

б) зависимость КПД от мощности и КИМ (рис. 6) показывает, что для увеличения энергоэффективности необходимо более полно использовать мощность тяговых двигателей в течение длительного времени.

Для оптимизации показателей энергетической эффективности пассажирских электропоездов с АТП предлагается разработать адаптивную автоматическую систему изменения числа тяговых осей. Частота вращения одной из отключенных осей (которая в этом случае будет представлять собой «бегунковую ось») послужит входным сигналом для системы управления тягой и поможет отслеживать возникновение боксования и юза.

Библиографический список

1. Бахвалов Ю. А. Моделирование электромеханической системы электропоезда с асинхронным тяговым приводом / Ю. А. Бахвалов, А. А. Зарифьян,

П. Г. Колпахчян и др. ; под ред. Е. М. Плохова. – М. : Транспорт, 2001. – 286 с.

2. Гапанович В. А. Энергосбережение на железнодорожном транспорте / В. А. Гапанович, В. Д. Авилов, Б. А. Аржанников и др. ; под ред. В. А. Гапановича. – М. : МИСиС, 2012. – 620 с.

3. Зарифьян А. А. Особенности схем вспомогательного привода современных локомотивов с асинхронными тяговыми двигателями / А. А. Зарифьян // Бюл. результатов науч. исследований. – 2014. – № 4 (13) – С. 29–35. – URL: www.brmi.info.

4. Ильинский Н. Ф. Основы электропривода / Н. Ф. Ильинский. – М. : Изд-во МЭИ, 2003. – 224 с.

5. Сергеев С. В. Знакомьтесь: тепловоз 3ТЭ116У / С. В. Сергеев, М. В. Федотов, А. Л. Ткаченко и др. // Локомотив. – 2014. – № 3. – С. 38–42.

6. Система управления и диагностики электропоезда ЭП10 / под ред. С. В. Покровского. – М. : Интекст, 2009. – 356 с.

7. Солтус К. П. Знакомьтесь : электропоезд ЭП20 / К. П. Солтус // Локомотив. – 2013. – № 4–6.

УДК 004.056.53

Г. А. Бекбаев, Н. В. Евглевская, А. А. Привалов, Е. В. Скуднева

Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

СПОСОБ МОНИТОРИНГА ПРОЦЕССА ПЕРЕДАЧИ СООБЩЕНИЙ ПО КАНАЛАМ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ ОАО «РЖД»

Для обеспечения устойчивой работы телекоммуникационных устройств и, как следствие, предоставления потребителям услуг требуемого качества создана система мониторинга. Известны способы построения систем мониторинга, при реализации которых следует передавать по каналам телекоммуникационной системы (ТКС) большой объем дополнительной информации, что удлиняет цикл управления ТКС. Для сокращения цикла управления ТКС авторы статьи разработали оценку состояния ТКС ОАО «РЖД» по спектральным характеристикам процесса передачи сообщений (пакетов или кадров данных). Изменение времени передачи сообщений (пакетов или кадров данных) и вида распределения его отклонений от среднего значения, как правило, обусловлены изменением условий функционирования каналов ТКС.

Телекоммуникационная система, нормальный закон распределения, экспоненциальный закон распределения, длительность цикла управления ТКС.

Одной из главных задач управления телекоммуникационными системами (ТКС) ОАО «РЖД» является оценка состояния и готовности системы предоставлять пользователям услуги заданного качества.

Эта задача решается за счет создания и обеспечения функционирования Единой системы мониторинга и администрирования (ЕСМА). Реализованный в ЕСМА подход основан на наблюдении за значениями электрических параметров сетевых элементов. Это приводит, как правило, к необходимости передачи по каналам ТКС ОАО «РЖД» дополнительной информации значительного объема. С увеличением числа узлов в сети задача обработки получаемых при этом данных становится NP-сложной, а в результате длительность цикла управления ТКС ОАО «РЖД» – недопустимо большой. В то же время интегральной характеристикой, отображающей состояние, условия и качество функционирования ТКС ОАО «РЖД», является время успешной передачи (доставки) сообщений (пакетов или кадров данных), функционально зависящее от состояния и степени работоспособности сетевых элементов. Следовательно, измерение времени передачи сообщений косвенно характеризует состояние сетевых элементов и – при условии предварительного обучения системы мониторинга – позволяет устанавливать текущее состояние ТКС в процессе ее функционирования без передачи дополнительной информации.

Постановка задачи

Для упрощения математических вычислений и сокращения объемов передаваемой по каналам ТКС ОАО «РЖД» технологиче-

ской информации предлагаем оценивать состояние ТКС ОАО «РЖД» по спектральным характеристикам процесса передачи сообщений (пакетов или кадров данных).

Решение

Рассмотрим случайный импульсный процесс $T(t)$, в котором передние и задние фронты импульсов соответствуют наблюдаемому и фиксируемому на каждом сетевом узле времени поступления на передачу и приема сообщения (пакета или кадра данных) (рис. 1). При этом предполагается, что амплитуды импульсов равны единице.

Примем также, что период поступления сообщения на передачу является случайной величиной, равной T . Так как для большого промежутка времени T_N , в течение которого было принято $(2N + 1)$ сообщений, с математическим ожиданием \bar{T} и дисперсией интервалов времени между поступлениями σ_T справедливо [1]:

$$\begin{aligned} T_N &= (2N + 1)T + k\sigma_T\sqrt{2N + 1} = \\ &= (2N + 1)T\left(1 + \frac{k\sigma_T}{\sqrt{2N + 1}}\right) \sim (2N + 1)T, \end{aligned}$$

без потери общности дальнейших рассуждений можно считать, что $T = \text{const}$.

Длительность импульсов τ_n , $n = \overline{1, 2N - 1}$ в случайном процессе $T(t)$ соответствует времени передачи сообщения (передачи данных) по каналу ТКС.

Энергетический спектр $F(\omega)$ указанного случайного процесса определяется по формуле

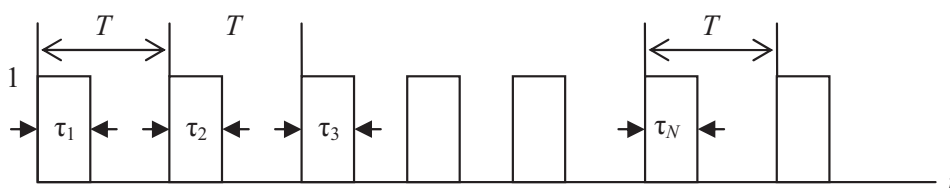


Рис. 1. Случайный импульсный процесс $T(t)$

$$F(\omega) = \frac{2}{T} \{K_0(\omega) - K_\infty(\omega) + \Psi(\omega) + \frac{2\pi}{T} K_\infty(\omega) \sum_{r=1}^{\infty} \delta(\omega - \frac{2\pi r}{T})\},$$

где

$$K_\infty(\omega) = \lim_{\substack{p \rightarrow 0 \\ (p \rightarrow \infty)}} \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} xy g(\omega x) \overline{g(\omega y)} \omega_{2\tau}(x, y, pT) dx dy;$$

$g(\omega x)$ – спектральная плотность функции, описывающей форму импульса; $\omega_{1\tau}(x)$, $\omega_{2\tau}(x, y, pT)$ – одно- и двумерная функции распределения времени передачи сообщения (пакета или кадра данных), соответственно [1].

Так как в нашем случае форма импульсов прямоугольная,

$$xg(\omega x) = \int_0^1 x \exp(-i\omega t) dt = \int_0^x \exp(-i\omega u) du = \frac{1 - \exp(-i\omega x)}{i\omega},$$

а значит,

$$K_p(\omega) = \frac{1}{\omega^2} \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} [1 - \exp(-i\omega x)] \times [1 - \exp(-i\omega y)] \omega_{2\tau}(x, y, pT) dx dy = \frac{1}{\omega^2} [1 + \Theta_{2\tau}(\omega, -\omega, pT) - \Theta_{1\tau}(\omega) \exp(i\omega\tau_0) - \Theta_{1\tau}(-\omega) \exp(-i\omega\tau_0)],$$

где $\Theta_{2\tau}(\omega, -\omega, pT)$, $\Theta_{1\tau}(\omega)$ – двух- и одномерная характеристические функции случайного отклонения времени передачи сообщения (пакета или кадра данных) от своего среднего значения τ_0 , соответственно.

Определив предельным переходом при $p \rightarrow 0$ и $p \rightarrow \infty$ значения $K_0(\omega)$ и $K_\infty(\omega)$, получим энергетический спектр, включающий дискретную

$$F_D(\omega) = \frac{4\pi}{\omega^2 T^2} [1 + |\Theta_{1\tau}(\omega)|^2 - \Theta_{1\tau}(\omega) \exp(i\omega\tau_0) - \Theta_{1\tau}(-\omega) \exp(-i\omega\tau_0)] \sum_{r=-\infty}^{\infty} \delta(\omega - \frac{2\pi r}{T})$$

и непрерывную

$$F_I(\omega) = \frac{2}{\omega^2 T^2} [1 + |\Theta_{1\tau}(\omega)|^2]$$

составляющие процесса передачи сообщений по каналам ТКС, принимая, что изменения времени передачи независимы и представляют собой белый шум [2].

Если случайные отклонения времени передачи сообщений (пакетов или кадров данных) описываются нормальным законом распределения с дисперсией σ_τ^2 и с коэффициентом корреляции $R_{p\tau}$, то

$$\Theta_{1\tau}(\omega) = \exp(-\frac{\sigma_\tau^2 \omega^2}{2});$$

$$\Theta_{2\tau}(\omega_1, \omega_2, pT) = \exp\left\{-\frac{\sigma_\tau^2}{2} (\omega_1^2 + 2R_{p\tau} \omega_1 \omega_2 + \omega_2^2)\right\};$$

и

$$F(\omega) = \frac{2\pi}{\omega^2 T} \times \left\{ \begin{aligned} &1 - \exp(-\sigma_\tau^2 \omega^2) + \exp(-\sigma_\tau^2 \omega^2) \times \\ &\times \sum_{k=1}^{\infty} \left[\frac{2\sigma_\tau^{2k} \omega^{2k}}{k!} \sum_{p=1}^{\infty} R_{p\tau}^k \cos p\omega T \right] + \\ &+ \frac{2\pi}{T} (1 + \exp(-\sigma_\tau^2 \omega^2) - 2 \exp(-\frac{\sigma_\tau^2 \omega^2}{2}) \cos \omega\tau_0) \sum_{r=1}^{\infty} \delta(\omega - \frac{2\pi r}{T}) \end{aligned} \right\}.$$

Аналогично при отклонении времени передачи сообщений, подчиняющемся экспоненциальному закону, имеем

$$\Theta_{1\tau}(\omega) = \frac{1}{1 - 2i\sigma_\tau \omega};$$

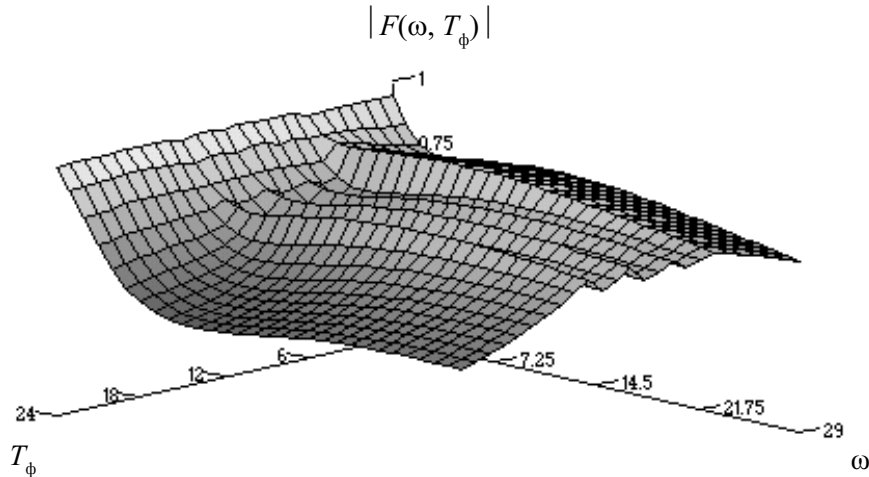


Рис. 2. Изменение энергетического спектра ТКС в течение функционирования

$$\Theta_{2\tau}(\omega, -\omega, pT) = \frac{1}{1 + 4\sigma_{\tau}^2 \omega^2 (1 - R_{\rho\tau}^2)};$$

$$F(\omega) = \frac{2}{\omega^2 T} \times \left\{ \begin{aligned} & \times \frac{4\sigma_{\tau}^2 \omega^2}{1 + 4\sigma_{\tau}^2 \omega^2} + \frac{2\pi}{T} \cdot \frac{2\tau_0^2 \omega^2}{1 + 4\sigma_{\tau}^2 \omega^2} \times \\ & \times \left(\frac{\sin^2 \frac{\omega \tau_0}{2}}{\frac{\omega^2 \tau_0^2}{4}} + \frac{2\sigma_{\tau} \sin \omega \tau_0}{\omega \tau_0^2} + \frac{2\sigma_{\tau}^2}{\tau_0^2} \right) \times \\ & \times \sum_{r=-\infty}^{\infty} \delta\left(\omega - \frac{2\pi r}{T}\right) \end{aligned} \right\},$$

а при равномерном распределении отклонений времени передачи –

$$F(\omega) = \frac{2}{\omega^2 T} \times \left\{ \begin{aligned} & \times \left[1 - \frac{\sin^2 \omega T}{\omega^2 T^2} + \frac{2\pi}{T} \left[1 - 2 \frac{\sin \omega T}{\omega T} \times \right. \right. \\ & \left. \left. \times \cos \omega \tau_0 + \frac{\sin^2 \omega T}{\omega^2 T^2} \right] \sum_{r=-\infty}^{\infty} \delta\left(\omega - \frac{2\pi r}{T}\right) \right\}.$$

На рис. 2 показана эволюция спектра процесса передачи сообщений по фрагменту ТКС,

функционирующему в условиях случайных и антагонистических воздействий.

Заключение

Полученные результаты показывают, что изменение времени передачи сообщений (пакетов или кадров данных) и вида распределения его отклонений от своего среднего значения, как правило, обусловлены изменением условий функционирования каналов ТКС. То есть при предварительном обучении системы мониторинга, основанной на спектральном оценивании процесса передачи, появляется возможность без дополнительного информационного обмена устанавливать состояние ТКС, идентифицировать условия ее функционирования, а также оперативно выявлять вышедшие из строя элементы ТКС.

Библиографический список

1. Левин Б. Р. Теория случайных процессов и ее применение в радиотехнике / Б. Р. Левин. – М. : Сов. радио, 1957.
2. Привалов А. А. Метод топологического преобразования стохастических сетей и его использование для анализа систем связи ВМФ / А. А. Привалов. – СПб. : ВМА, 2000. – 160 с.