

ПРИВЕДЕННЫЕ И РАСЧЕТНЫЕ НАГРУЗКИ УЗЛОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

Барбашов И.В., Догода А.В., Кныш А.Е., Омеляненко Г.В.

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

При анализе режимов электрических сетей используется понятие *приведенной нагрузки узлов электрической сети*, которое вводится с целью упрощения расчетных схем сетей, их математических моделей и сокращения объемов расчетов [1].

Приведенная нагрузка представляет собой алгебраическую сумму нагрузок, приложенных к шинам низшего и среднего напряжений силовых трансформаторов, и потерь мощности в их продольных сопротивлениях и поперечных проводимостях. Она считается включенной на шинах высшего напряжения узлов с трансформаторами, а сами трансформаторы исключаются из расчетной схемы [2, 3].

Для узлов электрической сети с *двухобмоточными трансформаторами* (рис. 1) приведенная нагрузка определяется по выражению:

$$\underline{S}_п = \underline{S}_н + \Delta\underline{S}_{т(z)} + \Delta\underline{S}_{т(y)},$$

где $\underline{S}_н$ – нагрузка на стороне низшего напряжения трансформаторов; $\Delta\underline{S}_{т(z)}$ – потери мощности в продольных сопротивлениях схемы замещения трансформаторов; $\Delta\underline{S}_{т(y)}$ – потери мощности в поперечных проводимостях схемы замещения трансформаторов.

Для узлов электрической сети с *трехобмоточными трансформаторами и автотрансформаторами* (рис. 2) приведенная нагрузка определяется по выражению:

$$\underline{S}_п = \underline{S}_н + \underline{S}_с + \Delta\underline{S}_{н(z)} + \Delta\underline{S}_{с(z)} + \Delta\underline{S}_{в(z)} + \Delta\underline{S}_{т(y)},$$

где $\underline{S}_н$ и $\underline{S}_с$ – нагрузки на стороне низшего и среднего напряжений трансформаторов; $\Delta\underline{S}_{н(z)}$, $\Delta\underline{S}_{с(z)}$, $\Delta\underline{S}_{в(z)}$ – потери мощности в продольных сопротивлениях схемы замещения трехобмоточных трансформаторов и автотрансформаторов (обмотках низшего, среднего и высшего напряжения); $\Delta\underline{S}_{т(y)}$ – потери мощности в поперечных проводимостях схемы замещения трансформаторов.

Расчетная нагрузка узла определяется по выражению

$$\underline{S}_р = \underline{S}_п + \sum \Delta P_{л(Г) i} / 2 - j \sum \Delta Q_{л(В) i} / 2.$$

Таким образом, представление узлов электрической сети одного номинального напряжения некоторой расчетной нагрузкой $\underline{S}_р$ приводит к тому, что схема замещения такой сети содержит лишь сопротивления продольных ветвей линий.

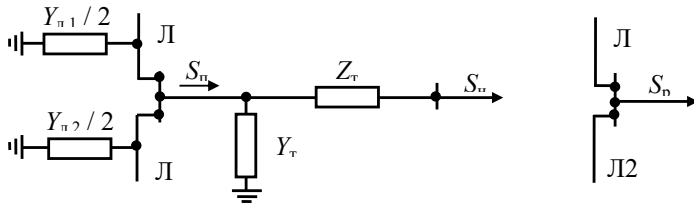


Рисунок 1 – Схема замещения узла электрической сети с двухобмоточными трансформаторами

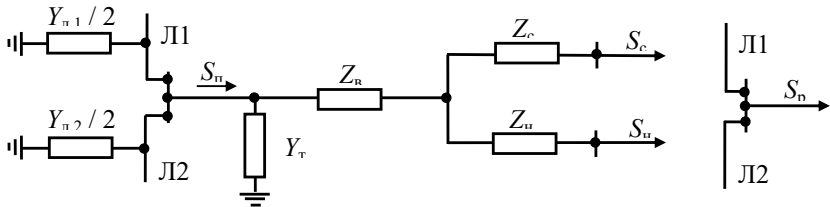


Рисунок 2 – Схема замещения узла электрической сети с трехобмоточными трансформаторами и автотрансформаторами

Использование расчетных нагрузок узлов приводит к определенной погрешности расчетов: расчетные нагрузки вычисляются до того, как выполнен электрический расчет, и фактические напряжения в обмотках низшего, среднего и высшего напряжений не известны. Поэтому потери мощности в продольных сопротивлениях обмоток трансформаторов (ΔS_T либо ΔS_n , ΔS_C и ΔS_B), а также потери активной и реактивной мощности в поперечных элементах трансформаторов (ΔP_X и ΔQ_X) и линий ($\Delta P_{кор}$ и $Q_{зар}$) определяются по некоторым напряжениям (например, номинальному напряжению сети высшего напряжения $U_{ном.сети}$ ВН либо номинальному высшему напряжению трансформаторов $U_{н.в}$), что приводит к определенной погрешности результатов расчета.

При уточненных расчетах электрических сетей [2, 3] необходимо учитывать нелинейные статические характеристики нагрузки $\underline{S}_n(U_n)$, $\underline{S}_c(U_c)$, а также нелинейность потерь мощности в продольных сопротивлениях обмоток (потери в меди) трансформаторов (ΔS_T либо ΔS_n , ΔS_C и ΔS_B), нелинейность поперечных элементов сети – потери активной и реактивной мощности в поперечных элементах (потери в стали) трансформаторов (ΔP_X и ΔQ_X) и линий ($\Delta P_{кор}$ и $Q_{зар}$) т. е. зависимость всех этих параметров от напряжения. Для этого следует воспользоваться статическими характеристиками ветви намагничивания трансформатора $\Delta P_X(U)$ и $\Delta Q_X(U)$.

Приведенная $\underline{S}_n(U)$ нагрузка узла электрической сети также будут иметь вид статических характеристик.

Для узлов электрической сети с двухобмоточными трансформаторами

$$\begin{aligned} \underline{S}_n(U) &= \underline{S}_n(U_n) + [\underline{S}_n(U_n) / U_n^{B_T}]^2 \underline{Z}_T + \underline{Y}_T(U_B) U_B^2 = \\ &= \underline{S}_n(U_n) + [\underline{S}_n(U_n) / U_n^{B_T}]^2 \underline{Z}_T + \Delta \underline{S}_X(U_B). \end{aligned}$$

Для узлов электрической сети с *трехобмоточными трансформаторами и автотрансформаторами*

$$\begin{aligned} \underline{S}_n(U) &= \underline{S}_n(U_n) + \underline{S}_c(U_c) + [\underline{S}_n(U_n) / U_n^{B_1}]^2 Z_n + [\underline{S}_c(U_c) / U_c^{B_1}]^2 Z_c + \\ &\quad + [\underline{S}_B''(U_n, U_c) / U_0^{B_1}]^2 Z_B + Y_T(U_B) \cdot U_B^2 = \\ &= \underline{S}_n(U_n) + \underline{S}_c(U_c) + [\underline{S}_n(U_n) / U_n^{B_1}]^2 Z_n + [\underline{S}_c(U_c) / U_c^{B_1}]^2 Z_c + \\ &\quad + [\underline{S}_B''(U_n, U_c) / U_0^{B_1}]^2 Z_B + \Delta \underline{S}_x(U_B). \end{aligned}$$

В представленных формулах $\Delta \underline{S}_x(U_B)$ – комплекс мощностей ветви намагничивания трансформатора.

Дополнительную сложность при определении приведенных нагрузок узлов с двух-, трехобмоточными трансформаторами и автотрансформаторами создаёт необходимость учета всего диапазона изменений коэффициентов трансформации трансформаторов и автотрансформаторов, снабженных устройствами регулирования под нагрузкой (РПН) и переключения без возбуждения (ПБВ).

Удовлетворительное решение поставленной задачи анализа режимов электрических сетей с учетом реальных нелинейных характеристик их элементов может быть предложено в виде следующих расчетных операций – определение приведенных нагрузок узлов электрической сети для условий всех рассматриваемых установившихся режимов сети с учетом следующих положений:

а) для двух-, трехобмоточных трансформаторов – требований встречного регулирования напряжений на низшей стороне трансформаторов с помощью устройств РПН (напряжение U_n должно поддерживаться равным $1,05 U_{\text{ном.сети НН}}$ в режиме наибольшей нагрузки и $U_{\text{ном.сети НН}}$ в режиме наименьшей нагрузки и послеаварийных режимах для всего диапазона изменений коэффициентов трансформации трансформаторов);

б) для трехобмоточных трансформаторов, в дополнение к положению пункта а, должны выполняться требования стабилизации напряжений на средней стороне трансформаторов с помощью устройств ПБВ (напряжение U_c рационально поддерживать равным $(1-1,05) U_{\text{ном.сети СН}}$ во всех режимах);

в) для автотрансформаторов – требований обеспечения соответствующих значений напряжения на средней стороне автотрансформаторов с помощью устройств РПН (напряжение U_c должно поддерживаться равным $1,1 U_{\text{ном.сети СН}}$ в режиме наибольшей нагрузки и $U_{\text{ном.сети НН}}$ в режиме наименьшей нагрузки и послеаварийных режимах для всего диапазона изменений коэффициентов трансформации автотрансформаторов).

Список использованных источников:

1. Электрические системы. Электрические сети / В. А. Веников, А. А. Глазунов, Л. А. Жуков и др.; под ред. В. А. Веникова, В. А. Строева. – М.: Высш. шк., 1998. – 511 с.
2. Барбашов И.В. Общая характеристика и основы анализа установившихся режимов современных электрических систем и сетей : текст лекций / И.В. Барбашов. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2013. – 240 с.
3. Барбашов И.В. Расчет установившихся режимов разомкнутых электрических сетей в примерах и задачах : учеб. пособ. / И.В. Барбашов, Г.В. Омеляненко. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2018. – 164 с.