

И.В. НИЖЕВСКИЙ, инженер, СКБ «Электроцитт», Харьков
В.И. НИЖЕВСКИЙ, канд. техн. наук., доц., НТУ «ХПИ»
А.А. КРУПЕНКО, студент, НТУ «ХПИ»

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛОВ НА ПОВЕРХНОСТИ ГРУНТА У ВЪЕЗДОВ (ВХОДОВ) И УГЛОВ ЗАЗЕМЛЯЮЩЕГО КОНТУРА ПОДСТАНЦИИ

Приведены результаты исследований потенциального поля на поверхности грунта на территории подстанции и за ее пределами. Показана необходимость при проектировании ЗУ подстанций производить проверку напряжения прикосновения в заданных точках как расчетным путем, так и экспериментально после сооружения ЗУ.

Ключевые слова: исследование, потенциальное поле, грунт, подстанция, заземляющее устройство

Введение. Несмотря на значительные успехи в области ЗУ, исследования продолжают. Это связано с необходимостью дальнейшего повышения уровня электробезопасности, снижения риска отказов оборудования и развития аварий по причине несовершенства ЗУ.

Согласно Правилам устройства электроустановок (ПУЭ) [1], если заземляющее устройство (ЗУ) находится внутри внешнего ограждения электроустановки, то у входов и въездов на ее территорию необходимо выполнить выравнивание потенциалов, например, путем установки двух вертикальных заземлителей, присоединенных к внешнему горизонтальному заземлителю напротив входов и въездов. В этом случае вертикальные заземлители должны иметь длину 3–5 м, а расстояние между ними должно равняться ширине входа или въезда. Кроме того (см. ПУЭ, п. 1.7.107), прокладывать горизонтальные заземлители, которые находятся за территорией электроустановки, на глубине, не меньшей, чем 1 м, а внешний контур ЗУ в случае выхода его за пределы электроустановки рекомендовано выполнять в виде многоугольника с тупыми или закругленными углами.

В случае (см. ПУЭ, п. 1.7.110), если заземлитель любой электроустановки соединен с заземлителем электроустановки напряжением выше 1 кВ, то для выравнивания потенциалов вокруг такой электроустановки или здания, в котором она расположена, необходимо проложить в земле на глубине 1 м и на расстоянии 1 м от фундамента здания или периметра территории, занятой оборудованием, заземлитель, соединенный с системой выравнивания

© И. В. Нижевский, В. И. Нижевский, А. А. Крупенко, 2013

потенциалов на территории, а у входа и у въезда на территорию здания – проводники на расстоянии 1 м и 2 м от заземлителя на глубине 1 м и 1,5 м соответственно и соединить эти проводники с заземлителем.

Целью настоящей работы является оценка соответствия параметров электробезопасности на территории подстанции и за ее пределами требованиям действующих ПУЭ.

Метод исследования. Математическое моделирование ЗУ подстанции и расчет его электрических характеристик по методу наведенных потенциалов.

Основные результаты. Исследование распределения потенциалов на поверхности грунта выполнено на примере двухуровневого ЗУ подстанции. Первый уровень представляет собой сетку из четырех одинаковых ячеек с размерами $10 \times 10 \text{ м}^2$, а второй уровень представляет собой внешний контур первого уровня, но каждая его сторона увеличена на 2 м. Глубина укладки сетки t_1 , а глубина укладки контура второго уровня t_2 , которая варьируется в диапазоне от 0,5 м до 2,5 м. Диаметр электродов ЗУ принят равным $d=0,02 \text{ м}$. Грунт, в котором расположено ЗУ, принят в виде двухслойной модели с удельным сопротивлением ρ_1 первого слоя, которое варьировалось в диапазоне от $20 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ до $1000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, и $\rho_2=100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ второго слоя, при этом толщина первого слоя была принята равной $h_1=0,7 \text{ м}$, а второго $h_2=\infty$. Расчетные точки, в которых определялся потенциал на поверхности грунта, расположены на двух направлениях. Первое направление расчетных точек проходит из центра угловой ячейки сетки через ее внешний угол, а второе направление проходит из центра угловой ячейки перпендикулярно ее внешней стороне, что соответствует въезду (входу) на территорию подстанции.

Отдельные результаты проведенных исследований представлены в табл. 1 для первого направления и в табл. 2 для второго. Анализ полученных результатов позволяет утверждать следующее. Увеличение глубины укладки контура второго уровня, т.е. $t_2 > h_1$, приводит к увеличению относительного потенциала ϕ_1/ϕ_3 в любой точке на территории сетки первого уровня и снижению относительного потенциала за ее пределами в диапазоне изменения удельного сопротивления грунта ρ_1 от $20 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ до $1000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

Если заземляющая сетка верхнего уровня и контур нижнего уровня находятся в первом слое грунта, то величина относительного потенциала ϕ_1/ϕ_3 при уменьшении ρ_1 возрастает, а при увеличении ρ_1 снижается по сравнению с однородным грунтом, т.е. в случае, когда $\rho_1 = \rho_2$. Кроме того, за пределами внешнего угла заземляющей сетки по мере удаления от нее величина относительного потенциала снижается

более существенно, чем у въезда (входа) на подстанцию. Однако наличие только заземляющей сетки приводит к еще большему снижению относительного потенциала. Увеличение глубины укладки сетки первого уровня при отношении $\rho_1/\rho_2=0,2$ приводит к снижению относительного потенциала ϕ_i/ϕ_3 на поверхности грунта как над сеткой, так и за ее пределами. В случае, если $\rho_1/\rho_2=1$ и более значение относительного потенциала в любой точке на поверхности грунта увеличивается. Увеличение относительного потенциала в произвольной точке подстанции приводит к снижению напряжения прикосновения и наоборот. Как видим, напряжение прикосновения зависит не только от места его определения на территории подстанции (а в отдельных случаях и за ее пределами), но и от времени года, причем в случае промерзания верхнего слоя грунта возможно существенное превышение допустимых его значений.

Таблица 1 – Распределение потенциалов по поверхности грунта для первого направления

ρ_1 , Ом·м	t_1 , м	t_2 , м	Величина относительного потенциала ϕ_i/ϕ_3 в расчетной точке $x=y$, м									
			15	17,5	20	20,5	21	21,5	22	23	25	
			20	0,5	0,6	0,904	0,924	0,966	0,94	0,886	0,801	0,735
		1	0,894	0,909	0,918	0,851	0,789	0,729	0,679	0,602	0,499	
		1,5	0,898	0,913	0,914	0,842	0,78	0,727	0,68	0,606	0,503	
		2	0,902	0,917	0,912	0,838	0,778	0,727	0,683	0,611	0,509	
	1	1,1	0,794	0,8	0,79	0,757	0,712	0,662	0,618	0,547	0,452	
		1,5	0,797	0,8	0,776	0,74	0,697	0,654	0,614	0,548	0,456	
		2	0,802	0,801	0,768	0,729	0,689	0,649	0,613	0,551	0,461	
		2,5	0,806	0,803	0,762	0,724	0,684	0,647	0,613	0,554	0,465	
100	0,5	0,6	0,736	0,771	0,896	0,854	0,782	0,666	0,589	0,495	0,394	
		1,1	0,751	0,787	0,884	0,817	0,745	0,666	0,6	0,511	0,408	
		1,5	0,762	0,797	0,875	0,798	0,729	0,663	0,605	0,52	0,417	
		2	0,773	0,807	0,866	0,783	0,717	0,659	0,608	0,528	0,426	
	1	1,1	0,761	0,794	0,851	0,81	0,745	0,668	0,604	0,514	0,41	
		1,5	0,772	0,802	0,839	0,79	0,729	0,665	0,608	0,523	0,42	
		2	0,782	0,811	0,827	0,774	0,716	0,661	0,611	0,532	0,429	
		2,5	0,791	0,817	0,82	0,765	0,709	0,658	0,613	0,538	0,438	
1000	0,5	0,6	0,256	0,285	0,547	0,467	0,406	0,272	0,215	0,17	0,131	
		1,1	0,466	0,531	0,759	0,693	0,619	0,521	0,444	0,352	0,265	
		1,5	0,485	0,55	0,744	0,659	0,521	0,518	0,453	0,366	0,277	
		2	0,5	0,561	0,721	0,624	0,563	0,506	0,454	0,375	0,286	

1	1,1	0,586	0,634	0,756	0,717	0,642	0,549	0,475	0,384	0,293
	1,5	0,597	0,646	0,742	0,691	0,621	0,547	0,483	0,396	0,303
	2	0,609	0,658	0,727	0,668	0,603	0,541	0,487	0,406	0,313
	2,5	0,619	0,666	0,716	0,653	0,591	0,536	0,488	0,413	0,321

Таблица 2 – Распределение потенциалов по поверхности грунта для второго направления

ρ_1 , Ом·м	t_1 , м	t_2 , м	Величина относительного потенциала ϕ_i/ϕ_3 в расчетной точке x , ($y=15$), м									
			15	17,5	20	20,5	21	21,5	22	23	25	
			20	0,5	0,6	0,904	0,916	0,971	0,968	0,952	0,918	0,877
		1	0,894	0,903	0,95	0,929	0,898	0,863	0,828	0,763	0,659	
		1,5	0,898	0,907	0,95	0,927	0,894	0,861	0,828	0,766	0,664	
		2	0,902	0,911	0,951	0,926	0,893	0,861	0,829	0,77	0,67	
	1	1,1	0,794	0,799	0,824	0,817	0,801	0,776	0,748	0,692	0,599	
		1,5	0,797	0,8	0,817	0,807	0,79	0,767	0,742	0,69	0,601	
		2	0,802	0,804	0,814	0,802	0,784	0,762	0,738	0,69	0,604	
		2,5	0,806	0,807	0,813	0,8	0,781	0,759	0,736	0,691	0,608	
100	0,5	0,6	0,736	0,756	0,895	0,892	0,87	0,814	0,753	0,66	0,541	
		1	0,749	0,769	0,895	0,881	0,849	0,805	0,756	0,672	0,555	
		1,5	0,762	0,783	0,895	0,872	0,835	0,796	0,756	0,681	0,568	
		2	0,773	0,793	0,894	0,866	0,827	0,79	0,755	0,687	0,579	
	1	1,1	0,761	0,78	0,863	0,86	0,839	0,803	0,759	0,678	0,562	
		1,5	0,772	0,79	0,86	0,852	0,828	0,795	0,757	0,685	0,572	
		2	0,782	0,8	0,859	0,846	0,821	0,789	0,756	0,69	0,582	
		2,5	0,791	0,807	0,858	0,843	0,816	0,786	0,755	0,694	0,591	
1000	0,5	0,6	0,256	0,273	0,532	0,506	0,48	0,392	0,316	0,244	0,187	
		1	0,46	0,497	0,725	0,718	0,691	0,643	0,583	0,486	0,374	
		1,5	0,485	0,522	0,725	0,699	0,661	0,625	0,583	0,504	0,396	
		2	0,5	0,535	0,717	0,68	0,636	0,604	0,572	0,508	0,407	
	1	1,1	0,586	0,613	0,745	0,748	0,726	0,681	0,627	0,535	0,42	
		1,5	0,597	0,625	0,742	0,737	0,711	0,672	0,628	0,546	0,433	
		2	0,609	0,637	0,739	0,728	0,699	0,663	0,625	0,553	0,445	
		2,5	0,619	0,646	0,736	0,722	0,691	0,656	0,622	0,557	0,454	

Результаты исследований хорошо согласуются с результатами известных авторов [2].

Выводы. Несмотря на выполнение указаний ПУЭ, результаты выполненных исследований показывают, что в каждом конкретном

случае при проектировании ЗУ подстанций необходимо производить проверку напряжения прикосновения в заданных точках как расчетным путем, так и экспериментально после сооружения ЗУ. Это особенно важно для тех. регионов Украины, в которых верхний слой грунта промерзает ниже глубины укладки сетки, что может привести к превышению допустимой величины напряжения прикосновения. Необходимо продолжить исследования для многоуровневых заземлителей.

Список литературы: 1. Правила улаштування електроустановок. Глава 1.7 (ПУЕ). – К. : ТОВ «7КО», 2011. - 71 с. 2. Бургсдорф В.В. Заземляющие устройства электроустановок / В.В. Бургсдорф, А.И. Якобс. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 400 с.

Поступила в редколлегию 06.10.2013

УДК 621.316.99

Исследование распределения потенциалов на поверхности грунта у вьездов (входов) и углов заземляющего контура подстанции / И. В. Нижевский, В. И. Нижевский, А. А. Крупенко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність. – Х. : НТУ «ХПІ», 2013. – № 59 (1032). – С. 112–116. – Бібліогр.: 2 назв.

Наведено результати досліджень потенційного поля на поверхні ґрунту на території підстанції та за її межами. Показано необхідність при проектуванні ЗУ підстанцій проводити перевірку напруги дотику в заданих точках як розрахунковим шляхом, так і експериментально після спорудження ЗУ.

Ключові слова: дослідження, потенційне поле, ґрунт, підстанція, заземлювальний пристрій

The results of the potential field research on the surface of the ground in the substation and beyond. The necessity of the design of the sub-stations earthing system to inspect the contact voltage at predetermined points as calculated by, and after the construction of the experimental earthing system.

Keywords: research, potential field, ground, substation, earthing system