

6. Обод І. І., Свид І. В. Порівняльний аналіз якості виявлення повітряних об'єктів запитальними системами спостереження: Тематичний збірник «Системи обробки інформації». Вип. 9 (90). Х.: видавництво ХУПС. 2010. С. 74-76.

7. Свид І. В. Показники якості інформаційного забезпечення користувачів сполученими системами спостереження повітряного простору. *Радіотехніка*: Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. Вип. 165. Х.: ХНУРЕ. 2011 С. 157–160.

**УДК 621.316.99**

*Стреляный А. А., Щербак О. Н., студенты*

*Научный руководитель: Барбашов И. В., к.т.н., профессор кафедры передачи электрической энергии*

*Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина*

## **ОЦЕНКА НЕЛИНЕЙНОСТИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТА И ИСКРО-ДУГОВЫХ ПРОЦЕССОВ В БЛИЗИ ЗАЗЕМЛИТЕЛЕЙ ПРИ ИМПУЛЬСНЫХ ТОКАХ И ТОКАХ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ**

Современная электроэнергетика – это мощный, сложный и разветвленный технологический комплекс, предназначенный для производства, передачи и распределения электрической энергии между промышленными, сельскохозяйственными и бытовыми потребителями.

Каждая из существующих и вновь сооружаемых электроустановок включает заземляющие устройства, которые служат для обеспечения их работы (рабочее заземление), электробезопасности людей и животных (защитное заземление), отвода в землю токов молний с молниевыводов и разрядников (молниезащитное заземление).

Издание в 1987 г. книги В. В. Бургдорфа и А. И. Якобса [1] подвело итог многолетних разработок по теории, методам расчета, проектированию, сооружению и эксплуатационному контролю заземляющих устройств.

Основными контролируемыми параметрами заземляющих устройств (ЗУ) являются сопротивление растеканию и напряжения прикосновения в определенных точках электроустановки для расчетных условий эксплуатации. Хотя контролируемые параметры должны определяться при расчетных воздействиях, во многих случаях требования к заземлителям предъявляются и контролируются в условиях резко отличных от реальных, с последующим приближенным приведением к расчетным условиям, определяемым токами молний и короткого замыкания (КЗ) на землю. Существующая практика проектирования ЗУ совсем не учитывает либо учитывает в ограниченном виде отличие их параметров по сравнению с результатами контрольных измерений известными методами. В то же время при нестационарных режимах (текущее тока молнии или КЗ) параметры заземлителя улучшаются по сравнению с результатами контрольных измерений, что следует использовать для

упрощения конструкции при обеспечении нормируемых параметров в расчетных режимах. Так стекание тока коротко замыкания на землю значением несколько килоампер с заземлений подстанций небольших размеров (закрытого исполнения и т. п.) может вызвать снижение на десятки процентов сопротивления растеканию и относительное выравнивание электрического поля на поверхности грунта, которое может исключить дополнительные мероприятия по обеспечению условий электробезопасности, необходимые при оценке напряжений прикосновения путем пропорционального пересчета результатов измерений при малых токах на расчетный ток КЗ.

Эксперименты с натурными заземлителями являются в большинстве случаев сложными технически и организационно. Применительно к заземлителям натурный эксперимент позволяет определить сопротивление растеканию осциллографированием напряжения (потенциала) на заземлителе и стекающего с него тока, а также распределение потенциала на поверхности грунта вблизи заземлителя.

Протекание тока в грунте приводит к изменению его параметров: удельной объемной проводимости  $\gamma$ , диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  и некоторого условного показателя пробивной напряженности грунта  $E_{\text{пр}}$ . Особые сложности имеет получение информации о нелинейных характеристиках грунта при больших плотностях токов для анализа нестационарных режимов заземлителей. В приближенном виде грунт представляется трехфазной системой, в которой между твердыми частицами находятся пленки электролита и газовые включения. При весьма малых плотностях (в единице объема грунта) стекающего тока его путь проходит главным образом по пленкам электролита. Рост тока вызывает заметный прогрев электролита и, соответственно, повышение его полной проводимости. Дальнейшее увеличение плотности тока способно создать в грунте напряженности электрического поля  $E$ , достаточные для возникновения частичных разрядов, то есть процессов ионизации газовых включений. Интенсивность ионизации возрастает по мере перехода формы разрядов в стримерную, а затем в лидерную или электрическую дугу.

Более подробное рассмотрение процессов, сопровождающих протекание тока в грунте, приводит к следующим выводам:

- при токах импульсной формы, имитирующих разряды молнии, вследствие кратковременности их протекания тепловые процессы, влияющие на проводимость грунта, оказываются второстепенными по сравнению с процессами электрических разрядов, в основном и определяющими характер зависимости  $\gamma = f(E)$ ;

- относительно длительные токи КЗ (продолжительностью до 0,5 с) достаточны для значительного прогрева электролита при слабо выраженным эффекте теплопередачи на твердую фазу грунта, что в конечном виде приводит к значительному увеличению электропроводности грунта при небольших изменениях общей температуры его объема, которая обычно измеряется техническими термометрами или датчиками температуры. Значительный прогрев проводящей фазы грунта также может вызвать ее разрушение, то есть

испарение, при общей температуре единицы объема грунта, значительно меньшей 100 °C.

Удовлетворительное по точности моделирование заземлителя в нестационарных режимах стекания с заземлителя импульсного тока и тока КЗ при существенном проявлении зависимости  $\gamma = f(E)$ , оказывается возможным при условии сходства относительных характеристик грунта модели и натуры. Создание для модели специального грунта, имеющего подобную натурному грунту нелинейную характеристику в поле тока, представляется для практического моделирования заземлителей проблематичным. Собственно нелинейная характеристика грунта сложно определяется большим числом различных факторов и наиболее реально находить ее экспериментальным путем. Размеры модели являются источником дополнительных погрешностей при размещении проводников в грунте и при выполнении измерений. При этом был сделан важный, с нашей точки зрения, вывод: погрешность или различие пересчитанных «на натуру» сопротивлений модели увеличивающихся масштабов плавно уменьшается, что делает возможным экстраполяцию нескольких результатов моделирования «на натуру».

Расчет параметров ЗУ в нестационарных режимах возможен в приближенном виде. Например, импульсном режиме приемлемым можно считать подход, включающий следующие позиции: 1) расчет по алгоритму [1], основанному на методе наведенных потенциалов, собственных и взаимных коэффициентов отдельных элементов ЗУ в стационарном режиме; 2) расчет вольт-амперных характеристик (ВАХ) отдельно взятых элементов ЗУ с учетом проявления нелинейных свойств грунта в импульсном режиме; 3) расчет в первом приближении ВАХ элементов ЗУ с учетом соответствующих собственных и взаимных коэффициентов (см. п. 1); нахождение распределения импульсного тока по отдельным элементам ЗУ; 4) определение по токам в элементах ЗУ (см. п. 3) их расчетных эквивалентов, состоящих из групп параллельных проводников определенной длины, и расчет во втором приближении собственных и взаимных коэффициентов отдельных элементов видоизмененного ЗУ. Далее операции по п. 3 и 4 повторяются. Число циклов (приближений) ограничивается заданием степени точности расчетов импульсного сопротивления ЗУ.

Расчет сложных заземлителей при стекании токов КЗ при относительно небольших искро-дуговых зонах, но значительных изменениях (росте) проводимости большого объема грунта, имеет свои особенности. В связи с этим, введение расчетных эквивалентов по указанной схеме будет недостаточно точно отражать процессы увеличения проводимости заземлителей в рассматриваемых режимах.

При расчетах сложных заземлителей весьма важным является вопрос об учете взаимовлияния отдельных элементов таких заземлителя в нелинейной проводящей среде (грунте). На уровне инженерных задач возможно представление отдельных элементарных заземлителей, окруженных зоной разрядов в грунте, системой тонких проводников, образующих некоторый эквивалент.

Список літератури

1. Бургсдорф В. В., Якобс А. И. Заземляющие устройства электроустановок. М.: Энергоатомиздат, 1987. 400 с.

**УДК 621.396.96**

*Ткач М. Г., аспірант*

*Науковий керівник: Свід І. В., к.т.н., доцент*

*Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків, Україна*

**ОПТИМІЗАЦІЯ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ СУМІСНИХ СИСТЕМ  
СПОСТЕРЕЖЕННЯ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ**

Основними елементами процедури контролю повітряного простору (ПП) є аналіз повітряної обстановки й прийняття рішень. Рішення приймає особа на основі аналізу, відповідним чином підготовленої інформації, про стан повітряної обстановки. Правильне рішення може бути прийнято лише тоді, коли є досить повна, точна, достовірна й безперервна інформація про повітряну обстановку в зоні управління. Отже, якість прийняття рішень визначаються якістю й складом інформації, на основі якої особа приймає рішення [1, 2].

Основним джерелом інформації про повітряну обстановку в системі контролю ПП є системи спостереження (СС), які розділяються на первинні та кооперативні [3–5]. При цьому слід зазначити, що основною є первинна СС. Інформація кооперативних СС використовується при формування формуляру повітряного об'єкту (ПО) на етапі первинної обробки інформації.

Широке використання інформаційних технологій (ІТ) з етапу первинної обробки інформації посилює задачу сумісної оптимізації обробки інформації на подальших етапах обробки і, як показано у [4], дозволяє сформувати структуру та ввести інтегральний показник якості (ІПЯ) інформаційного забезпечення (ІЗ) користувачів. Розглянемо можливість підвищення якості ІЗ за рахунок зміни структури обробки інформації кооперативних СС.

Як показано у [4], ІПЯ ІЗ при використанні ІТ з етапу первинної обробки інформації може бути ймовірність ІЗ, який може бути записаний як

$$P_{\text{inf}} = D_{11}, D_{12}, P_{\text{per}}, P_{\text{obe}}, P_{\text{por}},$$

де  $D_{1i}$  - імовірності правильного виявлення ПО кожною СС,  $P_{\text{per}}$  - імовірність правильної передачі польотних інформації кооперативною СС,  $P_{\text{obe}}$  - імовірність об'єднання координатної та польотної інформації кооперативної СС,  $P_{\text{por}}$  - імовірність порівняння координатної інформації первинної та кооперативної СС.

Імовірності правильного виявлення ПО кожним каналом сумісної СС є функціями

$$D_{1i} = f(D_{0i}, F_{0i}, C_i, P_0) = f(q_{0i}, z_{0i}, C_i, P_0),$$