



УДК 621.314

Попов Сергей Васильевич, доцент, к.т.н. кафедры электротехники и электрооборудования объектов водного транспорта ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

Гуляев Владимир Викторович, доцент, к.т.н. кафедры электротехники и электрооборудования объектов водного транспорта ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

Бурмакин Олег Анатольевич, доцент, к.т.н. кафедры электротехники и электрооборудования объектов водного транспорта ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

Малышев Юрий Сергеевич, доцент, к.т.н. кафедры электротехники и электрооборудования объектов водного транспорта ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

«Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»),
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СУДОВОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Ключевые слова: трансформатор, асинхронный двигатель, пуск электродвигателя, пусковой ток, модель трансформаторного пуска.

Аннотация. В статье рассмотрено применение трансформатора для согласования напряжения судовой сети и напряжения питания электродвигателя. Указаны особенности пуска асинхронного двигателя от трансформатора. Приведено обоснование для разработки имитационной модели этого метода пуска для изучения переходных процессов и формирования рекомендаций для выбора параметров трансформатора для пуска асинхронного двигателя определенной мощности.

В современном судостроении периодически возникает проблема выбора электрооборудования. К сожалению, отечественная промышленность не может предложить стандартный ряд электрооборудования, имеющий 5-6 номинальных параметров, например, мощности или скорости вращения электропривода. Это касается основного электрооборудования, которое должно быть установлено на судне – лебедок, рулевых машин, насосов и т.д. Зарубежные аналоги имеют завышенную цену на электрооборудование, и вместе с тем, значительный срок поставки и «размытые» представления об обслуживании.

В ряде случаев подходящее по механическим параметрам электрооборудование имеет не согласованные с судовой сетью значения питающего напряжения. Так, например, лебедка, удовлетворяющая требованиям по скорости и моменту, имеет значение питающего напряжения электродвигателя 380 В, а напряжение судовой сети 220 В.

Самым простым способом решения указанной проблемы является согласование величин напряжений с помощью трансформатора [1]. Так, повышающий трансформатор

должен иметь первичную обмотку на напряжение 220 В, а вторичную (выходную) обмотку с напряжением 380 В.

Вторым вопросом использования метода запуска электродвигателя с помощью трансформатора является порядок включения: одновременное, когда силовой контактор подключает к цепи питания первичную обмотку трансформатора с подключенной обмоткой статора электродвигателя к вторичной обмотке трансформатора (рисунок 1); раздельно-последовательное, которое заключается в поочередном подключении питания - сначала пуск трансформатора, а затем пуск электродвигателя (рисунок 2).

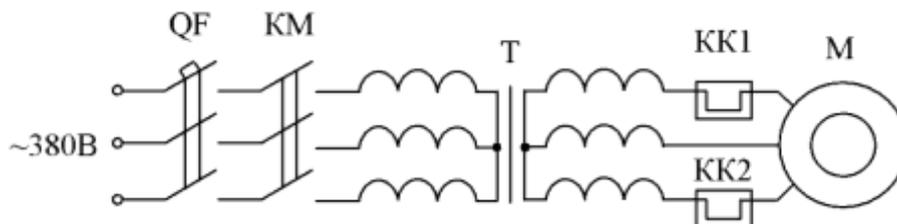


Рис. 1. Схема «трансформаторного» совместного пуска АД

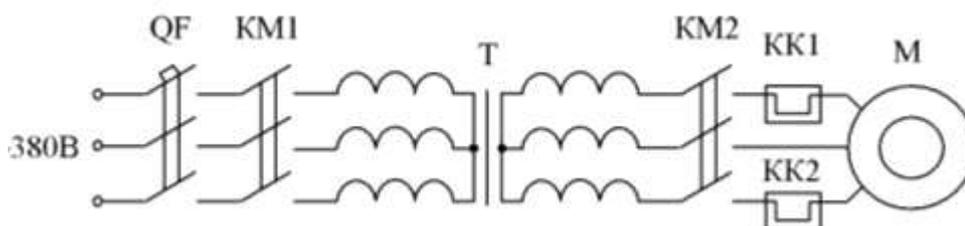


Рис. 2. Схема «трансформаторного» последовательного пуска АД

Из теории известно [2], что при подключении трансформатора к источнику питания возникает пусковой ток, превышающий номинальный. При переходном процессе ток i_1 имеет две составляющие: установившийся ток i_1 , обусловленный действием приложенного напряжения u_1 и свободный ток i_1 , апериодического характера, затухающий до нуля с постоянной времени. Во многих случаях максимальные всплески тока могут превышать в 100-150 раз амплитуду номинального тока.

Определить значение кратности пускового тока возможно из выражения:

$$\frac{I_{1\max}}{(\sqrt{2}I_{1\text{НОМ}})} = \left(\frac{1}{u_K} \right) (1 + e^{-\pi/(\omega\tau)}).$$

При этом напряжение на электродвигателе (рисунок 1), определяемое из выражения

$$\dot{U}_2 = - \frac{jx_{12}}{r_1 + x_{11}} \dot{U}_1 - (r_2 + jx_{22}) \left[1 - \frac{(jx_{12})^2}{(r_1 + jx_{11})(r_2 + jx_{22})} \right] \dot{I}_2,$$

зависит от параметров обмоток трансформатора и тока нагрузки.

При подключении трансформатора к сети без нагрузки (рисунок 2) напряжения вторичной цепи определяется по выражению:

$$\dot{U}_{20} = - \frac{jx_{12}}{r_1 + jx_{11}} \dot{U}_1.$$

Классические внешние характеристики трансформатора показаны на рисунке 3, а.

Кроме того, пуск электродвигателя также сопровождается значительным пусковым током, что окажет существенное влияние на работу трансформатора [3]. При этом, исходя из внешней характеристики трансформатора (рисунок 3, а), напряжение на выходной обмотке трансформатора будет ниже номинального, а значит, процесс запуска электродвигателя будет выполняться при пониженном напряжении. Поскольку момент электродвигателя имеет квадратичную зависимость от величины напряжения, он будет существенно снижен, поэтому механизм с номинальной нагрузкой может не запуститься (рисунок 3, б). Отсюда следует, что стоянка электродвигателя под током вызовет срабатывание защиты по перегрузке, и электродвигатель отключится от цепи питания. Иными словами, «трансформаторный» пуск электродвигателя будет возможен только при расчете характеристик электрооборудования и согласовании их мощностей [4].

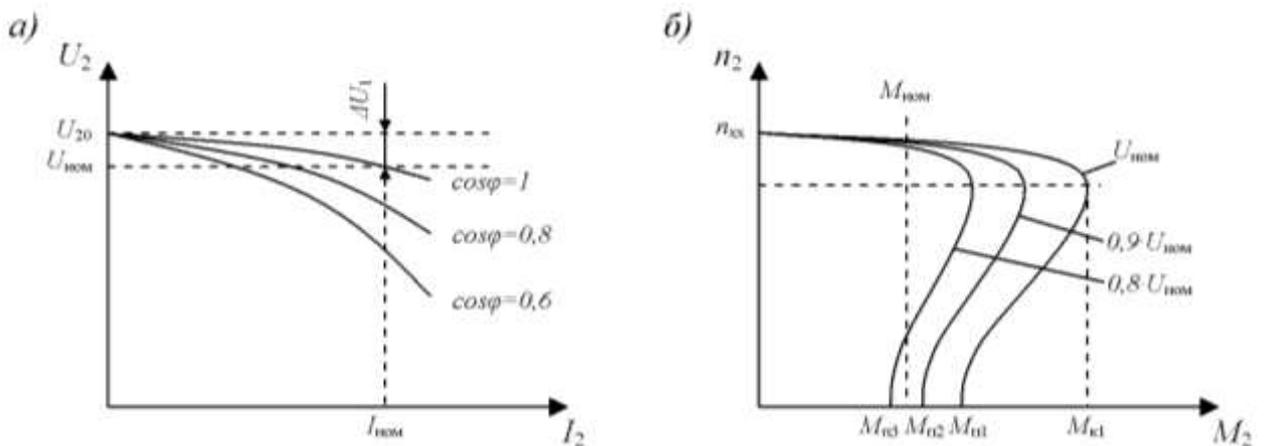


Рис. 3. Характеристики: а – внешняя трансформатора при различном характере нагрузки, б – механическая асинхронного двигателя при изменении питающего напряжения.

Для детального анализа переходных процессов указанной системы пуска необходимо составить математическую модель, которая позволит найти зависимости для удобного определения и выбора параметров электрооборудования.

Моделирование указанного способа пуска электродвигателя может дать ответы на следующие вопросы:

- влияние пусковых процессов двигателя на величину напряжения и определение необходимой мощности трансформатора в зависимости от мощности двигателя;
- оценку электрических параметров при пуске системы и влияние на судовую сеть;
- влияние на показатели переходных процессов при выборе группы соединения обмоток трансформатора.

Список литературы:

1. Карпов Ф.Ф. Как проверить возможность подключения к электрической сети двигателей с короткозамкнутым ротором. Изд. 3-е., перераб., М.: «Энергия», 1971, 88 стр.
2. Вольдек А.И., Попов В.В. Электрические машины. Машины переменного тока. Учебник для вузов. – СПб., Питер, 2008 – 350 с.
3. Петушков М.Ю. Исследование трансформаторного пускового устройства асинхронных двигателей // Фундаментальные исследования. – 2011. – № 12-3. – С. 584-586; URL: <http://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=29207>.
4. Сибикин, Ю. Д. Справочник молодого рабочего по эксплуатации электроустановок промышленных предприятий: Для ПТУ / Ю. Д. Сибикин . – 3-е изд., испр. и доп. – М. : Высшая школа, 1992 – 174.

FEATURES OF SHIP ELECTRICAL EQUIPMENT APPLICATION

Sergey.V. Popov, Vladimir.V. Gulyayev, Oleg.A. Burmakin, Yuriy. S. Malyshev

Keywords: transformer, asynchronous motor, electric motor start - up, starting current, transformer start-up model.

Annotation. The article considers the use of a transformer for matching the ship's network voltage and the power supply voltage of the electric motor. The features of starting an asynchronous motor from a transformer are specified. The justification for the development of a simulation model of this start-up method for studying transients and forming recommendations for selecting transformer parameters for starting an asynchronous motor of a certain power is given.