

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ СЕТИ ТАКТОВОЙ СЕТЕВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ

М. В. Лобастова*, А. Ю. Матюхин, А. С. А. Мутханна

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

*Адрес для переписки: mlobastovabk1@rambler.ru

Аннотация—В статье рассмотрены проблемы надежности современных сетей связи, приведены ссылки на рекомендации ИТУ-Т и нормативные документы, регулирующие вопросы надежности сетей связи в Российской Федерации. Сеть тактовой сетевой синхронизации является неотъемлемой частью цифровых сетей связи. Поэтому вопросу надежности сети синхронизации следует уделять большое внимание. **Предмет исследования.** В статье рассматривается надежность сети тактовой синхронизации. **Метод.** Основным математическим аппаратом является теория графов и теория вероятностей. Для реализации предлагаемого метода оценки структурной надежности сети синхронизации используется метод прямого перебора. **Основные результаты.** Результаты работы позволяют сделать вывод о возможности применения предложенного метода для оценки структурной надежности работы сети тактовой синхронизации. **Практическая значимость.** Предложенное в статье решение может быть применено для обоснованной оценки показателей структурной надежности сети, что необходимо для принятия решения о выборе маршрута для передачи сигнала синхронизации.

Ключевые слова—тактовая сетевая синхронизация, надежность сети синхронизации, обеспечение надежности, метод прямого перебора, двухполюсная сеть, сеть 5G, Интернет Вещей.

Информация о статье

УДК 004.725.7

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 27.11.2020, принята к печати 23.12.2020.

Ссылка для цитирования: Лобастова М. В., Матюхин А. Ю., Мутханна А. С. А. Анализ надежности сети тактовой сетевой синхронизации// Информационные технологии и телекоммуникации. 2020. Том 8. № 4. С. 93–99. DOI 10.31854/2307-1303-2020-8-4-93-99.

ANALYSIS OF NETWORK RELIABILITY OF NETWORK SYNCHRONIZATION

M. Lobastova*, A. Matyukhin, A. Muthanna

The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications,
St. Petersburg, 193232, Russian Federation

*Corresponding author: mlobastovabk1@rambler.ru

Abstract—This article describes the challenges of modern communication networks reliability, analyses ITU-T recommendations and regulations governing the communication networks reliability in Russian Federation. The network clock network is an integral part of digital communication networks. Therefore, the issue of the synchronization network reliability should be given great attention. **Research subject.** In this article, we discussed the reliability of the clock synchronization network. **Method.** The main mathematical tools are graph theory and probability theory. To implement the proposed method for assessing the structural reliability of the synchronization network, the direct search method is used. **Core results.** The results allow us to conclude that the proposed method can be applied to assess the structural reliability of the clock synchronization network. **Practical relevance.** The solution proposed in this article can be used for a reasonable assessment of the network structural reliability indicators, which is necessary for making a decision on the choice of a route for transmitting a synchronization signal.

Keywords—clock network synchronization, synchronization network reliability, ensuring reliability, brute-force method, two-pole network, 5G network, Internet of Things.

Article info

Article in Russian.

Received 27.11.2020, accepted 23.12.2020.

For citation: Lobastova M., Matyukhin A., Muthanna A.: Analysis of Network Reliability of Network Synchronization // Telecom IT. 2020. Vol. 8. Iss. 4. pp. 93–99 (in Russian). DOI 10.31854/2307-1303-2020-8-4-93-99.

Введение

В настоящее время отрасль телекоммуникаций переживает небывалый подъем, что дает толчок не только для развития сетей связи, но и других отраслей экономики. С внедрением программно-конфигурируемых сетей, разработкой сетей 5G, внедрением Интернета Вещей и Тактильного Интернета ужесточились требования к надежности сетей связи [1, 2]. Надежность является одним из основных требований, предъявляемых к этим сетям. Проблема обеспечения надежности современных сетей включает аппаратные и структурные аспекты. Это подтверждается рядом рекомендаций ITU-T: Y.3101(01/2018), Y.4100 (06/2014))^{1,2}. Высокие требования к надежности сетей с использованием данных перспективных технологий приводят к ряду новых проблем для ее обеспечения [3].

¹ ITU-T Recommendation Y.3101 (01/2018). Requirements of the IMT-2020 network.

² ITU-T Recommendation Y. 4100 (06/2014). Common requirements of the Internet of things.

Нормативно-правовая база

Основными нормативными документами, регулирующими надежность сетей связи в Российской Федерации, являются: ГОСТ Р 3111-2008³, ГОСТ 27.002-2015⁴, приказ Минкомсвязи России от 09.03.2017 № 101 «Об утверждении Требований к проектированию сетей электросвязи»⁵, приказ Минсвязи РФ № 2, МАП РФ № 23 от 15.01.2001 «Об утверждении «Требований к системе эксплуатационной поддержки оборудования электросвязи, применяемого на Взаимоувязанной сети связи Российской Федерации»⁶, Указ Президента РФ от 09.05.2017 № 203 «О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы»⁷.

ГОСТ Р 53111-2008 определяет надежность сети электросвязи, как «свойство сети электросвязи сохранять способность выполнять требуемые функции в условиях воздействия внутренних дестабилизирующих факторов (т. е. сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения и технического обслуживания)». В этом же ГОСТе определено понятие вероятности связности сети как «вероятность того, что на заданном направлении электросвязи существует хотя бы один путь, по которому возможна передача информации с требуемыми качеством и объемом».

ГОСТ 27.002-2015 устанавливает основные понятия, термины и определения понятий в области надежности.

Приказ Минкомсвязи России от 09.03.2017 № 101 «Об утверждении Требований к проектированию сетей электросвязи» устанавливает требования к сетям связи на этапе их проектирования, указывает на необходимость указания значений показателей функционирования и надежности сетей, а также описания системы электроснабжения и обоснование категории надежности.

В Указе Президента РФ от 09.05.2017 № 203 «О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы» обозначена задача обеспечения всеобщего доступа к информационным и коммуникационным технологиям; определены цели, задачи и меры по реализации внутренней и внешней политики Российской Федерации в сфере применения информационных и коммуникационных технологий, направленные на развитие информационного общества, формирование национальной цифровой экономики, обеспечение национальных интересов и реализацию стратегических национальных приоритетов.

³ ГОСТ Р 53111-2008 Устойчивость функционирования сети связи общего пользования. Требования и методы проверки. – Введ. 01.01.2009. – М.: Стандартинформ, 2009. – 19 с.

⁴ ГОСТ 27.002-2015 Надежность в технике (ССНТ). Термины и определения. – Введ. 01.03.2017. – М.: Стандартинформ, 2016. – 63 с.

⁵ Приказ Минкомсвязи России от 09.03.2017 N 101 «Об утверждении Требований к проектированию сетей электросвязи» (Зарегистрировано в Минюсте России 31.05.2017 N 46915). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_217656/

⁶ Приказ Минсвязи РФ и МАП РФ от 15 января 2001 г. NN 2, 23 «Об утверждении "Требований к системе эксплуатационной поддержки оборудования электросвязи, применяемого на Взаимоувязанной сети связи Российской Федерации» (Зарегистрировано в Минюсте РФ 06.03.2001 N 2597). URL: <https://base.garant.ru/183051/>

⁷ Указ Президента РФ от 09.05.2017 N 203 «О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы». URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_216363/

Несмотря на то, что существует целый ряд нормативных документов, вопросу надежности современных сетей связи не уделяется должного внимания.

Показатели надежности сетей связи

Основными показателями надежности сетей связи являются коэффициент готовности и коэффициент отказа. Именно для этих показателей задаются нормы в нормативных документах. Нормы на значения коэффициента готовности на сети общего пользования приводятся в приложении к Приказу Министерства информационных технологий и связи РФ от 27 сентября 2007 г. № 113 «Об утверждении Требований к организационно-техническому обеспечению устойчивого функционирования сети связи общего пользования»⁸. Согласно требованиям, коэффициент готовности для местной телефонной связи и телеграфной связи должен быть не ниже 0,9999.

С появлением новых видов услуг связи и развитием технологий ужесточаются нормы на показатели надежности. Так, для сетей 5G коэффициент готовности должен быть не хуже, чем 0,999. Это означает, что каждый из компонентов сети должен работать практически безотказно, чтобы обеспечить требуемый уровень надежности и способность к восстановлению.

Метод оценки надежности сети тактовой сетевой синхронизации

Сеть тактовой сетевой синхронизации является неотъемлемой частью сети связи, обеспечивающей ее надежность. Поэтому так важно оценивать надежность самой сети тактовой синхронизации.

Надежность сети тактовой синхронизации зависит не только от топологии сети, надежности генераторного оборудования, но и от линий связи, соединяющих его. Сеть тактовой синхронизации является сложной структурой, которую можно описать с помощью ациклического ориентированного графа G (рис.). Вершинами графа будет генераторное оборудование различных уровней иерархии (первичный задающий генератор PRC, вторичные задающие генераторы SSU и генераторы оборудования SEC), а дугами – все связи, включая резервные. Так одновременный отказ основной и резервной линий связи может привести к переходу генератора узла из режима синхронной работы в режим удержания. А при продолжительном отказе линии связи – к отказу генераторного оборудования узла.

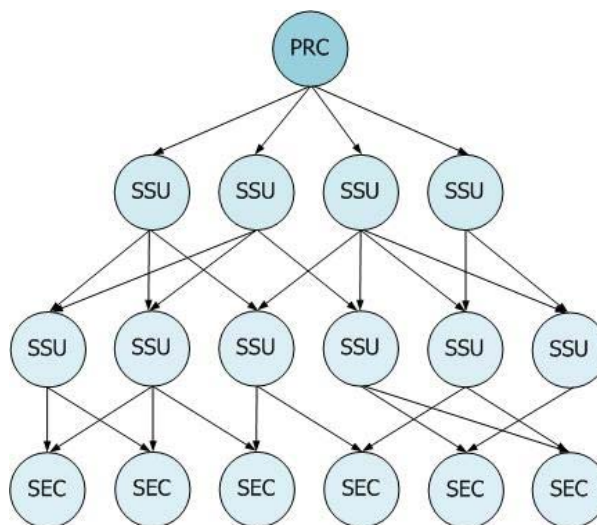


Рис. Граф G сети тактовой синхронизации

⁸ Приказ Министерства информационных технологий и связи РФ от 27.09.2007 N 113 «Об утверждении Требований к организационно-техническому обеспечению устойчивого функционирования сети связи общего пользования». Система ГАРАНТ: URL: <http://base.garant.ru/192047/#ixzz6eBz9RiOS>

Так как, согласно рекомендации Международного союза электросвязи, источники сигнала синхронизации резервируются, то путей для передачи сигнала синхронизации от задающего генератора до узла сети может быть несколько. Направление связи между двумя узлами сети синхронизации можно рассматривать как двухполюсную сеть (ДС), представляющую собой связный подграф. Связь между парой узлов сети синхронизации будет существовать в случае исправности всех ребер хотя бы одного из маршрутов между данной парой узлов. В графе одновременно могут существовать несколько связных подграфов l между каждой парой вершин. Тогда задача определения надежности пути будет сводиться к поиску хотя бы одного исправного пути.

Решая поставленную задачу, будем считать, что все ребра идентичны по надежности. А в качестве основного метода будем применять метод прямого перебора [4].

В случае, когда маршруты независимы друг от друга, то вероятность исправности двухполюсной сети можно вычислить по формуле:

$$p(E) = 1 - \prod_{i=1}^h (1 - p(e_i)), \quad (1)$$

где $p(e_i)$ – вероятность исправности i -го пути, состоящего из ребер e ; h – общее количество путей.

Для метода прямого перебора необходимо выражение (1) представить в виде:

$$p(E) = \sum_{i=1}^{K_1} p(e_i) - \sum_{i < v}^{K_2} p(e_i e_v) + \dots + (-1)^{h-1} p(\bigwedge_{i=1}^N e_i).$$

Последнее выражение представляет собой вероятность суммы совместных независимых событий.

$$K_n = C_h^n, \quad n = 1, 2, 3, \dots, h.$$

Более компактно выражение (1) можно записать в виде:

$$p(E) = \sum_{n=1}^h (-1)^{n-1} p(E^n),$$

где $p(E^n)$ – вероятность исправности хотя бы одного подмножества путей, которую можно определить по формуле:

$$p(E^n) = \sum_{k=1}^{K_n} p(I_{nk}).$$

Подмножество путей I_{nk} содержит k -ю комбинацию n путей из общего числа сочетаний из h по n .

Так как большинство путей двухполюсной сети коррелированы друг с другом, то для исключения корреляции путей при вычислении I_{nk} можно использовать подход, основанный на вычислении условных вероятностей исправности путей в слагаемых. Тогда $p(I_{nk})$ можно представить в виде:

$$p(I_{nk}) = p(e_i)p(e_v | e_i)...p(e_j | e_i e_v \dots). \quad (2)$$

Выражение (2) содержит n множителей. А условные вероятности можно определить по формуле:

$$p(e_j | e_i e_v \dots) = \frac{p(e_j)}{\prod_{l_k \in \xi} p(l_k)},$$

где ξ – множество элементов двухполюсной сети, общих для пути φ_j и путей φ_i, φ_v , а вероятность $p(e_j)$ вычисляется следующим образом:

$$p(e_j) = \prod_{l_h \in \varphi_j}^{r(\varphi_j)} p(l_h).$$

Оценивая надежность сети тактовой сетевой синхронизации, необходимо учитывать не только надежность линий связи, по которым передается сигнал синхронизации, но и надежность генераторного оборудования.

Оценить надежность генераторного оборудования сети тактовой сетевой синхронизации можно с помощью модели, представляющей собой Марковскую цепь, вершинами которой являются состояния, в которых может находиться генератор [5]. На основании полученных данных можно сделать вывод о надежности сети в целом.

Заключение

Обобщая все вышесказанное, можно сказать, что надежность сети связи – одна из важнейших характеристик ее функционирования. Современные сети связи и новые технологии предъявляют более высокие требования к надежности сети.

Сеть тактовой синхронизации является неотъемлемой частью сети связи. Метод, описанный в статье, может быть применен для оценки структурной надежности сети. Для оценки аппаратной надежности стоит использовать метод оценки работы элемента сети тактовой сетевой синхронизации, основанный на свойствах Марковских цепей и теории вероятностей.

Литература

1. Атея А. А., Мутханна А. С., Кучерявый А. Е. Интеллектуальное ядро для сетей связи 5G и Тактильного интернета на базе программно-конфигурируемых сетей // Электросвязь. 2019. № 3. С. 34–40.
2. Ateya A. A., Muthanna A., Makolkina M., Koucheryavy A. Study of 5G services standardization: specifications and requirements // 2018 10th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT). 2018. p. 8631201.
3. Нетес В. А. Проблемы обеспечения надежности сетей пост-NGN // Технологии информационного общества. Материалы XIII Международной отраслевой научно-технической конференции. 2019. С. 72–74.
4. Батенков К. А. Анализ надежности многополюсных сетей связи на основе метода полного перебора типовых состояний // Фундаментальные и прикладные исследования молодых учёных.

Сборник материалов III Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. 2019. С. 250–256.

5. Лобастова М.В., Матюхин А.Ю. Оценка надёжности работы элемента сети тактовой сетевой синхронизации // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2020. № 3 (39). С. 27–36.

References

1. Ateya A. A., Muthanna A. S., Koucheryavy A. E. Intelligent Core Network for 5G and Tactile Internet Systems Based on Software Defined Networks // *Electrosvyaz*. 2019. No 3. pp. 34–40.

2. Ateya A. A., Muthanna A., Makolkina M., Koucheryavy A. Study of 5G services standardization: specifications and requirements // 2018 10th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT). 2018. p. 8631201.

3. Netes V. A. Problemy` obespecheniya nadezhnosti setej post-NGN // *Texnologii informacionogo obshhestva. Materialy` XIII Mezhdunarodnoj otraslevoj nauchno-texnicheskoj konferencii*. 2019. S. 72–74.

4. Batenkov K.A. Multi-Terminal Network Reliability Analysis on Basis of Complete Model State Enumeration // *Fundamental`ny`e i prikladny`e issledovaniya molody`x uchyony`x. Sbornik materialov III Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii studentov, aspirantov i molody`x uchyony`x*. 2019. S. 250–256.

5. Lobastova M.V., Matyuxin A.Yu. Ocenka nadezhnosti raboty` e`lementa seti taktovoj setевой синхронизации // *Radio Engineering and Telecommunication Systems*. 2020. No 3 (39). pp. 27–36.

Лобастова Мария Викторовна – старший преподаватель кафедры Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, mlobastovabk1@rambler.ru

Lobastova Maria – Senior Lecturer, The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications, mlobastovabk1@rambler.ru

Матюхин Александр Юрьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, matukhin@list.ru

Matyukhin Alexander – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications, matukhin@list.ru

Мутханна Аммар Салех Али – кандидат технических наук, доцент кафедры Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, ammarexpress@gmail.com

Muthanna Ammar – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications, ammarexpress@gmail.com