Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение
«Байконурский электрорадиотехнический техникум им. И.М. Неделина»

УТВЕРЖДЕНО
заместитель директора
по учебной работе
_____ М.М. Иванова
«___»_____ 2015 г.

Методические рекомендации
по выполнению лабораторной работы и практического занятия

Расчет и выбор числа и мощности компенсирующих устройств

по междисциплинарному курсу «Внутреннее электроснабжение промышленных и гражданских зданий»

2015 г.

Цель работы: Научить производить выбор компенсирующих устройств для предприятий и цехов.

Краткие теоретические сведения

Способы искусственной поперечной компенсации реактивной мощности, требующие применения больших затрат на установку специальных компенсирующих устройств, являющиеся источниками реактивной энергии:

- ✓ применение конденсаторных установок и батарей, включаемых параллельно электроприёмниками реактивной мощности на напряжении 0,38 – 10,5кВ;
- ✓ применение синхронных компенсаторов, включаемых на стороне низкого напряжения узловых распределительных подстанций 6 - 10,5кВ;
- ✓ применение статических источников реактивной мощности, включаемые параллельно с электроприёмниками реактивной мощности с резкопеременной ударной нагрузкой на напряжении 0,38 – 10,5кВ (дуговые печи, индукционные печи, прокатные станы и т.д.);

При выборе источников реактивной мощности необходимо учитывать их достоинства и недостатки:

Достоинства конденсаторных установок: незначительные удельные потери активной мощности до 0,005кВт/кВАр; отсутствие вращающих частей, облегчение эксплуатации; простота монтажа; относительно невысокая стоимость, масса, габариты; отсутствие шума во время работы;

Недостатки конденсаторных установок: пожароопасность, так как минеральное масло в конденсаторах при больших температурах может возгореться; наличие остаточного заряда, что повышает опасность при эксплуатации; чувствительность к перенапряжениям и толчкам тока, что может привести к выходу из строя конденсаторных установок; возможность только ступенчатого регулирования реактивной мощности, что может привести к перекомпенсации при минимальных нагрузках;

Достоинства синхронных компенсаторов: возможность плавного и автоматического регулирования реактивной мощности и напряжения в большом диапазоне, что облегчает эксплуатацию персонала; увеличение статической и динамической устойчивости в энергосистемы, что приводит к высокой надёжности энергосистемы, из-за малой зависимости вращающего момента от колебаний напряжения; возможность в период минимальных реактивных нагрузок потреблять реактивную мощность при недовозбуждении, что позволяет снизить напряжение в электрических сетях и предотвратить пробой изоляции электрооборудования;

Недостатки синхронных компенсаторов: высокая стоимость и значительные капитальные затраты, поэтому они устанавливаются только на узловых распределительных подстанциях где их установка целесообразна; начительные удельные потери активной мощности до 0,027 кВт/кВАр; наличие вращающих частей требует необходимого технического обслуживания; значительные габариты, масса, занимаемая производственная площадь и наличие шума при работе;

Выбор мощности и места установки компенсирующих устройств (статических тиристор-

ных компенсаторов и синхронных компенсаторов, батарей конденсаторов шунтовой и продольной компенсации, управляемых и неуправляемых шунтирующих реакторов и других регулируемых средств компенсации реактивной мощности) **в основной и распределительной сети производится исходя из необходимости повышения пропускной способности сети в нормальных и послеаварийных режимах, условий включения линий, защиты от внутренних перенапряжений, поддержания необходимых уровней напряжения, обеспечения непрерывного быстрого регулирования напряжения.**

Способы улучшения качества электроэнергии

- Для устранения значительных отклонений напряжения и снижения колебаний применяются следующие способы регулирования напряжения:

1. Применением силовых трансформаторов с устройствами регулирования напряжения под нагрузкой (РПН) на стороне высокого напряжения;
2. Линейные вольтдобавочные трансформаторы с регулированием под нагрузкой;
3. Применение генераторов местных электростанций крупных предприятий;
4. Применение синхронных двигателей с автоматическим регулированием тока возбуждения;
5. Синхронные компенсаторы для узловых распределительных подстанций района электрических сетей с силовыми трансформаторами мощностью 63000кВА и более и напряжением на высокой стороне 220кВ и выше;
6. Конденсаторные установки и батареи для продольной и поперечной компенсации реактивной мощности;
7. Статические источники реактивной мощности.

- Для устранения *отклонения частоты* менее 48 Гц при увеличении нагрузки на шинах электростанций должна предусматриваться автоматическая частотная разгрузка (АЧР), которая автоматически отключает от шин неответственных потребителей 3 категории.
- Для устранения *несимметрии напряжений* рекомендуется применение в основном трехфазных электроприёмников и ограничение однофазных электроприёмников не более 2%, а также равномерное распределение однофазных электроприёмников, подключённых к трёхфазной сети или подключение дополнительных реактивных катушек и сопротивлений.
- Для устранения *несинусоидальности формы кривой напряжений и токов* и устранения высших гармоник применяются трёхфазные резонансные фильтры, включаемые параллельно в сеть «звездой» и настраиваемых на определённые частоты.

Реактивная мощность и коэффициент мощности электрической сети

Электроприемники, подключённые к электрической сети, потребляют как активную так и реактивную мощность, которые вырабатываются синхронными генераторами и передаются через электрические сети.

Активная мощность, потребляемая электроприёмниками, преобразуется в механическую энергию электрическими машинами, в световую энергию источниками света, в тепловую энергию

нагревательными приборами, также в другие виды энергии и определённый процент активной энергии расходуется на потери.

Реактивная мощность не связана с полезной работой электроприёмников и расходуется на создание электромагнитных полей в трансформаторах и электродвигателях и линиях. Из курса ТОЭ известно, что реактивная мощность может иметь индуктивный и ёмкостной характер. Так как электроприёмниками в основном являются асинхронные электродвигатели, то индуктивную реактивную мощность принято называть нагрузочной или потребляемой, а ёмкостную реактивную мощность генерируемой, потому что синхронные генераторы в основном работают с опережающим по фазе током.

Основными потребителями индуктивной реактивной мощности являются:

- асинхронные двигатели переменного тока потребляющие до 65-70 % от общей мощности;
- силовые и сварочные трансформаторы до 20-25 % от общей мощности;
- электрические сети, реакторы, люминесцентные лампы и прочие электроприёмники до 10 % от общей мощности.

Наиболее оптимальными коэффициентами мощности электрической сети являются $\cos\varphi = 0{,}92 \div 0{,}95$.

Конденсаторы изготовляют на напряжение 220, 380, 660, 6300 и 10 500 В в однофазном и трехфазном исполнениях для внутренней и наружной установки. Они бывают масляные (К.М) и соволовые (КС). Диэлектрическая проницаемость совола примерно вдвое больше, чем масла. Однако допустимая отрицательная температура составляет —10 °С для соволовых конденсаторов, в то время как масляные могут работать при температуре — 40° С. Широкое применение конденсаторов для компенсации реактивной мощности объясняется их значительными преимуществами по сравнению с другими видами КУ: незначительные удельные потери активной мощности до 0,005 кВт/квар, отсутствие вращающихся частей, простота монтажа и эксплуатации, относительно невысокая стоимость, малая масса, отсутствие шума во время работы, возможность установки около отдельных групп ЭП и т. д. I

Методические указания по выполнению лабораторной работы

1. Исходные данные для расчета компенсирующих устройств.

Данные, определённые из расчёта нагрузок

Активная расчётная мощность - $\mathbf{P_р}$ в кВт (МВт);

Реактивная расчётная мощность - $\mathbf{Q_р}$ в кВАр (МВт);

Полная расчётная мощность - $\mathbf{S_р}$ в кВА (МВА);

Расчётный коэффициент мощности – $\mathbf{\cos \varphi_р}$;

Расчётный тангенс мощности – $\mathbf{tg\ \varphi_р}$;

Данные, определённые из расчёта силовых трансформаторов:

Количество трансформаторов на подстанции – $\mathbf{n_{тр}}$ в шт;

Стандартная номинальная мощность выбранного трансформатора – $\mathbf{S_{ном}}$ в кВА;

Напряжение сторон трансформатора – $\mathbf{U_{ВН}/U_{НН}}$ в кВ;

Фактический коэффициент загрузки трансформатора – $\mathbf{\beta_{факт}}$;

Ток холостого хода трансформатора – $\mathbf{i_{хх}}$ в %;

Напряжение короткого замыкания трансформатора – $\mathbf{U_{кз}}$ в %;

Данные, задаваемые руководителем курсового проекта:

Коэффициент мощности энергосистемы - $\mathbf{\cos \varphi_{эс}}$;

Тангенс мощности энергосистемы – $\mathbf{tg\ \varphi_{эс}}$;

2. Определяем реактивную мощность – $\mathbf{Q_{эс}}$ в кВАр, которую, может выдать энергосистема при данной активной расчётной мощности

$$\mathbf{Q_{эс} = P_р * tg\ \varphi_{эс}}$$

если выполняется условие $\mathbf{Q_{эс} \geq Q_р}$**,** расчёт компенсирующих устройств не производиться.

если выполняется условие $\mathbf{Q_{эс} \leq Q_р}$**,** то расчёт компенсирующих устройств должен производиться обязательно.

3. Определяется пропускная мощность - **Qпр** в кВАр,

при нормальном режиме работы, с фактическим коэффициентом загрузки трансформатора

$$\mathbf{Qпр = \sqrt{(nтр * \beta факт * Sном)^2 - Pр^2}}$$

4. Определяется пропускная мощность - $\mathbf{Q'_{пр}}$ в кВАр,

при работе в послеаварийном режиме работы

$$\mathbf{Q'_{пр} = \sqrt{(1{,}4 * S_{ном})^2 - P_р^2}}$$

5. Определяется место установки компенсирующих устройств

5.1. Определяется возможность пропуска реактивной мощности через трансформаторы и место установки компенсирующих устройств путём сравнения:

$$\mathbf{Q_{пр} \geq Q_р; \quad и \quad Q'_{пр} \geq Q_р;}$$

- два условия выполняются, то установка компенсирующих устройств возможна на любой стороне трансформатора,
- при выполнении второго условия по напряжению стороны.
- условия не выполняются, то установка компенсирующих устройств возможна только на низкой стороне.

5.2. Напряжения сторон силового трансформатора $\mathbf{U_{ВН}/U_{НН}}$ в кВ:

После предварительного определения места расположения установки компенсирующих устройств необходимо проверить возможность подключения компенсирующих устройств к данному классу напряжения.

6. Определение потерь реактивной мощности в силовых трансформаторах - $\Delta Q_{тр}$,

$$\Delta Q_{тр} = ((U_{кз} * \beta_{факт}^2 \backslash 100) + (i_{хх} \backslash 100)) * S_{ном}$$

7. Определяем необходимую расчётную мощность компенсирующих устройств на любой стороне силового трансформатора подстанции:

для одной цеховой трансформаторной подстанции или ГПП завода; для распределительного пункта объекта, от которого питаются цеховые ТП различных отраслей промышленности:

$$Q_{КУрасч} = Q_р - Q_{эс} - \sum(n_{тр} * \Delta Q_{тр})$$

8. Определяем реактивную мощность компенсирующих устройств, подключённых к каждой секции шин двухтрансформаторной подстанции:

$$Q'_{КУрасч} = Q_{КУрасч} / 2$$

9. Выбираем компенсирующие устройства по напряжению и мощности по справочной литературе.

Рекомендуется выбирать количество и мощность установленных компенсирующих устройств таким образом, чтобы их суммарная мощность, как можно ближе подходила к расчётной реактивной мощности, определённой на каждую секцию шин.

$$Q'КУуст \approx Q'КУрасч$$

10. Определяется общая установленная реактивная мощность компенсирующих устройств

$$Q_{КУуст} = Q'_{КУуст} * 2$$

11. Определяется погрешность, обусловленная неточностью выбора мощности компенсирующих устройств с расчётной мощностью компенсирующих устройств, которая не должна превышать $\Delta Q_{КУ} \leq \pm 5\%$

$$\Delta Q_{КУ} = ((Q_{КУрасч} - Q_{КУ\ уст}) / Q_{КУрасч}) * 100$$

12. Определяется полная расчётная мощность объекта, завода или цеха с учётом установки компенсирующих устройств

$$S'_р = \sqrt{P_р^2 + (Q_р - Q_{КУуст})^2}$$

13. Проверяется возможность установки трансформатора меньшей стандартной мощности:

13.1.При работе трансформатора в послеаварийном режиме

$$1{,}4 * S'_{тр.\ ном.} \geq 0{,}75 * S'_р$$

13.2. При работе в нормальном режиме:

$$\beta_{факт} = S'_р / (n_{тр} * S'_{тр.\ ном})$$

Таблица.

Тип установки	Мощность, кВАр	количество, шт.	Суммарная мощность компенсирующих устройств, кВАр

Если трансформатор меньшей стандартной мощности не подходит по следующим условиям, то рекомендуется окончательно определить трансформатор, ранее выбранный в расчёте трансформаторов.

После окончательного выбора компенсирующих устройств и мощности трансформатора необходимо проанализировать возможные схемы трансформаторных подстанций, а также определить компановку трансформаторной подстанции, затем определить конструктивное выполнение электрических сетей и только после выполнения этих пунктов можно приступать к расчёту электрических сетей.

Справочные данные

Синхронные двигатели рекомендуется принимать с выдачей реактивной мощности.

При отсутствии исходных данных по реактивной составляющей нагрузки коэффициент реактивной составляющей нагрузки tg φ рекомендуется принимать не выше следующих значений

Таблица 1

Напряжение ПС, кВ	**Коэффициент реактивной мощности tg φ**
6-10	0,4
35	0,49
110	0,54
220	0,59

В целях снижения потерь мощности и электроэнергии в электрической сети рекомендуется рассматривать целесообразность установки дополнительных компенсирующих устройств, главным образом, непосредственно у потребителей на напряжении 0,4-10кВ.

Применение регулируемых средств компенсации реактивной мощности (статических тиристорных компенсаторов, управляемых реакторов) на подстанциях основной сети энергосистем рассматривается при необходимости обеспечения быстрого и непрерывного регулирования напряжения.

В схемах развития энергосистем необходимость установки шунтирующих реакторов для исключения повышения напряжения выше допустимого уровня (в режиме минимальных нагрузок), компенсации избытков реактивной мощности и ограничения внутренних перенапряжений в сетях 330-500-750-1150кВ, а также в сетях с протяженными слабо загруженными ВЛ 220кВ определяется расчетами режимов сетей 330кВ и выше (в отдельных случаях 220кВ).

Мощность, число и размещение шунтирующих реакторов уточняется при проектировании конкретных линий электропередачи.

При отсутствии данных степень компенсации зарядной мощности линий следует принимать не менее 80-100 % - на 500кВ,

100-110% - на 750кВ

110-120% - на 1150кВ

(меньшие значения характерны для ВЛ, отходящих от электростанций, большие – для линий с реверсивным характером работы).

Таблица 2. Технические данные комплектных конденсаторных установок

Тип установки	Мощность, кВАр	Количество ступеней	Удельные потери кВт/квар	Габариты (длина, ширина, высота), мм
Для осветительных сетей 380 В				
УК2-0.38-50УЗ	50	2	0,0045	375x430x650
УКЗ-0.38-75УЗ	75	3	0,0045	580x430x650
УК2-0,38-100УЗ	100	2	0,0045	375x430x965
Для силовых сетей 380 В				
УКБН-0.38-100-50УЗ	100	2	0,0045	800x440x895
УКБТ-0,38-150УЗ	150	1	0,0045	630x520x1400

УКТ-0.38-150УЗ	150	1	0,0045	700х560х1660
УКБ-0,38-150УЗ	150	—	0,0045	580х460х1200
УКБН-0.38-200-50УЗ	200	4	0,0045	800Х440Х1685
Для силовых сетей 6 и 10 кВ				
УКМ-6.3-400-У1	400	1	0,003	2140х860х2060
УК-6.3-450-ЛУЗ	450	1	0,003	2140х880х1800
УК-6.3-900-ЛУЗ	900	1	0,003	3540х880х1800
УК-6.3-1125-ЛУЗ	1125	1	0,003	4240х880х1800

Таблица 3

Технические данные конденсаторных установок напряжением 6 кВ			
№пп	**Марка, тип**	**Uном, кВ**	**Qном, кВАр**
1	КУ-6-I	6,0	330,0
2	КУ-6-II	6,0	500,0
3	КУН-6-II	6,0	420,0
4	КУ-6-I с БРВ-1	6,0	330,0
5	КУ-6-II с БРВ-1	6,0	500,0
6	УК-6-450	6,0	450,0
Технические данные косинусных конденсаторов напряжением 6 кВ			
1	КЭП-6,3-200-2У1	6,3	200,0
2	КЭП-6,3-225-2У1	6,3	225,0
3	КЭКШ-6,3-200-1У1	6,3	200,0
4	КЭКФ-6,3-200-1У1	6,3	200,0
5	КЭКФ-6,6-200-2УХЛ1	6,6	200
6	КСКФ-6,6-150-2У1	6,6	150
7	КЭ1-6,3-37,5-2У3	6,3	37,5
8	КЭ2-6,3-75-2У3	6,3	75
Технические данные синхронных компенсаторов на напряжение 6 кВ			
1	КС-16-6 n = 1000 об/мин	6,3	16000
Технические данные конденсаторных установок напряжением 10 кВ			
1	КУ-10-I	10,0	330,0
2	КУ-10-II	10,0	500,0
3	КУН-10-II	10,0	400,0
4	КУ-10-I с БРВ-1	10,0	330,0
5	КУ-10-II с БРВ-1	10,0	500,0
6	УК-10-450	10,0	450,0
Технические данные косинусных конденсаторов напряжением 10 кВ			
1	КЭП-10,5-200-2У1	10,5	200,0
2	КЭП-10,5-225-2У1	10,5	225,0
3	КЭ1-10,5-37,5-2У3	10,5	37,5
4	КЭ2-10,5-75-2У3	10,5	75,0
Технические данные синхронных компенсаторов напряжением 10 кВ			
1	КС-16-11 n = 1000 об/ мин	10,5	16000
2	КСВ-50-11 n = 750 об/ мин	11	50000
3	КСВ-100-11 n = 750 об/ мин	11	1000000
Технические данные конденсаторных установок напряжением 0,38 кВ			
1	УКЛ(П)Н-0,38-150-50У3	0,38	150,00
2	УКЛ(П)Н-0,38-300-50У4	0,38	300,00
3	УКТ-0,38-75-50У5	0,38	75,00
4	УКН-0,38-75-50У6	0,38	75,00
5	УКН-0,38-150-50У5	0,38	150,00
6	УКТ-0,38-150-50У6	0,38	150,00
7	ККУ-0,38-МсБРВ-2	0,38	160,00
8	ККУ-0,38-VcHD-2	0,38	280,00

9	УКМ58-0,4-20-10У3	0,4	20,00
10	УКМ58-0,4-30-10У3	0,4	30,00
11	УКМ58-0,4-50-25У3	0,4	50,00
12	УКМ58-0,4-67-33,3У3	0,4	67,00
13	УКМ58-0,4-100-33,3У3	0,4	100,00
14	УКМ58-0,4-150-33,3У3	0,4	150,00
15	УКМ58-0,4-180-33,3У3	0,4	180,00
16	УКМ58-0,4-200-33,3У3	0,4	200,00
17	УКМ58-0,4-300-33,3У3	0,4	300,00
18	УКМ58-0,4-402-67У3	0,4	402,00
19	УКМ58-0,4-603-67У3	0,4	603,00
Технические данные косинусных конденсаторов напряжением 0,38 кВ			
1	КЭ1-0,38-25-2У3	0,38	25,0
2	КЭ1-0,38-25-3У3	0,38	25,0
3	КЭ2-0,38-40-2У3	0,38	40,0
4	КЭ2-0,38-40-3У3	0,38	40,0
5	КЭ2-0,38-50-2У3	0,38	50,0
6	КЭ2-0,38-50-3У3	0,38	50,0
7	КЭК1-0,4-33,3-2У3	0,4	33,3
8	КЭК1-0,4-33,3-3У3	0,4	33,3
9	КЭК1-0,4-67-2У3	0,4	67,0
10	КЭК1-0,4-67-3У3	0,4	67,0
11	КМПС-0,4-12,5-3У3	0,4	12,5

Контрольные вопросы

1. Назначение реактивной мощности, потребляемой электроприёмниками?
2. Основные потребители реактивной мощности?
3. Негативные последствия, возникающие при прохождении реактивной мощности по питающим электрическим сетям?
4. Естественные способы компенсации реактивной мощности на промышленных предприятиях?
5. Способы искусственной компенсации реактивной мощности на промышленных предприятиях?
6. Почему компенсация реактивной мощности производится на промышленных предприятиях, но не производится в электрических сетях питающие микрорайоны, жилые массивы, города и посёлки?
7. Достоинства и недостатки конденсаторных батарей по сравнению с синхронными компенсаторами?
8. Достоинства и недостатки синхронных компенсаторов по сравнению с конденсаторными батареями?
9. Почему компенсирующие устройства реактивной мощности в основном устанавливаются на стороне низкого напряжения трансформаторной подстанции?
10. Почему иногда коэффициент мощности называют коэффициентом полезного действия электрической сети?
11. Почему синхронные компенсаторы в основном устанавливаются на ГПП и УРП или электростанциях?
12. Что произойдёт в электрических сетях если реактивную мощность не компенсировать?
13. Почему не рекомендуется, чтобы асинхронные электродвигатели работали в режиме холостого хода?