

# Заземјувачи и заземјувачки системи во електроенергетските мрежи

## Заземјувачи на ТС СН/НН и ВН/СН

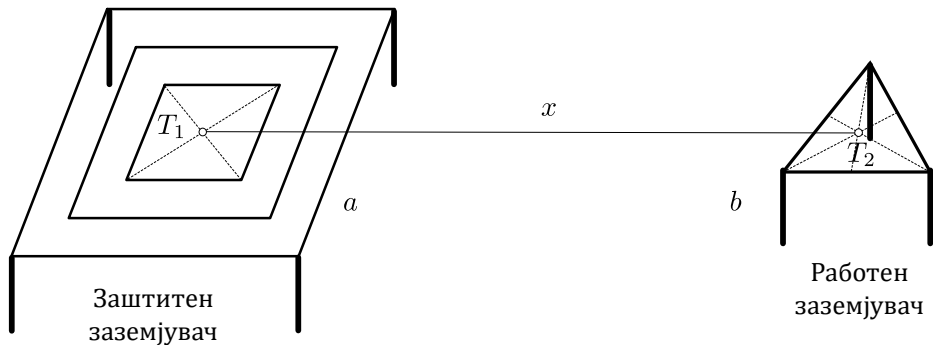
М. Тодоровски

Институт за преносни електроенергетски системи  
Факултет за електротехника и информациски технологии  
Универзитет Св. Кирил и Методиј

mirko@feit.ukim.edu.mk  
pees.feit.ukim.edu.mk

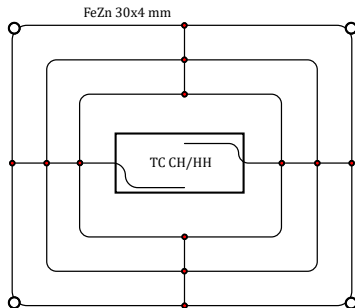
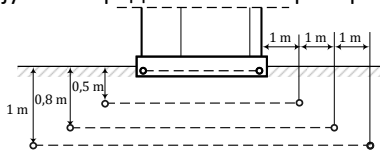
Скопје, 2017

# Заземјувачи на ТС СН/НН



# Типски заштитни заземјувачи на ТС СН/НН

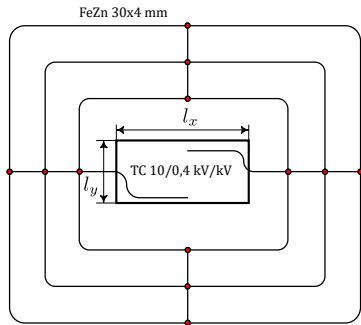
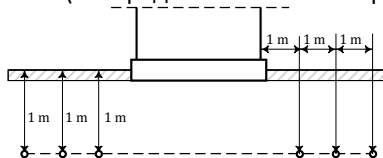
Заземјувач според техничката препорака ТП 7



Според препораката условите за безопасност се исполнети ако е  $R_Z \leq 5 \Omega$ .

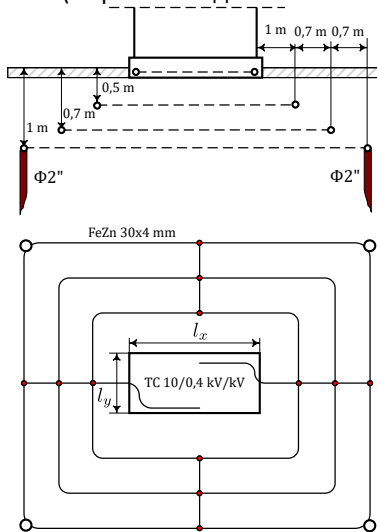
# Типски заштитни заземјувачи на ТС СН/НН

Заземјувач тип 1 (во зграда или во полиестерска куќичка)



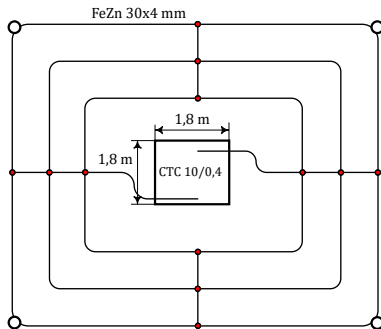
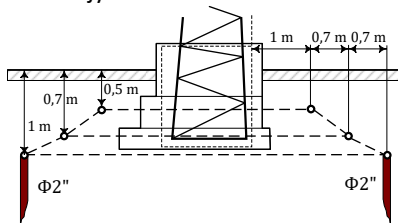
# Типски заштитни заземљувачи на ТС СН/НН

Заземљувач тип 2 (со различни длабочини на закопување)



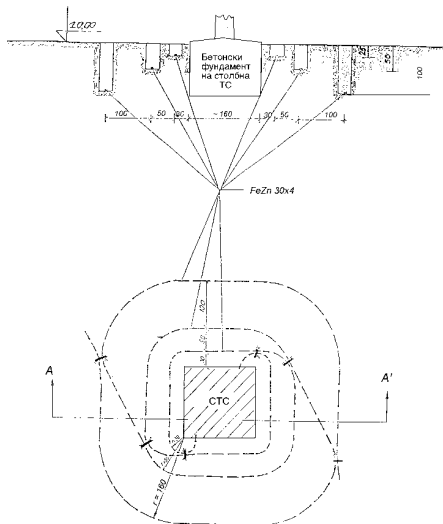
# Типски заштитни заземљувачи на ТС СН/НН

## Заземљувач на столбна ТС – тип 3



# Типски заштитни заземјувачи на ТС СН/НН

Скица на еден изведен заштитен заземјувач на столбна ТС 10/0,4 kV/kV



# Карактеристики на типските заштитни заземјувачи

- Анализирани се заземјувачи од типот 1, 2 и 3. Пресметувани се
  - ▶  $\Re_Z$  кога е  $\rho = 100 \Omega\text{m}$

$$R_Z = \Re_Z \cdot \frac{\rho}{100}.$$

- ▶  $E_{d.\max}$ ,  $E_{d.\text{med}}$  и  $E_{d.\min}$  за потенцијалните разлики на допир,  
 $E_{c.\max}$ ,  $E_{c.\text{med}}$  и  $E_{c.\min}$  за потенцијалните разлики на чекор  
(отчитани од хистрограми)
- Од резултатите се гледа дека димензионирањето на заштитните заземјувачи треба да се врши во однос на  $E_{c.\max}$  бидејќи важи  $E_{c.\max} > E_{d.\max}$ .



# Карактеристики на типските заштитни заземјувачи – $\mathfrak{R}_Z(\Omega)$

Направени модификации (со **болд** се означени основните конфигурации)

- а) сите типови се со додадени 4 вертикални сонди,
- б) сите типови се без средната контура за обликување на потенцијалот,
- в) сите типови се без вертикалните сонди.

Тип	а) $\mathfrak{R}_Z(\Omega)$	б) $\mathfrak{R}_Z(\Omega)$	в) $\mathfrak{R}_Z(\Omega)$	$l_x \times l_y$ (m)	Опис
1/1	4,09	4,88	<b>4,64</b>	1,6×3,2	Зграда или полиестерска куќичка
1/2	3,28	3,75	<b>3,57</b>	5,0×5,5	Зграда или полиестерска куќичка
1/3	2,97	3,35	<b>3,20</b>	6,0×7,5	Зграда или полиестерска куќичка
1/4	3,99	4,67	<b>4,43</b>	1,9×3,8	Полиестерска и монтажна
1/5	2,55	2,81	<b>2,69</b>	10,0×10,0	Сидана
2/1	<b>4,65</b>	4,77	5,45	1,8×2,7	Блиндирана
2/2	<b>3,99</b>	4,09	4,50	3,2×4,8	Сидана или бетонска
2/3	<b>3,60</b>	3,70	3,99	4,8×5,8	Сидана или бетонска
3	<b>4,86</b>	4,98	5,77	1,8×1,8	Столбна ТС

# Карактеристики на типските заштитни заземјувачи – $E_d(\%)$

Тип	а) $E_d(\%)$			б) $E_d(\%)$			в) $E_d(\%)$		
	max	med	min	max	med	min	max	med	min
1/1	8	7,3	7	15	12,8	11	10	8,4	8
1/2	9	7,8	7	16	12,9	10	10	8,4	7
1/3	10	7,8	7	16	12,7	10	10	8,4	7
1/4	8	7,3	7	15	12,8	11	10	8,4	7
1/5	10	7,6	7	16	11,8	11	11	7,8	7
2/1	7	5,8	4	10	8,4	6	8	6,6	5
2/2	7	6,1	4	10	8,6	6	8	6,6	5
2/3	8	6,1	5	11	8,9	6	8	6,7	5
3	6	5,6	4	10	8,3	6	8	6,6	5

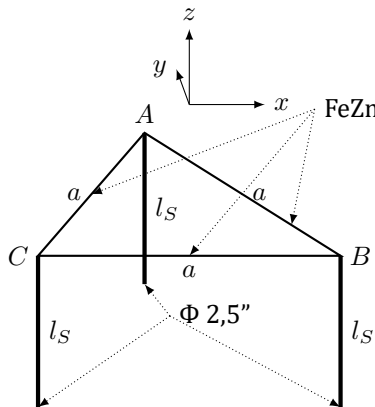
# Карактеристики на типските заштитни заземјувачи – $E_c(\%)$

Тип	а) $E_c(\%)$			б) $E_c(\%)$			в) $E_c(\%)$		
	max	med	min	max	med	min	max	med	min
1/1	13	4,7	0	14	5,0	0	14	5,3	0
1/2	10	2,1	0	8	2,6	0	11	2,4	0
1/3	6	1,7	0	6	4,7	0	8	1,8	0
1/4	13	4,7	0	14	4,7	0	14	4,8	0
1/5	6	4,5	0	6	4,7	0	12	4,7	0
2/1	15	6,5	0	13	6,2	0	17	7,5	0
2/2	14	7,1	0	13	5,0	0	16	5,9	0
2/3	14	3,9	0	12	4,0	0	15	4,5	0
3	15	6,7	0	13	6,5	0	17	7,5	0

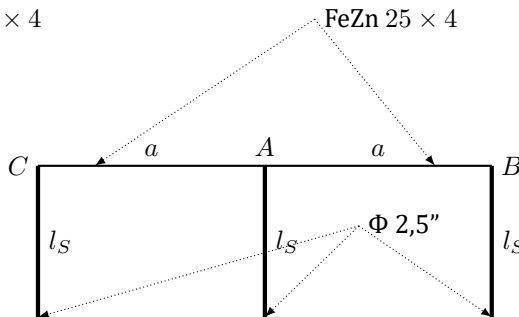
# Типски заштитни заземјувачи – заклучоци

- $E_{d.med}$  и  $E_{c.med}$  се највисоки кај заземјувачите од типот 1 заради лошото обликување на потенцијалот (3 контури на иста длабочина).
- $R_Z$  зависи од димензиите на надворешната контура. Со зголемувањето на димензиите  $R_Z$  опаѓа и има подобро обликување на потенцијалот.
- Вертикалните сонди го намалуваат  $R_Z$  само за 10 до 18%, а  $E_d$  за помалку од 15 %.
- Средната контура сосема малку на  $R_Z$  (намалување за 5%). Најмногу влијае врз обликувањето на потенцијалот, ги смалува потенцијалните разлики на допир за повеќе од 2 пати.
- Ако контурите од заземјувачот се на различни длабочини, средната контура може и да се изостави без да има битно влијание на  $E_d$ .
- Со оддалечувањето на прстените од столбот на столбната ТС обликувањето на потенцијалот се влошува.

# Работни заземјувачи на ТС СН/НН



а) заземјувач во форма на триаголник

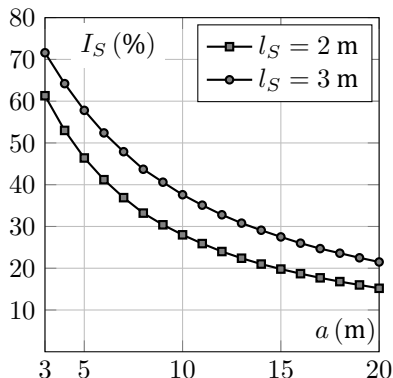
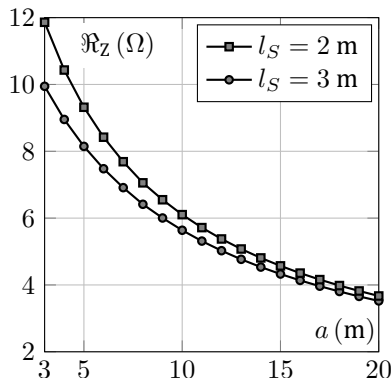


б) заземјувач во форма на отсечка

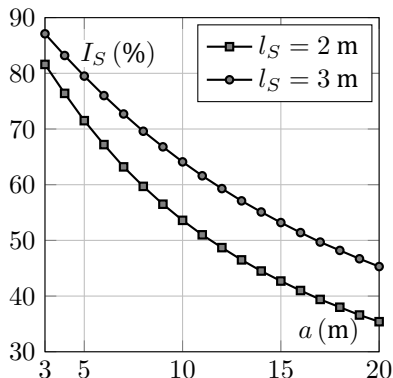
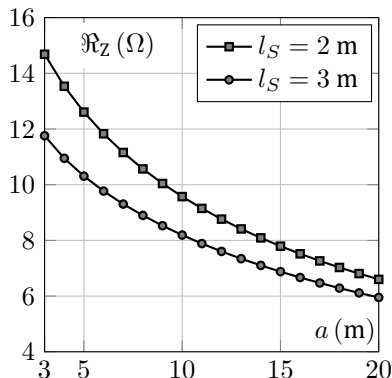
# Избор на димензии на работниот заземјувач

$a$ (m)	рамностран триаголник со страна $a$				отсечка со должина $a + a = 2a$			
	$l_S = 3\text{ m}$		$l_S = 2\text{ m}$		$l_S = 3\text{ m}$		$l_S = 2\text{ m}$	
	$\Re_Z(\Omega)$	$I_S(\%)$	$\Re_Z(\Omega)$	$I_S(\%)$	$\Re_Z(\Omega)$	$I_S(\%)$	$\Re_Z(\Omega)$	$I_S(\%)$
3	9,945	71,6	11,861	61,3	11,758	87,1	14,685	81,6
4	8,953	64,2	10,432	53,0	10,949	83,2	13,535	76,4
5	8,147	57,8	9,318	46,4	10,308	79,5	12,608	71,5
6	7,478	52,4	8,422	41,2	9,771	76,0	11,829	67,2
7	6,912	47,9	7,688	36,9	9,305	72,7	11,157	63,2
8	6,414	43,7	7,056	33,2	8,898	69,6	10,567	59,7
9	6,004	40,6	6,550	30,4	8,528	66,8	10,043	56,5
10	5,637	37,6	6,104	28,0	8,192	64,1	9,573	53,6
11	5,313	35,1	5,716	25,9	7,886	61,6	9,149	51,0
12	5,025	32,8	5,376	24,0	7,604	59,3	8,764	48,7
13	4,767	30,8	5,076	22,4	7,343	57,1	8,412	46,5
14	4,535	29,1	4,809	21,0	7,102	55,1	8,090	44,5
15	4,327	27,5	4,571	19,8	6,878	53,2	7,793	42,7
16	4,136	26,0	4,355	18,7	6,668	51,4	7,519	41,0
17	3,963	24,7	4,160	17,7	6,471	49,7	7,264	39,4
18	3,804	23,6	3,982	16,8	6,287	48,2	7,028	38,0
19	3,657	22,5	3,820	16,0	6,114	46,7	6,808	36,6
20	3,522	21,5	3,670	15,2	5,951	45,3	6,601	35,4

# Работен заземјувач во форма на триаголник



# Работен заземјувач во форма на отсечка





# Работни заземјувачи – заклучоци

- Обликот на триаголникот малку влијае врз  $R_Z$  и за случаите кога место рамностран триаголник со страница  $a$  имаме на разностран триаголник но со ист периметар ( $L_\Sigma = 3a$ ).
- Во селските и во приградските населби работниот и заштитниот заземјувач се галвански одвоени за да се избегне можноста при дефект во СН мрежа висок потенцијал да се изнесе во НН мрежа.
- Со ТП 7 се бара  $R_Z < 5 \Omega$ , што не е доволно ниско за да се отстрани појавата на висок потенцијал на неутралниот спроводник при дефект или силна несиметрија. Но, неутралниот спроводник се заземјува на повеќе места во НН мрежа што многу помага.
- Кај ТС СН/НН напојувани преку кабелска мрежа со ТП 7 се бара  $R_Z < 10 \Omega$  бидејќи присуството на напоен кабел (кабли) ги олеснува условите на заземјување.

# Заземјување на ТС ВН/ВН и ТС ВН/СН

- Мрежести заземјувачи 0,5 до 1 m, некогаш имаат и сонди кои одат до долниот слој на двослојна земја.
- Просторот што зафаќаат мрежестите заземјувачи е од неколку декари до неколку хектари.
- Обликот и димензиите на зависат од расположливиот простор и распоредот на опремата и другите уреди во постројката.
- Со изборот на обликот на заземјувачот се тежнее да се постигне најмал  $R_Z$  и поволно обликување на потенцијалите по површината за се добијат помали напони на допир и чекор.
- Сите метални маси од опремата, уредите и другите елементи треба да се наоѓаат во внатрешноста на заземјувачот на растојание од најмалку 1 m од периферната контура на заземјувачот.

# Формули за пресметка на $R_Z$

- Формула базирана на еквиваленција на мрежата со еквивалентна кружна плоча

$$R_Z = 0,443 \cdot \frac{\rho}{\sqrt{A}}.$$

- Формула на Лоран (Laurent)

$$R_Z = 0,443 \cdot \frac{\rho}{\sqrt{A}} + \frac{\rho}{L_\Sigma}.$$

- Формула на Шверак (Sverak)

$$R_Z = \rho \cdot \left[ \frac{1}{L_\Sigma} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left( 1 + \frac{1}{1 + h \cdot \sqrt{20/A}} \right) \right]$$

- Формула на Тапар (Thapar)

$$R_Z = \rho \cdot \left[ \frac{1}{L_\Sigma} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left( 1 + \frac{1}{1 + h \cdot \sqrt{20/A}} \right) \right] \cdot 1,52 \cdot \left[ 2 \ln \left( L_p \sqrt{\frac{2}{A}} \right) - 1 \right] \cdot \frac{\sqrt{A}}{L_p} \phi$$

- Формула на Нахман

$$R_Z = 0,13 \cdot \frac{\rho}{\sqrt{A}} \log_{10} \left( \frac{2400 \cdot \sqrt{A}}{N} \right) \cdot \left( 1 - 0,45 \cdot \frac{l_S}{\sqrt{A}} \right),$$

$$\frac{l_S}{\sqrt{A}} \leq 0,2.$$

## Формули за пресметка на $E_{d.\max}$

$$E_m = \rho \cdot K_m \cdot K_{im} \cdot \frac{I_Z}{L_{em}} = \rho \cdot K_m \cdot K_{im} \cdot \frac{I_Z}{L_\Sigma + 1,15 \cdot L_{\Sigma V}},$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[ \ln \left( \frac{D^2}{16hd} + \frac{(D+2h)^2}{8Dd} - \frac{h}{4d} \right) + \frac{K_{ii}}{K_h} \ln \left( \frac{8}{(2n-1)\pi} \right) \right],$$

$$K_{ii} = (2n)^{-(n/2)}, \quad \text{за мрежи со вертикални сонди } K_{ii} = 1,$$

$$K_h = \sqrt{1+h},$$

$$K_{im} = 0,656 + 0,172 \cdot n.$$

## Формули за пресметка на $E_{c.max}$

$$E_c = \rho \cdot K_c \cdot K_{ic} \cdot \frac{I_Z}{L_{ec}} = \rho \cdot K_c \cdot K_{ic} \cdot \frac{I_Z}{L_\Sigma + 2 \cdot L_{\Sigma V}},$$

$$K_c = \frac{1}{\pi} \cdot \left[ \frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{W}{D} \right],$$

$$K_{ic} = 0,94 + 0,047 \cdot n,$$

$$W = 0,5 + 0,9 \cdot \ln \frac{n-1}{2}, \quad W = 0 \text{ за } n = 2.$$

# Случај со двослој со параметри $\rho_1$ , $\rho_2$ и $H$

Без вертикални сонди

$$R_Z^{(n)} = C_\rho \cdot R_Z = \left( \frac{\rho_2}{\rho_1} \right)^x \cdot R_Z,$$

$$x = 0,14 \cdot \log \left( \frac{44N\sqrt{A}}{H^2} \right); \quad 0,2 \leq \frac{\rho_2}{\rho_1} \leq 1$$

$$x = 0,12 \cdot \log \left( 3160N\sqrt{A} \right) - 0,2 \cdot \log H \cdot \log \frac{1000}{\sqrt{A}}; \quad 1 \leq \frac{\rho_2}{\rho_1} \leq 5$$

Со вертикални сонди

$$R_Z^{(n)} = C_R \cdot R_Z = \left( \frac{\rho_2}{\rho_1} \right)^{0,76} \cdot R_Z; \quad \rho_2 < \rho_1$$

# Случај со двослој со параметри $\rho_1$ , $\rho_2$ и $H$

Потенцијална разлика на допир

$$E_m^{(n)} = C_m \cdot E_m = \left( \frac{\rho_2}{\rho_1} \right)^x \cdot E_m$$

$$x = 0,042 \cdot \log(3,53 \cdot H) \cdot (\log N)^2 - \frac{1}{2} \cdot \log \frac{H}{6}; \quad \rho_2 < \rho_1$$

$$x = 0,12 \cdot \log(N \cdot \sqrt{A}) - 0,16 \cdot \log(4,6 \cdot H); \quad \rho_2 > \rho_1$$

Потенцијална разлика на чекор

$$E_c^{(n)} = C_c \cdot E_c = \left[ 1 + 0,7 \cdot \log \left( \frac{\rho_2}{\rho_1} \right) \right] \cdot E_c$$

# Осврт кон прописите и препораките

Според препораката ТП 23 се усвојува дека времетраење на грешката изнесува 0,25 s, т.е.

$$U_{d.doz} = 230 \text{ V}$$

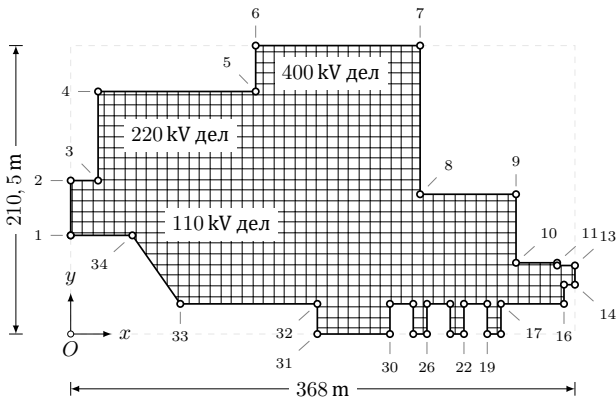
$$U_{d.doz} = 230 = \frac{E_{d.doz}}{1 + 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot \rho_p}$$

$$E_d \leq E_{d.doz} = 230 + 0,34 \cdot \rho_p$$

- Густината на окцата на заземјувачката мрежа мора да одговара на распоредот на полињата во постројката, положбата на апаратите, фундаментите и носачите на опремата.
- Металните делови на што не припаѓаат на струјните кругови (оградите и мрежите околу одделните апарати и постројки, цевководи, арматури и сл.) исто така треба да бидат поврзани со заземјувачот.
- Околу темелите на објектите во постројката е потребно да се постави прстен на растојание од 1 до 2 m од темелот на зградата, на длабочина 0,5 m. Тој прстен треба да се поврзе со заземјувачот.
- Надворешните метални огради треба да бидат барем 2 m од заземјувачот и не смеат галвански да се поврзуваат со него. Од надворешната страна на оградата се полага заземјувач на растојание 1 m од оградата.
- Се практикува изолирање на потенцијално опасните места околу оградата со поставување на слој асфалт (1 cm) или чакал (10 cm).



# Пресметка на мрежестите заземјувачи со компјутерска симулација



проект  
 $R_Z = 0,187 \Omega$

релација 3  
 $R_Z = 0,192 \Omega$

релација 5  
 $R_Z = 0,189 \Omega$

компјутерска симулација  
 $R_Z = 0,190 \Omega$