

ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

ЛЕКЦИЯ 12

4.3 Основные показатели качества работы систем управления

Как уже говорилось, при синтезе регуляторов большое значение имеет принятый критерий качества. Рассмотрим коротко показатели качества, используемые при синтезе аналоговых и цифровых систем управления.

Используется много показателей качества. Это – не от хорошей жизни. Дело в том, что решение задачи синтеза системы управления на данный момент времени неоднозначно. Как уже говорилось, разработано много методов параметрического синтеза и в каждом из них применяются свои показатели качества. Те же критерии используются и в структурных методах синтеза.

Наиболее полной характеристикой качества системы регулирования является ее ошибка, или рассогласование, как функция времени

$$\varepsilon(t) = y_3(t) - y(t) \quad . \quad (4.1)$$

В идеале эта ошибка всегда должна быть равна нулю. Тогда $\varepsilon(t)$ является единственным показателем качества и проблем в его использовании не возникает. Но из-за инерционности ОУ и ограниченности управляющих воздействий ошибка $\varepsilon(t)$ почти всегда отлична от нуля. Она в условиях внешних воздействий то положительная, то отрицательная, иногда переходит через нуль. Тогда возникает проблема: как учесть все эти отклонения в течение всего времени регулирования? Напрашивается решение: использовать обобщенные числовые характеристики, которые прямо или косвенно зависят от поведения $\varepsilon(t)$ в течение времени регулирования. Это и есть критерии (показатели) качества. Итак: *показатель качества регулирования – это обобщенная числовая характеристика, которая прямо или косвенно зависит от поведения ошибки регулирования $\varepsilon(t)$ в течение времени регулирования.* Ошибка $\varepsilon(t)$ зависит как от свойств системы управления, так и от внешних воздействий на систему (задание, возмущения). По этой причине, то есть чтобы абстрагироваться от внешних воздействий, критерии (показатели) качества определяют при определенных внешних воздействиях, называемых типовыми. Итак: *Типовыми внешними воздействиями системы управления называются определенные воздействия, применяемые при вычислении критериев (показателей) качества ее работы* (Ким, Т1, 2003, с. 123).

В качестве типовой чаще всего используют ступенчатую функцию. Применяют также импульсную функцию, гармонический сигнал, периодический или непериодический сигнал другой фиксированной формы, случайный процесс с заданными вероятностными характеристиками.

К сожалению, нет универсального критерия качества, который бы подходил для всех систем.

Наибольшее применение имеют следующие критерия качества:

1) Прямые показатели качества: статическая ошибка, динамическая ошибка и время регулирования. Они определяются по переходной функции замкнутой системы регулирования следующим образом.

– Статическая ошибка регулирования, или статизм $\delta_{абс.см}$

$$\delta_{см} = \frac{y_3 - y_{уст}}{y_3} \cdot 100\% \quad (4.2)$$

где y_3 – изменение задания;

$y_{уст}$ – установившееся значение изменения выхода объекта после подачи скачка по заданию.

– Динамическая ошибка, или перерегулирование $\delta_{дин}$

$$\delta_{дин} = \frac{y_{max} - y_{уст}}{y_{уст}} \cdot 100\% \quad (4.3)$$

– Время регулирования t_p . Это время, после которого выполняется условие

$$y_{уст} - y(t) \leq \pm \Delta \quad (4.4)$$

где Δ – некоторая заданная величина, обычно $\Delta = 0,05 \cdot y_3$.

Таким образом t_p – время от момента изменения задания до момента вхождения выходной переменной в зону $y_3 \pm \Delta$.

Прямые показатели качества поясняются на рис. 3.3. Эти показатели качества представляются наиболее естественными и подходящими критериями качества. Они имеют наибольшее применение на практике.

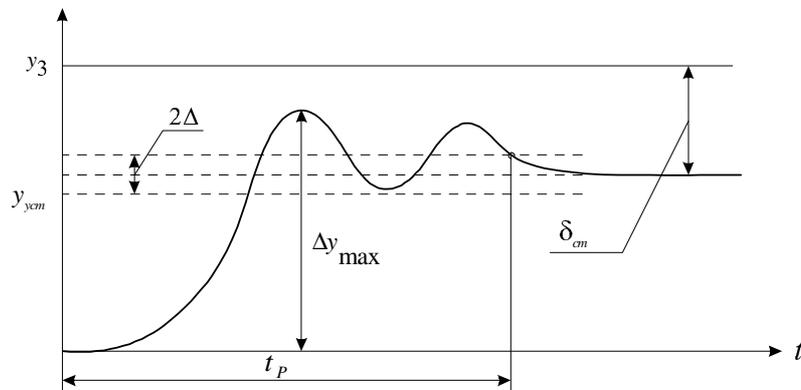


Рисунок 4.1 – Основные показатели качества регулирования.

2) Заданное расположение полюсов замкнутой системы регулирования. Полюса располагают так, чтобы система имела благоприятную динамику в переходных режимах.

Напомним, что, если передаточная функция линейной системы имеет вид

$$W_{оо}(s) = \frac{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0}{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0}, \quad (4.5)$$

то ее полюсами являются корни характеристического уравнения знаменателя (2.22), то есть полюсы есть корни уравнения

$$\lambda^n + a_{n-1} \lambda^{n-1} + \dots + a_1 \lambda + a_0 = 0. \quad (4.6)$$

Попутно напомним, что нулями системы называются корни характеристического уравнения числителя (4.6). Полюсы и нули полностью определяют динамику разрабатываемой системы управления. Полюсы определяют её устойчивость, на переходную характеристику влияют нули и полюсы.

Однако трудно прямо задать положение полюсов, которое обеспечивало бы благоприятное протекание переходных процессов в системе. Для систем невысокого порядка (обычно не больше второго) динамика, задаваемая данным положением полюсов,

часто оценивается по рассмотренным ранее показателям качества (см. п.1). Другой путь преодоления этой трудности заключается в применении "стандартных" форм, в качестве которых выступают стандартные фильтры. Это фильтры Чебышева, Бесселя, Баттерворта, апериодические фильтры и фильтры с критическим затуханием (К. Шенк, с.185). Видимо, наиболее подходящим является фильтр Бесселя.

3) Интегральные квадратичные критерии качества. Это очень удобный критерий для аналитической оптимизации, так как его производная по оптимизируемым параметрам для линейных систем есть линейная функция, то есть экстремум (минимум) критерия достаточно легко ищется. Существует много разновидностей такого критерия, отличающихся наличием или отсутствием отдельных составляющих.

Самый простой интегральный квадратичный критерий имеет вид

$$J = \int_0^{\infty} \varepsilon^2(t) dt . \quad (4.7)$$

Здесь под $\varepsilon(t)$ понимается отклонение выходной переменной от своего задания. Чем больше отклонение у от нуля в ту или другую сторону, тем больше величина критерия. Однако известно, что система регулирования, настроенная по этому критерию, имеет слишком большую динамическую ошибку и колебательно сходящуюся переходную функцию, из-за чего время регулирования также слишком велико.

Для устранения этого недостатка в подынтегральное выражение критерия (4.7) вводят в виде слагаемых (аддитивных добавок) составляющие вектора состояния и управляющие воздействия объекта управления. Эти слагаемые вводятся со своими весами, задаваемыми коэффициентами. Такие коэффициенты называются весовыми коэффициентами. Считается, что весовые коэффициенты заданы.

Распространенный вид интегрального критерия для системы с одним выходом следующий (Изерман, с. 78, (4.1)).

$$J = \int_0^{\infty} (\varepsilon^2(t) + r \Delta u^2(t)) dt , \quad (4.8)$$

где $e(t)$ – рассогласование выходной переменной от своего задания;

r – весовой коэффициент;

Δu – отклонение управляющего воздействия от своего установившегося значения.

В регуляторах состояния фигурируют несколько регулируемых переменных, в многомерных системах несколько не только регулируемых переменных, но и управляющих воздействий, поэтому в общем виде интегральный квадратичный критерий имеет вид

$$J = \int_0^{\infty} (\bar{\varepsilon}^T Q \bar{\varepsilon} + \Delta \bar{u}^T R \Delta \bar{u}) dt, \quad (4.9)$$

где $\bar{\varepsilon}$ – вектор рассогласований в пространстве состояния объекта регулирования;

$\Delta \bar{u}$ – вектор отклонений управляющих воздействий объекта;

Q, R – заданные симметричные квадратные матрицы весовых коэффициентов;

T – знак транспонирования.

Для дискретных цифровых систем интегралы в (4.7 – 4.9) заменяются суммами.

4) Частотные критерии качества. К ним относятся степень колебательности (ее принято обозначать m), степень устойчивости, абсолютное (максимальное) значение вещественной части полюсов (Воронов, с. 263). Их определяют по расположению полюсов на комплексной плоскости. Под степенью устойчивости принято понимать расстояние от мнимой оси комплексной плоскости до ближайшего полюса замкнутой системы. Степень устойчивости (хотя не соответствует названию) характеризует быстродействие системы. Степень колебательности – это наибольший тангенс угла, образованного вещественной осью и лучом из начала координат через данный полюс (Ким, Т1, 2003, с. 127).

Другая группа критериев связана с ЛАЧХ. Это запас по фазе, запас по амплитуде, частота среза, полоса пропускания, показатель колебательности и некоторые другие.

Показатель колебательности – это отношение максимального значения АЧХ на частоте резонанса к начальному ее значению при нулевой частоте. Желаемое значение этого показателя от 1,1 до 1,5 (У Бессекерского, с. 60 – 1,1...1,3 для "хорошо" задемпфированных систем и 1,3...1,7).

Полоса пропускания – диапазон частот от нуля до частоты, на которой АФХ принимает значение 0,707. Чем больше эта полоса, тем выше быстродействие системы.

Запасы по фазе и амплитуде определяются по АФЧХ или ЛЧХ разомкнутой системы (Ким, Т1, 2003, с. 135). Здесь также имеются рекомендуемые значения, полученные из практики работы.

Частотные критерии, как правило, могут быть вычислены без решения уравнений объекта или характеристических уравнений и в этом плане удобнее прямых методов. Основной недостаток частотных критериев заключается в трудности их переноса во временную область (интерпретации во временной области). Но сейчас, когда в нашем распоряжении имеются персональные компьютеры, проблема получения прямых оценок в значительной степени снята, и удобство вычисления является не таким значимым. В то же время указанный недостаток частотных критериев остался, поэтому область их применения сужается.

5) Часто используются комбинированные критерии, сочетающие в себе несколько разнородных показателей качества из числа рассмотренных выше. Например, в методе расширенных частотных характеристик применяется критерий, обеспечивающие заданную степень колебательности процесса регулирования при минимуме интегрального квадратичного критерия" (Дудников, с. 26).