

МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ ГОЛОВНОГО ЦИРКУЛЯЦІЙНОГО НАСОСУ АТОМНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ

Василенко А.С., магістрант, Денисюк П.Л., к.т.н., доц.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра відновлюваних джерел енергії

Вступ. Надійність роботи електричної станції визначається надійністю роботи механізмів системи власних потреб, приводом яких, в основному, являються асинхронні двигуни. Аналіз здатності електродвигуна або групи електродвигунів відновлювати нормальний режим роботи після збурення без втручання персонала дозволить прогнозувати поведінку обладнання в аварійних та післяаварійних режимах.

Метою роботи являється моделювання режимів роботи системи власних потреб атомної електричної станції (АЕС) в аварійних режимах.

Матеріали і результати досліджень. Для вирішення поставленої задачі була використана модель асинхронної машини в формі ЕРС з двома короткозамкнутими контурами на роторі [1].

$$\begin{aligned}\frac{de'_d}{dt} &= -a_4 \cdot e''_d - e'_d + s \cdot e'_q \cdot T_1 + a_4 \cdot u_d; \\ \frac{de'_q}{dt} &= -a_4 \cdot e''_q - e'_q - s \cdot e'_d \cdot T_1 + a_4 \cdot u_q; \\ \frac{de''_d}{dt} &= -a_1 \cdot e''_d + a_2 \cdot e'_d + s \cdot e''_q \cdot T_2 + a_3 \cdot u_d; \\ \frac{de''_q}{dt} &= -a_1 \cdot e''_q + a_2 \cdot e'_q - s \cdot e''_d \cdot T_2 + a_3 \cdot u_q; \\ T_j \frac{ds}{dt} &= m_e - m_c,\end{aligned}\tag{1}$$

де: $a_1 \div a_4, T_1, T_2$ – коефіцієнти рівнянь визначені за параметрами двоконтурної заступної схеми асинхронної машини [2].

$e''_d, e''_q, e'_d, e'_q, u_d, u_q$ – складові ЕРС та напруги в осях $d - q$ асинхронної машини;

s – ковзання ротора асинхронної машини;

$$m_e = \frac{-e''_q \cdot u_d + e''_d \cdot u_q}{x''_s}, \quad \text{електромагнітний момент асинхронної}$$

машини;

x''_s – надперехідний опір асинхронної машини.

$m_c = b_0 + b_1(1+s) + b_2(1+s)^2$ – момент опору приводного механізму асинхронного двигуна;

b_0, b_1, b_2 – коефіцієнти отримані методом найменших квадратів на основі механічних характеристик насосів, в тому числі головного циркуляційного (ГЦН).

Аналіз перехідного процесу базується на результатах розрахунку усталеного режиму ЕЕС.

Модель мережі в усталеному режимі записується в вигляді рівняння напруги (\dot{U}_j) j -го вузла:

$$\dot{U}_j = \left(\frac{\dot{S}_j}{\dot{U}_j} - \sum_{i=1}^m \dot{U}_k \frac{1}{z_{j-k}} \right) / \sum_{i=1}^m \frac{1}{z_{j-k}}, \quad (2)$$

де: $\dot{S}_j = P_j \pm jQ_j$ – повна потужність j -го вузла;

$P_j = \sum_{i=1}^{n_{ac}} P_i$ - активна складова повної потужності j -го вузла, яка включає

сумарну активну потужність n_{ac} асинхронних машин;

$Q_j = \sum_{i=1}^{n_{ac}} Q_i$ - реактивна складова повної потужності j -го вузла, яка включає

сумарну реактивну потужність n_{ac} асинхронних машин.

\dot{U}_k - напруга k -го вузла, з яким має зв'язок вузол j ;

\dot{z}_{j-k} - повний опір між вузлами j і k ;

m - кількість вузлів, з якими має зв'язок вузол j .

Активну та реактивну потужність i -ї асинхронної машини j -го вузла в усталеному режимі можна виразити рівняннями:

$$P_i = U_j^2 \frac{\beta}{\alpha^2 + \beta^2}; \quad (3)$$

$$Q_i = U_j^2 \frac{\alpha}{\alpha^2 + \beta^2}, \quad (4)$$

де: $\alpha = x_s'' + \frac{N}{1+s^2T_1^2} + \frac{M}{1+s^2T_2^2}$ - реактивна складова повного опору асинхронної машини;

$\beta = \frac{sNT_1}{1+s^2T_1^2} + \frac{sMT_2}{1+s^2T_2^2}$ - активна складова повного опору асинхронної

машини;

x_s'', N, M, T_1, T_2 – параметри асинхронної машини визначені по паспортних даних за методикою [2].

Модель мережі в перехідному режимі описується рівнянням:

$$\dot{U}_i = \frac{\dot{E}_i \dot{y}_i + \dot{U}_j \dot{y}_{ij}}{\dot{y}_i + \dot{y}_{ij} + \dot{y}_{\text{нає}}}, \quad (5)$$

де: $\dot{E}_i = \sum_{k=1}^n \frac{\dot{E}_k''}{\dot{z}_k}$ – еквівалентна ЕРС i -го вузла;

$\dot{E}_k'' = E_{+1} + jE_{+j}$ – ЕРС асинхронної машини в синхронних осях $+1, +j$;

$\dot{y}_i = \sum_{k=1}^n \frac{1}{\dot{z}_k}$ – еквівалентна провідність i -го вузла;

n – кількість електричних машин i -го вузла;

\dot{U}_j – напруга j -го вузла, з яким зв'язаний i -й вузол;

$\dot{z}_k = 0 + jx_s''$ – опір k -ої асинхронної машини;

\dot{y}_{ij} – взаємна провідність мережі між вузлами $i-j$;

$\dot{y}_{\text{нає}}$ – еквівалентна провідність статичного навантаження i -го вузла, куди входить небаланс розрахунку усталеного режиму ЕЕС.

Комутації моделюються шляхом визначення \dot{y}_{ij} – взаємної провідності між вузлами $i-j$, а коротке замикання (КЗ) – еквівалентною провідністю статичного навантаження i -го вузла $\dot{y}_{\text{нає}}$.

Приклад. В якості прикладу проведено аналіз режимів короткого замикання (КЗ) та перерви живлення (таблиця 1) на секції власних потреб електричної станції з метою дослідження впливу інерції механізмів (стала часу T_j) на відновлення режиму після збурення.

Для порівняння Режим 1 моделювався з реальними механічними характеристиками механізмів.

Таблиця 1 – Механічні сталі часу механізмів (T_j в секундах)

Насос	ГЦН	КН	ЦН-2	КН-2	НТВН	ПНД
Режим 1	27.84	8.43	15.86	11.15	8.47	7.06
Режим 2	18.00	12.00	11.00	12.00	12.00	10.00
Режим 3	15.00	18.00	14.00	17.00	17.00	18.00

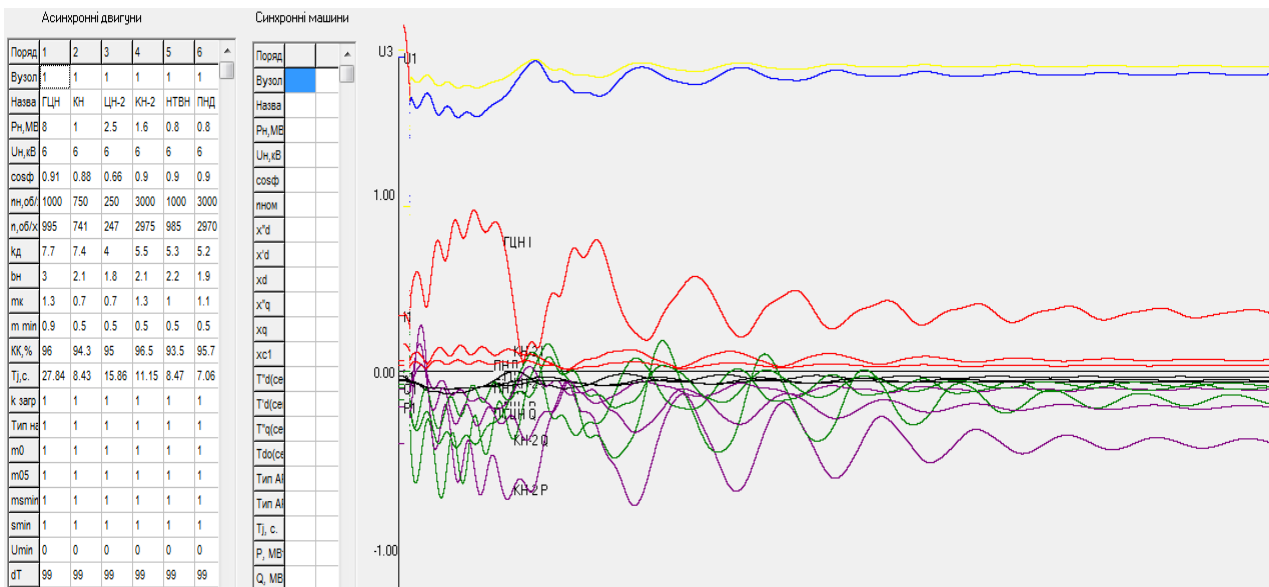


Рисунок 1 – Режим 1, коротке замикання тривалістю $\Delta t = 0,13$ с.

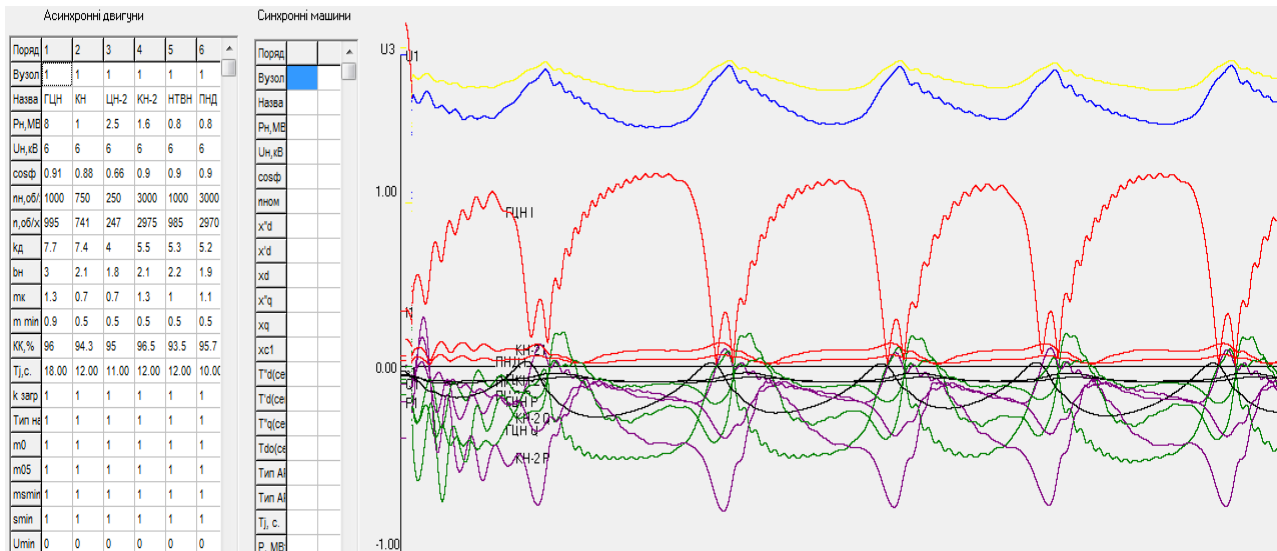


Рисунок 2 – Режим 2, коротке замикання тривалістю $\Delta t = 0,13$ с.

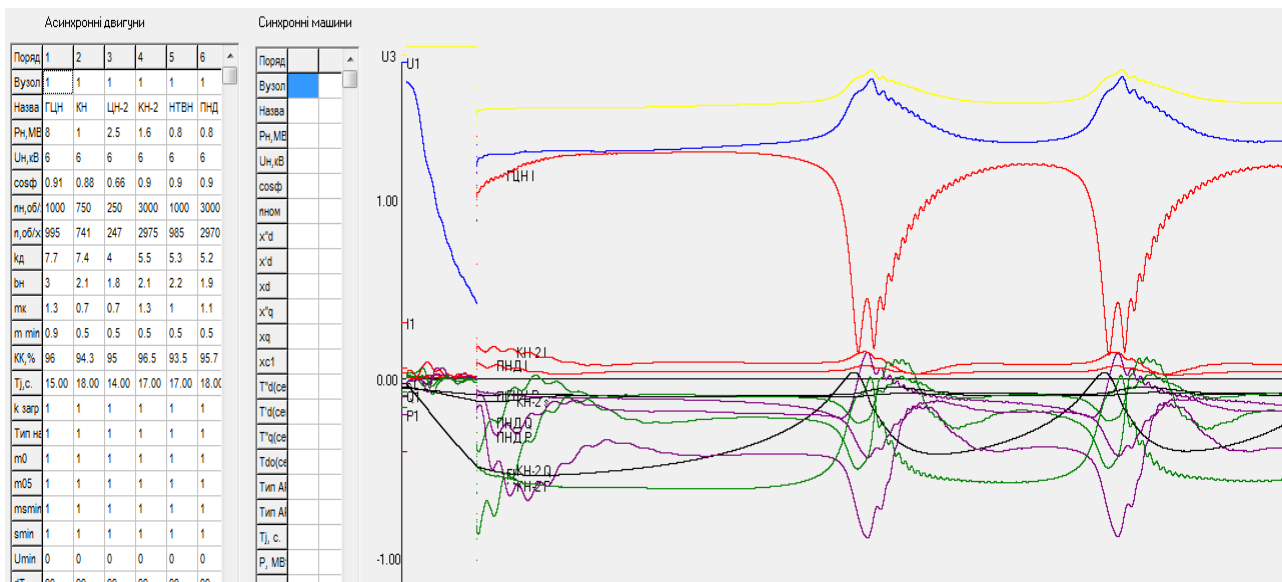


Рисунок 3 – Режим 3, перерва живлення тривалістю $\Delta t = 1,4$ с.

Результати розрахунків показують, що в Режимі 1 (рис. 1) для даного співвідношення механічних сталих часу (таблиця 1) забезпечується відновлення усталеного режиму після збурення. Режими 2 і 3 не забезпечують відновлення режиму після збурення секції власних потреб коротким замикання (рис. 2) і перервою живлення (рис. 3).

Висновки по роботі. Аналіз проведених розрахунків показує, що співвідношення величин механічних сталих часу агрегатів суттєво впливають на характер перехідного процесу. В групі агрегатів секції власних потреб повинен бути найбільш потужний двигун з малою інерцією, який забезпечить стабільність напруги на секції і відсутність коливання менш потужних агрегатів з більшими інерціями. В нашому випадку найменш інертним агрегатом являється головний циркуляційний насос.

Перелік посилань

1. Костерев Н.В. Моделирование и динамика атомных электростанций при возмущениях в энергосистеме./ К.: Вища шк., 1986. -168 с.
2. Костерев Н.В., Денисюк П.Л. Оценивание параметров асинхронной машины//Моделирование и расчет на ЦВМ режимов энергетических систем./ К.: Наукова думка, 1977. – С. 66-75.