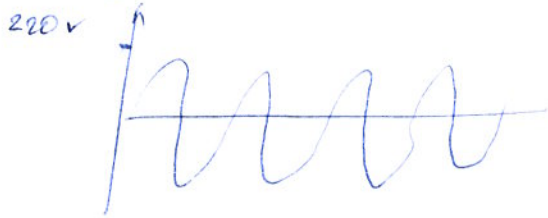


Модель сети переменного тока. 07.11.2018 (1)

Узлы - коммутаторы, и потребители, генерирующие энергию.

1. Уровневое напряжение.



частота 50 Гц.

$$u = u' + i u'' = V \exp i \omega t - \varphi$$

характеризуется модулем и фазой.

2. Ток

ветка (i, j)

I_{ij} - ток по ветке.

I_i, I_j - уровень ток (ток нагрузки, ток генерации)

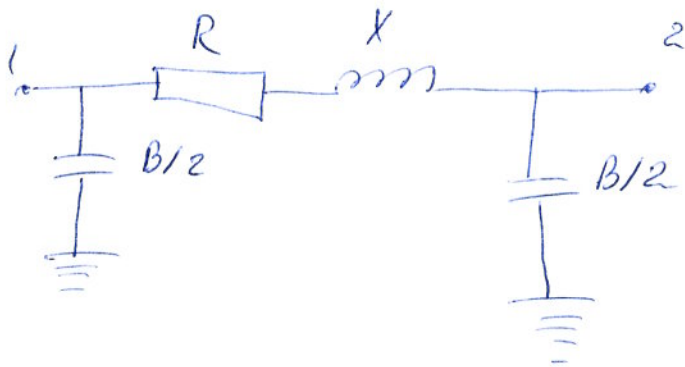
1) Закон Кирхгофа

$$\sum_{k \in A(i)} I_{ik} - \sum_{k \in B(i)} I_{ki} = I_i$$

(все входящие минус все выходящие)

Ток - тоже ориентированная гр. функция.

2) Закон Ома



модель воздушных линий

R - сопротивление (активная составляющая)

X - индуктивная составляющая

приведется в омах (Ω)

общее сопротивление - тоже комплексная величина

$$Z_{ij} = R_{ij} + i X_{ij}$$

$B/2$ - поперечная проводимость (у-у) при нулевой токе;
 был бы постоянный, можно было бы и не учитывать)

Проводимость: $Y_{ij} = \frac{1}{Z_{ji}}$ (продольная)

$Y_{i0} = C \cdot B/2$ - с землей (поперечная)

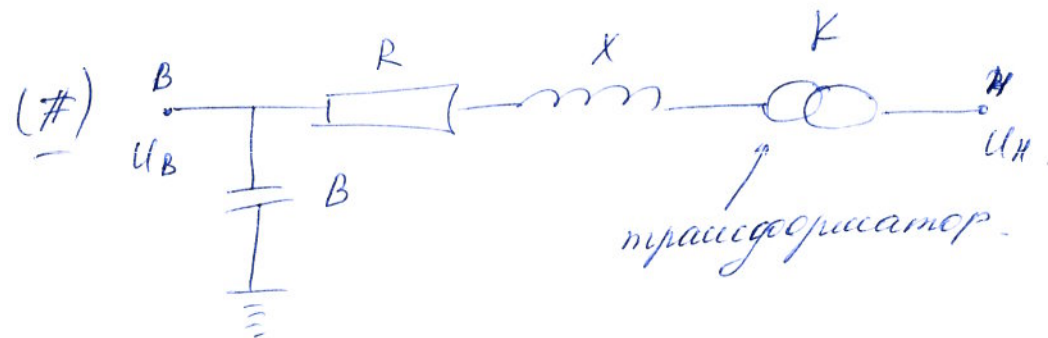
07.11.2018

иногда $Y_{i0} = C \cdot B/2 + \underbrace{G/2}$

↑ Потери из корону

(всасывание вокруг проводов)

Пример 100 РВт - всего
 200 МВт - потери из корону (потенциально
 не учитывается)



K - коэффициент трансформации

$$|U_B| = \frac{|U_H|}{|K|}$$

Параметры цепи: $B, X, R, K, (G)$.

Закон Ома:

$$(*) \quad \underline{I}_{ij} = \frac{U_j - U_i}{Z_{ij}}$$

$$(\#) \quad \underline{I}_{BH} = \frac{\frac{U_H}{K} - U_B}{Z}$$

S - мощность ← комплексная сопряженная

$$S_L = U_L I_L^* \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{Вт} \cdot \text{ч} - \text{интеграл от мощности} \end{array} \right.$$

$$S_{ij} = U_i I_{ij}^* \quad - \text{мощность поглощаемая в } i \text{ у } j$$

$S_{BH} = S_{KB}$ считаем, что $R = 0$.

07.11.2018

(3)

$$S_{ij} = U_i \left(\frac{U_j - U_i}{Z_{ij}} \right)^*$$

$$U_B I_{BH}^* = U_H I_{HB}^* \Rightarrow I_{HB} = \frac{I_{BH}}{K^*} = \frac{1}{K^*} \frac{\frac{U_H}{K} - U_B}{Z}$$

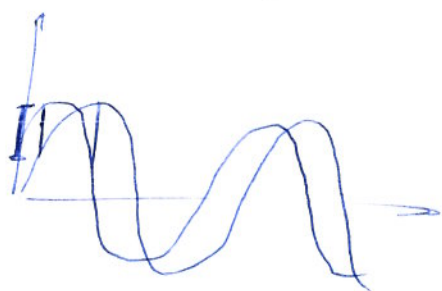
$$\frac{B}{\Omega M} \cdot B = B_T.$$

A

$S = \text{const}$, $S = U I^*$ (болевая мощность - активная ток)

$$S_{BH} = U_B \left(\frac{\frac{U_H}{K} - U_B}{Z} \right)^* \quad S_{HB} = U_H \left(\frac{\frac{U_H}{K} - U_B}{Z} \frac{1}{K^*} \right)^*$$

Звездчат радиостанция ток всё равно будет идти:



Употребителя считаем ориентированным напряжением, ток и мощность.

Уравнения уровня напряжений

$$\sum_j (U_j - U_i) Y_{ij} = I_i$$

$$\left(\sum_j (-Y_{ij}) \right) U_i + \sum_j Y_{ij} U_j = I_i$$

$$Y = \begin{pmatrix} \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & -\sum_j Y_{ij} & Y_{ij} \\ \vdots & Y_{ji} & \vdots \end{pmatrix} \quad \leftarrow \text{Матрица проводимости}$$

$$\boxed{Y} \boxed{U} = \boxed{I}$$

↑ можно упростить ~~форму~~ ^{сразу} ~~справку~~ ^{справку}, т.к. можно сразу же
спроектировать ее $\rightarrow \boxed{\overline{Y}} \boxed{\overline{U}} = \boxed{\overline{I}}$

$\Rightarrow$ балансирующий узел (фиксируем значения)

$$0: U_0 = 110 + i \cdot 0 = 110 \exp \{i \cdot 0\}$$

$$\overline{Y} \overline{U} + Y_0 U_0 = I$$

$$\boxed{A} \boxed{U} + \boxed{U}^2 = \boxed{U}$$

$$\text{diag}(U) (\underbrace{Y U}_{I^*})^* = S$$

$$\text{Пусть } U = U' + i U''$$

$$Y = G + i B$$

$$(G + i B) (U' + i U'') = G U' - B U'' + i (B U' + G U'')$$

$$\begin{bmatrix} G & -B \\ B & G \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U' \\ U'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I' \\ I'' \end{bmatrix}$$

↑ *задание*

$$(\text{diag}(U') + i \text{diag}(U'')) \left(\underbrace{I' - i I''}_{\text{т.к. комплекс.}} \right) =$$

$$= \text{diag}(U') I' + \text{diag}(U'') I'' + i (\text{diag}(U'') I' - \text{diag}(U') I'')$$

$$\begin{bmatrix} \text{diag}(U') & \text{diag}(U'') \\ \text{diag}(U'') & -\text{diag}(U') \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I' \\ I'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P \\ Q \end{bmatrix}$$

↑ *задание*

$$S = P + i Q$$

↑
активная

↑
реактивная

14.11.2018

①

$$u_0 \xrightarrow[0]{1} u_1 \quad S = P + iQ$$

$$u_0 = u_0 + i v_0 = 1 + i \cdot 0$$

$$u_1 = u_1 + i v_1$$

$$\frac{1}{z} = \frac{1}{R + iX} = G + iB \quad \text{— проводимость}$$

$$S = u (u^* - 1) (G - iB) = (u + i v) (u - i v - 1) (G - iB) =$$

$$= (u^2 + v^2 - i u v + i u v + u - i v) (G - iB)$$

$$P = (u^2 + v^2) G - G u - B v \quad \left| \begin{array}{l} B \\ G \end{array} \right. \quad \text{— Real}$$

$$Q = -(u^2 + v^2) B - G v + B u \quad \left| \begin{array}{l} B \\ G \end{array} \right. \quad \text{— Complex}$$

$$P B + Q G = -B^2 v - G^2 u = -(B^2 + G^2) v$$

$$v = - \frac{P B + Q G}{B^2 + G^2}$$

$$\text{Пусть } P = Q = 0 \Rightarrow v = 0$$

$$0 = G u^2 - G u \quad , \Rightarrow u^2 - u = 0, \Rightarrow u = 1 \text{ или } \boxed{u = 0}$$

↗
исключаем

$$P = G u^2 - G u - B v + B v^2$$

⇓

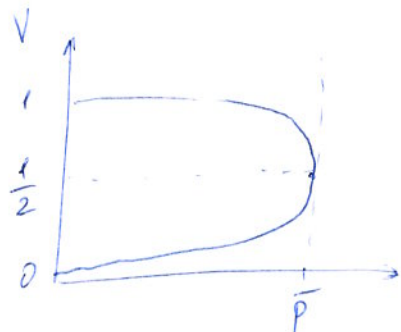
$$u^2 - u + C = 0 \quad \text{Всё в квадратичную}$$

$$u = \frac{1 \pm \sqrt{1 - 4C}}{2} \Rightarrow \text{есть предельное значение нагрузки}$$

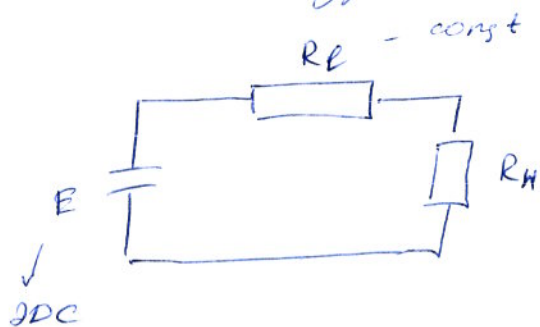
$$\text{При максимальной нагрузке } u = \frac{1}{2}$$

$$V = u^2 + V^2$$

При передаче максимальной нагрузки напряжение падает в 2 раза.



Решение уравнения есть не при любых значениях.



P_0 - максимальная мощность

$$P_0 = I^2 R_n$$

$$R_n = \frac{I^2 R_n}{P} - P_0 - \text{затрат регулятора.}$$

$$I \sim \frac{1}{R_n}$$

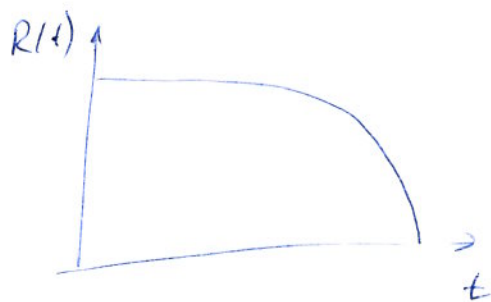
$$I = \frac{E}{R_e + R_n}$$

$\rightarrow$

$$R_n = \frac{E^2}{(R_e + R_n)^2} R_n - P_0$$

(D/3)

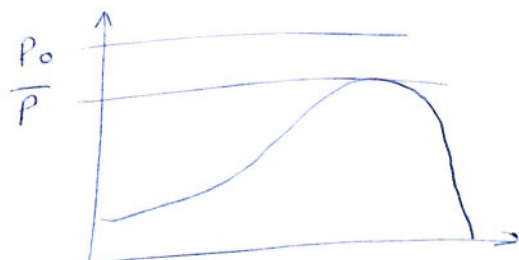
$R = R(t)$, т.е. это динамическая система



$V(t)$
 $P(t)$

Для P_0 такая I_{max} .
нагрузка

$$P(t) = \frac{E^2}{(R_e + R_n)^2} R_n \rightarrow \max_{R_n} \rightarrow \bar{P}$$



$$S_k^* = Y_{kk} U_k U_k^* + U_k \left(\sum_{m \neq k} Y_{km} U_m \right) \quad (1)$$

Y - матрица проводимостей $U_k = V_k e^{j\delta_k}$

$$Y_{kk} = \sum_{m \neq k} Y_{km} ; \text{ в остальных точках } Y_{km}$$

$$\begin{aligned} & \Rightarrow (G_{kk} + jB_{kk}) V_k^2 + \sum_{m \neq k} (G_{km} + jB_{km}) V_k V_m e^{j(\delta_m - \delta_k)} = \\ & = (G_{kk} + jB_{kk}) V_k^2 + \sum_{m \neq k} (G_{km} + jB_{km}) V_k V_m (\cos \delta_{mk} + j \sin \delta_{mk}) \end{aligned}$$

$$S^* = P - jQ$$

$$P_k = V_k^2 G_{kk} + V_k \sum_{m \neq k} (V_m G_{km} \cos \delta_{mk} - B_{km} V_m \sin \delta_{mk}) \quad - \text{активная мощность}$$

$$-Q_k = V_k^2 B_{kk} + V_k \sum_{m \neq k} (B_{km} V_m \cos \delta_{mk} + G_{km} V_m \sin \delta_{mk})$$

реактивная мощность
капеллярная индукция

$$1) R \ll X$$

R активное сопротивление

X реактивное сопротивление

$$Z^* Z = R^2 + X^2, \Rightarrow \frac{1}{Z} = \frac{Z^*}{R^2 + X^2} = \frac{R - jX}{\underbrace{R^2}_{G} + \underbrace{X^2}_{B}}$$

$$\Rightarrow G \ll B$$

$$2) \sin \delta \sim 0$$

$$\cos \delta \sim 1$$

матрица Якоби

$$J = \begin{pmatrix} \frac{\partial P}{\partial \delta} & \frac{\partial P}{\partial V} \\ \frac{\partial Q}{\partial \delta} & \frac{\partial Q}{\partial V} \end{pmatrix}$$

$$x^0 = (\delta^0, V^0) \rightarrow \begin{pmatrix} e_P \\ e_Q \end{pmatrix} \leftarrow \begin{matrix} \text{небольшая} \\ \text{погрешность} \\ \text{измерения} \end{matrix}$$

$$F(x) = S$$

14.11.2018 (9)

$$F(x^0) + J \Delta x = S$$

$$J \Delta x = S - F(x^0) = \begin{pmatrix} e_p \\ e_q \end{pmatrix}$$

$$\Delta x = J^{-1} \begin{pmatrix} e_p \\ e_q \end{pmatrix} \approx x^1 - x^0$$

Повторяем, пока много не сойдётся

$$\frac{\partial P_k}{\partial \delta_m} = -V_k \sum_{m \neq k} \left(G_{km} V_m \sin \delta_{mk} + B_{km} V_m \cos \delta_{mk} \right)$$

$$\frac{\partial P_k}{\partial V_m} = V_k \sum_{m \neq k} \left(G_{km} \cos \delta_{mk} + B_{km} \sin \delta_{mk} \right), k \neq m$$

$$2 V_k G_{kk} + \sum_{m \neq k} \left(V_m G_{mk} \cos \delta_{mk} - V_m B_{mk} \sin \delta_{mk} \right)$$

$\Rightarrow 3)$

$$\left| \frac{\partial P}{\partial V} \right| \ll \left| \frac{\partial P}{\partial \delta} \right|$$

$$\Rightarrow \tilde{J} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P}{\partial \delta} & 0 \\ 0 & \frac{\partial Q}{\partial V} \end{bmatrix} \text{ и можно много повторить.}$$

Decoupled Newton method.

$$\bar{B}(V) \Delta \delta = e_p$$

$$\bar{B}(V) \Delta \delta = e_q$$

$$Ax = b \leadsto LUx = b$$

Разрешив

строки и столбцы
матрицы LU также
было разрешив

fast decoupled Newton method