

Автоматическая оптимизация параметров ПИ-регулятора по критерию минимума средневзвешенной квадратичной ошибки

Кузнецова А. Н.¹, Глущенко Е. В.²

¹Кузнецова Анастасия Николаевна / Kuznesova Anastasija Nikolaevna - магистр, старший преподаватель;

²Глущенко Елена Вячеславовна / Glushhenko Elena Vjacheslavovna - старший преподаватель, кафедра автоматизации, информационных систем и безопасности, Рудненский индустриальный институт, г. Рудный, Республика Казахстан

Аннотация: работа посвящена оптимизации САР с помощью критерия минимума средневзвешенной квадратичной ошибки с весом в виде переходной функции или ее положительной четной степени.

Ключевые слова: система автоматического регулирования, средневзвешенная квадратичная ошибка.

В инженерной и исследовательской практике при синтезе систем автоматического регулирования (САР) используются интегральные показатели или оценки качества.

Простейшей интегральной оценкой является линейная интегральная оценка

$$Q_L = \int_0^{\infty} [x(\infty) - x(t)] dt, \quad (1)$$

которая равна площади, заключенной между прямой $x(t) = x(\infty)$ и кривой переходного процесса $x(t)$. Интегральная оценка учитывает как величину динамических отклонений, так и длительность их существования. Поэтому чем меньше оценка, тем лучше качество процесса [1].

Недостатком линейной интегральной оценки Q_L является то, что ее можно применять лишь для заведомо не колебательных, аperiodических переходных процессов. В связи с этим для колебательных переходных процессов применяют такие интегральные оценки, знакопеременность подынтегральной функции которых тем или иным способом устранена. Такими оценками являются, например, модульная интегральная оценка

$$Q_M = \int_0^{\infty} |\varepsilon_n|(t) dt, \quad (2)$$

и ее модификация

$$Q'_M = \int_0^{\infty} t |\varepsilon_n|(t) dt. \quad (3)$$

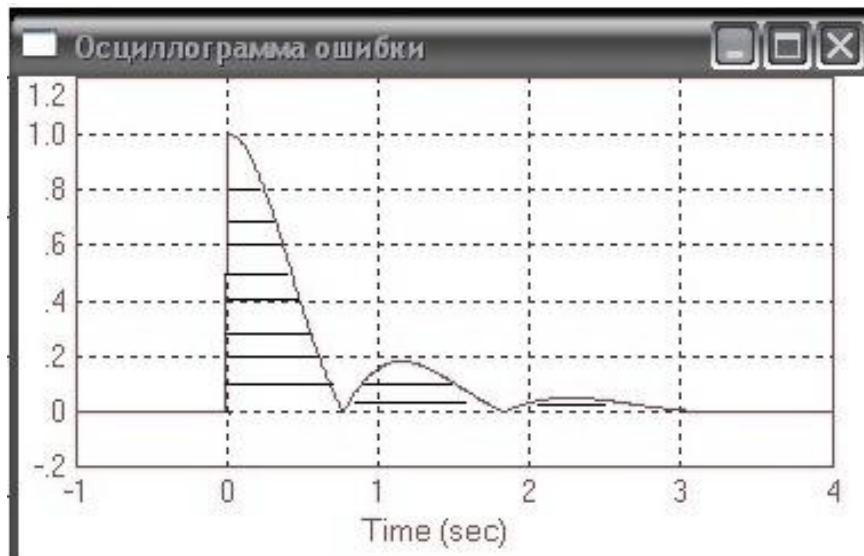


Рис. 1. Осциллограмма ошибки регулирования, полученной при оптимизации методом модульной интегральной оценки

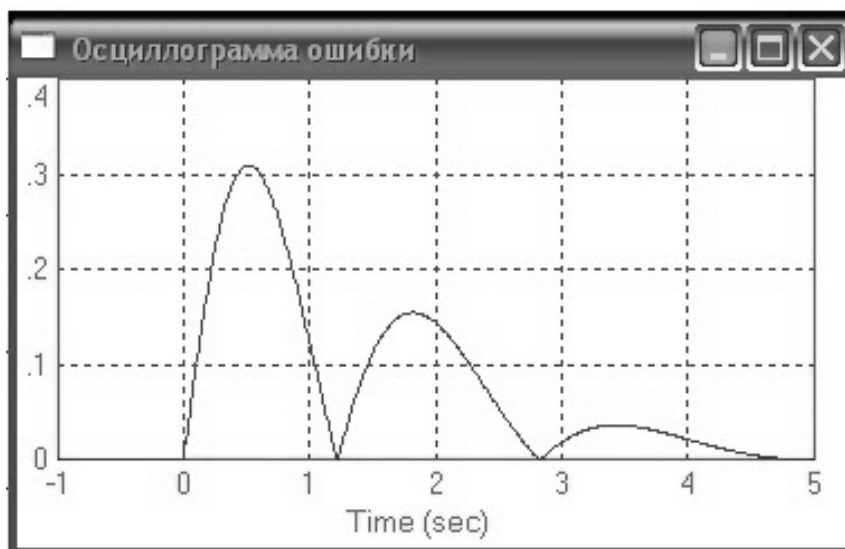


Рис. 2. Осциллограмма ошибки регулирования, полученной при оптимизации методом модульной интегральной оценки, взвешенной с t

Оценка Q'_m придает больший вес тем значениям сигнала ошибки, которые имеют место в конце переходного процесса.

При анализе и синтезе систем регулирования с колебательными свойствами наиболее широко используется квадратичная интегральная оценка.

Критерий минимума среднеквадратической ошибки (СКО) использует в качестве функции цены среднеквадратическую ошибку слежения или стабилизации в переходном режиме. Наилучшей настройкой САР (значения и сочетание параметров ее элементов) при этом считается такая, при которой СКО регулирования достигает минимума без учета ошибок установившегося режима [2].

Удобство критерия состоит в том, что значение СКО для конкретной модели САР в модулирующей программе определяется довольно легко, хотя аналитическое решение задачи по этой формуле бывает довольно трудоемким.

Смысл критерия состоит в том, что чем короче переходный процесс, и чем меньше колебательность САР и ее ошибки перерегулирования, тем меньше получается значение СКО. Возведение в квадрат ошибки регулирования увеличивает вклад в СКО больших значений ошибки, и не позволяет положительным и отрицательным значениям компенсировать друг друга при интегрировании.

Оптимизация параметров ПИ-регулятора САР по критерию минимума среднеквадратической ошибки приводит к завышенной колебательности, то есть качество САР не достигает возможного уровня. Желательно предложить новый критерий оптимизации параметров ПИ-регулятора САР, например, улучшить критерий минимума СКО.

Устремление СКО регулирования к минимуму приводит к САР, имеющей высокое, насколько это возможно для конкретной САР быстродействие, но несколько завышенную, а иногда чрезмерную колебательность. Объясняется это тем, что в интегральную ошибку значительный, решающий вклад вносят значения ошибки в первые моменты реагирования САР на ступенчатое воздействие [3].

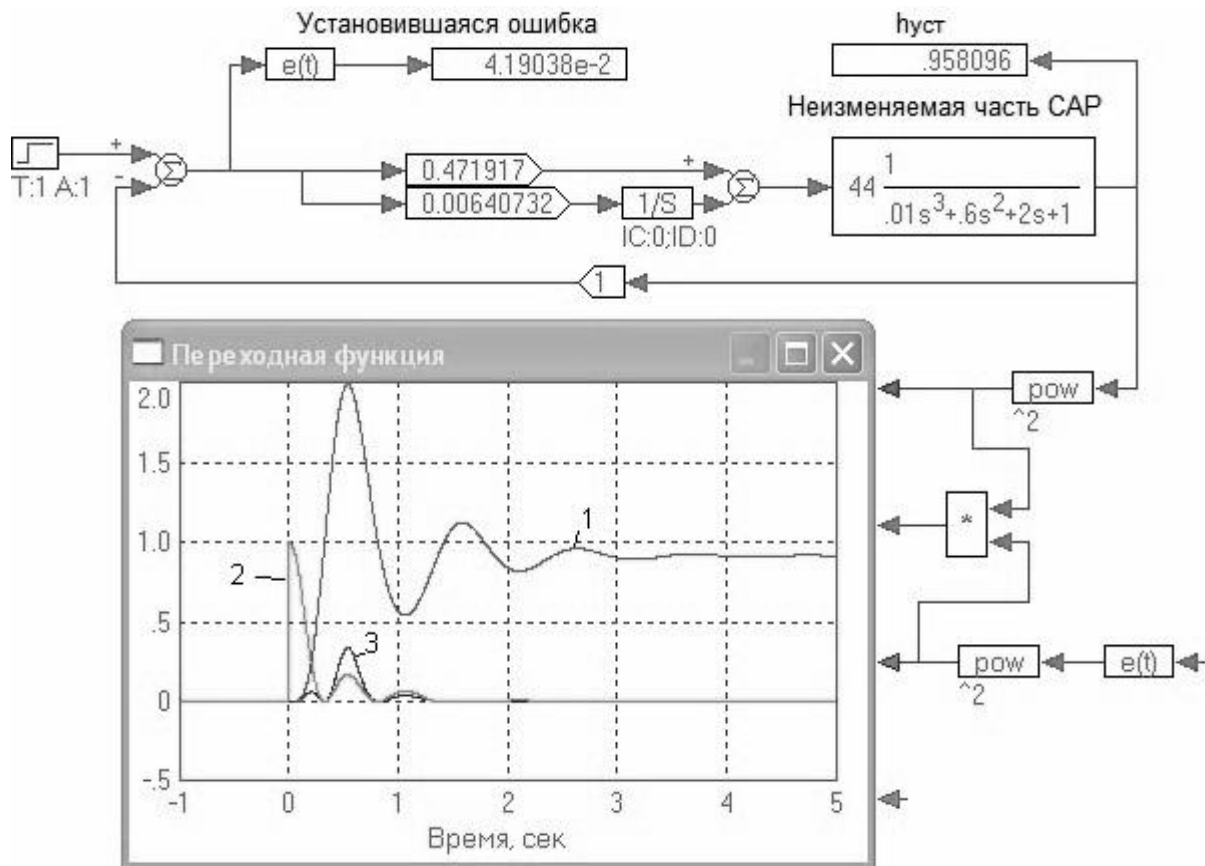
Общим достоинством всех вышеперечисленных критериев является то, что они позволяют оптимизировать САР, а общим недостатком вышеперечисленных критериев является то, что устремление цены (значения показателя качества) к минимуму приводит к САР, имеющей высокое, насколько это возможно для конкретной САР, быстродействие, но несколько завышенную, а иногда чрезмерную колебательность.

Таким образом, целесообразно предложить такой критерий, который может быть использован как для апериодических процессов, так и для колебательных, при этом существенно снижать не только время регулирования, так и перерегулирование, то есть улучшать качество САР.

Оптимизация по минимуму СКО приводит, как было показано выше, к САР с завышенной колебательностью, поскольку основной вклад в интеграл дает начальное изменение ошибки. Он-то в основном и минимизируется, что приводит к быстрому нарастанию переходного процесса оптимизированной САР, а, следовательно, и к ее завышенной колебательности.

С целью устранения этого недостатка в качестве веса средневзвешенной квадратичной ошибки (СВКО) была выбрана переходная функция и ее четные положительные степени, так как нечетная степень переходной функции может привести к неустойчивой САР (положительные и отрицательные колебания компенсируют друг друга).

В качестве обоснования состоятельности критерия ниже приведен рисунок 3.



1 – осциллограмма $h^2(t)$; 2 – осциллограмма e^2 ; 3 – осциллограмма $e^2 * h^2(t)$

Рис. 3. Осциллограммы e^2 , $h^2(t)$ и $e^2 * h^2(t)$

Основной вклад в интеграл произведения $e^2 * h^2(t)$ (площадь под графиком 3) определяется моментами времени в окрестностях максимального перерегулирования, в то время как для интеграла от e^2 (кривая 2) основной вклад определяется начальными, после подачи ступенчатой функции, моментами времени.

Итак, критерий оптимизации по минимуму СВКО с весом в виде переходной функции или ее положительной четной степени состоятелен.

При повышении степени переходной функции вклад в интеграл начальных значений взвешенной ошибки становится ещё меньше, перерегулирование и время регулирования соответственно тоже. Прделав несколько экспериментов с увеличением степени переходной функции, нашли оптимальное значение степени переходной функции – $h^4(t)$.

Особенностью критерия минимума СВКО по $h(t)$ оптимизации САР является то, что весовая функция заранее не известна и определяется в процессе оптимизации. Аналитическое решение такой задачи сложное, оно требует применения аппарата вариационного исчисления.

В то же время программа VisSim справляется с численным решением задачи оптимизации по названному критерию минимума СВКО довольно легко. Быстрота выполнения оптимизации по указанному критерию позволяет за короткое время оптимизировать несколько различных САР.

На рисунках 4 и 5 приведена модель оптимизированной САР, содержащая ПИ-регулятор и неизменяемую часть. Вес в данном случае – четвертая степень переходной функции оптимизируемой САР.



Рис. 4. Фрагмент модели VisSim для оптимизации параметров ПИ-регулятора САР

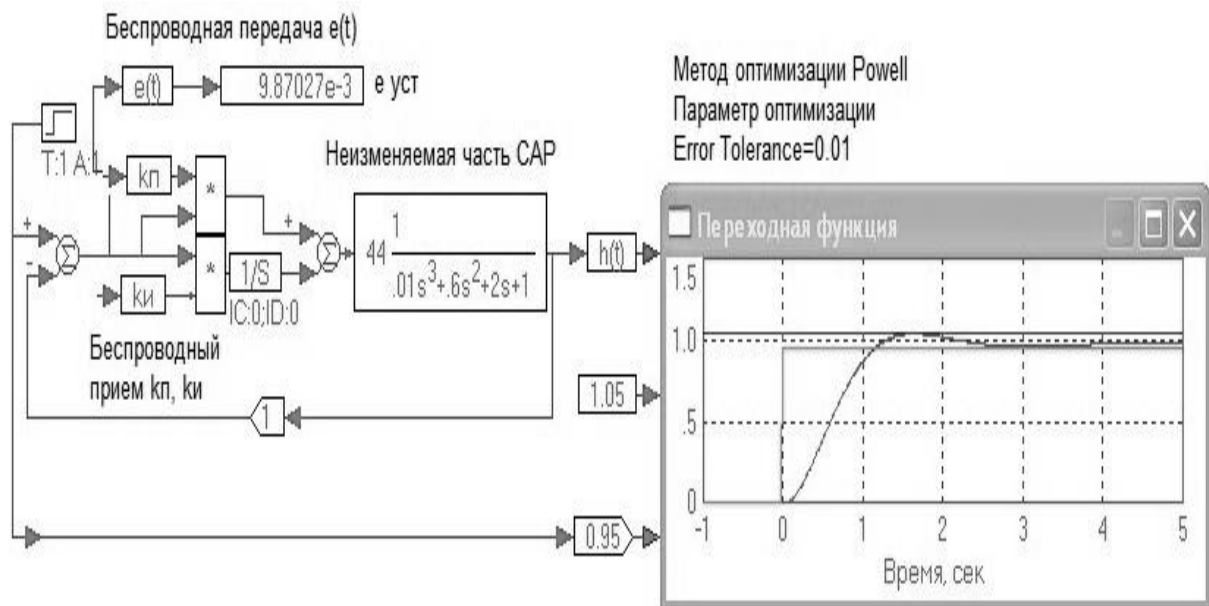


Рис. 5. Результат автоматической оптимизации параметров ПИ-регулятора по критерию минимума СВКО с $h^4(t)$

Перерегулирование равно 5 %, качество хорошее. Таким образом, домножение квадрата ошибки на четвертую степень переходной функции приводит к снижению колебательности САР и времени регулирования, то есть повышается ее качество и быстродействие.

Литература

1. Земсков В. А. Теория автоматических систем РК. В 2-х частях. Часть 1. Саратов: СВВКИУ, 1992 г. 132 с.
2. Лукас В. А. Теория автоматического управления. М.: Недра, 1990 г. 416 с.
3. Клавдиев А. А. Теория автоматического управления в примерах и задачах. Ч 1. Учеб. пособие. – СПб: СЗТУ, 2005 г. 81с.