

УДК 621.313.333.2

Исследование характеристик асинхронных двигателей при изменении частоты питания

Пашкович Н.П., Потачиц Я.В.

Научный руководитель ГОНЧАР А.А., к.т.н., доцент

В современной эпохе трудно представить жизнь без электропотребителей. Электрическая энергия является самым распространенным видом энергии.

К сожалению, бурному росту числа и мощностей электропотребителей как на заводах, так и в быту иногда не соответствует количество генерирующих мощностей на электростанциях. Это приводит к нарушению баланса между вырабатываемой и потребляемой электрической энергией. Нарушение такого баланса обязательно приводит к понижению качества электроэнергии. Одним из важнейших показателей качества электроэнергии является величина частоты в энергосистеме. Существующие в энергосистеме перегрузки не дают развернуться синхронным генераторам электрических станций до номинальных частот вращения, что приводит к снижению частоты сети. Понижение частоты влияет на работу электропотребителей, на их параметры, характеристики, надежность и срок службы.

В данной работе приведен краткий анализ влияния пониженной частоты до 49 Гц, и повышенной до 51 Гц на асинхронный двигатель мощностью 15 кВт, синхронной скорости 1500 об/мин на напряжение 380/220 В. Асинхронный двигатель является самым распространенным потребителем электроэнергии и поэтому изменение его характеристик представляет определенный интерес.

Все расчеты произведены при $U = \text{const}$.

Уменьшение частоты до 49 Гц.

Первым следствием понижения частоты является снижение частоты вращения магнитных полей обмотки статора двигателя.

Синхронная частота вращения становится по формуле $n_c = \frac{60 \cdot f}{p}$ равной 1470 оборотов в минуту, т.е. снижается на 2 %.

Скорость вращения ротора снижается еще значительно вследствие роста скольжения. Это приводит к уменьшению производительности рабочих механизмов.

Вторым очевидным следствием понижения частоты является увеличение магнитного потока Φ в машине. Это очевидно из уравнения:

$$U_{in} \sim K \cdot f \cdot \Phi$$

где K – постоянная, учитывающая особенности обмотки статора.

При постоянстве напряжения и понижении частоты, магнитный поток закономерно увеличивается.

С увеличением магнитного потока тесно связано увеличение индукции в частях двигателя.

$$\Phi = B \cdot S$$

где S – площадь, зависящая от конструктивных размеров машины.

Поскольку размеры постоянны, то B увеличивается. Повышенным индукциям соответствует по кривой намагничивания электротехнической стали $B = f(H)$ и повышенные напряженности поля H .

Повышение H является причиной повышения магнитного напряжения F , что очевидно из простого выражения $F = H \cdot l$, где l – постоянная величина (длина) для данного участка, определяемая размерами двигателя.

Для создания повышенного F при неизменном числе витков обмотки статора требуется повышение намагничивающего тока I_M .

Ток намагничивания по своей величине (если не учитывать покрытие активных потерь на холостом ходу) равен току холостого хода I_{xx} .

Ток I_{xx} увеличился на 0,6 А. Ток намагничивания, I_M является реактивной составляющей общего тока, потребляемого из сети, поэтому происходит увеличение этого тока. Увеличение реактивной составляющей тока приводит к уменьшению коэффициента мощности $\cos\varphi$ двигателя. Увеличение намагничивающего тока приводит к увеличению тока статора, что приводит к увеличению переменных электрических потерь в обмотке статора.

Увеличение индукции приводит к увеличению постоянных потерь в стали статора двигателя.

Это означает, что кроме механических, выросли потери мощности всех видов.

Некоторое снижение механических потерь вызвано снижением частоты вращения ротора и тем самым снижением потерь на трение в подшипниках двигателя и на вентиляцию.

Суммарные потери при номинальной мощности увеличились. Возрастание потерь приводит к снижению КПД двигателя. Кроме того, вследствие увеличения потерь увеличивается выделение тепла внутри машины. Нагрев двигателя возрастает, т.к. температура двигателя увеличивается: во-первых - вследствие увеличения потерь и, во-вторых – вследствие снижения частоты вращения двигателя, когда ухудшается производительность вентилятора, обдувающего двигатель.

Увеличение температуры является также нежелательным явлением. Ухудшаются условия работы изоляции. Изоляция быстрее стареет и тем самым увеличивается вероятность выхода из строя двигателя.

Увеличение частоты до 51 Гц.

При повышении частоты увеличивается частота вращения магнитных полей обмотки статора двигателя.

Синхронная частота вращения становится равной 1530 оборотов в минуту, т.е. повышается на 2 %.

Следующим следствием повышения частоты является уменьшение магнитного потока Φ в машине.

При постоянстве напряжения и повышении частоты, магнитный поток закономерно уменьшается.

С уменьшением магнитного потока тесно связано уменьшение индукции в частях двигателя.

Поскольку размеры постоянны, то B уменьшается. Пониженным индукциям соответствует по кривой намагничивания электротехнической стали $B = f(H)$ и пониженные напряженности поля H .

Понижение H является причиной понижения магнитного напряжения F , что очевидно из простого выражения $F = H \cdot l$, где l - постоянная величина (длина) для данного участка, определяемая размерами двигателя.

Для создания пониженного F при неизменном числе витков обмотки статора требуется уменьшение намагничивающего тока I_M .

Это приводит к перегрузке током обмотки ротора, а при определенных условиях также и к перегрузке обмотки статора.

Коэффициента мощности $\cos\varphi$ двигателя увеличивается.

Уменьшение индукции приводит к уменьшению постоянных потерь в стали статора двигателя.

Механических потери немного возросли в связи с возрастанием частоты вращения ротора и тем самым возрастанием потерь на трение в подшипниках двигателя и на вентиляцию.

Суммарные потери при номинальной мощности уменьшились. Уменьшение потерь приводит к возрастанию КПД двигателя.

Некоторые наиболее важные результаты приведены в таблице.

	$f = f_{ном} = 50 Гц$	$f = 49 Гц$	$f = 51 Гц$
$n, об / мин$	1500	1470	1530
<i>Полные потери в стали</i>	368.117	369.8595	366.5862

Наиболее чувствительны к понижению частоты двигателя собственных нужд электростанций. Снижение частоты приводит к уменьшению их производительности, что сопровождается снижением располагаемой мощности генераторов и дальнейшим дефицитом активной мощности и снижением частоты (имеет место лавина частоты).

Для предотвращения общесистемных аварий, вызванных снижением частоты, предусматриваются специальные устройства автоматической частотной разгрузки (АЧР), отключающие часть менее ответственных потребителей. После ликвидации дефицита мощности, например, после включения резервных источников, специальные устройства частотного автоматического повторного включения (ЧАПВ) включают отключенных потребителей, и нормальная работа системы восстанавливается.

Поддержание нормальной частоты, соответствующей требованиям стандарта является технической, а не научной задачей, основной путь решения которой – ввод генерирующих мощностей с целью создания резервов мощности в сетях энергоснабжающих организаций.

Таким образом, как уменьшение, так и увеличение частоты вызывают ухудшение условий работы асинхронных двигателей, работающих при нагрузках, близких к номинальным. Поэтому колебания частоты сети должны быть ограничены. По ГОСТ 183—66 двигатели должны отдавать номинальную мощность при отклонениях частоты от номинального значения до $\pm 5\%$.

Все расчеты, связанные с изменением параметров двигателя, произведены в соответствии с [1].

Литература

1. Проектирование электрических машин / И. П. Копылов, Ф. А. Горяинов, Б. К. Клоков и др. / М., 1980.