

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ДОПУСТИМОГО КОЛИЧЕСТВА РЕВЕРСОВ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ ОТ НАГРУЗКИ В РЕЖИМЕ S7

Бурковский А.Н., д.т.н., проф.

Донецкий национальный технический университет

Украина, 83003, Донецк, ул. Карпинского, 25/296, кафедра "Электроснабжение промышленных предприятий и городов", тел. (0622) 95-98-83, e-mail: air.ps@mail.ru

Рыбалко О.А.

Донецкий национальный технический университет

Украина, 83120, Донецк-83120, ул. Пинтера, 52/7, кафедра "Электроснабжение промышленных предприятий и городов", тел. (062) 334-88-35, e-mail: olya_ua@list.ru

В статті викладені основні положення визначення допустимої кількості реверсів асинхронного двигуна в режимі S7 в функції величини струму обмотки статора і дані результати їх розрахунків для ряду вибухозащищених двигунів різних потужностей і частот обертання.

В статье изложены основные положения определения допустимого количества реверсов асинхронного двигателя в режиме S7 в функции величины тока обмотки статора и даны их расчеты для ряда взрывозащищенных двигателей различных мощностей и частот вращения.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Переключающийся режим с реверсами (S7 по ГОСТ 183) состоит из двух основных рабочих фаз: работа под нагрузкой (постоянной) на протяжении определенного отрезка времени, затем осуществляется реверс двигателя (как правило, изменением чередования фаз) и он снова работает с такой же постоянной нагрузкой, вращаясь в противоположном направлении. В таких режимах работают асинхронные двигатели (АД) в различных отраслях промышленности, в том числе металлургической, машиностроения, химической и др. В ряде случаев допустимое число реверсов в час определяет максимальную производительность механизма. В то же время допустимое число реверсов является функцией от величины нагрузки на валу (при постоянных других параметрах режима). Методы определения этих зависимостей освещены весьма недостаточно в связи со сложностью расчета всех составляющих потерь при реверсах при различных нагрузках и их влияния на нагрев обмоток АД. Поэтому чаще всего эти вопросы решаются экспериментальным способом.

Анализ публикаций и исследований. В известных работах по электроприводу [1, 2 и др.] вопрос определения допустимого количества реверсов АД с короткозамкнутым ротором в режиме S7 от величины и вида нагрузки практически не рассматривается. Предложенный в работе [3] способ расчета потерь в обмотках при реверсе открывает возможности для определения допустимого количества реверсов АД в функции от величины тока обмотки статора.

Цель статьи. Определить зависимости допустимого из условий нагрева количества реверсов АД с короткозамкнутым ротором взрывозащищенного исполнения от величины и вида нагрузки в режиме S7.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Величину допустимого из условий нагрева АД числа реверсов можем найти из метода эквивалентно-

го тока. В связи с тем, что за время работы в режиме S7 условия охлаждения АД практически не изменяются, можно записать:

$$I_n^2 \cdot t_{ц} = I_{S7}^2 \cdot t_{раб} + I_{э.рев}^2 \cdot t_{рев}, \quad (1)$$

где I_n , I_{S7} , $I_{э.рев}$ - ток обмотки статора соответственно в номинальном режиме S1, в режиме S7 под нагрузкой, во время реверса; $t_{ц}$, $t_{раб}$, $t_{рев}$ - продолжительность рабочего цикла, времени работы под нагрузкой и реверса.

Для выполнения расчетов необходимо получить величину $I_{э.рев}^2 \cdot t_{рев}$, которую можно получить следующим образом:

$$I_{э.рев}^2 \cdot t_{рев} = \frac{\Delta A_{рев(ст)}}{k \cdot r_1}; \quad (2)$$

где $\Delta A_{рев(ст)}$ - количество тепла, выделяющегося в обмотке статора за реверс (Вт·сек); r_1 - горячее сопротивление фазы обмотки статора (Ом); k - коэффициент, который принимает значение: $k=3$ для обмоток, соединенных в звезду; $k=1$ для обмоток, соединенных в треугольник.

В работе [3] показано, что для практических расчетов обоснованно можно принять:

$$\Delta A_{рев(ст)} \cong 2 \cdot \Delta A_{пуск(ст)} \cong \Delta A_{пуск\Sigma}, \quad (3)$$

где $\Delta A_{пуск(ст)}$ - количество тепла, выделившегося в обмотке статора за пуск; $\Delta A_{пуск\Sigma}$ - суммарное количество тепла в обмотках статора и ротора за пуск.

В работе [3] также обосновано, что величину времени реверса можно принимать $t_{рев} \approx 1,5 \cdot t_{пуск}$.

Из выражения (1) можем определить допустимое время работы под нагрузкой в режиме S7 при заданной величине тока I_{S7} :

$$t_{\text{раб}} = \frac{I_{\text{э.рев}}^2 \cdot t_{\text{рев}} - I_{\text{н}}^2 \cdot t_{\text{рев}}}{I_{\text{н}}^2 - I_{\text{S7}}^2} \quad (4)$$

Тогда продолжительность рабочего цикла:

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{раб}} + t_{\text{рев}} \quad (5)$$

Допустимое из условия нагрева обмотки статора число реверсов в час:

$$Z_{\text{рев}} = \frac{3600}{t_{\text{ц}}} \quad (6)$$

Полученные выражения (1)–(6) открывают возможности расчетно-теоретическим методом определить влияние различных факторов на допустимое число реверсов АД в режиме S7:

- величины тока обмотки статора в S7 (при условии, что $I_{\text{S7}} < I_{\text{S1H}}$);
- характеристики момента сопротивления: $M_{\text{с}} = f(t_{\text{рев}})$;
- величины маховой массы, соединенной с ротором.

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ

Для определения допустимого числа реверсов двигателей различной мощности и частоты вращения (полюсности) взяты в качестве базисных взрывозащищенные асинхронные двигатели серии В, ВР (мощностью до 110 кВт), у которых кратности пусковых и максимальных моментов (для всей серии) находятся в пределах (табл. 1).

Таблица 1

Число полюсов $2p$	$M_{\text{пуск}} \div M_{\text{ном}}$	$M_{\text{макс}} \div M_{\text{ном}}$
2	2,3 ÷ 1,6	2,5 ÷ 3,0
4	1,8 ÷ 2,2	2,2 ÷ 2,8
6	1,7 ÷ 2,1	2,0 ÷ 2,6
8	2,0 ÷ 1,6	2,0 ÷ 2,5

Расчеты выполнялись для двигателей:

- двухполюсных В100L2, $P_{2H} = 5,5$ кВт;
- четырехполюсных В100L4, $P_{2H} = 4$ кВт;
- В250M4, $P_{2H} = 90$ кВт;
- шестиполюсных В112M6, $P_{2H} = 4$ кВт;
- восьмиполюсных В132M8, $P_{2H} = 5,5$ кВт.

У всех двигателей, кроме В250M4, изоляция обмотки статора класса В (допустимое превышение температуры $[\theta_1] = 80^\circ\text{C}$), у двигателя В250M4 – изоляция класса F ($[\theta_1] = 100^\circ\text{C}$).

В работе [3] показано, что погрешность определения допустимого $[Z_{\text{рев}}]$ в связи с отклонениями потерь реверса, которые зависят от фазы включения, составляет величину от 1–2% до 12–18% по сравнению с расчетной.

Поэтому принято решение выполнять расчеты по номинальным параметрам, а допустимое значение $[Z_{\text{рев}}]$ давать для двух случаев: а) для кратковременной работы в S7; б) для длительной работы.

На рис. 1–5 приведены результаты расчетов при легких условиях пуска ($M_{\text{сопр}} \equiv n^2$ или $M_{\text{сопр}} \equiv n$) и при тяжелых условиях пуска ($M_{\text{сопр}} = M_{\text{ном}} = \text{const}$).

Для кратковременной работы можно использовать данные номинальных параметров двигателя в S7 (т.е. верхние кривые); для постоянной длительной работы в S7 – нижние кривые (т.е. сниженные на 20%). В таких случаях будет исключен избыточный перегрев обмотки статора на любых двигателях из-за рассеяния потерь реверса при длительной работе в S7. Следует отметить, что в работе [3] контрольный расчет дал отклонение от опыта +1,8%.

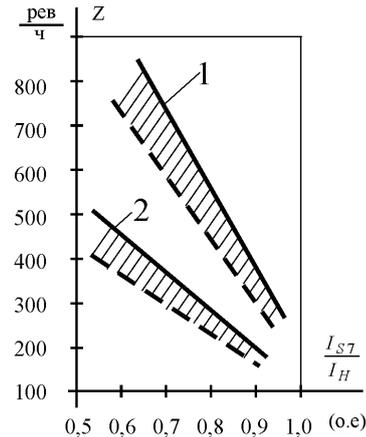


Рис. 1. Зависимость допустимого числа реверсов двигателя В100L4 от величины тока статора (о.е.) в S7 при

$FJ = 2,5$: 1 – $M_{\text{сопр}} \equiv n^2$; 2 – $M_{\text{сопр}} = M_{\text{ном}} = \text{const}$

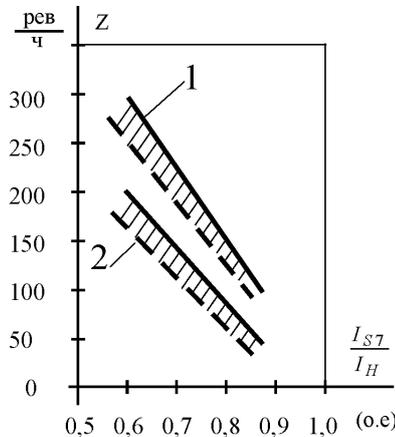


Рис. 2. Зависимость допустимого числа реверсов двигателя В100L2 от величины тока статора (о.е.) в S7 при

$FJ = 2,5$: 1 – $M_{\text{сопр}} \equiv n^2$; 2 – $M_{\text{сопр}} = M_{\text{ном}} = \text{const}$

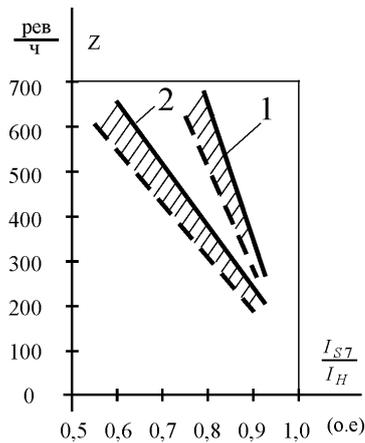


Рис. 3. Зависимость допустимого числа реверсов двигателя В112М6 от величины тока статора (о.е.) в S7 при $FJ = 2,5$: 1 – $M_{сопр} \equiv n^2$; 2 – $M_{сопр} = M_{ном} = const$

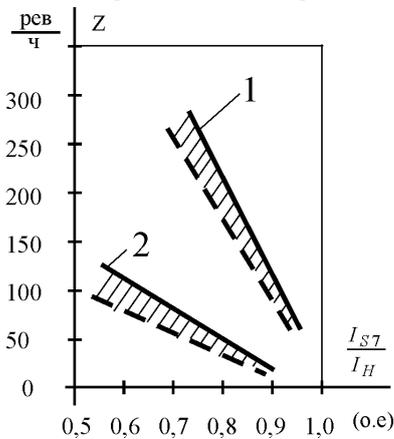


Рис. 4. Зависимость допустимого числа реверсов двигателя В132М8 от величины тока статора (о.е.) в S7 при $FJ = 2,94$: 1 – $M_{сопр} \equiv n$; 2 – $M_{сопр} = M_{ном} = const$

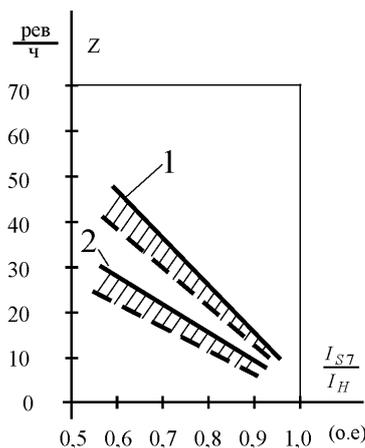


Рис. 5. Зависимость допустимого числа реверсов двигателя В250М4 от величины тока статора (о.е.) в S7 при $FJ = 2,5$: 1 – $M_{сопр} \equiv n^2$; 2 – $M_{сопр} = M_{ном} = const$

ВЫВОДЫ

1) Взрывозащищенные АД серии В, ВР допускают работу в режимах S7 при FJ от 1,2 до (в ряде случаев) $FJ = 6$. Допустимое число реверсов целесообразно определять по предложенному методу.

2) У двигателей различной полюсности при одном и том же FJ и той же мощности допустимое число реверсов составляет весьма различные величины; с уменьшением номинальной частоты вращения допустимое число реверсов возрастает.

3) Двигатели мощностью 90 кВт ($2p = 4$) допускают до 25 рев/час при $FJ = 2,5$ и легких условиях пуска ($M_c \equiv n$) и токе $I_{S7}/I_H = 0,8$ (для кратковременной работы).

4) С ростом FJ при той же величине тока статора допустимое число реверсов уменьшается примерно обратнопропорционально увеличению значения FJ .

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Основы автоматизированного электропривода / Чиликин М.Г., Соколов М.М., Терехов В.М., Шинянский А.В. / М.: Энергия, 1974. – 567 с.
- [2] Справочник по автоматизированному электроприводу. Под редакцией В.А. Елисеева, А.В. Шинянского. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 450 с.
- [3] Бурковский А.Н., Рыбалко О.А. Методические вопросы определения допустимого числа реверсов асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в перемежающемся режиме работы. // Электротехніка і Електромеханіка, №3. – 2006, С. 15-17.

Поступила 29.08.2006