$$R_{тв} = \frac{170 * 10^3 * (115 * 10^3)^2}{2(40 * 10^6)^2} = 0{,}703 \text{ Ом}$$

$$R_{тн1} = R_{тн2} = 2 * 0{,}703 = 1{,}406 \text{ Ом}$$

$$X_{тв} = \frac{10{,}5 * (115 * 10^3)^2}{100 * (40 * 10^6)}\left(1 - \frac{3{,}62}{4}\right) = 3{,}3 \text{ Ом}$$

$$X_{тн1} = X_{тн2} = \frac{10{,}5 * (115 * 10^3)^2}{100 * (40 * 10^6)} * \frac{3{,}62}{2} = 62{,}8 \text{ Ом}$$

$$U'_{н10} = \frac{113{,}44}{2} + \sqrt{\frac{113{,}44^2}{4} - \left[\left(17{,}03 * 0{,}703 + \frac{17{,}03}{2} * 1.406\right) + \left(5{,}297 * 3{,}3 + \frac{5{,}297}{2} * 62{,}8\right)\right]} =$$

,58 кВ

$$U'_{н14} = \frac{111{,}28}{2} + \sqrt{\frac{111{,}28^2}{4} - \left[\left(16{,}029 * 0{,}703 + \frac{16{,}029}{2} * 1{,}406\right) + \left(5{,}51 * 3{,}3 + \frac{5{,}51}{2} * 62{,}8\right)\right]} =$$

32 кВ

Ответвление регулируемой части обмотки, обеспечивающее желаемое ряжение на шинах низшего напряжения определяем по формуле:

$$n_{отв}^{жел} = \left(\frac{U'_н U_{нн}}{U_{Нжел} U_{вн}} - 1\right) * \frac{100}{\Delta U_{отв}}$$

Действительное напряжение на шинах низшего напряжения подстанций елим по формуле:

$$U_н = \frac{U'_н U_{НН}}{U_{ВН}\left(1 + n_{отв}\frac{\Delta U_{отв}}{100}\right)}$$

Отклонение напряжения на этих шинах от номинального напряжения = 10 кВ), %

$$\delta U = \frac{U_н - U_{ном}}{U_{ном}} * 100$$

Для ПС № 10:

$$n_{отв10}^{жел} = \left(\frac{111,58 * 10,5}{10,5 * 115} - 1\right) * \frac{100}{1,78} = -1,69 = -2$$

$$U_{н10} = \frac{111,58 * 10,5}{115\left(1 - 2\frac{1,78}{100}\right)} = 10,6 \text{ кВ}$$

$$\delta U_{10} = \frac{10,6-10}{10} * 100 = 6\%$$

Для ПС № 12:

$$n_{отв12}^{жел} = \left(\frac{111,5 * 10,5}{10,5 * 115} - 1\right) * \frac{100}{1,78} = -1,69 = -2$$

$$U_{н12} = \frac{111,5 * 10,5}{115\left(1 - 2\frac{1,78}{100}\right)} = 10,57 \text{ кВ}$$

$$\delta U_{12} = \frac{10,57-10}{10} * 100 = 5,7\%$$

Для ПС № 13:

$$n_{отв13}^{жел} = \left(\frac{108,74 * 10,5}{10,5 * 115} - 1\right) * \frac{100}{1,78} = -3,03 = -3$$

$$U_{н13} = \frac{108,74 * 10,5}{115\left(1 - 3\frac{1,78}{100}\right)} = 10,49 \text{ кВ}$$

$$\delta U_{13} = \frac{10,49-10}{10} * 100 = 4,9\%$$

Для ПС № 14:

$$n_{отв14}^{жел} = \left(\frac{109,32 * 10,5}{10,5 * 115} - 1\right) * \frac{100}{1,78} = -2,8 = -3$$

$$U_{н14} = \frac{109,32 * 10,5}{115\left(1 - 3\frac{1,78}{100}\right)} = 10,54 \text{ кВ}$$

$$\delta U_{14} = \frac{10,54-10}{10} * 100 = 5,4\%$$

№ ПС	$U'_н$, кВ	$n_{отв}$	$U_н$,кВ	δU, %
10	111,58	−2	10,6	6

	111,5	−2	10,57	5,7
12	108,74	−3	10,49	4,9
13	109,32	−3	10,54	5,4
14				

Выбранные рабочие ответвления понижающих трансформаторов обеспечивают поддержание требуемых отклонений напряжения на шинах 10 кВ подстанций во всех рассмотренных режимах работы.

9.3. Послеаварийный режим

Рассмотрю обрыв одной цепи двухцепной линии А-12. Определю расчетную мощность рабочей линии А-12:

$$S_{\text{расч.12}}^{\text{авар}} = S_{\text{н,12}} + \Delta S_{\text{Т,12}} - jQ_{\text{с,}A-12}^{\text{к}};$$

$$S_{\text{расч.12}}^{\text{авар}} = S_{A-12}^{\text{к}} = 23{,}033 + j6{,}314 + 0{,}095 + j1{,}298 - 1{,}255 = 23{,}128 + j6{,}387$$

МВА

Потери мощности в первой цепи (1 ц.) линии А-12:

$$\Delta S_{z,A-12} = \frac{{P_{A-12}^{\text{к}}}^2 + {Q_{\text{A}-12}^{\text{к}}}^2}{U_{\text{авар}}^2} * z_{\text{A}-12} = \frac{23{,}128^2 + 6.387^2}{105^2} * (9{,}516 + j16{,}653)$$

$$= 0{,}48 + j0{,}83 \text{ МВА}$$

Определю потоки мощности в начале первой цепи (1 ц.) линии А-12:

$$S_{A-12}^{\text{н}} = S_{A-12}^{\text{к}} + \Delta S_{z,A-12} - jQ_{\text{с,}A-12}^{\text{н}} = 23{,}128 + j6{,}387 + 0{,}48 + j0{,}83 - j1{,}255$$

$$= 23{,}608 + j5{,}962 \text{ МВА}$$

Потери мощности в линии А - 10:

$$\Delta S_{z,A-10} = \frac{(P_{A-10}^{\text{к}})^2 + (Q_{A-10}^{\text{к}})^2}{U_{\text{ном}}^2} Z_{\text{A}-10} = 0{,}33 + j0{,}58 \text{ МВА}$$

Мощность в начале линии А - 10:

$$S_{A-10}^{\text{н}} = S_{A-10}^{\text{к}} + \Delta S_{z,A-10} - 0{,}5Q_{A-10} = 17{,}397 + j3{,}427 \text{ МВА}$$

Для линии 13'-14:

$$S^{к}_{13'-14} = S_{P14} = 16{,}063 + j5{,}393 \text{ МВА}$$

$$\Delta S_{z,13'-14} = \frac{(P^{к}_{13'-14})^2 + (Q^{к}_{13'-14})^2}{U^2_{ном}} Z_{13'-14} = 0{,}0684 + j0{,}12 \text{ МВА}$$

$$S^{н}_{13'-14} = S^{к}_{13'-14} + \Delta S_{z,13'-14} = 16{,}13 + j5{,}136 \text{МВА}$$

Для линии 13-13':

$$S^{к}_{13-13'} = 12{,}055 + j3{,}65 \text{ МВА}$$

$$\Delta S_{z,13-13'} = \frac{(P^{к}_{13-13'})^2 + (Q^{к}_{13-13'})^2}{U^2_{ном}} Z_{13-13'} = 0{,}066 + j0{,}115 \text{ МВА}$$

$$S^{н}_{13-13'} = S^{к}_{13-13'} + \Delta S_{z,13-13'} = 12{,}121 + j3{,}095 \text{ МВА}$$

Для линии А-13':

$$S^{к}_{A-13'} = S^{н}_{A-13'} + S^{н}_{13'-13} = 28{,}251 + j8{,}231 \text{ МВА}$$

$$\Delta S_{z,A-13'} = \frac{(P^{к}_{A-13'})^2 + (Q^{к}_{A-13'})^2}{U^2_{ном}} Z_{A-13'} = 0{,}38 + j0{,}78 \text{ МВА}$$

$$S^{н}_{A-13'} = S^{к}_{A-13'} + \Delta S_{z,A-13'} - \frac{1}{2} j Q^{н}_{c,A-13'} = 28{,}631 + j7{,}261 \text{МВА}$$

9.3.1. Определение значения напряжения в узловых точках в послеаварийном режиме

Для ПС № 13:

$$U_{13'} = 105 - \frac{28{,}631 * 0{,}204 * 53{,}3 + 7{,}261 * 0{,}42 * 53{,}3}{105} = 100{,}5 \text{ кВ}$$

$$U_{13} = 100{,}5 - \frac{61{,}5 + 27{,}49}{100{,}5} = 104{,}12 \text{ кВ}$$

Для ПС № 14:

$$U_{14} = 100{,}5 - \frac{46{,}04 + 25{,}66}{100{,}5} = 104{,}3 \text{ кВ}$$

Для ПС № 10:

$$U_{10} = 105 - \frac{17{,}397 * 0{,}244 * 52 + 3{,}427 * 0{,}427 * 52}{105} = 102{,}173 \text{ кВ}$$

Для ПС № 12:

$$U_{12} = 105 - \frac{23{,}033 * 0{,}244 * 39 + 6{,}344 * 0{,}427 * 39}{105} = 101{,}9 \text{ кВ}$$

4.3.2. Регулирование напряжения в электрической сети в послеаварийном режиме

Для ПС №1:

Определю значение напряжения в электрической сети в послеаварийном режиме:

$$U_{н.10} = \frac{U_{н.10}}{2} + \sqrt{\frac{U_{н.10}^2}{4} - \left[\left(P_{н.10}R_{ТВ} + \frac{P_{н.10}}{2} * R_{ТН}\right) + \left(Q_{н.10}X_{ТВ} + \frac{Q_{н.10}}{2} * X_{ТН}\right)\right]} =$$

$$\frac{102{,}173}{2} + \sqrt{\frac{102{,}173^2}{4} - \left[\left(17{,}03 * 0{,}586 + \frac{17{,}03}{2} * 1{,}172\right) + \left(5{,}297 * 2{,}75 + \frac{5{,}297}{2} * 52{,}38\right)\right]} =$$

$$100{,}49 \text{ кВ}$$

Ответвление регулируемой части обмотки РПН:

$$n_{отв.10}^{жел} = \left(\frac{100{,}49 * 10{,}5}{10{,}5 * 115} - 1\right) * \frac{100}{1{,}78} = -7{,}08 = -7$$

Действительное напряжение на шинах низшего напряжения подстанций:

$$U_{н10} = \frac{100{,}49 * 10{,}5}{115\left(1 - 7\frac{1{,}78}{100}\right)} = 10{,}48 \text{ кВ}$$

Отклонение напряжения на этих шинах ПП от номинального напряжения:

$$\delta U_{10} = \frac{10{,}48 - 10}{10} * 100 = 4{,}8\%$$

Для ПС №12:

$$U'_{н,12} = \frac{U_{в,12}}{2} + \sqrt{\frac{U_{в,12}^2}{4} - \left[\left(P_{н,12}R_{тв} + \frac{P_{н,12}}{2} * R_{тн}\right) + \left(Q_{н,12}X_{тв} + \frac{Q_{н,12}}{2} * X_{тн}\right)\right]} = \frac{101,9}{2} + \sqrt{\frac{101,9^2}{4} - \left[\left(22,536 * 0,361 + \frac{22,536}{2} * 0,722\right) + \left(7,688 * 1,74 + \frac{7,688}{2} * 33,26\right)\right]} =$$

$$= 100,33 \text{ кВ}$$

Ответвление регулируемой части обмотки РПН:

$$n_{отв12}^{жел} = \left(\frac{100,33 * 10,5}{10,5 * 115} - 1\right) * \frac{100}{1,78} = -7,17 = -7$$

Действительное напряжение на шинах низшего напряжения подстанций:

$$U_{н12} = \frac{100,33 * 10,5}{115\left(1 - 7\frac{1,78}{100}\right)} = 10,46 \text{ кВ}$$

Отклонение напряжения на этих шинах НН от номинального напряжения:

$$\delta U_{12} = \frac{10,46 - 10}{10} * 100 = 4,6\%$$

Для ПС №13:

$$U'_{н,13} = \frac{U_{в,13}}{2} + \sqrt{\frac{U_{в,13}^2}{4} - \left[\left(P_{н,13}R_{тв} + \frac{P_{н,13}}{2} * R_{тн}\right) + \left(Q_{н,13}X_{тв} + \frac{Q_{н,13}}{2} * X_{тн}\right)\right]} = \frac{104,12}{2} + \sqrt{\frac{104,12^2}{4} - \left[\left(11,805 * 1,06 + \frac{11,805}{2} * 2,12\right) + \left(4,15 * 4,4 + \frac{4,15}{2} * 83,8\right)\right]} = 101,96 \text{ кВ}$$

Ответвление регулируемой части обмотки РПН:

$$n_{отв13}^{жел} = \left(\frac{101,96 * 10,5}{10,5 * 115} - 1\right) * \frac{100}{1,78} = -6,37 = -6$$

Действительное напряжение на шинах низшего напряжения подстанций:

$$U_{н13} = \frac{101,96 * 10,5}{115\left(1 - 6\frac{1,78}{100}\right)} = 10,46 \text{ кВ}$$

Отклонение напряжения на этих шинах НН от номинального напряжения:

$$\delta U_{13} = \frac{10{,}46-10}{10} * 100 = 4{,}6\%$$

Для ПС №14:

$$U'_{\text{Н},14} = \frac{U_{\text{В},14}}{2} + \sqrt{\frac{U_{\text{В},14}^{\ 2}}{4} - \left[\left(P_{\text{Н},14}R_{\text{ТВ}} + \frac{P_{\text{Н},14}}{2} * R_{\text{ТН}}\right) + \left(Q_{\text{Н},14}X_{\text{ТВ}} + \frac{Q_{\text{Н},14}}{2} * X_{\text{ТН}}\right)\right]} = \frac{104{,}3}{2} + \sqrt{\frac{104{,}3^2}{4} - \left[\left(16{,}029 * 0{,}586 + \frac{16{,}029}{2} * 1{,}172\right) + \left(5{,}51 * 2{,}75 + \frac{5{,}51}{2} * 52{,}38\right)\right]} =$$

102,55 кВ

Ответвление регулируемой части обмотки РПН:

$$n_{\text{отв}14}^{\text{жел}} = \left(\frac{102{,}55 * 10{,}5}{10{,}5 * 115} - 1\right) * \frac{100}{1{,}78} = -6{,}08 = -6$$

Действительное напряжение на шинах низшего напряжения подстанций:

$$U_{\text{н}14} = \frac{103{,}75 * 10{,}5}{115\left(1 - 6\frac{1{,}78}{100}\right)} = 10{,}48 \text{ кВ}$$

Отклонение напряжения на этих шинах НН от номинального напряжения:

$$\delta U_{14} = \frac{10{,}48-10}{10} * 100 = 4{,}8\%$$

№ ПС	$U'_{\text{н}}$, кВ	$n_{\text{отв}}$	$U_{\text{н}}$, кВ	δU, %
10	100,49	−7	10,48	4,8
12	100,33	−7	10,46	4,6
13	101,96	−6	10,42	4,2
14	102,55	−6	10,48	4,8

Выбранные рабочие ответвления понижающих трансформаторов обеспечивают поддержание требуемых отклонений напряжения на шинах 10,5 кВ подстанций во всех рассмотренных режимах работы.