

УДК 006.91

И.П. Захаров, М.П. Сергиенко

МОДЕЛИРОВАНИЕ СРЕДСТВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДИНАМИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

Рассмотрены особенности динамических характеристик различных математических моделей средств измерительной техники, исследованы возможности выбора оптимальной модели. Предложен алгоритм выбора вида и порядка моделей средств измерительной техники по результатам экспериментальных исследований их динамических характеристик.

средство измерительной техники, динамическое звено, динамическая характеристика, переходная характеристика, импульсная характеристика, идентификация

Введение

Постановка проблемы. Начальным этапом обработки результатов измерительного эксперимента при идентификации динамических характеристик (ДХ) средств измерительной техники (СИТ) является выбор оптимальной приближенной математиче-

ской модели [1, 2], с помощью которой динамические свойства СИТ могут быть описаны.

Оптимальная приближенная модель СИТ может быть выбрана, исходя либо из сложности модели либо из несогласованности между ДХ модели и экспериментальными данными (погрешности моделирования). Поэтому при применении приближенного мо-

делирования можно выделить два направления:

1) задается максимально допустимая сложность модели СИТ, и затем выбирается наиболее подходящая модель из класса возможных моделей. Обычно на практике используют модели СИТ порядка не выше третьего;

2) задается максимально допустимая несогласованность между моделью СИТ и экспериментальными данными, и в исходном классе моделей ищется наименее сложный объект.

Приближенное моделирование заключается в соблюдении принципа, что искомая оптимальная модель является самой точной моделью в пределах заданного допустимого уровня сложности или наименее сложной моделью, которая аппроксимирует наблюдаемые данные с заданной точностью [3,4].

Как большая сложность, так и большая несогласованность – одинаково нежелательные свойства модели СИТ. Модель с большой сложностью объясняет слишком много свойств моделируемого СИТ, а модель с большой несогласованностью дает плохое объяснение наблюдаемым данным.

При применении первого направления приближенного моделирования задаем допустимую сложность. Выбранная модель является оптимальной, если из всего класса моделей она обладает наименьшей несогласованностью. Но если имеется много моделей, достигающих указанного минимума, то среди них логично выбрать модель с наименьшей сложностью.

При применении второго направления фиксируется допустимая несогласованность. И, если имеется много моделей, достигающих указанного минимума несогласованности, то среди них логично выбрать модель с наименьшей сложностью.

Целью идентификации ДХ СИТ является нахождение ее параметров, т.е. постоянных времени модели СИТ. И, прежде всего, необходимо определить порядок и вид модели СИТ, если априорная информация об этом отсутствует.

В качестве минимально необходимого порядка СИТ принимают такой порядок, начиная с которого погрешность моделирования СИТ практически не изменяется или не превышает заданную.

Наиболее простым способом определить порядок СИТ можно по графическому изображению его ДХ, поскольку ДХ моделей СИТ различных порядков имеют свои особенности.

Одним из простых и эффективных способов определения порядка и структуры модели СИТ является исследование его амплитудно-частотной характеристики (АЧХ). Процедура идентификации ДХ СИТ по экспериментально определенной АЧХ выглядит следующим образом:

1) полученная экспериментально АЧХ представляется графически в виде логарифмической АЧХ и аппроксимируется кусочно-линейной кривой – набором отрезков (асимптот) с целочисленным наклоном кратным 20 дБ/дек.

2) по наклону асимптот и частотам сопряжения асимптот определяется передаточная функция СИТ в виде произведения передаточных функций, соответствующих асимптотам элементарных динамических звеньев.

Приведенный алгоритм позволяет осуществлять идентификацию ДХ СИТ, определяя и порядок и значения постоянных времени СИТ.

При невозможности определения частотных характеристик СИТ, его порядок можно определить по временным характеристикам, однако эта процедура сложна и требует наличия моделей временных характеристик, соответствующих различным комбинациям элементарных динамических звеньев.

Целью статьи является разработка алгоритма выбора вида и порядка модели временных характеристик СИТ по результатам их экспериментального определения.

Результаты исследований

Рассмотрим модели переходных и импульсных характеристик для моделей СИТ не выше второго порядков (табл.1). При этом для выполнения условия апериодичности [5] ДХ необходимо, чтобы выполнялось следующее соотношение между постоянными времени $T_{2,3} \geq T_1$. Колебательные звенья не рассматриваем, поскольку известно, что это звенья второго порядка. В табл. 1 модели СИТ разделены на группы по принципу присутствия в них следующих динамических звеньев:

- 1) включающие интегрирующие и инерционные звенья;
- 2) включающие дифференцирующие и инерционные звенья;
- 3) включающие форсирующие и инерционные звенья.

Рассмотрим отдельно каждую группу моделей СИТ с целью выявления визуальных отличий их ДХ.

1. Модели СИТ, включающие интегрирующие и инерционные звенья

Нормированные переходные и импульсные характеристики таких моделей показаны на рис. 1 и 2 соответственно. На всех последующих рисунках цифрами обозначены характеристики, соответствующие моделям из табл. 1.

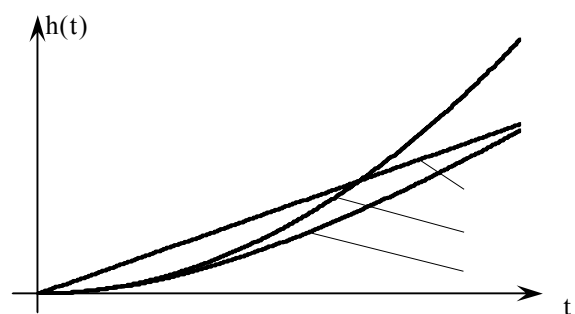


Рис. 1. Переходные характеристики моделей СИТ, включающих интегрирующие и инерционные звенья

Передаточные функции $W(p)$, переходная $h(t)$ и импульсная $g(t)$ характеристики СИТ, моделируемых инерционными звеньями

Модель СИТ	Передаточная функция $W(p)$	Переходная характеристика $h(t)$	Импульсная характеристика $g(t)$
1	$1/T_1 p$	t/T_1	$1/T_1$
2	$1/T_1 p^2$	$t^2/(2T_1)$	t/T_1
3	$\frac{1}{(T_1 p + 1)T_2 p}$	$\frac{1}{T_2} \left[t - T_1 \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{T_1}\right) \right) \right]$	$\frac{1}{T_2} \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{T_1}\right) \right)$
4	$\frac{T_3 p}{T_1 p + 1}$	$\frac{T_3}{T_1} \exp\left(-\frac{t}{T_1}\right)$	$-\frac{T_3}{T_1} \exp\left(-\frac{t}{T_1}\right)$
5	$\frac{T_3 p}{(T_1 p + 1)^2}$	$\frac{T_3}{T_1^2} t \exp\left(-\frac{t}{T_1}\right)$	$\frac{T_3}{T_1^2} \left(1 - \frac{t}{T_1} \right) \exp\left(-\frac{t}{T_1}\right)$
6	$\frac{T_3 p}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}$	$T_3 \left[\frac{1}{T_1 - T_2} e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{1}{T_2 - T_1} e^{-\frac{t}{T_2}} \right]$	$T_3 \left[\frac{1}{T_1(T_2 - T_1)} e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{1}{T_2(T_1 - T_2)} e^{-\frac{t}{T_2}} \right]$
7	$\frac{1}{T_1 p + 1}$	$1 - \exp\left(-\frac{t}{T_1}\right)$	$\frac{1}{T_1} \exp\left(-\frac{t}{T_1}\right)$
8	$\frac{1}{(T_1 p + 1)^2}$	$1 - \left(1 + \frac{t}{T_1} \right) \exp\left(-\frac{t}{T_1}\right)$	$\frac{t}{T_1^2} \exp\left(-\frac{t}{T_1}\right)$
9	$\frac{1}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}$	$1 - \frac{T_1}{T_1 - T_2} e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{T_2}{T_2 - T_1} e^{-\frac{t}{T_2}}$	$\frac{1}{T_1 - T_2} e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{1}{T_2 - T_1} e^{-\frac{t}{T_2}}$
10	$\frac{T_3 p + 1}{(T_1 p + 1)^2}$	$1 - \left[1 + \left(1 - \frac{T_3}{T_1} \right) \frac{t}{T_1} \right] e^{-\frac{t}{T_1}}$	$\frac{1}{T_1^2} \left[t + T_3 \left(1 - \frac{t}{T_1} \right) \right] e^{-\frac{t}{T_1}}$
11	$\frac{T_3 p + 1}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}$	$1 - \frac{T_1 - T_3}{T_1 - T_2} e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{T_2 - T_3}{T_2 - T_1} e^{-\frac{t}{T_2}}$	$\frac{T_1 - T_3}{T_1(T_1 - T_2)} e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{T_2 - T_3}{T_2(T_2 - T_1)} e^{-\frac{t}{T_2}}$

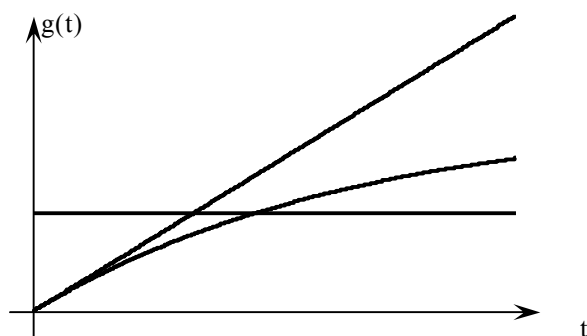


Рис. 2. Импульсные характеристики моделей СИТ, включающих интегрирующие и инерционные звенья

Особенностью рассматриваемых моделей СИТ, содержащих интегрирующие звенья, является то, что их переходные характеристики не принимают установившегося значения и постоянно возрастают с увеличением времени измерения. Отличием переходных характеристик второго порядка от переходных характеристик первого порядка состоит в их нелинейной зависимости от времени измерения. Отличием импульсных характеристик рассматри-

ваемых моделей СИТ первого порядка от импульсных характеристик второго порядка является их постоянство. При этом является очевидным, что чем больше значение постоянной времени T_1 , тем больше временные характеристики 3 будет приближаться по своему виду к характеристикам 2, и соответственно, чем меньше значение T_1 , тем больше характеристики 3 будет приближаться по своему виду к характеристикам 1.

2. Модели СИТ, включающие дифференцирующие и инерционные звенья

Нормированные переходные и импульсные характеристики моделей СИТТ, содержащих дифференцирующие и инерционные звенья, показаны на рис.3 и 4 соответственно.

Отличием временных характеристик моделей рассматриваемой группы первого порядка от характеристик второго порядка является их монотонность. Характеристики второго порядка имеют экстремумы, для переходной характеристики это минимумы, для импульсной – максимумы.

В этом случае, чем больше соотношение между постоянными времени T_2/T_1 , тем больше характеристики 6 стремятся по форме к характеристикам 5, чем меньше T_2/T_1 , тем больше характеристики 6 похожи на характеристики 4.

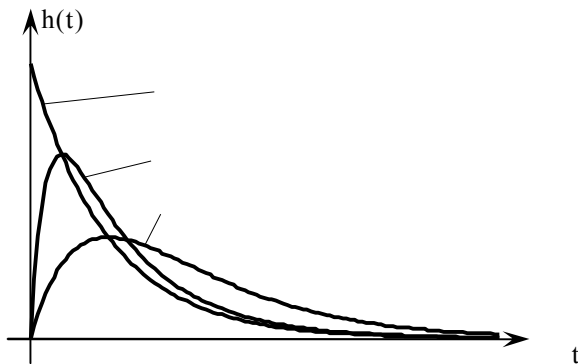


Рис. 3. Переходные характеристики моделей СИТ, включающих дифференцирующие и инерционные звенья

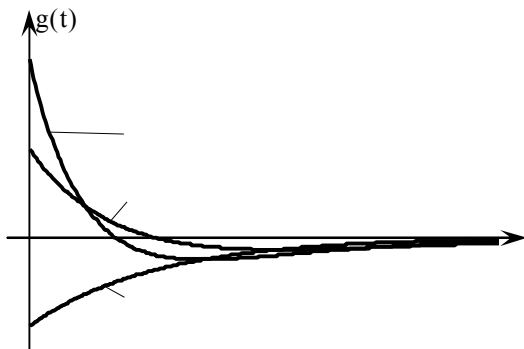


Рис. 4. Импульсные характеристики моделей СИТ, включающих дифференцирующие и инерционные звенья

3. Модели СИТ, включающие форсирующие и инерционные звенья

Переходные и импульсные характеристики моделей СИТ данной группы показаны на рис.5 и 6.

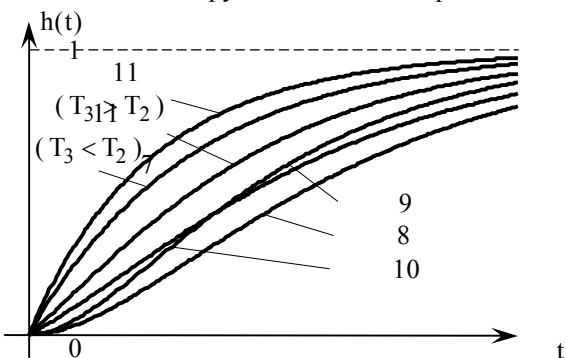


Рис. 5. Переходные характеристики моделей СИТ, содержащих форсирующие и инерционные звенья

Основные различия переходных характеристик различного порядка наблюдаются на начальном участке, отличием, в частности, является наличие или отсутствие перегиба. На рис. 5 все переходные характеристики, кроме 7, обладают явно выраженным перегибом. Для переходных характеристик рассматриваемой группы моделей СИТ можно выделить:

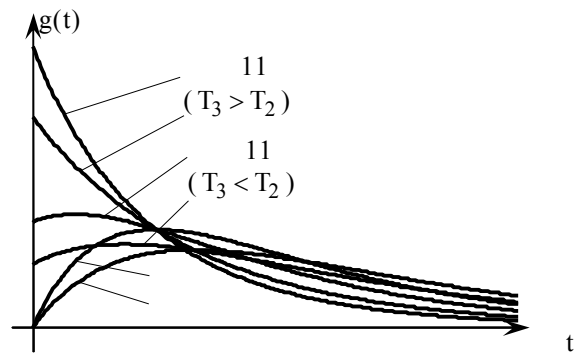


Рис. 6. Импульсные характеристики моделей СИТ, содержащих форсирующие и инерционные звенья

- 1) переходные характеристики 7 и 8 являются критическими, поскольку ограничивают остальные переходные характеристики;
- 2) переходные характеристики 9 лежат в границах между переходными характеристиками 7 и 8. При этом перегиб наблюдается при $T_3 > 0,5T_1$;
- 3) переходные характеристики 11 ПХ, частным случаем которых в данном случае являются и характеристики 10 (если $T_3 = 0$), лежат в границах между характеристиками 7 и 8, когда $T_2 > T_3$. Если $T_2 < T_3$, переходная характеристика находится в границах между характеристикой 7 и единичным скачком. Перегиб наблюдается при $T_2 > 0,5T_1$.

На основании изложенных положений возможен следующий подход к предварительному определению порядка и структуры модели переходной характеристики по экспериментально полученной зависимости:

- 1) для полученной экспериментально в дискретных точках переходной характеристики определяется постоянная времени T_1 одним из алгоритмов идентификации переходных характеристик (алгоритмы идентификации переходных характеристик будут рассмотрены в п.п.2.6);
- 2) для полученной постоянной времени строятся переходные характеристики моделей 7 и 8;
- 3) полученные модели сравниваются с экспериментальной, и с учетом приведенных закономерностей определяется вид модели, аппроксимирующей экспериментально полученную переходную характеристику.

Выводы

Таким образом, предложен алгоритм для предварительного определения вида и порядка модели СИТ по экспериментальным переходным характеристикам. Определение порядка СИТ рассматриваемой группы по экспериментально полученной импульсной характеристике – задача более сложная, чем определение порядка ДХ по экспериментальной переходной характеристике, поскольку нет общего отличительного признака.

Для определения порядка более сложных моделей СИТ по их временным характеристикам необходимо большое количество моделей с известным порядком, с которыми экспериментальные характеристики можно было бы сравнивать. При этом возникает вопрос выбора критерия, по которому можно выбрать модель ДХ (а следовательно, и модель СИТ), с необходимой точностью аппроксимирующую экспериментальную ДХ.

Список литературы

1. РТМ 25.191-75 Средства измерения и автоматизации ГСП. Определение динамических характеристик. – М.: Изд-во стандартов, 1977. – 44 с.
2. Захаров І.П., Сергієнко М.П. Основні задачі метрологічної ідентифікації динамічних характеристик засобів

вимірювальної техніки // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2005. – № 3. – С. 30-32.

3. Иосифов В.П. Приближенное моделирование в задачах идентификации динамических характеристик сложных технических систем // Материалы XXXIV НТК СКГТУ. – Ставрополь: СКГТУ, 2005. – С. 51-52.

4. Захаров І.П., Сергієнко М.П. Погрешности моделирования переходных характеристик апериодических средств измерительной техники // Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ, 2005. – Вип. 5 (45). – С. 13-17.

5. Теумин И.И. Экспериментальный анализ переходных процессов в линейных электрических цепях. – М.: Госэнергоиздат, 1956. – 536 с.

Поступила в редколлегию 6.03.2007

Рецензент: д-р техн. наук, проф. И.В. Руженцев, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.