Используя приложение 1 для оптических интерфейсов аппаратуры SDH, определенных рекомендациями МСЭ-Т G.957 и G.691, определить по варианту (табл. 1) предельную дальность передачи без промежуточных регенераторов. Также определить минимальное расстояние между оптическим передатчиком и оптическим приёмником заданного интерфейса, для исключения перегрузки приёмника. Рассчитать уровень сигнала на приеме, мощность сигнала на входе приемника и совокупную хроматическую дисперсию при условии, что длина участка равна L (табл.1)

Таблица 1

|  |  |
| --- | --- |
| Параметр | Номер варианта |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Интерфейс | L4.2 | V4.2 | L16.2 | U16.2 | S-4.1 | L-16.1 | S-16.1 | V-64.2a | S-1.1 | L1.3FP |
| Строительная длина кабеля, ℓстр, км | 2 | 2,5 | 3 | 3,5 | 4 | 4,5 | 5 | 5,5 | 6 | 6,5 |
| Число разъемных соединений | 2 | 4 | 6 | 2 | 4 | 6 | 2 | 4 | 6 | 2 |
| L, км | 63 | 106 | 71 | 111 | 7 | 29 | 12 | 99 | 18 | 56 |

Использование характеристик одноканальных (одноволновых) оптических интерфейсов при проектировании линейных трактов определено рекомендациями МСЭ-T G.655.

**Максимальная длина регенерационного участка (РУ)** с точки зрения энергетического потенциала находится через соотношение:

.

где *PSmin* – минимальный уровень мощности передатчика в точке S;

*PRmin* – минимально допустимый уровень мощности на входе приемника в точке R при заданном коэффициенте ошибки (обычно BER=10-10);

 *PD* – уровень дисперсионных потерь (1 – 2 дБ);

*N* - число строительных длин кабеля;

*α*ст – потери на неразъемных стыках кабеля (на сварных соединениях); *α*ст=0.08дБ.

*Nрс* – число разъемных стыков;

αрс – потери мощности на разъемных стыках; αрс=0.3дБ.

α*к* – километрическое затухание кабеля на заданной длине волны;

***На λ=1.31мкм затухание волокна G.652 составляет 0.36дБ/км, на λ=1.55мкм затухание волокна G.652 и G.653 составляет 0.22дБ/км.***

 α*m* – строительный запас на повреждение кабеля (дБ/км). α*m=(0.02÷0.05)дБ/км.*

*Здесь энергетический потенциал оборудования находится как*

*А= PSmin* – *PRmin.*

Максимальная дальность связи с точки зрения дисперсионных искажений находится как

$L\_{D}=\frac{D\_{max}}{D\_{xр}}$,

Где Dmax – максимально допустимая хроматическая дисперсия на входе приемника (в точке R);

***Dхр – удельная хроматическая дисперсия ОВ. На λ=1.31мкм Dхр для волокна G.652 составляет 3.5 пс/(нм\*км), на λ=1.55мкм Dхр волокна G.652 составляет 18 пс/(нм\*км). Для ОВ G.653 Dхр=2пс/(нм\*км)***

Следует определить, чем в основном ограничивается максимальная длина регенерационного участка: затуханием или дисперсией.

Если , то максимально допустимая длина участка регенерации

.

Если , то максимально допустимая длина участка регенерации

.

**Минимальная длина РУ** ограничивается уровнем перегрузки фотоприемника (PRmax), данный параметр приведен в характеристиках оптических интерфейсов в приложении 1.

Если уровень перегрузки фотоприемника (PRmax), минимальную длину регенерационного участка находят по следующей формуле:

  .

Итоговая длина регенерационного участка должна находиться в пределах:

LРУmin<LРУ< LРУmax

 **Уровень сигнала на входе** **приемника** к концу срока эксплуатации можно найти по формуле:



Где N – число строительных длин.

$$N=\frac{L}{l\_{cтр}}$$

Эл – линейный энергетический запас на старение и ремонт кабеля. Эл =2÷4дБ.

Мощность на входе приемника:



Накопленная хроматическая дисперсия будет равна:

DΣхр=DхрLσии, пс

Где σии – среднеквадратическая ширина спектра источника излучения.

σии=0.212\*Δλ-20дБ

**Приложение 1. Характеристики оптических интерфейсов SDH**

**Таблица П1.1. Характеристики STM-1**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Характеристики | Единица | Значение |
| Цифровой сигнал, скорость передачи, линейное кодирование | кбит/с | STM-1,155 520,скремблированный NRZ |
| Прикладной код |  | I-1 | S-1.1 | S-1.2 |
| Рабочий диапазон волн | нм | 1260-1360 | 1261-1360 | 1430-1576 | 1430-1580 |
| **Передатчик в опорной точке S**Тип источникаСпектральные характеристики:– максимальное СКЗ ширины (Δλ)– максимальная ширина на уровне −20 дБ– минимальный коэффициент подавления боковой модыСредняя вводимая мощность:– максимальная– минимальнаяМиним. коэффициент гашения (ЕХ) | нмнмдБдБмдБмдБ | FP LED40 80- -* -

-8-158,2 | FP7,7---8-158,2 | FP DFB2,5 - * 1
* 30

-8-158,2 |
| **Оптический тракт между S и R**Диапазон ослабленияМаксим. дисперсияМинимальные оптические возвратные потери на кабельном участке в S, включая любые соединители Максимальная дискретная отража-тельная способность между S и R | дБпс/нмдБдБ | 0-718 25Н/ОН/О | 0-1296Н/ОН/О | 0-12296 Н/ОН/ОН/О |
| **Приемник в опорной точке R**Минимальная чувствительностьМинимальная перегрузкаМаксимальный штраф оптического трактаМаксимальная отражательная способность, измеренная в R | дБмдБмдБдБ | -23-81Н/О | -28-81Н/О | -28-81Н/О |

Сокращения: СКЗ, средняя квадратическая зависимость; Н/О, не определено; NRZ, non return to zero – без возвращения к нулю; FP, Fabry-Perot – Фабри-Перо (конструкция полупроводникового лазера); LED, light-emitting diode – светодиод; DFB, distributed feedback – распределённая обратная связь . Коэффициент гашения (EX) определяют как: EX 10 Log (A/B) 10, где A – средний уровень оптической мощности в центре логической "1", а B – средний уровень оптической мощности в центре логического "0". Общеприняты следующие условия для уровней оптической логики:

– излучение света – логическая единица "1";

– отсутствие излучения – логический нуль "0".

**Таблица П1.2. Характеристики STM-1**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Характеристики | Единица | Значение |
| Цифровой сигнал, скорость передачи, линейное кодирование | кбит/с | STM-1,155 520,скремблированный NRZ |
| Прикладной код |  | L-1.1 | L-1.2 | L-1.3 |
| Рабочий диапазон волн | нм | 1263-1360 | 1480-1580 | 1534-1566/ 1523-1577 | 1480-1580 |
| **Передатчик в опорной точке S**Тип источникаСпектральные характеристики:– максимальное СКЗ ширины (Δλ)– максимальная ширина на уровне −20 дБ– минимальный коэффициент подавления боковой модыСредняя вводимая мощность:– максимальная– минимальнаяМиним. коэффициент гашения (ЕХ) | нмнмдБдБмдБмдБ | FP DFB1. -

- 1- 300-510 | DFB-1300-510 | FP DFB3/2,5 -* 1
* 30

0-510 |
| **Оптический тракт между S и R**Диапазон ослабленияМаксим. дисперсияМинимальные оптические возвратные потери на кабельном участке в S, включая любые соединителиМаксимальная дискретная отража-тельная способность между S и R | дБпс/нмдБдБ | 10-28246 Н/ОН/ОН/О | 10-28Н/О20-25 | 10-28246/296 Н/ОН/ОН/О |
| **Приемник в опорной точке R**Минимальная чувствительностьМинимальная перегрузкаМаксимальный штраф оптического трактаМаксимальная отражательная способность, измеренная в R | дБмдБмдБдБ | -34-101Н/О | -34-101-25 | -34-101Н/О |

Сокращения: СКЗ, средняя квадратическая зависимость; Н/О, не определено; NRZ, non return to zero – без возвращения к нулю; FP, Fabry-Perot – Фабри-Перо (конструкция полупроводникового лазера); LED, light-emitting diode – светодиод; DFB, distributed feedback – распределённая обратная связь

**Таблица П1.3. Характеристики STM-4**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Характеристики | Единица | Значение |
| Цифровой сигнал, скорость передачи, линейное кодирование | кбит/с | STM-4,622 080,скремблированный NRZ |
| Прикладной код |  | I-4 | S-4.1 | S-4.2 |
| Рабочий диапазон волн | нм | 1261-1360 | 1293-1334/ 1274-1356 | 1430-1580 |
| **Передатчик в опорной точке S**Тип источникаСпектральные характеристики:– максимальное СКЗ ширины (Δλ)– максимальная ширина на уровне −20 дБ– минимальный коэффициент подавления боковой модыСредняя вводимая мощность:– максимальная– минимальнаяМиним. коэффициент гашения | нмнмдБдБмдБмдБ | FP LED14,5 35---8-158,2 | FP4/2,5---8-158,2 | DFB-130-8-158,2 |
| **Оптический тракт между S и R**Диапазон ослабленияМаксим. дисперсияМинимальные оптические возвратные потери на кабельном участке в S, включая любые соединители Максимальная дискретная отража-тельная способность между S и R | дБпс/нмдБдБ | 0-713 14Н/ОН/О | 0-1246/74Н/ОН/О | 0-12Н/О24-27 |
| **Приемник в опорной точке R**Минимальная чувствительностьМинимальная перегрузкаМаксимальный штраф оптического трактаМаксимальная отражательная способность, измеренная в R | дБмдБмдБдБ | -23-81Н/О | -28-81Н/О | -28-81-27 |

**Таблица П1.4. Характеристики STM-4**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Характеристики | Единица | Значение |
| Цифровой сигнал, скорость передачи, линейное кодирование | кбит/с | STM-4,622 080,скремблированный NRZ |
| Прикладной код |  | L-4.1 | L-4.2 | L-4.3 |
| Рабочий диапазон волн | нм | 1300-1325/ 1296-1330 | 1280-1335 | 1480-1580 | 1480-1580 |
| **Передатчик в опорной точке S**Тип источникаСпектральные характеристики:– максимальное СКЗ ширины (Δλ)– максимальная ширина на уровне −20 дБ– минимальный коэффициент подавления боковой модыСредняя вводимая мощность:– максимальная– минимальнаяМиним. коэффициент гашения | нмнмдБдБмдБмдБ | FP DFB2,0/1,7 -- 1- 30+2-310 | DFB-<130+2-310 | DFB-130+2-310 |
| **Оптический тракт между S и R**Диапазон ослабленияМаксим. дисперсияМинимальные оптические возвратные потери на кабельном участке в S, включая любые соединители Максимальная дискретная отражательная способность между S и R | дБпс/нмдБдБ | 10-2492/109 Н/О20-25 | 10-24160024-25 | 10-24Н/О20-25 |
| **Приемник в опорной точке R**Минимальная чувствительностьМинимальная перегрузкаМаксимальный штраф оптического трактаМаксимальная отражательная способность, измеренная в R | дБмдБмдБдБ | -28-81-14 | -28-81-27 | -28-81-14 |

**Таблица П1.5. Характеристики STM-4**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Характеристики | Единица | Значение |
| Цифровой сигнал, скорость передачи, линейное кодирование | кбит/с | STM-4,622 080,скремблированный NRZ |
| Прикладной код |  | V-4.1 | V-4.2 | V-4.3 | U-4.2 | U-4.3 |
| Рабочий диапазон волн | нм | 1290-1330 | 1530-1565 | 1530-1565 | 1530-1565 | 1530-1565 |
| **Передатчик в опорной точке MPI-S**Тип источникаСпектральные характеристики:– параметр линейной частотной модуляции– максимальная ширина на уровне −20 дБ– минимальный коэффициент подавления боковой моды- максимальная спектральная плотность мощностиСредняя вводимая мощность:– максимальная– минимальнаяМиним. коэффициент гашения | РаднмдБмВт/ 10МГцдБмдБмдБ | ОМЛН/ОН/ОН/ОН/О4010 | ОМЛН/ОН/ОН/ОН/О4010 | ОМЛН/ОН/ОН/ОН/О4010 | ОМЛН/ОН/ОН/ОН/О151210 | ОМЛН/ОН/ОН/ОН/О151210 |
| **Оптический тракт между MPI-S и MPI-R**Диапазон ослабленияМаксимальная дисперсияМинимальная дисперсияМаксимальная ДГВЗМинимальные оптические возвратные потери на кабельном участке в MPI-S, включая любые соединители Максимальная дискретная отражательная способность между MPI-S и MPI-R | дБпс/нмпс/нмпсдБдБ | 22-33200Н/О48024-27 | 22-332400Н/О48024-27 | 22-33400Н/О48024-27 | 33-443200Н/О48024-27 | 33-44530Н/О48024-27 |
| **Приемник в опорной точке MPI-R**Минимальная чувствительность (коэффициент ошибок 10-12)Минимальная перегрузкаМаксимальный штраф оптического трактаМаксимальная отражательная способность, измеренная в MPI-R | дБмдБмдБдБ | -34-181-27 | -34-181-27 | -34-181-27 | -34-182-27 | -33-181-27 |

Сокращения: ОМЛ, одномодовый лазер; Н/О - не определено (смотреть характеристики от производителя); ДГВЗ, дифференциальное групповое время задержки. В интерфейсах U-4.2 и U-4.3 может применяться оптический предусилитель.

**Таблица П1.6. Характеристики STM-16**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Характеристики | Единица | Значение |
| Цифровой сигнал, скорость передачи, линейное кодирование | кбит/с | STM-16,2 488 320,скремблированный NRZ |
| Прикладной код |  | I-16 | S-16.1 | S-16.2 | L-16.1 | L-16.2/ L-16.3 |
| Рабочий диапазон волн | нм |  |  |  |  |  |
| **Передатчик в опорной точке S**Тип источникаСпектральные характеристики:– максимальное СКЗ ширины (Δλ)– максимальная ширина на уровне −20 дБ– минимальный коэффициент подавления боковой модыСредняя вводимая мощность:– максимальная– минимальнаяМиним. коэффициент гашения | нмнмдБдБмдБмдБ | FP4---3-108,2 | DFB-1300-58,2 | DFB-<1300-28,2 | DFB-130+3-28,2 | DFB-<130+3-28,2 |
| **Оптический тракт между S и R**Диапазон ослабленияМаксимальная дисперсия на верхнем пределе длины волныМаксимальная дисперсия на нижнем пределе длины волныМинимальные оптические возвратные потери на кабельном участке в S, включая любые соединители Максимальная дискретная отражательная способность между S и R | дБпс/нмпс/нмдБдБ | 0-7121224-27 | 0-12Н/ОН/О24-27 | 0-1280042024-27 | 12-24Н/ОН/О24-27 | 12-241600/ 4501200/ 45024-27 |
| **Приемник в опорной точке R**Минимальная чувствительностьМинимальная перегрузкаМаксимальный штраф оптического трактаМаксимальная отражательная способность, измеренная в R | дБмдБмдБдБ | -18-31-27 | -1801-27 | -1801-27 | -27-91-27 | -28/-27-92/1-27 |

**Таблица П1.7. Характеристики STM-16**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Характеристики | Единица | Значение |
| Цифровой сигнал, скорость передачи, линейное кодирование | кбит/с | STM-16,2 488 320,скремблированный NRZ |
| Прикладной код |  | V-16.2 | V-16.3 | U-16.2/ P1U1-1A2 | U-16.3/ P1U1-1A3 |
| Рабочий диапазон волн | нм | 1530-1565 | 1530-1565 | 1530-1565 | 1530-1565 |
| **Передатчик в опорной точке MPI-S**Тип источникаСпектральные характеристики:– параметр линейной частотной модуляции– максимальная ширина на уровне −20 дБ– минимальный коэффициент подавления боковой моды- максимальная спектральная плотность мощностиСредняя вводимая мощность:– максимальная– минимальнаяМиним. коэффициент гашения | раднмдБмВт/ 10МГцдБмдБмдБ | ОМЛН/ОН/ОН/ОН/О+13+108,2 | ОМЛН/ОН/ОН/ОН/О+13+108,2 | ОМЛН/ОН/О30Н/О+15+128,2 | ОМЛН/ОН/О30Н/О+15+128,2 |
| **Оптический тракт между MPI-S и MPI-R**Диапазон ослабленияМаксимальная дисперсияМинимальная дисперсияМаксимальная ДГВЗМинимальные оптические возвратные потери на кабельном участке в MPI-S, включая любые соединители Максимальная дискретная отражательная способность между MPI-S и MPI-R | дБпс/нмпс/нмпсдБдБ | 22-332400Н/О12024-27 | 22-33400Н/О12024-27 | 33-443200Н/О12024-27 | 33-44530Н/О12024-27 |
| **Приемник в опорной точке MPI-R**Минимальная чувствительность (коэффициент ошибок 10-12)Минимальная перегрузкаМаксимальный штраф оптического трактаМаксимальная отражательная способность, измеренная в MPI-R | дБмдБмдБдБ | -25-91-27 | -24-91-27 | -34-182-27 | -33-181-27 |

Примечание: характеристики ряда одноволновых (одноканальных) оптических интерфейсов (STM-16, 64 и 256) определены в рекомендации G.959.1.

**Таблица П1.8. Характеристики STM-64**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Характеристики | Единица | Значение |
| Цифровой сигнал, скорость передачи, линейное кодирование | кбит/с | STM-64,9 953 280,скремблированный NRZ |
| Прикладной код |  | L-64.2а | L-64.2b | L-64.2c | L-64.3 |
| Рабочий диапазон волн | нм | 1530-1565 | 1530-1565 | 1530-1565 | 1530-1565 |
| **Передатчик в опорной точке MPI-S**Тип источникаСпектральные характеристики:– параметр линейной частотной модуляции– максимальная ширина на уровне −20 дБ– минимальный коэффициент подавления боковой моды- максимальная спектральная плотность мощностиСредняя вводимая мощность:– максимальная– минимальнаяМиним. коэффициент гашения | раднмдБмВт/ 10МГцдБмдБмдБ | ОМЛН/ОН/ОН/ОН/О+2-210 | ОМЛН/ОН/ОН/ОН/О+13+108,2 | ОМЛН/ОН/О30Н/О+2-210 | ОМЛН/ОН/О30Н/О+13+108,2 |
| **Оптический тракт между MPI-S и MPI-R**Диапазон ослабленияМаксимальная дисперсияМинимальная дисперсияМаксимальная ДГВЗМинимальные оптические возвратные потери на кабельном участке в MPI-S, включая любые соединители Максимальная дискретная отражательная способность между MPI-S и MPI-R | дБпс/нмпс/нмпсдБдБ | 11-221600Н/О3024-27 | 16-221600Н/О3024-27 | 11-221600Н/О3024-27 | 16-22260Н/О3024-27 |
| **Приемник в опорной точке MPI-R**Минимальная чувствительность (коэффициент ошибок 10-12)Минимальная перегрузкаМаксимальный штраф оптического трактаМаксимальная отражательная способность, измеренная в MPI-R | дБмдБмдБдБ | -26-92-27 | -14-32-27 | -26-92-27 | -13-31-27 |

Примечание: характеристики ряда одноканальных оптических интерфейсов I-64.1r, I-64.1, I-64.2r, I-64.2, I-64.3, I-64.5, S-64.1, S-64.2a, S-64.2b, S-64.3a, S-64.3b, S-64.5a, S-64.5b определены в рекомендации G.959.1.

**Таблица П1.9. Характеристики STM-64**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Характеристики | Единица | Значение |
| Цифровой сигнал, скорость передачи, линейное кодирование | кбит/с | STM-64,9 953 280,скремблированный NRZ |
| Прикладной код |  | V-64.2a | V-64.2b | V-64.3 |
| Рабочий диапазон волн | нм | 1530-1565 | 1530-1565 | 1530-1565 |
| **Передатчик в опорной точке MPI-S**Тип источникаСпектральные характеристики:– параметр линейной частотной модуляции– максимальная ширина на уровне −20 дБ– минимальный коэффициент подавления боковой моды- максимальная спектральная плотность мощностиСредняя вводимая мощность:– максимальная– минимальнаяМиним. коэффициент гашения | раднмдБмВт/ 10МГцдБмдБмдБ | ОМЛН/ОН/ОН/ОН/О+13+1010 | ОМЛН/ОН/ОН/ОН/О+15+128,2 | ОМЛН/ОН/О30Н/О+13+108,2 |
| **Оптический тракт между MPI-S и MPI-R**Диапазон ослабленияМаксимальная дисперсияМинимальная дисперсияМаксимальная ДГВЗМинимальные оптические возвратные потери на кабельном участке в MPI-S, включая любые соединители Максимальная дискретная отражательная способность между MPI-S и MPI-R | дБпс/нмпс/нмпсдБдБ | 22-332400Н/О3024-27 | 22-332400Н/О3024-27 | 22-33400Н/О3024-27 |
| **Приемник в опорной точке MPI-R**Минимальная чувствительность (коэффициент ошибок 10-12)Минимальная перегрузкаМаксимальный штраф оптического трактаМаксимальная отражательная способность, измеренная в MPI-R | дБмдБмдБдБ | -25-92-27 | -23-72-27 | -24-91-27 |

Примечание: характеристики ряда одноканальных оптических интерфейсов STM-64 (I-64.1r, I-64.1, I-64.2r, I-64.2, I-64.3, I-64.5, S-64.1, S-64.2a, S-64.2b, S-64.3a, S-64.3b, S-64.5a, S-64.5b) и STM-256 определены в рекомендации G.959.1.