

Б.Г. НАБОКА, д-р.техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»
А.П. ГОКОВ, аспирант, НТУ «ХПИ»

ВЛИЯНИЕ ЧАСТОТЫ И ФОРМЫ ЗОНДИРУЮЩЕГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЕГО СИЛОВЫХ ЛИНИЙ В ОБРАЗЦЕ КАБЕЛЯ АВВГ

Зроблено аналіз впливу частоти та форми зондуючого електричного поля на розподіл його силових ліній для зразка кабелю АВВГ.

The analyze of influence of electrical field force frequency and shape on distribution of it's force lines for sample of cable type of AVVG has been made.

Введение. Диагностика состояния кабельных изделий, на сегодняшний день, является очень актуальной задачей. Вместе с тем эта задача является более многогранной, чем кажется на первый взгляд. Так, показателями качества изделий являются не только состояние изоляции жил кабелей, но и состояние внешней оболочки кабеля, наличие загрязнения под внешней оболочкой, между жилами кабелей и многое другое.

В последнее время, многие авторы уделяют огромное внимание вопросу распределения силовых линий зондирующего электрического поля. Было построено ряд моделей, объясняющих механизмы, происходящие в пределах кабеля. Так в [1] показано, что электромагнитное поле может выходить даже за пределы экранирующих оболочек кабеля. Однако на сегодняшний день нет единой четкой модели распределения силовых линий зондирующего электрического поля.

Цель работы – исследование влияния частоты и формы зондирующего электрического поля образца кабеля АВВГ на распределение его силовых линий в пространстве.

Объект исследования – зондирующее электрическое поле.

Модель исследования – система линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), описывающих распределение силовых линий зондирующего электрического поля в пространстве. В модели учитывались: точки на границе жил проводников и их изоляции, поверхности изоляции фаз, внутренняя и внешняя поверхности оболочки.

Как известно [2], на границе раздела двух сред происходит преломление векторов напряженности электрического поля. Для удобства расчетов, вектора раскладывают на две составляющих: тангенциальную – направленную вдоль границы раздела сред и нормальную – перпендикулярную границе раздела. Причем эти составляющие вектора напряженности ведут себя по-разному в точке преломления. Тангенциальная

составляющая при переходе из одной среды в другую не изменят своего численного значения. Что же касается нормальной составляющей, то закон ее изменения можно выразить следующим соотношением:

$$\frac{E_{1n}}{E_{2n}} = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}, \quad (1)$$

где E_{1n} , E_{2n} – соответственно нормальные составляющие напряженности электрического поля в первой и второй средах, ε_1 , ε_2 – соответственно диэлектрические проницаемости сред 1 и 2.

Таким образом, очевидно, что изменение величины напряженности электрического поля при переходе из одной среды в другую происходит только за счет ее нормальной составляющей.

На постоянном токе соотношение (1) выглядит следующим образом:

$$\frac{E_{1n}}{E_{2n}} = \frac{\gamma_2}{\gamma_1}, \quad (2)$$

где γ_1 , γ_2 – соответствующие проводимости сред 1 и 2.

Численно соотношения (1) и (2) различны. Если отношения диэлектрических проницаемостей находится в пределах десятка единиц, то отношение проводимостей сред проводника и изоляции, по крайней мере, на порядок выше.

Были проведены исследования распределения напряженности электрического поля для дипольного и квадрупольного случаев, было оценено влияние увлажнения внешней оболочки кабеля на распределение силовых линий зондирующего электрического поля. Для случая постоянного тока были сняты кривые восстанавливающегося напряжения образца кабеля АВВГ 4×16-0,4 кВ в исходном состоянии и после увлажнения поверхности защитной оболочки. Результаты исследований отображены на рис. 1-6.

Как видно из рис. 1, наибольшая интенсивность силовых линий электрического поля наблюдается в зоне, которая расположена на поверхности изоляции жил в промежутке напротив жил, которые находятся под разными потенциалами. Повышение напряженности электрического поля обнаруживается также на поверхности оболочки поясной изоляции напротив всех жил кабеля. Таким образом, концентрация силовых линий магнитного поля повышается в зонах в середине кабеля между жилами с разным потенциалом и снаружи – напротив жил кабеля.

Как видно из рис. 2, наибольшая интенсивность силовых линий электрического поля расположена на поверхности изоляции жил, которая обращена к центру кабеля. Повышение напряженности электрического поля обнаруживается также на поверхности оболочки поясной изоляции напротив всех жил кабеля.

Из рис. 1 и 2 видно, что в случае квадрупольного распределения потенциала по жилам кабеля наибольшая концентрация силовых линий электрического поля наблюдается в середине кабеля. В случае дипольного

распределения потенциала повышение концентрации силовых линий электрического поля смещается ближе к внешней оболочке кабеля. Приведенные данные хорошо коррелируют с результатами, полученными в [3].

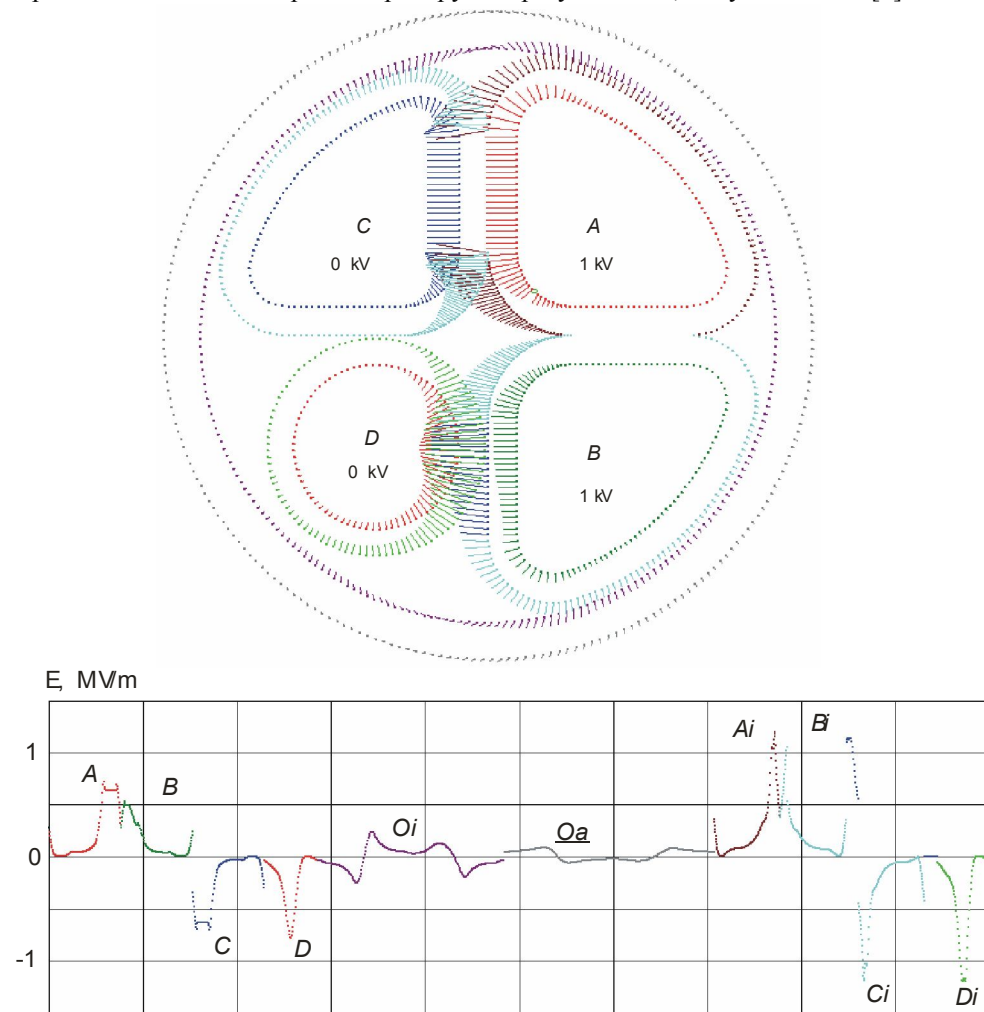


Рис 1 - Дипольное распределение потенциала.
Порядок расположения узлов: фазы А, В, С, D; затем внутренняя и внешняя поверхности оболочки; затем поверхности изоляции фаз

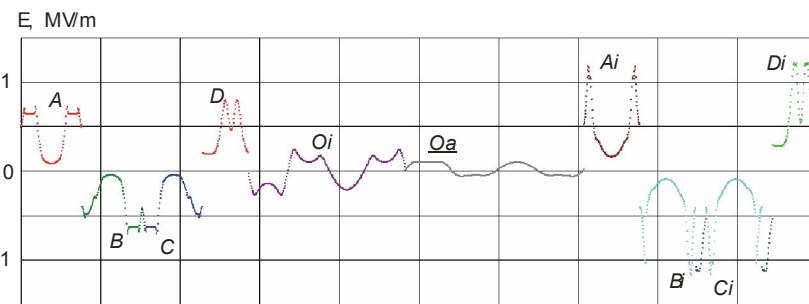
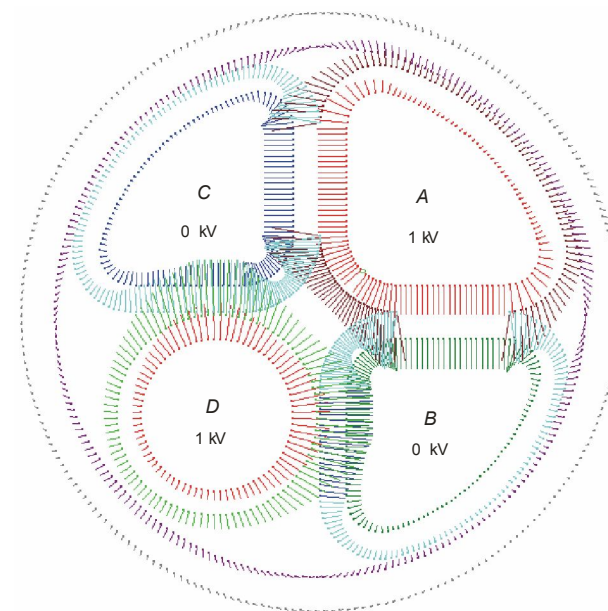


Рис 2 - Квадрупольное распределение потенциала.
Порядок расположения узлов: фазы А, В, С, D; затем внутренняя и внешняя поверхности оболочки; затем поверхности изоляции фаз

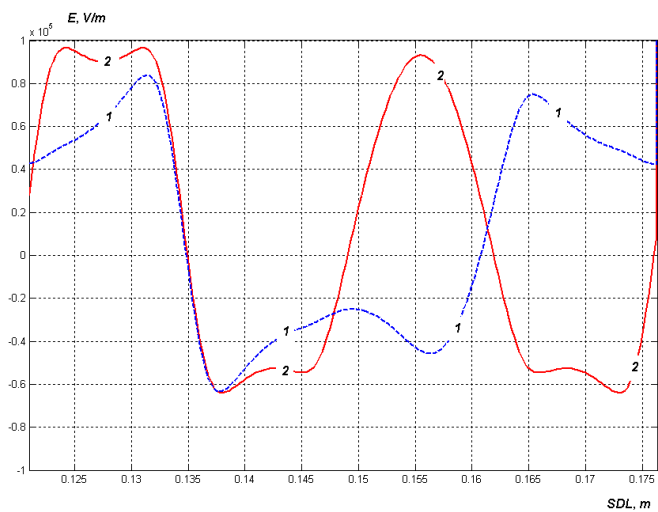
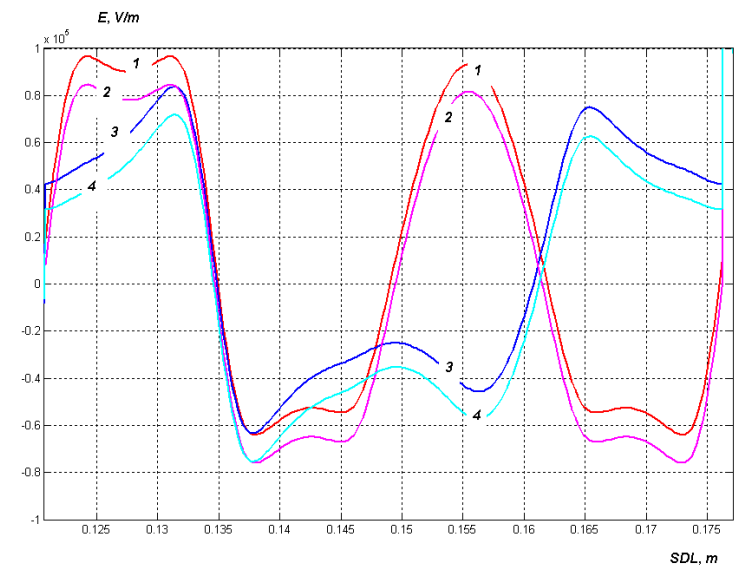
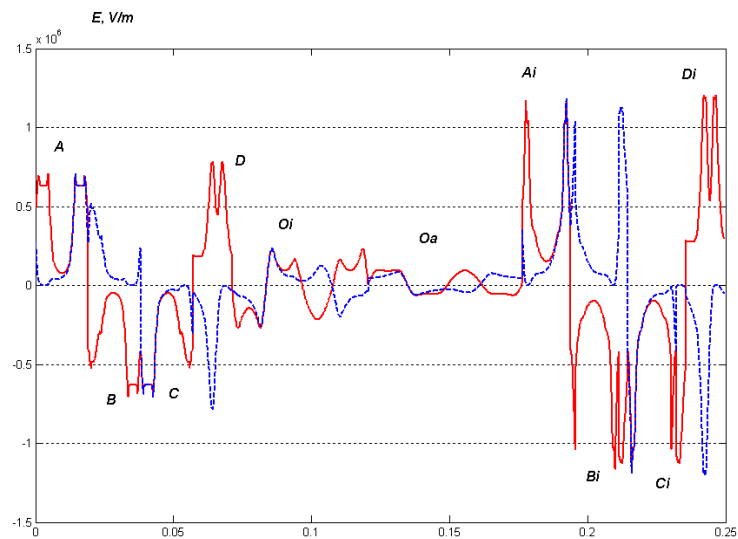


Рис 3 - Распределение напряженности поля на поверхности оболочки кабеля АПВГ 3×25+1×16 при дипольном (1) и квадрупольном (2) распределении потенциала:

$$Q_a = 1.59E-0007 \quad Q_b = -1.27E-0007 \quad Q_c = -1.27E-0007 \quad Q_d = 1.23E-0007$$

$$Q_a + Q_d = 28,2 \cdot 10^{-8} \text{ Кл/м}; \quad Q_b + Q_c = -25,4 \cdot 10^{-8} \text{ Кл/м.}$$

$$Q_a = 8.36E-0008 \quad Q_b = 5.691E-0008 \quad Q_c = -8.32E-0008 \quad Q_d = -6.37E-0008$$

$$Q_a + Q_b = 14 \cdot 10^{-8} \text{ Кл/м}; \quad Q_c + Q_d = -14,7 \cdot 10^{-8} \text{ Кл/м}$$

Рис 4 - Распределение нормальной составляющей напряженности поля на поверхности оболочки кабеля АПВГ 3×25+1×16 при квадрупольном (1,2) и дипольном (3,4) распределении потенциала. Несимметричное (1,3) и симметричное (2,4) распределение потенциала: 1000 В и 0 В ; +500 В и -500 В

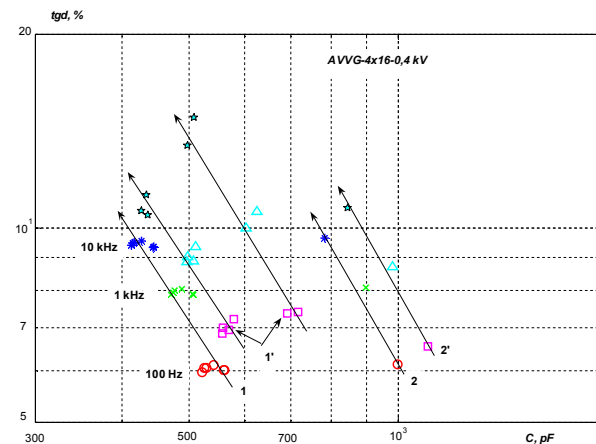


Рис 5 - Совокупные параметры (C и tgδ) промежутков кабеля АВВГ 4×16-0,4 кВ в исходном состоянии (1, 2) и после увлажнения защитной оболочки (1', 2'): 1 – «жила – против трех остальных»; 2 – «две жилы – против двух других» (перекрестная схема обследования)

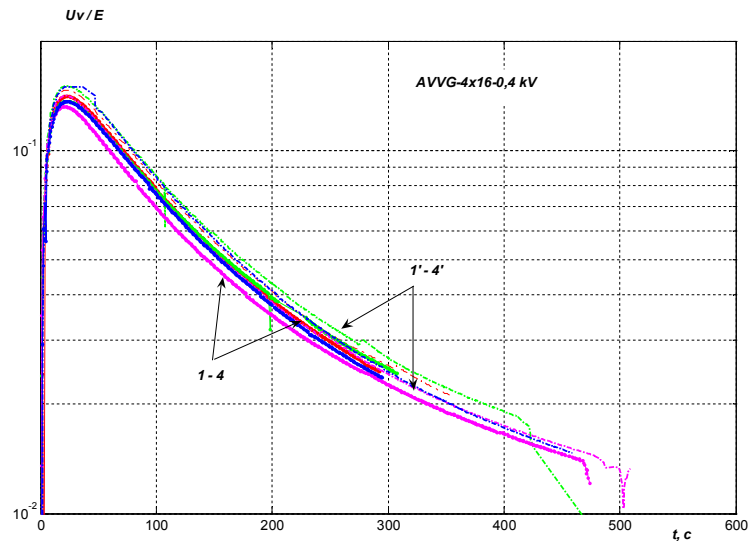


Рис.6 - Кривые восстанавливающегося напряжения образца кабеля АВВГ 4×16-0,4 кВ в исходном состоянии (1 – 4) и после увлажнения поверхности защитной оболочки (1'-4')

Рис. 3 и 4 отображают распределение напряженности электрического поля по поверхности оболочек кабеля. Как видно из рисунков, наибольшая величина напряженности электрического поля при квадрупольном распределении потенциала наблюдается на обращенной к центру стороне оболочки жил кабеля. При дипольном распределении потенциала максимум напряженности электрического поля смещается ближе к внешней оболочке кабеля.

Рис. 5 – это экспериментальные данные измерения емкости жил и тангенса угла диэлектрических потерь при сухой и увлажненной оболочке для двух различных схем измерений: при дипольном распределении потенциала-1 и при квадрупольном распределении потенциала- 2. Как видно из рисунка, влияние состояния поверхности оболочки на результат измерения параметров кабеля при квадрупольном распределении силовых линий поля значительно ниже, чем при дипольном распределении. Это объясняется тем, что при дипольном распределении потенциала повышение концентрации силовых линий электрического поля смещается ближе к внешней оболочке кабеля. Вследствие чего, большее число силовых линий замыкается по внешней оболочке кабеля, и, в случае ее увлажнения, измеренное значение тангенса угла диэлектрических потерь повышается. Полученные данные хорошо согласуются с результатами, приведенными в [4].

На рис. 6 приведены кривые восстанавливающегося напряжения образца кабеля. Как видно из рисунка, влияние увлажнения поверхности защитной оболочки образца кабеля практически не влияет на кривые восстанавливающегося напряжения. Таким образом, можно сделать вывод, что при снижении частоты зондирующего электрического поля снижается влияние состояния внешней поверхности оболочки кабеля на результаты измерения его электрических характеристик.

Выводы:

1. При дипольном распределении потенциала большее количество силовых линий зондирующего электрического поля выходит за пределы оболочки кабеля, чем при квадрупольном, что приводит к повышению влияния состояния поверхности изоляции кабеля на результаты измерения характеристик кабеля.

2. При квадрупольном распределении потенциала большее количество силовых линий зондирующего электрического поля концентрируется под оболочкой кабеля, чем при дипольном распределении, что приводит к снижению влияния состояния поверхности изоляции кабеля на результаты измерения характеристик кабеля.

3. Повышение частоты изменения зондирующего электрического поля, способствует увеличению влияния загрязнения поверхности оболочки кабеля на измерение его электрических параметров.

Список литературы: 1. *Papazyan R.* Wave propagation on power cables with special regard to metallic screen design / *R. Papazyan, P. Pettersson, D. Pommerenke* // IEEE Transaction on dielectrics and electrical insulation. – 2007. - Vol.14. - N2. 2. *Набока Б.Г.* Расчеты электростатических полей в электроизоляционной технике: Учебное пособие для студентов электроэнергетических специальностей / *Б.Г. Набока.* - Киев: УСДО, 1995-120 с.; 3. *Набока Б.Г.* Определение параметров многоэлементных схем замещения сетевых кабелей / *Б.Г. Набока, А.В. Беспруванных, А.С. Штангей* // Вестник НТУ «ХПИ».-Харьков: НТУ «ХПИ».-2003.- №9. - т.4.-С.114; 4. *Набока Б.Г., Гоков А.П.* Влияние состояния поверхности оболочек кабелей АВВГ на параметры изоляционных промежутков / *Б.Г. Набока, А.П. Гоков* // Вестник НТУ «ХПИ».- Харьков: НТУ «ХПИ».-2006.-№34.-С.145

Поступила в редколлегию 03.09.10