© Г.М. Петров, А.Г. Кутепов,
Р.М. Саркисян, 2012

УДК 622.012.2

Г.М. Петров, А.Г. Кутепов, Р.М. Саркисян

АНАЛИЗ ЗАЗЕМЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ С ГЛУХОЗАЗЕМЛЕННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ

Выполнен анализ существующих систем заземления в электрических сетях напряжением до 1 кВ с различными режимами нейтрали. На примере типового участка получены математические выражения и экспериментальные зависимости напряжения прикосновения от различных значений токов утечки и сопротивлений повторного заземлителя.
Ключевые слова: электробезопасность, системы заземления, сопротивление утечки, напряжение прикосновения.

Вопрос заземления открытых проводящих частей электрического оборудования рассматривался с самого начала развития электротехники как одно из основных защитных мероприятий. Заземление применяется в качестве основной меры защиты от поражения электрическим током живых организмов при повреждении изоляции и замыкании на металлический корпус оборудования.

Различают две основные системы заземления: без нулевого провода (электрическая сеть с изолированной нейтралью) и с нулевым проводом (электрическая сеть с глухозаземленной нейтралью). Во втором случае все металлические токопроводящие части оборудования соединяются не только между собой, но и с нулевым проводом. Такая система заземления носит название *зануления*, которая преимущественно используется в электрических сетях с глухозаземленной нейтралью напряжением до 1 кВ. Начало применения этой системы положено немецким ученым Леблем в 30-х годах прошлого столетия.

Вопросам устройства заземляющих сетей, теории и расчета заземления в электроустановках напряжением до 1 кВ занимались большое количество ученых: Айзенберг Б.Л., Вайнер А.А., Манойлов В.Е., Найфельд М.Р., Оллендорф Ф., Солодовников Г.С., Якобс А.И. и др. Вопросам устройства заземлений в горной промышленности посвятили свои работы ученые: Альтшуллер Э.Б., Бариев Н.В., Варшавский А.М., Гладилин Л.В., Иноятов М.Б., Щуцкий В.И., Чеботаев Н.И., Якуба Ю.Ф. и др.

В 40-х годах прошлого столетия требования к устройству заземлений получили отражения в действующих нормативных документах, которые со временем претерпевали изменения. В последней редакции ПУЭ (7-е издание) и предшествующих ГОСТах в Российской Федерации были приняты следующие типы систем заземления: TN, TT и IT. В свою очередь система TN может иметь следующие разновидности: система TN-C, система TN-S и система TN-C-S. В современных системах электроснабжения при проектировании электрических сетей следует применять системы заземления типа TN-S и TN-C-S. При данных системах заземления для электроснабжения потребителей электроэнергии следует применять пятипроводные линии в трехфазной электрической сети и

трехпроводные линии — в однофазных электрических сетях вместо четырех- и двухпроводных линий в соответствующих электрических сетях.

Кроме того, на практике часто возникает необходимость применения разных режимов нейтрали (изолированную и глухозаземленную) в одной электрической сети. Например, в карьерной электрической сети напряжением до 1 кВ для питания электропотребителей бытового и промышленного назначения (дробильно-сортировочный узел, вагончики административно-бытового назначения и др.) используется глухозаземленная нейтраль, а для питания электропотребителей используемых в районе ведения горных работ (буровые станки, маломощные экскаваторы, освещение и др.) используется изолированная нейтраль. Вопросы устройства заземляющих устройств в данных системах электроснабжения не до конца изучены, в связи с чем и возникла необходимость рассмотрения данного вопроса.

Исследование системы заземления промышленного предприятия в электрической сети с глухозаземленной нейтралью.

На первом этапе исследования рассматривается заземляющая система промышленного предприятия в электрической сети с глухозаземленной нейтралью напряжением до 1 кВ. Исследованию была подвержена схема электроснабжения камнеобрабатывающего цеха, расположенного в г. Москве, ул. Дорожная.

На рис. 1 представлена однолинейная схема электроснабжения данного цеха. Питание электроэнергией осуществляется по двум кабелям марки АСБ 4х240 длиной 180 м от двух трансформаторов мощностью по 1000 кВ·А каждый. Электроснабжение потребителей электроэнергии камнерезного цеха осуществляется как электропотребителей *второй* категории. В качестве типового участка была рассмотрена схема заземляющей сети от трансформаторной подстанции до рабочего стола № 8, питающегося от однофазной электрической сети.

На рис. 2 показана схема замыкания фазы на корпус электроприемника через сопротивление утечки. В левой части рисунка показаны пути протекания токов, а в правой части — схема замещения и обозначение различных сопротивлений.

Схема, представленная на рис. 2, описывается системой уравнений. Решая данную систему уравнений, получим выражения для определения токов.

$$\begin{cases} i_1 = i_2 + i_3; \\ \dot{U}_ф = \dot{I}_1(z_1 + z_{ут}) + \dot{I}_3 z_0; \\ \dot{I}_2 z_2 = \dot{I}_3 z_0. \end{cases}$$

$$\dot{I}_2 = \left(\frac{\dot{U}_ф z_0}{(z_{ут} + z_1)(z_0 + z_2) + z_0 z_2} \right);$$

$$\dot{I}_1 = \left(\frac{\dot{U}_ф (z_0 + z_2)}{(z_{ут} + z_1)(z_0 + z_2) + z_0 z_2} \right);$$

$$\dot{I}_3 = \left(\frac{\dot{U}_ф z_2}{(z_{ут} + z_1)(z_0 + z_2) + z_0 z_2} \right).$$

B=0								
A	0,1	0,2	0,5	1	2	5	10	20
$U_{пр}$, В	114,55	119,37	131,51	146,33	164,81	188,51	201,65	210
B=1								
A	0,1	0,2	0,5	1	2	5	10	20
$U_{пр}$, В	62,7	69,87	87,94	110	137,55	172,92	192,55	205,03
B=2								
A	0,1	0,2	0,5	1	2	5	10	20
$U_{пр}$, В	45,34	53,29	73,33	97,82	128,4	167,68	189,49	203,36
B=4								
A	0,1	0,2	0,5	1	2	5	10	20
$U_{пр}$, В	31,41	40	61,62	88,04	121,05	163,48	187,03	202,02
B=8								
A	0,1	0,2	0,5	1	2	5	10	20
$U_{пр}$, В	22,12	31,12	53,8	81,51	116,15	160,67	185,39	201,12

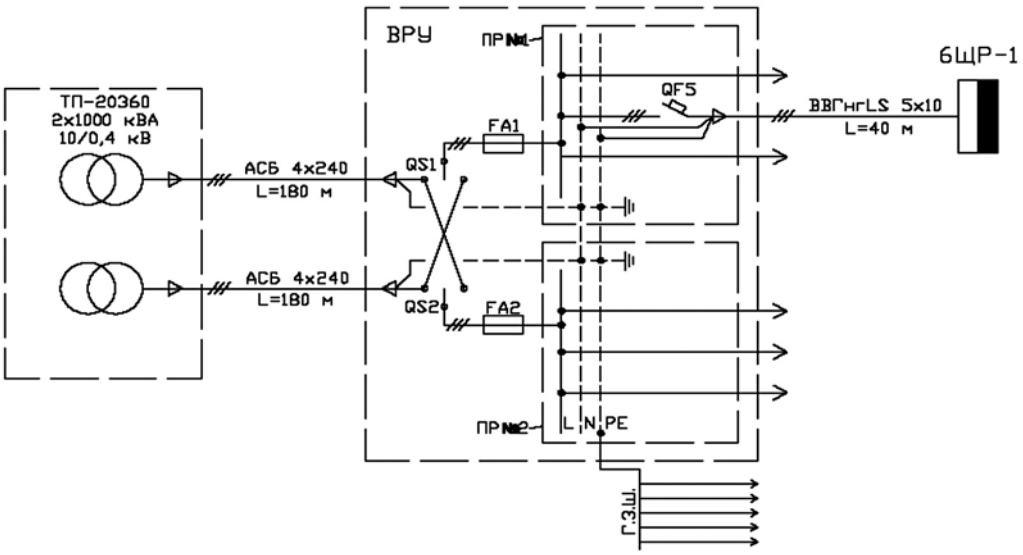


Рис. 1. Однолинейная схема электроснабжения

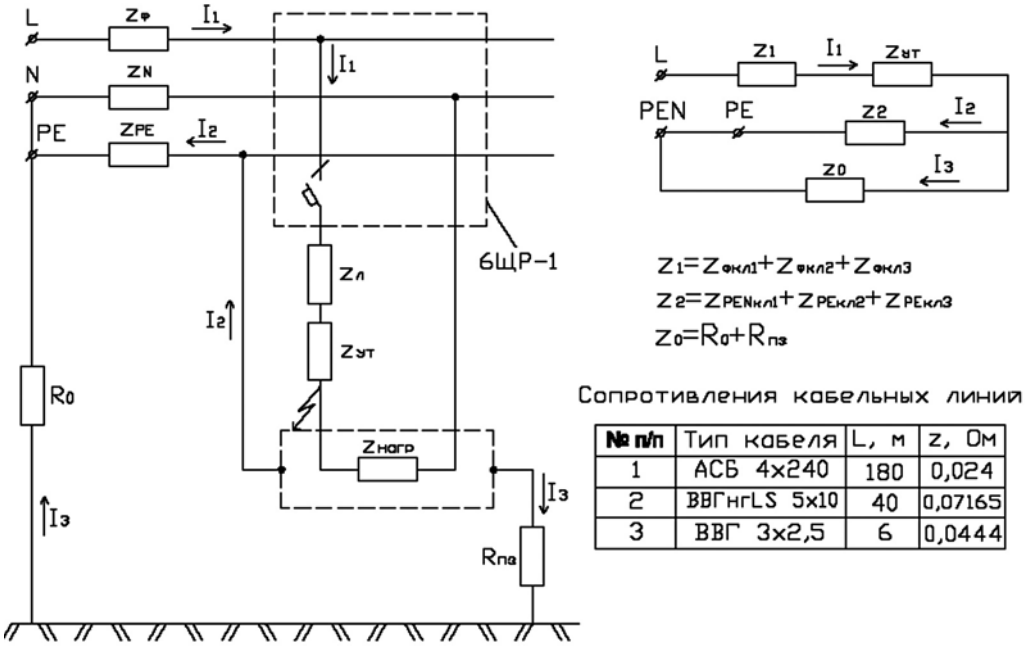
Для дальнейших преобразований введем соотношения:

$$A = \frac{z_{ут}}{z_1};\ B = \frac{R_0}{R_{пз}}.$$

Получим выражения для напряжения прикосновения:

• при занулении

$$\dot{U}_{Пр} = \frac{\dot{U}_{ф}(z_0 + z_2)(Az_1 + z_2)}{z_1(1 + A)(z_0 + z_2) + z_0 z_2};$$



№ п/п	Тип кабеля	L, м	z, Ом
1	АСБ 4х240	180	0,024
2	ВВГнгLS 5х10	40	0,07165
3	ВВГ 3х2,5	6	0,0444

Рис. 2. Схема замыкания фазы на корпус электроприемника

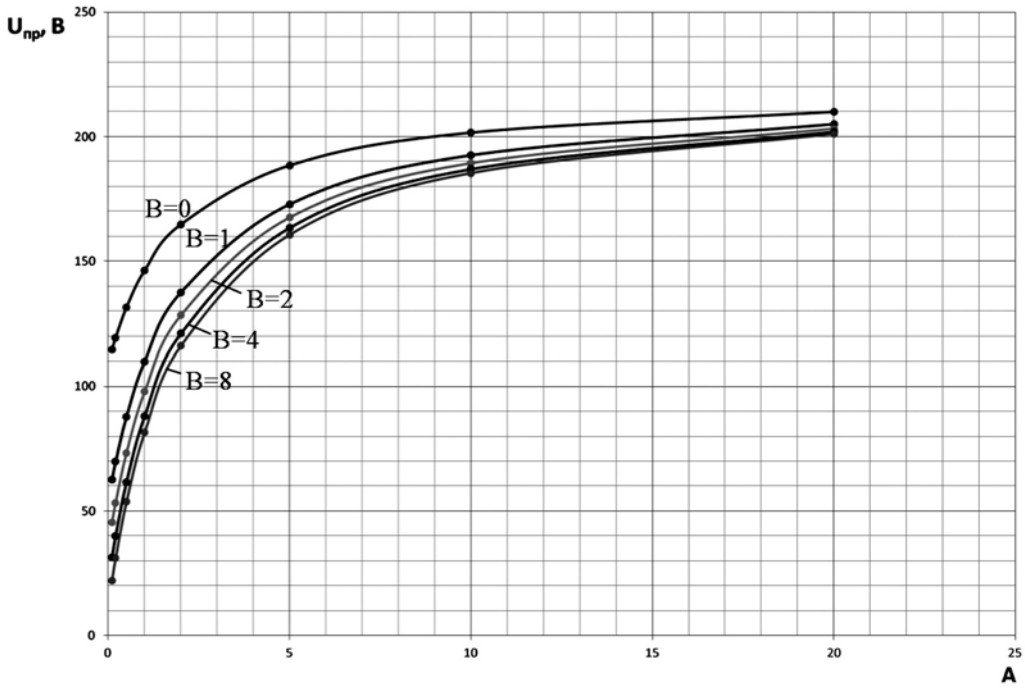


Рис. 3. Зависимости напряжения прикосновения от разных значений соотношения $A = Z_{ут}/Z_1$

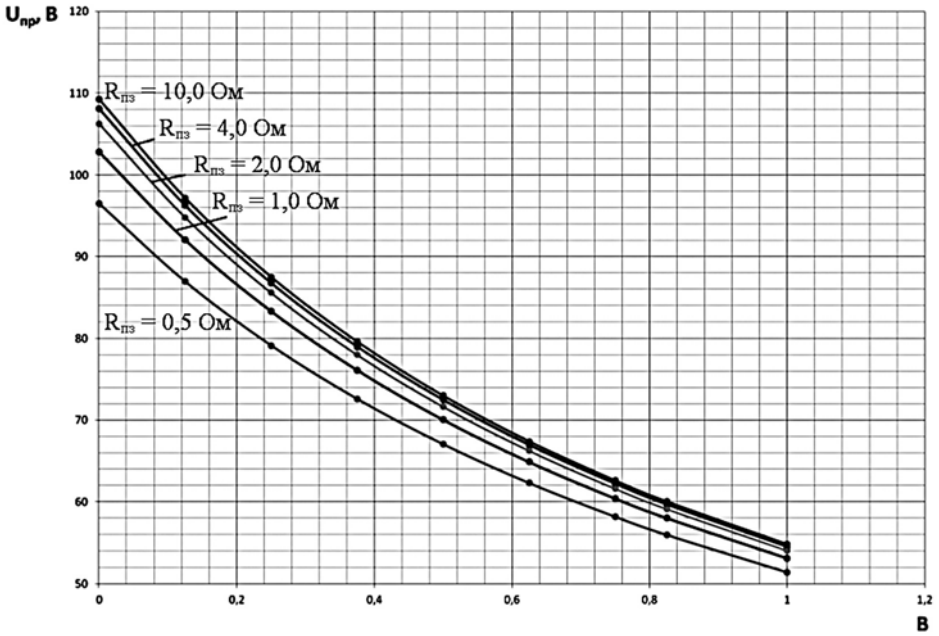


Рис. 4. Зависимости напряжения прикосновения от разных значений соотношения B = $R_0/R_{пз}$

• при наличии заземления

$$\dot{U}_{Пр} = \frac{\dot{U}_{ф}\left[Az_1(R_{Пз}(1+B)+z_2)+z_2R_{Пз}\right]}{R_{Пз}(1+B)(z_1(1+A)+z_2)+z_1z_2(1+A)}.$$

На рис. 3 представлены зависимости напряжения прикосновения от $A=Z_{ут}/Z_1$ при разных значениях $B = R_0/R_{пз}$

• при металлическом коротком замыкании

$$\dot{U}_{Пр} = \frac{\dot{U}_{ф}z_1R_{Пз}}{R_{Пз}(1+B)(z_1+z_2)+z_1z_2}.$$

На рис. 4 представлены зависимости напряжения прикосновения от $B = R_0/R_{пз}$ при разных значениях $R_{пз}$.

$R_{пз}$ = 10 Ом									
B	0	0,125	0,25	0,375	0,5	0,625	0,75	0,825	1
$U_{пр}$, В	109,24	97,17	87,51	79,6	72,99	67,4	62,61	60,04	54,81
$R_{пз}$ = 4 Ом									
B	0	0,125	0,25	0,375	0,5	0,625	0,75	0,825	1
$U_{пр}$, В	108,11	96,28	86,79	79	72,49	66,97	62,24	59,7	54,52
$R_{пз}$ = 2 Ом									
B	0	0,125	0,25	0,375	0,5	0,625	0,75	0,825	1
$U_{пр}$, В	106,28	94,83	85,6	78,01	71,66	66,27	61,63	59,14	54,05
$R_{пз}$ = 1 Ом									
B	0	0,125	0,25	0,375	0,5	0,625	0,75	0,825	1
$U_{пр}$, В	102,8	92,05	83,33	76,13	70,06	64,9	60,44	58,05	53,14
$R_{пз}$ = 0,5 Ом									
B	0	0,125	0,25	0,375	0,5	0,625	0,75	0,825	1
$U_{пр}$, В	96,49	86,96	79,14	72,61	67,07	62,32	58,2	55,98	51,4

Следующим этапом планируется выполнить исследования напряжения прикосновения и токов, протекающих по данной цепи, при переходном режиме.

Выводы

Полученные зависимости показывают, что по мере увеличения *A* при разных соотношениях *B* напряжение прикосновения увеличивается. При *A*, близком к нулю, т. е. при металлическом КЗ, напряжение прикосновения стремится к величине падения напряжения на зануляющей системе. По мере увеличения *B* при разных значениях сопротивления повторного заземлителя напряжение прикосновения уменьшается.

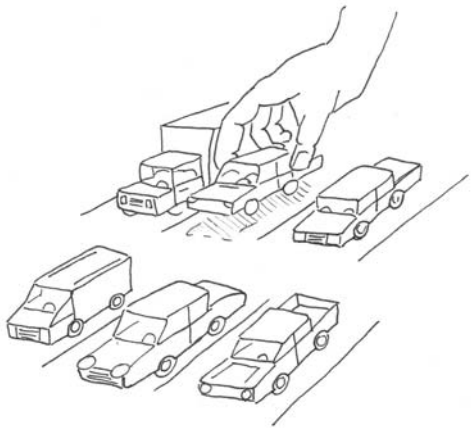
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Правила* устройства электроустановок. Седьмое издание. — М.: ЗАО «Энергосервис», 2002. — 280 с.
2. *Межотраслевые* правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок. — М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2003. — 192 с.
3. *Манойлов В.Е.* Основы электробезопасности. — 5-е изд., перераб. и доп. — Л.: Энергоатомиздат, 1991. — 480 с.
4. *Петров Г.М.* Обеспечение электробезопасности на предприятиях горнодобывающей промышленности. // Электробезопасность, № 1: ЮУрГУ, 2011. — С. 35—39.
5. *Петров Г.М.* К вопросу обеспечения электробезопасности на предприятиях горнодобывающей отрасли //ГИАБ (НТЖ). Отдельный выпуск 4, 2011. — С. 335—340. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Петров Геннадий Михайлович — кандидат технических наук, профессор, e-mail: petrovgm@mail.ru,
Кутепов Антон Григорьевич — студент, e-mail: antkut@mail.ru,
Саркисян Рубен Михайлович — аспирант, e-mail: rubik_dgeen@mail.ru,
Московский государственный горный университет, e-mail: ud@msmu.ru.

РИСУЕТ ДАРЬЯ АБРЕНИНА



Общественный вес по машинам они измеряли в беседе.

Э. Кроткий