

Перспективные компьютерные технологии в машиностроении **(CAD/CAM/CAE-системы)**

УДК 681.3(06)

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПО ИНТЕРФЕЙСУ RS-485 ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ СЕТЕЙ

Арутюнян А.Р., Масюк А.Л., Арутюнян С.Р.

(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Введение

Одной из наиболее динамично развивающихся областей современной вычислительной техники является микроконтроллерная техника. Современные микроконтроллеры и базирующиеся на них изделия являются основой так называемых «систем малой автоматизации», широко применяющихся в машино- и приборостроении, для автоматизации технологических, измерительных, исследовательских и лабораторных систем, а также для автоматизации сложного промышленного и бытового оборудования. Подобные системы применяются как в качестве управляющих органов произведенных, так и в процессе разработки и построения новых моделей машин и автоматов. Развитие микропроцессорной и микроконтроллерной техники дало толчок развитию распределенных систем управления. Распределенные системы управления в основном используют локально-вычислительные сети для обмена информацией. Специализированные локальные сети, используемые в системах малой автоматизации, также имеют ряд специфических особенностей, связанных с необходимостью обеспечения упрощенного алгоритма функционирования, высокой надежности и производительности, низкой стоимости, простоты установки, наладки и обслуживания [1, 2].

Для построения эффективной локально-вычислительной сети необходимо произвести анализ сегментов будущей сети. Для анализа сегментов необходимо иметь соответствующую математическую модель. Вся сложность анализа заключается в том, что математическая модель не описана в литературе. Доступной является информация о параметрах кабеля используемого при построении сети [3, 4], а также стандартах интерфейса обмена внутри сети [2, 5]. Таким образом, обобщение и анализ доступной информации о параметрах канала передачи, интерфейсе обмена, протоколе передачи данных, и как следствие построение математической модели сегмента сети, является достаточно важной исследовательской задачей.

Построение математической модели

При передаче данных по каналу, содержащему шум, можно отметить два случая. Первый случай, когда передаваемый сигнал всегда производит такой же принимаемый сигнал, т.е. принятый сигнал – это определенная (некоторая) функция от передаваемого сигнала, данный эффект назовем искажением. Второй случай, когда функция имеет инверсный вид, ни один переданный сигнал не совпадает с принятым сигналом, в этом случае искажение можно скорректировать, выполняя операцию инвертирования принятого сигнала.

Более интересным является случай, когда сигнал не всегда подвергается одним и тем же изменениям во время передачи. В этом случае мы можем предположить, что принятый сигнал E есть функция от переданного сигнала S и шума N :

$$E = f(S, N) \quad (1)$$

Шум можно представить как стохастический процесс [6]. Из формулы (1) видно, что передаваемый сигнал можно представить в виде:

$$b_{rx} = S(b_{tx}) + N(b_{tx}), \quad (2)$$

где операция «+» является операцией комбинирования сигналов,

b_{rx} – принятый бит информации;

b_{tx} – переданный бит информации;

функция S – функция передачи данных по каналу связи;

функция N – функция искажения сигнала шумом в канале связи.

Следовательно, если определить функции S , N и операцию «+», можно получить математическую модель передачи данных.

Передача данных по каналу связи (функция S) представляет собой прохождение сигнала через линейную систему. Динамические характеристики линейной системы с постоянными параметрами можно описать с помощью *весовой функции* $h(t)$, иногда называемой *импульсной переходной функцией*, которая определяется как реакция в произвольный момент времени на импульсное воздействие, поступившее на вход системы за t единиц времени до этого момента. Полезность весовой функции для описания такой системы связана со следующим обстоятельством. Для произвольного входного сигнала $x(t)$ выход системы $y(t)$ задается *интегралом свертки* [7]:

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau)x(t - \tau)d\tau,$$

т. е. значение выходного сигнала $y(t)$ является взвешенной линейной (бесконечной) суммой по всей реализации входного сигнала $x(t)$.

Если дельта-функцию [8] представить в виде функции единичного импульса

$$\tilde{s}(t) = \begin{cases} 1: 0 \leq t < \Delta t; \\ 0: \Delta t \leq t, \end{cases} \quad (4)$$

то отклик на функцию $\tilde{s}(t)$ обозначим $\tilde{h}(t)$.

Импульсная переходная функция $h(t)$ выражается через $\tilde{h}(t)$ следующим образом [8]:

$$h(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\tilde{h}(t)}{\Delta t}, \quad (5)$$

где Δt – длительность импульса функции $\tilde{s}(t)$.

Из (5) видно, что при достаточно малом Δt , $h(t) \approx \tilde{h}(t)$. Таким образом (3) можно представить в виде [8]:

$$y(t) = \sum_{i=0}^{\infty} x(t_i)\tilde{h}(t - t_i). \quad (6)$$

Таким образом, если определить функцию $\tilde{h}(t)$, мы получим математическую модель канала данных, которая легко представима в виде, удобном для написания программы моделирования передачи данных по сегменту сети (каналу связи).

Будем считать, что канал – это экранированный провод из 4 витых пар, класса 5. Канал можно представить эквивалентной схемой изображенной на рисунке 1. Электрические свойства витой пары, как обычной направляющей системы электромагнитных колебаний характеризуются сопротивлением R , индуктивностью проводников L , емкостью C , и проводимостью изоляции G . Величины R и G

обуславливают тепловые потери в меди и диэлектрике соответственно. L и C определяют реактивность системы, или, иначе говоря, ее частотные свойства. Особо нужно отметить, что применение экрана вызывает рост емкости примерно на 30%, что существенно снижает эксплуатационные свойства такого кабеля [3].

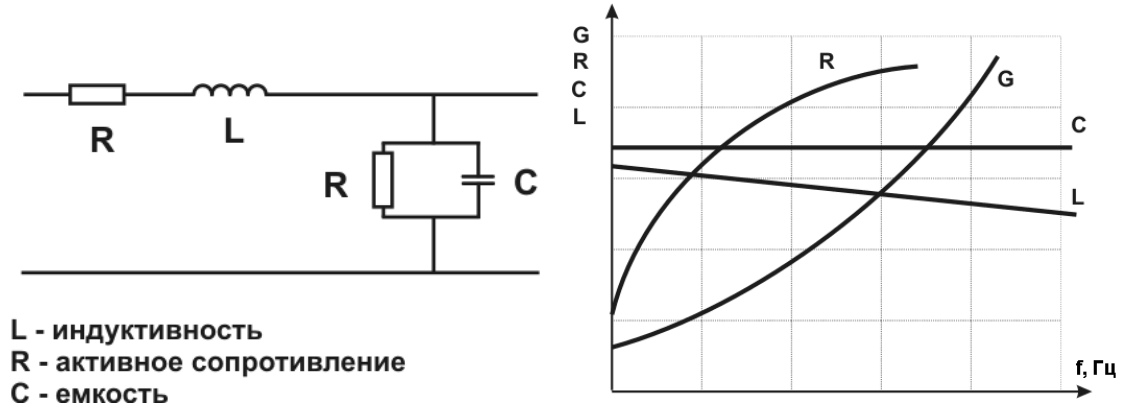


Рис. 1. Эквивалентная схема витой пары класса 5 и частотная зависимость электрических свойств витой пары

По эквивалентной схеме, приведенной на рис. 1, легко математически получить зависимость входа от выхода, данная зависимость будет иметь вид [4, 9, 10]:

$$-d \dot{U} / dx = \dot{I} (R + j\omega L), \quad -d \dot{I} / dx = \dot{U} (G + j\omega C). \quad (7)$$

Решение уравнений для напряжения и тока в произвольной точке x линии имеет вид [4]:

$$\dot{U}_X = \dot{U}_0 \operatorname{ch} \gamma x - \dot{I}_0 \dot{Z}_e \operatorname{sh} \gamma x, \quad \dot{I}_X = \dot{I}_0 \operatorname{ch} \gamma x - (\dot{U}_0 / \dot{Z}_e) \operatorname{sh} \gamma x, \quad (8)$$

$$\dot{Z}_e = (R + j\omega L) / \gamma = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}, \quad (9)$$

где $Z_e(\omega)$ – комплексное волновое сопротивление кабеля, γ – коэффициент (постоянная) распространения линии:

$$\gamma = \beta + j\alpha = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)}, \quad (10)$$

Как видно из формул (7) – (10), моделирование и построение модели с помощью эквивалентной схемы довольно громоздко и трудоемко. Во-первых, трудоемко строить эквивалентную схему, соответствующую реальной системе, во-вторых, решение дифференциальных уравнений, соответствующих эквивалентной схеме также довольно трудоемко. Следовательно, необходимо построить модель с использованием импульсного отклика.

Получим зависимость экспериментальным путем и сравним полученный результат. Производя дискретизацию отклика и преобразования его с помощью быстрого преобразования Фурье (БПФ) [6], получим функцию $\tilde{h}(t)$, и следовательно модель для ненагруженной витой пары (канала связи без передатчиков и приемников). Импульсный отклик приведен на рисунке 2.

Далее дискретизируем импульсный отклик, построим функцию $\tilde{h}(t)$ применив БПФ. Для расчетов использовался математический пакет MatCad 9.0.

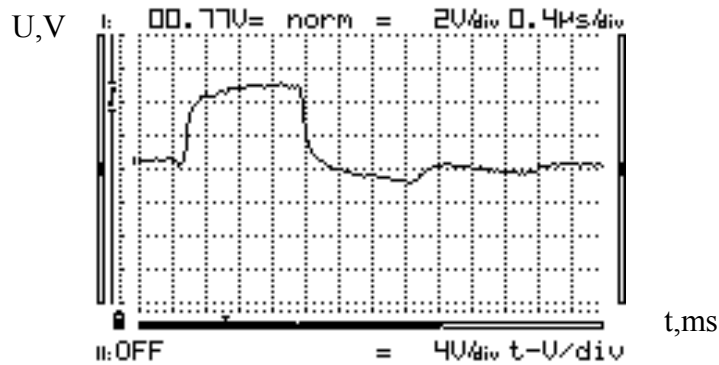
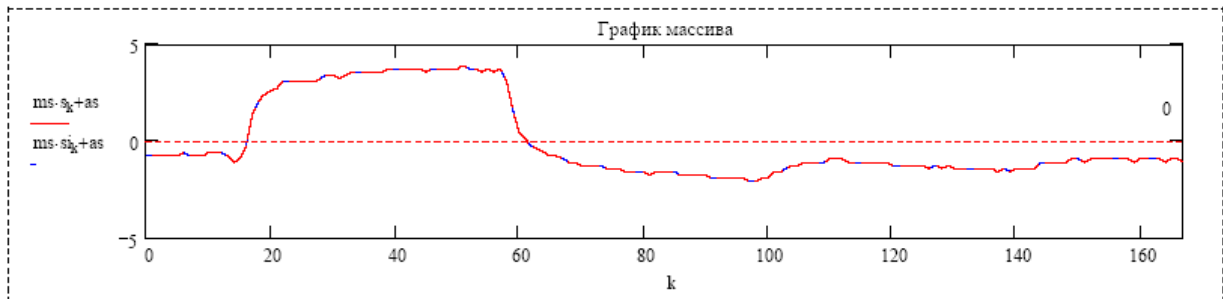


Рис. 2. Импульсный отклик кабеля

Сравним две модели математическую и экспериментальную, определим погрешность модели полученной экспериментально. График погрешности приведен на рисунке 3.



Среднеквадратическое расхождение =>

$$\sigma := \sqrt{\frac{1}{K+1} \cdot \sum_{k=0}^K (s_i - s_k)^2} \quad |\sigma| = 0$$

Рис. 3. График погрешности экспериментально полученной модели относительно идеальной

Также импульсный отклик находится обратным преобразованием Фурье частотной передаточной функции кабеля:

$$h(t) = 2 \int_0^{\infty} K_p(f) \cdot \cos(2\pi ft) df. \quad (11)$$

При работе на частотах до 1 МГц масштаб импульсного отклика целесообразно установить в микросекундах и вычислять отклик на единичный входной импульс $U \cdot \Delta t = 1$ (вольт·микросекунда), при этом масштаб значений импульсного отклика на микросекундной временной оси также будет измеряться в вольтах, а площадь импульсного отклика в (вольт·мс), как и положено при прохождении импульса в пассивной линейной системе с потерями энергии, будет меньше 1. Частотная передаточная функция кабеля является табличной величиной, а также легче получается экспериментальным путем.

Зная импульсный отклик, можно построить модель канала, используя формулы (3) или (6).

Итак, мы получили математическую модель для ненагруженного канала. Проверили правильность математической модели полученной экспериментальным путем. Далее построим модель с приемниками и передатчиками стандарта EIA RS-422A/RS-485, по вышеописанному принципу.

Интерфейс RS-485 более устойчив к синфазным помехам, и это объясняет его эффективное использование при построении промышленных систем связи. В соответствии со стандартом EIA RS-422A/RS-485 эквивалентная схема системы связи при воздействии синфазной помехи приведена на рис. 4.

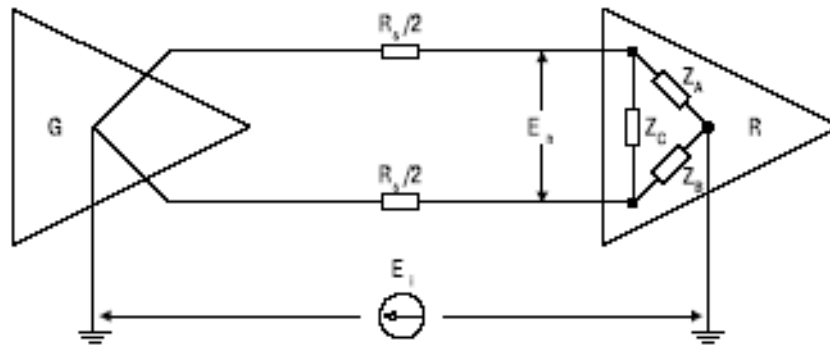


Рис. 4. Эквивалентная схема системы связи при воздействии синфазной помехи

Устойчивость системы связи к электромагнитным помехам, возникающим в результате наличия паразитных индуктивных или емкостных связей источников помех со средой обмена, отчасти определяется степенью асимметрии (или дисбаланса) распределенных и сосредоточенных параметров линии связи относительно земли. Интенсивность помехи, действующей между двумя проводниками кабеля, как правило, будет определяться степенью асимметрии полного импеданса относительно земли, если предположить, что источник помехи имеет одинаковую паразитную связь с каждым из проводников [5].

Следовательно, если знать состояния прямого и инверсного канала на входе приемника, то в соответствии со стандартом EIA RS-422A/RS-485 можно определить состояние выхода. Зная модель канала связи содержащего ряд приемо-передатчиков, можно промоделировать построенную сеть с использованием интерфейса RS-422A/RS-485.

Построим простейшую модель, содержащую от 1 до 3-х приемников и от 1 до 3-х передатчиков, и расстояние между ними 180 м. Измерим импульсный отклик по обоим проводам витой пары (рис. 5–7).

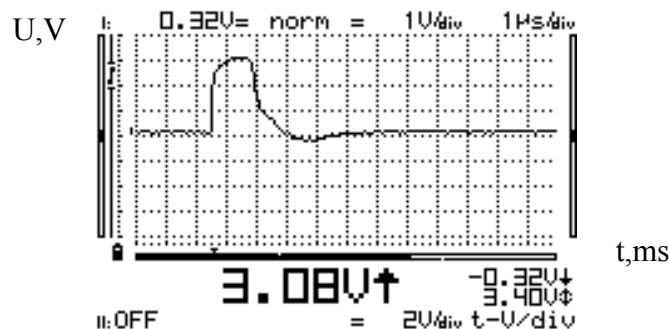


Рис. 5. Импульсный отклик кабеля с одним приемником и передатчиком на расстоянии 180м

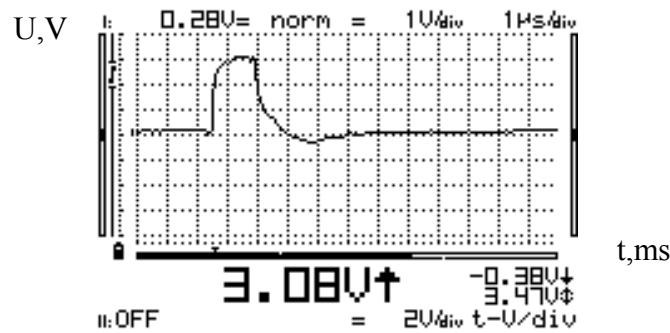


Рис. 6. Импульсный отклик кабеля с двумя приемниками и передатчиками на расстоянии 180м

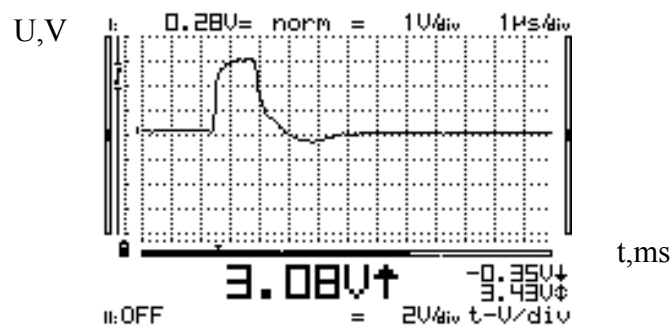


Рис. 7. Импульсный отклик кабеля с тремя приемниками и передатчиками на расстоянии 180м

Из осциллограмм, приведенных на рисунках 5–7, можно заметить, что импульсные отклики сегментов с 1-м, 2-мя, 3-мя приемниками и канал без приемников идентичны. Следовательно, в первом приближении в качестве модели сегмента можно использовать модель канала.

Вывод

В вышеприведенном анализе изложены рекомендации построения математической модели сегмента, используя импульсный отклик. Проведен анализ и сравнение спектров импульсных откликов как без приемников и передатчиков, так и с ними. На основе анализа спектров импульсных откликов можно предложить следующие шаги при построении и анализе сегмента командно-информационной сети, использующей интерфейс стандарта EIA RS-422A/RS-485 и содержащей не более 3-х узлов:

1. Получить частотную передаточную функцию кабеля, используемого для построения сегмента(как правило, справочная информация).
2. Получить импульсный отклик, используя формулу (10), для длины, равной длине сегмента.
3. Используя формулу (3) или (6), получить модель канала.
4. Исследовать характеристики сегмента.

Список литературы: 1. Сиберт У.М. Цепи, сигналы, системы. Часть 2. – М.: Мир, 1988. – 360 с. 2. Николайчук О. Системы малой автоматизации. М:САЛОН-Пресс, 2003. – 256с. 3. Гроднев И.И., Фролов Н.А. Кабели связи. - М.: Радио и связь, 1983. - 209 с. 4. Белорусов Н.Н., Гроднев И.И. Радиочастотные кабели. – М.: Энергия, 1973. – 328 с. 5. Локотков Александр Интерфейсы последовательной передачи данных. Стандарты EIA RS-422A/RS-485, СТА. В записную книжку инженера. – № 3, 1997, – с. 110-119. 6. The Bell System Technical Journal, Vol. 27, pp. 379–423, 623–656, July, October, 1948. A Mathematical Theory of Communication By C. E. SHANNON. 7. Бендат Дж., Пирсол А., Прикладной анали случайных данных, Москва, «мир», 1989. 8. Юкио Сато, Обработка сигналов. Первое знакомство. – Москва, «Додека-XXI», 2002. 9. Основы теории цепей: Учеб. для вузов /Г.В.Зевеке, П.А.Ионкин, А.В.Нетушил, С.В.Страхов. – 5-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 528с. 10. Теоретические основы электротехники. Учеб. для вузов. В трех т. Под общ. ред. К.М.Поливанова. Т.1. К.М.Поливанов. Линейные электрические цепи с сосредоточенными постоянными. – М.: Энергия, 1972. – 240 с.

ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ ЗА ІНТЕРФЕЙСОМ RS-485 ДЛЯ ПРОМИСЛОВИХ МЕРЕЖ

Арутюнян А.Р., Масюк А.Л., Арутюнян С.Р.

У роботі розроблена математична модель передачі даних з використанням імпульсного відгуку за інтерфейсом RS-485, що дозволяє визначити частотну передатну функцію кабелю, використовуюваного при побудові сегмента, та імпульсний відгук для кожного сегмента.

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПО ИНТЕРФЕЙСУ RS-485 ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ СЕТЕЙ

Арутюнян А.Р., Масюк А.Л., Арутюнян С.Р.

В работе разработана математическая модель передачи данных с использованием импульсного отклика по интерфейсу RS-485, позволяющая определить частотную передаточную функцию кабеля, используемого при построении сегмента, и импульсный отклик для каждого сегмента.

CREATION OF MATHEMATICAL MODEL OF DATA TRANSFER ON INTERFACE RS-485 FOR INDUSTRIAL NETWORKS

Arutyunyan A.R., Masiuk A.L., Arutyunyan S.R.

The mathematical model of data transfer with use of the pulse response on interface RS-485 is developed in paper. It allows defining frequency transfer function of the cable used at construction of network segment, and the pulse response for each segment.

Рецензент: к.т.н, доц. Полтавец В.В.