

осуществлена в рамках интегрированных АСУ ТП, под которыми понимаются распределенные (территориально и функционально) управляющие вычислительные системы, обеспечивающие интеграцию как по информации, так и по функциям, выполненные на однотипных технических средствах.

Экономический эффект от внедрения АСУ ТП ПС будет получен за счет повышения устойчивости работы межсистемных и магистральных связей, надежности электроснабжения потребителей, уменьшения ошибок персонала, уменьшения затрат на монтажные и наладочные работы, предотвращения в ряде случаев повреждения основного электрооборудования, а также автоматического восстановления энергоснабжения после аварийных нарушений, уменьшения трудозатрат при эксплуатации вследствие автоматического выявления неисправностей электрооборудования и аппаратуры управления.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Оборудование, материалы и системы, допущенные к применению на объектах ПАО "Россети" (Раздел II. Вторичное оборудование)

Научный руководитель: Л.Г. Мигунова, к.т.н., доцент СамГТУ.

КРИТЕРИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

А.В. Смирнов

Сибирский федеральный университет

Критерии эффективности микропроцессорной релейной защиты (РЗ) определяются с учетом надежности несрабатывания при отсутствии повреждений. В данной работе для оценки эффективности РЗ используется наука о качестве, называемая квалиметрией. Объекты сравниваются между собой и с некоторым идеальным объектом по ряду свойств. Характеристики объекта характеризуются вектором критериальных свойств (КС) Y . Целевая функция $E(Y)$ зависит от этого вектора и является комплексным показателем качества [1].

Эта целевая функция определяет меру эффективности, или меру приближения к эталону и ее значение определяется по следующей арифметической линейной формуле

$$E_{aj} = \sum_{i=1}^n v_i \cdot e_{ij}, \quad (1)$$

где v_i – весомость i -го КС, о.е.; e_{ij} – эффективность j -го варианта по i -му КС, о.е.

Величины весомостей КС v_i определяются методами экспертных оценок (ЭО). Определение эффективности e_{ij} выполняется на основе показателей, измеренных у сравниваемых объектов или с помощью ЭО. Расчет комплексного

критерия качества начинается с определения перечня КС в данной задаче и подбора специалистов, знающих свойства объекта [1].

Табл. 1. Матрица рангов критериальных свойств.

Эксперт	Критериальные свойства			
	Максимум надежности работы микропроцессорных устройств РЗ	Минимум стоимости устройств РЗ	Минимум ущерба в ЭЭС от недоотпуска электроэнергии	Максимум технического совершенства
1	1,5	3,5	3,5	1,5
2	1	3	2	4
3	1,5	3	4	1,5
4	1	3	2	4
5	1	4	3	2

Покажем применение метода квалиметрии на примере анализа эффективности различных вариантов микропроцессорной РЗ ЛЭП. Рассматриваем четыре КС: максимум надежности работы РЗ; минимум стоимости устройства РЗ; минимум ущерба в электроэнергетической сети (ЭЭС) от недоотпуска электроэнергии при отказах РЗ; максимум технического совершенства. Результаты опроса пяти специалистов в области РЗ приведены в таблице 1. При оценке весомостей КС используется метод ранговой корреляции. Всем КС каждый эксперт по мере убывания весомости присваивает оценку, называемую рангом [1].

Весомости КС определим по следующим выражениям

$$v_i = w_i \cdot \left(\sum_{i=1}^n w_i \right)^{-1}, \quad (2)$$

$$w_i = 1 - A_i \cdot (n \cdot N)^{-1} + n^{-1}, \quad (3)$$

$$A_i = \sum_{i=1}^n a_{ik}, \quad (4)$$

где N – число экспертов; w_i – коэффициент значимости; i – номер КС; n – число КС; A_i – сумма рангов i -го КС, a_{ik} – ранг i -го КС, заданный k -м экспертом.

Результаты расчета весомостей КС представлены в таблице 2.

Табл. 2. Коэффициенты весомости критериальных свойств.

Весомость	Критериальные свойства			
	Максимум надежности РЗ	Минимум стоимости микропроцессорных устройств РЗ	Минимум ущерба в ЭЭС от недоотпуска электроэнергии	Максимум технического совершенства
v_i	0,378	0,171	0,211	0,239

Определение эффективности e_i в вариантах РЗ по каждому из КС производится при расчете показателей y_i у сравниваемых объектов, или экспертной

оценкой. Переход от численных показателей к относительным единицам выполняется с помощью линейного преобразования, по следующей формуле

$$e_i = \frac{y_i^{\max} - y_i}{y_i^{\max} - y_i^{\min}} \quad (5)$$

где y_i^{\max} - максимальное из всех вариантов значение показателя; y_i^{\min} - минимальное значение показателя; y_i - значение показателя в данном варианте.

Вычисления по формуле (5) проводятся при выполнении условия: $y_i^{\min} \leq y_i \leq y_i^{\max}$. Выполним оценку эффективности e_{ij} по каждому КС.

КС 1. При оценке надежности учитываем только ложные и неселективные срабатывания РЗ, так как они происходят чаще, чем отказы в срабатывании. Доля ложных и неселективных срабатываний равна около 70 % от общего количества нарушений в работе РЗ [2]. Рассмотрим варианты устройств РЗ.

Определим вероятность несрабатывания для первого варианта защиты на рисунке 1, а, относительно ложных и неселективных срабатываний

$$P_A(t) = e^{-\lambda t}, \quad (6)$$

где λ - интенсивность отказа в функционировании РЗ.

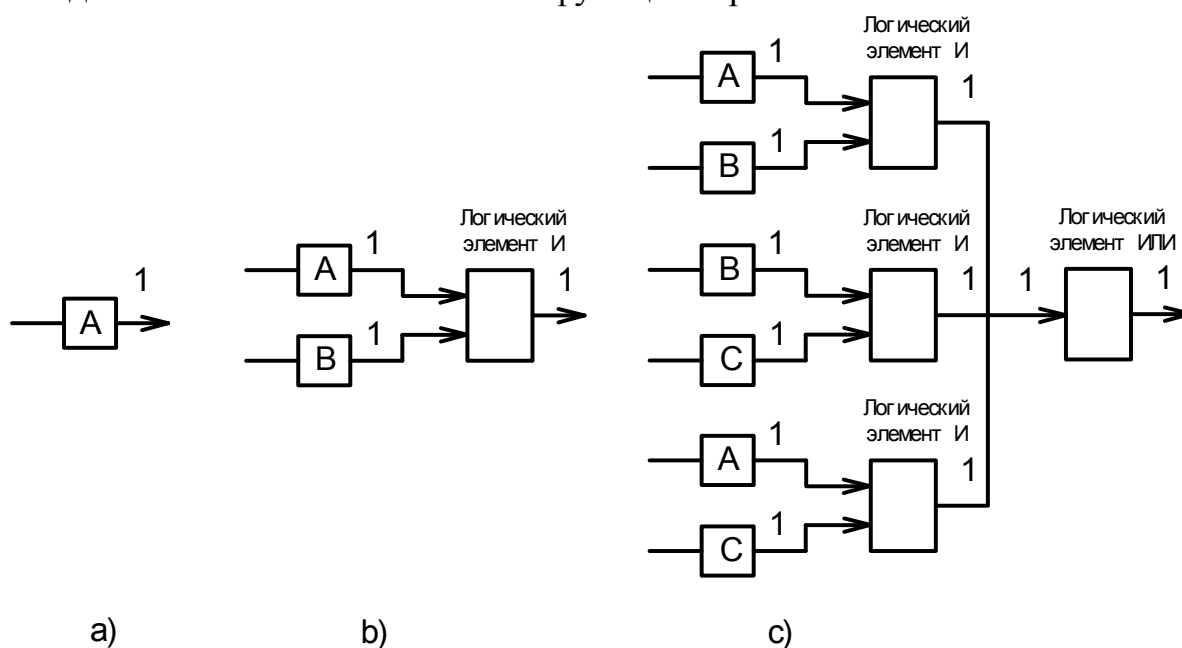


Рис. 1. Логические схемы вариантов устройств релейной защиты.

Время эксплуатации $t = 1$ год, интенсивность излишних срабатываний $\lambda = 0,07$ 1/год [2], $P_A(t) = 0,932$, а вероятность излишнего срабатывания равна

$$Q_A(t) = 1 - P_A(t), \quad (7)$$

Вероятность несрабатывания для варианта РЗ на рисунке 1, а равна $Q_A(t) = 0,068$. Вероятности для второго варианта РЗ, на рисунке 1, б, если используется только один блок, равны $P_A(t) = P_B(t) = 0,932$ и $Q_A(t) = Q_B(t) = 0,068$. Определим вероятность излишнего срабатывания устройства РЗ с учетом обоих блоков А и В

$$Q_{рез}(t) = Q_A(t) \cdot Q_B(t). \quad (8)$$

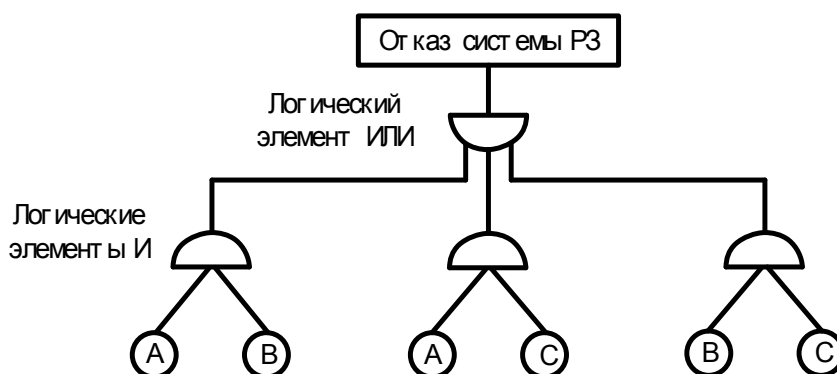


Рис. 2. Дерево отказов для третьего варианта релейной защиты.

Рассчитаем надежность для третьего варианта РЗ, в котором используется схема с голосованием «два из трех» и построим дерево отказов [3]

$$Q_{рез}(t) = Q_A(t) \cdot Q_B(t) + Q_B(t) \cdot Q_C(t) + Q_A(t) \cdot Q_C(t) \quad (9)$$

Относительную оценку первого КС для каждого варианта РЗ e_{1j} дадим с помощью вероятности излишнего срабатывания, используя выражение (5).

КС 2. Стоимость устройств РЗ определяется стоимостью терминалов и программного обеспечения. Рассчитаем относительную оценку e_{2j} второго КС

$$e_{ij} = 1 - B_{ji} \cdot (m \cdot N)^{-1} + m^{-1}, \quad (10)$$

где i – номер свойства; N – число экспертов; B_{ji} – сумма рангов j -го варианта.

КС 3. Ущерб в ЭЭС от недоотпуска электроэнергии для вариантов РЗ определяется при неселективных или ложных срабатываниях с учетом удельного ущерба $y_0 = 3,6$ \$/кВт·ч [1], расчетной вероятности отказов $Q_{РЗ}$ и заданной величине потерь мощности $\Delta P = 160$ МВт, обусловленных отключением линии

$$Y = 8760 \cdot Y_0 \cdot Q_{РЗ} \cdot \Delta P. \quad (11)$$

Относительные оценки третьего свойства e_{3j} получим с помощью линейного преобразования по формуле (5) для каждого варианта РЗ.

КС 4. Релейная защита должна срабатывать, не нарушая работу остальной части энергосистемы [4]. Оценим e_{4j} четвертое свойство экспертным путем.

В таблице 3 приведена комплексная оценка эффективности вариантов РЗ.

Табл. 3. Комплексная оценка эффективности релейной защиты.

Варианты РЗ	$v_1 = 0,378$	$v_2 = 0,171$	$v_3 = 0,211$	$v_4 = 0,239$	$E_{aj} = \sum_{i=1}^n v_i \cdot e_{ij}$
	Относительные оценки эффективности, e_{ij}				
1	0	1	0	1	0,410
2	1	0,667	1	0,667	0,862
3	0,841	0,333	0,841	0,333	0,632

Значение комплексного критерия эффективности является наибольшим для второго варианта РЗ, поэтому оптимальным является второй вариант.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Гук Ю.Б. Анализ надежности электроэнергетических установок. - Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд-е, 1988. - 224 с.
2. Захаров О.Г. Надежность цифровых устройств релейной защиты. Показатели. Требования. Оценки. - М.: Инфра-инженерия, 2014. - 128 с.
3. Шалин А.И. Надежность и диагностика релейной защиты энергосистем. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. - 384 с.
4. Нудельман Г.С. Микропроцессорные системы РЗА. Оценка эффективности и надежности. // Новости электротехники. - 2008. - № 3(51). - С. 20-27.

Научный руководитель: В.А. Тремясов, к.т.н., проф. кафедры Электрические станции и электроэнергетические системы Сибирского федерального университета.

DEVELOPMENT OF ADVANCED TECHNOLOGY FOR HIGH VOLTAGE TRANSFORMER WINDING CONDITION CONTROL BASED ON PROBING IMPULSE OF NANOSECOND DURATION

A.V. Lavrinovich¹, A.V. Mytnikov
TomskNIPIneft¹

Institute of Power Engineering, National Research Tomsk Polytechnic University

Abstract

The paper deals with the experimental research of the pulsed method of transformer winding control in comparison with FRA technology. A new approach to winding condition control technology is described. The proposed method is based on short (compared with a typical pulsed technology) probe pulse and front pulse durations. The experimental results of sensitivity growth at decreasing front pulse duration are shown. The experimental equipment and measurements are described. A comparison of the experimental results of the proposed technology and FRA is given. It is shown that shorter front of probe pulse duration allows upgrading sensitivity of the diagnostic procedure.

INTRODUCTION

Smart power grid includes big amount of high voltage transformers of different types and power range. To provide a stable operation of any smart grid is necessary to control high voltage equipment condition, first of all, power transformers. At the same time, park of power transformers are old enough and have been working already 30-40 years and more. That is why the development of technologies of high voltage transformer condition control is an important task for any smart grids. The pulsed method to control a condition of transformer windings was proposed and described in 1966 [1]. The principle of the method consists in applying probing standard lighting impulse of 1.2/50 microsecond with the amplitude around 300 V to one of the windings. Other windings were short-circuited and the shunt which gave a re-