

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова»

**ДИНАМИКА  
НЕЛИНЕЙНЫХ  
ДИСКРЕТНЫХ  
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ  
И ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ**

**Материалы  
XIV Всероссийской научно-технической  
конференции**

---

---

**ДНДС–2021**

---

---

Чебоксары  
2021

УДК 621.3:004(063)

ББК 381:321Я73

Д44

**Редакционная коллегия:**

ректор, канд. экон. наук, доцент *А.Ю. Александров*;

д-р техн. наук, профессор *Г.А. Белов*;

канд. техн. наук, доцент *А.В. Серебрянников*

*Печатается по решению Ученого совета*

*Чувашского государственного университета имени И.Н. Ульянова*

**Динамика** нелинейных дискретных электротехнических  
**Д44** и электронных систем: материалы XIV Всерос. науч.-техн.  
конф. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2021. 536 с.

ISBN 978-5-7677-3286-9

Рассматриваются вопросы математических основ и математического моделирования нелинейных дискретных систем, цифровой обработки сигналов, построения и анализа устройств и систем силовой электроники, систем электроэнергетики и электропривода.

Для научных работников, инженеров, менеджеров и студентов старших курсов.

УДК 621.3:004(063)

ББК 381:321Я73

© Издательство

Чувашского университета, 2021

ISBN 978-5-7677-3286-9

## Литература

1. Locating faults by the traveling waves they launch / E. O. Schweitzer [et al.] // 67th Annual Conference for Protective Relay Engineers. 2014. College Station, TX, USA. 2014. PP. 95–110.
2. Theory of single-end traveling wave fault location / A. Fedorov [et al.] // 2021 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), Sochi, Russia. 2021. PP. 1–5.
3. Accurate and economical traveling-wave fault locating without communications / A. Guzmán [et al.] // 2018 71st Annual Conference for Protective Relay Engineers (CPRE), College Station, TX. 2018. PP. 1–18.
4. Попов И. Н., Лачугин В. Ф., Соколова Г. В. Релейная защита, основанная на контроле переходных процессов. М.: Энергоатомиздат, 1986.
5. Alekseev V., Petrov V., Naumov V. 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.
6. Чернобровов Н. В. Релейная защита. М.: Энергия, 1971.

Аркадьев Д.Э., Фёдоров А.О., Петров В.С.  
(Чебоксары, ЧГУ, ООО НПП «ЭКРА»)

## СПОСОБ ЛОКАЛИЗАЦИИ ПОВРЕЖДЕНИЙ ДВУХСТОРОННИМ ВОЛНОВЫМ МЕТОДОМ НА КАБЕЛЬНО-ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Расчет места повреждения  $\hat{m}$  двухсторонним волновым методом [1] на однородной ЛЭП базируется на неизменности скорости движения фронта волны  $v$  на всем контролируемом участке длиной  $L$ :

$$\hat{m} = \frac{1}{2} \hat{e}L + (\hat{t}_1 - \hat{t}_2)v \hat{d}, \quad (1)$$

где  $\hat{t}_1$  и  $\hat{t}_2$  – оценки времен возникновения фронтов волн на концах контролируемой ЛЭП.

Определение места повреждения (ОМП) (1) на кабельно-воздушных ЛЭП (КВЛ) встречает следующие сложности: каждому сегменту КВЛ характерна своя скорость движения фронта волны (рис. 1) и поврежденный сегмент заранее неизвестен.

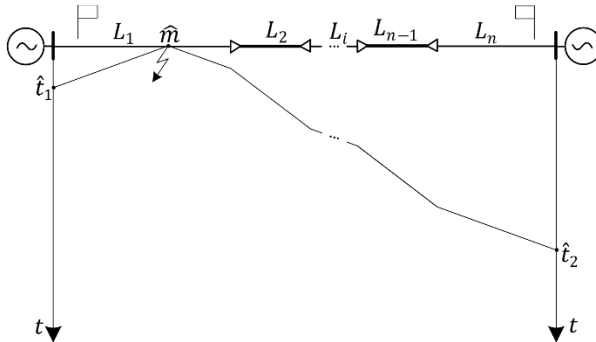


Рис. 1. Диаграмма Бьюлей, поясняющая распространение волн по КВЛ

В настоящем докладе обобщается метод двухстороннего волнового ОМП на КВЛ.

При КЗ на КВЛ заранее неизвестен поврежденный сегмент. В связи с этим даже если учесть разную скорость движения фронта волны на сегментах КВЛ, это не позволяет аналогично (1) сразу определить место повреждения.

Очевидно, что расчет ОМП на КВЛ должен начинаться с идентификации поврежденного сегмента [2]. Для этого сначала формируются оценки времен возникновения фронтов волн на концах КВЛ при КЗ на  $b$ -м сегменте (рис. 1):

$$\hat{t}_1 = t_0 + \mathop{\mathbf{\hat{a}}}_{i=1, b^1}^{b-1} \frac{L_i}{v_i} + \frac{\hat{m} - \mathop{\mathbf{\hat{a}}}_{i=1, b^1}^{b-1} L_i}{v_b},$$

$$\hat{t}_2 = t_0 + \frac{\mathop{\mathbf{\hat{a}}}_{i=1}^b L_i - \hat{m}}{v_b} + \mathop{\mathbf{\hat{a}}}_{i=b+1}^n \frac{L_i}{v_i},$$
(2)

где  $t_0$  – время возникновения КЗ;  $L_i, v_i$  – длина и скорость распространения фронта волны на  $i$ -м сегменте;  $n$  – количество сегментов КВЛ.

Далее, решая систему (2), можно получить предполагаемые места повреждений

$$\hat{m} = \frac{v_b}{2} \frac{\hat{e}}{\hat{e}_1} - \hat{t}_2 - \sum_{i=1, b^1}^{b-1} \frac{L_i}{v_i} + \frac{1}{v_b} \sum_{i=1, b^1}^{b-1} \frac{\hat{a}}{\hat{a}_i} L_i + \frac{1}{v_b} \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{v_i} \quad (3)$$

где  $b = \overline{1, n}$ .

За поврежденный сегмент  $b$  принимается тот, для предполагаемого места повреждения  $\hat{m}$  которого выполняется неравенство

$$\sum_{i=1}^{b-1} L_i \hat{a}_i < \sum_{i=1}^b L_i \hat{a}_i. \quad (4)$$

Следовательно, за истинное место повреждения принимается предполагаемое место повреждения  $\hat{m}$ , соответствующее поврежденному сегменту (4).

Пример. Рассмотрим работу предлагаемого способа локализации повреждения.

Рассматривается однофазное КЗ фазы  $A$  при  $R_f = 0$  Ом и фазе возникновения КЗ  $90^\circ$  на расстоянии 125 км от места установки полукомплекта волнового ОМП на шинах  $A$  (рис. 2). Параметры электрической сети: номинальное напряжение электрических систем бесконечной мощности - 220 кВ; длины воздушных линий на контролируемой ЛЭП  $LL_2 = LL_4 = 70$  км, длины кабельных линий  $LL_3 = LL_5 = 20$  км, длины примыкающих ЛЭП:  $LL_1 = LL_7 = 200$  км. Все воздушные ЛЭП имеют удельные параметры прямой последовательности  $L = 1,320$  мГн/км,  $C = 8,715$  нФ/км,  $R = 0,160$  Ом/км, кабельные вставки выполнены кабелем марки 3 \*2XS(FL)2Y 127/220 1\*3000.

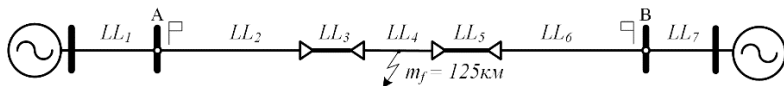


Рис. 2. Схема электрической сети:  
места установки полукомплектов показаны флажками

Сигналы фазных токов, записанные полукомплектами, иллюстрируются на рис. 3.

У первых фронтов волн определяются моменты возникновения:  $\hat{t}_1 = 0,0654533$  с и  $\hat{t}_1 = 0,0654534$  с (рис. 3). После чего рассчитывается расстояние до места повреждения (3)

$$\hat{m}_f = 125,015 \text{ км.}$$

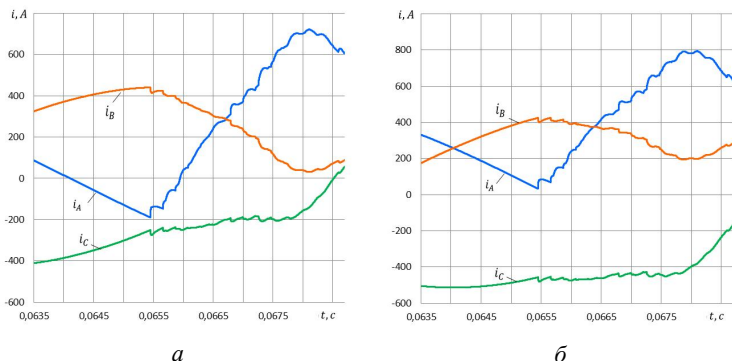


Рис. 3. Фазные токи в месте установки полукомплекта волнового ОМП: измерения на шинах А (а), измерения на шинах В (б)

Предлагаемый способ в рассматриваемом примере имеет низкую погрешность:

$$Dm_f = m_f - \hat{m}_f = 15 \text{ м.}$$

Таким образом, обобщён двухсторонний волновой метод определения места повреждения на кабельно-воздушных ЛЭП. Предложенный метод может использоваться на ЛЭП с любым количеством кабельных вставок.

#### Литература

1. Limitations of Traveling Wave Fault Location / A. Fedorov [et al.] // 2020 Ural Smart Energy Conference (USEC), Ekaterinburg. 2020. PP. 21–25. DOI: 10.1109/USEC50097.2020.9281153.

2. Marx S., Tong Y., Mynam M. V. Traveling-Wave Fault Locating for Multiterminal and Hybrid Transmission Lines // 45th Annual Western Protective Relay Conference Spokane, October 16–18, 2018.

Степанова Д.А., Антонов В.И., Наумов В.А.  
(Чебоксары, ООО НПП «ЭКРА»; ЧГУ)

### ПРЕОДОЛЕНИЕ ИЗБЫТОЧНОСТИ ДАННЫХ В УМНЫХ УСТРОЙСТВАХ ЗАЩИТЫ

Режимы, в которых релейная защита должна срабатывать, относят к классу отслеживаемых, а режимы, в которых запреще-