

ТЕСТОВЫЕ САР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АЛГОРИТМОВ ИХ САМОНАСТРОЙКИ

Левинский М. В., аспирант

Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

В статье рассмотрен вопрос обоснованного выбора диапазонов настроечных параметров тестовых систем автоматического регулирования для исследования алгоритмов их самонастройки. Приведена базовая структура системы с самонастройкой к изменяющемуся коэффициенту передачи объекта управления. Обоснованы частотные свойства неконтролируемых возмущений, действующих на объект. Определена информативная полоса частот спектра регулируемой координаты при возрастании коэффициента передачи объекта управления.

Abstract: the question of a well-grounded choice of tuning parameters ranges of automatic control testing systems for their self-tuning algorithms research is considered. The basic structure of a self-tuning system with varying control object gain is brought. Main frequency characteristics of non-controllable disturbances which have effect on a control object are also justified here. Informative frequency band of a control variable spectrum during increasing gain of a control object is determined.

Ключевые слова: система автоматического регулирования, самонастройка коэффициента передачи, частотные характеристики.

Постановка задачи. При синтезе систем автоматического управления целого ряда технологических агрегатов, машин, установок оказывается, что их свойства как объектов управления (ОУ) известны не точно и, более того, могут меняться в широких пределах в различных режимах в процессе эксплуатации. В частности, к параметрам моделей ОУ, которые подвержены значительным изменениям, можно отнести коэффициент передачи k_o ОУ [1, 2].

Традиционные системы автоматического регулирования (САР), наиболее часто используемые в промышленности с ПИ- либо ПИД-алгоритмами [3], настраиваются наладчиками, как правило, на номинальные режимы работы и не в состоянии обеспечить требуемого качества регулирования и устойчивость системы при вариациях коэффициента передачи k_o ОУ.

В случае значительных неконтролируемых параметрических возмущений целесообразно использовать адаптивные системы управления и, в частности, самонастраивающиеся САР с замкнутым циклом адаптации [4, 5]. Однако применение таких систем на практике ограничено, что связано, на наш взгляд, с отсутствием достаточно простых («инженерных») методик синтеза таких систем. Для их разработки необходимо проведение специально организованных многофакторных компьютерных экспериментов.

Структурная схема и принцип работы самонастраивающейся САР. В процессе эксплуатации на ОУ действуют внешние неконтролируемые координатные $f_n(t)$ и параметрические $f_p(t)$ возмущения, а также шумы измерения $f_{ш}(t)$, которые в общем случае представляют собой случайные процессы. При изменении режимов работы, а также вследствие процессов деградации оборудования изменяется, в частности, коэффициент передачи k_o ОУ. Регулятор САР стабилизирует регулируемую координату $y(t)$ на уровне y_s , подавляя низкочастотную составляющую $f_n(t)$, оставаясь работоспособным в некотором узком диапазоне изменений k_o ОУ. Шумы измерения $f_{ш}(t)$ подавляются в системе цифровыми фильтрами низкой частоты (ФНЧ), которые обычно входят в состав регулятора.

Значительные параметрические возмущения $f_p(t)$, вызывающие изменения k_o , требуют перенастройки коэффициента передачи k_p регулятора САР в реальном времени для сохранения устойчивости системы. Эту функцию в САР с самонастройкой (САРС) выполняет блок самонастройки (рис. 1). В его состав входит модель ОУ, на вход которой подаётся управляющее воздействие $u(t)$ регулятора САР, и параметрический регулятор, стабилизирующий выход модели $y_m(t)$. На уровне выхода ОУ $y(t)$ за счёт изменения коэффициента передачи k_m модели. Другими словами, модель ОУ и параметрический регулятор выполняют текущую идентификацию коэффициента передачи k_m модели, отслеживая текущие изменения $k_o(t)$ ОУ.

Текущее значение $u(t)$, пропорциональное $k_m(t)$, а следовательно и $k_o(t)$, с выхода параметрического регулятора поступает также на вычислитель k_p , который определяет текущее значение $k_p(t)$, исходя из постоянства произведения $A_z = k_o \cdot k_p$, где A_z — некоторая константа, определяющая желаемый вид пе-

реходного процесса в САР. Передаточные функции регулятора $W^p(s)$, объекта $W^o(s)$ и его модели $W^m(s)$ с единичными коэффициентами усиления, а регулятор k_m представляет собой И-регулятор.

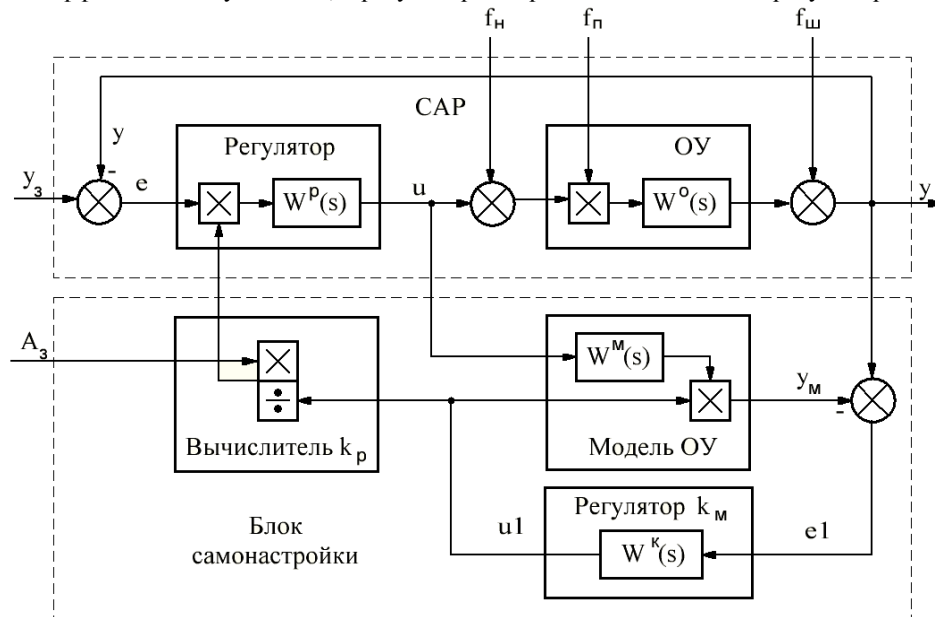


Рис. 1 — Базовая структурная схема САРС

Безусловно, реальные структуры САРС, способные обеспечить идентификацию $k_o(t)$ в условиях воздействия внешних неконтролируемых координатных возмущений $f_n(t)$ и шумов измерений $f_{ш}(t)$ ещё подлежат определению в ходе дальнейших исследований, однако уже рассмотрение первоначальной базовой структуры САРС, представленной на рис. 1, позволяет сделать следующие предварительные замечания:

а) в САРС взаимодействуют два контура с обратной связью — по состоянию ОУ и параметрический, что обуславливает сложный характер их движения;

б) САРС является принципиально нелинейной системой, что требует дополнительного анализа её устойчивости;

в) повышение динамической точности САР вступает в противоречие с повышением динамической точности параметрического контура, т.к. ухудшаются условия текущей идентификации $k_o(t)$.

Анализ и синтез САРС требуют предварительного проведения многофакторных компьютерных экспериментов и актуальной становится задача сокращения числа этих факторов.

Подготовка САР как составляющей тестового объекта для компьютерных экспериментов. Для сокращения числа параметров ОУ воспользуемся следующим подходом. В качестве модели ОУ выбран статический объект первого порядка с запаздыванием и осуществлено нормирование его параметров:

$$W_o(s) = \frac{k_o}{T_o s + 1} \exp(-\tau_o s) \rightarrow \frac{k_o}{T_o s + 1} \exp(-\frac{\tau_o}{T_o} s) = \frac{k_o^H}{T_o^H s + 1} \exp(-\tau_o^H s); \quad t^H = \frac{t}{T_o}; \quad \omega^H = \frac{2\pi}{T_o/\tau_o}, \quad (1)$$

где k_o, k_o^H — коэффициент и нормированный коэффициент ОУ;

T_o, T_o^H — постоянная и нормированная постоянная времени ОУ;

τ_o, τ_o^H — время и нормированное время запаздывания ОУ;

t^H — нормированное время;

ω^H — нормированная частота.

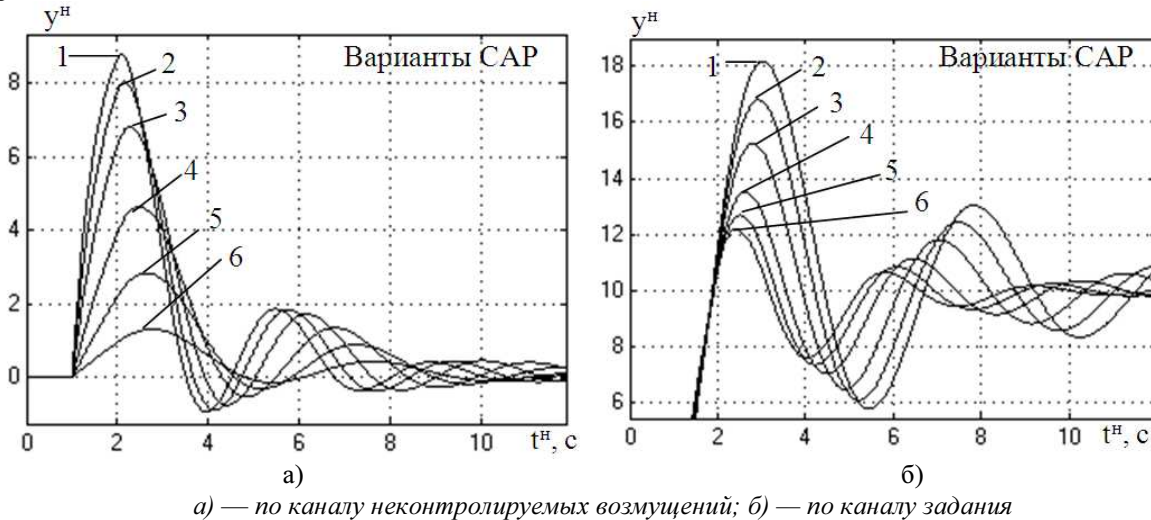
Варьируемым параметром вариантов ОУ выбрана нормированная постоянная времени. Оптимальные значения настроечных параметров ПИ-регулятора вариантов САР получены в результате их оптимизации методом Нелдера-Мида по интегральному квадратичному критерию и сведены в таблицу 1. Оптимизи-

зация проводилась на основании специально организованного компьютерного эксперимента в среде имитационного моделирования MATLAB Simulink [6].

Таблица 1 — Варианты исследуемых САР и их нормированные параметры

Вариант САР	Параметры ОУ и их нормированные значения			Критерий оптимизации $I = \int e^2(t)dt$ нормированное значение при оптимальных аргументах, I^H	Параметры регулятора САР и их оптимальные нормированные значения	
	коэффициент передачи, k_o^H	постоянная времени, T_o^H	время запаздывания, t_o^H		коэффициент передачи, k_p^H	время изотропа, $T_{из}^H$
1	1	10	1	3,61	10,84	4,19
2	1	4	1	15,9	4,45	3,44
3	1	2	1	38,7	2,24	2,66
4	1	1	1	72,0	1,3	1,85
5	1	2/3	1	90,6	0,97	1,46
6	1	0,5	1	101,1	0,81	1,24

Переходные процессы, соответствующие оптимальным значениям вариантов САР, приведены на рис. 2.



а) — по каналу неконтролируемых возмущений; б) — по каналу задания

Рис. 2 — Переходные характеристики вариантов САР

САРС работоспособна, если удаётся разделить спектральный состав изменений выхода ОУ $y(t)$, вызванных воздействием внешних неконтролируемых координатных возмущений $f_u(t)$, от изменений выхода ОУ $y(t)$, вызванных собственным движением системы при изменении $k_o(t)$. Для осознанного выбора спектрального состава $f_u(t)$ при моделировании получены частотные характеристики замкнутых САР по каналу внешних возмущений и шумов, а для оценки запасов устойчивости вариантов САР по критерию Найквиста — частотные характеристики разомкнутых САР. Примеры частотных характеристик САР приведены на рис. 3.

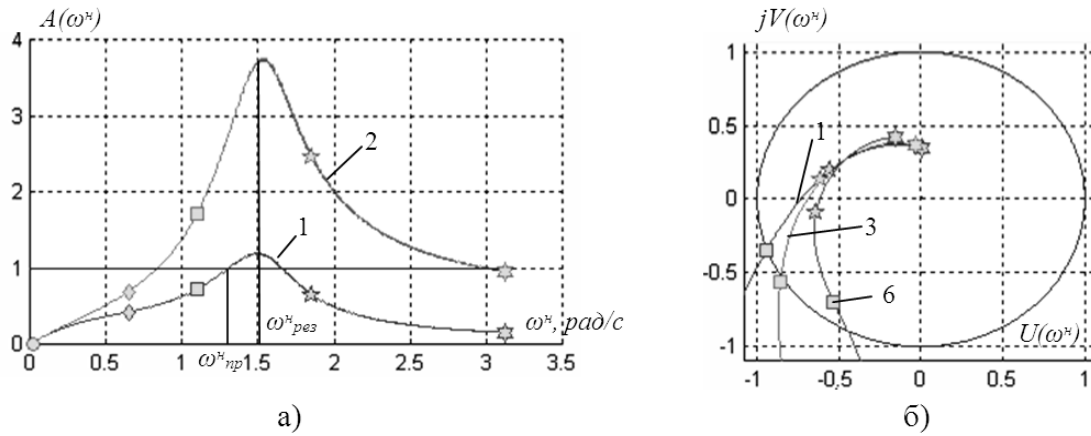
Значения нормированных предельных и резонансных частот сведены в таблицу 2, а значения запасов устойчивости по амплитуде и по фазе сведены в таблицу 3.

Таблица 2 — Значения предельных и резонансных частот вариантов САР по каналу внешних возмущений

Вариант САР	1	2	3	4	5	6
Нормированная предельная частота, $\omega_{пр}^H$	—	—	1,31	1,17	1,1	1,05
Нормированная резонансная частота, $\omega_{рез}^H$	1,33	1,39	1,48	1,64	1,76	1,85

Таблиця 3 — Запасы устойчивости вариантов САР

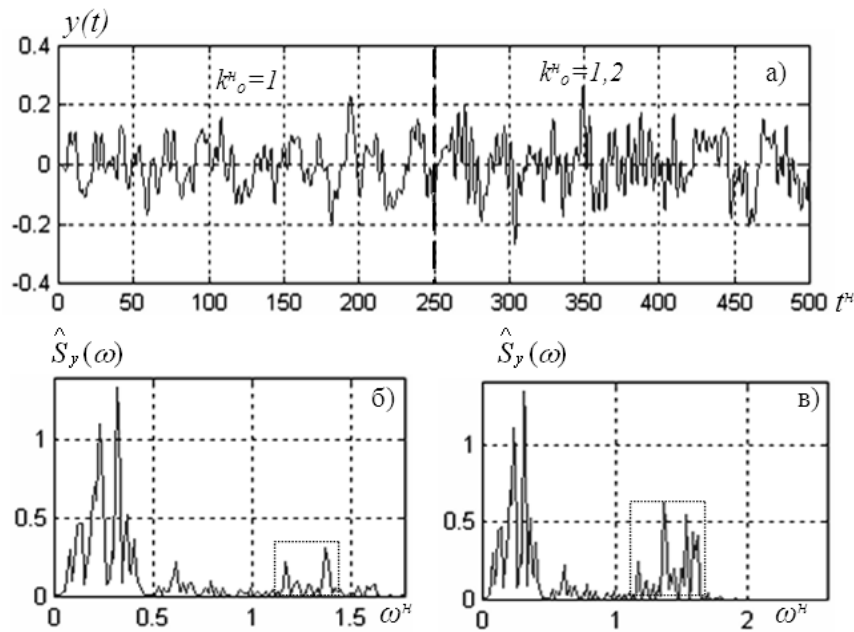
Вариант САР	1	2	3	4	5	6
Запас устойчивости по амплитуде, отн. ед	0,35	0,39	0,43	0,54	0,59	0,64
Запас устойчивости по фазе, рад	0,34	0,41	0,54	0,79	0,98	1,09



а) АЧХ замкнутой САР №3 1 — по каналу внешних возмущений, 2 — по каналу шумов;
 б) АФЧХ разомкнутых САР №1, САР №3, САР №6

Рис. 3 — Примеры частотных характеристик САР

Для генерации случайных возмущений $f_u(t)$ при моделировании САРС применен метод формирующего фильтра. В качестве фильтра выбран ФНЧ Баттерворта 4-го порядка с нормированной частотой среза $\omega''_{cp}=0,5$ рад/с, что соответствует области низких частот, в которых САР способны эффективно подавлять внешние возмущения. Моделирование САР при воздействии случайных возмущений $f_u(t)$ выявило информативную часть спектра регулируемой координаты $y(t)$, которую целесообразно использовать при построении усовершенствованных структур САРС. Как следует из рис. 4, в момент времени $t=250$ с при скачкообразном увеличении значения k_o ОУ с 1 до 1,2 изменяется не только дисперсия, но и спектральный состав $y(t)$, в том числе и за счёт изменений собственного движения САР.



а — реализация $y(t)$ при различных k_o ОУ; б — оценки спектра $y(t)$ при $k_o=1$;
 в — оценки спектра $y(t)$ при $k_o=1,2$

Рис. 4 — Иллюстрация влияния изменений k_o на спектральный состав $y(t)$

В оценках спектральной плотности мощности $y(t)$ увеличиваются составляющие спектра в диапазоне частот, близких к резонансной частоте САР. Выделение информативной части спектра $y(t)$ с помощью полосового фильтра позволяет оценить рост дисперсии сигнала в этой полосе, которая пропорциональна росту коэффициента передачи $k_o(t)$ ОУ.

Заключение. Разработанные варианты САР и модели координатных возмущений позволяют обоснованно подходить к организации многофакторных компьютерных экспериментов для исследования самонастраивающихся САР. Их конечная цель — определение структуры САРС и формулирование методик настройки их алгоритмов.

Литература

1. Изерман, Р. Цифровые системы управления [Текст]: пер. с англ. / Р. Изерман; ред. И. М. Макаров. — М.: Мир, 1984. — 541 с. : ил.
2. Мовчан, А. П. Адаптивні та параметрично-оптимальні системи управління [Текст]: навчальний посібник / А. П. Мовчан, О. В. Степанець — К.: НТУУ «КПІ», 2011. — 108 с.
3. Наладка средств автоматизации и автоматических систем регулирования [Текст]: справочное пособие / ред. А. С. Клюев. — 2-е изд., перераб и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 368 с.
4. Самонастраивающиеся системы [Текст]: справочник / А. Г. Ивахненко, П. И. Чинаев, Н. М. Чумаков; под общ. ред. П. И. Чинаева. — Киев: Наукова думка, 1969. — 528 с.
5. Александров, А. Г. Оптимальные и адаптивные системы [Текст]: учебное пособие / А. Г. Александров. — М.: Высшая школа, 1989. — 264 с.
6. Черных, И. В. SIMULINK: среда создания инженерных приложений [Текст] / И. В. Черных; под общ. ред. к. т. н. В. Г. Потемкина. — М.: ДИАЛОГ-МИФИ. — 2003. — 491 с.: ил.

УДК 537.226.678.01

ПОСТРОЕНИЕ ПЕТЛИ ГИСТЕРЕЗИСА «ПОЛЯРИЗАЦИЯ – НАПРЯЖЕННОСТЬ ПОЛЯ» В СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРАХ

Федосов С. Н., д-р физ.-мат. наук, профессор, Сергеева А. Е., д-р физ.-мат. наук, профессор
Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

Предложен новый метод изучения гистерезиса поляризация — напряженность поля на основе соответствующего изучения экспериментально зарегистрированной кинетики электретного потенциала в процессе коронной электризации при постоянном токе зарядки. В тех же экспериментах измеряются эффективная удельная электропроводность и диэлектрическая постоянная. В качестве примера, получена зависимость $P(E)$ для поливинилиденфторида (ПВДФ), а также найдены значения коэрцитивного поля и остаточной поляризации.

A new method is proposed to study polarization - field hysteresis based on the appropriate treatment of experimentally recorded kinetics of the electret potential during the constant current corona poling. The apparent conductivity and the dielectric constant have been measured in the same experiments. As an example, the $P(E)$ dependence for polyvinylidene fluoride (PVDF) have been obtained, as well as values of the coercive field and the remnant polarization.

Ключевые слова: поляризация, сегнетоэлектрический гистерезис, ПВДФ

1. Введение. Поляризации (P) в сегнетоэлектрических полимерах зависит нелинейно от напряженности поля (E), так что функция $P(E)$ представляется петлей гистерезиса. Определение коэрцитивного поля (E_c) и остаточной поляризации (P_r) из этой зависимости является важным не только для выбора параметров электризации, но также для оценки пьезоэлектрических и пьезоэлектрических свойств поляризованных пленок. Для корректного получения функции $P(E)$, следует учитывать некоторые важные особенности. Прежде всего, обычно используемые схемы Сойлера-Тауэра [1] не применимы в случае сегнетоэлектрических полимеров, так как максвелловское время релаксации находится в диапазоне сотен секунд [2]. Поэтому корректные измерения должны проводиться на инфранизких частотах. Кроме того, необходимо извлекать поляризационную составляющую из полного тока электризации и отделять ее от двух других компонент, соответствующих емкостному току и току проводимости. Кроме того, в расчетах функции