

Снижение потерь  
электроэнергии путем  
компенсации реактивной  
МОЩНОСТИ

## Основные потребители реактивной мощности:

1. Асинхронные двигатели (45 – 60 % от общей реактивной мощности предприятия);
2. Трансформаторы всех ступеней трансформации (15 – 25 %);
3. Электротехнологические установки (8 – 12 %);
4. Люминесцентные лампы (5 – 8 %).

Реактивная мощность, потребляемая трансформатором, определяется по формуле:

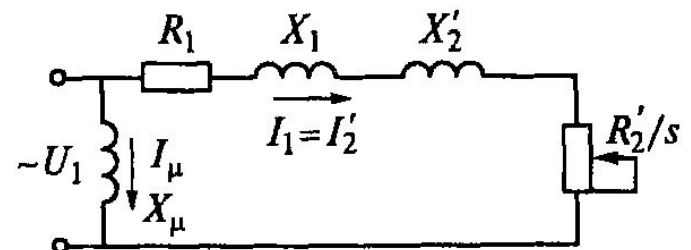
$$Q_T = \Delta Q_X + k_z^2 \cdot \Delta Q_K, \text{ вар}$$

Реактивная мощность, потребляемая АД при номинальной нагрузке, определяется по номинальным данным АД:

$$Q_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}} \operatorname{tg} \varphi_{\text{НОМ}}}{\eta_{\text{НОМ}}} = 3U_{\phi} I_{1\text{НОМ}} \sin \varphi_{\text{НОМ}}$$

Для определения потребления реактивной мощности при любой нагрузке необходимо знать ток холостого хода АД, который можно приравнять к току намагничивания двигателя  $I_x = I_{\mu}$ . Этот ток может быть определен экспериментально или расчетным путем:

$$I_{\mu} = I_{1\text{НОМ}} \left( \sin \varphi_{\text{НОМ}} - \frac{\cos \varphi_{\text{НОМ}}}{\lambda_M + \sqrt{\lambda_M^2 - 1}} \right)$$



Реактивная мощность холостого хода определяется по уравнению:

$$Q_0 = 3U_{\phi}I_{\mu}$$

Реактивная мощность короткого замыкания в номинальном режиме равна:

$$\Delta Q_{\text{к}} = Q_{\text{НОМ}} - Q_0$$

Потребление реактивной мощности при загрузке АД с коэффициентом  $k_3$  равно:

$$Q_{\text{АД}} = Q_0 + k_3^2 \cdot \Delta Q_{\text{к}}, \text{ вар}$$

При передаче электроэнергии от источника к приемнику в системе электроснабжения имеются потери активной мощности:

$$\Delta P = 3I^2 R$$

где  $I$  – ток в фазе линии,  $R$  – сопротивление фазы линии.

Полная мощность, передаваемая по сети, равна:  $S = \sqrt{3}U_{л}I = \sqrt{P^2 + Q^2}$

В результате после подстановки получим:

$$\Delta P = \frac{S^2}{U_{л}^2} R = \frac{P^2 + Q^2}{U_{л}^2} R = \frac{P^2}{U_{л}^2} R + \frac{Q^2}{U_{л}^2} R = \Delta P_A + \Delta P_P,$$

где  $\Delta P_A = \frac{P^2}{U_{л}^2} R$  - потери активной мощности при передаче активной мощности

$\Delta P_P = \frac{Q^2}{U_{л}^2} R$  - потери активной мощности при передаче реактивной мощности

Компенсация (уменьшение) реактивной мощности позволяет уменьшить потери активной мощности и напряжения в линии, снизить ток в линии, уменьшить полную мощность трансформатора (появляется возможность подключения дополнительной мощности).

$$Q = P (tg\varphi_p - tg\varphi_d) \quad \text{при } \cos\varphi = 0,93, tg\varphi_d = 0,39$$

Снижение потерь путем увеличения напряжения требует установку высоковольтной изоляции, уменьшение сопротивления линии требует дополнительных затрат на увеличение сечения и использование материала с меньшим удельным сопротивлением, уменьшение активной мощности требует выработку электроэнергии на месте.

Для компенсации реактивной мощности уменьшают потребление реактивной мощности за счет изменения режима работы приемника или используются специальные компенсирующие устройства:

- **Конденсаторные батареи** (нашли наибольшее применение на предприятиях)  $Q_K = \omega C U_{\text{НОМ}}^2$

достоинства – малые потери активной мощности (0,003-0,005 кВт на 1 квар); простота и дешевизна в обслуживании; низкие удельные габариты и масса; отсутствуют механические вращающиеся детали и фундамент; возможность установки вблизи к электроприемникам; возможность регулирования реактивной мощности в автоматизированных конденсаторных установках;

недостатки – зависимость генерируемой реактивной мощности от напряжения и частоты сети; чувствительность к наличию высших гармоник тока и напряжения сети (приводит к дополнительному нагреву конденсаторов).  $Q_{KY} = Q_{KY_{\text{НОМ}}} \left( \frac{U}{U_{\text{НОМ}}} \right)^2 \left( \frac{f}{f_{\text{НОМ}}} \right)$ .

- **Синхронные двигатели** – мощностью 0,4 – 12 МВт применяются для привода компрессоров, вентиляторов, насосов. Имеют номинальный опережающий  $\cos\varphi=0,9$  и могут длительно работать в режиме генерации реактивной мощности. Достоинство – плавное регулирование реактивной мощности путем изменения тока возбуждения с помощью статического управляемого выпрямителя. В сетях до 1 кВ и 6 – 10 кВ целесообразно использовать для компенсации реактивной мощности СД установок и механизмов предприятия.
- **Синхронные компенсаторы** – синхронные двигатели облегченной конструкции без нагрузки на валу мощностью 5 – 75 Мвар. Достоинства – плавное и автоматическое регулирование генерируемой реактивной мощности, независимость генерации реактивной мощности от напряжения на его зажимах. Недостатки – большие потери активной мощности в них по сравнению с другими КУ, значительный шум в работе. Целесообразно применять при необходимости генерации изменяющейся во времени значительной реактивной мощности.



□ **Статические тиристорные компенсаторы** – включают конденсаторные батареи с тиристорными переключателями для регулирования реактивной мощности. Также могут содержать фильтры высших гармоник напряжения и тока (фильтрокомпенсирующие устройства ФКУ). Обладают высоким быстродействием и применяются в схемах электроснабжения с резкопеременной нагрузкой.

Как правило, на предприятиях со спокойной нагрузкой для компенсации реактивной мощности применяются статические конденсаторы с регулируемой емкостью батарей и СД, работающие в режиме перевозбуждения.

Выбор КУ для конкретной сети электроснабжения осуществляется путем технико-экономического анализа, в результате которого сопоставляются снижение стоимости потерь ЭЭ и затрат на установку КУ. Наибольший экономический эффект достигается при размещении КУ в непосредственной близости от приемника (на низкой стороне трансформатора).

**Единичная, групповая и централизованная компенсация реактивной мощности.**      **Поперечная и продольная компенсация.**

Снижение потерь мощности в звене системы электроснабжения (например, линии), обусловленное снижением проходящей по нему реактивной мощности, может быть рассчитано по следующей формуле:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{ДК}} - \Delta P_{\text{ПК}} - \Delta P_{\text{КУ}}$$

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q_{\text{ДК}}^2}{U^2} R - \frac{P^2 + (Q_{\text{ДК}} - Q_{\text{КУ}})^2}{U^2} R - \Delta P_{\text{КУ}}$$

$$\Delta P = \frac{Q_{\text{КУ}}(2Q_{\text{ДК}} - Q_{\text{КУ}})R}{U^2} - \Delta P_{\text{КУ}},$$

Где  $Q_{\text{КУ}}$  - реактивная мощность компенсирующего устройства;  $Q_{\text{ДК}}$  - реактивная мощность до компенсации;  $R$  - активное сопротивление звена;  $U$  - напряжение;  $\Delta P_{\text{КУ}}$  - потери мощности в компенсирующем устройстве.

## Расчетные затраты на генерацию реактивной

Средние значения  $\alpha_M$  для синхронных двигателей серий СДН,  
СТД, СД и СДЗ

Серия, номинальное напряжение и частота вращения двигателя	Напряжение на зажимах	Коэффициент загрузки $\beta$		
		0,9	0,8	0,7
СДН, 6 и 10 кВ (для всех частот вращения)	0,95	1,31	1,39	1,45
	1,0	1,21	1,27	1,33
	1,05	1,06	1,12	1,17
СДН, 6 кВ: 600 – 1000 об/мин 375 – 500 об/мин 187 – 300 об/мин 100 – 167 об/мин	1,1	0,89	0,94	0,96
	1,1	0,88	0,92	0,94
	1,1	0,86	0,88	0,9
	1,1	0,81	0,85	0,87
	СДН, 10кВ: 1000 об/мин 250 – 750 об/мин	1,1	0,9	0,98
	1,1	0,86	0,9	0,92
СТД, 6 и 10 кВ (частота вращения 3000 об/мин)	0,95	1,3	1,42	1,52
	1,0	1,23	1,34	1,43
	1,05	1,12	1,23	1,31
	1,1	0,9	1,08	1,16
СД и СДЗ 380 В (для всех частот вращения)	0,95	1,16	1,26	1,36
	1,0	1,15	1,24	1,32
	1,05	1,1	1,18	1,25
	1,1	0,9	1,06	1,15

Технические данные синхронных двигателей серии СДН напряжением  
6 кВ,  $\cos\varphi = 0,9$

Тип двигателя	Номинальная мощность		КПД, %	Коэффициент, кВт	
	активная, кВт	реактивная, кВАр		$D_1$	$D_2$
1000 об/мин					
СДН-14-49-6	1000	511	95,37	5,09	3,99
СДН-14-59-6	1250	633	95,95	4,74	4,42
СДН-15-30-6	1600	812	95,75	6,65	6,8
СДН-15-49-6	2000	1010	96,06	8,06	7,53
750 об/мин					
СДН-14-46-8	800	407	94,86	4,9	4,57
СДН-14-59-8	1000	511	95,61	4,37	4,96
СДН-15-30-8	1250	637	94,84	7,73	7,29
СДН-15-49-8	1600	812	95,77	7,22	7,33
СДН-15-64-8	2000	1010	96,12	8,08	6,98
600 об/мин					
СДН-14-44-10	630	325	93,98	5,6	4,06
СДН-14-56-10	800	410	94,65	5,76	4,63
СДН-15-39-10	1000	511	94,68	7,66	5,38
СДН-15-49-10	1250	637	95,16	7,54	6,56
СДН-15-64-10	1600	812	95,78	7,79	6,99
СДН-16-54-10	2000	1010	95,66	10,7	8,68
500 об/мин					
СДН-14-36-12	400	209	92,66	3,88	2,97
СДН-14-44-12	500	257	93,45	5,05	3,63
СДН-15-34-12	630	327	93,82	5,16	4,72
СДН-15-39-12	800	412	94,15	6,48	5,54
СДН-15-49-12	1000	511	94,89	6,61	5,88
СДН-16-41-12	1250	637	94,78	8,44	6,09
СДН-16-51-12	1600	816	95,39	8,63	7,61
СДН-16-64-12	2000	1020	95,95	9,22	8,29

### Технические данные некоторых типов комплектных конденсаторов установок

Тип установки	Мощность, кВАр	Количество ступеней	Удельные потери, кВт/кВАр	Удельная стоимость, у.е./кВАр	Приведенные затраты, у.е./кВАр, в год	Габариты (длина×ширина×высота), мм
<i>Для осветительных сетей 380 В</i>						
УК2-0,38-50У3	50	2	0,0045	6,7	1,48	375×430×650
УК3-0,38-75У3	75	3	0,0045	5,8	1,28	580×430×650
УК2-0,38-100У3	100	2	0,0045	5,6	1,23	375×430×965
<i>Для силовых сетей 380 В</i>						
УКБН-0,38-100-50У3	100	2	0,0045	10,5	2,31	800×440×895
УКБТ-0,38-150У3	150	1	0,0045	8	1,76	630×520×1400
УКТ-0,38-150У3	150	1	0,0045	7,5	1,65	700×560×1660
УКБ-0,38-150У3	150	—	0,0045	6,2	1,36	580×460×1200
УКБН-0,38-200-50У3	200	4	0,0045	9,3	2,05	800×440×1685
<i>Для силовых сетей 6 и 10 кВ</i>						
УКМ-6,3-400-У1	400	1	0,0030	4,9	1,08	2140×860×2060
УК-6,3-450-ЛУ3	450	1	0,0030	4,1	0,90	2140×880×1800
УК-6,3-900-ЛУ3	900	1	0,0030	3,7	0,81	3540×880×1800
УК-6,3-1125-ЛУ3	1125	1	0,0030	3,7	0,81	4240×880×1800

Примечание: для сетей 10 кВ в типе установки 6,3 заменяется на 10,5.