

**ՏԵՂԵԿԱՏՎԱԿԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՆԵՐ, ԷԼԵԿՏՐՈՆԻԿԱ,
ՈՒԴԻՈՏԵԽՆԻԿԱ**

ԻՆՖՈՐՄԱՏԻԿԱ ԵՎ ՀԱՇՎՈՂԱԿԱՆ ՏԵԽՆԻԿԱ

УДК 681.3

Г.Г. КИРАКОСЯН, А.Г. КАМАЛЯН

**РАЗРАБОТКА МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
УРОВНЕМ ВОДЫ В РЕЗЕРВУАРЕ**

Рассматривается водонапорная башня, где от резервуара идут трубы с целым рядом ответвлений, вводимых в разные земельные участки. Разработана микропроцессорная система регулирования уровня воды в резервуаре. Получены сходящиеся переходные характеристики замкнутой системы с единичной обратной связью.

Ключевые слова: микропроцессорная система, водонапорная башня, резервуар, уровень воды, передаточная функция, ПИД-регулятор, диаграммы Боде.

Введение. Из-за ограниченности ресурсов ископаемого топлива ведутся активные исследования в области фотоэлектрических приложений. Несмотря на продолжающиеся исследования, пока еще не существует большого рынка фотоэлектрических приложений. Одной из причин столь низкого процента производства энергии являются высокие затраты. Существует отрасль фотоэлектрической энергетики, которая весьма экономична и применима: фотоэлектрические водонапорные станции для энергоснабжения в отдаленных районах. В основном их используют в солнечных регионах развивающихся стран для орошения земельных участков [1]. Одной из основных составляющих фотоэлектрической водонапорной станции является водонапорная башня [2]. Последняя представляет собой башню с установленной на ней большим резервуаром с водой. Резервуар наполняется водой насосом с электроприводом. Для широкого применения фотоэлектрических станций важно обеспечить сохранение или наличие определенного количества воды в резервуаре за весь период орошения земельных участков.

Целью настоящей работы является разработка микропроцессорной системы регулирования уровня воды в резервуаре.

1. Гидродинамическая модель резервуара. Для того, чтобы обеспечить водой всех жителей маленькой деревни, необходимо построить водонапорную башню, в которую насосом закачивается вода из реки с помощью PV станции. Каждый житель может в любой момент включить воду на своем участке для

полива. Нужно построить систему управления, которая автоматически будет поддерживать заданный уровень h_0 воды в резервуаре. На рис.1 изображена функциональная схема резервуара с водой.

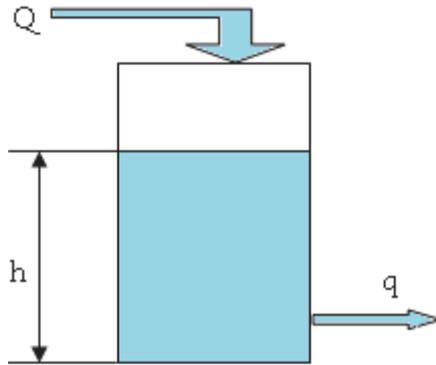


Рис. 1. Функциональная схема резервуара с водой

Будем считать, что у кого-то из жителей деревни всегда включена вода, и насос постоянно работает на закачку воды в резервуар в дневное время. Для управления уровнем воды h мы можем изменять его поток Q . Таким образом, уровень h - это регулируемая величина, а поток Q – сигнал управления. Для обратной связи используем датчик, измеряющий уровень воды h в резервуаре.

Построим математическую модель объекта, т.е. резервуара. Поток на выходе q показывает, сколько воды вытекает из резервуара за 1с - это нагрузка.

Изменение уровня Δh зависит от разности потоков $Q-q$ и площади сечения резервуара S . Если разность потоков постоянна в течение интервала времени Δt , то

$$\Delta h(t) = \frac{Q(t)-q(t)}{S} \Delta t. \quad (1)$$

В общем случае нужно использовать интеграл

$$\Delta h(t) = \frac{1}{S} \int_0^t (Q(t) - q(t)) dt. \quad (2)$$

Пусть в момент времени $t=0$ уровень воды равен заданному значению, а входной и выходной потоки равны ($Q(0)=q(0)=q_0$), так что уровень не меняется. Этот режим мы примем за номинальный (рабочую точку). Для того, чтобы получить уравнение в отклонениях, представим потоки в виде

$$Q(t) = q_0 + \Delta Q(t), q(t) = q_0 + \Delta q(t), \quad (3)$$

где $\Delta Q(t)$ и $\Delta q(t)$ – малые отклонения потоков от номинального режима. Тогда, опуская знак приращения Δ , можно записать модель объекта управления в форме

$$h(t) = \frac{1}{s} \int_0^t (Q(t) - q(t)) dt. \quad (4)$$

Здесь $h(t)$, $Q(t)$ и $q(t)$ обозначают отклонения этих величин от номинальных значений. Заметим, что эта модель может быть записана как дифференциальное уравнение

$$\frac{dh(t)}{dt} = \frac{1}{s} [Q(t) - q(t)]. \quad (5)$$

В качестве обратной связи будем использовать сигнал с датчика уровня. Ошибка управления вычисляется как разница между заданным и измеренным уровнями воды:

$$e(t) = h_0(t) - h(t). \quad (6)$$

2. Система отслеживания уровня воды в резервуаре. Рассмотрим систему регулирования уровня воды в резервуаре со следующей передаточной функцией:

$$W_{MR}(s) = \frac{500}{s^2 + 13s + 80000}. \quad (7)$$

Предлагается следующая структура микропроцессорной системы регулирования уровня воды в резервуаре (рис.2).

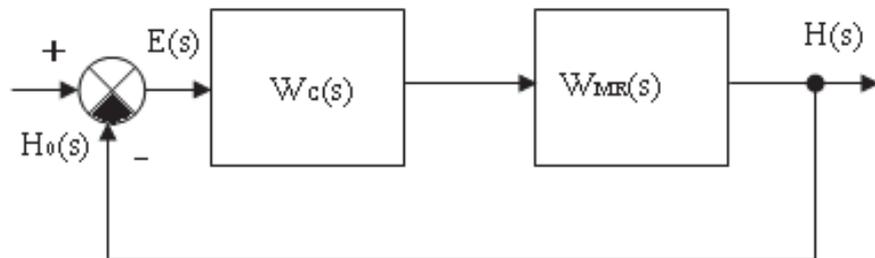


Рис. 2. Структурная схема микропроцессорной системы регулирования уровня воды в резервуаре

Характеристическое уравнение замкнутой системы имеет вид

$$1 + W_C(s)W_{MR}(s) = 0, \quad (8)$$

где $W_C(s)$ - передаточная функция регулятора.

Регулятор $W_C(s)$ выполняет задачу управления уровнем воды в замкнутой системе с тем, чтобы фактическое значение регулируемой величины $h(t)$ становилось как можно ближе к задающему воздействию $h_0U_s(t)$, где $U_s(t)$ - единичная функция Хевисайда. Такая микропроцессорная система называется системой слежения, поскольку ее действительная выходная функция $h(t)$ постоянно

отслеживает какой-то средний уровень воды h_0 в резервуаре [3,4]. Ошибка $e(t) = h_0 - h(t)$, которая сохраняется в пределе $t \rightarrow \infty$, называется установившейся ошибкой. Для установившейся ошибки получим

$$e_{ss} = \lim_{t \rightarrow \infty} e(t). \quad (9)$$

Обозначив изображения Лапласа функций $h(t)$, h_0 и $e(t)$ через $H(s)$, $H_0(s)$ и $E(s)$ соответственно и используя важное свойство преобразования Лапласа, а именно - теорему об окончательном значении, находим

$$e_{ss} = \lim_{s \rightarrow 0} sE(s). \quad (10)$$

После несложных преобразований получим

$$e_{ss} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{sH_0(s)}{1+W_C(s)W_{MR}(s)}. \quad (11)$$

Сначала попробуем использовать в качестве регулятора обыкновенный усилитель:

$$W_C(s) = K.$$

Поскольку объект имеет тип 0, установившаяся ошибка из-за ступенчатого ввода будет отличной от нуля:

$$e_{ss} = \frac{h_0}{1+\left(\frac{500k}{80000}\right)}. \quad (12)$$

Чтобы установить нулевую установившуюся ошибку для ступенчатого входа, выбираем ПИД-регулятор с $K_d = 0$, $K_p = 1$ и $K_I = 1100$, что делает передаточную функцию регулятора следующей:

$$W_C(s) = \frac{s+1100}{s}. \quad (13)$$

Рассчитав установившуюся ошибку, в этом случае получим, что $e_{ss} = 0$.

Соединив $W_C(s)$ и $W_{MR}(s)$ последовательно, а затем замыкая контур обратной связи, как показано на рис.2, получим следующую передаточную функцию с обратной связью:

$$\frac{H(s)}{H_0(s)} = \frac{500s+550000}{s^3+13s^2+80500s+550000}. \quad (14)$$

На рис.3 приведены диаграммы Боде объекта $W_{MR}(s)$, регулятора $W_C(s)$ и замкнутой системы, которые получаются следующим образом:

```

>>num=500;den=[1 13 80000];
>>Wmr=tf(num,den);w=logspace(-1,4);bode(Wmr,w)%Bode plot of the plant
>> hold on
>> n1=[1 1100];d1=[1 0];Wc=tf(n1,d1);bode(Wc,w)%Bode plot of the
controller
>> hold on
>>nCL=[500 550000];dCL=[1 13 80500 550000];WmrCL=tf(nCL,dCL);
>>bode(WmrCL,w)%Bode plot of the closed-loop system
>> grid on

```

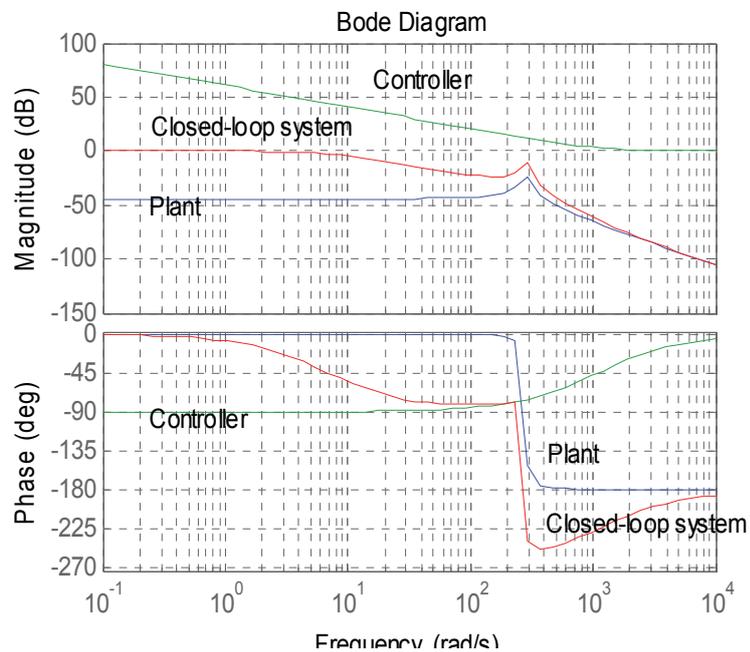


Рис. 3. Диаграммы Бode для объекта, регулятора и замкнутой системы

Из рис. 3 следует, что ПИ-регулятор увеличивает коэффициент усиления, уменьшая при этом фазу на низких частотах, и не изменяет усиление высоких частот. Коэффициент усиления по постоянному току системы с обратной связью стремится к 0 дБ, что указывает на то, что переходная характеристика будет иметь нулевую установившуюся ошибку. Запас усиления замкнутой системы снижается из-за увеличения усиления на низких частотах по сравнению с объектом, что указывает на потерю устойчивости. Собственная частота объекта составляет 283 рад/с и является пиковой частотой на графике усиления. Полусы замкнутого контура определяются следующим образом:

```
>>damp(dCL)
PoleDampingFrequencyTimeConstant
(rad/TimeUnit) (TimeUnit)
-3.08e+00 + 2.84e+02i 1.09e-02 2.84e+02 3.24e-01
-3.08e+00 - 2.84e+02i 1.09e-02 2.84e+02 3.24e-01
-6.84e+00 1.00e+00 6.84e+00 1.46e-01
```

3. Результаты имитационного моделирования. Отметим, что затухание в замкнутом контуре вблизи собственной частоты объекта немного уменьшается, в то время как другой полюс расположен при $s = -6,84$. Проведем сравнительный анализ переходных характеристик объекта и системы с обратной связью [5,6]. Переходные характеристики рассчитываются с использованием М-файла `stepresp.m` следующим образом:

```
>>subplot(2,1,1)
>> [s1,t]=stepresp(num,den,0,0.01,1);plot(t,s1)
>>grid on
>>subplot(2,1,2)
>> [s2,t]=stepresp(nCL,dCL,0,0.01,1);plot(t,s2)
>> grid on
```

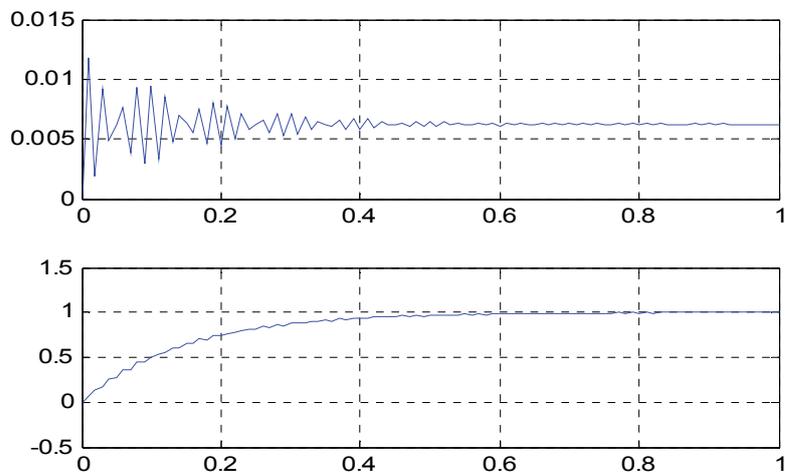


Рис. 4. Переходные характеристики объекта и системы с обратной связью для ПИ-регулятора

Два переходных процесса сравниваются на рис.4. Заметим, что хотя установившаяся ошибка замкнутого контура стремится к нулю, время установления и большое количество колебаний объекта не изменяются. Сравним запасы устойчивости по коэффициенту усиления и фазе системы с обратной связью с этими же данными объекта. Рассчитываются запасы устойчивости

по коэффициенту усиления и фазе объекта с соответствующими переходными частотами, используя команду `margin` следующим образом:

```
>> num=500; den=[1 13 80000]; Wmr=tf(num,den);  
>> [gm,pm,wg,wp]=margin(Wmr)  
gm =Inf  
pm =Inf  
wg =Inf  
wp = NaN,
```

где `Inf` - бесконечность, а `NaN` – неопределенная величина. Таким образом, объект имеет бесконечные запасы устойчивости по усилению и фазе, а соответствующие переходные частоты не определены. Запасы устойчивости для замкнутой системы следующие:

```
>> nCL = [732.15 134140 3e7]; dCL = conv([1 300],[1 447.15 1e5]);  
WmrCL=tf(nCL,dCL);  
>> [gmCL,pmCL,wgCL,wpCL]=margin(WmrCL)  
gmCL =Inf  
pmCL = 144.8923  
wgCL =NaN  
wpCL =583.5848
```

Отметим, что запас устойчивости по коэффициенту усиления в замкнутом контуре бесконечен, а запас устойчивости по фазе составляет 144.9° , что соответствует переходной частоте 583.6 рад/с . Хотя запас устойчивости по фазе уже не бесконечен для объекта, он относительно велик и достаточен.

Работа выполнена при финансовой поддержке Австрийской программы партнерства в области высшего образования и исследований для разработки (проект NPrep. 252, Армения).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Haase Ct., Kirakossian G.T., Kirakosyan G.H., Mkrtchyan V.A.** Designing optimal solar water pumping stations for irrigation of agricultural lands// Scientific Review Engineering and Environmental Sciences.-2023.-V.32, N.3.-P. 270-283.
2. **Джанколи Д.** Физика.-М.: Мир, 1989.-653с.
3. Системы автоматического регулирования /**Б.А. Карташов, А.Б. Карташов, О.С. Козлов, Г.С. Пархоменко, С.Г. Пархоменко.**- Ростов-на-Дону: Феникс, 2015.- 459с.
4. **Гуров В.В.** Микропроцессорные системы: Учебное пособие.- М.: Инфа-М, 2019.-336с.
5. **Dorf R.C., Bishop R.H.** Modern control systems.- New York: Prentice Hall, 2011.-1082p.
6. **Moore H.** MATLAB for engineers.- New York: Person, 2012.- 656p.

Գ.Հ. ԿԻՐԱԿՈՍՅԱՆ, Ա.Գ. ՔԱՄԱԼՅԱՆ

**ՋՐԱՄԲԱՐՈՒՄ ՋՐԻ ՄԱԿԱՐԴԱԿԻ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ՄԻԿՐՈՊՐՈՑԵՍՈՐԱՅԻՆ
ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ**

Դիտարկվում է ջրի ան աշտարակը, որի ջրամբարից դուրս են գալիս մի ամբողջ շարք ճյուղավորումներով խողովակներ, որոնք մտնում են տարբեր հողատարածքներ: Մշակվել է ջրամբարում ջրի մակարդակը կարգավորող միկրոպրոցեսորային համակարգ: Ստացվել են միավոր հետադարձ կապով համակարգի զուգամիտող անցումային բնութագրերը:

Առանցքային բառեր. միկրոպրոցեսորային համակարգ, ջրահան աշտարակ, ջրամբար, ջրի մակարդակ, փոխանցման ֆունկցիա, ՀԻԴ կարգավորիչ, Բոդեի դիագրամներ:

G.H. KIRAKOSYAN, A.G. KAMALYAN

**DEVELOPING A MICROPROCESSOR SYSTEM FOR WATER LEVEL
CONTROL IN THE RESERVOIR**

This paper examines a water tower, where pipes run from the reservoir with a number of branches introduced into different plots of land. A microprocessor system for regulating the water level in the reservoir has been developed. The convergent transient characteristics of a closed-loop system with unit feedback are obtained.

Keywords: microprocessor system, water tower, reservoir, water level, transfer function, PID controller, Bode diagrams.

ՀՏԴ 681.3

Ա.Կ. ՍԱՂԱԹԵԼՅԱՆ, Ա.Հ. ՀԱՄԱԶԱՍԴՅԱՆ, Ա.Գ. ՔԱՄԱԼՅԱՆ

**ՍՈՒՊԵՐՍԿԱԼՅԱՐ ՊՐՈՑԵՍՈՐԻ ՆԵՐՔԻՆ ՌԵԳԻՍՏՐՆԵՐԸ ՁԵՎԱՎՈՐՈՂ
ՍԱՐՔԵՐԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ ԵՎ ԱՊԱՐԱՏԱՅԻՆ ԻՐԱԳՈՐԾՈՒՄԸ**

Ուսումնասիրվում են սուպերսկալյար պրոցեսորի (IA-64) ներքին ռեգիստրները ձևավորող սարքերի ապարատային իրագործման հարցերը: Իրականացվել են սուպերսկալյար պրոցեսորների ներքին ռեգիստրները ձևավորող բլոկի կառուցվածքային մշակումները, մասնավորապես՝ ընդհանուր նշանակության, ղեկավարման, վիճակի ռեգիստրները ձևավորող սարքերի, այսինքն այն ներքին ռեգիստրների կառուցվածքային սխեմաները, որոնց աշխատանքի կազմակերպումն իրականացվում է նաև ապարատային միջոցներով: Մշակված են նախագծված սարքերի կառուցվածքային սխեմաները, գնահատված են արագագործությունը և ապարատային ծախսերը FPGA ռեսուրսների տեսակետից:

Առանցքային բառեր. սուպերսկալյար պրոցեսորներ, պրոցեսորի ներքին ռեգիստրներ, դրոշակների ռեգիստր, վիճակի ռեգիստր, FPGA ռեսուրսներ:

Ներածություն: Սուպերսկալյար պրոցեսորներում բազմաբնույթ ֆունկցիոնալ հնարավորություն ունեցող ռեգիստրների աշխատանքի կազմակերպման