

УДК 621.311.1

Гайворонский С. В., Коблюк Я. Н., студенты

Научный руководитель: Барбашов И. В., к.т.н., профессор кафедры передачи электрической энергии

Национальный технический университет «Харковский политехнический институт», г. Харьков, Украина

УТОЧНЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗОК УЗЛОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ С ТРЕХОБМОТОЧНЫМИ ТРАНСФОРМАТОРАМИ

При определении приведенных нагрузок узлов с трехобмоточными трансформаторами учет всего диапазона изменений коэффициентов трансформации трансформаторов, снабженных устройствами РПН и ПБВ, является обязательным условием, без которого задача нахождения уточненных приведенных нагрузок узлов с трехобмоточными трансформаторами не может быть решена.

Связано это с представлением в расчетах трехобмоточных трансформаторов лучевыми схемами замещения. Нагрузки в этих схемах задаются на низшем и среднем напряжениях (и зависят от этих напряжений) $P_H(U)$, $Q_H(U)$, $P_c(U)$ и $Q_c(U)$. Напряжения также задаются на низшей и средней сторонах трехобмоточных трансформаторов (согласно условиям встречного регулирования или стабилизации напряжения) и приводятся к нулевой точке полной схемы замещения.

Уточненное определение приведенных нагрузок узлов электрической сети с трехобмоточными трансформаторами выполняется в следующей последовательности (рис. 1):

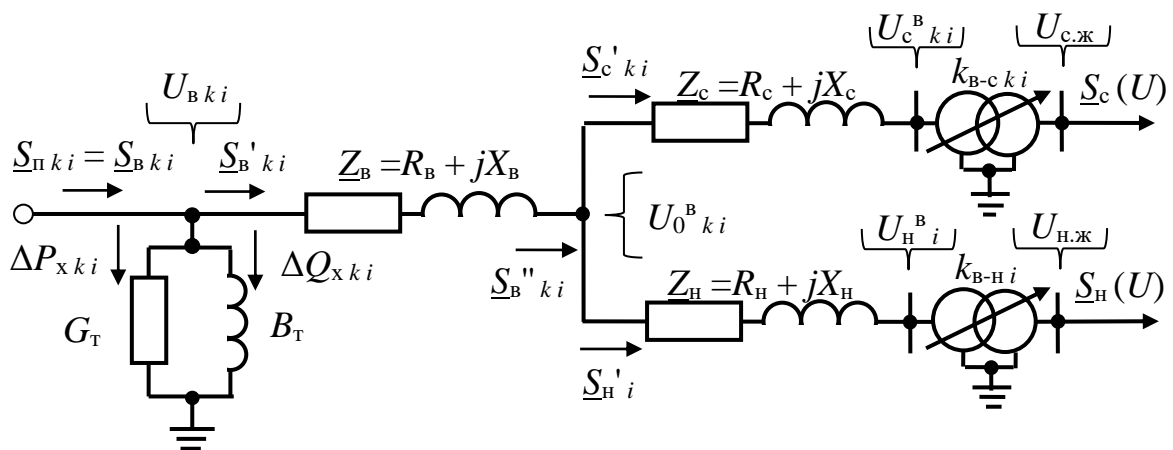


Рисунок 1 – Схема замещения трехобмоточных трансформаторов

- рассчитывается напряжение на средней стороне трансформаторов, по условию стабилизации напряжения, $U_c = (1-1,05) U_{\text{ном.сети СН}}$;
- определяется мощность на средней стороне трансформаторов

$$\underline{S}_c = P_c + jQ_c = S_c \cos \varphi_c + jS_c \sin \varphi_c;$$

– находится относительное напряжение на средней стороне трансформаторов $U_c^* = U_c / U_{\text{ном.сети СН}}$;

– по типовыми обобщенными статическими характеристиками нагрузки по напряжению [1] рассчитываются фактические значения мощности нагрузки на средней стороне трансформаторов

$$P_c(U) = [a_P + b_P U_c^* + c_P (U_c^*)^2] P_c; Q_c(U) = [a_Q + b_Q U_c^* + c_Q (U_c^*)^2] Q_c,$$

где $a_P, b_P, \dots, c_Q, \dots$ – параметры аппроксимирующих функций; в связи с отсутствием в литературе коэффициентов a_Q, b_Q и c_Q для статических характеристик нагрузки потребителей по напряжению для напряжения 35 кВ их значения приняты как средние между их значениями для напряжений 10 и 110 кВ;

– принимаются последовательно на средней стороне трансформаторов значения ответвлений устройств ПБВ $n_{\text{от.с}k}$ и рассчитываются $U_{\text{н.с}k} = U_{\text{н.с}} \pm n_{\text{от.с}k} \delta_c$;

– принимаются последовательно на высшей стороне трансформаторов значения ответвлений устройств РПН $n_{\text{от.в}i}$ и находятся $U_{\text{н.в}i} = U_{\text{н.в}} \pm n_{\text{от.в}i} \delta_v$;

– определяются коэффициенты трансформации трансформаторов при каждом значении $n_{\text{от.в}i}$ и $n_{\text{от.с}k}$ $k_{\text{в-с}ki} = U_{\text{н.в}i} / U_{\text{н.с}k}$;

– рассчитываются напряжения на средней стороне трансформаторов, приведенные к высшей стороне, $U_{\text{с}^B ki} = U_{\text{с.ж}} k_{\text{в-с}ki}$;

– находятся продольные и поперечные составляющие падения напряжения в обмотках среднего напряжения трансформаторов

$$\Delta U_{\text{с}ki} = [P_c(U) R_c + Q_c(U) X_c] / U_{\text{с}^B ki}; \delta U_{\text{с}ki} = [P_c(U) X_c - Q_c(U) R_c] / U_{\text{с}^B ki};$$

– определяются напряжения в нулевой точке полной схемы замещения трехобмоточных трансформаторов

$$\underline{U}_{0(c)ki} = (U_{\text{с}^B ki} + \Delta U_{\text{с}ki}) - j\delta U_{\text{с}ki}; \\ U_{0(c)ki} = \sqrt{[(U_{\text{с}^B ki} + \Delta U_{\text{с}ki})^2 + (\delta U_{\text{с}ki})^2]};$$

– в соответствии с требованиями встречного регулирования на низшей стороне трансформаторов напряжения $U_{\text{н}}$ принимаются равными

- в режиме наибольшей нагрузки $U_{\text{н}} = 1,05 U_{\text{ном.сети НН}}$;
 - в режиме наименьшей нагрузки и послеаварийных режимах $U_{\text{н}} = U_{\text{ном.сети НН}}$;
- определяется мощность на низшей стороне трансформаторов

$$\underline{S}_{\text{н}} = P_{\text{н}} + jQ_{\text{н}} = S_{\text{н}} \cos \varphi_{\text{н}} + jS_{\text{н}} \sin \varphi_{\text{н}};$$

– рассчитывается относительное напряжение на низшей стороне трансформаторов $U_{\text{н}}^* = U_{\text{н}} / U_{\text{ном.сети НН}}$;

– по типовыми обобщенными статическими характеристиками нагрузки по напряжению [1] находятся фактические значения мощности нагрузки на низшей стороне трансформаторов

$$P_H(U) = [a_P + b_P U_H^* + c_P (U_H^*)^2] P_H; Q_H(U) = [a_Q + b_Q U_H^* + c_Q (U_H^*)^2] Q_H,$$

где $a_P, b_P, \dots, c_Q, \dots$ – параметры аппроксимирующих функций;

– определяются коэффициенты трансформации трансформаторов с учетом всего диапазона ступеней устройств РПН $k_{B-H} = U_{H,B} / U_{H,H}$;

– находятся действительные напряжения на низшей стороне трансформаторов, приведенные к высшей стороне, с учетом всего диапазона ступеней устройств РПН $U_{H,B} = U_{H,H} k_{B-H}$;

– рассчитываются продольные и поперечные составляющие падения напряжения в обмотках низшего напряжения трансформаторов

$$\Delta U_{H,i} = [P_H(U) R_H + Q_H(U) X_H] / U_{H,B}; \delta U_{H,i} = [P_H(U) X_H - Q_H(U) R_H] / U_{H,B};$$

– находятся напряжения в нулевой точке полной схемы замещения трехобмоточных трансформаторов

$$U_{0(B)} = (U_{H,B} + \Delta U_{H,i}) - j\delta U_{H,i}; U_{0(H)} = \sqrt{[(U_{H,B} + \Delta U_{H,i})^2 + (\delta U_{H,i})^2]}.$$

Определяются расхождения напряжений $U_{0(H)}$ и $U_{0(C)}$ в нулевой точке полной схемы замещения трехобмоточных трансформаторов

$$\zeta \% = [U_{0(B)} - U_{0(C)}] / U_{0(H)} 100.$$

Напряжения $U_{0(H)}$ и $U_{0(C)}$ в нулевой точке полной схемы замещения трехобмоточных трансформаторов, имеющие значительные расхождения из дальнейшего расчета исключаются.

Расчет ведется для практически совпадающих значений $U_{0(B)}$ и $U_{0(C)}$ (при $\zeta \% < 1$ %) и прежде всего находятся средние значения величин $U_{0(B)}$ и $U_{0(C)}$ $U_{0(B)} = U_{0(C)} = [U_{0(B)} + U_{0(C)}] / 2$.

Используя значения напряжений на средней и низшей сторонах трансформаторов, приведенные к высшей стороне $U_{C,B}$ и $U_{H,B}$, определяются:

– потери мощности в обмотках среднего и низшего напряжений трехобмоточных трансформаторов $\Delta S_{C,k} = \{[(P_C(U)^2 + Q_C(U)^2) / (U_{C,B})^2]\} (R_C + jX_C)$;

$$\Delta S_{H,i} = \{[(P_H(U)^2 + Q_H(U)^2) / (U_{H,B})^2]\} (R_H + jX_H);$$

– мощности на средней и низшей сторонах трехобмоточных трансформаторов с учетом потерь в обмотках среднего и низшего напряжения

$$S_{C,k}' = P_C(U) + jQ_C(U) + \Delta S_{C,k}; S_{H,i}' = P_H(U) + jQ_H(U) + \Delta S_{H,i};$$

– мощности в конце обмотки высшего напряжения трехобмоточных трансформаторов $S_{B,k}'' = P_{B,k}'' + jQ_{B,k}'' = S_{H,i}' + S_{C,k}'$;

– продольную и поперечную составляющие падения напряжения в обмотках высшего напряжения трансформаторов

$$\Delta U_{Bki} = [P_{Bki}'' R_B + Q_{Bki}'' X_B] / U_{0cpki}^B; \quad \delta U_{Bki} = [P_{Bki}'' X_B - P_{Bki}'' R_B] / U_{0cpki}^B;$$

– напруги на вищій стороні трохобмоточних трансформаторів

$$\underline{U}_{Bki} = (U_{0cpki}^B + \Delta U_{Bki}) - j\delta U_{Bki}; \quad U_{Bki} = \sqrt{[(U_{0cpki}^B + \Delta U_{Bki})^2 + (\delta U_{Bki})^2]};$$

– втрати потужності в обмотках вищого напруги трохобмоточних трансформаторів

$$\Delta S_{Bki} = \Delta P_{Bki} + j\Delta Q_{Bki} = \{[(P_{Bki}'')^2 + (Q_{Bki}'')^2] / (U_{0cpki}^B)^2\} (R_B + jX_B);$$

– потужності на вищій стороні трохобмоточних трансформаторів

$$\underline{S}_{Bki}' = P_{Bki}' + jQ_{Bki}' = \underline{S}_{Bki}'' + \Delta S_{Bki};$$

– втрати потужності в поперечних ветвях схеми замощення трохобмоточних трансформаторів $\Delta \underline{S}_{xki} = G_T (U_{Bki})^2 + jB_T (U_{Bki})^2$;

– приведені навантаження вузла електричної мережі з трохобмоточними трансформаторами з урахуванням втрат в поперечних ветвях схеми замощення

$$\underline{S}_{пки} = P_{пки} + jQ_{пки} = \underline{S}_{Bki} = \underline{S}_{Bki}' + \Delta \underline{S}_{xki}.$$

Список литературы

1. Барбашов И. В., Омеляненко Г. В. Расчет установившихся режимов разомкнутых электрических сетей в примерах и задачах : учеб. пособ. Харьков : НТУ «ХПИ», 2018. 164 с.

УДК 621.396.96

Глуценко А. О., аспірант

Науковий керівник: Обод І. І., д.т.н., професор

Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків, Україна

ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ КООПЕРАТИВНИХ СИСТЕМ СПОСТЕРЕЖЕННЯ

Необхідною умовою успішного виконання завдань, що стоять перед повітряними силами Збройних сил й Управлінням повітряним рухом України є наявність надійного інформаційного забезпечення. Для зазначених відомств інформаційне забезпечення полягає в одержанні споживачем координатної інформації спостережуваного повітряного об'єкту, а також додаткової польотної інформації про його стан і параметри руху [1]. Можна стверджувати, що повну картину навколишнього оточення дають спільно первинні [2–3] й вторинні [4–5] радіолокатори. Кооперативні системи спостереження [6–8], до