

Н.П. БАДАЛЯН, М.К. БАГДАСАРЯН, Г.П. КОЛЕСНИК**МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМА ЭКРАНА СИЛОВОГО КАБЕЛЯ**

Рассматриваются вопросы режима экрана силового однофазного кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ-изоляцией) при заземлении экрана кабеля с двух концов. Получены соотношения для определения тока в “земляном канале” на основании предложенной схемы замещения с учетом сопротивления заземлителей. Приведены расчетные значения тока “земли” для кабелей с СПЭ-изоляцией с различными сечениями экрана. Выполнена оценка перенапряжения на экране кабеля при одностороннем заземлении.

Ключевые слова: однофазное включение, силовой кабель, режим экрана, термическая устойчивость, невозгорание изоляции, заземление экрана, ток, потери мощности.

Силовые кабели, независимо от типа изоляции, выбирают по расчетному току, номинальному напряжению, способу прокладки, условиям окружающей среды и проверяют на термическую устойчивость при коротком замыкании (к.з.) путем расчета минимальной площади сечения токоведущей жилы [1]. После расчета минимальной площади сечения токоведущей жилы по термической устойчивости уточняют сечение токоведущих жил силовых кабелей с учетом установленной мощности электроприемников и проверяют его по допустимым потерям напряжения, термической стойкости к воздействию токов к.з. и на невозгорание при протекании токов к.з. [2].

Проверка силовых кабелей на невозгорание при протекании тока к.з. осуществляется из предположения, что максимальный ток, протекающий в кабеле, равен действующему значению тока к.з. в начале линии.

В соответствии с технической политикой ПАО “Россети”, проектируемые, сооружаемые и модернизируемые кабельные линии (КЛ) электропередачи должны выполняться силовым кабелем с изоляцией из сшитого полиэтилена, и поскольку половина производимых кабелей с СПЭ-изоляцией однофазная, то особую актуальность приобретает вопрос обеспечения режима экрана по току и перенапряжениям в случае включения кабеля в однофазном режиме.

Термическая стойкость электропроводящего экрана однофазного силового кабеля в сети 6 ... 35 кВ с изолированной нейтралью обеспечивается, если выполняется следующее условие [1]:

$$I_{\text{д.э}} \geq I_{\text{к}}^{(2)},$$

где $I_{\text{д.э}}$ – длительно допустимый ток медного экрана, кА , значения которого ограничиваются сечением экрана, например:

- для кабеля 220 кВ (сечение экрана 120 мм^2) – 24,36 кА ;

- для кабеля 10 кВ (сечение экрана 25 мм^2) – 19,2 кА ;

$I_{\text{к}}^{(2)} = 0,87 \cdot I_{\text{к}}^{(3)}$ – ток двухфазного к.з., кА ; $I_{\text{к}}^{(3)}$ – ток трехфазного симметричного к.з., кА .

В сетях 110...500 кВ сечение экранов однофазных кабелей выбирают на ток однофазного к.з. В обоих случаях сечение экрана получается повышенное, поэтому такие кабели в нормальном режиме работы сети требуют решения проблемы с токами и потерями мощности в экранах. Для борьбы с потерями внедряются такие мероприятия, как одностороннее заземление экранов или транспозиция экранов в трехфазном включении, что создает дополнительные проблемы при эксплуатации кабельной линии.

Основным назначением экрана является обеспечение равномерности электрического поля, воздействующего на главную изоляцию кабеля (изоляцию “жила-экран”), что достигается только в случае заземления экрана. Поэтому электропроводящая оболочка кабеля (экран), как правило, заземлена на его концах и в ряде промежуточных точек (муфтах или транспозиционных узлах). При этом для токов нагрузки однофазного кабеля образуется путь в земле, параллельный проводнику. В этом отношении металлическая оболочка кабеля аналогична заземленным тросам у воздушной линии. На распределение тока между оболочкой и землей существенное влияние оказывает не только собственное сопротивление оболочки (экрана), но и сопротивление ее заземлений, значения которых зависят от характера прокладки кабеля (траншея, блоки, туннель, эстакада и т.д.) и ряда других факторов.

При использовании однофазного силового кабеля с СПЭ-изоляцией с незаземленным экраном или заземленным с одного конца для питания однофазной нагрузки значение длительно допустимого тока следует выбирать по сечению экрана, поскольку сечение экрана всегда в несколько раз меньше сечения токопроводящей жилы.

В однофазном режиме при заземлении экрана с двух концов ток нагрузки протекает по экрану и “земляному каналу” с сопротивлениями земли $R_{\text{з}}$ и заземлителей $R_{\text{зз}}$ (рис.). Тогда для тока жилы кабеля и суммарного сопротивления “земляного канала” справедливы соотношения $I_{\text{ж}} = I_{\text{з}} + I_{\text{зз}}$; $R_{\text{з}\Sigma} = R_{\text{з}} + 2R_{\text{зз}}$.

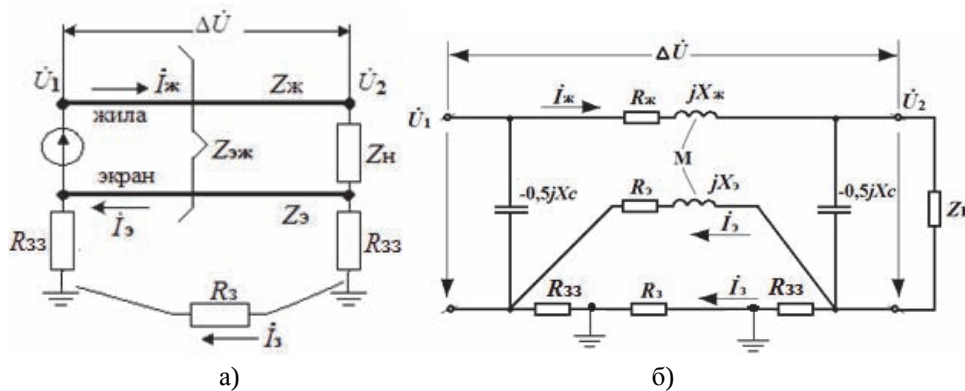


Рис. Кабельная линия с однофазным кабелем с СПЭ-изоляцией: а - в однофазном включении; б - схема замещения с сопротивлениями заземлителей $R_{зз}$

Однофазную КЛ, выполненную кабелем с СПЭ-изоляцией, можно смоделировать схемой замещения (рис. б), параметры элементов которой определяются по известным соотношениям:

- погонные активные сопротивления жилы и экрана кабеля:

$$R_{жс} = R_{0жс} \cdot \ell, \text{ Ом}; R_{0жс} = \rho / S_{жс}, \text{ Ом/км}; R_{э} = R_{0э} \cdot \ell, \text{ Ом}; R_{0э} = \rho / S_{э}, \text{ Ом/км},$$

где $\rho = 17,5 \div 18,5 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{км}$ - для электротехнической меди и $29 \div 31,5 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{км}$ - для алюминия и его сплавов; $S_{жс}, S_{э}$ - площадь поперечного сечения жилы и экрана кабеля, мм^2 , соответственно; ℓ - протяженность кабельной линии, км.

Значения сопротивлений заземлителей $R_{зз}$ для напряжений выше 1 кВ принимаем 2, 4 или 8 Ом для подстанций до 35 кВ в зависимости от значения низшего напряжения и менее 10 Ом для напряжений выше 110 кВ (ПУЭ).

Известно [3], что для однофазного силового кабеля с СПЭ-изоляцией значения собственной индуктивности экрана и взаимной индуктивности “жила-экран” равны и определяются по формуле

$$L_{э} = M_{жэ} = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{D_3}{d},$$

где $D_3 = \left(2,085 / \sqrt{f \cdot \lambda \cdot 10^{-9}} \right) \cdot 10^{-3}, \text{ м}$ - эквивалентная глубина возврата тока через землю; d - расстояние от центра токопроводящей жилы до экрана, мм; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}, \text{ Гн/м}$ - магнитная проницаемость; λ - удельная проводимость земли, $(\text{Ом} \cdot \text{см})^{-1}$; f - частота напряжения питающей сети, Гц.

Индуктивность токопроводящей жилы кабеля можно определить по известной эмпирической формуле [4]

$$L_{\text{ж}} = \left(0,46 \lg \frac{d}{r_{\text{ж}}} + 0,05 \mu \right) \cdot 10^{-3},$$

где $r_{\text{ж}}$ - радиус токопроводящей жилы кабеля; μ - магнитная проницаемость материала токопроводящей жилы кабеля, Гн/м.

Токораспределение в ветвях схемы, показанной на рис. а, определим, анализируя схему замещения, представленную на рис. б, в которой силовой кабель concentрической (коаксиальной) структуры моделируется Т-образной схемой замещения с параметрами активного и реактивного сопротивлений и емкостью между токоведущей жилой и экраном. Экран моделируется продольными активным и реактивным сопротивлениями. Емкость экран-земля не учитываем из-за большой (порядка 1000 м) глубины протекания тока возврата, что также решает вопрос неучета способа прокладки силового кабеля.

Зарядную мощность кабельной линии (зарядные токи), моделируемую поперечными элементами X_c , при напряжениях 6...20 кВ можно не учитывать ввиду ее малости по сравнению с реактивной мощностью нагрузки. С учетом этого условия уравнения электрического состояния схемы на рис. б принимают вид

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= i_{\text{ж}}(\underline{Z}_{\text{ж}} + \underline{Z}_{\text{н}}) - i_{\text{э}}\underline{Z}_{\text{м}} + i_{\text{э}}R_{\text{э}\Sigma}, \\ 0 &= -i_{\text{э}}\underline{Z}_{\text{э}} - i_{\text{ж}}\underline{Z}_{\text{м}} + i_{\text{э}}, \end{aligned}$$

где $\underline{Z}_{\text{ж}} = R_{\text{ж}} + j\omega L_{\text{ж}}$ - полное сопротивление жилы кабеля; $\underline{Z}_{\text{э}} = R_{\text{э}} + j\omega L_{\text{э}}$ - полное сопротивление экрана кабеля; $\underline{Z}_{\text{м}}$ - сопротивление взаимной индукции между двумя параллельными линиями “провод-земля”; $\underline{Z}_{\text{н}}$ - полное сопротивление нагрузки; $R_{\text{э}\Sigma} = R'_{\text{э}} + 2R_{\text{эз}} = R_{\text{э}} \cdot \ell + 2R_{\text{эз}}$, $R_{\text{эз}}$ - сопротивление земляного канала с учетом заземлителей.

Для КЛ напряжением 110 кВ и выше уравнения электрического состояния уравнения электрического состояния схемы на рис. б принимают вид

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= i_{\text{ж}}\underline{Z}_{\text{ж}} - i_{\text{э}}\underline{Z}_{\text{м}} + i_{\text{э}}R_{\text{э}\Sigma} + \dot{U}_2, \\ 0 &= -i_{\text{э}}\underline{Z}_{\text{э}} - i_{\text{ж}}\underline{Z}_{\text{м}} + i_{\text{э}}R_{\text{э}\Sigma}, \end{aligned}$$

где $\dot{U}_2 = i_{\text{ж}} \cdot \frac{[\underline{Z}_{\text{н}} \cdot (-0,5jX_c)]}{[\underline{Z}_{\text{н}} - 0,5jX_c]}$.

Падение напряжения на токопроводящей жиле, “земле” и экране кабеля с учетом принятых на рис. 6 условных положительных направлений токов и напряжений представим в виде

$$\begin{aligned}\Delta \dot{U}_{\text{ж}} &= \dot{I}_{\text{ж}} R_{\text{ж}} + j \dot{I}_{\text{ж}} X_{\text{ж}} - j \dot{I}_{\text{э}} X_{\text{жэ}}, \\ \Delta \dot{U}_{\text{э}} &= \dot{I}_{\text{э}} R_{\text{э}} + j \dot{I}_{\text{э}} X_{\text{э}} - j \dot{I}_{\text{ж}} X_{\text{жэ}} = \dot{I}_{\text{ж}} R_{\text{ж}} - \dot{I}_{\text{э}} (R_{\text{э}} - j X_{\text{м}}), \\ \Delta \dot{U}_{\text{з}} &= \dot{I}_{\text{з}} R_{\text{з}\Sigma} = \dot{I}_{\text{з}} \cdot (R'_{\text{з}} + 2R_{\text{зз}}).\end{aligned}$$

С учетом вышеизложенного выражение падения напряжения на экране кабеля, при условии равенства реактивных сопротивлений экрана и взаимои-
ндукции $X_{\text{э}} = X_{\text{жэ}} = X_{\text{м}}$, принимает вид

$$\Delta \dot{U}_{\text{э}} = \dot{I}_{\text{э}} R_{\text{э}} + j X_{\text{м}} (\dot{I}_{\text{э}} - \dot{I}_{\text{ж}}) = \dot{I}_{\text{ж}} R_{\text{э}} - \dot{I}_{\text{э}} (R_{\text{э}} - j X_{\text{м}}) = \dot{I}_{\text{э}} R_{\text{э}} + j X_{\text{м}} \dot{I}_{\text{з}}.$$

Поскольку для параллельно включенных ветвей (рис. 6) выполняется условие $\Delta \dot{U}_{\text{э}} = \Delta \dot{U}_{\text{з}}$, то из равенства

$$\dot{I}_{\text{ж}} R_{\text{э}} - \dot{I}_{\text{э}} (R_{\text{э}} - j X_{\text{м}}) = \dot{I}_{\text{з}} (R'_{\text{з}} + 2R_{\text{зз}})$$

получим выражение для расчета тока в “земляном канале”:

$$\dot{I}_{\text{з}} = \dot{I}_{\text{ж}} \frac{R_{\text{э}}}{R_{\text{э}} + R'_{\text{з}} + 2R_{\text{зз}} - j X_{\text{м}}} = \dot{I}_{\text{ж}} \cdot \dot{k},$$

$$\text{где } \dot{k} = \frac{R_{\text{э}}}{R_{\text{э}} + R'_{\text{з}} + 2R_{\text{зз}} - j X_{\text{м}}} = \frac{R_{\text{э}}}{\sqrt{(R_{\text{э}} + R_{\text{з}\Sigma})^2 + X_{\text{м}}^2}} e^{j\varphi_k} = |k| e^{j\varphi_k}.$$

Тогда выражение для тока “земли” можно представить в виде

$$\dot{I}_{\text{з}} = I_{\text{ж}} |k| e^{j(\varphi_{\text{ж}} + \varphi_k)} = I_{\text{з}} e^{j\varphi_{\text{з}}}.$$

Полученные значения можно использовать для вычисления тока “земли” и экрана без вычисления фазовых сдвигов.

Таким образом, ток в “земляном канале” в случае заземления экрана однофазного кабеля с обоих концов, при использовании конкретной марки кабеля с СПЭ-изоляция, можно определить по известному току жилы и активным сопротивлениям экрана, заземлителей, земли и реактивному сопротивлению индуктивности экрана. При этом предельно допустимый ток жилы следует приравнять предельно допустимому току экрана.

Потери активной мощности в земле от протекающего в ней тока характеризуются дополнительным сопротивлением $R_{\text{з}}$, определяемым приближенным соотношением

$$R_{\text{з}} = \pi^2 f \cdot 10^{-4} \text{ Ом/км}.$$

На промышленной частоте $f = 50 \text{ Гц}$ удельное сопротивление земли R_z равно, $0,05 \text{ Ом/км}$, что свидетельствует о практическом постоянстве потерь активной мощности в земле при заданной частоте.

Сечение экрана однофазного силового кабеля с СПЭ-изоляцией напряжением 6...35 кВ выполняется от 16 до 35 мм², при этом погонное активное сопротивление медного экрана изменяется в диапазоне от 1,125 до 0,5143 Ом/км.

С учетом значения удельного (километрического) сопротивления “земли”, равного, по приближенным оценкам, $0,05 \text{ Ом/км}$, убеждаемся, что в этом случае ток в земляном канале значительно меньше тока жилы кабеля и составляет единицы процентов от тока жилы. В качестве примера в табл. 1 приведены результаты расчета тока в земляном канале для кабеля марки ПвПнг(А)-НФ-10 с СПЭ-изоляцией на напряжение 10 кВ с сечением экрана 16, 25 и 35 мм². При расчете длительно допустимый ток жилы принят равным длительно допустимому току экрана заданного сечения.

Расчетные значения действующего значения тока “земли” и его начальной фазы в функции тока жилы и сопротивления заземлителей приведены в табл. 2.

Таблица 1

Расчетные значения тока “земли” в долях тока жилы кабеля

Марка кабеля	Активное сопротивление экрана, $R_{0э}$	Ток жилы	Ток экрана	Размер, d	Индуктивность экрана, $L_э$	Сопротивление взаимной индукции	Протяженность кабельной линии, l	Сопротивление заземлителей	Ток “земли”
	Ом/км	А	А	мм	Гн/км	Ом/км	км	Ом	А
ПвПнг(А)-НФ-10 – 70(16)	1,125	120	120	8,12	$23,308 \cdot 10^{-4}$	0,732239	1,0	4 (2)	15/25,83
ПвПнг(А)-НФ-10 – 150(25)	0,72	140	140	10,39	$22,83 \cdot 10^{-4}$	0,7172	1,0	4 (2)	11,45/20,9
ПвПнг(А)-НФ-10 – 300(35)	0,5143	170	170	13,172	$22,34 \cdot 10^{-4}$	0,7018	1,0	4 (2)	10,17/15,6

Таблица 2

Расчетные значения модуля и аргумента тока земли

Марка кабеля	Ток жилы	Сопротивление заземлителей	Значения модуля, $ k $ при $l=1$ км	“Ток земли”	Ток земли, в % тока жилы	Фаза тока “земли”
	A	$Ом$	отн. ед.	A	%	эл. град
ПвПнг(А)-НГ-10 – 70(16)	120	2 (4)	0,215 (0,122)	25,83 / 15	21,5 / 12,5	8,05° / 4,56°
ПвПнг(А)-НГ-10 – 150(25)	140	2(4)	0,149 (0,082)	20,9 / 11,45	14,9 / 8,17	8,94° / 4,67°
ПвПнг(А)-НГ-10 – 300(35)	170	2(4)	0,151 (0,0598)	15,6 / 10,17	11,1 / 5,98	8,55° / 4,67°

Наличие реактивного сопротивления взаимной индукции вносит дополнительный фазовый сдвиг тока “земли”, что в конечном итоге приводит к изменению коэффициента мощности линии. Например, при сечении экрана кабеля 16 мм^2 и значении сопротивления заземлителя 8 Ом вектор тока “земли” будет повернут примерно на 5 эл. град. относительно вектора тока жилы:

$$I_3 = I_{\text{ж}} \frac{R_3}{R_3 + R_3 + 2R_{33} - jX_m} = I_{\text{ж}} \frac{1,125}{1,125 + 0,05 + 8 - j0,732} = 0,125 \cdot I_{\text{ж}} e^{j4,56^\circ}.$$

Анализ данных табл. 1 и 2 показывает, что с увеличением сечения экрана ток “земляного канала” уменьшается пропорционально, но абсолютное значение этого тока существенно зависит от сопротивления заземлителя. Следует отметить, что начальная фаза тока “земли” при указанном сопротивлении заземлителей практически не зависит от сечения экрана, что свидетельствует о постоянстве фазы тока в экране. Если начальную фазу тока жилы принять равной нулю, то с учетом фазы тока “земли” фаза тока в экране составит несколько электрических градусов. Поэтому в инженерных расчетах однофазных кабельных линий с СПЭ-изоляцией фазовые сдвиги токов экрана и “земли” можно не учитывать.

При определении потерь активной мощности в кабельных линиях с СПЭ-изоляцией с двусторонним заземлением экрана можно не учитывать потери в изоляции из-за малого значения угла диэлектрических потерь.

Потери активной мощности в жиле, “земле” и экране однофазной кабельной линии с двусторонним заземлением экрана равны

$$\Delta P_{1\text{к}} = I_{\text{ж}}^2 R_{\text{ж}} + I_3^2 R_3 + I_3^2 R_{3\Sigma}.$$

При равенстве токов жилы и экрана однофазного кабеля и с учетом выражения для тока “земли” получим соотношение для расчета суммарных потерь активной мощности, распределение которой по участкам кабельной линии при предельном токе экрана приведено в табл. 3:

$$\Delta P_{1к} = I_{ж}^2 (R_{ж} + R_{э} + |k|^2 R_{3\Sigma}).$$

Таблица 3

Потери мощности в кабельной линии электропередачи при $R_{33} = 2 \text{ Ом}$

Марка кабеля	Протяженность кабельной линии, l	Удельное активное сопротивление жилы, $R_{0ж}$	Удельное активное сопротивление экрана, $R_{0э}$	Суммарное сопротивление “земли”, $R_{3\Sigma}$	Потери активной мощности		
					жила	экран	“земля”
					кВт		
ПвПнг(А)-НФ-10 – 70(16)	1,0	0,2571	1,125	4,05	3,703	16,2	2,696
ПвПнг(А)-НФ-10 – 150(25)	1,0	0,12	0,72	4,05	1,728	10,368	1,7623
ПвПнг(А)-НФ-10 – 300(35)	1,0	0,06	0,5143	4,05	0,864	7,405	2,669

При одностороннем заземлении кабеля (например, со стороны источника питания) перенапряжение на экране, с учетом равенства токов жилы и экрана, можно рассчитать по соотношению

$$\Delta \dot{U}_э = \dot{I}_ж R_э + j \dot{I}_ж X_э - j \dot{I}_ж X_{жэ} = \dot{I}_ж (R_ж + R_э - j X_м).$$

Значение реактивного сопротивления взаимной индукции кабеля с СПЗ-изоляцией, как это следует из табл. 1, слабо зависит от сечения жилы и экрана кабеля, поэтому максимальное значение напряжения экран-земля в конце линии будет наблюдаться для кабелей с минимальным сечением экрана. Например, для кабеля ПвПнг(А)-НФ-10 – 70(16) с учетом данных табл. 1 получим $\Delta \dot{U}_э = 187,698 e^{j27,9^\circ} \text{ В}$.

С учетом изложенного можно сделать вывод, что выполнение однофазной двухпроводной линии электропередачи с проводами разного сечения вследствие увеличения потерь электроэнергии нецелесообразно, поскольку при использовании однофазного кабеля с СПЗ-изоляцией для передачи электроэнергии

в однофазной сети ухудшаются показатели энергоэффективности и энергосбережения. Кроме того, заземление экрана кабеля с СПЭ-изоляцией во избежание появления опасных перенапряжений необходимо выполнять с двух концов линии. При этом правильным решением является построение однофазной КЛ двумя кабелями с СПЭ-изоляцией, в которой можно проводить ряд мероприятий по оптимизации потерь электроэнергии. При этом критериями выбора будут надежность, энергоэффективность и экономичность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 52736-2007 “Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчёта электродинамического и термического действия токов короткого замыкания”.
2. Циркуляр Ц02-98 (Э) “О проверке кабелей на возгорание при протекании тока короткого замыкания”.
3. **Дмитриев М.В.** Заземление экранов однофазных силовых кабелей 6-500 кВ. -СПб.: Изд-во “НИВА”, 2008. - 104 с.
4. **Герасименко А.А., Федин В.Т.** Передача и распределение электрической энергии: Учебное пособие. - 3-е изд., перераб. – М.: КНОРУС, 2012. – 648 с.

Национальный политехнический университет Армении. Материал поступил в редакцию 18.02.2019.

Ն.Պ. ԲԱՂԻԱՆՍԱՆ, Մ.Ք. ԲԱՂԴԱՍԱՐՅԱՆ, Գ.Պ. ԿՈՒԼԵՄՆԻԿ

ՈՒԺԱՅԻՆ ՄԱԼՈՒԽԻ ԷԿՐԱՆԱՅԻՆ ՌԵԺԻՄԻ ՄՈՂԵԼԱՎՈՐՈՒՄԸ

Դիտարկվում է միաֆազ ուժային էլեկտրական մալուխի էկրանային ռեժիմը կարված պոլիէթիլենի մեկուսացմամբ (ԿՊԷ-մեկուսացմամբ), երբ մալուխային էկրանը հողանցված է երկու ծայրերում: Առաջարկվող համարժեք սխեմայի հիման վրա, հաշվի առնելով հողանցման դիմադրությունները, ստացված են արդյունքներ՝ ստանդարտներ «հողային ալիքում» հոսանքի մեծության որոշման համար: Ներկայացվում են «հողի» հոսանքի մեծության հաշվարկային արժեքները տարբեր էկրանային կտրվածք ունեցող ԿՊԷ-մեկուսացմամբ ուժային մալուխների համար: Կատարվել է միաֆազ, միակողմանի հողանցմամբ ուժային էլեկտրական մալուխի էկրանային գերհզորության գնահատում:

Առանցքային բառեր. մեկ փուլային միացում, ուժային մալուխ, էկրանի ռեժիմ, ջերմային կայունություն, ոչ այրվող մեկուսացում, էկրանի հողանցում, հոսանք, հզորության կորուստ:

N.P. BADALYAN, M.K. BAGHDASARYAN, G.P. KOLESNIK

MODELING THE POWER CABLE SCREEN MODE

The screen mode of a single-phase power cable with XLPE insulation is considered when the cable shield is grounded at both ends. Ratios for the determined current in the "earthen channel" on the basis of the proposed equivalent circuit with regard to the resistance of earthing are obtained. The calculated values of the "earth" current for cables with the XLPE insulation with different screen sections are given. An overvoltage evaluation is performed on the cable screen with one-sided grounding.

Keywords: single-phase connection, power cable, screen mode, thermal stability, non-burning insulation, shield grounding, power loss.