

## СИСТЕМА СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ИГОЛЬЧАТОГО НАГРЕВАТЕЛЯ С ПИТАНИЕМ ОТ ИМПУЛЬСНОГО ИСТОЧНИКА ТОКА

*Г.М. Шевченко, студент 4-го курса, gleb95@inbox.ru;  
Научный руководитель Д.О. Пахмурин, доцент каф. ПрЭ, к.т.н  
г. Томск, ТУСУР, pdo@ie.tusur.ru*

Одним из вариантов лечения раковых опухолей является локальная гипертермия. Медицинская гипертермия – это вид термотерапии, основанный на контролируемом, временном повышении температуры тела, отдельного органа или части органа, пораженного патологическим процессом, свыше 39°C до 44-45°C.

На данный момент в комплексе локальной гипертермии "Феникс-2" используется питание системы стабилизации температуры от импульсного источника напряжения (ИИН). Главным недостатком питания системы от ИИН является низкий диапазон сопротивлений нагревательного элемента и частотная нестабильность. Для устранения данной проблемы был разработан импульсный источник тока (ИИТ). Кроме того, питание системы током является более предпочтительным и эффективным с точки зрения подавления нелинейности, чем питание напряжением. На рисунке 1 представлена предлагаемая структурная схема системы регулирования температуры игольчатого нагревателя от источника тока.

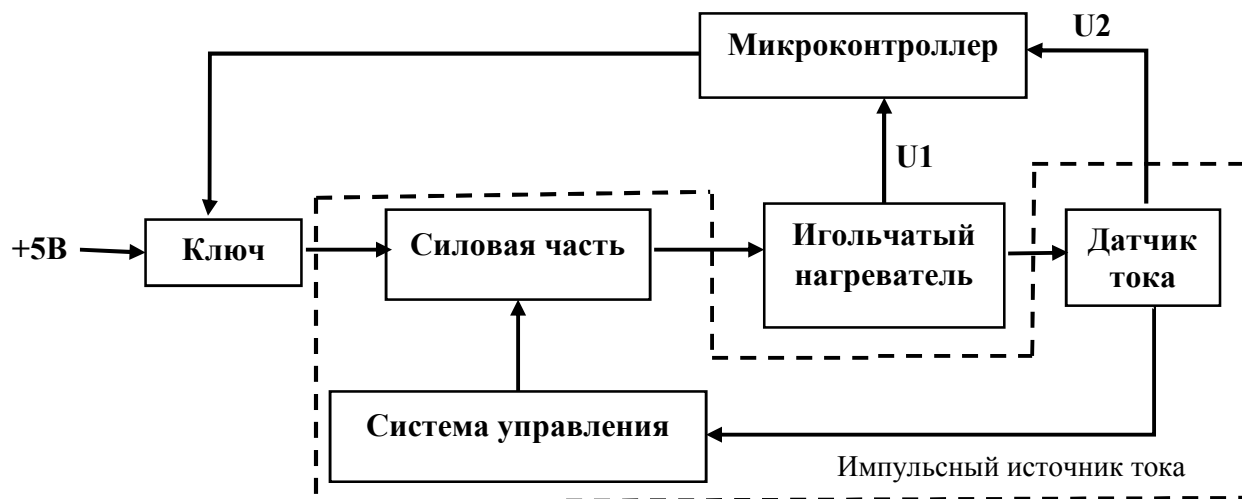


Рисунок 1 - Структурная схема системы регулирования температуры игольчатого нагревателя от источника тока.

Принцип работы заключается в следующем: импульсный источник тока, изображенный на рисунке 2, преобразует низкое входное напряжение в более высокое выходное напряжение и стабилизирует ток нагрузки с помощью системы управления. В результате происходит нагрев игольчатого нагревателя, выполненного из меди. Так как медь имеет тепловой коэффициент сопротивления, то зависимость изменения сопротивления игольчатого нагревателя от температуры определяется по закону  $R_n(T_{изм}) = R_0 * (1 + \alpha(T_0 - T_{изм}))$ . Для стабилизации температуры используется микроконтроллер, который позволяет измерять текущие значения напряжений U1 и U2. Далее идет описание более подробное конструктивное описание схемы. На рисунке 2 изображена функциональная схема импульсного источника тока.

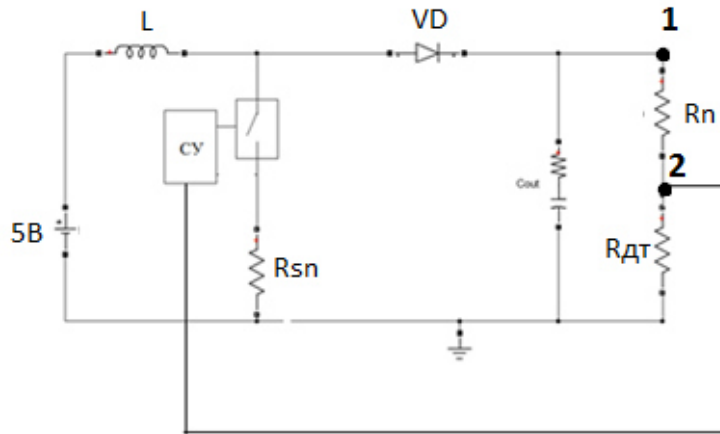


Рисунок 2 - Функциональная схема импульсного источника тока.

Система управления представлена микросхемой LM3478, которая является ШИМ контроллером. Благодаря ей происходит стабилизация тока нагрузки. Модель системы управления и силовой части в среде MATLAB, представлена на рисунке 3.

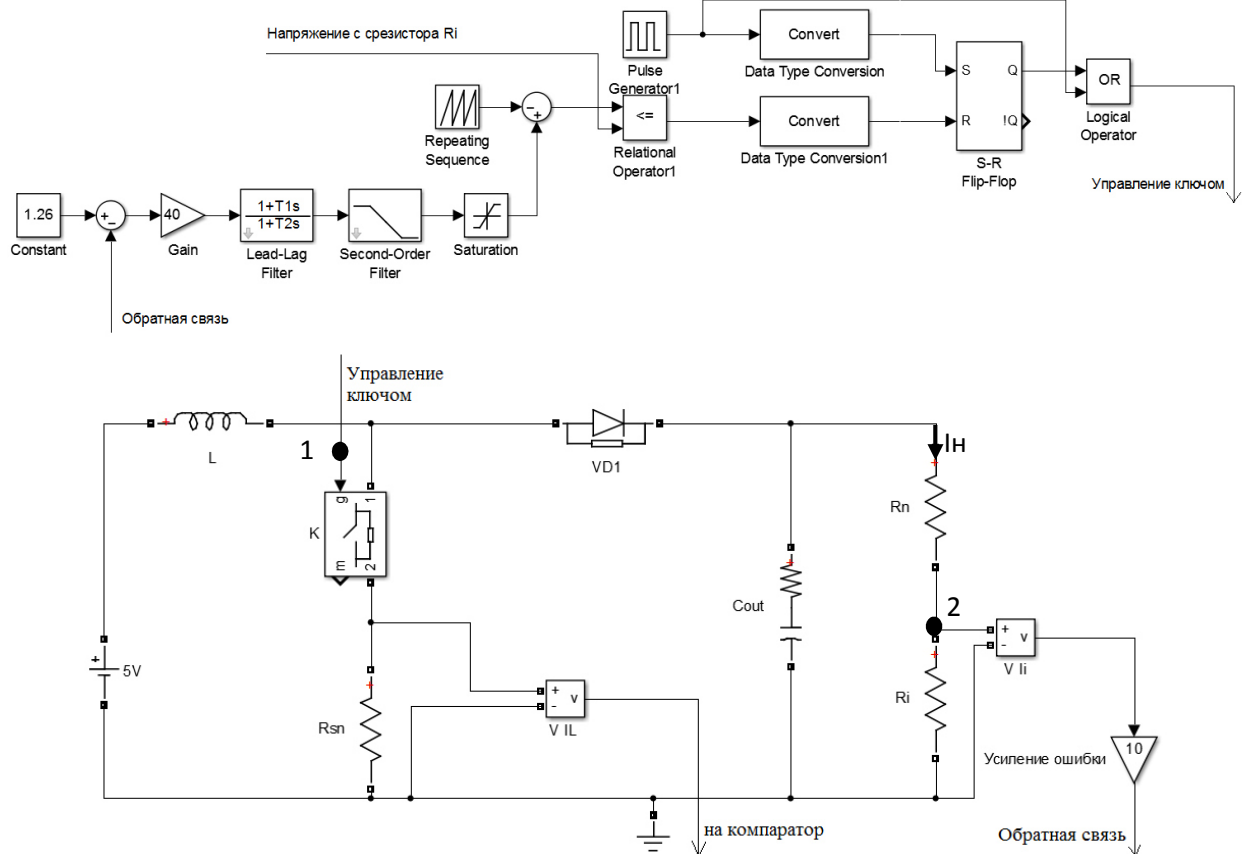


Рисунок 3 – Модель системы управления и силовой части схемы.

Из рисунка 4 видно, что отсутствуют ложные пики шума, происходит сравнение сигналов в нужном месте, в соответствии с запускающими импульсами с резистора Rsn.

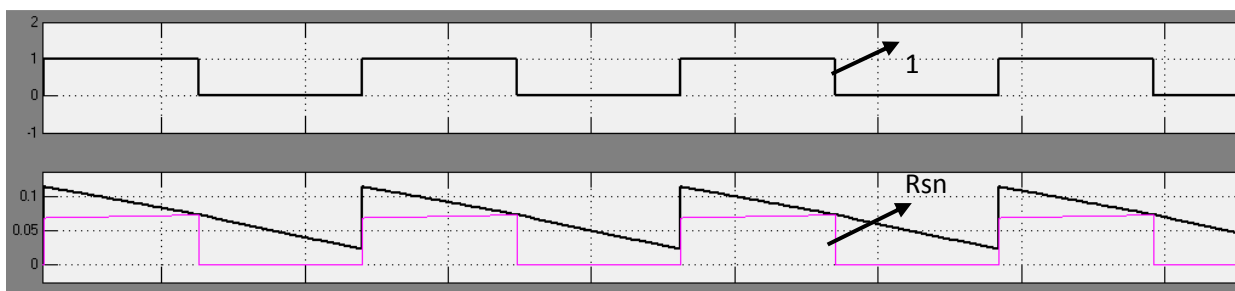


Рисунок 4 – График основных операций с ШИМ компаратора в установившемся режиме.

По техническом заданию ток нагрузки должен за стабилизироваться на значении 1,26 А, правильность построения и расчетов подтверждает рисунок 5.

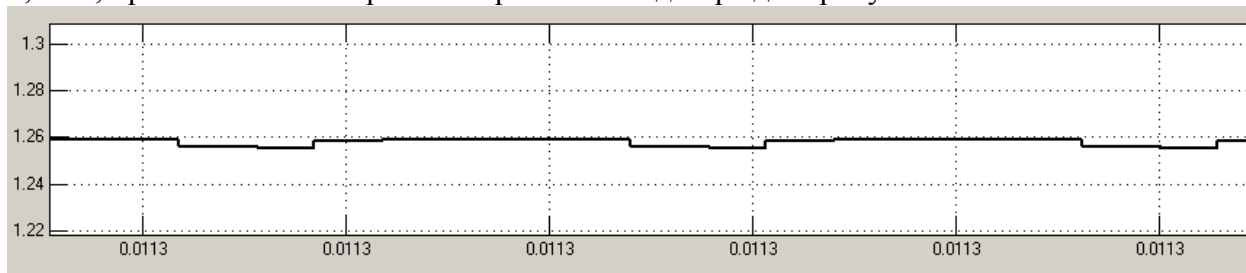


Рисунок 5 - График значения тока на выходе.

Для пояснения принципа работы системы стабилизации температуры целесообразно представить работу блока МК. В начальном состоянии ключ открыт. Затем на порты АЦП МК (STM Port B1 и Port B2) поступает действующее значение напряжения в точках 1 ( $U_1$ ) и 2 ( $U_2$ ) (см.рис.2). Следующий блок вычисляет сопротивление иглы (формула выведена из соотношения  $U_1/U_2=(R_n+R_{дт})/R_n$ ). Следом идет проверка игольчатого нагревателя на работоспособность, то есть рабочий диапазон сопротивлений по техническим условиям (ТУ) составляет от 4,9 до 5,6 Ом. Если в рабочем режиме полученное значение сопротивления не удовлетворяет заданному, то загорается красный светодиод и МК закрывает ключ, иначе следующий блок. Далее происходит стабилизация температуры путем проверки текущего значения сопротивления иглы с расчетным (при  $T = 45^{\circ}\text{C}$   $R_n = 5,475$  Ом). В результате удовлетворения или не удовлетворения условию вырабатываются импульсы с заданной частотой (400 кГц). На рисунке 6 представлена блок-схема алгоритма программы.

Расчёт системы стабилизации температуры производился на основе электротепловой аналогии. Каждая область, заключенная между изотермическими поверхностями, описывается своими тепловым сопротивлением и теплоемкостью. Для реализации на данном этапе электротепловой модели иглы нам потребуется пять RC-звеньев, соответствующих следующим изотермическим поверхностям: R1C1 – медь нагревательного элемента, R2C2 – термопаста MX-4, R3C3 – сталь (внутренняя игла), R4C4 – физиологический раствор (0,9 % раствор NaCl), R5C5 – сталь (кожух нагревателя); рисунок 7.

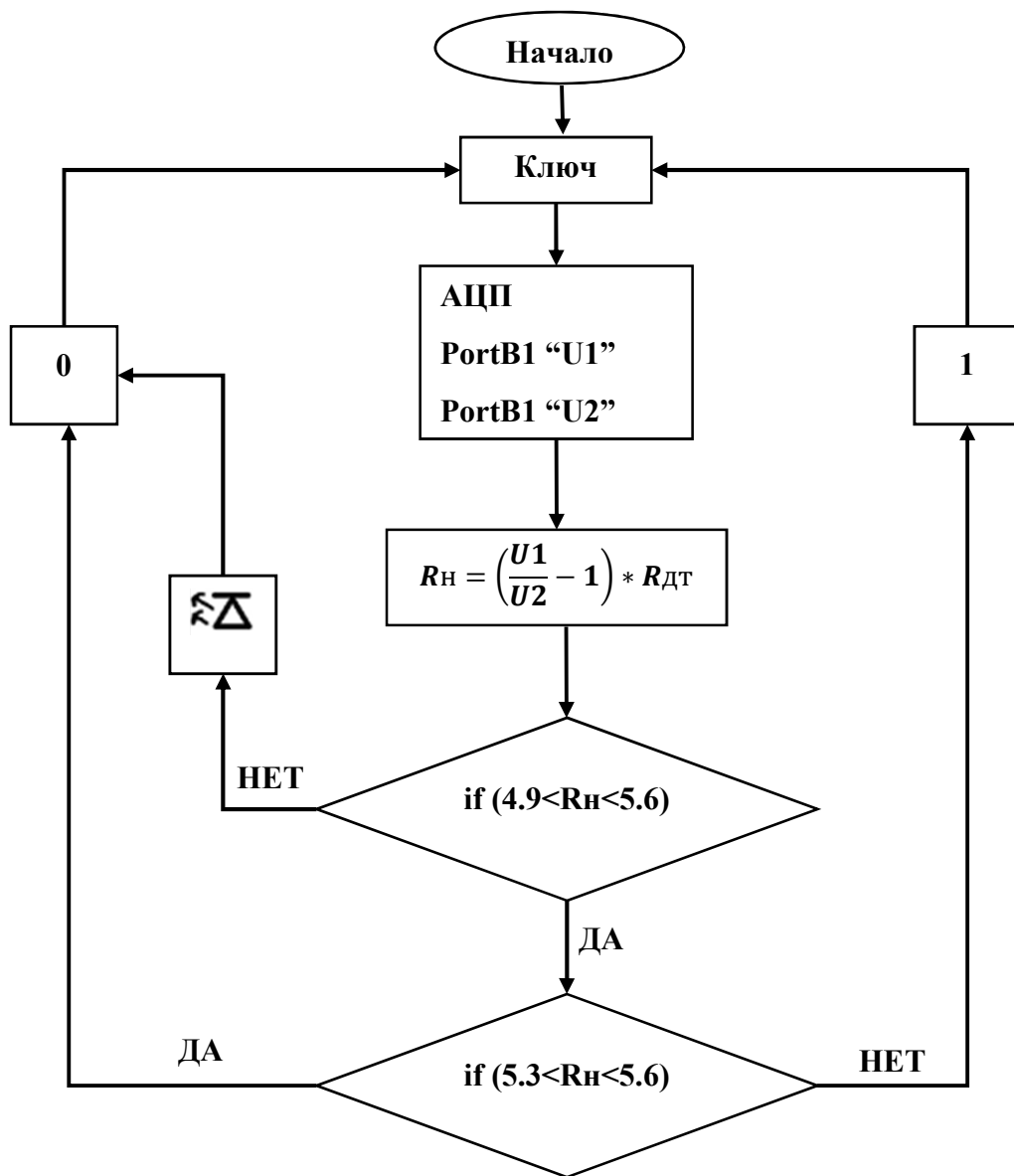


Рисунок 6 – Блок – схема программы системы стабилизации температуры игольчатого нагревателя.

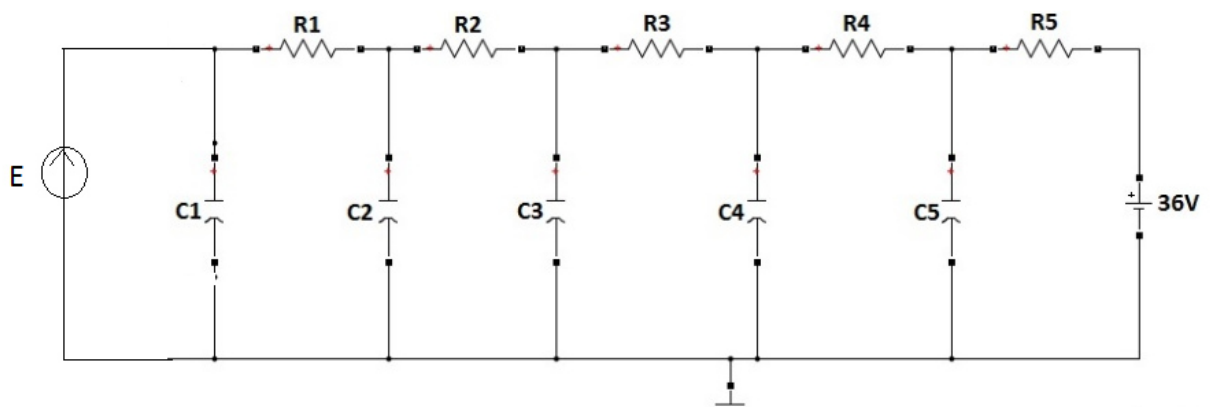


Рисунок 7 - RC-звенья.

На рисунке 8 изображена временная диаграмма зависимости напряжения от времени. По электротепловой аналогии напряжение на нагрузке (игольчатом нагревателе) соответствует температуре.

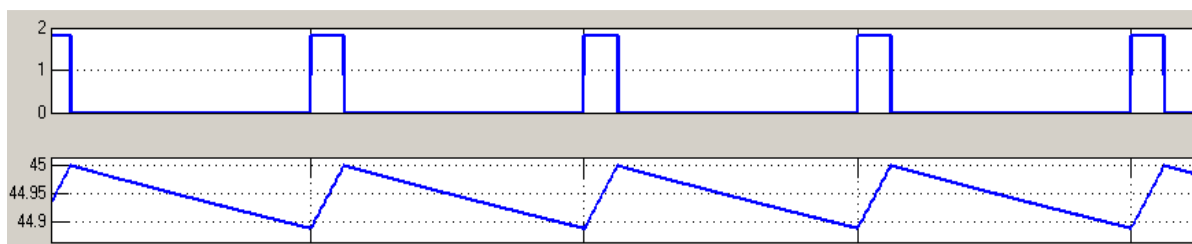


Рисунок 8 - Осциллограмма зависимости напряжения от времени звена R1C1 ИИТ в установившемся режиме.

Из полученных диаграмм следует, что построенная система стабилизации температуры справляется со своей задачей, так как температура изотермической поверхности меди растёт линейно и при достижении температуры  $44,95 \pm 0,5^\circ\text{C}$  градусов остается постоянной.

Так же немаловажным этапом является проверка системы на устойчивость. На рисунке 9 изображены частотные характеристики схемы. ЛАЧХ разомкнутой цепи представлена сплошной красной линией. По ней видно, что соблюдается неравенство  $\omega_{cp} < \omega_{\pi}$ , что означает устойчивость системы автоматического регулирования. На том же графике, синей тонкой линией, показан ЛАЧХ корректирующего звена, а пунктирной черной линией - силовой части. Так же зеленой точечной линией, изображён ЛФЧХ разомкнутой цепи. Построенные ЛАЧХ имеют наклон 20дб/дек, что подтверждает красная точечная линия, следовательно, построение ЛАЧХ верно.

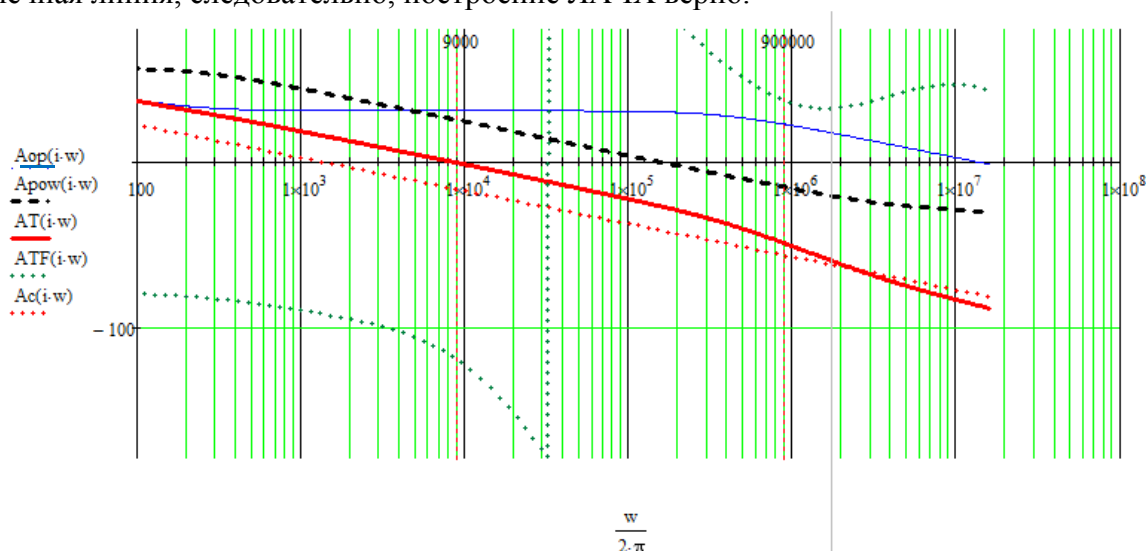


Рисунок 9 – Оценка устойчивости САУ по ЛАЧХ и ЛФЧХ

При оценке устойчивости системы автоматического управления одного факта устойчивости недостаточно. Необходимо еще оценить величину запаса устойчивости, т.е. степени удаленности системы от границы устойчивости. Запас устойчивости по фазе определяется величиной  $\Delta\phi$ , на которую должно возрасти запаздывание по фазе в системе с частотой среза  $\omega_{cp}$ , чтобы система оказалась на границе устойчивости. В данном случае запас устойчивости по фазе составляет  $\Delta\phi=62$ . Полученный запас допускает обработку без потери устойчивости изменений фазы в достаточном пределе при воздействии внешних факторов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Тугов Н.М. Полупроводниковые приборы: учеб. для вузов / Н.М. Тугов, Б.А. Глебов, Н.А. Чарыков; под ред. В. А. Лабунова. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 576 с.
2. Коновалов Б.И., Лебедев Ю.М. Теория автоматического управления: Учебное методическое пособие. — Томск: Факультет дистанционного обучения, ТУСУР, 2010. — 162 с.