

Задание 4. Расчет потерь электроэнергии в сетях 0,38 кВ

Задайте параметры 3-х фидеров и рассчитайте выборку

Подберите токи фидеров IA IB IC так, чтобы погрешность выборки DV была менее 10%

Сопротивления фаз участков линий выбрать из этой таблицы соответственно сечению

Сечение, мм <sup>2</sup>	10	16	25	35	50	70	95	120	150
Сопротивление, $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	2,766	1,8	1,176	0,79	0,603	0,429	0,306	0,249	0,198

ORIGIN := 1

Число фидеров

Nf := 3

Токи по фазам 3-х фидеров

IA1 := 21      IB1 := 27      IC1 := 30

IA2 := 25      IB2 := 23      IC2 := 27

IA3 := 28      IB3 := 25      IC3 := 21

Каждый фидер состоит из 4-х участков с проводами разного сечения и длинами

### ФИДЕР 1

Число часов максимальной нагрузки, тангнс угла нагрузки, индуктивное сопротивление 1-го фидера

TM := 3500      TGF := 0.3      XF := 0.4

Токи по фазам 1 го фидера

IA := IA1      IB := IB1      IC := IC1

Число распределенных нагрузок вдоль длины фаз 1-го фидера

Na := 10      Nb := 10      Nc := 10

Длины 4-х участков фаз и нейтрали 1-го фидера

$$\begin{array}{llll} LA1 := 0.5 & LA2 := 0.5 & LA3 := 0.7 & LA4 := 0.8 \\ LB1 := 0.9 & LB2 := 0.8 & LB3 := 0.8 & LB4 := 0.7 \\ LC1 := 0.8 & LC2 := 0.7 & LC3 := 0.9 & LC4 := 0.9 \\ LN1 := 0.7 & LN2 := 0.8 & LN3 := 0.6 & LN4 := 0.7 \end{array}$$

Удельные активные сопротивления 4-х участков фаз и нейтрали 1-го фидера

$$\begin{array}{llll} RA1 := 0.306 & RA2 := 0.306 & RA3 := 0.603 & RA4 := 0.79 \\ RB1 := 0.306 & RB2 := 0.306 & RB3 := 0.603 & RB4 := 0.79 \\ RC1 := 0.306 & RC2 := 0.306 & RC3 := 0.603 & RC4 := 0.79 \\ RN1 := 0.306 & RN2 := 0.306 & RN3 := 0.603 & RN4 := 0.79 \end{array}$$

Суммарные длины фаз и нейтрали 1-го фидера

$$LA := LA1 + LA2 + LA3 + LA4$$

$$LB := LB1 + LB2 + LB3 + LB4$$

$$LC := LC1 + LC2 + LC3 + LC4$$

$$LN := LN1 + LN2 + LN3 + LN4$$

Суммарные активные сопротивления фаз и нейтрали 1-го фидера

$$RA := RA1 \cdot LA1 + RA2 \cdot LA2 + RA3 \cdot LA3 + RA4 \cdot LA4$$

$$RB := RB1 \cdot LB1 + RB2 \cdot LB2 + RB3 \cdot LB3 + RB4 \cdot LB4$$

$$RC := RC1 \cdot LC1 + RC2 \cdot LC2 + RC3 \cdot LC3 + RC4 \cdot LC4$$

$$RN := RN1 \cdot LN1 + RN2 \cdot LN2 + RN3 \cdot LN3 + RN4 \cdot LN4$$

Среднее сопротивление 1-го фидера

$$RF := \frac{(RA + RB + RC)}{3} \qquad RF = 1.543$$

Суммарные индуктивные сопротивления фаз 1-го фидера

$$X_A := X_F \cdot L_A \quad X_B := X_F \cdot L_B \quad X_C := X_F \cdot L_C$$

Угол нагрузки 1-го фидера

$$F := \text{atan}(\text{TGF})$$

Коэффициенты распределенных нагрузок по фазам 1-го фидера

$$K_{oa} := \frac{N_a + 1}{2 \cdot N_a} \quad K_{ob} := \frac{N_b + 1}{2 \cdot N_b} \quad K_{oc} := \frac{N_c + 1}{2 \cdot N_c}$$

$$K_{oa} = 0.55$$

$$K_{ob} = 0.55$$

$$K_{oc} = 0.55$$

Падения напряжений по фазам 1-го фидера

$$DUA := I_A \cdot (R_A \cdot \cos(F) + X_A \cdot \sin(F)) \cdot K_{oa} \quad DUA = 18.366$$

$$DUB := I_B \cdot (R_B \cdot \cos(F) + X_B \cdot \sin(F)) \cdot K_{ob} \quad DUB = 27.588$$

$$DUC := I_C \cdot (R_C \cdot \cos(F) + X_C \cdot \sin(F)) \cdot K_{oc} \quad DUC = 33.326$$

$$DUU := \frac{DUA + DUB + DUC}{3} \quad DUU = 26.427$$

Падения напряжений по фазам 1-го фидера в процентах

$$DUAP := DUA \cdot \frac{100}{220} \quad DUAP = 8.348$$

$$DUBP := DUB \cdot \frac{100}{220} \quad DUBP = 12.54$$

$$DUCP := DUC \cdot \frac{100}{220} \quad DUCP = 15.148$$

$$DUUP := DUU \cdot \frac{100}{220} \quad DUUP = 12.012$$

Коэффициент заполнения графика нагрузки 1-го фидера

$$KZ := \frac{T_M}{8760} \quad KZ = 0.4$$

Относительное время наибольших потерь 1-го фидера

$$\text{TAU} := \frac{(0.124 + 0.876 \cdot \text{KZ})^2}{\text{KZ}} \quad \text{TAU} = 0.562$$

Отношение индуктивного и активного сопротивлений фаз 1-го фидера

$$\begin{aligned} \text{xra} &:= \frac{\text{XA}}{\text{RA}} & \text{xrb} &:= \frac{\text{XB}}{\text{RB}} & \text{xrc} &:= \frac{\text{XC}}{\text{RC}} \\ \text{xra} &= 0.735 & \text{xrb} &= 0.823 & \text{xrc} &= 0.771 \end{aligned}$$

Коэффициент связи между потерями напряжения и потерями мощности 1-го фидера

$$\begin{aligned} \text{KCA} &:= \frac{1 + \text{TGF}^2}{1 + \text{xra} \cdot \text{TGF}} & \text{KCB} &:= \frac{1 + \text{TGF}^2}{1 + \text{xrb} \cdot \text{TGF}} & \text{KCC} &:= \frac{1 + \text{TGF}^2}{1 + \text{xrc} \cdot \text{TGF}} \\ \text{KCA} &= 0.893 & \text{KCB} &= 0.874 & \text{KCC} &= 0.885 \end{aligned}$$

Средний ток 1-го фидера

$$\text{ICP}_1 := \frac{(\text{IA} + \text{IB} + \text{IC})}{3} \quad \text{ICP}_1 = 26$$

Коэффициент неравномерности токов 1-го фидера

$$\begin{aligned} \text{A1} &:= \frac{(\text{IA}^2 + \text{IB}^2 + \text{IC}^2)}{3 \cdot (\text{ICP}_1)^2} & \text{A2} &:= 1 + 1.5 \cdot \frac{\text{RN}}{\text{RF}} & \text{A3} &:= 1.5 \cdot \frac{\text{RN}}{\text{RF}} \end{aligned}$$

$$\text{KNER} := \text{A1} \cdot \text{A2} - \text{A3} \quad \text{KNER} = 1.048$$

Потери энергии 1-го фидера в процентах

$$\text{DWAP} := \text{KCA} \cdot \text{DUAP} \cdot \text{KNER} \cdot \text{TAU} \quad \text{DWAP} = 4.395$$

$$\text{DWBP} := \text{KCB} \cdot \text{DUBP} \cdot \text{KNER} \cdot \text{TAU} \quad \text{DWBP} = 6.463$$

$$\text{DWCP} := \text{KCC} \cdot \text{DUCP} \cdot \text{KNER} \cdot \text{TAU} \quad \text{DWCP} = 7.906$$

$$\text{DWSP} := \frac{\text{DWAP} + \text{DWBP} + \text{DWCP}}{3} \quad \text{DWSP} = 6.255$$

$$\text{DW}_1 := \text{DWSP} \quad \text{DW}_1 = 6.255$$

## ФИДЕР 2

Число часов максимальной нагрузки, тангенс угла нагрузки, индуктивное сопротивление  
2-го фидера

$$\underline{TM} := 3500 \quad \underline{TGF} := 0.3 \quad \underline{XF} := 0.4$$

Токи по фазам 2 го фидера

$$\underline{IA} := IA2 \quad \underline{IB} := IB2 \quad \underline{IC} := IC2$$

Число распределенных нагрузок вдоль длины фаз 2-го фидера

$$\underline{Na} := 9 \quad \underline{Nb} := 7 \quad \underline{Nc} := 5$$

Длины 4-х участков фаз и нейтрали 2-го фидера

$$\underline{LA1} := 0.5 \quad \underline{LA2} := 0.7 \quad \underline{LA3} := 0.8 \quad \underline{LA4} := 0.9$$

$$\underline{LB1} := 0.9 \quad \underline{LB2} := 0.8 \quad \underline{LB3} := 0.7 \quad \underline{LB4} := 0.5$$

$$\underline{LC1} := 0.8 \quad \underline{LC2} := 0.9 \quad \underline{LC3} := 0.7 \quad \underline{LC4} := 0.7$$

$$\underline{LN1} := 0.7 \quad \underline{LN2} := 0.8 \quad \underline{LN3} := 0.5 \quad \underline{LN4} := 0.8$$

Удельные активные сопротивления 4-х участков фаз и нейтрали 2-го фидера

$$\underline{RA1} := 0.306 \quad \underline{RA2} := 0.306 \quad \underline{RA3} := 0.429 \quad \underline{RA4} := 0.429$$

$$\underline{RB1} := 0.306 \quad \underline{RB2} := 0.429 \quad \underline{RB3} := 0.429 \quad \underline{RB4} := 0.603$$

$$\underline{RC1} := 0.306 \quad \underline{RC2} := 0.306 \quad \underline{RC3} := 0.429 \quad \underline{RC4} := 0.429$$

$$\underline{RN1} := 0.306 \quad \underline{RN2} := 0.429 \quad \underline{RN3} := 0.603 \quad \underline{RN4} := 0.603$$

Суммарные длины фаз и нейтрали 2-го фидера

$$\underline{LA} := LA1 + LA2 + LA3 + LA4$$

$$\underline{LB} := LB1 + LB2 + LB3 + LB4$$

$$\underline{LC} := LC1 + LC2 + LC3 + LC4$$

$$\underline{LN} := LN1 + LN2 + LN3 + LN4$$

Суммарные активные сопротивления фаз и нейтрали 2-го фидера

$$\underline{R_A} := RA1 \cdot LA1 + RA2 \cdot LA2 + RA3 \cdot LA3 + RA4 \cdot LA4$$

$$\underline{R_B} := RB1 \cdot LB1 + RB2 \cdot LB2 + RB3 \cdot LB3 + RB4 \cdot LB4$$

$$\underline{R_C} := RC1 \cdot LC1 + RC2 \cdot LC2 + RC3 \cdot LC3 + RC4 \cdot LC4$$

$$\underline{R_N} := RN1 \cdot LN1 + RN2 \cdot LN2 + RN3 \cdot LN3 + RN4 \cdot LN4$$

Среднее сопротивление 2-го фидера

$$\underline{R_F} := \frac{(R_A + R_B + R_C)}{3} \quad R_F = 1.146$$

Суммарные индуктивные сопротивления фаз 2-го фидера

$$\underline{X_A} := XF \cdot LA \quad \underline{X_B} := XF \cdot LB \quad \underline{X_C} := XF \cdot LC$$

Угол нагрузки 2-го фидера

$$\underline{F} := \text{atan}(TGF)$$

Коэффициенты распределенных нагрузок по фазам 2-го фидера

$$\underline{K_{oa}} := \frac{Na + 1}{2 \cdot Na} \quad \underline{K_{ob}} := \frac{Nb + 1}{2 \cdot Nb} \quad \underline{K_{oc}} := \frac{Nc + 1}{2 \cdot Nc}$$

$$K_{oa} = 0.556$$

$$K_{ob} = 0.571$$

$$K_{oc} = 0.6$$

Падения напряжений по фазам 2-го фидера

$$\underline{DUA} := IA \cdot (RA \cdot \cos(F) + XA \cdot \sin(F)) \cdot K_{oa} \quad DUA = 19.216$$

$$\underline{DUB} := IB \cdot (RB \cdot \cos(F) + XB \cdot \sin(F)) \cdot K_{ob} \quad DUB = 19.744$$

$$\underline{DUC} := IC \cdot (RC \cdot \cos(F) + XC \cdot \sin(F)) \cdot K_{oc} \quad DUC = 23.163$$

$$\underline{DUU} := \frac{DUA + DUB + DUC}{3} \quad DUU = 20.708$$

Падения напряжений по фазам 2-го фидера в процентах

$$\underline{\underline{DUAP}} := DUA \cdot \frac{100}{220}$$

$$DUAP = 8.735$$

$$\underline{\underline{DUBP}} := DUB \cdot \frac{100}{220}$$

$$DUBP = 8.975$$

$$\underline{\underline{DUCP}} := DUC \cdot \frac{100}{220}$$

$$DUCP = 10.529$$

$$\underline{\underline{DUUP}} := DUU \cdot \frac{100}{220}$$

$$DUUP = 9.413$$

Коэффициент заполнения графика нагрузки 2-го фидера

$$\underline{\underline{KZ}} := \frac{TM}{8760}$$

$$KZ = 0.4$$

Относительное время наибольших потерь 2-го фидера

$$\underline{\underline{TAU}} := \frac{(0.124 + 0.876 \cdot KZ)^2}{KZ}$$

$$TAU = 0.562$$

Отношение индуктивного и активного сопротивлений фаз 2-го фидера

$$\underline{\underline{xra}} := \frac{XA}{RA}$$

$$\underline{\underline{xrb}} := \frac{XB}{RB}$$

$$\underline{\underline{xrc}} := \frac{XC}{RC}$$

$$xra = 1.058$$

$$xrb = 0.951$$

$$xrc = 1.106$$

Коэффициент связи между потерями напряжения и потерями мощности 2-го фидера

$$\underline{\underline{KCA}} := \frac{1 + TGF^2}{1 + xra \cdot TGF}$$

$$\underline{\underline{KCB}} := \frac{1 + TGF^2}{1 + xrb \cdot TGF}$$

$$\underline{\underline{KCC}} := \frac{1 + TGF^2}{1 + xrc \cdot TGF}$$

$$KCA = 0.827$$

$$KCB = 0.848$$

$$KCC = 0.818$$

Средний ток 2-го фидера

$$ICP_2 := \frac{(IA + IB + IC)}{3}$$

$$ICP_2 = 25$$

Коэффициент неравномерности токов 2-го фидера

$$\underline{A1} := \frac{(IA^2 + IB^2 + IC^2)}{3 \cdot (ICP_2)^2} \quad \underline{A2} := 1 + 1.5 \cdot \frac{RN}{RF} \quad \underline{A3} := 1.5 \cdot \frac{RN}{RF}$$

$$\underline{KNER} := A1 \cdot A2 - A3 \quad KNER = 1.012$$

Потери энергии 2-го фидера в процентах

$$\underline{DWAP} := KCA \cdot DUAP \cdot KNER \cdot TAU \quad DWAP = 4.112$$

$$\underline{DWBP} := KCB \cdot DUBP \cdot KNER \cdot TAU \quad DWBP = 4.331$$

$$\underline{DWCP} := KCC \cdot DUCP \cdot KNER \cdot TAU \quad DWCP = 4.902$$

$$\underline{DWSP} := \frac{DWAP + DWBP + DWCP}{3} \quad DWSP = 4.448$$

$$DW_2 := DWSP \quad DW_2 = 4.448$$

### ФИДЕР 3

Число часов максимальной нагрузки, тангнс угла нагрузки, индуктивное сопротивление 3-го фидера

$$\underline{TM} := 3500 \quad \underline{TGF} := 0.7 \quad \underline{XF} := 0.4$$

Токи по фазам 3 го фидера

$$\underline{IA} := IA3 \quad \underline{IB} := IB3 \quad \underline{IC} := IC3$$

Число распределенных нагрузок вдоль длины фаз 3-го фидера

$$\underline{Na} := 5 \quad \underline{Nb} := 10 \quad \underline{Nc} := 5$$

Длины 4-х участков фаз и нейтрали 3-го фидера

$$\underline{LA1} := 0.7 \quad \underline{LA2} := 0.8 \quad \underline{LA3} := 0.7 \quad \underline{LA4} := 0.5$$

$$\underline{LB1} := 0.9 \quad \underline{LB2} := 0.8 \quad \underline{LB3} := 0.5 \quad \underline{LB4} := 0.8$$

$$\underline{LC1} := 0.8 \quad \underline{LC2} := 0.8 \quad \underline{LC3} := 0.7 \quad \underline{LC4} := 0.7$$

$$\underline{LN1} := 0.9 \quad \underline{LN2} := 0.7 \quad \underline{LN3} := 0.8 \quad \underline{LN4} := 0.7$$



Удельные активные сопротивления 4-х участков фаз и нейтрали 3-го фидера

$$\begin{aligned} \underline{RA1} &:= 0.306 & \underline{RA2} &:= 0.306 & \underline{RA3} &:= 0.603 & \underline{RA4} &:= 0.429 \\ \underline{RB1} &:= 0.306 & \underline{RB2} &:= 0.429 & \underline{RB3} &:= 0.603 & \underline{RB4} &:= 0.603 \\ \underline{RC1} &:= 0.306 & \underline{RC2} &:= 0.429 & \underline{RC3} &:= 0.429 & \underline{RC4} &:= 0.603 \\ \underline{RN1} &:= 0.306 & \underline{RN2} &:= 0.306 & \underline{RN3} &:= 0.306 & \underline{RN4} &:= 0.429 \end{aligned}$$

Суммарные длины фаз и нейтрали 3-го фидера

$$\begin{aligned} \underline{LA} &:= LA1 + LA2 + LA3 + LA4 \\ \underline{LB} &:= LB1 + LB2 + LB3 + LB4 \\ \underline{LC} &:= LC1 + LC2 + LC3 + LC4 \\ \underline{LN} &:= LN1 + LN2 + LN3 + LN4 \end{aligned}$$

Суммарные активные сопротивления фаз и нейтрали 3-го фидера

$$\begin{aligned} \underline{RA} &:= RA1 \cdot LA1 + RA2 \cdot LA2 + RA3 \cdot LA3 + RA4 \cdot LA4 \\ \underline{RB} &:= RB1 \cdot LB1 + RB2 \cdot LB2 + RB3 \cdot LB3 + RB4 \cdot LB4 \\ \underline{RC} &:= RC1 \cdot LC1 + RC2 \cdot LC2 + RC3 \cdot LC3 + RC4 \cdot LC4 \\ \underline{RN} &:= RN1 \cdot LN1 + RN2 \cdot LN2 + RN3 \cdot LN3 + RN4 \cdot LN4 \end{aligned}$$

Среднее сопротивление 3-го фидера

$$\underline{RF} := \frac{(RA + RB + RC)}{3} \quad RF = 1.27$$

Суммарные индуктивные сопротивления фаз 3-го фидера

$$\underline{XA} := XF \cdot LA \quad \underline{XB} := XF \cdot LB \quad \underline{XC} := XF \cdot LC$$

Угол нагрузки 2-го фидера

$$\underline{F} := \text{atan}(TGF)$$

Коэффициенты распределенных нагрузок по фазам 3-го фидера

$$\begin{aligned} \underline{Koa} &:= \frac{Na + 1}{2 \cdot Na} & \underline{Kob} &:= \frac{Nb + 1}{2 \cdot Nb} & \underline{Koc} &:= \frac{Nc + 1}{2 \cdot Nc} \\ Koa &= 0.6 & Kob &= 0.55 & Koc &= 0.6 \end{aligned}$$

Падения напряжений по фазам 3-го фидера

$$\underline{DUA} := IA \cdot (RA \cdot \cos(F) + XA \cdot \sin(F)) \cdot Koa \quad DUA = 25.484$$

$$\underline{DUB} := IB \cdot (RB \cdot \cos(F) + XB \cdot \sin(F)) \cdot Kob \quad DUB = 25.261$$

$$\underline{DUC} := IC \cdot (RC \cdot \cos(F) + XC \cdot \sin(F)) \cdot Koc \quad DUC = 22.197$$

$$\underline{DUU} := \frac{DUA + DUB + DUC}{3} \quad DUU = 24.314$$

Падения напряжений по фазам 3-го фидера в процентах

$$\underline{DUAP} := DUA \cdot \frac{100}{220} \quad DUAP = 11.584$$

$$\underline{DUBP} := DUB \cdot \frac{100}{220} \quad DUBP = 11.482$$

$$\underline{DUCP} := DUC \cdot \frac{100}{220} \quad DUCP = 10.09$$

$$\underline{DUUP} := DUU \cdot \frac{100}{220} \quad DUUP = 11.052$$

Коэффициент заполнения графика нагрузки 3-го фидера

$$\underline{KZ} := \frac{TM}{8760} \quad KZ = 0.4$$

Относительное время наибольших потерь 3-го фидера

$$\underline{TAU} := \frac{(0.124 + 0.876 \cdot KZ)^2}{KZ} \quad TAU = 0.562$$

Отношение индуктивного и активного сопротивлений фаз 3-го фидера

$$\underline{xra} := \frac{XA}{RA} \quad \underline{xrb} := \frac{XB}{RB} \quad \underline{xrc} := \frac{XC}{RC}$$

$$xra = 0.986 \quad xrb = 0.856 \quad xrc = 0.916$$

Коэффициент связи между потерями напряжения и потерями мощности 3-го фидера

$$\underline{\underline{KCA}} := \frac{1 + TGF^2}{1 + xra \cdot TGF} \quad \underline{\underline{KCB}} := \frac{1 + TGF^2}{1 + xrb \cdot TGF} \quad \underline{\underline{KCC}} := \frac{1 + TGF^2}{1 + xrc \cdot TGF}$$

$$KCA = 0.882$$

$$KCB = 0.932$$

$$KCC = 0.908$$

Средний ток 3го фидера

$$ICP_3 := \frac{(IA + IB + IC)}{3}$$

$$ICP_3 = 24.667$$

Коэффициент неравномерности токов 2-го фидера

$$\underline{\underline{A1}} := \frac{(IA^2 + IB^2 + IC^2)}{3 \cdot (ICP_3)^2} \quad \underline{\underline{A2}} := 1 + 1.5 \cdot \frac{RN}{RF} \quad \underline{\underline{A3}} := 1.5 \cdot \frac{RN}{RF}$$

$$\underline{\underline{KNER}} := A1 \cdot A2 - A3$$

$$KNER = 1.03$$

Потери энергии 3-го фидера в процентах

$$\underline{\underline{DWAP}} := KCA \cdot DUAP \cdot KNER \cdot TAU$$

$$DWAP = 5.915$$

$$\underline{\underline{DWBP}} := KCB \cdot DUBP \cdot KNER \cdot TAU$$

$$DWBP = 6.198$$

$$\underline{\underline{DWCP}} := KCC \cdot DUCP \cdot KNER \cdot TAU$$

$$DWCP = 5.306$$

$$\underline{\underline{DWSP}} := \frac{DWAP + DWBP + DWCP}{3}$$

$$DWSP = 5.806$$

$$DW_3 := DWSP$$

$$DW_3 = 5.806$$

## ВЫБОРКА

Суммарный ток всех 3 фидеров

$$ICP_1 = 26$$

$$ICP_2 = 25$$

$$ICP_3 = 24.667$$

$$IS := \sum_{i=1}^{Nf} ICP_i$$

Суммарные потери по всем 3 фидерам

$$DW_1 = 6.255$$

$$DW_2 = 4.448$$

$$DW_3 = 5.806$$

$$DWS := \sum_{i=1}^{Nf} \frac{(DW_i \cdot ICP_i)}{IS} \quad DWS = 5.512$$

Математическое ожидание потерь

$$MO := \frac{1}{Nf} \cdot \sum_{i=1}^3 DW_i \quad MO = 5.503$$

Среднеквадратичное отклонение потерь

$$SO := \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{Nf} (DW_i - MO)^2}{(Nf - 1)}} \quad SO = 0.941$$

Коэффициент вариации потерь

$$KV := \frac{SO}{MO} \quad KV = 0.171$$

Погрешность выборки

$$DV := 2 \cdot \frac{KV}{\sqrt{Nf}} \cdot 100 \quad DV = 19.736$$