

АВТОМАТИЗАЦИЯ АНАЛИЗА АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Заболотный И.П.

Донецкий национальный технический университет

ivp@elf.dgtu.donetsk.ua

In paper the results of development of a method of automation of the analysis of crashes, development of a knowledge base for standard kits of a relay guard and of an automation, and also methods of adaptation of a knowledge base and in the whole entity set model for concrete local plants enunciated.

Введение. Анализ аварийных ситуаций в течение нескольких минут после аварии является необходимым условием для решения задач противоаварийного оперативного управления, для эффективной организации ремонтно-восстановительных работ. Поэтому разработка систем, осуществляющих поддержку в принятии решений инженерам службы релейной защиты и оперативно-диспетчерской службы в период ликвидации аварий, является актуальной задачей.

В [1] выполнен анализ существующих подходов решения поставленной задачи, изложенных в ряде работ отечественных и зарубежных ученых и предложен новый подход в автоматизации анализа аварийных ситуаций на основе экспертной системы (ЭС). ЭС предназначена для работы в составе автоматизированной системы оперативного управления локальными объектами электроэнергетической системы [2], что обеспечивает ее функционирование на единой информационной модели объекта управления и интеграцию с другими технологическими задачами. Выполненный в [1] уровень разработки экспертной системы обеспечивал ее реализацию и с цифровым регистратором при условии решения только задачи автоматизации анализа фактической ситуации, т.е. без моделирования работы устройств РЗ и ПА и дальнейшего сопоставительного анализа.

Эффективность функционирования системы анализа снижается из-за трудоемкого этапа настройки системы сбора, необходимости уточнения зон действия релейной защиты и автоматики, действия команд при изменении режима работы и (или) конфигурации электрической сети, изменения состава и объема регистрируемых сигналов. Взаимодействие инвариантных моделей и конкретных данных определяется логической структурой, основное назначение которой создавать и поддерживать адекватность модели и объекта. Часто из-за недостатка информации логическая структура теряет достоверность. Например, если защита переводится с одних трансформаторов тока на другие, то должна меняться и логическая структура. В любом случае результаты автоматизированного анализа обязательно должны содержать данные о модели, с которой работала система.

Повышение эффективности работы ЭС связано с автоматизацией создания и адаптации информационно-логической модели (базы данных и базы знаний) к актуальному состоянию электрической сети и устройств релейной защиты и автоматики. Учитывая, что описание подключаемых информационных сигналов к каналам регистратора, настройка его программного обеспечения выполняется на основе ПЭВМ, то методы автоматизации модели релейной защиты и автоматики должны являться частью аппарата адаптации информационной модели автоматизированной системы управления локальными объектами ЭЭС.

Цель работы. Реализация задач углубленного анализа с помощью цифровых регистраторов путем решения следующих проблем: разработки упрощенной модели представления базы данных и базы знаний, соответствующих возможностям регистраторов; создания методов автоматизированного построения упрощенной модели на основе полных информационных моделей, реализованных автоматизированной системе управления [2]; автоматизации адаптации типовых баз знаний упрощенных моделей объектов наблюдения к подключаемому (фактическому) составу дискретных и аналоговых сигналов. Объем и состав сигналов определяет степень функционального описания устройств релейной защиты, противоаварийной автоматики, устройств управления объекта наблюдения регистратора.

В данной статье изложены уточненные и новые принципы концепции автоматизации анализа аварийных ситуаций, результаты разработки методов адаптации математической модели для анализа работы релейной защиты и автоматики, результаты оценки эффективности использования ЭС для обработки информации цифровых регистраторов аварийной ситуации.

Основные принципы и модели для автоматизации анализа работы и оценки правильности работы РЗ и ПА. При разработке математической модели использовалась техника исчисления предикатов с кванторами. Логическая модель построена на следующих утверждениях:

1. Локальный объект может быть представлен в виде элементов электрической системы: генератор, трансформатор, линия, сборные шины и т.д. с типовым набором средств релейной защиты (РЗ) с учетом резервирования и противоаварийной автоматики (ПА)

$$\forall i: 1 \leq i \leq NRZ_j; RZ_i \in MRZ_j,$$

$$\forall k: 1 \leq k \leq \in MPA_j,$$

где i – номер РЗ, k – номер ПА на элементе j локального объекта электрической системы, RZ_i – i тая РЗ, PA_k – k тая ПА, которые работают при повреждениях на j элементе, MRZ_j – подмножество, включающее РЗ элемента объекта, MRA_j – подмножество, включающее ПА воздействующую на элемент объекта, NRZ_j – количество РЗ на j элементе, NPA_j – количество видов ПА, которые могут воздействовать на j элемент.

2. Регистрируемая информация (дискретная и аналоговая) группируется по элементам, а затем для каждого элемента по видам типовых средств РЗ и ПА, источникам сигналов (РЗ, ПА, ключи управления, системы управления выключателями и т.д.), выполняемым действиям (отключение, включение, запрет, формирование логической части команды) при настройке системы сбора и всяком изменении ее конфигурации, а также при изменении топологии локального объекта ЭЭС.

3. Описание команд РЗ и ПА на основе информации о элементах конкретного объекта, содержащейся в графической (схемы соединений текущего режима работы, схемы РЗ и ПА) и символьной частях базы данных.

4. Обобщение структурно-функционального представления релейной защиты (рис. 1) для создания типовых баз знаний, содержащих описание причинно-следственных зависимостей возможных состояний (гипотез состояний) элемента на основе регистрируемой информации. При этом наличие информации о выполнении одной из N_k команд каждой РЗ элемента локального объекта ЭЭС описываются предикатами на основе кванторов всеобщности и существования

$$\forall i: 1 \leq i \leq NRZ_j; RZ_i \in MRZ_j \wedge \exists m: 1 \leq m \leq N_k : S_{PRZ_i} = 1.$$

5. Моделирование работы РЗ и ПА при использовании правил третьего вида из системы предложений Хорна, соответствующих знанию форме ЕСЛИ? ТО:

$$F_1 \wedge F_2 \wedge \dots \wedge F_k \Rightarrow G_1.$$

Предикаты содержат термы, определяющие наличие короткого замыкания, зону работы, условия пуска и срабатывания, виды воздействия, объекты на которые воздействуют команды.

РЗ должна действовать при КЗ в защищаемой зоне; зона действия соответствующей РЗ зависит от места установки питающих ее ТТ и ТН. Зоны действия: дифференциальная РЗ – между питающими ее токовыми цепями ТТ; дистанционная РЗ – места установки ТТ и ТН и уставками реле сопротивления.

6. Количество выключателей (один, два), на которые воздействует РЗ элемента зависит от типа распределительного устройства вида элемента: линия, шины, трансформатор.

7. В случае срабатывания одной или нескольких резервных защит делается предположение об отказе быстродействующих защит. При наличии включенного выключателя, на который были поданы отключающие команды, он предполагается отказавшим. Ниже приведены определяющие части формул, выражающих аксиомы теории, для выявления

- отказов в работе РЗ на основе сопоставления информации о пуске (S_{PRZ}) и срабатывании (S_{PRZ}) РЗ

$$S_{PRZ} = 1 \wedge S_{PRZ} = 0 \wedge S_{PPO} = 0 \wedge I_{K3} \neq 0;$$

- отказов выключателей на основе сопоставления о срабатывании, РЗ изменении состояния выключателя (S_{PPO}) и токе короткого замыкания

$$S_{PRZ} = 1 \wedge S_{PPO} = 0 \wedge I_{K3} \neq 0;$$

- ложных срабатываний РЗ на основании информации срабатывания РЗ, изменении состояния выключателя при отсутствии информации от пускового органа РЗ

$$S_{PRZ} = 0 \wedge S_{PRZ} = 1 \wedge S_{PPO} = 1;$$

- самопроизвольном отключении выключателя при отсутствии информации от пускового органа и органа срабатывания РЗ и наличии сигнала о отключении выключателя

$$S_{PRZ} = 0 \wedge S_{PRZ} = 0 \wedge S_{PPO} = 1;$$

8. Определение элемента (элементов) с повреждением выполняется на основе цифровой обработки аналоговых сигналов в течение длительности короткого замыкания с последующим уточнением на основе дискретных сигналов. Устройства РЗ, ПА, как правило, взаимодействуют между собой и воздействуют на выключатели, т.е. изменяют состояние объекта и поэтому они должны моделироваться для всего объекта при каждом шаге дискретизации. Важными правилами при определении повреждения являются: изменение амплитуды тока и напряжения. Снижение напряжения и увеличение фазных токов по сравнению со значениями предшествующего нормального режима предполагает повреждение фазы (фаз); отсутствие $3I_0$ и $3U_0$ свидетельствует о наличии повреждения, которое не относится к замыканиям с землей; значительное изменение токов и напряжений двух фаз при наличии $3I_0$ и $3U_0$ предполагает двухфазное короткое замыкание на землю; значительное изменение амплитуды и напряжения в одной из при наличии $3I_0$ и $3U_0$ предполагает однофазное короткое замыкание на землю; значительное изменение токов и напряжений в трех фазах при отсутствии $3I_0$ и $3U_0$ предполагает трехфазное замыкание;

9. В общем случае при наличии АПВ на ВЛ выделяется 5 интервалов времени: исходный режим, КЗ, работа АПВ, повторное КЗ или послеаварийный режим, отключение КЗ или послеаварийный режим. Моменты времени, разделяющие указанные интервалы могут быть определены путем обработки аналоговых и дискретных сигналов, в некоторых ситуациях достаточно обработать аналоговые сигналы

Обработка токов в фазах при наличии повреждения для формирования моментов времени: $t_{1}^{ТОК}$ – момент времени возникновения КЗ (появился ток КЗ);

$t_{2}^{ТОК}$ – момент времени отключения КЗ (исчез ток КЗ); $\Delta t_{HP}^{ТОК} = t < t_{1}^{ТОК}$;

$\Delta t_{откл\ K31}^{ТОК} = t_{2}^{ТОК} - t_{1}^{ТОК}$ – время отключения КЗ, включает время работы РЗ и время отключения выключателя; $t_{3}^{ТОК}$ – момент включения выключателя АПВ, определяем по факту появления тока КЗ при неуспешном АПВ, либо по факту появления рабочего тока при успешном АПВ и наличии нагрузки, подключенной к ВЛ. При работе линии на ХХ и успешном АПВ по аналоговому сигналу нет возможности определить это время; $\Delta t_{АПВ}^{ТОК} = t_{3}^{ТОК} - t_{2}^{ТОК}$ – время работы АПВ; $t_{4}^{ТОК}$ – момент времени отключения КЗ (исчез ток КЗ) при неуспешном АПВ; $\Delta t_{откл\ K32}^{ТОК} = t_{4} - t_{3}$ – время отключения КЗ после неуспешного АПВ, включает время работы РЗ и время отключения выключателя.

Обработка дискретных сигналов о положении выключателя по изменению положения контакта реле РПВ или РПО:

t_{1}^B – момент времени отключения выключателя КЗ по факту размыкания нормально замкнутого контакта РПВ (исчезновение сигнала) или по факту замыкания нормально разомкнутого контакта РПО (появление сигнала) $t_{1}^B \approx t_{2}^{ТОК}$, $t_{1}^B = t_{2}^{ТОК} + \Delta t_{РПВ}$ или $t_{1}^B = t_{2}^{ТОК} + \Delta t_{РПО}$;

t_{2}^B – момент времени включения выключателя АПВ по факту замыкания нормально замкнутого контакта РПВ либо по факту размыкания нормально разомкнутого контакта РПО. Этот момент времени может быть сопоставлен с соответствующим моментом времени появления либо тока нагрузки (линия не на ХХ и АПВ успешно) либо тока КЗ (АПВ не успешно). При этих двух условиях имеем в аналоговом сигнале момент $t_{3}^{ТОК}$. При этом $t_{3}^{ТОК} < t_{2}^B$. Имеет место равенство $t_{2}^B = t_{3}^{ТОК} + \Delta t_{РПВ}$ или $t_{2}^B = t_{3}^{ТОК} + \Delta t_{РПО}$;

t_{3}^B – момент времени отключения выключателя при неуспешном АПВ.

Для обобщенного описания процесса изменения состояния выключателя можно выделить 4 интервала. При отсутствии изменения состояния выключателя на последующем этапе фиксировать для этого этапа состояние на предыдущем.

Возможные комбинации приведены в табл. 1

Таблица 1 – Комбинации состояний (В – включен, О – отключен) выключателя

Состояние выключателя для интервалов времени				Примечание
$0-t_{1}^B$	$t_{1}^B-t_{2}^B$	$t_{2}^B-t_{3}^B$	$t_{3}^B-t_{4}^B$	
В	О	В	В	Отключение КЗ с успешным АПВ
В	О	О	О	Выключатель отключился и не включался
В	О	В	О	Отключение КЗ с последующим неуспешным АПВ
В	В	В	В	Выключатель не отключался

Обработка сигнала «Работа АПВ»: $t_{1}^{АПВ}$ – время появления дискретного сигнала, фиксирующего срабатывание АПВ, которое следует сопоставлять со временем включения выключателя t_{2}^B . При этом имеет место равенство $t_{2}^B = t_{1}^{АПВ} + \Delta t_{РПВ}$ или $t_{2}^B = t_{1}^{АПВ} + \Delta t_{РПО}$.

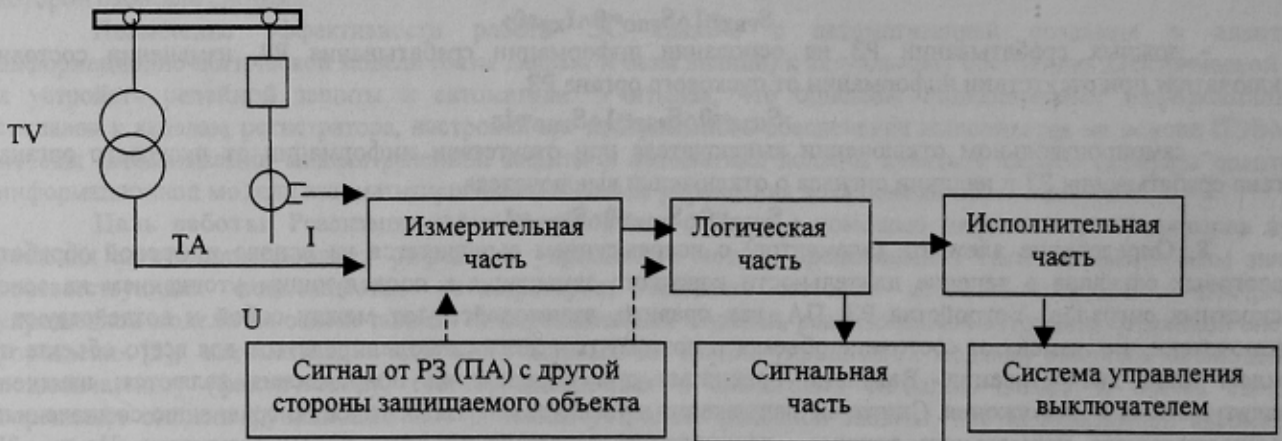


Рисунок 1 – Обобщенная схема РЗ

10. Оценка состояния привода выключателя по времени включения или отключения и по времени не одновременности отключения фаз. При этом выполняется обработка сигналов с командами РЗ на срабатывание:

10.1. Измерение времени от момента подачи команды РЗ на отключение до момента исчезновения:
- тока, если отключается КЗ или снимается нагрузка (последней из трех фаз, фазы при ОАПВ, 3 фаз без ОАПВ);

- напряжения, если отключается линия на ХХ с ТН на ВЛ.

10.2. Измерение времени включения с момента подачи команды до момента:

- появления рабочего тока в линии, если линия не в режиме ХХ;

- напряжения, если ВЛ на ХХ с ТН на ВЛ

10.3. Измерение длительности неполнофазного режима выключателя от реле ЗНФ (защита от непоключения фаз)

При превышении нормированных значений должно быть сообщение «выключатель неисправен».

11. Значительное изменение фазы тока присоединения в процессе аварии предполагает изменение пути протекания тока из-за отключения какого то выключателя.

12. Адаптации типовых баз знаний с гипотезами ситуаций к имеющемуся на конкретном элементе составу средств РЗ и ПА и фактическому составу сигналов системы измерений (регистраторы аварийных ситуаций, телемеханика). Правила базы знаний условно представлены в виде трех групп, отражающих состояние выключателя, работу средств автоматики, работу релейной защиты. В логической матрице (маске) связывающей признаки наличия каналов с информацией от выделенных групп устанавливается состояние правила типовой базы знаний, а с помощью матрицы выполняется адаптация базы знаний.

Разработано алгоритмически - программное обеспечение двух вариантов автоматизации анализа аварийных ситуаций: непосредственно цифровым регистратором, ПЭВМ локальной сети автоматизированной системы управления объекта электрической системы.

В первом случае решение задачи выполняется в следующей последовательности:

1. Подготовительный этап.

1.1. Формирование с помощью разработанного классификатора информационно-логической модели в виде основной таблицы, содержащей наименование каналов цифрового устройства сбора и признаки о группах локальных объектов и их элементах, типах устройств релейной защиты и автоматики, источниках дискретной и аналоговой информации информационно-логической модели и ряда таблиц, содержащих информацию, описывающую конкретные устройства релейной защита и автоматики, системы управления и т.д. для анализа пуска и срабатывания устройств РЗ и ПА, объектах воздействия.

1.2. Группировка информации по конкретным объектам для наблюдения и конкретным источникам аналоговых и дискретных сигналов (РЗ, ПА, системы управления выключателями и т.д.)

1.3. Настройка опорной базы знаний для каждого объекта наблюдения на состав и объем контролируемой с помощью устройства регистрации информации.

Фактически это система, которая формирует подобные наборы при любом изменении конфигурации и параметров РЗ и ПА локального объекта электрической системы.

2. Анализ фактической информации и формирование отчета.

Во втором случае решения задачи формируются «связные отношения», обеспечивающие интеграцию базы данных и знаний автоматизированной системы управления с системой сбора информации. Иерархическая информационно-логическая модель состоит из следующих уровней:

- состав источников аналоговой и дискретной информации;

- типе распределительных устройств для определения количества выключателей объектов, на которые воздействует РЗ и ПА элемента ЭЭС;

- схемы сети с размещением выключателей, ТН, ТТ, устройств РЗ и автоматики;

- знания о назначении, условиях работы пусковых органов и органов срабатывания, зоне действия основных и резервных РЗ, УРОВ, АПВ, АВР, АЛАР и других устройствах ПА;

- командах РЗ и ПА.

Во втором варианте выполняется анализ фактической работы РЗ и ПА по фактической информации, далее моделируется работа РЗ и ПА для определенного повреждения, а затем выполняется сопоставительный анализ.

На рис. 2 представлена информация цифрового регистратора НПП «Рекон», установленного на одной из подстанций напряжением 110 кВ. Обработка этой информации с помощью разработанного метода анализа аварийной ситуации привела к заключению о наличии на линии однофазного короткого замыкания, отключении короткого замыкания релейной защитой, успешного АПВ линии. Кроме того, отмечено, что время включения и отключения выключателя не превышает нормированных значений.

Выводы.

1. Сформулированы основные положения, с помощью логики предикатов записаны правила, составившие основы теории описания причинно-следственных зависимостей для выполнения автоматизации анализа аварийных ситуаций.

2. Разработаны базы знаний для типовых составов РЗ и ПА для элементов локальных объектов электрической системы.

3. Предложен классификатор, позволяющий на основе информационно-логической модели строить динамическую модель для анализа аварийной ситуации непосредственно с помощью цифрового регистратора.

4. Разработан метод углубленного анализа аварийной ситуации с помощью ПЭВМ локальной вычислительной сети локального объекта электрической системы.

5. Приведен пример, подтверждающий эффективность и целесообразность использования разработанного метода для анализа аварийной ситуации.

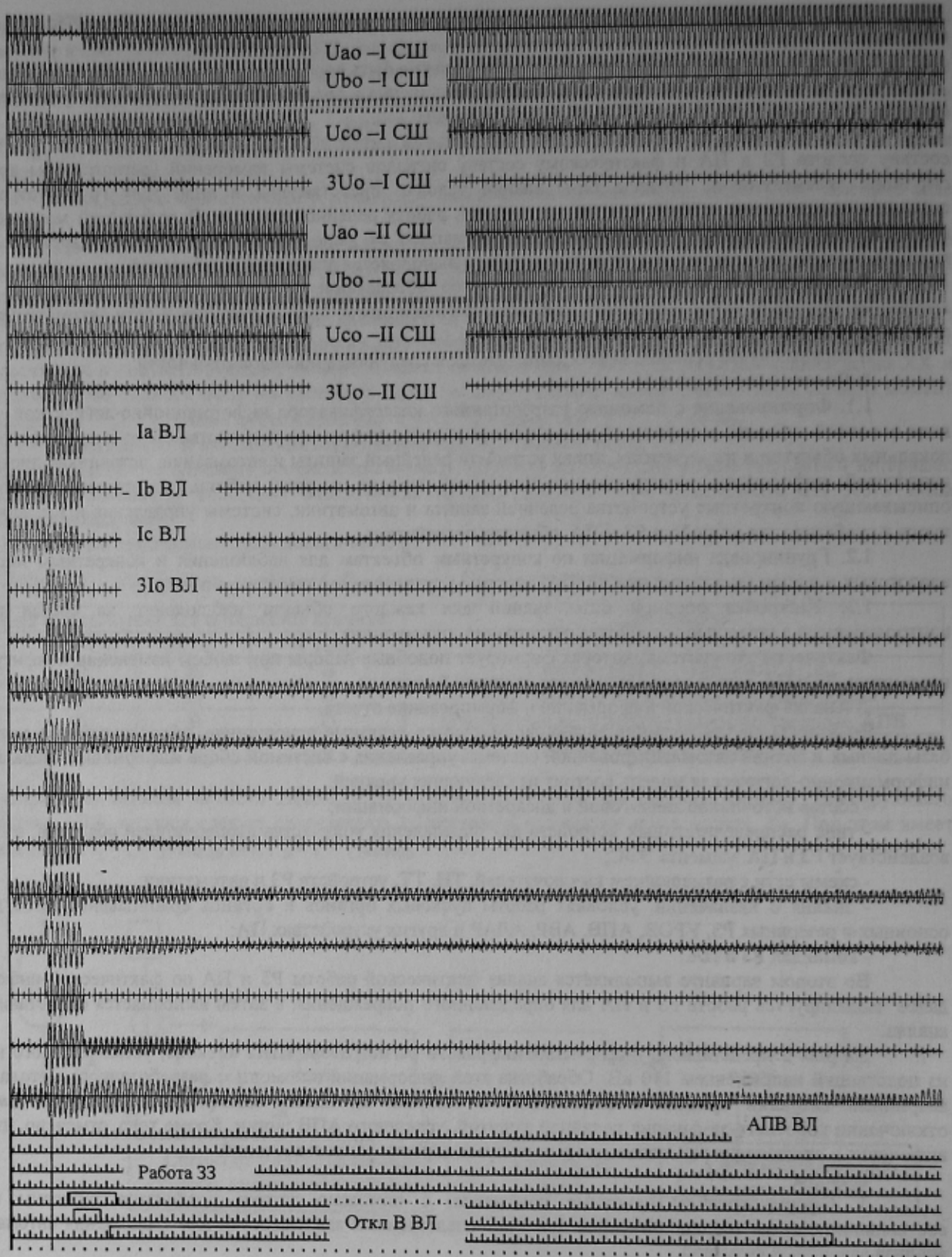


Рисунок 2 – Информация цифрового регистратора

ЛИТЕРАТУРА

1. Заболотный И.П., Сазонов В.В. Экспертная система анализа аварийных ситуаций в электрических системах// Збірник наукових праць Донецького національного технічного університету. Серія: "Електротехніка і енергетика", 50. – Донецьк: ДонНТУ, 2002. – С. 165 – 171.
2. Заболотный И.П., Павлюков В.А. Автоматизированная система оперативного управления локальными объектами электрических систем. Збірник наукових праць Донецького національного технічного університету. Серія: "Електротехніка і енергетика", 21. – Донецьк: ДонДТУ, 2000. – С. 25 – 28.

Надано до редакції:
Рекомендовано до друку:

10.08.2003
д.т.н., проф. Сивокобиленко В.Ф.