УДК 621.316

В.А. ВОРОНИН, ассистент (КузГТУ)
Г.М. ЛЕБЕДЕВ, д.т.н., профессор (КузГТУ)
г. Кемерово

О НЕГАТИВНЫХ ПОСЛЕДСТВИЯХ ОТ СНИЖЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

В настоящее время проблема рационального использования топливо-энергетических ресурсов имеет огромное значение для национальной экономики. Энергосбережение и энергоэффективность являются одним из стратегических направлений приоритетного технологического развития в Российской Федерации. Важным направлением энергосбережения является регулирование и оптимизация параметров питающего напряжения.

Способность системы электроснабжения выполнять свои функции в полном объеме и с заданным качеством можно охарактеризовать термином качество электроснабжения, который включает в себя понятия качества электроэнергии и надежности электроснабжения.

За последние 50 лет развития промышленности возникла необходимость в экономической конкурентоспособности продукции. Электрооборудование становится более компактным, эффективным и проектируется с минимальным запасом производительности. Это делает его более чувствительным к возмущениям параметров электрической энергии. Данные параметры регламентируются стандартом ГОСТ 32144-2013 [1], в котором определены основные показатели качества питающего напряжения, относящиеся к частоте, значениям и форме напряжения, а также к симметрии напряжения в трехфазных системах электроснабжения. Кроме того, в стандарте приведены такие показатели, как прерывания и провалы напряжения, перенапряжения, импульсные напряжения. Данные показатели относятся к группе случайных событий и не имеют установленных допустимых границ. Однако такие события являются наиболее опасными для потребителей электрической энергии. Нередкое явление, когда кратковременный перерыв электроснабжения приводит к остановке технологического процесса, для перезапуска которого требуется около 4-х часа в промышленном предприятии среднего размера.

Около 50% всех проблем качества электроснабжения связано с вышеперечисленными случайными событиями. По данным ряда исследований [2-5] промышленные предприятия ежегодно испытывают около 40 провалов, прерываний напряжения и перенапряжений. В 80% случаев данные события связаны с технологическими нарушениями во внешней системе электроснабжения.

Наиболее масштабные исследования ущерба от снижения качества электроснабжения предприняли в 2005-2006 годах коллектив Leonardo Power Quality Initiative team. Согласно результатам их исследований [2], годовой ущерб для стран Евросоюза от провалов и прерываний напряжения составляет 86,5 млрд. евро, а средний ущерб от одного провала напряжения для промышленных предприятий составляет 2000 евро, достигая, в ряде случаев, нескольких десятков, а иногда и сотен тысяч евро, в зависимости от размера предприятия и отрасли промышленности. Величина ущерба складывается из затрат на: оплату труда персонала, результат работы которого был испорчен; потерянное сырье и бракованную продукцию; замедление технологического процесса; повреждение оборудования. Из вышеприведенных данных следует, что нарушение качества электроснабжения приводит к значительному экономическому ущербу для потребителей электрической энергии. В связи с этим разработка мер, направленных на снижение негативного влияния провалов, прерываний напряжения и перенапряжений является перспективным направлением энергосбережения.

Другими проблемами качества электроснабжения является возникновение в электрической сети электромагнитных помех: высших гармоник питающего напряжения, несимметрии напряжения, колебаний напряжения и др. Наибольший ущерб от воздействия данных помех обусловлен дополнительными потерями мощности и снижением срока службы электрооборудования [8]. Для оценки данных составляющих ущерба можно воспользоваться методикой, изложенной в работах [6,7].

Дополнительные потери мощности в трехфазной электрической сети при наличии высших гармоник можно определить по выражению:

$$\Delta P = 3R \sum_{\nu=2} I_{(\nu)}^2 k_{r(\nu)}, \quad (1)$$

где R – активное сопротивление, Ом; $I_{(\nu)}$ – сила тока ν-й гармоники, А; $k_{r(\nu)}$ – коэффициент вытеснения тока для ν-й гармоники, характеризующий увеличение активного сопротивления от действия поверхностного эффекта и эффекта близости, о.е. Как правило, значение коэффициента вытеснения тока принимают на основе усреднения экспериментальных данных для различных типов электрооборудования, наиболее часто используют значение $k_{r(\nu)} = \sqrt{\nu}$. Однако для увеличения точности расчетов рекомендуется определять данный коэффициент более точными способами, например, методом элементарных проводников.

Дополнительные потери мощности за счет электромагнитных помех приводят к дополнительному нагреву электрооборудования и

соответственно сокращению его срока службы. Снижение срока службы изоляции электрооборудования из-за теплового старения в диапазоне рабочих температур 80-140 °С с достаточной степенью точности может быть описано уравнением Мотзингера:

$$T_{нэ} = T_{ном} e^{-\beta \Delta \tau}, \quad (2)$$

где $T_{нэ}$, $T_{ном}$ – срок службы изоляции электрооборудования при нарушении качества электроэнергии и в номинальных условиях, соответственно; $\Delta\tau$ – дополнительный нагрев изоляции; α – коэффициент старения изоляции. Данное выражение основывается на том, что каждые $\Delta\tau'$ = 6-10 °С прироста температуры вызывают сокращение срока службы изоляции вдвое. В соответствии с [6], для силовых трансформаторов принято значение $\Delta\tau' = 6$ °С, а для асинхронных двигателей – 10 °С.

В качестве примера на основе данной методики были построены зависимости относительного сокращения срока службы силового трансформатора ТМ-1600/10 от уровня несимметрии (рис. 1) и несинусоидальности (рис. 2) напряжения при различных значениях коэффициента загрузки $K_З$. С увеличением номинальной мощности силового трансформатора интенсивность сокращения срока службы при наличии электромагнитных помех снижается.

Аналогичный расчет для несимметрии напряжения был выполнен для асинхронного двигателя 4АН355S4 с номинальной мощность 315 кВт (рис. 3).

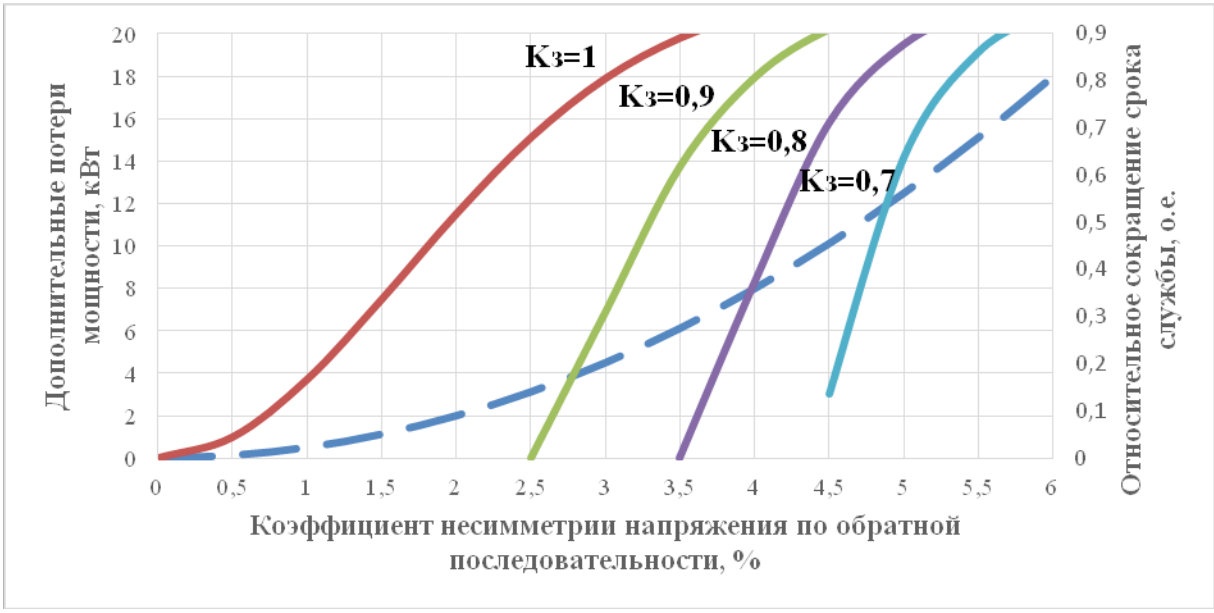

Рисунок 1. Относительное сокращение срока службы силового трансформатора при наличии несимметрии напряжения (сплошная линия) и дополнительные потери активной мощности (пунктирная линия)

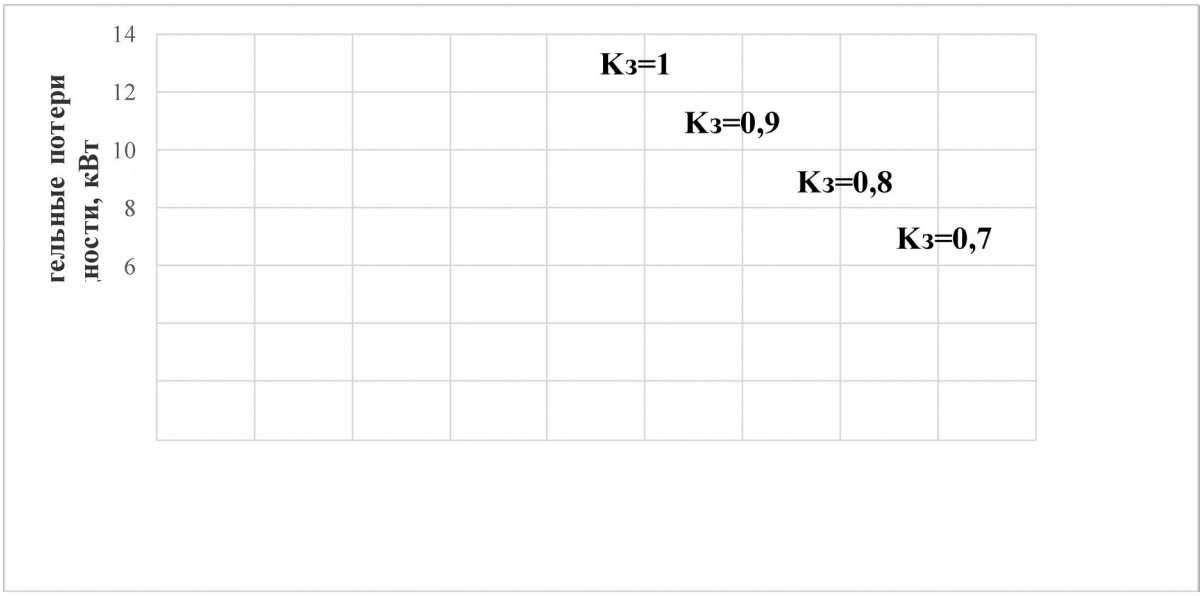

Рисунок 2. Относительное сокращение срока службы силового трансформатора при наличии несинусоидальности напряжения (сплошная линия) и дополнительные потери активной мощности (пунктирная линия)

Необходимо отметить, что в реальных условиях работы загрузка оборудования и уровень помех постоянно меняются, так же необходимо учитывать инерционность тепловых процессов. В связи с этим, негативное влияния на срок службы изоляции кратковременных перегрузок и отклонений показателей качества электроэнергии будет не столь значительным. Полученные зависимости (рис.1-3) являются во многом идеализированными.

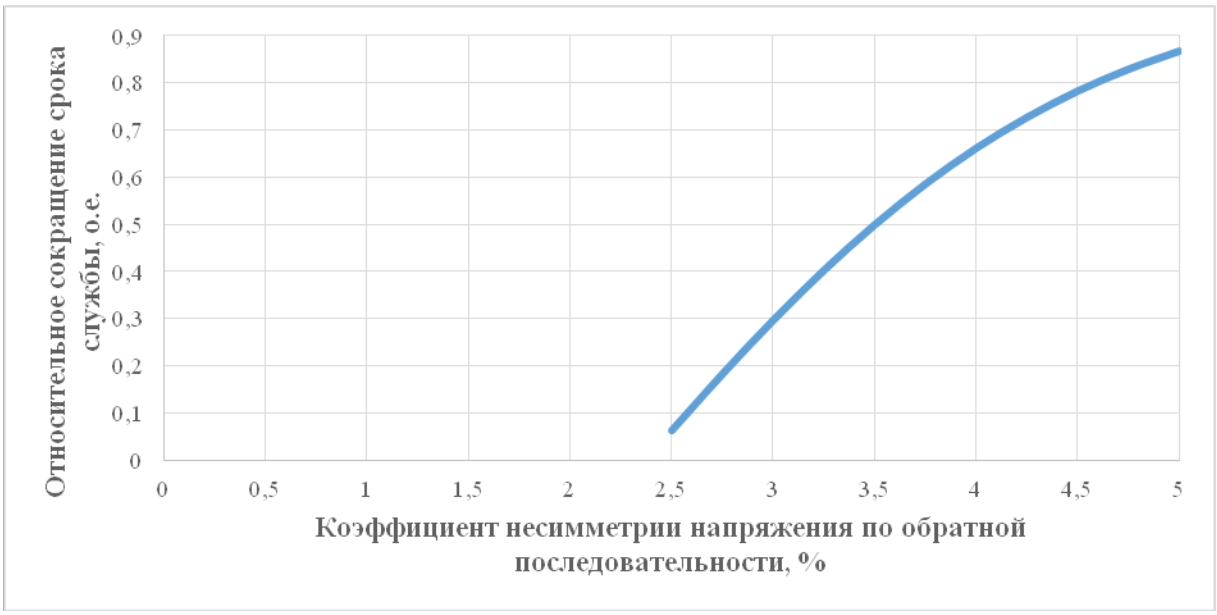

Рисунок 3. Относительное сокращение срока службы асинхронного двигателя при наличии несимметрии напряжения

Выводы:

1. Повышение качества электроснабжения потребителей является перспективным направлением энергосбережения;
2. Отклонение показателей несимметрии и несинусоидальности напряжения даже в пределах допустимых значений (2% и 4% для коэффициента несимметрии напряжения по обратной последовательности, 8% и 12% для суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения [1]) приводит к сокращению срока службы электрооборудования.

Наиболее подвержены негативному воздействию электромагнитных помех силовые трансформаторы малой мощности. При загрузке трансформатора более 70% снижение срока службы будет наблюдаться в диапазоне допустимых значений показателей качества электроэнергии;

3. Работа асинхронных двигателей при соблюдений норм стандарта [1] в части несимметрии напряжения, не приведет к значительному снижению срока службы.

Список литературы:

1. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ, 2014.
2. Targosz, R. European power quality survey report / R. Targosz ,J. Mason. – 2008. URL: http://www.leonardo-energy.org/sites/leonardo-energy/files/root/pdf/2009/PQSurvey.pdf
3. Eberhard, A. (Ed.). Power quality. – InTech, 2011. – P. 374
4. Baggini, A. Handbook of power quality / A. Baggini. – John Wiley & Sons Ltd., 2008. – P. 644.
5. Ильдирянов, С.Р. Статистический анализ провалов напряжения в СЭС ОАО «Казаньоргсинтез» / С.Р. Ильдирянов, Ш.И. Вафин // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2011. – №3-4. – С. 73-81.
6. Жежеленко, И.В. / Электромагнитная совместимость потребителей: моногр. / И.В. Жежеленко, А.К. Шидловский, Г.Г. Пивняк и др. – М.: Машиностроение, 2012. – 351 с.
7. Шидловский, А.К. Повышение качества энергии в электрических сетях / А.К. Шидловский. – Киев.: Наук. думка, 1985. – 268 с.
8. Гриб, О.Г. Оценка величины экономического ущерба от снижения качества электрической энергии в система электроснабжения

промышленных предприятий / О.Г. Гриб, О.Н. Довгалюк, Г.В. Омельяненко // Modern problems and ways of their solution in science, transport, production and education, 2012.