

большой эмиссии электромагнитных помех к окружающему оборудованию.

Таким образом, на сегодняшний день самой распространенной топологией транспортных инверторов является автономный трёхфазный инвертор напряжения. Такая схема применяется как в тяговых инверторах электромобилей, гибридных автомобилей, троллейбусов, электробусов, трамваев, электропоездов, так и во вспомогательных транспортных инверторах, например, для приводов компрессоров пневмосистемы, компрессоров кондиционеров, вентиляторов, гидростанций.

УДК 621.31.83.52

РАСЧЕТ И ВЫБОР ТОРМОЗНОГО РЕОСТАТА В РЕЖИМЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ТОРМОЖЕНИЯ СДПМ ПРИ СКАЛЯРНОМ ЧАСТОТНОМ УПРАВЛЕНИИ

Александровский С.В., Фираго Б.И.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

В настоящее время синхронные двигатели с постоянными магнитами (СДПМ) широко применяются как вентильные двигатели с датчиком положения ротора (ДПР) и векторном управлении, так и при скалярном частотном управлении с независимым заданием частоты в диапазоне мощностей от единиц кВт до 300 кВт в различных промышленных и транспортных установках.

В регулируемом электроприводе важное значение имеют тормозные режимы. Основным тормозным режимом синхронного частотно-регулируемого электропривода является частотное торможение с возвратом энергии торможения в звено постоянного тока преобразователя частоты (ПЧ). Дальше эта энергия может рассеиваться в тормозных сопротивлениях при односторонней передаче активной энергии из сети с помощью диодных выпрямителей или возвращаться в питающую сеть с помощью рекуператоров: тиристорных или транзисторных [1].

Рекуперация энергии торможения в сеть предпочтительна, но она должна экономически быть обоснована, т.к. современные рекуператоры энергии увеличивают стоимость ПЧ более, чем в 2 раза. Если преобладают тормозные режимы работы, например, как в некоторых грузовых канатных дорогах, то сразу более очевидным становится тормозной режим с рекуперацией в сеть энергии торможения.

Еще следует иметь в виду, что качество рекуперированной электроэнергии зависит от вида (сложности) рекуператора. Тиристорный рекуператор простой, но качество рекуперированной энергии невысокое, так как сдвиг первой гармоники тока относительно первой гармоники напряжения сети зависит от угла открывания тиристоров.

Самый сложный – это транзисторный рекуператор с ШИМ, обеспечивающий синусоидальную кривую тока и возможность ее сдвига относительно первой гармоники напряжения, т.е. с возможностью регулирования величины и знака реактивной энергии.

В настоящее время СДПМ применяются в электроприводах грузоподъемных механизмов, где необходимо иметь тормозной момент при нулевой частоте питающего двигателя напряжения, что соответствует динамическому торможению с независимым возбуждением. Трехфазная обмотка статора СД отключается от источника напряжения и замыкается на тормозные сопротивления. При этом следует учитывать, что активное сопротивление R_1 обмотки статора состоит из собственного сопротивления обмотки статора $R_{1,0}$ и тормозного сопротивления R_T , подключаемого к каждой фазе статора, т.е. $R_1 = R_{1,0} + R_T$.

В режиме динамического торможения СДПМ угловая частота ω_1 тока, протекающего по обмоткам статора, будет равна электрической угловой скорости $\omega_{эл}$ ротора, т.е. $\omega_1 = \omega_{эл} = p_n \omega$, где ω – механическая угловая скорость ротора; p_n – число пар полюсов.

Этот режим полностью соответствует режиму работы СДПМ при управлении от ДПР с угловой частотой $\omega_1 = \omega_{эл}$ при отключении статора от источника напряжения, а также режиму работы двигателя постоянного тока независимого возбуждения (ДПТ НВ), когда обмотка якоря отключается от сети постоянного тока и замыкается на тормозное сопротивление [1, 2].

Механические характеристики СДПМ получаются из математической модели в осях $d-q$ для установившегося режима работы:

$$\omega = -\frac{M_c}{\beta},$$

где β – модуль жесткости механических характеристик определяется формулой:

$$\beta = \frac{c^2}{R_1} = \frac{c^2}{R_{1,0} + R_T},$$

где c – коэффициент СДПМ, определяемый таким образом [1, 2]

$$c = \frac{U_{л.ном}}{\omega_{0ном}} = \frac{M_{э.ном}}{I_{1ном}},$$

$U_{л.ном}$ – действующее значение номинального линейного напряжения 3-фазного СДПМ; $\omega_{0ном}$ – номинальная угловая синхронная скорость СДПМ; $M_{э.ном}$ – номинальный электромагнитный момент двигателя; $I_{1ном}$ – действующее значение номинального тока по оси q .

Видно, что с увеличением тормозного сопротивления R_T увеличивается наклон механических характеристик к оси абсцисс.

В грузоподъемных механизмах, работающих с постоянным активным статическим моментом M_c , динамическое торможение

применяется для опускания грузов с малой скоростью, обычно принимают $\omega_{\text{оп.}} \leq (0,1 \div 0,15)\omega_{\text{ном.}}$.

В этом случае при заданной скорости опускания груза $\omega_{\text{оп.}}$, которая определяется технологическими условиями, необходимо рассчитать величину тормозного сопротивления R_{T} , включаемого в каждую фазу обмотки статора. Находим величину этого сопротивления при заданном статическом моменте $M_{\text{с}}$ по формуле:

$$R_{\text{T}} = \frac{c^2 \omega_{\text{оп.}}}{M_{\text{с}}} - R_{1,0}.$$

Обычно принимают $M_{\text{с}} = M_{\text{с.ном.}}$.

Мощность тормозного сопротивления для СДПМ, работающего в тормозном режиме с неизменной скоростью и тормозным моментом на валу $M_{\text{с}}$, может быть записана в виде:

$$P_{\text{T}} = \omega M_{\text{с}} \eta_{\text{д}} \eta_{\text{и}},$$

где $\eta_{\text{д}}$, $\eta_{\text{и}}$ – соответственно КПД СДПМ и инвертора ПЧ.

По времени торможения t_{T} и периоде $t_{\text{ц}}$ повторения тормозного цикла можно рассчитать относительную продолжительность включения тормозного сопротивления

$$\varepsilon_{\text{T}} = \frac{t_{\text{T}}}{t_{\text{ц}}}$$

и длительную (номинальную) мощность тормозного сопротивления

$$P_{\text{дл}} = P_{\text{T}} \varepsilon_{\text{T}}.$$

Затем по каталогам фирм, выпускающим ПЧ, на основании расчетных значений R_{T} , P_{T} , $P_{\text{дл}}$, ε выбираем тормозное сопротивление.

Литература

1. Фираго Б.И. Теория электропривода / Б.И. Фираго, Л.Б. Павлячик – Минск: Техноперспектива, 2007. – 585с.
2. Фираго Б.И. Расчеты по электроприводу производственных машин и механизмов. – Минск: Техноперспектива, 2012. – 639с.

УДК 621.3

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В ПОГРУЖНЫХ НАСОСАХ

Нитиевский С.А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Широко известно, что электропривод является одним из основных потребителей электрической энергии. В электроприводе же, в свою очередь, достаточно большую долю мощностей занимают турбомеханизмы – насосы и вентиляторы. В частности, для организации водоснабжения интенсивно используются погружные электронасосные агрегаты, в основном работающие в длительных режимах работы.

В настоящее время в качестве приводных двигателей для погружных насосов в основном используются асинхронные короткозамкнутые погружные электродвигатели. Их применение для турбомеханизмов в целом, и для погружных насосов в частности, обусловлено достаточно высоким значением коэффициента полезного действия (КПД) при сравнительно хороших массогабаритных показателях. Для погружных насосов массогабаритные показатели, а именно диаметр агрегата и его длина являются определяющими при конструировании, поскольку допустимый внешний диаметр агрегата, т.е. насосной части и присоединенного электродвигателя определяется диаметром скважины, в которую предполагается устанавливать данный агрегат. Диаметры скважин при этом стандартизованы, и измеряются в дюймовой системе. Стандартные диаметры насосных