

на железнодорожном вагоне составит $P(h(\varphi) \geq h_0) = 0,67$. При переходе на другой режим работы радиостанции, например слуховой телеграф, где для хорошего качества связи необходимо превышение уровня сигнала над помехой $z_{\text{доп}} = 10$ дБ вероятность обеспечения связи с требуемым качеством составит $P(h(\varphi) \geq h_0) = 0,865$.

Если мы при тех же условиях задачи уменьшим протяженность радиотрассы до 25 км, тогда вероятность обеспечения связи с требуемым качеством с корреспондентом, азимут которого неизвестен для режима ТЛФ ЧМ составит $P(h(\varphi) \geq h_0) = 0,91$, а для слухового телеграфа $P(h(\varphi) \geq h_0) = 0,97$.

Вероятность обеспечения связи с требуемым качеством для корреспондента, азимут которого неизвестен, при размещении ненаправленных антенн на подвижных объектах радиосвязи можно повысить при переходе на другой режим работы радиостанции (например, режим слуховой телеграфии), при котором снижается требование по необходимому превышению уровня сигнала над помехой на входе приемника h_0 .

Знание вероятности обеспечения связи с требуемым качеством на заданных расстояниях для корреспондента, азимут которого неизвестен, позволяет повысить надежность системы связи.

Список используемых источников

1. Бородулин Р. Ю., Лукьянов Н. О., Николаев В. И., Сосунов Б. В. Решение задачи дифракции на объекте сложной геометрической формы // Теория и техника радиосвязи. 2014. № 4. С. 40–45.
2. Бородулин Р. Ю., Лукьянов Н. О., Сосунов Б. В. Характеристика направленности излучателя, установленного на крыше железнодорожного вагона // Сборник трудов III Международной научно-технической и научно-методической конференции «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании». СПб.: СПбГУТ, 2014. С. 169–174.
3. Игнатов В. В. Военные системы радиосвязи. Ч. 1. Л.: ВАС, 1989. 356 с.
4. Мешалкин В. А., Сосунов Б. В. Основы энергетического расчета радиоканалов. Л.: ВАС, 1991.
5. Шифрин А. С. Вопросы статистической теории антенн. М.: Советское радио, 1970. 384 с.

АЛГОРИТМ ТАКТОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ СЕТЕВОГО УЗЛА РЕГИОНАЛЬНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ СВЯЗИ

И.В. Корнев, В.В. Лях, Н.И. Фокин

Только при наличии системы тактовой сетевой синхронизации (СТСС) в транспортной сети связи возможно ее Практическое функционирование с обеспечением для сетей доступа (СД) необходимого числа каналов заданного качества. При расхождении частот генераторов сетевых узлов (СУ), на которых осуществляется транзит каналов, появляются проскальзывания. Возникает необходимость разработать алгоритм тактовой синхронизации.

ции элементов сетевого узла (алгоритм управления частотой и фазой регионального узла) для организации работы узлов в ведомом режиме.

Ключевые слова: синхронизация в сети, узел сети, генератор, условие Липшица.

ALGORITHM OF CLOCK SYNCHRONIZATION OF ELEMENTS OF NETWORK KNOT OF THE REGIONAL TRANSPORT COMMUNICATION NETWORK

Korenev I., Lyakh V., Fokin N.

Only in the presence of the system of clock network synchronization (SCNS) in a transport communication network her Practical functioning with providing for the access networks (AN) of necessary number of channels of the set quality is possible. At a divergence of frequencies of generators of the network knots (NK) at which transit of channels is carried out slippings appear. There is a need to develop algorithm of clock synchronization of elements of network knot (a control algorithm of frequency and a phase of regional knot) for the organization of work of knots in the conducted mode.

Keywords: synchronization in a network, network knot, generator, Lipschitz's condition.

Практическое функционирование региональной транспортной сети связи (РТСС) с обеспечением для сетей доступа (СД) необходимого числа каналов заданного качества возможно только при наличии в ее составе системы тактовой сетевой синхронизации (СТСС). СТСС представляет собой совокупность ведущих и ведомых генераторов и каналов синхронизации, образуя сеть тактовой сетевой синхронизации. При расхождении частот генераторов сетевых узлов (СУ), на которых осуществляется транзит каналов, появляются проскальзывания.

Для достижения синхронизации в сети необходимо передавать информацию о тактовой частоте всем устройствам сети. Для этой цели используются сигналы синхронизации. Такие сигналы могут передаваться в линейных сигналах или отдельно в виде специальных сигналов.

В случае потери всех внешних источников синхронизации возникает задача организации работы узлов РТСС, оснащенных высокостабильными атомными стандартами частоты (АСЧ) не только в ведомом, но и ведущем режимах. Для организации работы узлов в ведомом режиме необходимо разработать алгоритм тактовой синхронизации элементов сетевого узла (алгоритм управления частотой и фазой регионального узла).

Исходя из специфики этой задачи и учитывая результаты разработки устройств синхронизации (ведомых таймеров) за рубежом и в России, можно определить следующие повышенные требования, которым должен удовлетворять алгоритм управления частотой и фазой регионального узла в ведомом режиме:

– подавление флуктуаций фазы входного сигнала должно осуществляться, начиная с частот порядка 10^{-6} – 10^{-5} Гц;

- режим захвата должен обеспечиваться лишь от тех сигналов, средняя частота которых отличается от средней частоты местного задающего генератора на величину, не превышающую нескольких единиц одиннадцатого знака;
- при пропадании входного сигнала или выходе его средней частоты за границы полосы захвата узел должен перейти в ведущий (автономный) режим с запоминанием последнего значения частоты входного сигнала;
- в процессе вхождения в синхронизм и при управлении фазой выходного сигнала в синхронном режиме должно достигаться по возможности меньшее значение ошибки временного интервала.

Перечисленные требования с большим запасом укладываются в нормы рекомендации G.812 МСЭ, относящиеся к синхронизации ведомых узлов сети.

К поставленной задаче примыкает вопрос организации управления синхронизацией ведомых узлов РТСС, оснащенных высокостабильными кварцевыми генераторами, номинальное значение частоты которых обычно составляет 5 МГц, как и у АСЧ. Долговременная нестабильность частоты таких генераторов имеет порядок 10^{-9} – 10^{-10} , поэтому ведущий режим для данных узлов является аварийным, и работа в нем может продолжаться не более нескольких суток.

Пути решения задачи

В качестве аппаратной основы следует использовать устройство синхронизации, которое представляет собой астатический синтезатор частоты 2048 кГц из сигнала частотой 5 мГц, получаемого от АСЧ (или кварцевого генератора), в котором имеется возможность регулирования фазы выходного сигнала от внешнего источника с шагом $\Delta < 1$ нс. При этом генераторное оборудование ведомого СУ в виде ФАПЧ должно иметь входное устройство (ВУ), к которому подводится несколько тактовых частот первичных цифровых групповых потоков. К ВУ, которое целесообразно реализовывать на микропроцессоре, кроме того, от подсистемы управления должны подводиться данные по значению $k_{\text{ош}}$ первичных цифровых трактов, тактовые частоты которых подведены к ВУ.

В любой момент времени синхронизацию целесообразно осуществлять от одного синхросигнала. С этой целью необходимо выбирать первичный цифровой тракт $k_{\text{ош}}$ в котором меньше, чем в других. В этом случае в тракте фазовые дрожания будут невелики и практически будут исключаться случаи необоснованного перехода в режим вхождения в синхронизм.

В настоящее время адаптивная синхронизация генераторного оборудования узлов осуществляется следующим образом. Когда система синхронизации функционирует нормально, на некотором интервале времени (участке локальной аппроксимации) строится кривая разности фаз – $f(t)$ между ведущим φ_1 и подстраиваемым φ_2 генератором. При нарушении синхронизации ведомый генератор работает в автономном режиме, однако его частота подстраивается в соответствии с кривой $f(t)$, что обеспечивает меньшую погрешность фаз

между генератором данного узла и ведущего. В [1] $f(t)$ выбирается в виде некоторой прямой. Учитывая математическую модель генератора (1):

$$\Phi(t) = \Phi(0) + \omega_0 t + \sum_{k=1}^M \frac{L(k-1)}{k!} t^k + [\xi(t) - \xi(0)], \quad (1)$$

можно утверждать, что аппроксимация значений отсчетов разности фаз генераторов на выходе ФД ФАПЧ $\varphi(kT)$ некоторой прямой является малопригодной. Функции вида (1) наиболее точно могут быть аппроксимированы экспоненциальными полиномами вида (2):

$$f(t, a) = \sum_{k=1}^n A_k e^{p_k t}, \quad a = [A_1, p_1, \dots, A_{n-1}, p_{n-1}, A_n, p_n]^T. \quad (2)$$

На интервале аппроксимации $[t_1, t_2]$ с использованием предложенного в [1] метода интерполяции экспоненциальными полиномами, выражение (2) определять не целесообразно, поскольку на $[t_1, t_2]$ число возможных точек интерполяции, как правило, будет превосходить порядок вектора a . Поэтому метод, предложенный в [1], целесообразно использовать в качестве первого приближения для нахождения (2) и считать параметры этой функции за вектор $\bar{a}^{(0)}$. Далее, с учетом всех возможных точек интерполяции (m), на интервале $[t_1, t_2]$ осуществлять минимизацию функции (3):

$$f_1(t, a) = \sum_{k=1}^m (\varphi(kt) - \sum_{k=1}^n A_k e^{p_k kt})^2. \quad (3)$$

Первое приближение $\bar{a}^{(0)}$ целесообразно находить в соответствии с [1]. Далее для минимизации функции (3), в соответствии с ее характером, целесообразно использовать метод градиентного спуска с постоянным шагом [2].

Для решения задачи (3) (нахождение локального экстремума $f(t, a)$), функция $f(t, a)$ должна удовлетворять следующим требованиям:

- быть ограниченной на R^n ;
- иметь непрерывные частные производные.

Стратегия поиска локального экстремума функции $f(t, a)$, заключается в построении последовательности таких точек $\{(t, a)^k\}$, $k = 0, 1, \dots$, что $f((t, a)^{k+1}) < f((t, a)^k)$, $k = 0, 1, \dots$. Точки $\{(t, a)^k\}$ вычисляются по следующему правилу:

$$(t, a)^{k+1} = (t, a)^k - t_k \nabla f((t, a)^k), \quad k = 0, 1, \dots, \quad (4)$$

где точка $(t, a)^0$ задается пользователем; $\nabla f((t, a)^k)$ – градиент функции $f((t, a))$, вычисленный в точке $(t, a)^k$; t_k – величина шага, задаваемая пользователем (остаётся постоянной до тех пор, пока функция убывает в точках последовательности $\{(t, a)^k\}$, что контролируется путем проверки выполнения условия $f((t, a)^{k+1}) - f((t, a)^k) < 0$ или $f((t, a)^{k+1}) - f((t, a)^k) < -\xi \|\nabla f((t, a)^k)\|^2$, $(0 < \xi < 1)$. Построение последовательности $\{(t, a)^k\}$ заканчивается в точке $(t, a)^k$, в которой выполняется условие $\|\nabla f((t, a)^k)\| < \xi_1$, ξ_1 – заданное малое положительное число, или $k \geq M$, где M – предельное число интеграций, или при двукратном одновременном выполнении двух неравенств $\|(t, a)^{k+1} - (t, a)^k\| < \xi_2$, $|f((t, a)^{k+1}) - f((t, a)^k)| < \xi_2$, ξ_2 – малое положительное число.

Выводы

1. Если ограниченная снизу на R^n функция $f(t, a)$ дифференцируема, а ее градиент удовлетворяет условию Липшица $\|\nabla f(x) - \nabla f(y)\| \leq L\|x - y\|$, $\forall x, y \in R^n$, где $L > 0$. То при любой начальной точке $x^0 \in R^n$ для метода градиентного спуска с постоянным шагом имеем:

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \|\nabla f((t, a)^k)\| = 0.$$

2. В соответствии с приведенным обоснованием адаптацию синхронизации можно выполнять для одного из региональных узлов. Тогда, при нарушении синхронизации узлов региона от ведущего генератора, их синхронизация может осуществляться от узла с адаптивной синхронизацией.

Список используемых источников

1. Зильберг Е. В., Колтунов М. Н. Адаптивный алгоритм управления синхронизацией регионального узла цифровой сети // Электросвязь. 1990. № 8.
2. Пантелеев А. В., Летова Т. А. Методы оптимизации примерах и задачах: учеб. пособие. 3-е изд., стер. М.: Высш. шк., 2008. 544 с.: ил.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ В УСЛОВИЯХ ИНФОРМАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

М.А. Коцыняк, О.С. Лауга, А.П. Нечепуренко, И.Г. Штеренберг

В современных техносферных войнах компьютерные атаки на информационно-телекоммуникационную сеть будут приобретать все большую значимость для достижения превосходства над противником. Поэтому, обеспечение устойчивости функционирования информационно-телекоммуникационной сети является важной задачей.