

Транзисторные инверторы для электропитания средств связи

ГЕННАДИЙ СОРОКИН, вед. специалист-разработчик, ЗАО «ММП-Ирбис»

ИВАН КУЗИН, вед. специалист-разработчик, ЗАО «ММП-Ирбис»

МИХАИЛ КАСТРОВ, гл. инженер, ЗАО «ММП-Ирбис»

В статье рассмотрены инверторы, разработанные и выпускаемые ЗАО «ММП-Ирбис». Проведен сравнительный анализ инверторов, предназначенных для работы с аппаратурой связи, по мощности, коэффициенту гармоник, КПД, массо-габаритным показателям и т.д.

Инвертор напряжения — это преобразователь постоянного напряжения в переменное. Инверторы давно и широко применяются для питания переменным током самых разнообразных устройств — от маломощных бытовых приборов в автомобиле до энергоемких нагрузок в десятки киловатт на транспорте и производстве. Инверторы незаменимы при построении систем бесперебойного питания переменного тока. Такие системы необходимы для питания нагрузок, не допускающих даже кратковременных перебоев в подаче электропитания. В последнее время бурно развивается производство альтернативных источников электроэнергии, таких как солнечные батареи и ветроэнергетика. Электроэнергия, выработанная этими источниками, не может быть эффективно использована без предварительного преобразования в одну из стандартных форм. Эта задача успешно решается с помощью транзисторных инверторов.

Все чаще инверторы используются в качестве стабилизаторов — нормализаторов сети. В бизнес-центрах, на предприятиях к сети подключено огромное количество оргтехники. Сетевые источники питания компьютеров, мониторов начинаются с выпрямителя и емкостного накопителя (нелинейная нагрузка). При массовом использовании таких приборов гармонический состав сетевого напряжения часто выходит за допустимые пределы. В этом случае нагрузка, нуждающаяся в напряжении высокого качества, подключается к инвертору с синусоидальным выходным напряжением, а сам инвертор получает питание от сети через понижающий выпрямитель.

В таблице 1 приведены результаты замеров гармонического состава сети в одном из офисов Москвы и выходного напряжения инвертора.

Далеко не все потребители электроэнергии предъявляют серьезные требования к качеству напряжения. Компьютеры, электроинструмент, многие бытовые приборы вполне сносно работают при питании от инверторов с квазисинусоидальной формой выходного напряжения (см. рис. 1). В настоящее время на рынке присутствует множе-

ство моделей этого класса в диапазоне мощности от 50 Вт до единиц киловатт. В основном это аппараты производителей из Юго-Восточной Азии, у которых на первом плане стоит вопрос минимальной себестоимости

Обеспечение требуемого качества электроэнергии, необходимой защиты, вопросы электромагнитной совместимости и удаленного мониторинга, как правило, в этих устройствах не рассматриваются и не реализуются. Кроме того, производители оборудования, которое можно подключить к такому инвертору, не гарантируют его нормальной работы при питании от источника напряжения с параметрами, отличными от стандартной промышленной сети. Например, персональный компьютер, питаемый квазисинусоидальным напряжением, выполняет все свои функции, однако на экране монитора присутствуют помехи и возникают проблемы с сетевым подключением. Пускорегулирующие устройства люминесцентного освещения издают повышенный акустический шум. В автоматике газовых котлов не работает система автоматического поджига, а циркуляционные насосы потребляют повышенную мощность и перегреваются. В режиме малых нагрузок выходное напряжение такого инвертора может существенно превышать номинальное.

Для питания нагрузок, особо критичных к форме питающего напряжения, выпускаются инверторы с синусоидальной формой выходного напряжения (см. рис. 2). Эти инверторы сложнее и дороже «квазисинусоидальных», однако практически любое оборудование соответствующей мощности, рассчитанное на подключение к промышленной сети, может получать электропитание от инверторов этого класса.

Особо следует выделить инверторы, предназначенные для совместной работы с аппаратурой связи. В настоящее время в России действуют «Правила применения оборудо-

Таблица 1. Гармонический состав выходного напряжения инвертора и промышленной сети

		Инвертор		Сеть
Активная мощность (Pn), Вт		750	300	
Коэффициент гармоник, THD, %		1	0,5	4,7
Вес высших гармоник	1	100,00	100,00	99,90
	3	0,90	0,30	4,10
	5	0,20	0,00	1,00
	7	0,10	0,00	1,60
	9	0,10	0,00	0,10
	11	0,00	0,00	0,10

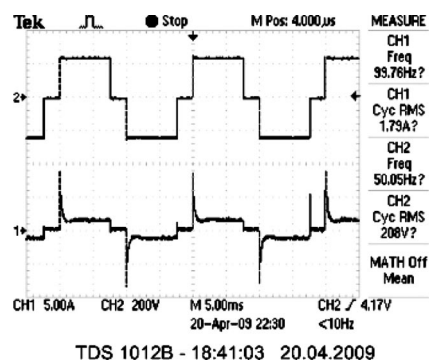


Рис. 1. Ток и напряжение инвертора с квазисинусоидальной формой напряжения при работе на нелинейную нагрузку

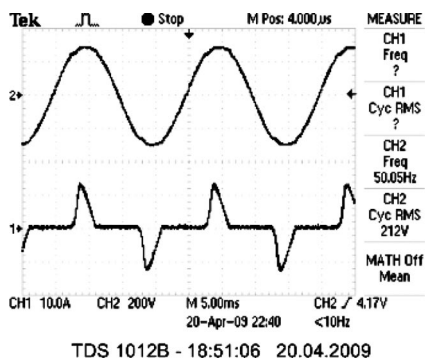


Рис. 2. Ток и напряжение инвертора с синусоидальным выходным напряжением при работе на нелинейную нагрузку

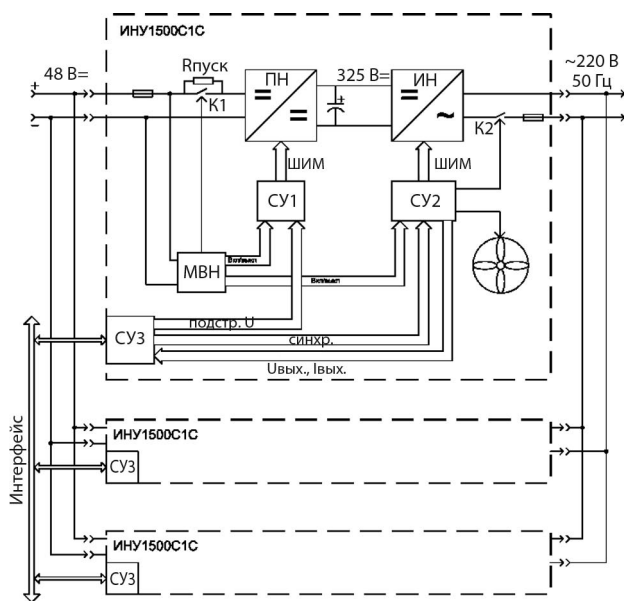


Рис. 3. Структурная схема инвертора

вания электропитания средств связи» (ППОЭСС), утвержденные приказом Министерства информационных технологий и связи РФ № 21 от 03.03.2006 г. Эти правила жестко регламентируют не только требования к качеству выходного напряжения инверторов и инверторных систем, но и параметры электромагнитной совместимости. Только для связанных инверторов введен контроль группы электрических параметров, характеризующих влияние инвертора на первичный источник постоянного тока, к которому подключен инвертор (см. таблицу 2).

Это объясняется тем, что к одной и той же шине подключено функциональное телекоммуникационное оборудование и инвертор, создающий пульсации на частоте 100 Гц и высших гармониках. Наличие этих пульсаций может привести к сбоям питаемого оборудования и сниже-

Таблица 2. Электрические параметры, характеризующие влияние инвертора на первичный источник

Наименование параметра	Предельное отклонение
Действующие значения пульсаций напряжения гармонический составляющих, мВ, не более: - в диапазоне частот до 300 Гц; - 300 Гц...150 кГц	50 7
Действующее напряжение пульсаций напряжения суммы гармонических составляющих, в диапазоне частот от 25 Гц до 150кГц, мВ, не более	50
Псофометрическое значение пульсаций, мВ, не более	2

нию качества передаваемой аудиоинформации. Подавление пульсаций на частоте 100 Гц дополнительными низкочастотными фильтрами приводит к существенному увеличению массогабаритных показателей изделия и не всегда приводит к желаемому результату.

ИНВЕРТОРЫ КОМПАНИИ ЗАО «ММП-ИРБИС». СОСТАВ СЕРИИ

В полном объеме обеспечить выполнение требований ППОЭСС компании ЗАО «ММП-Ирбис» удалось при разработке инверторов серии «ИН» для питания аппаратуры связи. Состав серии и основные параметры инверторов, входящих в серию, приведены в таблице 3. Все инверторы серии объединены единым конструктивным решением: ширина — 19 дюймов при высоте 1U.

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА

Все инверторы серии построены по единой схеме с двойным преобразованием энергии (см. рис. 3). Входное напряжение конвертируется импульсным преобразователем (ПН) в стабилизированное высокое напряжение промежуточной шины. ПН представляет собой двоякую однотактную схему с прямым включением диода и общим дросселем фильтра. Сдвоенная структура применяется для снижения пульсаций тока в выходном и входном дросселях. Гальваническая развязка обеспечивается силовыми импульсными трансформаторами.

Промежуточная шина 325 В дополнена электролитическими конденсаторами большой емкости. Высоковольтная шина с емкостным накопителем служит буфером между пульсирующим выходным и постоянным входным напряжениями. Благодаря ее большой емкости инвертор обладает высокой мгновенной перегрузочной способностью и нечувствительностью выходного напряжения к переходным процессам в нагрузке. Схема управления СУ1 обеспечивает работу силовых транзисторов преобразователя. Коэффициент заполнения импульсов силовых ключей — величина переменная и зависит от текущего значения ряда параметров:

- уровня входного напряжения;
- тока нагрузки инвертора;
- уровня сигнала параметрической компенсации пульсаций входного тока;
- уровня сигнала выравнивания тока при параллельной работе нескольких инверторов.

Схема управления СУ1 построена на базе микросхемы двухканального ШИМ-контроллера UC3846.

Вторая ступень преобразования — собственно инвертор напряжения (ИН). В нем использована классическая схема полного моста с выходным фильтром низкой частоты. Инверторные ключи коммутуются на частоте 20 кГц. Выбор рабочей частоты является компромиссом между габаритными размерами электромагнитных компонентов и снижением акустического шума, с одной стороны, и величиной коммутационных потерь — с другой. В качестве силовых ключей моста инвертора используются IGBT-транзисторы с интегрированным быстродействующим обратным диодом. Типовое время восстановления диода составляет 40 нс. Введение фиксированной задержки на включение транзистора после выключения транзистора, ранее проводившего ток, гарантирует отсутствие сквозных токов в стойке моста. Это обстоятельство особенно ценно при проектировании инверторов с повышенными требованиями к электромагнитной совместимости, т.к. высокочастотные помехи, формирующиеся в паразитных емкостях и индуктивностях монтажа при сквозных токах, в этом случае просто отсутствуют. В отличие от мощных МОП-транзисторов, IGBT-транзисторы обладают нелинейным дифференциальным сопротивлением в открытом состоя-

нии, что положительно сказывается на нагрузочной характеристике моста в режиме кратковременных перегрузок.

Фильтр низких частот на выходе инверторного моста представляет собой однозвенный LC-фильтр с частотой среза около 1 кГц. Он предназначен для выделения огибающей напряжения с частотой 50 Гц из последовательности модулированных импульсов частотой 20 кГц.

Работа схемы моста полностью управляется схемой управления СУ2. Основа схемы управления — 8-разрядный микропроцессор RISC-архитектуры. Синусоида задается таблицей в памяти микроконтроллера (МК), где номера ячеек привязаны к фазе выходного напряжения. МК использует т.н. режим «быстрый ШИМ», в котором период коммутации задан, а длительность импульса находится в регистре сравнения. Регистр сравнения регулярно обновляется очередным значением из таблицы. Схема управления СУ2 выполняет следующие дополнительные функции:

- обеспечение защиты от перегрузок по току и короткого замыкания;
- контроль теплового режима силовых элементов инвертора;
- управление скоростью вращения вентилятора;
- управление выходным контактором.

Последняя функция позволяет решить вопрос соответствия инвертора требованиям ППОЭСС по надежности. Нарботка на отказ инверторов должна быть не менее 150 тыс. ч. Все используемые элементы схемы инвертора, кроме вентилятора, позволяют обеспечить заданную наработку. Этот показатель для доступных вентиляторов с шариковыми подшипниками составляет 50 тыс. ч. В данном случае проблема решается выбором вентиляторов с избыточной производительностью и принудительным ограничением скорости вращения в зависимости от уровня загрузки инвертора. Кроме того, ограничение скорости вращения вентилятора существенно снижает уровень акустического шума.

Основное назначение узла МВН — мониторинг входного напряжения. Схема разрешает работу СУ1 и СУ2 в том случае, если текущее значение входного напряжения находится в заданных пределах. Для исключения неоднозначности формирования команды на остановку (запуск) устройства на крайних значениях диапазона входного напряжения в МВН предусмотрен гистерезис. Дополнительная функция МВН — формирование вспомогательных гальванически-развязанных напряжений для питания схем управления всего инвертора и интерфейса параллельной работы. Кроме того, МВН управляет силовым входным контактором. Команда на включение контактора подается только при выполнении следующих условий:

- полярность поданного входного напряжения верна;
- уровень входного напряжения находится в заданном диапазоне.

СУ3-схема синхронизации и контроля также выполнена на 8-разрядном микроконтроллере. Основная задача схемы — обеспечение параллельной работы инверторов, объединенных в систему. Фазовая подстройка выходных напряжений отдельных инверторов в системе осуществляется воздействием схемы СУ3 на СУ2 с помощью синхронимпульса и данных, переданных по последовательному интерфейсу. Корректное деление токов происходит за счет обмена данными между инверторами, что обеспечивает точную подстройку напряжения на промежуточной высоковольтной шине каждого инвертора. Схема СУ3 задает и корректирует уставку стабилизации напряжения для схемы СУ1. Схемы СУ3 отдельных инверторов связаны друг с другом через цифровой интерфейс. Следует отметить, что для обеспечения параллельной работы инверторов не требуются какие-либо дополнительные устройства (кон-



а)



б)

Рис. 4. Инвертор ИНУ1500С1: а) комбинированное (К); б) стойчное исполнение (С)

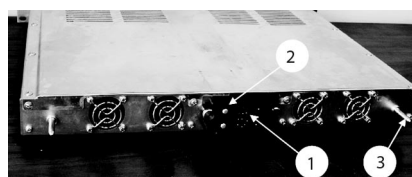


Рис. 5. Инвертор ИНУ 1500С1С: 1 — сигнальные контакты мультиразъема; 2 — силовые контакты мультиразъема; 3 — направляющие для установки в шкаф

троллер, хаб и т.д.). Достаточно соединить параллельно выходные цепи с соблюдением фазировки и подключить к общей шине интерфейс каждого инвертора. Перед замыканием выходного контактора каждый инвертор проводит проверку правильности фазировки и обеспечивает синхронизацию. Не требуется также и предварительная нумерация инверторов в системе — это происходит автоматически при первом включении.

В устройстве предусмотрена возможность «горячей» замены инверторов при работе в системе. При включении инвертора в работающую систему происходят следующие события:

- входное напряжение поступает на МВН, и через ограничительный резистор происходит заряд входных емкостей без броска тока;
- МВН обеспечивает вспомогательным питанием все схемы управления инвертора;
- анализируется полярность и уровень входного напряжения. В случае соответствия этих параметров норме формируется команда на включение входного контактора и запуск инвертора;
- анализируется напряжение и его фаза на выходной шине, осуществляется подстройка по фазе и амплитуде;

Таблица 3. Основные параметры инверторов серии «ИН»

№ п/п	Наименование	Выходная мощность, ВА	Входное напряжение, В
1	ИНЕ650С1	900	20,4...28
2	ИНЕ1300С1	1800	20,4...28
3	ИНУ750С1	1050	40,5...57,8
4	ИНУ1500С1	2100	40,5...57,8
5	ИНЮ750С1	1050	48...72
6	ИНЮ1500С1	2100	48...72
7	ИНТ750-1С	1050	88...125
8	ИНТ1500-1С	2010	88...125
9	ИНК750-1С	1050	180...245
10	ИНТК500-1С	2010	180...245

Таблица 4. Основные характеристики инверторов

Параметр	Мин.	Ном.	Макс.	Ед. изм.
Входное напряжение	20	24	30	В
	40	48	60	
	48	60	75	
	88	110	125	
	180	220	245	
Отношение пульсаций тока к номинальному входному току		5		%
Выходное напряжение, действующее значение	214	220	226	В ~
Частота выходного напряжения	49,5	50	50,5	Гц
Коэффициент искажения синусоидальной кривой: - резистивная нагрузка; - нелинейная нагрузка			1	%
			4	
Нестабильность выходного напряжения от тока нагрузки	-3		3	%
КПД	85		88	%
Коэффициент мощности			0,67	
«Крест-фактор»		3:1		
Длительность работы при перегрузке на выходе: - до 115%; - до 110%; - свыше 110%		неогр.		с
		30		
		5		
Пиковый выходной ток: - для изделий серии ИН650, ИН750; - для изделий серии ИН1300, ИН1500	15			А
	30			
Потребляемая мощность в режиме короткого замыкания		50		Вт
Диапазон рабочих температур	5		40	°С
Диапазон температур хранения	-50		85	°С
Расчетное время наработки на отказ	200 тыс.			ч
Прочность изоляции, действ.: - вход-корпус; - выход-корпус; - вход-выход	500			В
	1500			
	1500			
Габаритные размеры, (В×Ш×Г)	44,36×482,6×346,5			мм
Число параллельно включенных инверторов			6	
Точность деления токов при параллельном включении		5		%

– просматривается сетевой ресурс интерфейса на предмет свободного места, и при необходимости модифицируется номер инвертора, производится проверка работоспособности, и подается команда на замыкание выходного контактора. Инвертор включается в систему, и происходит перераспределение тока нагрузки.

КОНСТРУКЦИЯ

Инвертор выполнен в 19-дюймовом металлическом корпусе высотой 1U. В зависимости от мощности инвертора, 750 или 1500 Вт, в корпусе размещаются одна или две силовые платы. Такое решение позволяет повысить живучесть системы питания, построенной на базе инверторов. Если инвертор мощностью 1500 Вт нагружен на 50% нагрузки, и при этом происходит отказ одной из силовых плат, инвертор продолжает работать, отдавая половину мощности в нагрузку. Оператор получает информацию через «сухие» контакты об аварии.

Разработаны два исполнения инверторов — стоечное (С) и комбинированное (К). Комбинированное (см. рис. 4а) ориентировано на самостоятельную работу инвертора вне системы. Прибор можно располагать на столе, в шкафу, на стеллаже. Все подключения осуществляются со стороны передней панели.

Стоечное исполнение (см. рис. 4б) специально разработано для установки в 19-дюймовый шкаф. Все подключаемые цепи вынесены на заднюю стенку и находятся в мультиразъеме (см. рис. 5), содержащем силовые и сигнальные соединители. Соединение с ответной частью разъема происходит автоматически при установке изделия в соответствующий отсек шкафа. Для совмещения обеих частей разъема и их последующей фиксации предусмотрены специальные направляющие.

Основные характеристики инверторов приводятся в таблице 4.

ИНВЕРТОР-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Соответствует требованиям к группам аппаратуры 1.4., 1.5 ГОСТ В20.39.304-76
Декларация соответствия Федерального агентства связи Э-23064, Э-23065, Э-23066 от 01.12.06.



ММП-ИРБИС

www.mmp-irbis.ru

111024, г. Москва,
Андроновское ш., 26
Тел.: (495) 987-10-16

Серии ИН...750С, ИН...1500С
Синусоидальный выход
Типовой КПД – 85...88 %

- Установка в стойку 19"
- Возможность объединения в систему до 6-ти инверторов (до 9кВт / 12кВт)
- Возможность «горячей» замены
- Возможность работы с электронным байпасом (синхронизация с сетью)
- Цифровой интерфейс для удаленного мониторинга
- ЖК-индикатор режимов и параметров
- Электронная защита от перегрузок по току, короткого замыкания, перегрева, неправильного входного напряжения
- Низкий уровень шума в режиме малых нагрузок

Коэффициент нелинейных искажений выходного напряжения (THD):

При работе на активную нагрузку: не более 1%
При работе на реактивную нагрузку: не более 4%

Нестабильность выходного напряжения при изменении тока нагрузки от 0 до 100%: ±3 %
Диапазон рабочих температур: +5...+40 °С
Диапазон температур хранения: -40...+85 °С
Расчетное время наработки на отказ: 200 000 ч
Размеры корпуса: 44,36×482,6×346,5 мм