

зомкнутой системы (вплоть до бесконечности), а влияние вариации параметров при этом не оценивается. Поэтому в силу итерационности алгоритмов и эвристики действий разработчика полученные результаты синтеза нуждаются в непосредственной оценке их применимости – по внешнему виду совокупности переходных характеристик $h(t)$ систем с варьируемыми значениями параметров объекта. Частотные, корневые и иные косвенные оценки могут выполнять вспомогательные функции, но окончательное инженерное решение, все-таки, должно базироваться на интуитивной оценке семейства $h(t)$.

3. Алгоритм оценивания и визуализации меры робастности синтезированной САР

Идея и техника построения алгоритма предельно просты и «не впечатляют». Впечатляют, по крайней мере, по мнению автора, результаты расчета и простота их получения.

Программу пишем в виде m-файла Матлаба в следующем порядке. Сначала задаем «номинальные» значения параметров объекта регулирования, типовые распределения корней и среднегеометрический корень (для модального регулятора). Затем пишем расчетные формулы для вычисления значений коэффициентов модального регулятора (полученные в пакете MAPLE). После этого задаем в процентах предполагаемые значения предельных отклонений каждого параметра объекта от его «номинальных» значений, а коэффициенты регулятора k_1, k_2, k_3, k_4, k_5 не варьируем, так как они, например, хранятся в программе управляющего контроллера и не «дрейфуют». И, наконец, вводим генератор случайных чисел с равномерным распределением вероятности (команда `rand`), смещая его выход в диапазон $-0.5 \div 0.5$ и масштабируем для каждого параметра объекта в отдельности. Вариации параметров реализуются в теле цикла и равномерно покрывают заданную область гиперпространства параметров вокруг их «номинальных» значений. Теперь для каждой из точек рассчитываем переходный процесс в системе (команда `step`) и, если нужно, – корни характеристического уравнения (команда `roots`), частотные характеристики для замкнутой или разомкнутой систем (команда `bode`). 200-300 циклов таких расчетов сохраняем в памяти, а затем командой `plot` строим все эти (разумеется, однотипные) графики в одной плоскости. Такое количество графиков плотно покрывает зону возможных переходных процессов при заданных вариациях параметров объекта в синтезированной САР. После этого оценить меру робастности и пригодность САР к эксплуатации сможет и заказчик, и даже студент, не сдавший экзамен по курсу ТАУ.

С точки зрения автора инженерная интуиция должна быть определяющей при оценке робастности системы по таким графикам, хотя ничего не мешает такую оценку «обначить», задав трубку допустимых отклонений от среднего значения во времени или оценив относительную площадь образовавшейся зачерненной фигуры.

Примеры реализации описанного алгоритма показаны на рис. 2а) – переходные характеристики, на рис 2б) – корневая плоскость, на рис. 2в) и 2г) – частотные характеристики замкнутой (ЛАЧХ) и разомкнутой (ЛАЧХ+ЛФЧХ) систем, при величине отклонений всех и каждого параметра объекта в пределах $\pm 25\%$ и биномиальном распределении корней с $\omega=314$ рад/с. Хорошо видно, что наиболее чувствительны к вариации параметров объекта косвенные носители показателей качества – корни характеристического уравнения; наименее чувствительны к вариации параметров объекта другие косвенные носители показателей качества – частотные характеристики, в силу чего и те, и другие нецелесообразно использовать для оценки робастности САР, в отличие от носителей прямых показателей – переходных характеристик, определяющих реальное поведение синтезированной САР.

4. Синтез робастной по качеству САР в рамках рассмотренного алгоритма оценивания

Матлаб выполняет упомянутые вычисления достаточно быстро. Поэтому можно себе позволить в оперативном порядке выполнить несколько десятков расчетов, изменяя, например, распределения корней (функционал качества или матрицу R при синтезе по алгоритму LQR и т.п.). Это уже будет, фактически, синтез САР, основанный на разумном (с инженерной точки зрения) и быстром переборе выгодных вариантов. При этом мера робастности каждого варианта САР мгновенно оценивается и сравнивается с другими. Так, например, очень легко установить, что увеличение в 5-7 раз «внутренних» коэффициентов характеристического полинома при фиксированных «внешних» обеспечивает допустимость отклонения параметров рассмотренного объекта до 80-90% (то есть в $1.9/0.1=19$ раз) вместо 25%, заданных при построении графиков рис.2. Следует добавить, что подобная программа и подход могут быть использованы и для нелинейных систем с той разницей, что команды `roots` и `bode` нужно будет исключить, а команду `step` придется заменить командой численного решения дифференциальных уравнений (в Матлабе) и включить в программу в качестве «подпрограммы» саму систему дифференциальных уравнений САР.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.В. Осичев. Синтез транзисторных систем подчиненного регулирования по алгоритмам модального и оптимального управления.- Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».-Харків: НТУ «ХПІ».-2003.- № 10.- Т.2. С.81-84

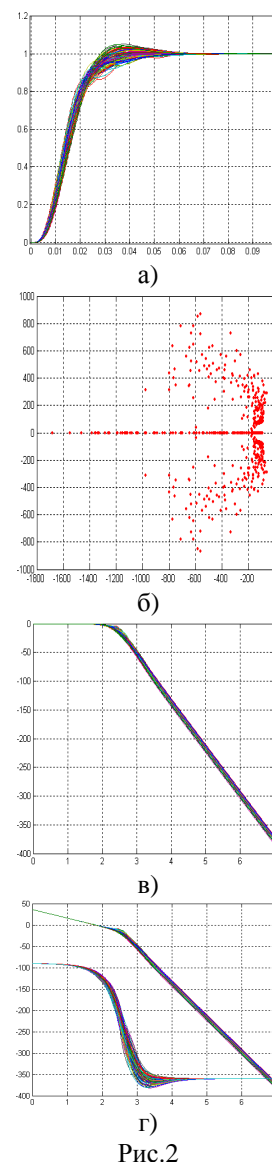


Рис.2