

Р. А. САЛОВ, аспирант (Горный университет)
Научный руководитель О.Б. ШОНИН, д.т.н., профессор (Горный
университет)
г. Санкт-Петербург

РЕЖИМЫ РАБОТЫ Z-ИНВЕРТОРА

Основным звеном современного электропривода является преобразователь частоты (ПЧ). В его состав входит автономный инвертор напряжения, осуществляющий преобразование постоянного напряжения в трехфазное напряжение. В системе частотно-регулируемого привода (ЧРП) обычно используется инвертор напряжения с IGBT-транзисторами, который имеет следующие недостатки:

1. Напряжение инвертора ограничено выходным напряжением выпрямителя, что ограничивает развиваемую мощность привода.
2. Установка повышающего DC/DC преобразователя приводит к увеличению стоимости системы и уменьшению её КПД.
3. Необходимость задержки в коммутации транзисторов (мертвое время) для исключения короткого замыкания источника питания во время переходных процессов переключения транзисторов.

Для преодоления вышеупомянутых проблем был предложен инвертор с измененной структурой звена постоянного тока – Z-инвертор [1], схема которого приведена на рисунке 1.

Суть его работы заключается в накоплении энергии для ее последующей отдачи в нагрузку и тем самым повышения напряжения на выходе преобразователя.

Состояние ключей инвертора напряжения за полный цикл коммутации можно описать восемью базовыми векторами напряжения: 6 активными, когда постоянное напряжение приложено к нагрузке, и двумя нулевыми,

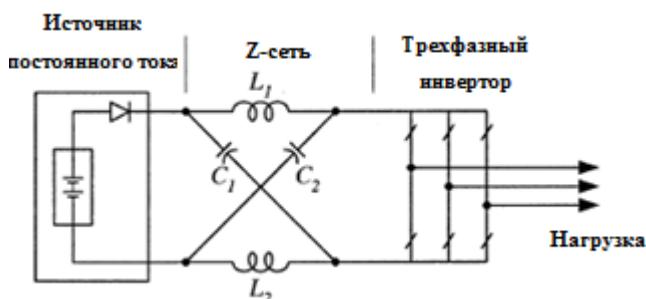


Рис.1. Схема Z-инвертора

два плеча фазы, или во всех трех плечах. Такое состояние отсутствует в традиционных инверторах напряжения, так как оно вызывает пробой и приводит к повреждению устройства.

мии, когда зажимы для подключения нагрузки замкнуты накоротко посредством либо верхних, либо нижних ключей. При этом Z-инвертор имеет одно дополнительное нулевое состояние, во время которого зажимы нагрузки

закорочены посредством обоих ключей в одном из плеч фазы, или в

Таким образом, Z-инвертор может находиться в 9 допустимых состояниях. Это обуславливает особенность Z-инвертора, заключающуюся в получении любого значения величины переменного напряжения на выходе преобразователя от нуля до некоторого максимального значения.

Эквивалентная схема замещения симметричного Z-инвертора с параметрами

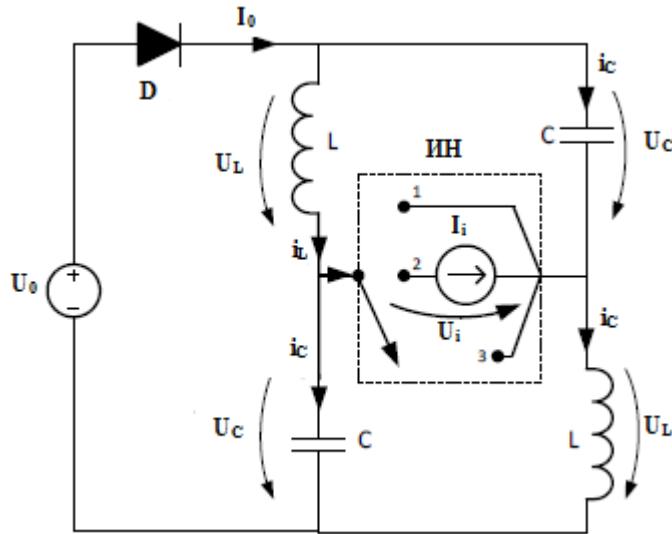


Рис.2. Эквивалентная схема замещения Z-инвертора

$L_1 = L_2 = L$ и $C_1 = C_2 = C$ показана на рисунке 2, где U_i - напряжение звена постоянного тока; U_0 - выходное напряжение выпрямителя.

Во время активного состояния энергия передается от источника к нагрузке, инвертор напряжения (ИН) эквивалентен источнику постоянного тока, значение которого зависит от типа нагрузки. Происходит разряд конденсаторов на нагрузку, тем самым обеспечивается по-

вышение напряжения звена постоянного тока, а также выходного напряжения. Схема замещения Z-инвертора в активном состоянии приведена на рисунке 3.

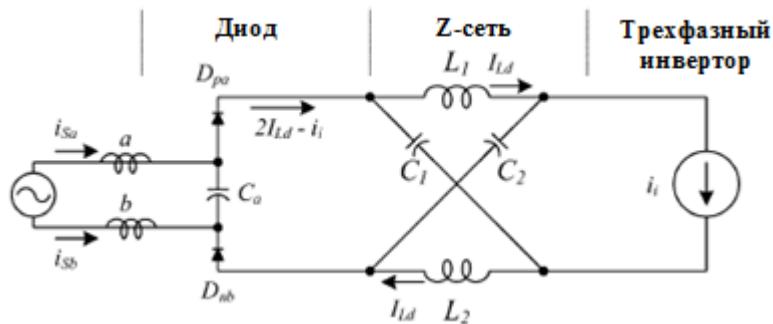


Рис.3. Схема замещения Z-инвертора в активном состоянии

Входной диод открыт. Входной ток записывается в виде:

$$I_0 = I_L + I_C = 2I_L - I_i \quad (1)$$

В этом режиме Z-инвертор описывается следующими уравнениями:

$$U_L = U_0 - U_C \quad U_d = U_0 \quad U_i = U_C - U_L = 2U_C - U_0 \quad I_C = I_L - I_i \quad (2)$$

В течение нулевого периода (рис. 4) зажимы нагрузки закорочены, и инверторный мост представляется как разрыв. Происходит заряд конденсаторов до напряжения источника.

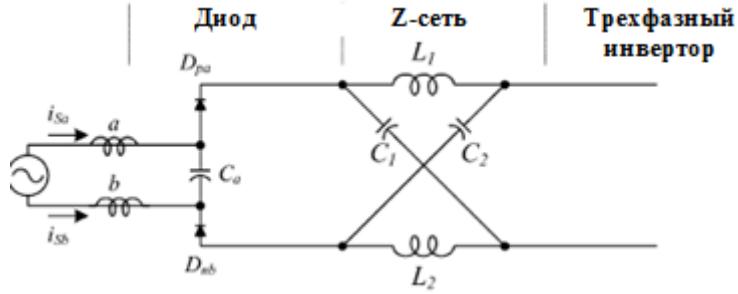


Рис.4. Схема замещения Z-инвертора в нулевом состоянии

Нулевой режим описывается следующими уравнениями:

$$I_c = -I_L \quad U_L = U_0 - U_c \quad (3)$$

В течение пробивного периода (рис.5) инверторный мост представляется как коротко замкнутая цепь (источник тока с нулевым значением). В этом режиме Z-инвертор изолирован от входного источника, и происходит обмен энергией только между реактивными элементами.

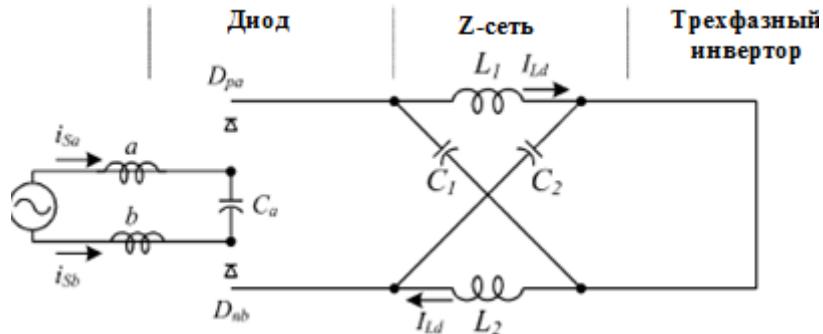


Рис.5. Схема замещения Z-инвертора в пробивном состоянии

Накопленная катушками индуктивности энергия передается конденсаторам, осуществляя дополнительный заряд конденсаторов. В этом режиме Z-инвертор описывается следующими уравнениями:

$$U_L = U_c \quad U_d = 2U_c \quad U_i = 0 \quad (4)$$

Подробное математическое описание работы Z-инвертора показано в работах [1,2]. Формулы, описывающие зависимость напряжения конденсатора и тока индуктивности от продолжительности включения пробивного состояния, имеют вид:

$$I_L = I_i \frac{1 - D_{np}}{1 - 2D_{np}} \quad (5)$$

$$U_c = U_0 \frac{1 - D_{np}}{1 - 2D_{np}} \quad (6)$$

Где $D_{np} = T_{np}/T$ - коэффициент заполнения пробивного состояния, равный отношению времени нахождения в пробивном состоянии к времени цикла коммутации.

Таким образом, управляя длительностью пробивного состояния, можно регулировать ток катушки и напряжение конденсатора. Максимальное значение напряжение звена постоянного тока дается формулой:

$$U_{i\max} = U_0 \frac{1}{1-2D_{np}} = BU_0 \quad (7)$$

Где $B = \frac{1}{1-2D_{np}}$ - коэффициент форсировки.

При этом максимальное фазное напряжение инвертора достигает значения:

$$U_{AC\max} = M \frac{BU_0}{2} \quad (8)$$

Отличием Z-инвертора от традиционного инвертора напряжения является зависимость его выходного напряжения не только от индекса модуляции M , но и от коэффициента форсировки B . Уравнение (8) показывает, что выходное напряжение может быть повышенено или понижено путем подбора соответствующего значения коэффициента форсировки B .

Регулирование работы Z-инвертора производится аналогично традиционному ШИМ инвертору напряжения [3].

Выводы:

Целесообразность использования Z-инвертора заключается в том, что он позволяет устранить недостатки традиционных инверторов и повысить надежность работы нагрузки. Благодаря его способности работать в пробивном режиме, появляется возможность повысить уровень выходного напряжения путем регулирования длительности пробивного состояния без установки дополнительных преобразователей. К областям практического использования Z-инвертора можно отнести:

1. Компенсация провалов напряжения при использовании в составе ЧРП путем повышения выходного напряжения до необходимого уровня за счет использования пробивных состояний.
2. Динамическая стабилизация напряжения.
3. Использование в качестве активного выпрямителя в составе ЧРП
4. Согласование накопительных элементов с сетью.

Список литературы:

1. F. Z. Peng. Z-Source Inverter / F. Z. Peng. – IEEE Transactions on Industry Applications: vol. 39, no. 2, March/April, 2003. – pp. 504-501.
2. O. Ellabban. Z-Source Inverter for Automotive Applications / J. V. Mierlo, O. Ellabban. – New Generation of Electric Vehicles.: InTech, ch. 10, 2012. – pp.297-322
3. D. M. Vilathgamuwa. Pulse-Width Modulation of Z-Source Inverters / D. M. Vilathgamuwa, Y. S. Lai, G. T. Chua, Y. Li, P. C. Loh. – IEEE Transactions Power Electronics: vol. 20, 2005. – pp. 148-155.