

$$u(t) = u_{\text{л}}(t) + \sum_{k=1}^N u_k(t), \quad (8)$$

где N – число корней.

Это соответствует физическому смыслу задачи: переходные процессы в линии должны затухать как по причине потерь в нагрузке, так и по причине затухания импульса входного напряжения.

Тогда допустимо сделать вывод по докладу, что операторный метод позволяет осуществить расчет помеховых импульсных напряжений в нагрузках линий передачи сигналов электронных узлов. Основную погрешность в расчет вносит численный метод определения корней характеристического уравнения. Как показывает практика, это ограничение не является определяющим. Поэтому рассмотренный метод может использоваться при предиктивном проектировании аппаратуры современных СЖАТ.

УДК 656.25

РАСЧЕТ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ В АКТИВНО-ЕМКОСТНЫХ ЦЕПЯХ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Д. В. КОМНАТНЫЙ

Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, Республика Беларусь

В различных областях цифровой электронной техники наличествуют объекты, расчетные модели которых представляют собой линейные цепи с распределенными RC -параметрами. Первой группой таких объектов являются микросхемы, структуры которых образованы чередующимися слоями проводящих и диэлектрических материалов. Второй – кабели цифровых систем передачи информации. Для анализа передачи цифровых сигналов, особенно для оценки искажения передачи импульсов по кабелю, находят широкое применение импульсные характеристики и глаз-диаграммы. Расчет этих характеристик осуществляется по математической модели кабеля как цепи с распределенными RC -параметрами.

Широкое распространение микропроцессорных систем автоматики и цифровых систем оперативно-технологической связи на железнодорожном транспорте делает востребованным анализ функционирования указанных выше объектов техники для разработчиков систем автоматики, телемеханики и связи железных дорог. Это объясняется тем, что в микроэлектронных и микропроцессорных системах автоматики и телемеханики должна применяться высококачественная элементная база, разработанная на высоком техническом уровне. От работы оперативно-технологической связи во многом зависит бесперебойное осуществление перевозочного процесса. Следовательно, представляют практический и теоретический интерес методы анализа передачи импульсных сигналов в RC -цепях с распределенными параметрами.

В связи с этим, в докладе рассматривается метод анализа распространения импульсных сигналов в линейной цепи с распределенными RC -параметрами, отличающийся выбором тестового сигнала. Удачный выбор этого сигнала позволяет рассчитать электромагнитные процессы при распространении реального сигнала с высокой точностью и, вместе с тем, получить расчетные соотношения в замкнутой форме. По таким соотношениям расчеты реальных устройств осуществляются со сравнительно меньшими затратами времени.

В докладе рассматривается цепь с распределенными параметрами: погонным омическим сопротивлением R и погонной емкостью C . На ее входе подключен источник ЭДС с внутренним омическим сопротивлением R_0 , на выходе подключена нагрузка с омическим сопротивлением R_l . Операторное волновое сопротивление такой цепи $Z(p) = \sqrt{\frac{R}{pC}} = \frac{1}{\sqrt{p}} \sqrt{\frac{R}{C}} = \frac{K}{\sqrt{p}}$, операторный

коэффициент распространения – $\gamma = RC\sqrt{p}$.

Для анализа работы указанных выше объектов техники достаточен расчет напряжения на нагрузке цепи, для чего применяется коэффициент передачи. На основании известного выражения

коэффициента передачи цепи с распределенными параметрами и активными нагрузками коэффициент передачи для RC -цепи имеет вид

$$K(p) = \frac{R_0^2 K \sqrt{p}}{(\sqrt{p} R_0 + K)(\sqrt{p} R_l + K)} e^{-lRC\sqrt{p}}, \quad (1)$$

где l – длина линии, м.

В качестве тестового импульса в литературных источниках предлагается использовать аппроксимацию прямоугольного импульса и импульса с искаженным фронтом в виде разности дополнительных интегралов вероятности

$$u(t) = U_{\text{вх}} \left[\operatorname{erfc} \frac{\delta}{2\sqrt{t}} - \operatorname{erfc} \frac{\delta}{2\sqrt{t - t_n}} \right], \quad (2)$$

где $U_{\text{вх}}$ – амплитуда импульса, В; t – время, с; δ – параметр искажения фронта импульса, с; t_n – длительность импульса, с. Также $\operatorname{erfc}(t) = 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^t e^{-y^2} dy$.

Тогда изображение по Лапласу выражения (2) по теореме запаздывания операционного исчисления имеет вид

$$U(p) = U_{\text{вх}} \left[\frac{1}{p} e^{-\delta\sqrt{p}} - \frac{1}{p} e^{-\delta\sqrt{p}} e^{-pt_n} \right]. \quad (3)$$

Изображение напряжения на нагрузке получается, как произведение выражений (1) и (3). Тогда для получения оригинала напряжения на нагрузке требуется найти оригиналы следующих операторных выражений

$$\frac{R_0^2 K \sqrt{p}}{(\sqrt{p} R_0 + K)(\sqrt{p} R_l + K)} e^{-lRC\sqrt{p}} \frac{1}{p} e^{-\delta\sqrt{p}}; \quad (4)$$

$$\frac{R_0^2 K \sqrt{p}}{(\sqrt{p} R_0 + K)(\sqrt{p} R_l + K)} e^{-lRC\sqrt{p}} \frac{1}{p} e^{-\delta\sqrt{p}} e^{-pt_n}. \quad (5)$$

По теореме свертывания операционного исчисления оригинал выражения (4) имеет вид

$$\frac{R_0^2}{R_0 + R_l} \int_0^t \frac{\exp\left(-\frac{(RCl + \delta)^2}{4\tau}\right)}{\sqrt{\pi\tau}} \left(e^{-\frac{K}{R_0}(t-\tau)} - e^{-\frac{K}{R_l}(t-\tau)} \right) d\tau. \quad (6)$$

Так как выражение (5) отличается от (4) только множителем e^{-pt_n} , то по теореме запаздывания операционного исчисления оригинал (5) получается по выражению (6), в котором вместо τ записано $\tau - \tau_n$ и $d\tau = d(\tau - \tau_n)$.

Таким образом, использование тестового импульса в виде (2) позволяет легко получить выражения для мгновенного напряжения на нагрузке цепи с распределенными RC -параметрами. При этом применяются только известные теоремы операционного исчисления и таблицы оригиналов и изображений. Однако интеграл в (6) не может быть взят в аналитической форме. Поэтому расчеты требуют значительной работы по численному интегрированию.

Несмотря на это обстоятельство, полученные выражения полностью решают задачу определения электрического режима в омической нагрузке цепи с распределенными RC -параметрами и могут найти применение при проектировании узлов железнодорожной автоматики и линий связи.

Следует отметить, что в литературных источниках описано применение тестового импульса (2) для анализа перекрестных помех в проводных линиях связи. Параметры этих линий существенно отличаются от параметров линий, рассматриваемых в докладе. Использование тестового импульса (2) для анализа функционирования элементной базы современных систем железнодорожной автоматики и телемеханики и для анализа линий современной связи не рассматривалось. Поэтому результаты доклада имеют существенную новизну и актуальность для обеспечения безопасности движения поездов на железных дорогах.