

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

$$1780/4 = 445 \text{ квар}$$

Принимаем стандартные БНК

УКМ – 58 – 0,4 – 402 – 67У3

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

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:

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

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 смен	Тг, ч	Км	Т _{МQ} , 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 _{дн} , 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_{sd} – 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