

ТЯГОВЫЕ ИНВЕРТОРЫ СОВРЕМЕННОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

Миронович А.В.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Электромобили постепенно занимают рынки автомобилей, поскольку все больше автопроизводителей заявляют о планах разработки электрифицированных моделей с целью повышения экономии топлива, конкурентоспособности, поскольку запросы потребителей смещаются в сторону эффективных, чистых транспортных средств. К ним относятся гибридные электромобили (*HEV*), подзаряжаемые от электросети гибридные электромобили (*PHEV*), чистые (батарейные) электромобили (*BEV*) и автомобили на топливных элементах.

Главным элементом всех электрифицированных силовых агрегатов является одна или несколько электрических машин (*EM*), которые работают либо вместе с двигателем внутреннего сгорания (*ДВС*) или заменяют его целиком. Вторым важным элементом является тяговый инвертор.

В самом общем смысле, инвертор – это устройство, преобразующее энергию постоянного тока в энергию переменного тока, одно- или многофазного с возможностью регулирования действующего значения выходного параметра (тока или напряжения) и его частоты.

Инверторы подразделяются по различным критериям, основные из них следующие: По привязанности к промышленной сети переменного напряжения:

Автономные – они не привязаны к сети, а работают на изолированную от сети нагрузку (электродвигатель, индукционный нагреватель и др.).

Ведомые сетью – их выход подключается к сети переменного напряжения (одно- или многофазного). Следовательно, такие инверторы должны иметь синхронизацию с сетью по частоте и фазе.

В зависимости от задаваемой выходной величины:

Инверторы напряжения. У них на выходе задается определенное действующее значение напряжения определенной частоты.

Инверторы тока. Эти устройства поддерживают заданное действующее значение тока в нагрузке при определённой частоте.

Рассмотрим подробнее, какие из инверторов применяются наиболее часто в современных транспортных средствах? Далекое не все из перечисленных выше видов инверторов находят там свое применение. Начнём с того, что ведомые сетью инверторы нужны только в том случае, если нам необходимо отдавать энергию от источника постоянного напряжения в сеть переменного. Из широко применяемых сегодня транспортных средств питание от сети переменного напряжения получают только электровозы и электропоезда на железной дороге. Это однофазное переменное напряжение обычно частотой 50 Гц и с действующим значением 25 кВ. Соответственно, если в силовой установке имеется звено постоянного тока, то для возврата энергии в сеть применяется однофазный ведомый сетью инвертор напряжения. Такие инверторы применяются в частности в электровозах ВЛ85, ЭП1 и др.

Гораздо чаще встречается другая картина. Имеется источник постоянного напряжения: контактная сеть (600, 825 или 3000 В) или накопитель энергии (батарея или суперконденсатор с напряжением от 48 до 800 В) и тяговые двигатели переменного тока: асинхронные (АМ) или синхронные (PMSM, SRM). Даже в тех современных электровозах и электропоездах, которые работают от контактной сети переменного напряжения (25 кВ) силовая электрическая схема имеет промежуточное звено постоянного напряжения. Поэтому, наибольшее распространение получили автономные инверторы.

Тяговые инверторы всегда работают на нагрузку в виде электродвигателя. Большинство тяговых двигателей на сегодняшний день являются трехфазными. Это делается для унификации тяговых электрических машин с общепромышленными. Но, на самом деле, число фаз двигателя в

тяговом приводе может быть любым (более двух). Как будет рассмотрено далее, в последнее время довольно часто внедряется концепция многофазных двигателей электромобилей (6-и, 9-фазных), что позволяет уменьшить ток каждой фазы и, соответственно, применять в инверторе более компактные и дешёвые полупроводниковые приборы.

Автономные инверторы напряжения (АИН) обычно реализуются на транзисторах или *IGBT*-модулях. У них на входе всегда установлен конденсатор C большой ёмкости. Его функция – фильтрация входного напряжения и приём реактивной энергии от двигателя при торможении. Если питание установки происходит от сети переменного напряжения, то перед конденсатором устанавливается неуправляемый выпрямитель (диодный НВ). Если же есть необходимость в рекуперации энергии обратно в сеть при торможении, то параллельно выпрямителю нужно ставить дополнительно рассмотренный ранее ведомый сетью инвертор (ВСИ).

Автономные инверторы тока (АИТ) обычно реализованы на тиристорах или *IGBT*-транзисторах с последовательным включением диода по той же мостовой схеме. Но, в отличие от АИН у них выпрямление от сети переменного напряжения производится управляемым выпрямителем (УВ), а на входе вместо конденсатора устанавливается индуктор (катушка) L с большой индуктивностью для поддержания постоянного значения входного тока. В результате, АИТ может создавать напряжение на обмотках двигателя выше напряжения звена постоянного тока, кроме того, для осуществления рекуперации в такой схеме не требуется дополнительного ведомого сетью инвертора, достаточно перевести в УВ тиристоры в инверторный режим.

При всех вышеперечисленных преимуществах АИТ у них есть два существенных недостатка применения в современном электротранспорте: большие габариты, масса и стоимость (во многом из-за индуктора), использование АИТ экономически оправдано только при мощностях выше мегаватта и существенная несинусоидальность токов в обмотках двигателя, что приводит к

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].