

Московский государственный технический университет  
имени Н.Э. Баумана

А.В. Сенькин

ОСОБЕННОСТИ  
ОРБИТАЛЬНЫХ ГИРОКОМПАСОВ  
С ЦИФРОВЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

*Методические указания к лабораторной работе  
и домашним заданиям по курсу  
«Управление в технических системах»*

Москва

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана

2007

УДК 621.3.078  
ББК 32.965  
С32

Рецензент *В.Г. Чернышов*

**Сенькин А.В.**

**С32** Особенности орбитальных гироскопов с цифровым управлением: Метод. указания к лабораторной работе и домашним заданиям по курсу «Управление в технических системах». — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. — 32 с.: ил. + Прил. (13 с).

Дано краткое описание математической модели орбитального гироскопа, необходимой при выполнении лабораторной работы и домашних заданий по дискретно-непрерывным и нелинейным системам.

Для студентов и аспирантов, изучающих дисциплины «Управление в технических системах», «Управляющие вычислительные машины и комплексы», а также ряд других дисциплин.

Ил. 5. Библиогр. 4 назв.

**УДК 621.3.078**  
**ББК 32.965**

## ВВЕДЕНИЕ

Методические указания предназначены для студентов, изучающих методы анализа и синтеза цифровых систем управления в соответствии с программой дисциплины «Управление в технических системах».

Объектом регулирования является орбитальный гироскоп, предназначенный для определения ориентации искусственного спутника Земли относительно плоскости орбиты.

Описана математическая модель орбитального гироскопа (гироорбиты) и приведены решения некоторых задач, возникающих при цифровом управлении этим датчиком. Цифровое устройство реализуется на базе контроллера Fastwel CPU188-5MX.

В теоретическом разделе рассмотрены методы выбора времени цикла контроллера в зависимости от условий устойчивости системы автоматического регулирования, а также от показателей качества переходных процессов. При выполнении лабораторной работы необходимо экспериментально найти границу устойчивости в зависимости от шага квантования по времени и сравнить результаты с теоретическими. Далее проводят исследование автоколебаний, возникающих в системе с ограничениями при больших значениях переменных.

В методических указаниях содержатся краткие сведения из теории, а также пояснения, необходимые для самостоятельного выполнения домашних заданий.

Исследование переходных процессов в контурах коррекции гироскопа проводят на компьютере, связанном через последовательный порт с контроллером, реализующим цифровое устройство управления и математическую модель гироскопа. Для визуализации процессов используется OPC-технология обмена данными между контроллером и компьютером. Отображение переменных

происходит на экране многолучевого осциллографа, имеющегося в инструментальной системе Ultralogik32.

В Ultralogik32 используется метод сетевого взаимодействия между контроллером (системой исполнения) или группой контроллеров, управляющих технологическим процессом, и системой визуализации данных. Число участников сети может достигать 256.

Программа управления объектом в контроллере представляется как некоторое логическое устройство, описывающее управление технологическим процессом и операции над переменными величинами этого процесса. Программа может состоять из множества фрагментов, находящихся друг с другом в определенных отношениях, образующих иерархическое дерево.

Ultralogik32 представляет собою полностью совместимое с проектами, созданными на базе прежних версий, 32-разрядное приложение с новыми широкими возможностями, среди которых можно отметить следующие.

1. Поддержка языков программирования FBD, ST, IL, PASCAL, ASSEMBLER.
2. Встроенный редактор OEM-библиотек, позволяющий легко подключать в систему собственные модули устройств связи с объектом.
3. Мощные коммуникационные возможности для создания распределенных АСУТП с гомогенными и гетерогенными сетями, поддержка протоколов TCP/IP, IPX, RS-485, простые настройки и установки.
4. Удобная система документирования проекта, в которой используются современные форматы хранения графических данных.
5. Интерфейс пользователя в виде проводника WINDOWS.
6. Создание проекта, содержащего множество контроллеров в едином окне, простая работа с большими списками переменных.
7. Эффективный контроль (прослеживаемость) использования каждой переменной в разных элементах проекта.
8. Новые возможности для групповых операций с переменными.
9. Расширенный набор базовых функциональных блоков и встроенных математических функций.
10. Возможность непосредственной адресации к портам ввода/вывода.
11. Расширенный набор базовых функциональных блоков.

Перед выполнением заданий студентам рекомендуется ознакомиться с материалами, приведенными в списке литературы [1 – 4].

Домашние задания оформляют рукописно на листах формата А4, графики распечатывают на принтере. Все листы должны быть сброшюрованы, на титульном листе указывают номер и название задания, номер варианта задания, фамилию студента, индекс учебной группы, фамилию преподавателя, дату сдачи задания преподавателю. На первой странице приводят исходные данные.

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ

Когда речь идет об измерительных устройствах систем ориентации высокой и даже средней точности, обычно всегда имеется в виду комплексное устройство, включающее в себя те или иные гироскопические приборы и датчики внешней информации.

Гироскопические приборы как таковые либо совместно с бортовой вычислительной машиной моделируют на борту спутника базовую орбитальную систему координат (ОСК), а датчики внешней информации — построители местной вертикали, следящий телескоп и т. п. — служат для коррекции орбитального трехгранника.

### 1. Структурная схема и передаточные функции при цифровом управлении

Основной непрерывно работающей частью комплексного измерительного устройства является гироскопическое устройство, моделирующее кинематические уравнения движения спутника относительно ОСК:

$$\begin{aligned} \frac{d\gamma}{dt} - \Omega\psi &= k_{10}u; \\ \frac{d\psi}{dt} + \Omega\gamma &= k_{20}u. \end{aligned} \tag{1.1}$$

Здесь  $\gamma$  — оценка угла наклона гироорбиты по крену;  $\psi$  — оценка угла рыскания;  $\Omega$  — угловая скорость движения орбитального

космического аппарата. Оба угла отсчитываются от текущей орбитальной системы координат. Управление гироорбитой ведется в функции сигнала  $u(t)$ , который существует на выходе цифрового управляющего устройства (ЦУУ). Коэффициенты передачи  $k_{10}$  и  $k_{20}$  относятся к непрерывным элементам, находящимся в каналах управления (усилители, датчики моментов и др.), и соответствуют оптимальным коэффициентам усиления в наблюдающем устройстве.

Структурная схема гироорбиты (ГО) с цифровым управлением изображена на рис. 1.

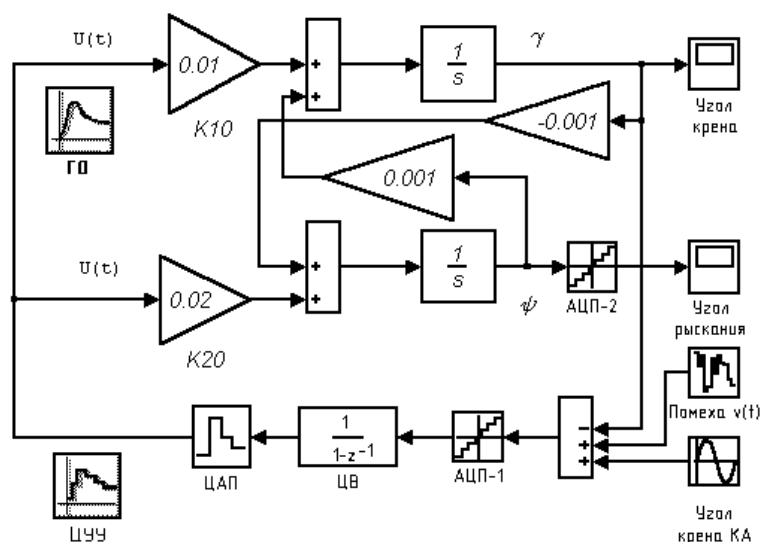


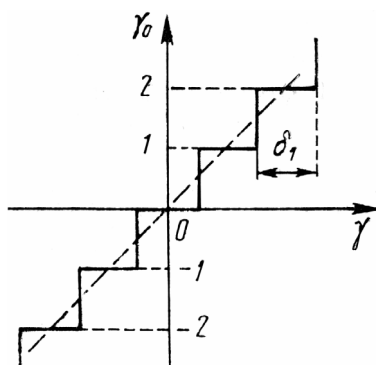
Рис. 1. Гироорбита с цифровым управлением

Для непрерывной либо дискретной коррекции гироскопического устройства (компенсации ненулевых начальных условий, а также инструментальных погрешностей гироскопов) обычно используется датчик инфракрасной вертикали (ИКВ). Пусть информация об угле крена  $\gamma_0$  поступает от ИКВ. Тогда управление  $u$  будет определяться в виде ошибки оценивания:  $u = \gamma_0 - \gamma$ .

ЦУУ предназначено для реализации необходимых алгоритмов управления, обеспечивающих требуемое качество гироорбиты по быстродействию, инвариантности, фильтрации и т. п.

В дальнейшем рассмотрении предполагается, что передаточная функция цифрового вычислителя (ЦВ) равна единице:  $D(z) = 1$ .

К ЦУУ относятся аналого-цифровой преобразователь АЦП-1, ЦВ и цифроаналоговый преобразователь ЦАП (см. рис. 1). При этом АЦП-1 превращает непрерывную величину (в данном случае угол) в число, т. е. в код, в соответствии с рис. 2.



**Рис. 2.** Статическая характеристика АЦП

Ширина каждой ступеньки  $\delta_1$  представляет собой цену младшего разряда АЦП. Если  $\alpha$  — число двоичных разрядов преобразователя, то число отличных от нуля уровней одной ветви статической характеристики будет определяться по формуле

$$\mu = 2^\alpha - 1 = \gamma_{\max} / \delta_1, \quad (1.2)$$

где  $\gamma_{\max}$  — максимальное значение входной величины.

При наличии второй ветви статической характеристики должен быть предусмотрен знаковый разряд.

Показанную на рис. 2 статическую характеристику можно описать следующей зависимостью:

$$\gamma_0 = E \left[ \frac{\gamma}{\delta_1} + \frac{1}{2} \text{sign } \gamma \right], \quad (1.3)$$

где  $E[\cdot]$  — целая часть числа.

Обычно производится линейризация статической характеристики (на рис. 2 показано штриховой линией). Коэффициент передачи для такой линейризованной характеристики будет равен  $\delta^{-1}$ .

После линейризации преобразователь может быть представлен в виде эквивалентной структурной схемы, которая содержит линейные и нелинейные звенья (рис. 3).

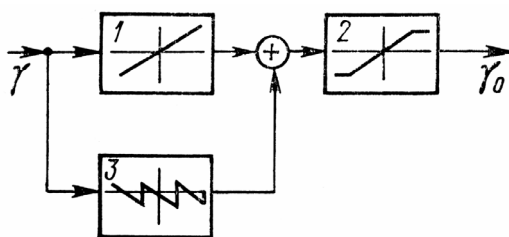


Рис. 3. Эквивалентная структурная схема АЦП

Звено 1 является линейным, коэффициент передачи равен  $\delta^{-1}$ . Звено 3 с пилообразной характеристикой соответствует нелинейной добавке, которую дает действительная характеристика преобразователя (см. рис. 2). Звено 2 соответствует линейному звену с насыщением, коэффициент передачи — единица.

ЦАП преобразует код, поступающий от ЦВ, в непрерывную величину управляющего сигнала  $u(t)$ , который затем через каналы с коэффициентами передачи  $k_{10}$  и  $k_{20}$  поступает на управление гироскопом (см. рис. 1). В отличие от входного преобразователя АЦП-1, который, как правило, имеет значительное число разрядов ( $\alpha = 8 \dots 16$ ), выходной преобразователь ЦАП обычно имеет меньшее число разрядов (в пределе  $\alpha = 1$ ).

Статическая характеристика ЦАП также может быть линейризована проведением средней линии. При этом коэффициент передачи линейризованной характеристики оказывается равным  $\delta$ , где  $\delta$  — цена единицы младшего разряда ЦАП, равная изменению его выходной величины при изменении цифрового кода на единицу.

Из формул (1.1) можно получить передаточные функции, связывающие изображения углов и сигнал управления.



Для канала крена

$$W_{10}(s) = \frac{\Gamma(s)}{U(s)} = \frac{k_{10}s + k_{20}\Omega}{s^2 + \Omega^2}. \quad (1.4)$$

Для канала рыскания

$$W_{20}(s) = \frac{\Phi(s)}{U(s)} = \frac{k_{20}s - k_{10}\Omega}{s^2 + \Omega^2}. \quad (1.5)$$

Здесь  $\Gamma(s)$ ,  $\Phi(s)$ ,  $U(s)$  — изображения соответственно угла крена, угла рыскания и управляющего сигнала.

Рассмотрим дискретную передаточную функцию канала крена гироорбиты. Она определяется формулой

$$W_1(z) = \frac{z-1}{z} Z \left\{ \frac{W_{10}(s)}{s} \right\}, \quad (1.6)$$

где  $W_{10}(s)$  — передаточная функция, связывающая изображения угла крена и сигнала управления.

Дискретные передаточные функции цифровой гироорбиты в замкнутом состоянии можно получить, рассматривая, например, помеху  $v(t)$  в качестве входной величины. Тогда передаточная функция для крена будет иметь вид

$$H_\gamma(z) = \frac{k_1 T}{z-1 + k_1 T}, \quad (1.7)$$

где  $k_1 = k_{10}\delta/\delta_1$  — общий коэффициент усиления канала крена.

Аналогичным образом для канала курса имеем

$$H_\psi(z) = \frac{k_2 T}{z-1 + k_1 T}, \quad k_2 = k_{20}\delta/\delta_1. \quad (1.8)$$

## 2. Устойчивость и выбор периода дискретности

Величина периода дискретности существенным образом влияет на устойчивость цифровой гироорбиты. Однако для ее нормальной работы требуется не только обеспечение устойчивости, но и наличие определенного запаса устойчивости, который

гарантировал бы выполнение необходимых требований к качеству переходных процессов.

Устойчивость может определяться по характеристическому уравнению системы. В соответствии с формулами (1.7), (1.8) имеем

$$z - 1 + k_1 T = 0. \quad (1.9)$$

В устойчивой системе все корни характеристического уравнения должны быть по модулю меньше единицы. Отсюда следует обычно используемое условие

$$T \leq \frac{2}{k_1}. \quad (1.10)$$

При наличии запаздывания на один такт для периода дискретности получают условие

$$T \leq \frac{1}{k_1}. \quad (1.11)$$

### **3. Исследование автоколебаний методом гармонической линеаризации**

Расчет автоколебательных режимов в цифровых системах — довольно сложная задача. Однако при выполнении условия, что период дискретности является малым по сравнению с временем протекания переходных процессов, оценка их может быть выполнена довольно просто, так как цифровая гироорбита приближается по своим свойствам к непрерывной.

В соответствии с методом гармонической линеаризации оценка времени и частоты возможных режимов автоколебаний может быть сделана по точке пересечения годографов линейной части (амплитудно-фазовой характеристики, построенной по передаточной функции разомкнутой системы) и нелинейной части. В гироорбите с цифровым управлением в качестве нелинейного звена может рассматриваться ограниченно-линейное звено с коэффициентом передачи на линейном участке  $k_3 = k_1 T + k_2 \Omega T^2$  и максимальным значением угла крена  $\gamma_{\max}$ , при котором наступает насыщение канала управления. Амплитуда и частота автоколеба-

ний определяются по отметкам частоты на годографе линейной части.

Коэффициент гармонической линейризации оказывается чисто вещественным и равным

$$q(A_\gamma) = \frac{2k}{\pi} \left( \arcsin \frac{\gamma_{\max}}{A_\gamma} + \frac{\gamma_{\max}}{A_\gamma} \sqrt{1 - \frac{\gamma_{\max}}{A_\gamma}} \right), \quad (1.12)$$

где  $k$  — коэффициент усиления канала управления в линейной зоне;  $\gamma_{\max}$  — угол крена, соответствующий насыщению канала управления;  $A_\gamma$  — амплитуда колебаний по крену (должно выполняться условие  $A_\gamma > \gamma_{\max}$ ).

Для расчета автоколебаний необходимо построить на комплексной плоскости годограф обратной нелинейной характеристики

$$W_0(A_\gamma) = \frac{\pi}{2} / \left( \arcsin \frac{\gamma_{\max}}{A_\gamma} + \frac{\gamma_{\max}}{A_\gamma} \sqrt{1 - \frac{\gamma_{\max}}{A_\gamma}} \right). \quad (1.13)$$

Параметры периодического режима рассчитывают следующим образом. В точке пересечения с отрицательной полуосью суммарный фазовый сдвиг годографа линейной части должен равняться  $-\pi$ . В реальной системе могут появляться временные запаздывания как в непрерывной части, так и в цифровом вычислителе, а также неучтенные малые постоянные времени различных элементов — усилителей, датчиков момента, преобразователей и т. п. Тогда дополнительный фазовый сдвиг, вносимый временной задержкой, должен быть равен  $-\omega\tau = -\pi/2$ . Отсюда может быть найдена частота автоколебаний  $\omega_a = \pi/(2\tau)$ . По этой частоте определяют модуль частотной характеристики разомкнутой гироорбиты в точке пересечения:

$$|W(j\omega_a)| = \frac{k_1}{\omega_a} = \frac{2\tau k_1}{\pi}. \quad (1.14)$$

Из формулы (1.14) может быть получено условие, что оба годографа пересекаются и имеют общую точку. Для этого найденное значение модуля должно быть больше единицы, или  $2\tau k_1 > \pi$ .

Из последнего условия можно найти амплитуду колебаний по углу крена  $A_\gamma$ , если воспользоваться коэффициентом  $q(A_\gamma)$  и соотношением

$$W_0(A_\gamma) = |W(j\omega_a)| = \frac{2\tau k_1}{\pi}. \quad (1.15)$$

### **Лабораторная работа** **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ** **ВРЕМЕНИ ЦИКЛА КОНТРОЛЛЕРА** **И ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГИРООРБИТЫ**

*Цель работы* — ознакомление с характеристиками контроллера НУК-ФАСТВЕЛ, приобретение навыков программирования контроллеров, а также исследование зависимости устойчивости модели цифровой гироорбиты от шага квантования по времени (от времени цикла контроллера).

#### **Порядок выполнения работы**

##### ***Упражнение 1***

1. Загрузить программу Matlab и создать в среде Simulink схему цифровой гироорбиты в соответствии с рис. 4.

2. Для ознакомления со свойствами системы построить переходные процессы и сделать копию графиков процессов изменения углов крена (ROLL) и рыскания (YAW).

3. В окне осциллографа наблюдать характер изменения (в процентах) углов крена (PFI) и рыскания (PPSI) в зависимости от задающего воздействия (MEANDR) и времени запаздывания (DT).

4. Установить новые значения параметров  $k_{10} = 0$ ,  $k_{20} = 0$ .

5. Определить период синусоидальных колебаний углов крена и рыскания  $T_{\text{маш}}$ . Вычислить машинный масштаб времени по

формуле  $M_t = \frac{T}{T_{\text{маш}}} = \frac{2\pi}{\Omega} \frac{1}{T_{\text{маш}}}$  (где  $\Omega = 0,001 \text{ с}^{-1}$ ).

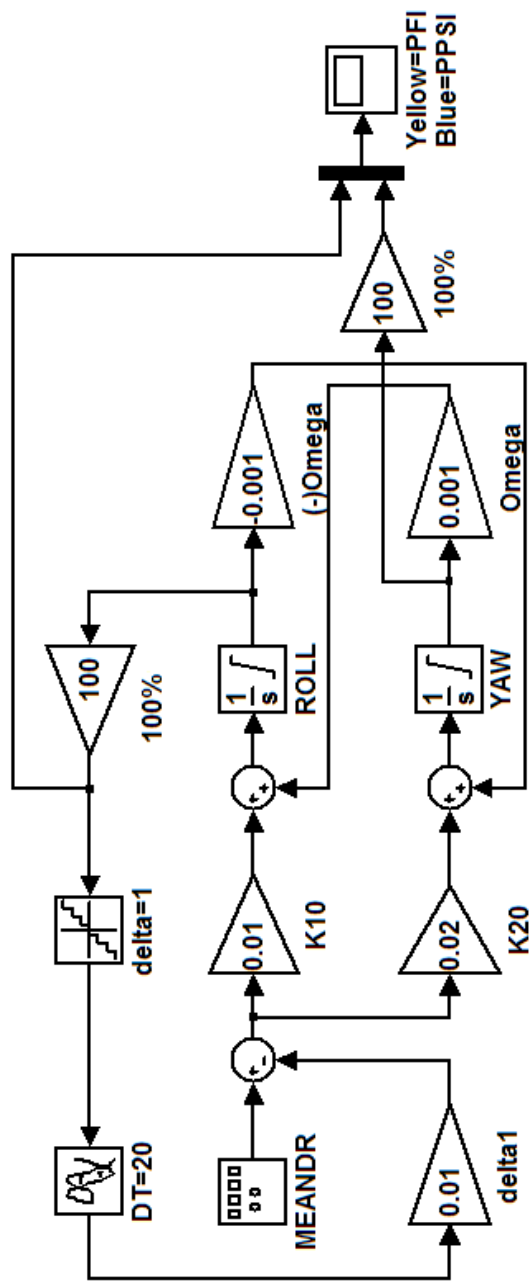


Рис. 4. Схема моделирования системы в среде Matlab

6. Восстановить первоначальные значения коэффициентов  $k_{10} = 0,01 \text{ с}^{-1}$ ,  $k_{20} = 0,02 \text{ с}^{-1}$ .

7. Найти границу асимптотической устойчивости, изменяя время запаздывания на интервале значений  $DT \in [20; 240 \text{ с}]$ .

8. Определить период  $T_{mod}$  колебаний угла крена. Вычислить тот же период в реальном масштабе времени  $T_1 = M_t T_{mod}$ .

9. Выбрать величину запаздывания по времени  $DT$  такой, чтобы получился переходный процесс без колебаний и с перерегулированием не более 30 %. Рассчитать величину соответствующего запаздывания в реальном масштабе времени по формуле  $\tau = M_t \cdot DT$ .

10. В командном окне Matlab построить передаточную функцию разомкнутого контура и логарифмические амплитудно-фазовые частотные характеристики (ЛАФЧХ) канала крена (рис. 5) с временем запаздывания  $DT$ , пользуясь функцией `Pade(DT,2)`. Определить ширину полосы пропускаемых частот.

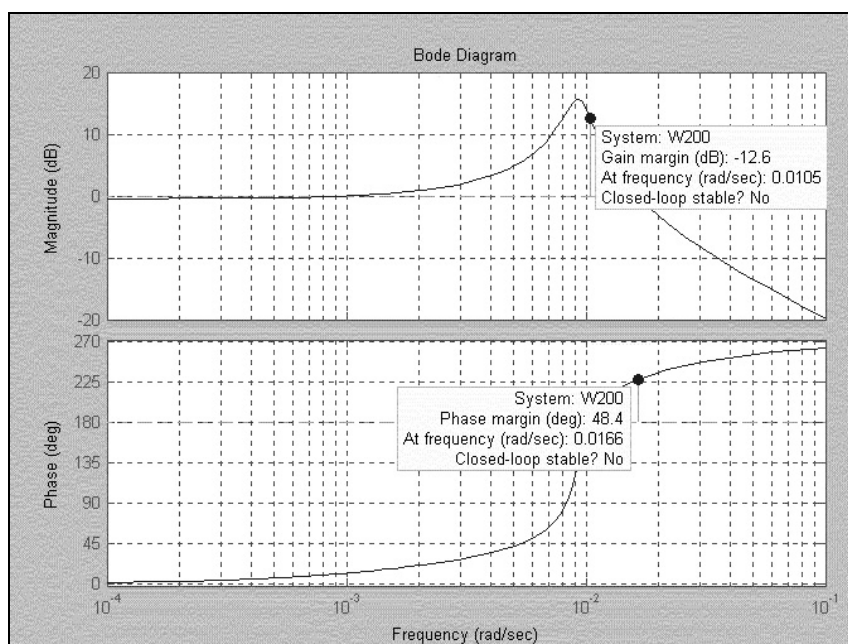


Рис. 5. ЛАФЧХ канала крена с запаздыванием

11. Вычислить шаг квантования по времени и запаздывание DT в соответствии с теоремой Котельникова для модели и в реальном времени, пользуясь найденным масштабным коэффициентом  $M_t$ .

### **Упражнение 2**

1. Скомпилированный проект (в виде exe-файла) загрузить в контроллер в соответствии с руководством (см. приложение 2).

2. Загрузить OPC-сервер Ultranet32 и настроить его для обмена данными с узлом #1.

3. Выбрать в меню среды разработки (Ultralogik32) режим *Отладка-Осциллограф*.

4. В окне осциллографа наблюдать характер изменения углов крена и рыскания (PFI, PPSI), задающего воздействия (SENSOR), времени цикла контроллера (i).

5. Повторить действия, описанные в пп. 4 – 6 упражнения 1.

6. Найти границу асимптотической устойчивости, изменяя время цикла на интервале значений  $i \in [0,02; 3]$ . Определить период  $T'_{mod}$  колебаний угла крена. Вычислить тот же период в реальном масштабе времени  $T'_1 = M_t T'_{mod}$ .

7. Рассчитать величину соответствующего запаздывания в реальном масштабе времени по формуле  $\tau = M_t \cdot DT$ .

8. Зафиксировать амплитуду и частоту автоколебаний, возникающих при больших значениях  $i$ .

9. Путем изменения коэффициента  $k_{10}$  на интервале значений  $k_{10} \in [0,01; 0,14]$  установившейся величины оценки угла крена  $\gamma_{уст}$  построить зависимость  $\gamma_{уст} = f(k_{10})$ .

## **Домашнее задание № 1 РАСЧЕТ ВРЕМЕНИ ЦИКЛА КОНТРОЛЛЕРА**

*Цель работы* — теоретически обосновать выбор шага квантования по времени по условиям устойчивости (см. разд. 2 «Математического описания системы»).

В соответствии с целью работы необходимо следующее.

1. Рассчитать передаточные функции с учетом номера варианта:  $k_{10} = 0,01n$ , где  $n$  — номер студента в списке группы.
2. Вычислить величину шага квантования по времени — см. формулу (1.11).
3. Сравнить результаты расчета с экспериментальными данными и сделать выводы.

### Домашнее задание № 2

#### **РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПРЕДЕЛЬНОГО ЦИКЛА МЕТОДОМ ГАРМОНИЧЕСКОЙ ЛИНЕАРИЗАЦИИ**

*Цель работы* — изучить практическое применение метода гармонической линеаризации к расчету автоколебаний в нелинейных системах (см. разд. 2 «Математического описания системы»).

В соответствии с целью работы необходимо следующее.

1. Нарисовать расчетную схему, выделив линейную и нелинейную части замкнутого контура автоколебаний.
2. Вычислить коэффициент гармонической линеаризации.
3. Построить годограф амплитудно-частотной характеристики линейной части разомкнутой системы.
4. Изобразить график эквивалентной частотной характеристики нелинейной части.
5. Определить графически амплитуду и частоту автоколебаний.
6. Сравнить результаты расчета с экспериментальными данными и сделать выводы.



## РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА В СИСТЕМЕ ПРОГРАММИРОВАНИЯ ULTRALOGIK32

### Запуск системы программирования

Загрузить систему программирования Ultralogik32. В случае успешной загрузки появляется окно *Ultralogik32*, в котором содержится главное меню. Теперь система готова к работе, и нужно создать проект с именем *Project1* для модели контроллера Fastwel CPU188-5MX.

Проект будет состоять из двух программ, в которых используются 11 переменных. Моделируется функционирование цифровой гиросорбиты в реальном масштабе времени.

### Создание нового проекта

Для того чтобы открыть окно нового проекта, в меню *Проект* выберите строку *Новый*. Откроется окно нового проекта с заголовком *Без имени*. Измените имя проекта. Для этого в поле *Имя* введите имя проекта *IUlab*, а в поле *Имя файла* — имя *IU1.PLC* (рис. П1.1).

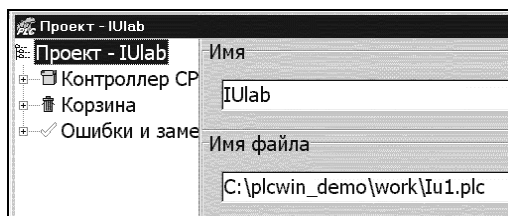


Рис. П1.1. Имя проекта (или комментарий к проекту), имя файла

Выполните команду *Сохранить* в меню *Проект*.  
Вы создали новый проект с именем *IU1.PLC*.

### Создание списка глобальных переменных

Щелкните на знаке «+» напротив изображения контроллера на дереве проекта. На изображении контроллера откроется ветвь со строками *Переменные* и *Список программ*.

Щелкните на ветви *Переменные*. В правой части окна менеджера проектов откроется первая строка таблицы переменных, а в главном окне активизируется панель инструментов *Переменные* (рис. П1.2).

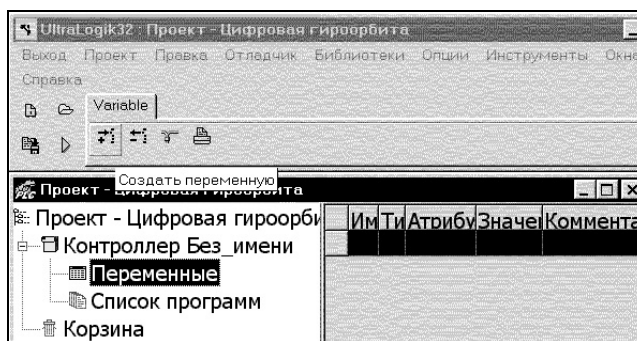


Рис. П1.2. Создание новой переменной

Щелкните на кнопке *Создать переменную*. Активизируется окно *Создать новую переменную* (рис. П1.3).

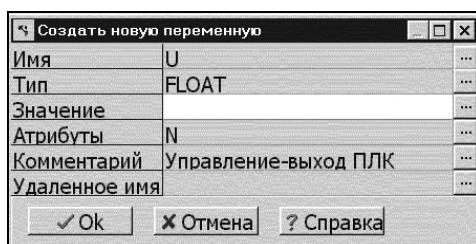


Рис. П1.3. Окно описания свойств новой переменной

В окне введите информацию в следующие поля (см. рис. П1.3):

*Имя* U  
*Тип* FLOAT  
*Атрибуты* Сетевая  
*Комментарий* Управление-выход ПЛК

Помните, что имя переменной может быть написано символами только латинского алфавита.

Повторите описанные действия для трех остальных переменных, заполняя поля, как это показано на рис. П1.4.

Имя	Тип	Атрибу	Значен	Комментарий
1	DLT	FloatNP		Ошибка регулирования
2	FI_	FloatNP		Оценка угла крена
3	PFI	FloatNP		Оценка угла крена, %
4	PPSI	FloatNP		Оценка угла рыскания, %
5	PSI	FloatNP		Оценка угла рыскания
6	SENSOR	FloatNP		Входное воздействие (меандр)
7	U	FloatNP		Обратная связь
8	Fint	IntecNP		Выход АЦП1 (целое число)
9	k01	FloatCN	0.01	Коэффициент усиления по крену
10	k02	FloatCN	0.02	Коэффициент усиления по рысканию
11	SENS_AMP	FloatCN	1.0	Амплитуда входного воздействия
12	STO	FloatCN	100.0	Уровень насыщения в ЦУУ
13	Tgss	TimerCN	20s	Полупериод меандра, с
14	i	TimerCN	s02	Время цикла контроллера, с
15	ERR_OFS	IntecNP	0	Адрес ошибки
16	ERR_SEG	IntecNP	0	Адрес ошибки

Рис. П1.4. Список глобальных и сетевых имен

### Выбор аппаратной модели

Сделайте щелчок на изображении контроллера на дереве проекта. Введите в поля информацию в соответствии с рис. П1.5.

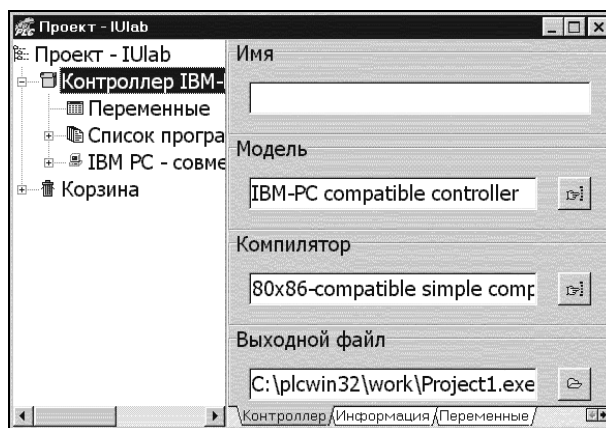


Рис. П1.5. Выбор модели контроллера и компилятора

Ввод информации в поле *Модель* и в поле *Компилятор* осуществляется из списков, которые вызываются кнопками в правой части соответствующих полей.

Ввод имени выходного файла осуществляется вручную.

Выбор модулей ввода/вывода и привязка переменных осуществляются в случае необходимости в использовании АЦП и ЦАП либо других модулей устройств связи с объектом (рис. П1.6).

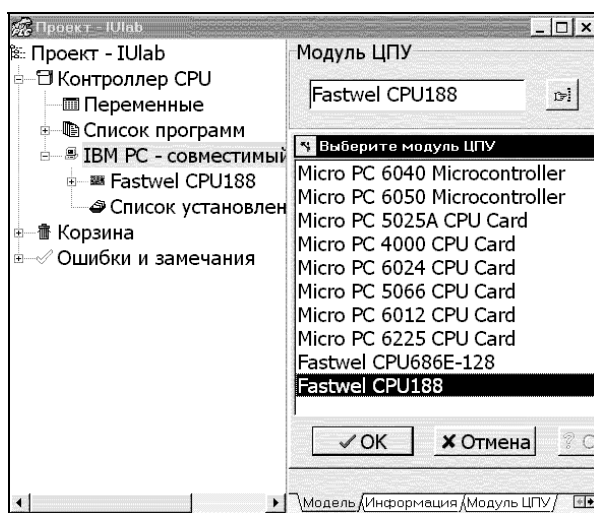


Рис. П1.6. Список модулей ЦПУ

После выбора аппаратной модели на дереве проекта появится условное изображение контроллера *Fastwel CPU188* (рис. П1.7).

Сделайте на нем щелчок. В рабочем поле менеджера проекта откроется окно конфигурирования контроллера.

В поле *Используемые компоненты* установите флажок *Com1*.

Таким образом, вы выбрали конфигурацию контроллера, которая содержит *Последовательный порт COM1* (рис. П1.8).

Обратите внимание, что после выбора модулей в нижней части рабочего поля менеджера проекта появляются закладки с названиями выбранных модулей. Эти закладки открывают окна для настройки выбранных модулей и привязки переменных к входам и выходам контроллера.

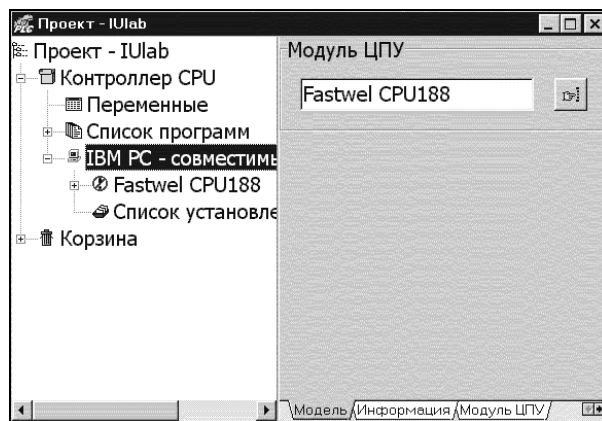


Рис. П1.7. Выбор модуля Fastwel CPU188

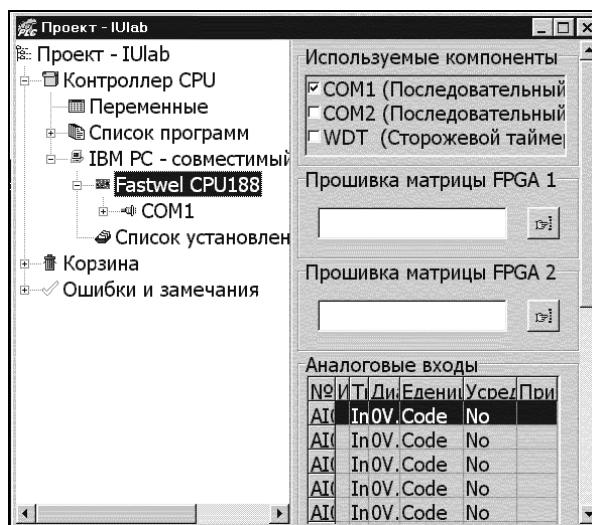


Рис. П1.8. Окно конфигурирования контроллера

Откройте лист с закладкой *COM1* и произведите настройку порта (рис. П1.9).

Сделайте щелчок на условном изображении *Контроллер* на дереве проекта и введите сетевой адрес контроллера в соответст-

вующее поле. Обратите внимание, что поле *Сетевой адрес* появляется только тогда, когда на порты контроллера назначается сетевой драйвер (рис. П1.10).

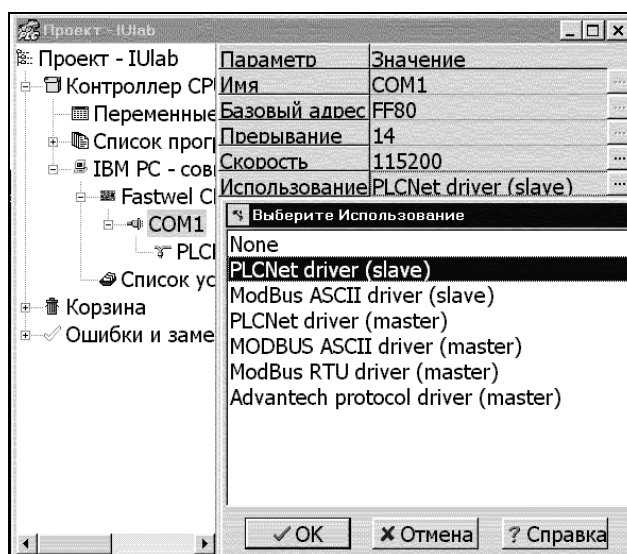


Рис. П1.9. Окно настройки параметров порта COM1

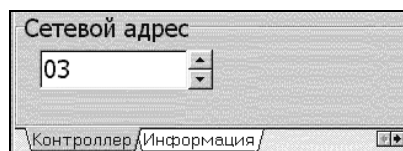


Рис. П1.10. Сетевой адрес

### Создание списка программ проекта

Проект будет состоять из двух программ: GO и END.

Для создания списка программ проекта сделайте щелчок на элементе дерева проекта *Список программ*. Появится контекстное меню.

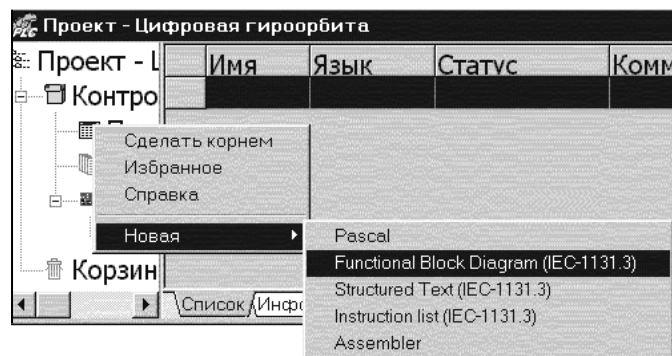


Рис. П1.11. Выбор языка программирования

Выполните команду меню *Новая-Functional Block Diagram* (рис. П1.11). Откроется окно *Введите имя программы* с именем по умолчанию *FBD1*. Переименуйте программу в *GO* и сделайте щелчок на кнопке *OK*. Программа *GO* появится в списке программ.

Обратите внимание, что после ввода имени программы в нижней части рабочего поля менеджера проекта появляется закладка с именем программы.

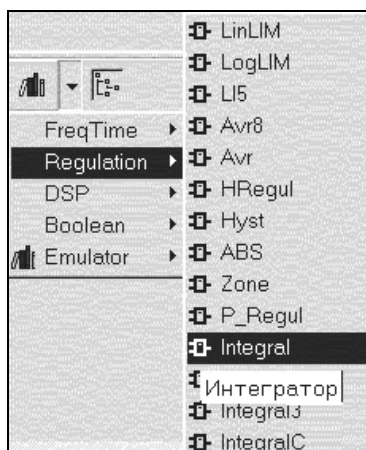
### Разработка и редактирование программы

Чтобы начать редактирование программы, сделайте щелчок на закладке *GO* в нижней части рабочего поля менеджера проекта. Далее выполните следующие шаги.

- Сделайте щелчок на кнопке *Библиотеки* панели инструментов *Edit*, выберите библиотеку и элемент библиотеки (рис. П1.12). Изображение функционального блока появится в рабочем поле и будет следовать за курсором. Положение блока фиксируется на рабочем поле щелчком.

- На панели инструментов щелкните на закладке *Analog*. Выберите элементы на панели и разместите их в поле редактора программ.

На рис. П1.13 и П1.14 показаны окна программ *GO* и *END*, составленных на языке FDB. Для разработки этих программ необходимо выполнить указанные выше действия.



**Рис. П1.12.** Диалоговое окно *Библиотеки* (элемент раздела *Regulation*)

***Процедура редактирования функциональных блоков.***

Выберите режим именованной связи и соедините связи. Присвойте имена связям, подсоединенным к каждому выводу элементов.

На этом этапе редактирования закончен. Сохраните проект, выполнив команду главного меню *Проект-Сохранить*.

***Компиляция программы.***

Для того чтобы скомпилировать программу, в меню выполните команду *Компилировать*. В случае успешного завершения компиляции порождается исполняемый файл *Project1.exe*.

***Подготовка контроллера и пересылка программы.***

Произведите действия по пересылке программы в контроллер согласно приложению 2.

***Запуск программы на контроллере.***

После пересылки для запуска исполняемой программы на контроллере в режиме терминала введите командную строку:

*lprog.EXE <Enter>*.

***Установка параметров сети системы отладки.***

Перед тем как начать отладку, необходимо активизировать драйвер *Ultranet32*, который реализует сетевой обмен между контроллером и компьютером посредством интерфейса RS485.



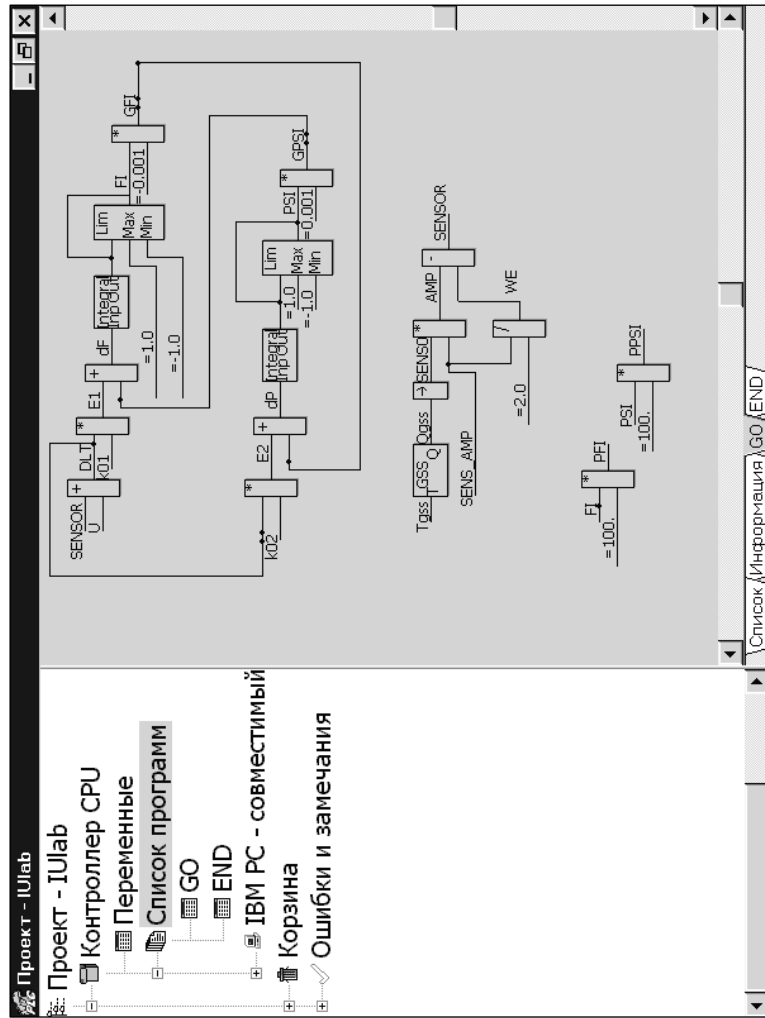


Рис. П1.13. Программа GO

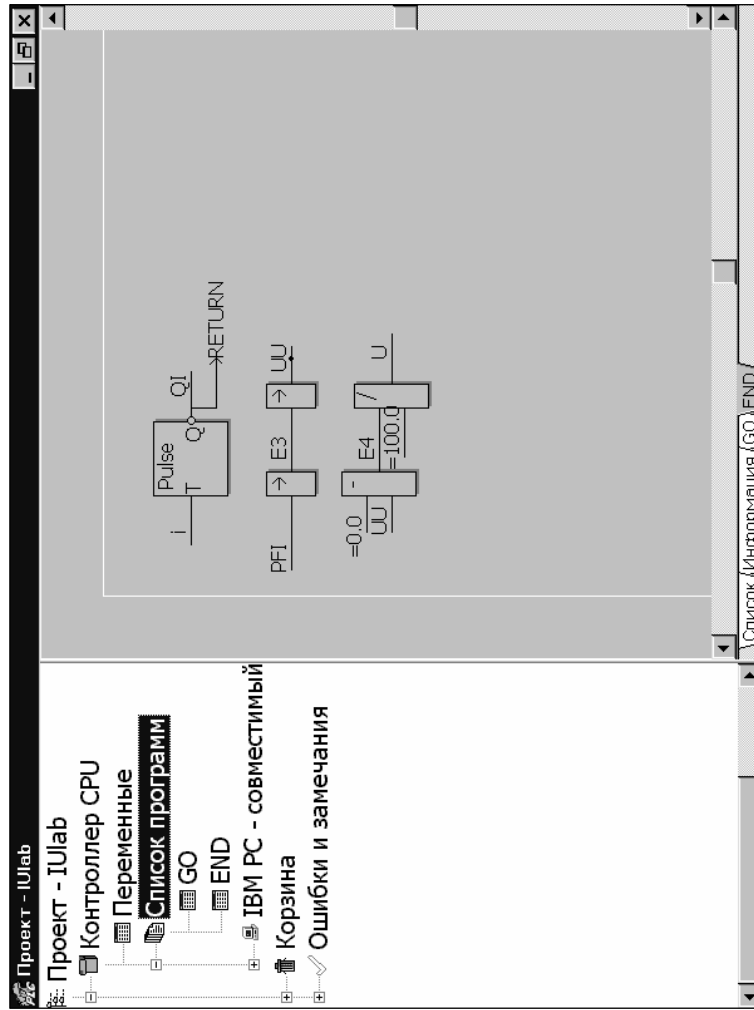
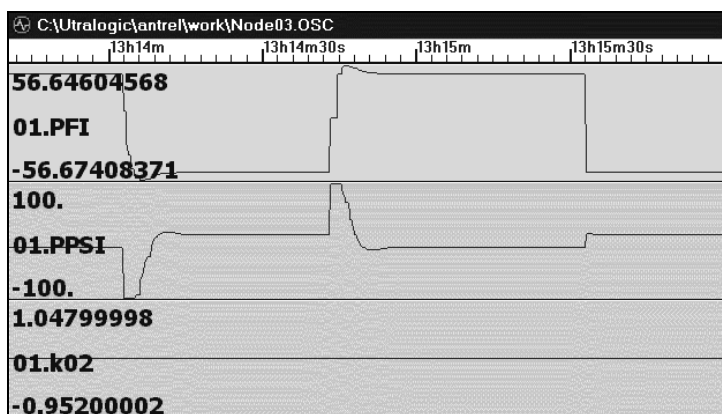


Рис. П1.14. Программа END

### **Удаленная отладка программы и осциллографирование.**

После пересылки и запуска программы на контроллере перейдите в режим удаленного отладчика. Для этого в меню *Отладчик* выберите строку *Переменные-Осциллограф*. Откроется окно *Введите сетевой адрес* со списком всех участников сети, которых будет два. Первый участник сети — UltraNet32 Server, второй участник — контроллер Fastwel CPU188. Число переменных в списке, их значения и формат можно менять с помощью команд контекстного меню, которое вызывается нажатием правой клавиши в поле списка.



**Рис. П1.15.** Осциллограмма переходных процессов в гироорбите

Вид окна с осциллограммой процессов изменения углов крена PFI и рыскания PPSI представлен на рис. П1.15.

## ПЕРЕСЫЛКА И ЗАГРУЗКА ПРОГРАММЫ В ПАМЯТЬ КОНТРОЛЛЕРА

Для пересылки программы Project1.exe в память контроллера необходимо выполнить следующее.

1. Подключить контроллер через СОМ-порт к компьютеру (при выключенных компьютере и контроллере).

2. Включить компьютер.

3. Запустить программу HyperTerminal, настроить СОМ-порт (скорость 115 200 бит/с, 8 бит данных, без четности, один стоповый бит, без управления потоком).

4. Включить контроллер. Если подключение осуществлено правильно, на экране появится информация о контроллере и командная строка:

```
CPUI88-5 C:\>
```

Если командная строка не появится, необходимо нажать на клавишу ввода, а также проверить правильность подключения к СОМ-порту компьютера и настройки программы HyperTerminal.

5. В режиме терминала ввести командную строку:

```
ftans /crc c:lprog.exe xxxx (контрольная сумма)
```

6. В окне программы HyperTerminal выбрать меню *Передача, Отправить файл*, протокол *Xmodem*, *Имя файла (обзор)*, *Отправить* (рис. П2.1).

7. После пересылки для запуска исполняемой программы на контроллере в режиме терминала ввести командную строку:

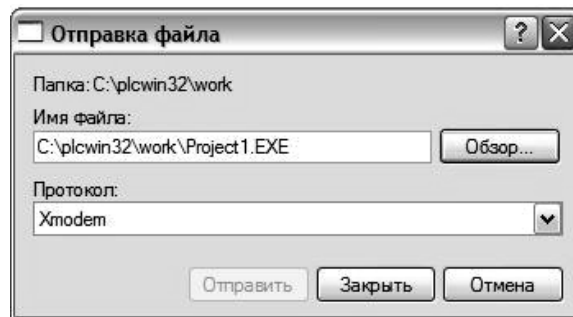
```
lprog.EXE <Enter>
```

После запуска программы выводится сообщение:

```
Portions Copyright (c) 1995-2004(UltraLogik Version x.xx.xxxx)
```

```
Project: xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx
```

```
PLCName: CPU188-5MX
```



**Рис. П2.1.** Диалоговое окно *Отправка файла*

8. Выключить программу HyperTerminal и активизировать программы Ultranet32 и Ultralogik32 (либо другой OPC-сервер, SCADA-приложение WINDOWS и т. п.).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Солодовников В.В., Плотников В.Н., Яковлев А.В.* Теория автоматического управления техническими системами. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1993. 492 с.
2. Классические и современные методы теории автоматического управления: Учеб.: В 5 т. / Под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005.
3. Ultralogik32™. Версия 2.00.033d: Рук. пользователя / Центр-контрольавтоматика. М., 1995–2004. 300 с.
4. *Бесекерский В.А., Иванов В.А., Самошкин Б.Б.* Орбитальное гирокомпасирование / Под ред. Б.Б. Самошкина. СПб.: Политехника, 1993. 256 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	3
Математическое описание системы .....	5
1. Структурная схема и передаточные функции при цифровом управлении .....	5
2. Устойчивость и выбор периода дискретности .....	9
3. Исследование автоколебаний методом гармонической линеаризации .....	10
Лабораторная работа .....	12
Домашнее задание № 1 .....	15
Домашнее задание № 2 .....	16
<i>Приложение 1.</i> Разработка проекта в системе программирования Ultralogik32 .....	17
<i>Приложение 2.</i> Пересылка и загрузка программы в память контроллера .....	28
Список литературы .....	30

*Методическое издание*

**Александр Васильевич Сенькин**

**ОСОБЕННОСТИ ОРБИТАЛЬНЫХ ГИРОКОМПАСОВ  
С ЦИФРОВЫМ УПРАВЛЕНИЕМ**

Редактор *Е.К. Кошелева*

Компьютерная верстка *С.А. Серебряковой*

Подписано в печать 14.01.2007. Формат 60×84/16. Бумага офсетная.

Печ. л. 2,0. Усл. печ. л. 1,86. Уч.-изд. л. 1,56. Тираж 250 экз.

Заказ

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана.  
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5.