

Высокочастотные преобразователи для питания линий связи большой протяжённости

Владислав Пржегорлинский, Сергей Сергеев,
Дмитрий Богословский (Московская обл.)

В настоящее время всё более интенсивно идёт развитие различных систем передачи информации с использованием волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) протяжённостью до десятков тысяч километров. В статье рассмотрены вопросы построения высоковольтных источников питания аппаратуры волоконно-оптических линий связи большой протяжённости.

Питание волоконно-оптических линий связи большой протяжённости осуществляется по встроенным в магистральный кабель (МК) медным жилам. Оптимальным является такое построение питания необслуживаемых регенераторов, когда первичные узлы их преобразователей, питающих электронную аппаратуру, включены последовательно в питающую цепь магистрального кабеля. При этом мощность, потребляемая конкретным регенератором, равна:

$$P_{\text{рег}} = \Delta U \times I,$$

где: ΔU – падение напряжения первичного узла преобразователя питания регенератора, I – ток, протекающий в цепи питания ВОЛС.

Общая мощность, необходимая для питания волоконно-оптической линии связи, складывается из суммарной мощности, потребляемой регенераторами, расположенными на магистрали, и мощности потерь, пропорциональной току в линии и сопротивлению медных жил МК.

Общая мощность в некоторых случаях может достигать нескольких десятков киловатт. Для удешевления МК разработчики стремятся использовать кабель с минимально возможным сечением токопроводящих жил.

Не вдаваясь в общеизвестные выкладки, можно показать, что для снижения потерь мощности возникает необходимость повышения напряжения на входных клеммах питания ВОЛС, а требуемое напряжение может достигать 8...10 кВ. Для упрощения структуры преобразователей регенераторов, обычно ток в линии питания стабилизируется по величине.

Для обеспечения нормального функционирования ИП в различных режи-

мах работы ВОЛС, а также при изменении её протяжённости, ИП должен иметь широкий задаваемый диапазон стабилизации как тока, так и напряжения.

Необходимость стабилизации тока возникает ещё и для того, чтобы снизить ударные нагрузки на аппаратуру как оконечных станций, так и регенераторов, возникающие при аварийных режимах (коротких замыканиях). Для уменьшения вероятности пробоя изоляции и выхода из строя аппаратуры ВОЛС, магистральный источник питания должен ограничивать выходное напряжение до максимальной расчётной величины при возникновении любых аварийных режимов.

Необходимым требованием к аппаратуре питания ВОЛС также является обеспечение пониженных пульсаций выходного напряжения, особенно в диапазоне частот свыше 10 кГц, для уменьшения вероятности появления сбоев в цифровой аппаратуре ВОЛС, а также для снижения излучения МК.

Таким образом, к источнику питания ВОЛС большой протяжённости предъявляются следующие требования:

- он должен иметь прямоугольную характеристику регулирования выходных параметров, т.е. должен стабилизировать и ток, и напряжение, причём заданные значения выходных параметров должны иметь широкий диапазон – практически от 0 до максимальных значений;
- ИП должен иметь низкие пульсации выходного напряжения;
- ИП должен быть построен таким образом, чтобы иметь возможность увеличивать выходное напряжение путём последовательного соединения двух и более модулей питания (МП), т.е. выходы МП должны иметь

гальваническую развязку выход-корпус, позволяющую поднимать общее выходное напряжение до 10 кВ;

- ИП должен иметь защиту от КЗ и обрывов в цепи нагрузки;
- ИП должен иметь КПД не менее 90%;
- ИП должен иметь высокую надёжность, т.е. функционировать в течение 10...20 лет без ремонта.

Оптимальное построение МП

Требования, предъявляемые к ИП ВОЛС, имеют свои особенности, поэтому при их проектировании надо учесть следующие обстоятельства.

Существуют три основные схемы преобразователя напряжения: классический ШИМ с жёстким переключением, квазирезонансный с фазовым управлением и резонансный с частотным регулированием [1].

Классический ШИМ-преобразователь является наиболее простым, но и наименее эффективным [2], потому что транзисторы переключаются в жёстком режиме. Поскольку элементы схемы всегда имеют паразитные параметры (индуктивность рассеивания трансформатора и монтажа, выходная ёмкость транзисторов и т.п.), импульсы сопровождаются выбросами напряжения, что требует установки гасящих (снабберных) цепей и приводит к дополнительным потерям энергии.

Использование схемотехники квазирезонансного (ШИМ-ZVS) или резонансного переключения направлено на уменьшение потерь преобразования. Оно достигается за счёт того, что момент коммутации ключевого транзистора в ШИМ-ZVS-инверторе наступает при нулевом напряжении, а в резонансном – при нулевом токе или напряжении (в зависимости от того, какой применён резонансный контур – последовательный или параллельный). Принципиальное отличие состоит в том, что в квазирезонансном контуре, в отличие от резонансного, контур, формирующий траекторию переключения транзисторов, напрямую не участвует в процессе передачи энергии в нагрузку.

Квазирезонансный преобразователь, начиная с некоторого минималь-

ного значения тока нагрузки, переходит в режим жёсткого переключения, и его КПД резко снижается. В резонансном преобразователе режим «мягкого» переключения сохраняется даже на холостом ходу, но при уменьшении нагрузки также имеет место снижение его КПД.

По величине потерь оба варианта почти эквивалентны. Однако, по надёжности, управляемости, простоте реализации и уровню электромагнитных помех резонансный преобразователь оказывается значительно эффективнее, чем ШИМ-ZVS.

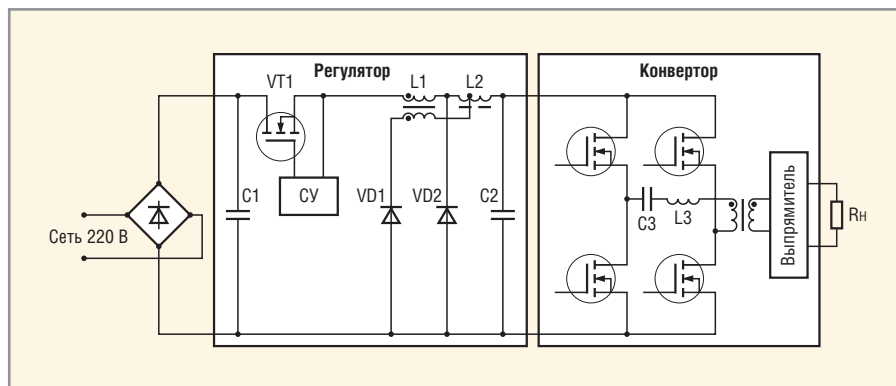
Оба метода позволяют снизить потери в ключах по сравнению с традиционным ШИМ почти на порядок. Для реализации рассмотренных преобразователей производятся стандартные контроллеры, обеспечивающие все необходимые функции управления.

Учитывая изложенное, можно сделать вывод о том, что основные типы ИВЭП имеют свои недостатки, которые делают нежелательным их использование в преобразователях, применяемых в ИП ВОЛС.

Одним из вариантов построения ИП, удовлетворяющего поставленным требованиям, является ИВЭП, функциональная схема которого показана на рисунке.

Отличительной особенностью ИВЭП, показанного на рисунке, является сочетание DC/DC-ШИМ-регулятора и резонансного конвертора. ШИМ-регулятор построен по схеме, в которой резко снижены коммутационные потери при включении транзистора VT1 за счёт задержки времени нарастания тока после включения транзистора [3]. Если в качестве диодов VD1 и VD2 используются SiC-диоды Шоттки, то потери дополнительно снижаются, т.к. эти диоды имеют почти нулевое время восстановления закрытого состояния при низкой паразитной ёмкости [4]. Нагрузкой ШИМ-регулятора является конвертор, включающий в себя резонансный преобразователь.

Главной особенностью предлагаемого ИВЭП является возможность его работы в широком диапазоне регулирования тока и напряжения нагрузки. Резонансный преобразователь работает на одной частоте последовательного резонансного контура L3C3 и синхронизирован с ШИМ-регулятором. Применение резонансного преобразователя во второй ступени регулирования, наряду со снижением



Функциональная схема ИВЭП

паразитных потерь и высокочастотных помех, позволяет снизить требования к индуктивности рассеяния выходного трансформатора и даёт возможность увеличить толщину изоляции между первичной и вторичной обмотками. Увеличение толщины изоляции необходимо для выполнения требования обеспечения высоковольтной гальванической развязки между выходными клеммами и корпусом ИВЭП.

При установке на выходе выпрямителя ИВЭП дополнительного фильтра имеется возможность снижения высокочастотных пульсаций выходного напряжения до нескольких милливольт при выходном напряжении порядка 1000...1500 В.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ СП-2000

В соответствии с приведёнными выше соображениями был разработан

источник питания СП-2000 с характеристиками:

- максимальная выходная мощность 2000 Вт;
- стабилизация напряжения 100...1500 В или тока 0,1...1,4 А;
- частота преобразования – 100 кГц;
- управление – с лицевой панели и дистанционно по линии RS-232, RS-422 или RS-485;
- КПД – 93%;
- уровень пульсаций менее 0,1% от $U_{\text{вых}}$;
- диапазон рабочих температур –40...70°C;
- габариты (Ш × В × Г) – 153 × 337 × 442 мм;
- питание от трёхфазной сети 220/380 В.

С использованием СП-2000 разработаны приборы SVM-1204 и SVM-1608, построенные на базе стойки фирмы RITTAL (Германия), высотой соответственно 1200 мм и 1600 мм. ©

Продолжение следует