

УДК 621.316

ВЛИЯНИЕ НЕСИНУСОИДАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ НА ПЕРЕГРУЗОЧНУЮ СПОСОБНОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ СЭС

Урматбек кызы Азима, магистрант, Кыргызский Государственный Технический Университет им. И. Раззакова, 720044, г. Бишкек. пр. Ч. Айтматова 66, azima7376@mail.ru orcid.org/0000-0002-8708-9727

Суеркулов Манас Асанбекович, профессор, Кыргызский Государственный Технический Университет им. И. Раззакова, 720044, г. Бишкек. orcid.org/[0000-0001-6714-3872](https://orcid.org/0000-0001-6714-3872)

Аннотация: Перегрузочная способность элементов СЭС позволяет экономно использовать параметры выбранных энергооборудований, но изменение качества ЭЭ влияет на перегрузочную способность. В статье рассматривается влияние высших гармоник на перегрузочную способность. Перегрузочная способность элементов должна являться одним из факторов экономичного использования элементов систем электроснабжения. Прежде чем оценить экономическую эффективность использования перегрузочной способности, необходимо знать степень перегрузки. Как, известно, при прохождении электрического тока в проводнике, проводник нагревается, выделяется тепло, происходит обмен тепла между проводником и окружающей средой. Когда наступает тепловой баланс, температура проводника приближается к допустимой температуре. Величина допустимой температуры зависит от вида электрооборудования и наличия или отсутствия изоляции. При наличии изоляции температура влияет на величину износа изоляции. При превышении температуры выше допустимого значения происходит быстрый износ изоляции. Степень износа изоляции определяет длительность срока службы. Для каждого вида электрооборудования ГОСТ указывает длительность срока службы. Поэтому при перегрузке электрооборудований естественный срок службы не должен сокращаться.

Превышение температуры допустимого значения существенно влияет на срок службы. Поэтому, температура токоведущих частей определяет степень перегрузки. Элементы могут быть перегружены за счет недогрузки других часов суток, при этом естественном сроке службы резко сокращается. Тепло в основном выделяется в активном сопротивлении (линия или еще в других элементах электрооборудования трансформатор). При нормальной работе когда качество соответствуют ГОСТ, то активное сопротивление не существенно изменяется, а при наличии высших гармоник активное сопротивление существенно увеличивается, что выделяет большое количество тепла, снижая перегрузочную способность элемента. В статье рассматривается влияние высших гармоник на перегрузочных способностях.

Ключевые слова: перегрузка, допустимая температура, допустимый БК, коэффициент перегрузки, высшие гармоники четная, нечетная гармоника работы, кроме нормального режима работы, зас чет изменения электрической нагрузки перегрузки.

INFLUENCE OF NON-SINUSOIDAL STRESSES ON THE OVERLOAD CAPACITY OF SES ELEMENTS

Urmatbek kyzy Azima, master, Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov, azima7376@mail.ru Bishkek, Ch. Aitmatova av.66 orcid.org/0000-0002-8708-9727

Suerkulov Manas Asanbekovich, professor, Kyrgyz State Technical University named after I.Razzakov Bishkek, Ch. Aitmatova av.66 orcid.org/[0000-0001-6714-3872](https://orcid.org/0000-0001-6714-3872)

Abstract: The overload capability of the SES elements allows economically using the parameters of the selected power equipment, but a change in the quality of the EE affects the overload capacity. Overload capacity of elements should be one of the factors of economical use of elements of power supply systems. Before evaluating the economic efficiency of the use of overload capacity, the quantities affect the degree of overload. As is known, when an electric current passes through a conductor, the conductor heats up, heat is released. there is an exchange of heat between the conductor and the environment. When the heat balance comes, the temperature of the conductor approaches the permissible temperature. The amount of permissible temperature depends on the type of electrical equipment and the presence or absence of insulation. In the presence of insulation, the temperature affects the wear value of the insulation. When the temperature exceeds the permissible value, there is a rapid wear of the insulation. The degree of wear of the insulation determines the length of service life. For each type of electrical equipment, GOST specifies the length of service life. Therefore, when electric equipment is overloaded, the natural service life should not be reduced.

Exceeding the temperature of the permissible value has a significant effect on the service life. Therefore, the temperature of current-carrying parts determines the degree of overload. Elements can be overloaded due to underloading of other hours a day, while the natural service life is dramatically reduced. Heat is mainly released in the active resistance (line or in other elements of the electrical equipment transformer). In normal operation, when the quality corresponds to GOST, the active resistance does not change significantly, and in the presence of higher harmonics, the active resistance increases substantially, which releases a large amount of heat, reducing the element's ability to re-equip. The article deals with the influence of higher harmony on overloading abilities.

Keywords: overload, allowable temperature, allowable BC, overload factor, higher harmonics even odd, harmonics of work, except normal operation, changing the electric load of the load.

Перегрузочная способность.

Любой элемент СЭС позволяет лучше использовать параметры элемента и не требуется замена этого элемента элементом другого параметра, что позволяет экономить затраты. Поэтому, важно знать как изменяется перегрузочная способность элементов в зависимости конкретных условий.

Согласно [4], перегрузка бывает, кратковременное и длительное систематическое.

Кратковременная перегрузка возникает при взаимно резервруемых элементах, когда один из элементов выйдет из строя, а нагрузка после переключения передается другим элементам, вызывается перегрузку. Длительная систематическая перегрузка связана с градиентом электрической нагрузки, т.е. в одни часы сутки недогружен, а в другие часы перегружен.

Какой параметр элементов СЭС является определяющим фактором перегрузки? Для этого напишем тепловой баланс проводника.

По закону Ленца-Джоуля в проводнике выделяется теплота:

$$Q_1 = I^2 R \tau \quad (1)$$

I - сила тока, А; R - сопротивление, Ом; τ - время, с.

Поверхности провода теплота теряется в окружающую среду.

$$Q_2 = c F (t - t^{\circ}) \tau, \text{ Вт} \quad (2)$$

c – коэффициент теплоотдачи поверхности правда, Вт/(м², °С);

F – площадь поверхности провода, м²; $t - t^{\circ}$ - температура поверхности провода и окружающей среды, °С.

Тепловой баланс наступает при равенстве мощностей

$$Q_1=Q_2$$

$$I^2R \tau = c F (t-t^{\circ}) \tau \tag{3}$$

$$I^2R = c S(\Delta t) \tag{4}$$

$$\Delta t = I^2R / c F \tag{5}$$

Δt – превышение температуры проводника под температурой окружающей среды. Выше приведены формулы.

Если система симметричная, напряжение синусоидальное, частота 50 Гц, т. е. нормального режима работы. Для этого случая параметры R, C, F остаются неизменными, а с изменением нагрузки изменяется температура, т.е. температура проводника определяет перегрузку элементов.

Согласно [2] допустимая перегрузка кабельных линий напряжением до 10 кВ с бумажной изоляцией приведено в табл. 1.

Таблица 1. Допустимые температуры нагрева изоляции силовых кабелей при различных режимах работы

| Тип кабеля | Напряжение, кВ | Допустимая температура | |
|---|----------------|------------------------|---|
| | | Длительно | Кратковременно при аварийном состоянии сети |
| С бумажной изоляцией | 1 | 80 | Кратковременно при аварийном состоянии сети |
| | 6 | 80 | |
| | 10 | 70 | |
| С обедненно-пропитанной изоляцией | 1 | 80 | 95(10% перегрузка в течение 2ч) |
| | 6 | 80 | |
| С резиновой изоляцией | - | 70 | 110 при пусковых режимах |
| С изоляцией из полиэтилена и поливинилхлорида, из вулканизированного ПЭ | 1+35 | 70 | 80 30 |
| | | 90 | |

Как показано в табл.1 определяющим фактором перегрузки элемента СЭС является температура, т.к. температура определяет изменения механического свойства проводника и износа степени изоляции. Следующим основным элементом является силовой трансформатор. Степень перегрузки трансформатора приведено в табл.2 [3].

Таблица 2. Допустимые кратковременные перегрузки трансформаторов при послеаварийных режимах

| Трансформаторы | | | | |
|---------------------------------------|---|--|---------------------------------------|---|
| маслонаполненные | | | сухие | |
| Перегрузка сверх номинального тока, % | Длительность перегрузки трансформатора, мин | | Перегрузка сверх номинального тока, % | Длительность перегрузки трансформатора, мин |
| 30 | 120 | | 20 | 60 |
| 45 | 80 | | 30 | 45 |
| 60 | 45 | | 40 | 32 |
| 75 | 20 | | 50 | 18 |
| 100 | 10 | | 60 | 5 |
| 200 | 1,5 | | - | - |

Такие перегрузки допустимы при всех системах охлаждения не зависит от предшествующего режима, температура охлаждающего воздуха и места установки трансформаторов при условиях, что температура в верхних слоях не выше 115°C.

Во время работы трансформатора происходит износ отдельных его частей(обмотка, изоляция, контактное соединение). Относительная скорость теплового износа изоляции для трансформаторов может быть выражена:

$$\alpha = 2(t-28/6) \tag{6}$$

t – реальная температура наиболее нагретой точки обмоток.

Степень изменения срока службы изоляции при различных температурах t₁, t₂

$$T_1/T_2 = 2(t_1 \cdot t_2) / \Delta t \tag{7}$$

Δt – повышение температуры, вызывающее сокращение срока службы. Выше приведены формулы с проводника, когда система ЭС работает по требования ГОСТ 30804.4.30-2013., где качества ЭЭ соответствуют нормам.

Рассмотрим влияние при нарушении синусоидальной формы кривой напряжения. В этом случае появляются токи высших гармоник, которые приводят изменению активного сопротивления проводников.

Активное сопротивление кабельной линии, при наличии токов высших гармоники (Вт) согласно [4] определяется:

$$K_R = R(v)/R_1 = K_{nv} + K_{tv} \tag{8}$$

где K_r – коэффициент увеличения активного сопротивления, при Вт;

K_{nv}+K_{tv} – коэффициенты поверхностного эффект коэффициент близости.

Минимальное значение этих коэффициентов равно.

1. При наличии Вт активное сопротивление кабеля, равно:

$$R_{вл} = K_r R_1, \text{ Ом} \tag{9}$$

R₁ – активное сопротивление при f=50 Гц

Из уравнений (1), (2) можно выразить

$$I^2 = c F (t-t^{\circ}) R \tag{10}$$

t=t_g

$$I^2 = c F (t_g - t^{\circ}) R_1 \tag{11}$$

$$I^2 = c F (t_g - t^{\circ}) R_v = c F (t_g - t^{\circ}) R_v K_r$$

При наличии Вт и без нее температура жилы кабеля должен быть не более t_g . При наличии Вт температура жилы кабеля достигает допустимого значения быстрее пропорционально коэффициенту K_R , т.е. уменьшается длительности допустимой перегрузки.

На рис. показаны изменение активной сопротивлении кабельной линии медными (а), алюминиевыми (б) жилами [4].

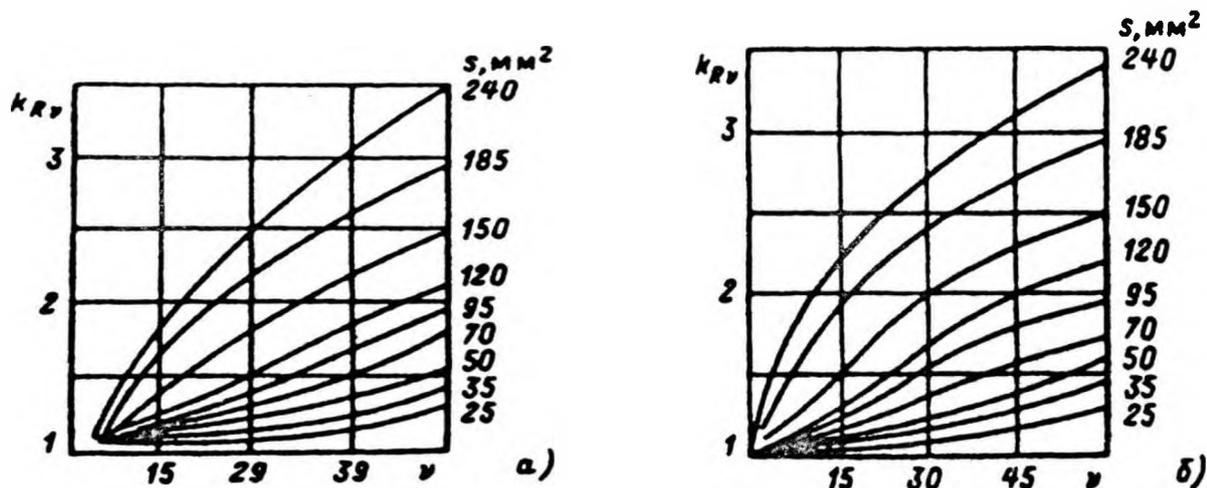


Рис.1. Зависимость коэффициента увеличения активного сопротивления от ВГ для силовых трехжильных кабелей.

Для много проволочных проводников изменения активного сопротивления:

$$R_v/R_0 = \sqrt{2} (1 + 0.86x)^4 / (2 + (0.86x))^4 \quad (12)$$

$$X = n\sqrt{w} - (\varphi\gamma) \quad (13)$$

$$W_v = 2\pi f v \text{ - круговая частота} \quad (14)$$

v – номер гармоник, γ – удельная проводимость материала; (φ – магнитная проницаемость из формулы (13), видно, что, R_v/R_0 , т.е. температура быстрее поднимается, что приводит уменьшению перегрузочной способности линий.

Силовой трансформатор. Согласно [4] изменению активного сопротивления трансформатора выражается:

$$R_v/R_1 = A + B\tau + C(2\tau^2 - 1) + D(4\tau^2 - 3\tau) \quad (15)$$

$$\tau = 0,034v - 1,034$$

A, B, C, D – коэффициенты, значение которых определяются типами и мощностью трансформатора рис. 2 приведено увеличение активного сопротивления трансформаторов.

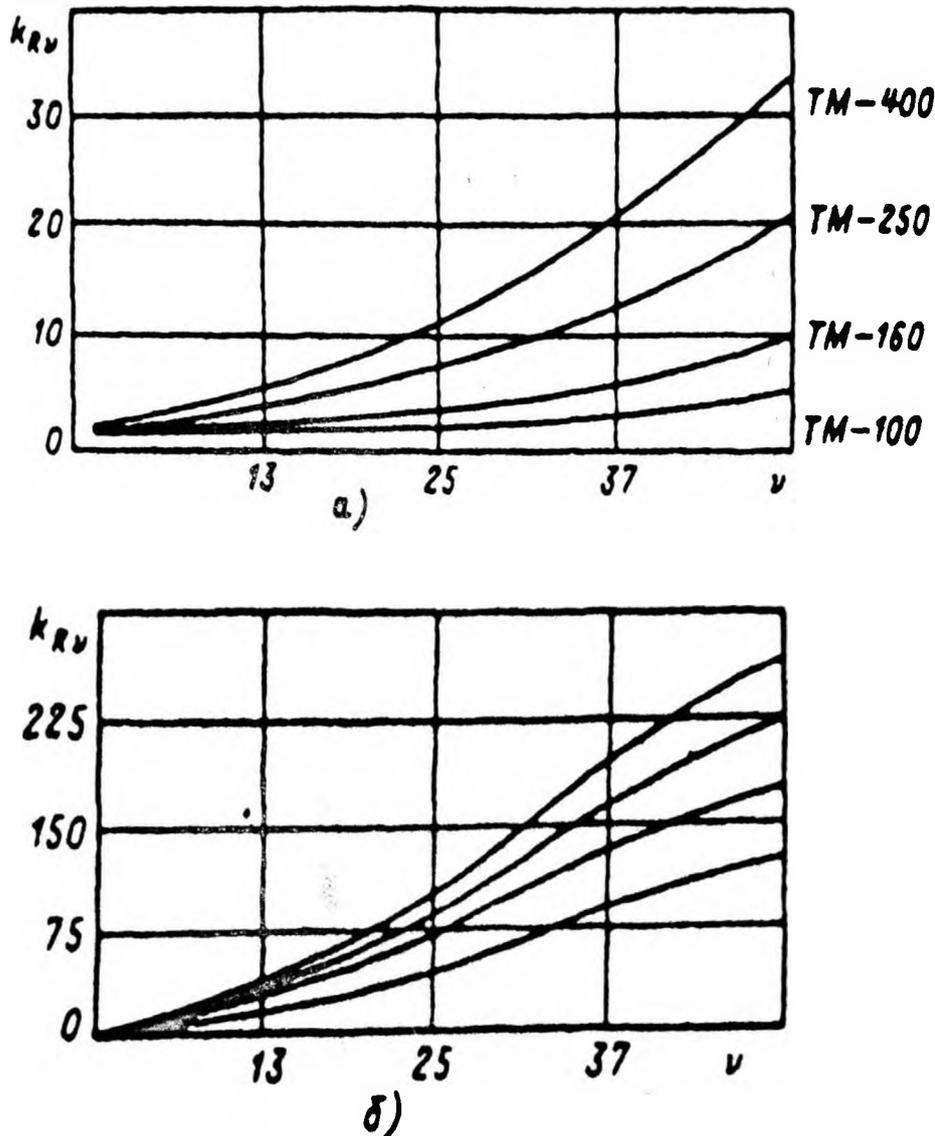


Рис.2 Зависимость коэффициента увеличения активного сопротивления от ВГ для силовых трансформаторов мощностью 100-2500 кВА.

Коэффициент увеличения сопротивления многократно больше, поэтому температура обмоток быстрее поднимается, быстрее достигается допустимое значение, снижая величины допустимой перегрузки, хотя электрическая нагрузка остается неизменным.

Выводы:

- 1) токи ВГ существенно увеличивает величину активного сопротивления и выделяется большое количество тепла;
- 2) при наличии токов ВГ резко снижается величина допустимой перегрузки.
- 3) разработать новые величины допустимой перегрузки элементов при наличии токов ВГ.
- 4) для повышения перегрузочной способности элементов СЭС шире применять технические средства снижения ВГ, определяя экономическую целесообразность.

Список литературы

1. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий, М.: энергосатомиздат, 1994-205с.

Известия КГТУ им. И.Раззакова 45/2018

2. Жежеленко И.В. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промпредприятиях, Энергосатомиздат, М.: 1986-166с.
3. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в СЭС промпредприятий М.:энергосатомиздат, 2000-331с.
4. Железко Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность, М.: ЭНАС,2009-416с.
5. Кузнецов В.Г. и др. Снижение несимметрии и несинусоидальности напряжения в электрических сетях, - Киев: 1992-204с.
6. Конюхова Е.А. Электроснабжение учебник для вузов. М.: Изд. дом МЭИ, 2014-510с.
7. Ноялов Г.М. Основы построения промышленных электрических сетей, 1978-352с.
8. Правила устройства электроустановок.
9. Трофимов Г.Г. Качество электроэнергии и его влияние на работу промпредприятий,Алма-Ата: Издательство НИИТИ, 1986.
10. Федоров А.А Основы электроснабжения промышленных предприятий М.: Энергия, 1976-416с.
11. Электротехнический справочник
Т. 2: электротехнические изделия и устройства. Под общ.ред.
МЭИ В.Г. Герасимова Изд. дом МЭИ.2007-518с.