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

,

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.

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 источника  Спектральные характеристики:  – максимальное СКЗ ширины (Δλ)  – максимальная ширина на уровне −20 дБ  – минимальный коэффициент подавления боковой моды  Средняя вводимая мощность:  – максимальная  – минимальная  Миним. коэффициент гашения (ЕХ) | нм  нм  дБ  дБм  дБм  дБ | FP LED  40 80  - -   * -   -8  -15  8,2 | FP  7,7  -  -  -8  -15  8,2 | FP DFB  2,5 -   * 1 * 30   -8  -15  8,2 | |
| **Оптический тракт между S и R**  Диапазон ослабления  Максим. дисперсия  Минимальные оптические возвратные потери на кабельном участке в S, включая любые соединители  Максимальная дискретная отража-тельная способность между S и R | дБ  пс/нм  дБ  дБ | 0-7  18 25  Н/О  Н/О | 0-12  96  Н/О  Н/О | 0-12  296 Н/О  Н/О  Н/О | |
| **Приемник в опорной точке R**  Минимальная чувствительность  Минимальная перегрузка  Максимальный штраф оптического тракта  Максимальная отражательная способность, измеренная в R | дБм  дБм  дБ  дБ | -23  -8  1  Н/О | -28  -8  1  Н/О | -28  -8  1  Н/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 источника  Спектральные характеристики:  – максимальное СКЗ ширины (Δλ)  – максимальная ширина на уровне −20 дБ  – минимальный коэффициент подавления боковой моды  Средняя вводимая мощность:  – максимальная  – минимальная  Миним. коэффициент гашения (ЕХ) | нм  нм  дБ  дБм  дБм  дБ | FP DFB   1. -   - 1  - 30  0  -5  10 | DFB  -  1  30  0  -5  10 | FP DFB  3/2,5 -   * 1 * 30   0  -5  10 | |
| **Оптический тракт между S и R**  Диапазон ослабления  Максим. дисперсия  Минимальные оптические возвратные потери на кабельном участке в S, включая любые соединители  Максимальная дискретная отража-тельная способность между S и R | дБ  пс/нм  дБ  дБ | 10-28  246 Н/О  Н/О  Н/О | 10-28  Н/О  20  -25 | 10-28  246/296 Н/О  Н/О  Н/О | |
| **Приемник в опорной точке R**  Минимальная чувствительность  Минимальная перегрузка  Максимальный штраф оптического тракта  Максимальная отражательная способность, измеренная в R | дБм  дБм  дБ  дБ | -34  -10  1  Н/О | -34  -10  1  -25 | -34  -10  1  Н/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 источника  Спектральные характеристики:  – максимальное СКЗ ширины (Δλ)  – максимальная ширина на уровне −20 дБ  – минимальный коэффициент подавления боковой моды  Средняя вводимая мощность:  – максимальная  – минимальная  Миним. коэффициент гашения | нм  нм  дБ  дБм  дБм  дБ | FP LED  14,5 35  -  -  -8  -15  8,2 | FP  4/2,5  -  -  -8  -15  8,2 | DFB  -  1  30  -8  -15  8,2 |
| **Оптический тракт между S и R**  Диапазон ослабления  Максим. дисперсия  Минимальные оптические возвратные потери на кабельном участке в S, включая любые соединители  Максимальная дискретная отража-тельная способность между S и R | дБ  пс/нм  дБ  дБ | 0-7  13 14  Н/О  Н/О | 0-12  46/74  Н/О  Н/О | 0-12  Н/О  24  -27 |
| **Приемник в опорной точке R**  Минимальная чувствительность  Минимальная перегрузка  Максимальный штраф оптического тракта  Максимальная отражательная способность, измеренная в R | дБм  дБм  дБ  дБ | -23  -8  1  Н/О | -28  -8  1  Н/О | -28  -8  1  -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 источника  Спектральные характеристики:  – максимальное СКЗ ширины (Δλ)  – максимальная ширина на уровне −20 дБ  – минимальный коэффициент подавления боковой моды  Средняя вводимая мощность:  – максимальная  – минимальная  Миним. коэффициент гашения | нм  нм  дБ  дБм  дБм  дБ | FP DFB  2,0/1,7 -  - 1  - 30  +2  -3  10 | | DFB  -  <1  30  +2  -3  10 | DFB  -  1  30  +2  -3  10 |
| **Оптический тракт между S и R**  Диапазон ослабления  Максим. дисперсия  Минимальные оптические возвратные потери на кабельном участке в S, включая любые соединители  Максимальная дискретная отражательная способность между S и R | дБ  пс/нм  дБ  дБ | 10-24  92/109 Н/О  20  -25 | | 10-24  1600  24  -25 | 10-24  Н/О  20  -25 |
| **Приемник в опорной точке R**  Минимальная чувствительность  Минимальная перегрузка  Максимальный штраф оптического тракта  Максимальная отражательная способность, измеренная в R | дБм  дБм  дБ  дБ | -28  -8  1  -14 | | -28  -8  1  -27 | -28  -8  1  -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 источника  Спектральные характеристики:  – параметр линейной частотной модуляции  – максимальная ширина на уровне −20 дБ  – минимальный коэффициент подавления боковой моды  - максимальная спектральная плотность мощности  Средняя вводимая мощность:  – максимальная  – минимальная  Миним. коэффициент гашения | Рад  нм  дБ  мВт/ 10МГц  дБм  дБм  дБ | ОМЛ  Н/О  Н/О  Н/О  Н/О  4  0  10 | ОМЛ  Н/О  Н/О  Н/О  Н/О  4  0  10 | ОМЛ  Н/О  Н/О  Н/О  Н/О  4  0  10 | ОМЛ  Н/О  Н/О  Н/О  Н/О  15  12  10 | ОМЛ  Н/О  Н/О  Н/О  Н/О  15  12  10 |
| **Оптический тракт между MPI-S и MPI-R**  Диапазон ослабления  Максимальная дисперсия  Минимальная дисперсия  Максимальная ДГВЗ  Минимальные оптические возвратные потери на кабельном участке в MPI-S, включая любые соединители  Максимальная дискретная отражательная способность между MPI-S и MPI-R | дБ  пс/нм  пс/нм  пс  дБ  дБ | 22-33  200  Н/О  480  24  -27 | 22-33  2400  Н/О  480  24  -27 | 22-33  400  Н/О  480  24  -27 | 33-44  3200  Н/О  480  24  -27 | 33-44  530  Н/О  480  24  -27 |
| **Приемник в опорной точке MPI-R**  Минимальная чувствительность (коэффициент ошибок 10-12)  Минимальная перегрузка  Максимальный штраф оптического тракта  Максимальная отражательная способность, измеренная в MPI-R | дБм  дБм  дБ  дБ | -34  -18  1  -27 | -34  -18  1  -27 | -34  -18  1  -27 | -34  -18  2  -27 | -33  -18  1  -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 источника  Спектральные характеристики:  – максимальное СКЗ ширины (Δλ)  – максимальная ширина на уровне −20 дБ  – минимальный коэффициент подавления боковой моды  Средняя вводимая мощность:  – максимальная  – минимальная  Миним. коэффициент гашения | нм  нм  дБ  дБм  дБм  дБ | FP  4  -  -  -3  -10  8,2 | DFB  -  1  30  0  -5  8,2 | DFB  -  <1  30  0  -2  8,2 | DFB  -  1  30  +3  -2  8,2 | DFB  -  <1  30  +3  -2  8,2 |
| **Оптический тракт между S и R**  Диапазон ослабления  Максимальная дисперсия на верхнем пределе длины волны  Максимальная дисперсия на нижнем пределе длины волны  Минимальные оптические возвратные потери на кабельном участке в S, включая любые соединители  Максимальная дискретная отражательная способность между S и R | дБ  пс/нм  пс/нм  дБ  дБ | 0-7  12  12  24  -27 | 0-12  Н/О  Н/О  24  -27 | 0-12  800  420  24  -27 | 12-24  Н/О  Н/О  24  -27 | 12-24  1600/ 450  1200/ 450  24  -27 |
| **Приемник в опорной точке R**  Минимальная чувствительность  Минимальная перегрузка  Максимальный штраф оптического тракта  Максимальная отражательная способность, измеренная в R | дБм  дБм  дБ  дБ | -18  -3  1  -27 | -18  0  1  -27 | -18  0  1  -27 | -27  -9  1  -27 | -28/-27  -9  2/1  -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 источника  Спектральные характеристики:  – параметр линейной частотной модуляции  – максимальная ширина на уровне −20 дБ  – минимальный коэффициент подавления боковой моды  - максимальная спектральная плотность мощности  Средняя вводимая мощность:  – максимальная  – минимальная  Миним. коэффициент гашения | рад  нм  дБ  мВт/ 10МГц  дБм  дБм  дБ | ОМЛ  Н/О  Н/О  Н/О  Н/О  +13  +10  8,2 | ОМЛ  Н/О  Н/О  Н/О  Н/О  +13  +10  8,2 | ОМЛ  Н/О  Н/О  30  Н/О  +15  +12  8,2 | ОМЛ  Н/О  Н/О  30  Н/О  +15  +12  8,2 |
| **Оптический тракт между MPI-S и MPI-R**  Диапазон ослабления  Максимальная дисперсия  Минимальная дисперсия  Максимальная ДГВЗ  Минимальные оптические возвратные потери на кабельном участке в MPI-S, включая любые соединители  Максимальная дискретная отражательная способность между MPI-S и MPI-R | дБ  пс/нм  пс/нм  пс  дБ  дБ | 22-33  2400  Н/О  120  24  -27 | 22-33  400  Н/О  120  24  -27 | 33-44  3200  Н/О  120  24  -27 | 33-44  530  Н/О  120  24  -27 |
| **Приемник в опорной точке MPI-R**  Минимальная чувствительность (коэффициент ошибок 10-12)  Минимальная перегрузка  Максимальный штраф оптического тракта  Максимальная отражательная способность, измеренная в MPI-R | дБм  дБм  дБ  дБ | -25  -9  1  -27 | -24  -9  1  -27 | -34  -18  2  -27 | -33  -18  1  -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 источника  Спектральные характеристики:  – параметр линейной частотной модуляции  – максимальная ширина на уровне −20 дБ  – минимальный коэффициент подавления боковой моды  - максимальная спектральная плотность мощности  Средняя вводимая мощность:  – максимальная  – минимальная  Миним. коэффициент гашения | рад  нм  дБ  мВт/ 10МГц  дБм  дБм  дБ | ОМЛ  Н/О  Н/О  Н/О  Н/О  +2  -2  10 | ОМЛ  Н/О  Н/О  Н/О  Н/О  +13  +10  8,2 | ОМЛ  Н/О  Н/О  30  Н/О  +2  -2  10 | ОМЛ  Н/О  Н/О  30  Н/О  +13  +10  8,2 |
| **Оптический тракт между MPI-S и MPI-R**  Диапазон ослабления  Максимальная дисперсия  Минимальная дисперсия  Максимальная ДГВЗ  Минимальные оптические возвратные потери на кабельном участке в MPI-S, включая любые соединители  Максимальная дискретная отражательная способность между MPI-S и MPI-R | дБ  пс/нм  пс/нм  пс  дБ  дБ | 11-22  1600  Н/О  30  24  -27 | 16-22  1600  Н/О  30  24  -27 | 11-22  1600  Н/О  30  24  -27 | 16-22  260  Н/О  30  24  -27 |
| **Приемник в опорной точке MPI-R**  Минимальная чувствительность (коэффициент ошибок 10-12)  Минимальная перегрузка  Максимальный штраф оптического тракта  Максимальная отражательная способность, измеренная в MPI-R | дБм  дБм  дБ  дБ | -26  -9  2  -27 | -14  -3  2  -27 | -26  -9  2  -27 | -13  -3  1  -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 источника  Спектральные характеристики:  – параметр линейной частотной модуляции  – максимальная ширина на уровне −20 дБ  – минимальный коэффициент подавления боковой моды  - максимальная спектральная плотность мощности  Средняя вводимая мощность:  – максимальная  – минимальная  Миним. коэффициент гашения | рад  нм  дБ  мВт/ 10МГц  дБм  дБм  дБ | ОМЛ  Н/О  Н/О  Н/О  Н/О  +13  +10  10 | ОМЛ  Н/О  Н/О  Н/О  Н/О  +15  +12  8,2 | ОМЛ  Н/О  Н/О  30  Н/О  +13  +10  8,2 |
| **Оптический тракт между MPI-S и MPI-R**  Диапазон ослабления  Максимальная дисперсия  Минимальная дисперсия  Максимальная ДГВЗ  Минимальные оптические возвратные потери на кабельном участке в MPI-S, включая любые соединители  Максимальная дискретная отражательная способность между MPI-S и MPI-R | дБ  пс/нм  пс/нм  пс  дБ  дБ | 22-33  2400  Н/О  30  24  -27 | 22-33  2400  Н/О  30  24  -27 | 22-33  400  Н/О  30  24  -27 |
| **Приемник в опорной точке MPI-R**  Минимальная чувствительность (коэффициент ошибок 10-12)  Минимальная перегрузка  Максимальный штраф оптического тракта  Максимальная отражательная способность, измеренная в MPI-R | дБм  дБм  дБ  дБ | -25  -9  2  -27 | -23  -7  2  -27 | -24  -9  1  -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.