

МЕРЫ ПО МИНИМИЗАЦИИ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ И ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Баходир Джураханович Мамаджанов

к.т.н. доцент кафедрой “Электротехника, электромеханика и
электротехнологий” Андижанского машиностроительного института

E-mail: bm02717272@gmail.com,

Шухратбек Манноббоев

старший преподаватель кафедры “Электротехники, электромеханики и
электротехнологий” Андижанского машиностроительного института

E-mail: shuxratbekmannobboyev@gmail.com,

АННОТАЦИЯ

В статье изучено, что 80% всех потерь мощности в электрических сетях происходит по линиям, а остальные 20% теряются в трансформаторах. Потери также делятся на потери активной мощности ΔP и потери реактивной мощности ΔQ . Потери энергии в сетях рассчитывают при проектировании сетей для определения мощности в силовых узлах, выбора сечений проводов (кабелей) и проверки соответствия установленного оборудования параметрам режима сети, электрических токов по сети. линии.

Ключевые слова: Электрическая система, энергосистемы, электроэнергетики, схеме соединений, номинальное напряжение, трансформатор, технико-экономическим расчётом, потери активной мощности.

Потери активной мощности на участке трехфазной линии с активным сопротивлением R составляют:

$$\Delta P = 3J^2 R_n = \frac{S^2 R_n}{U_n^2} = \frac{P^2 + Q^2}{U_n^2} \cdot R_n = \frac{P^2 R_n}{U_n^2} + \frac{Q^2 R_n}{U_n^2}$$

Первое слагаемое правой части уравнения представляют собой потери активной мощности на передачу активной мощности, а второй – те же потери, но на передачу реактивной мощности. Соответственно потери реактивной мощности:

$$\Delta Q = 3J^2 X_n = \frac{S^2 X_n}{U_n^2} = \frac{P^2 X_n}{U_n^2} + \frac{Q^2 X_n}{U_n^2}$$

Правая часть уравнения также содержит не только потери реактивной мощности на передачу реактивной мощности, но и потери на передачу активной мощности.

Потери активной энергии в сети можно определить, умножив потери активной мощности на время работы сети с данной нагрузкой. Однако нагрузка потребителей колеблется в течении суток и времени года, поэтому изменяется и величина потерь мощности.

Таким образом, определение потерь энергии для каждой линии должно быть произведено путем суммирования (интегрирования) значений потерь мощности за бесконечно малые элементы времени, т.е.

$$\Delta W = \int_0^t \Delta P \cdot dt,$$

или, подставляя значение ΔP в последнюю формулу, получаем

$$\Delta W = \int_0^t \frac{S^2}{U^2} R \cdot dt = \frac{R}{U^2} \int_0^t S^2 \cdot dt,$$

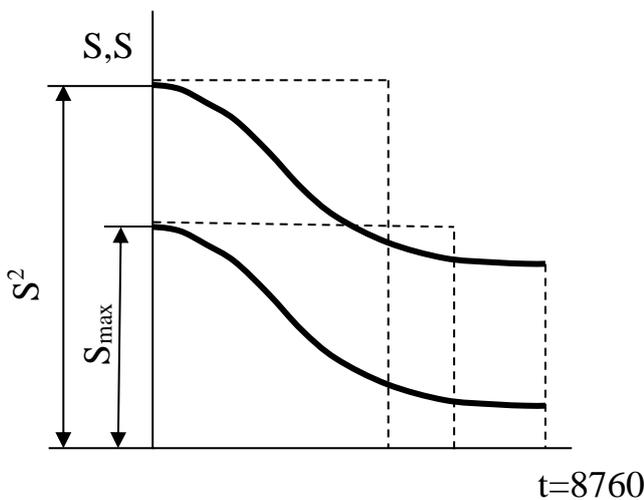


Рис.1. Годовой график нагрузки по продолжительности.

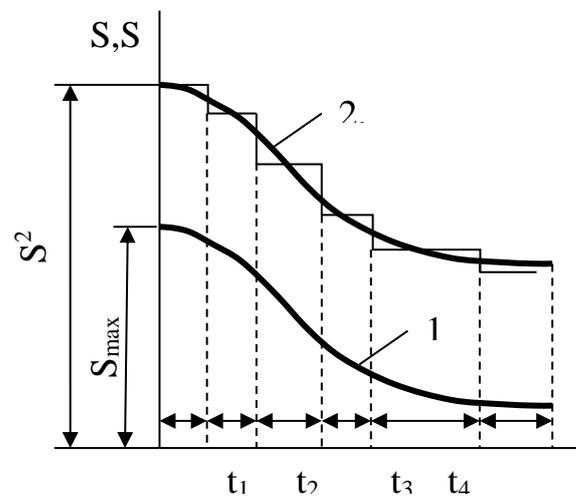


Рис.2. Ступенчатый график нагрузки по продолжительности.

На рис. 1 представлен годовой график нагрузки по продолжительности (кривая 1). При неизменном $\cos\varphi$ площадь, ограниченная этой кривой, показывает количество энергии, передаваемой по сети в течении года и выражаемое формулой

$$W = \int_0^t \Delta P \cdot dt = \cos\varphi \int_0^{8760} S \cdot dt$$

Если заменить график нагрузки по продолжительности ступенчатым графиком с достаточно малыми отрезками времени $t_1, t_2, t_3 \dots$ и соответствующими значениями $S_1, S_2, S_3 \dots$ (рис.4.2); тогда потери определяются суммированием величин:

$$\Delta W = \frac{R}{U^2} (S_1^2 \cdot t_1 + S_2^2 \cdot t_2 + S_3^2 \cdot t_3 + \dots + S_n^2 \cdot t_n)$$

Рассмотрим один из самых распространенных методов расчета потерь – по времени максимальных нагрузок.

Для годового графика нагрузки по продолжительности (кривая 1 рис.1) можно найти такое время T_M , в течении которого по линии, работающей с максимальной нагрузкой S_M , передавалось бы такое же количество энергии, какое передается по ней в действительности в течении года при изменяющейся нагрузке $S=f(t)$. При неизменном коэффициенте мощности это условие может быть записано следующим образом:

$$W = P_M \cdot T_M = S_M \cdot \cos\varphi \cdot T_M = \cos\varphi \cdot \int_0^{8760} S \cdot dt$$

Отсюда время использования максимальных нагрузок

$$T_M = \frac{\int_0^{8760} S \cdot dt}{S_M}$$

Зная годовое количество энергии W , передаваемое по линии, и максимальную активную нагрузку P_M , можно определить время использования максимальной нагрузки:

$$T_M = \frac{W}{P_M} = \frac{W}{S_M \cdot \cos\varphi}$$

Для промышленных предприятий, различных отраслей, работающих в одну смену, T_M лежит в пределах от 1800 до 2500 ч.; в две смены – 3000–4500 ч.; в три смены – 4500–7500 ч.

Величину T_M надо знать, чтобы определять потери энергии. Для этой цели пользуются величиной τ – временем максимальных потерь, т.е. временем, в течении которого линия, работающая с максимальной нагрузкой, имеет те же потери энергии, равные действительным годовым потерям при работе по годовому графику нагрузки. Заменяя площадь, ограниченную кривой 2 на рис. 4.1, равновеликой площадью прямоугольника со сторонами τ и S_M^2 , получаем:

$$\Delta W = \frac{R}{U^2} \int_0^t S^2 dt = \frac{R}{U^2} S_M^2 \cdot \tau$$

Практически величину τ получают из величины T_M по формуле:

$$\tau = (0,124 + T_M \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760$$

Итак, зная передаваемую мощность по линии, номинальное напряжение и сопротивление можно определять потери электроэнергии в ней.

Определить потери мощности в воздушной линии трехфазного тока 35 кВ длиной 20 км, по которой получает питание потребитель мощностью 10 МВА при $\cos\varphi_2=0,8$. Провод АС–95, расположение горизонтальное с $D_{cp}=2,52$ м. Найти также величины $\cos\varphi_1$ и к.п.д. линии.



Схема замещения линии

Мощность потребителя:

$$P_2 = S_2 \cdot \cos\varphi_2 = 10 \cdot 0,8 = 8 \text{ МВт}$$

$$Q_2 = S_2 \cdot \sin\varphi_2 = 10 \cdot 0,6 = 6 \text{ МВар}$$

Активное сопротивление одного провода линии:

$$R_n = \frac{l}{\gamma F} = \frac{20000}{32 \cdot 95} = 6,6 \text{ Ом}$$

Индуктивное сопротивление 1 км линии при $D_{cp} = 2,52$ м составляет $X_0=0,385$ Ом/км, тогда $X_n=0,385 \cdot 20=7,7$ Ом.

Потери активной мощности:

$$\Delta P = \frac{P^2 R_n}{U_n^2} + \frac{Q^2 R_n}{U_n^2} = \frac{8^2 \cdot 6,6}{35^2} + \frac{6^2 \cdot 6,6}{35^2} = 0,537 \text{ МВт}$$

Потери реактивной мощности:

$$\Delta Q = \frac{8^2 \cdot 7,7}{35^2} + \frac{6^2 \cdot 7,7}{35^2} = 0,628 \text{ МВар}$$

Мощность в начале линии:

$$P_1 = P_2 + \Delta P = 8,537 \text{ МВт}$$

$$Q_1 = Q_2 + \Delta Q = 6,628 \text{ МВар}$$

Тогда

$$\operatorname{tg}\varphi_1 = \frac{Q_1}{P_1} = \frac{6,628}{8,537} = 0,77$$

К.п.д. линии

$$\eta_n = \frac{P_2}{P_1} 100 = \frac{8}{8,537} 100 = 93,7\%$$

Определить годовые потери энергии и к.п.д. из примера 2, если известно, что за год по линии было передано $40 \cdot 10^6$ кВт*ч активной и $33 \cdot 10^6$ кВар*ч реактивной энергии.

Из примера 2 известно, что $P_{нб}=8$ МВт, $Q_{нб}=6$ МВар, тогда

$$T_{ма} = \frac{W_{a.zod}}{P_{нб}} = \frac{40 \cdot 10^6}{8 \cdot 10^3} = 5000 \text{ ч}$$

$$T_{мп} = \frac{W_{p.zod}}{Q_{нб}} = \frac{33 \cdot 10^6}{6 \cdot 10^3} = 5500 \text{ ч}$$

$$T_m = \sqrt{T_{ма}^2 \cdot \cos^2 \varphi_{нб} + T_{мп}^2 \cdot \sin^2 \varphi_{нб}} = \sqrt{5000^2 \cdot 0,8^2 + 5500^2 \cdot 0,6^2} = 5180 \text{ ч}$$

$$\tau = (0,124 + 5180 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760 = 3610 \text{ ч}$$

$$\Delta W_{a.zod} = \Delta P \cdot \tau = 537 \cdot 3610 = 1938570 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

$$\eta_l = 1 - \frac{\Delta W_{a.zod}}{W_{a.zod}} = 1 - \frac{1938570}{40 \cdot 10^6} = 0,95$$

Потери активной мощности в трансформаторе слагаются из потерь мощности в стали ΔP_{cm} (сердечнике) и потерь мощности в меди ΔP_m (в обмотках) трансформатора, т.е.

$$\Delta P_T = \Delta P_{cm} + \Delta P_m$$

Как указывалось ранее потери мощности в стали определяются потерями холостого хода трансформатора ΔP_x , которые задаются в паспорте трансформатора

$$\Delta P_{ст} \approx \Delta P_x$$

Потери же в меди обусловлены потерями активной мощности в активном сопротивлении трансформатора, которые рассчитываются по той же формуле, что и при расчете линий:

$$\Delta P_m = \frac{P^2 + Q^2}{U_H^2} \cdot R_T$$

Если в последнюю формулу вместо R_T подставить его значение

$$R_T = \frac{\Delta P_k \cdot U_H^2}{S_H^2},$$

то получим

$$\Delta P_T = \frac{P^2 + Q^2}{U_H^2} \cdot \frac{\Delta P_k \cdot U_H^2}{S_H^2} = \Delta P_k \left(\frac{S}{S_H} \right)^2 = \Delta P_k * K_3^2,$$

где K_3 - коэффициент загрузки трансформатора.

Итак потери активной мощности в трансформаторе определяются по формуле

$$\Delta P_T = \Delta P_x + \Delta P_k * K_3^2$$

Потери реактивной мощности в трансформаторе слагаются из реактивной намагничивающей мощности трансформатора ΔQ_μ и потерь реактивной мощности в индуктивном сопротивлении обмоток трансформатора ΔQ_{TM} , т.е.

$$\Delta Q_T = \Delta Q_\mu + \Delta Q_{TM},$$

Реактивная намагничивающая мощность трансформатора (обуславливающая реактивную проводимость B) определяется по току холостого хода трансформатора, выраженному в процентах от номинального тока $J_0\%$, который также дается в паспорте трансформатора, т. е. как было сказано ранее $\Delta Q_{\mu\%} \approx J_0\%$, поэтому

$$\Delta Q_\mu = \frac{J_0\% * S_H}{100}$$

Потери реактивной мощности в индуктивном сопротивлении обмоток трансформатора также определяются по тем же формулам, что и при расчете линий, т.е.

$$\Delta Q_{TM} = \frac{P^2 + Q^2}{U_H^2} * X_T$$

Подставив в последнюю формулу значение $X_{тр} = \frac{U_{k\%} * U_H^2}{100 * S_H}$, получим формулу потерь реактивной мощности в трансформаторе

$$\Delta Q_{TM} = \frac{P^2 + Q^2}{U_H^2} * \frac{u_k * U_H^2}{100 * S_H} = \frac{u_{k\%} * S^2}{100 * S_H}$$

Теперь, сложив последние две формулы, получим

$$\Delta Q_T = \Delta Q_\mu + \Delta Q_{TM} = \frac{J_0\% * S_H}{100} + \frac{u_{k\%} * S^2}{100 * S_H} = \frac{S_H^2 * \left(J_0 + U_{k\%} * \frac{S^2}{S_H^2} \right)}{100 * S_H}$$

Произведя несложные математические преобразования, получим

$$\Delta Q_T = \frac{S_H}{100} * (J_0 + U_K * K_3^2),$$

где $K_3 = \frac{S}{S_H}$ – коэффициент загрузки трансформатора

Потери активной и реактивной мощностей в трехобмоточном трансформаторе

$$\Delta P_T = \Delta P_x + \Delta P_{K_1} K_{3_1}^2 + \Delta P_{K_2} K_{3_2}^2 + \Delta P_{K_3} K_{3_3}^2$$

$$\Delta Q_T = \frac{S_H}{100} (J_0 + U_{K_1} K_{3_1}^2 + U_{K_2} K_{3_2}^2 + U_{K_3} K_{3_3}^2)$$

где J – ток холостого хода трансформатора;

U_K – напряжение короткого замыкания трансформатора %.

Годовые потери электроэнергии в трансформаторе определяются по формуле:

$$\Delta w_{a-200} = \Delta P_x \cdot t + \Delta P_K K_3^2 \cdot \tau_{нб}$$

где t – время, в течение которого трансформатор находится под напряжением питающей его сети на протяжении года; если трансформатор в течение года не отключается, то $t = 8760$ ч.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ: (REFERENCES)

1. Rage F. et al. Modelling and analysis of vehicle accident under mixed traffic conditions in Ilu Ababor zone, Ethiopia //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2023. – Т. 377. – С. 02002.
2. Zakrullayevna Z. I. et al. ELECTRIC DOWNLOAD DIAGRAMS AND SELECTION OF ELECTRIC ENGINE POWER //European International Journal of Multidisciplinary Research and Management Studies. – 2022. – Т. 2. – №. 04. – С. 33-37.
3. Mamadzhanov B. D., ugli Mannobboev S. S. CONTROL OF THE ELECTRIC FIELD OF DIELECTRIC SEPARATING DEVICES BY THE SUPERIMPOSITION METHOD //INTERNATIONAL JOURNAL OF RESEARCH IN COMMERCE, IT, ENGINEERING AND SOCIAL SCIENCES ISSN: 2349-7793 Impact Factor: 6.876. – 2022. – Т. 16. – №. 07. – С. 37-41.
4. Siddikov I. K., Boikhonov Z. U., Karimjonov D. D. Elements And Devices For Monitoring And Control of Energy Efficiency. The American Journal of Engineering and Technology (ISSN-2689-0984). – 2020.
5. Karimjonov D. D. et al. Study on determination of an asynchronous motor's reactive power by the current-to-voltage converter //IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing, 2023. – Т. 1142. – №. 1. – С. 012023.
6. Kh S. I., Makhsudov M. T., Karimjonov D. D. Research of static characteristics of three-phase current sensors for control and monitoring of asynchronous motor filter-compensation devices //New intelligence technology: Past, Present and Future. – 2022. – С. 213-216.