

КУРС ЛЕКЦИЙ

по учебной дисциплине

«Переходные процессы в электроэнергетических системах»

Раздел 4

Лекция №12 Переходные процессы в системах электроснабжения (узлах нагрузки) ЭЭС при малых возмущениях

Учебные вопросы

- 1. Лавина напряжения.**
- 2. Роль электрического центра системы.**
- 3. Медленные понижения напряжения.**



Общие вопросы лекции.

Система электроснабжения (СЭ) – часть ЭЭС, непосредственно осуществляющая снабжение электрической энергией потребителей.

Места подключения отдельных систем электроснабжения к высоковольтным сетям ЭЭС называют **узлами нагрузок**.

В СЭ, когда большая часть нагрузки представляет собой группы асинхронных двигателей, имеющие совокупную мощность соизмеримую с мощностью питающих их источников могут возникать специфические явления, называемые лавиной напряжения.

Пуски двигателей, резкие колебания момента на их валу и т.д. приводят к изменениям величины и фазы напряжения в узлах нагрузки. Эти отклонения не должны выходить из допустимых пределов. Влияние резких изменений режима двигателей обычно заметно проявляется в распределительных сетях в виде колебаний напряжения. Более медленные изменения режима двигателей, связанные с технологическими процессами, в которых эти двигатели участвуют, преимущественно отражаются на уровнях напряжения в питающей сети (на отклонениях напряжения).

Такие нарушения режима, как короткие замыкания в элементах питающей сети, отключения и повторные включения, самозапуск асинхронных двигателей после перерывов питания, самовозбуждение и самораскачивание двигателей при работе на ёмкостное сопротивление и т.д., могут весьма существенно сказываться на режиме всей системы электроснабжения, поэтому переходные процессы в её элементах рассматриваются не только с точки зрения их надёжности и устойчивости, но и с точки зрения обеспечения надёжности всей системы электроснабжения.

Вопрос 1. **Лавина напряжения.**

Проведённые лабораторные исследования показали, что асинхронные двигатели имеют большой запас устойчивости и поэтому обеспечение статической устойчивости отдельных двигателей, входящих в нагрузку, на практике, как правило, не вызывает затруднений.

Если запас устойчивости характеризовать отношением максимального вращающего момента к рабочему, то коэффициент запаса составит 1,5 – 1,7.

Небольшие снижения напряжения на шинах двигателей не могут привести к нарушению их устойчивости. Однако, это относится к единичному двигателю или группе двигателей, питаемых от шин напряжения, величина которого не зависит от режима двигателя.

Если двигатель или группа двигателей питается от шин соизмеримой мощности, то напряжение на шинах зависит от режима двигателя (его скольжения). Условия нарушения его устойчивости (опрокидывание) получаются в данном случае существенно иными.

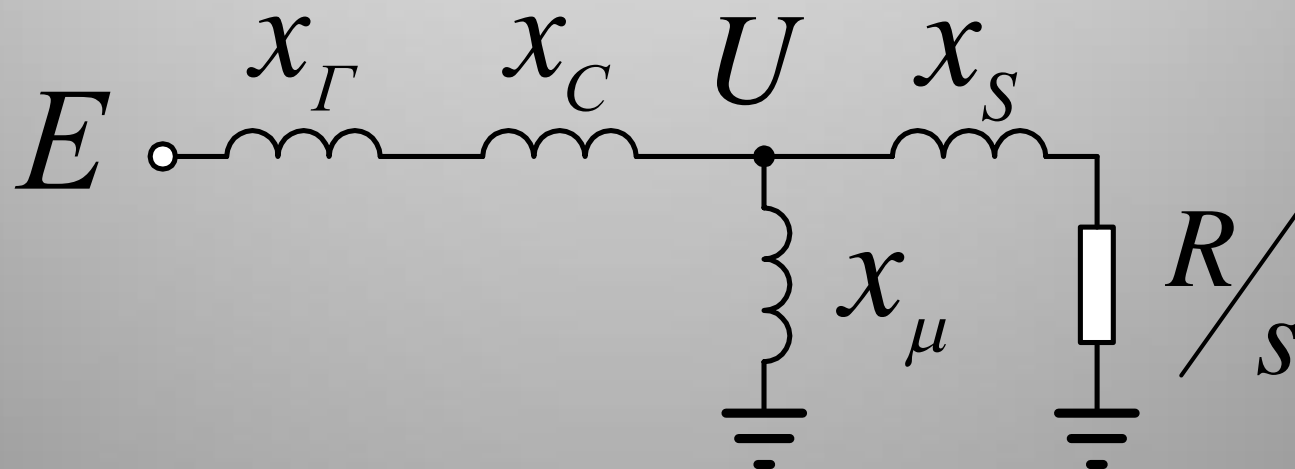
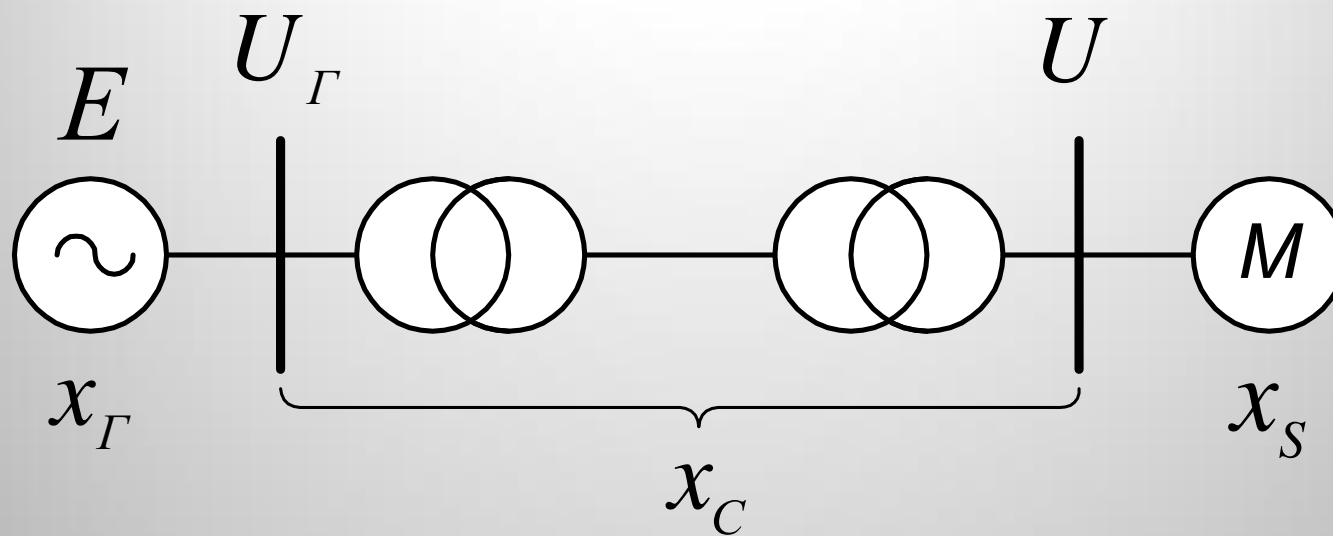
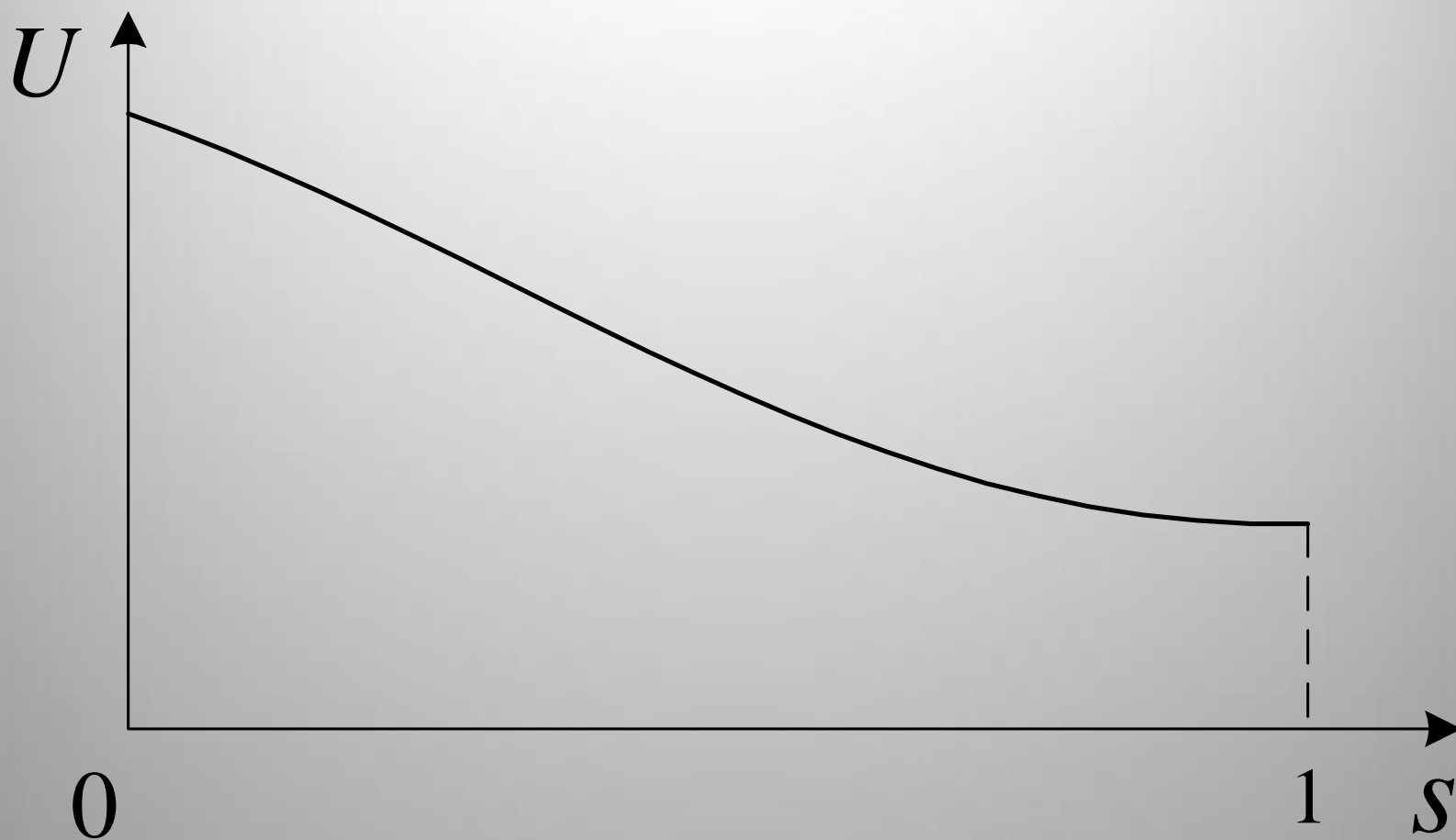


Схема замещения системы



**Очевидно, что напряжение на шинах двигателя
будет падать с ростом скольжения**

**Вычислять вращающий момент удобнее не по
изменяющемуся напряжению $U=f(s)$, а по
неизменному значению э.д.с.**

$$M_{\max E} = \frac{E^2}{2(x_I + x_C + x_S)}; M_{\max U} = \frac{U^2}{2x_S} \gg M_{\max E}$$

Максимальный вращающий момент

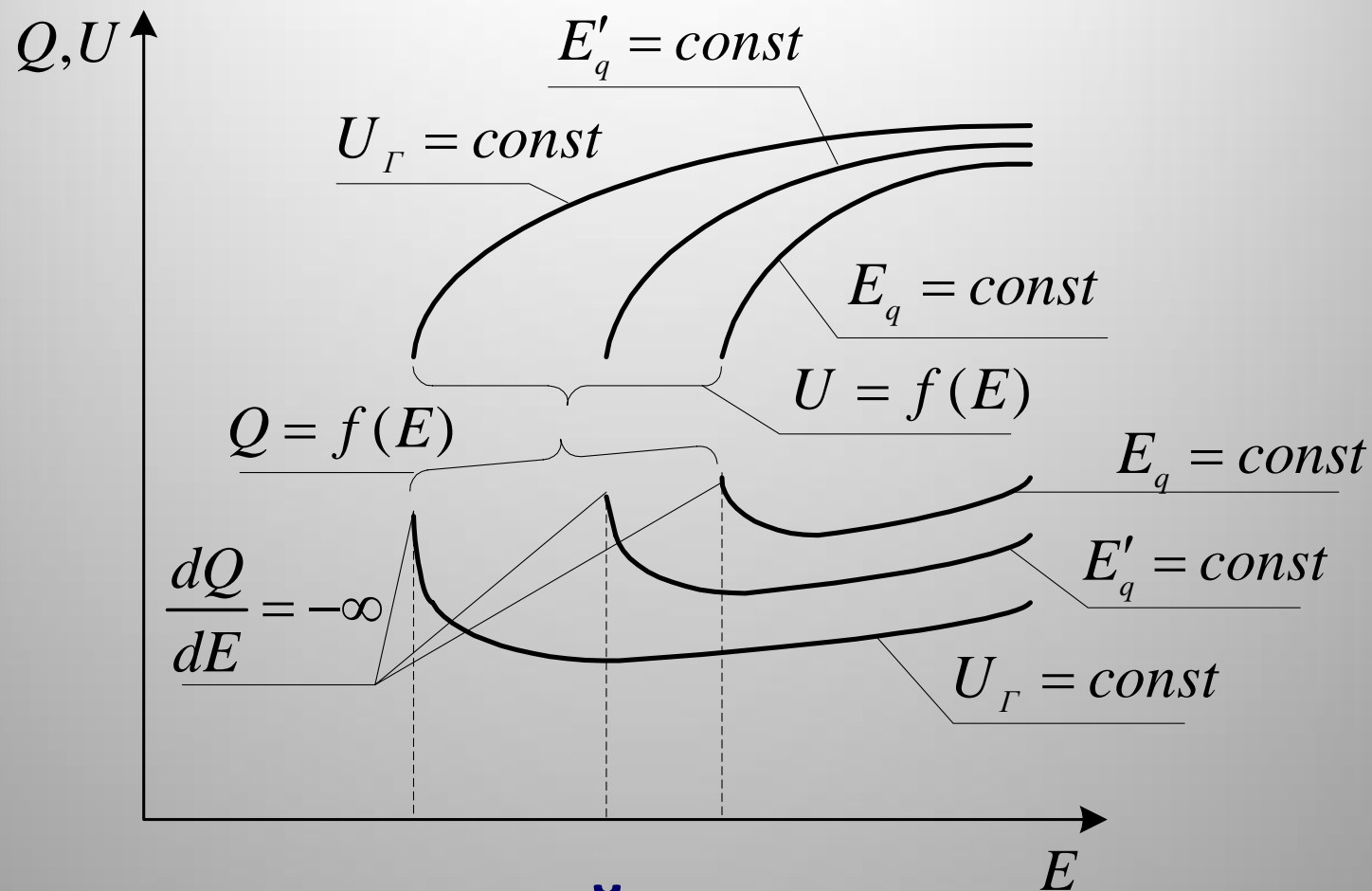
$$s_{кр} = \frac{R}{x_I + x_C + x_S} \ll \frac{R}{x_S}$$

**Критическое скольжение двигателя
оказывается значительно меньше, чем на
шинах бесконечной мощности**

Вывод:

Опрокидывание двигателя, питающегося от источника соизмеримой мощности, может произойти при сравнительно небольших изменениях скольжения и небольших снижениях э.д.с. источника питающего двигатель и тем более при небольших снижениях напряжения, зависящего от режима работы двигателя.

Зависимость э.д.с. генератора от типа АРВ



E_q — нерегулируемый генератор;

E'_q — АРВ пропорционального типа;

U_Γ — АРВ астатического типа 1-го порядка.

Из характеристик $U, Q=f(E)$ видно, что снижение э.д.с. особенно в зоне, где dQ/dE отрицательно, приводит к росту реактивной мощности, соответственному увеличению токов, потребляемых двигателями нагрузки и увеличению падения напряжения в питающей сети, способствуя дальнейшему снижению напряжения.

Вблизи режима опрокидывания двигателей процесс прогрессивного снижения напряжения (лавина напряжения) оказывается очень заметным.

Лавина напряжения в эксплуатационной практике

Персонал станций и систем не может судить о росте токов и скольжении двигателей, входящих в состав комплексной нагрузки опрокидыванию, а наблюдает резкое, лавинообразное снижение напряжения. Лавине напряжения обычно предшествует режим недостаточно высокого возбуждения генераторов, при котором происходит снижение реактивной мощности, приходящей к потребителю, что заставляет персонал считать причиной лавин напряжения «дефицит реактивной мощности»

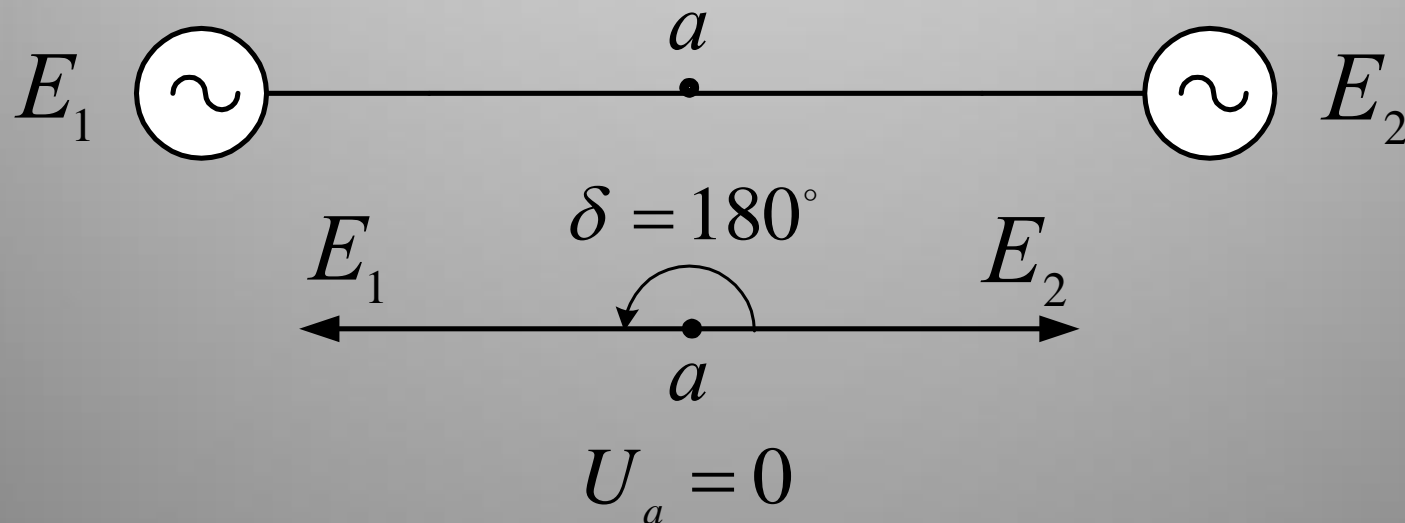
Вопрос 2. Роль электрического центра системы.

Наибольшая опасность нарушения устойчивости нагрузки может иметь место в случаях, когда нагрузка находится в электрическом центре системы или вблизи от него.

Во время качаний генераторов или во время асинхронного хода напряжения в различных точках электрических сетей и электропередач, связывающих эти генераторы, изменяются. При этом в каждой системе при исходном её режиме существует точка, где напряжения являются минимальными. Эта точка называется **электрическим центром системы.**

Ложная работа дистанционных защит

Если система полностью симметрична (э.д.с. равны по величине и постоянны, сопротивления однородны, т.е. отношения R/x у всех элементов одинаковы), то в электрическом центре системы, находящемся в данном случае в середине передачи напряжение будет падать до нуля при расхождении э.д.с. на 180° градусов.



Потребители, расположенные в электрическом центре системы, будут попадать в режим, равносильный короткому замыканию, а устройства релейной защиты, работающие на основе замера эквивалентного сопротивления линии U/I (дистанционные защиты), будут неправильно работать отключая неповреждённые линии.

В реальной системе электрический центр системы может находится ближе к началу или к концу линии или находится вне её (в генераторах, нагрузках и т.п.), но место его может изменяться в процессе качаний.

Вопрос 3. Медленные понижения напряжения.

Компенсация реактивной мощности нагрузки батареями статических конденсаторов может приводить к существенному снижению запаса устойчивости системы, а при высокой степени компенсации – к «лавине напряжения».

Увеличение коэффициента мощности до значения 0,95 снижает коэффициент запаса устойчивости нагрузки в 1,5 раза, а его повышение до значения 1 практически приводит к неустойчивости узла нагрузки.

Влияние компенсации реактивной мощности нагрузки на устойчивость системы

Мощный узел нагрузки представим в виде эквивалентного асинхронного двигателя

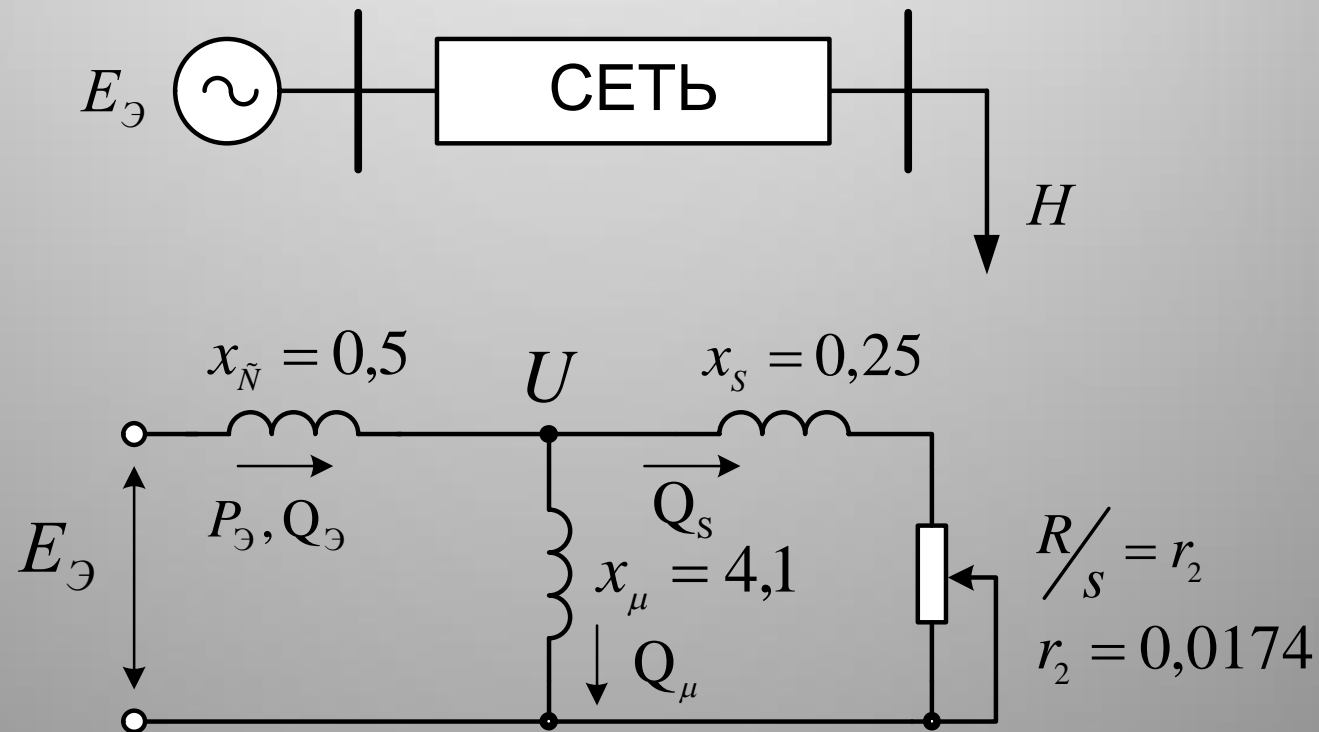


Схема замещения узла нагрузки

Рассмотрим варианты:

- а) – компенсация отсутствует ($\cos \varphi = 0,89$);
- б) – компенсация соответствует ($\cos \varphi = 0,95$);
- в) – реактивная мощность нагрузки
скомпенсирована полностью ($\cos \varphi = 1$).

Величина скольжения для различных значений напряжения на шинах двигателя при постоянной мощности $P=1$ и реактивная мощность, определённая по соответствующим значениям U и s .

U	1,0	0,9	0,8	0,75	0,707
$s, \%$	1,34	1,71	2,40	3,03	4,967
Q_s	0,268	0,344	0,485	0,611	1,0

Критические значения:

$$U_{KP} = \sqrt{2P_0x_S} = \sqrt{2 \cdot 1 \cdot 0,25} = 0,707$$

$$s_{KP} = \frac{R_2}{x_S} = \frac{0,124}{0,25} = 0,0496$$

**Мощность конденсаторной батареи,
необходимая для доведения путём
компенсации коэффициента мощности до 0,95:**

$$Q_K = Q_\mu + Q_S - Q = 0,244 + 0,268 - 0,329 = 0,183$$

$$Q = P \operatorname{tg} \arccos 0,95 = 1 \cdot 0,329 = 0,329$$

Сопротивление батареи:

$$x_K = \frac{U^2}{Q_K} = \frac{1}{0,183} = 5,47$$

Схемы замещения при улучшении коэффициента мощности нагрузки

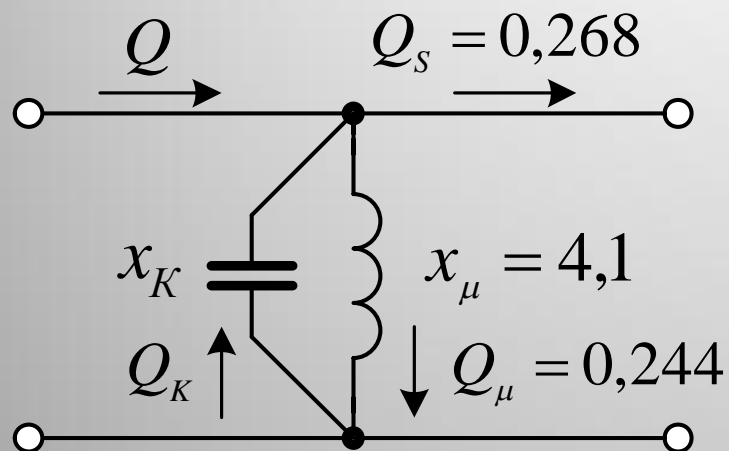


Схема замещения при доведении коэффициента мощности до 0,95

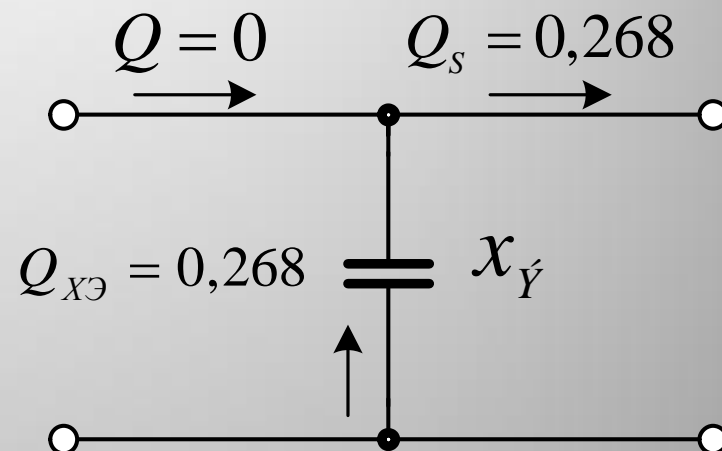
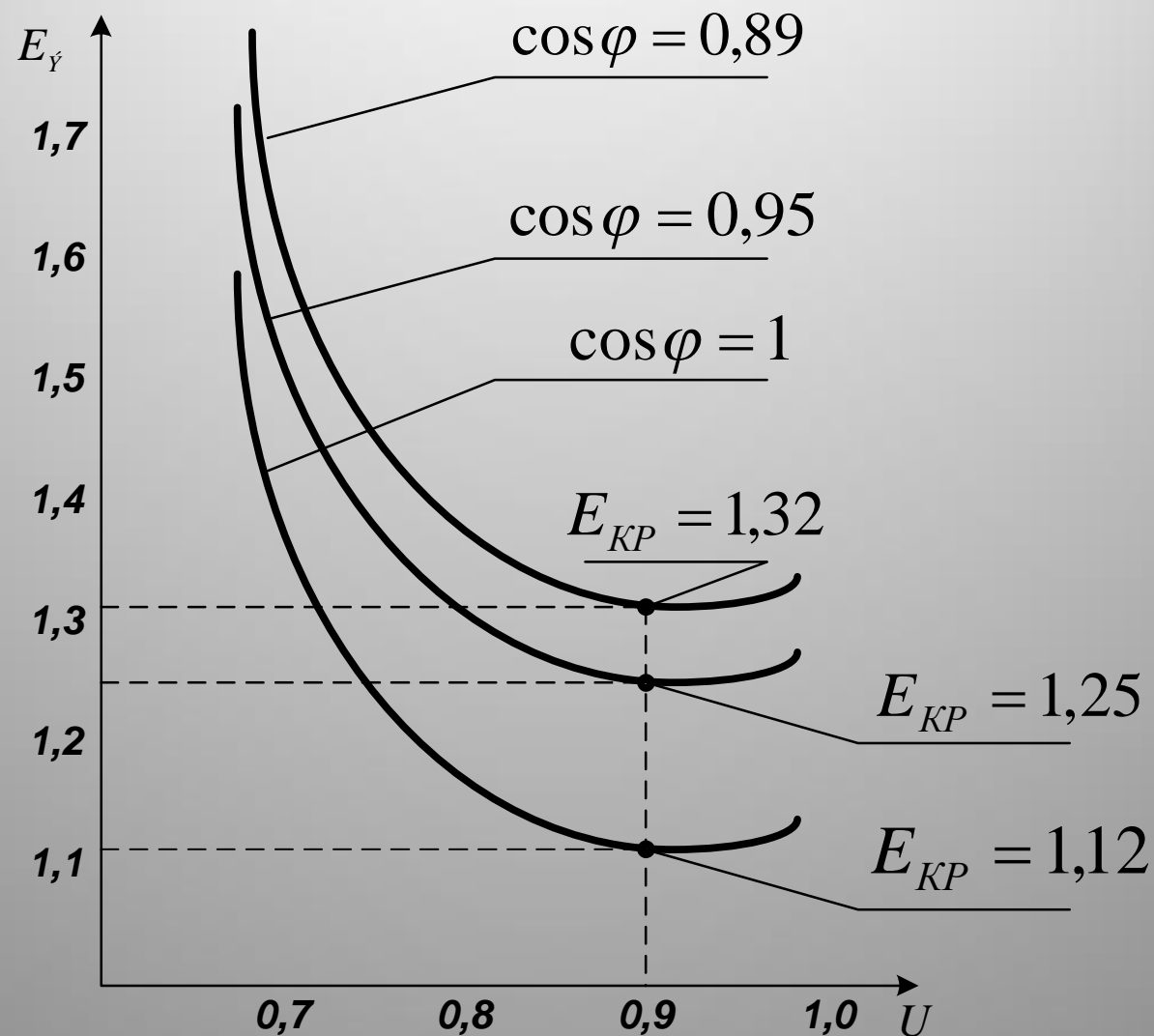


Схема эквивалентного шунта

Сопротивление эквивалентного шунта

$$jx_{\text{Э}} = \frac{jx_{\mu}(-jx_K)}{jx_{\mu} - jx_K} = \frac{j4,1(-j5,47)}{j4,1 - j5,47} = j16,4$$

После того, как определено сопротивление эквивалентного шунта определяются и по результатам вычислений построены кривые



Для рассмотренных вариантов находим

$$\cos \varphi = 0,89; \quad k_3 = \frac{1,35 - 1,32}{1,35} \cdot 100 = 2,22\%$$

$$\cos \varphi = 0,95; \quad k_3 = \frac{1,27 - 1,25}{1,27} \cdot 100 = 1,57\%$$

$$\cos \varphi = 1,0; \quad k_3 = \frac{1,12 - 1,12}{1,12} \cdot 100 = 0\%$$