

где $U_1(x)$, $U_2(x)$, $U_3(x)$, $I_1(x)$, $I_2(x)$, $I_3(x)$ – напряжения и токи в точке с координатой x , соответственно, первого, второго рельсов и контактного провода; (Z) – матрица комплексных удельных продольных сопротивлений проводов многопроводной линии с учетом их взаимного электромагнитного влияния; (Y) – матрица комплексных удельных поперечных проводимостей между проводами линии. При нахождении постоянных интегрирования системы дифференциальных уравнений использовано значение питающего напряжения тяговой подстанции, ток электровоза и соотношения между током и напряжением на приемном конце рельсовой цепи. На основе разработанной компьютерной программы проведено исследование электромагнитного влияния тягового электроснабжения на работу рельсовых цепей в зависимости от различных факторов, в том числе от значения продольной и поперечной асимметрии РЦ, величины и спектрального состава тягового тока при разных режимах ведения локомотива.

УДК 656.259.1

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ УСТРОЙСТВ СЧЕТА ОСЕЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

В. И. ГАВРИЛЮК, К. В. ГОНЧАРОВ

Днепропетровский государственный технический университет железнодорожного транспорта

При разработке устройств счета осей подвижного состава (УСО ПС) необходимо определить требования к ним по обеспечению необходимого уровня безопасности. Под безопасностью систем железнодорожной автоматики (СЖАТ) понимают их свойство непрерывно сохранять исправное, работоспособное или защитное состояние в течение некоторого времени или некоторой наработки. В целом проблему обеспечения безопасности необходимо рассматривать как часть общей проблемы обеспечения надежности. Выработка требований к СЖАТ по обеспечению безопасности подразумевает определение критериев опасного отказа, параметров и уровня безопасности, а также концепции безопасности. В качестве концепции безопасности для УСО ПС в первом приближении можно принять концепцию, сформулированную для микроэлектронных систем, согласно которой одиночные дефекты аппаратных и программных средств не должны приводить к опасным отказам, а должны обнаруживаться с заданной вероятностью на рабочих и тестовых воздействиях не позднее, чем в системе возникнет второй дефект. Под отказом УСО будем понимать любую ошибку в подсчете числа проследовавших осей. Поскольку для УСО при общем рассмотрении без учета особенностей конкретной схемы, в которой возможно его применение, невозможно определить, какая из ошибок счета осей приведет к опасной ситуации, будем считать каждую ошибку в подсчете осей опасным отказом. Такое предположение приводит к заниженной оценке безопасности УСО. Под параметром безопасности будем понимать достоверность счета, а под критерием опасного отказа – нарушение достоверности счета осей подвижного состава. При определении требуемого уровня безопасности УСО ПС необходимо исходить из существующих уровней безопасности для релейных СЖАТ.

На достоверность информации, получаемой от точечных путевых датчиков (ТПД), влияет целый ряд случайных факторов, в том числе механические воздействия со стороны подвижного состава, климатические факторы (температура, влажность), электромагнитные помехи, различие колес подвижного состава по типу, степени износа и т.д. Для повышения достоверности информации от ТПД необходимым является рациональный выбор электрических, конструкционных, схемных параметров, позволяющий увеличить отношение полезного сигнала, формируемого на выходе датчика при проследовании колеса подвижного состава, к сигналу, возникающему вследствие изменения перечисленных факторов. Анализ воздействия на ТПД эксплуатационных факторов, электромагнитных помех и методы синтеза помехоустойчивых приемников рассмотрены авторами в [1].

С целью повышения достоверности работы ТПД проведено исследование влияния электрических и конструкционных параметров дифференциального трансформаторного датчика на его выходной сигнал.

На выходе трансформаторного ТПД при проходе над ним колеса последовательно формируются два электрических сигнала противоположной полярности

$$U_c = \pm j\omega \Delta k_{cb} W_1 W_2 \sqrt{k_{L1} k_{L2}} I_1, \quad (1)$$

где Δk_{cb} – изменение коэффициента связи между передающей и одной из приемных обмоток вследствие появления колеса над этой обмоткой ТПД. Для определения значения Δk_{cb} проведено математическое моделирование электромагнитных процессов в системе «датчик–рельс–колесо» [1]. Получено, что на низких частотах доминирующими являются ферромагнитные свойства колесной стали, а на высоких – токовихревой эффект. На частоте около 10 кГц эти влияния взаимокомпенсируются и выходной сигнал ТПД – минимальный. Для повышения выходного сигнала ТПД необходимо выбирать рабочую частоту менее 3 кГц или более 100 кГц. Однако на частотах менее 3 кГц время проследования колеса над датчиком при скоростях движения подвижного состава $V=140\dots160$ км/ч оказывается соизмеримым с периодом электромагнитных колебаний в обмотках, что уменьшает достоверность регистрации прохода колеса приемным устройством. При увеличении частоты датчика выше 150 кГц выходной сигнал датчика изменяется мало, и, кроме этого, при этих частотах начинают проявляться резонансные эффекты в катушках датчика. Поэтому рациональным является выбор рабочей частоты датчика в пределах 100–150 кГц. Для увеличения выходного сигнала ТПД при определенном значении U_{gen} , которое ограничивается напряжением источника питания, можно, как видно из формулы (1) уменьшить количество витков W_1 вплоть до одного, однако при этом может понадобиться использование согласующего трансформатора между генератором и передающей катушкой. В зависимости от схемотехнических особенностей генератора число витков первичной обмотки ТПД может быть выбрано от 1 до 10–15. Увеличение числа витков в приемной катушке приводит в соответствии с (1) к увеличению амплитуды выходного напряжения генератора. Однако при этом увеличиваются активные потери и уменьшается собственная резонансная частота приемной катушки. При большом числе витков резонансная частота катушки становится соизмеримой с рабочей частотой датчика. С учетом вышеизложенного рациональным является выбор числа витков $W_2 = 40\dots50$. Для исследования влияния конструкционных параметров ТПД на его выходной сигнал необходимо учесть изменение положения гребня колеса относительно датчика вследствие случайных факторов, таких как различие типа, степени износа колес и др. Вследствие изменения указанных факторов расстояние между гребнем колеса и поверхностью ТПД может изменяться от $\delta_{min} = 6$ мм до $\delta_{max} = 22$ мм, а поперечное смещение гребня колеса по отношению к ближней к рельсу боковой грани датчика – от $D_{min} = 12,5$ мм до $D_{max} = 66,5$ мм. При максимальном отходе гребня от рельса наибольший выходной сигнал датчика получается при ширине катушек 80 мм для расстояния δ_{max} и 70 мм для расстояния δ_{min} . В случае проследования колеса над датчиком при $D = D_{cp}$ для расстояния δ_{max} максимальный выходной сигнал достигается для катушек шириной 65 мм, а для расстояния δ_{min} – шириной 48 мм. Наименьшее изменение сигнала датчика при изменении горизонтального положения гребня колеса от D_{min} до D_{max} для расстояния δ_{max} достигается при использовании катушек шириной 80 мм, а для расстояния δ_{min} – при выборе катушек шириной от 65 до 80 мм.

С использованием формулы (1), а также результатов математического моделирования был рассчитан относительный выходной сигнал датчика в зависимости от изменения горизонтального положения гребня колеса при максимальном и минимальном расстояниях между гребнем и датчиком для ширины катушек в диапазоне от 40 до 110 мм с шагом 5 мм. По полученным зависимостям для каждого значения ширины катушек определяли максимально и минимально возможные значения сигнала датчика при любых возможных положениях гребня колеса, которые определяются областью $(D_{min} - D_{max}, \delta_{min} - \delta_{max})$, а также отношение максимального и минимального значений. С учетом всех факторов рациональным является выбор ширины катушек датчика в пределах 75–80 мм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Гаврилюк В. И., Гончаров К. В. Математическое моделирование работы токовихревого путевого датчика // Информаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2001. – № 2. – С.3–6.