Цель работы: Научить производить расчёт заземляющих устройств электроустановок

Краткие теоретические сведения:

Заземление – это преднамеренное соединение частей электроустановки с землей с помощью заземляющего устройства, состоящее из вертикальных заземлителей и горизонтальных заземляющих проводников.

Зануление – это преднамеренное соединение частей электроустановки, которые в нормальном состоянии не находятся под напряжением (нейтраль обмотки трансформатора, соединенная в схему «ЗВЕЗДА» для сетей с глухозаземлёной нейтралью напряжением до 1000В) с заземляющим устройством, состоящее из вертикальных заземлителей и горизонтальных заземляющих проводников.

Нулевым рабочим проводником (N) называется проводник, предназначенный для питания однофазных электроприёмников переменного тока в сетях с глухозаземлёной нейтралью напряжением до 1000 В и присоединяемый к нейтрали трансформатора или генератора.

Нулевым защитным проводником (PE) называется проводник, предназначенный для электробезопасности электроустановок и присоединяемый к заземляющему устройству электроустановки непосредственно.

Различают три вида заземлений:

- Защитное – гарантирующие безопасное обслуживание электроустановок.
- Рабочее – обеспечивающее нормальную работу электроустановок в выбранных режимах.
- Грозозащитное – которая служит для защиты сооружений и электроустановок от атмосферных перенапряжений.

ПУЭ регламентирует следующие значения сопротивлений заземляющих устройств, которые зависят от напряжения электроустановки и режима работы нейтрали :

- Не более **0,5** Ом для электроустановок с эффективно-заземлёной нейтралью напряжением 110 кВ и выше;
- Не более **4,0** Ом для электроустановок с глухозаземлёной нейтралью напряжением 380/220 В;
- Не более **2,0** Ом для электроустановок с глухозаземлёной нейтралью напряжением 660/380 В;
- Не более **8,0** Ом для электроустановок с глухозаземлёной нейтралью напряжением 220/127 В;
- Не более **10** Ом для электроустановок с изолированной или компенсированной нейтралью напряжением 6-10-35 кВ
- Не более **30** Ом для грозозащитного заземления электроустановок независимо от напряжения электроустановки;

Конструктивное исполнение заземляющих устройств бывает естественным или искусственным. Естественными заземлителями могут быть находящиеся в земле металлические конструкции и трубы, а также оболочки и броня кабельных линий. Искусственные заземлители обычно выполняются из вертикальных и горизонтальных электродов соединенные посредством сварки с длиной сварного шва не менее 100 мм. Вертикальные заземлители изготавливаются из черного металлопроката длиной 1-5 метров круглого сечения с наименьшим диаметром 12 мм или углового сечения с наименьшими размерами 50х50х5 мм. Длина вертикального заземлителя рекомендуется не более 5 метров по технологии выполнения монтажа. Горизонтальный заземлитель изготавливается из черного металлопроката полосового сечения с наименьшими размерами 40х4 или круглого сечения с наименьшим диаметром 12 мм. Минимальные размеры вертикальных и горизонтальных заземлителей приняты, потому что заземляющее устройство рассчитано на срок эксплуатации не менее 25 лет. Трубы в виде вертикальных заземлителей применять не рекомендуется. Искусственное заземляющее устройство может выполняться в виде замкнутого контура или расположение в ряд. Замкнутый контур должен располагаться на расстоянии 1-2 м от фундамента здания или под ограждением ГПП, расположение в ряд рекомендуется для длинномерных зданий или в тех случаях, когда расположение в замкнутый контур невозможно. Рекомендуется применение замкнутого контура, потому что вся территория находящаяся внутри контура и за пределами контура на расстоянии 1-2 метра подлежит растеканию потенциала заземляющего устройства, а при расположении в ряд территория растекания потенциала составляет полосу шириной 2-4 метра. Горизонтальный заземлитель устанавливается на глубине 0,7 метра, а вертикальные заземлители заглубляются в траншею, так чтобы над дном траншеи находился вертикальный заземлитель длиной 100 мм необходимый для присоединения горизонтального заземлителя.

Как определить зависимость проектируемого заземляющего устройства от сечения вертикального заземлителя?

Практически всё расчёты для заземляющих устройств ведут к определению количества вертикальных электродов в зависимости от сечения вертикального электрода и сечения горизонтального электрода.

На в практике в основном применяются вертикальный электрод углового сечения, так, как он более стойкий к забиванию электродов в твёрдую землю с указанием ширины полки уголка b и толщины полки m .

В расчётах для заземляющих устройств в основном применяются электроды круглого сечения с указанием диаметра d.

В данном расчёте необходимо выявить зависимость между диаметром вертикального электрода круглого сечения d и шириной полки вертикального электрода углового сечения b.

Расчёт проводим в зависимости от площади соприкосновения вертикального электрода с землёй.

Площадь соприкосновения с землёй круглого вертикального электрода

$$\mathbf{S_{круг} = S_{бок} + 2*(S_{попер})}$$

Площадь соприкосновения с землёй углового вертикального электрода

$$\mathbf{S_{угол} = S_{бок} + 2*(S_{попер})}$$

Учитывая, что вертикальный электрод очень длинный можно пренебречь поперечными сечениями электродов, которые будут очень малы по сравнению с площадью бокового сечения, тогда площади соприкосновения будут равны:

$$\mathbf{S_{круг} = S_{бок} = \pi*d*l}$$

$\mathbf{S_{угол} = S_{бок} = (2b+t)*l}$ (если представить уголок как полосу с шириной 2b и толщиной m)

Приравняем площади соприкосновения круглого и углового вертикальных электродов одинаковой длины l

$$\mathbf{S_{круг} = S_{бок} = \pi*d*l = S_{угол} = S_{бок} = (2*(2b+m))*l}$$

Сократив одинаковые длины вертикальных электродов, мы получим уравнение:

$$\pi * d = 2*(2b+m)$$

из уравнения получим зависимость диаметра круглого заземлителя от ширины полки углового заземлителя:

$$d = (2*(2b+m))/\pi$$

из уравнения получим зависимость от ширины полки углового заземлителя от диаметра круглого заземлителя (учитывая что b = 10m:

$$b = (d * \pi)/(2*2,1)$$

где: d – диаметр круглого вертикального электрода, мм;

b – ширина полки углового вертикального электрода. мм;

m– толщина полки углового вертикального электрода, мм;

π – 3,142 число «ПИ»

Если применяется угловой вертикальный заземлитель, необходимо вначале определить приведённый диаметр углового заземлителя, произвести расчёт заземления, определить количество вертикальных электродов при приведённом диаметре углового заземлителя, а на практике вбивать в землю угловой заземлитель.

Методика выполнения расчета заземляющего устройства

Исходными данными для расчёта являются:

- Периметр здания или сооружения, который определяется в зависимости от схемы подстанции и расположения электрооборудования или габаритов здания или сооружения *(a - длина здания или сооружения, b - ширина здания или сооружения)*
- Тип грунта, который определяется из исходных данных или в зависимости от региона, где проектируется электроустановка. В зависимости от типа грунта определяется удельное сопротивление грунта по справочной литературе *($\rho_{уд}$ - удельное сопротивление грунта)*
- Климатическая зона, определяется из исходных данных или в зависимости от региона, где проектируется электроустановка. В зависимости от климатической зоны определяется коэффициенты сезонности для вертикальных и горизонтальных заземлителей *($K_{с.в}$ - коэффициент сезонности для вертикальных заземлителей, $K_{с.г}$ - коэффициент сезонности для горизонтальных заземлителей).*
- Необходимое сопротивление заземляющего устройства определяется в зависимости от напряжения электроустановки и вида нейтрали, при этом необходимо учитывать все напряжения на подстанции в том и числе напряжение собственных нужд подстанции системой 380/220 В, из всех сопротивлений заземляющих устройств для расчёта принимается наименьшее из сопротивлений *($R_з$).*
- Определяем параметры вертикального заземлителя, которые выбираются в зависимости от типа грунта. Если удельное сопротивление грунта составляет до 100 Ом*м, то рекомендуется диаметр круглого заземлителя диаметром до 12-16 мм и длина вертикального заземлителя до 3 метров. Если удельное сопротивление грунта составляет более 100 Ом*м, то рекомендуется диаметр круглого заземлителя диаметром не более 20-30 мм и длина вертикального заземлителя не более 4-5 метров.
- Определяются параметры горизонтального заземлителя, которые определяются в зависимости от периметра здания или сооружения. Определяется глубина заложения горизонтального электрода в основном глубина заложения вертикального электрода принимается 0,7 метров, для подстанций напряжением 110 кВ и выше рекомендуется применять глубину заложения, но не более 1 метра.

Длина горизонтального заземлителя принимается равной периметру контура заземления, у которого длина и ширина здания или сооружения больше на 1-2 метра. *(t – глубина заложения горизонтального заземлителя, G – длина горизонтального заземлителя, b – ширина полосы горизонтального заземлителя)*

1.Определяем глубину заложения горизонтального заземлителя t (м)

2. Определяем глубину заложения вертикального электрода:

$$H = (L_в/2) + t \quad (м)$$

3. Определяем расчетное сопротивление грунта вертикальных и горизонтальных заземлителей, в зависимости от климатической зоны:

$$\rho_{расч.в} = \rho_{уд.} * К_{с.в.} \quad (Ом*м)$$

$$\rho_{расч.г} = \rho_{уд.} * К_{с.г.} \quad (Ом*м)$$

4. Определяем периметр заземляющего устройства или длину горизонтального заземлителя:

$$G = [(a +(1\div2)) + (b + (1\div2))]* 2 \quad (м)$$

5. Определяем сопротивление одного вертикального заземлителя:

$$R_{о.в.}= [(0,366*\rho_{расч.в})/L_в]*[0,5*(\lg(2* L_в)/d)+0,5 * \lg [(4H + L_в)/(4H – L_в)])] \quad (Ом)$$

6. Определяем сопротивление горизонтального заземлителя:

$$R_г =[0,366* \rho_{расч.г} / G] * \lg[(2*G^2) / (b * t)] \quad (Ом)$$

7. Принимаем приближённое количество вертикальных электродов $N_{пр}$ (шт). Рекомендуется принимать приближённое количество равное 4,6,10,20,30 шт

8. Определяем расстояние между вертикальными электродами для приближённого количества вертикальных электродов:

$$j_{пр} = G/N_{пр} \quad (м)$$

9. Определяем отношение расстояние между электродами к длине верти-кального электрода:

$j_{пр}/ L_в$

10. В зависимости от отношения расстояния между электродами к длине вертикального электрода($j_{пр}/ L_в$), принятого приближённого количества вертикальных электродов ($N_{пр}$) , и конструкции заземляющего устройства в замкнутый контур или в ряд по спаравочной литературе определяется коэффициент использования вертикальных электродов ($\eta_в$).

11. Определяем необходимое количество вертикальных электродов:

$$N_{необ.расч.} = R_{о.в} /(R_з * \eta_в) \quad (шт)$$

Принимаем ближайшее наибольшее целое количество вертикальных электродов $N_{необ.уст.}$ (шт)

12. Определяем расстояние между вертикальными электродами для необходимого количества вертикальных электродов:

$$J_{необ} = G/N_{необ} \quad (м)$$

13. Определяем отношение расстояние между электродами к длине верти-кального электрода:

$$J_{необ}/ L_в$$

14. В зависимости от отношения расстояния между электродами к длине вертикального электрода($j_{необ}/ L_в$), принятого приближённого количества вертикальных электродов ($N_{необ}$) , и конструкции заземляющего устройства в замкнутый контур или в ряд по спаравочной литературе определяется коэффициент использования вертикальных электродов ($\eta_в'$) и коэффициент использования горизонтальных электродов ($\eta_г'$).

15. Определяем сопротивление горизонтального заземлителя в контуре из необходимого количества вертикальных электродов:

$R_п = R_г * \eta_г'$ (Ом)

16. Определяем необходимое сопротивление вертикальных заземлителей с учетом горизонтальных заземлителей:

$R_{н.в.} = (R_п * R_з)/(R_п + R_з)$ (Ом)

17. Определяем уточненное количество вертикальных электродов обвязанных горизонтальным электродом:

$N_{ут.расч} = R_{о.в} /(R_{н.в.} * \eta'_в)$ (шт)

18. Принимаем окончательное ближайшее наибольшее целое количество вертикальных электродов $N_{окон}$ (шт)

19. Определяем расстояние между вертикальными электродами для окончательного количества вертикальных электродов:

$J_{окон} = G/N_{окон}$ (м)

20. Определяем отношение расстояние между электродами к длине верти-кального электрода:

$J_{окон}/ L_в$

21. В зависимости от отношения расстояния между электродами к длине вертикального электрода($j_{окон}/ L_в$), принятого приближённого количества вертикальных электродов ($N_{окон}$) , и конструкции заземляющего устройства в замкнутый контур или в ряд по справочной литературе определяется коэффициент использования вертикальных электродов ($\eta_в''$).

22. Определяем сопротивление заземляющего устройства при выбранном количестве вертикальных электродов:

$R_{з.у.окон} = R_{о.в}/(N_{окон} * \eta''_в)$ (Ом)

23. Производится проверка проведённого расчёта заземляющего устройства:

$R_з \geq R_{з.у.окон}$

Если данное условие выполняется, тогда расчёт количества заземляющих устройств выполнен верно, а если не выполняется расчёт выполнен с ощибками. Рекомендуется чтобы расстояние между вертикальными электродами должно быть не менее 1 метра, для этого необходимо увеличить длину горизонтального заземлителя путём установки дополнительных горизонтальных электродов параллельно ширине территории ОРУ-110 кВ и вертикальных электродов, или увеличить диаметр вертикального электрода, или увеличить длину вертикального электрода, или увеличить глубину заглубления до допустимых пределов. Затем необходимо произвести перерасчёт заземляющего устройства, чтобы условие проверки выполнялось и затем составляется таблица выбранного заземляющего устройства.

Таблица

Вид заземлителя	Количество $N_{окон}$, шт	Тип профиля	Параметры заземлителей		Сопротивление $R_{ЗУ}$, Ом
			габариты, мм	Длина, м	
Вертикальный		Круглый	⌀		
Горизонтальный	1	Полоса			

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТАЛЛОПРОКАТА ДЛЯ ВЫБОРА ЭЛЕКТРОДОВ ЗАЗЕМЛЕНИЯ

Сталь полосовая

Размер полосы, мм	**16х3**	**20х3**	**25х3**	**30х4**	**40х4**	**25х5**
Вес 1м, кг	0,5	0,63	0,79	0,94	1,26	0,98
Размер полосы, мм	**30х5**	**35х5**	**40х5**	**50х5**	**60х6**	**80х8**
Вес 1м, кг	1,18	1,37	1,57	1,96	2,83	5,06

Сталь круглая

Диаметр, мм	**5,0**	**6,0**	**8,0**	**10,0**	**12,0**	**16,0**	**18,0**	**20,0**	**22,0**	**24,0**	**25,0**	**30,0**
Площадь сечения, мм^2	19,6	28,0	50,0	78,0	113,0	201,0	255,0	314,0	380,0	452,0	491,0	707
Вес 1м, кг	0,154	0,222	0,395	0,617	0,888	1,58	2,0	2,47	2,98	3,55	3,85	5,55

Сталь квадратная

Сторона квадрата, мм	**6,0**	**8,0**	**10,0**	**12,0**	**16,0**	**20,0**	**25,0**	**30,0**	**35,0**	**40,0**
Площадь сечения, мм^2	36,0	64,0	100,0	144,0	256,0	400,0	625,0	900,0	1296,0	1600,0
Вес 1м, кг	0,283	0,502	0,785	1,13	2,01	3,14	4,91	7,06	10,17	12,56

Сталь угловая равнобокая

Размеры уголка, мм*	**20х20 х3**	**20х20 х4**	**25х25 х3**	**25х25 х4**	**32х32 х3**	**32х32 х4**	**36х36 х3**	**36х36 х4**	**40х40 х3**
Вес 1м, кг	0,89	1,15	1,12	1,46	1,46	1,91	1,65	2,16	1,85
Размеры уголка, мм*	**40х40 х4**	**45х45 х3**	**45х45 х4**	**45х45 х5**	**50х50 х3**	**50х50 х4**	**50х50 х5**	**63х63 х4**	**63х63 х5**
Вес 1м, кг	2,42	2,08	2,73	3,37	2,32	3,05	3,77	3,9	4,81
Размеры уголка, мм*	**63х63 х6**	**70х70 х5**	**70х70 х6**	**70х70 х8**	**75х75 х5**	**75х75 х6**	**75х75 х8**	**75х75 х9**	**80х80 х6**
Вес 1м, кг	5,72	5,38	6,39	8,37	5,8	6,89	9,02	10,1	7,36
Размеры уголка, мм*	**80х80 х8**	**90х90 х6**	**90х90 х8**	**90х90 х9**	**100х 100х8**	**100х 100х10**	**12,5х 12,5х8**	**12,5х 12,5х9**	**125х 12,5х10**
Вес 1м, кг	9,65	8,33	10,9	12,2	12,2	15,1	15,5	17,3	19,1

*- размеры уголка – ширина полки × ширина полки × толщина полки.

Справочные данные по заземляющим устройствам

Коэффициенты использования для вертикальных заземлителей при размещении вертикальных заземлителей ($\eta_в$):						
	по замкнутому контуру			**при расположении в ряд**		
	Отношение j/L (j- расстояние между заземлителями, L-длина вертикального заземлителя			Отношение j/L (j- расстояние между заземлителями, L-длина вертикального заземлителя		
	до 1	свыше 1 до 2	свыше 2 до 3	до 1	свыше 1 до 2	свыше 2 до 3
4 шт	0,69	0,78	0,85	0,74	0,83	0,88
6 шт	0,62	0,73	0,8	0,63	0,77	0,83
10 шт	0,55	0,69	0,76	0,59	0,75	0,81
20 шт	0,47	0,64	0,71	0,49	0,68	0,77
30 шт иболее	0,43	0,6	0,68	0,43	0,65	0,75
Коэффициенты использования для горизонтальных заземлителей при размещении вертикальных заземлителей ($\eta_г$):						
	по замкнутому контуру			**при расположении в ряд**		
	Отношение j/L (j- расстояние между заземлителями, L-длина вертикального заземлителя			Отношение j/L (j- расстояние между заземлителями, L-длина вертикального заземлителя		
	до 1	свыше 1 до 2	свыше 2 до 3	до 1	свыше 1 до 2	свыше 2 до 3
4 шт	0,45	0,55	0,7	0,77	0,89	0,92
6 шт	0,4	0,48	0,64	0,71	0,83	0,88
10 шт	0,34	0,4	0,56	0,62	0,75	0,82
20 шт	0,27	0,32	0,45	0,42	0,56	0,68
30 шт и более	0,24	0,3	0,41	0,31	0,46	0,58

коэффициент сезонности $К_с$					
	признаки климатических зон			**коэффициент сезонности $К_м$**	
	средняя многолетняя температура , ° С				
	низкая (январь)	высшая (июль)			
I	от-20 до-15	от+16 до+18	170-190	1,9	5,8
II	от-15 до-10	от+18 до+22	150	1,7	4,0
III	от-10 до 0	от+22 до+24	100	1,5	2,3
IV	от 0 до +5	от+24 до+26	0	1,3	1,8

Удельное сопротивление грунтов	
Тип грунта	**ρ, Ом*м**
Торф	20
Чернозём	20
Глина, садовая земля	40
Суглинок, каменистая земля	100
Щебень с песком, каменистая почва	200
Супесь	300
Песок	700
Песок с галькой	800

Необходимые сопротивления для заземляющих устройств в зависисмости от напряжения и типа нейтрали		