

КОДОЗАЛЕЖНИЙ ДЖИТЕР В ТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖАХ

У даній статті розглядаються основні типи джитерів та особливості кодозалежного джитера в транспортних мережах. В результаті дослідження було виявлено причини виникнення кодозалежного джитера та побудовано структурну схему приймача який корегує кодозалежний джитер в результаті накладення низькочастотного синусоїдального сигналу з перешкоди на сигнал даних.

Ключові слова: типи джитера, кодозалежний джитер, корегування джитера.

O.O. DRUCHIN, A.V. KOVALENKO
Vinnitsa National Technical University, Ukraine

CODE DEPENDENT JITTER IN THE TRANSPORT SYSTEM

Abstract — firstly, it was given the determination of jitter and demonstrated it to the charts. Also, this paper presents the main types of jitter: random, periodic, algorithmic, regular and irregular in transport networks are also considered their causes and their possible short correction. It was also presented a special kind of jitter – code dependent jitter. The study revealed the cause of code dependent jitter and built a block diagram of a receiver which adjusts code dependent jitter resulting from the imposition of sinusoidal signal with low noise on the signal data. That is why I believe that the usefulness of this article is high, because this issue is very relevant in nowadays.

Keywords: types of jitter, code dependent jitter, jitter correction

Вступ

Джитер (jitter) — небажані фазові або частотні випадкові відхилення передаваного сигналу. Вони виникають внаслідок нестабільності задаючого генератора, змін параметрів лінії передачі в часі і різній швидкості поширення частотних складових одного і того ж сигналу. Також можна додати, що він в загальному випадку визначає небажані порушення тимчасової періодичності деяких подій. На системному рівні такі події зазвичай розглядаються як проміжки прибуття пакетів з інформацією у вузол призначення. У даному випадку ці терміни використовуються на фізичному рівні і відображають фазові перешкоди, які приводять до порівняно швидких або повільних коливань фронтів імпульсів в лінії зв'язку щодо їх ідеальних положень.

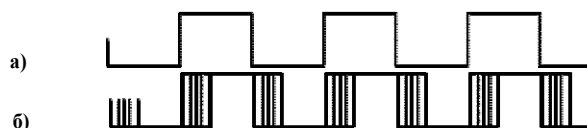


Рис. 1. Різновид прояву джитера: а – вигляд сигналу без перешкод; б – вигляд сигналу за наявності джитера

Як бачимо, перший графік відображає стан входу передатчика сигналу в лінію - свого роду еталонний сигнал. Другий (нижній) графік показує сигнал на виході приймача, підключеного до видаленої сторони лінії зв'язку, на який впливають перешкоди. Лінія зв'язку може бути розімкнене кільце з телефонного кабелю, так що передавач і приймач знаходяться поряд з осцилографом. Затримка передачі сигналу по лінії зв'язку на малюнку не врахована.

Нижній графік в кожному циклі розгортки прокреслює фронти імпульсів не зовсім в одних і тих же місцях (нижня діаграма), так що фронти виглядають нечіткими, розмитими, тремтячими. Як показано на рисунку, коли присутнє тремтіння зображення, переміщення може відбуватися злегка рано або злегка пізно. Отже, це може викликати розрядні помилки в системі, де сигнал даних, можливо, пробується синхронізуючим сигналом. Розглядаючи другий графік, можна побачити, що помилки можуть відбуватися із-за зниження в пробуючому вікні, яке синхронізуючий сигнал звик розшифровувати, чи дані, в яких знаходиться один або нуль. Можна побачити, як дрижання зображення скоротило це вікно, яке може призводити до читання нуля замість одного.

Можливими причинами виникнення джитера є:

- паразитна фазова модуляція в генераторах тактової частоти;
- вплив шумів і перешкод на ланцюг синхронізації в приймачі;
- зміна довжини тракту передачі;
- зміна швидкості поширення;
- доплерівське зміщення від рухомих об'єктів;
- нерегулярне надходження хронуючої інформації і т. д.

Настільки великому числу можливих причин відповідає безліч типів джитера. Сумарний джитер (Total Jitter, TJ) може складатися з випадкового джитера (Random Jitter, RJ) і систематичного джитерів.

Випадковий джитер RJ характеризується двома параметрами: середнім значенням і середньоквадратичним відхиленням. При такій функції PDF випадковий джитер може мати скільки завгодно велику амплітуду.

Джитер цього типу вимірюється як в амплітудних U_{Pr} - р значеннях, так і в середньоквадратичних значеннях U_{IRMS}. Для джитера з гаусовою щільністю ймовірності, подібного білому шуму, U_{Pr} - р = (5 ÷ 10) U_{IRMS}. Для синусоїдального джитера співвідношення між зазначеними параметрами становить $2\sqrt{2} = 2,83$.

Систематичний джитер DJ має відмінну від гаусової функцію розподілу щільності ймовірності і обмежену амплітуду і включає в себе цілий ряд джитером:

- періодичний;
- залежний від інформаційного сигналу;
- тривалості циклу;
- алгоритмічний.

Головними причинами виникнення періодичного джитера PJ можуть бути перешкоди від місцевих радіостанцій або від перемикачів в сильноточних мережах. Він виникає також внаслідок нестабільної роботи систем фазового автопідстроювання частоти (ФАПЧ).

Періодичний джитер може бути розкладений в ряд Фур'є і представлений у вигляді набору синусоїд, тому іноді його називають синусоїдальним. За визначенням, періодичний джитер не має кореляції з будь-яким періодично повторюваним сигналом даних. Цим він відрізняється від джитера DDJ, який розглянемо нижче.

Джитер, що залежить від інформаційного сигналу DDJ, виникає внаслідок міжсимвольної інтерференції (Intersymbol Interference, ISI) сусідніх імпульсів. Характеристика цих спотворень, а отже, і відповідного джитера залежатиме від конкретного виду цифрової послідовності.

Джитер тривалості циклу характеризує відхилення тривалості тактового імпульсу від його номінального значення. На практиці це проявляється в різній тривалості нульового і одиничного біта і виявляється наслідком різної крутизни переднього і заднього фронтів тактового імпульсу.

Алгоритмічний джитер AJ виникає внаслідок принципових особливостей конкретної ЦСП. Так, в плезіохронних ЦСП прикладом алгоритмічного джитера служить джитер цифрового вирівнювання і часу очікування (Stuffing and Wait Time Jitter). Він з'являється через змінної затримки операції цифрового вирівнювання (Bit Stuffing) при мультиплексуванні і демультіплексуванні цифрових потоків. Справа в тому, що рішення про необхідність вирівнювання може бути прийнято в будь-якому місці циклу, а сама операція виконується із змінною затримкою і тільки в певному місці циклу. Точно таку ж природу має джитер відображення якщо розмістити компонентні (tributary) сигнали PDH в синхронних транспортних модулях SDH з використанням операції цифрового вирівнювання.

У системах SDH алгоритмічний джитер покажчика виникає при компенсації розсинхронізації в мережі за рахунок механізму покажчиків. При цьому відбувається вставлення або видалення 1 байта покажчика, що означає появу джитера з амплітудою у вісім одиничних інтервалів, кожен з яких дорівнює часу, який необхідний для передавання одного біта інформації.

Джитер характеризується амплітудою і частотою. Флуктуації фази з частотою вище 10 Гц називають джитером, а флуктуації з частотою до 10 Гц включно - вандером.

Відстань між максимальним і мінімальним значеннями джитера називається амплітудою джитера і вимірюється в одиничних інтервалах (Unit Interval, UI). Один UI відповідає одному періоду тактової частоти.

Регулярний (системний) джитер зазвичай корельований з передаваними послідовностями бітів. Оскільки затримки при передачі сигналів в скремблерах і кодерах зазвичай залежать від типу передаваної послідовності, що приймається/, процеси в мультиплексорах і регенераторах можуть викликати регулярний джитер. Другою причиною виникнення регулярного джитера можуть бути порушення в каналі передачі, зокрема пов'язані з наявністю перехресних перешкод, які також вносять регулярний, корельований з послідовностями бітів джитер. Зазвичай регулярний джитер в цьому випадку виникає при неправильній роботі еквалайзерів або порушеннях в налаштуванні ланцюгів відновлення даних і характерний більшою мірою для радіочастотних систем передачі.

Нерегулярний джитер зазвичай обумовлений електромагнітною дією і інтерференцією із зовнішніми джерелами сигналу, такими як шум, віддзеркалення, перехресні перешкоди або інтерференція з ланцюгами живлення і іншими джерелами ЕМП. В цьому випадку зазвичай спектр сигналу дає інформацію про джерело сигналу, що інтерферує. Інтерференція з ланцюгами живлення 50 Гц і іншими низькочастотними сигналами зазвичай легко ідентифікується, тоді як пошук інтерференції від комп'ютерних і обчислювальних систем пов'язаний з аналізом в діапазоні близько 60 МГц і представляє певні складнощі.

Особливим видом джитера є: кодозалежний та кодонезалежний джитери.

Кодонезалежний джитер не пов'язаний з характером передаваних даних і може бути обумовлений багатьма чинниками, серед яких:

- наведення від низькочастотного магнітного поля, генерованого довколашніми кабелями силової електромережі (рис. 2);
- пульсації напруги живлення джерела або приймача сигналів;
- перехресні перешкоди, що наводяться від сусідніх витих пар багатожилого кабелю міської телефонної мережі;
- денні - нічні перепади температури.

- механічна вібрація, при якій деякі радіоелектронні компоненти (наприклад, деякі керамічні конденсатори) можуть працювати як перетворювачі механічної енергії в електричну.

Експериментальна частина

Приклад дії першого з перерахованих чинників на систему передачі даних пояснюється рис. 2. Джитер в даному випадку проявляється в тому, що тривалість імпульсів E на виході приймача періодично змінюється у бік збільшення і зменшення відносно ідеальних положень.

Способи подавлення кодонезалежного джиттера приведені в [1].

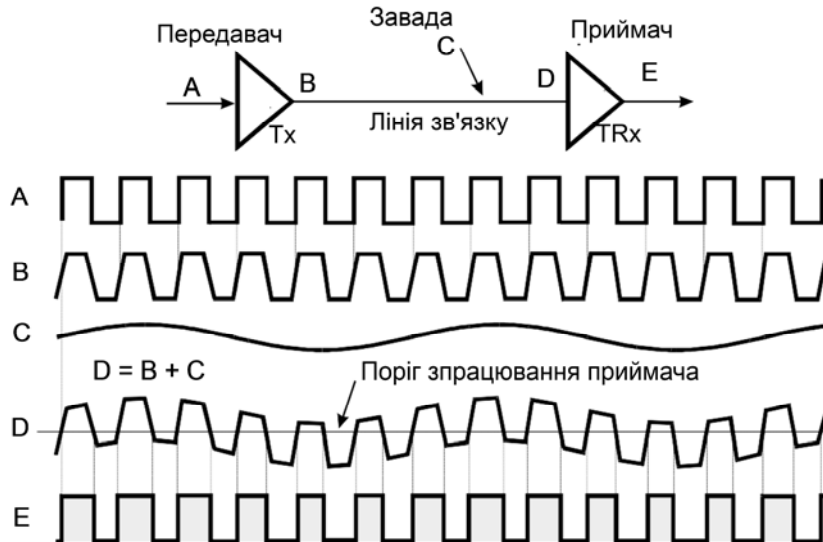


Рис. 2. Виникнення джиттера в результаті накладення низькочастотного синусоїдального сигналу з перешкоди на сигнал даних (Y = 101010) в лінії зв'язку; частота сигналу даних занижена для підвищення наочності малюнка

Кодозалежний джитер обумовлений неоднаковими умовами поширення по лінії зв'язку різних послідовностей бітів.

Лінія зв'язку, виконана коаксіальним кабелем або витою парою дротів, тримає розподілені активні і реактивні компоненти - резистивні, місткості і індуктивні. У реактивних компонентах при передачі імпульсів періодично накопичується енергія, тому можна сказати, що лінія зв'язку, в деякому розумінні, тимчасово пам'ятає передісторію свого стану.

Пройходження чергового імпульсу по лінії трохи залежить від цієї передісторії, що визначає її попереднє "розгойдування" або свого роду "прогрівши". Точніше, форма імпульсу на далекому кінці лінії в слабкій, але іноді відчутній мірі залежить від того, наскільки до моменту його проходження були заряджені розподілені компоненти місткостей лінії і чи були струми через її розподілені індуктивні компоненти. Використовуючи часові діаграми, що запропоновані в [3] для реальної лінії проаналізуємо подібного процесу при зміщенні імпульсів відносно ідеальних положень в залежності від типу передачі даних, що показані на рис. 3.

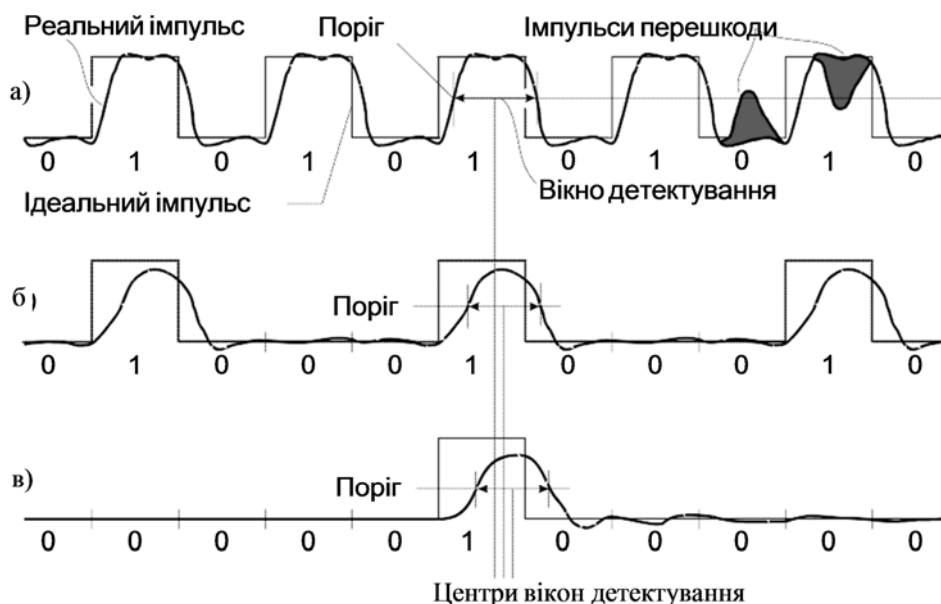


Рис. 3. Зміщення імпульсів відносно ідеальних положень залежно від типу передачі даних

На верхній діаграмі (рис. 3, а) імпульси прянують з максимальною частотою (кодова комбінація 010101...). Їх фактичні положення зміщені вправо відносно очікуваних ідеальних позицій із-за "завалу" імпульсів.

Поріг спрацьовування приймача сигналу вибирається рівним 50 % амплітуд імпульсу, щоб запас завадостійкої був однаковим по відношенню до негативних імпульсів перешкод (див. виділені на малюнку імпульси перешкоди, що перетинають поріг спрацьовування приймача знизу і згори).

На наступній діаграмі (рис. 3, б) позитивні імпульси рідкісніші, ніж "важче прокласти дорогу" по лінії зв'язку, оскільки відсутня "допомога" з боку довколишніх імпульсів при витрачання енергії на заряд паразитних ємкостей і збудження струмів через паразитні індуктивності. Тому тривалість фронтів імпульсів збільшені більшою мірою, а їх амплітуда зменшена в порівнянні з імпульсами на попередній діаграмі. При цьому знижується оптимальний поріг спрацьовування приймача, тому запас завадостійкої знижується.

На останній діаграмі (рис. 3, в) показаний поодинокий позитивний імпульс. Його амплітуда зменшена в порівнянні з амплітудою імпульсів на попередніх діаграмах, а затримка (відносно ідеального положення) збільшена. Запас завадостійкості зменшений, оскільки відстані між оптимальним порогом спрацьовування приймача, основою і вершиною імпульсу зменшилися зі зменшенням його амплітуди. Таким чином, якість імпульсу (його амплітуда і затримка відносно ідеального положення) знижується зі збільшенням шпаруватості сигналу.

Сигнали на діаграмах, показаних на рис. 3, б, в, можна проінвертувати, тоді вони відповідатимуть передачі кодів, що переважно містять лог. 1: 10111011101 і 11111011111. При цьому параметри сигналів лог. 0 погіршуються в тій же мірі, як і розглянуті раніше параметри сигналів лог. 1. Таким чином, наведені приклади показують, що при передачі випадкових даних спостерігається кодозалежний джитер - тремтіння фронтів сигналу, обумовлене характером передавальних даних.

З урахуванням кодозалежного джитера змінюється положення вікна детектування - інтервалу часу існування істинного сигналу.

Повернемося до діаграм, приведених на рис. 3. Як вже відзначалося, для більше надійного виділення даних приймач сигналу повинен враховувати кодозалежний джитер. Розглянемо структуру такого приймача.

Сигнал з лінії зв'язку проходить через підсилювач зі змінюваним порогом спрацьовування і потім записується в D - тригер по позитивних фронтах сигналу CLK2. На виході тригера в кожному такті (періоді синхросигналу CLK2) формується черговий біт даних, отриманий з лінії зв'язку. Пороги спрацьовування приймального підсилювача і моменти запису даних в тригер (центри вікон детектування) відповідають оптимальним значенням, залежним від кодової передісторії (див. рис. 3.) Кодова передісторія відбита N - розрядним кодом, в якому біт D2 сформований в попередньому такті, а інші біти - у більше ранніх тактах.

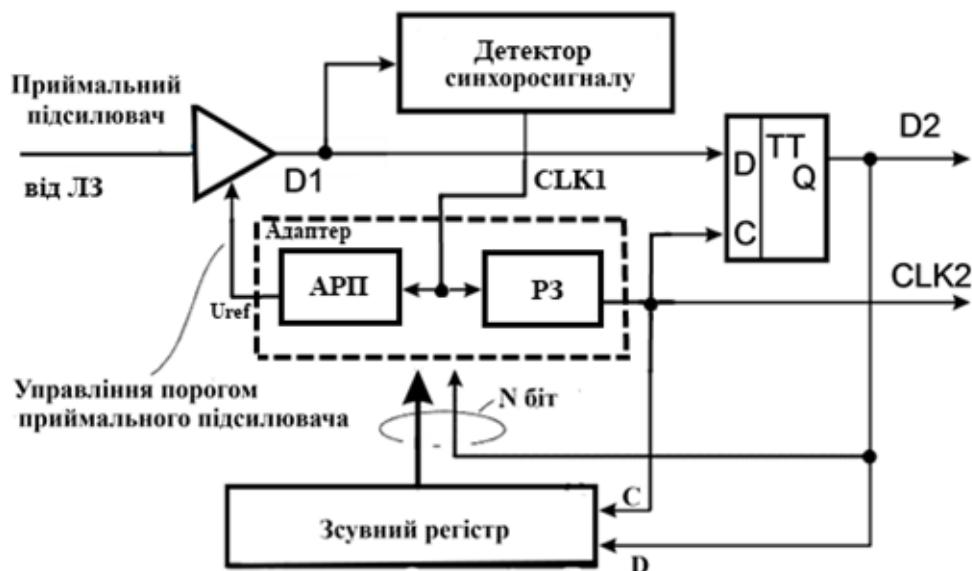


Рис. 4. Структурна схема приймача який коректує кодозалежний джитер

Детектор синхросигналу є генератором з фазовою автопідстройкою частоти [1]. На його виході формується безперервна послідовність імпульсів синхросигналу CLK1, негативні фронти якого прив'язані до усередненого за часом положення меж між бітовими інтервалами. Позитивні фронти цього сигналу, найімовірніше, потрапляють в межі вікон детектування, але, майже напевно, не точно в їх центри, тому надійність прийому даних в тригер безпосередньо сигналом CLK1 може бути невисокою. Блок адаптації до передісторії перетворить синхросигнал CLK1 в сигнал CLK2 його незначним зміщенням в часі для забезпечення точного попадання його позитивних фронтів в центри вікон детектування. За допомогою авто регулятора порогу та регулятора затримки формується аналоговий сигнал Z, який задає оптимальний поріг

спрацьовування приймального підсилювача.

Аналіз залежностей положення вікна детектування і оптимального порогу від кодової передісторії з наступним запам'ятовуванням отриманих результатів може виконуватись при кожному включенні напруги живлення приймача або по команді, прийнятій з лінії зв'язку або від оператора. В процесі роботи результати аналізу можуть коригуватися.

Висновок

У даній статті було представлено основні види джитерів та їх особливості. Також було подано загальні відомості про кодозалежний джитер в транспортних мережах. В результаті дослідження було виявлено причини виникнення кодозалежного джитера та способи його корегування. Також було запропоновано та побудовано структурну схему приймача який корегує кодозалежний джитер в результаті накладення низькочастотного синусоїдального сигналу з перешкоди на сигнал даних.

Література

1. Сухман С.М.. Синхронизация в телекоммуникационных системах. Анализ инженерных решений / С.М. Сухман, А.В. Бернов, Б.В. Шевкопляс.. – М.: Эко-Трендз, 2003.
2. Бакланов И.Г. SDH-NGSDH Практический взгляд на развитие транспортных сетей / И.Г. Бакланов. – М.: Метротек, 2006. – 736 с.
3. Патентная заявка США US 2004/0071247 A1. www.uspto.gov.
4. Патентная заявка США US 2003/0012317 A1. www.uspto.gov.

References

1. S.M. Sukhman, A.V. Bernov, B.V. Shevkoptyas. Synkhronyzacyja v telekommunykyonnykh systemakh. Analyz ynzhenemikh reshenyj. – М.: Эко-Trendz, 2003. [in Russian]
2. Baklanov Y.Gh. SDH-NGSDH Praktycheskyj vzghljad na razvytye transportnykh setej - М.: Metrotek, 2006. -736s. [In Russian]
3. Patent claim US 2004/0071247 A1. www.uspto.gov.
4. Patent claim US 2003/0012317 A1. www.uspto.gov.

Рецензія/Peer review : 31.3.2014 р.

Надрукована/Printed : 18.5.2014 р.

Рецензент: Осадчук О.В., д.т.н., професор