

## ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЧАСТОТЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Основными вопросами создания преобразователей частоты (ПЧ) для электроприводов (ЭП) среднего и высокого уровня напряжений является равномерное распределение напряжения между последовательно соединенными полупроводниковыми приборами и обеспечение его синусоидальности. Радикально данную проблему решает применение многоуровневых автономных инверторов напряжения (МАИН) с ШИМ-регулированием.

Наиболее интересными в настоящее время вариантами технических решений в данной области являются:

1) трехуровневая мостовая схема (№1) с фиксацией нейтрали (топология преобразования NPC). Типичными представителями данного класса систем являются ПЧ серии ACS1000 фирмы ABB и Simovert MV фирмы Siemens [1],

2) пятиуровневая мостовая схема (№2), выполненная на базе вышеуказанной и внедренная фирмой ABB в серии ПЧ ACS5000;

3) многоуровневая каскадная схема (№3) на базе унифицированных вентиляльных ячеек с многообмоточным трансформатором. Данная схема внедрена фирмой Mitsubishi в ПЧ MELTRAC-F500HVC [1].

При современном уровне производства высоковольтных полупроводниковых ключей IGBT, IGCT и др. с максимальным напряжением 6,0-6,5 кВ в схемах № 1 и № 2 обеспечивается номинальное выходное линейное напряжение соответственно 4.16 и 6 кВ. Например, в схеме № 2 наибольшее напряжение на ключе с учетом повышения напряжения в питающей сети на 10 % составляет [2]:

$$U_{\text{кл}} = 1,1U_0 = 2,69 \text{ кВ}, \quad (1)$$

где  $U_0 = \frac{U_{\text{лм}}}{4} = \frac{6\sqrt{2}}{4 \cdot 0.866} = 2,45 \text{ кВ}$  – напряжение на одном фильтрующем конденсаторе звена постоянного тока,

$U_{\text{лм}}$  – амплитуда линейного выходного напряжения инвертора, 0, – коэффициент амплитуды первой гармоники напряжения [2].

Схема № 3 позволяет при низком классе ключей получить высокое выходное напряжение, но обладает недостатками: большое количество полупроводниковых элементов и конденсаторов, сложный многообмоточный трансформатор, не допускает двухстороннюю передачу энергии, при необходимости электрического торможения требует большого количества узлов сброса энергии конденсаторов.

В связи с вышеизложенным представляются перспективными мостовые схемы МАИН [2]. В качестве примера на рис.1 приведена схема ПЧ с пятиуровневым МАИН, в которой звено постоянного тока содержит трансформатор  $Tr$ , многозвенный выпрямитель  $B$ , блок конденсаторов  $K$  и вентиляльные секции 1-3, имеющие по 3 общих точки  $O_1-O_3$ . Между двигателем  $M$  и секциями включены синусные фильтры  $LC_A - LC_C$ .

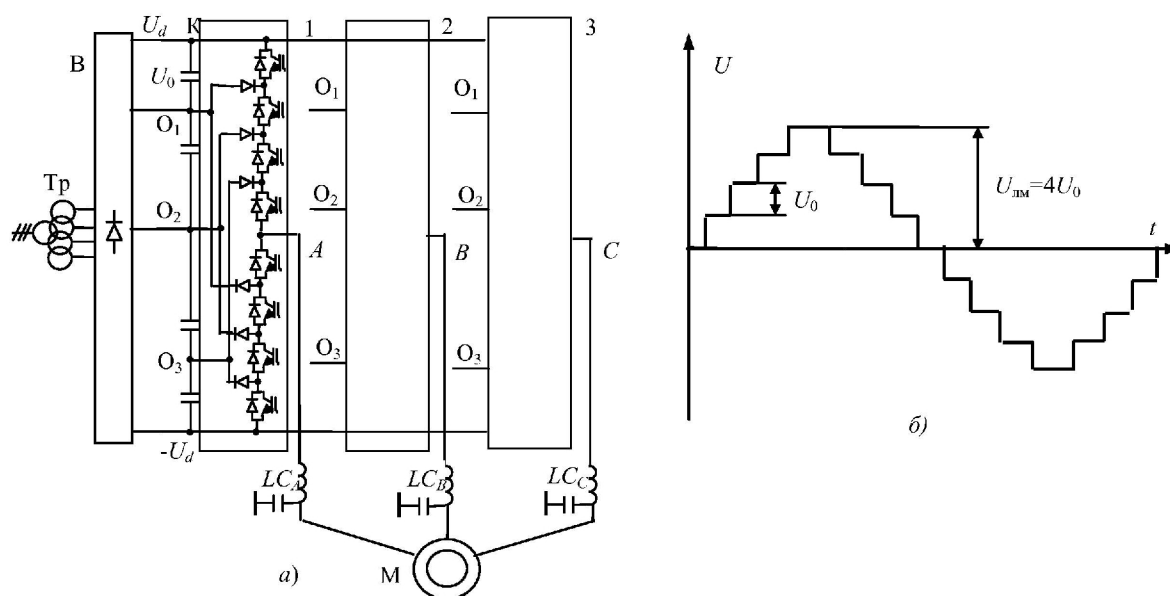


Рис. 1

При допустимом напряжении на ключе по (1) выходное линейное напряжение первой гармоники составляет

$$U_{л} = \frac{4U_0 0,866}{\sqrt{2}} = 6 \text{ кВ}. \quad (2)$$

При построении мостовых МАИН целесообразно использовать транзисторные модули типа «чоппер», где ключ и два диода интегрированы в один модуль.

В общем случае для мостовых МАИН количество уровней выходного линейного напряжения  $n = m + 1$ , где  $m$  – число ключей в плече одной секции моста (число конденсаторов в звене постоянного тока также равно  $m$ ). Количество общих точек схемы  $O_i$  равно  $(m - 1)$ .

Максимальное напряжение на ключах

$$U_{кп} = U_0 = \frac{1,1U_d}{m} = \frac{1,1\sqrt{2}U_{л}}{0,866m} \approx 1,8 \frac{U_{л}}{m}. \quad (3)$$

Мостовые МАИН также, как и каскадные, за счет увеличения числа уровней позволяют использовать ключи на низкое напряжение, но при более простом силовом трансформаторе, меньшем количестве источников постоянного напряжения и устройств сброса энергии конденсаторов. При заданном напряжении на ключе их количество в обеих схемах одинаково.

Вторым вопросом данного доклада является рассмотрение особенностей МАИН с автотрансформаторным выходом. В этом случае с целью снижения напряжения на ключах инвертор выполняется на пониженное напряжение, а повышающий автотрансформатор (АТ) увеличивает его до уровня напряжения двигателя. При этом вместе с выходными конденсаторами АТ выполняет функции синусного фильтра (рис.2).

Анализ показывает, что при коэффициенте трансформации  $K_{АТ} = 1,5 \div 2,5$  мощность АТ значительно меньше мощности нагрузки  $S_{н}$  (двигателя М) и соответственно составляет

$$S_{АТ} = \frac{K_{АТ} - 1}{K_{АТ}} S_{н} = (0,33 \div 0,6) S_{н}. \quad (4)$$

Заметим, что если вместо АТ используется согласующий трансформатор (Тр) с тем же коэффициентом, что и АТ, то его следует выбирать на полную мощность нагрузки.

Такой эффект объясняется способом передачи потока мощности в нагрузку: при помощи АТ мощность в нагрузку передается электромагнитным и электрическим путем, а с помощью Тр – только электромагнитным.

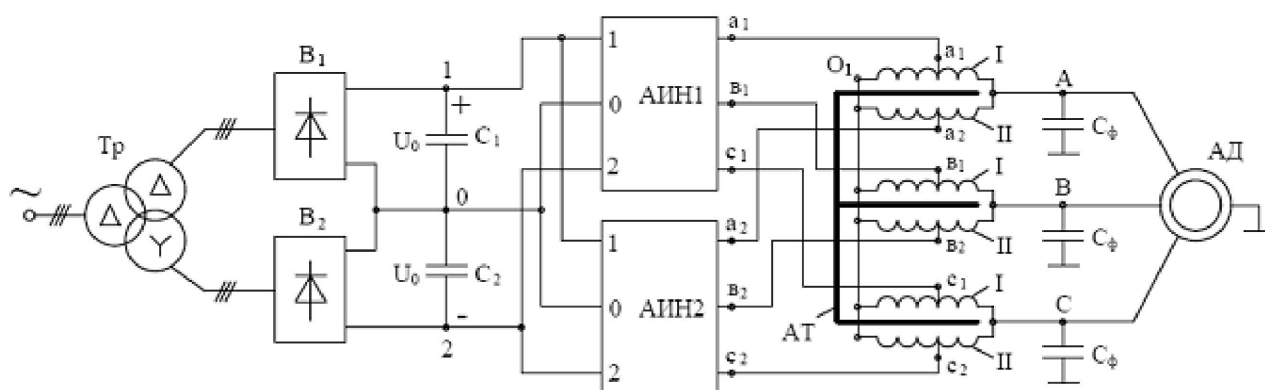


Рис. 2

При автотрансформаторном выходе ПЧ ключи в МАИН следует выбирать на напряжение  $U_{1л} = U_{2л} / K_{АТ}$ , где  $U_{1л}$ ,  $U_{2л}$  – первичное и вторичное напряжение АТ, что с учетом (4) соответствует  $0,67U_{2л}$  и  $0,4U_{2л}$ .

Дальнейшее развитие идеи автотрансформаторного ПЧ с целью увеличения мощности отражено на рис.2. ПЧ выполнен с параллельным подключением двух МАИН к общему звену постоянного тока, при этом выходы инверторов АИН1 и АИН2 соответственно соединены с входами обмоток I-II АТ. Управление инверторами осуществляется синхронно от общей системы управления СУ.

Принципиально АТ возможно выполнять одно- или трехфазным с параллельным подключением к нему нескольких МАИН. Инверторы могут быть как 3х уровневыми, так и многоуровневыми.

### Литература

1. Лазарев Г.Б. Высоковольтные преобразователи для частотного регулируемого электропривода. Построение различных систем «Новости Электротехники», № 2 (32), 2006г.
2. Н.Донской, А.Иванов, В.Матисон, И.Ушаков. Многоуровневые автономные инверторы для электропривода и энергетики. Силовая электроника, № 1, 2008г.