УДК 621.313.323

А.О. Жданов, В.А. Трефилов

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

ХАРАКТЕРИСТИКИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ РАЗЛИЧНОГО НОМИНАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ МОЩНОСТЬЮ 110 КВТ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ВЕНТИЛЯТОРА ВМЭ-12

Представлены рабочие характеристики асинхронных двигателей мощностью 110 кВт электропривода вентилятора ВМЭ-12, полученные в результате их электромагнитного расчета на номинальные напряжения 660, 1140, 6000 В. Приведена математическая модель электротехнического комплекса «источник напряжения – кабельная линия – асинхронный двигатель», реализованная в среде Simulink, на которой исследовались переходные пусковые режимы двигателей. Сравнительный анализ рабочих характеристик и переходных пусковых режимов показал, что для вентилятора ВМЭ-12 лучшие показатели имеет двигатель с номинальным напряжением 6000 В.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, рабочие характеристики, математическая модель: «источник напряжения – кабельная линия – асинхронный двигатель», пусковые режимы.

A.O. Zhdanov, V.A. Trefilov

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

CHARACTERISTICS OF ASYNCHRONOUS ENGINES WITH 110 KW HAVING DIFFERENT RATED VOLTAGE USED AS ELECRIC DRIVE FOR FANS VME-12

Some performance characteristics of 110 kW asynchronous engines of VME-12 fans are being presented in the article. They have been worked out for engines having rated voltage of 660, 1140, 6000 V. Mathematical model of an electrotechnical complex «power source – cables – anynchronous engine» has been given. It was implemented in Simulink modeling system and used for Mathematical model of an electrotechnical complex “power source – cables – anynchronous engine analysis of transitional starting modes of engines. Comparative analysis of characteristics and transitional starting modes has proved that VME-12 fan have the best performance when powered by 6000 V engine.

Keywords: asynchronous engine, performance characteristics, mathematical model “power source – cables – anynchronous engine”, starting modes of engines.

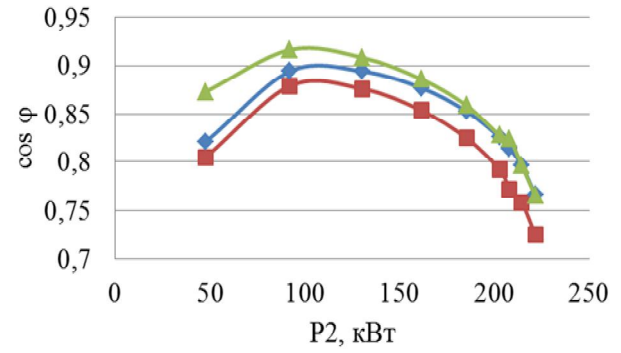
В настоящее время в энергетике наметилась определенная тенденция в создании и использовании потребителей электрической энергии с повышенным уровнем питающего напряжения. При увеличении уровня питающего напряжения уменьшается ток, протекающий по линии электропередачи, следовательно, может быть увеличена токовая нагрузка в линии. В соответствии с ГОСТ 13109-99 падение напряжения в линии электропередачи не должно превышать 5 %. С ростом уровня напряжения и уменьшением тока падение напряжения в линии при неизменной её длине уменьшается, поэтому при росте уровня напряжения одну и ту же мощность можно передать на значительно большее расстояние. Во многих зарубежных странах при увеличении единичной и суммарной мощностей электродвигателей и при необходимости обеспечения их паспортной производительности осуществляется перевод участковых электрических сетей с напряжения 660–1140 В на уровень номинального напряжения 6 кВ.

В технических данных двигателя вентилятора ВМЭ-12 указана возможность его работы при уровнях напряжения 660 В и 1140 В. Уровень напряжения 6000 В рассмотрен в связи с тем, что при его использовании из схемы электроснабжения исключается понижающий трансформатор с первичным напряжением 6 кВ. Это может значительно снизить капитальные затраты на электроустановку.

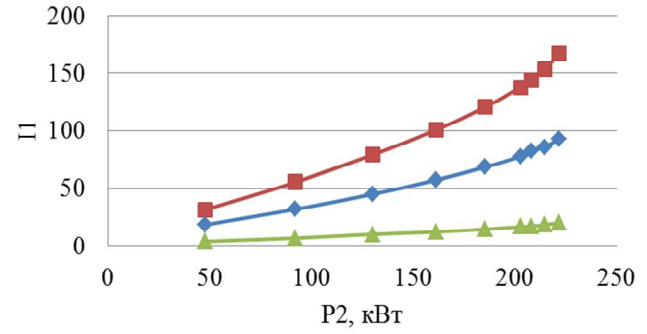
На рис. 1 приведены рабочие характеристики трех двигателей с различным уровнем номинального напряжения, полученные в результате их электромагнитного расчета.

Из рабочих характеристик видно, что двигатель с номинальным напряжением 6000 В обладает наибольшими коэффициентом мощности и КПД и наименьшим током статора.

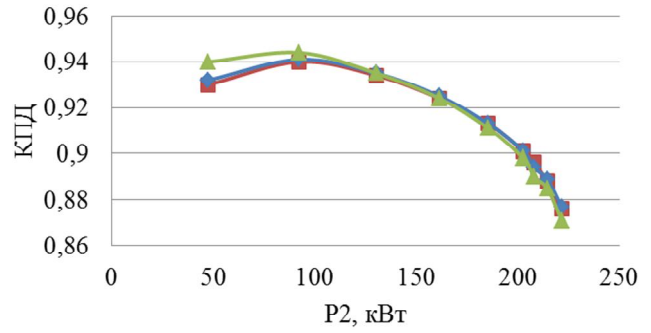
Исследование переходных пусковых режимов проведено с целью получения пусковых моментов и токов, а также времени пуска двигателя. Математическая модель (см. рис. 1) рабочих характеристик двигателей с различным питающим напряжением электротехнического комплекса «Источник напряжения – кабельная линия – асинхронный двигатель» создана в среде SIMULINK в системе координат α, β. Моделирование переходных процессов проведено в относительных единицах, где за базовые взяты соответствующие величины асинхронного двигателя [2]. В качестве двигательной нагрузки рассмотрен асинхронный электродвигатель марки ВРМ-280.



а



б



в

Рис. 1. Рабочие характеристики двигателей с различным питающем напряжением: 660 В; 1140 В; 6000 В

Была сформирована математическая модель асинхронного двигателя с нагрузкой, кабельной линией и источником напряжения. Математическая модель составлена на основании:

а) дифференциальных уравнений, описывающих электромеханические процессы в двигателе:

$$d\Psi_{1\alpha} = u_{1\alpha} - r_{c\sigma}\, i_{1\alpha};$$

$$d\Psi_{1\beta} = u_{1\beta} - r_{c\sigma}\, i_{1\beta};$$

$$d\Psi_{2\alpha} = -\omega\, \Psi_{2\beta} - r_{r\sigma} \cdot i_{2\alpha}$$

$$d\Psi_{2\beta} = \omega\, \Psi_{2\alpha} - r_{r\sigma}\, i_{2\beta};$$

$$d\omega = (m - m_c) / T_m;$$

б) алгебраических уравнений, описывающих электромагнитные связи в обмотках:

$$\Psi_{1\alpha} = (x_{c\sigma} + X_m) \cdot i_{1\alpha} + X_m \cdot i_{2\alpha};$$

$$\Psi_{1\beta} = (x_{c\sigma} + X_m) \cdot i_{1\beta} + X_m \cdot i_{2\beta};$$

$$\Psi_{2\alpha} = (x_{r\sigma} + X_m) \cdot i_{2\alpha} + X_m \cdot i_{1\alpha};$$

$$\Psi_{2\beta} = (x_{r\sigma} + X_m) \cdot i_{2\beta} + X_m \cdot i_{1\beta};$$

в) уравнения напряжений линии электропередачи:

$$u_{1\alpha} = u_{\alpha и} - r_1\, i_{1\alpha} - x_1\, di_{1\alpha} / dt;\; u_{1\beta} = u_{\beta и} - r_1\, i_{1\beta} - x_1\, di_{1\beta} / dt,$$

где $\Psi_{1\alpha}$, $\Psi_{1\beta}$, $\Psi_{2\alpha}$, $\Psi_{2\beta}$, $i_{1\alpha}$, $i_{1\beta}$, $i_{2\alpha}$, $i_{2\beta}$ – составляющие потокосцепления и токи статора и ротора по осям α и β; ω – частота вращения ротора; $r_{c\sigma}$, $r_{r\sigma}$, $x_{c\sigma}$, $x_{r\sigma}$ – активные и индуктивные сопротивления рассеяния обмоток статора и ротора; m – электромагнитный момент двигателя, $m = \Psi_{1\alpha} \cdot i_{1\beta} - \Psi_{1\beta} \cdot i_{1\alpha}$; m_c – вентиляторный момент сопротивления, $m_c = m_{c0} + (m_{cк} - m_{c0}) \cdot \omega^2$; T_m – электромеханическая постоянная привода; $u_{\alpha и}$, $u_{\beta и}$, $u_{1\alpha}$, $u_{1\beta}$ – составляющие напряжения источника и двигателя по осям α и β;

Для линии электропередачи выбран силовой бронированный шахтный кабель СБШВ-6. Выбор марки кабеля производился по допустимой потере напряжения в конце линии, равной величине 5 % от номинального напряжения (6 кВ), при длине линии 100 м. Активное и индуктивное сопротивления такого кабеля в относительных единицах имеют следующие величины: $r_1 = 0{,}052$ о.е., $x_1 = 0{,}0087$ о.е.

В качестве примера на рис. 2 приведены временные зависимости модуля результирующего тока статора, электромагнитного момента и частоты вращения ротора асинхронного двигателя с $U_{ном} = 660$ В при его пуске.

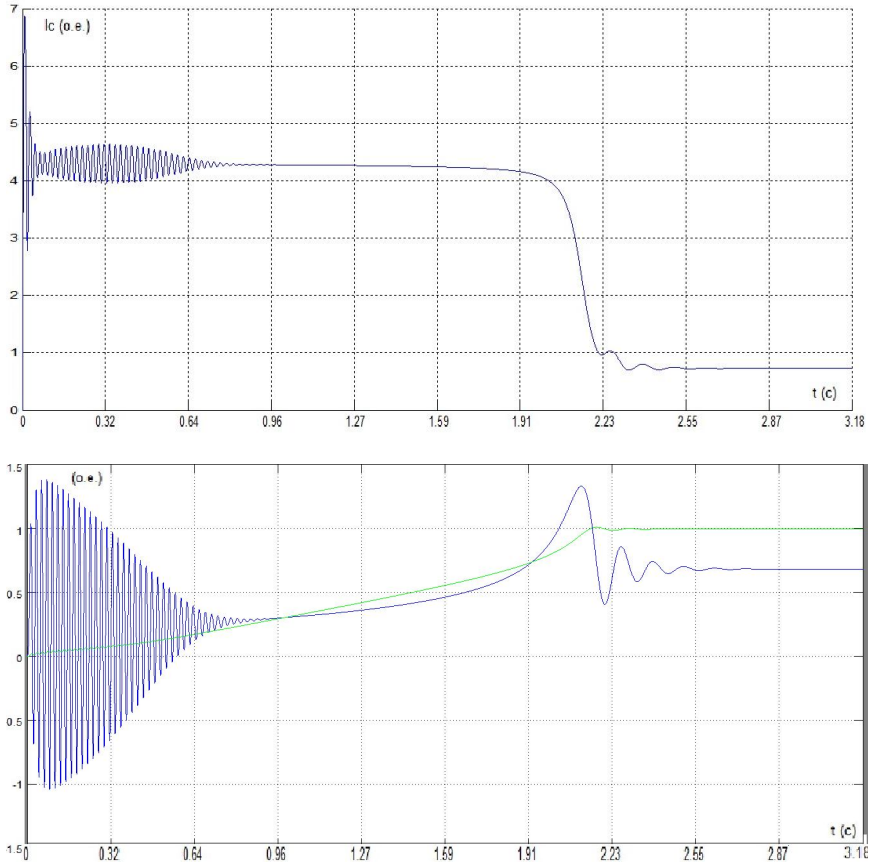


Рис. 2. Временные зависимости модуля результирующего тока статора, электромагнитного момента и частоты вращения ротора

В таблице представлены численные значения основных величин, характеризующих переходные процессы при пуске асинхронного двигателя с разным уровнем питающего напряжения.

Основные величины, характеризующие переходные процессы при пуске асинхронного двигателя

Наименование величины	Расчетное значение при $U_{ном}$, В		
	660	1140	6000
Ударный ток при пуске (А)	474,26	250	53,47
Ударный момент при пуске (о.е.)	1,377	1,326	1,439
Критический момент (о.е.)	1,33	1,11	1,21
Напряжения на двигателе при пуске (о.е.)	1,038	1,045	1,049
Время пуска (с)	2,4	2,23	1,67
КПД двигателя	0,94	0,94	0,96
КПД электротехнического комплекса в целом	0,93	0,93	0,95

Сравнительный анализ рабочих и пусковых характеристик асинхронных двигателей мощностью 110 кВт с разным уровнем номинальных напряжений (660, 1140, 6000 В) показал, что для вентилятора ВМЭ-12 лучшими показателями обладает двигатель с номинальным напряжением 6000 В.

Библиографический список

1. Проектирование электрических машин / И.П. Копылов, Б.К. Клоков, В.П. Морозкин, Б.Ф. Токарев. – М.: Высшая школа, 2002. – 378 с.

2. Сипайлов Г.А., Лоос А.В. Математическое моделирование электрических машин. – М.: Высшая школа, 1980. – 178 с.

Сведения об авторах

Жданов Артем Олегович (Пермь, Россия) – студент кафедры электротехники и электромеханики Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: lis@pstu.ac.ru)

Трефилов Владимир Алексеевич (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники и электромеханики Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: trefilov@pstu.ru).

About the authors

Zhdanov Artyom Olegovich (Perm, Russian Federation) is a student of the Department of Electrical Engineering and Electromechanics, Perm National Research Polytechnic University (614990, 29, Komsomolsky pr., Perm, e-mail: lis@pstu.ru).

Trefilov Vladimir Alexeevich (Perm, Russian Federation) is PhD of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Electrical Engineering and Electromechanics, Perm National Research Polytechnic University (614990, 29, Komsomolsky pr., Perm, e-mail: trefilov@pstu.ru).

Получено 06.09.2013