

МОДЕРНИЗИРОВАННЫЙ ПРОПОРЦИОНАЛЬНО-ИНТЕГРОДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ РЕГУЛЯТОР МП-ИД

Краткое описание проекта.

Пропорционально-интегриродифференциальный (ПИ-ИД) регулятор широко известен вот уже более 100 лет. Существует множество методик проектирования и настройки этого наиболее ответственного узла систем автоматического регулирования (САР) и систем автоматического управления (САУ), от которого зависят основные качественные показатели этих систем. Однако на практике настройка регулятора, а именно – установка пропорционального K , интегрального K_I и дифференциального K_D коэффициентов производится, как правило, довольно грубо, делая переходный процесс либо затяжным, существенно ухудшая быстродействие системы, либо явно колебательным, ухудшая устойчивость и создавая тяжелый режим работы всей системы. Либо вообще не производятся никакие настройки под конкретный объект управления – коэффициенты просто переносятся «по умолчанию» из аналогичных проектов. По всей видимости вышеуказанные методики все же не дают четкого понимания принципа влияния коэффициентов на качественные показатели системы.

Действительно, если рассмотреть передаточную функцию ПИ-ИД регулятора и привести к общему знаменателю (1) для последующей подстановки в уравнение замкнутой САР (3), можно увидеть, что коэффициент при s^2 числителя зависит от T_I и T_D , а коэффициент при s от T_I и K .

$$W_G(s) = K + \frac{K_I}{s} + K_D s = \frac{T_I T_D s^2 + T_I K s + 1}{T_I s} \quad (1)$$

здесь $T_I = 1/K_I$, $T_D = K_D$ – постоянные времени интегрирования и дифференцирования соответственно.

Далее, если подключить к регулятору объект управления, например двигатель постоянного тока (2), выходной величиной в данном случае пусть будет скорость вращения, статический коэффициент передачи объекта – в относительных единицах,

$$W_D(s) = \frac{1}{T_M T_E s^2 + T_M s + 1} \quad (2)$$

где T_M и T_E – механическая и электрическая постоянные времени двигателя соответственно, при замыкании системы имеем:

$$W(s) = \frac{W_G(s) W_D(s)}{1 + W_G(s) W_D(s)} \quad (3)$$

После подстановки в (3) передаточных функций регулятора и объекта получится еще более сложное выражение (не приводится из соображения компактности

публикации), с более сложной *взаимозависимостью* K , T_I и T_D , собственно пропорционального, интегрального и дифференциального коэффициентов регулятора.

Это вполне напоминает ситуацию с карбюраторными двигателями внутреннего сгорания, когда регулировка карбюраторов осуществлялась тремя винтами: винтом количества топливно-воздушной смеси, винтом качества этой смеси и винтом холостого хода. Причем регулировка одного винта оказывала ощутимое влияние на регулировку другого. Настройка карбюраторов представляла собой одну из сложных задач - компромисс между экономичностью топлива, уровнем СО и устойчивостью на холостых оборотах практически был недостижим, пока на смену карбюраторам не пришли двигатели с электронной микропроцессорной системой подачи топлива (инжекторной топливной системой).

Поэтому альтернативой для расчета коэффициентов регулятора остаются только классические методы расчетов САР (САУ). Однако подобные методы, представленные в многочисленных учебных пособиях по Теории автоматического управления и регулирования, являются настолько сложными и трудными для понимания, что на практике используются как редкое исключение и являются тонким искусным инструментом в руках лишь избранных специалистов. У некоторых студентов при «штурме» курсовых работ по Теории автоматического регулирования вызывает удивление, что сложнейшие расчеты САР на 10-15 страницах приводят к синтезу простейшей корректирующей цепочки всего на двух-трех РС-элементах, обеспечивающих при этом весьма скромные качественные показатели системы.

Между тем незначительная аппаратная или программная (если это цифровой регулятор) доработка П-ИД регулятора позволит довольно просто обеспечить высокие заданные качественные показатели САР. Причем в ряде случаев не потребуется даже доработка, возможно будет ограничиться лишь настройкой регулятора. Основное внимание при этом уделяется качеству переходного процесса, обеспечивается перерегулирование не более нескольких процентов (*перерегулирование* – это специфический технический термин, для понимания – величина выброса переходной характеристики САР). Также обеспечиваются точность и быстродействие, соизмеримые с максимально возможными для конкретной системы. И наконец, производится учет нелинейности системы – камень преткновения не только для начинающих. Практически любые реальные звенья САР (САУ) обладают ограниченным диапазоном выходных величин, поэтому по природе своей являются нелинейными (несмотря на дополнительные меры по линеаризации этих звеньев путем введения дополнительных обратных связей). И неучет этих нелинейностей (выполнение расчетов, ограничившись анализом только линейных режимов работы системы) в ряде случаев может быть фатальной ошибкой.

Модернизированный регулятор изначально получил название МП-ИД – «Модернизированный Пропорционально-интегродифференциальный», допускается расшифровка аббревиатуры «Микропроцессорный-интегродифференциальный», последнее название более корректно, поскольку наиболее интересной с практической точки зрения является безусловно цифровая реализация, хотя возможна реализация регулятора и в аналоговом исполнении.

Алгоритм регулятора МП-ИД опробован на базе опытного образца цифрового регулятора АР-1 производства ООО НПП ЭнергоЭлектроника, в качестве объекта управления была выбрана модель второго порядка с вышеуказанной передаточной функцией (2), где $T_M = 1,5$ с и $T_E = 0,015$ с. Структурная схема САР с МП-ИД регулятором представлена на Рис.1., непосредственно МП-ИД регулятор обозначен желтым квадратом. Алгоритм регулятора довольно прост и разработан на основе классических алгоритмов ЦОС (цифровой обработки сигналов, англ. – DSP). В качестве микроконтроллера для обработки алгоритма выбран 32-разрядный контроллер фирмы STMicroelectronics с плавающей точкой.

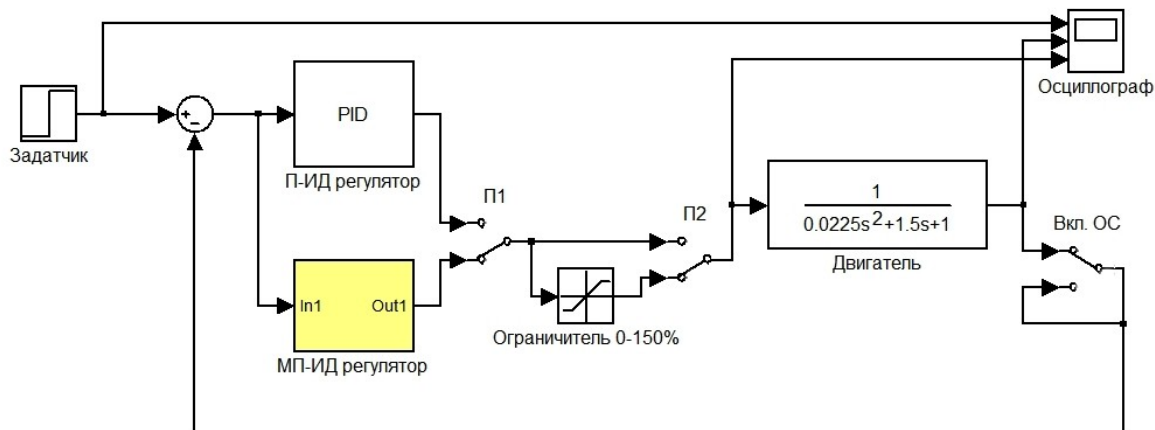


Рис. 1 Структурная схема САР с МП-ИД регулятором

Получены следующие результаты испытаний: довольно мягкая переходная характеристика САР, см. Рис.2, перерегулирование не более 5%, точность регулирования в установившемся режиме 0,5%, запас устойчивости по амплитуде – более 20 дБ, по фазе – более 45 град.

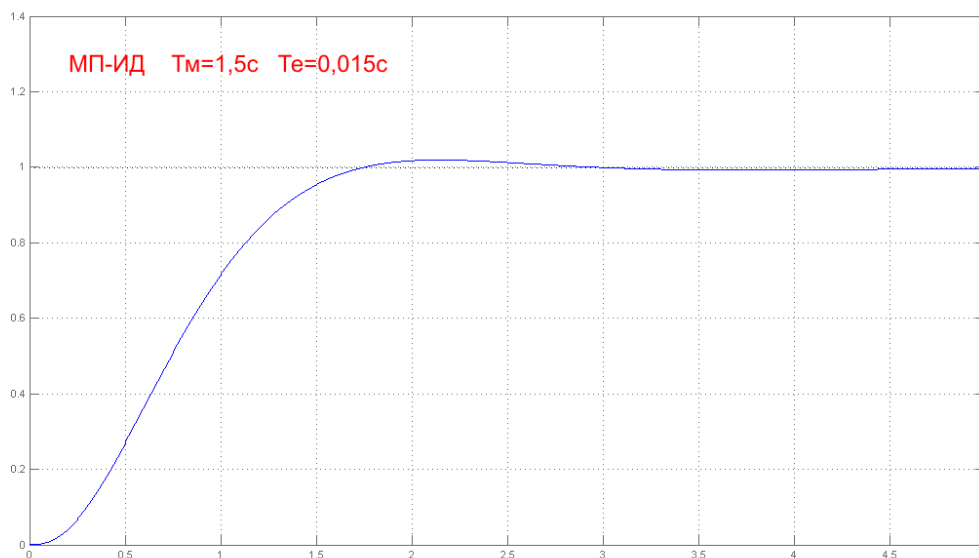


Рис. 2 Переходная характеристика замкнутой САР с МП-ИД регулятором

Представляет интерес опробования МП-ИД регулятора на более сложных объектах, когда передаточная функция объекта (в относительных единицах) имеет вид $W_o(s) = 1/s^2$, в частности, на моделях судов – в качестве авторулевого и на моделях летательных аппаратов – в качестве автопилота. Кроме того, если в процессе регулирования будет иметь место факт изменения постоянных времени объекта, можно довольно просто учесть динамику этого изменения (в случае цифровой реализации регулятора), таким образом перейти на новый качественный уровень построения САР (САУ) – применения адаптивных методов управления.

Не меньший интерес представляет собой собственно методика проектирования и настройки регулятора МП-ИД, отличительной особенностью является возможность

автоматизации этого процесса. Таким образом, открывается перспектива автоматизации настройки действующих П-ИД регуляторов, если модернизация этих регуляторов по каким-либо причинам нецелесообразна. Здесь следует отметить, что так называемые регуляторы сильного действия, широко применяемые в электроэнергетике для регулирования возбуждения синхронных генераторов электростанций, несмотря на более сложную архитектуру схмотехники, по существу содержат в своем составе классический П-ИД регулятор, определяющий в той или иной степени динамические характеристики генератора как объекта регулирования. Поэтому применение указанной методики экономически целесообразно в сферах как вновь проектируемых, так и модернизируемых систем.

Замечание.

На первый взгляд может показаться, что вполне достаточно произвести моделирование САР, в частности в программном пакете MATLAB, и подобрать искомые коэффициенты П-ИД регулятора. Однако «подбор» параметров не является инженерным подходом, тем более научным. Настоящий инженерный подход предполагает вначале математический расчет, только после этого должна следовать проверка моделированием. Особенно это касается случаев, когда необходимо достигнуть высоких качественных показателей сразу по нескольким параметрам.

Развитие проекта.

На момент создания настоящей публикации произведено дальнейшее усовершенствование алгоритма МП-ИД регулятора, заключающееся в небольшом упрощении – отказа от применения «идеальных» интегрального $1/s$ и дифференциального s звеньев. Дело в том, что практическая реализация указанных звеньев представляет затруднение, как оказалось, не только в аналоговом, но и в цифровом исполнении. Поэтому построение МП-ИД регуляторов теперь будет более проще. Однако, поскольку от традиционного «Пропорционально-интегродифференциального» (П-ИД) регулятора здесь ничего уже не осталось, прорабатывается иной вариант названия нового регулятора.

Алгоритм нового регулятора временно не публикуется из коммерческих соображений и находится в режиме Ноу-Хау.

Заключение.

Глубокая благодарность всем коллегам, благодаря которым удалось создать довольно простую альтернативу П-ИД регулятору. Последний был создан, когда еще не было не только цифровой техники, но и электроники как таковой, и ради справедливости следует отдать должное этому изобретению: просуществовать более ста лет, и даже «умудриться переехать» в цифровые проекты – вполне похвально. Поэтому вряд ли стоит ожидать, что предлагаемая новая технология построения регуляторов вскоре вытеснит старую, на что и указывалось ранее. Тем не менее существует круг задач, где применение алгоритма П-ИД регулятора оказывается явно недостаточным для увеличения точности, повышения быстродействия и уменьшения перерегулирования САР и САУ.

А. В. Аржанников
Руководитель, главный конструктор
ООО НПЭ ЭнергоЭлектроника, г. Екатеринбург
Тел. +7 (343) 201-10-78, E-mail: energyel@mail.ru