

Практическое занятие 5

Оценка параметров передачи

BER (Bit Error Rate – Отношение Бит/Ошибка) – это подсчет неправильно полученных битов информации. Если точнее – это количество ошибочно принятых битов разделенное на общее количество переданных битов. Оно может быть выражено и в дБ, но обычно выражается в формате 10^{-x} . Например, 10^{-9} означает что один ошибочный бит был принят в при получении потока информации объемом в 1 миллиард битов.

NPR (Noise Power Ratio – Отношение Шум/Мощность) – это технология измерения соотношения Сигнал/Шум в аналоговых устройствах, работающих в режимах QAM или QPSK. Поскольку эти режимы имеют частотный спектр в виде Гауссова шума, NPR-тест производится путем подмены сигнала эквивалентной полосой белого шума. Ближе к середине полосы эта шумовая «зарубка» (обычно 4 МГц) опускается. Когда полоса шума пускается через устройство, глубина «зарубки» определяется несколькими факторами: тепловым шумом, «шумоподобными продуктами» сигнала и т. п..

FEC (Forward Error Correction – Упреждающая Коррекция Ошибок) – это программная технология для определения и устранения ошибок в цифровой передаче данных. Это сложная и затратная (по мощности процессора), однако необходимая задача – упреждать потерю битов информации – позволяет улучшить качество картинки.

MER (Modulation Error Ratio – Отношение Модуляция/Ошибка) – это величина отклонения полученной модуляции (по амплитуде и/или фазе) от переданной

E_b/N_0 – отношение энергии сигнала на один бит к мощности шума в полосе 1 Гц.

Задачи, решаемые при развертывании сети телевизионного вещания

При развертывании сети цифрового телевизионного вещания необходимо решить комплекс задач. Эти задачи включают в себя обеспечение надежности каналов передачи, их энергетическую и информационную эффективность, достаточную помехоустойчивость и помехозащищенность при приемлемом значении пропускной способности и др.

Указанные проблемы в значительной степени зависят от используемых в канале связи видов модуляции и помехоустойчивого кодирования. Важно рассмотреть и особенности передачи сигналов с многопозиционной квадратурной амплитудной модуляцией (QAM), довольно часто применяемых в каналах передачи телевизионного контента, позволяющей реализовать довольно высокий уровень пропускной способности. Это реализуется за счет снижения помехоустойчивости и помехозащищенности.

Пик фактор. Влияние пик фактора на качество передачи. Пути снижения пик фактора. Регламентация при передаче сигнала DVB-T.

Відомо низка технічних рішень, що дозволяють суттєво понизити пікфактор, як правило, за рахунок частотної модуляції несучої (патент №2110138 – Російська федерація, в якому частотний демодулятор приймача, що включає послідовно з'єднані смуговий фільтр проміжної частоти та обмежувач, послідовно з'єднані перемножувач і фільтр нижньої частоти, а також лінію затримки, вхід смугового фільтру проміжної частоти є входом частотного демодулятора, виходи обмежувача і лінії затримки з'єднані із першим та другим входами перемножувача, вихід фільтру нижньої частоти є виходом частотного демодулятора, відрізняється тим, що лінія затримки виконана в вигляді фільтра Гауса не нижче п'ятого порядку, вхід якого підключений до виходу обмежувача, причому смуговий фільтр проміжної частоти і фільтр Гауса настроєні на проміжну частоту, близьку до смуги частот корисного сигналу.

Таким чином дане технічне рішення дозволяє розмежувати вимоги до лінійності фазової та нерівномірності амплітудно-частотної характеристик і простими засобами забезпечити високу якість приймання на високій проміжній частоті, а на низькій проміжній частоті сумістити високу якість прийому з низьким споживанням енергії.

Відомий японський патент та українська заявка на патент, що передбачають зниження пік фактору та підвищення енергетичної ефективності каналу із COFDM за рахунок використання частотної модуляції поверху модуляції OFDM. Ці патент та заявка по перше, передбачають дещо відмінне технічне рішення, що є в патенті авторів даної роботи, а по друге пріоритет, що визначається строком отримання патенту, у технічного рішення авторів вище.

Так, в патенті «Система передачі багатопрограмного транспортного потоку по каналах аналогової радіорелейної лінії Мідіс-Чм» запатентовано наступне технічне рішення:

Найменування запатентованого технічного рішення

Суть даного технічного рішення заключається в тому, що система передачі аналогової радіорелейної лінії з частотним рознесенням каналів (ЧРК) з використанням частотної модуляції (ЧМ), яка містить передавальний тракт у складі частотного модулятора, підсилювача проміжної частоти, смугового фільтра, перетворювача проміжної частоти в над високу частоту (НВЧ) і приймальний тракт у складі малошумлячого підсилювача, смугового фільтра, конвертора, що перетворює НВЧ у проміжну частоту, демодулятора ЧМ сигналу, що відрізняється тим, що для передачі трафіку цифрового телебачення до складу передавача вводяться кодери стандарту MPEG-2, мультиплексори транспортного потоку, амплітудно-фазовий модулятор стандарту DVB-S, що виконує модуляцію 32 QAM чи 64 QAM, з сигналом на виході в основній смузі чи в смузі з центральною частотою біля 4 МГц, а до

складу приймача – переносник частоти із основної смуги в діапазон стандарту DVB-C (70МГц) і приймач-тюнер стандарту DVB-C.

Зокрема таке рішення (згідно патенту) дозволяє використовувати існуючі аналогові радіорелейні станції для передачі цифрового трафіку.

В цьому випадку досліджуваний формувач повинен створити послідовність сигнальних точок засобами модуляції несучої цифровим потоком, який повинен бути переданий по каналу зв'язку.

Для досягнення максимального значення спектральної ефективності, визначається відношенням бітової швидкості в каналі зв'язку до смуги каналу зв'язку необхідно використовувати багатопозиційну модуляцію.

Для досягнення максимальної завадостійкості варто використовувати завадостійке кодування. Ефективним, як з позиції спектральної ефективності, так і із вартості, є використання технології DVB-C, в якій використовується модуляція від QPSK до 256 КАМ та каскадне кодування (згорткове та Ріда Соломона).

Послідовністю символів на виході передавача стандарту DVB-C несуча модулюється методом частотної модуляції засобами радіорелейної станції.

На приймальній стороні виконуються вказані процедури в зворотному порядку.

Вплив пік фактору на якість передачі.

Наявність пік фактору в спектрі сигналу вимагає використовувати тракти, верхня границя динамічного діапазону яких перевищує піковий рівень в спектрі сигналу і дальність передачі хоча визначається по середній потужності та на цій дальності повинні бути відсутні спотворення також складової частини із піковою потужністю.

Наприклад, при передачі телевізійного контенту в аналоговому форматі до складу якого входять стробіруючі імпульси, потужність в максимумі яких перевищує середню на величину біля 5дБ. Ці імпульси не повинні бути спотворені оскільки вони є відліком моменту переходу ТВ приймача на нову строчку. Тобто спотворення їх приведе до перерви мовлення.

Тому при передачі сигналу із фіксованим появленням в спектрі сигналів із піковим значенням потужності часто використовується частотна модуляція (ЧМ), в процесі якої зміні рівня сигналу на вході модулятора відповідає зміна частоти сигналу на виході модулятора. Тобто сигнал, що передається, згладжується і пік фактор такого сигналу знижується до рівня синусоїди (тобто стає рівним $\sqrt{2}$).

Основні параметри частотної модуляції

При частотній модуляції модулюючий сигнал приводить до зміни частоти на виході модулятора відносно не модульованої несівної. Зміна частоти пропорційна амплітуді модулюючого сигналу.

Частотно модульований сигнал описується наступним виразом:

$$g(t) = A \sin [2\pi f_n t + 2\pi k \int_0^t V_m \cos (2\pi f_m t) dt] = A \sin [2\pi f_n t + k V_m / f_m \sin (2\pi f_m t)]$$

де множник kV_m виражається в Гц і представляє собою максимальне відхилення частоти, викликане модулюючим сигналом і називається

девіацією частоти ΔF . Коефіцієнт kV_M/f_M називається коефіцієнтом модуляції M і представляє собою дійсне безрозмірне число

$$M = kV_M/f_M = \text{девіація частоти} / f_M = \Delta F / f_M$$

Пікове значення коефіцієнту модуляції досягається коли девіація частоти і частота модулюючого сигналу максимального значення називається коефіцієнтом відхилення і є одним із основних параметрів

Розрахунок смуги частот, що зайнята ЧМ сигналом:

Визначення ефективної девіації частоти:

$$\Delta f_{\text{эфф}} = \Delta f_k \sqrt{\frac{P_{\text{ср}}, \text{ мВт}}{1 \text{ мВт}}}, \text{ кГц}$$

де Δf_k - девіація частоти на один канал,

- визначення пікової девіації частоти при $N > 240$

$$\Delta f_{\text{пик}} = 3.33 \Delta f_{\text{эфф}}, \quad (1)$$

при $N = 60$

$$\Delta f_{\text{пик}} = 4.1 \Delta f_{\text{эфф}}, \quad (2)$$

при $N = 120$

$$\Delta f_{\text{пик}} = 3.7 \Delta f_{\text{эфф}}. \quad (3)$$

- розрахунок індексу частотної модуляції

$$m_f = \frac{f_{\text{пик}}}{F_2} \quad (4)$$

- визначення смуги частот, займану частотно-модульованим сигналом

$$B = 2 F_2 (1 + m_f + \sqrt{m_f}), \quad (5)$$

Необхідну смугу пропускання ВЧ тракту РРЛ можна прийняти, чисельно рівною подвоєній смузі

Дія суми гармонічного сигналу і вузько смугового шуму гауса на частотний детектор

Частотний детектор складається з амплітудного обмежувача перетворювача ЧМ в АМ і амплітудного детектора. Сигнал на вході амплітудного обмежувача являє собою ЧМ коливання

$$s(t) = S_m \cos \left[\omega_0 t + \frac{\omega_D}{\Omega} \sin \Omega t \right],$$

а перешкода – процес гауса з рівномірним спектром $W_x(\omega) = W_0$:

$$x(t) = X(t) \cos[\omega_0 t + \theta(t)]$$

За відсутності модуляції у вхідному сигналі на вході обмежувача діє сумарний сигнал

$$s(t) + x(t) = S_m \cos \omega_0 t + X(t) \cos[\omega_0 t + \theta(t)] = U(t) \cos[\omega_0 t + \xi(t)].$$

На виході амплітудного обмежувача з $U_{\text{нор}}$ має місце сигнал

$$u_{\text{вих, АО}}(t) = U_{\text{нор}} \cos[\omega_0 t + \xi(t)].$$

Напряга на виході частотного детектора, пропорційна похідній фази $\xi(t)$, у відсутність корисної модуляції є перешкодою, тобто

$$x_{\text{вих}}(t) = K_{\text{ЧД}} \frac{d\xi(t)}{dt}.$$

Таким чином в цьому випадку інтенсивність і структура перешкоди на виході детектора повністю визначаються статистичними характеристиками похідної фази $\xi(t)$.

У реальних умовах прийому ЧМ коливань при значному перевищенні потужності сигналу над шумом вираження для випадкової фази може бути представлено в спрощеному вигляді:

$$\xi(t) \approx \arctg \left[\frac{X(t) \sin \theta(t)}{S_m} \right] \approx \frac{X(t)}{S_m} \sin \theta(t).$$

Статистичні характеристики цієї функції збігаються з характеристиками вузькосмугового процесу. Спектральна щільність його рівна

$$W_{\xi}(\Omega) = \frac{2W_x(\omega_0 + \Omega)}{S_m^2}.$$

При диференціюванні процесу гауса розподіл залишається нормальним. Спектральна щільність вихідного сигналу визначиться множенням

$$W_{\xi} \quad \text{на} \quad \Omega^2$$

$$W_{\text{вих}} = K_{\text{ЧД}}^2 \frac{2\Omega^2}{S_m^2} W_0.$$

Дисперсію перешкоди визначимо за допомогою зворотного перетворення Фур'є:

$$\sigma_{\text{вих}}^2 = \frac{K_{\text{ЧД}}^2}{\pi S_m^2} \int_{-\Omega_{\text{max}}}^{\Omega_{\text{max}}} \Omega^2 W_0 d\Omega = \frac{K_{\text{ЧД}}^2}{\pi S_m^2} \frac{2\Omega_{\text{max}}^3}{3}.$$

При тональній модуляції сигнал на виході детектора буде рівний

$$U_{\text{вих}} = K_{\text{ЧД}} \omega_D.$$

Відношення сигнал/завада визначиться виразом

$$\left(\frac{C}{P}\right)_{\text{вих}} = \frac{U_{\text{вих}}^2}{2\sigma_{\text{вих}}^2} = \frac{3}{2} \frac{U_{\text{вих}}^2}{W_0 (2F_{\text{max}})} \left(\frac{\omega_D}{\Omega_{\text{max}}}\right)^2 = 3 \left(\frac{\omega_D}{\Omega_{\text{max}}}\right)^2 \left(\frac{C}{P}\right)_{\text{вх}},$$

де $F_{\text{max}} = \Omega_{\text{max}} / 2\pi$ – найвища частота модуляції.

$$\frac{\omega_D}{\Omega_{\text{max}}} = m$$

Оскільки $\frac{\omega_D}{\Omega_{\text{max}}}$ є індекс кутової модуляції, то при $m > 1$ можна отримати суттєвий вииграш у відношенні сигнал/завада в порівнянні із АМ.

Як бачимо вииграш відношенню сигнал/завада супроводжується програшем в частотному ресурсі. Вказані наслідки залежать від значення індексу частотної модуляції.

При наявності багатьох складових частотно рознесених потоків створюється піковий сигнал, поява якого не є стаціонарною, а має випадковий характер.

Сигналом, що має такий характер, є і потік на виході модулятора OFDM який складається із піднесучих інформаційних потоків (до ≈ 8000 піднесучих) в стандарті DVB-T (формат 8K).

Поява в пікових рівнів в такому сигналі буде випадковою, а значення пік фактору складе тисячі.

Спотворення таких пікових сигналів приведе не до загального перериву передачі, а лише до деякого зменшення величини BER, що може в значній мірі бути скомпенсоване вибором відношення С/Ш на вході приймача. Тобто підвищенням рівня сигналу порівняно із випадком одночастотної модуляції.

У стандарті DVB-T рекомендовано реалізувати перевищення на 15дБ для забезпечення BER не більше $10^{-8} \dots 10^{-9}$. Таке перевищення відношення С/Ш розраховане на канал моделі Релея. Випробування в Гаусовім каналі показали прийнятну якість при перевищенні сигналу на ≈ 4 дБ.

Така процедура називається регламентацією пік фактору. Тобто рівень сигналу збільшуємо не в тисячі разів, а крайньому разі в 30 раз при забезпеченні якості послуги згідно вимогам стандарту.