

Введение Транзисторные автономные инверторы с автогенераторными схемами управления получили название магнито-транзисторных инверторов [1, 2]. Транзисторы таких инверторов работают в экономичном ключевом режиме, а качестве нелинейного релейного элемента используется трансформатор с прямоугольной петлей гистерезиса, который задает частоту переключения транзисторов, формирует управляющие импульсы и выполняет функцию синхронизации фаз. В [2] отмечены преимущества магнитно-транзисторных инверторов напряжения (МТИН) и показано, что с точки зрения общепромышленного применения наибольший интерес представляют трехфазные статические преобразователи электрической энергии. Однако при построении подобных МТИН особенно сложно решаются вопросы формирования ступенчатых форм и синхронизации фаз выходных напряжений, а также формирования управляющих напряжений транзисторов. В [2, 3] показано, что формирование двухступенчатой формы фазного напряжения в трехфазном МТИН можно осуществить, применив несколько обмоток в каждой фазе. Предложенный способ формирования двухступенчатой формы фазного напряжения использовался на кафедре электропривода и электротехники Казанского национального исследовательского технологического университета (КНИТУ) при разработке двух- и трехфазных МТИН, в которых синхронизация фаз осуществляется с помощью обмоток переключающих трансформаторов. При этом схема соединения обмоток и определенное соотношение количества витков позволяет получить устойчивую синхронизацию фаз и необходимый фазовый сдвиг. В [2] рассматриваются устройство и принцип действия разработанного на кафедре электропривода и электротехники КНИТУ трехфазного самовозбуждающегося инвертора, магнитная система которого выполнена на базе трехфазного группового трансформатора. Однако МТИН на трехфазном групповом трансформаторе имеет следующие недостатки: 1) применение в автогенераторной схеме управления МТИН трехфазного группового трансформатора, имеющего повышенные массу и габариты, приводит к завышенному расходу активных материалов; 2) синхронизация фаз выходных напряжений осуществляется на третьей гармонике магнитного потока вследствие чего в кривых фазных напряжений МТИН содержится третья гармоника. Вопросы выбора трансформатора в трехфазном МТИН рассматривались в [4], где показано, что предпочтение следует отдавать трехстержневому трансформатору. При этом в [4] отмечено, что применение трехстержневого трансформатора потребует разработки схемного решения автогенераторной схемы управления, отличающегося от предложенного в [2]. Одной из разработок кафедры электропривода и электротехники КНИТУ является трехфазный самовозбуждающийся инвертор, магнитная система которого выполнена на базе трехфазного стержневого трансформатора [5]. Показано, что одним из недостатков схемы МТИН на трехстержневом

трансформаторе является двухступенчатая форма управляющих напряжений транзисторов, подобная форме фазных напряжений. Известно, что для экономичной работы транзисторов в режиме переключения необходимо формировать управляющие напряжения прямоугольной формы. Теоретические положения

На кафедре электропривода и электротехники КНИТУ разработан трехфазный самовозбуждающийся инвертор, магнитная система которого выполнена на базе трехфазного стержневого трансформатора, а силовая часть собрана на шести комплементарных транзисторах VT1 – VT6, соединенных по мостовой схеме (рис. 1). Управление транзисторами – 180-градусное. На каждом стержне трансформатора T1 размещаются первичная обмотка I, синхронизирующая обмотка II и две вторичных обмотки III – VI. Коэффициент трансформации n между первичными и синхронизирующими обмотками равен единице, что обеспечивает взаимный сдвиг фаз на π . Транзисторы шунтируются обратными диодами VD1 – VD6. Трехфазная нагрузка подключается к точкам A, B, C. Рис. 1 – Принципиальная схема трехфазного МТИН с вольтодобавочным трансформатором

Напряжения на первичных и синхронизирующих обмотках формируются в соответствии с изменением магнитных потоков в стержнях C1, C2, C3 трансформатора T1, временные диаграммы которых приведены на рис. 2. Рис. 2 – Временные диаграммы магнитных потоков стержней C1 – C3 трансформатора T1

Формирование фазного напряжения двухступенчатой формы осуществляется путем суммирования напряжений первичной обмотки I и синхронизирующей обмотки II, расположенных на разных стержнях. Временные диаграммы, поясняющие формирование фазного напряжения, показаны на рис. 3. Видно, что напряжения на обмотках I и II имеют одну ступень длительностью t_1 , что обеспечивается одинаковой скоростью движения рабочих точек стержней C1 – C3 трансформатора T1 по кривой намагничивания (рис. 2 а) на отдельных интервалах времени (рис. 2 б) и паузу длительностью на нулевом уровне, возникающую вследствие насыщения соответствующего стержня трансформатора T1 (рис. 2 б). Значение магнитного потока, соответствующее насыщению одного из стержней, на рис. 2 обозначено $\Phi_{\text{нас}}$. Рис. 3 – Формирование кривой фазного напряжения В соответствии с рис. 3 фазные напряжения будут иметь двухступенчатую форму с амплитудой первой ступени U_1 , второй ступени – U_2 и не будут содержать в своем составе третьих гармоник. Линейные напряжения будут иметь амплитуду, равную напряжению питания и паузу на нулевом уровне. Для формирования прямоугольных управляющих напряжений транзисторов в схему инвертора введен маломощный вольтодобавочный трансформатор T2 (рис. 1), первичная обмотка которого подключается между точками O и N. Трансформатор T2 имеет также три вторичных обмотки II – IV. Средняя точка N источника питания образована с помощью конденсаторов C1 и C2 одинаковой емкости. Установлено, что между точками O и N возникает напряжение U_N . Это напряжение имеет прямоугольную форму, амплитуду и

изменяется с тройной частотой по отношению к частоте фазных и линейных напряжений инвертора. При этом по цепи первичной обмотки трансформатора Т2 замыкается третья гармоника тока. Формирование управляющих напряжений транзисторов прямоугольной формы с помощью вторичных обмоток II – IV вольтодобавочного трансформатора (ВТ) поясняет рис. 4. Управляющее напряжение транзистора VT1 формируется в соответствии с формулой где - напряжение на обмотке III стержня С1 трансформатора Т1; - напряжение на обмотке IV стержня С2 трансформатора Т1, - напряжение на обмотке II трансформатора Т2. Рис. 4 – Формирование напряжения транзистора VT1 в МТИН с вольтодобавочным трансформатором Таким образом, введение третьей гармоники напряжения в цепи управления транзисторов позволяет формировать в МТИН на трехстержневом трансформаторе управляющие напряжения прямоугольной формы. При этом обеспечивается экономичная работа транзисторов в режиме переключения. Обсуждение результатов

Экспериментальные исследования подтвердили работоспособность предлагаемой схемы МТИН на трехстержневом трансформаторе, корректность разработанной методики проектирования и справедливость исходных положений. Следует отметить, что применение вольтодобавочного трансформатора не оказывает существенного влияния на массу, габариты и энергетические показатели МТИН. Выводы 1. Использование в автогенераторной схеме управления МТИН трехфазного стержневого трансформатора позволяет избавиться от третьих гармоник в кривых магнитных потоков и фазных напряжений инвертора. 2. Применение трехфазного стержневого трансформатора в совокупности с вольтодобавочным трансформатором вместо группового позволяет экономить 27 % стали и 11 % меди, обеспечив тем самым снижение массы, габаритов и стоимости инвертора. 3. Управляющие напряжения транзисторов МТИН с вольтодобавочным трансформатором имеют прямоугольную форму, обеспечивающую экономичную работу транзисторов в режиме переключения.