

Инновационный электротехнический кластер Чувашской Республики  
Академия электротехнических наук Чувашской Республики  
Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова  
Подкомитет Б5 «Релейная защита и автоматика»  
Российского национального комитета СИГРЭ

# **СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ**

**Материалы  
научно-технической конференции  
молодых специалистов форума  
«РЕЛАВЭКСПО-2021»**

Чебоксары  
2021

УДК621.311-52+621.316.925](063)  
ББК27-051я43  
С23

*Редакционная коллегия:*

**В.И. Антонов**, доктор технических наук, гл. редактор  
**Г.С. Нудельман**, кандидат технических наук, зам. гл. редактора  
**В.Г. Ковалев**, кандидат технических наук  
**А.В. Жуков**, кандидат технических наук  
**А.В. Мокеев**, доктор технических наук  
**В.И. Нагай**, доктор технических наук  
**В.А. Шуин**, доктор технических наук  
**В.А. Наумов**, кандидат технических наук  
**В.С. Петров**, кандидат технических наук

**С23**      **Современные** тенденции развития цифровых систем релейной защиты и автоматики: материалы науч.-техн. конф. молодых специалистов форума «РЕЛАВЭКСПО-2021». – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2021. – 226 с.

ISBN 978-5-7677-3248-7

Представлены доклады научно-технической конференции молодых специалистов, состоявшейся в рамках форума РЕЛАВЭКСПО-2021. В сборнике приведены результаты актуальных научных исследований в области совершенствования алгоритмов релейной защиты и автоматики энергосистем, технологий цифровой обработки сигналов, векторных измерений и методов искусственного интеллекта в релейной защите. Рассматриваются научные и практические вопросы кибербезопасности цифровых устройств релейной защиты, её работа в сетях с распределенной генерацией, моделирование электроэнергетических систем для целей релейной защиты и автоматики, надежности релейной автоматики.

Для преподавателей, аспирантов, магистрантов, студентов старших курсов энергетических специальностей вузов, инженерно-технического персонала предприятий и энергосистем.

ISBN 978-5-7677-3248-7

УДК 621.311-52+621.316.925](063)  
ББК 27-051я43  
© Издательство  
Чувашского университета, 2021

## СИГНАЛЫ ВОЛНОВОГО ДИСКРИМИНАТОРА ПОВРЕЖДЕННЫХ ФАЗ

**Алексеев В.С.**, ООО НПП «ЭКРА», г. Чебоксары, Россия.  
alekseev\_vs@ekra.ru

**Фёдоров Алексей О.**, ООО НПП «ЭКРА», г. Чебоксары,  
Россия. fedorov\_a@ekra.ru

**Петров В.С.**, Чувашский государственный университет им.  
И.Н. Ульянова, ООО НПП «ЭКРА», г. Чебоксары, Россия.  
petrov\_vs@ekra.ru

***Аннотация:** При использовании волновых методов традиционные способы определения поврежденных фаз теряют работоспособность. Нужны методы обработки сигналов, учитывающие волновой характер процесса. В настоящем докладе рассматривается определение вида КЗ на основе использования модальных преобразований сигналов волнового процесса.*

***Ключевые слова:** фазный дискриминатор, короткое замыкание, волновой процесс*

### **Введение**

При использовании волновых методов традиционные способы определения поврежденных фаз теряют работоспособность. В этом случае приобретают значимость методы обработки сигналов, учитывающие волновой характер процесса.

В настоящем докладе рассматривается определение вида КЗ на основе использования модальных преобразований сигналов волнового процесса.

### **Составляющие волновых каналов**

При междуфазных и земляных КЗ волновые процессы развиваются по-разному. Известно, что причиной этому является разная скорость распространения электромагнитных волн в так называемых воздушных и земляных каналах. Это свойство волн приводит к усложнению измерения их в фазных величинах [1]. Для разделения волн воздушного канала от земляного обычно используют модальные преобразования фазных величин, рассматривая распространение волн по отдельным волновым каналам. Составляющие волновых каналов, получаемые при

модальных преобразованиях распространяются с одинаковой скоростью и затуханием [1]. Для выделения составляющих воздушных и земляного каналов используются различные преобразования, например, Кларк [1]:

$$\begin{bmatrix} x_\alpha \\ x_\beta \\ x_0 \end{bmatrix} = \mathbf{T}_C \begin{bmatrix} x_A \\ x_B \\ x_C \end{bmatrix},$$

где  $x_\alpha, x_\beta, x_0$  – так называемые  $\alpha, \beta$  и 0 составляющие;

$x_A, x_B, x_C$  – фазные величины;

$$\mathbf{T}_C = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ 0 & \sqrt{3} & -\sqrt{3} \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \text{ – матрица Кларк.}$$

### **Определение вида повреждения**

Вид КЗ определяется по соотношению фронтов волн  $i_w$  в волновых каналах (таблицы 1 – 3).

Таблица 1

Составляющие волновых каналов тока при однофазных КЗ

		Вид КЗ		
		$\gamma G$	$(\gamma+1)G$	$(\gamma+2)G$
Волновые каналы	$i_\alpha^{(\gamma)}$	$2i_{w,\gamma}$	$-i_{w,(\gamma+1)}$	$-i_{w,(\gamma+2)}$
	$i_\beta^{(\gamma)}$	0	$\sqrt{3}i_{w,(\gamma+1)}$	$-\sqrt{3}i_{w,(\gamma+2)}$
	$i_0$	$i_{w,\gamma}$	$i_{w,(\gamma+1)}$	$i_{w,(\gamma+2)}$

Таблица 2

Составляющие волновых каналов тока при двухфазных КЗ на землю

		Вид КЗ		
		$(\gamma, \gamma+1)G$	$(\gamma+1, \gamma+2)G$	$(\gamma+2, \gamma)G$
Волновые каналы	$i_\alpha^{(\gamma)}$	$2i_{w,\gamma} - i_{w,(\gamma+1)}$	$-i_{w,(\gamma+1)} - i_{w,(\gamma+2)}$	$2i_{w,\gamma} - i_{w,(\gamma+2)}$
	$i_\beta^{(\gamma)}$	$\sqrt{3}i_{w,(\gamma+1)}$	$\sqrt{3}(i_{w,(\gamma+1)} - i_{w,(\gamma+2)})$	$-\sqrt{3}i_{w,(\gamma+2)}$
	$i_0$	$i_{w,\gamma} + i_{w,(\gamma+1)}$	$i_{w,(\gamma+1)} + i_{w,(\gamma+2)}$	$i_{w,(\gamma+2)} + i_{w,\gamma}$

Таблица 3

Составляющие волновых каналов тока при междуфазных КЗ

		Вид КЗ			
		$(\gamma, \gamma+1)$	$(\gamma+1, \gamma+2)$	$(\gamma+2, \gamma)$	трехфазное
Волновые е каналы	$i_{\alpha}^{(\gamma)}$	$3i_{w,\gamma}$	0	$3i_{w,\gamma}$	$3i_{w,\gamma}$
	$i_{\beta}^{(\gamma)}$	$-\sqrt{3}i_{w,\gamma}$	$2\sqrt{3}i_{w,(\gamma+1)}$	$\sqrt{3}i_{w,\gamma}$	$\sqrt{3}(i_{w,(\gamma+1)} - i_{w,(\gamma+2)})$
	$i_0$	0	0	0	0

**Примечание:**  $\gamma = A, B, C$ ; все значения, приведенные в таблицах 1 – 3, умножены на 3.

### **Выводы**

Несмотря на то, что в волновом дискриминаторе поврежденных фаз используются информационные сигналы совершенно иного характера, чем в традиционном дискриминаторе, но в принципах их построения прослеживаются одинаковые правила: оба разделяют междуфазные и земляные КЗ по наличию составляющих нулевой последовательности, а особую фазу и вид КЗ определяют по соотношениям соответствующих составляющих поврежденных фаз. В традиционном дискриминаторе информационными составляющими являются симметричные составляющие, а в волновом – составляющие волновых каналов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. V. Alekseev, V. Petrov and V. Naumov, "Invariance of Modal Transformations of Electrical Values in Traveling Wave Fault Locator," 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), Sochi, Russia, 2020, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICIEAM48468.2020.9111912

#### **Авторы:**

*Алексеев Валерий Сергеевич, сведения об авторе приведены на стр. 87.*

*Фёдоров Алексей Олегович, сведения об авторе приведены на стр. 82.*

*Петров Владимир Сергеевич, сведения об авторе приведены на стр. 33.*