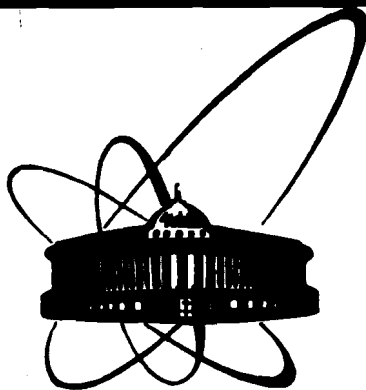


89-847



**СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

P693

13-89-847

**Ю. И. Романов**

**ПОМЕХОЗАЩИЩЕННЫЙ СВЕТОВОДНЫЙ  
КАНАЛ СИНХРОНИЗАЦИИ  
ИОННОГО ИСТОЧНИКА**

**1989**

## ВВЕДЕНИЕ

В импульсных электростатических ускорителях (ЭСУ) для синхронизации работы ионного источника необходимо передавать синхроимпульсы. Последние могут регулироваться во времени и по оптическому каналу передачи информации (ОКПИ) поступают к устройствам управления импульсным питанием ионного источника<sup>11-4</sup>. Создание ОКПИ сопряжено с определенными трудностями:

— источник ионов находится на высоковольтной платформе под потенциалом  $\sim 750$  кВ относительно земли в радиационной зоне. ОКПИ должен обеспечивать долговременную надежную работу при высоких уровнях помех, потенциальным источником которых являются мощные генераторы токов высокой частоты и высокое напряжение;

— устанавливаемая на высоковольтном терминале аппаратура ОКПИ должна отвечать следующим основным условиям. Она должна быть:

- а) экономичной, так как автономный источник питания имеет ограниченную мощность;

- б) защищенной от импульсных помех, проникающих извне как по воздуху, так и через общий фидер питания;

- в) вибростойкой, так как электропитание ионного источника осуществляется через жесткосвязанную систему "мотор — генератор" с валом, обеспечивающим гальваническую развязку.

По мере развития ЭСУ уровень помех непрерывно возрастает вследствие расширения спектра рабочих сигналов и, соответственно, сигналов паразитных наводок. В то же время непрерывно снижаются мощности, потребляемые аппаратурой ОКПИ, за счет широкого использования интегральных микросхем. При этом помехозащищенность микроэлектронной базы имеет тенденцию к снижению за счет повышения быстродействия и уменьшения электропотребления.

## ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОКПИ НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ

Экстремальные условия эксплуатации ОКПИ определяют повышенные требования к выбору:

- 1) оптической трассы световодного канала;
- 2) источников питания системы.

1. ОКПИ по типу оптической трассы, элементам конструкции оптических согласующих устройств, типам используемых излучателей и фотоприемников можно разделить на следующие:

- с открытым оптическим каналом (ООК), воздушный промежуток которого не защищен от воздействия посторонней засветки;
- с закрытым оптическим каналом (ЗОК), информация через который передается по воздуху, внутри светонепроницаемой изоляционной трубы;
- с использованием волоконно-оптического кабеля (ВОК), оптическая трасса которого представляет собой волоконный световод.

В качестве излучателей в системах ОКПИ могут быть использованы газоразрядные лампы, лампы с флюоресцирующим анодом, полупроводниковые светодиоды и инжекционные лазеры. Однако системы ОКПИ, использующие газоразрядные приборы и лампы с флюоресцирующим анодом, достаточно сложны, неэкономичны и имеют малый ресурс работы. Приемниками света в таких системах служат фотоприемники (ФЭУ), работающие в облегченном режиме, и полупроводниковые фотодиоды. С разработкой полупроводниковых оптических компонентов появилась возможность создания ОКПИ с большим ресурсом работы, высоким частотным разрешением, малым токопотреблением.

В процессе эксплуатации ОКПИ на различных электрофизических установках были выявлены следующие потенциальные возможности этих систем:

— система с ООК, разработанная в ИАЭ<sup>15</sup>, содержит импульсный модулятор, собранный на дискретных компонентах, полупроводниковый квантовый генератор ИК-диапазона с импульсным током накачки  $7 \div 8$  А, однолинзовое фокусирующее устройство на выходе передатчика, светофильтр на входе приемника, фотоприемник на основе ФЭУ, имеющего достаточно большую площадь фотокатода, и выходной усилитель мощности. Простая оптика открытого оптического канала призвана гарантировать эффективный сбор света в условиях вибраций приемного блока. Это, в конечном итоге, определило выбор ФЭУ в качестве фотоприемника. Вторым аргументом в пользу этого выбора является большой собственный коэффициент усиления ФЭУ, позволяющий упростить выходной усилитель при сохранении высокого отношения сигнал/помеха. Опытная проверка функционирования открытого оптического канала на инжекторе ускорителя дала отрицательный результат. Механическая вибрация высоковольтной платформы с установленным на ней фотоприемником приводила к разъюстировке оптических узлов канала, а сильная ионизация воздушной среды способствовала быстрому запалению оптических элементов, которые по условиям работы должны

быть открытыми. Периодическая проверка и подстройка оптических узлов канала оказалась достаточно сложной при использовании инфракрасного излучения и, таким образом, затрудняла его эксплуатацию;

— система с ЗОК, разработанная в ИФВЭ<sup>16</sup>, выполнена на светодиоде из фосфида галлия, который для увеличения КПД светового потока помещен в фокусе сферического зеркала. В качестве фотоприемника использован ФЭУ, работающий в облегченном режиме. Световые импульсы передавались по воздуху внутри 4-метровой изоляционной трубы. Амплитуда тока светодиода регулировалась в пределах  $1 \div 3$  А, что позволило получить на выходе ФЭУ импульсы с амплитудой  $\geq 20$  В без особого отбора светодиода и ФЭУ. Положительный эффект, полученный от использования ЗОК, — высокая надежность работы такого канала в условиях мощного рентгеновского излучения<sup>17</sup>, которое создается работой ускоряющей системы форинжектора; отрицательный — в использовании высоковольтного источника питания ФЭУ — приемника, снижающего эксплуатационную надежность системы, а также в утомительной настройке оптики канала, которая, как правило, производится двумя лицами;

— система с ВОК, разработанная в Институте общей физики<sup>18</sup>, содержит формирователь токовых импульсов на лавинном транзисторе, полупроводниковый лазерный диод с номинальной мощностью излучения в 10 мВт, 5-метровую волоконно-оптическую линию связи и фотоприемник. Последний состоит из быстродействующего фотодиода, широкополосного усилителя с параллельной отрицательной обратной связью по напряжению и эмиттерного повторителя. Модулятор лазерного диода имеет оптоэлектронное управление по входу, используемое для модуляции интенсивности оптического передатчика. Для увеличения помехозащищенности оптические модули передатчика и приемника размещаются в экранированных корпусах с питанием от аккумуляторных батарей. Использование инжекционного лазера в оптическом передатчике примерно на порядок (по сравнению со светодиодом) увеличило уровень световой мощности, вводимой в ВОК.

Это позволило упростить приемную часть системы, исключив выходной усилитель с весьма большим коэффициентом усиления, а применение изолированного источника питания существенно повысило устойчивость и надежность работы системы в условиях мощных электромагнитных наводок.

2. Наибольшую опасность для приемных оптических модулей (ПРОМ), расположенных на высоковольтном терминале ускорителя, представляют помехи, создаваемые:

- а) пробоями в ускоряющей системе и разрядной камере ионного источника;

- б) мощными генераторами токов высокой частоты;
- в) эффектами высокого напряжения (тлеющий разряд, коронирование, искрение и т.д.);
- г) импульсной работой тиратронов и тиристоров.

Эти и другие помехи проникают в аналоговую часть ПРОМ, в основном, через паразитную емкость трансформатора источника питания. Компенсационные стабилизаторы напряжения не успевают реагировать на короткие импульсы сетевых помех из-за ограниченности собственной полосы пропускания. Недостаточно эффективны и сетевые фильтры<sup>19</sup>, выпускаемые промышленностью.

Традиционным способом решения таких задач является использование для питания ПРОМ гальванических элементов или аккумуляторов<sup>18,10</sup>. Применяется также питание от отдельного машинного генератора, вращаемого с земли через изолирующий вал или ремень<sup>111</sup>, или проводимого в движение газовой турбиной, к которой по диэлектрической трубке направляется поток газа, питание от солнечных батарей и др. Каждый из указанных вариантов имеет как свои преимущества, так и недостатки, связанные либо с необходимостью иметь дополнительную систему дистанционного контроля параметров источников питания, либо с наличием вибраций, либо с большими габаритами.

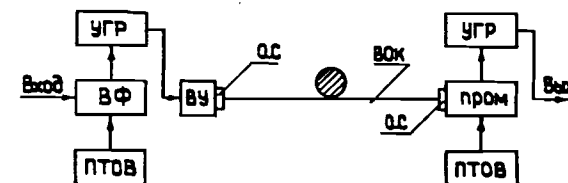
Компромиссный вариант источника питания ПРОМ может быть выполнен с применением преобразователя напряжения. Полностью исключить проникновение сетевых помех поможет использование развязывающего трансформатора с объемным витком<sup>112</sup>, имеющего очень малую емкость между первичной и вторичной обмотками. Выходные RC-фильтры способны подавить до уровня единиц милливольт пульсации напряжения, создаваемые автогенератором преобразователя.

### РАЗРАБОТКА ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОГО СВЕТОВОДНОГО КАНАЛА ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ИМПУЛЬСОВ СИНХРОНИЗАЦИИ

Необходимыми элементами световодного канала синхронизации являются источники излучения, коммуникационная среда, в качестве которой используются волоконно-оптический кабель (ВОК) и оптоприемники. Выбор этих элементов при разработке каналов ВОЛС имеет существенное значение.

В качестве источника излучения при создании световодного канала используются светоизлучающие диоды (СИД) и инжекционные полупроводниковые лазеры (ИПЛ), а в качестве приемников излучения — фотодиоды. В световодном канале передачи импульсов синхронизации

Рис.1. Структурная схема помехозащищенного световодного канала синхронизации ионного источника.



происходит передача, прием и обработка световых сигналов с помощью передающих и приемных оптоэлектронных устройств (рис.1). Для исключения трудноустраняемых помех по "земле" и эффектов, создаваемых контурами заземления, в системе использованы оптоэлектронные развязки по входному сигналу в передатчике и выходному — в оптическом приемнике. Для увеличения помехозащищенности оптические модули ПОМ и ПРОМ, а также модуль источника питания размещаются в экранированных корпусах.

При выборе типа источников излучения для системы синхронизации необходимо знать их эксплуатационные характеристики.

*Преимущества СИД:* простота, высокая надежность, долговечность, низкая стоимость, линейность модуляционной характеристики.

*Преимущества ИПЛ:* большая полоса пропускания и дальность передачи, высокая эффективность ввода излучения в световод.

*Недостатки СИД:* низкая эффективность ввода излучения в световод, ограниченность полосы пропускания и дальности передачи.

*Недостатки ИПЛ:* сильная зависимость характеристик от температуры, недолговечность, высокая стоимость.

Сравнение характеристик современных СИД и ИПЛ позволяет сделать вывод о том, что СИД должны применяться в световодных линиях малой и средней протяженности. В специальных случаях, а также в межобъектовых и магистральных ВОЛС более целесообразно применение ИПЛ. Приемники излучения должны удовлетворять целому ряду специфических требований, основными из которых являются следующие:

- спектральная чувствительность приемников должна быть максимальной в диапазоне длин волн работы источников излучения;
- площадь рабочей поверхности фотодиода должна быть не более площади поперечного сечения световода, то есть не более нескольких сотен микрон;
- высокое быстродействие ( $10^{-9}$  с), обеспечивающее необходимую полосу пропускания световодной линии;
- большой динамический диапазон и линейность преобразования оптического излучения в электрический ток;
- согласованность с другими элементами ВОЛС и с полупроводниковыми микросхемами по долговечности, напряжению смещения и др.

Перечисленным требованиям удовлетворяют, в основном, специальные типы фотодиодов с р — i — n структурой.

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС 50-МЕТРОВОГО СВЕТОВОДНОГО КАНАЛА

Экспериментально установлено, что для устойчивой работы системы синхронизации (отношение сигнал/шум  $\geq 10$ ) минимальная величина сигнала в цепи фотодиода должна быть не менее  $\geq 5$  мкА. Для получения такого тока, протекающего через фотодиод (ФД), мощность излучения, падающего на светочувствительную площадку ФД, должна быть  $\geq 15$  мкВт. Однако с учетом температурной зависимости излучателя и необходимости обеспечения нормального функционирования линии в диапазоне  $263 \div 323$  К мощность излучения надо повысить в 1,5-2 раза.

Из доступных излучателей светодиод АЛ107Б является недорогим комплектующим изделием и благодаря своей конструкции удобным для установки в оптический соединитель<sup>13/</sup>. При токе накачки  $\sim 100$  мА он позволяет получать оптическую мощность 10 мВт. При использовании ВОК типа кварц-кварц диаметром 125/50 мкм и светодиода АЛ107Б потери при их стыковке составляют 30 дБ<sup>14/</sup>. С учетом этих потерь введенная в ВОК оптическая мощность составляет 10 мкВт, что явно недостаточно для надежной работы системы. Для получения повышенной мощности излучения режим работы светодиода необходимо форсировать.

Передающий оптический модуль (ПОМ) (рис. 1,2) состоит из входного формирователя (ВФ), устройства гальванической развязки (УГР) и выходного устройства (ВУ) с оптическим соединителем (ОС) для подключения ВОК. Питание входной цепи и формирователя производится от отдельного источника питания на основе преобразователя и развязывающего трансформатора с объемным витком (ПТОВ).

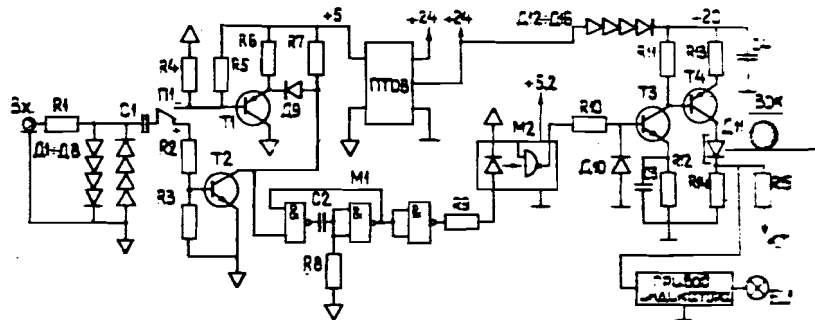


Рис.2. Электрическая схема передающего оптического модуля (ПОМ): Д1 ÷ Д8, Д9, Д10 — диоды КД522, Д11 — АЛ107Б, Д12 ÷ Д16 — диоды КД208, Т1 — КТ361, Т2 — КТ315, Т3 — КТ603В, Т4 — КТ904А, М1 — 555ЛАЗ.

Сигналы синхронизации, подаваемые на вход устройства, могут быть произвольной полярности. Входная цепь оптического модуля защищена от кратковременных перегрузок диодными "столбами"<sup>15/</sup> с временем срабатывания  $\sim 5$  нс. Такой "столб" на диодах КД522 может обеспечить быстрое срабатывание в прямом направлении, однако падение напряжения на нем невелико — менее 1 В. При последовательном соединении N таких диодов прямое падение напряжения "столба" повышается в N раз, емкость снижается в N раз, а время срабатывания не изменяется. Таким образом, обеспечивается эффективная защита входной цепи от перегрузок. Входной сигнал запускает одновибратор, собранный на вентилях 555-серии. Он формирует выходной сигнал  $t_{и} = 3$  мкс, модулирующий светодиод оптоэлектронной интегральной микросхемы 249ЛП1. Последняя на своем выходе обеспечивает цифровые уровни напряжения для запуска мощного выходного каскада. Выходной каскад оптического модулятора собран по схеме генератора тока. Такая схема обладает наибольшим быстродействием. Катодный вывод СИД подключен к общей шине через токоизмерительный резистор R14, служащий для контроля тока и работы узла индикации. Величина тока, протекающего через СИД, определяется его внутренним сопротивлением. Для уменьшения коэффициента нестабильности (КНС), вносимого транзистором (Т4) и СИД, необходимо повышать напряжение питания, так как  $K_{нс} = \Delta V_{н} / V_{п}$ , где  $\Delta V_{н}$  — нестабильность, обусловленная изменением падения напряжения на транзисторе и СИД. Таким образом, чем больше  $V_{п}$ , тем больше должна быть величина резистора, включенного последовательно между источником питания, ключом и СИД, и, следовательно, меньше будет сказываться влияние его внутреннего сопротивления. Импульсная мощность рассеяния на СИД определялась с учетом линейной аппроксимации ВАХ по следующей формуле<sup>16/</sup>:

$$P_{рас.} = I_{СИД} \cdot V_{СИД} + I^2 \cdot r_{д},$$

где  $I_{СИД}$  — ток, протекающий через СИД,  $r_{д}$  — динамическое сопротивление СИД,  $V_{СИД}$  — напряжение отсечки. Эффективное значение тока  $I_{эф.} = I_{н} \sqrt{Q}$ . Отсюда максимально допустимое значение тока:

$$I_{и max} = I_{н} \sqrt{Q} = I_{н} \sqrt{T/t_{и}},$$

где  $I_{и}$  — амплитуда импульсного тока;  $I_{н}$  — величина номинального тока, протекающего через СИД;  $Q$  — скважность;  $T$  — длительность паузы;  $t_{и}$  — длительность импульса.

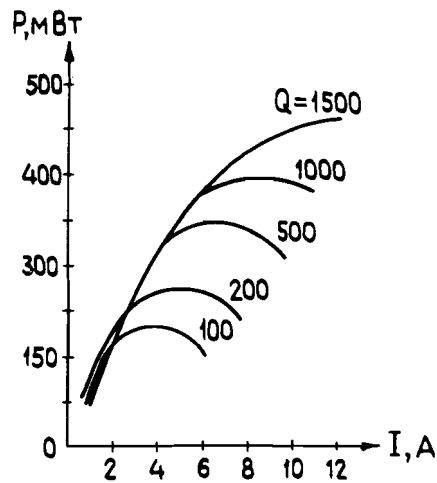


Рис.3. Зависимость  $P(I_{и})$  для светодиода АЛ107Б при длительности  $t_{и} = 1$  мкс.

На рис.3 показана зависимость  $P(I_{и})$  для светодиодов типа АЛ107Б при длительности импульсов  $t_{и} = 1$  мкс. Выходной каскад на Т3, Т4 обеспечивал светодиод импульсным током питания амплитудой до 16 А. При этом допустимая нагрузка определяется максимальной температурой p-n перехода СИД и нагрузочной способностью контактных выводов. Минимальный интервал между импульсами во время

обработки макета был принят равным 100 мкс. При этом структура перехода светодиода не претерпевала необратимых изменений, а нагрев токоотводов не становился причиной отказа прибора.

Таким образом, подбирая необходимую скважность, можно обеспечивать достаточно высокую мощность получения, на один-два порядка превышающую номинальную мощность излучения СИД. Однако следует отметить, что длительность световых импульсов ограничена быстрым действием фотоприемника. Если фототок успевает установиться за  $(3-4)t_{ф}$ , то  $t_{и} \geq (3-4)t_{ф}$ , где  $t_{ф}$  — постоянная времени фотоприемника. После макетирования электрической схемы модуля ПРОМ был выбран режим работы СИД с током накачки 4 А при длительности импульса  $t_{и} = 3$  мкс.

Разъемные оптические соединители (ОС) являются неотъемлемой частью световодной системы синхронизации. Их основное назначение — обеспечивать многократное с минимальными потерями соединение и разъединение ВОК с оптическими элементами (ОЭ) канала синхронизации<sup>13</sup>. Для подключения к оптическому соединителю ВОК армируется жестким калиброванным цилиндрическим элементом (вилочная часть) так, чтобы оси этого элемента и сердцевины волокна строго совпадали. При соединении с ОЭ, расположенными в гнездовой части соединителя, вилочная часть ВОК юстируется относительно ОЭ с помощью эксцентриковой направляющей муфты и затем фиксируется.

Приемный оптический модуль (ПРОМ) включает в себя следующие узлы (см.рис.4): трансимпедансный усилитель (ТИУ) на микросхеме М1, линейный неинвертирующий усилитель (Т1, Т2), компаратор (М2), оптоэлектронное устройство развязки и согласования (М3).

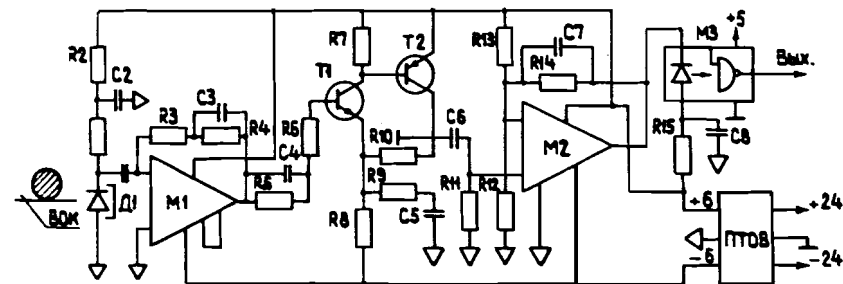


Рис.4. Электрическая схема приемного оптического модуля (ПРОМ): Д1 — ФД272, М1 — К544УД2А, М2 — К554СА3, М3 — 249ЛП1, Т1 — КТ368, Т2 — КТ349.

В качестве приемника оптического излучения использован p-i-n фотодиод Д1 типа ФД-272, работающий в режиме обратного смещения. Для преобразования токового выхода фотодиода в напряжение применен широкополосный операционный усилитель М1 К544УД2А. ТИУ имеет коэффициент усиления (КУ)  $\sim 50$ . Линейный неинвертирующий усилитель на Т1, Т2 имеет КУ  $\sim 10$ . Он используется для подстройки световодного тракта при изменении величины потерь, а также строительной длины ВОК. Уровень порога срабатывания компаратора ( $\leq 150$  мВ) устанавливается резистором R10 таким образом, чтобы скомпенсировать собственные шумы ПРОМ. Для устранения многократного срабатывания от возможных паразитных импульсов в компараторе введена положительная обратная связь, которая переводит М2 в режим триггера Шмитта с гистерезисом в 1 мВ. Оптоэлектронная микросхема М3 обеспечивает соответствие нагрузки модуля ПРОМ и внешнего устройства в уровнях ТТЛ.

Источник питания (рис.5) на основе развязывающего трансформатора с объемным витком представляет собой маломощный преобразователь (ПТОВ). ПТОВ выполнен по структурной схеме: преобразователь постоянного напряжения в переменное повышенной частоты, развязывающий трансформатор — вторичный выпрямитель — параметрический стабилизатор напряжения. Напряжения, получаемые на выходах вторичных источников постоянного тока, следующие: +5 В (для ПОМ),  $\pm 6$  В (для ПРОМ).

Преобразователь постоянного напряжения в переменное повышенной частоты состоит из генератора синусоидальных колебаний (М1) и буферного усилителя (М2) с выходным каскадом на транзисторах Т1 и Т2. Последний служит для снижения выходного сопротивления генератора.

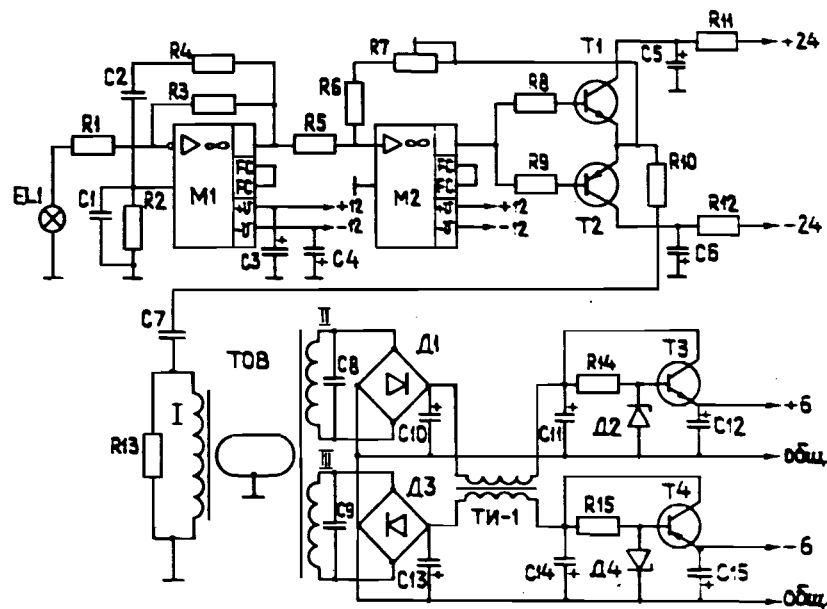
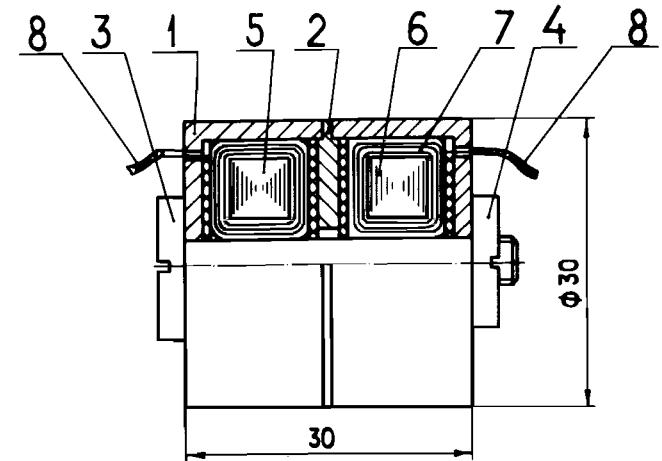


Рис.5. Электрическая схема источника питания модулей ПОМ и ПРОМ: M1, M2 — К544УД2А, T1 — КТ904А, T2 — КТ914А, D1, D3 — КД906, D2, D4 — КС163, T3 — КТ361, T4 — КТ315.

Генератор на микросхеме M1 вырабатывает колебания синусоидальной формы частоты 50 кГц. Коэффициент гармонических искажений выходного каскада на нагрузке 51 Ом составляет менее 2%. Каскад, построенный на микросхеме M1, соответствует часто применяемому генератору с мостом Вина<sup>177</sup>. Как видно из схемы, напряжение положительной обратной связи подается на неинвертирующий вход ОУ с частотно-избирательного делителя, состоящего из резисторов R<sub>2</sub>, R<sub>4</sub> и конденсаторов C1, C2. Напряжение отрицательной обратной связи снимается с делителя напряжения, состоящего из резисторов R<sub>1</sub>, R<sub>3</sub> и лампочки накаливания типа HCM, стабилизирующей амплитуду колебаний. При  $R_3/R_1 + R_{EL1} > R_4/R_2 + C1/C2$  в устройстве возникают автоколебания, частота которых определяется формулой  $\omega_0^2 = 1/(R_4 R_2 C_2 C_1)$ . В частотно-зависимой ветви моста Вина использованы равные сопротивления и равные емкости  $R_4 = R_2 = R$ ,  $C2 = C1 = C$ . Частота автоколебаний находилась по соотношению  $f_0 = 1/(2\pi RC)$ . Автоколебания в генераторе возникают при условии, что коэффициент усиления операционного усилителя (ОУ), составленного из M1 и резисторов R<sub>3</sub> и R<sub>1</sub> + R<sub>EL1</sub>, больше трех. После возникновения автоколебаний их ампли-

Рис.6. Конструкция трансформатора с объемным витком: 1 — объемный виток; 2 — экран; 3 — стяжной стержень; 4 — гайка; 5,6 — сердечники; 7 — обмотка; 8 — выводы обмотки.



туда на выходе каскада стабилизируется на том уровне, при котором за счет нелинейного элемента в петле коэффициент усиления снижается до единицы. Буферный усилитель на M2 и транзисторах T1 и T2 через последовательно соединенные резистор R<sub>10</sub> и конденсатор C7 нагружен на первичную обмотку трансформатора с объемным витком (ТОВ). С помощью резистора R<sub>7</sub> амплитуда гармонических колебаний на выходе усилителя устанавливается в соответствии с необходимым напряжением вторичных источников тока.

Развязывающий трансформатор выполнен по схеме с короткозамкнутым витком на кольцевых сердечниках К20 x 12 x 6 из феррита М2000НМ. Первичная обмотка имеет 20 витков, вторичная — 45 витков, намотанных проводом МГТФ-0,14. Каждая обмотка для симметрии намотана в два провода на своих сердечниках, которые помещены в латунный посеребренный экран, выполняющий роль короткозамкнутого витка. Схематически конструкция развязывающего трансформатора с объемным витком приведена на рис.6.

Использование развязывающего трансформатора позволило получить очень большое сопротивление между обмотками с высокой электрической прочностью межобмоточной изоляции и малую проходную емкость на уровне единиц пикофард. Испытания такого источника питания на стенде с применением имитатора помех показали, что подавление импульсных сетевых помех длительностью 2 ÷ 20 мкс составляет ~ 60 дБ. Максимальная мощность, получаемая от вторичного источника тока, составляет ~ 120 мВт. Использование изолированных источников питания в системе позволило исключить помехи от радиоизлучений, а также от электромагнитного излучения моторов, реле и шин питания.

#### Техническая характеристика световодного канала

1. Частота запуска ПОМ, кГц, не более	— 10
2. Длина волны излучения, нм	— 950
3. Чувствительность ПРОМ, Вт	— $10^{-6}$
4. Уровни входного/выходного сигналов	— ТТЛ
5. Диапазон рабочих температур, К	— $263 \div 323$
6. Соединение с ВОК	— разъемное
7. Длина ВОК, м, не более	— 100
8. Конструкция ПОМ, ПРОМ, ПТОВ	— встраиваемая
9. Базовые блоки	— КАМАК, 2М

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Участок спектра  $800 \div 900$  нм, в основном, обеспечен источниками и приемниками излучения, и при создании первых поколений ВОЛС, работающих на ЭФУ<sup>[1-4]</sup>, используются приборы, работающие в этом диапазоне волн.

Для дальнейшего развития систем ВОЛС необходима разработка и освоение промышленностью источников и приемников излучения, работающих в области спектра  $1300 \div 1700$  нм. Появление этих приборов позволит решить проблему повышения радиационной стойкости кварцевых волоконных световодов<sup>[18]</sup>.

В настоящее время широкое практическое использование помехозащищенных световодных каналов на ЭФУ сдерживается не только инерционностью разработчиков к новому, но и отсутствием необходимой элементной базы и технологии построения таких систем ВОЛС с конкретной их реализацией.

Автор благодарит М.А.Воеводина за интерес к работе, П.К.Маньякова за обсуждение результатов эксперимента, Ю.В.Гусакова за разработку типового оптического соединителя, П.Н.Буйлова за монтаж электронных блоков.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Романов Ю.И. — ОИЯИ, 13-82-279, Дубна, 1982.
2. Романов Ю.И. — ОИЯИ, 13-83-472, Дубна, 1983.
3. Романов Ю.И. — ОИЯИ, 13-86-533, Дубна, 1986.
4. Романов Ю.И. — ОИЯИ, 13-88-827, Дубна, 1988.
5. Латушкин С.Т. и др. — ПТЭ, 1976, № 2, с.143.

6. Мальцев И.Г. — Препринт ИФВЭ, 17-82, Серпухов, 1971.
7. Фрээр Н.У. и др. — Приборы для научных исследований, 1968, № 2, с.99.
8. Аполлонов В.В. и др. — ПТЭ, 1984, № 5, с.163.
9. Гальперин М.В. — Практическая схемотехника в промышленной автоматике. М.: Энергоатомиздат, 1987, с.283.
10. Dupouy G.J. — Microscopy, 1973, v.97, No. 1/2, p.3.
11. Комар Е.Г. — Основы ускорительной техники. М.: Атомиздат, 1975, с.66.
12. Белкин В.С. и др. — ПТЭ, 1984, № 6, с.181.
13. Романов Ю.И. и др. — ОИЯИ, 13-86-513, Дубна, 1986.
14. Storozum S.L. — Electronics, 1980, No. 4, p.32.
15. Шуман В.Б. — Письма в ЖТФ, 1984, т.10, вып.23, с.1424.
16. Мухитдинов М. — Светоизлучающие диоды и их применение. М.: Радио и связь, 1988.
17. Гутников В.С. — Интегральная электроника в измерительных устройствах. Л.: Энергия, 1980, с.149.
18. Романов Ю.И. — ОИЯИ, 13-88-723, Дубна, 1988.

Рукопись поступила в издательский отдел  
22 декабря 1989 года.