

Несенчук А. А., старший науч. сотрудник; Микулик Г. С., ведущий инженер-программист, ОИПИ НАН Беларуси

КОМПЛЕКС ПРОГРАММ ДЛЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛИГРАФИЧЕСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ, УДОВЛЕТВОРЯЮЩЕЙ ТРЕБОВАНИЯМ РОБАСТНОГО КАЧЕСТВА

The paper represents the software complex SYS_Q1 aimed at parametric synthesis of the engineering plants control systems being subjects to substantial parameter variations. It is based on the root locus approach. Application of the complex to the printing press control system calculation is considered.

Введение. В процессе функционирования сложных технических объектов, как правило, наблюдаются отклонения их параметров от расчетных значений, которые могут быть значительными и по этой причине могут оказывать отрицательное влияние на качество и устойчивость работы этих объектов [1]. Существенное значение данный аспект имеет и для полиграфического оборудования [2, 3], поскольку неопределенность таких параметров как свойства краски, качество бумаги, интенсивность изображения и др. ухудшает качество выпускаемой печатной продукции. По этой причине большое значение имеет разработка эффективных методов построения систем автоматического управления (САУ) оборудованием, в особенности, автоматизированных методов, которые позволили бы обеспечить требуемое качество и точность работы в условиях неопределенности, а также сократить сроки проектирования систем. В работе рассматривается комплекс программ SYS_Q1, реализующий корневой метод параметрического синтеза систем, предназначенный для решения указанной проблемы в применении к офсетной печатной машине с системой стабилизации скорости вращения корневой метод [3]. Ответственным этапом при расчете систем управления с неопределенными параметрами является обеспечение робастного качества. Характеристики качества процесса управления определяются положением корней характеристических уравнений систем вида

$$s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_{n-1} s + a_n = 0, \quad (1)$$

на плоскости корней s (плоскости собственных частот). Как правило, в левой полуплоскости комплексной плоскости s задается область качества Q некоторой формы, например, трапеция, ограничивающая возможное расположение корней линиями L_{η} и L_{β} равной степени устойчивости и линиями $L_{+\beta}$ и $L_{-\beta}$ постоянного демпфирования (рис. 1), что равносильно заданию пределов изменения показателей качества системы – степени устойчивости η и колебательности β .

Рассматривается система с неопределенным параметром k , линейно входящим в коэффици-

енты (1). С целью выделения неопределенного параметра уравнение (1) преобразуется к виду

$$\phi(s) + k\psi(s) = 0, \quad (2)$$

где $\phi(s)$ и $\psi(s)$ – некоторые полиномы от комплексного переменного s .

На основании (2) получим

$$k = f(s) = -\frac{\phi(s)}{\psi(s)} = u(\sigma, \omega) + iv(\sigma, \omega) = 0, \quad (3)$$

где $u(\sigma, \omega)$, $v(\sigma, \omega)$ – гармонические функции независимых действительных переменных σ и ω .

Определяется область D таких значений k , при которых корни уравнения (3) располагаются внутри заданной области Q , т.е. качественные характеристики не выходят за установленные пределы η и β , обеспечивая тем самым Q -устойчивость системы и выполнение условия

$$k \in D \rightarrow s_i \in Q, \quad (4)$$

где $i = 1, 2, 3, \dots, n$.

Область D таких значений k ищется в форме круга (диска) в комплексной плоскости k . С этой целью используются поля корневых траекторий кругового образа (круговые поля) [1], т.е. такие поля, для построения которых используется образ в форме окружности, заданный в комплексной плоскости k варьируемого параметра. Линии уровня поля системы вписываются в область качества, и определяется такая линия L , которая ограничивает область корней R , полностью принадлежащую области Q и отображаемую с помощью (4) на плоскость k в форме диска-образа максимально возможного радиуса r .

Вписывание линий уровня выполняется посредством построения уравнений градиента

$$\frac{\partial f^*(\sigma, \omega)}{\partial \omega} = 0 \quad (5)$$

и уравнений касательных к линии уровня поля

$$\frac{\partial f^*(\sigma, \omega)}{\partial \sigma}(-\sigma) + \frac{\partial f^*(\sigma, \omega)}{\partial \omega}(-\omega) = 0, \quad (6)$$

где $f^*(\sigma, \omega)$ – функция поля.

Центр окружности-образа располагаем на действительной оси u плоскости k , и, таким образом, для предварительной ориентации поля в плоскости s используем корневой го-

дограф Теодорчика – Эванса (КГТЭ) для заданной системы [1]. Отметим также, что вписывание поля в область Q может быть выполнено только в случае расположения центров локализации поля (т.е. точек, отображающих центр окружности образа на плоскость s) внутри области Q . Поэтому перед вписыванием следует осуществить соответствующую ориентацию поля.

Рассмотренный метод параметрического синтеза позволяет выделять некоторые области расположения корней характеристического уравнения системы, принадлежащие заданной области качества, определяющей желаемые числовые значения показателей качества (степени устойчивости и колебательности), и определять соответствующие им области значений переменных параметров, обеспечивающих заданные качественные характеристики. Метод также может быть использован для вычисления максимально возможных отклонений коэффициентов характеристического уравнения, при которых качественные характеристики системы не выходят за установленные пределы. Основное преимущество метода состоит в том, что он позволяет вычислять значения параметров системы, обеспечивающие требуемые показатели качества в случаях, когда исходная система не удовлетворяет заданным требованиям, т.е. осуществлять параметрический синтез динамических систем.

2. Комплекс программ SYS_Q1. Комплекс программ SYS_Q1 представляет собой организованную особым образом совокупность программ исследования и параметрического синтеза динамических систем на основе корневого подхода [1]. Комплекс реализован в среде программирования Visual C++. Подход, использованный в этом программном комплексе, основан на разработанных корневых методах анализа и синтеза динамических систем с неопределенными параметрами, отличается простотой и легко реализуется на компьютере.

Программный комплекс SYS_Q1 обеспечивает решение следующих основных задач:

1. Формирование в аналитическом виде уравнения корневого годографа Теодорчика – Эванса для заданной динамической системы [2, 4, 5].

2. Формирование в аналитическом виде уравнения линий уровня кругового поля для заданной динамической системы [1].

3. Построение на экране дисплея графического корневого годографа Теодорчика – Эванса – КГТЭ и заданной области качества Q .

4. Анализ динамической системы, т.е. проверка ее на удовлетворение заданным требованиям робастного качества.

5. Параметрический синтез системы, позволяющий определять значения коэффициен-

тов ее характеристического уравнения, обеспечивающих устойчивость и качество, в частности в случаях неустойчивости исходной САУ.

Рассмотрим алгоритм функционирования комплекса SYS_Q1 в соответствии с приведенным ниже в разделе 3 расчетом системы.

Вид диалогового окна, посредством которого осуществляется ввод исходной информации, представлен на рис. 1–3. Здесь полиномы $\phi(s)$ и $\psi(s)$ характеристического уравнения (2) задаются соответствующими корнями (переключатель установлен в положении «Корни»). В поля «min» и «max» вводятся соответственно минимальная и максимальная границы изменения значения σ , в поля «step q» и «step w» – соответственно шаги изменения переменных σ и ω . В поля «Ширина рис.» и «Высота рис.» вводятся требуемые размеры рисунка. В расположенные ниже поля вводится количество коэффициентов полиномов знаменателя $\phi(s)$, т.е. полюсы, и числителя $\psi(s)$, т.е. нули, передаточной функции разомкнутой системы. Далее последовательно задаются коэффициенты этих полиномов. В диалоговом окне также предусмотрены следующие возможности: для сохранения введенных исходных данных – кнопка «Сохранить», для загрузки уже существующих (ранее сохраненных в файле) данных – кнопка «Загрузить», для визуального просмотра матрицы коэффициентов базовых полиномов $E(\sigma, \omega)$, $F(\sigma, \omega)$, $P(\sigma, \omega)$, $R(\sigma, \omega)$ [1], матрицы коэффициентов основного модуля корневого годографа $F(\sigma, \omega)P(\sigma, \omega) - E(\sigma, \omega)R(\sigma, \omega)$ [1], массива координат траекторий корней – переключатель «Диагностика».

На рис. 1 показано также главное окно программы, в котором представлены: корневой годограф Теодорчика – Эванса для динамической системы, описываемой характеристическим уравнением $s^4 + 561,4s^3 + k(14,6s^2 + 2641,14s + 46570,788) = 0$ (см. раздел 3), и область качества Q трапециевидальной формы. Из рис. 1 видно, что полюсы $s_1 - s_2$ (отмечены «крестиками») не попадают в заданную область.

На рис. 2 в главном окне программы изображен корневой годограф Теодорчика – Эванса для динамической системы с «подтянутыми» полюсами (полюсы – «крестики» расположены внутри трапеции).

На рис. 3 изображено построение линий уровня для заданных радиусов, а также для радиусов, найденных при вписывании поля корневых траекторий в область качества, которое подробно рассмотрено ниже в разделе 3.

Язык программирования комплекса: C++; процессор: Pentium 4; программная среда: Microsoft Windows не ниже версии 2000.

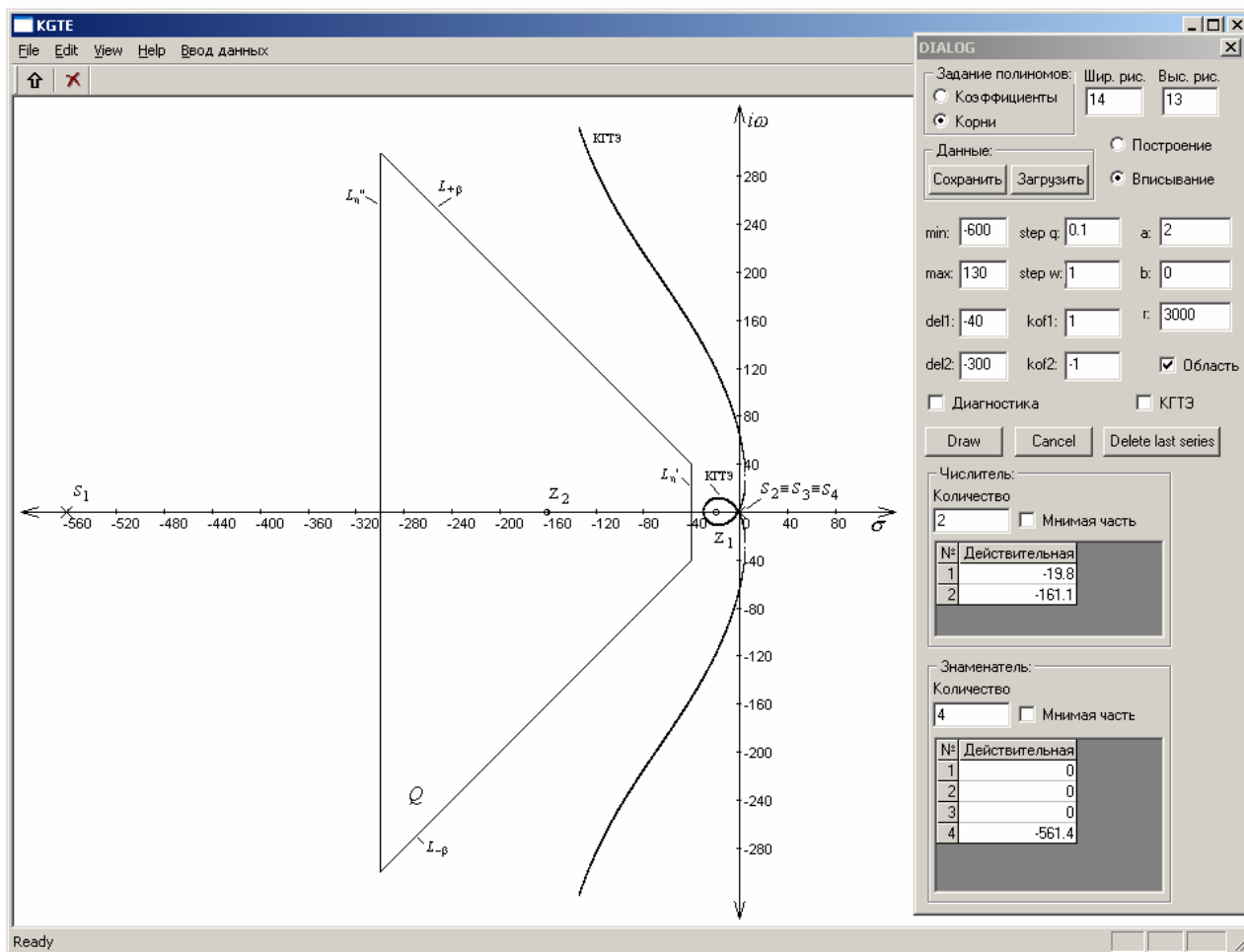


Рис. 1. Заданная область качества Q и корневой годограф Теодорчика – Эванса (КГТЭ) исходной системы управления

3. Расчет системы управления. Рассмотрим двухконтурную систему автоматического регулирования для стабилизации скорости вращения печатного цилиндра на основе двигателя постоянного тока с независимым возбуждением и отрицательными обратными связями по току и скорости [2]. На вход системы подается задающее воздействие по скорости, выходной величиной является скорость вращения печатного цилиндра. В системе используется пропорциональный регулятор скорости и пропорционально-интегральный регулятор тока. В процессе функционирования системы в широких пределах изменяется момент сопротивления валика красочного аппарата печатной машины, т.е. он является неопределенным.

Для расчета значений неопределенного параметра, при которых будет обеспечиваться заданное качество, зададим для примера значения параметров системы и опишем ее динамику характеристическим уравнением

$$s^4 + 561,4s^3 + k(14,6s^2 + 2641,14s + 46570,788) = 0,$$

где k – неопределенный параметр, характер изменения которого произволен.

Область качества ограничена линиями (см. рис. 1) равной степени устойчивости $\sigma = L_{n'} = -40$, $\sigma = L_{n''} = -300$; угол наклона β линии постоянного демпфирования $L_{+\beta}$ к оси σ равен 45 ($\tan \beta = 1$). В соответствии с приведенной выше методикой область D значений k будем искать в форме круга (диска) радиуса r .

С целью решения поставленной задачи на вход комплекса программ SYS_Q1 подаются коэффициенты полиномов $\phi(s)$ и $\psi(s)$ (см. (2)). В данном случае эти полиномы равны:

$$\phi(s) = s^4 + 461,4s^3 = 0,$$

$$\psi(s) = 14,6s^2 + 2641,14s + 46570,788.$$

Поскольку локализация поля определяется конфигурацией КГТЭ, осуществляется построение КГТЭ и определяются полюсы передаточной функции разомкнутой системы (нули (3)): $s_1 = -561,4$, $s_2 = s_3 = s_4 = 0$ (на рис.1 отмечены крестиками) и ее нули $z_1 = -19,8$ и $z_2 = -161,1$ (отмечены кружками). На рис. 1 показан КГТЭ, комплексные ветви которого расположены справа за пределами области. Очевидно, что все полюсы также выходят за пределы области Q (рис. 1) и, как отмечалось выше, вписывание поля

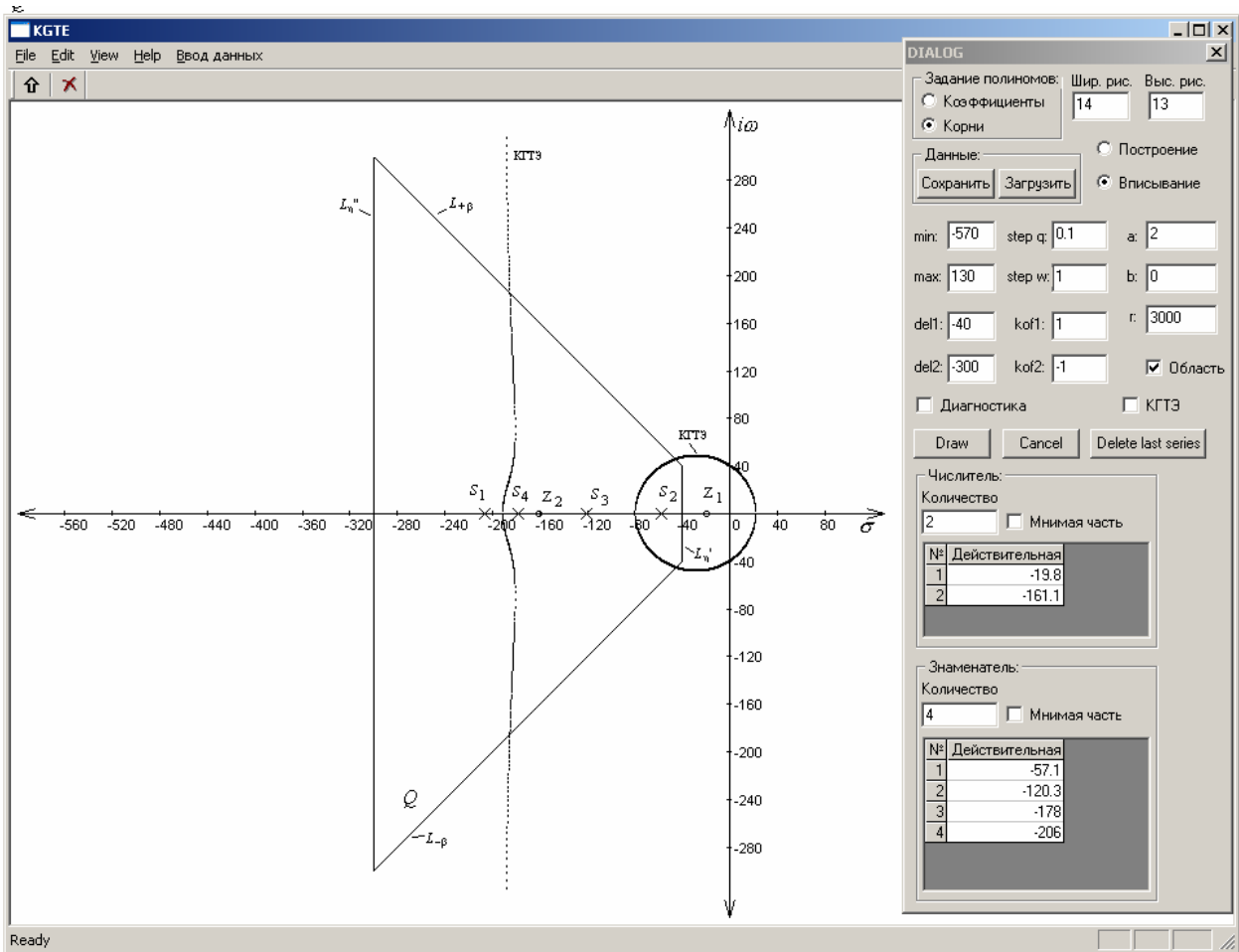


Рис. 2. Заданная область качества Q и корневой годограф Теодорчика – Эванса (КГТЭ) системы управления с «подтянутыми» полюсами

не возможно. По этой причине изменим конфигурацию КГТЭ путем «подтягивания» полюсов таким образом, чтобы они расположились в пределах этой области. Для этого полюсы назначим равными (рис. 2)

$$s_1 = -206, \quad s_2 = -57,1, \quad s_3 = -120,3, \quad s_4 = -178.$$

Характеристическое уравнение тогда принимает следующий вид:

$$s^4 + 561,4s^3 + 1116587s^2 + 9142649s + 251877259 + k(14,6s^2 + 2641,14s + 46570788) = 0.$$

Из рис. 2 видно, что в результате «подтягивания» часть комплексных ветвей КГТЭ также расположилась в пределах Q . Теперь вписывание линии уровня стало возможным.

Далее, согласно ранее описанному методу, применяется круговое поле корневых траекторий. С этой целью вначале осуществляется построение функции поля $f^*(\sigma, \omega)$ для заданной системы, исходя из предположения, что центры его локализации (точки $C_1 - C_4$ на рис. 3) располагаются в полюсах $s_1 - s_4$, т.е. центр окружности-образа находится в начале

координат комплексной плоскости k . Соответствующее поле показано на рис. 3 линиями уровня $l_1 - l_6$. Линии $l_4 - l_6$ на рис. 3 находятся очень близко друг от друга и почти сливаются в одну. Далее, после построения уравнений (5) градиента поля и (6) касательных к линии уровня при $\omega = \pm\sigma$ производится вписывание линий уровня в заданную область Q . В результате решения полученной системы уравнений определяются четыре значения радиуса $r_1 - r_4$ искомой дисковой области D значений варьируемого параметра k : $r_1 = 12198$, $r_2 = 12198$, $r_3 = 12857$ и $r_4 = 12864$, соответствующие линиям l_4 , l_5 и l_6 на рис. 3 и соответственно точкам касания t_1 (t_2) (радиусы $r_1 = r_2$), t_3 (радиус r_3) и t_4 (радиус r_4). Искомой является область, ограниченная окружностью минимального радиуса $r = r_1 = 12198$ (рис. 3), которая отображается на плоскость s в виде линии l_4 , касающейся границы области Q в точке t_1 и симметричной ей точке t_2 . Все значения k , лежащие внутри диска D радиуса $r < 12198$ будут обеспечивать требуемое расположение корней в пределах области Q (4) и соответствующее качество процесса управления.

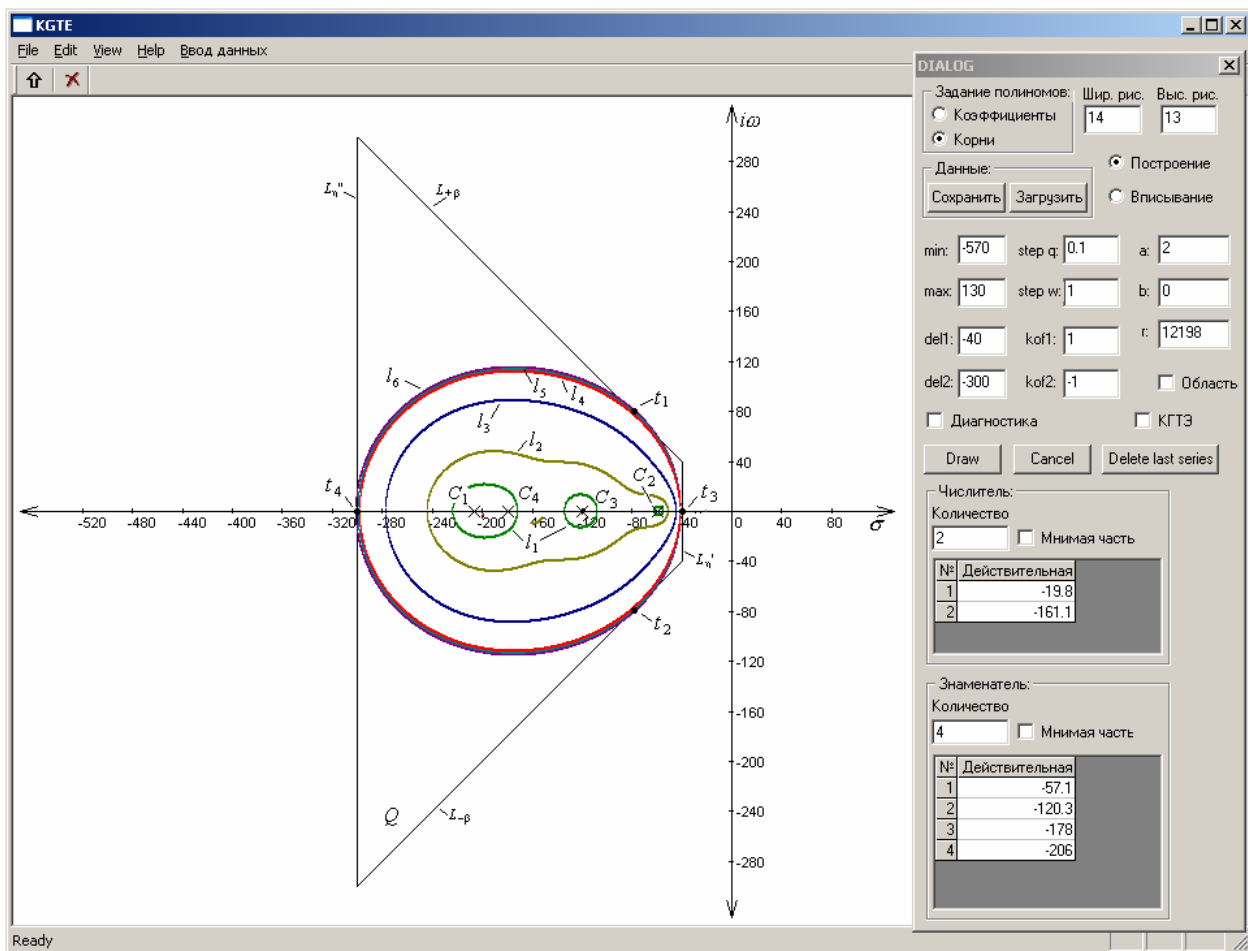


Рис. 3. Поле корневых траекторий кругового образа, вписанное в заданную область качества Q

Заключение. В работе представлен программный комплекс SYS_Q1, предназначенный для параметрического синтеза систем управления, удовлетворяющих требованиям робастного качества, основанного на использовании корневого подхода.

Система управления печатным оборудованием, как правило, состоит из ряда автономных подсистем: ввода изображения, подачи краски, приводов и др. Существенное изменение параметров системы: качество бумаги, интенсивность изображения, свойства краски, внешние условия и ряд других факторов оказывают отрицательное влияние на качество выпускаемой продукции. В таких условиях система становится неопределенной, и встает проблема обеспечения заданного качества и устойчивости. Рассмотрено применение комплекса программ SYS_Q1 при синтезе системы управления печатным

оборудованием [2, 3], что позволяет рассчитать значения параметров, обеспечивающие достижение желаемых качественных характеристик процесса управления.

Литература

1. Несенчук, А. А. Анализ и синтез робастных динамических систем на основе корневого подхода / А. А. Несенчук — Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2005. — 234 с.
2. Самарин, Ю. Н. Печатные машины / Ю. Н. Самарин, Н. П. Сапошников, М. А. Синяк — М.: МГУП, 2000. — 208 с.
3. Зязюля, В. Н. Комплексное моделирование электромеханических систем на примере офсетной печатной машины. / В. Н. Зязюля, В. С. Вихренко, В. С. Юденков // Теоретическая и прикладная механика: сб. науч.-мет. ст. — Мн.: Технопринт, — 2008. — Вып. 23 — С. 182–185.