

**А.К. Чугунов**

(Украина, Днепрпетровск, Национальный горный университет)

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВАРИАНТОВ ВКЛЮЧЕНИЯ КОНДЕНСАТОРНЫХ БАТАРЕЙ ПРИ КОМПЕНСАЦИИ ПОТРЕБЛЯЕМОЙ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРА

**Введение.** В настоящее время наблюдается тенденция уменьшения объема выпуска продукции предприятиями, что приводит к тому, что элементы систем электроснабжения (СЭС) работают не в номинальном режиме, а электрооборудование недогружено. Это способствует увеличению относительных потерь в электродвигателях и трансформаторах и снижению значения коэффициента мощности в СЭС со всеми вытекающими последствиями [2].

**Целью работы** является анализ и определение необходимой емкости конденсаторных батарей.

**Основная часть.** Большая часть промышленных приемников электроэнергии в процессе работы потребляют из сети, помимо активной мощности  $P$ , еще и реактивную мощность  $Q$ . Основными потребителями реактивной мощности являются асинхронные двигатели (60–65 % общего потребления реактивной мощности) и трансформаторы (20–25%). В зависимости от характера и режимов работы электрооборудования на отдельных предприятиях их реактивная нагрузка может быть соизмерима с активной. Передача значительного количества реактивной мощности по линиям и через трансформаторы сети электроснабжения невыгодна по следующим причинам.

Возникают дополнительные потери активной мощности и энергии во всех элементах СЭС, обусловленные загрузкой их реактивной мощностью. Так, при передаче активной  $P$  и реактивной  $Q$  мощностей через элемент сети с сопротивлением  $R$ , дополнительные потери активной мощности

$$\Delta P_P = \frac{Q^2}{U^2} \cdot R.$$

Возникают дополнительные потери напряжения во всех элементах СЭС. Так, при передаче мощностей  $P$  и  $Q$  через элементы сети с реактивным сопротивлением  $X$  дополнительные потери напряжения, обусловленные реактивной мощностью,

$$\Delta P = \frac{Q \cdot X}{U}.$$

Это имеет особую важность при пуске в сети мощных АД от СЭС ограниченной мощности.

Загрузка реактивной мощностью линий электропередач и трансформаторов СЭС уменьшает пропускную способность сети.

Приведенные соображения вынуждают, насколько это технически и экономически целесообразно, приблизить источники покрытия реактивной мощности к местам ее потребления в сети. Это разгружает значительную часть линий электропередач и трансформаторов от реактивной мощности, что равносильно электроэнергии. Компенсация реактивной мощности на предприятиях достигается как за счет организационно-технических мероприятий (улучшение режима работы приемников, применение двигателей и трансформаторов более высокого технического уровня, устранение недогрузки двигателей и трансформаторов и т.п.), так и за счет установки специальных компенсирующих устройств (генераторов реактивной мощности) в соответствующих точках СЭС.

В качестве технических средств компенсации реактивной мощности, как правило, используются или индивидуальные компенсаторные батареи (когда конденсаторы присоединяются наглухо к зажимам электроприемника), или комплектные конденсаторные батареи, или статические конденсаторы (управляемые тиристорами конденсаторы). При наличии в системе электроснабжения синхронных двигателей или возможности замены асинхронных двигателей на синхронные они могут также обеспечивать компенсацию реактивной мощности при работе в режиме перевозбуждения.

Реактивная мощность, поступающая в первичную обмотку из сети, включает не только реактивную мощность, отдаваемую трансформатором во вторичную цепь (в нагрузку), но и дополнительные составляющие, обусловленные физическими процессами в нем и связанные с реактивной мощностью, потребляемой при холостом ходе. Реактивная мощность для образования магнитного поля взаимной индукции определяется как

$$Q_m = E_1 \cdot I_{op} = \frac{S_n \cdot I_o}{100} = \Delta Q_{xx},$$

где  $E_1$  – ЭДС, наводимая в первичной обмотке трансформатора, В;  $I_{op}$  – реактивная составляющая тока холостого хода, А;  $S_n$  – номинальная мощность трансформатора, кВ·А;  $I_o$  – ток холостого хода, %;

Реактивная мощность для образования магнитного поля рассеяния первичной обмотки, численно равная:

$$Q_T = I_1^2 \cdot x_1,$$

где  $I_1$  и  $J_1$  – соответственно ток и индуктивное сопротивление первичной обмотки.

Реактивная мощность для образования магнитного поля рассеяния вторичной обмотки

$$Q_{\sigma 22} = I_2^2 \cdot x_2 = (I_2')^2 \cdot x_2',$$

где  $I_2$ ,  $I_2'$  и  $x_2$ ,  $x_2'$  – соответственно фактические и приведенные токи вторичной обмотки, а также фактические и приведенные индуктивное сопротивление вторичной обмотки.

Обычно составляющие  $Q_{T1}$  и  $Q_{T2}$ , обусловленные токами нагрузки, называют мощностью, потребляемой трансформаторами под нагрузкой [1], которую можно записать так:

$$\Delta Q_{кз} \approx Q_{\sigma 1} + Q_{\sigma 2} = S_H \cdot \frac{u_K}{100} \cdot \kappa_3^2,$$

где  $u_K$  – напряжение короткого замыкания в трансформаторе, %;  $\kappa_3 = I_2 / I_2'$  – коэффициент загрузки трансформатора.

Таким образом, суммарная реактивная мощность, потребляемая нагруженными трансформаторами,

$$\Delta Q_{xx} = \Delta Q_{xx} + \Delta Q_{кз} = \frac{S_H \cdot I_0}{100} + \kappa_3^2 \cdot \frac{S_H \cdot u_K}{100}.$$

При номинальной загрузке трансформатора (при  $\kappa_3 = 1$ )

$$\Delta Q'_{mp} = \frac{S_H}{100} \cdot (I_0 + u_K).$$

Использование конденсаторных батарей, величина емкости которых выбирается из условия полной компенсации реактивной мощности, потребляемой трансформатором в зависимости от места его подключения, может обеспечить следующее

При подключении батареи на зажимы вторичной обмотки трансформатора:

- снизятся потери активной электроэнергии в трансформаторе и питающей ЛЭП;
- снизятся потери напряжения в трансформаторе и в питающей его сети.

Расчетные значения потребляемой емкости конденсаторных батарей

$$C_{HH} = \frac{\Delta Q'_{mp}}{U_{HH}^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f}.$$

При подключении батареи на зажимы первичной обмотки трансформатора:

- снизятся потери активной электроэнергии только в питающей ЛЭП;
- снизятся потери напряжения только в питающей сети.

Расчетное значение потребляемой емкости конденсаторных батарей

$$C_{BH} = \frac{\Delta Q'_{mp}}{U_{BH}^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f}.$$

Расчетные значения потребляемой емкости конденсаторных батарей при подключении конденсаторов к обмотке ВН для некоторых типов трансформаторов (в т.ч. рудничных) приведены в таблице.

**Расчетные значения потребляемой емкости конденсаторных батарей**

Тип трансформатора	$S_n$ , кВ·А	$U_2$ , В	$I_0$ , %	$\mu_k$ , %	$Q_{xx}$ , квар	$Q_{кз}$ , квар	$\Sigma Q_{тр}$ , квар	Параметры конденсаторных батарей	
								$C_{вн}$ , мкФ	$C_{нн}$ , мкФ
ТСВ-160/6	160	690/400	3,5	3,5	5,6	5,6	11,2	1	75/223
ТСВ-400/6	400	690/400	2,5	3,5	10	14	24	2	161/478
ТСВ-680/6	680	690/400	1,5	3,5	10,2	23,8	34	3	227/677
ТМ-400/10	400	690	2,5	4,5	10	18	28	1	187
ТМ-630/10	630	690	3,0	5,5	18,9	34,7	53,55	2	358
ТМ-630/35	630	690	2,0	6,5	12,6	41	53,55	0,14	358
ТМ-1000/6	1000	690	1,5	8	15	80	95	8	635
ТМ-1000/10	1000	690	2,8	5,5	28	55	83	3	555

Из таблицы видно, что при подключении конденсаторных батарей на зажимы обмотки НН снижаются не только потери электроэнергии, но и потери напряжения в питающей ЛЭП и в трансформаторе (в отличие от их подключения и обмотки ВН), однако при этом потребуется значительно увеличить величину компенсирующей емкости.

### Выводы

1. Для оценки эффективности работы конденсаторных батарей, компенсирующих реактивную мощность, потребляемую трансформаторами при различных вариантах их включения, необходимо проанализировать влияние изменения значения потребляемой трансформатором реактивной мощности на уменьшение эксплуатационных затрат за счет:

- снижения потерь активной мощности и электроэнергии;
- снижения потерь напряжения во всех элементах электроснабжения;
- увеличения пропускной способности сети.

2. Потери активной мощности и электроэнергии в трансформаторе и в сети необходимо определять с учетом реального режима загрузки трансформатора и режима эксплуатации косинусных батарей конденсаторов.

$$\nabla | \langle \rangle \| [ \langle \rangle \Sigma \diamond \int \square ]$$

1. Справочник по электрическим машинам: В 2-х т. / Под ред. И.П. Копылова и Б.К. Клопова. – М.: Энергия, 1988. – Т.1. – 456 с.  
 2. Справочник по проектированию электроснабжения / Под ред. Ю.Г. Барыбина. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.

