

КУРС ЛЕКЦИЙ

по учебной дисциплине

«Переходные процессы в электроэнергетических системах»

Раздел 4

ЛЕКЦИЯ №10 Характеристики приёмной системы и устойчивость нагрузки

Учебные вопросы:

- 1. Предел мощности при приемной системе бесконечной мощности. Влияние индуктивного сопротивления системы.**
- 2. Действительный предел мощности ЭЭС.**
- 3. Статические характеристики нагрузки.**



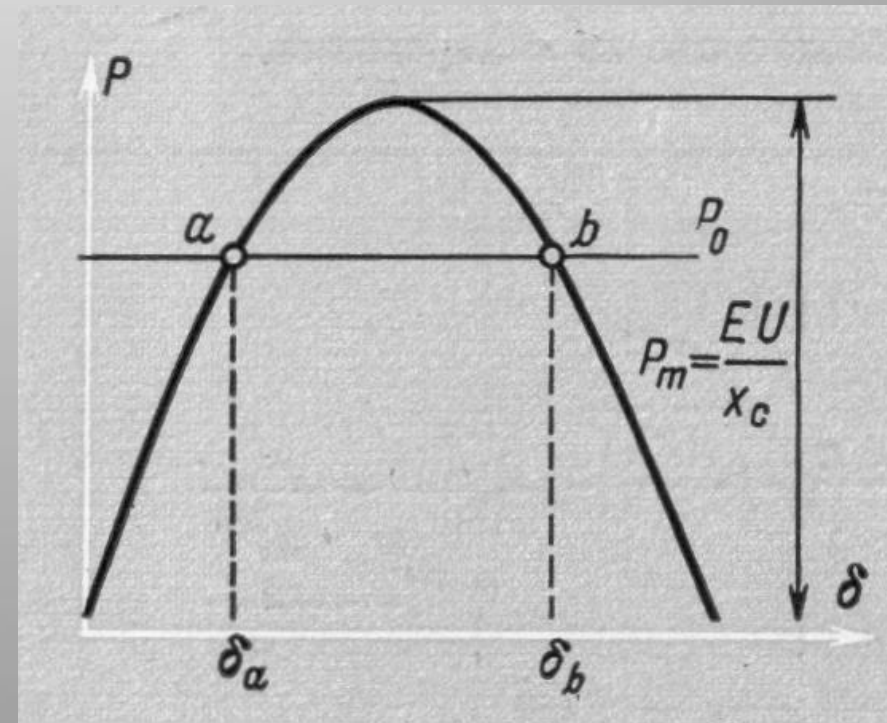
Вопрос 1. Предел мощности при приемной системе бесконечной мощности. Влияние индуктивного сопротивления системы.

При известном значении передаваемой мощности P , например отвечающей точке a , отношение амплитуды синусоидальной характеристики мощности

$$P_m = \frac{EU}{x_c}$$

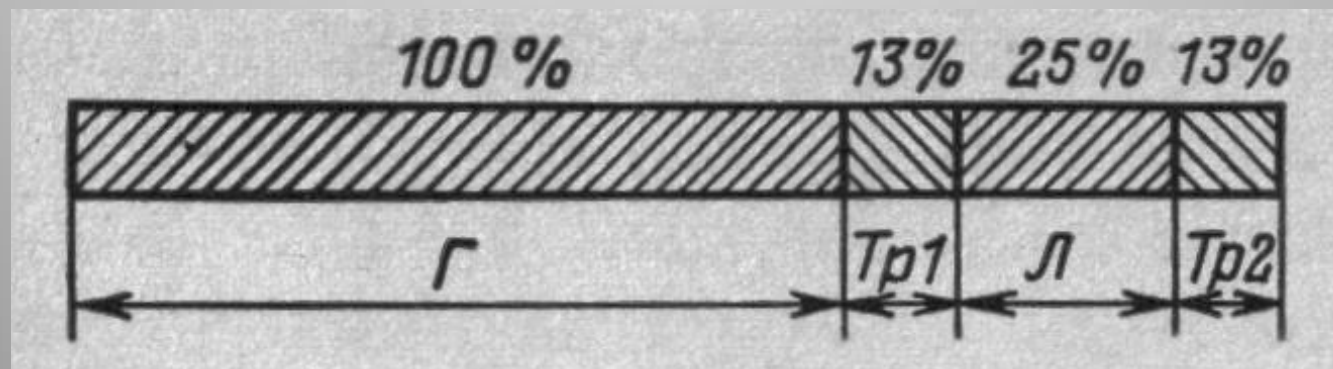
к P_0 характеризует степень устойчивости данного режима и носит название запаса статической устойчивости:

$$k_c = \frac{P_m - P_0}{P_0}$$



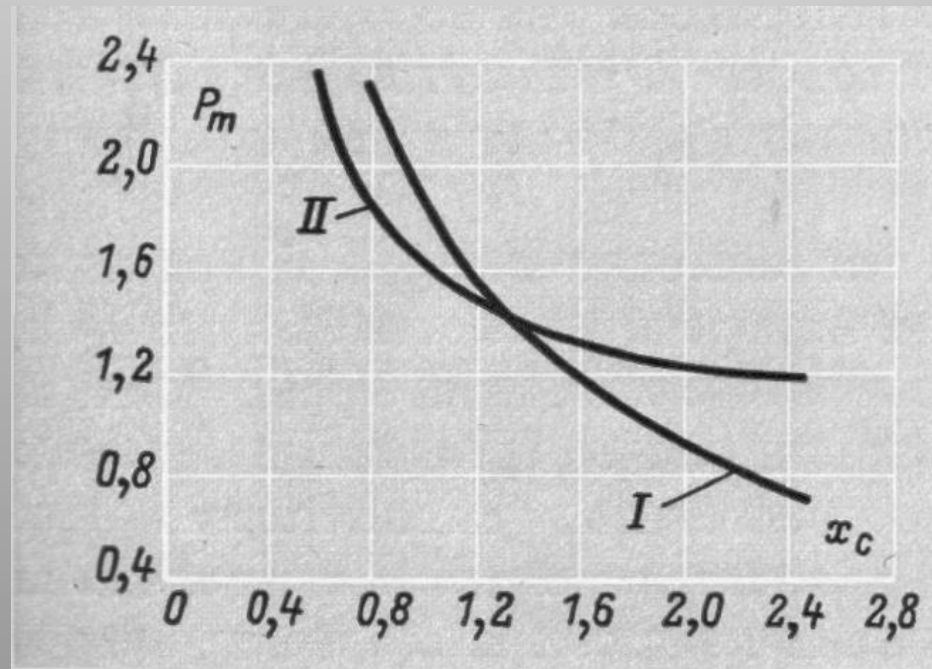
Амплитуда мощности обратно пропорциональна индуктивному сопротивлению системы x_c . Запас устойчивости с увеличением x_c уменьшается.

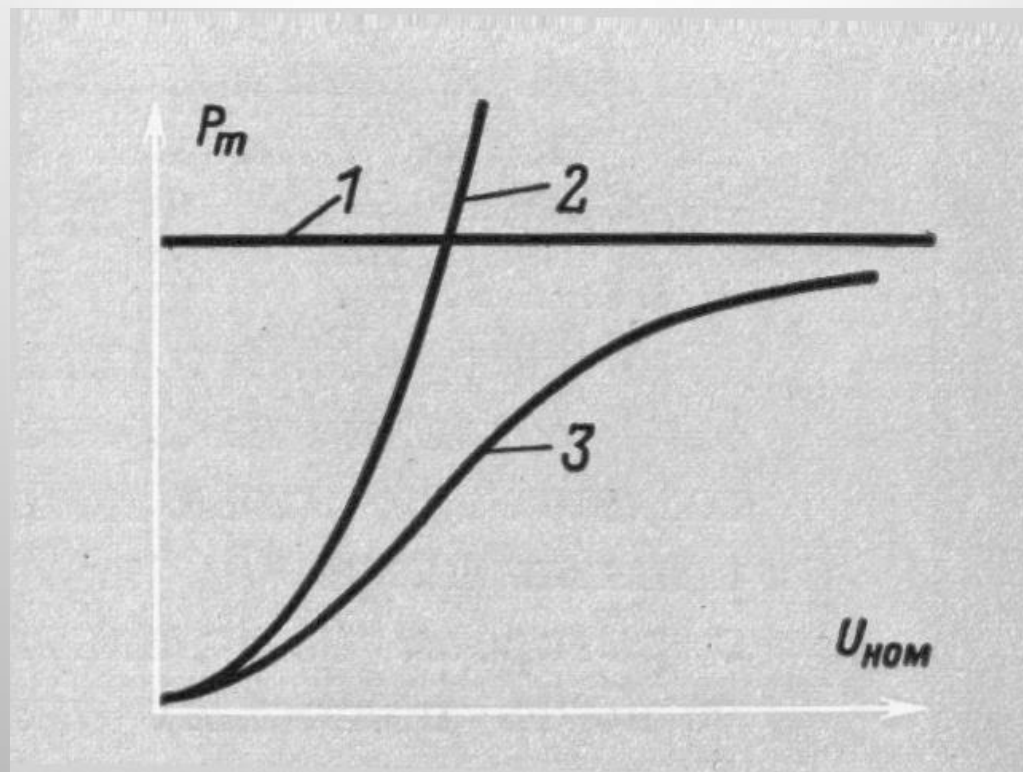
Индуктивное сопротивление системы является одним из важнейших факторов, определяющих степень статической устойчивости системы. Оно в целом складывается из индуктивных сопротивлений генераторов, трансформаторов и ЛЭП.



Соотношение между индуктивными сопротивлениями отдельных элементов типичной электропередачи 220 кВ длиной 200 км с генератором без АРВ

В действительности же увеличение x_c сопровождается ростом э. д. с. Поэтому кривая зависимости идеального предела мощности от x_c при вычете влияния изменения э. д. с. отклоняется от гиперболы и становится более полой.





**Зависимость идеального предела мощности
от номинального напряжения
электропередачи**

**1 – для генераторов и трансформаторов;
2 – для ЛЭП; 3 – для ЭЭС.**

Значение индуктивного сопротивления отдельных элементов системы

При приведении индуктивного сопротивления линии x_L к напряжению генераторов оно уменьшается в отношении k^2 , где k - коэффициент трансформации повышающих трансформаторов ЭЭС. В результате этого с увеличением U ном x_c ЭЭС уменьшается и предел мощности P_T возрастает, приближаясь к пределу мощности, определяемому сопротивлениями генераторов и трансформаторов и не зависящему от напряжения линии. При низком номинальном напряжении ЛЭП предельная мощность определяется в основном индуктивным сопротивлением линии и изменяется пропорционально квадрату напряжения.

Существенное возрастание предела мощности происходит с уменьшением индуктивного сопротивления генераторов в общем сопротивлении системы x_c .

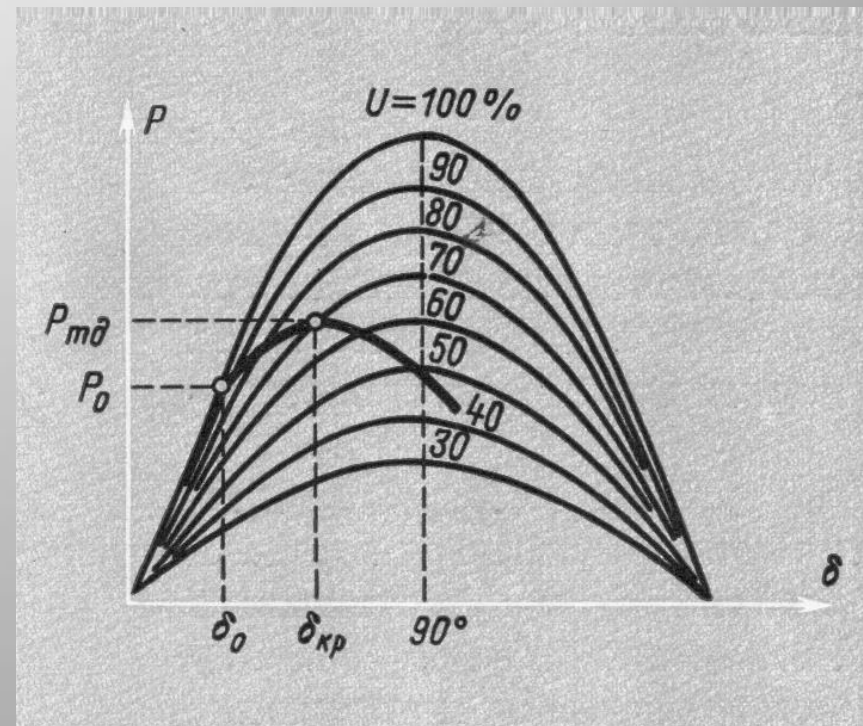
К такому результату приводит применение современных систем автоматического регулирования возбуждения (АРВ) генераторов. Поэтому АРВ является эффективным средством повышения статического предела мощности.

Вопрос 2. Действительный предел мощности ЭЭС

Если мощность приемной системы соизмерима с мощностью электропередачи, то напряжение нагрузки не остается постоянным при изменениях режима работы электропередачи.

Снижение напряжения нагрузки является фактором, ухудшающим статическую устойчивость ЭЭС.

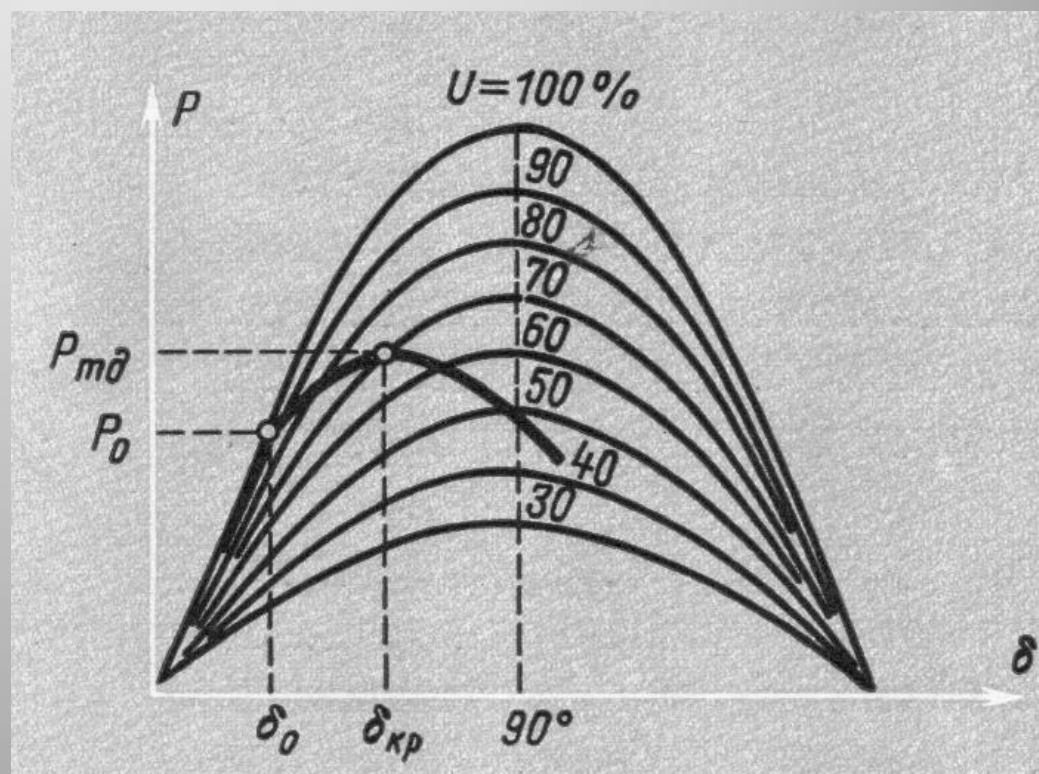
В практических расчетах устойчивости характеристику передаваемой мощности часто строят в зависимости от напряжения нагрузки U , а не от угла δ .



Действительная характеристика мощности

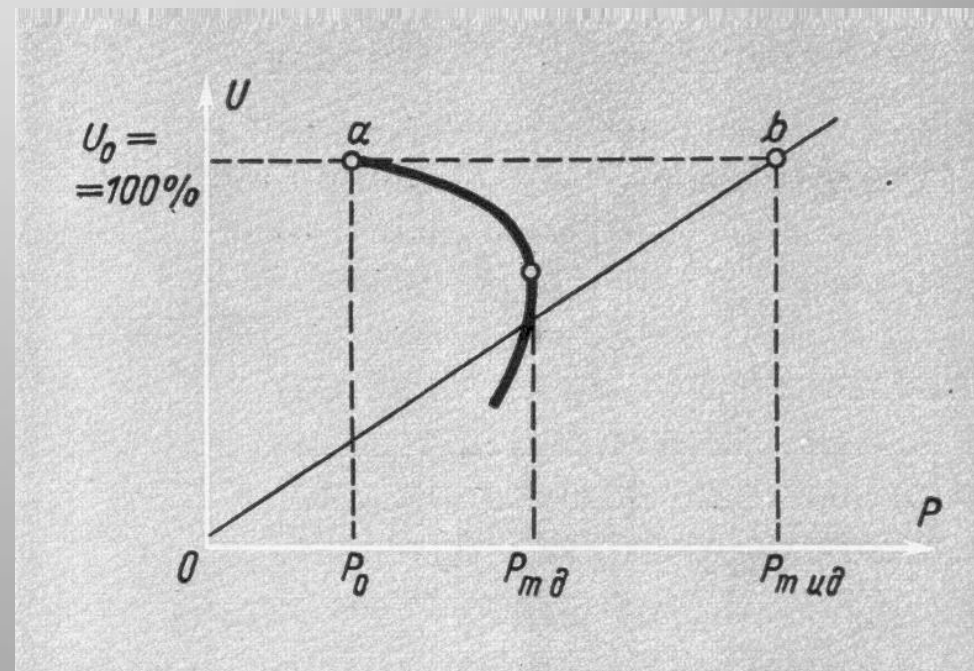
Каждой точке действительной характеристики мощности $P = f(\delta)$ соответствует свое значение напряжения нагрузки U .

Откладывая по оси ординат значения U , а по оси абсцисс - соответствующие значения передаваемой мощности P , мы и получаем характеристику, показанную на следующем слайде.



Действительная
характеристика мощности

Максимальное значение мощности на этой характеристике совпадает с максимумом характеристики мощности и является тем же действительным пределом мощности $P_{та}$. Идеальный предел мощности для данного режима работы системы, характеризуемого точкой a , определяется точкой b на пересечении горизонтали с прямой ob , дающей значения в зависимости от напряжения U .

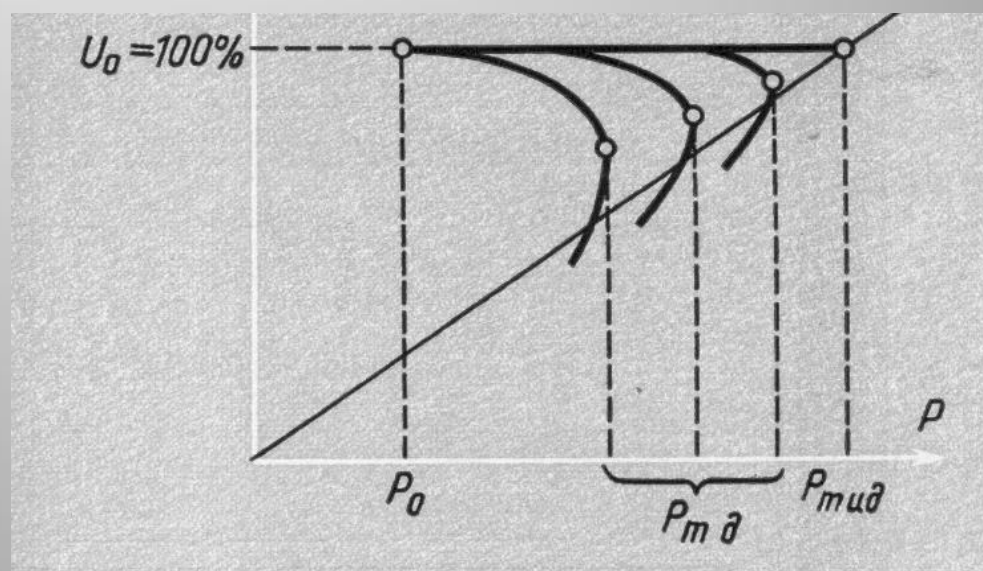


Зависимость напряжения от мощности

Действительные характеристики мощности одной и той же электропередачи, но при различных свойствах нагрузки.

Чем меньше падает напряжение нагрузки с ростом передаваемой мощности и угла, тем более высоким получается действительный предел мощности.

Степень снижения напряжения нагрузки будет тем меньшей, чем больше номинальная мощность приемной системы.



Характеристики мощности при различной степени снижения напряжения

Вопрос 3. Статические характеристики нагрузки

Влияние нагрузки на напряжение в точках ее включения определяется регулирующим эффектом нагрузки, т.е. степенью снижения активной и реактивной мощности нагрузки с уменьшением напряжения на ее выводах, характеризуемой производными dP/dU и dQ/dU .

С уменьшением напряжения уменьшается и мощность, потребляемая нагрузкой. Уменьшение потоков мощности в сети, питающей нагрузку, уменьшает падение напряжения в генераторах, трансформаторах и линиях, что в некоторой степени поддерживает напряжение нагрузки.

Влияние регулирующего эффекта нагрузки на действительный предел мощности довольно значительно, и с ним приходится считаться в практических расчетах устойчивости.

Строгое решение задачи приводит к представлению нагрузок их статическими характеристиками, дающими зависимость активной и реактивной мощности нагрузки от напряжения. Касательные к этим характеристикам позволяют определить производные dP/dU и dQ/dU , т. е. регулирующий эффект нагрузки.

Простейшим видом нагрузки являются неизменные активные и индуктивные сопротивления

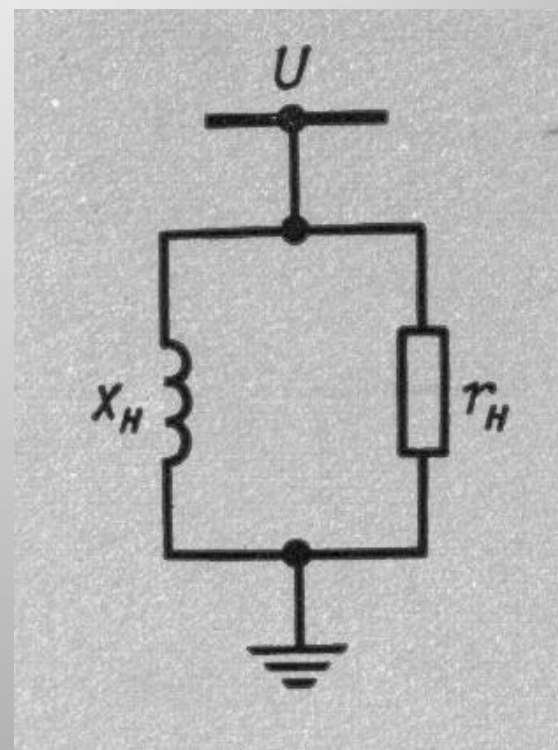
В этом случае активная и реактивная мощности нагрузки пропорциональны квадрату напряжения

$$P_i = \frac{U^2}{r_i} \quad Q_i = \frac{U^2}{x_i}$$

регулирующий эффект нагрузки по активной и реактивной мощности

$$\frac{dP_H}{dU} = \frac{2P_H}{U} \quad \frac{dQ_H}{dU} = \frac{2Q_H}{U}$$

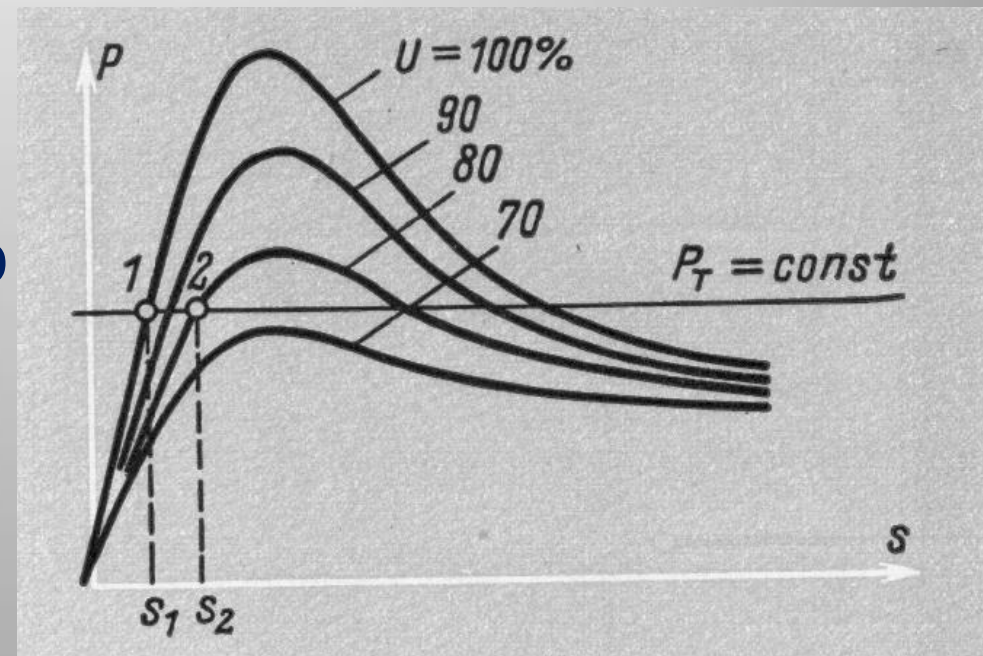
Характеристики мощности при различной степени снижения напряжения



В действительности нагрузки обладают иными характеристиками, чем неизменные активное и индуктивное сопротивления, и их регулирующий эффект имеет другие значения.

Обычно более 50% нагрузки составляют АД.

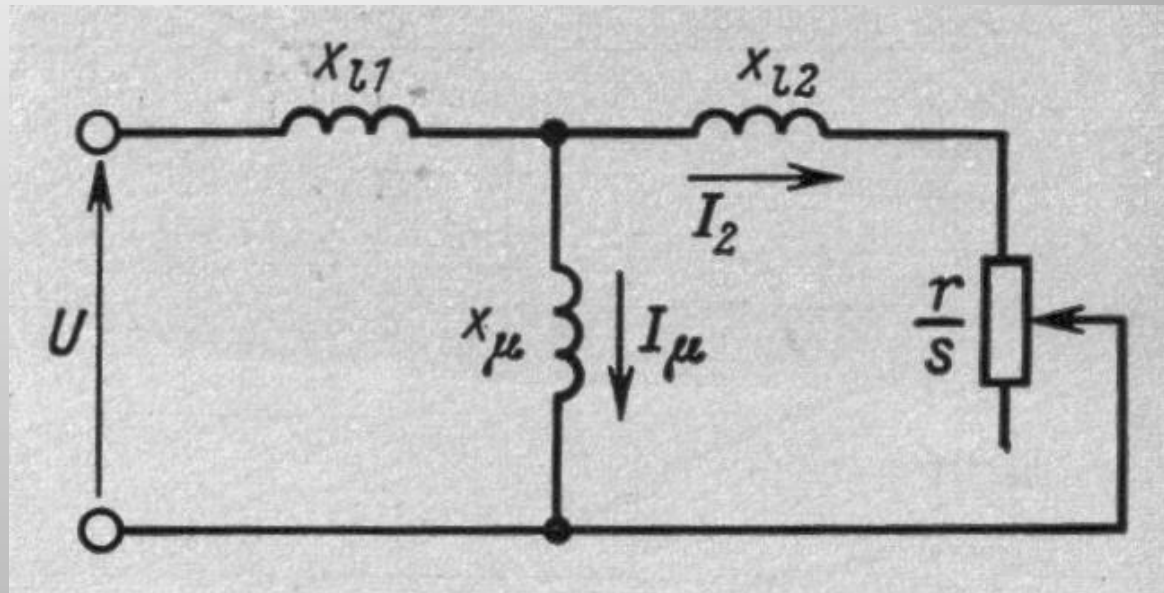
Графики зависимости потребляемой мощности или вращающего момента АД от скольжения для номинального и пониженных значений напряжения на его выводах.



Характеристики мощности асинхронного двигателя при различных напряжениях

Предполагая тормозной момент (момент сопротивления, преодолеваемый двигателем) постоянным ($P_T = P_{\text{мех}} = \text{const}$), можно установить, что уменьшение напряжения на выводах двигателя должно сопровождаться увеличением скольжения двигателя до такого значения, чтобы вращающий момент вновь уравновесил бы тормозной момент. Так, например, при уменьшении напряжения на двигателе от 100 до 80% двигатель переходит из режима, характеризуемого точкой 1, в режим, характеризуемый точкой 2, с увеличением скольжения двигателя от S_1 до S_2 .

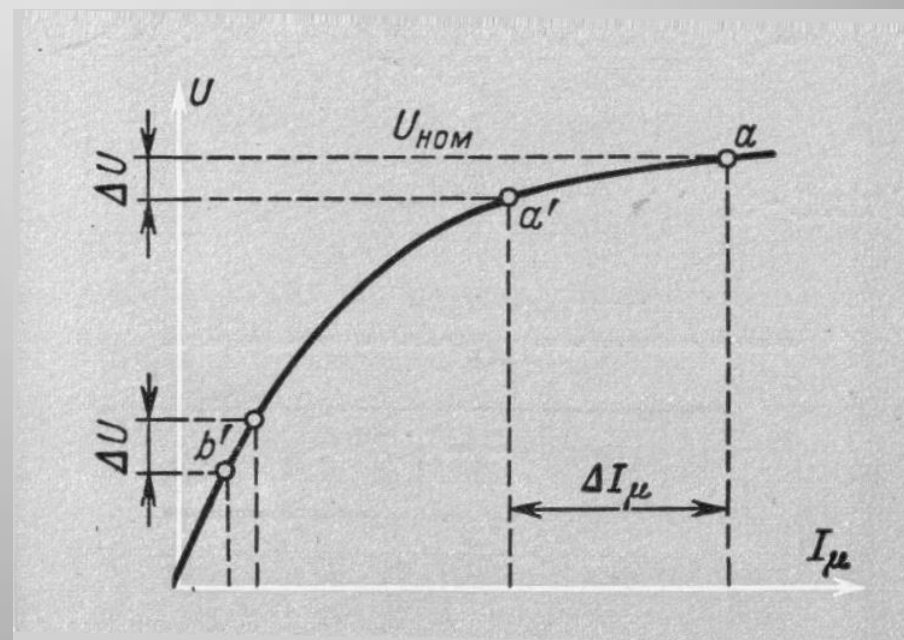
Увеличение скольжения двигателя влечет за собой изменение его эквивалентного сопротивления. Как вытекает из схемы замещения двигателя, с увеличением скольжения падает эквивалентное активное сопротивление цепи ротора.



Поэтому ток в цепи $x_{\Sigma 2}$ снижается в меньшей степени, чем в случае неизменности сопротивления в этой цепи, а в определенных условиях (при постоянном P_m) даже возрастает.

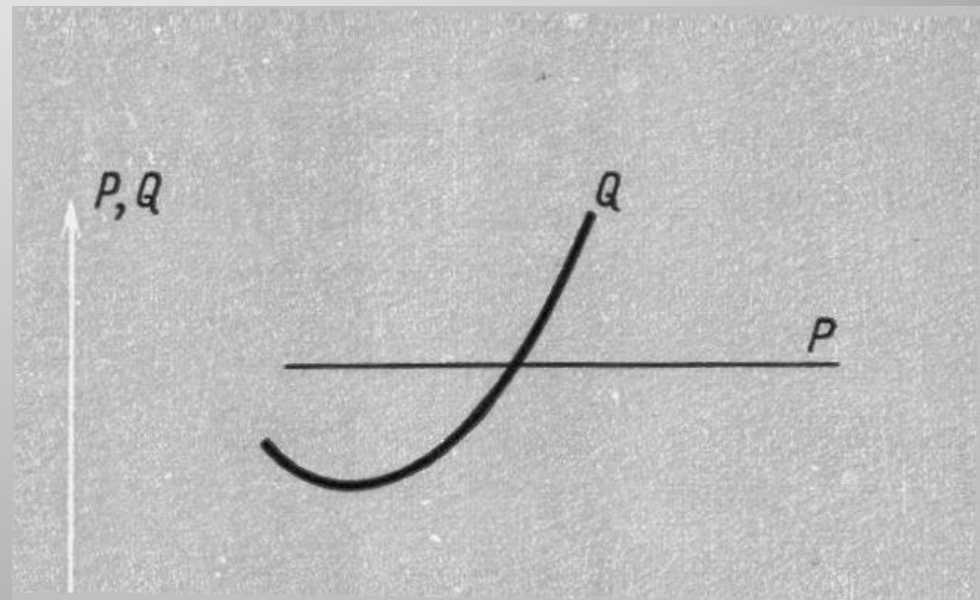
Те же соображения справедливы и в отношении реактивной мощности, теряемой в индуктивном сопротивлении рассеяния ротора x_{12} . С этой точки зрения регулирующий эффект по реактивной мощности АД может быть отрицательным (если ток, а с ним и реактивная мощность не снижаются с уменьшением напряжения двигателя, а возрастают). Однако имеется другой фактор, значительно повышающий регулирующий эффект нагрузки при достаточно высоком напряжении на выводах двигателя, - это изменение намагничивающего тока двигателя.

При напряжении, близком к номинальному, двигатель работает с насыщенной магнитной цепью (точка a) и небольшое снижение напряжения приводит к настолько резкому уменьшению тока, что суммарный регулирующий эффект двигателя может получиться даже более высоким, чем у нагрузки в виде неизменного сопротивления.



Зависимость
намагничивающего тока от
напряжения

При низких напряжениях преобладает отрицательное влияние изменения эквивалентного активного сопротивления ротора. Регулирующий эффект, определяемый по касательной к этой характеристике, при низких напряжениях изменяет свой знак. При неизменном тормозном моменте двигателя регулирующий эффект по активной мощности ($dP/dU = 0$).



Характеристики активной и реактивной мощности асинхронного двигателя