

# ВЫЯВЛЕНИЕ СКРЫТЫХ ОТКАЗОВ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА

## IDENTIFICATION OF HIDDEN FAILURES IN SYSTEMS OF AUTOMATION TECHNOLOGICAL PROCESSES OF OIL AND GAS COMPLEX

**D. Fugarov  
V. Nesterchuk  
M. Mikhailukov  
D. Onishko**

*Summary.* Modern methods for identifying hidden failures in automation systems are morally obsolete and require concrete actions to introduce innovative approaches. The oil and gas complex (OGC) has specific features unlike conventional production and requires the greatest possible reliability and perfect methods when testing and analyzing OGC equipment for hidden failure. We with a group of authors focused on the diagnosis of switching devices (SD), as one of the supporting elements of any production and electricity supply in general. Research in this area will increase the level of safety at power supply facilities and allow short-term planning of repair and maintenance operations at production facilities.

*Keywords:* dormant failure, oil and gas complex, Automation of technological processes, reliability.

**Фугаров Дмитрий Дмитриевич**

*К.т.н., доцент, Донской Государственный Технический Университет  
ddf\_1@mail.ru*

**Нестерчук Владимир Витальевич**

*Донской Государственный Технический Университет  
vlad.nester.1995@mail.ru*

**Михайлюков Максим Викторович**

*Донской Государственный Технический Университет  
maks-9428@mail.ru*

**Онышко Дмитрий Анатольевич**

*К.т.н., доцент, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова (Новочеркасск)  
keil23@yandex.com*

*Аннотация.* Современные методы выявления скрытых отказов в системах автоматизации морально устарели и требуют конкретных действий по внедрению инновационных подходов. Нефтегазовый комплекс (НГК) имеет специфические особенности в отличие от обычного производства и требует максимально возможную надежность и совершенные методы при испытании и анализе оборудования НГК на скрытый отказ. Мы с группой авторов сделали упор на диагностику коммутационных аппаратов (КА), как одного из опорных элементов любого производства и электроснабжения в целом. Исследования в этой области позволят повысить уровень безопасности на объектах электроснабжения и позволят заниматься краткосрочным планированием ремонтных и планово-ремонтных мероприятий на производственных объектах.

*Ключевые слова:* скрытые отказы, нефтегазовый комплекс, автоматизация технологических процессов, безопасность.

## Введение

О тличительными особенностями систем автоматизации технологических процессов нефтегазового комплекса являются значительная удаленность объектов автоматизации и значительные объемы потребляемых мощностей [1]. Это определяет высокую чувствительность данных объектов к перебоям электроснабжения [2]. До 30% нарушений технологических процессов в нефтегазовом комплексе (НГК) связаны со скрытыми отказами коммутационных аппаратов (КА) [3].

КА являются одними из самых ответственных исполнительных элементов в абсолютно любой системе автоматизации технологических процессов, которые, прежде всего, осуществляют отключение электрических цепей, в случае возникновения аварийных ситуаций

либо явлений, которые могут угрожать безопасности обслуживающего персонала или целостности электроустановки. Одной из основных проблем во время эксплуатации КА, в подавляющем большинстве случаев, является то, что данные устройства находятся в состоянии скрытого отказа, который проявляется во время возникновения аварийных режимов работы питающей электросети [4]. Полноценная диагностика подобных отказов сложна и требует оснащения оборудования предприятий мобильными комплексами устройств, позволяющих отслеживать и вовремя выявлять аварийные ситуации. Диагностика заключается в определении время/токовых характеристик КА методом воспроизведения диагностического воздействия, которое представляет собой ток синусоидальной формы, создаваемый в испытательных целях, который является прямым эквивалентом короткому замыканию (КЗ) в цепи испытуемого КА.

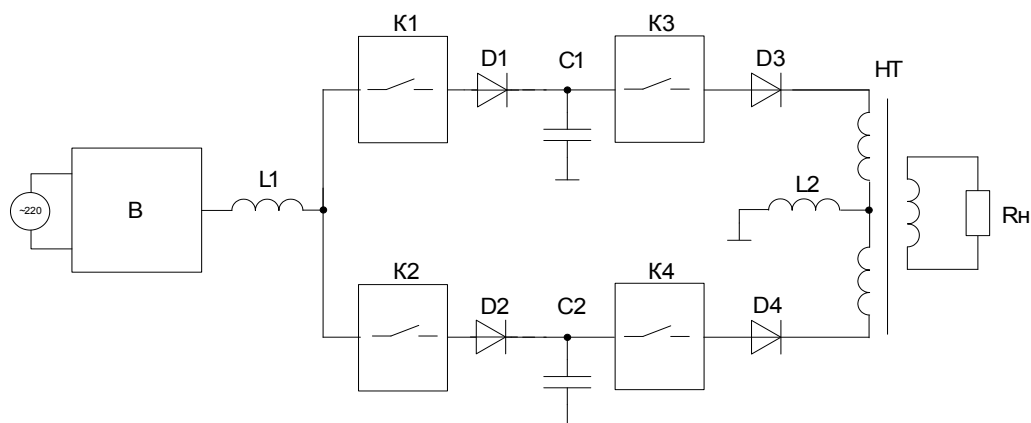


Рис. 1. Функциональная схема устройства.

Подавляющее большинство отечественных устройств, предназначенных для диагностики КА относится к классу ступенчатых регуляторов тока [5]. Кратко описывая принцип действия подобных устройств можно использовать в качестве примера работу автотрансформатора с большим количеством отводов, каждый из которых понижает или повышает входное напряжение на заданную величину. Главной проблемой в использовании ступенчатых регуляторов является необходимость в поиске компромисса между точностью диагностических воздействий, рабочими диапазонами входного напряжения и ценой прибора. Чтобы повысить точность устройства необходимо либо сужать рабочий диапазон входных напряжений, либо усложнять схему управления и увеличивать количество отводов. Что соответственно повлечет за собой рост цены устройства.

Также распространение получили устройства диагностики на базе тиристорных преобразователей переменного тока с естественной коммутацией, которые позволяют коммутировать однофазную переменную сеть, а также регулировать величину тока и напряжения на нагрузке. Одним из преимуществ подобных преобразователей является простота, т.к. в основе их работы заложен принцип фазоимпульсного регулирования. Весомым недостатком подобных регуляторов является то, что в процессе регулирования к нагрузке, прикладывается не синусоидальный параметр напряжения, вследствие чего ток движется прерывисто, а их гармонический состав весьма существенно зависит от величины угла отпирания тиристоров.

На сегодняшний момент предпринимаются попытки создания устройств диагностики на базе высокочастотных (ВЧ) стабилизаторов с применением новейших силовых транзисторов [5]. Но, вплоть до последнего времени, эти устройства диагностики не получили широкого распространения, так как одним из главных недостатков

таких устройств является их высокая цена, они на порядок дороже, обычных низкочастотных устройств диагностики [6].

Авторы поставили перед собой задачу создания и математического описания прибора для диагностики КА систем автоматизации технологических процессов нефтегазового комплекса во многом лишенного вышеперечисленных недостатков.

#### Метод создания и регулирования диагностических воздействий.

Для того чтобы решить поставленную задачу был предложен универсальный метод создания и регулирования диагностического воздействия на КА [6]. Основной идеей метода является воспроизведение испытательных токов больших величин при помощи зарядных ячеек, представляющих собой конденсаторы больших емкостей. Данные ячейки предварительно заряжаются, после чего затем разряжаются на нагрузку через специальную колебательную систему, которая может быть настроена на разные частоты. Функциональная схема устройства, построенного на базе предлагаемого метода, представлена на рис. 1.

Силовой выпрямитель (В) служит для выпрямления синусоидального напряжения источника. В определенный момент времени, который соответствует заданному углу напряжения в сети, устройство управления воспроизводит импульс, предназначенный для отпирания силового ключа  $K1$  [7]. После этого через ключ  $K1$ , диод  $D1$  и индуктивность  $L1$  протекает ток, заряжающий ячейку  $C1$  до амплитудного напряжения сети. После окончания полупериода ключ  $K1$  запирается, а ключ  $K3$  отпирается, и ячейка  $C1$  разряжается на нагрузочный трансформатор (НТ) и вспомогательную индуктивность  $L2$ . После первого полупериода с заданным углом управляющий импульс открывает ключ  $K2$ , при этом через него, диод

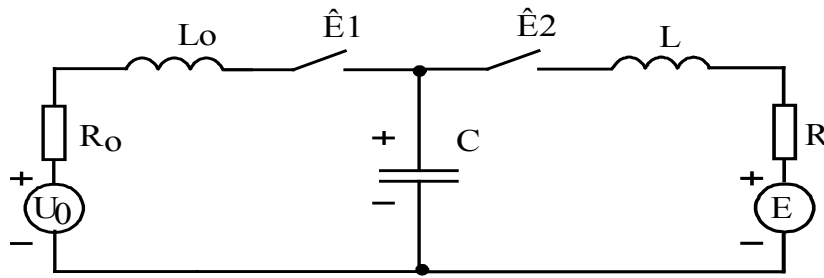


Рис. 2. Схема замещения одного такта работы устройства: R — суммарное сопротивление контура разряда, R0 — суммарное сопротивление контура заряда, U0 — сетевое напряжение, E — противо-ЭДС, L — суммарная индуктивность контура разряда, L0 — суммарная индуктивность контура заряда

D2 и индуктивность L1 течет ток, который заряжает ячейку C2 до напряжения сети.

По окончании следующего полупериода при помощи управляющего импульса открывается ключ K4, и ячейка C2 также разряжается на HT и L2.

Затем весь процесс повторяется — ячейки C1 и C2 по очереди заряжаются и разряжаются, тем самым создавая на вторичной обмотке HT синусоидальный ток, т.к. его обмотки включены встречно [8].

Нами было проведено исследование электромагнитных процессов данного устройства [9]. На рис. 2 представлена исследуемая схема замещения одного такта работы устройства.

Процесс включения/выключения ключей K1 и K2 сопровождается формированием больших токовых импульсов, что может вывести ключи из строя. Для сглаживания данных токовых импульсов в схеме предусмотрена индуктивность L0, которая определяется выражением:

$$L_0 = \frac{U_m}{di / dt},$$

где  $U_m$  — максимально возможное напряжение дросселя;

$di/dt$  — скорость нарастания тока на ключе K1.

В процессе заряда ячеек должно быть обеспечено апериодическое нарастание тока. Для достижения данного условия был проведен анализ, который показал, что для схемы, состоящей из R, L и C, соединённых последовательно, справедливо:

$$R > 2\sqrt{L_0 / C}$$

Критическая индуктивность L0 дросселя определяется из условия:

$$L_0 < \frac{R_0^2 \cdot C}{4}$$

Эта индуктивность называется критической, потому, что при её значении ещё нарастание тока носит апериодический характер. Обычно для ограничения амплитуд зарядных токов рекомендуют выбирать индуктивность на 20% меньше расчетной.

Контур разряда, представленный на рис. 2 будет состоять из K2, L, R, E и C и описываться дифференциальным уравнением:

$$\frac{1}{C} \int_0^t i(t) dt + L \frac{di(t)}{dt} + i(t)R = -E$$

В данной работе рассматривается случай для частоты работы устройства, равной 50 Гц. С учётом того, что электромагнитные процессы в схеме имеют колебательный характер, можем определить мгновенное напряжение на конденсаторе (формула 1), где

$$z = \sqrt{\frac{4L - CR^2}{4L^2C}} \cdot t$$

Обязательным условием работоспособности представленной схемы является чёткое тактирование работы силовых ключей при помощи системы управления [10]. С учетом выполнения данного условия можем определить мгновенное значение тока в схеме (формула 2).

Моделирование предлагаемой схемы осуществлялось средствами пакета прикладных программ Micro-Cap. На рис. 3 представлена схема модели, которая

$$U_C(z) = U_C(0) - E - e^{-\frac{z}{\sqrt{\frac{4L}{CR^2}-1}}} \cdot \frac{1}{R\sqrt{C}} \cdot \sqrt{\frac{E^2\left(\frac{4L}{CR^2}-1\right)}{\frac{L}{CR^2}} + (-ERC - 2Li(0))^2} \times$$

$$\times \sin\left(z + \arctg\left(\frac{\frac{L\left(-\frac{ER}{L} - \frac{2i(0)}{C}\right)}{-E\sqrt{\frac{4L}{CR^2}-1}}}{\sqrt{\frac{4L}{CR^2}-1}}\right) + \arctg\left(\sqrt{\frac{4L}{CR^2}-1}\right)\right),$$

Формула 1

$$i_k(z) = \frac{1}{R\sqrt{\frac{4L}{CR^2}-1}} \sqrt{\frac{E^2\left(\frac{4L}{CR^2}-1\right)}{\frac{L}{CR^2}} + (-ERC - 2Li(0))^2} \cdot e^{-\frac{z}{\sqrt{\frac{4L}{CR^2}-1}}} \sin(z)$$

Формула 2

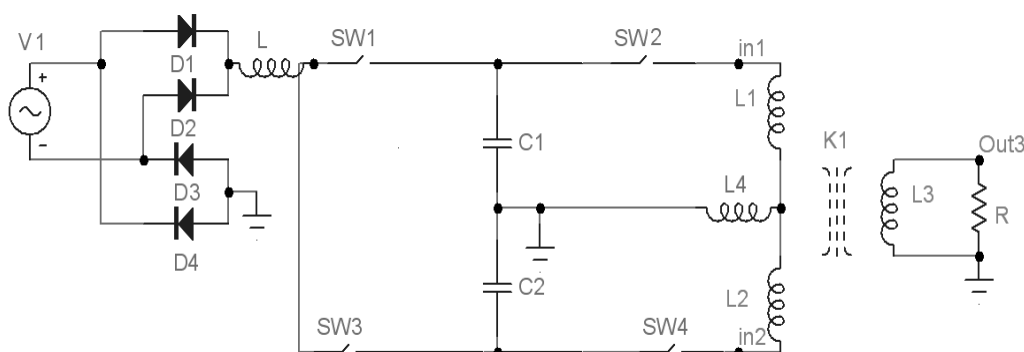


Рис. 3. Модель в Micro-Cap: V1 — переменное напряжение питания; SW1–SW4 — силовые ключи; D1–D4 — выпрямитель; C1, C2 — накопительные ячейки; L — индуктивность контура заряда; K1, L1–L3 — НТ, состоящий из обмоток и сердечника; L4 — индуктивность контура разряда; R — активная нагрузка, представляющая собой замкнутый КА

является эквивалентной функциональной схеме, представленной на рис. 1.

В процессе моделирования был сделан ряд допущений, среди них можно выделить использование идеальных ключей K1–K4 и то, что все активные потери в цепях заряда и разряда были приравнены к нулю.

В качестве начальных условий нами были приняты: реальные значения мощности устройства, сопротивление КА в замкнутом состоянии и параметры устройства, полученные на основе предварительных расчетов. Действующее значение напряжения сети — 220 В; коэффициент преобразования НТ — 0,005; ёмкость накопительных ячеек C1 и C2—4700 мкФ; активная нагрузка

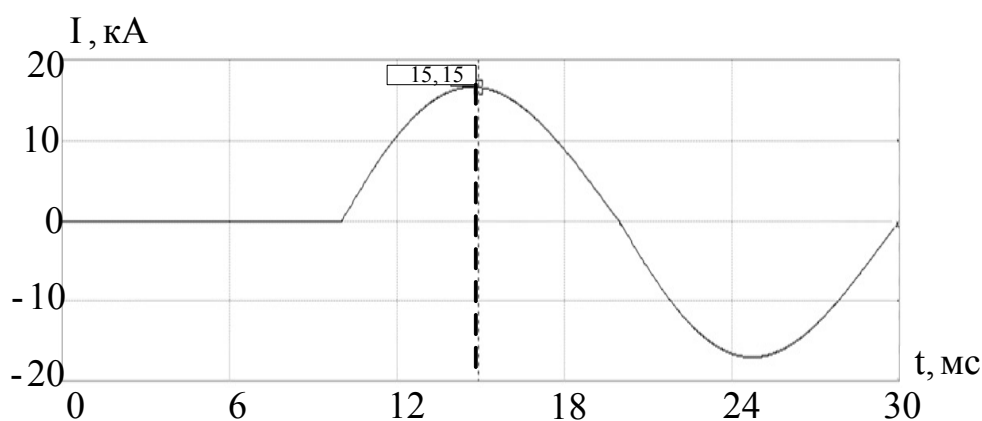


Рис. 4. Форма испытательного тока

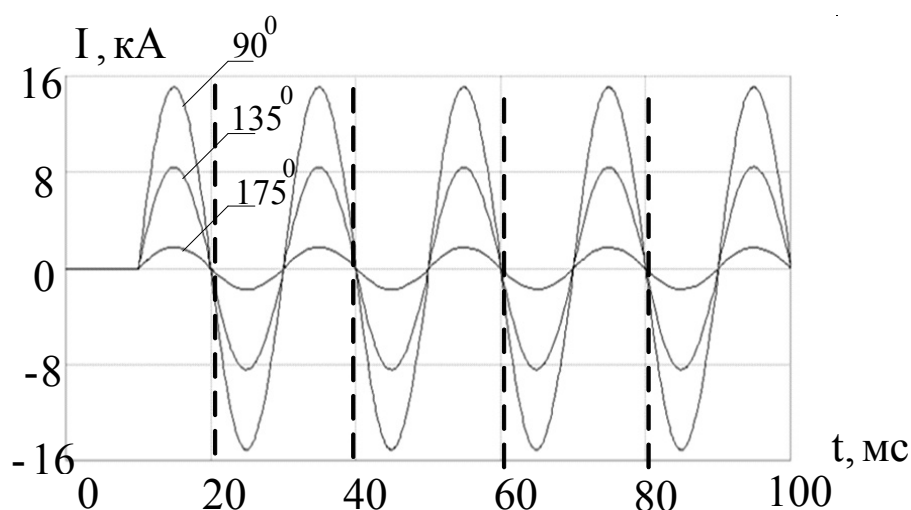


Рис. 5. Формы испытательных токов при различных углах открытия силовых ключей

(сопротивление КА в замкнутом состоянии) —  $R = 100$  мкОм; индуктивность  $L_4 = 2,1$  мГн; активная мощность нагрузки 22 кВт.

На рис. 4 изображена полученная в результате моделирования форма испытательного тока.

На рис. 5 показаны формы испытательных токов на нагрузке, для случаев различного значения угла открытия силовых ключей SW1 и SW3.

### Заключение

Главным достоинством, предлагаемого в данной работе метода создания и регулирования диагностических воздействий в процессе выявления скрытых отказов в системах автоматизации технологических процессов нефтегазового комплекса, является возможность его ис-

пользования при любых углах открытия силовых ключей. Поэтому устройство, построенное на базе предлагаемого метода способно с очень высокой точностью варьировать управляющее воздействие, а именно испытательный ток, как следствие, несмотря на используемый в устройстве принцип фазоимпульсного регулирования, испытательный ток имеет устойчивую синусоидальную форму. Другим важным преимуществом данного устройства, является отсутствие движущихся механических деталей, и как следствие, практически максимальная износоустойчивость при длительной эксплуатации. Также, хотелось бы отметить отсутствие дополнительных потерь на узлах коммутации, соизмеримые с потерями на основных ключевых элементах при работе на повышенных частотах. Особенности, которые были отмечены нами, определяют высокую надежность устройства при варьировании нагрузки в широких пределах, даже при работе в системах подверженных частым КЗ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беспалов Е. С. Автоматизированная система мониторинга рабочих параметров газорегуляторного пункта / Е. С. Беспалов, М. С. Болтов, Д. Д. Фугаров // Научные Механизмы Решения Проблем Инновационного Развития: сборник статей международной научно — практической конференции: в 4 частях. Уфа: АЭТЕРНА, 1 апреля 2017 г. С. 6–8.
2. Кривошей В. П. Программное обеспечение автоматизированной системы мониторинга рабочих параметров газорегуляторного пункта / В. П. Кривошей, М. С. Болтов, Д. Д. Фугаров // Инновационно-Технологическое Развитие Науки: сборник статей международной научно-практической конференции: в 3 частях. 2017. С. 154–157.
3. Фугаров Д. Д. Проблемы развития нефтегазовой отрасли России // Д. Д. Фугаров, В. В. Нестерчук, Л. А. Куртиди / Проблемы И Перспективы Развития Науки В России И Мире: сборник статей международной научно — практической конференции (15 февраля 2017 г., г. Екатеринбург). В 4 ч. Ч. 3 / — Екатеринбург: АЭТЕРНА, 2017. — 117–119 с.
4. Гриценко И. Н. Контроль нормальных режимов работы систем оперативного постоянного тока / И. Н. Гриценко, Д. Д. Фугаров, О. А. Пурчина // Научные Механизмы Решения Проблем Инновационного Развития: сборник статей Международной научно — практической конференции (1 апреля 2017 г., г. Уфа). В 4 ч. Ч. 2/ — Уфа: АЭТЕРНА, 2017. С. 76–78.
5. Онышко Д. А. Выравнивающее устройство для бесперебойных источников питания / Д. А. Онышко, С. О. Кубраков, Д. Д. Фугаров // Наука сегодня: фундаментальные и прикладные исследования. Материалы международной научно-практической конференции. В 2-х частях. 2017. С. 56–57.
6. Фугаров Д. Д. Устройство для бесконтактного регулирования амплитуды переменного тока в устройствах диагностики коммутационных элементов систем управления электроустановками / Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2009. № 5. С. 55.
7. Фугаров Д. Д. Аналитическое исследование магнитоэлектрического датчика тока для устройства диагностики коммутационных аппаратов электроустановок / Фугаров Д. Д., Герасименко Ю. Я., Проус В. Р. // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2014. № 1. С. 15.
8. Цыгулев Н. И. Физическое моделирование испытательных токов для диагностики скрытых отказов автоматических выключателей и релейной защиты / Н. И. Цыгулев, В.Р Проус., Д. Д. Фугаров // Изв. вузов. Электромеханика.-2013.-№ 1.-с.104–107.
9. Фугаров Д. Д. Аппроксимация кривой намагничивания порошковых материалов магнитопроводов датчиков тока в устройстве диагностики коммутационных элементов электроустановок / Фугаров Д. Д., Герасименко Ю. Я., Голованов А. А., Фугарова Ю. В. // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2013. № 2. С. 52.
10. Бабаев М. В. Идентификационное построение базовых блоков имитационного моделирования / М. В. Бабаев, И. Н. Мясоедов, Д. Д. Фугаров // Развитие Науки И Техники: Механизм Выбора И Реализации Приоритетов: сборник статей Международной научно-практической конференции: в 3 частях. 2017. С. 142–144.

© Фугаров Дмитрий Дмитриевич (ddf\_1@mail.ru), Нестерчук Владимир Витальевич (vlad.nester.1995@mail.ru), Михайлюков Максим Викторович (maks-9428@mail.ru), Онышко Дмитрий Анатольевич (keil23@yandex.com).  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Донской Государственный Технический Университет