

УДК 62-523.8

## АЛГОРИТМ ВНУТРИСХЕМНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВСТРАИВАЕМЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Горбунов Р.Л. (ИТМО), Севостьянов Н.А. (НГТУ НЭТИ)

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук, доцент

Бабушкин М.В. (ИТМО)

**Введение.** В системах управления физическими объектами с линейной системой автоматического регулирования наиболее полную и полезную с практической точки зрения информацию о динамических свойствах системы содержат в себе ее частотные характеристики, измеренные экспериментальным путем. В связи с этим, процедуры отладки, настройки и контроля качества микропроцессорных устройств управления реального времени (real-time embedded control systems) зачастую сопровождаются измерением частотных характеристик разомкнутого и замкнутого контура регулирования, объекта управления, регулятора, канала обратной связи и других звеньев системы автоматического регулирования [1, 2].

В системах управления вторичных источников электропитания, источников бесперебойного питания, регулируемых электроприводов, автономных систем генерирования электроэнергии и многих других систем силовой электроники измерения частотных характеристик проводятся специализированным лабораторным оборудованием, подключаемым в разрыв штатных измерительных цепей системы управления. Потребность в лабораторном оборудовании и в его подключении в разрыв цепей обратной связи делают такой способ измерения непрактичным для систем, находящихся в промышленной эксплуатации.

Цель данной работы заключается в создании алгоритма внутрисхемного измерения частотных характеристик электронных устройств управления физическими объектами, не требующего подключения внешнего оборудования. Возможность физической реализации подобного способа измерения обусловлена специфическими особенностями рассматриваемых в данной работе систем силовой электроники. В этих системах возможно задействовать канал управляющих воздействий как точку ввода программно генерируемого возмущения. При этом физические переменные, характеризующие динамическое состояние системы, доступны к считыванию в реальном времени из периферийных модулей аналого-цифрового преобразования сигналов устройства управления.

**Основная часть.** В докладе представлен алгоритм измерения частотных характеристик, основанный на многократном воздействии на систему сигналом синусоидального типа с пошаговой сменой частоты (sine-sweep). Ширина окна измерений выбирается под период инжектируемого сигнала. Математическая обработка реализована с применением аппарата быстрого преобразования Фурье.

Алгоритм включает следующие операции:

- 1) Внешнее вычислительное устройство (персональный компьютер, или сервер) формирует дискретный синусоидальный сигнал с заданной частотой и амплитудой.
- 2) Сформированный сигнал передается в микропроцессорное устройство управления, в цифровом виде суммируется с управляющим сигналом системы и распространяется по каналу управления.
- 3) Цифровые сигналы обратной связи, соответствующие входному и выходному сигналам звена системы автоматического регулирования, в виде временных рядов передаются обратно на сервер.
- 4) Временные ряды обрабатываются математически и преобразуются в комплексный коэффициент передачи звена системы автоматического регулирования.
- 5) Процедура повторяется для новой пары значений частоты и амплитуды инжектируемого сигнала.

Таким образом физическое воздействие на динамическую систему осуществляется через модуляцию управляющих сигналов устройства управления. Управляющие сигналы в форме модулирующих воздействий формируются исключительно программно и передаются в устройство управления в виде массива данных. Считываемые из устройства управления в режиме реального времени физические переменные в форме массивов данных передаются обратно в программный модуль, демодулируются и преобразуются в частотные характеристики с возможностью последующей обработки и визуализации.

**Выводы.** Представленный алгоритм позволяет внутрисхемно измерять частотные характеристики встраиваемых систем управления. Специализированное измерительное оборудование не требуется.

#### **Список использованных источников:**

1. F. Gonzalez-Espin, E. Figueres, G. Garcera, R. Gonzalez-Medina and M. Pascual, "Measurement of the Loop Gain Frequency Response of Digitally Controlled Power Converters," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 57, no. 8, pp. 2785-2796, Aug. 2010, doi: 10.1109/TIE.2009.2036635.
2. M. Shirazi, J. Morroni, A. Dolgov, R. Zane and D. Maksimovic, "Integration of Frequency Response Measurement Capabilities in Digital Controllers for DC–DC Converters," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 23, no. 5, pp. 2524-2535, Sept. 2008, doi: 10.1109/TPEL.2008.2002066.