

Упражнение № 9

ТЕМА: ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА ХАРАКТЕРНИТЕ ВЕЛИЧИНИ НА ТОКА НА ТРИФАЗНО КЪСО СЪЕДИНЕНИЕ. В МРЕЖИ ЗА НИСКО НАПРЕЖЕНИЕ

Въведение: Мрежите за ниско напрежение (0,38 kV) са къси. Затова съпротивленията им са малки и измерват с в $m\Omega$. Обикновено са едностранно захранени от ЕЕС чрез понижаващ трансформатор от средно (10 или 20 kV) на ниско напрежение. С развитието на възобновяемите електроенергийни източници е възможно те да са включени директно в мрежата, т.е. да има повече от един източник. Като източници се разглеждат и електрическите двигатели, които са в непосредствена електрическа близост до к.с. В настоящето упражнение се разглежда късосъединена верига, захранвана от понижаващия трансформатор.

Точността на изчислението на тока на к.с. зависи основно от това до колко пълно и точно са изчислени съпротивленията в късосъединените вериги. При съставянето на заместващите схеми се отчитат активните и индуктивни съпротивления не само на трансформаторите и електропроводите, но и на шините, на токовите трансформатори, на токовите бобини на автоматичните прекъсвачи, на контактите на прекъсвачите и на различните контактни съпротивления в късосъединената верига. Ако к.с. е през дъга, трябва да се отчита и съпротивлението на дъгата. За определяне съпротивлението на дъгата R_D се използва израза:

$$R_D = \frac{47}{I_D^{0,28}} - 15, \text{ m}\Omega,$$

където I_D е ефективната стойност на тока през дъгата. Ясно е, че за изчисляването на R_D се използва итерационен процес – първо се пресмята тока без отчитане на R_D . С получения ток се изчислява R_D . С изчислената R_D се изчислява отново тока и процеса се повтаря до получаване на практически близки две последователни стойности за тока.

Когато в късосъединената верига има елемент (проводник), чието активно съпротивление съставлява значителна част от общото активно съпротивление на веригата, следва да се отчита изменението във времето на това съпротивление от загряването му под въздействието на протичащия ток на к.с.

С изчисления ток $I''_{K,\max}$ за метално трифазно късо съединение без отчитане на промяна на съпротивление от температурата се изчисляват температурите $\theta_{кр}$, до които ще се нагряят проводниците на отделните електропроводи до момента на изключването.

$$\theta_{кр,W_i} \approx b \cdot \left(a \cdot \theta_{нач} + \frac{I''_{K,\max}^2 \cdot t_{изк.}}{S_{W_i}^2} \right), \text{ } ^\circ\text{C},$$

където $I''_{K,\max}$ в А, $t_{изк.}$ - в s ; S_{W_i} – сечение на проводника в mm^2 , $\theta_{нач}$ - температура на проводника преди к.с. (обикновено $\theta_{нач} \approx 70^\circ\text{C}$). Апроксимиращият коефициент зависи от вида на материала: за алуминий $a = 65$; $b = 1,54 \cdot 10^{-2}$; за мед $a = 136,67$; $b = 7,32 \cdot 10^{-3}$.

Увеличението на съпротивлението на електропровода W_i към момента на изключването е:

$$\Delta R_{W_i} = \alpha (\theta_{кр,W_i} - 20^\circ\text{C}) \cdot R_{W_i}, \text{ m}\Omega,$$

където α е температурен коефициент и за цветни метали $\alpha \approx 4 \cdot 10^{-3} 1/^\circ\text{C}$.

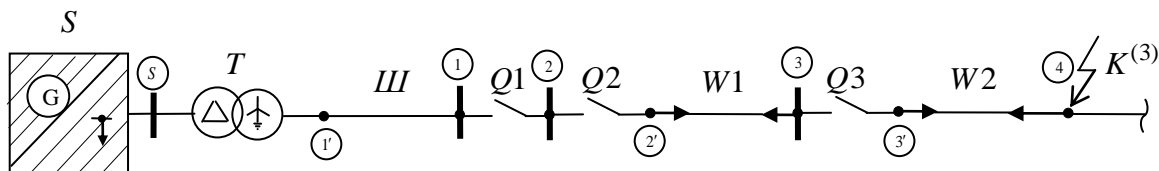
Общото увеличение на съпротивлението е сума от увеличенията на съпротивленията на електропроводите в късо съединената верига, т.е.

$$\Delta R_w = \sum_{i=1}^n \Delta R_{wi} , m\Omega .$$

От гледна точка на точността на изчислението е препоръчително то да се провежда в именувани единици, като съпротивленията се измерват в $m\Omega$, напрежението във V , а тока в kA .

Задача 1: На фиг.9.1 е показана изчислителната принципна схема за трифазно к.с. във възел 4 на мрежа за ниско напрежение. Необходимо е да се изчислят характерните величини на тока в мястото на к.с. I'' , i_y , I_y и $I_{k(0)}$ при условие, че:

- късото съединение е метално;
- късото съединение е през дъга.



Фиг.9.1. Изчислителна принципна схема

Параметрите на елементите са дадени в таблици табл.9.1÷9.6 в края на текста на упражнението. Първият ред от таблицата се ползва от студентите, чийто факултетен номер завършва на нечетна цифра, а втория – на четна цифра. Индивидуалното задание на студента се получава след корегирание на дължините на W_1 и W_2 . с корекционен коефициент $K_L = 1 + \frac{5 \cdot N}{100}$, където N е номерът на студента от списъка на групата.

Методични указания

Редът за изчисляването на търсените характерни величини на тока е аналогичен на този от упражнението № 2. Разликата е, че тук изчисленията ще се провеждат в именовани единици, което изисква параметрите на захранващата система да се приведе към ниското напрежение¹. В късосоединената верига ще се отчитат всички съпротивления, включително и тези на болтовите съединения.

За подточка б) на задачата към съпротивлението на късосоединената верига да се добави това на дъгата и изчислението на търсените токове да се извърши с поне две итерации.

Ще припомним, че съставянето на еквивалентната заместваща схема в именувани единици преминава през съставянето на заместваща схема и привеждането ѝ към едно от нивата на напрежението (обикновено към нивото с късото съединение), както това е показано за разглежданата задача на фиг.9.2. Привеждането на параметрите на системата се извършва чрез коефициента на трансформация на трансформатор T . В случая на заместващата схема е прието, че трансформатора е на нулево регулировъчно отклонение. Тогава:

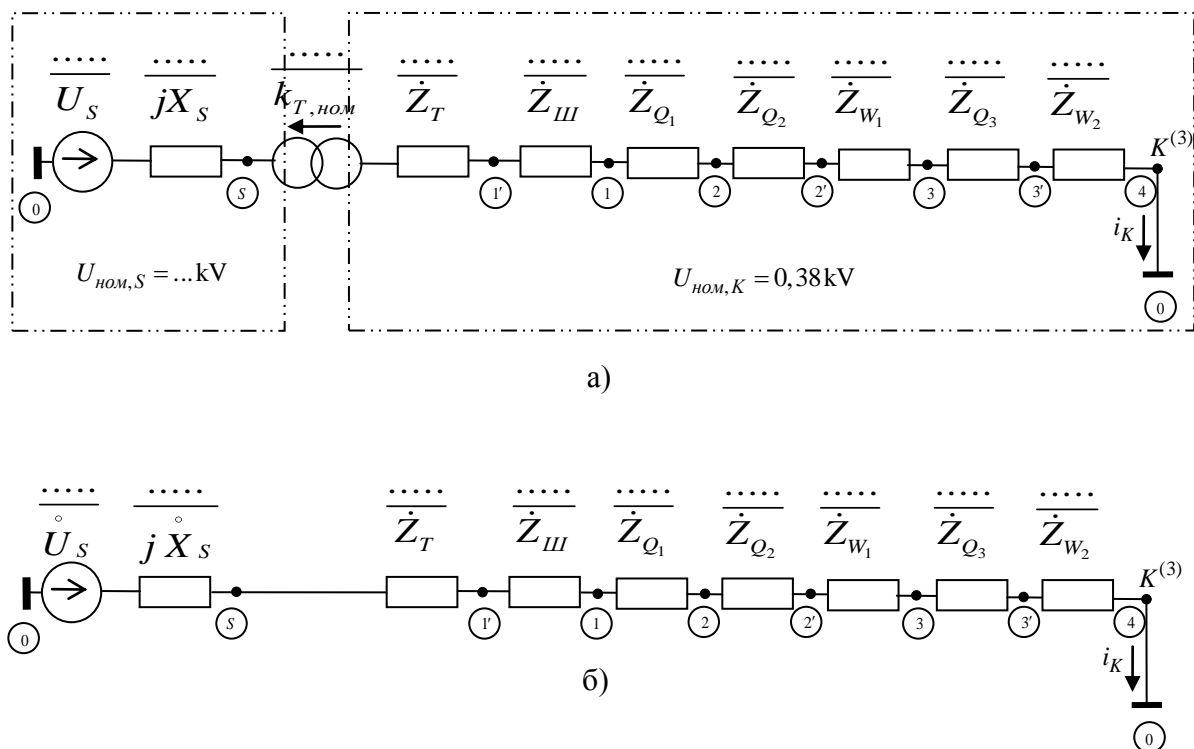
¹ Виж раздел 7.2.1. от „Моделиране в ЕЕС – Записки на лекции“

$$\dot{U}_S = U_S \cdot k_{T,ном} \approx \frac{U_{ср.ном,S}}{\sqrt{3}} \cdot k_{T,ном}, \text{ V};$$

$$\dot{X}_S = X_S \cdot k_{T,ном}^2, \text{ } \Omega, \text{ където}$$

$$k_{T,ном} = \frac{U_{ном.Н,Т}}{U_{ном.В,Т}}; \quad X_S = \frac{U_{ср.ном,S}^2}{S_K''}, \text{ } \Omega.$$

Още веднъж ще подчертаем, че към съпротивлението на късо съединената верига, изчислено от еквивалентната заместваща схема на фиг.9.2.б се прибавя и активното съпротивление от болтовите съединения, а за подусловие б) – и активното съпротивление на дъгата.



Фиг.9.2. Заместваща (а) и еквивалентна заместваща (б) схеми в именувани единици

Задачи за самостоятелна работа:

Задача 2.1: Като се отчете изменението на съпротивленията на електропроводите W_1 и W_2 в стадия на късото съединение да се изчисли ефективната стойност на периодичния ток на късо съединение за момента $t=0,2$ s след възникване на метално трифазно късо съединение във възел 4 на ЕЕС задача 1. Да се приеме, че изходната температура на проводниците е $\theta_0 = 70^\circ\text{C}$, а проводниците са алуминиеви, със сечение 120 mm^2 на W_1 и 35 mm^2 на W_2 . Да се сравни получения ток с изчисления I'' в задача 1 и да се направят изводи.

Указания: С изчисления ток $I_K = I''$ от решението на задача 1 се корегират активните съпротивления на W_1 и W_2 като се използва формулата за R_r , обяснена по-горе във въведението.

Задача 2.2: Да се реши задача 1, при условие, че късото съединение не е във възел 4, а е във възел 2. Да се сравнят резултатите за токовете с тези, получени от решението на задача 1 и да се направят изводи.

Данни за ЕЕС:Болтови контактни съединения – 10 бр. с $R_I = 0,003 \text{ m}\Omega$ / съединение.

табл.1 – данни за системата S

№	$S_k'', \text{ MVA}$
1	180
2	420

табл.2 – данни за трансформатора T

№	$S_{\text{ном}}, \text{ kVA}$	$U_{\text{ном,В}}, \text{ kV}$	$U_{\text{ном,Н}}, \text{ kV}$	$u_k, \%$	ΔP_k
1	630	$10 \pm 5\%$	0,38	5	8,3
2	1000	$20 \pm 5\%$	0,38	6	11,2

табл.3 – данни за електропровода W1

№	$R_1, \text{ m}\Omega/\text{m}$	$X_1, \text{ m}\Omega/\text{m}$	$L_w, \text{ m}$
1	0,256	0,062	50
2	0,208	0,063	72

табл.4 – данни за електропровода W2

№	$R_1, \text{ m}\Omega/\text{m}$	$X_1, \text{ m}\Omega/\text{m}$	$L_w, \text{ m}$
1	1,1	0,068	20
2	0,77	0,07	32

табл.5. – данни за шинопровода III

№	$R_1, \text{ m}\Omega/\text{m}$	$X_1, \text{ m}\Omega/\text{m}$	$L_{III}, \text{ m}$
1	0,03	0,014	15
2	0,025	0,014	20

табл.6.- Данни за съпротивленията на прекъсвачите Q

Q	$R_1, \text{ m}\Omega$	$X_1, \text{ m}\Omega$
Q1	0,25	0,1
Q2	0,65	0,17
Q3	2,15	1,2