



УДК 621.313.3: 681.5

DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-29

ДІАГНОСТИЧНІ МОДЕЛІ АВАРІЙНИХ СТАНІВ СИЛОВИХ БЛОКІВ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Кулагін Д. О., к. т. н, <http://orcid.org/0000-0003-3610-4250>
Чернецький Б. С., аспірант* <http://orcid.org/0000-0002-3730-7247>
Національний університет «Запорізька політехніка»
e-mail: bogdan1chernetskiy@gmail.com

Анотація - у даній роботі отримано блочну модель силових блоків електротехнічних систем, яка оперує з сукупністю моделей підсистем окремих блоків, вузлів та елементів електротехнічних систем. Об'єкт діагностування розбито на функціональні блоки, з точністю до яких проводиться пошук дефектів. В якості основних діагностичних елементів силових кіл розглянуто випрямляч та інвертор.

Завдяки аналізу діагностичної моделі випрямляча, перш за все, було оцінено який об'єм діагностичної інформації потрібен для повноцінної роботи моделі. В якості контрольованого параметра був обраний струм тиристора, оскільки діагностична модель заснована на застосуванні датчиків струму, що протікає через силові вентилі. Встановлено, що для повного діагностування достатньо контролювати струм у фазах та струм у колі живлення.

В залежності від струму розподілення у схемі усі режими роботи розділено на: робочий стан, стан короткого замикання, коли струм протікає одночасно в обох плечах моста, стан обриву вентиля. Кожен стан описано відповідним рівнянням. Також встановлено, що для діагностування необхідно контролювати струми в плечах моста інвертора.

Отримані результати дозволяють визначити місце знаходження датчиків у схемі перетворювача, що контролюють стан перетворювача.

Згідно з отриманими даними необхідно встановити датчики, що вимірюють струми у кожній фазі випрямляча, струм у колі живлення та струми, що протікають через силові вентилі інвертора.

Розроблені діагностичні моделі станів силових блоків та загальна діагностична модель станів дозволили визначити мінімальну сукупність діагностичних ознак та точки зняття діагностичної інформації.

Ключові слова: об'єкт діагностування, випрямляч, перетворювач, мостова схема.

Постановка проблеми. Методи діагностування виникнення зовнішніх аварій поза межами силових кіл та систем керування електротехнічних систем на сьогоднішній день не є досить ефективними [1 – 3]. Це унеможлиблює уніфікацію діагностичних моделей для проведення локалізації та попередження аварійних режимів. Також, на сьогодні практично відсутня блочна модель, яка



оперує з сукупністю моделей підсистем окремих блоків, вузлів та елементів. Це не дозволяє отримати більш детальну інформацію, та за допомогою вбудованих засобів якнайшвидше визначати елемент, що відмовив (вентиль) та здійснювати таке керування перетворювачем, що зменшить збитки від відмови.

Аналіз останніх досліджень. Згідно [1 – 2] проводилася робота з діагностики аварійних режимів та моделювання процесів, які виникли в силових колах, але не вивчалися питання діагностування аварій поза межами силових кіл. В працях [3 – 4] проводилася робота з діагностики електрообладнання під час виникнення аварійних режимів в системах керування, але не розглядалося питання виникнення зовнішніх аварій поза межами систем керування. В працях [5 – 6] підіймали питання вивчення електротехнічних установок з вентильними перетворювачами, але питання аварійних режимів зовнішніх аварій не були достатньо глибоко вивчені. У цій статті питання зовнішніх аварій поза межами силових кіл та систем керування будуть більш детально доопрацьовані.

З аналізу методів діагностування [1 – 5] було зроблено висновок, що найбільш доцільно проводити оцінку станів силових блоків електротехнічних системах (далі – ЕТС) по змінним станам і вихідним сигналам та використовувати принцип діагностування на основі математичної моделі об'єкту.

Формування цілей статті. Виконаємо функціональне діагностування системи керування (далі – СК), яке дозволить за допомогою вбудованих засобів якнайшвидше визначати елемент, що відмовив (вентиль) та здійснювати керування перетворювачем, що зменшить збитки від відмови.

Основні матеріали досліджень.

Суттєвими факторами, що впливають на розвиток відмов є: температура, вологість, тиск, середня потужність, підвищена частота, велике діюче значення струму, велика амплітуда імпульсного струму, великі швидкості зростання струмів на напруг, граничні значення струмів та напруг.

Виконаємо функціональне діагностування СК, яке дозволяє вирішувати наступні задачі [5]:

- за допомогою вбудованих засобів якнайшвидше визначати елемент, що відмовив (вентиль) та здійснювати таке керування перетворювачем, що зменшить збитки від відмови;
- за наявності резервування з дробовою кратністю завчасно виявляти вузли, що відмовили, та замінювати їх з мінімальними витратами часу на відновлення.

Функціональна модель описує перетворювач як єдину систему, блочна модель оперує з сукупністю моделей підсистем окремих

блоків, вузлів та елементів. Звичайно, в останньому випадку вдається отримати великий об'єм діагностичної інформації, що особливо важливо при функціональному діагностуванні, коли вибір тестових впливів обмежений робочими сигналами керування та напругою живлення. Побудова та аналіз функціональної моделі перетворювача дозволяють спростити систему діагностування та скоротити число датчиків.

Об'єкт діагностування розбивається на такі функціональні блоки, з точністю до яких необхідно проводити пошук дефектів. Так як основними елементами є випрямляч (далі – В) та автономний інвертор (далі – АІ), то розглянемо діагностування стану саме цих блоків. Задача діагностування полягає у виявленні та оцінці місцезнаходження елементів більшості дефектів. У якості дефектів, що виникають у системах керування, можна виділити такі, як: обриви, короткі замикання елементів, зриви інвертування, перегрів силових вентилів. При цьому на діагностичні параметри (які містять інформацію про несправність, над якими встановлені нагляд та контроль) накладаються додаткові обмеження. В якості діагностичних параметрів виступають струми, що протікають у гілках системи.

В якості В для перетворювачів підвищеної частоти найбільш часто використовують трифазну мостову схему (схема Ларіонова) [6, 7], що представлена на рис. 1.

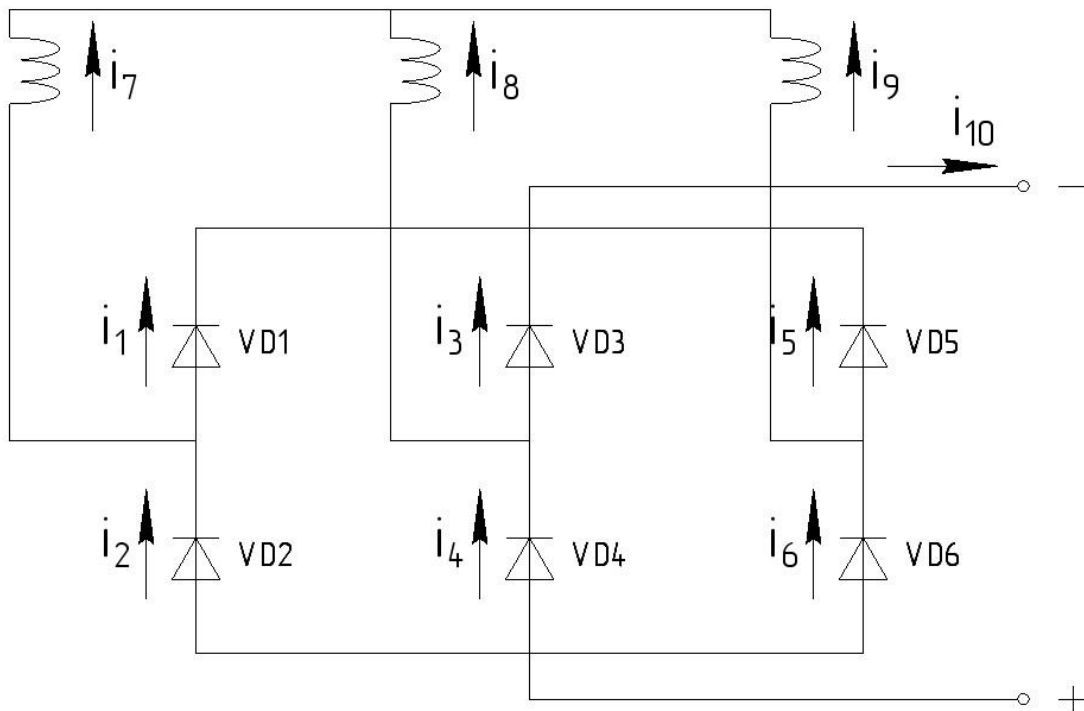


Рис. 1. Трифазний мостовий випрямляч

Аналіз діагностичної моделі (далі - ДМ) дозволяє, перш за все, оцінити який об'єм діагностичної інформації потрібен. При функціональному діагностуванні необхідно обрати сукупність контрольованих параметрів, тобто контрольних точок та датчиків відповідних величин (струмів, напруг, тимчасових співвідношень, температур). ДМ суттєво залежить від оцінюваних факторів. Як вже було сказано раніше, найчастіше використовуються датчики струмів, напруг (що здійснюють безпосереднє вимірювання) та датчики провідності (призначені для фіксації відкритого (закритого) стану силових вентилів).

Діагностична модель В будується на основі його структури (рис. 2).

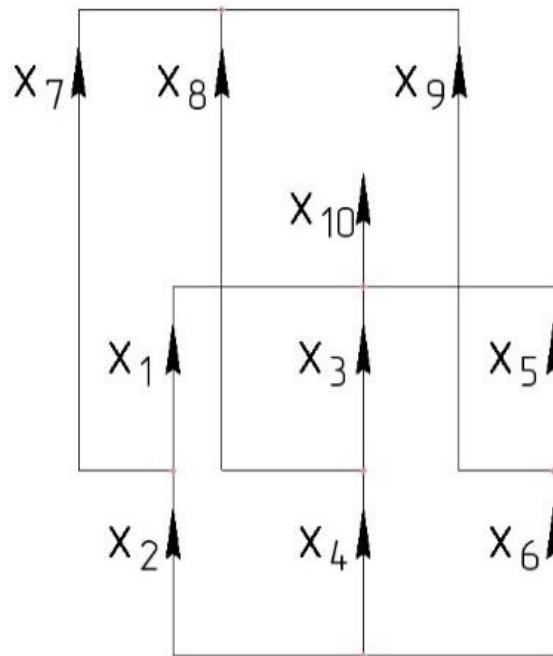


Рис. 2. Діагностична модель випрямляча

Приведемо отримані результати. Прийнята діагностична модель основана на застосуванні датчиків струмів, що протікають через силові вентилі, такий вибір продиктований необхідністю потенціальної розв'язки діагностованого кола та приладу діагностики, тому в якості контрольованого параметра використовується струм тиристора.

Усі режими роботи, в залежності від струму розподілення у схемі, можна розділити на чотири непересічні множини:

- множина аварійних режимів, коли увімкненим виявляються два тиристора, які входять до складу одного «напівмоста», і через них тече весь струм живлення;



- «перед аварійний» режим, коли увімкненими виявляються одразу три тиристора, а струм тече одночасно у трьох плечах мосту;
- множина робочих режимів, коли робота схеми, що містить несправний тиристор, не відрізняється від роботи справної схеми;
- множина, що складається з одного елемента (початковий режим), коли у схемі, що містить несправний тиристор, не виникло кола для протікання струму живлення.

Кожну множину можна описати логічними рівняннями:

$$\begin{aligned}
 F_a &= x_1 x_2 \bar{x}_3 \bar{x}_4 \bar{x}_5 \bar{x}_6 \bar{x}_7 \bar{x}_8 \bar{x}_9 x_{10} \vee \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3 x_4 \bar{x}_5 \bar{x}_6 \bar{x}_7 \bar{x}_8 \bar{x}_9 x_{10} \vee \\
 &\vee \bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \bar{x}_4 x_5 x_6 \bar{x}_7 \bar{x}_8 \bar{x}_9 x_{10}; \\
 F_{\Pi} &= \bar{x}_1 x_2 x_3 \bar{x}_4 \bar{x}_5 x_6 x_7 x_8 x_9 x_{10} \vee x_1 \bar{x}_2 x_3 \bar{x}_4 \bar{x}_5 x_6 x_7 x_8 x_9 x_{10} \vee \\
 &\vee x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 x_4 \bar{x}_5 x_6 x_7 x_8 x_9 x_{10} \vee x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 x_4 x_5 \bar{x}_6 x_7 x_8 x_9 x_{10} \vee \\
 &\vee \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3 x_4 x_5 \bar{x}_6 x_7 x_8 x_9 x_{10} \vee \bar{x}_1 x_2 x_3 \bar{x}_4 x_5 \bar{x}_6 x_7 x_8 x_9 x_{10}; \\
 F_p &= x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \bar{x}_4 \bar{x}_5 x_6 x_7 \bar{x}_8 x_9 x_{10} \vee x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 x_4 \bar{x}_5 \bar{x}_6 x_7 x_8 \bar{x}_9 x_{10} \vee \\
 &\vee \bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 x_4 x_5 \bar{x}_6 \bar{x}_7 x_8 x_9 x_{10} \vee \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3 \bar{x}_4 x_5 \bar{x}_6 x_7 x_8 \bar{x}_9 x_{10} \vee \\
 &\vee \bar{x}_1 x_2 x_3 \bar{x}_4 \bar{x}_5 \bar{x}_6 x_7 x_8 \bar{x}_9 x_{10} \vee \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3 \bar{x}_4 \bar{x}_5 x_6 \bar{x}_7 x_8 x_9 x_{10}; \\
 F_H &= \bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \bar{x}_4 \bar{x}_5 \bar{x}_6 \bar{x}_7 \bar{x}_8 \bar{x}_9 \bar{x}_{10},
 \end{aligned} \tag{1}$$

де x_i – логічні сигнали датчиків струму; F_a, F_{Π}, F_p, F_H – функції, які описують відповідно аварійний, передаварійний, робочий та початковий режими. Після мінімізації виразів відомими методами (визначаємо мінімальну сукупність контрольних точок) отримуємо :

$$\begin{aligned}
 F_a &= \bar{x}_7 \bar{x}_8 \bar{x}_9 x_{10}; \quad F_{\Pi} = x_7 x_8 x_9 x_{10}; \\
 F_p &= x_7 \bar{x}_8 x_9 \vee \bar{x}_7 x_8 x_9 \vee x_7 x_8 \bar{x}_9; \quad F_H = \bar{x}_{10}.
 \end{aligned} \tag{2}$$

Отже, для діагностування досить контролювати струми у фазах та струм в колі живлення.

В якості АІ широко використовується мостова схема зі зустрічно-паралельними діодами, вентильний блок якого приведений на рис. 3. На прикладі даної схеми побудуємо ДМ АІ.

Діагностична модель АІ будується аналогічно ДМ В – на основі своєї структури. В якості контрольованих параметрів також використовуються струми, що протікають у силових вентилях. ДМ АІ приведена на рис. 4.

В ДМ параметром X_i позначаються логічні сигнали датчиків струму ($x_i = 1$ – струм через вентиль протікає, $x_i = 0$ – струм через вентиль не протікає, x_5 – може приймати будь-які значення, так як ми проводимо діагностику струмів, що протікають у вентилях), i -номер гілки.

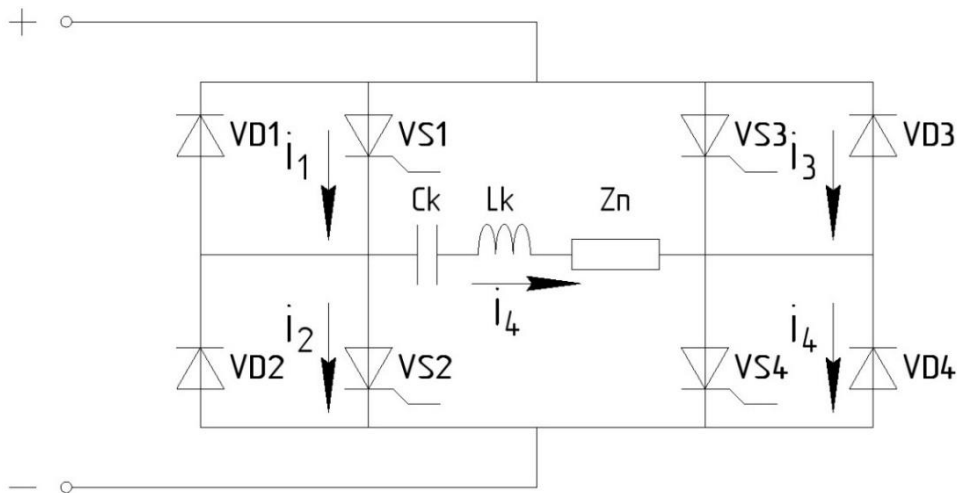


Рис. 3. Вентильний блок автономного інвертора

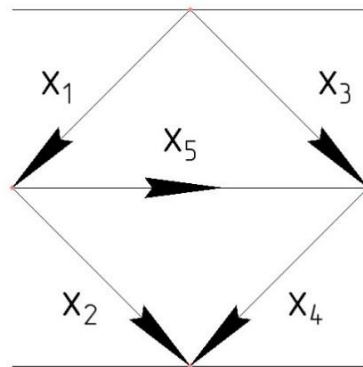


Рис. 4. Діагностична модель автономного інвертора

В залежності від струму розподілення у схемі усі режими роботи можна розділити на:

- робочий стан
- стан короткого замикання, коли струм протікає одночасно в обох плечах моста
- стан обриву вентиля.

Кожен стан можна описати логічними рівняннями:

$$F_p = x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 x_4 x_5 \vee \bar{x}_1 x_2 x_3 \bar{x}_4 x_5 \vee \bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \bar{x}_4 \bar{x}_5;$$

однократна відмова

$$F_{кз1} = \bar{x}_1 x_2 x_3 x_4 x_5 \vee x_1 \bar{x}_2 x_3 x_4 x_5 \vee x_1 x_2 \bar{x}_3 x_4 x_5 \vee x_1 x_2 x_3 \bar{x}_4 x_5; \quad (3)$$

двократна відмова

$$F_{кз1} = x_1 x_2 x_3 x_4 x_5;$$



$$F_0 = x_1 \bar{x}_2 x_3 \bar{x}_4 x_5 \vee \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3 x_4 x_5,$$

де $F_p, F_{кз}, F_0$ – функції, що описують відповідно робочий режим, режим короткого замикання та режим обриву. Нанесемо функції режимів на карту Карно, кожна заповнена клітинка відповідає несправності, кратність якої позначена індексом, знаком «X» позначені фізичні стани, які не можна реалізувати.

Після мінімізації виразів отримаємо:

$$F_A = x_2 x_4 \vee x_1 x_3. \quad (4)$$

Змінна x_5 не приймає участь в формуванні функції F_A , що відповідає аварійному режиму. Отримана функція F_A є тестом, що контролює несправності $F_{кз1}, F_{кз2}, F_0$ сумісно, тобто цей тест є діагностичним для будь-яких поєднань несправностей.

Звідси, для діагностування необхідно контролювати струми в плечах моста AI.

Висновок. В статті ставилося за мету провести функціональне діагностування СК, яке дозволило б за допомогою вбудованих засобів якнайшвидше визначати елемент, що відмовив (вентиль) та здійснювати таке керування перетворювачем, що зменшить збитки від відмови, за наявності резервування з дробовою кратністю завчасно виявляти вузли, що відмовили та замінювати їх з мінімальними витратами часу на відновлення.

Завдяки ДМ вдалось вивести функцію F_A , яка контролює несправності $F_{кз1}, F_{кз2}, F_0$. Вдалося отримати дані, згідно з якими, для вирішень питань, необхідно встановити датчики, що вимірюють струми у кожній фазі В, струм в колі живлення та струми, що протікають через силові вентиля AI.

Отримані результати дозволяють визначити місце знаходження датчиків у схемі перетворювача, що контролюють стан перетворювача.

Список використаних джерел

1. *Калкаманов С. А., Коваленко А. В., Шавкун В. М.* Технічна діагностика електромеханічних систем: конспект лекцій з дисципліни. Харків: ХНУМГ, 2014. 152 с.

2. *Карамзина А. Г.* Исследование и моделирование работы электротехнологических установок с вентиляльными преобразователями. Материалы докл. IX всерос. межвуз. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. Москва: МИЭТ, 2002. С. 228.



3. *Льченко Б. С.* Діагностування функціонально-технічного стану газоперекачувальних агрегатів. Харків: ХНАМГ, 2011. 228 с.
4. *Кутін В. М., Люхін М. О., Кутіна М. В.* Діагностика електрообладнання: навч. посібник. Вінниця: ВНТУ, 2013. 161 с.
5. *Маркин В. В., Миронов В. Н., Обухов С. Г.* Техническая диагностика вентильных преобразователей. Москва: Энергоатомиздат, 1985. 152 с.
6. *Дубовицкий Г. П.* Трехфазные выпрямители: учебн. пособие. Челябинск, 1999. 25 с.
7. Тиристорные преобразователи частоты / *А. К. Белкин* и др. Москва: Энергоатомиздат, 2000. 263 с.

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ АВАРИЙНЫХ СОСТОЯНИЙ СИЛОВЫХ БЛОКОВ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Кулагин Д. А., Чернецкий Б. С.

Аннотация - в данной работе получена блочная модель силовых блоков электротехнических систем, которая оперирует с совокупностью моделей подсистем отдельных блоков, узлов и элементов электротехнических систем. Объект диагностирования разбит на функциональные блоки, с точностью до которых производится поиск дефектов. В качестве основных диагностических элементов силовых цепей рассмотрены выпрямитель и инвертор.

Благодаря анализу диагностической модели выпрямителя, прежде всего, было оценено какой объем диагностической информации нужен для полноценной работы модели. В качестве контролируемого параметра был избран ток тиристора, поскольку диагностическая модель основана на применении датчиков тока, протекающего через силовые вентили. Установлено, что для полного диагностирования достаточно контролировать ток в фазах и ток в цепи питания.

В зависимости от тока распределения в схеме все режимы работы разделены на: рабочее состояние, состояние короткого замыкания, когда ток протекает одновременно в обоих плечах моста, состояние обрыва вентиля. Каждое состояние описано соответствующим уравнением. Также установлено, что для диагностирования необходимо контролировать токи в плечах моста инвертора.

Полученные результаты позволяют определить место нахождения датчиков в схеме преобразователя, контролирующее состояние преобразователя.

Согласно полученным данным необходимо установить датчики, измеряющие токи в каждой фазе выпрямителя, ток в цепи питания и токи, протекающие через силовые вентили инвертора.

Разработанные диагностические модели состояний силовых блоков и общая диагностическая модель состояний позволили определить минимальную совокупность диагностических признаков и точки снятия диагностической информации.

Ключевые слова: объект диагностирования, выпрямитель, преобразователь, мостовая схема.



DIAGNOSTIC MODELS OF ACCIDENT STATES OF POWER BLOCKS OF ELECTROTECHNICAL SYSTEMS

D. Kulagin, B. Chernetskiy

Summary

In this paper a block model of power blocks of electrical engineering systems is obtained, which operates with a set of models of subsystems of separate units, nodes and elements of electrical engineering systems. The object of diagnosis is divided into functional blocks, with the accuracy of which the search for defects is carried out. The rectifier and inverter are considered as the main diagnostic elements of the power circuits.

Thanks to the analysis of the diagnostic model of the rectifier, first of all, it was estimated what volume of diagnostic information is needed for the full operation of the model. As a controlled parameter, the current of the thyristor was selected, since the diagnostic model is based on the use of current sensors that flow through the power valves. It is established that for complete diagnostics it is enough to control current in phases and current in the power circle.

Depending on the distribution current in the circuit, all modes of operation are divided into: operating state, short-circuit condition, when the current flows simultaneously on both shoulders of the bridge, the condition of the break of the valve. Each state is described by the corresponding equation. It is also established that for the diagnosis it is necessary to control the currents in the shoulders of the inverter bridge.

The obtained results allow to determine the location of sensors in the converter circuit that control the state of the converter.

According to the data obtained, it is necessary to install sensors measuring the currents in each phase of the rectifier, current in the circle of power and currents flowing through the power valves of the inverter.

The developed diagnostic models of the states of power blocks and the general diagnostic model of the states allowed to determine the minimum set of diagnostic signs and the point of removal of diagnostic information.

Keywords: diagnostic object, rectifier, converter, bridge scheme.