

УДК 621.311.1

Гайворонський С. В., Коблюк Я. Н., студенти

Науковий руководитель: Барбашов І. В., к.т.н., професор кафедри передачі електрическої енергії

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», г. Харків, Україна

УТОЧНЕННЕ 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):

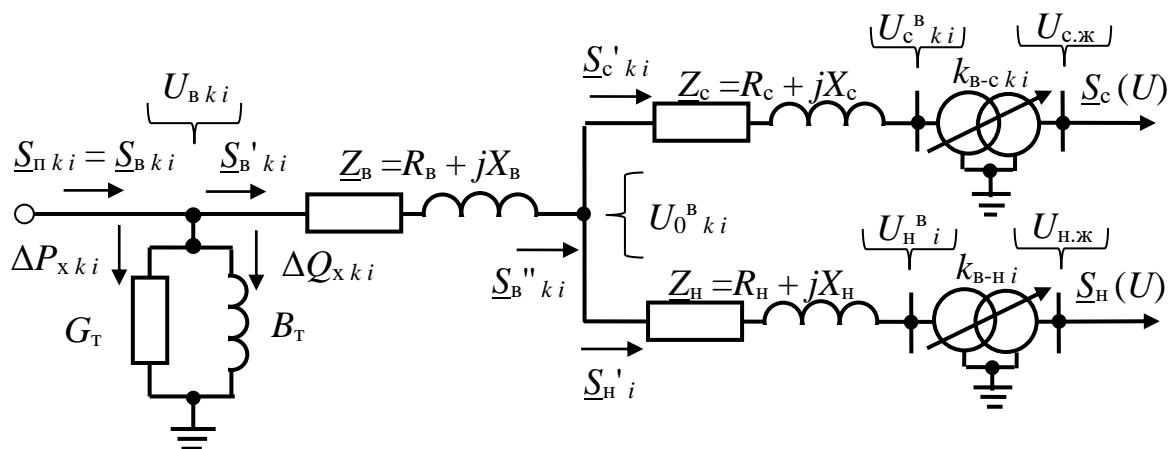


Рисунок 1 – Схема замещения трехобмоточных трансформаторов

- 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 $U_{\text{н.в}i} = U_{\text{н.в}} \pm n_{\text{от.в}i} \delta_b$;
- определяются коэффициенты трансформации трансформаторов при каждом значении $n_{\text{от.в}i}$ и $n_{\text{от.с}k} k_{\text{в-с}k} = U_{\text{н.в}i} / U_{\text{н.с}k}$;
- рассчитываются напряжения на средней стороне трансформаторов, приведенные к высшей стороне, $U_{\text{с.ж}}^k = U_{\text{с.ж}} k_{\text{в-с}k}$;
- находятся продольные и поперечные составляющие падения напряжения в обмотках среднего напряжения трансформаторов

$$\Delta U_{\text{с.к}i} = [P_c(U) R_c + Q_c(U) X_c] / U_{\text{с.ж}}^k; \delta U_{\text{с.к}i} = [P_c(U) X_c - Q_c(U) R_c] / U_{\text{с.ж}}^k;$$

– определяются напряжения в нулевой точке полной схемы замещения трехобмоточных трансформаторов

$$\begin{aligned} \underline{U}_{0(\text{с})k}i &= (U_{\text{с.ж}}^k + \Delta U_{\text{с.к}i}) - j\delta U_{\text{с.к}i}; \\ U_{0(\text{с})k}i &= \sqrt{[(U_{\text{с.ж}}^k + \Delta U_{\text{с.к}i})^2 + (\delta U_{\text{с.к}i})^2]}; \end{aligned}$$

- 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

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

- 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

$$P_{\text{h}}(U) = [a_P + b_P U_{\text{h}}^* + c_P (U_{\text{h}}^*)^2] P_{\text{h}}; \quad Q_{\text{h}}(U) = [a_Q + b_Q U_{\text{h}}^* + c_Q (U_{\text{h}}^*)^2] Q_{\text{h}},$$

где $a_P, b_P, \dots, c_Q, \dots$ – параметри аппроксимуючих функцій;

– определяються коефіцієнти трансформації трансформаторов с учетом всего диапазона ступеней устройств РПН $k_{\text{в-н}i} = U_{\text{н.в}i} / U_{\text{н.н}}$;

– находятся действительные напряжения на низшей стороне трансформаторов, приведенные к высшей стороне, с учетом всего диапазона ступеней устройств РПН $U_{\text{н}^B i} = U_{\text{н.ж}} k_{\text{в-н}i}$;

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

$$\Delta U_{\text{н}i} = [P_{\text{h}}(U) R_{\text{h}} + Q_{\text{h}}(U) X_{\text{h}}] / U_{\text{н}^B i}; \quad \delta U_{\text{н}i} = [P_{\text{h}}(U) X_{\text{h}} - Q_{\text{h}}(U) R_{\text{h}}] / U_{\text{н}^B i};$$

– находятся напряжения в нулевой точке полной схемы замещения трехобмоточных трансформаторов

$$U_{0^B(\text{н})i} = (U_{\text{н}^B i} + \Delta U_{\text{н}k i}) - j \delta U_{\text{н}i}; \quad U_{0(\text{н})i} = \sqrt{[(U_{\text{н}^B i} + \Delta U_{\text{н}i})^2 + (\delta U_{\text{н}i})^2]}.$$

Определяются расхождения напряжений $U_{0(\text{н})}$ и $U_{0(\text{с})}$ в нулевой точке полной схемы замещения трехобмоточных трансформаторов

$$\zeta \% i = [U_{0^B(\text{н})i} - U_{0^B(\text{с})i}] / U_{0(\text{н})i} \cdot 100.$$

Напряжения $U_{0(\text{н})i}$ и $U_{0(\text{с})k i}$ в нулевой точке полной схемы замещения трехобмоточных трансформаторов, имеющие значительные расхождения из дальнейшего расчета исключаются.

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

Используя значения напряжений на средней и низшей сторонах трансформаторов, приведенные к высшей стороне $U_{\text{с}^B k i}$ и $U_{\text{н}^B i}$, определяются:

– потери мощности в обмотках среднего и низшего напряжений трехобмоточных трансформаторов $\Delta \underline{S}_{\text{с}k i} = \{[(P_{\text{с}}(U)^2 + Q_{\text{с}}(U)^2) / (U_{\text{с}^B k i})^2\} (R_{\text{с}} + jX_{\text{с}})$;

$$\Delta \underline{S}_{\text{н}i} = \{[(P_{\text{н}}(U)^2 + Q_{\text{н}}(U)^2) / (U_{\text{н}^B i})^2\} (R_{\text{н}} + jX_{\text{н}});$$

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

$$\underline{S}_{\text{с}'} k i = P_{\text{с}}(U) + jQ_{\text{с}}(U) + \Delta \underline{S}_{\text{с}k i}; \quad \underline{S}_{\text{н}'} i = P_{\text{н}}(U) + jQ_{\text{н}}(U) + \Delta \underline{S}_{\text{н}i};$$

– мощности в конце обмотки высшего напряжения трехобмоточных трансформаторов $\underline{S}_{\text{в}'' k i} = P_{\text{в}'' k i} + jQ_{\text{в}'' k i} = \underline{S}_{\text{н}'} i + \underline{S}_{\text{с}'} k i$;

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

$$\Delta U_{\text{B} k i} = [P_{\text{B}}''_{k i} R_{\text{B}} + Q_{\text{B}}''_{k i} X_{\text{B}}] / U_{0^{\text{B}} \text{ cp } k i}; \quad \delta U_{\text{B} k i} = [P_{\text{B}}''_{k i} X_{\text{B}} - P_{\text{B}}''_{k i} R_{\text{B}}] / U_{0^{\text{B}} \text{ cp } k i};$$

– напряжения на высшей стороне трехобмоточных трансформаторов

$$U_{\text{B} k i} = (U_{0^{\text{B}} \text{ cp } k i} + \Delta U_{\text{B} k i}) - j \delta U_{\text{B} k i}; \quad U_{\text{B} k i} = \sqrt{[(U_{0^{\text{B}} \text{ cp } k i} + \Delta U_{\text{B} k i})^2 + (\delta U_{\text{B} k i})^2]};$$

– потери мощности в обмотках высшего напряжения трехобмоточных трансформаторов

$$\Delta S_{\text{B} k i} = \Delta P_{\text{B} k i} + j \Delta Q_{\text{B} k i} = \{[(P_{\text{B}}''_{k i})^2 + (Q_{\text{B}}''_{k i})^2] / (U_{0^{\text{B}} \text{ cp } k i})^2\} (R_{\text{B}} + j X_{\text{B}});$$

– мощности на высшей стороне трехобмоточных трансформаторов

$$\underline{S}_{\text{B} k i}' = P_{\text{B} k i}' + j Q_{\text{B} k i}' = \underline{S}_{\text{B} k i}'' + \Delta S_{\text{B} k i};$$

– потери мощности в поперечных ветвях схемы замещения трехобмоточных трансформаторов $\Delta \underline{S}_{\text{x} k i} = G_{\text{T}} (U_{\text{B} k i})^2 + j B_{\text{T}} (U_{\text{B} k i})^2$;

– приведенные нагрузки узла электрической сети с трехобмоточными трансформаторами с учетом потерь в поперечных ветвях схемы замещения

$$\underline{S}_{\text{p} k i} = P_{\text{p} k i} + j Q_{\text{p} k i} = \underline{S}_{\text{B} k i} = \underline{S}_{\text{B} k i}' + \Delta \underline{S}_{\text{x} k i}.$$

Список литературы

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

УДК 621.396.96

Глушченко 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 зазначеніх 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 навколошнього оточення дають спільно первинні [2–3] й вторинні [4–5] радіолокатори. Кооперативні системи спостереження [6–8], до