

УДК 62-83:621.313.333

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСФОРМАТОРНОГО ПУСКОВОГО УСТРОЙСТВА АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ****Петушков М.Ю.***ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»,  
Магнитогорск, e-mail: petyshkov@magtu.ru*

Рассматривается трансформатор как пусковое устройство для асинхронных двигателей. Перевод трансформатора в режим короткого замыкания приведёт к снижению напряжения на его первичных обмотках и одновременному снижению напряжения на двигателе. По окончании разгона ток двигателя снижается, а напряжение на его обмотках достигает номинального значения. Характеристики пускового устройства определяются главным образом характеристиками трансформатора. Проводится анализ возможности применения трансформаторов различной мощности для пуска двигателей на основе экспериментальных данных. При мощности двигателя меньше, чем мощность трансформатора происходит незначительное снижение пускового тока. Целесообразно применять в качестве пускового устройства трансформаторы мощностью в 2–3 раза меньшей, чем мощность электропривода. В статье даются рекомендации по применению трансформаторов как пусковых устройств.

**Ключевые слова:** асинхронный двигатель, пусковое устройство, мощность трансформатора, пусковой ток**INVESTIGATION OF TRANSFORMER STARTER OF INDUCTION MOTORS****Petushkov M.Y.***FGBOU VPO «Magnitogorsk State Technical University them. G.I. Nosov», Magnitogorsk,  
e-mail: petyshkov@magtu.ru*

Transformer is considered as a starter for induction motors. The switch of the transformer to short-circuit conditions will result in voltage reduction in its primary windings and in the motor at the same time. In the final stage of the acceleration mode motor current decreases and the voltage in its windings attains its nominal value. The characteristics of the starter depend mainly on the characteristics of the transformer. The author carries out the analysis of the possibility of using different power transformers for motor starting on the basis of experimental data. If the motor capacity is larger than the transformer power, starting current decreases a little. It seems reasonable that transformers used as starters should have rated power 2 to 3 times as little as the drive power. The recommendations on the use of transformers as starters are given in the article.

**Keywords:** Induction motor, starting device, transformer power, starting current

Процесс пуска асинхронного электродвигателя был и остается наиболее ответственным режимом работы электродвигателя, в большей мере определяет его ресурс и ресурс работы электропривода в целом. Это особенно актуально для приводов с нормальными и тяжелыми условиями пуска (вентиляторов, эксгаустеров, насосов), где кратность токов перегрузки достигает максимальных величин. Достижения в области плавного пуска асинхронных электродвигателей как частотным, так и фазовым методами столь впечатляющи, что необходимость плавного пуска не вызывает уже никакого сомнения у большинства потребителей, но вопросы, связанные с применением пусковых устройств, остаются.

Преимущества плавного пуска, в сравнении с прямым, хорошо известны, вот основные: уменьшаются значения пусковых токов до 1,5–3 кратного значения и, как следствие, снижается риск механического разрушения привода и вала двигателя, уменьшаются электромеханические усилия в обмотках электродвигателя, пуск электропривода на открытую задвижку практически не отличается от пуска на закрытую задвижку.

Сравнивая частотный метод пуска с фазовым, можно выделить преимущества первого: возможность разгона электропривода по любому алгоритму и возможность регулирования оборотов электродвигателя и, следовательно, технологического процесса, который этот электродвигатель обслуживает. Вместе тем при массовом внедрении частотных электроприводов потребитель начинает сталкиваться с негативными явлениями работы преобразователя: появлением гармонических составляющих на стороне двигателя (в основном) и на стороне сети. Это связано с несовершенством или, чаще всего, с отсутствием вообще фильтрокомпенсирующих устройств из-за их высокой стоимости. К недостаткам преобразователей относятся высокая стоимость самих преобразователей, сложность технического решения, большие потери от прямого падения напряжения на силовых элементах, необходимость выполнения рекомендаций производителей по снижению загрузки по мощности и необходимость выбора мощности пускового устройства соизмеримой с мощностью электропривода.

В условиях реструктуризации производства в ОАО «ММК» образовался резерв

трансформаторного оборудования, тиристорных преобразователей и возбудителей постоянного тока. В этих условиях имеется возможность использования освобождающегося из эксплуатации оборудования для создания трансформаторно-тиристорных и трансформаторных пусковых устройств. С этой целью были разработаны различные варианты построения ПУ на основе трансформаторов [1, 2]. Один из вариантов построения такого устройства показан на рис. 1.

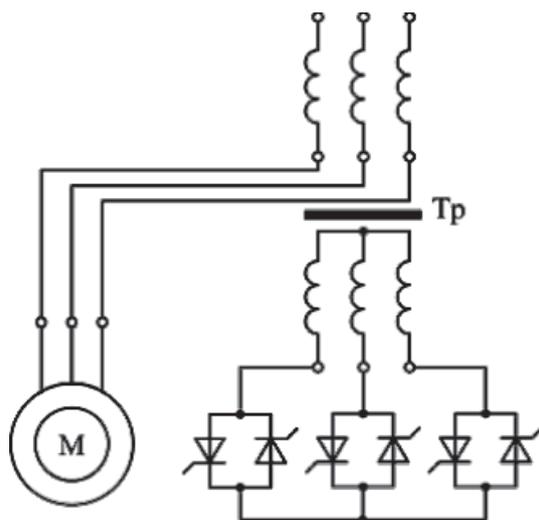


Рис. 1. Схема трансформаторно-тиристорного пускового устройства

Перевод трансформатора в режим короткого замыкания приведет к снижению напряжения на его первичных обмотках и одновременному снижению напряжения на двигателе. По окончании разгона ток двига-

теля снижается, а напряжение на его обмотках достигает номинального значения.

Напряжение на первичных обмотках трансформатора определяется только падением напряжения на их сопротивлениях.

Сказанное удобно пояснить схемой замещения на рис. 2. В этой схеме трансформатор и двигатель представлены классическими Т-образными схемами замещения.

Очевидно, что характеристики пускового устройства определяются главным образом характеристиками трансформатора. Проведем оценку выбора трансформатора для пускового устройства.

В качестве трансформаторного пускового устройства используем трансформатор ТСЗИ-1,6. Двигатели выбраны типа 4А с синхронной частотой вращения 1500 об./мин, номинальной мощностью как меньше так и больше, чем номинальная мощность используемого трансформатора.

Как видно из табл. 1, с увеличением мощности двигателя время пуска увеличивается, а начальное напряжение на нем уменьшается. Двигатель мощностью 11 кВт до номинальной скорости вращения разгонялся более 20 с, что по условиям эксплуатации недопустимо. При мощности двигателя меньше, чем мощность трансформатора, происходит незначительное снижение пускового тока. Характеристики переходного процесса пуска были сняты с помощью анализатора качества энергии НЮКИ 3197, обработанные результаты специализированной программой в виде обобщенных векторов пускового тока с трансформаторным пусковым устройством и без него приведены на рис. 3.

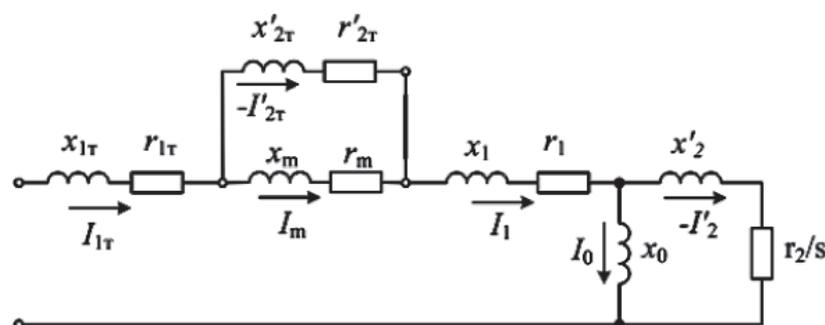


Рис. 2. Схема замещения системы «Трансформаторный пускатель – асинхронный двигатель»

После реконструкции в цехах горно-обогатительного производства ОАО «ММК» имеются трансформаторы типа ТСЗВ-40 и ТСЗ-63. Для определения диапазона мощностей двигателей, на которые можно применять трансформаторы такого типа, выбраны: двигатель насоса типа МО 45 кВт и двигатель эксгаустера 4А 132 кВт. Результаты приведены в табл. 2.

Основной вывод проведенных исследований – целесообразно применять в качестве пускового устройства трансформаторы мощностью в 2–3 раза меньшей, чем мощность электропривода, а мощность преобразовательной установки снижается в 10 раз. Опыт применения подобных разработок в электроприводах напряжением до 1 кВ позволяет распространить предлагае-

Таблица 1

Сравнение пусковых характеристик двигателей с трансформатором ТСЗИ-1,6

Мощность двигателя, кВт	Максимальное значение пускового тока при прямом пуске, А	Время прямого пуска, с	Максимальное значение пускового тока при трансформаторном пуске, А	Время трансформаторного пуска, с	Начальное напряжение на двигателе, В
0,6	7,5	0,07	5,7	0,1	300
1,5	34	0,08	18	0,19	220
2,2	37	0,08	22	0,25	210
5,5	130	0,17	33	0,34	150
7,5	180	0,05	41	0,475	114
11	210	0,09	58	20	80

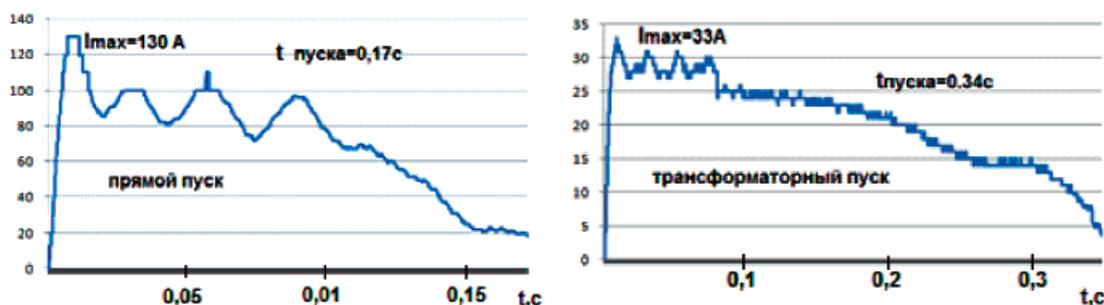


Рис. 3. Обобщенный вектор пускового тока двигателя 5,5 кВт

Таблица 2

Сравнение пусковых характеристик двигателей с трансформаторами ТСЗВ-40 и ТСЗ-63

Мощность двигателя, кВт	Максимальное значение пускового тока при прямом пуске, А	Время прямого пуска, с	Максимальное значение пускового тока при трансформаторном пуске, А	Время трансформаторного пуска, с	Начальное напряжение на двигателе, В
45	910	0,375			
тр-р 40			750	0,447	300
тр-р 63			820	0,54	320
132	2200	0,45			
тр-р 40			1000	1,5	190
тр-р 63			1450	1,15	205

мые пусковые устройства для пуска высоковольтных электроприводов.

По материалам НИР, выполняемой в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2012 годы» по контракту ГК НК- 66(7) № П232.

#### Список литературы

1. Исследование типовых процессов пуска на модели системы «Трансформаторно-тиристорный пускатель-асинхронный двигатель» / Д.М. Анисимов, М.В. Вечеркин, И.А. Сарваров, М.Ю. Петушков // Электротехнические системы и комплексы: Межвузовский сб. науч. тр. – Вып. 15. – Магнитогорск, 2008. – С. 177–181.

2. Методологические аспекты модернизации металлургических электроприводов. Электроэнергетика и Автоматизация в металлургии и машиностроении / Д.М. Анисимов, В.Б. Славгородский, А.С. Сарваров, М.Ю. Петушков: Международная конференция. – Магнитогорск 2008. – С. 100–112.

3. Пути совершенствования энергосбережения средствами электропривода на металлургических предприятиях / Д.М. Анисимов, М.Ю. Петушков, А.С. Сарваров, И.А. Сарваров, А.М. Валяева // Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании:

сборник научных трудов международной научно-практической конференции. – Том 3. – Одесса, 2009. – С. 62–68.

4. Моделирование процесса детерминированного пуска АД на базе трансформаторно-тиристорного пускового устройства / А.С. Сарваров, М.Ю. Петушков, Д.М. Анисимов, И.А. Сарваров, В.Б. Славгородский // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – Вып. 3. Часть 3. – Тула, 2010. – С. 122–127.

5. Анализ состояния электроприводов агрегатов ГОП ОАО «ММК» и пути модернизации / А.С. Сарваров, М.Ю. Петушков, М.В. Вечеркин, Д.Ю. Усатый, Д.М. Анисимов, // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. – 2011. – №3(35). – С. 8–11.

#### Рецензенты:

Цытович Л.И., д.т.н., профессор, зав. кафедрой ЭПА, ФГБОУ «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» Минобрнауки, г. Челябинск;

Усынин Ю.С., д.т.н., профессор, ФГБОУ «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» Минобрнауки, г. Челябинск.

Работа поступила в редакцию 05.10.2011.