

А. П. БАЕВ, М. Р. ГОНЧАРЕНКО, А. С. ИСАКОВ

СИЛОВОЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ ЧЕТЫРЕХКВАДРАНТНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Рассматриваются результаты проектирования силового источника питания, построенного на основе автономного IGBT-инвертора с синусоидальной широтно-импульсной модуляцией и предназначенного для четырехквadrантного асинхронного электропривода с векторным управлением для эскалаторов метрополитена.

Ключевые слова: четырехквadrантный электропривод, активный выпрямитель, звено постоянного тока.

Введение. Постановка задачи. В настоящее время эскалаторы метрополитенов в большинстве своем комплектуются четырехквadrантными асинхронными электроприводами (ЭП) с векторными частотно-токовыми системами управления (СУ) и автономными IGBT-инверторами (АИ) напряжения с синусоидальной широтно-импульсной модуляцией.

С другой стороны, зачастую тяговые подстанции с выпрямителями имеют один силовой ввод с электроприводами эскалаторов. Вследствие влияния тяговых выпрямительных подстанций в силовой сети эскалаторов содержится значительное количество гармонических составляющих, что приводит к значительному ущербу: дополнительным потерям мощности в питающих линиях, трансформаторах, асинхронных машинах, осветительном оборудовании и т.п.; ускоренному старению изоляции электрических машин, аппаратов и кабелей и, как следствие, уменьшению срока службы и снижению надежности электрического оборудования; ухудшению точности электрических измерений, нарушению работы автоматики, телемеханики и релейной защиты; кроме того, затрудняется и в ряде случаев становится невозможной передача информации по силовым цепям.

Силовой источник питания четырехквadrантного электропривода эскалатора, при соответствующей доработке, может быть использован в качестве активного кондиционера силовой сети (активного фильтра тока [1]). В настоящей статье рассматриваются проблемы построения и расчета таких силовых источников.

Структура и принципы функционирования четырехквadrантных асинхронных электроприводов. Значительная часть выпрямителей на тяговых подстанциях метрополитена строится по схеме Ларионова. Соответственно в гармонических составляющих потребляемого тока присутствуют 5, 7, 11, 13, 17, 19-я ... гармоники, из которых наиболее значимыми являются 5, 7, 11-я.

Структурная схема современного четырехквadrантного электропривода с IGBT-инверторами с широтно-импульсной модуляцией приведена на рис. 1, где ДН — датчик напряжения, ДТ — датчик тока, АД — асинхронный двигатель. Как видно из рисунка, силовой источник питания электропривода аналогичен активному кондиционеру силовой сети. Важной особенностью такого построения силового блока питания является возможность регулировки напряжения в звене постоянного тока (ЗПТ). При этом минимальное значение напряжения ограничивается выпрямленным напряжением для мостового выпрямителя, а максимальное значение определяется предельными параметрами силовых приборов — IGBT-модулей и электролитических конденсаторов фильтра в звене постоянного тока [2].

Активные кондиционеры силовой сети строятся на автономных инверторах напряжения и подключаются к сети параллельно нелинейной нагрузке (рис. 2). Они могут генерировать в сеть как гармонические составляющие тока, равные по амплитуде и противоположные по

знаку гармоническим составляющим тока от нелинейной нагрузки, так и реактивный ток при необходимости. Соотношение мощности тягового выпрямителя к мощности активного кондиционера силовой сети не превышает 6 раз, а мощность остальных потребителей составляет менее половины мощности активного кондиционера.

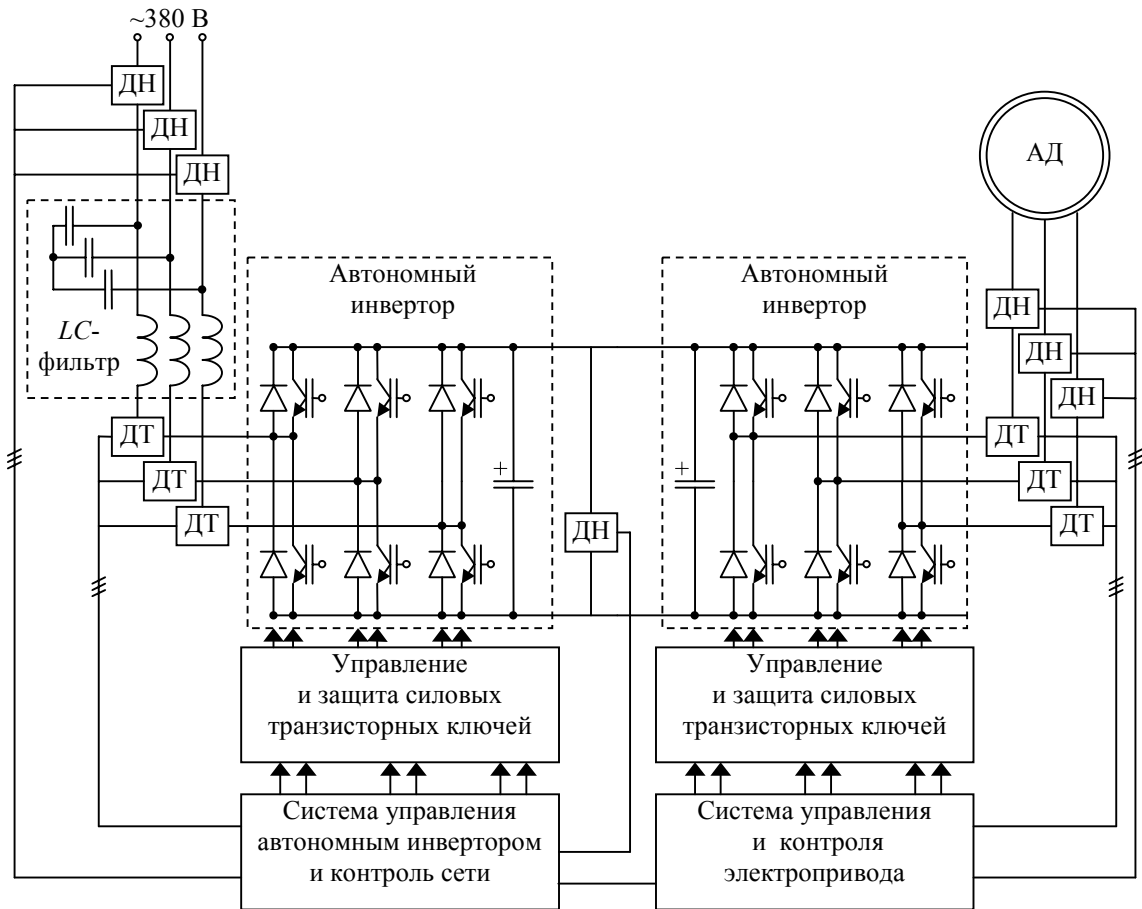


Рис. 1

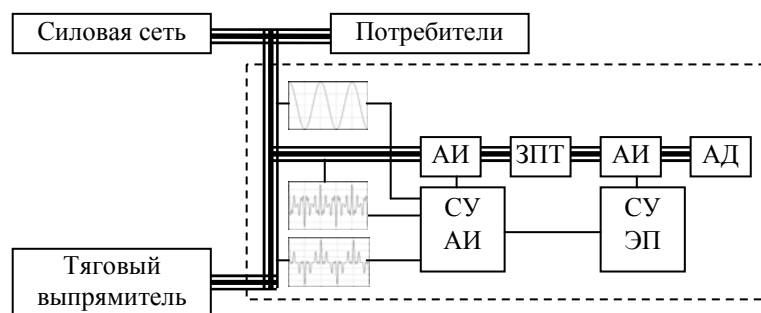


Рис. 2

Важной задачей при проектировании силового источника питания электропривода является правильный выбор напряжения питания в зависимости от режима работы электропривода и искажений тока в силовой сети, которые необходимо скомпенсировать, если силовой источник питания используется как кондиционер. При этом важно рассматривать как статический, так и динамический режимы работы.

Если напряжение в звене постоянного тока выбрано слишком малым, то регуляторы тока не смогут обеспечить желаемую полосу пропускания, а в векторной системе управления при формировании вращающейся системы координат будут происходить сбои. Это особенно

характерно для систем с косвенным поддержанием потокосцепления ротора постоянным, где скольжение должно быть пропорционально частному от деления двух проекций вектора тока. При использовании кондиционера силовой сети, при недостаточном напряжении в звене постоянного тока, система управления не сможет обеспечить подавление гармонических составляющих тока в расчетном диапазоне частот и (или) заданное значение реактивного тока. Слишком большое напряжение в звене постоянного тока перегружает силовые приборы электропривода, снижая тем самым срок их службы.

В работе [3] были получены выражения, позволяющие рассчитать необходимое напряжение в звене постоянного тока для асинхронного электропривода с векторным управлением и поддержанием потокосцепления ротора постоянным:

$$u_{1x}^2 + u_{1y}^2 = \Psi_{2x}^2 \left[(\alpha X_0 / X_2)^2 + 2\alpha^2 X' / X_2 + \left((X'p + r_1)^2 + \alpha X' \right) (1 + \mu X_2 / \Psi_{2x}) \right] + 2(X'p + r_1) \alpha \mu. \quad (1)$$

Следует отметить, что системы управления современных асинхронных электроприводов с векторным управлением построены именно таким образом.

Напряжение в звене постоянного тока для силового источника питания рассчитывается в соответствии со следующим выражением:

$$u_x^2 + u_y^2 = (r_1 + X_L p)^2 (i_x^2 + i_y^2) + 2\alpha' X_L^2 (i_x p i_y - i_y p i_x) + \alpha'^2 X_L^2 (i_x^2 + i_y^2) + 2U(r_1 + X_L p) i_x - 2U\alpha' X_L i_y + U^2. \quad (2)$$

В формулах (1) и (2) использованы обозначения, принятые в работе [3]: X_1 , X_2 — относительное активное и индуктивное сопротивление статора и ротора; X_0 — относительное сопротивление намагничивающей цепи; $X' = (X_1 X_2 - X_0^2) / X_2$ — индуктивность рассеяния статора; α — относительная частота вращения поля статора; μ — относительный момент; u_{1x} , u_{1y} — проекции обобщенного среднего за период несущей широтно-импульсной модуляции вектора относительного напряжения на выходе инвертора электропривода; $\Psi_{2x} = \text{const}$ — проекция относительного вектора потокосцепления ротора; u_x , u_y — проекции обобщенного среднего за период несущей широтно-импульсной модуляции вектора относительного напряжения на выходе инвертора рекуперации; i_x , i_y — проекции обобщенного вектора тока силового источника питания; U — проекция на ось x обобщенного относительного вектора фазного напряжения; X_L — относительное индуктивное сопротивление LC -фильтра; r_1 — относительное суммарное активное сопротивление LC -фильтра и силовой сети; p — оператор дифференцирования по относительному времени; α' — относительная частота вращения системы координат; проекции вектора на оси вращающейся системы координат обозначены индексами „ x “ и „ y “. При приведении уравнения (2) к относительной форме были приняты базовые величины для асинхронной машины [3].

Как следует из приведенных уравнений, для компенсации реактивного тока в сети, носящего емкостной характер, требуется большее напряжение в звене постоянного тока, чем для компенсации реактивного тока, носящего индуктивный характер, т.е. отстающего по фазе от активной составляющей тока. Кроме того, гармонические составляющие тока во вращающейся системе координат изменяются во времени, и вследствие наличия производной по времени это может существенно повлиять на значение расчетного напряжения.

Уравнения (1) и (2) с учетом неравенств, приведенных в работе [2], позволяют получить значение напряжения в звене постоянного тока, при котором обеспечивается работоспособность систем управления электропривода и силового источника питания. Введя в систему управления дополнительные блоки для расчета необходимого напряжения в звене постоянного тока и осуществив обмен по информационному каналу (например, CAN) между системами управления силового источника питания и электропривода (рис. 3), можно оптимизировать

значение напряжения в звене постоянного тока. На рисунке приняты следующие обозначения: ПК — преобразователь координат, РТ — регулятор тока, РП — регулятор потока, РС — регулятор скорости v , РН — регулятор напряжения, Н — наблюдатель, БР U_{dc} — блок расчета требуемого напряжения в ЗПТ, БРУП — блок расчета угла поворота системы координат, БРГ — блок расчета гармонических составляющих, ВН — блок выбора напряжения для ЗПТ, ТВ — тяговая выпрямительная подстанция.

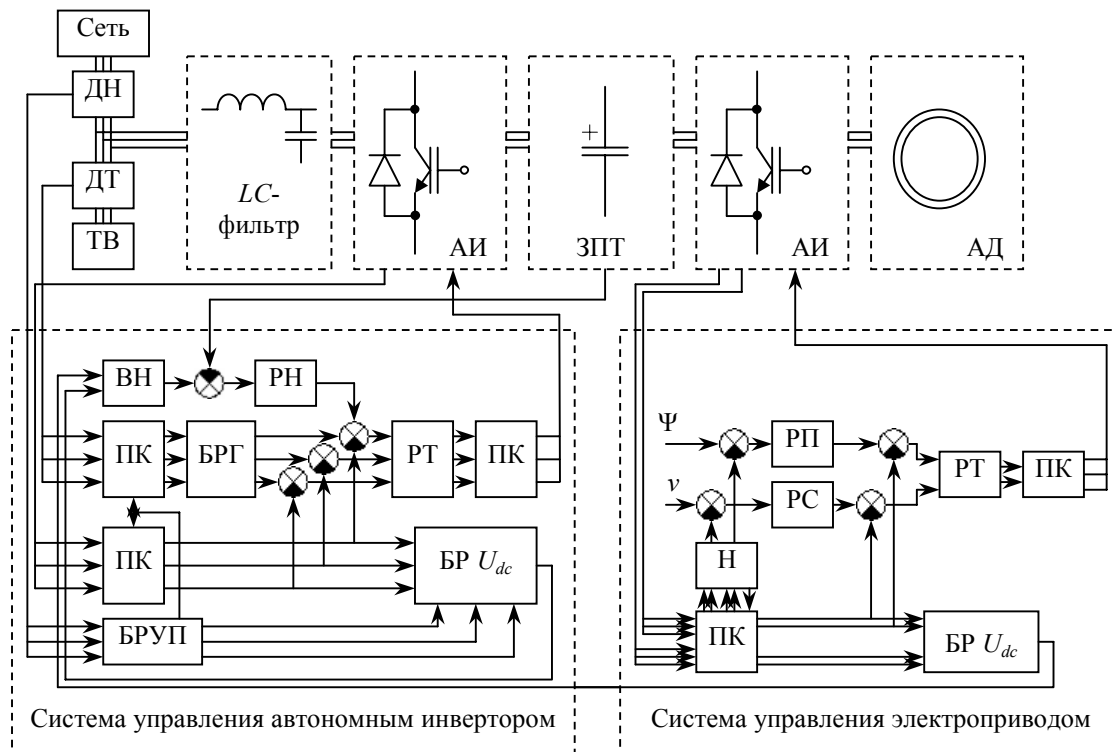


Рис. 3

Основные результаты. Предложено использовать силовой источник питания четырехквadrантного электропривода для эскалаторов метрополитена как активный кондиционер силовой сети для компенсации гармонических составляющих тока в силовой сети, образующихся при работе тяговых подстанций. Получены уравнения для расчета напряжения в звене постоянного тока в статическом и динамическом режимах работы электропривода и его силового источника питания. Предложено ввести в систему управления блоки, позволяющие корректировать желаемое значение напряжения в звене постоянного тока.

Заключение. Результаты испытаний образца силового источника питания и асинхронного электропривода мощностью 200 кВт с векторными системами управления на основе сигнального процессора TMS320F2407, связанных по CAN-каналу, показали соответствие схемотехнических решений и выбранных алгоритмов управления поставленной задаче. Данные, полученные в результате испытаний, подтвердили теоретические выводы, сделанные в работах [2, 3], и теоретические положения, изложенные в настоящей статье.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зиновьев Г. С. Основы силовой электроники. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2000. Ч. 2. 197 с.
2. Баев А. П., Гончаренко М. Р., Осипцева О. С., Исаков А. С. Особенности проектирования четырехквadrантных асинхронных электроприводов // Информационные технологии, вычислительные и управляющие системы: науч.-техн. вестн. СПбГУ ИТМО. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2004. Вып. 14. С. 16—20.
3. Гончаренко М. Р. Электромагнитные процессы в силовой цепи быстродействующего асинхронного электропривода. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Л.: ЛИТМО, 1989. С. 17.

Сведения об авторах

- Андрей Петрович Баев** — канд. техн. наук; НИИ точной механики, Санкт-Петербург, нач. сектора; E-mail: arb1959@nwgsm.ru
- Михаил Робертович Гончаренко** — канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий механики и оптики, кафедра систем управления и информатики; E-mail: mrg1959@yahoo.com
- Алексей Сергеевич Исаков** — аспирант; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий механики и оптики, кафедра систем управления и информатики; E-mail: isakovas@nm.ru

Рекомендована кафедрой
систем управления и информатики
СПбГУ ИТМО

Поступила в редакцию
07.12.07 г.