

Упражнение № 4

ТЕМА: ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА ИЗМЕНЕНИЕТО ВЪВ ВРЕМЕТО НА ЕФЕКТИВНАТА СТОЙНОСТ НА ПЕРИОДИЧНИЯ ТОК ПРИ МЕТАЛНО ТРИФАЗНО КЪСО СЪЕДИНЕНИЕ В МРЕЖИ ВИСОКО НАПРЕЖЕНИЕ

Задача 1: На фиг.4.1 е показана принципна схема на част от ЕЕС, в чийто електропровод $W1$, на отстояние L_K от възел 2, е възникнало метално трифазно късо съединение. Необходимо е да се определи изменението във времето на ефективната стойност на периодичната съставка на тока в мястото на к.с. ($I_{п,к}(t)$), при следните условия:

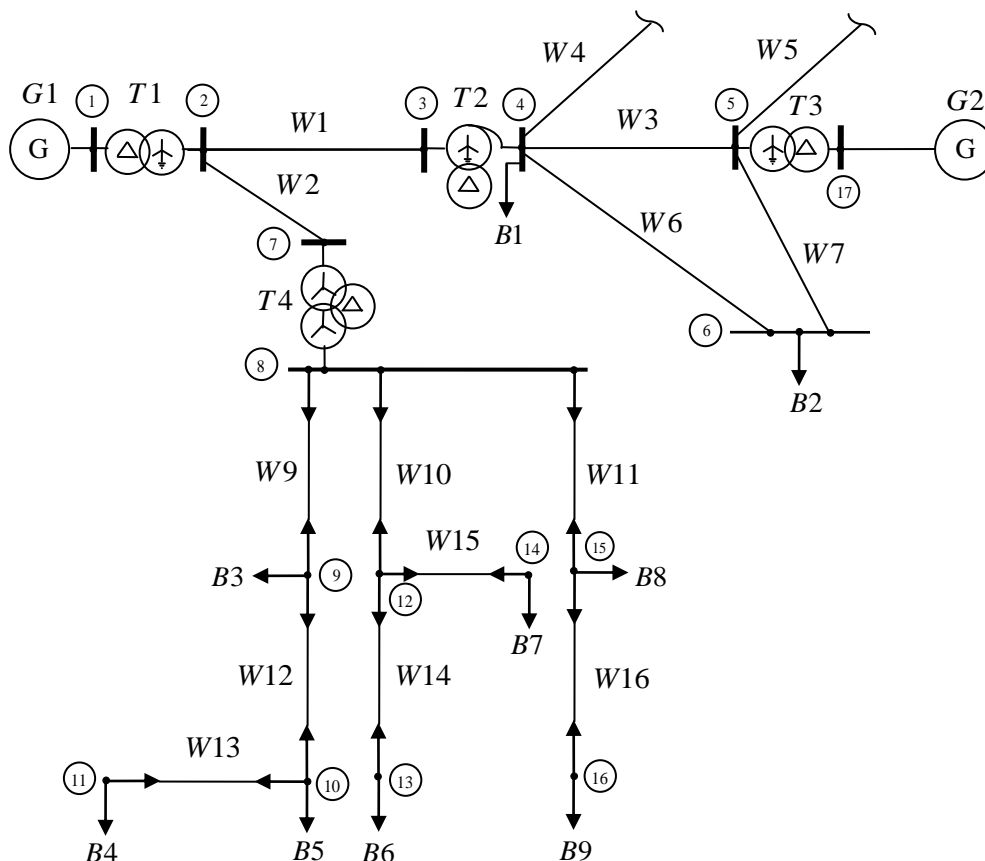
а) Генераторът $G1$ е без АРВ;

б) Генераторът $G1$ е с АРВ, с еквивалентна времеконстанта на форсиране на възбудването $T_e = 0,25s$.

Резултатите за $I_{п,к}(t)$ да се представят графично в диапазона за $t = 0 \div 1,5s$, със стъпка $0,25s$.

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 $L_K = \frac{K_K \cdot K_N}{100} \cdot L_{W1}$, km, където K_N – 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.4.1.

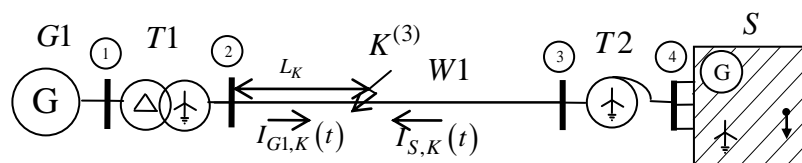
Методични указания.

Решението включва следните етапи:

□ 1. Съставяне на изчислителна схема

При инженерни методики за ръчно пресмятане, в изчислителната схема се включват генераторите и елементите на мрежата, чрез които те са свързани с мястото на к.с. Товарите и елементите от мрежата, които ги свързват с генераторите, не се включват в изчислителната схема. Частта от ЕЕС, съдържаща генератори, свързани през две трансформации с к.с., се представя в изчислителната схема чрез обобщена система. В случая, това е частта на ЕЕС, свързана към шините за високо напрежение на $T2$, т.е. към възел 4.

Съобразно казаното, изчислителната схема за к.с. върху $W1$ ще бъде от вида, показан на фиг.4.2.



Фиг.4.2 Изчислителна принципна схема на ЕЕС за к.с. върху електропровод $W1$

□ 2. Съставяне на еквивалентни заместващи схеми

Както се вижда от фиг.4.2, тока на к.с. в мястото на к.с. е сума от два тока, т.е.

$$(4.1) \quad I_{п,к}(t) = I_{G1,к}(t) + I_{S,к}(t),$$

където:

$I_{G1,к}(t)$ е токът, който генератора $G1$ подава в мястото на к.с. чрез радиалната връзка през $T1$ и участъка 2- K на $W1$;

$I_{S,к}(t)$ - токът, който системата S подава в мястото на к.с. чрез радиалната връзка през $T2$ и участъка 3- K на $W1$;

Както е известно, ефективната стойност на периодичния ток на к.с. от обобщената система е постоянен във времето, т.е. $I_{S,к}(t) = const = I_{S,к}(0) = I_{S,к}''$.

Токът $I_{G1,к}(t)$ е ток на к.с., във верига, захранвана от реален генератор. Изменението във времето на този ток зависи от наличието на АРВ.

При генератори **без АРВ** :

$$(4.2) \quad I_{G1,к}(t) = (I_{G1,к}'' - I'_{G1,к}) \cdot e^{\frac{-t}{T'_{d,G1,к}}} + (I'_{G1,к} - I_{G1,к,\infty}) \cdot e^{\frac{-t}{T'_{d,G1,к}}} + I_{G1,к,\infty}$$

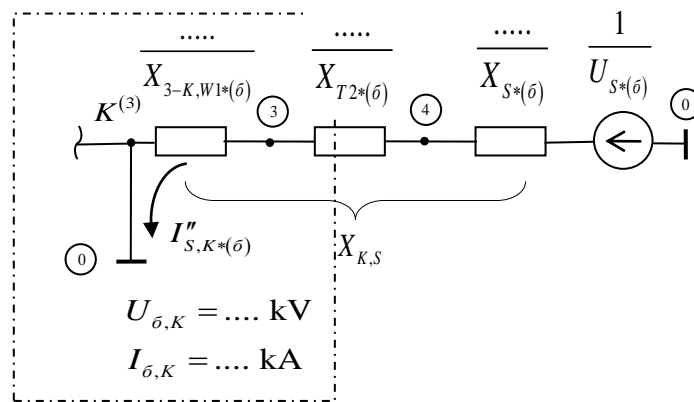
При генератори **с АРВ** с времеконстанта на форсиране на възбуждане T_e :

$$(4.3) \quad I_{G1,к}(t)_{АРВ} = I_{G1,к}(t) + (I_{G1,к,\infty,пред.} - I_{G1,к,\infty}) \cdot \left(1 - \frac{T'_{d,G1,к} \cdot e^{\frac{-t}{T'_{d,G1,к}}} - T_e \cdot e^{\frac{-t}{T_e}}}{T'_{d,G1,к} - T_e} \right).$$

От казаното е ясно, че при съставяне на заместващите схеми, двата радиални клона на схемата от фиг.4.2 могат да се разглеждат самостоятелно.

Заместващите схеми се съставят в относителни единици чрез приблизителния метод на привеждане. Уместно е да се избере базисна мощност $S_{\bar{\sigma}} = S_{ном, G1}$ (вж. упражнение № 3). В случая се търси само тока на к.с. и затова е достатъчно в е.з.с. да се отразят само базисните величини на нивото с к.с. Базисното напрежение на нивото с к.с. е равно на средното номинално, т.е. $U_{\bar{\sigma}, K} = U_{ср.ном, K}$. Изчислява се базисния ток за нивото с к.с. – $I_{\bar{\sigma}, K} = \frac{S_{\bar{\sigma}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\bar{\sigma}, K}}$, kA. Съставя се схема и се изчисляват параметрите ѝ.

За клона на системата се съставя една схема, показана на фиг.4.3. Отчитат се само индуктивните съпротивления X на елементите, защото в задачата се изчисляват само I_{II} и $X_K \geq 3R_K$.



Фиг.4.3

$$X_{S*(\bar{\sigma})} = \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S_K^3}, \text{ о.е. (където } S_K^3 \text{ е от табл.5)}$$

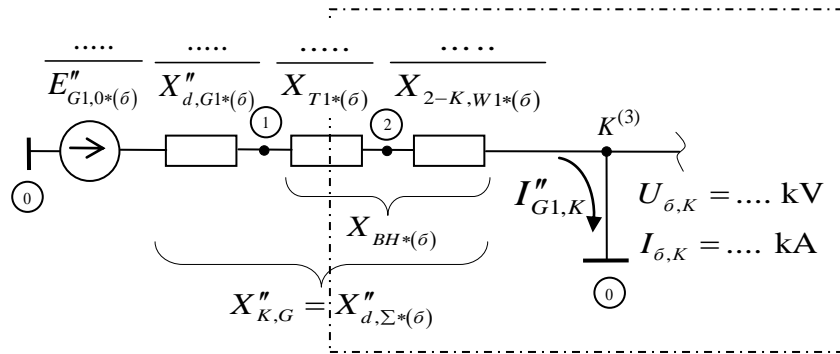
$$X_{T2*(\bar{\sigma})} \approx \frac{u_{k, B-C} \%}{100} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S_{ном, T2}}, \text{ о.е. (вж. табл.2)}$$

$$X_{3-K, W1*(\bar{\sigma})} = X_{3-K, W1} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_{ср.ном}^2}, \text{ о.е.}$$

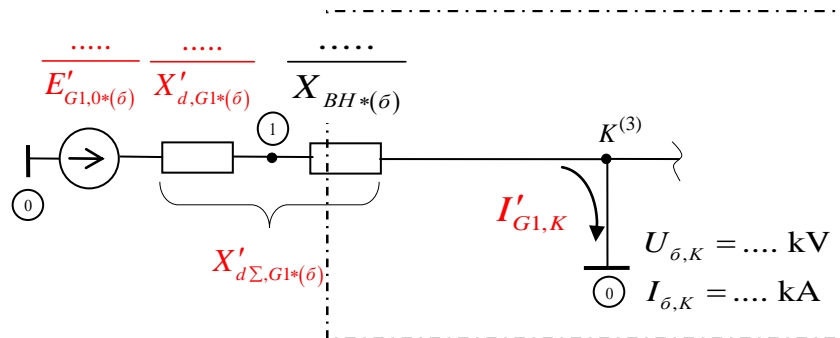
$$X_{3-K, W1} = X_1 \cdot (L_{W1} - L_K), \Omega$$

$$X_1 = 0,145 \lg \frac{D_{ср}}{r_{\phi}} + 0,0157, \Omega/\text{km}$$

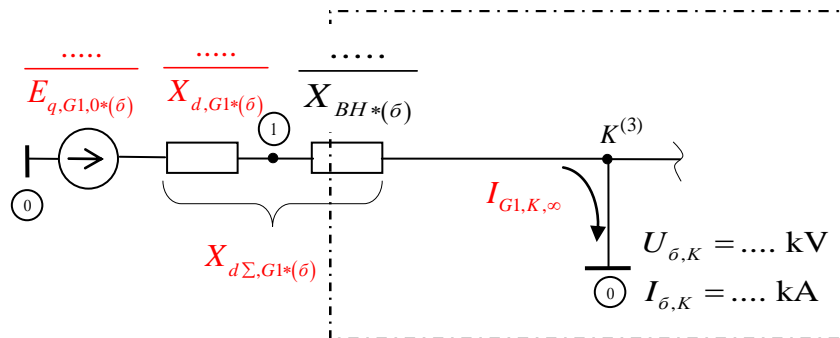
За клона на генератора се съставят четири схеми за определяне на четирите характеристики на тока на к.с. ($I''_{G1, K}, I'_{G1, K}, I_{G1, K, \infty}$ и $I_{G1, K, \infty, пред.}$), използвани в изразите (4.2) и (4.3). Схемите са показани на фиг.4.4. Те се различават само по стойностите на параметрите на заместващата схема на генератора.



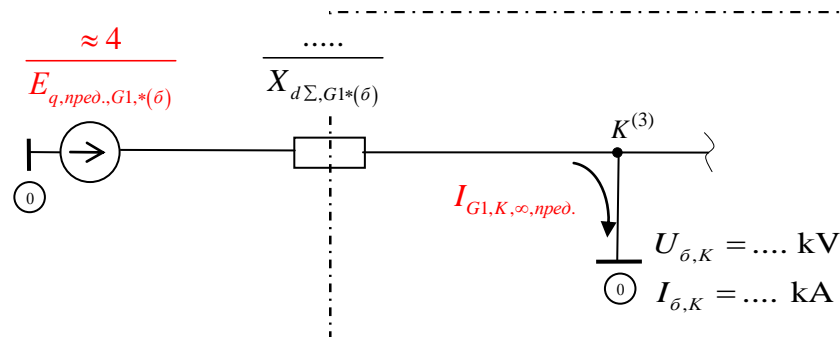
а)



б)



в)



г)

Фиг.4.4. Еквивалентна заместваща схема за определяне на:

- а) свръхпреходния ток $I''_{G1,K}$; б) преходния ток $I'_{G1,K}$; в) установения ток без АРВ $I_{G1,K,\infty}$;
г) установения ток пределното възбуждане на G1 от АРВ $I_{G1,K,\infty,пред.}$.

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

$$X_{2-K} = X_1 \cdot L_K \quad \Omega, \quad (\text{за } X_1 \text{ вж. по-горе})$$

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

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

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

Изходния режим на натоварване на генераторите преди момента на възникване на к.с. е номинален, т.е. $U_{G1,0*(n)} = 1$ о.е., $I_{G1,0*(n)} = 1$ о.е., $\cos \varphi_{G1,0} = \cos \varphi_{G1,ном}$. За избраните базисни напрежения е валидно равенството: $E_{G1*(\bar{\sigma})} = E_{G1*(n)}$, тогава е.д.н. се изчисляват с изразите:

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

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

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

Установената стойност на синхронното е.д.н. при пределно възбуждане $E_{q,пред.,G1*(\bar{\sigma})}$ зависи от вида на възбудителната система. За съвременните системи $E_{q,пред.,*(\bar{\sigma})} \approx 4$.

□ 3. Изчисляване на характерните величини на токовете в мястото на късото съединение, генерирани от системата S и генератора G1, показани в еквивалентните заместващи схеми от фиг.4.1 и фиг.4.3

– от системата S:

$$I''_{S,K} = \frac{U_{S*(\bar{\sigma})}}{X_{K,S}} \cdot I_{\bar{\sigma},K}, \text{ kA}$$

– от генератора G1:

$$I''_{G1,K} = \frac{E''_{G1,0*(\bar{\sigma})}}{X''_{d\Sigma,G1*(\bar{\sigma})}} \cdot I_{\bar{\sigma},K}, \text{ kA}$$

$$I'_{G1,K} = \frac{E'_{G1,0*(\bar{\sigma})}}{X'_{d\Sigma,G1*(\bar{\sigma})}} \cdot I_{\bar{\sigma},K}, \text{ kA}$$

$$I_{G1,K,\infty} = \frac{E_{q,G1,0*(\bar{\sigma})}}{X_{d\Sigma,G1*(\bar{\sigma})}} \cdot I_{\bar{\sigma},K}, \text{ kA}$$

$$I_{G1,K,\infty,пред.} = \frac{E_{q,пред.,G1*(\bar{\sigma})}}{X_{d\Sigma,G1*(\bar{\sigma})}} \cdot I_{\bar{\sigma},K}, \text{ kA}$$

□ 4. Изчисляване на времеконстантите T_d'' и T_d' за генераторния клон

В табл.4.1. са дадени времеконстантата T_d'' за трифазно к.с. на шините на генератора и времеконстантата на възбудителната намотка T_{d0} при отворена статорна намотка. За изчисляването късо съединение T_d'' и T_d' се изчисляват чрез изразите:

$$T_{d,G1,K}'' := T_{d,G1}'' \frac{X'_{d,G1*(h)} \cdot X''_{d\Sigma,G1*(\bar{\theta})}}{X''_{d,G1*(h)} \cdot X'_{d\Sigma,G1*(\bar{\theta})}} ; T_{d,G1,K}' = T_{d0,G1} \frac{X'_{d\Sigma,G1*(\bar{\theta})}}{X_{d\Sigma,G1*(\bar{\theta})}}$$

□ 5. Изчисляване на $I_{G1,K}(t)$, $I_{G1,K}(t)_{APB}$, $I_{\Pi,K}(t)$ и начертаване на графиките

За целта се използват изразите (4.2), (4.3) и (4.1) за $t = 0 \div 1,5$ s със стъпка 0,25 s. На една координатна система с еднакъв мащаб се начертават $I_{S,K}''$, $I_{G,K}(t)$, $I_{\Pi,K}(t)$, $I_{G,K}(t)_{APB}$ и $I_{\Pi,K}(t)_{APB}$.

Данни за ЕЕС:

табл.4.1 – параметри на G1 и G2

Вариант	$P_{ном}$	$U_{ном}$	$\cos \varphi_{ном}$	$x_{d*(h)}$	$x'_{d*(h)}$	$x''_{d*(h)}$	$x_{2*(h)}$	$R_{d*(h)}$	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.4.2 – параметри на T1 и T3

Вариант	$S_{ном}$	$U_{ном,B}$	$U_{ном,H}$	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.4.3 – параметри на T2

Вариант	$S_{ном}$	$U_{ном,B}$	$U_{ном,C}$	$U_{ном,H}$	$u_{k,BC}$	$u_{k,BH}$	$u_{k,CH}$	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.4.4 – параметри на Т4

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.4.5 – 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.4.6 – параметри на кабелните електропроводи

№	L_w	марка	$C_{раб}$
	km	–	μF/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.4.7 – 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