

УДК 621.313.333.2

## **О ДОПУСТИМЫХ ОТКЛОНЕНИЯХ НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

Воронин В.А., ассистент  
Научный руководитель: Лебедев Г.М., д.т.н., профессор  
Кузбасский государственный технический университет  
имени Т.Ф. Горбачева  
г. Кемерово

Любое электрооборудование проектируется для нормальной работы в номинальном режиме. Как правило, ограниченные отклонения режимных параметров не приводят к существенным нарушениям, однако, по мере их увеличения влияние становится все более значимым. В связи с этим, для каждого электроприемника, а также для питающих электрических сетей, регламентируются допустимые уровни таких отклонений. В отношении параметров электрической энергии эти уровни выражаются в допустимых значениях электромагнитных помех (показателях качества электроэнергии). Однако данные нормы справедливы только при воздействии помехи на оборудование, работающее в номинальном режиме. В связи с этим, интерес представляет оценка возможных перегрузок оборудования электромагнитными помехами, превышающими допустимые значения, в различных режимах работы. Результаты данного исследования могут использоваться для решения оптимизационных задач управления качеством электроэнергии на предприятии.

Исследование данной темы выполнялось на примере трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором 4А160S4 при отклонениях питающего напряжения. Для анализа характеристик электродвигателя в соответствии с методикой, изложенной в [1], была разработана его математическая модель. Модель пригодна для оценки характеристик работы электродвигателя в диапазоне скольжений от 0 до 1. Учтено влияние эффекта вытеснения тока в стержнях обмотки короткозамкнутого ротора и насыщения стали магнитопровода полями рассеяния. Для оценки допустимого увеличения токов в обмотках электродвигателя выполнен его тепловой расчет.

Для асинхронных двигателей опасность представляют как положительные, так и отрицательные отклонения напряжения. Действующим в настоящее время, стандартом качества электроэнергии ГОСТ 32144-2013 в точке передачи электроэнергии допускаются отклонения напряжения до  $\pm 10\%$ , причем величина отклонений на зажимах электроприемника не должна превышать, установленного для него, допустимого значения. Допустимые отклонения напряжения на зажимах асинхронных двигателей регламентированы стандартом ГОСТ Р 52776-2007 и также соответствуют уровню  $\pm 10\%$ . Примечательно, что стандартом электромагнитной совместимости

ГОСТ Р 50034-92 для асинхронных двигателей установлены более жесткие нормы –  $-5...+10\%$ .

При снижении питающего напряжения происходит уменьшение магнитного потока в сердечнике и смещение рабочей точки механической характеристики двигателя в сторону больших скольжений (при постоянстве момента сопротивления). Уменьшение магнитного потока приводит к снижению тока намагничивания и потерь в «стали» магнитопровода. При неизменном моменте сопротивления для поддержания прежней величины электромагнитного момента при пониженном магнитном потоке необходимо увеличение активной составляющей тока ротора. Ток статора электродвигателя складывается из тока намагничивания и тока ротора. Таким образом, одна из составляющих тока статора уменьшается, а вторая возрастает. Как правило, при больших нагрузках увеличение тока ротора более существенно и ток статора увеличивается. Повышение токов в обмотках приводит к увеличению потерь в «меди».

Для положительных отклонений напряжения ход рассуждения аналогичен. Возрастает величина магнитного потока и тока намагничивания. При достаточной степени насыщения магнитной системы двигателя увеличение тока намагничивания окажется более существенным, чем его снижение при отрицательных отклонениях напряжения. Активная составляющая тока ротора уменьшается, а ток статора, за счет значительного увеличения тока намагничивания, возрастает. Относительное изменение характеристик асинхронного двигателя при изменении питающего напряжения представлено на рис. 1 и 2.

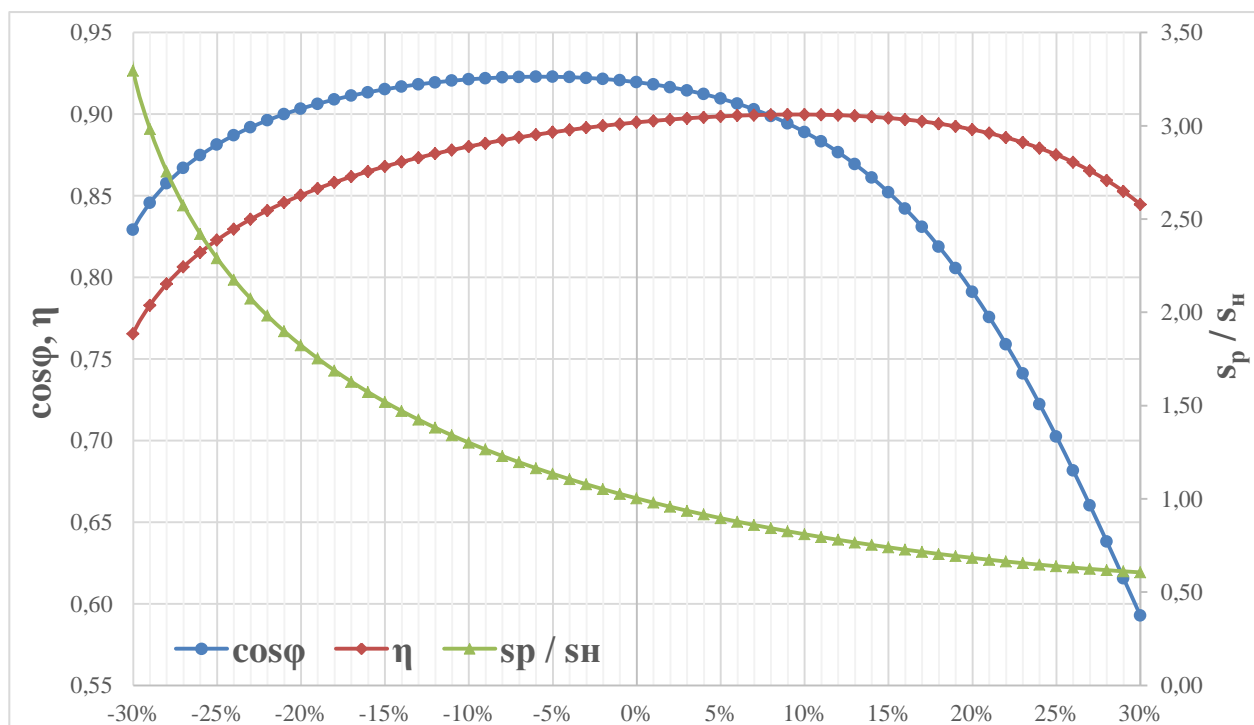


Рис. 1. Зависимость коэффициента мощности, КПД и относительного значения скольжения АД 4А160S4 от отклонений питающего напряжения

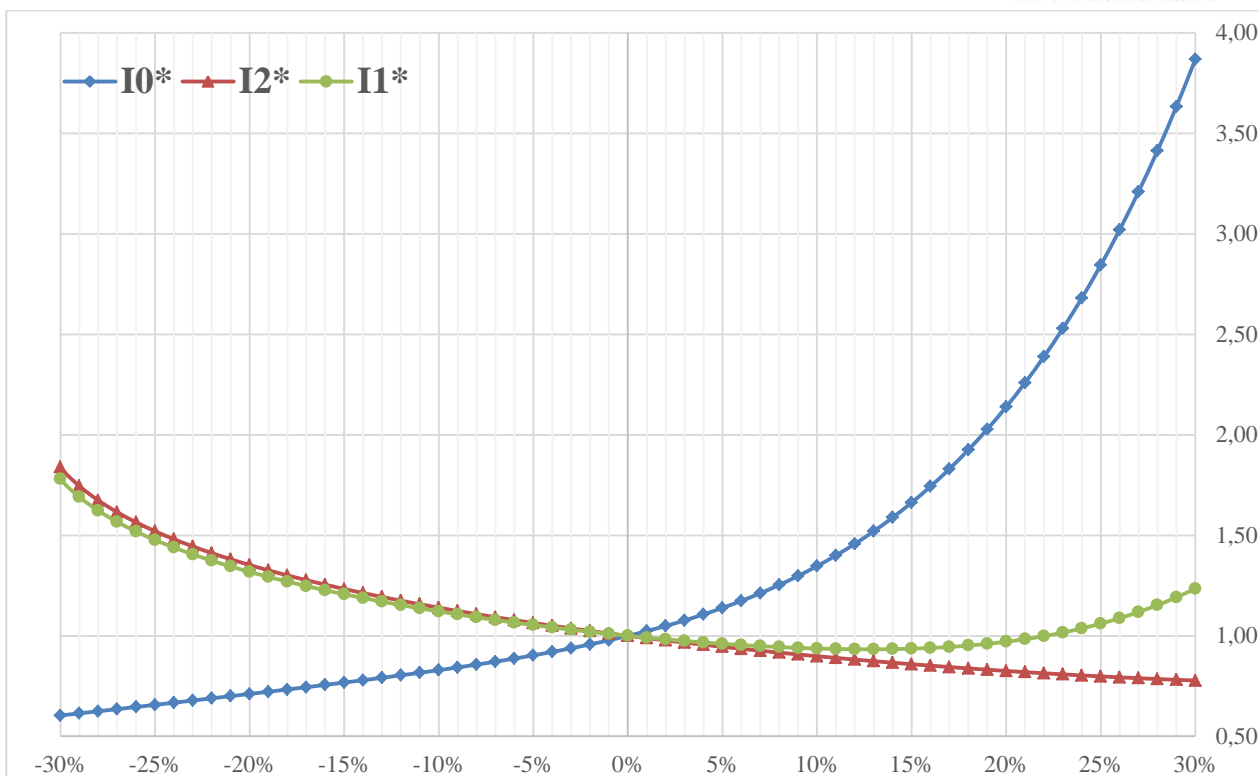


Рис. 2. Зависимость относительных значений токов намагничивания, ротора и статора АД 4А160S4 от отклонений питающего напряжения

Возможность электрооборудования нормально функционировать в ненормальных условиях во многом определяется его нагрузкой. В связи с дискретностью параметрического ряда номинальных мощностей большинство электродвигателей работает с недогрузкой, что во многих случаях может смягчить негативное воздействие отклонений режимных параметров. По данным [2], средняя нагрузка электродвигателей составляет 30...60 %.

При отклонениях напряжения нарушение нормальной работы двигателя может быть связано: с его перегревом за счет увеличения потерь; с потерей устойчивости и «опрокидыванием» двигателя при снижении величины электромагнитного момента ниже критического; с невозможностью запуска при снижении величины пускового момента ниже момент сопротивления.

Зная уровни электромагнитных помех, при которых происходят нарушения нормальной работы электроприемника, возможно определить его уровень помехоустойчивости. Соответствующие уровни для отрицательных и положительных отклонений напряжения образуют область допустимой работы электрооборудования, заключенную между этими уровнями. На рис. 3 приведены области допустимой работы асинхронного двигателя для различных нарушений нормальной работы при разных коэффициентах загрузки.

При номинальной нагрузке длительная работа двигателя оказывается невозможной уже при отклонениях напряжения ниже -8 %, при отклонении в -12 % и ниже становится невозможным запуск двигателя, а его остановка происходит при отклонениях напряжения ниже -31 %. При повышенном напряжении перегрев происходит при больших отклонениях напряжения. По-

лученные результаты в части отрицательных отклонений напряжения близки к требованиям нормативных документов [3-5]. Отличия могут быть объяснены погрешностью теплового расчета электродвигателя. При положительных отклонениях напряжения расчетные границы оказались более широкими.

Как следует из рис. 3, при снижении загрузки электродвигателя области допустимой работы начинают расширяться. При коэффициенте загрузки в 0,7 область допустимой работы по условиям перегрева увеличивается почти в два раза.

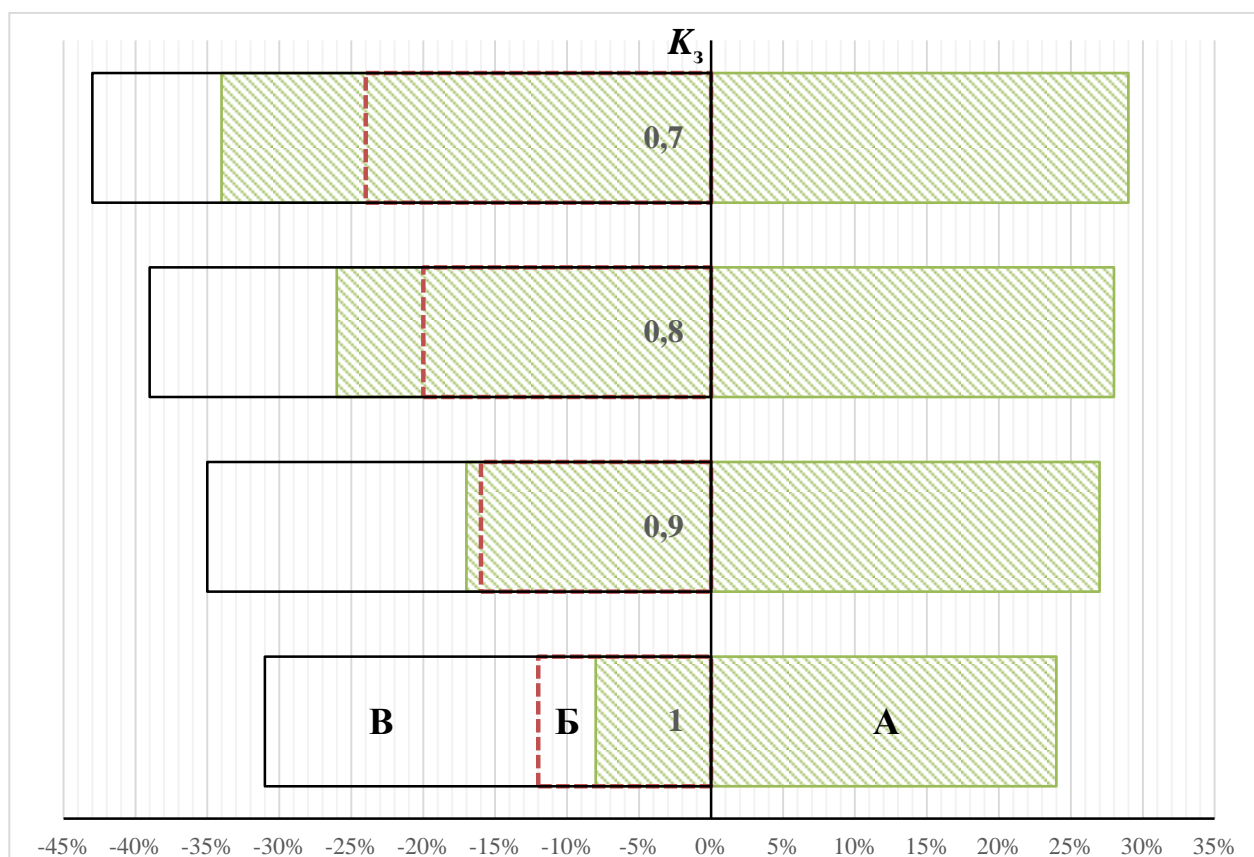


Рис. 3. Области допустимой работы АД 4А160S4 при отклонениях напряжения для разных коэффициентов загрузки  $K_z$ . Обозначения допустимых областей: А – по перегреву; Б – по условиям пуска; В – по устойчивости работы

Вследствие возможной неточности исходных данных и погрешности методики расчета, фактические границы области допустимой работы могут отличаться от расчетных.

Вывод: полученные в данной работе результаты говорят о том, что при разработке мероприятий по управлению качеством электроэнергии необходимо учитывать фактический коэффициент загрузки электрооборудования, поскольку он оказывает значительное влияние на допустимые отклонения напряжения. При среднестатистическом коэффициенте загрузки электродвигателей (по данным [2]) область допустимых отклонений напряжения по условиям перегрева расширяется более чем в два раза.

### Список литературы:

1. Проектирование электрических машин / под. ред. И.П. Копылова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2011. – 767 с.
2. Дуюнов, Д.А. Асинхронный двигатель с совмещенными обмотками / Д.А. Дуюнов // Энергосовет, 2013. – №2. – С. 19-25.
3. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ, 2014.
4. ГОСТ Р 52776-2007 Машины электрические вращающиеся. Номинальные данные и характеристики. – М.: Стандартинформ, 2008.
5. ГОСТ Р 50034-92 Совместимость технических средств электромагнитная. Двигатели асинхронные напряжением до 1000 В. Нормы и методы испытаний на устойчивость к электромагнитным помехам. – М.: Издательство стандартов, 2004.