

Упражнение № 3

ТЕМА: ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА ЕФЕКТИВНИТЕ СТОЙНОСТИ НА ПЕРИОДИЧНАТА СЪСТАВКА НА ТОКА НА ТРИФАЗНО К.С. В МРЕЖИ ЗА ВИСОКО НАПРЕЖЕНИЕ

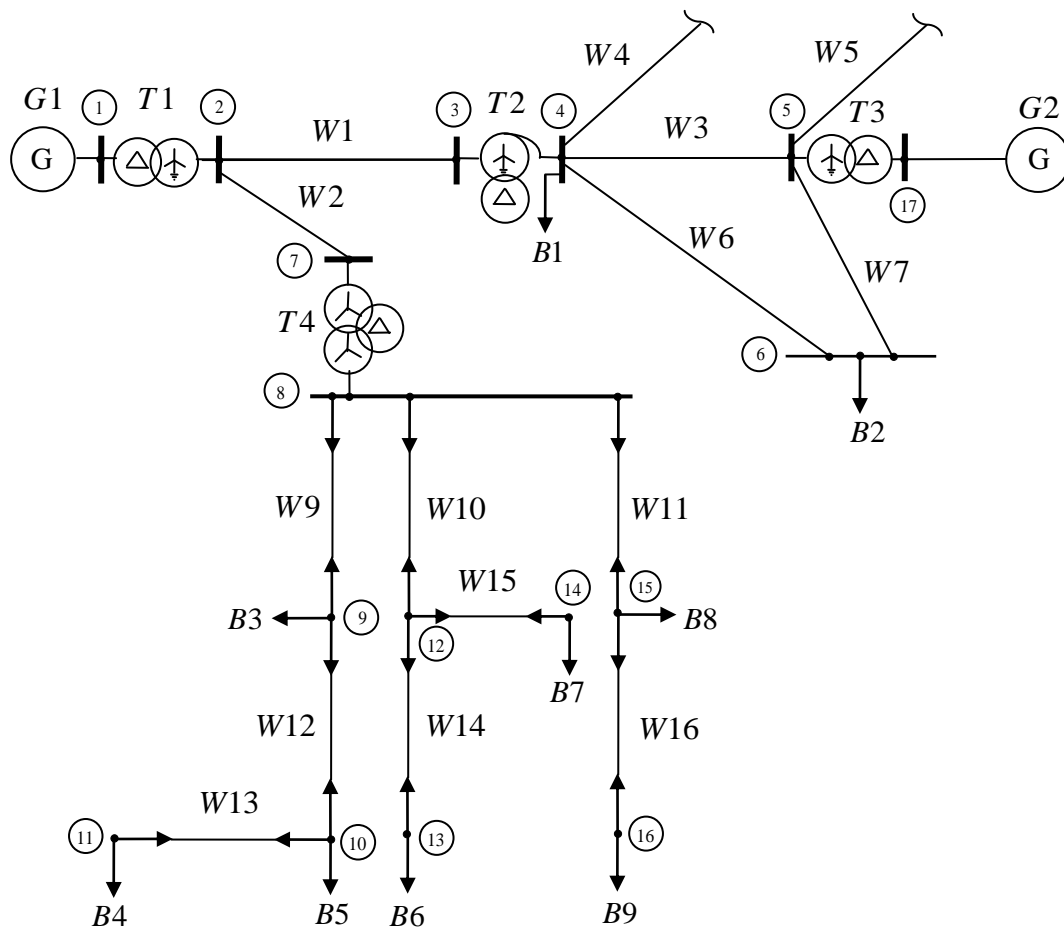
Задача 1: В ЕЕС, с принципна схема от фиг.3.1, при изключен електропровод W1 от към възел 3, на отстояние L_K от възел 2, върху W1 е възникнало метално трифазно к.с. Необходимо е да се изчислят:

- 1) Характерните ефективни стойности (I'' , I' , I_∞) на периодичния ток в мястото на к.с. при условие, че генераторът G1 е без АРВ;
- 2) Свърхпреходните токове в трите фази на W1 и в изводите на G1.

Параметрите на елементите на ЕЕС за съответните варианти са дадени в табл.3.1÷табл.3.7. (в края на текста на упражнението). Отстоянието на к.с. L_K от възел 2 върху W1 е индивидуално за всеки студент и се изчислява чрез израза:

$$L_K = \frac{K_K \cdot K_N}{100} \cdot L_{W1}, \text{ km, където } K_N \text{ – номерът на студента в съответната му група, а}$$

$$K_K = \begin{cases} 10, & \text{ако } K_N \leq 10 \\ 1, & \text{ако } K_N > 10 \end{cases}$$

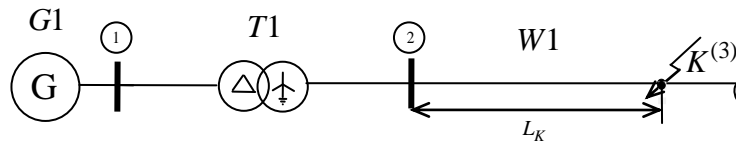


Фиг.3.1.

Методични указания.

Решението включва следните етапи:

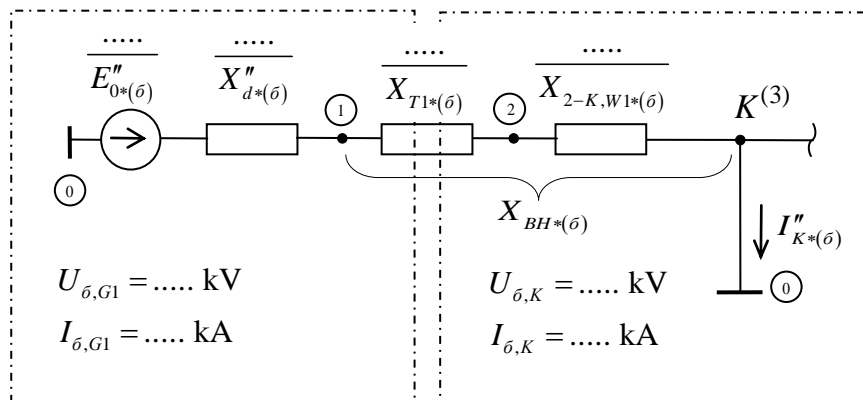
- 1. Съставя се изчислителна схема (фиг.3.2) (включват се само елементите на късосъединената верига – вж. упражнение № 1)



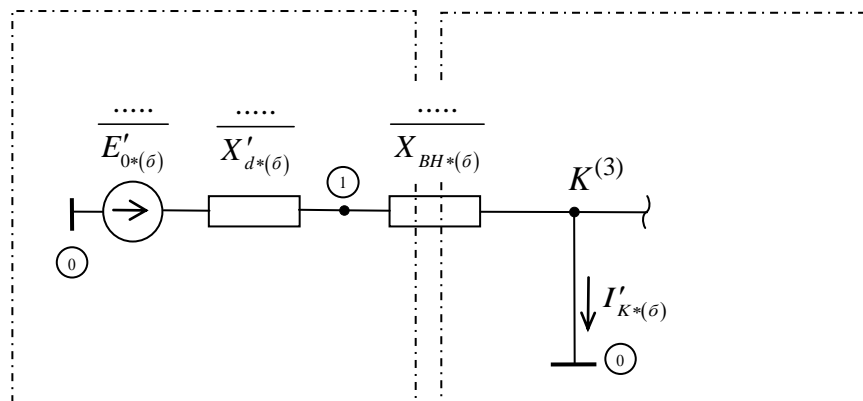
Фиг.3.2

- 2. Съставяне на е.з.с.

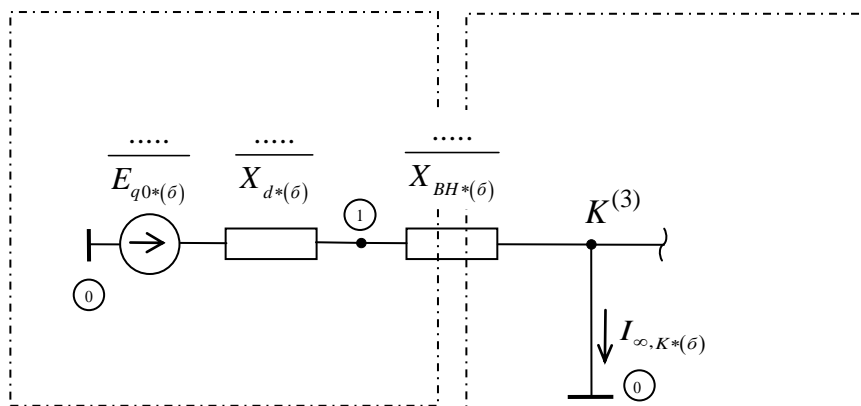
При изчисляване на ефективната стойност на периодичната съставляща на тока на к.с. I_{II} може да се отчита само индуктивното съпротивление на късосъединената верига X_K , ако $X_K \geq 3R_K$. В настоящата задача това е изпълнено. За изчисляването на I'' , I' и I_∞ се съставят отделни е.з.с., различаващи се само в параметрите на заместващата схема на генератора. Приема се е.з.с. да се съставят в о.е. чрез приблизително привеждане (вж. упражнение № 1). Трите схеми са показани на фиг.3.3.



а)



б)



в)

Фиг.3.3. Еквивалентни заместващи схеми:

 а) за свръхпреходния ток I'' ; б) за переходния ток I' ; в) за установения ток

□ 2.1. Избор на базисни величини

Уместно е да се избере: $S_{\bar{\sigma}} = S_{ном, G1}$, защото няма да се преизчисляват съпротивленията на генераторите, които по принцип са си дадени направо в о.е. при номинални базисни условия, т.е. ще се получи $X_{G1*(\bar{\sigma})} = X_{G1*(н)}$.

Понеже работим по приблизителния метод на привеждане, за базисни напрежения се избират средните номинални, като трябва да се има предвид, че генераторните напрежения в общия случай са с 5% по-високи от съответната гама номинални напрежения. Тъй като к.с. е в мрежа 110 kV, а второ-то ниво е генераторно, то за базисните напрежения се получава:

$$U_{\bar{\sigma}, K} = 115 \text{ kV}; \quad U_{\bar{\sigma}, G1} = U_{ном, G1}, \text{ kV.}$$

Базисните токове се изчисляват чрез известните изрази:

$$I_{\bar{\sigma}, G1} = \frac{S_{\bar{\sigma}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\bar{\sigma}, G1}}, \text{ kA};$$

$$I_{\bar{\sigma}, K} = \frac{S_{\bar{\sigma}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\bar{\sigma}, K}}, \text{ kA.}$$

□ 2.2 Изчисляване на параметрите на е.з.с.

За избраното базисно напрежение на генераторното ниво е валидно $E_{G*(\bar{\sigma})} = E_{G*(н)}$. Тогава е.д.н се изчисляват чрез изразите¹:

$$E''_{0*(\bar{\sigma})} = \sqrt{\left(U_{G1,0*(н)} \cdot \cos \varphi_0 \right)^2 + \left(U_{G1,0*(н)} \cdot \sin \varphi_0 + X''_{d*(н)} \cdot I_{G1,0*(н)} \right)^2}$$

$$E'_{0*(\bar{\sigma})} = \sqrt{\left(U_{G1,0*(н)} \cdot \cos \varphi_0 \right)^2 + \left(U_{G1,0*(н)} \cdot \sin \varphi_0 + X'_{d*(н)} \cdot I_{G1,0*(н)} \right)^2}$$

$$E_{q0*(\bar{\sigma})} = \sqrt{\left(U_{G1,0*(н)} \cdot \cos \varphi_0 \right)^2 + \left(U_{G1,0*(н)} \cdot \sin \varphi_0 + X_{d*(н)} \cdot I_{G1,0*(н)} \right)^2}$$

¹ Виж раздел 5.4.1 от „Моделиране в ЕЕС – Записки на лекции.“

където $U_{G1,0^{*(h)}}=1$ о.е. ; $I_{G1,0^{*(h)}}=1$ о.е. и $\cos \varphi_0 = \cos \varphi_{ном}$.

Индуктивните съпротивления на елементите се изчисляват чрез изразите²:

$$X''_{d^{*(\bar{\sigma})}} = X''_{d^{*(h)}} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S_{ном,G1}}, \text{ о.е.}$$

$$X'_{d^{*(\bar{\sigma})}} = X'_{d^{*(h)}} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S_{ном,G1}}, \text{ о.е.}$$

$$X_{d^{*(\bar{\sigma})}} = X_{d^{*(h)}} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S_{ном,G1}}, \text{ о.е.}$$

$$X_{T1^{*(\bar{\sigma})}} = \frac{u_k \%}{100} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S_{ном,T1}}, \text{ о.е.}$$

$$X_{2-K,W1^{*(\bar{\sigma})}} = X_1 \cdot L_K \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_{cp,ном}^2} = X_1 \cdot L_K \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_{\bar{\sigma},K}^2}, \text{ о.е.}$$

където реактанса на правата последователност X_1 на въздушен електропровод се изчислява чрез израза³: $X_1 = 0,145 \cdot \lg \frac{D_{cp}}{r_{\phi}} + 0,0157 \Omega / km$.

□ 3. Изчисляване на търсените величини в под условие 1). От фиг.3.2 следва:

$$I''_{K^{*(\bar{\sigma})}} = \frac{E''_{0^{*(\bar{\sigma})}}}{X''_{K^{*(\bar{\sigma})}}} = \frac{E''_{0^{*(\bar{\sigma})}}}{X''_{d^{*(\bar{\sigma})}} + X_{вн^{*(\bar{\sigma})}}}, \text{ о.е.}$$

$$I'_{K^{*(\bar{\sigma})}} = \frac{E'_{0^{*(\bar{\sigma})}}}{X'_{d^{*(\bar{\sigma})}} + X_{вн^{*(\bar{\sigma})}}}, \text{ о.е.}$$

$$I_{\infty,K^{*(\bar{\sigma})}} = \frac{E_{q0^{*(\bar{\sigma})}}}{X_{d^{*(\bar{\sigma})}} + X_{вн^{*(\bar{\sigma})}}}, \text{ о.е.}$$

Получените токове се привеждат в именувани единици-

$$I''_K = I''_{K^{*(\bar{\sigma})}} \cdot I_{\bar{\sigma},K}, \text{ kA}$$

$$I'_K = I'_{K^{*(\bar{\sigma})}} \cdot I_{\bar{\sigma},K}, \text{ kA}$$

$$I_{\infty,K} = I_{\infty,K^{*(\bar{\sigma})}} \cdot I_{\bar{\sigma},K}, \text{ kA}$$

□ 4. Изчисляване на търсените величини в под условие 2)

Тъй като късо съединената верига е неразклонена, то токовете в о.е. през елементите ѝ са равни на тока в мястото на к.с. (вж. фиг.3.3а), т.е.

$$I''_{G1^{*(\bar{\sigma})}} = I''_{T1^{*(\bar{\sigma})}} = I''_{W1^{*(\bar{\sigma})}} = I''_{K^{*(\bar{\sigma})}}.$$

Тъй като $W1$ е от нивото на напрежение с к.с., то $I''_{W1} = I''_K$, а за тока на генератора се получава:

² Виж раздел 7.2.4 от „Моделиране в ЕЕС – Записки на лекции.“

³ Виж раздел 2.4.1 от „Моделиране в ЕЕС – Записки на лекции.“

$$I_{G1}'' = I_{K^{(3)}}'' \cdot I_{\sigma, G1} \quad , \quad \text{kA}.$$

Изчислените токове са с големина на векторите на ефективните стойности на фазните токове. Понеже трифазното к.с. е симетрично, следва че фазните токове образуват симетрична трифазна система с право редуване:

$$\dot{I}_{A, W1}'' = I_{W1}'' \angle 0^\circ \quad , \quad \text{kA}$$

$$\dot{I}_{B, W1}'' = I_{W1}'' \angle -120^\circ \quad , \quad \text{kA}$$

$$\dot{I}_{C, W1}'' = I_{W1}'' \angle +120^\circ \quad , \quad \text{kA}$$

Групата на $T1$ е различна от нула ($m \neq 0$). Затова тока на $G1$ ще се дефазира спрямо тока в $W1$ с ъгъл $= -m \cdot 30^\circ$, т.е.

$$\dot{I}_{A, G1}'' = I_{G1}'' \angle -m \cdot 30^\circ \quad , \quad \text{kA}$$

$$\dot{I}_{B, G1}'' = I_{G1}'' \angle -120^\circ - m \cdot 30^\circ \quad , \quad \text{kA}.$$

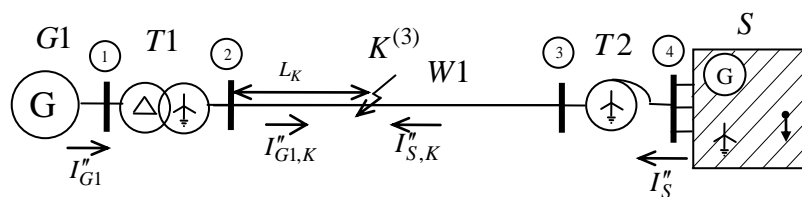
$$\dot{I}_{C, G1}'' = I_{G1}'' \angle 120^\circ - m \cdot 30^\circ \quad , \quad \text{kA}$$

Задача 2: Да се изчислят при условията на задача 1 свръхпреходните токове в мястото на к.с. (I_K''), в изводите на $G1$ (I_{G1}'') и в изводите на системата (I_S''), с тази разлика, че $W1$ е включен във възел 3.

Решението включва етапи от 1 до 3 на задача 1.

□ 1. Съставяне на изчислителна схема

Генераторите от към страна ВН на $T2$ са свързани с мястото на к.с. през две трансформации. Затова те могат да се представят с обобщената система S , свързана към възел 4. Търсеният ток в мястото на к.с. е сума от два тока, т.е. $I_K'' = I_{G1, K}'' + I_{S, K}''$, защото к.с. разделя ЕЕС на два отделни клона – клон на генератора $G1$ и клон на системата S . Отчитайки тези факти за изчислителната схема се получава схемата, показана на фиг.3.4.



Фиг.3.4

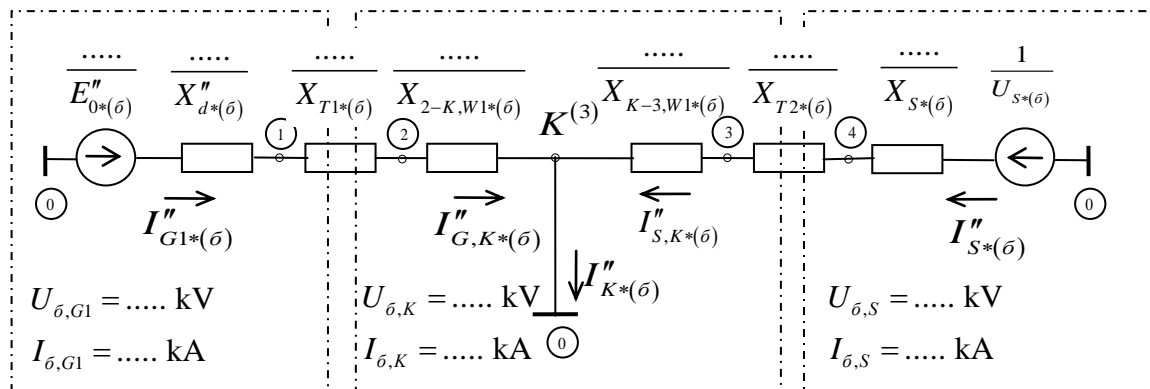
□ 2. Съставяне на е.з.с.

В изчислителната схема е налице и трето ниво на напрежението – това на системата S . От каталожната информация за $T2$ (табл.3.3) е видно, че системата е обобщена на 220 kV. Следователно $U_{\sigma, S} = 230 \text{ kV}$. Уместно е да се избере същата базисна мощност, както в задача 1. Тогава параметрите на елементите на клон на $G1$ се вземат от задача 1. За клон на S се използват изразите:

$$U_{S^{*(\bar{\sigma})}} \approx 1; \quad X_{S^{*(\bar{\sigma})}} = \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S_k^{(3)}}, \quad \text{о.е.}$$

$$X_{T2^{*(\bar{\sigma})}} = \frac{u_{k,B-C} \%}{100} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S_{\text{ном},T2}}; \quad \text{о.е.}$$

$$X_{K-3,W1^{*(\bar{\sigma})}} = X_1 \cdot (L_{W1} - L_K) \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_{\bar{\sigma},K}^2}; \quad \text{о.е.}$$



Фиг.3.5

□ 3. Изчисляване на I''_K , I''_{G1} и I''_S :

$$I''_{K^{*(\bar{\sigma})}} = I''_{G1,K^{*(\bar{\sigma})}} + I''_{S,K^{*(\bar{\sigma})}} \quad (\text{вж. фиг.3.5}),$$

където:

$$I''_{G1,K^{*(\bar{\sigma})}} = \frac{E''_{0^{*(\bar{\sigma})}}}{X''_{d^{*(\bar{\sigma})}} + X_{T1^{*(\bar{\sigma})}} + X_{2-K,W1^{*(\bar{\sigma})}}}, \quad (\text{взема се от задача 1})$$

$$I''_{S,K^{*(\bar{\sigma})}} = \frac{U_{S^{*(\bar{\sigma})}}}{X_{K-3,W1^{*(\bar{\sigma})}} + X_{T2^{*(\bar{\sigma})}} + X_{S^{*(\bar{\sigma})}}}, \quad \text{о.е.}$$

От фиг.3.5. е видно, че $I''_{G1^{*(\bar{\sigma})}} = I''_{G1,K^{*(\bar{\sigma})}}$ и $I''_{S^{*(\bar{\sigma})}} = I''_{S,K^{*(\bar{\sigma})}}$. Изчислените токове се привеждат в именувани единици:

$$I''_K = I''_{K^{*(\bar{\sigma})}} \cdot I_{\bar{\sigma},K}, \quad \text{kA}; \quad I''_{G1} = I''_{G1,K^{*(\bar{\sigma})}} \cdot I_{\bar{\sigma},G1}, \quad \text{kA}; \quad I''_S = I''_{S,K^{*(\bar{\sigma})}} \cdot I_{\bar{\sigma},S}, \quad \text{kA};$$

Данни за ЕЕС:

табл.3.1 – параметри на G1 и G2

Вариант	$P_{\text{ном}}$	$U_{\text{ном}}$	$\cos \varphi_{\text{ном}}$	$x_{d^{*(H)}}$	$x'_{d^{*(H)}}$	$x''_{d^{*(H)}}$	$x_{2^{*(H)}}$	$R_{d^{*(H)}}$	T_{d0}	T''_d
	MW	kV	–	о.е.	о.е.	о.е.	о.е.	о.е.	s	s
1	63	6,3	0,8	1,6	0,27	0,2	0,24	0,003	5,4	0,12
2	100	10,5	0,8	1,72	0,24	0,183	0,23	0,0025	6,2	0,18
3	165	15,75	0,85	1,78	0,3	0,21	0,26	0,0028	7,1	0,13

Изходен режим на генераторите преди смущението – номинален.

табл.3.2 – параметри на T1 и T3

Вариант	$S_{ном}$	$U_{ном,В}$	$U_{ном,Н}$	u_k	ΔP_k	Свързване
	MVA	kV	kV	%	kW	
1	125	121	6,3	10,5	320	Y ₀ d-1
2	125	121	10,5	10,5	320	Y ₀ d-11
3	200	121	15,75	11,0	570	Y ₀ d-9

табл.3.3 – параметри на T2

Вариант	$S_{ном}$	$U_{ном,В}$	$U_{ном,С}$	$U_{ном,Н}$	$u_{k,BC}$	$u_{k,BH}$	$u_{k,CH}$	ΔP_k	Свързване
	MVA	kV	kV	kV	%	%	%	kW	
1	125	230	115	35	11	35	22	255	Y ₀ y ₀ d-0/5
2	125	230	115	35	11	31	19	290	Y ₀ y ₀ d-0/5
3	200	230	115	35	10,5	32	20	430	Y ₀ y ₀ d-0/5

табл.3.4 – параметри на T4

Вариант	$S_{ном}$	$U_{ном,В}$	$U_{ном,Н}$	u_k	ΔP_k	Свързване
	MVA	kV	kV	%	kW	
1	16	110	21	10,5	45	Y ₀ d-5
2	25	110	21	10,5	65	Y ₀ d-9
3	40	110	21	10,5	82	Y ₀ d-3

табл.3.5 – параметри на въздушните електропроводи

№	Фазови проводници								Мълниезащитно въже				
	L_w	марка	S	d_ϕ	R_ϕ	D_{cp}	h_{cp}	S_{cp}	марка	R_v	X_g	$D_{вcp}$	h_v
	km	–	mm ²	mm	Ω/km	m	m	m	–	Ω/km	Ω/km	m	m
W1	25	ACO	400	27,2	0,08	5,2	10,5	22	C50	3,3	0,8	4	15
W2	28	ACO	400	27,2	0,08	5,2	10,5	22	C50	3,3	0,8	4	15
W3	42	AC	240	21,5	0,13	5,2	10,5	22	C50	3,3	0,8	4	15



табл.3.6 – параметри на кабелните електропроводи

№	L_w	марка	$C_{раб}$
	km	–	$\mu\text{F}/\text{km}$
W9	2,2	АСБ-150	0,51
W10	4,1	АСБ-150	0,51
W11	1,8	АСБ-150	0,51
W12	1,2	АСБ-150	0,51
W13	3,8	АСБ-120	0,46
W14	5,2	АСБ-120	0,46
W15	7,1	АСБ-95	0,42
W16	8,4	АСБ-95	0,42

табл.3.7 – мощности на к.с. във възел 4

Вариант	$S_k^{(3)}$	$S_k^{(1)}$
	MVA	MVA
1	1500	1000
2	1700	1500
3	1800	1500