

# АПРОБАЦИЯ ГАРМОНИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ НА ТЕПЛОМ ОБЪЕКТЕ

Олиферович Н. М., Гринюк Д. А., Оробей И. О.

Кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Республика Беларусь  
E-mail: hryniukda@gmail.com

*Анализируются возможности использования непрерывной частотной идентификации технологических объектов. В случае, если изменения параметров объекта достаточно быстры, а вычислительные ресурсы микропроцессорной системы управления ограничены, то хорошим решением может быть формирование последовательной серии контрольных гармоник. Для данного подхода проанализированы различные варианты формирования серий и их влияние на точность определения. Приведены результаты апробации гармонической идентификации для воздушного теплообменника с использованием метода гармонической идентификации.*

## ВВЕДЕНИЕ

В работе [1] были показаны существенные преимущества использования активной частотной идентификации в сравнении с меандровой в условиях ограничения на отклонения выходного параметра. Сравнение методов проводилось в условиях вычислительного эксперимента в пакете MatLab. Частотная идентификация была реализована с использованием нескольких контрольных гармоник (КГ), параметры которых выбирались исходя из критерия минимизации взаимного влияния КГ вследствие прохождения через квантователь. Для выделения параметров модели применялось классическое решение — усреднение путем использования фильтра низкой частоты с большой постоянной времени. Методика, использованная в [1], применима для объектов, у которых скорость изменения параметров модели значительно меньше, чем полоса пропускания усредняющих фильтров. С другой стороны, фильтры с большой постоянной времени позволяют нивелировать влияние возмущений на объект управления. Для объектов с быстрой динамикой надо использовать другие подходы. Программируемые логические контроллеры (ПЛК) и другие микропроцессорные средства позволяют в полной мере воспользоваться достоинствами цифровой обработки данных.

### I. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНАЯ ГАРМОНИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ

Для объектов со сравнительно быстроменяющимися свойствами могут быть предложены различные подходы. Ограничение на время усреднения не позволяет просто напрямую нивелировать влияние одной контрольной гармоники на другую, как это делалось в [1]. Одним из простых решений может быть формирование последовательности гармоник (ПГИ) одной за другой и разделение идентификации по частоте. Для обеспечения точности идентификации и устранения влияния квантователя требуется осу-

ществлять выбор амплитуды на каждой частоте таким образом, чтобы на выходе при разных частотах значения амплитуд не отличались более чем на 10–15 %. Это уменьшит требования по вычислительной мощности для данных алгоритмов. Данное решение легко реализуется с помощью ПЛК средней мощности. Метод имеет некоторые особенности. При переходе с одной частоты на другую будет наблюдаться переходной процесс. Графики показывают, что при использовании данного алгоритма лучше начинать с низкой частоты. Для большинства технологических решений определять коэффициент передачи можно уже на первом периоде. Наибольшая погрешность наблюдается при кратности частот 1,6–1,7. При начале нового цикла измерения амплитуд КГ, фиксировать коэффициент передачи для наиболее высокочастотной КГ можно будет только на 6–9 периоде.

### II. СМЕШАННАЯ ГАРМОНИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ

Другим решением будет формирование нескольких тестовых гармоник (СГИ) и использование процедуры разложения в ряд Фурье для всех гармоник по периоду самой медленной. Однако следует учитывать, что при выборе контрольных гармоник с некратной частотой для снижения эффекта квантования потребуются корректировка результатов на каждом периоде для уменьшения влияния одной контрольной гармоники на другую. Так для объекта второго порядка при использовании пяти контрольных гармоник на активном изменении амплитудночастотных характеристик (АЧХ) погрешность может достигать до 30 %. Больше всего этому подвержены высокочастотные гармоники. При усреднении по большому количеству тактов идентификации значение сходится. Для нивелирования данной погрешности следует рассчитывать поправочные коэффициенты путем одновременного моделирования и разложения. Алго-

ритм работы данной процедуры похож на известное решение – управление по модели. Другим решением может быть использование контрольных гармоник с кратными периодами.

### III. ПОСТАНОВКА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Для сравнения двух последних решений произведено моделирование в пакете MatLab при работе в одинаковых условиях. Для динамической системы с близкими к тепловому объекту свойствами установлено влияние на точность определения амплитудно-фазовой частотной характеристики (АФЧХ) при различных значениях уровня квантования. Объект идентификации представлял апериодическое звено второго порядка с постоянными времени 500 и 100 с. Соответственно, для первого решения (V1) периоды гармоник были  $A2 = [8784 \ 4184 \ 1992 \ 1020 \ 460]$  с, а для варианта два (V2)  $A1 = [T \ T/2 \ T/4 \ T/8 \ T/16]$ , где  $T$  – период самой медленной КГ. Во втором случае фазы КГ были различными, соответственно  $[0, \pi, \pi/2, \pi/4, \pi/8]$ . Моделирование проводилось на протяжении 20 периодов самой медленной КГ. На каждом периоде определялись параметры амплитуды и фазы гармоник. Относительная ошибка определялась на каждом периоде для объекта с передаточной функцией (1) как разница между значением амплитуды на выходе до и после квантователя, отнесенная к истинному. Для вычисления результирующего значения ошибки и дисперсии использовалось среднее значение за все периоды, за вычетом первого, для исключения влияния переходных процессов, указанного ранее. Квантование по уровню в меньшей степени оказывает влияние на самую высокочастотную и низкочастотную КГ. При этом влияние уровня при непропорциональных периодах более существенно по сравнению с другими вариантами. Еще больше отличий наблюдается при рассмотрении дисперсии отклонений амплитуды и фазы. Однако следует отметить, что такие отличия наблюдаются только в условиях вычислительного эксперимента, реальный измерительный тренд практически уравнивает различия. Но в целом, следует констатировать, что для практического использования лучше рекомендовать контрольные гармоники с пропорциональными периодами.

### IV. ПРОВЕРКА НА ТЕПЛОМ ОБЪЕКТЕ

Гармоническая идентификация проверялась в системе управления воздушным теплообменником. Выходным параметром является температура, а каналом управления – изменение расход воздуха. Объект обладает нелинейными

свойствами как по статическому коэффициенту передачи, так и по динамическим свойствам. Помимо частотной идентификации, были проведены измерения путем формирования меандрового сигнала. В процессе эксперимента стенд подвергался неконтролируемым возмущениям: изменение гидродинамических и теплофизических параметров воздуха вокруг стенда (отопление, проветривание, изменение погоды). При определении параметров передаточных характеристик по выходному тренду разброс значений составил более 40%. Параметры передаточной функции находились путем минимизации среднеквадратического отклонения экспериментальных данных от теоретического АЧХ ПГИ (см. рис. 1) дали несколько лучшие результаты по низкочастотной части спектра в сравнении с ГИ и значительно худшие для высокочастотной. Доступное время работы экспериментальной установки позволяло провести только один цикл идентификации.

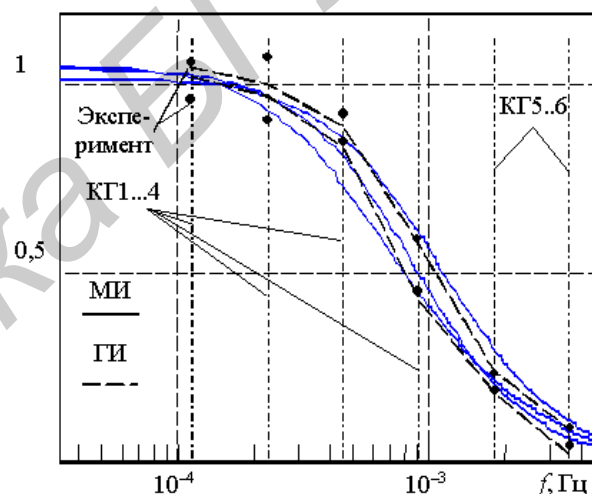


Рис. 1 – АЧХ теплового объекта, определенного гармонической идентификацией (ГИ) и с помощью меандра (МИ)

### V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Доработаны и опробованы на практике различные алгоритмы гармонической идентификации, показана их работоспособность. В случае подверженности объекта влиянию помех, сравнимым с периодом самой низкочастотной контрольной гармоники, следует увеличивать время идентификации.

### VI. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Oliferovich, N. Harmonic identification of technological objects in real time /N. Oliferovich, D. Hryniuk, I. Orobei // 2016 Open Conference of Electrical, Electronic and Information Sciences (eStream 2016), Vilnius, Lithuania, 21 April 2016, pp. 1–4.