

граммном уровне в приборе ДО-1, представленном на рис. 3. Методически прибор ДО-1 позволяет проводить визуальное сравнение

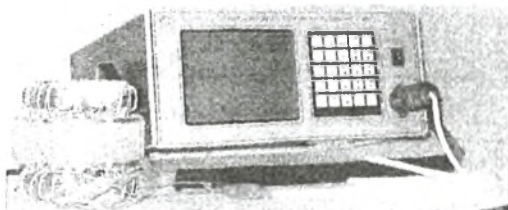


Рисунок 3. Прибор для диагностики обмоток электрооборудования ДО – 1

и анализ кривых затухающих колебаний в испытуемых обмотках с эталонными, записанными в память прибора, а также их разностных сигналов. При этом на табло могут отображаться численные значения основных параметров затухающих колебаний и разностного сигнала, в том числе в области максимальной чувствительности переходных процессов к влиянию КЗК. Все это существенно повышает чувствительность и информативность прибора.

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ В ВЕРТИКАЛЬНОМ ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ ЗАЗЕМЛИТЕЛЕ

Герасимович Д.А., Дерюгина Е.А.

УО Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Заземляющие устройства являются неотъемлемой частью электроэнергетических систем, влияющие на надежность их работы и на безопасность обслуживающего персонала [1]. Заземление выполняет значительное число функций, основными из которых являются отвод токов короткого замыкания в землю и снижение уровня потенциалов на корпусах электрооборудования до безопасных значений.

Большинство предлагаемых методов и моделей расчета заземляющих устройств электроустановок основывается на модели потенциала постоянного тока

и сводятся к расчету активного сопротивления заземляющего устройства [2, 3]. В реальных условиях в заземляющих устройствах протекают переменные токи промышленной частоты и импульсные токи, вызванные разрядами молний.

Для учета отмеченных факторов расчет электромагнитного поля уединенного вертикального стержневого заземлителя при протекании переменного тока промышленной частоты основан на системе уравнений Максвелла. Расчет электромагнитных параметров поля рассматривается на модели, которая состоит из самого стержневого заземлителя, переходного слоя растекания тока между землей и заземлителем и собственно земли. Каждому слою присущи свои электрические проводимости и магнитные проницаемости.

Электромагнитное состояние в каждом рассматриваемом слое описывается системой уравнений [4]:

$$\operatorname{rot} \vec{H}_i = \vec{\sigma}_i; \operatorname{rot} \vec{E}_i = -\frac{\partial \vec{B}_i}{\partial t}; \operatorname{div} \vec{\sigma}_i = 0; \operatorname{div} \vec{B}_i = 0; \quad (1)$$

$$\vec{B}_i = \mu_i \vec{H}_i; \vec{\sigma}_i = \gamma_i \vec{E}_i; \vec{D}_i = \varepsilon_i \vec{E}_i,$$

где $\vec{H}_i$ и $\vec{E}_i$ – векторы напряженности магнитного и электрического полей; $\vec{\sigma}_i$ – вектор плотности тока; $\vec{B}_i$ – вектор индукции магнитного поля; $\vec{D}_i$ – вектор электрического смещения.

Дифференциальные уравнения поля для каждого слоя в установившемся режиме можно разрешить относительно любой из компонент поля (напряженности магнитного $\vec{H}$ или электрического $\vec{E}$ полей) [5]. С учетом отмеченного система уравнений (1) сводится к решению дифференциального уравнения:

$$\frac{\gamma_{ri}}{r} \frac{\partial \vec{\Phi}_{im}}{\partial r} + \gamma_{ri} \frac{\partial^2 \vec{\Phi}_{im}}{\partial r^2} + \gamma_{zi} \frac{\partial^2 \vec{\Phi}_{im}}{\partial z^2} - \alpha^2 \vec{\Phi}_{im} = 0; \alpha^2 = j\omega\gamma_{ri}\gamma_{zi}\mu_{\varphi i}, \quad (2)$$

где $\vec{\Phi}_{im}$ принимает значения векторов плотности тока или напряженностей электромагнитного поля ($i = 1, 2, 3$).

На основе решения уравнения (2) для рассматриваемой модели заземлителя получаем выражения в виде ряда для определения вертикальной $\vec{\sigma}_{imz}(r, z)$

и радиальной $\dot{\sigma}_{imr}(r, z)$ составляющих вектора плотности тока. Для определения граничных условий предварительно были установлены зависимости радиального и вертикального токов от соответствующих координат.

Полное решение уравнения (2) представили суммой его частного решения и решения уравнения невязки. В соответствии с отмеченным получили выражения распределения радиальной и вертикальной составляющих вектора плотности тока:

$$\dot{\sigma}_{imr}(r, z) = \dot{\sigma}_{*imr}(r, z) + \Delta\dot{\sigma}_{imr}(r, z);$$

$$\dot{\sigma}_{imz}(r, z) = \dot{\sigma}_{*imz}(r, z) + \Delta\dot{\sigma}_{imz}(r, z),$$

где $\dot{\sigma}_{*imr}(r, z)$ и $\dot{\sigma}_{*imz}(r, z)$ – частные решения уравнения (2) для радиальной и вертикальной составляющих плотности тока; $\Delta\dot{\sigma}_{imr}(r, z)$ и $\Delta\dot{\sigma}_{imz}(r, z)$ – величины плотности тока от невязки.

Частное решение уравнения (2) позволяет представить составляющие вектора плотности тока в каждом слое при использовании разложения в ряд Фурье следующими выражениями:

$$\dot{\sigma}_{*imr}(r, z) = \sum_{k=1}^{\infty} \dot{\sigma}_{imr}^k(0) \cdot e^{p_{ik}z} \cdot J_0\left(\lambda_k \frac{r}{R_3}\right);$$

$$\dot{\sigma}_{*imz}(r, z) = \gamma_{zi} \frac{h-z}{h} \dot{E}_{imz}^0(0) + \gamma_{zi} \sum_{k=1}^{\infty} \dot{E}_{imz}^k(r) \sin(k\omega_k z).$$

Величины плотности тока от невязки на границах раздела сред для радиальной и вертикальной составляющих вектора плотности тока определяются по следующим выражениям:

$$\Delta\dot{\sigma}_{imr}(r, z) = \sum_{k=1}^{\infty} \Delta\dot{\sigma}_{imr}^k(r) \cos(k\omega_{-}z);$$

$$\Delta\dot{\sigma}_{imz}(r, z) = \sum_{k=1}^{\infty} \Delta\dot{\sigma}_{imz}^k(0) e^{p'_{ik}z} J_0\left(\lambda_k \frac{r}{R_i - R_{i-1}}\right).$$

Полученные выражения позволяют проводить расчет распределения радиальной и вертикальной составляющих вектора плотности тока в каждом слое

модели и определять области растекания токов в заземлителе, а также активные и индуктивные параметры заземляющих устройств.

Таким образом, разработанный численный метод расчета электромагнитных параметров уединенного вертикального стержневого заземлителя может быть использованы для решения инженерных задач, связанных с проектированием и комплексной оценкой заземляющих устройств.

Литература

1. Правила устройства электроустановок. – М.: Энергоатомиздат, 1987.
2. Бургсдорф В.В., Якобс А.И. Заземляющие устройства электроустановок. – М.: Энергоатомиздат, 1987.
3. Рябкова Е.Я. Заземления в установках высокого напряжения. – М.: Энергия, 1978.
4. Тамм И.Е. Основы теории электричества. – 9-е изд. – М.: Наука, 1976.
5. Поливанов К.М. Теоретические основы электротехники. – Ч. 3. Теория электромагнитного поля. – М.: Энергия, 1969.

ОСОБЕННОСТИ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ АГРОГОРОДКОВ

Герасимович Л.С., ЧУП Институт современных знаний, г. Минск;
Шульга В.А., Могилевский облисполком, г. Могилев; Шестерень В.Е., УО Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск

В настоящее время в Беларуси осуществляется Программа возрождения и развития села. Одновременно, в связи с ухудшением энергоэкономической обстановки, пристальное внимание уделяется Программе энергобезопасности республики.

Приоритетное развитие получают новые комплексные аграрные образования – агрогородки со специфической компоновкой производственно-хозяйственных и социально-бытовых структур. Одним из главных требований агрогородков является энергоэкономичное, бесперебойное и качественное