

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИИ-РЕГУЛЯТОРА НАСОСА ГИДРОПОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НЕОБХОДИМОГО ДАВЛЕНИЯ**Е.А. Олисевиц**

jenia1702@gmail.com

SPIN-код: 2369-3990

М.А. Фадеев

mr.fadeev.max@yandex.ru

SPIN-код: 8084-6191

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация**Аннотация**

Исследованы основные процессы, протекающие при распылении жидкости в гидропонной системе и необходимые для выявления математической зависимости, на основе которой можно регулировать электрические параметры системы. Подробно рассмотрена реализация широтно-импульсной модуляции с помощью периферии микроконтроллера для контроля работы насоса постоянного тока при регулировании потока выкачиваемой жидкости. Приведены примерные формулы и графические изображения зависимостей электрических параметров для создания программной оболочки регулирования давления гидропонных систем. Благодаря изучению поведения жидкости в сечении трубок получена функция-регулятор, которая устанавливает зависимость между цифровыми показаниями датчика влажности и давлением жидкости в сечении, создаваемым насосом постоянного тока.

Ключевые слова

Гидропонная система, функция-регулятор, математическая зависимость, жидкость в сечении, насос постоянного тока, датчик влажности почвы, широтно-импульсная модуляция, микроконтроллер, гидропоника

Поступила в редакцию 29.10.2019

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019

Введение. Гидропонные системы — это искусственно созданные системы, обеспечивающие условия для выращивания зелени, овощей и ягод без почвы в специальных контейнерах, субстрате или на плавучих платформах, им отведено отдельное внимание в агропромышленности. В наши дни существует множество гидропонных систем различного назначения. Они используются как в бытовой, так и в промышленной сфере. Такие системы являются преимущественно зарубежными. В процессе поиска возможностей организации отечественного производства таких систем был разработан целый ряд специальных технологий и методик. Современная агропромышленность растет и развивается, следовательно, ее рост влечет за собой увеличение объема производства. Отметим, что увеличение объема производства посредством ручного труда — далеко не самое бюджетное решение проблемы, поэтому возникает необходимость автоматизации производства. Но поскольку в нашей стране подходящие аналоги агропро-

мышленного оборудования отсутствуют, возникает техническая задача разработки такого оборудования. Рассмотрим популярные предлагаемые на российском рынке программные продукты, позволяющие решать подобные задачи.

Зарубежная компания GHE (Франция) производит гидропонные системы для бытовых нужд. Средняя стоимость таких систем составляет 9000 руб. Устройства обладает неплохими характеристиками. Однако эти системы выполнены на устаревшей элементной базе, из-за чего они имеют большую стоимость.

Российская компания «Аэросад» предлагает гидропонное оборудование, конструктивно выполненное на высоком качественном уровне, однако оно может быть использовано только для бытовых нужд и обладает ограниченным функционалом.

На основе анализа предлагаемых на рынке продуктов целесообразно осваивать собственные методы гидропоники. Данное решение обеспечит понимание основных методов гидропоники, необходимых для создания гидропонной системы с заданными характеристиками при минимальных аппаратных затратах и финансовой независимости от сторонних компаний.

Поскольку процесс ухода за растениями включает в себя много задач, был рассмотрен процесс автоматизации контроля влажности растения с физической, математической и программной сторон. В качестве оборудования использовали насос постоянного тока и датчик влажности почвы с жидкостными трубками [1, 2].

Исследование работы насоса постоянного тока и метода широтно-импульсной модуляции. Данное исследование необходимо для обеспечения стабильной работы насоса постоянного тока во время его работы и пуска [1, 2] и призвано исключить риск выхода насоса из строя и перекачивания жидкости выше нормы на растение.

Для маломощных насосов можно применять прямой пуск, подавая питание на насос непосредственно от сети. Это связано с тем, что массадвигающихся частей таких насосов невелика, а сопротивление обмотки относительно большое, поэтому пусковые токи будут незначительными. Но в системе полива насос всегда запускается с нагрузкой, так как он погружен в воду, следовательно, есть вероятность того, что пусковые токи будут настолько большими, что выведут насос из строя.

Когда насос работает при постоянном напряжении и сопротивлении обмотки якоря, ток в якоре можно найти по формуле

$$I_{\text{як}} = \frac{U - E_{\text{пр}}}{\sum r},$$

где U — напряжение питающей сети; $E_{\text{пр}}$ — противо ЭДС; $\sum r$ — сопротивление обмоток якоря.

Противо ЭДС $E_{\text{пр}}$ возникает при вращении якоря в магнитном поле статора, при этом в двигателе она направлена против якоря. Но когда якорь не движется, $E_{\text{пр}}$ не возникает, поэтому выражение для тока якоря принимает следующий вид:

$$I_{\text{як}} = \frac{U}{\sum r}$$

Это и есть выражение для вычисления пускового тока. Из формулы понятно, что снижение пускового тока возможно двумя способами: увеличением сопротивления якорной обмотки или снижением питающего напряжения [3, 4]. Понижать напряжение с помощью сопротивления невыгодно с точки зрения элементной базы, поэтому наилучший выход из положения — использовать для управления метод широтно-импульсной модуляции (ШИМ).

Суть метода ШИМ заключается в подаче на двигатель промодулированных по длительности прямоугольных импульсов. Таким образом можно сформировать определенную последовательность импульсов, которая не даст якорному току выйти за пределы нормы. Данный метод также позволяет регулировать скорость перекачки жидкости, изменяя скважность Q :

$$Q = \frac{T}{W},$$

где T — период импульса; W — длительность импульса.

Графическая зависимость усредненного напряжения U , получаемого при использовании ШИМ, от времени t показана на рис. 1.

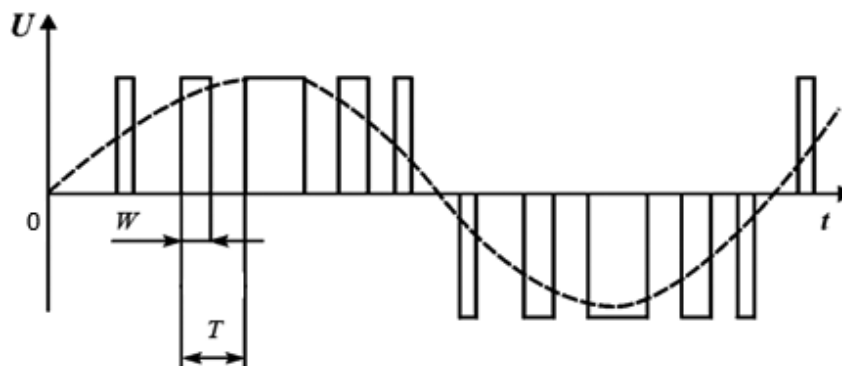


Рис. 1. Зависимость усредненного напряжения от времени

Таким образом, можно регулировать пуск и работу насоса постоянного тока с помощью изменения значения скважности.

Определение математической функции зависимости показаний датчика и формирование сигнала ШИМ. Для того чтобы система полива регулировала влажность растений в автоматическом режиме, нужно установить зависимость между снятыми с датчика данными и скважностью сформированного сигнала ШИМ. Для этого необходимо получить математическую функцию, которая будет обрабатывать данные с датчика влажности [5]. Известно, что в роли аргумента функции выступает число F_1 , содержащее разницу порогового значения

влажности $F_{\text{пор}}$ и текущего значения влажности $F_{\text{тек}}$, а результатом вычисления функции получается значение, до которого будет считать таймер микроконтроллера (МК), формирующий сигнал ШИМ.

В формировании сигнала ШИМ используется следующая формула:

$$Q = \frac{V_{ARR}}{V_{CCR}},$$

где V_{ARR} — значение лимита счета таймера; V_{CCR} — значение длительности высокого логического сигнала.

Отсюда следует, что при изменении V_{CCR} изменяется длительность импульсов сигнала, т. е. скважность. Теперь необходимо установить зависимость между значением длительности логического сигнала и разницей порогового значения влажности. Учитывая все вышесказанное, установим следующую связь:

$$V_{CCR} = V_{ARR} - F_T;$$

$$F_T = F_{\text{пор}} - F_{\text{тек}}.$$

Но этого недостаточно, поскольку в этой связи не учитывают коэффициент поправки K , чтобы не превысить максимальное значение лимита таймера МК. Коэффициент поправки связан с размахом включения насоса F_p — калибруемое максимальное число диапазона значений, чтобы скважность сигнала ШИМ изменялась с необходимой плавностью в зависимости от текущей влажности. Это необходимо для того, чтобы с увеличением влажности почвы насос качал все меньше и меньше воды и не перелил воды больше нормы. Таким образом,

$$K = \frac{V_{ARR}}{F_p};$$

$$V_{CCR} = V_{ARR} - F_T K.$$

После того как зависимость установлена, можно задать функцию с учетом значения F_p , а также, если разница значений влажности F_T превышает F_p , значение V_{CCR} должно быть равно нулю, что соответствует работе насоса на полной мощности, а если разница меньше нуля, то значение V_{CCR} должно быть максимально, что соответствует выключенному состоянию насоса. Итоговая функция имеет вид

$$\varphi(x) = \begin{cases} 0 < x < F_p, & V_{ARR} - x \frac{V_{ARR}}{F_p}, \\ x < 0, & V_{ARR}, \\ x > F_p, & 0. \end{cases} \quad (1)$$

Таким образом, постоянно выполняется соблюдение поставленных условий работы системы полива. График функции (1) показан на рис. 2.

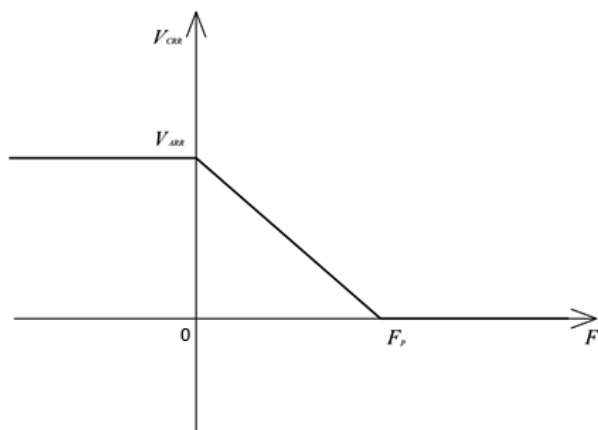


Рис. 2. Зависимость усредненного напряжения от времени

С учетом сказанного выше можно получить формулу скважности при различных значениях влажности:

$$Q = \frac{\varphi(F_T)}{V_{CCR}}. \quad (2)$$

Данная формула необходима для дальнейшего исследования и разработки системы полива.

Исследование метода регулирования потока жидкости. Для того чтобы определить какую скважность сигнала ШИМ, нужно задать для регулирования потока жидкости, необходимо исследовать течение жидкости в сечении трубы.

Жидкость, как и любое другое тело, совершает работу при перемещении, т. е. выделяет и поглощает энергию. Но, согласно закону сохранения энергии, энергия не теряется, а превращается из одного вида в другой, поэтому рассмотрим, какую работу совершает жидкость:

E_p — работа давления жидкости, выражается в том, что жидкость сзади давит на жидкость спереди;

E_h — работа по перемещению жидкости на высоту;

E_v — работ по приданию скорости жидкости.

Отметим, что энергия затрачивается также на трение, но в данном случае оно не учитывается, поскольку трение в жидкостных трубках полива будет минимально благодаря их материалу и малой длине труб. Согласно закону сохранения энергии,

$$E_3 + E_h + E_v = \text{const.}$$

Определим каждую работу.

Работа, создающая давление:

$$E_p = pS\Delta L = pV,$$

где p — давление; V — объем; S — сечение трубы, в котором протекает жидкость.

Работа по перемещению жидкости:

$$E_h = mgh = V\rho gh,$$

где h — изменение потенциальной энергии.

Работа по приданию скорости жидкости, т. е. кинетическая энергия:

$$E_v = \frac{mv^2}{2} = V\rho \frac{v^2}{2},$$

где v — скорость жидкости.

В итоге получим формулу сохранения энергии жидкости:

$$pV + V\rho gh + V\rho \frac{v^2}{2} = \text{const.}$$

Разделим уравнение на V . Получим:

$$p + \rho gh + \rho \frac{v^2}{2} = \text{const.}$$

Это выражение называют формулой Бернулли.

Теперь необходимо преобразовать эту формулу к формуле струи жидкости, разделив все члены уравнения на произведение ρg :

$$h + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} = \text{const.} \quad (3)$$

где h — геометрический напор; $p/\rho g$ — пьезометрический напор; $v^2/2g$ — скоростной напор.

Сумму всех напоров называют полным напором, но в данном случае мы рассматриваем пьезометрический напор, благодаря которому будет создано давление на распылителе системы полива. Из формулы (3) следует вывод, что необходимо контролировать скорость потока жидкости для регулирования пьезометрического напора, создаваемого на распылителях. При этом нужно учитывать геометрический напор, т. е. высоту, на которую требуется поднимать жидкость в трубках.

Ранее была получена математическая функция (2), которая позволяет обрабатывать разницу значений порогового и текущего влажности и вычислить параметр микроконтроллера для формирования сигнала ШИМ [6]. Также получе-

на формула скважности ШИМ в зависимости от влажности. Примем, что скорость потока жидкости v во время работы системы равна произведению скорости перекачки насоса v_n по паспорту и скважности Q :

$$v = Qv_n. \quad (4)$$

Подставим формулу (4) в формулу (3) и получим:

$$h + \frac{p}{\rho g} + \frac{\left(\frac{\varphi(F_T)}{V_{CCR}}\right)^2}{2g} = \text{const.}$$

Выразим давление p :

$$p = \left(\text{const} - \frac{\left(\frac{\varphi(F_T)}{V_{CCR}}\right)^2}{2g} - h \right) \rho g.$$

Таким образом, можно проанализировать, с какими параметрами следует формировать сигнал ШИМ, чтобы создавать необходимое давление для распыления жидкости, в том числе и для нескольких распылителей.

Заключение. В статье исследован процесс поддержки влажности растения. Рассмотрена работа насоса постоянного тока и выбран метод управления им. Получена математическая функция, которая устанавливает зависимость влажности почвы и параметров формирования сигнала ШИМ. В конце статьи исследовано поведение жидкости в сечении, а также выведены формулы, позволяющие связать параметры формирования сигнала ШИМ и давления, которое жидкость оказывает на распылители системы полива.

Таким образом, проведя расчеты, можно обеспечить стабильную и устойчивую работу системы полива при различных условиях. Данные исследования послужат для дальнейшей разработки и развития системы полива.

Литература

- [1] Вольдек А.И., Попов В.В. Электрические машины. Машины переменного тока. СПб., Питер, 2007.
- [2] Левкин Д. Электродвигатели. *engineering-solutions.ru: веб-сайт*. URL: <https://engineering-solutions.ru/motorcontrol/motor/> (дата обращения: 14.08.2019).
- [3] Леонидов В.В., Гуляев И.Б., Колчин Г.С. Модель системы цифрового автоматического регулирования усиления импульсных усилителей мощности на биполярных транзисторах для передающих модулей радиолокационных систем. *Радиотехника и электроника*, 2018, т. 63, № 7, с. 758–762.
- [4] Бобков П. Регулятор скорости двигателя постоянного тока. *chipenable.ru: веб-сайт*. URL: <http://chipenable.ru/index.php/how-connection/155-pwm-regulator-dc-dvigatelya.html> (дата обращения: 14.08.2019).

- [5] Аминев Д.А., Захаров Е.Р., Семенякина В.О. и др. Телеметрия основных гидротермических параметров осушительно-оросительных систем. *Технологии инженерных и информационных систем*, 2019, № 2, с. 52–60.
- [6] Леонов В.С., Шпиев В.А. Управление электродвигателем с помощью микроконтроллера STM32F4. *Технологии инженерных и информационных систем*, 2018, № 4, с. 2–7.

Олисевиц Евгений Александрович — студент кафедры «Конструирование и технология электронной аппаратуры», МГТУ им Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Фадеев Максим Александрович — студент кафедры «Конструирование и технология электронной аппаратуры», МГТУ им Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Цивинская Татьяна Анатольевна, учебный мастер кафедры «Конструирование и технология электронной аппаратуры», МГТУ им Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Олисевиц Е.А., Фадеев М.А. Исследование функции-регулятора насоса гидропонных систем для обеспечения необходимого давления. *Политехнический молодежный журнал*, 2019, № 12(41). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2019-12-562>

RESEARCH OF THE REGULATOR FUNCTION OF HYDROPONIC SYSTEM PUMP TO ENSURE THE NECESSARY PRESSURE

E.A. Olisevich

jenia1702@gmail.com

SPIN-code: 2369-3990

M.A. Fadeev

mr.fadeev.max@yandex.ru

SPIN-code: 8084-6191

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The basic processes are investigated occurring when spraying a fluid in a hydroponic system and necessary to identify the mathematical dependence, which makes possible to adjust the electrical parameters of the system. The implementation of pulse-width modulation is considered using the periphery of the microcontroller to control the operation of the DC pump when controlling the flow of the pumped liquid. Approximate formulas and graphic images of the dependences of electrical parameters for creating a software shell for regulating the pressure of hydroponic systems are given. By studying the behavior of the liquid in the cross section of the tubes, a regulator function is obtained that establishes the relationship between the digital signal of the humidity sensor and the liquid pressure in the cross section created by the DC pump.

Keywords

Hydroponic system, regulator function, mathematical dependence, fluid in cross section, direct current pump, soil moisture sensor, pulse width modulation, microcontroller, hydroponics

Received 29.10.2019

© Bauman Moscow State Technical University, 2019

References

- [1] Vol'dek A.I., Popov V.V. Elektricheskie mashiny. Mashiny peremennogo toka [Electric machines. AC machines]. Sankt-Petersburg, Piter Publ., 2007 (in Russ.).
- [2] Levkin D. Elektrodvigateli [Electrical engines]. *engineering-solutions.ru: website* (in Russ.). URL: <https://engineering-solutions.ru/motorcontrol/motor/> (accessed: 14.08.2019).
- [3] Leonidov V.V., Gulyaev I.B., Kolchin G.S. Model of the digital automatic gain control system of pulse-power amplifiers with bipolar transistors for transmitter modules of radar systems. *Radiotekhnika i elektronika*, 2018, vol. 63, no. 7, pp. 758–762 (in Russ.). (Eng. version: *J. Commun. Technol. Electron.*, 2018, vol. 63, no. 7, pp. 835–839. DOI: 10.1134/S1064226918070100 URL: <https://link.springer.com/article/10.1134%2FS1064226918070100>)
- [4] Bobkov P. Regulyator skorosti dvigatelya postoyannogo toka [Rate controller of DC engine]. *chipenable.ru: website* (in Russ.). URL: <http://chipenable.ru/index.php/how-connection/155-pwm-regulator-dc-dvigatelya.html> (accessed: 14.08.2019).
- [5] Aminev D.A., Zakharov E.R., Semenyakina V.O., et al. Telemetry of the main hydrothermal parameters of drainage and irrigation systems. *Tekhnologii inzhenernykh i infor-*

matsionnykh system [Technologies of Engineering and Information Systems], 2019, no. 2, pp. 52–60 (in Russ.).

- [6] Leonov V.S., Shpiev V.A. Motor control using STM32F4 microcontroller. *Tekhnologii inzhenernykh i informatsionnykh system* [Technologies of Engineering and Information Systems], 2018, no. 4, pp. 2–7 (in Russ.).

Olisevich E.A. — Student, Department of Electronic Equipment Design and Technology, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Fadeev M.A. — Student, Department of Electronic Equipment Design and Technology, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — Tsivinskaya T.A., Assistant, Department of Electronic Equipment Design and Technology, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Please cite this article in English as:

Olisevich E.A., Fadeev M.A. Research of the regulator function of hydroponic system pump to ensure the necessary pressure . *Politekhnichestkiy molodezhnyy zhurnal* [Politechnical student journal], 2019, no. 12(41). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2019-12-562.html> (in Russ.).