

В данной статье рассматривается оптимизация и стабилизация типичной линейной системы автоматического регулирования (САР) с использованием программного пакета моделирования систем VisSim. Традиционно, устойчивость разомкнутого контура определялась с помощью критериев Михайлова или Гурвица. Однако, имея в своем распоряжении моделирующую программу, например, VisSim, исследователь может непосредственно по виду переходной характеристики определить, устойчива ли система.

Стабилизация разомкнутой системы автоматической регулировки

Система автоматического управления частотой вращения вала двигателя постоянного тока независимого возбуждения представляет собой замкнутый контур главной обратной связи, который осуществляет управление по отклонению (рис. 1). В контуре имеется и гибкая местная обратная связь, которая предназначена для стабилизации САР, способствует тому, чтобы САР была достаточно устойчивой. Наличие обратных связей в САР свидетельствует о том, что система может быть и неустойчивой, поэтому анализ САР должен включать оценку ее устойчивости и, при необходимости, выбор мер и средств по ее стабилизации.

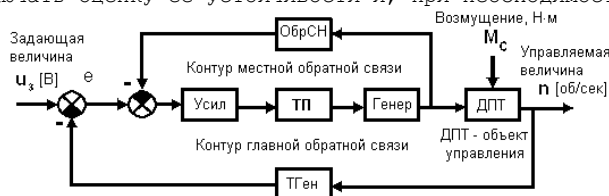


Рис.1 Функциональная схема системы автоматической регулировки. Условное обозначение блоков.

У – усилитель; ТП – тиристорный преобразователь; Г – генератор; ДПТ – двигатель постоянного тока независимого возбуждения. ДПТ – объект управления, его выходная величина, частота вращения вала n должна соответствовать заданию. U_3 – задающее напряжение, в соответствии с которым должна изменяться частота вращения вала ДПТ. M_c – возмущающий момент силы, приложенный к валу ДПТ от той машины, которую он приводит в действие.

Сначала рассмотрим принцип работы системы автоматического управления в статике и динамике

В статике входные, а, следовательно, и выходные, сигналы САР постоянны. На левый сумматор контура главной обратной связи, его сумматор, подается задающая величина и величина с выхода тахогенератора, пропорциональная частоте вращения вала. Разностный сигнал $e = u_3 - u_{\text{ГГ}} = u_3 - K_{\text{ГГ}}n$, имеющий малую величину, усиливается усилителем, тиристорным преобразователем и генератором, в результате чего получается входной, управляющий сигнал ДПТ (двигателя постоянного тока объекта управления), т.е. напряжение на якоре ДПТ. Вследствие наличия этого напряжения вал двигателя вращается. Поскольку произведение коэффициентов усиления усилителя, тиристорного преобразователя и генератора велико, то получить некоторое конкретное управляющее напряжение на якоре двигателя можно только в том случае, если разностный сигнал e – мал. Это значит, что частота n вращения вала с некоторой точностью пропорциональна задающему сигналу u_3 . Звено обратной связи (ОБРСН) инерционно-дифференцирующее, поскольку обратная связь по напряжению гибкая, и поэтому оно не влияет на работу САР в статике. Т.е. САР выполняет свои функции: обеспечивает слежение в статике, поддерживая частоту вращения вала пропорциональной заданию.

Работа системы автоматического управления

Изменение задания в первый момент времени приводит к соответствующему росту отклонения, поскольку звенья перед объектом и сам объект обладают инерционностью и поэтому частота вращения вала не может измениться мгновенно. Изменение отклонения, будучи усиленным усилителем, тиристорным преобразователем и генератором, с учетом их инерционности приводит к постепенному изменению управляющей величины – напряжения на якоре, которое плавно изменяет частоту вращения вала так, что ошибка слежения, т.е. отклонение, устремляется к нулю. Обратная связь по напряжению стабилизирует САР и повышает ее быстродействие. Таким образом, осуществляется слежение. Изменение возмущения, т.е. момента на валу двигателя, приводит к изменению частоты вращения, которое, вследствие наличия главной обратной связи, приводит к соответствующему изменению отклонения. Это изменение отклонения усиливается и тем самым изменяет величину напряжения на якоре так, что отклонение частоты, вызванное изменением возмущения, компенсируется. Таким образом, осуществляется стабилизация частоты вращения вала двигателя. Итак – система автоматического управления обеспечивает как стабилизацию, так и слежение.

Стабилизация разомкнутой САР

Разомкнем контур главной обратной связи, подключим его к осциллографу и запустим моделирование.

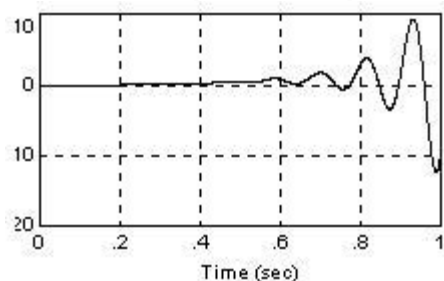


Рис. 2 График переходной функции

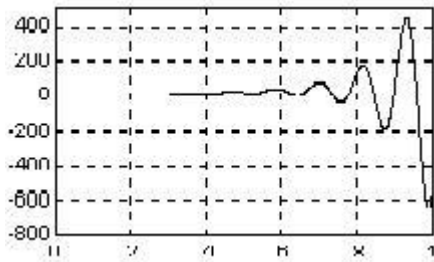


Рис. 3 График переходной характеристики свидетельствует о неустойчивости исследуемой нами системы. График переходной функции показывает, что разомкнутый контур неустойчив это видно из графика переходной характеристики рис 3, поскольку его выходной сигнал представляет собой колебания с быстро увеличивающейся амплитудой. Отметим, что неустойчивость проявится аналогично и при другом, например импульсном, воздействии. Может оказаться необходимым уменьшить время моделирования, с тем, чтобы колебания не достигали огромных величин. Для этого выбрать в главном меню VisSim: Simulate - Simulation Properties - на вкладке Range установить нужное значение параметра End. Заодно имеет смысл установить шаг интегрирования Step Size величиной 0.001. Щелкнуть по кнопке OK. Запустить моделирование. Рис.2 показывает, что разомкнутая САР неустойчива. Для обеспечения выполнения необходимого условия практического применения критерия Найквиста, разомкнутую САР требуется стабилизировать. Если исходная разомкнутая САР окажется устойчивой, то, тем не менее, ее также нужно стабилизировать, обеспечить хороший запас устойчивости, не больше и не меньше требуемого. Делается это так, как изложено ниже, с тем лишь отличием, что вначале на границу устойчивости разомкнутый контур САР выводится увеличением коэффициента усиления усилителя. Нетрудно увидеть, что потеря устойчивости разомкнутой САР возникает из-за наличия местной обратной связи (системы, составленные из устойчивых звеньев и имеющие обратные связи, могут терять устойчивость). Интересно отметить, что эта связь была введена для того, чтобы обеспечить достаточную устойчивость и качество результирующей САР. Это указывает на то, что параметры звена обратной связи по напряжению заданы неудачно и могут потребовать коррекции.

Стабилизация контура уменьшением коэффициента усиления усилителя

Стабилизация САР рис. 2 требует некоторого практического опыта, на основании которого можно определить в каких звеньях следует провести изменения параметров. Осуществить стабилизацию разомкнутого контура в данном случае можно, меняя параметры двух элементов: усилителя и звена обратной связи по напряжению (ОСН). Для начала попробуем просто уменьшить (увеличивать) коэффициент усиления усилителя до тех пор, пока разомкнутый контур не будет переведен в состояние, близкое к граничному между устойчивым и неустойчивым режимами.

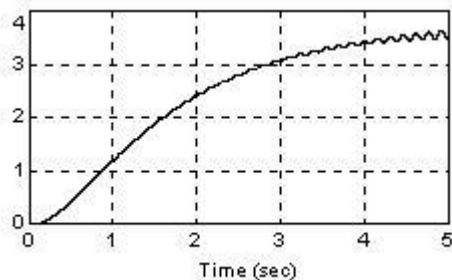


Рис.4 Переходная характеристика с уменьшенным коэффициентом усиления с 20 до 8

Переходная характеристика имеет колебательную компоненту, амплитуда которой сравнительно медленно увеличивается со временем. Разомкнутый контур еще не устойчив, но близок к критическому, граничному режиму. Теперь можно стабилизировать разомкнутую САР, обеспечив хотя бы минимальный, двукратный (т.е. в 6 дБ) запас устойчивости контуру местной обратной связи. Для этого уменьшим коэффициент усиления усилителя вдвое.

Стабилизация изменением параметров усилителя и звена ОСН

В принципе теперь уже можно переходить к коррекции замкнутой САР, поскольку формально устойчивость разомкнутого контура обеспечена с запасом в 6 дБ. Однако, запас этот сравнительно мал, как и мало усиление всего разомкнутого контура, составляющего величину 1.8, это видно по установившемуся значению переходной функции контура рис. 5. Поэтому, во избежание возможных трудностей, которые могут возникнуть при окончательной коррекции САР, изменим и параметры звена ОСН. Методом проб и ошибок будем изменять постоянно времени инерционно-дифференцирующего звена ОСН и усиление усилителя. Цель состоит в том, чтобы привести разомкнутый контур на границу устойчивости при значительно большем, чем 8, значении усиления усилителя, достигнутого в схеме рис. 3. VisSim при этом выполняет большую вычислительную работу, но исследователю изменять параметры и запускать на счет программу очень легко.

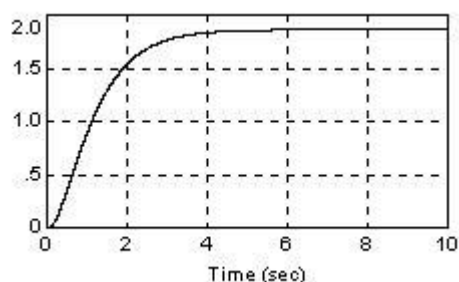


Рис.5 Переходная характеристика стабилизированной разомкнутой системы автоматического регулирования

Переходная функция устанавливается на уровне 1.8, что говорит об устойчивости разомкнутого контура САР, но величина усиления ее контура в 1.8 (5.1 дБ) сравнительно мала. Желательно иметь усиление

разомкнутого контура $10 \div 100$ раз ($20 \div 40$ дБ), а запас устойчивости по амплитуде $2 \div 10$ раз ($6 \div 20$ дБ). Таким образом, изменением только коэффициента усиления усилителя не удастся получить удовлетворительных характеристик разомкнутого контура. Следовательно, требуется более глубокая стабилизация. При уменьшении постоянных времени, прежде всего имеющих самые малые значения, следует помнить о том, чтобы шаг интегрирования был примерно на порядок меньше наименьшей постоянной времени элементов системы. Таким образом, при необходимости шаг следует уменьшать: Simulate - Simulation Properties - Step Size

В результате подбора параметров остановимся на переходной характеристике измененного контура рис. 6

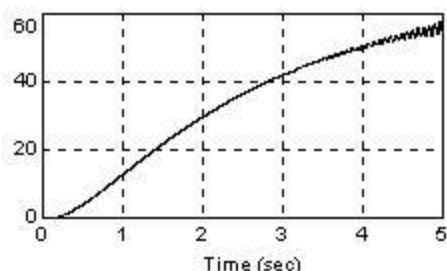


рис. 6 Переходная характеристика разомкнутого контура находящегося вблизи границы устойчивости.

Рис. 6. Медленное увеличение размаха колебаний переходной функции говорит о том, что разомкнутый контур находится вблизи границы устойчивости. Уменьшение постоянной времени ОСН до 0.005 сек позволило довести значение коэффициента усиления усилителя в критическом, граничном режиме САР до величины 145

Как видно на рис. 6, после второй коррекции, состоявшей в уменьшении в 10 раз постоянной времени звена ОСН, значение коэффициента усиления усилителя, при котором разомкнутый контур находится вблизи границы устойчивости, повысилось с 8 до 145.

Остается обеспечить запас устойчивости по амплитуде контура местной обратной связи путем уменьшения коэффициента усиления усилителя.

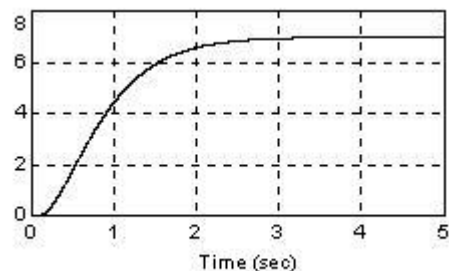


Рис. 7 Окончательно стабилизированный разомкнутый контур САР

Усиление усилителя уменьшено по сравнению с его значением в критическом режиме в 10 раз, со 145 до 15, т.е. на 20 дБ - это и есть запас устойчивости по амплитуде контура местной обратной связи. Результирующее усиление разомкнутого контура всей САР составляет примерно 7 единиц (17 дБ), что видно из установившегося значения переходной функции. Подобный рисунок следует привести в пояснительной записке

Итак, разомкнутая САР стабилизирована. Поэтому устойчивость замкнутой САР можно анализировать с помощью критерия Найквиста.

Поинтересуемся, окажется ли устойчивой замкнутая САР, разомкнутый контур которой только что стабилизирован. Для этого замкнем обратную связь и проверим, как поведет себя переходная характеристика САР:

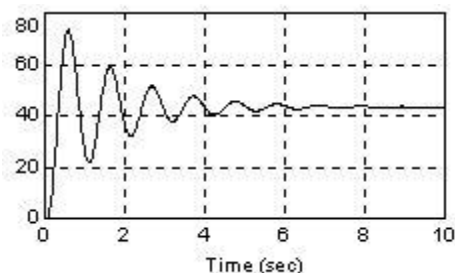


Рис .8 Переходная характеристика предварительно скорректированной системы автоматического регулирования

Из рисунка 8 видно, что замкнутая, предварительно скорректированная САР стабилизированная Система устойчива, но колебательность переходной характеристики чрезмерна.

Как видно на рис. 8, установившееся значение переходной функции составляет примерно 44 об/сек, что на 16 % меньше точного значения, равно $1/W_{tr}(p)|_{p=0} = 1/0.02 = 50$ об/сек. Т.о. точность полученной системы и в установившемся режиме неудовлетворительна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лукас В.А. Теория автоматического управления. - М.: Недра, 1990. - 416 с.
2. Федосов Б.Т. Экспресс-анализ и синтез объектов и систем управления. Маленькие и большие хитрости.
3. Клиначев Н.В. Теория автоматического управления Учебно-методический комплекс. - М.: Недра, 2002. - 186 с.