



ВИКОРИСТАННЯ ЛОГІЧНИХ СХЕМ АЛГОРИТМІВ ДЛЯ ОПИСУ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ СУДНОВИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ

УДК 621.311

УШКАРЕНКО Олександр Олегович

к.т.н., доцент кафедри теоретичної електротехніки та електронних систем,
Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова.

Наукові інтереси: автоматизація електроенергетичних систем, інформаційне забезпечення електроенергетичних систем.

ДОРОГАНЬ Ольга Ігорівна

к.т.н., асистент кафедри теоретичної електротехніки та електронних систем,
Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова.

Наукові інтереси: інформаційне забезпечення електроенергетичних систем, імітаційне моделювання в електроенергетиці.

ВСТУП

Спеціалізований апаратно-програмний комплекс для моніторингу та управління судновими електроенергетичними системами (СЕЕС) є об'єктом кібернетики. Окремі аспекти автоматизації суднових електроенергетичних систем отримали розвиток в дослідженнях [1-3]. Оскільки сучасні апаратні засоби є мікропроцесорними системами, необхідно, щоб обрані методи аналізу дозволяли врахувати як елементну базу пристроїв, так і алгоритми їх роботи.

Спеціалізований апаратно-програмний комплекс для моніторингу та управління СЕЕС відноситься до автоматизованих систем управління (АСУ), для яких визначено наступні стадії розробки системи: формування вимог, розробка концепції, розробка технічного завдання, ескізного проекту, технічного проекту, робочої документації, введення системи в дію і її супровід. Сучасні підходи до розробки інформаційно-керуючих систем [4] виділяють різні моделі взаємозв'язків між

наведеними стадіями: каскадну, V-модель, спіральну, SCRUM, інкрементальну та інші. У роботі пропонується використання інкрементальної моделі, оскільки вона найбільш прийнятна для розробки багатокомпонентних ієрархічних систем.

Розробка системи управління вимагає застосування методів і принципів теорії систем [5]. Частина з наведених етапів створення АСУ вимагає лише практичних дій, однак для деяких з них необхідно застосування спеціалізованого математичного забезпечення. У роботі пропонується використання логіко-динамічних моделей, зокрема виконання модифікації логічних схем алгоритмів для опису окремих підсистем АСУ СЕЕС.

Мета. Метою роботи є визначення складу та вимог до апаратно-програмних засобів автоматизації для формалізації задач управління та синтезу алгоритмів функціонування засобів автоматизації об'єктами автономної електроенергетики, їх структурної оптимізації з використанням логічних схем алгоритмів.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

Для забезпечення функцій АСУ СЕЕС необхідна наявність наступних апаратних засобів автоматизації [2]:

- система моніторингу параметрів мережі та система моніторингу параметрів генератора;
- пристрої захисту генераторів від перевантаження;
- пристрій управління запуском/зупинкою дизель-генераторного агрегату (ДГА);
- система синхронізації генератора з шинами ГРЩ;
- система розподілу активного навантаження між паралельно працюючими ДГА;
- система розподілу реактивного навантаження між паралельно працюючими ДГА;
- система моніторингу якості електроенергії.

Система моніторингу параметрів суднової мережі слугує для контролю значень напруги і частоти струму суднової мережі; час усереднення для вимірювань діючого значення напруги і частоти складає 120 с. Алгоритм роботи системи можна представити наступною логічною схемою:

$$y_0 \downarrow^1 [y_{1.1} \ y_{1.2} \ y_{1.3} \ y_2 \ \uparrow^1]^{T=120c} \quad (1)$$

де y_0 – початковий стан; $y_{1.1} - y_{1.3}$ – вимірювання параметрів суднової мережі: діючого значення напруги, частоти і миттєвих значень напруги відповідно; y_2 – обмін даними з системою верхнього рівня (далі будуть використовуватися ці ж позначення).

Вимогами до системи моніторингу параметрів генераторного агрегату (ГА) є вимір і передача для дистанційного відображення діючих і миттєвих значень напруги та струму, частоти струму, активної і реактивної потужностей, що віддаються ГА

на загальне навантаження. Час усереднення вимірювань становить 120 с:

$$y_0 \downarrow^1 [y_{1.5} - y_{1.10} \ y_2 \ \uparrow^1]^{T=120c} \quad (2)$$

де $y_{1.5} - y_{1.10}$ – вимірювання параметрів дизель-генератора: миттєвих значень напруги, миттєвих значень струму, діючого значення напруги, діючого значення струму, значень коефіцієнта потужності і частоти відповідно.

Пристрій захисту генератора від зворотної потужності має включатися після підключення ДГА на паралельну роботу з іншими ДГА і виконувати безперервне періодичне вимірювання активної потужності, що віддається генератором на загальне навантаження. При виникненні ситуації, в якій ДГА починає споживати активну потужність з мережі, пристрій має відключити генератор шляхом впливу на генераторний вимикач:

$$y_0 \downarrow^1 x_1 \uparrow^2 \omega \uparrow^1 \downarrow^2 \left[\begin{matrix} y_{1.7} & y_{1.8} & y_{1.9} & z_{2.1} \\ x_{2.1} & \uparrow^1 & y_{3.1} & \uparrow^1 \end{matrix} \right]^{T=5-15c} \quad (3)$$

де x_1 – умова «генераторний вимикач розімкнений»; $z_{2.1}$ – розрахунок значення активної потужності; $x_{2.1}$ – умова «споживана потужність перевищує граничне значення $P \leq -(0,08 \dots 0,12)P_H$ »; $y_{3.1}$ – формування сигналу на реле, що розмикає генераторний вимикач.

Пристрій захисту генератора від втрати збудження також включається після підключення ДГА на паралельну роботу з мережею і служить для відключення генератора від мережі при виникненні споживання ним реактивної потужності протягом більш ніж певний проміжок часу (5-15 с.):

$$y_0 \downarrow^1 x_1 \uparrow^2 \omega \uparrow^1 \downarrow^2 \left[\begin{matrix} y_{1.7} & y_{1.8} & y_{1.11} & z_{2.2} \\ x_{2.2} & \uparrow^1 & y_{3.1} & \uparrow^1 \end{matrix} \right]^{T=5-15c} \quad (4)$$

де $z_{2.2}$ – розрахунок значення реактивної потужності; $x_{2.2}$ – умова «споживана потужність перевищує граничне значення $Q \leq -(0,08 \dots 0,12)Q_H$ ».

Пристрій захисту ДГА від перевантаження по струму служить для вимірювання діючого значення струму генератора і замикає вихідне реле при перевищенні струмом граничного значення (100-120% від номінального значення) тривалістю більше ніж певний проміжок часу (5-10 с.):

$$y_0 \downarrow^1 x_1 \uparrow^2 \omega \uparrow^1 \downarrow^2 \left[\begin{matrix} y_{1.8} \\ x_{2.3} \uparrow^1 y_{3.2} \uparrow^1 \end{matrix} \right]^{T=5-10 \text{ с}} \quad (5)$$

де $x_{2.3}$ – умова «струм генератора перевищує граничне значення $I \leq -(1 \dots 1,2)I_n$ »; $y_{3.2}$ – формування сигналу на реле, що сигналізує оператору про несправність з перевантаження.

Завданням пристрою захисту генератора від перевантаження є сигналізація при перевищенні активною потужністю, яку ДГА віддає на загальне навантаження, граничного значення (100-120% від номінальної потужності) протягом більш ніж певний проміжок часу (5-10 с.):

$$y_0 \downarrow^1 x_1 \uparrow^2 \omega \uparrow^1 \downarrow^2 \left[\begin{matrix} y_{1.7} & y_{1.8} & y_{1.9} & z_{2.1} \\ x_{2.4} & \uparrow^1 & y_{3.2} & \uparrow^1 \end{matrix} \right]^{T=5-10 \text{ с}} \quad (6)$$

де $x_{2.4}$ – умова «потужність, що віддається генератором в мережу, перевищує граничне значення $P \geq (1 \dots 1,2)P_n$ ».

Пристрої контролю мінімальної напруги та мінімальної частоти служать для запобі-

гання зниження діючого значення напруги більш ніж на 70% і частоти струму більш ніж на 5% від номінальних значень протягом певного часу (5-30 с.) шляхом відключення ДГА від мережі:

$$y_0 \downarrow^1 x_1 \uparrow^2 \omega \uparrow^1 \downarrow^2 \left[\begin{matrix} y_{1.7} \\ x_{2.5} \uparrow^1 y_{3.1} \uparrow^1 \end{matrix} \right]^{T=5-30 \text{ с}} \quad (7)$$

$$y_0 \downarrow^1 x_1 \uparrow^2 \omega \uparrow^1 \downarrow^2 \left[\begin{matrix} y_{1.10} \\ x_{2.6} \uparrow^1 y_{3.1} \uparrow^1 \end{matrix} \right]^{T=5-30 \text{ с}} \quad (8)$$

де $x_{2.5}$ – умова «напруга генератора нижче граничного значення $U \leq 0,3U_n$ »; $x_{2.6}$ – умова «частота струму генератора нижче граничного значення $f \leq 0,95f_n$ ».

Для оптимального використання ДГА використовується пристрій управління запуском/зупинкою генераторів. Його завданням є вимірювання активних потужностей, що віддаються всіма ДГА на загальне навантаження, та інформування оператора або автоматичне керування додатковим генератором при завантаженні працюючих генераторів більш ніж на 80-90% (потрібна підготовка додаткового генератора до паралельної роботи) або менше ніж на 10-20% від номінальних значень (потрібні розвантаження і зупинка додаткового генератора):

$$y_0 \downarrow^1 x_1 y_{1.7} y_{1.8} y_{1.9} z_{2.1} x_3 \uparrow^2 \omega \uparrow^1 \downarrow^2 x_{4.1} \uparrow^3 y_{3.3} \downarrow^3 x_{4.2} \uparrow^1 y_{3.4} \omega \uparrow^1 \quad (9)$$

де x_3 – умова «перевірені стани генераторних вимикачів всіх ДГА»; $x_{4.1}$ і $x_{4.2}$ – умови «необхідно включити ($x_{4.1}$) або відключити ($x_{4.2}$) додатковий ДГА»; $y_{3.3}$ і $y_{3.4}$ – формування сигналів на замикання реле, що сигналізують оператору про необхідність включення ($y_{3.3}$) або відключення ($y_{3.4}$) додаткового генератора.

Система синхронізації генератора з шини ГРЩ служить для узгодження діючого значення напруги і частоти генератора, що підключається, з параметрами шини ГРЩ. При досягненні умов синхронізації система має формувати сигнал на замикання генераторного вимикача:

$$y_0 \downarrow^1 \overline{x_1} \uparrow^2 \omega \uparrow^1 \downarrow^2 x_4 \uparrow^2 \omega \uparrow^3 \downarrow^3 \left[\begin{matrix} y_{1.1} & y_{1.2} & y_{1.4} & y_{1.7} & y_{1.10} & z_{2.3} \\ (x_5 \& x_6 \& x_7) \uparrow^5 & y_{3.5} & \omega \uparrow^1 \\ \downarrow^5 & \overline{x_5} \uparrow^4 & y_{3.6} & \omega \downarrow^4 & \overline{x_6} \uparrow^3 & y_{3.7} & \omega \uparrow^3 \end{matrix} \right] \quad (13)$$

де x_4 – умова «отримана команда, яка ініціює процес синхронізації»; $z_{2,3}$ – розрахунок різниць напруг і частот мережі і генератора, що підключається; $x_5 - x_6$ – умови синхронізації (10) – (12); $y_{3,5}$ – формування сигналу на замикання генераторного вимикача; $y_{3,6}$ і $y_{3,7}$ – формування сигналів корекції збудження генератора і частоти обертів дизельного двигуна відповідно.

Завданням системи розподілу активних навантажень між паралельно працюючими генераторами є вимірювання активних потужностей, що віддаються кожним ДГА на загальне навантаження, і формування, при необхідності, коригуючих сигналів для зміни частот обертів дизелів. Розподіл активного навантаження між генераторами має відбуватися пропорційно їх номінальним потужностям і не повинен відрізнятися більш ніж на 15% від розрахункового навантаження більшого з генераторів або на 25% від розрахункового навантаження генератора, що розглядається, залежно від того, що менше:

$$y_0 \downarrow^1 x_1 \uparrow^2 \omega \uparrow^1 \downarrow^2 \begin{bmatrix} y_{1,7} & y_{1,8} & y_{1,9} & z_{2,1} \\ x_{8,1} & \uparrow^1 & y_{3,7} & \uparrow^1 \end{bmatrix} \quad (14)$$

де $x_{8,1}$ – умова «активна потужність, що віддається ДГА в мережу, перевищує встановлене значення».

Система розподілу реактивних навантажень повинна здійснювати моніторинг реактивних потужностей, що віддаються ГА в мережу, і, при необхідності, виконувати їх коригування шляхом зміни збудження генераторів. Розподіл реактивного навантаження повинен здійснюватися пропорційно номінальним потужностям генераторів:

$$y_0 \downarrow^1 x_1 \uparrow^2 \omega \uparrow^1 \downarrow^2 \begin{bmatrix} y_{1,7} & y_{1,8} & y_{1,11} & z_{2,2} \\ x_{8,2} & \uparrow^1 & y_{3,6} & \uparrow^1 \end{bmatrix} \quad (15)$$

де $x_{8,2}$ – умова «реактивна потужність, що віддається ДГА в мережу, перевищує встановлене значення».

На основі аналізу принципів роботи суднової електростанції і виразів (1) – (9), (13) – (15) щодо режимів роботи засобів автоматизації можна сформулювати наступні тези:

1. Більшість пристроїв захисту вимагає вимірювання одних й тих самих параметрів з сумірною періодичністю, тому реалізацію всіх захистів генератора можна об'єднати в одному пристрої – системі захистів:

$$y_0 \downarrow^1 x_1 \uparrow^2 \omega \uparrow^1 \downarrow^2 \begin{bmatrix} y_{1,7} - y_{1,11} & z_{2,1} & z_{2,2} \\ (x_{2,1} | x_{2,2} | \dots | x_{2,6}) \uparrow^1 (y_{3,1} | y_{3,2}) \omega \uparrow^1 \end{bmatrix}^{T=5c}$$

2. Аналізуючи вирази (13) – (15), можна відзначити, що системи розподілу активного і реактивного навантажень використовуються одночасно і для своєї роботи вимагають вимірювання практично одних і тих самих параметрів; системи синхронізації і розподілу навантажень використовуються послідовно і вимагають вимірювання декількох співпадаючих параметрів.

Тому доцільно всі п'ять пристроїв (синхронізації, розподілу активного і реактивного навантажень, захисту та моніторингу параметрів ДГА) об'єднати в один пристрій – систему синхронізації і розподілу навантажень:



$$\begin{aligned}
& y_0 \downarrow^1 \overline{x_1} \uparrow^2 \left[\begin{array}{c} y_{1.5} - y_{1.11} \quad z_{2.1} - z_{2.2} \quad y_2 \\ (x_{2.1} | \dots | x_{2.6}) \uparrow^3 (y_{3.1} | y_{3.2}) \omega \uparrow^3 \\ \downarrow^3 (x_{8.1} | x_{8.2}) \uparrow^1 (y_{3.6} | y_{3.7}) \omega \uparrow^1 \end{array} \right] \\
& \downarrow^2 x_4 \uparrow^1 \omega \uparrow^6 \downarrow^6 \left[\begin{array}{c} y_{1.1} \quad y_{1.2} \quad y_{1.4} \quad y_{1.7} \quad y_{1.10} \quad z_{2.3} \\ (x_5 \& x_6 \& x_7) \uparrow^4 y_{3.5} \omega \uparrow^1 \\ \downarrow^4 \overline{x_5} \uparrow^5 y_{3.6} \downarrow^5 \overline{x_6} \uparrow^6 y_{3.7} \omega \uparrow^6 \end{array} \right]
\end{aligned}$$

ВИСНОВКИ

На основі вимог до засобів автоматизації системи моніторингу параметрів та управління судновою елек-

троенергетичною установкою складено їх логіко-динамічні моделі, аналіз яких дозволив виявити можливість появи апаратної надмірності при реалізації кожної з функцій у окремому пристрої та шляхи її усунення: об'єднання пристроїв моніторингу параметрів і захистів основного генератора та об'єднання в один пристрій системи синхронізації генераторів і розподілу навантажень між ними.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Lepskiy A.G. Osnovnye napravleniya razvitiya sistem kompleksnoy avtomatizatsii na flote / A.G. Lepskiy, V.V. Tsvetkov, A.A. Shcheglov // Vestnik MGTU (Tom 7). – Moskva, 2004. – №3. – S. 409-418.
2. Gardner C. Networked Intelligent Instrumentation & Control for Switchboards / C. Gardner, D. Johnson, J. Provine // Electric Ship Technologies Symposium. – USA, 2007. – P. 510-518.
3. Hatzilau I. K. On electric load characterization and categorization in ship electric installations / I. K. Hatzilau, G. J. Tsekouras, J. M. Prousalidis, I. K. Gyparis // IEEE Transactions on Power Systems. – IEEE: Piscataway, 2007. – №3. – P. 1120-1128.
4. Velbitskiy I.V. Next generation visual programming technology / I.V. Velbitskiy // The materials of 11th IEEE east-west design & test symposium (IEEE EWDTS). – Rostov on Don, 2013. – P. 404-410.
5. Kovalenko I. I. Vstup do systemnoho analizu / I.I. Kovalenko, P.I. Bidiuk, O.P. Hozhyi. – Mykolaiv: Vydavnytstvo MDHU im. Petra Mohyly, 2004. – 146 s.

Рецензент: д.т.н., проф. Шерстюк В.Г.
Херсонський національний технічний університет