text{пер}} \cdot N_{\text{тр min}} \cdot \beta_{\text{тр}} \cdot S_{\text{тр}})^2 - P_{\text{рн}}^2}$$

где  $K_{\text{пер}}$  — коэффициент, учитывающий допустимую систематическую перегрузку трансформаторов в течение одной смены,

$K_{\text{пер}} = 1,1$  — для трансформаторов масляных и заполненных негорючей жидкостью,

$K_{\text{пер}} = 1,05$  — для сухих трансформаторов.

3. Суммарная мощность БНК определится по выражению:

$$Q_{\text{нк1}} = Q_{\text{рн}} - Q_{\text{т}}$$

Если расчетное значение  $Q_{\text{нк1}} \leq 0$ , то установка конденсаторов на стороне 0,4 кВ не требуется.

Пример

Определить мощность БНК для РМЦ

$P_{рн} = 5400 \text{ кВт}$  и

$Q_{рн} = 5320 \text{ квар.}$

$B_T = 0,9$

$S_{нт} = 1600 \text{ кВА.}$

1. Определим минимальное количество трансформаторов

$$N_{T \min} = 5400 / 0,9 \times 1600 = 3,8 \quad N = 4$$

2. Реактивная мощность, передаваемая через трансформатор

$$Q_T = \sqrt{(1,1 \times 1600 \times 0,9 \times 4)^2 - 5320^2} = 3540 \text{ квар}$$

3. Определяем мощность БНК

$$Q_{НК1} = 5320 - 3540 = 1780 \text{ квар}$$

4. Мощность БНК, приходящаяся на  
один трансформатор  
 $1780/4 = 445$  квар

Принимаем стандартные БНК  
УКМ – 58 – 0,4 – 402 – 67УЗ

Суммарная мощность БНК цеха равна  
 $= 4 \times 402 = 1608$  квар

# Синхронные компенсаторы

## Синхронный компенсатор (СК)

представляет собой синхронный двигатель облегчённой конструкции, предназначенный для работы на холостом ходу.

При работе в режиме перевозбуждения СК является генератором реактивной мощности.

При работе в режиме  
недовозбуждения СК является  
*потребителем реактивной мощности.*



# Определение реактивной мощности, генерируемой синхронными двигателями

Минимальная величина, генерируемая синхронным двигателем определяется по формуле:

$$Q_{\text{сд}} = P_{\text{номсд}} \cdot \beta_{\text{сд}} \cdot \text{tg}\varphi$$

где –  $P_{\text{номсд}}$  – номинальная активная мощность СД;

$\beta_{\text{сд}}$ — коэффициент загрузки СД по активной мощности;

$\text{tg}\varphi$ — номинальный коэффициент реактивной мощности СД.

Располагаемой реактивная  
мощность СД вычисляется

$$Q_{\text{сд}} = \alpha_{\text{м}} \cdot S_{\text{сд ном}} =$$
$$\alpha_{\text{м}} \cdot \frac{\sqrt{P_{\text{номсд}}^2 + Q_{\text{номсд}}^2}}$$

где  $\alpha_{\text{м}}$  – коэффициент допустимой перегрузки СД

Величина генерируемой реактивной мощности СД зависит от номинальной мощности и частоты вращения СД.

Располагаемая реактивная  
мощность СД, имеющих

$$P_{нд} > 2500 \text{ кВт}$$

или  $n > 1000 \text{ об/мин}$

(независимо от мощности)

используется для компенсации  
реактивной мощности во всех  
случаях без обосновывающих  
расчетов.

Величина реактивной мощности,  
генерируемой этими группами СД  
определяется

$$Q_{д1} = \Sigma(Q_{д.р} - Q_{д.н}) \approx 0,2Q_{д.н}$$

Использование остальных СД требует ТЭО.

Для этого находят соотношение удельной стоимости потребления реактивной мощности и энергии из энергосистемы и генерируемой синхронными двигателями.

Удельная стоимость экономического потребления реактивной мощности и энергии из энергосистемы при наличии приборов учета определяются по формуле:

$$C_Q = (c_1 + d_1 T_{MQ} \cdot 10^{-2}) 1,6 k_1$$



При отсутствии таких приборов

$$C_Q = d_1 T_{MQ} 10^{-2} 1,6 k_1$$

где  $C_1$  - плата за 1 квар потребляемой реактивной мощности; (1,2 руб/(квар год))

$d_1$  - плата за 1 квар ч потребляемой реактивной энергии;

$T_{MQ}$  – годовое число часов использование максимальной реактивной мощности

$k_1$  - коэффициент, отражающий изменение цен на конденсаторные установки

Годовое число использования максимальной реактивной  
 мощности при потреблении, не превышающем  
 экономическое значение

| Число<br>смен | Тг, ч | Км  | Т <sub>MQ</sub> , ч, при значенииψ |      |      |      |
|---------------|-------|-----|------------------------------------|------|------|------|
|               |       |     | 0,25                               | 0,5  | 0,6  | 0,7  |
| 1             | 2000  | 0,9 | 1867                               | 1800 | 1750 | 1667 |
| 2             | 4000  | 0,8 | 3467                               | 3200 | 3000 | 2667 |
| 3             | 6000  | 0,7 | 4800                               | 4200 | 3750 | 3000 |
| нр            | 8500  | 0,8 | 7367                               | 6800 | 6375 | 5667 |

Удельная мощность потерь активной мощности в СД и компенсирующих устройствах

$$C_{\text{pг}} = a k_{\text{w1}} + b T_{\text{г}} 10^{-2} k_{\text{w2}}$$

Целесообразность использования СД для компенсации при одновременном потреблении реактивной мощности из энергосистемы, не превышающем экономическое значение

$$R = C_{QЭ} / C_{рг}$$

# Синхронные двигатели 10кВ

| N, об/мин | а       | Минимальное значение R при P <sub>дн</sub> , кВт |       |       |       |
|-----------|---------|--|-------|-------|-------|
|           |         | 1250   | 1600  | 2000  | 2500  |
| 250       | 0,2     | 0,016  | -     | -     |       |
|           | 0,6     | 0,025  | -     | -     |       |
|           | 1,0     | 0,03   | 0,02  | -     |       |
|           | 1,2     | 0,035  | 0,025 | 0,02  |       |
| 300       | 0,2     | 0,015  | 0,015 | -     | -     |
|           | 0,6     | 0,025  | 0,025 | 0,02  | -     |
|           | 1,0     | 0,03   | 0,03  | 0,025 | 0,02  |
|           | 1,2     | 0,035  | 0,035 | 0,03  | 0,023 |
| 375       | 0,2     | 0,015  | -     | -     | -     |
|           | 0,6     | 0,025  | 0,02  | 0,02  | 0,02  |
|           | 1,0     | 0,03   | 0,027 | 0,025 | 0,022 |
|           | 1,2     | 0,035  | 0,03  | 0,028 | 0,025 |
| 500       | 0,2,0,6 |  |       |       |       |
|           | 1,0     | 0,02   | 0,02  | 0,02  | 0,02  |
|           | 1,2     | 0,025  | 0,025 | 0,022 | 0,02  |
| 600       | 1,0     | 0,02   | 0,02  | 0,02  |       |
|           | 1,2     | 0,025  | 0,025 | 0,022 | 0,02  |
| 750       | 1,0     | 0,02   | 0,02  | 0,02  |       |
|           | 1,2     | 0,025  | 0,025 | 0,022 | 0,02  |
|           | 1,0     | 0,022  | 0,02  |       |       |

Суммарная величина реактивной мощности, генерируемая синхронными двигателями, имеющими  $P_{дн} \leq 2500 \text{ кВт}$  и  $n \leq 1000$  об/мин определяется как

$$Q_{д2} = \sum a Q_{д.н}$$

Реактивная мощность СД, которую экономически целесообразно использовать для компенсации при одновременном оптимальном потреблении реактивной мощности из энергосистемы определяется

$$Q'_{сд} = Q_{д1} + Q_{д2}$$



# Пример

Предприятие получает питание от понижающей подстанции 220/10,5кВ. В технологическом процессе используется следующие синхронные двигатели 10кВ:

6 двигателей по 630кВт  $n=500\text{мин}^{-1}$

4 двигателей по 800кВт  $n=1500\text{мин}^{-1}$

4 двигателей по 1250кВт  $n=500\text{мин}^{-1}$

2 двигателей по 3200кВт  $n=750\text{мин}^{-1}$

$\cos\varphi=0,9$        $\operatorname{tg}\varphi=0,48$        $T_{\text{нб}}=6200\text{ч}$   
Основная ставка  $a=1165000\text{руб/кВт год}$ ,  
дополнительная ставка  $b=880\text{ коп/кВтч}$

Определить величину реактивной мощности, которую целесообразно получать от СД.

ЭД мощностью 630кВт применять  
не целесообразно ( по таблице)

Наиболее экономично применять ЭД  
мощностью 800 кВт (  $n > 1000 \text{ мин}^{-1}$  )  
и 3200кВт (  $P > 2500 \text{ кВт}$  )

Величина реактивной мощности,  
генерируемой данными СД:

$$Q_{д1} = 0,2(4 \times 800 \times 0,48 + 2 \times 3200 \times 0,48) \\ = 922 \text{ квар}$$

Находим коэффициенты увеличения  
ставок тарифов на электроэнергию:

$$K_{w1} = 1165000/60 = 19417$$

$$K_{w2} = 880/1,8 \times 10^{-2} = 48889$$

$$K_w = \frac{60 \times 19417 + 1,8 \times 6200 \times 10^{-2} \times 48889}{60 + 1,8 \times 6200 \times 10^{-2}} = 38584$$

Удельная стоимость экономического потребления РМ из энергосистемы

$$C_{Q'} = (1,2 + 0,03 \times 6800 \times 10^{-2} \times 1,6 \times 38584 = 200020 \text{руб/квар}$$

Удельная стоимость активной мощности в СД при непрерывном режиме

$$C_{\text{рг}} = 60 \times 19417 + 1,8 \times 8500 \times 10^{-2} \times 48889 = 8645037 \text{руб/кВт}$$

Соотношение удельных стоимостей:

$$R=200020/8645037=0,023$$

Для двигателя 1250кВт и  $n=500\text{мин}^{-1}$   
находим

$$\alpha=0,2+(0,23-0,015)/(0,025-0,015)\times$$
$$(0,6-0,2)=0,52$$

Реактивная мощность, генерируемая 4  
ЭД мощностью 1250кВт

$$Q_{д2} = 0,52 \times 4 \times 1250 \times 0,48 = 1248 \text{квар}$$

Суммарная реактивная мощность,  
которую экономически целесообразно  
получать от СД:

$$Q_{сд}^1 = 922 + 1248 = 2170 \text{квар}$$



По завершении расчетов первого этапа составляется баланс реактивной мощности на границе балансового разграничения с энергосистемой. В случае дисбаланса реактивной мощности выполняется второй этап

## Второй этап:

-определяется целесообразность установки батарей высоковольтных конденсаторов (БВК) в сети 6—10 кВ.

Суммарная реактивная мощность высоковольтных конденсаторных батарей для всего предприятия определяется из условия баланса реактивной мощности:

$$Q_{\text{вк}} = \Sigma Q_{\text{р,вi}} - Q_{\text{тэц}} - Q_{\text{сд}} - Q_{\text{э1}}$$

где  $Q_{\text{р,вi}}$  – некомпенсированная расчетная нагрузка на шинах 6кВ ТП и РП.

$Q_{\text{тэц}}$  – реактивная мощность, генерируемая синхронными генераторами ТЭЦ.

$Q_{сд}$  – реактивная мощность генерируемая синхронными двигателями.

$Q_{э1}$  – экономически оптимальная входная реактивная мощность, которая может быть передана в период наибольшей загрузки энергосистемы

Некомпенсированную реактивную нагрузку на шинах ТП -это:

$$Q_{p.vi} = Q_{расч.i} - Q_{куi} + \Delta Q_{ти}$$

где  $Q_{расч.i}$  – расчетная реактивная мощность на шинах 0,4 кВ  $i$ -того ТП.

–  $Q_{куi}$  – мощность установленной НБК.

–  $\Delta Q_{ти}$  – суммарные реактивные потери в трансформаторах