

УДК 621.316.925.1

*Мигунова Л.Г.,*

*кандидат наук, доцент*

*Доцент кафедры «Электрические станции»*

*Самарский Государственный Технический Университет*

*Россия, г. Самара*

*Косилов Е.В.,*

*студент*

*2 курс, факультет «Электротехнический»*

*Самарский Государственный Технический Университет*

*Россия, г. Самара*

## **ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ ЦИФРОВОЙ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ**

***Аннотация:** в данной статье дана попытка количественной оценки показателей надежности для конкретной цифровой структуры системы релейной защиты по аналогии с оценкой аналогичных цифровых систем в других отраслях промышленности.*

***Ключевые слова:** релейная защита, надежность релейной защиты, доступность, цифровая защита*

***Annotation:** This article attempts to quantify the reliability indicators for a specific digital structure of a relay protection system by analogy with the evaluation of similar digital systems in other industries.*

***Key words:** relay protection, reliability of relay protection, availability, digital protection*

## 1. Введение

Одной из важнейших характеристик релейной защиты является ее надежность. В этой области было проведено много исследований. Однако в настоящее время разработана и внедрена полная цифровая релейная защита, которая полностью отличается от традиционной защиты. Тем не менее, требования к надежности остаются прежними.

В основном, типичная полная цифровая система защиты объединяет блоки слияния, источники синхронизации, цифровые защитные реле и устройства связи. В такой системе как релейные устройства, так и сигнальные выходы измерительных трансформаторов являются цифровыми. Эти цифровые сигналы передаются цифровое реле через технологическую шину, интегрирующую взаимодействие цифровых блоков. Полная цифровая защита имеет больше компонентов, чем традиционная, что должно оказывать определенное влияние на ее надежность.

Примером подобной защиты является система защиты распределительной сети 110/35/10 кВ с цифровым преобразованием энергосистемы. В данной работе подробно рассмотрены структура и функционирование системы защиты на подстанции. Особенностью, предлагаемой авторами структуры, является резервирование автономной цифровой защиты для сегмента подстанции (трансформатор, секция шинной системы) централизованным цифровым устройством защиты и управления. Таким образом, важной функцией замещающей защиты является резервирование для присоединения, что должно повысить надежность защиты в целом. Другой особенностью является измерение тока цепи отказа резервирования путем определения его значения на отрезке по первому закону Кирхгофа.

Необходимо оценить надежность такой защитной конструкции. Поскольку его аппаратную основу составляют электронно-цифровые элементы, в отличие от традиционной защиты с оценками ненужных, ложных

операций и сбоев в работе, здесь можно оценить готовность системы защиты к эксплуатации, как и при аналогичных электронно-цифровых системах в других отраслях промышленности.

## 2. Модели защиты надежности функционирования

Рассмотрим показатели надежности на примере структурной схемы модуля защиты и управления шинной секции 35 кВ (рис. 1, а) и трансформаторной секции (рис. 1, б). Как было отмечено выше, отказ автономной защиты (IEDA) имеет два последствия для централизованной защиты (IEDC): 1) результаты измерений защиты от сбоев могут быть использованы; 2) результаты измерений защиты от сбоев не могут быть использованы. Во втором случае первый закон Кирхгофа определяет ток защищаемого элемента.

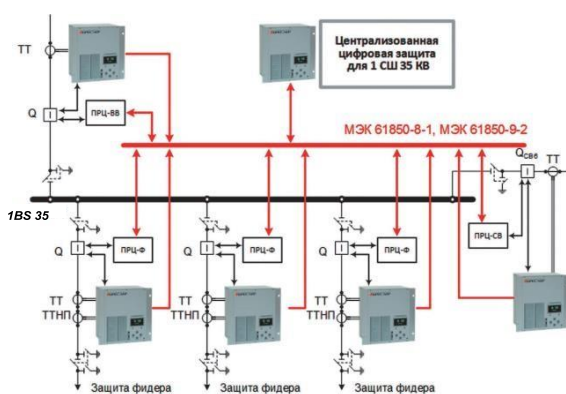


Рис. 1а. Структурная схема модуля защиты и секции управления для шины 35 кВ. ПРЦ-промежуточное цифровое реле, ТТНП-трансформатор тока нулевой последовательности фаз.

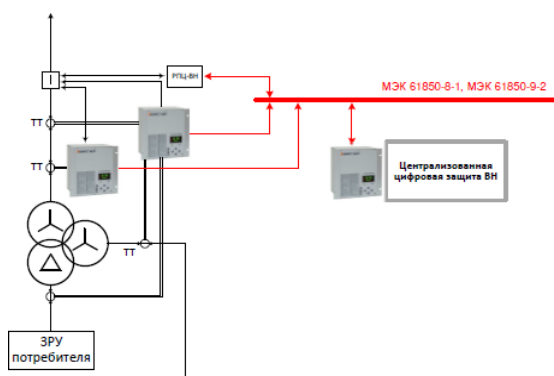
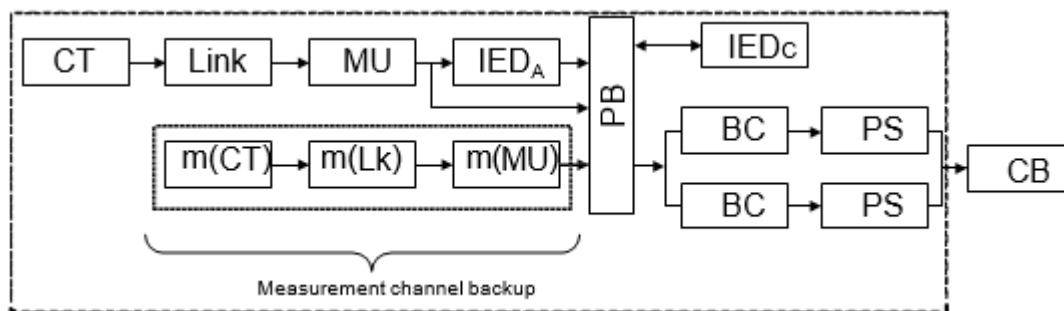


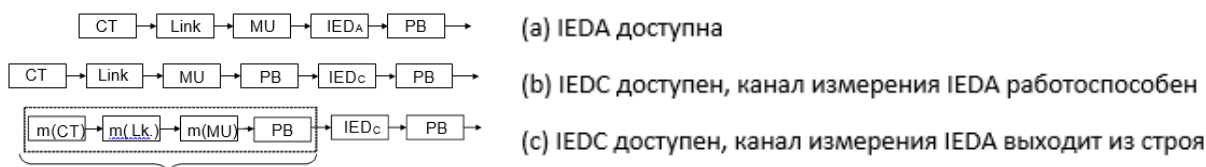
Рис. 1б. Структурная схема модуля защиты и управления секцией трансформатора. ПРЦ-промежуточное цифровое реле, ВН-высокое напряжение



Measurement channel backup - Резервное копирование измерительного канала

Рис. 2. Структурная схема надежности защиты

Надежность такого определения связана со всеми неповрежденными измерительными каналами. Общая схема компонентных коммуникаций для отдельных IEDA с централизованным IEDC, а также измерительных и исполнительных каналов приведена на рис. 2 с точки зрения надежности. Контроллер выключателя (BC) вводится за технологической шиной (PB), и там же вводится блок питания (PS), поскольку он включен последовательно со всей схемой с точки зрения надежности.



Резервное копирование измерительного канала

Рис. 3. Структурная схема надежности для различных состояний компонентов.

Выделим структуры связей между компонентами при функционировании защиты в различных ситуациях. При действующей автономной защите модель ее надежности приведена на рис. 3а. Он состоит из последовательно соединенных компонентов автономной защиты, и коммутатор PB  $\lambda$ -s интегрируется с его  $\lambda$ -s по количеству соединений.

При отказе IEDA, но при его рабочем измерительном канале (случай 1) модель работы IEDC отражена на рис. 3в. Его показатели надежности являются:

$$\begin{aligned} \text{model (b)} \quad \lambda_{mdl B} &= \lambda_{CT} + \lambda_{Lk} + \lambda_{MU} + \lambda_{PB} + \lambda_{IED} + \lambda_{PB}, \\ \mu_{mdl B} &= \lambda_{mdl B} / \left( \frac{\lambda_{CT}}{\mu_{CT}} + \frac{\lambda_{Lk}}{\mu_{Lk}} + \frac{\lambda_{MU}}{\mu_{MU}} + \frac{\lambda_{PB}}{\mu_{PB}} + \frac{\lambda_{IED}}{\mu_{IED}} + \frac{\lambda_{PB}}{\mu_{PB}} \right). \end{aligned} \quad (4)$$

Во втором случае, когда канал измерения у автономной защиты неисправен, модель работы ИЭУ соответствует рис. 3с и его показатели надежности:

$$\begin{aligned} \text{model (c)} \quad \lambda_{mdl c} &= (\lambda_{CT} + \lambda_{Lk} + \lambda_{MU} + \lambda_{PB}) \cdot (m - 1) + \lambda_{IED} + \lambda_{PB}, \\ \mu_{mdl B} &= \lambda_{mdl c} / \left[ \left( \frac{\lambda_{CT}}{\mu_{CT}} + \frac{\lambda_{Lk}}{\mu_{Lk}} + \frac{\lambda_{MU}}{\mu_{MU}} + \frac{\lambda_{PB}}{\mu_{PB}} \right) \cdot (m - 1) + \frac{\lambda_{IED}}{\mu_{IED}} + \frac{\lambda_{PB}}{\mu_{PB}} \right], \end{aligned} \quad (5)$$

где  $m$  - номер блока автономной защиты подстанции для секции.  $m = 5$  для секции шины (рис. 1а) и  $m = 2$  для секции трансформатора (рис. 1б).

Рассмотрим взаимную работу моделей, а и с для определения коэффициента доступности в соответствии с рис. 2 как худший в смысле надежности вариант.

Модель цепи выключателя и блока PS представляет собой резервную последовательную цепь, а показатели ее надежности:

$$\lambda_{br.circ.} = \lambda_{BC} + \lambda_{PS}, \quad \mu_{br.circ.} = \lambda_{br.circ.} / (\lambda_{BC} / \mu_{BC} + \lambda_{PS} / \mu_{PS}). \quad (6)$$

Затем определим уравнения Маркова для моделей надежности комплекса защиты а и с в пространстве состояний S1-S4 (рис. 4). Здесь возможные состояния определяются цифрой в S, т. е. возможны 4 состояния. Вверх по букве указывает на состояние вверх соответствующей модели, а вниз - отключено.

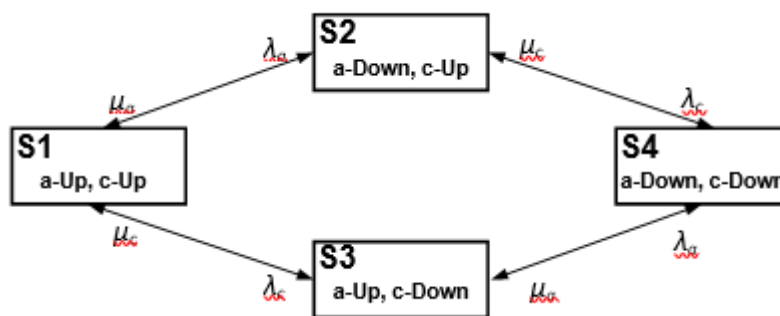


Рис. 4. Диаграмма пространства состояний моделей а и с.

### 3. Выводы

В современной электроэнергетике широко используются цифровые системы защиты. Одним из важных показателей является надежность его функционирования. Оценка его надежности, в отличие от традиционной

релейной защиты, проводится по аналогии с цифровыми устройствами в других отраслях промышленности. В данной работе оценивались показатели надежности исходной структуры резервного копирования для конкретной системы цифровой защиты, при этом ее аппаратное обеспечение оценивалось без учета надежности программного обеспечения. Надежность программного обеспечения, в отличие от технической части, со временем не изнашивается, а только улучшается. В исследовании учтены традиционные измерительные трансформаторы с передачей информации в аналоговом виде по проводам и оптоэлектронные измерительные трансформаторы с преобразованием информации в цифровом виде по оптическому волокну в релейный зал. Оценка не включала надежность автоматического выключателя, как внешнего по отношению к компоненту защиты. Надежность также не учитывается, связанная с коммуникационным трафиком. Показатели надежности компонентов индивидуальной защиты в основном взяты из аналогичных электронных цифровых устройств со встроенной диагностикой, которая используется в других отраслях промышленности, так как недостаточно статистических данных по компонентам цифровой защиты.

Расчеты доступности для рассматриваемой системы защиты показывают, что предложенная схема с оговоренными условиями обеспечивает приемлемый уровень доступности для ее эксплуатации. Следует отметить, что доступность в некоторой степени зависит от количества зарезервированных наборов  $m$  центральной защитой и времени восстановления.

### **Библиографический список:**

1. Булычев А.В. Релейная защита в распределительных сетях 110/35/10 кВ при цифровом преобразовании систем электроснабжения / А.В. Булычев, Д.С. Васильев, В.Н. Козлов, Д.Н. Силанов //Релейная защита и автоматика, № 1, 2019. – С. 70-76. (На русском языке)

2. Справочник по технике надежности. Под ред. И.А. Ушакова. John Wiley & Sons, Нью-Джерси, 1994.– 663 с.

3. Кениг Дж., Нордстрем Л. и Остерлинд М. Анализ надежности функций системы автоматизации подстанций с использованием PRMs // IEEE Transactions on smart grid, том 4, № 1, март 2013 г.– С. 206-213.

4. Лей Х., Сингханд Ч., Спринтсон А. Моделирование и анализ надежности систем защиты подстанций на основе стандарта IEC 61850 // IEEE Transactions on smart grid, том 5, № 5, сентябрь 2014 г.– С. 2194 - 2202.

5. Дутра С., Оливейра Л., Зимат С. Основы анализа надежности технологических шин// Международная конференция по распределению электроэнергии Лион, 15-18 июня 2015 г. Бумага 1431. – 5 с.