

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тульский государственный университет»

16+
ISSN 2071-6168

ИЗВЕСТИЯ
ТУЛЬСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Выпуск 12

Тула
Издательство ТулГУ
2020

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

ISSN 2071-6168

Председатель
Грязев М.В., д-р техн. наук, ректор.
Первый заместитель председателя
Воротилин М.С., д-р техн. наук, проректор по научной работе.
Заместитель председателя
Прейс В.В., д-р техн. наук, заведующий кафедрой, авторизованный представитель Издательства ТулГУ в РИНЦ.
Ответственный секретарь
Фомичева О.А., канд. техн. наук, начальник Управления научно-исследовательских работ, авторизованный представитель ТулГУ в РИНЦ.

Члены редакционного совета:

Батанина И.А., д-р полит. наук, –
гл. редактор серии «Гуманитарные науки»;
Берестнев М.А., канд. юрид. наук, –
гл. редактор серии «Экономические и юридические науки»;
Борискин О.И., д-р техн. наук, –
гл. редактор серии «Технические науки»;
Есеров В.Н., канд. пед. наук, –
гл. редактор серии «Физическая культура. Спорт»;

Заславская О.В., д-р пед. наук, –
гл. редактор серии «Педагогика»;
Качурин Н.М., д-р техн. наук, –
гл. редактор серии «Науки о Земле»;
Понаморева О.Н., д-р хим. наук, –
гл. редактор серии «Естественные науки».

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор
Борискин О.И., д-р техн. наук (ТулГУ, г. Тула).
Заместитель главного редактора
Ларин С.Н., д-р техн. наук (ТулГУ, г. Тула).

Ответственный секретарь
Яковлев Б.С., канд. техн. наук (ТулГУ, г. Тула).
Авторизованный представитель ТулГУ в РИНЦ
Журин А.В., канд. техн. наук (ТулГУ, г. Тула).

Члены редакционной коллегии:

Александров А.Ю., д-р техн. наук (Ковровская государственная технологическая академия им. В.А. Дегтярева, г. Ковров);
Баласинин Б.С., д-р техн. наук (Государственный инженерный университет Армении, г. Ереван, Армения);
Дмитриев А.М., д-р техн. наук (Московский государственный технический университет «СТАНКИН», г. Москва);
Запозель Я., д-р техн. наук (Технический университет Острavy, г. Острава, Чехия);
Колтунович Т.Н., д-р техн. наук (Люблинский технологический университет, г. Люблин, Польша);
Кристалъ М.Г., д-р техн. наук (Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград);
Ларкин Е.В., д-р техн. наук (ТулГУ, г. Тула);

Мельников В.Е., д-р техн. наук (Национальный исследовательский университет «МАН», г. Москва);
Межеряков В.Н., д-р техн. наук (Липецкий государственный технический университет, г. Липецк);
Мажечков В.А., д-р техн. наук (АО «Тулаэлектропривод», г. Тула);
Распотов В.Я., д-р техн. наук (ТулГУ, г. Тула);
Савин Л.А., д-р техн. наук (Орловский государственный технический университет, г. Орел);
Степанов В.М., д-р техн. наук (ТулГУ, г. Тула);
Сычугов А.А., канд. техн. наук (ТулГУ, г. Тула);
Трубецов В.И., д-р техн. наук (АО «НПО «СПЛАВ», г. Тула);
Ягун С.Ф., д-р техн. наук (Юго-Западный государственный университет, г. Курск).

Сборник зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). ПИ № ФС77-75986 от 19 июня 2019 г.

Подписной индекс сборника 27851 по Объединённому каталогу «Пресса России».

Сборник включен в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук, утверждённый ВАК Минобрнауки РФ, по следующим научным специальностям:

- 05.02.02 Машиноведение системы приводов и детали машин;
- 05.02.07 Технология и оборудование механической и физико-технической обработки;
- 05.02.08 Технология машиностроения;
- 05.02.09 Технологии и машины обработки давлением;
- 05.02.13 Машины, агрегаты и процессы (по отраслям);
- 05.02.23 Стандартизация и управление качеством продукции;
- 05.09.03 Электротехнические комплексы и системы;
- 05.13.01 Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям);
- 05.13.06 Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям);
- 05.13.11 Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей.

Чтобы просмотреть этот документ в формате PDF, перейдите на сайт www.tstu.ru, перейдите к компьютеру.

© Авторы научных статей, 2020
© Издательство ТулГУ, 2020

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИЗМЕРЕНИЯ ТОКА В СИСТЕМЕ ДИСТАНЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ ПРОВОДОВ ВЛ

В.О. Акуличев, В.Ю. Непомнящий, А.Д. Дудин, С.Г. Висич, В.М. Степанов, М.В. Панарин, А.А. Маслова

Рассмотрена математическая модель модуля дистанционной диагностики проводов воздушных линий по каналу измерения тока в проводе, которая реализуется на модуле и на сервере диспетчерского пункта электросетевой компании. Модуль дистанционной диагностики провода ВЛ производит вычисление в реальном времени модулей амплитуд нулевой, первой, третьей и пятой гармоник и значения коэффициентов фиксации тока короткого замыкания и вырабатывает сигналы предупреждения о возможном проявлении короткого замыкания на ВЛ электропередач. Сигнал предупреждения инициализирует передачу данных о проявлении короткого замыкания от модуля интеллектуальной диагностики провода ВЛ в диспетчерский пункт электросетевой компании.

Ключевые слова: дистанционная диагностика, воздушная линия электропередач, электрический ток, ток короткого замыкания, измерение, диспетчерский пункт.

Современное развитие электроэнергетики предполагает широкое внедрение цифровых измерительных систем, датчиков, систем цифрового управления, представляющих собой отдельные элементы цифровизации отрасли. Принципиально важным для объединения отдельных цифровых элементов в систему является применение единых стандартизированных протоколов, принятых в электроэнергетике [1-3].

На основе этих принципов ООО «СервисСофт» и филиалом «Тулэнерго» ПАО «МРСК Центра и Приволжья» разрабатывается серия модулей интеллектуальной диагностики воздушных линий электропередач ВЛ 6...220 кВ. В том числе ведется разработка математических моделей модулей диагностики проводов ВЛ 6...220 кВ. В данной статье рассмотрена математическая модель модуля дистанционной диагностики проводов ВЛ по каналу измерения тока в проводе.

Мгновенное значение тока в проводе i_{np} ВЛ, измеряемое трансформатором тока, определяется соотношением [4-5].

$$i_{np} = k_{тт} * i_{тт}, \tag{1}$$

где $i_{тт}$ - мгновенное значение тока на выходе трансформатора тока, А; $k_{тт}$ - коэффициент трансформации трансформатора тока.

Последовательность мгновенных измеренных значений тока в проводе ВЛ, измеряемых с периодом квантования по времени T_i данных с трансформатора тока, запишем в виде

$$i_{np}(k), i_{np}(k-1), i_{np}(k-2), \dots, i_{np}(k-N+1), i_{np}(k-N), \tag{2}$$

где k - порядок отсчета значений переменных при квантовании с периодом T_i .

Действующее значение тока в проводе ВЛ в цифровом виде определяется соотношением

$$I_{ВЛТс} = \sqrt{\frac{1}{N_n} \sum_{k=1}^{N_n} i_{np}^2(k)}, \tag{3}$$

где $I_{ВЛТс}$ - действующее значение переменного тока на периоде в проводе ВЛ, А; N_n - количество отсчетов временных дискрет на одном периоде синусоидального тока 50 Гц в проводе ВЛ;

$$N_n = \frac{T_c}{T_i}, \tag{4}$$

$$T_c = \frac{1}{F_c}, \tag{5}$$

где F_c - частота сети переменного тока, Гц; T_c - период сети переменного тока, Гц.

Значения $I_{ВЛТс}$ сравниваются с предельно допустимым значением для данной ВЛ соотношением

$$I_{ВЛТс} < I_{ВЛТс доп}, \tag{6}$$

где $I_{ВЛТс доп}$ - максимально допустимое значение действующего тока в проводе ВЛ, А.

При соблюдении данного условия на периоде T_i передачи данных от модуля интеллектуальной диагностики, что соответствует времени передачи соседних посылок при штатных параметрах мониторинга определяется среднее значение

$$I_{ВЛТс} = \frac{1}{N_{T_{Cl}}} \sum_{n_{Cl}=1}^{N_{T_{Cl}}} I_{ВЛТс}(n_{Cl}), \tag{7}$$

где $N_{T_{Cl}}$ - количество периодов сети на интервале времени передачи соседних посылок при штатных параметрах мониторинга; n_{Cl} - номер отсчета периода сети на интервале времени передачи соседних посылок; $I_{ВЛТс}(n_{Cl})$ - действующее значение тока на периодах сетевого напряжения, А.

$$N_{T_{Cl}} = \frac{T_i}{T_c}. \tag{8}$$

Значения $I_{ВЛ}$ передаются от модуля интеллектуальной диагностики провода с периодом T_i передачи данных соседних посылок при штатных параметрах мониторинга.

При несоблюдении условия (6) формируется сигнал передачи внеочередной посылки с сообщением превышения действующего значения тока допустимой величины.

При построении цифровой модели фиксации короткого замыкания на одной фазе на землю на каждом периоде сетевого тока формируется числовая последовательность вида

$$i_{np}(0), i_{np}(1), i_{np}(2), \dots, i_{np}(n_{T_{IC}} - 1), i_{np}(n_{T_{IC}} - 2), i_{np}(n_{T_{IC}}). \tag{9}$$

причем $i_{np}(0) = 0$, фиксация перехода синусоидального тока через ноль в положительную область; $n_{T_{IC}}$ - номер отсчета мгновенного значения тока i_{np} в проводе ВЛ.

$$N_{T_{IC}} = \frac{T_c}{T_i}, \tag{10}$$

где $N_{T_{IC}}$ - количество отсчетов значений тока на периоде сетевого напряжения.

Фиксацию короткого замыкания производим по степени нарастания нулевой, первой, третьей и пятой гармоник.

Комплексная амплитуда нулевой гармоники тока короткого замыкания на периоде сетевого тока в ВЛ определяется

$$I_{ВЛj_0} = \sum_{k=0}^{k=N_n-1} i_{np}(k). \tag{11}$$

Комплексная амплитуда первой гармоники тока короткого замыкания на периоде сетевого тока в ВЛ определяется

$$I_{ВЛj_1} = \sum_{k=0}^{k=N_n-1} i_{np}(k) * [\text{Cos}(\frac{2\pi k}{N_n}) + j \text{Sin}(\frac{2\pi k}{N_n})]. \tag{12}$$

Комплексная амплитуда третьей гармоники тока короткого замыкания на периоде сетевого тока в ВЛ определяется

$$I_{ВЛj_3} = \sum_{k=0}^{k=N_n-1} i_{np}(k) * [\text{Cos}(\frac{6\pi k}{N_n}) + j \text{Sin}(\frac{6\pi k}{N_n})]. \tag{13}$$

Комплексная амплитуда пятой гармоники тока короткого замыкания на периоде сетевого тока в ВЛ определяется

$$I_{ВЛj_5} = \sum_{k=0}^{k=N_n-1} i_{np}(k) * [\text{Cos}(\frac{10\pi k}{N_n}) + j \text{Sin}(\frac{10\pi k}{N_n})]. \tag{14}$$

где $I_{ВЛj_0}$ - комплексная амплитуда нулевой гармоники тока короткого замыкания на периоде сетевого тока в ВЛ, А; $I_{ВЛj_1}$ - комплексная амплитуда первой гармоники тока короткого замыкания на периоде сетевого тока в ВЛ, А; $I_{ВЛj_3}$ - комплексная амплитуда

третьей гармоники тока короткого замыкания на периоде сетевого тока в ВЛ, А; $I_{ВЛ5}$ – комплексная амплитуда пятой гармоники тока короткого замыкания на периоде сетевого тока в ВЛ, А.

Постоянная составляющая тока короткого замыкания на периоде сетевого тока определится

$$I_{ВЛ0} = \frac{\text{mod}(I_{ВЛ0})}{N} \quad (15)$$

Амплитудные значения первой, третьей и пятой гармоник тока короткого замыкания на периоде сетевого тока в ВЛ определяются соответственно

$$I_{ВЛ1} = \frac{\text{mod}(I_{ВЛ1})}{N}, \quad (16)$$

$$I_{ВЛ3} = \frac{\text{mod}(I_{ВЛ3})}{N}, \quad (17)$$

$$I_{ВЛ5} = \frac{\text{mod}(I_{ВЛ5})}{N}. \quad (18)$$

При соблюдении хотя бы одного из следующих неравенств вырабатывается сигнал предупреждения о возможном коротком замыкании на землю провода ВЛ, на котором установлен модуль интеллектуальной диагностики провода ВЛ.

$$\begin{aligned} I_{ВЛ0} &> I_{ВЛ0\text{кз.доп.}} \\ I_{ВЛ1} &> I_{ВЛ1\text{кз.доп.}} \\ I_{ВЛ3} &> I_{ВЛ3\text{кз.доп.}} \\ I_{ВЛ5} &> I_{ВЛ5\text{кз.доп.}} \end{aligned} \quad (19)$$

где $I_{ВЛ0\text{кз.доп.}}$, $I_{ВЛ1\text{кз.доп.}}$, $I_{ВЛ3\text{кз.доп.}}$, $I_{ВЛ5\text{кз.доп.}}$ – допустимые значения постоянной составляющей и амплитуд первой, третьей и пятой гармоник, при которых короткое замыкание не проявляется.

При установке модуля интеллектуальной диагностики только на одной фазе провода ВЛ возможно контролировать лишь фазные короткие замыкания на землю.

При установке модулей интеллектуальной диагностики на всех трех фазах А, В и С возможно контролировать как фазные, так и линейные короткие замыкания. При этом проявление событий превышения амплитуд гармоник допустимых значений коротких замыканий должно различаться во времени не более, чем на трех периодах [6-8].

Дополнительно к гармоническому анализу проводится аналитическая операция фиксации короткого замыкания на основе анализа изменения связанных отсчетов тока на соседних периодах сети.

Для этого формируются две последовательности отсчетов тока в проводе ВЛ, сдвинутые на один период.

Последовательность отсчетов тока в проводе ВЛ текущего периода имеет вид

$$i_{пр}(0), i_{пр}(1), i_{пр}(2), \dots, i_{пр}(n_{T_{IC}} - 1), i_{пр}(n_{T_{IC}} - 2), i_{пр}(n_{T_{IC}}). \quad (20)$$

Последовательность отсчетов тока в проводе ВЛ предыдущего периода представим в виде

$$i_{пр}(N_{T_{IC}}), i_{пр}(N_{T_{IC}} + 1), i_{пр}(N_{T_{IC}} + 2), \dots, i_{пр}(N_{T_{IC}} + n_{T_{IC}} - 1), i_{пр}(N_{T_{IC}} + n_{T_{IC}} - 2), i_{пр}(N_{T_{IC}} + n_{T_{IC}}). \quad (21)$$

Проводим сравнение связанных отсчетов тока на соседних периодах сети.

$$K_{кзA}(k) = \frac{i_{пр}(k)}{i_{пр}(N_{T_{IC}} + k)} \quad \text{для } k \in (1, N_{T_{IC}}), \quad (22)$$

где $K_{кзA}(k)$ – коэффициент превышения тока короткого замыкания.

Если

$$K_{кзA}(k) > K_{кзфA}, \quad (23)$$

то вырабатывается сигнал предупреждения о возможном коротком замыкании на землю провода ВЛ на котором установлен модуль интеллектуальной диагностики провода ВЛ; $K_{кзфA}$ – коэффициент фиксации тока короткого замыкания.

Для фиксации линейных коротких замыканий модули интеллектуальной диагностики должны быть установлены на каждой фазе контролируемой ВЛ и синхронизированы по времени снятия отсчетов мгновенных значений токов. Квантование токов в фазах производится в синхронизированные моменты времени.

Для фазы А

$$i_{прA}(0), i_{прA}(1), i_{прA}(2), \dots, i_{прA}(k), i_{прA}(n_{T_{IC}} - 1), i_{прA}(n_{T_{IC}} - 2), i_{прA}(n_{T_{IC}}). \quad (24)$$

Для фазы В

$$i_{прB}(0 - N_B), i_{прB}(1 - N_B), i_{прB}(2 - N_B), \dots, i_{прB}(0), i_{прB}(1), \dots, i_{прB}(n_{T_{IC}} - 1 - N_B), i_{прB}(n_{T_{IC}} - 2 - N_B), i_{прB}(k), i_{прB}(n_{T_{IC}} - N_B), i_{прB}(n_{T_{IC}} - N_B + 1), i_{прB}(n_{T_{IC}} - N_B + 2), i_{прB}(n_{T_{IC}}). \quad (25)$$

Для фазы С

$$i_{прC}(0 - N_C), i_{прC}(1 - N_C), i_{прC}(2 - N_C), \dots, i_{прC}(0), i_{прC}(1), \dots, i_{прC}(n_{T_{IC}} - 1 - N_C), i_{прC}(n_{T_{IC}} - 2 - N_C), i_{прC}(k), i_{прC}(n_{T_{IC}} - N_C), i_{прC}(n_{T_{IC}} - N_C + 1), i_{прC}(n_{T_{IC}} - N_C + 2), i_{прC}(n_{T_{IC}}). \quad (26)$$

где $i_{прA}$, $i_{прB}$, $i_{прC}$ – мгновенные значения токов по фазам А, В и С соответственно, А; N_B – количество отсчетов смещения фазы В; N_C – количество отсчетов смещения фазы С.

$$N_B = \frac{1}{3}N_{T_{IC}}, \quad N_C = \frac{2}{3}N_{T_{IC}}. \quad (27)$$

Проводим сравнение текущего и связанного по соседнему периоду отсчеты токов фазы А для текущего k :

$$K_{кзA}(k) = \frac{i_{прA}(k)}{i_{прA}(N_{T_{IC}} + k)} \quad \text{для } k \in (1, N_{T_{IC}}), \quad (28)$$

где $K_{кзA}(k)$ – коэффициент превышения тока короткого замыкания фазы А.

Если

$$K_{кзA}(k) > K_{кзфA}, \quad (29)$$

где $K_{кзфA}$ – коэффициент фиксации тока короткого замыкания фазы А,

то вырабатывается сигнал предупреждения о возможном коротком замыкании на фазе А.

Аналогично проводим сравнение текущего и связанного по соседнему периоду отсчеты токов фазы В для текущего k :

$$K_{кзB}(k) = \frac{i_{прB}(k)}{i_{прB}(N_{T_{IC}} - N_B + k)}, \quad (30)$$

где $K_{кзB}(k)$ – коэффициент превышения тока короткого замыкания фазы В.

Если

$$K_{кзB}(k) > K_{кзфB}, \quad (31)$$

где $K_{кзфB}$ – коэффициент фиксации тока короткого замыкания фазы В,

то вырабатывается сигнал предупреждения о возможном коротком замыкании на фазе В.

Так же проводим сравнение текущего и связанного по соседнему периоду отсчеты токов фазы С для текущего k :

$$K_{кзC}(k) = \frac{i_{прC}(k)}{i_{прC}(N_{T_{IC}} - N_C + k)}, \quad (32)$$

где $K_{кзC}(k)$ – коэффициент превышения тока короткого замыкания фазы С.

Если

$$K_{кзC}(k) > K_{кзфC}, \quad (33)$$

где $K_{кзфC}$ – коэффициент фиксации тока короткого замыкания фазы С.

то вырабатывается сигнал предупреждения о возможном коротком замыкании на фазе С.

Модуль дистанционной диагностики провода ВЛ производит вычисление в реальном времени модулей амплитуд нулевой $I_{ВЛ_0}$, первой $I_{ВЛ_1}$, третьей $I_{ВЛ_3}$ и пятой $I_{ВЛ_5}$ гармоник и значения коэффициентов фиксации тока короткого замыкания фазы А - $K_{кзфа}$, фазы В - $K_{кзфв}$ и фазы С - $K_{кзфс}$ и вырабатывает сигналы предупреждения о возможном проявлении короткого замыкания на ВЛ электропередач. Сигнал предупреждения инициализирует передачу данных о проявлении короткого замыкания от модуля интеллектуальной диагностики провода ВЛ в диспетчерский пункт электросетевой компании.

Математическая модель модуля дистанционной диагностики проводов по каналу измерения тока в проводе ВЛ реализуется на модуле и на сервере диспетчерского пункта электросетевой компании.

Список литературы

1. Методика расчета предельных токовых нагрузок по условиям сохранения механической прочности проводов и допустимых габаритов воздушных линий. СТО 56947007-29.240.55.143-2013. ОАО «ФСК ЕЭС». 2013. 42 с.
2. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Глава 2.5. Воздушные линии электропередачи напряжением выше 1 кВ (Издание седьмое). Приказ Минэнерго России от 20.05.2003 № 187. 109 с.
3. Бубенчиков А.А., Гиришин С.С., Петрова Е.В. Применение численных методов расчета тепловых полей для вычисления потерь энергии в электрических сетях с учетом температуры проводников // Омский научный вестник. 2008. № 1(64). С. 84-87.
4. Анализ распределения температуры по сечению самонесущих изолированных проводов / А. А. Бубенчиков [и др.] // Омский научный вестник. 2009.-№3(83). С. 171-175.
5. Войтов Д.Н., Попова Е.В. Алгоритм учета температуры провода при расчете поточкораспределения в электрической сети // Электричество. 2010. № 9. С. 24-30.
6. Фигурнов Е.П., Жарков Ю.И., Петрова Т.Е. Уточненная методика расчета нагрева проводов воздушных линий электропередачи // Электрические станции. 2013. № 9. С. 54-59.
7. Guide for Thermal Rating Calculations of Overhead Lines. WG B2.43, Tech. Rep. 601. CIGRE, 2014. 95 p.
8. Mo Y., Zhou X., Wang Ya., Liang L. Study on operating status of overhead transmission lines based on wind speed variation. Progress In Electromagnetics Research M, 2017. Vol. 60. P. 111-120.

Акуличев Виталий Олегович, первый заместитель генерального директора, директор по развитию, Akulichev.VO@mrsk-1.ru, Россия, Калининград, ПАО «МРСК Центра и Приволжья».

Непомнящий Валерий Юрьевич, первый заместитель директора, главный инженер филиала «Тулэнерго», tulenergo@tl.mrsk-cp.ru, Россия, Тула, ПАО «МРСК Центра и Приволжья».

Дудин Андрей Дмитриевич, начальник отдела планирования технического развития, tulenergo@tl.mrsk-cp.ru, Россия, Тула, ПАО «МРСК Центра и Приволжья».

Висич Сергей Геннадьевич, ведущий инженер, Visich.SG@tl.mrsk-cp.ru, Россия, Тула, ПАО «МРСК Центра и Приволжья».

Степанов Владимир Михайлович, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой, energy@tsu.tula.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет.

Панарин Михаил Владимирович, канд. техн. наук, директор, pmv@ssoft24.com, Россия, Тула, ООО «СервисСофт Инжиниринг».

Маслова Анна Александровна, д-р техн. наук, доцент, anna_zuykova@rambler.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет

MATHEMATICAL MODEL FOR MEASURING CURRENT IN THE SYSTEM OF REMOTE DIAGNOSTICS OF OVERLINE WIRES

V.O. Akulichev, V.Y. Nepomniachtchi, A.D. Dudin, S.G. Visich, V.M. Stepanov, M.V. Panarin, A.A. Maslova

A mathematical model of the module for remote diagnostics of wires of overhead lines through the channel for measuring current in the wire, which is implemented on the module and on the server of the dispatching office of the power grid company, is considered. The module for remote diagnostics of the overhead line wire calculates in real time the modules of the amplitudes of the zero, first, third and fifth harmonics and the values of the short-circuit current fixation coefficients and generates warning signals about the possible manifestation of a short circuit on the overhead transmission line. The warning signal initiates the transmission of data on the occurrence of a short circuit from the intelligent diagnostics module of the overhead line wire to the dispatch center of the power grid company.

Key words: remote diagnostics, overhead power line, electric current, short-circuit current, measurement, control room.

Akulichev Vitaly Olegovich, first deputy general director, director for development, Akulichev.VO@mrsk-1.ru, Russia, Kaliningrad, IDGC of Center and Volga Region, PJSC,

Nepomnyashchy Valery Yurievich, first deputy director, chief engineer of the tulenergo branch, tulenergo@tl.mrsk-cp.ru, Russia, Tula, IDGC of Center and Volga Region, PJSC,

Dudin Andrey Dmitrievich, head of the planning department for technical development, tulenergo@tl.mrsk-cp.ru, Russia, Tula, IDGC of Center and Volga Region PJSC,

Visich Sergey Gennadievich, lead engineer, Visich.SG@tl.mrsk-cp.ru, Russia, Tula, IDGC of Center and Volga Region PJSC,

Stepanov Vladimir Mikhailovich, doctor of technical sciences, professor, head of chair, energy@tsu.tula.ru, Russia, Tula, Tula State University,

Panarin Mikhail Vladimirovich, candidate of technical sciences, director, pmv@ssoft24.com, Russia, Tula, LLC ServiceSoft Engineering

Maslova Anna Aleksandrovna, doctor of technical sciences, docent, anna_zuykova@rambler.ru, Russia, Tula, Tula State University

Активация Windows

Чтобы активировать Windows, перейд
компьютера.

<i>Юрков И.В.</i> Анализ процесса комбинированного выдавливания	564
<i>Шивцова А.В., Благочиннов Р.С.</i> Моделирование технологического процесса изготовления детали «горловина»	568
<i>Яковлев С.С.</i> Анализ методов получения деталей типа втулка	572
<i>Шивцова А.В., Благочиннов Р.С.</i> Моделирование процесса формообразования деталей с коническими элементами за один технологический переход	576
<i>Никшикин А.Е.</i> Влияние трения на нагрузку и износ инструмента при объемной штамповке	581
<i>Яковлев С.С.</i> Прокатка стали. Технологический процесс	584
<i>Пасько А.Н.</i> Полиномиальное интерполирование механических характеристик в конечно-элементных задачах пластического деформирования	587
<i>Шишкин Д.О., Петров П.А.</i> Разработка конечно-элементной модели технологии изготовления детали «переход эксцентрический»	591
СТАНДАРТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ	
<i>Москаева Е.В., Дмитриев А.Я.</i> Качество беспилотного летательного аппарата мультироторного типа	598

Научное издание

**ИЗВЕСТИЯ
ТУЛЬСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА**

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Выпуск 12

Редактор О.И. Борискин

Компьютерная правка и верстка – М.С. Шевков, Б.С. Яковлев

Учредитель:

ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»
300012, г. Тула, просп. Ленина, 92

Изд. лиц. ЛР № 020300 от 12.02.97
Подписано в печать 25.12.20. Дата выхода в свет 31.12.20.
Формат бумаги 70×100 1/8. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 99,45
Тираж 500 экз. Заказ 183
Цена свободная

Адрес редакции и издателя:
300012, г. Тула, просп. Ленина, 95

Отпечатано в Издательстве ТулГУ
300012, г. Тула, просп. Ленина, 95

Активация Windows
Чтобы активировать Windows, перейдите на сайт
компьютера.

