

вивалентной результирующей нагрузки станции и, соответственно, постоянство величины и частоты генерируемого напряжения микроГЭС при условии динамического автоматического регулирования балластной нагрузки активно-индуктивного характера. При изменении мощности полезной на-

грузки станции от 30 до 100 % погрешность стабилизации модуля эквивалентной нагрузки не превышает $\pm 1\%$, фазы – 7,8 %. Величина и соотношение активной и реактивной мощностей балластной нагрузки должно соответствовать номинальным параметрам полезной нагрузки микроГЭС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Энергетическое оборудование для использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии / под ред. В.И. Виссарионова. – М.: ВИЭН, 2004. – 448 с.
2. Карелин В.Я., Волшаник В.В. Сооружение и оборудование малых гидроэлектростанций. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 199 с.
3. Лукутин Б.В., Обухов С.Г., Шандарова Е.Б. Автономное электроснабжение от микрогидроэлектростанций. – Томск: СТТ, 2001. – 120 с.
4. Лукутин Б.В., Суржикова О.А., Шандарова Е.Б. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении. – М.: Энергоатомиздат, 2008. – 231 с.

Поступила 22.10.2010 г.

УДК 621.315.1

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПОГОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОТЯЖЕННОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕГИСТРАТОРОВ АВАРИЙНЫХ СИГНАЛОВ

Ю.В. Хрущев, Н.Л. Бацева, Л.В. Абрамочкина

Томский политехнический университет

E-mail: abr_lv@mail.ru

Представлены и апробированы алгоритмы идентификации погонных параметров протяженной воздушной линии электропередачи переменного тока. Алгоритмами предусматривается использование первичной информации в виде массивов мгновенных значений токов и напряжений по концам линии электропередачи, получаемой с помощью регистраторов аварийных сигналов. Получена высокая точность соответствия эталонных погонных параметров и погонных параметров, определенных по предложенным алгоритмам.

Ключевые слова:

Воздушная линия электропередачи, место повреждения, погонные параметры, регистратор аварийных сигналов, схема замещения, волновые параметры, четырехполюсник, обобщенные постоянные.

Key words:

Overhead transmission line, fault location, long-line attenuation parameters, recording system of emergency signals, equivalent circuit, wave parameters, the two-port network, constant distribution.

Воздушная линия электропередачи – устройство для передачи электроэнергии по проводам, расположенным на открытом воздухе и прикрепленным с помощью изолирующей конструкции и арматуры к опорам [1]. К протяженным воздушным линиям относят линии длиной более 300 км, как правило, номинальным напряжением 330 кВ и выше.

Особенностью моделирования протяженных линий электропередачи является необходимость учета распределенности их параметров [2]. Эта особенность находит свое отражение в задаче идентификации погонных параметров, используемых при построении математических моделей линий для решения проектных и эксплуатационных задач.

Важной эксплуатационной задачей электроэнергетических систем является обеспечение быстрого и точного определения мест повреждения

(ОМП) на линиях электропередачи с целью проведения ремонтно-восстановительных работ. Известно несколько алгоритмов решения этой задачи. В некоторых из них, в частности, в дистанционных алгоритмах ОМП на воздушных линиях по параметрам аварийного режима используются погонные параметры линии, а именно: r_0 , x_0 – погонные активное и реактивное сопротивления, Ом/км; g_0 , b_0 – погонные активная и реактивная проводимости, 1/(Ом·км) [3].

От точности учета погонных параметров зависит точность определения мест повреждения. Погрешность учета погонных параметров возникает из-за влияния температуры, проводимости грунта, токовой нагрузки, наличия врезок, а также из-за неточности учета среднегеометрического расстояния между проводами фаз. В настоящее время в практике проведения электрических расчетов и при ОМП на линиях электропередачи влияние

этих факторов учитывается приближенно, поскольку при формировании схем замещения линий используются усредненные справочные данные о величинах погонных параметров. Необходимость уточнения параметров схем замещения элементов электрических сетей, в том числе и линий электропередачи, неоднократно отмечалась в технической литературе [4–8].

Используемые ранее алгоритмы идентификации параметров схем замещения линий электропередачи [6–8] базируются на информации, получаемой с помощью регистраторов аварийных сигналов. Регистраторы позволяют измерять и записывать достаточную для этих алгоритмов информацию в виде массивов мгновенных значений (ММЗ) токов и напряжений по концам линии электропередачи, представленной в виде элементов с сосредоточенными параметрами.

Рассмотрим возможности построения новых алгоритмов определения погонных параметров протяженной линии электропередачи на основе ММЗ токов и напряжений. Для этого представим ее схемой симметричного четырехполюсника и эквивалентной симметричной П-образной схемой замещения (рис. 1) [2].

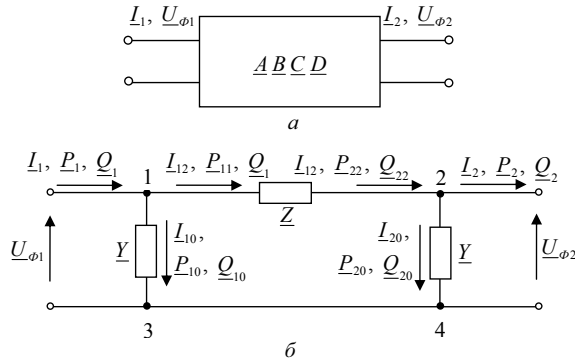


Рис. 1. Схемы замещения линии электропередачи: а) четырёхполюсник; б) П-образная

Пассивный четырехполюсник (рис. 1, а) характеризуется обобщенными коэффициентами A, B, C, D , определяемыми через погонные параметры. Для протяженных линий электропередачи длиной l эти коэффициенты имеют вид гиперболических зависимостей [2]:

$$C = \frac{1}{Z_B} \operatorname{sh}(\gamma_0 l),$$

где $Z_B = \sqrt{\frac{r_0 + jx_0}{g_0 + jb_0}} = \sqrt{\frac{z_0}{y_0}}$ – волновое сопротивление;

$\gamma_0 = \sqrt{(r_0 + jx_0)(g_0 + jb_0)} = \sqrt{z_0 y_0}$ – коэффициент распространения электромагнитной волны по линии.

Взаимозависимость между волновыми параметрами Z_B, γ_0 и погонными параметрами линии позволяет определять последние через постоянные A, B, C четырехполюсника. Соответствующие расчетные формулы имеют вид:

$$Z_B = \sqrt{B/C}; \quad (1)$$

$$\gamma_0 = \frac{1}{l} \left(\operatorname{arth} \frac{\operatorname{Re}(\sqrt{BC})}{\operatorname{Re}(A)} + j \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{Im}(A)}{\operatorname{Re}(\sqrt{BC})} \right); \quad (2)$$

$$z_0 = r_0 + jx_0 = \gamma_0 Z_B; \quad (3)$$

$$y_0 = g_0 + jb_0 = \gamma_0 / Z_B. \quad (4)$$

Как следует из выражений (1)–(4), для вычисления волновых и, соответственно, погонных параметров линии электропередачи необходимо вначале определить постоянные A, B, C замещающего четырехполюсника. Возможны два способа определения этих постоянных.

В первом из них используются вычисленные по ММЗ векторные значения токов I_1, I_2 и фазных напряжений $U_{\phi 1}, U_{\phi 2}$ [9]. Эти значения рассматриваются как постоянные коэффициенты в основных уравнениях четырехполюсника, записанных относительно начала и конца линии электропередачи [2]:

$$\begin{cases} U_{\phi 1} = AU_{\phi 2} + BI_2; \\ I_1 = CU_{\phi 2} + DI_2; \\ U_{\phi 2} = DU_{\phi 1} - BI_1; \\ I_2 = -CU_{\phi 1} + AI_1. \end{cases} \quad (5)$$

Искомые параметрами в уравнениях (5) являются постоянные A, B, C, D четырехполюсника. Поскольку

$$A = D, \quad (6)$$

то для решения задачи можно ограничиться тремя любыми уравнениями из группы (5).

Примем для определенности во внимание три первых уравнения из (5) и с учетом равенства (6) составим требуемую систему уравнений:

$$\begin{bmatrix} U_{\phi 2} & I_2 & 0 \\ I_2 & 0 & U_{\phi 2} \\ U_{\phi 1} & -I_1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_{\phi 1} \\ I_1 \\ U_{\phi 2} \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Решение системы (7) приводит к выражениям:

$$A = \frac{U_{\phi 2}^2 I_2 + U_{\phi 1} U_{\phi 2} I_1}{U_{\phi 2}^2 I_1 + U_{\phi 1} U_{\phi 2} I_2}; \quad (8)$$

$$B = \frac{U_{\phi 1} U_{\phi 2} - U_{\phi 2}^3}{U_{\phi 2}^2 I_1 + U_{\phi 1} U_{\phi 2} I_2}; \quad (9)$$

$$C = \frac{U_{\phi 2} I_1^2 - U_{\phi 2} I_2^2}{U_{\phi 2}^2 I_1 + U_{\phi 1} U_{\phi 2} I_2}. \quad (10)$$

Во втором способе используется эквивалентная четырехполюснику промежуточная симметричная П-образная схема замещения (рис. 1, б), включающая продольное сопротивление $Z = R + jX$ и две равные поперечные проводимости $Y = G + jB$. Здесь R, G – вещественные (активные), а X, B – мнимые (реактивные) составляющие комплексных параметров ветвей схемы.

Постоянные A , B , C , D симметричного четырехполюсника определяются через параметры П-образной схемы замещения по формулам перехода [2]:

$$A = D = 1 + 0,5YZ; \quad B = Z; \quad C = Y(1 + 0,25YZ). \quad (11)$$

При определении параметров промежуточной П-образной схемы замещения не требуется вычисление векторных значений токов и напряжений по концам линии электропередачи. На основе ММЗ вычисляются лишь абсолютные значения этих величин.

В основе алгоритма вычислений параметров П-образной схемы замещения используется очевидное равенство:

$$I_{12} = I_1 - U_{\phi 1} Y = I_2 + U_{\phi 2} Y,$$

из которого следует:

$$Y = \frac{I_1 - I_2}{U_{\phi 1} + U_{\phi 2}} = \frac{I_{\Delta 12}}{U_{\phi \Sigma 12}}. \quad (12)$$

Формуле (12), являющейся одной из реализаций закона Ома, ставится в соответствие условная схема замещения, содержащая проводимость Y , рис. 2.

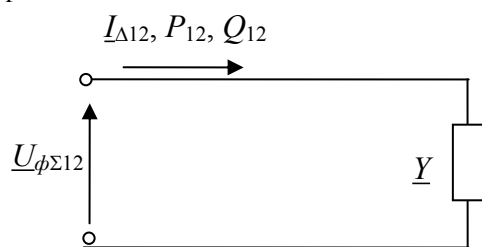


Рис. 2. Условная схема замещения с проводимостью Y

Напряжение $U_{\phi \Sigma 12}$ и ток $I_{\Delta 12}$ в этой схеме определяются по математическим соотношениям в форме ММЗ [10].

Алгоритмы определения погонных параметров протяженной линии по первому и второму способам приведены в Приложении.

Преимуществами второго способа определения комплексных постоянных четырехполюсника является более полное использование первичных данных в форме ММЗ и отсутствие процедур вычисления векторных значений токов и напряжений по концам линии электропередачи. Однако эти преимущества не являются решающими для выбора этого способа при решении всех задач, связанных с ОМП. Необходимы дополнительные сравнительные исследования при решении конкретных задач.

Алгоритмы определения погонных параметров протяженной воздушной линии электропередачи были апробированы на примере одноцепной воздушной линии номинальным напряжением 500 кВ, протяженностью 600 км, выполненной с расщеплением фазы на три провода марки АС500/64. Расстояние между центрами расщеплен-

ных фаз по горизонтали — 12 м. Расщепленные провода расположены по вершинам равностороннего треугольника со стороной — 40 см, диаметр провода — 30,2 мм. Линия питает нагрузку $S_2 = 600 + j250$ МВА. Погонные параметры линии представлены в табл. 1.

Таблица 1. Погонные параметры линии

L , км	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	g_0 , 10^{-9} См/км	b_0 , 10^{-6} См/км
600	0,022	0,301	7,333	3,694

В результате расчета были получены ММЗ токов и напряжений в начале и конце линии с шагом дискретизации $\Delta t = 0,1$ мс, с использованием которых производились расчеты по первому и второму алгоритмам. Результаты расчетов представлены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты расчетов по алгоритмам 1 и 2

Параметр	Алгоритм 1	Алгоритм 2
A	$0,807 + j0,014$	$0,806 + j0,014$
B , Ом	$11,295 + j168,747$	$11,299 + j168,775$
C , См	$-6,394 \cdot 10^{-6} + j2,072 \cdot 10^{-3}$	$-6,402 \cdot 10^{-6} + j2,072 \cdot 10^{-3}$
D	$0,807 + j0,014$	$0,806 + j0,014$
Z_b , Ом	$285,544 - j9,987$	$285,549 - j9,989$
Y_0	$3,9 \cdot 10^{-5} + j1,055 \cdot 10^{-3}$	$3,9 \cdot 10^{-5} + j1,055 \cdot 10^{-3}$
r_0 , Ом/км	0,022	0,022
x_0 , Ом/км	0,301	0,301
g_0 , 10^{-9} См/км	7,333	7,332
b_0 , 10^{-6} См/км	3,694	3,695

Эталонные погонные параметры линии, табл. 1, и погонные параметры, определенные по первому и второму алгоритмам, табл. 2, совпадают, что подтверждает работоспособность алгоритмов.

Выводы

1. На основе уравнений длинной линии с использованием регистраторов аварийных сигналов апробированы алгоритмы идентификации погонных параметров протяженной линии электропередачи с распределенными параметрами.
2. Промежуточным этапом решения задачи является определение обобщенных постоянных замещающего четырехполюсника через векторные значения токов и напряжений по концам линии или по параметрам эквивалентной П-образной схемы замещения. Постоянные четырехполюсника определяют из условий конкретной задачи.
3. Получена высокая точность соответствия погонных параметров, определенных по представленным алгоритмам, и эталонных погонных параметров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила устройства электроустановок. 7-е изд. – СПб.: Изд-во «ДЕАН», 2008. – 704 с.
2. Рыжов Ю.П. Дальние электропередачи сверхвысокого напряжения. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 488 с.
3. Аржанников Е.А., Чухин А.М. Методы и приборы определения места короткого замыкания на линиях. – Иваново: Ивановский гос. энергетич. ун-т, 1998. – 74 с.
4. Гольдштейн Е.И., Бацева Н.Л., Джумик Д.В., Усов Ю.П. Диагностирование электротехнических цепей. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 152 с.
5. Аврамчук В.С., Бацева Н.Л., Гольдштейн Е.И., Исаченко И.Н., Ли Д.В., Сулайманов А.О., Цалко И.В. Функциональный контроль и диагностика электротехнических и электромеханических систем и устройств по цифровым отсчетам мгновенных значений тока и напряжения. – Томск: Печатная мануфактура, 2003. – 240 с.
6. Мурзин П.В., Суворов А.А. Алгоритмы формирования параметров электрического режима в адаптивной модели ЛЭП // Вестник УГТУ-УПИ. Энергосистема: управление, качество, конкуренция. – 2004. – № 12. – С. 424–428.
7. Алюнов А.Н. Идентификация параметров схем замещения электрических систем по данным регистраторов аварийных процессов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – СПб., 2004. – 16 с.
8. Гольдштейн Е.И., Абрамочкина Л.В. Идентификация электромагнитных параметров элементов электрических сетей с использованием регистраторов электрических процессов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 44 с.
9. Способ определения сдвига фаз между двумя синусоидальными сигналами: пат. 2242014 Рос. Федерация. № 2003138149; заявл. 31.03.03; опубл. 10.12.04; Бюл. № 30. – 17 с.
10. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. – М.: Высшая школа, 1996. – 638 с.

Поступила 25.10.2010 г.

Приложение

В качестве исходных данных для вычисления волновых и погонных параметров линии используют ММЗ токов и фазных напряжений в начале и конце линии $i_1(t_j)$, $u_{\phi 1}(t_j)$, $i_2(t_j)$, $u_{\phi 2}(t_j)$, получаемые с помощью регистраторов аварийных сигналов при количестве отсчетов на периоде основной частоты.

Алгоритм 1

- 1) Вычисляют значения токов и напряжений в векторной форме с использованием обобщенных векторов:

$$\underline{F}_1 = \sqrt{2} F_1 e^{j\varphi_1}; \quad \underline{F}_2 = \sqrt{2} F_2 e^{j\varphi_2}.$$

Процедура включает вычисление действующих значений параметров

$$F_1 = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N f_1^2(t_j)}; \quad F_2 = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N f_2^2(t_j)}$$

и фазовых углов между векторами

$$\varphi_{12} = \arccos \left(\frac{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (f_1(t_j) \cdot f_2(t_j))}{F_1 \cdot F_2} \right),$$

при этом ось отсчета фазовых углов можно совместить с любым из рассматриваемых векторов;

- 2) определяют обобщенные постоянные четырехполюсника по формулам (8)–(10);
- 3) вычисляют волновые и погонные параметры линии по формулам (1–4).

Алгоритм 2

- 1) Находят ММЗ напряжения $u_{\Sigma 12}(t_j)$ и тока $i_{\Delta 12}(t_j)$ в ветви с проводимостью $\underline{Y}$ (рис. 1, б):

$$u_{\Sigma 12}(t_j) \Big|_{j=1}^N = u_{\phi 1}(t_j) \Big|_{j=1}^N + u_{\phi 2}(t_j) \Big|_{j=1}^N;$$

$$i_{\Delta 12}(t_j) \Big|_{j=1}^N = i_1(t_j) \Big|_{j=1}^N - i_2(t_j) \Big|_{j=1}^N;$$

- 2) вычисляют действующее значение тока (рис. 2):

$$I_{\Delta 12} = \left[\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N i_{\Delta 12}^2(t_j) \right]_{j=1}^N{}^{0.5};$$

- 3) определяют активную P_{12} и реактивную Q_{12} мощности в ветви с проводимостью $\underline{Y}$:

$$P_{12} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N p_{12}(t_j) \Big|_{j=1}^N = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (i_{\Delta 12}(t_j) u_{\Sigma 12}(t_j)) \Big|_{j=1}^N;$$

$$Q_{12} = \frac{1}{4\pi} \sum_{j=1}^N [u_{\Sigma 12}(t_j) - u_{\Sigma 12}(t_{j+1})] \times$$

$$\times [i_{\Delta 12}(t_j) + i_{\Delta 12}(t_{j+1})] \Big|_{j=1}^N;$$

- 4) находят параметры поперечной ветви схемы замещения:

$$\underline{Y} = G + jB = \frac{I_{\Delta 12}^2}{P_{12} + jQ_{12}};$$

- 5) находят потери мощностей в поперечных ветвях П-образной схемы замещения (рис. 1, б):

$$\Delta S_{10} = \Delta P_{10} + j\Delta Q_{10} = \underline{S}_{12} \frac{U_{\phi 1}^2}{U_{\Sigma 12}^2};$$

$$\Delta S_{20} = \Delta P_{20} + j\Delta Q_{20} = \underline{S}_{12} \frac{U_{\phi 2}^2}{U_{\phi \Sigma 12}^2},$$

где $\underline{U}_{\phi 1}$, $\underline{U}_{\phi 2}$, $\underline{U}_{\phi \Sigma 12}$ – действующие значения фазных напряжений.

- 6) находят потоки мощностей со стороны узлов 1 и 2 П-образной схемы замещения:

$$P_1 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N p_1(t_j) \Big|_{j=1}^N = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (i_1(t_j) u_1(t_j)) \Big|_{j=1}^N;$$

$$Q_1 = \frac{1}{4\pi} \sum_{j=1}^N [u_1(t_j) - u_1(t_{j+1})] [i_1(t_j) + i_1(t_{j+1})] \Big|_{j=1}^N;$$

$$P_2 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N p_2(t_j) \Big|_{j=1}^N = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (i_2(t_j) u_2(t_j)) \Big|_{j=1}^N;$$

$$Q_2 = \frac{1}{4\pi} \sum_{j=1}^N [u_2(t_j) - u_2(t_{j+1})] [i_2(t_j) + i_2(t_{j+1})] \Big|_{j=1}^N;$$

- 7) определяют потери мощностей и квадрат потерь напряжения на сопротивлении $\underline{Z}$:

$$\begin{aligned}\Delta P_{12} &= P_1 - \Delta P_{10} - P_2 - \Delta P_{20}; \\ \Delta Q_{12} &= Q_1 - \Delta Q_{10} - Q_2 - \Delta Q_{20}; \\ U_{\phi 12}^2 &= \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N u_{12}^2(t_j) \Big|_{j=1}^N = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (u_1(t_j) - u_2(t_j))^2 \Big|_{j=1}^N;\end{aligned}$$

- 8) вычисляют параметры продольной ветви схемы замещения:

$$\underline{Z} = R + jX = \frac{U_{\phi 12}^2}{P_{12} - jQ_{12}};$$

- 9) находят обобщенные постоянные четырехполюсника по формулам (11);
10) вычисляют волновые и погонные параметры линии по формулам (1–4).

УДК 621.311.2

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТОКА В НЕЙТРАЛИ ТРАНСФОРМАТОРА В ПЕРИОД ГЕОМАГНИТНЫХ БУРЬ

Г.Н. Чистяков, С.Н. Сигаев

ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск
E-mail: chist2@yandex.ru

Представлены основные результаты статистической обработки данных о нарушениях работы электрооборудования электроэнергетической системы ОАО «Хакасэнерго» с учетом данных о состоянии геомагнитного поля. Приведены данные о результатах экспериментальных исследований в нейтрали трансформатора ТРДН-32000/110, установленного в ОРУ-110 кВ Абаканской ТЭЦ (ТГК-13), проведенные в период повышенной геомагнитной активности и в период спокойного состояния геомагнитного поля. Установлена зависимость отказов оборудования под действием вариаций геомагнитного поля в период геомагнитных бурь.

Ключевые слова:

Геоиндуцированный ток, геомагнитное поле, ток в нейтрали трансформатора, вариация.

Key words:

The geinduced current, geomagnetic field, the current in the neutral of the transformer, the variation.

При всем многообразии причин, вызывающих перенапряжения в системах электроснабжения, их принято делить на две группы: внутренние и внешние перенапряжения. К последним, до недавнего времени, относили только грозовые перенапряжения. Однако, на основании исследований, выполненных в последние годы, к ним следует отнести также перенапряжения, обусловленные протеканием в электрических сетях геоиндуцированных токов. Естественным источником этих токов являются мировые геомагнитные бури, периодически возникающие на Земле в результате солнечной активности. Соответственно, наиболее часто и с высокой интенсивностью эти возмущения наблюдаются в так называемой авроральной зоне — полосе широт от 60 до 70°. По результатам мониторинга, величины геоиндуцированных токов в электрических сетях 330 кВ для таких широт лежат в интервале 2...7 А, а их редкие кратковременные всплески могут достигать 15...25 А [1].

Повторяемость геомагнитных бурь зависит от фазы 11-летнего цикла солнечной активности и, чаще всего, наблюдается спустя 3–4 года после прохождения ее максимума. Скорость нарастания токов электроджетов составляет у мощных геомагнитных бурь до 400 А/с, а магнитных вариаций до 500 нТл/мин. В этот период активность излуче-

ния Солнца может возникать такой силы, которая вносит перебои в работу спутников на орбите, мешает работе сотовой связи, влияет на электромагнитную обстановку и надежность в системах электроснабжения. В настоящее время активность Солнца, несмотря на новый 11-летний цикл активности, минимальна, но возможно, что после нескольких лет чрезвычайно низкой солнечной активности и отсутствия сильных вспышек, Солнце вновь начнет набирать силу и увеличивать активность.

Электромагнитная обстановка в системах электроснабжения определяется проницаемостью электромагнитных полей в любую точку пространства и взаимным превращением кондуктивной помехи в индуктивную и наоборот. В один и тот же момент времени на систему электроснабжения воздействуют поля различных источников и электромагнитные помехи, в том числе и геомагнитные возмущения. Электромагнитные помехи оказывают существенное влияние на нормальную работу энергосистем, что может привести к ухудшению их работы, сбоям, выходу из строя и развитию аварий с причинением вреда здоровью и жизни людей.

Известно, что протекание по обмоткам силовых трансформаторов и трансформаторов тока квазипостоянных геомагнитных токов, амплитуды