

УДК 621.313.333.001.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ С РАЗЛИЧНЫМИ РОТОРАМИ

Мартынов В.Н., Олейников А.М.

Представлены результаты экспериментального исследования переходных процессов в асинхронных двигателях малой и средней мощности с короткозамкнутым и двухслойным роторами при пусках в различных условиях, показаны преимущества двигателя с двухслойным ротором в части снижения электромагнитных переходных моментов, токов и времени пуска, существенного снижения влияния на судовую сеть.

Основным элементом современного судового электропривода (ЭП) является АД с короткозамкнутым ротором (АДКР), а одна из главных проблем их эксплуатации заключается в высокой интенсивности электромагнитных переходных процессов, оказывающих отрицательное влияние как на состояние самого АД, так и на судовую сеть. Именно эта проблема существенно проявляется в ЭП грузоподъемных механизмов, якорно-швартовных, рулевых электромеханических и подруливающих устройств и многих других, для которых определяющее значение имеют пусковые токи и потери энергии. На практике имели место случаи массового выхода из строя многоскоростных АДКР судовых грузоподъемных механизмов из-за выплавления клетки ротора, что явилось следствием тяжелых динамических режимов, сопровождаемых большими электродинамическими и термическими напряжениями.

Типичным примером такого судового механизма является пожарный насос с АД, пуск которого особенно от генератора соизмеримой мощности часто бывает затруднен или вообще невозможен из-за больших пусковых токов, в 5-7 раз превышающих номинальный, и значительного снижения (на 25-30%) напряжения сети.

Наилучшими характеристиками в переходных режимах обладают АД с двухслойным ротором (АДДР) [1], имеющие меньшие по сравнению с АДКР (в 1,5-2 раза) пусковые токи и большие (в 1,4-1,8 раза) пусковые моменты. Как следствие, снижается время пуска, а пусковые потери в них уменьшаются в 3-5 раз. К тому же двухслойный ротор не имеет элементов, подверженных разрушению, что в совокупности значительно повышает надежность и срок службы в судовом ЭП.

Известные трудности расчета электромагнитных переходных процессов в АД вынуждают вводить ряд допущений, упрощающих их анализ, а экспериментальные исследования дают возможность получить

достоверные результаты и проверить правильность теоретических выводов.

В данной работе представлены результаты экспериментальной оценки переходных процессов в АДДР и АДКР при пусках и повторных включениях. Для этой цели были испытаны двигатели АОМ-32-4 мощностью 1,5 кВт и МАФ82-81/2 мощностью 55 кВт с короткозамкнутыми и двухслойными роторами. Обмотка статора двигателей изменениям не подвергалась за исключением установки в пазы статора МАФ магнитных клиньев. Двигатель АОМ испытан в лабораторных условиях при пусках вхолостую, двигатель МАФ испытан при пусках и повторных включениях в лабораторных условиях и в реальных условиях судна, где он установлен в качестве привода пожарного насоса ЭПЖН-16. Для управления этим приводом на судне используется станция СУ-6439-4231, которая предусматривает пуск через ступень пускового сопротивления.

Для измерения момента применен электромагнитный датчик ускорения. Это допустимо, так как при работе вхолостую момент двигателя прямо пропорционален ускорению. Условия эксперимента для АДКР и АДДР были одинаковы, принципиальная схема и измерительные приборы не менялись, производилась только замена роторов, поэтому погрешности измерений были одинаковы для обоих двигателей. Измерения проведены с помощью комплекта приборов К-50, шлейфового осциллографа Н-102 и электротермометра ЭТП-М.

ПУСК. Для сравнительной оценки пусковых свойств двигателей осциллографирование процессов пуска пожарного насоса проведено при питании от одного дизель-генератора (ДГ) МС 375-1000, а также прямого пуска этого насоса с АДДР без ступени пускового сопротивления от одного ДГ. Осциллограммы этих пусков представлены на рисунках 1 и 2. На рисунке 1 показаны осциллограммы пуска АДКР и АДДР по штатной схеме, на рисунке 2 – осциллограмма прямого пуска АДДР. Обобщенные результаты этого эксперимента приведены в таблице 1.

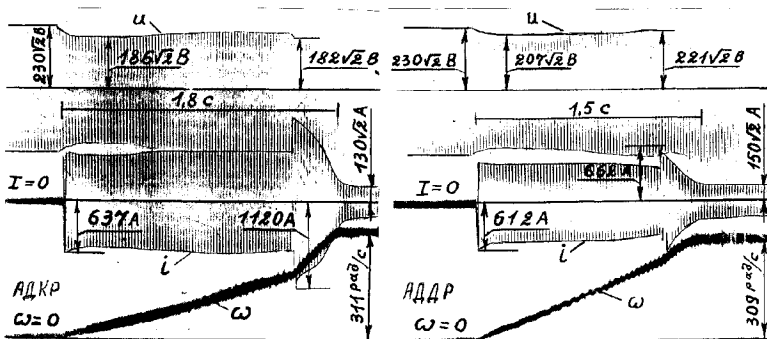


Рисунок 1 – Осциллограммы пуска насоса ЭПЖН-16 с АДКР и АДДР по штатной схеме

Таблица 1 – Результаты натурных испытаний АД МАФ 82-81/2

Тип ротора	Время пуска, с	Максимальный ток, А	Провал напряжения, %	Допустимое число пусков
Короткозамкнутый	1,8	1120/637	20,8	3
Двухслойный	1,5	662/612	10	5

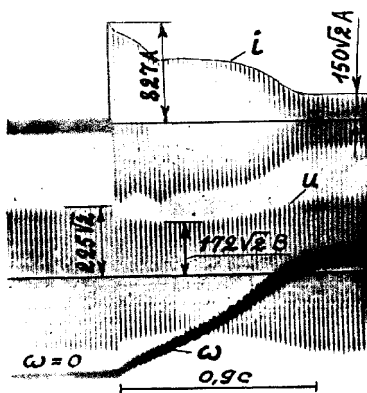


Рисунок 2 – Прямой пуск насоса ЭПЖН-16 с АДДР

Для тока в числителе показаны величины до шунтирования пускового сопротивления в знаменателе – после шунтирования. Как видно из осциллограмм, при пуске от одного ДГ применение двухслойного ротора сокращает время пуска в 1,2 раза, в 1,7 раза сокращается максимальный ток, а максимальный провал напряжения стал значительно меньше 20%. В результате применения АДДР пуск пожарного насоса ЭПЖН-16 стал возможен от одного дизель-генератора, в то время как при использовании АДКР для пуска этого насоса необходимо было вводить

в работу второй дизель-генератор, как это предусматривается правилами эксплуатации пожарной системы, чтобы провал напряжения в соответствии с требованиями Регистра не превышал 20%. Кроме того, правила эксплуатации допускают только три пуска подряд электропривода пожарного насоса, а ограничивающим фактором выступает перегрев пускового сопротивления. За счет снижения пускового тока и времени

пуска число допустимых пусков АДДР в этом электроприводе увеличилось до 5, при этом температура пускового сопротивления оказалась на 10°С ниже температуры после трехкратного пуска АДКР. В целом замена двигателя позволяет достичь экономии топлива и моторесурса ДГ, повысить надежность электропривода пожарного насоса и пожарную безопасность судна. Более того, при применении АДДР отпадает необходимость в пусковом сопротивлении – можно применить наиболее простой и экономичный прямой пуск, при этом максимальный ток при пуске не превышает максимального тока при пуске АДКР через пусковое сопротивление, а провал напряжения также примерно одинаков.

По осциллограммам тока трудно оценить интенсивность электромагнитных переходных процессов в АД, так как в начальный момент пуска угловая скорость вращения изменяется незначительно, то есть до отключения пускового сопротивления сравнивать характер изменения кривых тока нецелесообразно, определяющую роль в этот период играет пусковое сопротивление. На втором этапе пуска на величине тока в значительной степени сказывается изменение скольжения, при этом вполне возможно оценить величину электромагнитных переходных моментов, так как при пуске вхолостую справедливо соотношение

$$M = J \frac{d\omega}{dt},$$

Оценка возникающих электромагнитных переходных моментов проведена с использованием экспериментальной зависимости $\omega = f(t)$. С этой целью по осциллограммам через равные промежутки времени Δt определено изменение частоты вращения двигателей и в предположении равенства моментов инерции двух типов роторов найдено соотношение электромагнитных переходных моментов АДКР и АДДР. Оно равно

$$\frac{M_{КР}}{M_{ДР}} = \frac{\Delta\omega_{КР}}{\Delta\omega_{ДР}} = 1,27.$$

Таким образом, опыт подтверждает справедливость сделанного в [2] заключения о том, что при большем среднем пусковом моменте АДДР величина электромагнитного переходного момента этого двигателя меньше, чем у АДКР.

ПОВТОРНОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ. Этот эксперимент проводился в лабораторных условиях для повторного включения АД с незатухшим магнитным потоком. Двигатели работали вхолостую при отсутствии присоединенных масс, а переключения производились через равные промежутки времени для обоих типов АД. Осциллограммы повторных включений АД АОМ-32-4 с различными роторами представлены на рисунке 3, а для двигателя МАФ 82-81/2 – на рисунке 4.

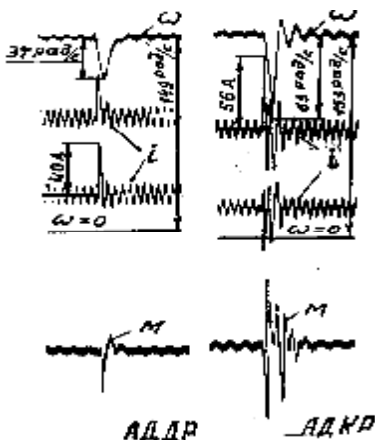


Рисунок 3 – Осциллограммы повторных включений двигателя АОМ-32-4

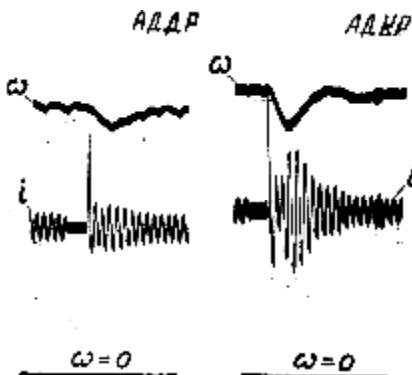


Рисунок 4 – Осциллограммы повторных включений двигателя МАФ 82-81/2

Электромагнитные переходные моменты определены по той же методике, что и для режима пуска. Для двигателя АОМ получены соотношения

– для изменений угловой скорости $\frac{\Delta\omega_{КР}}{\Delta\omega_{ДР}} = 1,7;$

– для изменения переходного момента $\frac{M_{КР}}{M_{ДР}} = 1,79 .$

Можно сказать, что для этого двигателя переходные моменты при использовании короткозамкнутого ротора выше, чем при использовании двухслойного ротора в среднем в 1,75 раза. Для двигателя МАФ 82-81/2 это соотношение составляет 1,9. Кроме того, из сравнения осциллограмм (по кривым момента угловой скорости и тока статора) ясно видно, что интенсивность переходных процессов у АДДР существенно меньше, чем у АДКР.

Библиографический список

1. Могильников В.С. Асинхронные двигатели с двухслойным ротором и их применение / В.С. Могильников, А.М. Олейников, А.Н. Стрельников — М.: Энергоатомиздат 1983. — 120 с.

2. Киселев А.И. Опыт эксплуатации асинхронных электродвигателей с двухслойным ротором на судах морского флота / А.И. Киселев, В.Н. Мартынов, А.М. Олейников // Экспресс-информация. Сер. Техн. эксплуатация флота / ЦБНТИ ММФ СССР. — М., 1984. — № 15 (587). — С. 14–23.

Поступила в редакцию 19.11.2001 г.