

ВОПРОСЫ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

Соколов В. И., Хаджинов М. К.

Кафедра электронных вычислительных средств, кафедра систем управления, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

E-mail: xrrg.z500@gmail.com, kh_m@tut.by

ПИ- и ПИД-регуляторы широко применяются в сервоприводах различных устройств. Негативное влияние на динамические характеристики систем с данными типами регуляторов оказывает эффект интегрального насыщения. В настоящей работе рассматриваются методы устранения данного эффекта.

ВВЕДЕНИЕ

На данном этапе развития науки и техники широкое распространение получил электропривод. Существует ряд применений, где к качеству переходного процесса предъявляются серьезные, противоречащие друг другу требования. Так от системы ожидается высокое быстродействие, точность регулирования, а также нежелателен колебательный характер переходного процесса. Наилучшим показателем быстродействия обладает регулятор релейного типа, однако установившийся процесс в системе с данным типом регулятора имеет колебательный характер. Для управления электроприводом (двигателем постоянного тока) зачастую применяются пропорционально-интегральный (ПИ), а также пропорционально-интегрально-дифференцирующий (ПИД) регуляторы. Однако, на динамические характеристики систем с данными типами регуляторов оказывает эффект интегрального насыщения.

I. ЭФФЕКТ ИНТЕГРАЛЬНОГО НАСЫЩЕНИЯ

В установившемся режиме работы и при малых возмущениях большинство систем с ПИД регуляторами являются линейными. Однако процесс выхода на режим практически всегда требует учета нелинейности типа "ограничение" которая связана с естественными ограничениями на мощность, скорость, частоту вращения, угол поворота и прочими ограничениями, которые накладываются на исполнительный механизм. Контур регулирования в системе, находящейся в насыщении (когда переменная достигла ограничения), оказывается разомкнутым, поскольку при изменении переменной на входе звена с ограничением его выходная переменная остается без изменений. В это время канал интегрирования продолжает накапливать величину ошибки во времени, которая не оказывает никакого влияния на объект управления. Такая ситуация называется интегральным насыщением (integral windup).[1]

Эффект интегрального насыщения проявляется ухудшением динамических характери-

стик системы управления. В частности, увеличивается перерегулирование, а также время переходного процесса, что проиллюстрировано на рисунке 1 (y - выходная координата, y_{sp} - величина уставки, u - управляющее воздействие, I - интегральная составляющая).

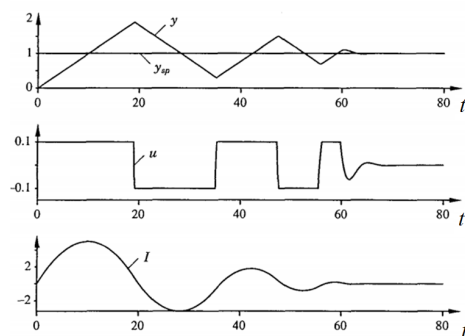


Рис. 1 – Демонстрация интегрального насыщения

II. МЕТОДЫ УСТРАНЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНОГО НАСЫЩЕНИЯ

Основная идея этих методов состоит в том, чтобы не допустить нежелательного роста интегральной составляющей при выходе управления из линейной зоны. Эти способы можно разделить на пять основных групп:

1. условное интегрирование (conditional integration – CI);
2. метод обратного счета (back-calculation – BC);
3. метод задания интегральной составляющей (preloading – PR);
4. ПИД-регулятор переменной структуры (variable structure PID – VSPID);
5. комбинированный метод, сочетающий условное интегрирование с методом обратного счета (CI-BC).

Условное интегрирование. При использовании этого метода интегральная составляющая растет только при выполнении некоторых условий, в противном случае она сохраняет свое значение. Ограничения на рост интегральной составляющей могут быть следующими:

1. интегральная составляющая ограничена заданными величинами;
2. интегрирование останавливается, когда ошибка становится большой, то есть $|e| > e_{max}$, где e_{max} – заданная величина;
3. интегрирование останавливается, когда исполнительный механизм достигает ограничения, то есть $u \neq u_s$;
4. интегрирование останавливается, когда исполнительный механизм достигает ограничения, а знаки ошибки и управления совпадают, то есть $u \neq u_s$ и $e \cdot u > 0$.

К недостатку первых двух способов, которые чаще всего применяются на начальной стадии процесса при выходе на рабочую точку, относится возможное появление статической ошибки. В первом случае, ограничение интегральной составляющей может помешать выходу регулируемой величины на задание. Во втором случае, выход регулятора может «зависнуть» и остаться на таком значении, при котором ошибка больше порогового значения e_{max} . Поэтому для использования этих методов требуется дополнительный анализ объектов управления, что затрудняет их применение. В третьем и четвертом способе эти проблемы решаются, но четвертый способ значительно предпочтительнее третьего, так как в нем интегральная составляющая может изменяться в сторону, противоположную достигнутому ограничению.[2]

Метод обратного счета. Этот способ является альтернативой методу условного интегрирования. Он сводится к пересчету интегральной составляющей регулятора, как только управляющий сигнал выходит за пределы ограничений. Вход интегральной составляющей уменьшается на величину пропорциональную разности между вычисленным значением ПИ- (ПИД-) управления и ограничениями выхода.

Метод задания интегральной составляющей. В этом методе также вводится дополнительная обратная связь, управляющая интегральной составляющей. Эта обратная связь включается при выходе вычисленного значения управления на ограничение. При ее включении выход интеграла динамически стремится к заранее определенной величине i_d . Для управления скоростью убывания интеграла при выходе управления на ограничение применяется параметр α . Недостатком этого метода является необходимость заранее определять настроечные параметры i_d и α . Также нельзя гарантировать, что управление у сойдет с ограничения при стремлении i к i_d .

ПИД-регулятор переменной структуры (VSPID). Этот метод, близкий к методу об-

ратного счета, отличается тем, что пересчет интегральной составляющей, то есть включение обратной связи происходит при выполнении некоторых условий. При выходе вычисленного управления u на ограничения, интегральная составляющая динамически изменяется так, чтобы и оставалось вблизи граничных значений u_{max} или u_{min} . В линейной зоне поведение VSPID алгоритма совпадает с поведением обычного ПИД-регулятора, поэтому использование этого способа не вызывает затруднений на практике. Настойка параметра α также не вызывает затруднения, обычно α выбирается так, чтобы динамика обратной связи в интегральном контуре была в 2...5 раз быстрее, чем динамика замкнутой системы управления. Поскольку управление u в режиме ограничения находится близко к границам линейной зоны, VSPID регулятор достаточно быстро переходит в линейный режим при сходе управления с ограничений.

Комбинированный метод. В этом подходе, аналогично VSPID, к методу обратного счета добавляются некоторые условия из способа условного интегрирования. Вычисления в линии обратной связи для блока интегрирования выполняются, если управляющий сигнал выходит за пределы ограничений, знаки ошибки и управления совпадают. Но в отличие от VSPID во всех режимах ошибка e подается на вход интеграла. Настроечные параметры u и α выбираются аналогично VSPID.

III. ВОЗМОЖНЫЕ АЛЬТЕРНАТИВЫ

Существует класс систем автоматического управления, которые проектируют таким образом, чтобы переходной процесс в них был апериодическим и как можно быстрее достигал требуемого значения. Такие системы называют системами с минимальным временем переходного процесса или системами, оптимальными по быстрдействию. Такие системы сочетают сильные стороны релейного регулятора (быстродействие), а также преимущества ПИ (ПИД) регуляторов (точность регулирования). Цель дальнейшей работы - исследовать свойства регуляторов данного типа, сравнить их с традиционными схемами.

1. Astrom, K. J. and T. Hagglund. PID Controllers: Theory, Design and Tuning ISA Press. Research Triangle Park, USA 1995.
2. Гуляев С.В., Кузнецов С.И., Малахов В.А., Ольшванг В.Р., Шубладзе А.М. Обзор работы ПИ- и ПИД- регуляторов в режимах интегрального насыщения/Гуляев С.В., Кузнецов С.И., Малахов В.А., Ольшванг В.Р., Шубладзе А.М.//Автоматизация в промышленности. – 2008. №8.– С. 6–9.