

Литература

1. Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний. – М.: Наука, 1981.
2. Рабинович Р.С., Трубецков Д.И. Введение в теорию колебаний и волн. – М.: Наука, 1992.
3. Неймарк Ю.И., Ланда П.С. Стохастические и хаотические колебания. – М.: Наука, 1987.
4. Гапонов-Грехов А.В., Рабинович М.И. Автоструктуры. Хаотическая динамика ансамблей// Нелинейные волны. Структуры и бифуркации /Под ред. А.В. Гапонова-Грехова и М.И. Рабиновича. – М.: Наука, 1987.
5. Валянский С.И., Илларионов С.В. Физические основы самоорганизации// Сб. Самоорганизация и наука: опыт философского осмысления. – М.: Институт философии РАН, 1994. – С. 306–325.
6. Колесников Ал.А. Управление нелинейными колебаниями. Энергетический подход// Известия РАН. Теория и системы управления. №2. – 2009.–С. 24-37.
7. Черноусько Ф.Л., Акуленко Л.Д., Соколов Б.Н. Управление колебаниями. – М.: Наука, 1987. – 384 с.
8. Акуленко Л.Д. Асимптотические методы оптимального управления. – М.: Наука, 1987. – 368 с.
9. Салмин В.В. Оптимизация космических перелетов с малой тягой: Проблемы совместного управления траекторным и угловым движением.. – М.: Машиностроение, 1987. – 208 с.
10. Гродзовский Г.Л., Иванов Ю.Н., Токарев В.В. Механика космического полета: Проблемы оптимизации. М.: Наука, 1975. – 704 с.
11. Ефимов Г.Б., Охоцимский Д.Е. Об оптимальном разгоне космического аппарата в центральном поле // Космические исследования. – 1965. – Т. 3, №6. – С. 15.
12. Лоуден Д. Оптимальные траектории для космической навигации. – М.: Мир, 1966. – 356 с.
13. Колесников А.А. Синергетическая теория управления. М.: Энергоатомиздат, 1994.
14. Колесников А.А. Синергетические методы управления сложными системами: Теория системного синтеза. – М.: КомКнига, 2006. – 240 с.
15. Колесников А.А. Гравитация и самоорганизация. Серия “Relate Refero” – М.: КомКнига, 2006, 2007. – 112 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ И КАЧЕСТВА ЗАМКНУТЫХ РАСПРЕДЕЛЁННЫХ СИСТЕМ С ПЕРЕМЕННЫМ ЗАПАЗДЫВАНИЕМ В СЕТЕВОЙ КОМПОНЕНТЕ

М. П. ТУМАНОВ

*Московский государственный институт электроники и математики
(технический университет) – МИЭМ*

В настоящее время сети передачи данных обычно являются неотъемлемой частью систем автоматического управления. С этой точки зрения сетевой компонент является одним из блоков структурной схемы системы и должен быть адекватно описан в динамических свойствах. Обычно при этом используют явно упрощённое представление в виде звеньев чистого запаздывания. В статье представлено влияние реального времени запаздывания в сети на динамику системы, при этом основное внимание уделяется эффекту резонанса по переменному запаздыванию. Показано, что этот эффект может существенно ухудшить работу системы, вплоть до потери устойчивости.

В типичном случае при автоматизации технологических процессов распределённая структура системы является трехуровневой, на каждом уровне решаются специфические проблемы обработки информации и управления.

1. Уровень управления предприятием и бизнес-процессами. Технологии сетей на этом уровне должны обеспечивать передачу больших объемов информации с высокой скоростью, обладать гибкой адресацией и способностью объединения с глобальной сетью Ин-

Таким образом, НЕ ГАРАНТИРУЕТСЯ время задержки менее 0.1с в сети Ethernet даже в рамках использования сервиса QoS. Таково реальное положение дел, и оно означает, что при наличии сетевой компоненты затруднительно управлять объектом с характерной постоянной времени ~ 0.1 с. и менее.

Известны общепринятые методы борьбы с запаздыванием, в рассматриваемом случае эффективнее всего оказывается метод буферирования, но он приводит к увеличению постоянного запаздывания. К сожалению, известные методы адаптации не учитывают эффект резонанса, который может возникать при периодически меняющемся запаздывании.

В работах [3–4] имеются примеры постановки и решения задач управления в условиях сетевого запаздывания с использованием функций Ляпунова.

В [2] было показано, что переменное периодическое запаздывание может приводить к явлению резонанса, при котором замкнутая система становится неустойчивой **даже если она устойчива при любом постоянном запаздывании**. В докладе приводятся результаты моделирования типовой САУ с переменным запаздыванием (рис. 1), иллюстрирующие это явление. Рассматривается запаздывание в цепи ООС, модель переменного запаздывания – гармоническая: $\varphi(t) = X(t - \varphi_0(1 + e \sin(\omega t + \varphi)))$, где задано среднее запаздывание, амплитуда, частота и начальная фаза изменения запаздывания. На рис. 2–5 приведены характерные случаи, когда замкнутая система устойчива как при большей, так и при меньшей частоте изменения запаздывания, но неустойчива при резонансе.

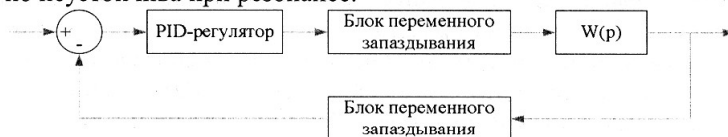


Рис. 1. Замкнутая САУ с запаздыванием

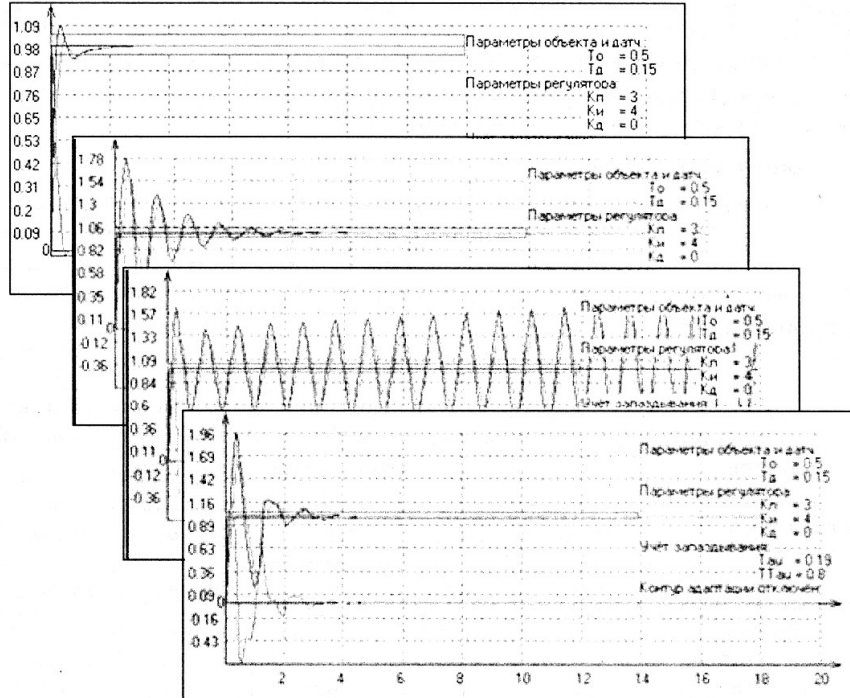


Рис. 2–5. Устойчивость замкнутой САУ при различных периодах изменения запаздывания

С другой стороны, показано, что использование модели запаздывания, даже не очень точной, обычно позволяет существенно улучшить динамику САУ. На рис. 6 приведены типичные частотные характеристики (ЛЧХ и годограф АФЧХ) некомпенсированной системы и системы с встроенной моделью запаздывания. Рассмотрена модель запаздывания в виде постоянного запаздывания, равного среднему. В случае, когда помехами в канале измерения в системе можно пренебречь, такой подход является эффективным. В противном случае необходимо учесть модель помех.

Таким образом, встаёт задача оценки переменного запаздывания в реальном времени, возможно, даже и с не очень высокой точностью. Сетевые сервисы времени и часы реального времени компьютеров тут малопригодны в силу своей низкой точности и надёжности.

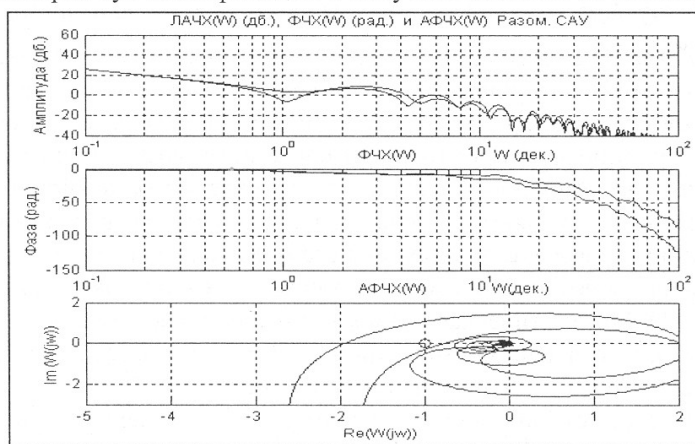


Рис. 6. Частотные характеристики САУ с частичной компенсацией запаздывания

В докладе рассмотрен подход к оценке запаздывания, основанный на спектральном подходе и спектральных свойствах псевдослучайных последовательностей (ПСП):

- ПСП и её копия сдвинутая на время τ не коррелированы.
- Операция \oplus – исключающее ИЛИ позволяет добавлять ПСП к полезному сигналу и затем полностью ликвидировать эту добавку при известном временном сдвиге.
- При наличии неизвестного временного сдвига спектр сигнала с добавленной ПСП сильно расширен, что может быть легко обнаружено стандартной обработкой БПФ.

Комбинация этих свойств позволяет построить контур настройки модели запаздывания в реальном времени.

Выводы

Использование сетей Ethernet при построении распределенных САУ должно сопровождаться внедрением с системы методов учета и компенсации характерного для сетей эффекта переменного запаздывания. Они могут быть основаны на алгоритмах адаптации, экстраполяции, приведения величины запаздывания к постоянному значению и т. п.

Литература

1. Рекомендация МСЭ-Т Y.1541 утверждена 22 февраля 2006г. 12-й Исследовательской комиссией МСЭ-Т (2005–2008 гг.) в соответствии с процедурой, изложенной в Рекомендации МСЭ-Т А.8. Патентная база данных: <http://www.itu.int/ITU-T/ipr/>
2. М.П.Туманов, Ю.В.Дворянников. Переменное запаздывание в сетевом компоненте системы автоматического управления и его влияние на устойчивость. Материалы конф. УИТ-2005, стр.129.
3. Hiroyuki Fujita, Toru Namerikawa. Delay-Independent Stabilization for Teleoperation with Time Varying Delay. American Control Conference FrC09.3 Hyatt Regency Riverfront, St. Louis, MO, USA June 10-12, 2009.

4. A. Aziminejad, M. Tavakoli, R.V. Patel, M. Wave-Based Time Delay Compensation in Bilateral Teleoperation: Two-Channel versus Four-Channel Architectures. MoallemProceedings of the 2007 American Control Conference WeC01.2 Marriott Marquis Hotel at Times Square New York City, USA, July 11-13, 2007.