

УДК 621.39

О.О. Філіпський, В.М. Уваров

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## АВАРІЙНІ РЕЖИМИ РОБОТИ ДИЗЕЛЬ-ІНЕРЦІЙНИХ УСТАНОВОК ГАРАНТОВАНОГО ЖИВЛЕННЯ

В статті розглядаються аварійні режими пов'язані зі зникненням напруги зовнішньої мережі. Особливу увагу приділено режиму повздожньої несиметрії.

**Ключові слова:** дизель-інерційна установка гарантованого живлення, повздожжня несиметрія, фільтр зворотньої послідовності.

### Вступ

При зникненні напруги зовнішньої мережі на вводах системи автономного електропостачання електроприймачі першої категорії в період підготовки отримують електричну енергію від установок гарантованого живлення (УГЖ).

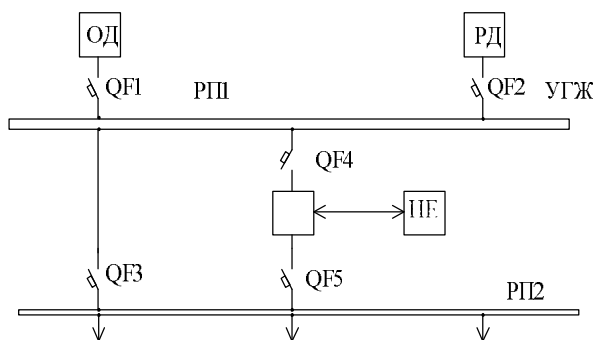


Рис. 1. Структурна схема САЕ

На рис. 1 наведений один з можливих варіантів побудови системи електропостачання, що містить основний (ОД) і резервний (РД) джерела, установку гарантованого живлення (УГЖ). До складу УГЖ (рис. 1) входять розподільчі пристрої РП1 і РП2, перетворювач (ПЕ) і накопичувач (НЕ) енергії.

В схемі, яка розглядається системи електропостачання мають місце перерви в живленні споживачів електричною енергією при переході живлення від основного джерела до резервного. Разом з тим можливо при певній зміні схеми побудови установки гарантованого живлення забезпечити безперервне живлення найбільш відповідальних споживачів. Для цього потрібно об'єднати в одному агрегаті резервне джерело живлення й установку гарантованого живлення так, як це показано на рис. 2.

В запропонованій схемі електрична машина ЕМ, маховик м та приводний двигун ПД утворюють УГЖ, яка при наявності напруги на розподільчому

пристрої РП забезпечує обертання маховика м, який виконує функцію накопичувача енергії. Муфта М при цьому відключена, а приводний двигун ПД не працює.

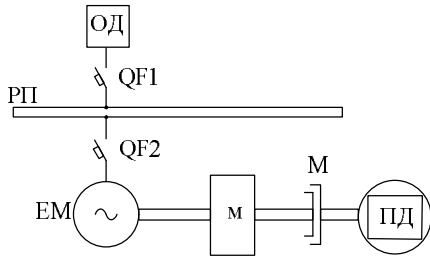


Рис. 2. Схема системи електропостачання

При зникненні напруги від основного джерела ОД напруга на шинах РП не зникає, оскільки електрична машина з режиму двигуна переходить в режим генератора з приводом від маховика. При цьому вмикається муфта М й маховик як стартер запускає приводний двигун. Привод електричної машини здійснюється від приводного двигуна. Споживачі, що живляться від розподільчого пристрою, отримують електричну енергію навіть без перериву синусоїди напруги.

### Основний матеріал

В звичайних трифазних системах при обриві однієї з фаз виникає повздовжня несиметрія

Повздовжню несиметрію в будь-якій точці трифазної системи в загальному вигляді можна представити вмиканням в кожну фазу неоднакових опорів.

Слідуючи [2], для вивчення режимів повздовжньої несиметрії можливо використовувати метод симетричних складових. Випадки повздовжньої несиметрії показані на рис. 3.

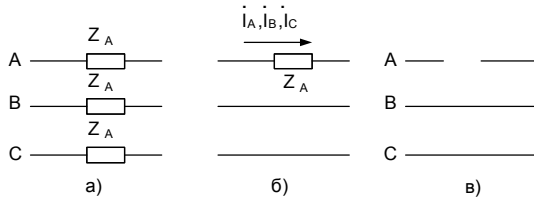


Рис. 3. Випадки повздовжньої несиметрії: а – загальний випадок; б – опір в одній фазі; в – розмикання однієї фази

Будь-які два опори можуть при цьому дорівнювати нулю або нескінченності.

Повздовжня несиметрія може бути описана рівняннями:

$$\left. \begin{aligned} \bar{U}_A &= Z_A \bar{I}_A; \\ \bar{U}_B &= Z_B \bar{I}_B; \\ \bar{U}_C &= Z_C \bar{I}_C; \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де  $U_A, U_B, U_C$  — напруги на зажимах опорів  $Z_A, Z_B, Z_C$  (повздовжні напруги).

У результаті заміни напруг і струмів, що входять в (1), симетричними складовими отримуємо три рівняння (граничні умови), що зв'язують симетричні складові в місці повздовжньої несиметрії.

В окремому випадку, зображеному на рис. 3,б  $Z_B = Z_C = 0$  і відповідно  $U_B = U_C = 0$ .

Симетричні складові повздовжніх напруг:

$$\begin{aligned} \bar{U}_1 &= \bar{U}_2 = \bar{U}_0 = \frac{1}{3} \bar{U}_A = \frac{1}{3} Z_A \bar{I}_A = \\ &= \frac{1}{3} Z_A (\bar{I}_1 + \bar{I}_2 + \bar{I}_0). \end{aligned} \quad (2)$$

Відповідно для струмів:

$$I_{A1} + I_{A2} + I_{A0} = 0. \quad (3)$$

При обриві фаз В та С,  $Z_A=0, Z_B=Z_C \rightarrow \infty$ . Тим самим симетричні складові струму фази А в місці обриву двох інших фаз пов'язані простим співвідношенням:

$$I_{A1} = I_{A2} = I_{A0} = 1/3 I_A. \quad (4)$$

В електричній машині, що входить до складу установки гарантованого живлення при обриві фази А живлячої мережі, напруга на шинах в фазі А не зникає, оскільки при цьому ця електрична машина по фазам В та С працює як двигун, а в фазі А як генератор.

При цьому електрична машина споживає струм в фазах В та С й віддає його в мережу в фазі А. Векторна діаграма напруг та струмів при цьому має вигляд, наведений на рис. 4.

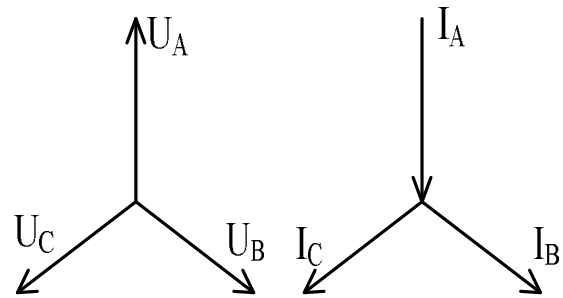


Рис. 4. Векторні діаграми синхронної машини установки гарантованого живлення при обриві фази А живлячої мережі

При цьому симетричні складові визначаються з наступних співвідношень:

$$\begin{aligned} I_1 &= \frac{1}{3} (-\dot{I}_A + a \dot{I}_B + a^2 \dot{I}_C); \\ I_2 &= \frac{1}{3} (-\dot{I}_A + a^2 \dot{I}_B + a \dot{I}_C); \\ I_0 &= \frac{1}{3} (-\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C), \end{aligned} \quad (5)$$

де  $a = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}; a^2 = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$ .

Оскільки, як правило, фазний струм навантаження  $I_A$  (в режимі генератора) не дорівнює за модулем фазним струмам  $I_B$  та  $I_C$  (в режимі двигуна) та з врахуванням того, що змінився напрям струму, виникає несиметрія й з'являються струми зворотної послідовності  $I_2$  та нульової  $I_0$  послідовностей.

Таким чином на відміну від звичайної електричної машини, в якій при обриві фази струм у цій фазі є, але він змінює свій напрям. Виникаючу несиметрію доцільно знаходити за допомогою струмового фільтра зворотної послідовності.

Фільтр струмів зворотної послідовності, зображений на рис. 5, складається з активних опорів, між якими прокладений нейтральний провід трансформаторів струму, і трифазного трансформатора, струмові обмотки якого у фазах В і С зв'язані індуктивно із третьою обмоткою у вихідному колі; параметри фільтра задовольняють умові  $R = \sqrt{3}\omega M$ , де  $\omega$  кутова частота струму, на яку розрахований фільтр;  $M$  - взаємна індуктивність первинної й вторинної обмоток проміжного трансформатора.

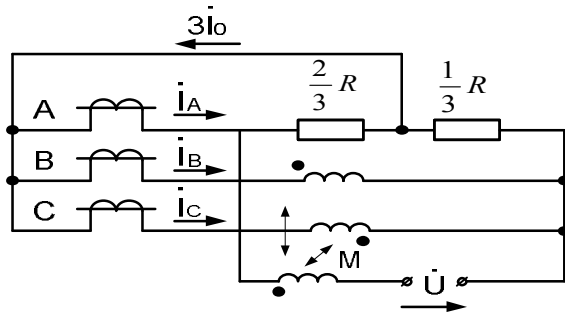


Рис. 5. Фільтр струмів зворотної послідовності

Вихідна напруга  $U_{\text{вих}}$  дорівнює:

$$\bar{U} = \frac{2}{3} R \bar{I}_A - \frac{1}{3} R (\bar{I}_B + \bar{I}_C) - \sqrt{3}\omega M (\bar{I}_B + \bar{I}_C). \quad (6)$$

Оскільки враховуючи перший закон Кірхгофа:

$$(\bar{I}_B + \bar{I}_C) = \bar{I}_A - 3\bar{I}_0 \quad (7)$$

і співвідношення між симетричними складовими

$$\begin{aligned} \bar{I}_A &= \bar{I}_1 + \bar{I}_2 + \bar{I}_0, \\ \bar{I}_B - \bar{I}_C &= -j\sqrt{3}(\bar{I}_1 - \bar{I}_2) \end{aligned}$$

### АВАРИЙНЫЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ ДИЗЕЛЬ-ИНЕРЦИОННЫХ УСТАНОВОК ГАРАНТИРОВАННОГО ПИТАНИЯ

О.А. Филиппский, В.Н. Уваров

В статье рассматриваются аварийные режимы связанные с исчезновением напряжения внешней сети. Особое внимание уделено режиму продольной несимметрии.

**Ключевые слова:** дизель-инерционная установка гарантированного питания, продольная несимметрия, фильтр обратной последовательности.

### EMERGENCY OPERATION DIESEL-INERTIAL SYSTEMS BACK POWER

O.A. Filippskiy, V.N. Uvarov

The article deals with emergency modes associated with the disappearance of the external network. Particular attention is paid to the regime of longitudinal asymmetry.

**Keywords:** diesel flywheel uninterruptible power supply installation, the longitudinal asymmetry, filter reverse.

одержимо остаточно

$$\bar{U} = R(\bar{I}_1 + \bar{I}_2) - \sqrt{3}\omega M(\bar{I}_1 - \bar{I}_2) = 2R\bar{I}_2, \quad (8)$$

що вихідна напруга пропорційна струму зворотної послідовності.

Вплив струмів нульової послідовності відсутній у розглянутому фільтрі завдяки взаємній компенсації падінь напруги від струмів  $I_0$  і  $2I_0$  в опорах  $\frac{2}{3}R$  і  $\frac{1}{3}R$ . Інший можливий спосіб усунення впливу струмів нульової послідовності полягає у тому, що до фільтра струмів зворотної послідовності замість фазних струмів  $I_A$ ,  $I_B$  і  $I_C$  підводяться різниці фазних струмів  $I_A - I_B$ ,  $I_B - I_C$ ,  $I_C - I_A$ , в яких складові нульової послідовності відсутні.

### Висновки

1. При виникненні повздовжньої несиметрії в системах гарантованого живлення, в яких використовуються синхронна електрична машина, на валу якої є маховик та роз'єднувальна муфта, що зв'язує електричну машину з приводним двигуном, напруга на шинах гарантованого живлення не зникає, а несиметрія проявляється лише у появі струмів зворотної і нульової послідовностей.

2. Для фіксації факту появи повздовжньої несиметрії доцільно використовувати струмовий фільтр зворотної послідовності, при появі напруги на виході якого слід вимикати мережний ввід установки гарантованого живлення та подавати команду на вмикання роз'єднувальної муфти, переводити при цьому установку на привід від первинного двигуна.

### Список літератури

1. Самойленко Б.Ф. Системи автономного електроживлення / Б.Ф. Самойленко, Б.Т. Кононов, Ю.А. Скворцов. – М: МО СССР, 1990. – 347 с.
2. Атабеков Г.И. Теоретические основы электротехники / Г.И. Атабеков. – М.: Энергия, 1978. – 342 с.

Надійшла до редколегії 19.07.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Б.Т. Кононов, Харківський Університет Повітряних сил ім. І. Кожедуба, Харків.