

Вопрос. Каким критерием оптимизации переходных процессов в САР эффективнее пользоваться на практике?

Проводится сравнение различных критериев оптимизации переходных процессов с точки зрения их практического применения при наладке регуляторов.

Various transient optimization criteria are compared subject to their controller tuning applications.

Ответ. Сравним критерии оптимизации переходных процессов.

Для сравнения критериев возьмём модель объекта со следующими параметрами:

- $K_o = 1$
- $T_o = 100$
- $T = 30$.

Для данного объекта произведем оптимизацию настроек регулятора четырьмя наиболее распространёнными методами:

1. СКО
$$\min \frac{1}{TM} \int_0^{TM} e^2(t) dt,$$

2. IAE (Интегрально-модульный)
$$\min \int_0^{TM} |e(t)| dt,$$

3. ITAE (Интеграл произведения модуля на время)
$$\min \int_0^{TM} t \cdot |e(t)| dt,$$

4. Метод, лежащий в основе “P.I.D. – expert” – минимальное время регулирования

$$\min TM,$$

где t – текущее время, TM – продолжительность законченного переходного процесса, $e(t)$ – текущее значение ошибки регулирования.

Полученные в результате оптимизации настройки регуляторов приведены в таблице. Переходные процессы – на рисунках 1-4.

Результаты оптимизации

| Метод | K_p | T_i |
|---|-------|-------|
| СКО (среднеквадратическое отклонение) | 3,74 | 93,64 |
| IAE (Интегрально-модульный) | 2,93 | 80,11 |
| ITAE (Интеграл произведения модуля на время) | 2,56 | 73,27 |
| Минимальное время регулирования (“P.I.D. – expert”) | 1,5 | 74,65 |

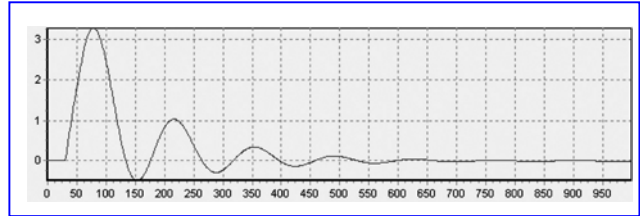


Рис. 1. Метод СКО

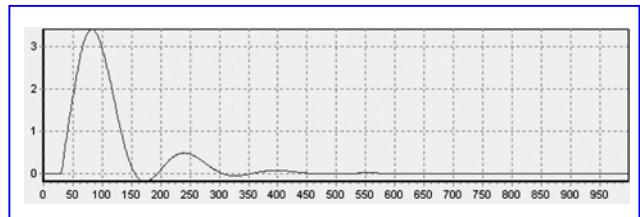


Рис. 2. Метод IAE

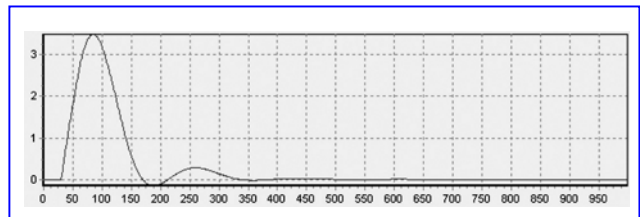


Рис. 3. Метод ITAE

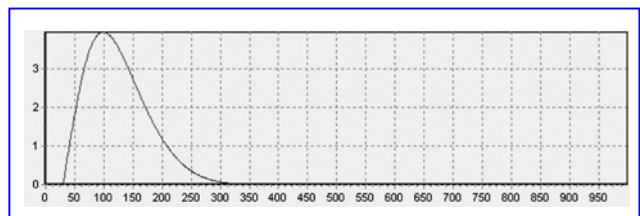


Рис. 4. Минимальное время регулирования («P.I.D. – expert»)

Сравним более подробно переходный процесс (рис. 5), оптимизированный по СКО, с переходным процессом, оптимизированным по минимальному времени регулирования.

Под № 1 показаны графики переходных процессов в замкнутом контуре с регулятором, настройки которого оптимизированы исходя из минимального времени регулирования. Под № 2 – регулятор, настройки которого оптимизированы по СКО.

Регулятор, настройки которого оптимизированы по СКО, при смене задания дает выбег в 5 раз (!) больший по сравнению с регулятором, настройки которого оптимизированы исходя из минимального времени регулирования (рис. 5, верхний график).

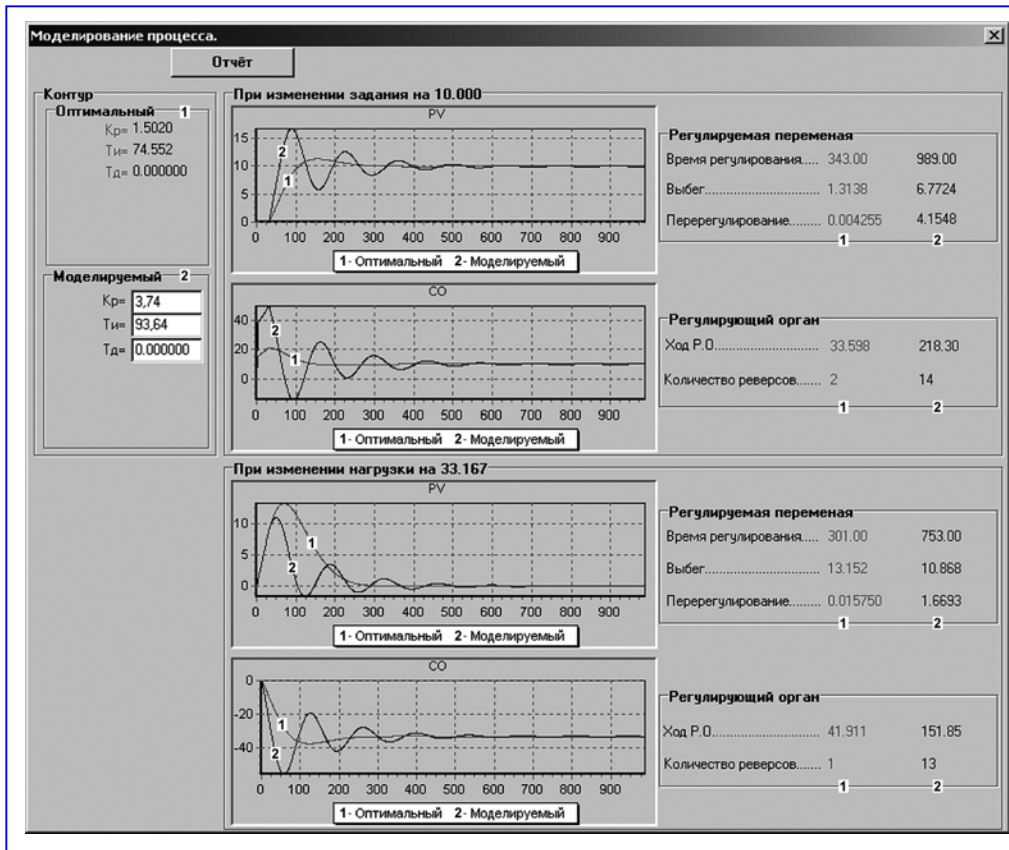


Рис. 5. Сравнение переходных процессов

В случае с возмущением по нагрузке (рис. 5, второй график снизу) регулятор, настроенный по СКО, лишь незначительно улучшает максимальную динамическую ошибку (выбег).

Для обоих видов возмущений регулятор, настроенный по СКО, приводит к многократному увеличению времени регулирования.

Кроме того, СКО дает настройки, при которых система достаточно близка к границе устойчивости. Так, изменение свойств объекта на 30 % (увеличение K_0 или τ) приведет к незатухающим колебаниям (рис. 6). А для регулятора, настроенного по минимальному времени регулирования, указанное изменение параметров объекта на характер переходного процесса окажет крайне незначительное влияние (рис. 7). Сравните с графиками исходных процессов (рис. 1 и рис. 4 соответственно).

Таким образом, оптимизация по СКО при неочевидных преимуществах (незначительное уменьшение динамической ошибки при возмущении по нагрузке) значительно уступает по остальным показателям (в несколько раз!).

Что касается двух других методов (IAE и ITAE), то они дают некоторые промежуточные значения (между СКО и минимальным временем) по всем рассматриваемым характеристикам. Однако рассмотренные вы-

ше тенденции сохраняются. У процессов, оптимизированных этими методами, наблюдается большая колебательность и меньший запас устойчивости по сравнению с процессами, оптимизированными по минимальному времени регулирования.

Метод оптимизации по СКО широко представлен в научной литературе по той причине, что эта задача решается относительно простыми математическими способами. На практике же использовать этот метод для настройки регуляторов, исходя из вышеперечисленных обстоятельств, представляется нам, мягко говоря, нецелесообразно.

Оптимизация по критерию минимального времени регулирования – напротив, чисто математически не имеет однозначного решения, т.к. все процессы (с точки зрения математики) сходятся в бесконечности и не имеют окончания. На практике же – это наиболее выгодный критерий (имеет наилучший компромисс между выбегом и перерегулированием) и наиболее понятный пользователю.

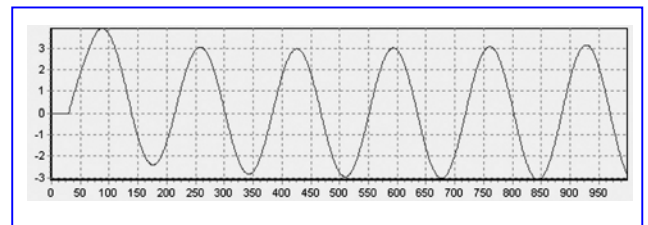


Рис. 6. СКО при увеличении запаздывания на 10 с

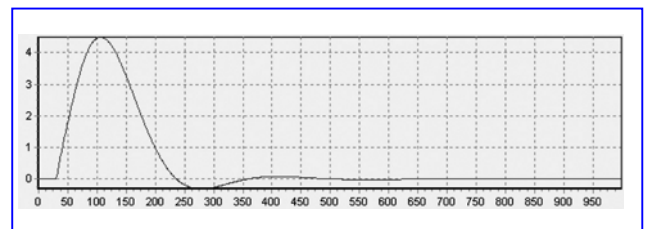


Рис. 7. «P.I.D. – expert» при увеличении запаздывания на 10 с

PS. Оптимизация по критериям СКО, IAE и ITAE выполнена с помощью “IPC-CAD. СИМОНА”. Моделирование, оптимизация по минимальному времени моделирования – с помощью “P.I.D. – expert. Станция инженерного сопровождения систем автоматического регулирования”.

