

ЛЕКЦИЯ №2 Автономная электроэнергетическая система.

Цель: Показать связь системных и режимных параметров на примере автономной электроэнергетической системы.

Список литературы обязательный:

1. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. - М.: Высш. школа, 1985.- 482с.
2. Гамазин С.И., Семичевский П.И. Переходные процессы с электродвигательной нагрузкой. – М.: МЭИ, 1985.- 270с.

Список литературы дополнительный:

3. Электрические системы. Управление переходными режимами электрических систем./ Под ред. В.А.Веникова. – М.: Высш. школа, 1982. - 247с.
4. Электроэнергетические системы в примерах и иллюстрациях./ Под ред. В.А.Веникова. – М.: Энергоатомиздат, 1983. 480с.

План лекции:

1. Схема и уравнения описывающие автономную электроэнергетическую систему.
2. Зависимости режимных параметров от параметров системы автономной электроэнергетической системы.
3. Связь величин внутреннего сопротивления источника и сопротивления нагрузки автономной электроэнергетической системы.

При анализе аварийных режимов важно уметь оценивать изменения параметров этого режима, чтобы избежать большого ущерба для электрооборудования.

Следствием аварийных коммутаций является изменение нормальных режимов работы энергопотребителей и энергооборудования: изменение напряжения, тока и частоты.

Нормальным режимом по напряжению ПУЭ считаются отклонения от -5% до $+10\%$ от номинального напряжения $U_{ном}$.

Нормальный режим частоты по ПУЭ считаются отклонения не более $\pm 0,1$ Гц от номинальной частоты $f_{\text{ном}}$.

При рассмотрении автономной электроэнергетической системы, напряжение на шинах электропотребителей является функцией сопротивления электропотребителей.

Проанализируем эту связь аналитически, на примере автономной электроэнергетической системы.

Рассмотрим простейшую модель автономной электроэнергетической системы, изображенную на рис. 2. На рис. 2. изображен генератор переменного тока Γ , сопротивление генератора R_{Γ} , сопротивление линий электропередач $R_{\text{л}}$ и сопротивление нагрузки $R_{\text{н}}$. Выведем зависимость тока, проходящего через нагрузку, от величины сопротивления нагрузки. А также выведем зависимость напряжения на зажимах нагрузки от величины сопротивления нагрузки. Выразим эти зависимости, воспользовавшись вторым законом Кирхгофа.

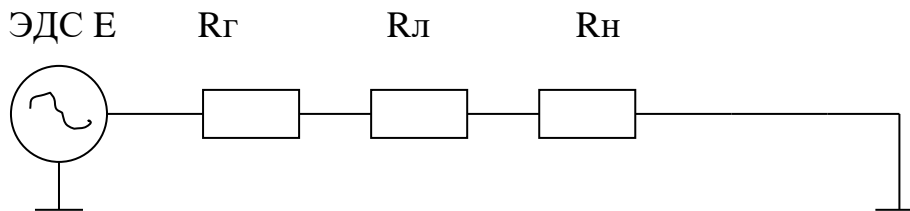


Рис.2 Автономная электроэнергетическая система

Зависимость тока, проходящего через нагрузку, от величины сопротивления нагрузки можно представить в виде графика функции $y = \frac{a}{b+x}$, где по оси абсцисс отображается сопротивление нагрузки $R_{\text{н}}$, а по оси ординат отображается ток I (рис. 3). Зависимость напряжения на зажимах нагрузки от величины сопротивления нагрузки можно представить в виде графика функции $y = \frac{ax}{b+x}$, где по оси абсцисс отображается сопротивление нагрузки $R_{\text{н}}$, а по оси ординат отображается напряжение U (рис 4).

Зависимость тока, проходящего через нагрузку, от сопротивления нагрузки.

$$Y=A/(B+X)$$

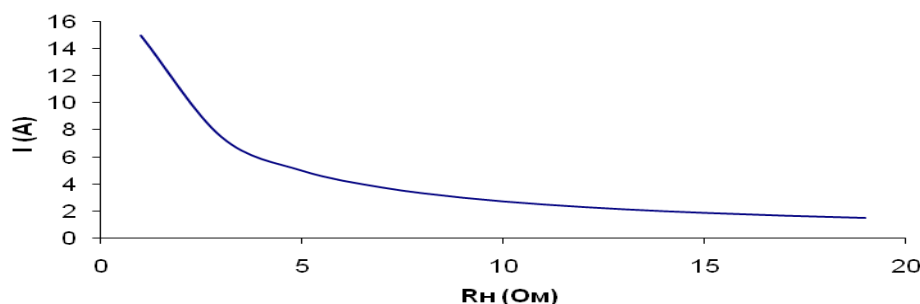


Рис. 3 Зависимость тока нагрузки от его сопротивления

По второму закону Кирхгофа:

$$IR_G + IR_H + IR_L = E;$$

$$I = \frac{E}{R_G + R_H + R_L};$$

$$y = \frac{a}{b+x};$$

$$y = \frac{1}{x};$$

$$y = ax + b; y = a + bx;$$

$$U_H = IR_H = \frac{ER_H}{R_G + R_H + R_L};$$

$$y = \frac{ax}{b+x};$$

Y	0	a=E
X	0	∞

Для определения характера изменения функции (монотонная или экстремальная) необходимо проанализировать знак первой производной от функции по ее аргументу.

Производная функции – это отношение изменения функции к вызвавшему ее изменению аргумента.

$$y = \frac{v(x)}{u(x)};$$

$$y' = \frac{v'u - uv'}{u^2};$$

$$y' = \frac{a(b+x) - (ax)}{(b+x)^2} = \frac{ab + ax - ax}{b^2 + 2bx + x^2} = \frac{ab}{b^2 + 2bx + x^2};$$

$$\Delta x = 1;$$

$$\Delta y = 1;$$

$$y' = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{1}{1} = 1;$$

Производная от напряжения не изменяет знак в области изменения сопротивлений нагрузки, т.е. её функция монотонна

Рассмотрим зависимость мощности на зажимах нагрузки от величины сопротивления нагрузки.

$$P = UI = \frac{E}{R_G + R_L + R_H} * \frac{ER_H}{R_G + R_L + R_H} = \frac{E^2 R_H}{(R_G + R_L + R_H)^2};$$

$$P = \frac{E^2 R_H}{(R_H + R_L + R_G)^2};$$

4

$$y' = \frac{ax}{(b+x)^2};$$

$$y = \frac{v(x)}{u(x)};$$

$$y' = \frac{u'v - v'u}{u^2};$$

$$v=ax;$$

$$v'=a;$$

$$u = (b+x)^2;$$

$$u' = 2(b+x);$$

$$y' = \frac{2(b+x)(ax) - a(b+x)^2}{((b+x)^2)^2} = \frac{2abx + 2ax^2 - ab^2 - 2abx - ax^2}{((b+x)^2)^2} = \frac{ax^2 - ab^2}{((b+x)^2)^2};$$

$$ax^2 - ab^2 = 0;$$

$$x^2 = b^2;$$

$$x = b;$$

$$x = -b;$$

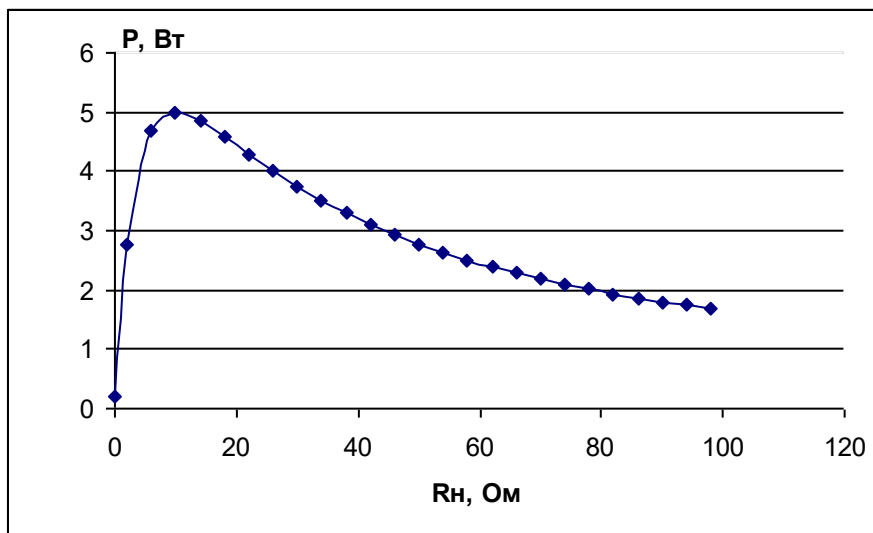


Рис.4 Зависимость мощности на зажимах нагрузки от его сопротивления

R_H	0	∞	$R_{Л+R_{Г}}$
P	0	0	P_{max}

Полученный график зависимости мощности от сопротивления нагрузки указывает, что максимальная мощность P_{max} выделяется в согласованной нагрузке, сопротивление которой равняется суммарному сопротивлению источника. Это свойство широко используется при передаче высокочастотных сигналов из антенны в приемник или из приемника в

антенну, когда недопустимы потери мощности сигнала. При этом напряжение на согласованной нагрузке равно:

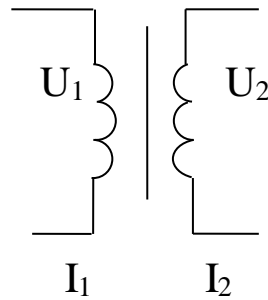
$$U_H = \frac{ER_H}{R_H + R_L + R_G} = \frac{E(R_L + R_G)}{R_L + R_G + R_L + R_G} = \frac{E(R_L + R_G)}{2R_L + 2R_G} = \frac{E(R_L + R_G)}{2(R_L + R_G)} = \frac{E}{2},$$

где $R_H = R_L + R_G$

Т.е. напряжение на согласованной нагрузке составляет половину напряжения холостого хода источника. При холостом ходе $R_H = \infty$. Для выполнения требования ПУЭ о минимальном отклонении номинального напряжения в сторону уменьшения не более 5%, необходимо гарантированное выполнение соотношения $19 * E / 20 > E * R_H / (R_H + R_L + R_G)$. Откуда получаем $19 * (R_L + R_G) \geq R_H$.

Рассмотрим использование полученных соотношений для анализа системных параметров силового трансформатора. Напряжение короткого замыкания трансформатора измеряется в % от номинального напряжения

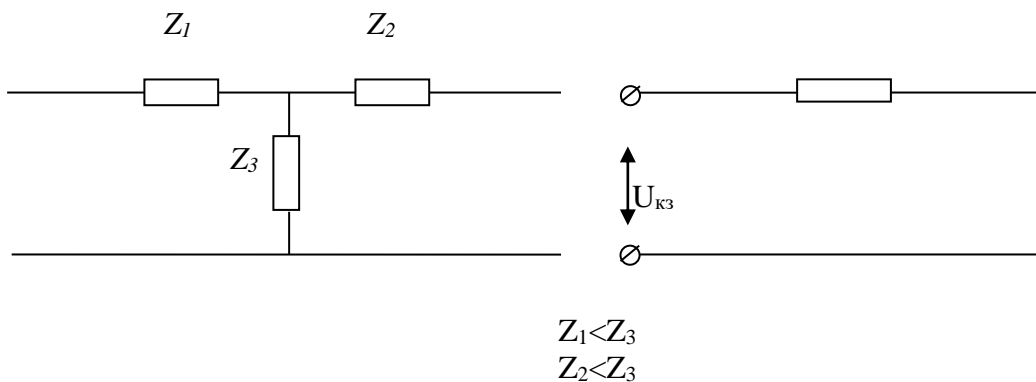
U_n трансформатора. Под напряжением короткого замыкания трансформатора понимается напряжение, которое будучи приложенным к первичной обмотке трансформатора производит во вторичной короткозамкнутой обмотке номинальный ток $I_{ном}$ трансформатора.



$$K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

$$U_1 I_1 = U_2 I_2$$

$$P_1 = P_2$$



$$Z_1 < Z_3$$

$$Z_2 < Z_3$$

По закону Ома $U_{кз} = I_n \cdot r$, где r - внутреннее сопротивление трансформатора.

Если обе части равенства домножить на номинальное напряжение U_n , то выражение примет вид:

$$U_n \cdot U_{кз} = r \cdot I_n \cdot U_n \text{ и так как, } U_{кз} \% = \frac{U_{кз}}{U_n}, \text{ то следовательно: } U_n^2 \cdot U_{кз} \% = r P_n$$

Из этого следует, что выражение для номинальной мощности примет вид:

$$P_n = \frac{U_n^2 \cdot U_{кз} \%}{r} \cdot 100\% = \frac{U_n^2 \cdot 100\%}{r \cdot 100\%} = \frac{0,1 U_n^2}{r}, \text{ где } r - \text{сопротивление трансформатора,}$$

а $U_{кз} \% = 10\%$ средняя паспортная величина напряжения короткого замыкания трансформатора.

Приведенное выражение позволяет определить сопротивление r в схеме замещения трансформатора через сопротивление R_n . Так как номинальная мощность силового трансформатора и мощность, выделяемая в

нагрузке равны $\frac{(ER_n)^2 \cdot 0,1}{(r+R_n)^2 \cdot r} = \frac{E^2 R_n}{(r+R_n)^2}$, получается, что: $R_n = \frac{r}{0,1} = 10r$ и

$$U_H = \frac{E \cdot 10r}{R_r + R_{II} + 10r} = \frac{E \cdot 10r}{11r} = 0,9E. \quad \text{Или} \quad 0,1 \cdot E^2 / r = E^2 \cdot R_H / (r + R_H)^2 \quad \text{откуда}$$

$$R_H = 7,7r.$$

Вывод: таким образом, мы получили, что номинальное сопротивление нагрузки трансформатора R_n в 10 раз больше внутреннего сопротивления трансформатора r .

Подставим $R_n = 10r$ в формулу $P_H = R_n = \frac{E^2 R_n}{(R_n + r)^2}$ и получим, что:

$$P_H = R_n = \frac{E^2 10r}{(11r)^2} = \frac{E^2 \cdot 10r}{121r} = \frac{0,08E^2}{r}.$$

Максимальная номинальная мощность $P_{H_{\max}} = \frac{E^2 R_H}{(R + r)^2}$ при $R_n = r$

$$R_{H_{\max}} = \frac{E^2 r}{(2r)^2} = \frac{E^2}{4r}, \quad \left(\frac{(E^2 \cdot 10) \cdot 4}{(121r) \cdot 4} = \frac{P_{\max} \cdot 40}{121} \right) \quad \text{Т.е. мощность выделяемая в нагрузке}$$

трансформатора составляет примерно третью часть от максимальной согласованной мощности в нагрузке трансформатора.

Соответственно напряжение на номинальной нагрузке трансформатора меньше на 10% напряжения холостого хода.