

УДК 621.314

## ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ АКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ОБМОТОК СТАТОРА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ НА ВЫХОДНОЙ СИГНАЛ ТРЕХФАЗНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ТОКА

**Махсудов Мохирбек Толибжонович**

Андижанский машиностроительный институт, доцент, PhD.

### АННОТАЦИЯ

В статье описывается влияние нагрева медных обмоток и температуры внешней среды при протекании тока в обмотках статора на их сопротивление во время работы асинхронного двигателя. Также были проведены эксперименты в лабораторных условиях. Результаты показывают влияние трехфазного преобразователя на выходной сигнал. В результате эта величина выражается в изменении активного сопротивления обмоток статора асинхронного двигателя.

**Ключевые слова:** сопротивление; обмотка; статор; асинхронный двигатель; преобразователь; температур; нагрев.

### ABSTRACT

The article describes the effect of copper windings on the heating and temperature of the external environment when current flows in the stator windings during the operation of an asynchronous motor. There have also been laboratory experiments to detect this heat. The results show that the effect of the three-phase converter on the output signal is discussed in detail.

**Keywords:** resistance; winding; stator; asynchronous motor; converter; temperatures; heat.

### I. ВВЕДЕНИЕ

Во время работы электрические машины всегда нагреваются из-за потери энергии. При определении законов нагрева предполагается, что машина будет нагреваться условно по всему объему таким же образом, отвод тепла происходит по всей поверхности.

Давайте запишем уравнение теплового баланса для электрических машин [1, с 63]:

$$Qdt = Gcdt + S\lambda \tau dt, \quad (1)$$

$Qdt$  – количество тепла, выделяемого электрической машиной за элементарное время;

$Q$  – количество тепла, вырабатываемого электрической машиной в единицу времени;

$t$  – время;

$Gcdt$  – количество тепла, которое должно быть поглощено и затрачено на нагрев;

$G$  – масса электрической машины;

$c$  – удельная теплоемкость, количество тепла, которое расходуется на нагрев 1 кг массы за 1 °C при ;

$\tau$  – это разница между температурой электрической машины и температурой окружающей среды;

$S\lambda\tau dt$  – количество тепла, равномерно рассеиваемого от поверхности электрической машины к среде;

$S$  – площадь рассеивания тепла;

$\lambda$  – коэффициент рассеивания тепла.

## II. МЕТОДЫ

При запуске электрической машины температура нагрева будет такой же, как и у среды, т.е.  $\tau \approx 0$ , поскольку  $S\lambda\tau \times dt \approx 0$  тепло, вырабатываемое в электрических машинах, расходуется на повышение температуры их деталей. Позже количество тепла, рассеиваемого в окружающую среду, также увеличивается. Таким образом, через некоторое время электрическая машина нагреется настолько, что тепло, выделяемое машиной, начнет рассеиваться в окружающую среду. Когда повышение температуры прекращается, наблюдается тепловое равновесие, то есть тепло, выделяемое машиной, начинает рассеиваться в окружающую среду [1, с 20]

$$Q_{dt} = S\lambda\tau_{ycm} dt , \quad (2)$$

$\tau_{cm}$  – установочная температура электрической машины:

$$\tau_{ycm} = \theta_{ycm} - \theta_1, \quad (3)$$

$\theta_{ycm}$  – температура устойчивого нагрева электрической машины, °C.

Из (2)-й формулы мы получаем следующее:

$$\tau_{мур} = \frac{Q}{S\lambda} \quad (4)$$

Из (4)-й формулы видно, что температура стабильного нагрева электрической машины не зависит от массы машины, а зависит от площади рассеяния и от коэффициента рассеяния за единицу времени [2, с 17].

Зависимость температуры нагрева электрической машины от времени  $\tau$  определяется из следующего уравнения:

$$\tau = \tau_{уст} (1 - e^{-\frac{t}{T}}) \quad (5)$$

$e$  - основание натурального логарифма;

$T$  - постоянная нагрева.

$\tau = f(t)$  - на рисунке 1 показан график, основанный на (4) форме кривой нагрева.

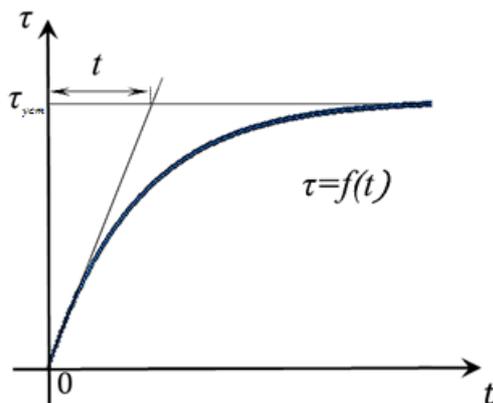


Рис.1. Кривая нагрева

Согласно рис.1, для достижения стабильной температуры нагрева электрической машины требуется много времени.

Отрезок касательной, проведенный кривой линии нагрева графика в начале, количественно равен постоянной нагрева  $\tau$ .

Согласно ГОСТ 183-74 для измерения состояния газа (окружающей среды) при температуре  $40^{\circ}\text{C}$ . Следовательно, повышение температуры деталей электрической машины определяется следующим выражением:

$$\tau = \tau_{уст} (1 - e^{-\frac{t}{T}}) \quad (6)$$

здесь  $\tau_{уст}$  - указана установочная температура нагрева деталей электрической машины.

Определение физической стабильной температуры электрической машины производится методом разности сопротивлений, то есть измеренного активного сопротивления  $r_1$  сопротивления обмотки электрической машины перед запуском и измеренного сопротивления  $r_2$  во время достижения стабильного нагрева. Это количество времени зависит от режима работы электрической машины.

Установочная температура нагрева обмотки

$$\theta_{уст} = \frac{r_2 - r_1}{\lambda r_1} + \theta_1 \quad (7)$$

$\theta_1$  – температура обмотки перед запуском электрической машины,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\lambda$  - температурный коэффициент, для меди и алюминия  $\lambda = 0.004 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ .

Изучив, насколько близки определенные температуры нагрева обмоток к стандартным показателям во время эксплуатации, мы можем оценить энергетическую эффективность машины. С этой целью мы изучаем процесс нагрева обмоток асинхронного электродвигателя с замкнутым ротором и изменение активных сопротивлений обмоток статора.

### III. РЕЗУЛЬТАТЫ

Исследуемый трехфазный электродвигатель с замкнутым ротором мощностью 750 Вт, обмотки статора подключены к сети звездой (рис.2).

В исходном состоянии, то есть перед включением в сеть (температура в статорной части  $\tau = 33,2 \text{ } ^\circ\text{C}$ ), результаты измерения сопротивлений приведены ниже:

- 1) U1 – U2, 10,14 Ом;
- 2) V1 – V2, 10,18 Ом;
- 3) W1 – W2, 10,19 Ом.

После запуска электродвигателя начинается нагрев, температура повышается, и в результате также увеличивается сопротивление обмоток статора, которое рассчитывается с использованием приведенного ниже выражения [3, с 32]

$$R_2 = R_1(1 + \lambda(t_2^0 - t_1^0)) \quad (8)$$

После запуска электродвигателя мы можем контролировать температуру с помощью датчика, расположенного на части статора. С увеличением продолжительности работы электродвигателя наблюдается повышение температуры. То есть после запуска электродвигателя [4, с 56]

- через 3 минуты работы показания датчика составили  $37,5^\circ \text{C}$ ;
- через 23 минуты работы показания датчика составили  $55,1^\circ \text{C}$ ;
- через 37 минут работы показания датчика составили  $62,8^\circ \text{C}$ .

После последнего измерения температуры электродвигатель отключается от сети и измеряются активные сопротивления обмотки статора, мы получаем следующие результаты:

- 1) U1 – U2, 11,40 Ом;
- 2) V1 – V2, 11,45 Ом;
- 3) W1 – W2, 11,43 Ом.

Полученные результаты показывают, что в рабочем состоянии асинхронного двигателя происходит изменение сопротивления обмоток статора, величина изменения зависит от продолжительности работы и от силы тока, протекающего через обмотки статора [5, с 35].

Для изучения влияния изменений сопротивления обмоток статора на сигналы в виде выходных напряжений измерительных элементов, расположенных на пазах статора, рассмотрим работу трехфазного асинхронного двигателя с тремя измерительными элементами, расположенными на пазах статора (рис.2) [6, с 3].



Рис. 2. Трехфазный асинхронный электродвигатель с тремя измерительными обмотками

После запуска асинхронного электродвигателя мы рассчитываем отрицательное напряжение на выходах трехэлементных преобразователей тока в напряжение, расположенных на пазах статора ( $u_1-u_2$ ,  $v_1-v_2$ ,  $w_1-w_2$ ) для постоянных нагрузок. После запуска электродвигателя, через три минуты после запуска на выходах напряжения преобразователя тока:

1)  $u_1 - u_2$ , 3,665 В;

2)  $v_1 - v_2$ , 3,631 В;

3)  $w_1 - w_2$ , 3,721 В;

- идентифицировано после завершения 23-минутной работы:

1)  $u_1 - u_2$  да 3,658 В;

2)  $v_1 - v_2$  да 3,619 В;

3)  $w_1 - w_2$  да 3,71 В;

- идентифицировано после завершения 31 минуты работы:

1)  $u_1 - u_2$  да 3,656 В;

2)  $v_1 - v_2$  да 3,616 В;

3)  $w_1 - w_2$  да 3,714 В.

#### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как показывают полученные результаты, изменения сопротивления обмоток статора на выходах преобразователя трехфазного тока в напряжение приведут к соответствующему изменению сигналов в виде напряжений

$$U_{u1-u2} = \frac{U_1 - \sqrt{R_1^2 + X_1^2} \cdot I_1}{w_1 / w_{изм.}} ;$$

здесь  $U_1$  - напряжение обмоток статора на клеммах,  $I_1$  - ток, проходящий через обмотки статора,  $R_1$ ,  $X_1$  - активное и реактивное сопротивления обмоток статора,  $w_1$  - количество витков обмоток статора,  $w_{изм.}$  - количество витков измерительной обмотки.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ: (REFERENCES)

1. Однолько, Д. С. Совместная идентификация активного сопротивления статора и ротора асинхронного двигателя на интервале широтно-импульсной модуляции / Д. С. Однолько // Электротехника. – 2013. – № 5. – С. 16-20.
2. Шахова С. Н., Тарасова В. В. О методах расчета средних превышений температур электрических двигателей // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2013. – №. 9 (115). – С. 61-68.
3. Сиддиков И. Х., Анарбаев М. А., Махсудов М. Т. Преобразователи сигнала величины тока для систем управления источниками реактивной мощности // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань: ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2018. № 1 (23). С. 53–56.
4. Сиддиков И. Х., Махсудов М. Т., Боиханов З. У. Схема замещения и анализ работы асинхронного двигателя при потреблении реактивной мощности // Главный энергетик. – 2021. – №. 7. – С. 29-33.
5. Махсудов М. Т. МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ТРЕХФАЗНОГО ТОКА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ // Universum: технические науки. – 2021. – №. 4-1. – С. 33-36.
6. Siddikov I. K. et al. Technological aspects of modelling and research of smart grid // 2019 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT). – IEEE, 2019. – С. 1-5.