

# **КУРС ЛЕКЦИЙ**

по учебной дисциплине

## **«Переходные процессы в электроэнергетических системах»**

### **Раздел 4**

## **ЛЕКЦИЯ №11 Характеристики приёмной системы и устойчивость нагрузки**

Учебные вопросы :

- 1. Определение действительного предела мощности.**
- 2. Расчёт статической устойчивости ЭЭС и коэффициент запаса.**



## Вопрос 1. **Определение действительного предела мощности.**

Действительный предел мощности определяется как максимум характеристики мощности, построенной в зависимости от напряжения приемника или от угла.

В качестве независимой переменной может быть использован угол  $\delta$  между э. д. с. передающей станции и напряжением нагрузки или угол между э. д. с. обеих электростанций - передающей и местной.

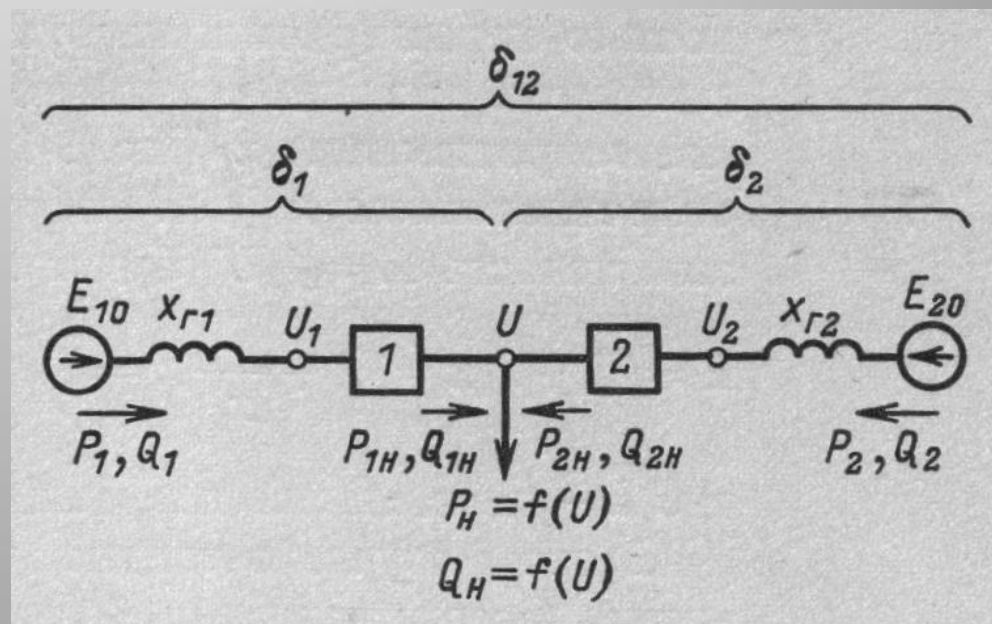


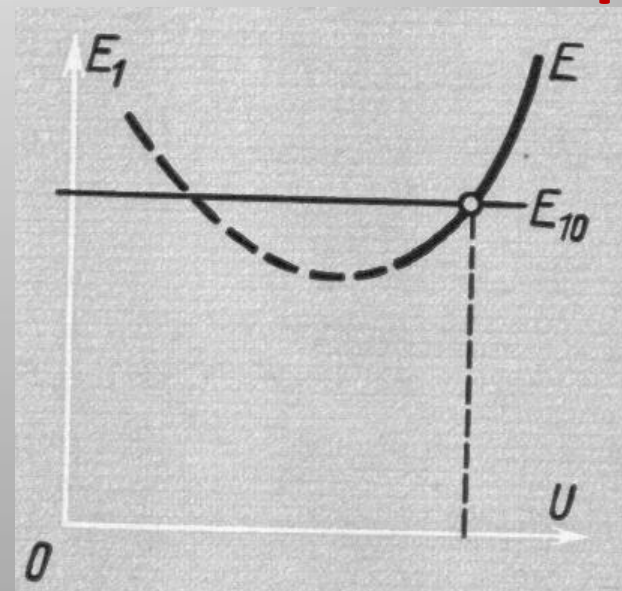
Схема системы с двумя электростанциями

При представлении нагрузки ее статическими характеристиками  $P=f(U)$  и  $Q=f(U)$  построение характеристики передаваемой мощности в зависимости от угла или напряжения сводится к ряду обычных расчетов установившихся режимов.

### Пример:

Пусть для рассматриваемой схемы ЭЭС известны условия нормального режима работы системы. Тем самым определена первая точка искомой характеристики. Для определения второй точки характеристики, которая должна быть получена при увеличенном значении передаваемой мощности  $P_1$  следует задаться некоторым новым значением мощности местной электростанции  $P_2$ , несколько меньшим, чем в нормальном режиме.

Поскольку соответствующее изменение реактивной мощности  $Q_2$  местной станции непосредственно установлено быть не может, следует принять несколько произвольных значений  $Q_2$  и для каждого из них произвести расчет установившегося режима системы. При этом будут получены несколько  $E_1$  и  $P_1$ . Значения  $P_n$  и  $Q_n$  нагрузки при различных значениях  $U$  определяются по статическим характеристикам нагрузки.



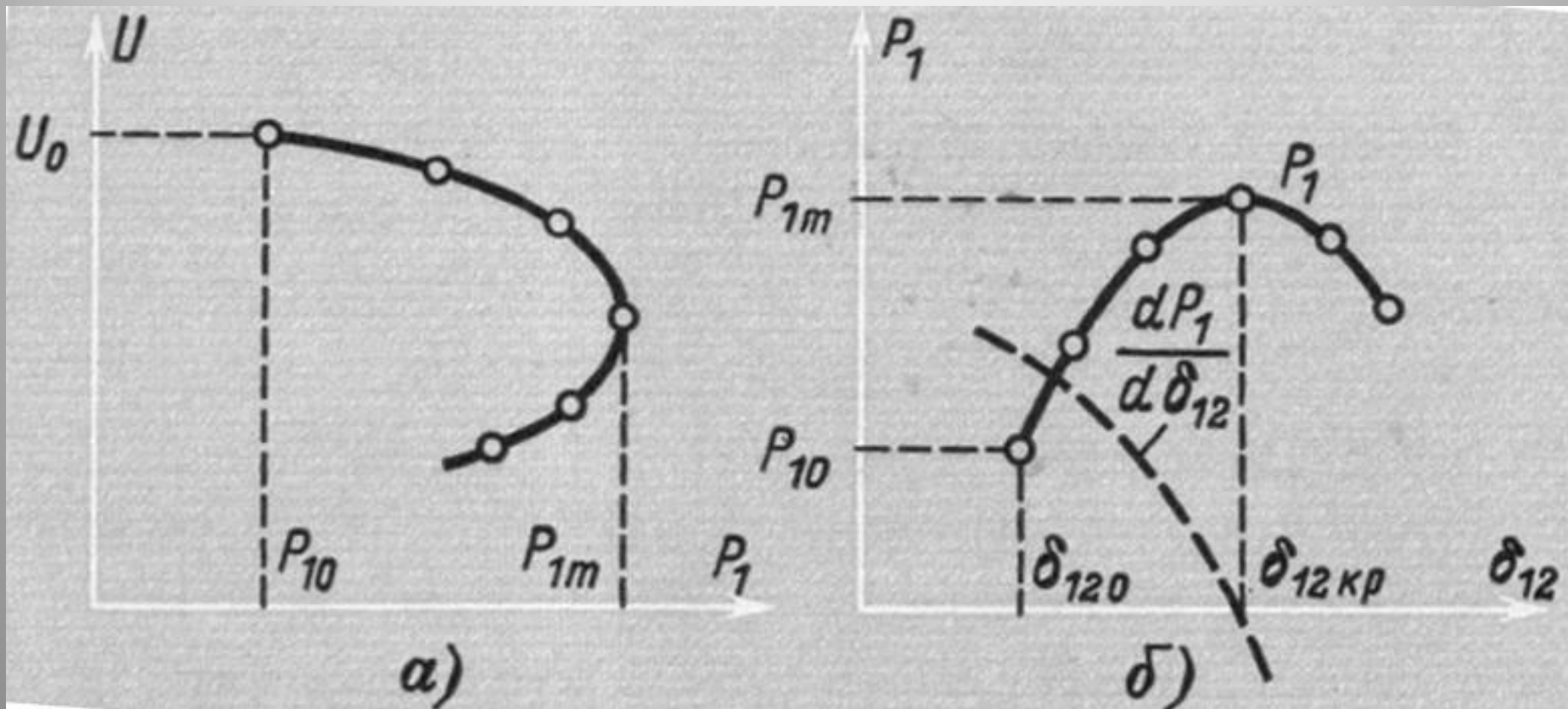
Зависимость э. д. с. от  
напряжения

Построив график зависимости найденных значений э. д. с.  $E_t$  от напряжения  $U$  в точке пересечения этой кривой с горизонтальной прямой  $E_{10}$ , где  $E_{10}$  - неизменная э. д. с. первой станции, можно получить истинный режим, который установится при принятом измененном значении мощности  $P_2$ . Значение мощности передающей станции  $P_1$  и напряжения  $U$  в этом режиме определяют вторую точку искомой характеристики  $P_2 = f(U)$ .

Задаваясь дальнейшим уменьшением мощности местной станции  $P_2$  и повторяя расчеты можно получить третью точку характеристики и т. д.

Построенная таким образом характеристика имеет вид:

## Характеристики мощности в зависимости от напряжения и угла



Касательная к характеристике (б) дает значения синхронизирующей мощности  $dP_1/d_{12}$  при нагрузке, заданной статическими характеристиками.



Синхронизирующая мощность становится равной нулю тогда, когда достигается амплитуда характеристики мощности  $P_{1m}$  при  $\delta_{12кр} < 90^\circ$ . Равенство нулю синхронизирующей мощности и является формальным признаком неустойчивости системы в рассмотренных условиях.

Подобным же образом решается задача и для схемы с несколькими нагрузками, заданными их статическими характеристиками

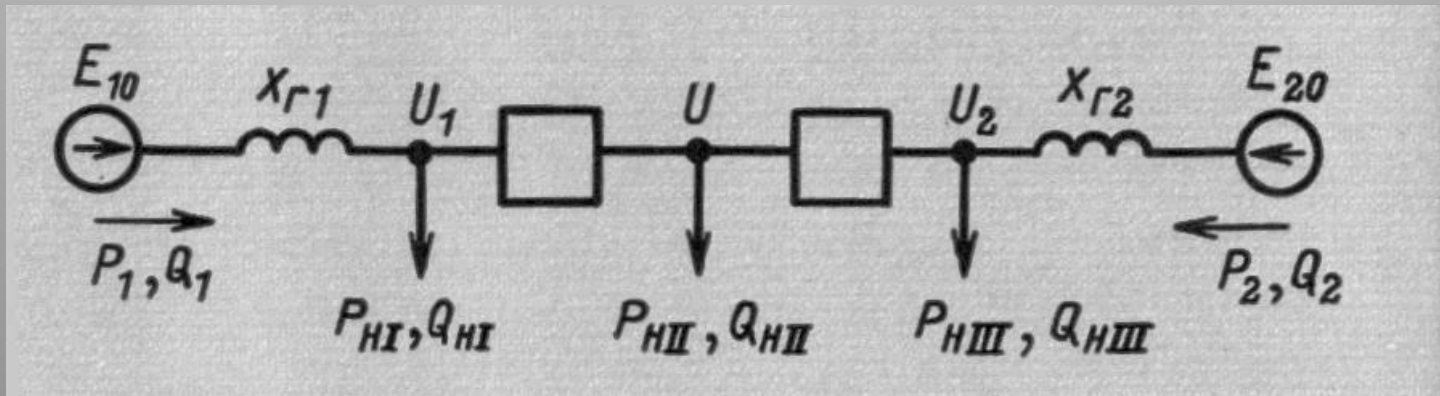
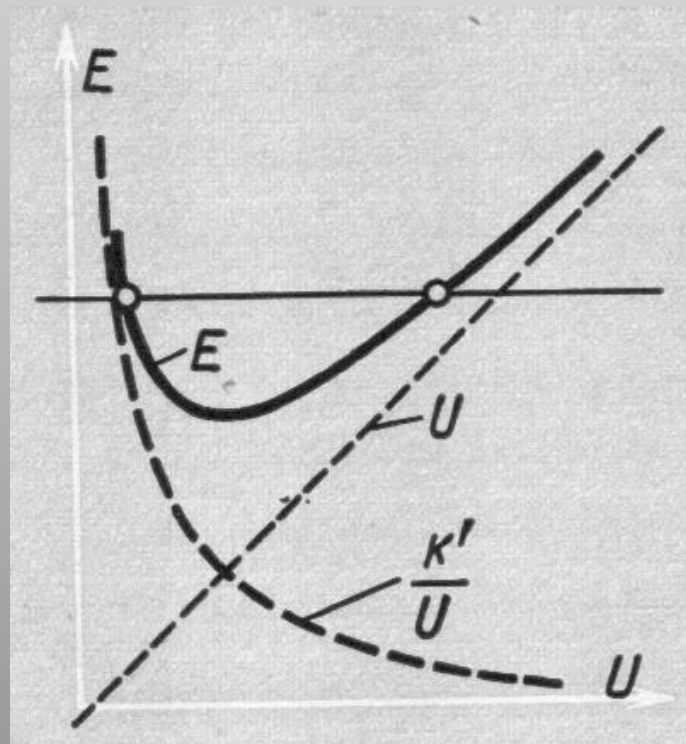


Схема системы с несколькими нагрузками

График  $E_1=f(U)$  при широком диапазоне изменений  $E_1$  и  $U$  имеет не одну, а две точки пересечения с горизонталью и позволяет в этих условиях найти две точки искомой характеристики мощности. Это связано с нелинейностью характеристик нагрузки.





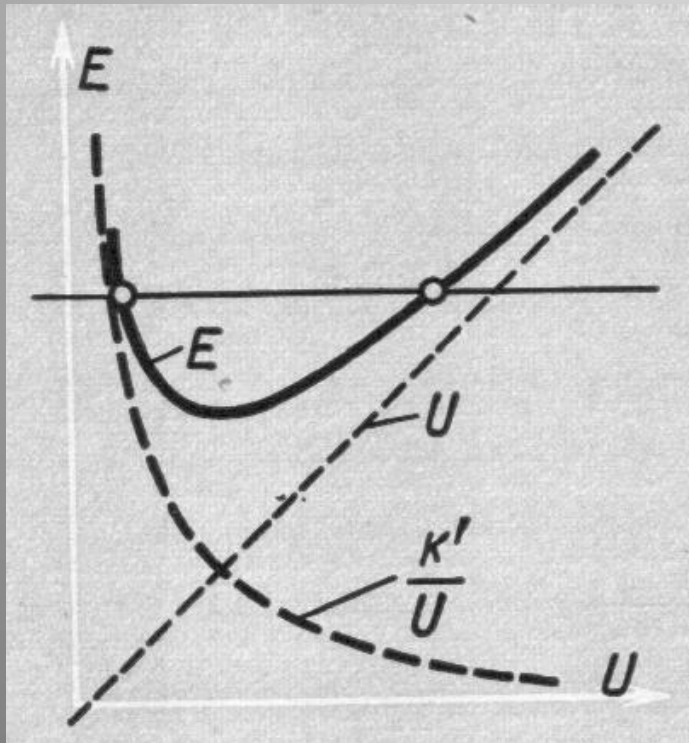
Если ток нагрузки непропорционален  $U$  и, следовательно, мощность нагрузки непропорциональна  $U^2$ , как при постоянном индуктивном сопротивлении нагрузки, то картина получается иной. Если реактивная мощность нагрузки  $Q_H = \text{const}$ , то, определяя ток нагрузки как частное  $I = Q/U$ , нетрудно получить

$$E = U + I_H x = U + \frac{U}{x_H} x = U \left( 1 + \frac{x}{x_H} \right) = kU$$

Это уравнение для  $U$  является квадратным и дает два значения для  $U$  при данном  $E$ . Такая же картина получается и при характеристиках активной и реактивной мощности нагрузки.

При представлении нагрузки неизменным сопротивлением  $x_H$  ток нагрузки будет пропорционален напряжению  $U$  и зависимость  $E = f(U)$  будет линейна:

$$E = U + I_H x = U + \frac{U}{x_H} x = U \left( 1 + \frac{x}{x_H} \right) = kU$$



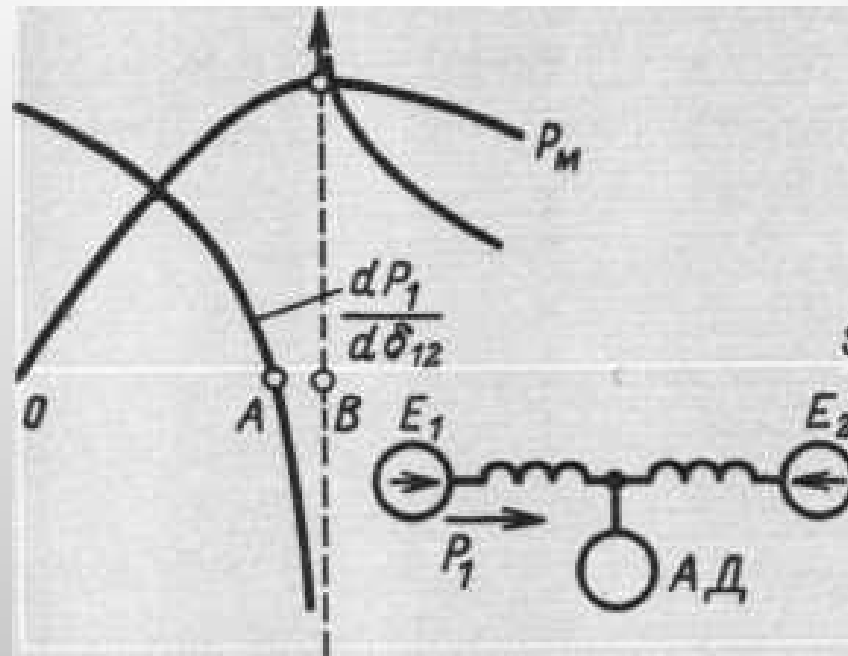
Зависимость э. д. с. от напряжения при постоянной реактивной мощности нагрузки

При представлении нагрузок постоянными сопротивлениями задача построения характеристики мощности и определения действительного предела мощности чрезвычайно упрощается. В этом случае нет необходимости интересоваться характером изменения напряжения приемника. Влияние характеристик приемника на действительный предел мощности проявляется через собственные и взаимные проводимости, которые определяются с учетом сопротивлений нагрузок и местных генераторов.

## **Вопрос 2. Расчёт статической устойчивости ЭЭС и коэффициент запаса.**

Нарушение устойчивости электростанций, как правило, влечет за собой и неустойчивость нагрузки. Точно так же и опрокидывание двигателей крупных потребителей, сопровождаемое резким снижением напряжения, может привести к выпадению из синхронизма генераторов, питающих данную нагрузку.

При неравномерном распределении активных и реактивных мощностей станциями в условиях, приводящих к значительным углам между роторами генераторов в исследуемом режиме, представляется вероятным нарушение устойчивости работы станций.



Зависимости момента асинхронного двигателя и синхронизирующей мощности от скольжения двигателей

Расчеты устойчивости в этих случаях следует вести путем определения действительного предела мощности или вычисления синхронизирующей мощности. Наоборот, при симметричных схемах и режимах, приводящих к небольшим начальным углам целесообразно обращать внимание на устойчивость нагрузки и проверять устойчивость системы путем построения графика  $E = f(U)$ .

Вследствие значительной разницы постоянных инерции СГ и АД устойчивость последнего проверялась при постоянном угле сдвига э. д. с. генераторов.

Характеристика мощности двигателя показана в зависимости от скольжения  $P_m = f(s)$ , при постоянном угле, отличном от нуля. Здесь же даны значения синхронизирующей мощности, найденные для режимов работы генераторов при том же значении угла и различных исходных значениях скольжения двигателя  $s$ .

Синхронизирующая мощность определялась при учете нагрузки по статическим характеристикам, соответствующим принятым параметрам АД. В этих условиях синхронизирующая мощность, изменив знак плюс на минус, проходит через бесконечность, после чего она вновь становится положительной.



Бесконечно больших значений синхронизирующая мощность (СМ) достигает в точке  $B$ , соответствующей максимуму характеристики мощности АД. При этом положительное значение СМ на второй ветви графика не свидетельствует об устойчивости системы в целом, поскольку из-за отрицательных значений производной  $dP/ds$  в этой области АД становится неустойчивым. СМ проходит через нуль в точке  $A$ , когда производная  $dP/ds$  остается еще положительной.

При уменьшении исходного угла обе ветви кривой СМ сближаются и при угле равном нулю образуют непрерывную кривую, за исключением особой точки  $C$ , где СМ принимает любые значения, а производная  $dP/ds$  становится равной нулю.

Эти результаты позволяют заключить, что при любых непрерывных изменениях режима работы ЭЭС, связанных с изменением относительного угла сдвига роторов и скольжения двигателей  $s$ ,  $CM$  изменяет знак раньше, чем производная  $dP/ds$ , за исключением симметричного режима с относительным углом сдвига роторов, равным нулю.

Таким образом, неустойчивость генераторов всегда предшествует возникновению неустойчивости нагрузки или по крайней мере совпадает с ней и для оценки устойчивости системы в целом следует использовать единственный критерий в виде знака  $CM$  (действительный предел мощности).