

УДК 621.314

Е.В. Пугачёв, А.С. Иванов, П.Р. Нусратов, В.С. Иванов

Сибирский государственный индустриальный университет

ЗАЩИТА МАТРИЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ В АВАРИЙНЫХ РЕЖИМАХ

Матричные преобразователи частоты не получили широкого распространения в промышленности несмотря на очевидные преимущества перед другими видами преобразователей. Основная причина этому состоит в сложности практической реализации, отсутствии интегральных силовых полупроводниковых ключей, способных проводить ток в обоих направлениях и блокировать напряжения обеих полярностей в закрытом состоянии и ряд коммутационных проблем [1].

Трудности, связанные с управлением матричными преобразователями частоты, также являются преградой для их широкого промышленного внедрения. Эта проблема связана с отсутствием путей протекания токов в промежутках между периодами проводимости силовых ключей и необходимостью прерывания тока в индуктивных цепях [2]. В традиционных преобразователях частоты со звеном постоянного тока и инвертором эта проблема решается благодаря наличию обратных диодов в конструкции биполярного транзистора и звена постоянного тока, которые обеспечивают свободную циркуляцию тока в любой момент времени. Поэтому необходимо точно выбрать моменты коммутации и синхронизации управляющих сигналов для решения задачи безопасного переключения токов между транзисторами.

Матричный преобразователь частоты, как и любой статический преобразователь, необходимо защищать от перегрузок по току и от перенапряжений, которые способны привести к повреждению электронных полупроводниковых элементов [3]. Переходные перенапряжения являются следствием коммутации ключей инвертора, а всплески напряжения воздействуют на преобразователь со стороны питающей сети. При ошибках в системе управления может иметь место прерывание тока в обмотках электродвигателя. Такие сбои особенно опасны для матричных преобразователей частоты, не имеющих в отличие от традиционных преобразователей частоты с инвертором напряжения звена постоянного тока, поглощающего энергию помех через обратные диоды IGBT.

Существующие принципы управления матричным преобразователем частоты построены таким образом, что ни пути свободной циркуляции тока (как в традиционных преобразователях частоты с инвертором напряжения), ни снабберные цепи не нужны при нормальной работе преобразователя. Необходимость защиты силовых полупроводниковых ключей возникает при аварийном отключении матричного преобразователя частоты или из-за сбоя схемы управления в случае прерывания выходного тока.

В этой ситуации для предотвращения пробоя IGBT-транзисторов вследствие возникающих всплесков напряжения необходимо обеспечить замыкание цепи, питающей электродвигатель.

При пробое фазы на корпус и коротком замыкании входных или выходных фазных выводов может возникнуть перегрузка по току. В обоих случаях схема защиты должна отключать все транзисторы преобразователя посредством соответствующих сигналов с датчиков тока. При этом учитывается, что IGBT-транзисторы рассчитаны на определенный уровень разовой токовой перегрузки, и матричный преобразователь частоты снабжен блоком ограничения перенапряжений.

В работе [4] предложена первая версия схемы защиты матричного преобразователя частоты, состоящая из входного и выходного диодных мостов, электролитического конденсатора и цепей заряда и разряда конденсаторов (рис. 1).

Указанная схема содержит конденсатор, подключенный к входам и выходам преобразователя через диодные мосты. Устройство позволяет защитить все девять полупроводниковых ключей матричного преобразователя частоты от перенапряжений, образующихся на выходах при аварийном отключении преобразователя или приходящих со стороны питающей сети [5]. Энергия, запасенная в обмотках асинхронного электродвигателя, при прерывании тока перекачивается в конденсатор схемы защиты в соответствии с выражением

$$L \cdot I_2 / 2 = C \cdot U_2 / 2, \quad (1)$$

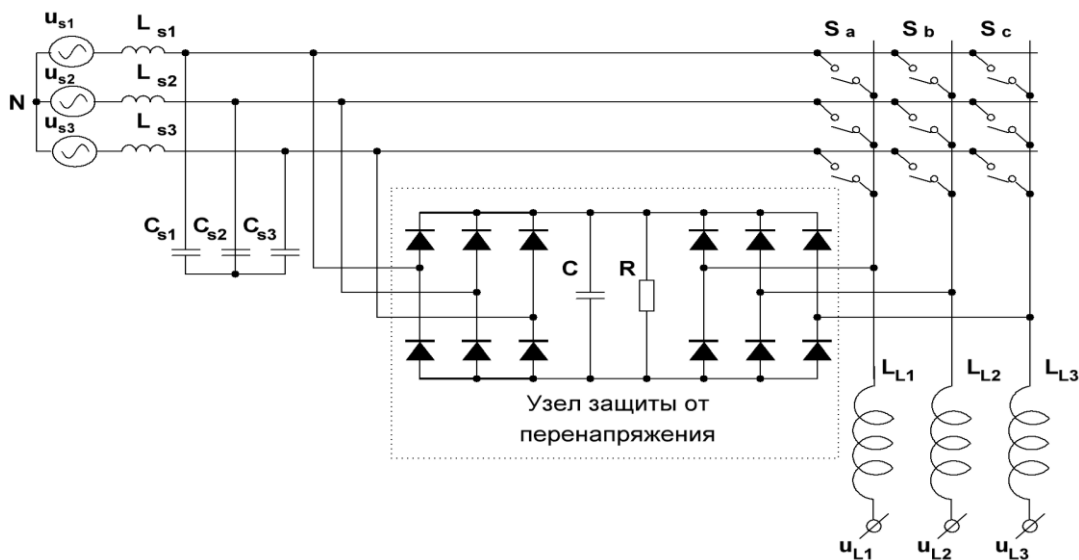


Рис. 1. Схема матричного преобразователя частоты с двенадцатидиодным узлом защиты

где L – индуктивность обмотки статора асинхронного электродвигателя; I_2 – ток статора асинхронного электродвигателя; U_2 – напряжение на конденсаторе схемы защиты; C – конденсатор схемы защиты.

Уровень перенапряжений при правильном выборе емкости узла защиты не превысит безопасного значения. Резистор необходим для разряда емкости конденсатора [6], напряжение на котором возрастает на каждом цикле коммутации.

Преимуществом такой схемы является ее простота и возможность защиты всех ключей

матричного преобразователя частоты с помощью одного емкостного накопителя. К недостаткам можно отнести необходимость установки двенадцати быстрых высоковольтных диодов, которые в принципе можно заменить на шесть двунаправленных ключей [7] или использовать шесть диодов (рис. 2). Кроме того, оптимальный выбор емкости здесь во многом зависит от характеристик электродвигателя.

Схема защиты матричного преобразователя частоты от перенапряжения и естественных коммутаций полупроводниковых ключей с шестью диодами приведена на рис. 2.

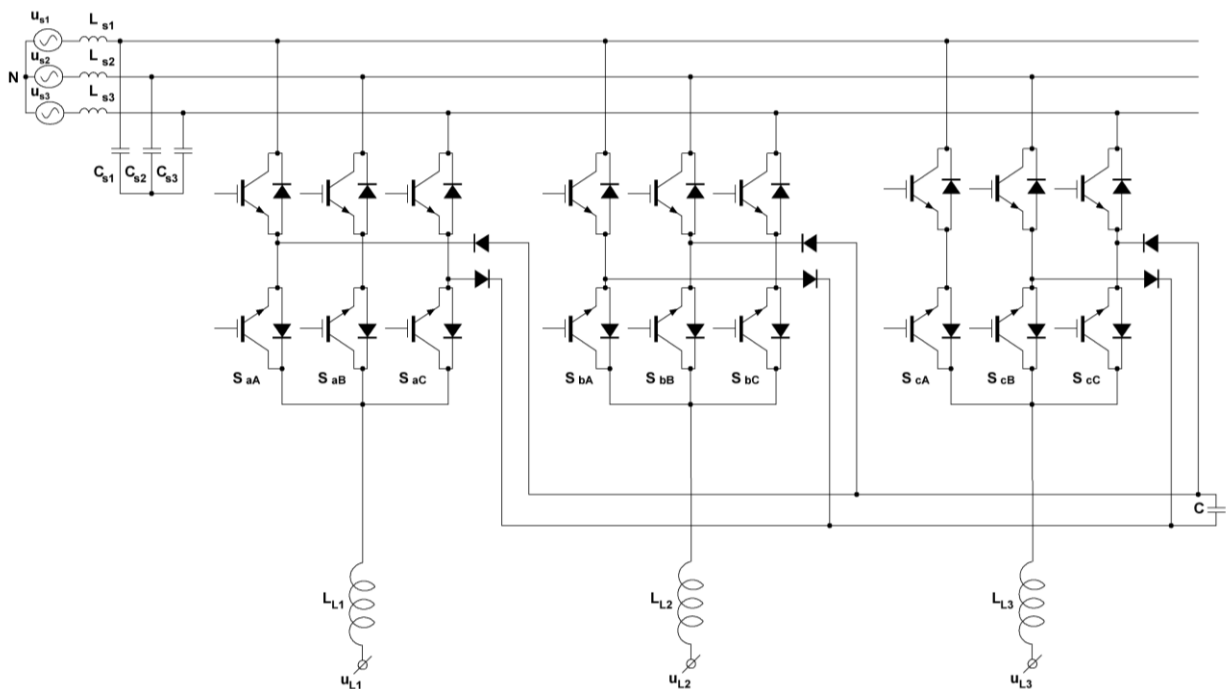


Рис. 2. Схема матричного преобразователя частоты с шестидиодным узлом защиты

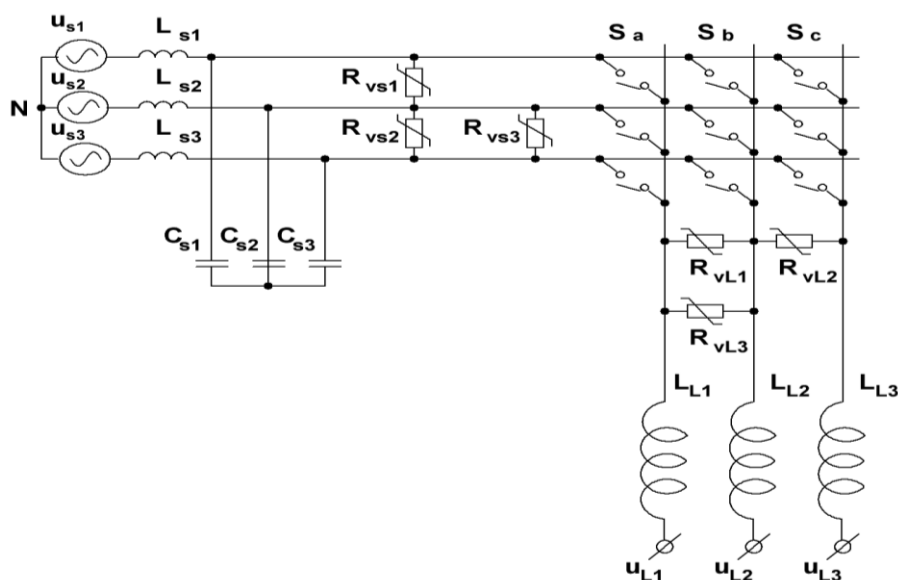


Рис. 3. Схема матричного преобразователя частоты с варисторным узлом защиты

В обеих схемах защиты имеющийся электролитический конденсатор большой емкости ограничивает срок службы системы управления.

На рис. 3 приведена простая схема защиты маломощных матричных преобразователей частоты с использованием на входе и выходе трех варисторов, включенных треугольником, однако она не эффективна для систем большой мощности [5]. Входные варисторы R_{vs1} , R_{vs2} , R_{vs3} обеспечивают защиту полупроводниковых ключей матричного преобразователя частоты от всплесков сетевого напряжения, выходные варисторы R_{vL1} , R_{vL2} , R_{vL3} обеспечивают защиту матричного преобразователя частоты при сбое системы и ошибках в период коммутации.

Наибольшую опасность для силовых цепей матричного преобразователя частоты представляют перенапряжения, вызванные отключением нагрузки.

Чтобы предотвратить вызванное этим событием нарастание напряжения до опасного уровня, необходимо обеспечить цепь протекания токов через обмотки электродвигателя. Поскольку уровень запасенной в обмотках энергии невелик, для ее поглощения могут быть использованы варисторы. При нормальной работе матричного преобразователя частоты мощностью, рассеиваемой варисторами, можно пренебречь. Однако такая схема не может гарантировать надежную защиту всех IGBT-транзисторов при аварийном отключении преобразователя. Опасность возрастает, когда уровень перенапряжения одних двухнаправленных ключей достигает предельного значения с некоторой задержкой относительно других.

В этом случае отключаемые первыми IGBT-транзисторы подвергаются наибольшей перегрузкам, в результате чего они могут выйти из строя. Для предотвращения подобных ситуаций рекомендуется метод «самоограничения» [8], при котором транзистор открывается при достижении напряжения «коллектор – эмиттер» $U_{КЭ}$ предельного значения (рис. 4).

При увеличении напряжения $U_{КЭ}$ до уровня, определяемого стабилитроном (Z-диод), IGBT-транзистор открывается, замыкая таким образом цепь разрыва индуктивной нагрузки. Очевидным недостатком такого решения является резкое увеличение потерь мощности IGBT в линейном режиме. Кроме того, при отпирании транзистора возможно возникновение высокочастотного дребезга. В отличие от варисторного ограничителя этот вариант требует некоторой доработки схемы управления.

К преимуществам данного решения можно отнести отсутствие дополнительных мощных реактивных компонентов и диодов, а также компактность и низкую стоимость схемы защиты.

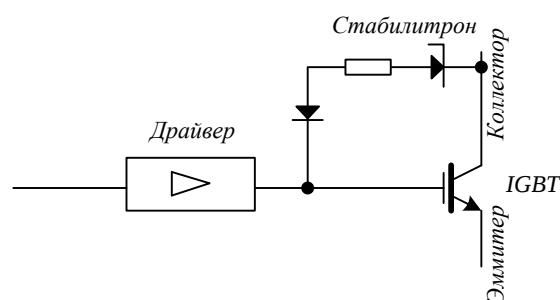


Рис. 4. Схема защиты матричного преобразователя частоты методом самоограничения

ты в целом. Выбор стабилизатора зависит только от класса IGBT и не связан с параметрами электродвигателя.

Выводы. Защита матричного преобразователя частоты в аварийных режимах требует особого технического решения, заключающегося в сокращении числа полупроводниковых элементов, как в конструкции самого преобразователя, так и в конструкции схем узлов защиты, что значительно повышает ее надежность. Вместе с тем решается проблема токовой коммутации силовых полупроводниковых ключей в интервалах между периодами проводимости. Присутствие узлов защиты в конструкции преобразователя решает задачу защиты полупроводниковых элементов от естественных коммутаций при аварийном отключении преобразователя или сбое системы управления. Кроме того, в процессе работы схема защищает полупроводниковые ключи от естественных коммутационных всплесков напряжения, образующихся на паразитных индуктивностях силовых шин.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нусратов П.Р., Пугачев Е.В., Иванов В.С. Матричный преобразователь частоты с улучшенной коммутацией. – В кн.: Труды шестой всероссийской научно-практической конференции. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2014. С. 289 – 294.
2. Гельман М.В., Дудкин М.М., Преображенский К.А. Преобразовательная техника: учебное пособие. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2009. С. 318.
3. Ruzlaini Ghoni, Ahmed N. Abdalla S., Koh P., Hassan Farhan Rashag and Ramdan Razali. Issues of matrix converters: Technical review // International Journal of the Physical Sciences. 2011. Vol. 6 (15). Pp. 3576 – 3588.
4. Venturini M., Alesina A. The generalized transformer: a new bi-directional sinusoidal waveform frequency converter with continuously adjustable input power factor. In: Proceedings of IEEE power electronics specialists conference, PESC'80, 1980. Pp. 242 – 252.
5. Mahlein J., Bruckmann M., Braun M. Passive protection strategy for a drive system with a matrix converter and an induction machine // IEEE Trans. Ind. Electron. 2002. Vol. 49 (2). Pp. 297 – 303.
6. Andreu J., Kortabarria I., Ormaetxea E., Ibarra E., Martin J.L., Apinaniz S. A step forward towards the development of reliable matrix converter. // IEEE Trans Ind Electron. 2012. Vol 59(1). Pp. 167 – 183.
7. Nielsen P., Blaabjerg F., Pedersen J.K. New Protection Issues of a Matrix Converter: Design Considerations for Adjustable – Speed Drives // IEEE Trans. on Ind. Applications. 1999. Vol. 35. Pp. 1150 – 1161.

© 2015 г. Е.В. Пугачёв, А.С. Иванов,
П.Р. Нусратов, В.С. Иванов
Поступила 25 марта 2015 г.