

Макет №1: однополосная одноволоконная однокабельная ВОСП.

Функциональные элементы: Г – генератор оптического излучения;

ОРУ – оптическое развязывающее устройство; >- оптический усилитель.

Цель: рассмотреть принцип построения однополосной одноволоконной однокабельной ВОСП; изучить изменение уровня мощности оптического излучения при прохождении через оптический линейный тракт.

Макет: оптический линейный тракт включает в себя оптический передатчик (генератор оптического излучения), оптическое волокно (ОВ), два оптических дуплексных усилителя (ОДУ). ОДУ состоит из оптического развязывающего устройства (ОРУ) и двустороннего усилителя.

Задача:

1. Построение диаграммы уровней ОЛТ. Для этого на генераторе установите значение входного уровня сигнала $P_{вх}, дБ$ и длину волны оптического излучения $\lambda, нм$.
2. Зарисовать схему. Записать показания затухания сигнала в контрольных точках.
3. По результатам построить диаграмму уровней.

Рассчитать:

1. Затухание ОРУ в направлении пропускания, $\alpha_{ОРУ}, дБ$.
2. Усиления усилителя, $S, дБ$.
3. Затухание линии, $\alpha_{лс}, дБ$.
4. Полученные результаты пригодятся при расчетах.

! Вы должны понимать, как изменяется мощность сигнала при прохождении по ОЛТ.

Макет №2: однополосная одноволоконная однокабельная ВОСП, оконечными устройствами являются трансформаторные дифференциальные системы.

Функциональные элементы: ТА - телефонный аппарат; ТУ – транзитный удлинитель; ДС – трансформаторная дифференциальная система; ОРУ – оптическое развязывающее устройство; >- оптический усилитель.

Цель: определить основные параметры одиночной замкнутой системы (ОЗС); сделать выводы об устойчивости ОЗС; изучить изменение уровня мощности оптического излучения при прохождении через оптический линейный тракт.

Макет: оптический линейный тракт, оконечными развязывающими устройствами которого являются трансформаторные дифференциальные системы. Промежуточное устройство – оптический дуплексный усилитель, который в совокупности с оптическим развязывающим устройством представляет собой одиночную замкнутую систему (ОЗС), которую необходимо исследовать.

Задача:

1. Подайте сигнал с ТА. Зарисуйте схему. Наблюдайте как изменяется уровень сигнала при прохождении через линию.
2. Исследуйте ОЗС. Отмените подачу сигнала. Кликните на ОРУ промежуточного оптического дуплексного усилителя. Изменяйте переходное затухание ОРУ (A, dB) с 55 dB до 0 dB с шагом 5 dB. Определите порог генерации ОЗС. 55 dB – это значение затухания по умолчанию (идеальное значение). Вам необходимо уменьшать его до того момента, пока не произойдет генерация. Запишите это значение.

Определить:

1. Какое затухание вносит ТУ, дифференциальная система, линия передачи.
2. Усиление усилителя.

3. По полученным значениям (из п.1 и п.2) рассчитайте запас устойчивости ОЗС (X), устойчивость ОЗС (δ), рабочее и критическое усиление. Сделайте вывод при каких значениях ОЗС устойчива/не устойчива.

* Усиление усилителя в этой схеме не изменяется. Формулы для расчета представлены в теории.

Вы должны понимать:

1. Как изменятся параметры ОЛТ, если заменить оконечные устройства (на трансформаторный ДС).
2. Что такое генерация и когда она возникает.
3. Почему мы изменяем переходное затухание ОРУ.

Макет №3: Оптический усилитель

Цель: исследовать оптический усилитель, изучить основные параметры, получить амплитудную и амплитудно-частотную характеристику.

Макет: оптический усилитель на оптическом волокне, легированном эрбием (EDFA). P_1, dB и P_2, dB входной и выходной уровень мощности сигнала соответственно.

Задача:

1. Получите амплитудно-частотную и амплитудную характеристику.
Для этого изменяйте длину волны оптического излучения в C – диапазоне и уровень мощности входного сигнала P_1, dB (-40 dB до 0 dB с шагом 5 dB). Запишите полученный уровень P_2, dB . Результаты оформите в таблицу.
2. Определите усиление усилителя для каждого уровня.
3. Получите и зарисуйте графики.
4. Определите порог усиления.

Вы должны понимать:

1. Как изменяется коэффициент усиления.
2. Что такое порог и когда он наступает.

По способу организации двусторонней связи ВОСП подразделяются на:

- двухволоконная однокабельная однополюсная;
- одноволоконная двухполосная однокабельная;
- однополосная одноволоконная однокабельная.

1. Двухволоконная однокабельная однополосная.

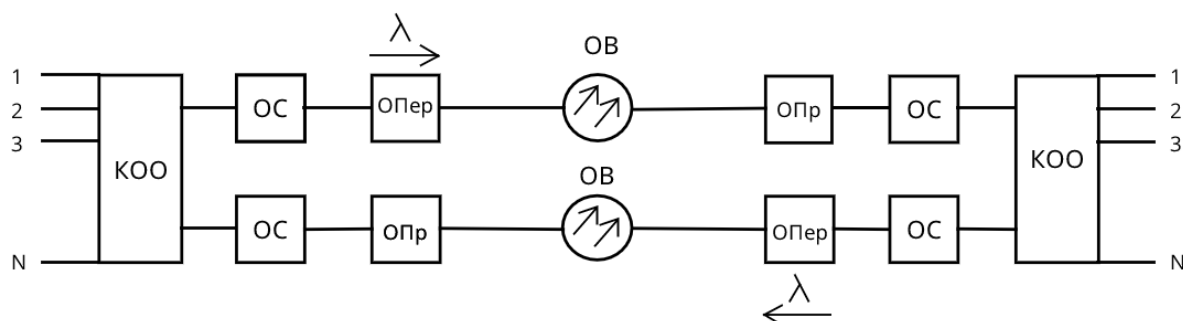


Рис. 1 – Принцип построения двухволоконной однокабельной однополосной ВОСП

Передача и прием оптического сигнала передаются по двум оптическим волокнам на одной длине волны (λ). Каждое оптическое волокно эквивалентно двухпроводной физической цепи. Оба волокна помещаются в один кабель, так как взаимные влияния отсутствуют. Достоинство данной схемы – использование однотипных оборудования системы передачи и приема конечных и промежуточных станций. Недостаток – малый коэффициент использования пропускной способности оптического волокна. Принцип построения двухволоконной однокабельной однополосной ВОСП показан на рис. 1.1. Здесь КОО – каналообразующее оборудование; ОС – оборудование сопряжения; ОПер – оптический передатчик; Опр – оптический приемник.

2. Одноволоконная, двухполосная, однокабельная.

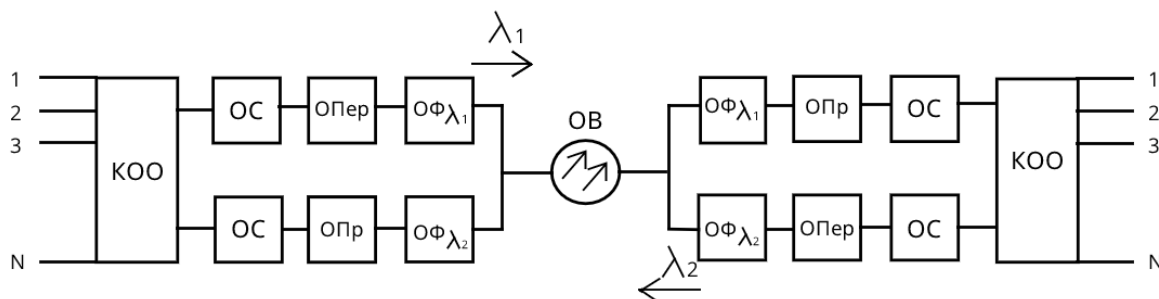


Рис. 2 – Принцип построения одноволоконной двухполосной
однокабельной ВОСП

Передача и прием оптического сигнала ведется по одному оптическому волокну в одном окне прозрачности, но на разных длинах волн (λ_1, λ_2). Для этого необходимо применение направляющих оптических фильтров (ОФ), которые пропускают или задерживают оптическое излучение в настраиваемом диапазоне длин волн. Достоинством является то, что передача осуществляется по одному оптическому волокну. В следствии чего уменьшаются затраты на кабельное оборудование. Недостаток – передавая в одном оптическом диапазоне сигнал и на прием, и на передачу, окно прозрачности эквивалентно уменьшается в 2 раза. Также стоит отметить, что различные длины волн усложняют оборудование системы передачи и коммутации.

3. Однополосная одноволоконная однокабельная

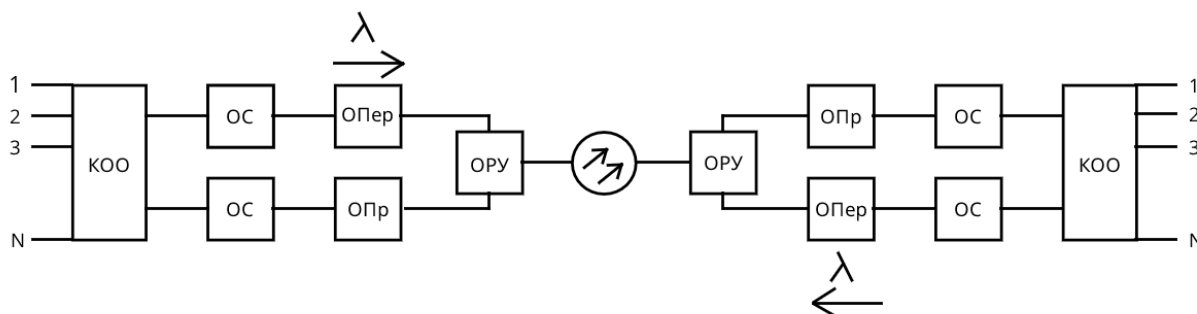


Рис. 3 – Принцип построения одноволоконной однополосной
однокабельной ВОСП

Прием и передача производится на одной длине волны по одному оптическому волокну. Здесь за направление потоков отвечает оптическое развязывающее устройство (ОРУ). За счет использования одного

оптического волокна существенно повышается коэффициент использования пропускной способности. Значительно сокращаются затраты на кабельное оборудование.

Основной задачей является увеличение дальности связи. Для этого используются **оптические дуплексные усилители**, которые усиливают оптический сигнал во встречных направлениях по одному оптическому волокну.

В данной лабораторной работе рассматривается однополосная одноволоконная однокабельная система передачи.

В первой части рассматривается полностью оптическая линия передачи.

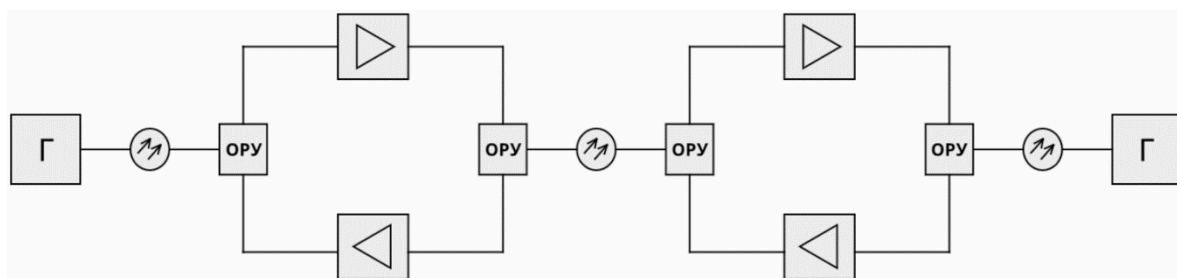


Рис. 4 – Оптическая линия передачи

Оконечными устройствами является генератор оптического излучения (ОИ). Здесь осуществляется модуляция параметров ОИ (интенсивности, частоты, фазы, поляризации и др.). В нашем случае мы изменяем интенсивность и частоту (P , дБ и λ , нм). Пройдя по оптической линии (примерно 120 км), затухание сигнала составит -30 дБ. Затухание в оптических волокнах обусловлено проявлением следующих потерь:

$$\alpha = \alpha_c + \alpha_k + \alpha_{ик} + \alpha_{пр}, \text{ дБ}$$

где:

α_c - собственные потери волоконных волноводов;

α_k - дополнительные кабельные потери;

$\alpha_{ик}$ - потери на поглощение в инфракрасной области;

$\alpha_{пр}$ - потери, вызванные присутствием в оптических волокнах примесей.

Затем сигнал попадает на оптическое развязывающее устройство (ОРУ). ОРУ- пассивное многополюсное устройство, в котором оптическое излучение, подаваемое на часть входных полюсов разветвителя, распределяется между его остальными полюсами. Полюсом называется входная или выходная точка ввода/вывода оптического излучения. То есть для распределения оптических сигналов по нескольким направлениям или, наоборот, для объединения. Пассивное означает полностью оптическое. Если сравнивать с трансформаторной ДС, то ОРУ выигрывает по многим параметрам, например, имеет небольшие размеры и относительно низкую стоимость, не зависит от температуры. Для увеличения пропускной способности сети одним из решений является переход от электронных компонент к оптическим.

Переходные помехи ОРУ обусловлены только обратным релеевским рассеиванием в волокне, френелевским отражением на торцах соединяемых волокон. При расчетах учитывайте, что переходное затухание ($A=55$, дБ); затухание ОРУ в направлении пропускания ($\alpha_{ОРУ} = 4,5$, дБ).

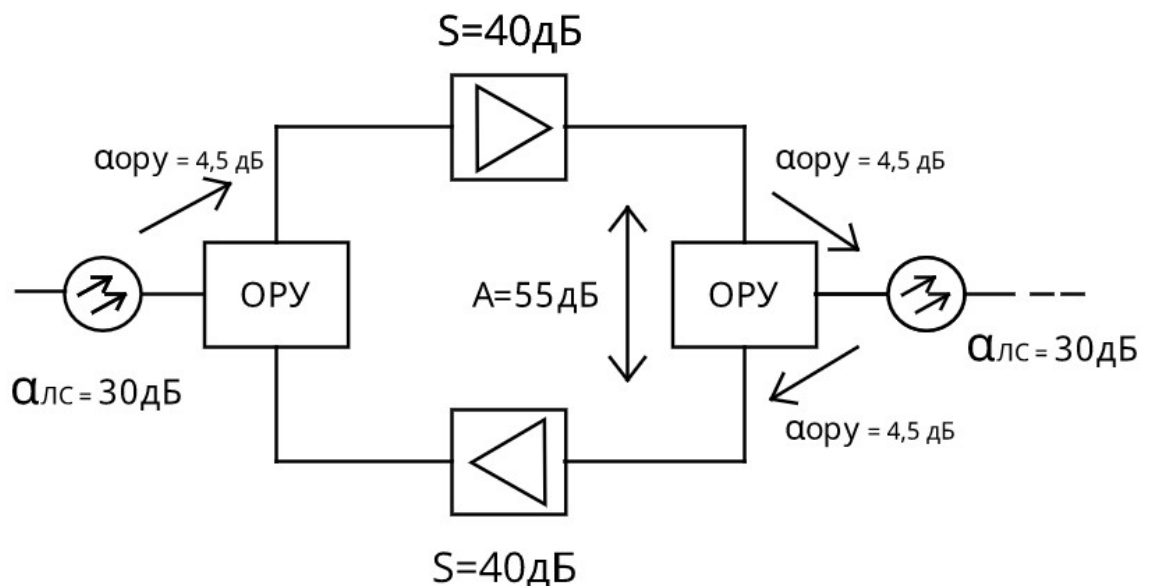


Рис. 5 – Оптический дуплексный усилитель

Как отмечалось ранее, при прохождении через линию (ОВ) сигнал ослабился на 30 дБ. Теперь его необходимо усилить. Сигнал поступил на оптический дуплексный усилитель (ОДУ). ОДУ усиливает оптический

сигнал в двух направлениях (прием, передача). Для разделения этих потоков используется ОРУ. Главным элементом ОДУ является усилитель мощности оптического излучения. Главными параметрами, рассматриваемые в данной лабораторной работе, являются: усиление усилителя, амплитудно-частотная характеристика, динамический диапазон, оптическая мощность входного и выходного сигнала, мощность насыщения. Эти параметры подробно рассматриваются в третьей части теории. В данной схеме усиление усилителя составляет 39 дБ. Почему 39? Потому что усилитель должен скомпенсировать затухание на прилегающем к нему участке. Основные параметры оптического усилителя подробно рассматриваются в третьей части теории (3 схема). После усиления сигнал снова направляется в линию передачи (ОВ).

Во второй части представлен оптический линейный тракт, оконечными устройствами которых являются трансформаторный дифференциальные системы.

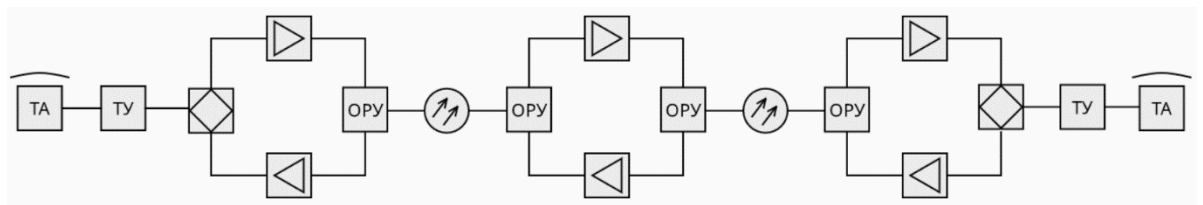


Рис. 5 – Оптический линейный тракт

Основные элементы схемы: ТА–телефонный аппарат; ТУ-транзитный удлинитель; дифференциальная система (ДС); оптический дуплексный усилитель, оптическое развязывающее устройство.

Устойчивость такого линейного тракта определяется устойчивостью оптических дуплексных усилителей и параметрами дифференциальных систем на передаче и приеме. При построении двусторонних каналов неизбежно возникают замкнутые системы. В данной схеме представлено три каскадно-включенных одиночных замкнутых систем (ОЗС). Они появляются из-за использования различных развязывающих устройств. Ранее затрагивалось оптическое развязывающее устройство, теперь обратим внимание на ДС. Схема ОЗС представлена на рис.6.

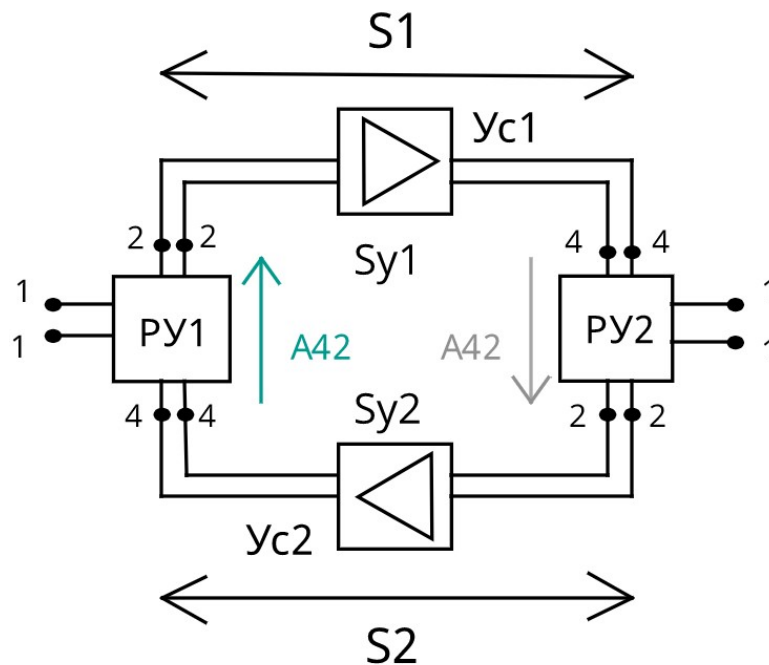


Рис.6 – одиночная замкнутая система

ПУ1, ПУ2 – развязывающие устройства, а 1-1, 2-2, 4-4 их полюса; A_{42} – переходные затухания ПУ; $Ус$ – усилители; S_y – усиление усилителя, S – рабочее усиление усилителя.

Из-за конечной величины переходного затухания ПУ в системе возникает петля обратной связи.

Если в качестве ПУ используется ДС, то токи паразитной обратной связи возникают из-за недостаточной балансировки). Вследствие этого произойдут влияния одного направления передачи на другое. Если используется каскад ОЗС, то петля обратной связи возникает в каждой ОЗС. А взаимодействие петель друг на друга приводит к появлению новых петель ОС. Этот процесс изображен на рис. 7.

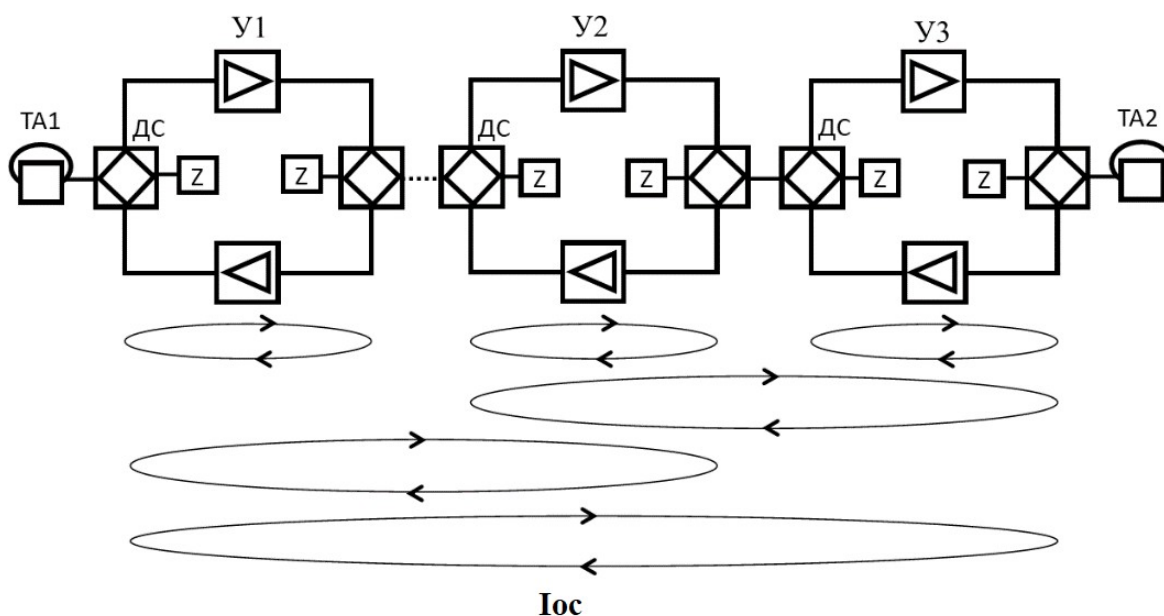


Рис. 7 – Возникновение петель обратной связи

Из рисунка видно, что наиболее подверженной к возникновению петель обратной связи является центральная ОЗС.

Для того, чтобы понять устойчива ли система, необходимо знать критерий устойчивости Найквиста. Критерий гласит, что система с обратной связью возбудится, если одновременно будут выполнены два условия для разомкнутой петли обратной связи в полосе частот от нуля до бесконечности:

1) Условие амплитуд

$$\sum_{i=1}^k S_i \geq \sum_{j=1}^l A_j, \quad (1)$$

т.е. сумма усиления в разомкнутой цепи ОС больше или равна сумме затуханий по этой же петле;

2) Условие фаз, т.е. сумма фазовых сдвигов устройств, которые образуют петлю обратной связи

$$\sum_{i=1}^m \varphi_i = 2n\pi, \quad (2)$$

где $n=0,1,2,\dots$

Так как в ОЗС фазовые сдвиги случайны, то полагая, что условия фаз выполняются хотя бы на одной частоте рабочей полосы частот, условие устойчивости ОЗС определяются:

$$\sum_{i=1}^k S_i < \sum_{j=1}^l A_j \quad (3)$$

Следовательно, ОЗС будет устойчива, т.е. генерация не возникнет, если:

$$A_{4-2}^1 + A_{4-2}^2 > S_{y1} + S_{y2} \quad (4)$$

Запас устойчивости (δ) определяет на сколько сумма затуханий по петле обратной связи больше суммы усиления:

$$X = (A_{4-1}^1 + A_{4-2}^2) - (S_{y1} + S_{y2}) \quad (5)$$

Величина, показывающая, на сколько можно увеличить усиление усилителей S_{y1}, S_{y2} , чтобы ОЗС самовозбудилась, называется устойчивостью и определяется по формуле:

$$\sigma = \frac{A_{42}^1 + A_{42}^2}{2} - \frac{S_{y1} + S_{y2}}{2} = \frac{X}{2} \quad (6)$$

Устойчивость показывает, на какую величину σ следует увеличить усиление каждого из усилителей ОЗС, чтобы в ней возникла генерация. В лабораторной работе, усиление усилителей остается неизменным и равняется 39 дБ (необходимо проводить измерения на наиболее подверженной влиянию ОЗС, т.е. центральной). Таким образом, для нахождения порога генерации, необходимо уменьшать переходное затухание ОРУ. В реальной линии уменьшение переходного затухания обусловлено обратным релеевским рассеиванием в волокне, френелевским отражением на торцах соединяемых волокон.

Рассмотрим оптический усилитель. Основными параметрами являются: усиление усилителя, амплитудно-фазовая характеристика, динамический диапазон, оптическая мощность входного и выходного сигнала, мощность насыщения. В третьей части лабораторной работы основная задача оценить амплитудно-частотную характеристику усилителя.

Принципиальным отличием оптического усилителя от регенератора является то, что в усилителе нет оптоэлектронного преобразования. Оптический усилитель увеличивает амплитуду входных оптических импульсов чисто оптическим путем, не выполняя при этом никакого

восстановления формы импульсов. Оптический усилитель имеет три существенных преимущества перед регенератором. Во-первых, оптический усилитель конструктивно проще. Во-вторых, оптический усилитель в отличие от регенератора не привязан к скорости передачи и может усиливать входной сигнал любого формата. В-третьих, оптический усилитель способен одновременно усиливать большое число независимых спектрально разделенных каналов, в то время как регенератор может обрабатывать только один канал, одну длину волны. Так же стоит отметить, что пропускную способность таких сетей можно наращивать экономично и постепенно, добавляя новые каналы по мере роста потребности. Применение оптических усилителей EDFA позволяет создавать полностью оптические сети, в которых обработка сигнала электронными устройствами происходит только в начальной и конечной точках сети.

В оптических усилителях для усиления света используются энергетические уровни ионов редкоземельных металлов, внедренных в твердый диэлектрик (ОВ), а инверсия населенности создается с помощью оптической накачки. В данной лабораторной работе используется эрбиевый оптический усилитель (EDFA), т.е. ОВ легированное эрбием. Эрбий используется в диапазоне L и C, именно в этих окнах прозрачности работают современные системы передачи.

Возбужденное излучением лазеров накачки эрбиевое волокно выполняет функцию усиления. Волокно, легированное ионами эрбия Er^{3+} , является активной средой, в которой происходит усиление. На рис. 8 приведена диаграмма энергетических уровней Er^{3+} .

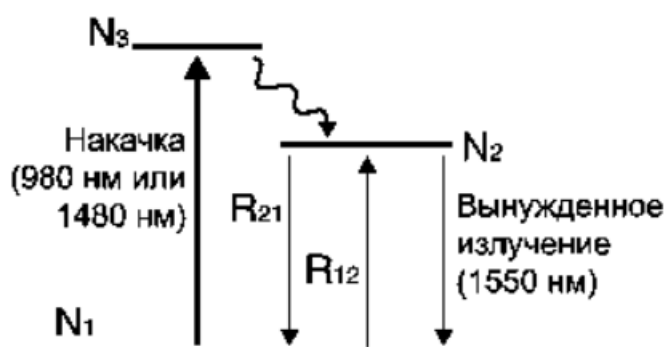


Рис. 8 – Диаграмма энергетических уровней

где E1 - основное состояние, E2 – метастабильное состояние и E3 – верхний уровень (возбужденное состояние). За счет поглощения световой энергии генератора накачки ионы эрбия переходят с основного уровня N_1 на возбужденный уровень N_3 , который является короткоживущим (время жизни 1мкс), а затем постепенно безызлучательно переходят на метастабильный энергетический уровень N_2 . Переход с этого уровня в основное состояние ($N_2 \rightarrow N_1$) с излучением фотонов на длине волны 1550 нм может быть как спонтанным, так и вынужденным. Метастабильный уровень имеет относительно большое время жизни (около 10 мс). Следовательно, ионы эрбия могут оставаться в таком возбужденном состоянии продолжительное время, что приводит к возникновению инверсной заселенности. При возникновении инверсии происходит также спонтанное излучение отдельных атомов или ионов. Для нарастания лавины фотонов необходимо, чтобы число актов испускания фотонов превышало их естественную убыль вследствие эффекта вынужденного поглощения, т.е. усиление станет возможным, если удастся создать инверсию населенностей уровней.

Если в среду с инверсией населенности попадает излучение с энергией фотона, совпадающей с энергией перехода из метастабильного состояния в основное, то с большой вероятностью происходит переход иона с метастабильного уровня E2 на основной уровень E1 с одновременным рождением еще одного фотона. Увеличение числа фотонов при их взаимодействии с ионами эрбия означает, что происходит усиление света, распространяющегося в среде с инверсией населенности. Длина волны и спектр усиления жестко определены типом активных ионов, и для эрбия эффективный диапазон усиления составляет 1520-1570 нм. При отсутствии усиливаемого сигнала ионы эрбия переходят в основное состояние самопроизвольно, излучая фотоны с энергией, соответствующей данному переходу. То есть появляется спонтанное излучение. Следует подчеркнуть, что и в рабочем режиме при наличии усиливаемого сигнала часть

возбужденных ионов переходит в основное состояние спонтанно, при этом спонтанное излучение также усиливается, приводят к появлению усиленного спонтанного излучения. Усиленное спонтанное излучение является основным источником шумов, а также ограничивает коэффициент усиления, особенно в случае слабого сигнала. Для накачки используются лазерные диоды с рабочей длиной волны 980 и 1480 нм. Лазеры на 980 нм используются достаточно широко, учитывая их возможность благодаря трехуровневой модели взаимодействия поднять очень низкий уровень сигнала. Однако лазеры на 1480 нм считаются более надежными. Рассмотрим основные параметры ОУ.

Рабочий диапазон длин волн. Эрбиевый оптический усилитель увеличивает мощность сигнала сразу во всей рабочей полосе – примерно от 1525 до 1565 нм. Зависимость коэффициента усиления от длины волны изображена на рис. 9.

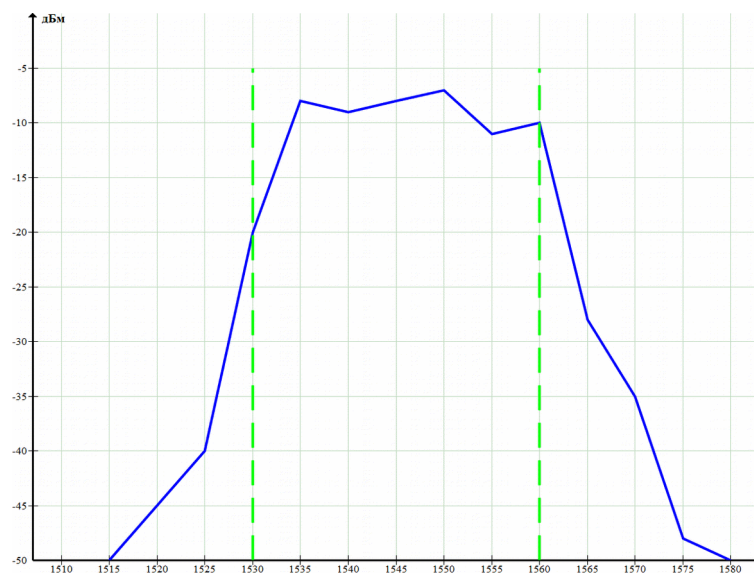


Рис. 9 – Зависимость коэффициента усиления EDFA от длины волны

Из графика видно, что эффективное усиление происходит именно в диапазоне 1530 – 1565 нм.

Как и в электронных усилителях, **коэффициент усиления ОУ** зависит от уровня входного сигнала. До некоторого (малого) уровня входного сигнала усиление практически постоянно (линейно возрастает). *Это вы можете наблюдать в лабораторной работе при изменении мощности сигнала

на входе оптического усилителя. Затем достигается «порог» при котором **усиление усилителя** начинает резко падать, а именно, когда усиление усилителя снижается более и равно 3 дБ. Обычно усилитель хорошо усиливает слабые входные сигналы. Для входных сигналов средней мощности коэффициент усиления начинает отклоняться от прежнего значения.

Мощность насыщения - определяет максимальную выходную мощность усилителя. Большее значение мощности позволяет увеличивать расстояние безретрансляционного участка. Этот параметр варьируется в зависимости от оптического усилителя. Мощность насыщения определяет мощность накачки и ее энергетическую эффективность. Если накачка производится на длине волны 1480 нм, то энергетическая эффективность выше, чем при накачке на 980 нм.

Коэффициент усиления оптического усилителя зависит от уровня входного и выходного сигнала. При малой входной мощности, когда выполняется условие $P_{\text{вых}} < P_{\text{нас}}$, коэффициент усиления практически не зависит от входной и выходной мощности сигнала. При $P_{\text{вых}} = P_{\text{нас}}$ коэффициент усиления уменьшается на 3дБ. Когда $P_{\text{вых}} > P_{\text{нас}}$, коэффициент усиления быстро уменьшается. Обычно усилитель хорошо усиливает слабые входные сигналы. Для входных сигналов средней мощности коэффициент усиления начинает отклоняться от прежнего значения. На рис. 2.3 представлен график зависимости выходной мощности от уровня входного сигнала.

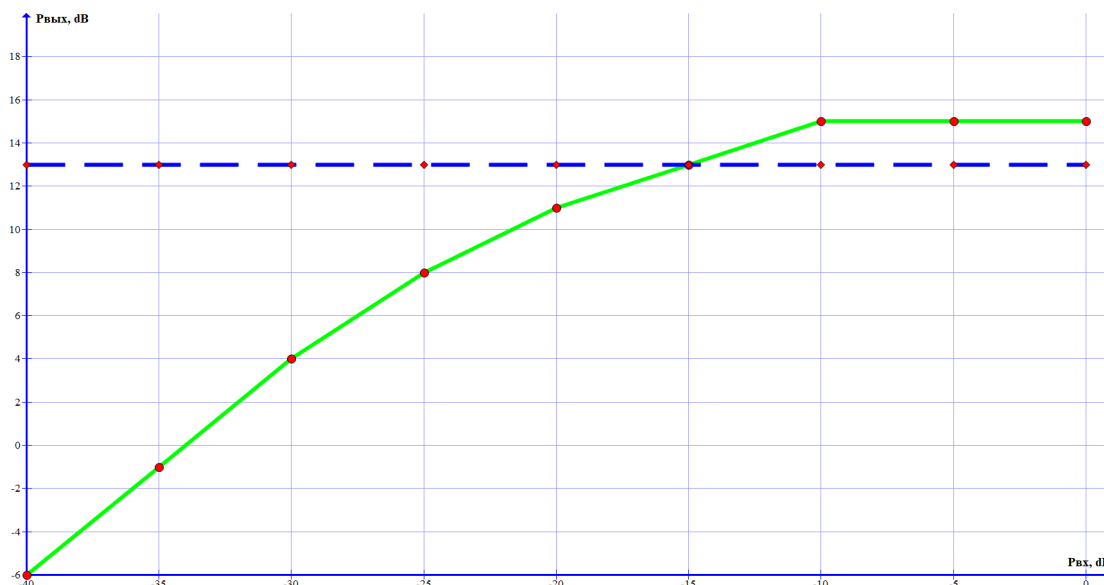


Рис. 10 – Зависимость выходной мощности от уровня входного сигнала

Из графика видно, что выходная мощность возрастает линейно с ростом входной мощности в пределах от -40 до -15 дБ. Дальнейший рост $P_{вых}$ замедляется вследствие насыщения усилителя и начиная с 20 дБ. Это и есть режим насыщения, т.е. $P_{вых} = P_{нас}$. Таким образом, можно сделать вывод, что при достижении порога усиление не эффективно.

В силу того, что основной рабочий диапазон EDFA лежит в пределах длин волн 1530-1560 нм, появилась необходимость вместить в этот промежуток как можно больше каналов. С этой целью начали применять технологию спектрального уплотнения каналов. Рассмотрим данную технологию подробнее.

В последнее время наблюдается непрерывное увеличение спроса на пропускную способность волоконно-оптических линий связи. Появление технологии спектрального уплотнения в оптоволоконной сети позволило увеличить один из ключевых параметров существующих волокон – полосу пропускания. Оптическое волокно способно передавать огромное количество информации за счет высокой частоты световых волн – 10^{14} Гц. Технология спектрального уплотнения позволило многократно увеличить суммарный поток передаваемой информации. Метод WDM основан на одновременной передаче независимых сигналов компонентами светового пучка с

различными длинами волн по одному волокну. Каждая компонента представляет собой отдельный оптический канал передачи информации. Добавление нового канала в линию связи сводится к введению новой компоненты светового пучка на незанятой длине волны и никак не затрагивает работу уже существующих каналов.

Принцип работы WDM систем представлен на рис. 3.1.

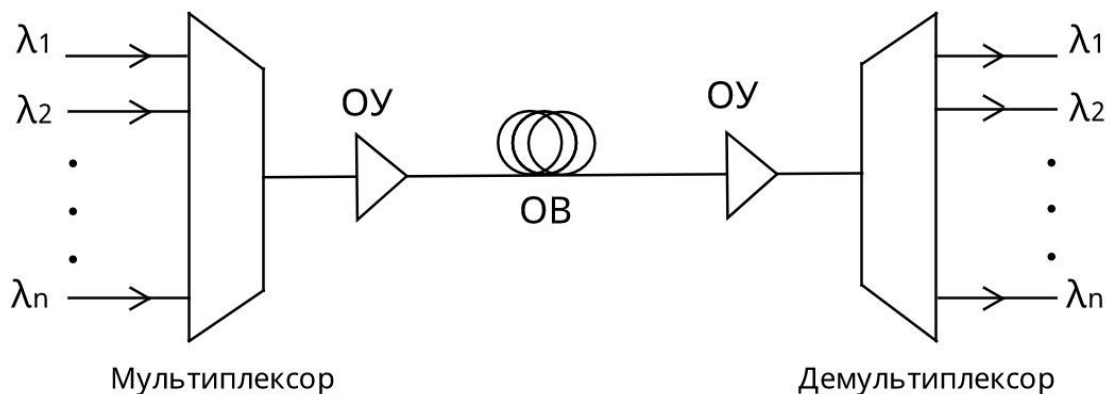


Рис.11 – Структура волоконно-оптической линии связи со спектральным мультиплексированием

На рисунке приняты следующие обозначения: ОУ – оптический усилитель, ОВ – оптическое волокно, λ – длина волны.

Световые сигналы с разными длинами волн, генерируемые несколькими оптическими передатчиками, объединяются мультиплексором и вводятся в оптическое волокно линии связи. При больших расстояниях передачи на линии устанавливается один или несколько оптических усилителей. На приемном конце мультиплексор принимает составной сигнал, выделяет из него исходные компоненты с разными длинами волн и направляет их на соответствующие фотоприемники. На промежуточных узлах некоторые каналы могут быть добавлены или выделены из составного сигнала посредством мультиплексоров ввода/вывода, а остальные каналы проходят транзитом без электрического преобразования. Так как каналы могут добавляться постепенно и иметь разную скорость и форматы передачи, то появляется возможность наращивать емкость сети и развивать различные сервисы без прокладки дополнительных волокон.

Рассмотрим основные параметры систем WDM.

Мощность и стабильность передатчика. Чем выше эти параметры, тем больше допустимая дальность линии связи. Но стоит учитывать, что существует определенный порог по мощности, так как высокая мощность входного сигнала вызывает нелинейные явления в оптическом волокне.

Число каналов. Полоса пропускания системы определяется произведением числа каналов на скорость передачи по одному каналу.

Частотный интервал между каналами. Частотный интервал зависит от способа спектрального уплотнения. В системе CWDM канальный интервал составляет 20 нм, в DWDM – 0,8 нм. В настоящее время рассматриваются возможности стандартизации частотного плана с расстоянием 0,4 нм и менее.

Коэффициент усиления оптического усилителя. Стандартные усилители EDFA в пределах рабочего диапазона имеют типичный коэффициент усиления 30-40 дБ для слабых сигналов. Коэффициент усиления должен быть максимально высоким и стабильным.

Характеристики оптического волокна. Характеристики и тип оптического волокна влияют на такие параметры системы, как скорость передачи, максимальное число каналов, длина участка ретрансляции, основные параметры линейного тракта.

Необходимость применения технологии WDM возникла тогда, когда появилась нехватка пропускной способности на наиболее загруженных направлениях – магистральных линий связи. Именно от их надежной работы зависит функционирование международной и междугородней связи. Развитие магистральных идет по всему миру быстрыми темпами. Поэтому встал вопрос о строительстве новых линий, которые обладают достаточной производительностью и предоставляют возможность масштабирования сети без изменения инфраструктуры. Для этого разработали технологию передачи DWDM.

DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing – плотное спектральное уплотнение), где названия говорят о плотности расположения информационных каналов в оптическом спектре. Эта технология передачи организует гибкие высокоскоростные сети, обеспечивая прозрачную передачу постоянно растущего трафика. Технология поддерживает скорости от 150 Мбит/с до 400 Гбит/с на одну длину волны. Важной характеристикой систем DWDM является частотный план. Он описывает расположение несущих частот оптических каналов в рабочем диапазоне. Согласно рекомендациям ITU для DWDM используется «C» и «L» окна прозрачности. В каждый диапазон попадают по 80 каналов с шагом 0.4нм (50ГГц). Обычно используется только "C" диапазон, поскольку количество каналов, которые можно организовать в этом диапазоне и так хватает с избытком, к тому же затухание в волокне стандарта G.652 в C-диапазоне несколько ниже, чем в L-диапазоне. Таким образом, DWDM позволяет организовать до 160 независимых информационных каналов по одному оптическому волокон. На практике DWDM позволяет организовать до 80 каналов по двум волокнам, либо до 40 каналов по одному волокну, поскольку L-диапазон пока не используется. Кроме того, стало возможным передавать данные на расстояния много превышающие 100 километров без регенерации. Обычно при организации такой системы передачи используют два оптических волокна на прием и передачу соответственно.

Поскольку оборудование DWDM дорогое, то выгоднее строить протяженные магистрали для быстрой окупаемости проекта. Организуя DWDM магистраль между двумя населенными пунктами, оператор получает магистраль с большим числом каналов и хорошим резервом пропускной способности.

Сети связи крупных городов так же нуждаются в модернизации, так как постоянное увеличение трафика привело некоторые зоны к тому, что у них почти не осталось ресурсов для роста. Но так как городские сети

чувствительны к стоимости оборудования, то для них актуальной технологией стало «грубое» спектральное уплотнение – CWDM.

Грубое спектральное мультиплексирование – **CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing)** – технология, позволяющая одновременно передавать несколько информационных каналов по одному оптическому волокну на разных несущих частотах. В системах CWDM кроме широко известных диапазонов C, S, L используются еще два диапазона - O (1260–1360 нм) и E (1360–1460 нм). Это стало возможным после появления кварцевого волокна с улучшенной характеристикой – удалось ликвидировать «водяной» пик поглощения на кривой затухания оптического волокна в E – диапазоне. В совокупности все диапазоны охватывают область от 1260 до 1625 нм, в которой располагается 18 каналов с шагом 20 нм. Технология CWDM гораздо дешевле, чем DWDM, поэтому применение целесообразно на городских и региональных оптических сетях, при дефиците оптических волокон. Если необходимо создать линию протяженностью менее 100 километров и со скоростью передачи ниже 10 Гбит/с, то CWDM оптимальное решение.

Стоит отметить, что система CWDM не подразумевают усиления сигнала. Это связано с отсутствием оптических усилителей. Так как нет возможности усиливать сигнал в таком широком диапазоне длин волн. Поэтому система CWDM имеет только оконечное активное оборудование.

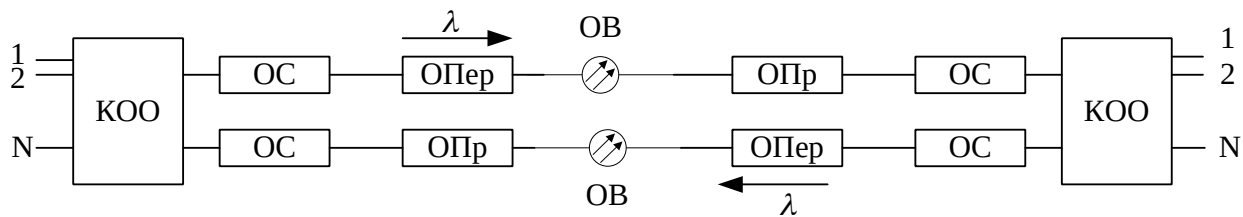
Так же следует подчеркнуть, что система CWDM использует неохлаждаемый лазер в отличие от DWDM. Охлаждающий лазер поддерживает температуру для лучшей производительности, безопасности и более долгий срок службы системы. Но поскольку распределение температуры в таком широком диапазоне неравномерно, то реализацию настройки температуры произвести очень трудно. Поэтому от него отказались в пользу электронно-настраиваемого неохлаждаемого лазера, что существенно удешевило систему.

Таким образом, можно сделать вывод, что основная суть спектрального уплотнения состоит в том, что эта технология позволяет увеличивать пропускную способность оптической линии. Исчезла необходимость создавать большое количество магистральных линий связи - создается один физический канал и по одному оптическому волокну передаются несколько десятков информационных каналов с достаточно большой пропускной способностью.

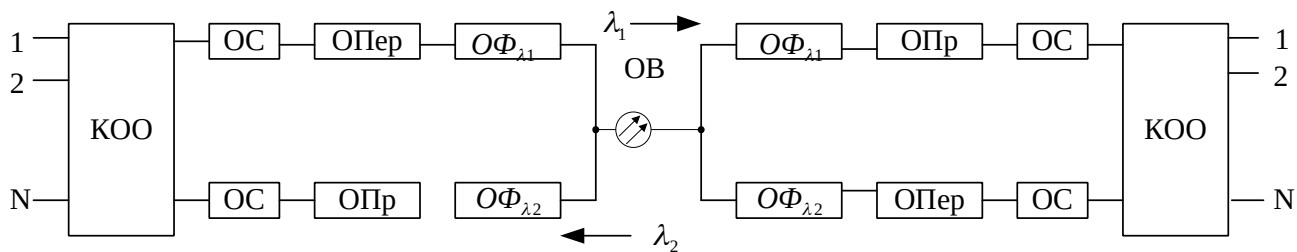
ВОПРОСЫ

1. Укажите двухволоконную однокабельную однополосную ВОСП

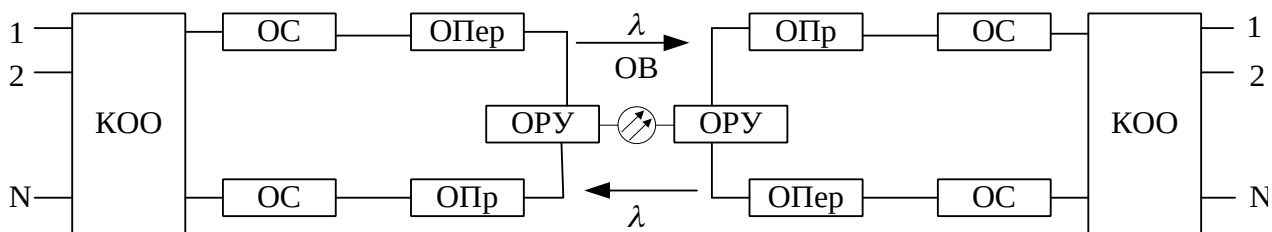
А) +



Б)-

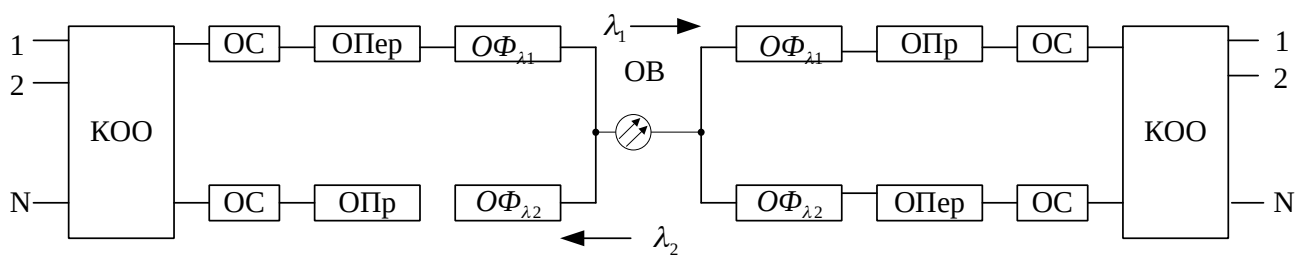


В)-

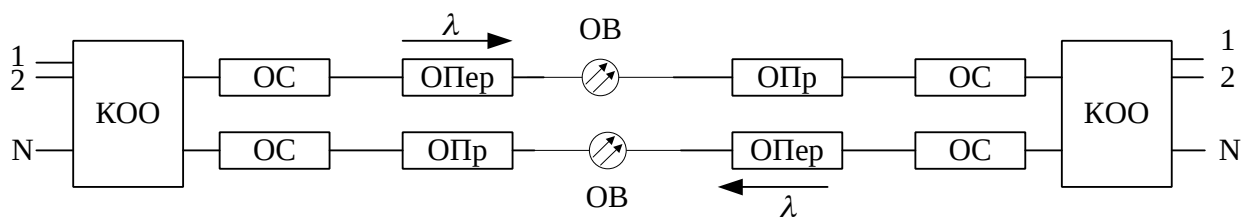


2. Укажите одноволоконную двухполосную однокабельную ВОСП

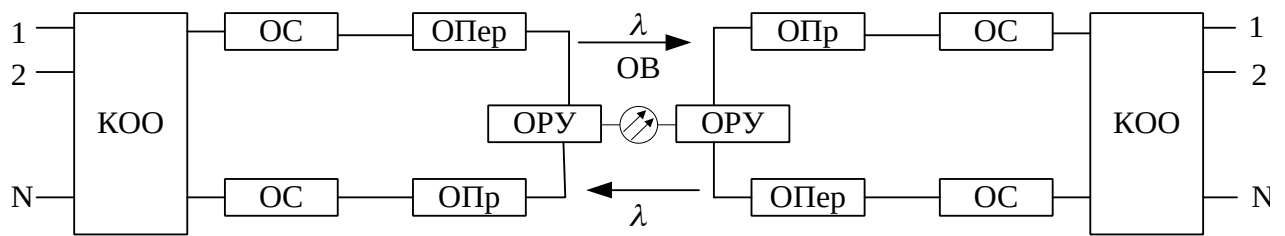
А) +



Б) -

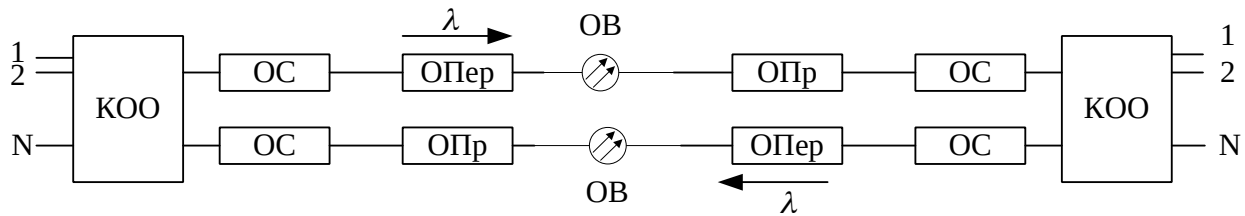


В) -



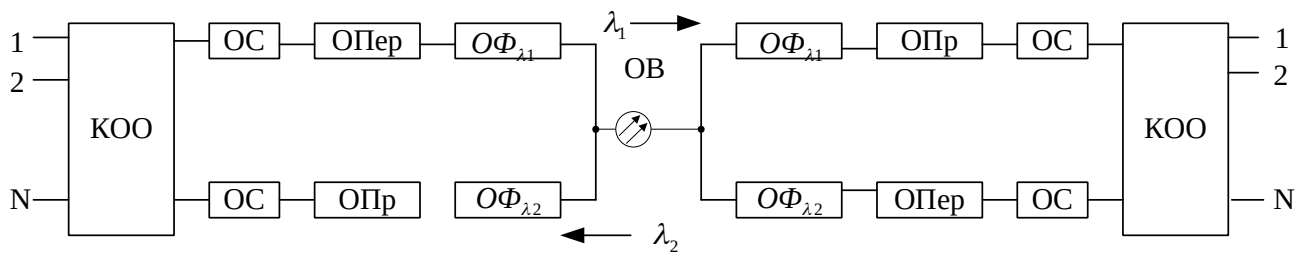
3. Укажите однополосную одноволоконную однокабельную ВОСП

4. А) -



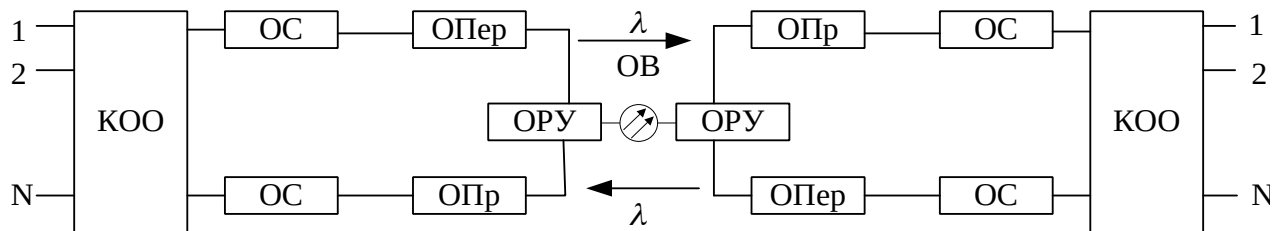
5. Б)-

6.



7. Б) +

8.



7. Выберите диапазон длин волн окна прозрачности «С»

А) 1460 – 1530 нм

Б) 1530 – 1565 нм +

В) 1260 – 1360 нм

7. Выберите диапазон длин волн окна прозрачности «О»

А) 1460 – 1530 нм

Б) 1530 – 1565 нм

В) 1260 – 1360 нм +

7. Выберите диапазон длин волн окна прозрачности «Е»

А) 1360 – 1460 нм +

Б) 1530 – 1565 нм

В) 1260 – 1360 нм

8. При выполнении какого условия одиночная замкнутая система самовозбудится?

А) -

$$\sum_{i=1}^k S_i = \sum_{j=1}^I A_j,$$

Б) -

$$\sum_{i=1}^k S_i \leq \sum_{j=1}^I A_j,$$

В) +

$$\sum_{i=1}^k S_i \geq \sum_{j=1}^I A_j,$$

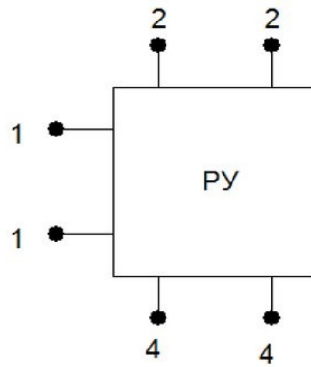
9. В каком диапазоне длин волн работает технология CWDM?

А) 1260 -1625 нм +

Б) 1260–1360 нм -

В) 1360–1460 нм -

10. Укажите верные требования к развязывающему устройству (2 варианта ответа):



А) +отсутствует затухание в направлениях передачи, т.е:

$$A_{1-2} = A_{1-4} = 0$$

Б)+бесконечно большое затухание (ослабление) в направлениях развязки (задерживания), т.е:

$$A_{4-2} = A_{2-4} = \infty$$

В) - бесконечно большое затухание в направлениях передачи, т.е:

$$A_{1-2} = A_{1-4} = \infty$$

Г)- отсутствует затухание в направлениях развязки (задерживания), т.е:

$$A_{4-2} = A_{2-4} = 0$$

10. Для чего используются оптические усилители?

А) регенерация оптического сигнала-

Б) усиления мощности оптического сигнала+

В) удешевление системы передачи -

11. Какие устройства применяются для усиления мощности оптического сигнала в технологии WDM?

А) электрические усилители

Б) оптические усилители+

В) регенераторы

12. Применяются ли в технологии CWDM усилители?

А) да -

Б) нет +

13) Применяются ли в технологии DWDM усилители?

А) да +

Б) нет -

14) В каком диапазоне длин волн эрбиевый усилитель эффективно усиливает мощность оптического сигнала?

А) 1360 – 1460 нм -

Б) 1260 – 1360 нм -

В) 1530-1560 нм +

15) В системах CWDM используется разреженная сетка длин волн со стандартным фиксированным расстоянием между несущими

А) 0.8 нм

Б). 20 нм +

В) 10 нм

Г) 0.4 нм

16) В системах CWDM максимальное число каналов равно:

А) 16

Б) 8

В) 40

В) 18 +

17 Сущность WDM заключается в том, что сигналы от нескольких источников передаются

1. По одному ОВ на разных длинах волн +

2. По двум ОВ на одной оптической несущей

3. По одному ОВ с задержкой по времени

4. По разным оптическим волокнам