

АНАЛІЗ ТА СИНТЕЗ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ АТЗ

доц. Бороденко Ю.М.

ЗМІСТ РОЗДІЛУ

3.1. Аналіз технічних рішень бортових систем електропостачання

3.1.1. Загальні відомості

3.1.2. Структурний аналіз та критерії вибору автотракторних генераторів

3.1.3. Порівняльний аналіз регуляторів напруги

3.1.4. Аналіз схемних рішень генераторних установок

3.2. Аналіз режимів системи електропостачання та оптимізація параметрів її елементів

3.2.1. Розподіл потужності по колах живлення споживачів

3.2.2. Статистичний аналіз транспортного циклу

3.2.3. Критерії вибору джерел бортового живлення

3.2.4. Методика розрахунку балансу енергії борта та зарядного балансу АКБ

3.3. Методи регулювання напруги бортової мережі

3.3.1. Порівняльний аналіз методів регулювання

3.3.2. Аналіз математичної моделі генераторної установки та визначення структурних параметрів

3.3.3. Визначення середнього значення струму збудження при дискретному регулюванні

3.3.4. Побудування робочих характеристик генераторної установки

3.3.5. Способи підвищення комутуючої здібності та термостабільності регуляторів напруги

Вихідні дані для синтезу та розрахунку системи

1. Рівень напруги що регулюється U_{pn} ;
2. Номінальний струм навантаження генераторної установки I_n ;
3. Максимальне значення струму навантаження I_{max} ;
4. Мінімальні оберти двигуна n_{min} ;
5. Максимальні оберти двигуна n_{max} ;
6. Допустимий рівень пульсації напруги що регулюється U ;
7. Категорія рухомого складу, що враховує умови експлуатації.

Характеристики генератора

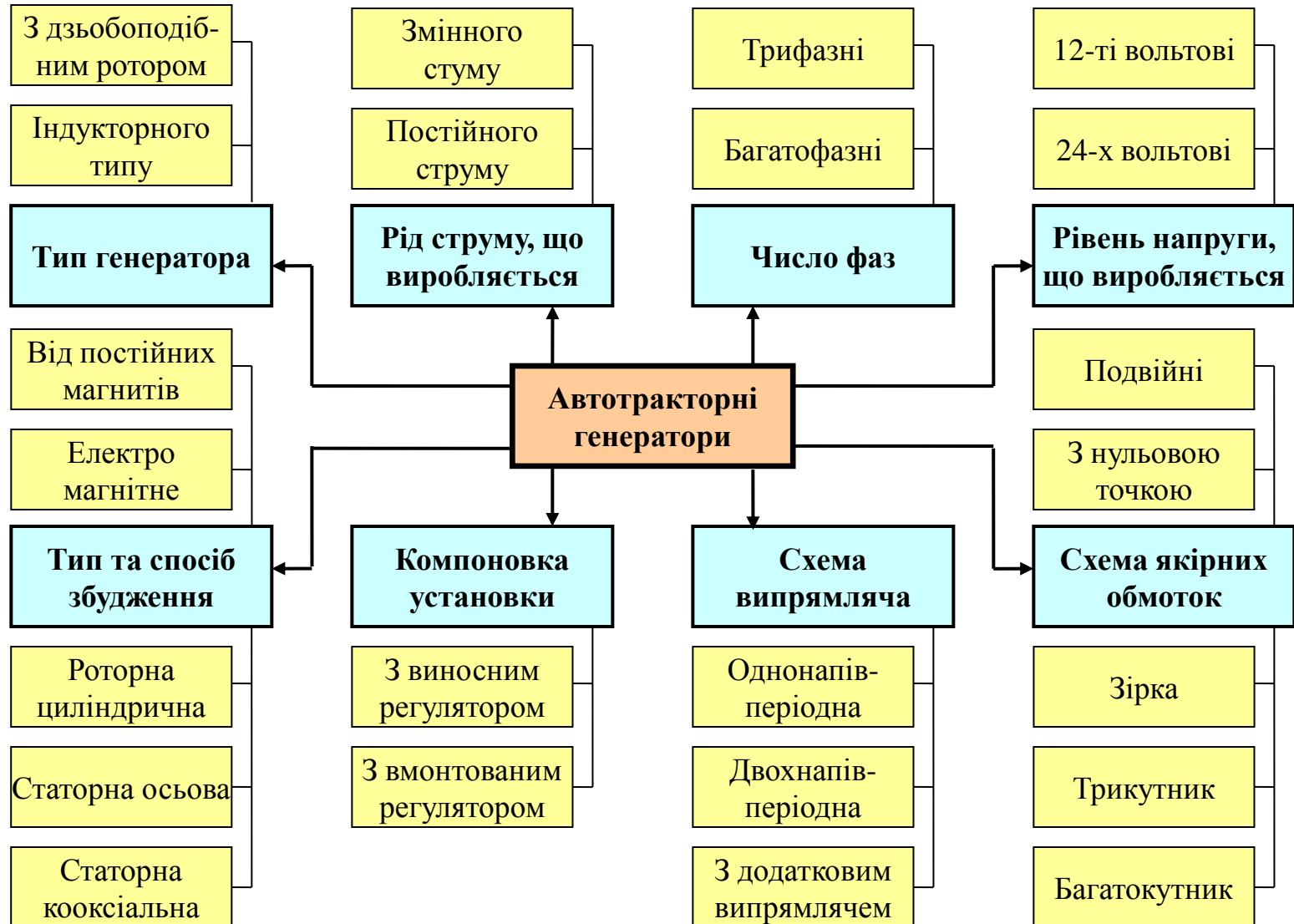
1. Швидкісна $E_r(n)$, $I_n = 0$.
2. Холостого ходу $E_r(I_3)$, $I_3 = const$.
3. Зовнішня $U_2(I_n)$, $I_3 = const$.
4. Регульовальна $I_3(n)$, $U_2 = const$.
5. Струмо-швидкісна $I_2(n)$, $U_2 = const$, $I_3 = const$.

Параметри генератора змінного струму

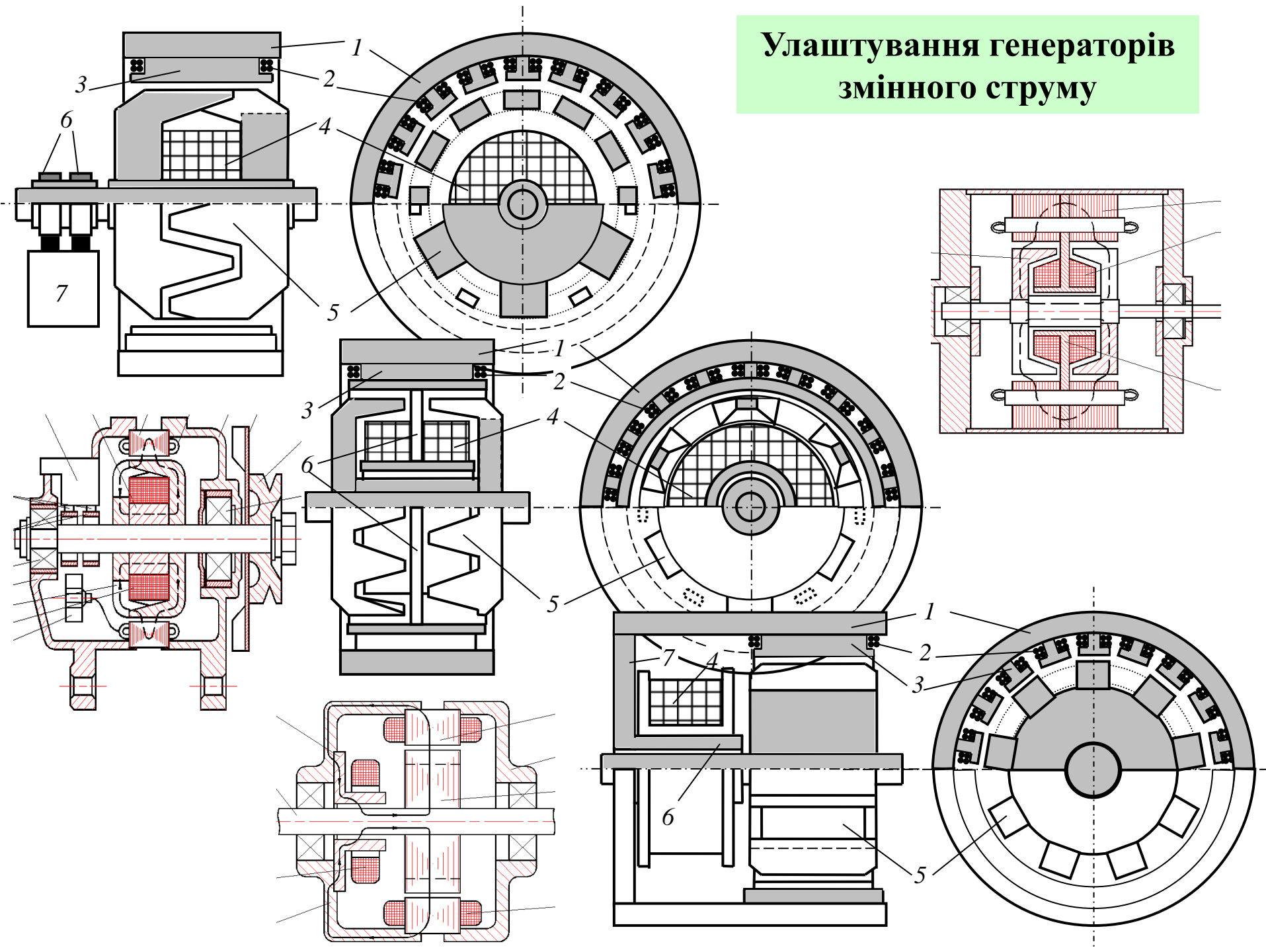
1. номінальною потужністю яка ($300...4200 \text{ Вт}$)
2. номінальною напругою ($12, 14, 28 \text{ В}$);
3. номінальним струмом ($15...150 \text{ А}$);
4. максимальним струмом ($30...190 \text{ А}$)
5. обертами неробочого ходу ($650...1250 \text{ хв-1}$);
6. номінальними обертами ($1250...3200 \text{ хв-1}$);
7. максимальними обертання (5000 хв-1);
8. кількістю фаз m (3, 5, 7);
9. кількістю пар полюсів (3, 6), або зубців ротора (6, 9, 10)
10. кількістю витків фазної обмотки ($39...132$);
11. кількістю витків обмотки збудження ($480...1350$)
12. опором обмотки збудження ($2,5...16,7 \text{ Ом}$).
13. масою ($3,2...21,5 \text{ кг}$).

3.1.2. Структурний аналіз та критерії вибору генераторів

Класифікація автотракторних генераторів

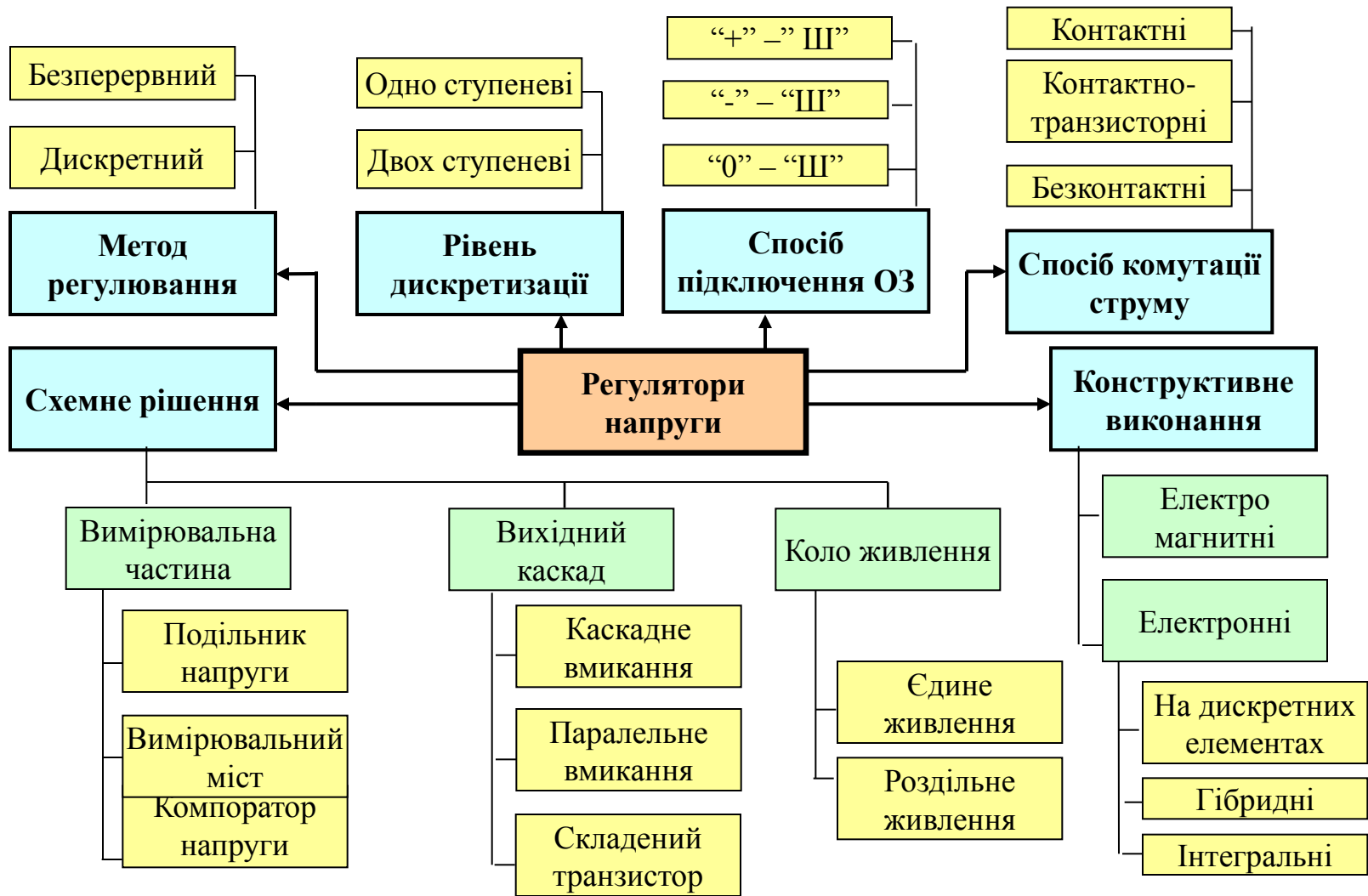


Улаштування генераторів змінного струму



3.1.3. Порівняльний аналіз РН

Класифікація регуляторів напруги

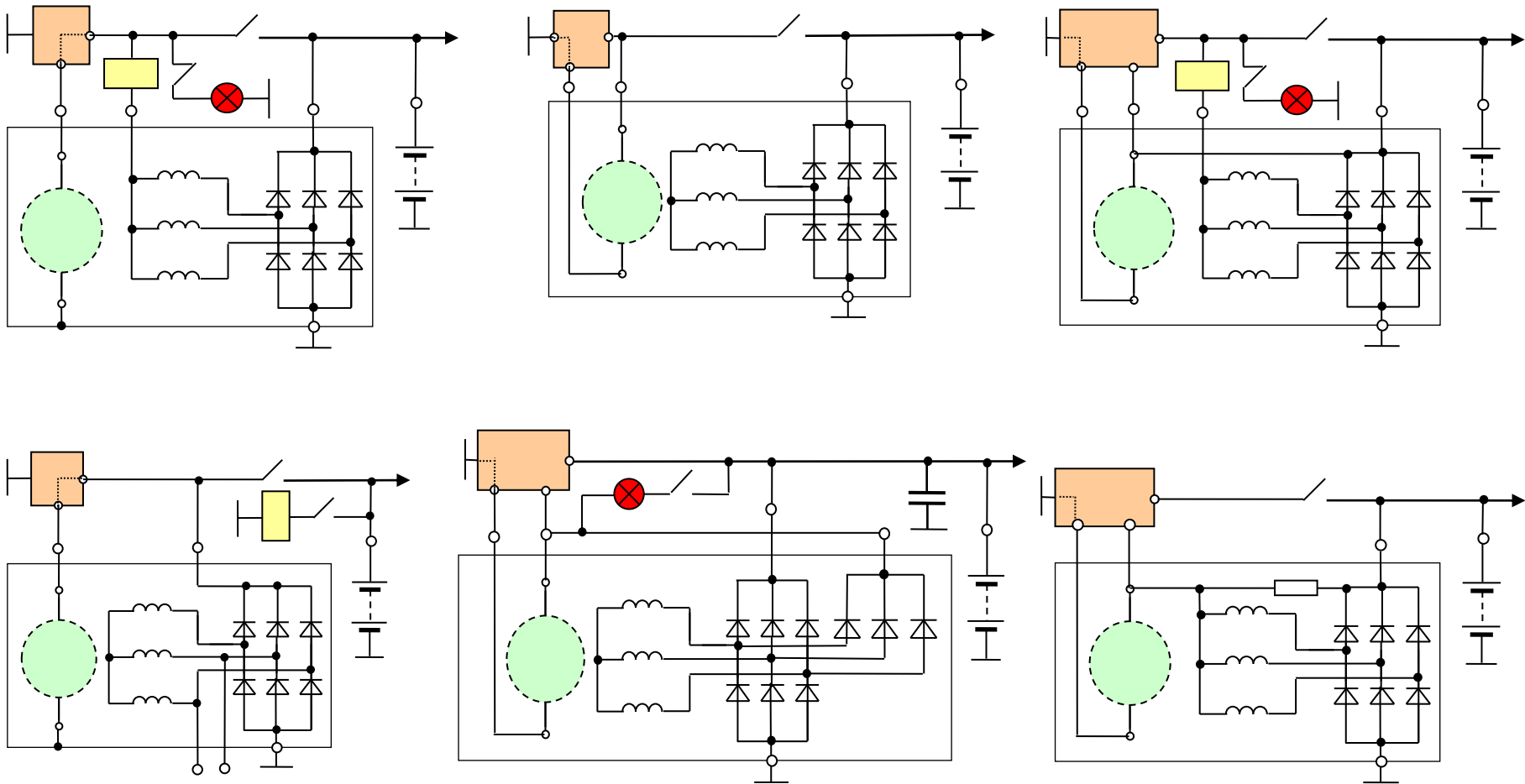


ККД, надійність та довговічність, стійкість до вібрацій та агресивного середовища, стабільність характеристики, експлуатаційні витрати на технічне обслуговування, ціна

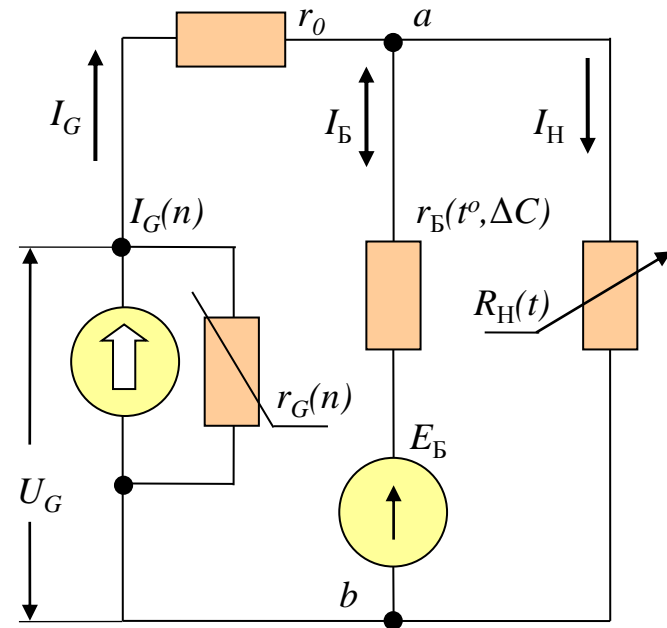
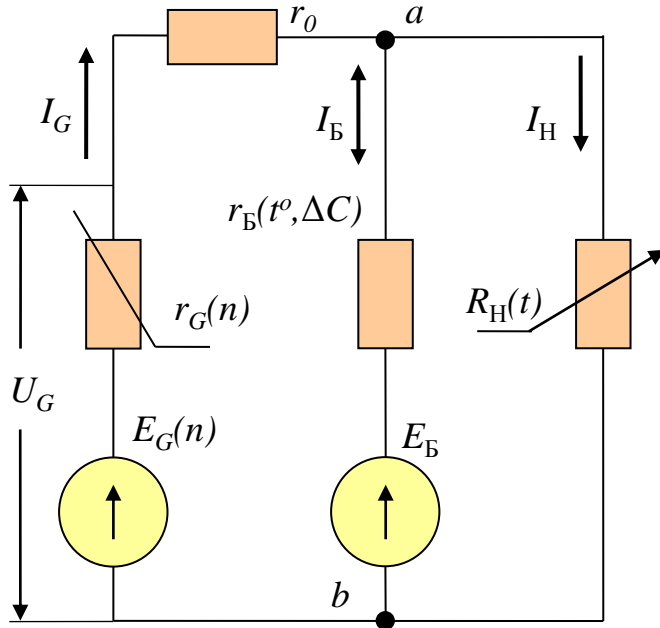
рівень напруги, що регулюється, рівень пульсацій регулювання, структура регулювання, падіння напруги на регулюючому елементі, максимальний струм збудження

3.1.3. Аналіз схемних рішень генераторних установок

Схемні рішення генераторних установок



Аналіз режимів системи електропостачання



$$\left. \begin{aligned} U_G &= I_G r_0 + I_H R_H \\ E_B &= I_B r_B + I_H R_H \\ I_H &= I_G + I_B \end{aligned} \right\}$$

$$\begin{aligned} I_G &= \frac{U_G r_B + (U_G - E_B) R_H}{R_H r_0 + r_B (r_0 + R_H)} \\ I_B &= \pm \frac{U_G - E_B}{R_H} \frac{R_H - E_B r_0}{R_H r_0 + r_B (r_0 + R_H)} \\ I_H &= \frac{U_G r_B + E_B r_0}{R_H r_0 + r_B (r_0 + R_H)} \end{aligned}$$

$$I_G(n) = I_{G_{\max}} \left[1 - e^{\left(\frac{n_{GX} - n}{n_{GX}} \right)} \right] \quad U_{\text{ПП}} = m \left(2,02 + 0,00136t^\circ - 0,001\Delta C_P \right)$$

Режими системи електропостачання

:

Розвантажений режим заряду АКБ, $I_H = 0$, $U_G > E_{AB}$
заряд АКБ струмом генератора

$$I_G = I_{AB} = (U_G - E_{AB}) / (r_{AB} + r_0)$$

Режим заряду АКБ під час навантаження системи,
струм заряду АКБ дорівнює нулю при
споживачі живляться від генератора

$$I_H \leq I_G$$

$$I_H = I_G$$

$$R_H = E_{AB} r_0 / (U_G - E_{AB})$$

Режим розряду АКБ,
опір споживачів визначається за умовою

$$I_H \geq I_G$$

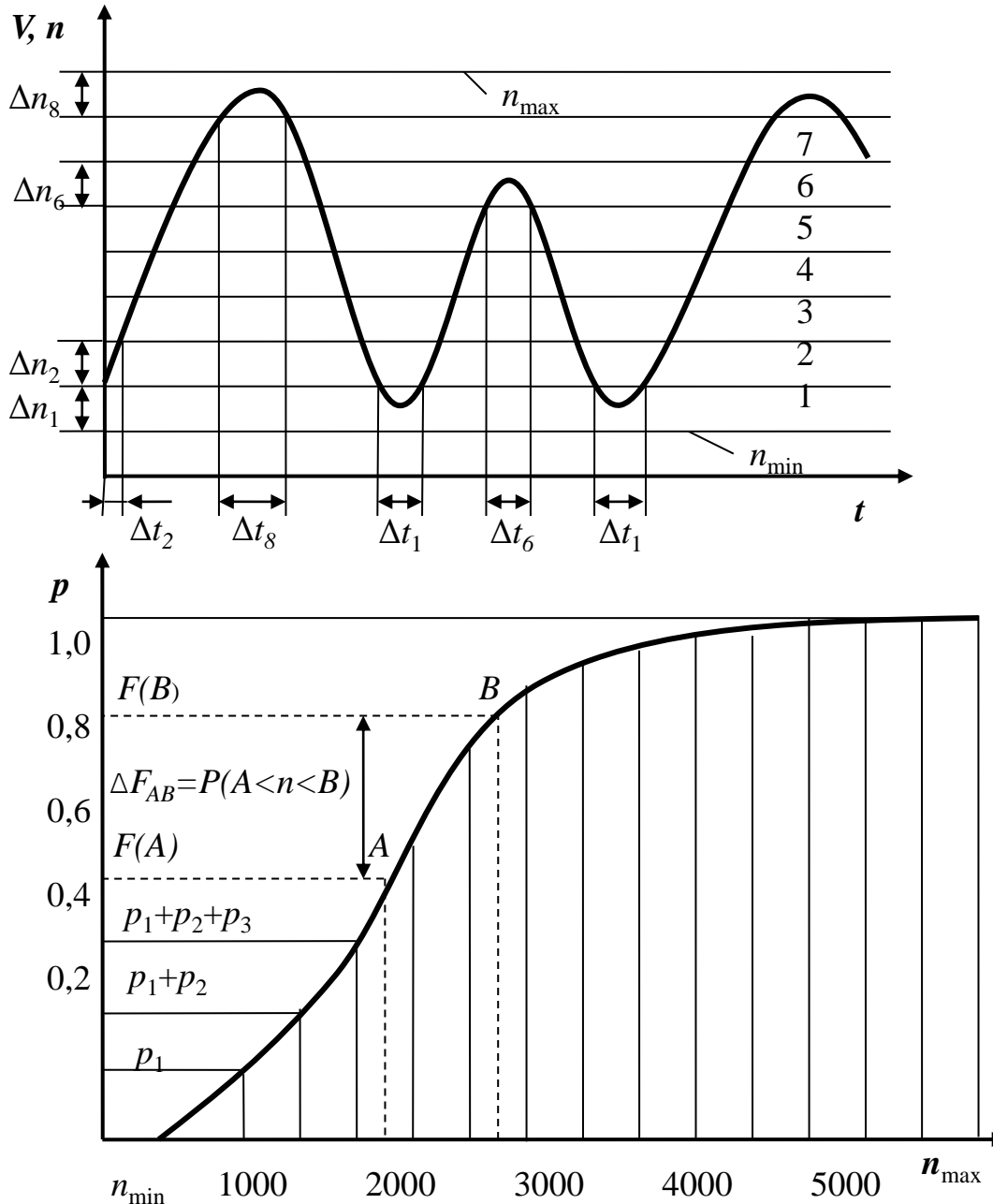
$$R_H < E_{AB} r_{AB} / (U_G - E_{AB})$$

Режим системи електропостачання визначається: $n(t)$, PG , U_H , E_{AB} , r_{AB} , $R_H(t)$.

$$n = f(t), R_H = f(t) - ???$$

**режим руху (за призначенням транспорту),
умови руху (по місту чи по шосе, у день чи у ночі, в літку чи зимою).**

3.2.2. Статистичний аналіз транспортного циклу



Транспортний цикл (режим руху)

Міський, міжгородній,
автобусний маршрутний.

$$V, n, M, P(t, L)$$

Витрати електроенергії (умови руху)

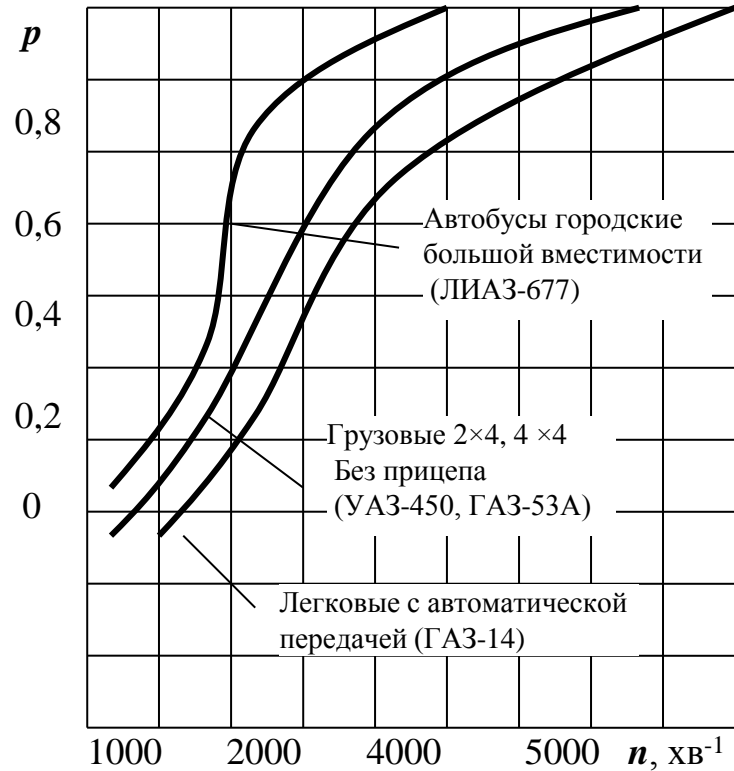
Час доби (день, ніч),
пора року (літо, зима)
Дорожні умови (місто, шосе)

$$K_G = \frac{n}{V} = 2660 \frac{i_G i_{КП} i_{ЗМ}}{R_K}$$

$$n(t) = K_G V(t)$$

$$P_i = \frac{\sum_{j=1}^{i,j} t_{i,j}}{t_B}$$

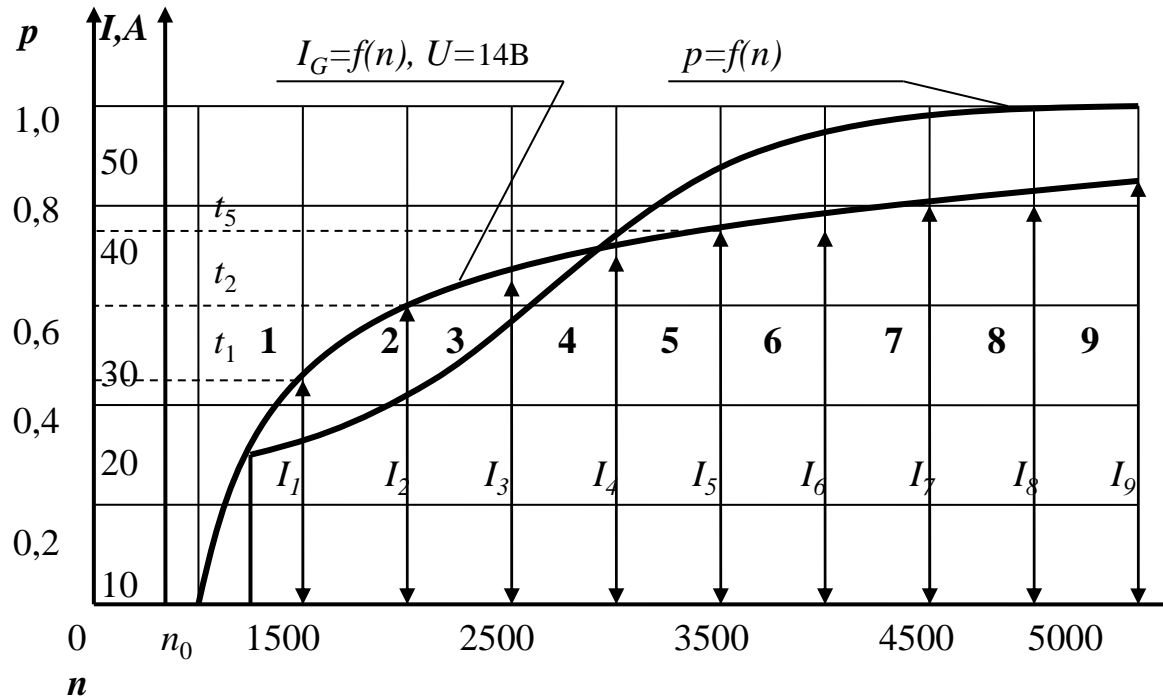
Статистичний аналіз режимів генератора



$$K_G = 60 [\text{хв}^{-1}\text{год}/\text{км}]$$

$$n^1 = n \frac{K_G}{60}$$

$$n_0 = n_{HX} i_G$$



$$Q_G = \int_{t_B} I dt$$

$$Q_G = t_B \sum_{i=1}^v I_{iCP} \Delta p_i = t_B \sum_{i=1}^v \frac{I_i + I_{i-1}}{2} (p_i - p_{i-1})$$

3.2.3. Критерії вибору джерел бортового живлення

$$I_{PC} = \sum_{i=1}^N I_{Hi} K_{чi} K_{Hi}$$

$$I_{GH} = I_{PC} / (1 - \tau_P)$$

$$P_{GH} = K_{AKB} U_B I_{PC}$$

$K_{AKB}=1,15$ для легкових

$K_{AKB}=1,25$ – для вантажівок

Послідовність вибору

АКБ > стартер > споживачі

$$P_{AKB} + I_G(n) + U_{PH} > C_{20}, r_B(t)$$

Баланс енергії борта: $Q_G = Q_P$ (тБ)

Зарядний баланс АКБ: $+Q_{AKB} = -Q_{AKB}$ (тБ)

тБ – година, доба, тривалість циклу

Придатність СБЕ (нормативи)

Добовий баланс борта (місто, зима);

Годинний баланс АКБ %C₂₀ (місто, зима, ніч)

вихідні дані : склад споживачів, значення їхніх I_n або P_n , характер роботи споживачів в експлуатаційних режимах, передаточні числа трансмісії та приводу генератора, стумо-швидкісна характеристика генератора, зарядно-розрядні характеристики АКБ, циклограма транспортного режиму $V=f(t)$.

3.2.4. Методика розрахунку балансу енергії борта та зарядного балансу АКБ

Побудування режимних характеристик

$$K_G = \frac{n}{V} = 2660 \frac{i_G i_{KП} i_{ЗМ}}{R_K} \quad n_0 = n_{XX} i_G$$

$$n(t) = K_G V(t) \quad p_i = \frac{\sum_{j=1} t_{i,j}}{t_B} \quad p_i = f(n)$$

$$I_G = f(n) \quad I_G(n) = I_{G_{\max}} \left[1 - e^{\left(\frac{n_{GX} - n}{n_{GX}} \right)} \right]$$

Потужність споживачів

$$P_{\Pi} = U \sum_{i=1}^n I_{\Pi i} K_{Hi} \quad P_{\Pi.CP} = P_{\Pi} + P_{\Pi K} + P_{ЗВ}$$

$$P_{\Pi K} = U \frac{l_i}{T_i} \sum_{i=1}^n I_{\Pi K i} t_i \quad P_3 = 0,025 C_{20} U p_3$$

$$P_{ЗВ} = \sum_{i=1}^n P_{Hi} K_{Hi} \quad P_G = (P_{\Pi.CP} + P_3) k_{реж} k_B$$

Енергія, що забезпечує генератор

$$Q_G = t_B \sum_{i=1}^v I_{iCP} \Delta p_i = t_B \sum_{i=1}^v \frac{I_i + I_{i-1}}{2} (p_i - p_{i-1})$$

$$\begin{matrix} P_G & I_{G.\max} & U \\ n_{G.\max} & \geq & \frac{n_{ДВ.\max}}{n_{ДВ.\min}} \\ P_{GH} & \geq & \frac{Q_G}{t_B} U \end{matrix}$$

Зарядний баланс АКБ

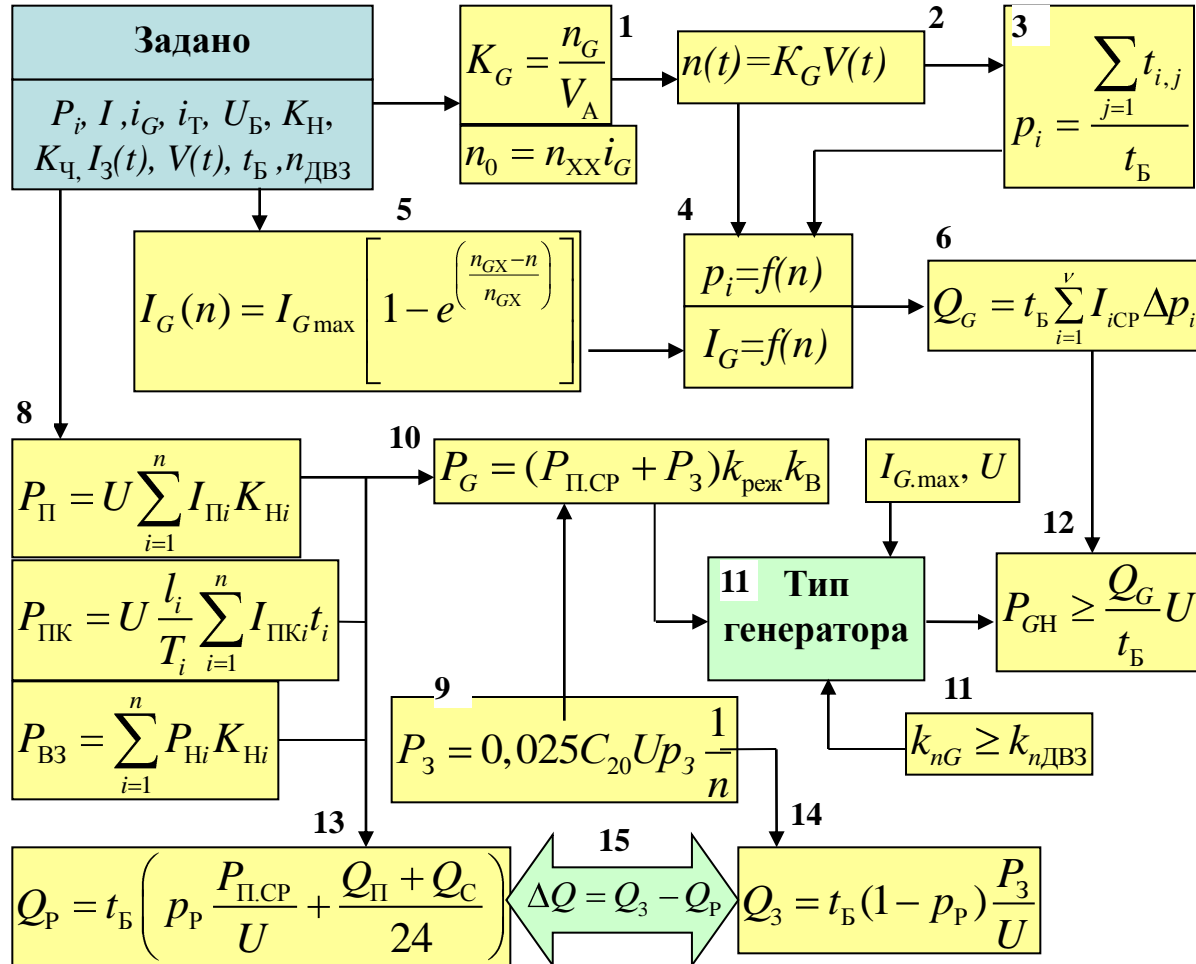
Q_{Π} на добу $0,03 C_{20}$

$$Q_P = t_B \left(p_P \frac{P_{\Pi.CP}}{U} + \frac{Q_{\Pi} + Q_C}{24} \right)$$

$$Q_3 = t_B (1 - p_P) \frac{P_3}{U}$$

$$\Delta Q = Q_3 - Q_P$$

Послідовність розрахунку балансу енергії борта та зарядного балансу АКБ



Тема 3.3

3.3.1. Порівняльний аналіз методів регулювання

$$U_G(n, I_G) = C_e n \Phi - 2U_0 - r_e(n) I_G$$

Безперервне $\Delta P < 50\%$
 Дискретне $\Delta P \Rightarrow 0\%$

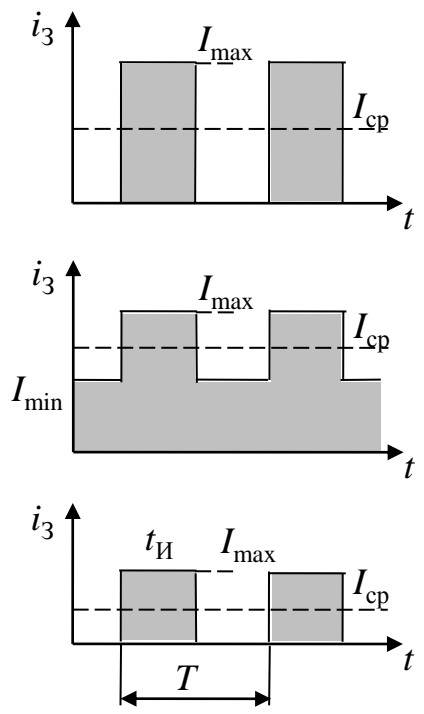
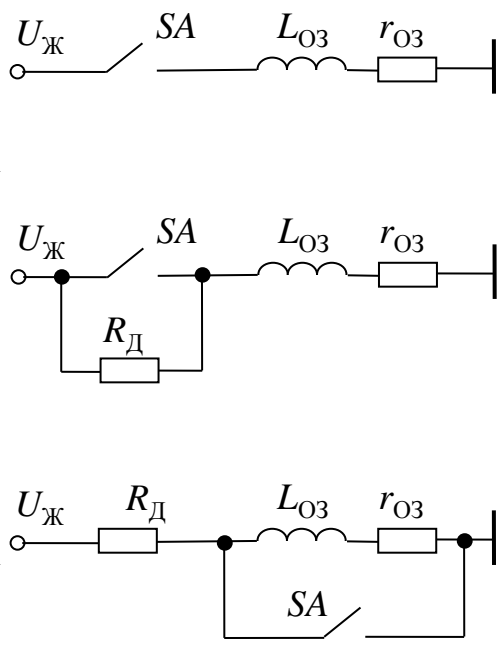
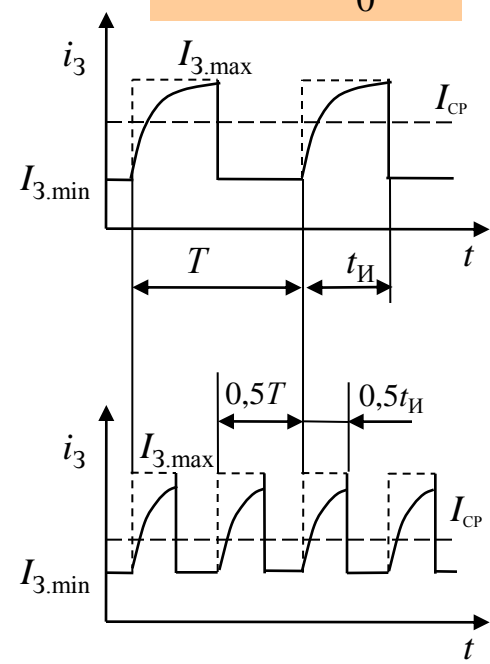
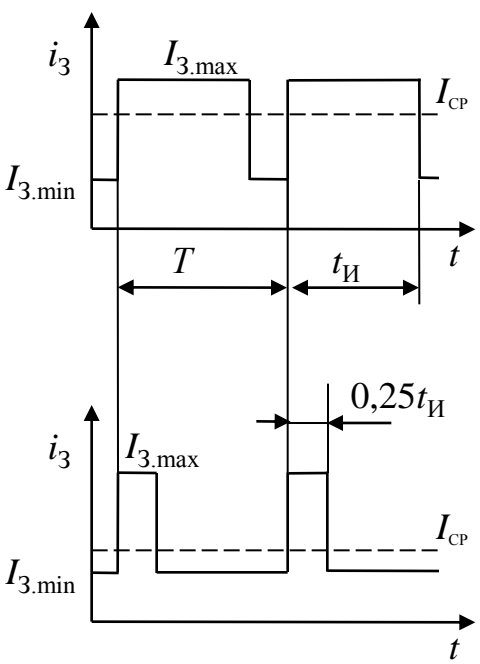
широко-імпульсна модуляція
 частотно-імпульсна модуляція

$$I_{cp} = \frac{I_{max} t_i + I_{min} (T - t_i)}{T}$$

$$I_{CP} = \frac{I_{max} t_{II}}{t_{II} + t_{PI}} = \frac{I_{max} t_{II}}{T} = I_{max} \gamma$$

$$I_{CP} = \frac{1}{T} \int_0^T i dt$$

Критерії вибору способу
 $I_{CP.max}, I_{CP.min}, \Delta I, \Delta U, \Delta P$



3.3.2. Аналіз математичної моделі генераторної установки та визначення структурних параметрів

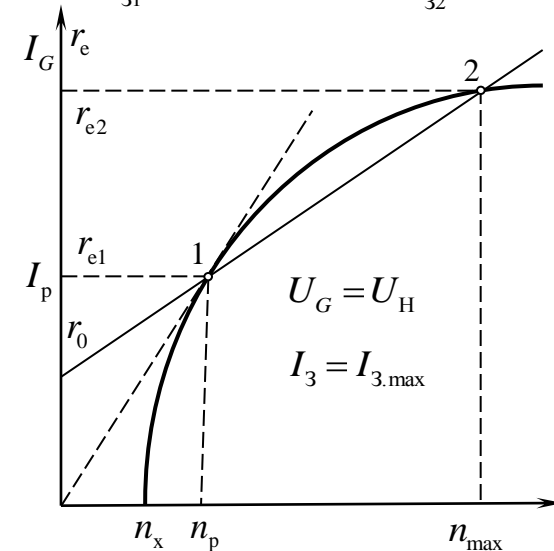
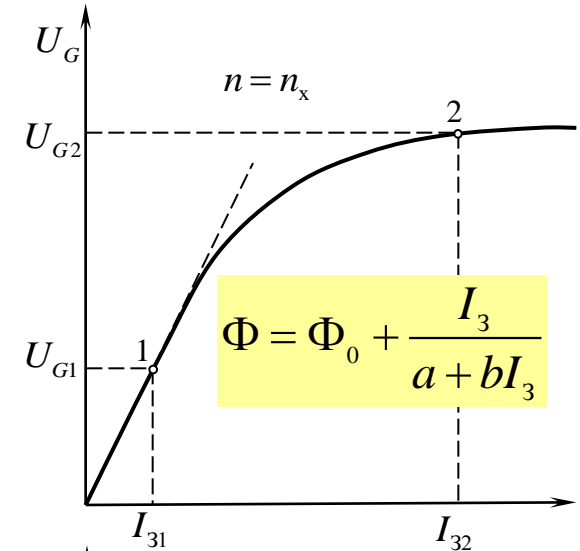
$$U_G = C_e n I_3 / (a + b I_3) - r_e I_G,$$

$$I_3 = \left[\begin{array}{cc} U_G + r_e I_G & a \end{array} \right] / \left[\begin{array}{cc} C_e n - U_G + r_e I_G & b \end{array} \right],$$

$$n = \frac{U_G + r_e I_G}{C_e I_3} \frac{a + b I_3}{I_3}.$$

$$a = C_e n_x \frac{I_{31} I_{32} (U_{G2} - U_{G1})}{(U_{G1} + 2U_0)(U_{G2} + 2U_0)(I_{32} - I_{31})}$$

$$b = C_e n_x \frac{I_{32} (U_{G1} + 2U_0) - I_{31} (U_{G2} + 2U_0)}{(U_{G1} + 2U_0)(U_{G2} + 2U_0)(I_{32} - I_{31})}$$



$$R_D(n, I_G) = \frac{U_G}{I_3} - r_{O3} = U_G \left[\frac{C_e n}{U_G + r_e I_G} - \frac{b}{a} \right] - r_{O3}$$

$R_D(n=n_{\max}, I_G=0)$

$$R_D = (C_e n_{\max} - b U_G) / a - r_{O3}$$

$$k_n = \frac{n_{\max}}{n_x} \leq k_i = \frac{I_{3,\max}}{I_{3,\min}} = \frac{R_D + r_{O3}}{r_{O3}} \Rightarrow R_D = r_{O3} (k_i - 1)$$

$$r_e = r_0 + C_L n \quad C_L = \frac{r_{e2} - r_{e1}}{n_{\max} - n_x}$$

Оцінка якості напруги

Через параметри генератора

$$\left. \begin{aligned} U_C &= C_e n I_1 / (a + b I_1) \\ U_{\Pi} &= C_e n I_2 / (a + b I_2) \\ U_G &= C_e n I_3 / (a + b I_3) \end{aligned} \right\} \begin{aligned} I_1 &= a U_C / (C_e n - b U_C) \\ I_2 &= a U_{\Pi} / (C_e n - b U_{\Pi}) \\ I_3 &= a U_G / (C_e n - b U_G) \end{aligned}$$

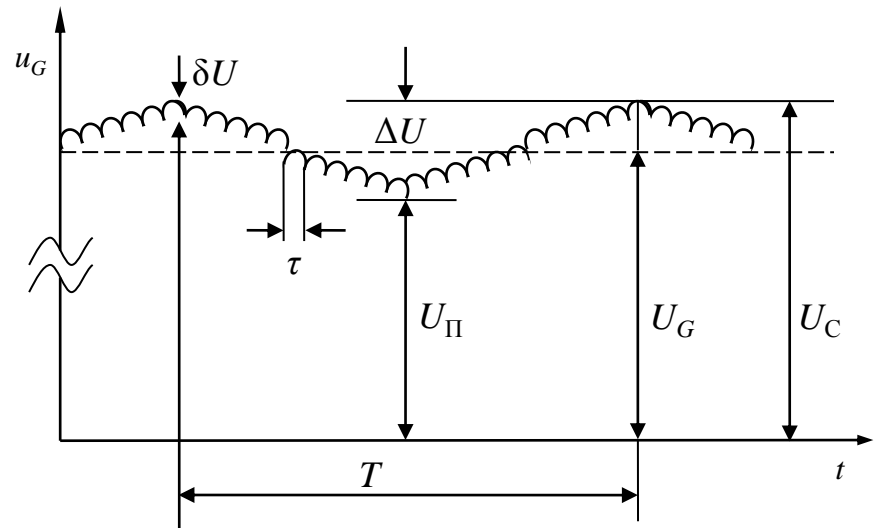
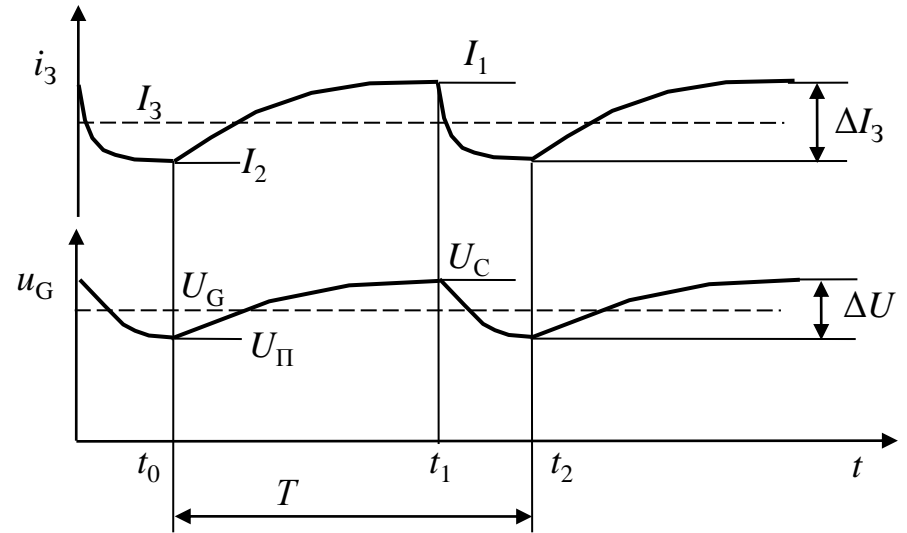
$$K_{\Pi} = U_{\Pi} / U_C < 1$$

$$U_G = 0,5(U_C + U_{\Pi}) = 0,5(1 + K_{\Pi})U_C$$

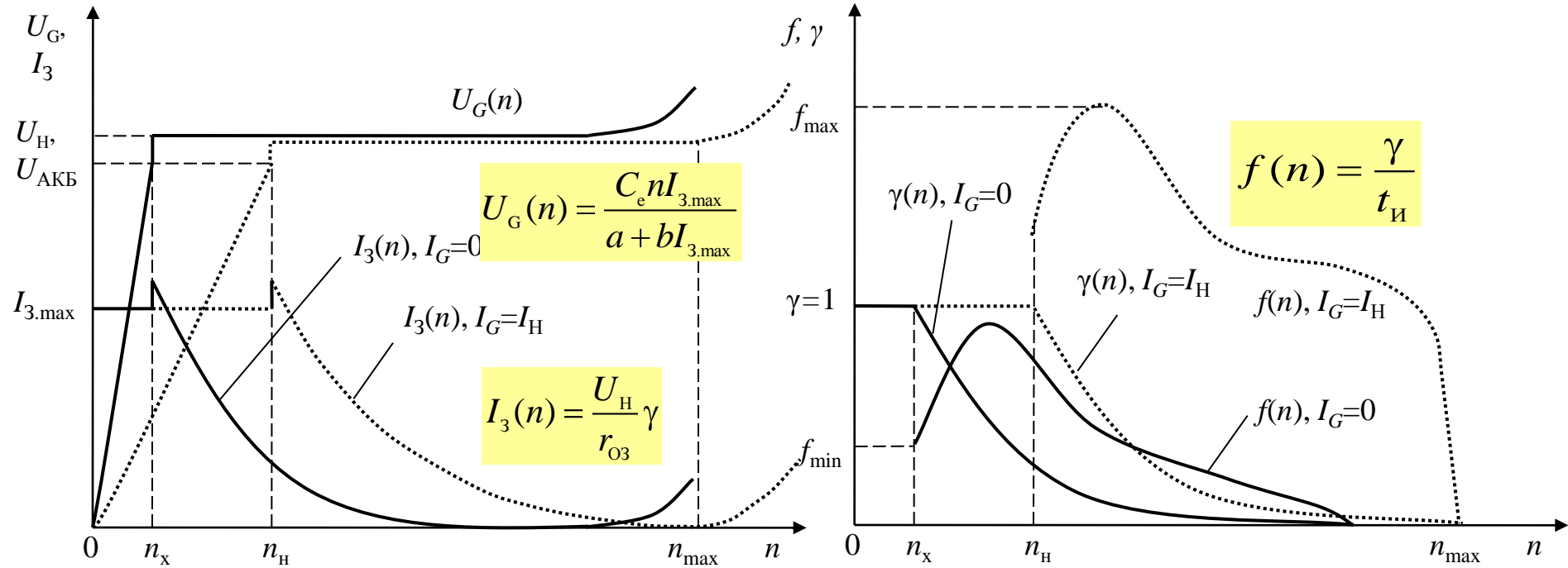
$$U_C = \frac{2U_G}{1 + K_{\Pi}} \quad U_{\Pi} = K_{\Pi} U_C = \frac{2K_{\Pi} U_G}{1 + K_{\Pi}}$$

$$\Delta U = U_C - U_{\Pi} = (1 - K_{\Pi})U_C = \frac{2U_G(1 - K_{\Pi})}{1 + K_{\Pi}}$$

$$\Delta I_3 = I_1 - I_2 = \frac{a U_C}{C_e n - b U_C} (1 - K_{\Pi})$$



3.3.4. Побудування робочих характеристик генераторної установки



$$I_3 = \left[\frac{U_G + r_e I_G}{C_e n - U_G + r_e I_G} \right] \frac{a}{b}, \quad \Leftrightarrow \quad I_3(n) = \frac{U_H}{r_{O3}} \gamma \quad \Rightarrow \quad \gamma(n, I_G) = \frac{a r_{O3}}{C_e n - b U_H + 2U_0 + r_e I_G}$$

$$n = \frac{U_G + r_e I_G}{C_e I_3} \frac{a + b I_3}{C_e I_3} \quad \leftarrow \quad I_{3,max} = \frac{(U_{AKB} - \Delta U_P)}{r_{O3}}$$

$$n_x = \frac{U_H - 2U_0 [a r_{O3} + b U_H - \Delta U_P]}{C_e U_H - \Delta U_P} \quad n_H = \frac{U_H + 2U_0 + r_0 I_H}{C_e \frac{U_H - \Delta U_P}{a r_{O3} + b U_H - \Delta U_P} - C_L I_H}$$

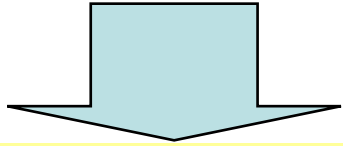
$$t_H(n) = \frac{\Delta U}{\frac{U_H - I_1}{r_{O3}} - \frac{k_L}{n}}$$

$$k_L = p \sigma \omega_{O3} / C_e r_{O3}$$

3.3.5. Способи підвищення комутуючої здібності та термостабільності РН

$$F_{EM} = 0,5\Phi^2 / (\mu_0 S)$$

$$\Phi = I_0 w_0 G \quad I_0 = U_c / r_0 \quad G = \mu_0 S / \delta$$



$$F_{EM} = \left(\frac{U_c w_0 \mu_0 S}{r_0 \delta} \right)^2 \frac{1}{2\mu_0 S} > F_{IP}$$

$$U_c = C_m \frac{r_0}{w_0} \delta \sqrt{F_{IP}}$$

$$C_m = \sqrt{2/\mu_0 S}$$

$$U_G = 0,5(1 + K_{II}) C_m \frac{r_0}{w_0} \delta \sqrt{F_{IP}}$$

$$f = \frac{\gamma(C_e n - bU_G)^2}{T_3 a C_e n \Delta U}$$

$$T_3 = L_3 / R_3$$

$$P_K = I_{3,max}^2 R_D$$

$$\Delta U = (1 - K_{II}) U_c$$

$$U'_{KV} = U_G - (I'_{KV} + I_{3,min}) R_{II}$$

$$U_{KV} = U_G - I_{KV} \frac{R_{II} R_D}{R_{II} + R_D}$$

Для вібраційних РН

