

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ 10 КВ, СОСТОЯЩИХ ИЗ КАБЕЛЕЙ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

Аннотация

В настоящее время расчет сопротивлений переменному току кабельных линий (КЛ), состоящих из кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена, вызывает трудности у специалистов. Авторами предложена и апробирована методика [1], позволяющая преодолеть эти трудности. Методика учитывает способы заземления экранов и прокладки кабелей. Материал публикуется в нескольких частях. В данной статье приводятся результаты расчета сопротивлений КЛ 10 кВ для типовых случаев.

Часть 2.

Annotation

At present in practice, the calculating task of the AC resistance of cable lines with XLPE insulation cables causes difficulties. To overcome the existing difficulties in AC resistance calculating of such cables, the authors proposed and tested the corresponding methodology [1]. The proposed methodology takes into account the method of grounding the cable screens and the way of laying cables. The material is published in several parts. The proposed method for the cable lines resistance calculating has already been described in the first part [1] and the calculation results for typical cases for 10 kV cables are given in this article.

Part 2.

Статья поступила в редакцию 4 июня 2018 года

Введение

Как показано в [1], сложность расчета сопротивлений кабельных линий, состоящих из кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена, обусловлена многослойными конструкциями современных кабелей, которые состоят из токопроводящих жил, различных изоляционных и разделительных слоев, а также экранов и защитных оболочек [2]. Многослойность кабелей обеспечивает электрическую прочность изоляции, защиту

кабелей от коррозии и механических повреждений.

Данная статья содержит значения сопротивлений для КЛ напряжением 10 кВ, состоящих из кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена. Приведенные сопротивления рассчитаны по методике [1], которая ранее была предложена и апробирована авторами. Напомним, что в распространенной справочной литературе [3–5] значения сопротивлений для подобных КЛ не приведены.



М.И. ФУРСАНОВ,
д.т.н., профессор,
заведующий кафедрой
«Электрические системы» БНТУ



И.И. ДУЛЬ,
к.т.н., инженер отдела
проектирования энергосистем
РУП «Белэнергосетьпроект»

Расчет сопротивлений рассматриваемых линий осуществлялся для получивших широкое распространение марок кабелей на основе метода симметричных составляющих для токов нулевой, прямой и обратной последовательности [6].

Результаты расчетов сопротивлений кабельных линий, состоящих из одножильных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена

В таблицах 1–2 представлены результаты расчета сопротивлений КЛ 10 кВ, состоящих из одножильных кабелей с алюминиевыми и медными токопроводящими жилами с изоляцией из сшитого полиэтилена, для токов нулевой и прямой последовательности [6]. Результаты структурированы в зависимости от площади поперечного сечения жилы и экрана, а также в зависимости от взаимного расположения кабелей и заземления экранов.

Методика, по которой выполнены расчеты [1], максимально приближена к расчету сопротивлений линий электропередачи, рекомендованному Руководящими указаниями по релейной защите [5], но доработана применительно к кабелям с изоляцией из сшитого полиэтилена и дополнительно учитывает схемы соединения экранов кабелей (см. рисунок).

В расчетах [1] приняты:

- температура токопроводящей жилы $t_{ж} = 90 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- температура экрана $t_{экр} = 80 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- эквивалентная глубина протекания обратного тока в земле $d_3 = 1000 \text{ м}$.

Размеры структурных элементов кабелей рассчитаны в соответствии с ТУ ВУ 300528652.015-2010 [7].

Заключение

1. Расчет сопротивлений КЛ, состоящих из кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена, является трудоемкой задачей ввиду сложной, многослойной конструкции современных кабелей.

2. В связи с широким распространением кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена применяемые на практике руководящие документы по расчету сопротивлений необходимо уточнить и дополнить.

3. В [1] авторами предложена и апробирована усовершенствованная методика определения активных индуктивных и полных сопротивлений КЛ, состоящих из кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена. Предложенная методика учитывает конструктивные особенности кабелей и способы заземления экранов.

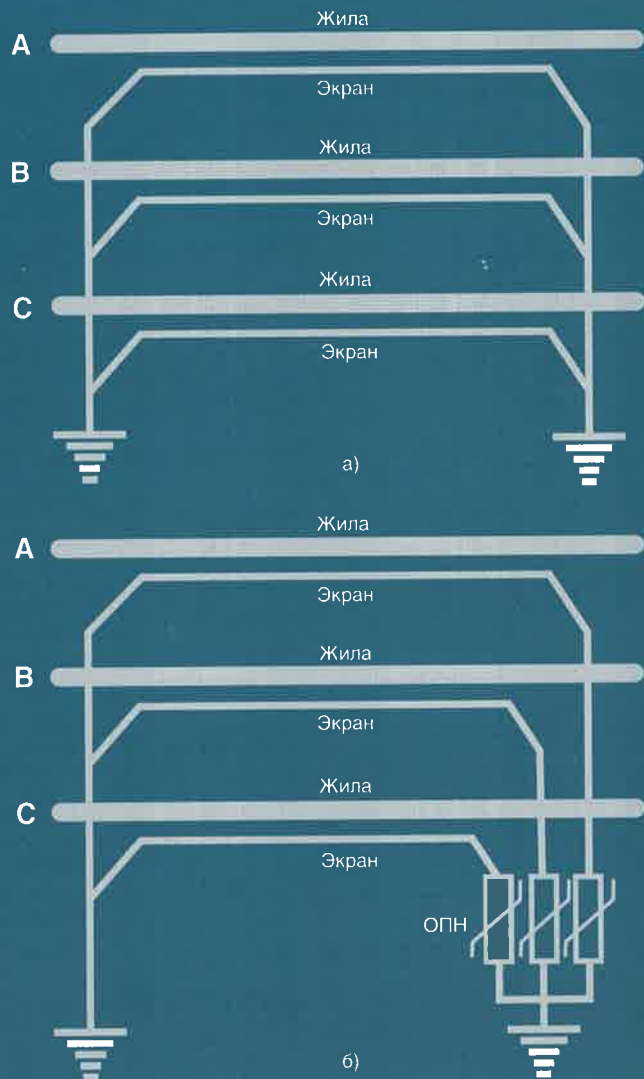
4. В данной статье приведены результаты расчетов сопротивлений кабельных

линий 10 кВ, состоящих из кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена. Расчеты выполнены по предложенной авторами методике [1]. В качестве результатов расчета приведены значения сопротивлений для токов нулевой и прямой последовательности, при этом учтены сечения токопроводящих жил и экранов, расположение кабелей, способы заземления экранов.

Список литературы

1. Фурсанов, М.И. Определение сопротивлений кабельных линий, состоящих из кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена. Часть 1 / М.И. Фурсанов, И.И. Дуль // Энергетическая стратегия. – 2018. – № 2. – С. 49–52.
2. Короткевич, М.А. Проектирование линий электропередачи. Механическая часть: учебное пособие / М.А. Короткевич. – Минск: Выш. шк., 2010. – 574 с.

3. Справочник по проектированию электрических сетей / Под ред. Д.Л. Файбисовича. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: ЭНАС, 2012. – 376 с.
4. Герасименко, А.А. Передача и распределение электрической энергии: учеб. пособие / А.А. Герасименко, В.Т. Федин. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2008. – 715 с.
5. Руководящие указания по релейной защите. Вып. 11. Расчеты токов короткого замыкания для релейной защиты и системной автоматики в сетях 110–75 кВ. – М.: Энергия, 1979. – 152 с.
6. Вагнер, К.Ф. Метод симметричных составляющих в применении к анализу несимметричных электрических цепей: учеб. пособие / К.Ф. Вагнер, Р.Д. Эванс; пер. с англ. Л.Е. и М.Е. Сыркиных; под ред. Д.А. Городского. – Л.: М.: ОНТИ НКТП СССР, 1936. – 407 с.
7. ТУ ВУ 300528652.015-2010 «Кабели силовые с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 6, 10, 15, 20, 35 кВ».



Схемы соединения экранов кабелей:

- а) экраны кабелей заземлены с двух сторон;
 б) экраны кабелей рекомендуется заземлять через ограничители перенапряжения (ОПН), для кабелей 6–10 кВ ОПН не обязательны

Таблица 1. Сопrotивления КЛ 10 кВ, состоящих из кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена с *алюминиевыми* жилами

Площадь поперечного сечения, мм ²		Кабели расположены треугольником ¹				Кабели расположены в плоскости ²			
		полное сопротивление переменному току для последовательности, Ом/км							
		экран заземлен ³		экран разземлен ⁴		экран заземлен ³		экран разземлен ⁴	
жилы	экрана	нулевой, Z ₀	прямой, Z ₁	нулевой, Z ₀	прямой, Z ₁	нулевой, Z ₀	прямой, Z ₁	нулевой, Z ₀	прямой, Z ₁
35	16	2,04+j0,64	1,116+j0,137	2,445+j0,073	1,113+j0,137	2,008+j0,65	1,124+j0,194	2,445+j0,073	1,113+j0,195
50	16	1,746+j0,636	0,825+j0,131	2,153+j0,068	0,822+j0,131	1,714+j0,645	0,833+j0,188	2,153+j0,068	0,822+j0,189
50	25	1,535+j0,354	0,827+j0,132	1,674+j0,069	0,822+j0,132	1,522+j0,364	0,839+j0,188	1,674+j0,069	0,822+j0,191
70	16	1,49+j0,63	0,571+j0,122	1,9+j0,061	0,568+j0,122	1,458+j0,639	0,579+j0,18	1,9+j0,061	0,568+j0,181
70	25	1,28+j0,349	0,572+j0,124	1,42+j0,063	0,568+j0,125	1,266+j0,359	0,585+j0,181	1,42+j0,063	0,568+j0,183
70	35	1,118+j0,223	0,574+j0,125	1,177+j0,064	0,568+j0,126	1,111+j0,23	0,591+j0,18	1,177+j0,064	0,568+j0,184
95	16	1,328+j0,626	0,413+j0,116	1,742+j0,056	0,41+j0,116	1,296+j0,635	0,421+j0,173	1,742+j0,056	0,41+j0,174
95	25	1,121+j0,344	0,415+j0,117	1,263+j0,057	0,41+j0,117	1,107+j0,355	0,427+j0,173	1,263+j0,057	0,41+j0,176
95	35	0,959+j0,219	0,416+j0,119	1,019+j0,058	0,41+j0,12	0,953+j0,226	0,433+j0,173	1,019+j0,058	0,41+j0,178
120	25	1,034+j0,341	0,329+j0,112	1,177+j0,053	0,324+j0,113	1,02+j0,352	0,34+j0,169	1,177+j0,053	0,324+j0,171
120	35	0,873+j0,216	0,33+j0,115	0,933+j0,055	0,324+j0,115	0,866+j0,223	0,347+j0,169	0,933+j0,055	0,324+j0,173
120	50	0,727+j0,139	0,333+j0,116	0,75+j0,056	0,324+j0,117	0,724+j0,144	0,355+j0,167	0,75+j0,056	0,324+j0,175
150	25	0,973+j0,339	0,268+j0,109	1,116+j0,05	0,264+j0,109	0,959+j0,35	0,28+j0,165	1,116+j0,05	0,264+j0,167
150	35	0,812+j0,212	0,27+j0,11	0,873+j0,051	0,264+j0,11	0,806+j0,22	0,286+j0,164	0,873+j0,051	0,264+j0,168
150	50	0,666+j0,137	0,272+j0,112	0,69+j0,053	0,264+j0,113	0,663+j0,141	0,295+j0,163	0,69+j0,053	0,264+j0,171
150	70	0,559+j0,098	0,276+j0,112	0,568+j0,054	0,264+j0,115	0,557+j0,1	0,304+j0,157	0,568+j0,054	0,264+j0,173
185	25	0,918+j0,337	0,214+j0,105	1,063+j0,047	0,21+j0,105	0,904+j0,348	0,226+j0,161	1,063+j0,047	0,21+j0,163
185	35	0,758+j0,21	0,216+j0,106	0,819+j0,048	0,21+j0,106	0,751+j0,217	0,232+j0,16	0,819+j0,048	0,21+j0,165
185	50	0,612+j0,134	0,218+j0,108	0,636+j0,05	0,21+j0,109	0,609+j0,138	0,24+j0,159	0,636+j0,05	0,21+j0,167
185	70	0,505+j0,095	0,222+j0,108	0,515+j0,051	0,21+j0,111	0,503+j0,098	0,25+j0,153	0,515+j0,051	0,21+j0,169
185	95	0,43+j0,077	0,225+j0,109	0,435+j0,052	0,21+j0,113	0,429+j0,078	0,259+j0,145	0,435+j0,052	0,21+j0,171
240	25	0,866+j0,335	0,164+j0,1	1,013+j0,044	0,16+j0,1	0,852+j0,345	0,175+j0,156	1,013+j0,044	0,16+j0,158
240	35	0,707+j0,208	0,166+j0,101	0,769+j0,045	0,16+j0,102	0,7+j0,215	0,181+j0,156	0,769+j0,045	0,16+j0,16
240	50	0,562+j0,13	0,168+j0,102	0,586+j0,045	0,16+j0,103	0,559+j0,134	0,19+j0,153	0,586+j0,045	0,16+j0,161
240	70	0,454+j0,092	0,171+j0,104	0,465+j0,047	0,16+j0,106	0,453+j0,094	0,199+j0,149	0,465+j0,047	0,16+j0,164
240	95	0,38+j0,073	0,175+j0,104	0,385+j0,049	0,16+j0,108	0,379+j0,075	0,209+j0,141	0,385+j0,049	0,16+j0,166
240	120	0,335+j0,07	0,18+j0,11	0,338+j0,054	0,16+j0,117	0,335+j0,071	0,217+j0,137	0,338+j0,054	0,16+j0,176
300	35	0,674+j0,206	0,133+j0,098	0,737+j0,042	0,128+j0,099	0,667+j0,213	0,149+j0,153	0,737+j0,042	0,128+j0,157
300	50	0,53+j0,128	0,136+j0,099	0,554+j0,043	0,128+j0,099	0,527+j0,132	0,157+j0,15	0,554+j0,043	0,128+j0,158
300	70	0,422+j0,088	0,139+j0,099	0,433+j0,044	0,128+j0,101	0,421+j0,091	0,167+j0,145	0,433+j0,044	0,128+j0,159
300	95	0,348+j0,07	0,142+j0,1	0,352+j0,046	0,128+j0,104	0,347+j0,072	0,176+j0,138	0,352+j0,046	0,128+j0,162
300	120	0,303+j0,067	0,147+j0,106	0,306+j0,051	0,128+j0,113	0,303+j0,068	0,184+j0,134	0,306+j0,051	0,128+j0,171
350	35	0,649+j0,204	0,109+j0,095	0,712+j0,04	0,104+j0,096	0,642+j0,211	0,124+j0,15	0,712+j0,04	0,104+j0,154

Площадь поперечного сечения, мм ²		Кабели расположены треугольником ¹				Кабели расположены в плоскости ²			
		полное сопротивление переменному току для последовательности, Ом/км							
		экран заземлен ³		экран разземлен ⁴		экран заземлен ³		экран разземлен ⁴	
жилы	экрана	нулевой, Z ₀	прямой, Z ₁	нулевой, Z ₀	прямой, Z ₁	нулевой, Z ₀	прямой, Z ₁	нулевой, Z ₀	прямой, Z ₁
350	50	0,505+j0,126	0,111+j0,096	0,53+j0,041	0,104+j0,097	0,502+j0,131	0,132+j0,148	0,53+j0,041	0,104+j0,156
350	70	0,398+j0,087	0,114+j0,097	0,408+j0,042	0,104+j0,099	0,396+j0,09	0,142+j0,143	0,408+j0,042	0,104+j0,157
350	95	0,323+j0,068	0,117+j0,097	0,328+j0,043	0,104+j0,1	0,323+j0,069	0,15+j0,134	0,328+j0,043	0,104+j0,158
350	120	0,278+j0,065	0,122+j0,104	0,281+j0,049	0,104+j0,111	0,278+j0,066	0,159+j0,132	0,281+j0,049	0,104+j0,169
400	50	0,501+j0,125	0,107+j0,094	0,526+j0,04	0,1+j0,095	0,498+j0,129	0,128+j0,146	0,526+j0,04	0,1+j0,153
400	70	0,394+j0,086	0,11+j0,095	0,404+j0,041	0,1+j0,097	0,392+j0,089	0,137+j0,141	0,404+j0,041	0,1+j0,156
400	95	0,319+j0,067	0,113+j0,095	0,324+j0,042	0,1+j0,099	0,319+j0,068	0,146+j0,133	0,324+j0,042	0,1+j0,157
400	120	0,275+j0,059	0,117+j0,095	0,277+j0,043	0,1+j0,1	0,274+j0,059	0,153+j0,124	0,277+j0,043	0,1+j0,158
400	150	0,24+j0,058	0,122+j0,099	0,242+j0,048	0,1+j0,109	0,24+j0,059	0,158+j0,118	0,242+j0,048	0,1+j0,167
500	70	0,371+j0,084	0,088+j0,093	0,382+j0,039	0,078+j0,095	0,37+j0,086	0,115+j0,139	0,382+j0,039	0,078+j0,153
500	95	0,297+j0,064	0,091+j0,092	0,302+j0,039	0,078+j0,096	0,296+j0,066	0,124+j0,13	0,302+j0,039	0,078+j0,154
500	120	0,252+j0,056	0,094+j0,092	0,255+j0,04	0,078+j0,097	0,252+j0,057	0,13+j0,121	0,255+j0,04	0,078+j0,155
500	150	0,218+j0,055	0,099+j0,096	0,22+j0,045	0,078+j0,105	0,218+j0,056	0,136+j0,115	0,22+j0,045	0,078+j0,163
630	95	0,28+j0,061	0,073+j0,088	0,284+j0,036	0,06+j0,091	0,279+j0,063	0,106+j0,126	0,284+j0,036	0,06+j0,149
630	120	0,235+j0,053	0,076+j0,087	0,238+j0,037	0,06+j0,092	0,235+j0,053	0,112+j0,117	0,238+j0,037	0,06+j0,15
630	150	0,201+j0,052	0,081+j0,092	0,202+j0,042	0,06+j0,101	0,2+j0,053	0,118+j0,111	0,202+j0,042	0,06+j0,159
630	185	0,174+j0,049	0,084+j0,088	0,175+j0,042	0,06+j0,101	0,174+j0,049	0,119+j0,099	0,175+j0,042	0,06+j0,159
800	95	0,266+j0,059	0,059+j0,084	0,271+j0,033	0,047+j0,087	0,266+j0,06	0,092+j0,123	0,271+j0,033	0,047+j0,146
800	120	0,222+j0,05	0,062+j0,084	0,225+j0,034	0,047+j0,088	0,221+j0,051	0,098+j0,114	0,225+j0,034	0,047+j0,146
800	150	0,188+j0,045	0,066+j0,082	0,189+j0,035	0,047+j0,09	0,187+j0,046	0,102+j0,104	0,189+j0,035	0,047+j0,148
800	185	0,161+j0,045	0,07+j0,084	0,162+j0,038	0,047+j0,096	0,161+j0,046	0,105+j0,096	0,162+j0,038	0,047+j0,154
1000	95	0,257+j0,057	0,049+j0,082	0,262+j0,032	0,037+j0,085	0,256+j0,059	0,082+j0,121	0,262+j0,032	0,037+j0,143
1000	120	0,212+j0,048	0,052+j0,08	0,215+j0,032	0,037+j0,085	0,212+j0,049	0,088+j0,112	0,215+j0,032	0,037+j0,143
1000	150	0,178+j0,043	0,055+j0,079	0,179+j0,032	0,037+j0,086	0,178+j0,043	0,092+j0,101	0,179+j0,032	0,037+j0,144
1000	185	0,152+j0,04	0,058+j0,077	0,152+j0,033	0,037+j0,087	0,151+j0,04	0,093+j0,09	0,152+j0,033	0,037+j0,145
1200	95	0,251+j0,056	0,043+j0,079	0,256+j0,03	0,032+j0,082	0,25+j0,057	0,075+j0,119	0,256+j0,03	0,032+j0,14
1200	120	0,206+j0,047	0,046+j0,079	0,209+j0,03	0,032+j0,083	0,206+j0,048	0,081+j0,11	0,209+j0,03	0,032+j0,141
1200	150	0,172+j0,041	0,049+j0,077	0,174+j0,031	0,032+j0,084	0,172+j0,042	0,086+j0,1	0,174+j0,031	0,032+j0,142
1200	185	0,146+j0,038	0,053+j0,076	0,147+j0,031	0,032+j0,086	0,146+j0,039	0,088+j0,089	0,147+j0,031	0,032+j0,144

Примечания:

1 – кабели расположены треугольником вплотную;

2 – кабели расположены в плоскости, расстояние между кабелями в свету равно диаметру кабеля;

3 – сопротивление рассчитано для схемы заземления экранов, при которой экран заземлен с двух сторон;

4 – сопротивление рассчитано для схемы заземления экранов, при которой экран заземлен только с одной стороны или разземлен с двух сторон.

Таблица 2. Сопротивления КЛ 10 кВ, состоящих из кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена с медными жилами

Площадь поперечного сечения, мм ²		Кабели расположены треугольником ¹				Кабели расположены в плоскости ²			
		полное сопротивление переменному току для последовательности, Ом/км							
		экран заземлен ³		экран разземлен ⁴		экран заземлен ³		экран разземлен ⁴	
жилы	экрана	нулевой, Z ₀	прямой, Z ₁	нулевой, Z ₀	прямой, Z ₁	нулевой, Z ₀	прямой, Z ₁	нулевой, Z ₀	прямой, Z ₁
35	16	1,595+j0,64	0,671+j0,137	2+j0,073	0,668+j0,137	1,563+j0,65	0,679+j0,194	2+j0,073	0,668+j0,195
50	16	1,418+j0,636	0,496+j0,131	1,825+j0,068	0,493+j0,131	1,386+j0,645	0,504+j0,188	1,825+j0,068	0,493+j0,189
50	25	1,207+j0,354	0,498+j0,132	1,346+j0,069	0,493+j0,132	1,193+j0,364	0,51+j0,188	1,346+j0,069	0,493+j0,191
70	16	1,263+j0,63	0,345+j0,122	1,673+j0,061	0,342+j0,122	1,231+j0,639	0,352+j0,18	1,673+j0,061	0,342+j0,181
70	25	1,054+j0,349	0,346+j0,124	1,194+j0,063	0,342+j0,125	1,04+j0,359	0,358+j0,181	1,194+j0,063	0,342+j0,183
70	35	0,891+j0,223	0,348+j0,125	0,95+j0,064	0,342+j0,126	0,885+j0,23	0,365+j0,18	0,95+j0,064	0,342+j0,184
95	16	1,164+j0,626	0,249+j0,116	1,578+j0,056	0,246+j0,116	1,132+j0,635	0,257+j0,173	1,578+j0,056	0,246+j0,174
95	25	0,957+j0,344	0,25+j0,117	1,098+j0,057	0,246+j0,117	0,943+j0,355	0,262+j0,173	1,098+j0,057	0,246+j0,176
95	35	0,795+j0,219	0,252+j0,119	0,855+j0,058	0,246+j0,12	0,789+j0,226	0,269+j0,173	0,855+j0,058	0,246+j0,178
120	25	0,905+j0,341	0,199+j0,112	1,047+j0,053	0,195+j0,113	0,891+j0,352	0,211+j0,169	1,047+j0,053	0,195+j0,171
120	35	0,744+j0,216	0,201+j0,115	0,804+j0,055	0,195+j0,115	0,737+j0,223	0,217+j0,169	0,804+j0,055	0,195+j0,173
120	50	0,597+j0,139	0,204+j0,116	0,621+j0,056	0,195+j0,117	0,595+j0,144	0,226+j0,167	0,621+j0,056	0,195+j0,175
150	25	0,867+j0,339	0,162+j0,109	1,01+j0,05	0,158+j0,109	0,853+j0,35	0,174+j0,165	1,01+j0,05	0,158+j0,167
150	35	0,706+j0,212	0,164+j0,11	0,767+j0,051	0,158+j0,11	0,7+j0,22	0,18+j0,164	0,767+j0,051	0,158+j0,168
150	50	0,56+j0,137	0,166+j0,112	0,584+j0,053	0,158+j0,113	0,557+j0,141	0,189+j0,163	0,584+j0,053	0,158+j0,171
150	70	0,453+j0,098	0,17+j0,112	0,462+j0,054	0,158+j0,115	0,451+j0,1	0,198+j0,157	0,462+j0,054	0,158+j0,173
185	25	0,834+j0,337	0,13+j0,105	0,979+j0,047	0,126+j0,105	0,82+j0,348	0,142+j0,161	0,979+j0,047	0,126+j0,163
185	35	0,674+j0,21	0,132+j0,106	0,735+j0,048	0,126+j0,106	0,667+j0,217	0,148+j0,16	0,735+j0,048	0,126+j0,165
185	50	0,528+j0,134	0,134+j0,108	0,552+j0,05	0,126+j0,109	0,525+j0,138	0,156+j0,159	0,552+j0,05	0,126+j0,167
185	70	0,421+j0,095	0,138+j0,108	0,431+j0,051	0,126+j0,111	0,419+j0,098	0,166+j0,153	0,431+j0,051	0,126+j0,169
185	95	0,346+j0,077	0,142+j0,109	0,351+j0,052	0,126+j0,113	0,345+j0,078	0,175+j0,145	0,351+j0,052	0,126+j0,171
240	25	0,802+j0,335	0,1+j0,1	0,948+j0,044	0,096+j0,1	0,788+j0,345	0,111+j0,156	0,948+j0,044	0,096+j0,158
240	35	0,643+j0,208	0,101+j0,101	0,705+j0,045	0,096+j0,102	0,636+j0,215	0,117+j0,156	0,705+j0,045	0,096+j0,16
240	50	0,498+j0,13	0,104+j0,102	0,522+j0,045	0,096+j0,103	0,495+j0,134	0,125+j0,153	0,522+j0,045	0,096+j0,161
240	70	0,39+j0,092	0,107+j0,104	0,401+j0,047	0,096+j0,106	0,389+j0,094	0,135+j0,149	0,401+j0,047	0,096+j0,164
240	95	0,316+j0,073	0,111+j0,104	0,32+j0,049	0,096+j0,108	0,315+j0,075	0,144+j0,141	0,32+j0,049	0,096+j0,166
240	120	0,271+j0,07	0,116+j0,11	0,274+j0,054	0,096+j0,117	0,271+j0,071	0,153+j0,137	0,274+j0,054	0,096+j0,176
300	35	0,623+j0,206	0,082+j0,098	0,685+j0,042	0,077+j0,099	0,616+j0,213	0,097+j0,153	0,685+j0,042	0,077+j0,157
300	50	0,478+j0,128	0,084+j0,099	0,503+j0,043	0,077+j0,099	0,475+j0,132	0,106+j0,15	0,503+j0,043	0,077+j0,158
300	70	0,371+j0,088	0,087+j0,099	0,381+j0,044	0,077+j0,101	0,369+j0,091	0,115+j0,145	0,381+j0,044	0,077+j0,159
300	95	0,296+j0,07	0,091+j0,1	0,301+j0,046	0,077+j0,104	0,296+j0,072	0,124+j0,138	0,301+j0,046	0,077+j0,162
300	120	0,252+j0,067	0,096+j0,106	0,254+j0,051	0,077+j0,113	0,251+j0,068	0,132+j0,134	0,254+j0,051	0,077+j0,171
350	35	0,609+j0,204	0,068+j0,095	0,672+j0,04	0,063+j0,096	0,602+j0,211	0,083+j0,15	0,672+j0,04	0,063+j0,154

Площадь поперечного сечения, мм ²		Кабели расположены треугольником ¹				Кабели расположены в плоскости ²			
		полное сопротивление переменному току для последовательности, Ом/км							
		экран заземлен ³		экран разземлен ⁴		экран заземлен ³		экран разземлен ⁴	
жилы	экрана	нулевой, Z ₀	прямой, Z ₁	нулевой, Z ₀	прямой, Z ₁	нулевой, Z ₀	прямой, Z ₁	нулевой, Z ₀	прямой, Z ₁
350	50	0,464+j0,126	0,07+j0,096	0,489+j0,041	0,063+j0,097	0,461+j0,131	0,091+j0,148	0,489+j0,041	0,063+j0,156
350	70	0,357+j0,087	0,073+j0,097	0,367+j0,042	0,063+j0,099	0,356+j0,09	0,101+j0,143	0,367+j0,042	0,063+j0,157
350	95	0,282+j0,068	0,077+j0,097	0,287+j0,043	0,063+j0,1	0,282+j0,069	0,11+j0,134	0,287+j0,043	0,063+j0,158
350	120	0,238+j0,065	0,082+j0,104	0,24+j0,049	0,063+j0,111	0,237+j0,066	0,118+j0,132	0,24+j0,049	0,063+j0,169
400	50	0,461+j0,125	0,067+j0,094	0,486+j0,04	0,06+j0,095	0,458+j0,129	0,088+j0,146	0,486+j0,04	0,06+j0,153
400	70	0,354+j0,086	0,07+j0,095	0,364+j0,041	0,06+j0,097	0,353+j0,089	0,098+j0,141	0,364+j0,041	0,06+j0,156
400	95	0,279+j0,067	0,073+j0,095	0,284+j0,042	0,06+j0,099	0,279+j0,068	0,107+j0,133	0,284+j0,042	0,06+j0,157
400	120	0,235+j0,059	0,077+j0,095	0,237+j0,043	0,06+j0,1	0,235+j0,059	0,113+j0,124	0,237+j0,043	0,06+j0,158
400	150	0,2+j0,058	0,082+j0,099	0,202+j0,048	0,06+j0,109	0,2+j0,059	0,118+j0,118	0,202+j0,048	0,06+j0,167
500	70	0,341+j0,084	0,057+j0,093	0,351+j0,039	0,047+j0,095	0,339+j0,086	0,084+j0,139	0,351+j0,039	0,047+j0,153
500	95	0,266+j0,064	0,06+j0,092	0,271+j0,039	0,047+j0,096	0,266+j0,066	0,093+j0,13	0,271+j0,039	0,047+j0,154
500	120	0,222+j0,056	0,063+j0,092	0,224+j0,04	0,047+j0,097	0,221+j0,057	0,099+j0,121	0,224+j0,04	0,047+j0,155
500	150	0,187+j0,055	0,068+j0,096	0,189+j0,045	0,047+j0,105	0,187+j0,056	0,105+j0,115	0,189+j0,045	0,047+j0,163
630	95	0,255+j0,061	0,049+j0,088	0,26+j0,036	0,036+j0,091	0,255+j0,063	0,082+j0,126	0,26+j0,036	0,036+j0,149
630	120	0,211+j0,053	0,052+j0,087	0,214+j0,037	0,036+j0,092	0,211+j0,053	0,088+j0,117	0,214+j0,037	0,036+j0,15
630	150	0,177+j0,052	0,057+j0,092	0,178+j0,042	0,036+j0,101	0,176+j0,053	0,094+j0,111	0,178+j0,042	0,036+j0,159
630	185	0,15+j0,049	0,06+j0,088	0,151+j0,042	0,036+j0,101	0,15+j0,049	0,095+j0,099	0,151+j0,042	0,036+j0,159
800	95	0,247+j0,059	0,041+j0,084	0,252+j0,033	0,028+j0,087	0,247+j0,06	0,073+j0,123	0,252+j0,033	0,028+j0,146
800	120	0,203+j0,05	0,043+j0,084	0,206+j0,034	0,028+j0,088	0,203+j0,051	0,079+j0,114	0,206+j0,034	0,028+j0,146
800	150	0,169+j0,045	0,047+j0,082	0,17+j0,035	0,028+j0,09	0,168+j0,046	0,083+j0,104	0,17+j0,035	0,028+j0,148
800	185	0,142+j0,045	0,051+j0,084	0,143+j0,038	0,028+j0,096	0,142+j0,046	0,086+j0,096	0,143+j0,038	0,028+j0,154
1000	95	0,242+j0,057	0,034+j0,082	0,247+j0,032	0,022+j0,085	0,241+j0,059	0,067+j0,121	0,247+j0,032	0,022+j0,143
1000	120	0,197+j0,048	0,037+j0,08	0,2+j0,032	0,022+j0,085	0,197+j0,049	0,073+j0,112	0,2+j0,032	0,022+j0,143
1000	150	0,163+j0,043	0,04+j0,079	0,164+j0,032	0,022+j0,086	0,163+j0,043	0,077+j0,101	0,164+j0,032	0,022+j0,144
1000	185	0,137+j0,04	0,043+j0,077	0,138+j0,033	0,022+j0,087	0,137+j0,04	0,079+j0,09	0,138+j0,033	0,022+j0,145
1200	95	0,238+j0,056	0,031+j0,079	0,244+j0,03	0,019+j0,082	0,238+j0,057	0,063+j0,119	0,244+j0,03	0,019+j0,14
1200	120	0,194+j0,047	0,034+j0,079	0,197+j0,03	0,019+j0,083	0,194+j0,048	0,069+j0,11	0,197+j0,03	0,019+j0,141
1200	150	0,16+j0,041	0,037+j0,077	0,161+j0,031	0,019+j0,084	0,159+j0,042	0,073+j0,1	0,161+j0,031	0,019+j0,142
1200	185	0,133+j0,038	0,04+j0,076	0,134+j0,031	0,019+j0,086	0,133+j0,039	0,076+j0,089	0,134+j0,031	0,019+j0,144

Примечания:

1 – кабели расположены треугольником вплотную;

2 – кабели расположены в плоскости, расстояние между кабелями в свету равно диаметру кабеля;

3 – сопротивление рассчитано для схемы заземления экранов, при которой экран заземлен с двух сторон;

4 – сопротивление рассчитано для схемы заземления экранов, при которой экран заземлен только с одной стороны или разземлен с двух сторон.