

Нейросетевое управление системой жидкостного охлаждения

Л. П. Козлова

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина)
tigrenok59@mail.ru

О. А. Козлова

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича
k_olga_a@mail.ru

Аннотация. На современном этапе технические устройства становятся более сложными, и для их управления используется мощное оборудование, которое увеличивает тепловыделение. Важнейшими задачами стабильно работающей системы охлаждения являются обеспечение большого диапазона эксплуатационных условий и обеспечение надежного охлаждения. В статье рассматривается вопрос применения нейросетевого управления в таких системах.

Ключевые слова: техническое устройство, система охлаждения, нейросетевое управление

I. ВВЕДЕНИЕ

Использование систем жидкостного охлаждения для оборудования, выделяющего тепло, является актуальным. Несмотря на то, что они дороже воздушных, имеют ряд очень важных преимуществ, одним из которых является разнесение в пространстве поглощающего и рассеивающего тепла элементами, размещенными в небольших помещениях с затрудненной циркуляцией воздуха. Жидкостное охлаждение почти на порядок более интенсивно, чем воздушное, это вызвано более высокой удельной теплоемкостью жидкости. Применение жидкостного охлаждения позволяет существенно сократить габариты и вес устройств, обеспечивает меньшую шумность и за счет работы при более низких температурах увеличивает срок службы технических устройств.

Основной задачей системы охлаждения является обеспечение оптимального теплового режима работы оборудования. Она должна быть автоматизированной, работающей в большинстве режимах без участия человека. Рассмотрим двухконтурную систему охлаждения с принудительной циркуляцией. Первый внутренний контур заполнен дистиллированной водой, а второй является внешним контуром, использующий техническую воду, и включает в себя систему охлаждения первого контура.

На рис. 1 изображена функциональная схема вентильно-индукторного электропривода, где В – выпрямитель; И – инвертор; СУ – система управления; ВИМ – вентильно-индукторная машина; ДПР – датчик положения ротора.

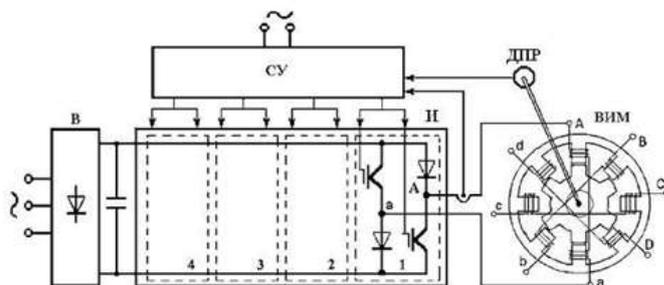


Рис. 1. Функциональная схема вентильно-индукторного электропривода

Конструктивно преобразователь частоты состоит из шкафов вертикального исполнения, в которых размещаются: выпрямитель, инвертор, тормозные резисторы, микропроцессорная система управления преобразователем частоты и система защиты (автоматические выключатели). Подвод и отвод электрических кабелей и охлаждающей жидкости системы охлаждения осуществляется снизу.

Первый контур включает в себя насос, обеспечивающий циркуляцию дистиллята по замкнутому циклу. Второй контур предназначен для охлаждения дистиллята технической водой и включает в себя насосную установку [1].

К системе охлаждения предъявляются следующие требования:

- перегрев полупроводниковых элементов преобразователя частоты, установленных на охладителе, при номинальном расходе охлаждающей воды и номинальной мощности преобразователя должен составлять не более 90 °С;
- давление воды в системе не должно превышать 0.2 МПа;
- расход воды, не более 15 м³/час;
- температура воды на входе в радиаторы, не менее 30 °С и не более 37 °С.

II. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Для расчета системы охлаждения необходимо рассчитать суммарную мощность элементов управления.

Статическая мощность потерь в диоде P_{VDd} определяется выражением:

$$P_{VDd} = U_{TV} I_{FA} + r_m k_F^2 I_{FA}^2,$$

где U_{TV} – пороговое напряжение, I_{FA} – среднее значение тока, протекающего через диод, r_m – дифференциальное сопротивление диода, k_F – коэффициент формы тока.

Динамические потери в диодах P_{VDW} определяются выражением:

$$P_{VDW} = Q_{rr} U_r f_r,$$

где Q_{rr} – заряд обратного восстановления, мкКл, U_r – обратное напряжение на диодах при восстановлении, В; f_r – частота коммутации, Гц.

Суммарные потери мощности в диоде составят:

$$P_{VD} = P_{VDd} + P_{VDW}.$$

Мощности потерь в автономном инверторе складываются из потерь мощности в IGBT-модулях и резисторах демпфирующих цепей.

В свою очередь потери мощности в IGBT-модулях складываются из потерь мощности в транзисторах и диодах. Потери мощности в транзисторах и диодах подразделяются на статические и динамические (коммутационные).

Статические потери в транзисторах P_{ss} определяются выражением:

$$P_{ss} = \frac{1}{T} \int_0^T U_{CE}(i) \cdot i_c(t) dt,$$

где $U_{CE}(i)$ – прямое падение напряжения на транзисторе в открытом состоянии, В; $i_c(t)$ – мгновенное значение тока в транзисторе.

Динамические потери P_{SW} определяются выражением:

$$P_{SW} = \left\{ \sum^N [E_{on}(i_c) + E_{off}(i_c)] \right\} f_s,$$

где $E_{on}(i_c)$ – энергетические потери в транзисторе при включении, $E_{off}(i_c)$ – энергетические потери при выключении, N – число коммутаций транзистора за период выходной частоты инвертора, f_s – частота тока статора электродвигателя.

Суммарные потери мощности в транзисторе P_T :

$$P_T = P_{ss} + P_{SW}.$$

Найдем потери мощности в диодах. Статические потери P_{FD} :

$$P_{FD} = \frac{1}{T} \int_0^T U_F(i) \cdot i_F(t) dt,$$

где $U_F(i)$ – падение напряжения на диодах, $i_F(t)$ – мгновенное значение тока через диод.

Динамические потери P_{FSW} :

$$P_{FSW} = \left[\sum^N E_{RR}(i) \right] f_s,$$

где $E_{RR}(i)$ – энергетические потери при восстановлении запирающей способности диода.

Суммарные потери мощности P_F в транзисторах:

$$P_F = P_{FD} + P_{FSW}$$

Поскольку транзистор и диод интегрированы в одном модуле, то общие потери мощности в IGBT-модуле P_{IGBT} определяются из выражения:

$$P_{IGBT} = P_o + P_F.$$

Мощность потерь в снабберных резисторах P_{RS} :

$$P_{RS} = C_s U_d f_k,$$

где C_s – емкость конденсатора снаббера, мкФ, f_k – частота коммутаций транзисторов инвертора, U_d – напряжение в звене постоянного тока.

Общие потери мощности в одном IGBT-модуле с учетом демпфирующих цепей P составит:

$$P = P_{IGBT} + P_{RS}.$$

На основании приведенных выше выражений выполнен расчет потерь мощности статического преобразователя, которые составили 45 кВт.

III. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В связи со сложностью процессов происходящих в рассматриваемой системе охлаждения, при разработке математической модели был введен ряд допущений:

- объект (радиатор) в системе охлаждения в математической модели заменен на инерциальное звено;
- примем максимальную температуру радиатора при не работающем насосе равной 90 °С. Максимальное значение температуры, которое может компенсировать поток дистиллята при

номинальной скорости двигателя насоса, принимается за 60 °С.

Для обеспечения требований, предъявляемых к системе охлаждения, применим нейросетевое управление с ПИД-регулятором и звеном ограничения задающего воздействия, позволяющего увеличить плавность регулирования температуры и ограничить пусковой ток на двигателе [2].

Для оптимальной настройки ПИД-регулятора с помощью нейронной сети, предварительно рассчитаем его коэффициенты. Закон управления, реализуемый ПИД-регулятором, можно записать как

$$u(t) = k_p \varepsilon(t) + k_i \int \varepsilon(t) dt + k_d \frac{\varepsilon(t)}{dt},$$

где k_p , k_i , k_d – пропорциональный, интегральный и дифференциальный коэффициенты соответственно, $\varepsilon(t)$ – ошибка управления.

На рис. 2 представлен ПИД-регулятор в виде простейшей нейронной сети, где w_{im} – весовые коэффициенты между нейронами i и m [3].

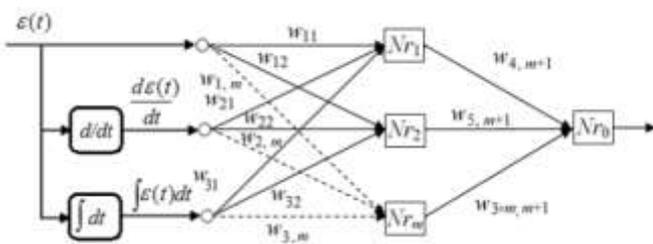


Рис. 2. ПИД-регулятор в виде нейронной сети

В результате выполненных расчетов получены следующие коэффициенты ПИД-регулятора контура температуры: $k_p = 1,5$; $k_i = 1,5$; $k_d = 0,5$.

Для расчета в системе охлаждения используется насос с параметрами, приведенными в таблице.

ТАБЛИЦА I ПАРАМЕТРЫ НАСОСА

Макс. напор, м	Макс. подача, м ³ /ч	Ном. мощность, Вт	Мощность мотора, кВт	Число полюсов
5,7	14,2	250	0,25	4

Математическая модель системы охлаждения с неросетевым управлением в MatLab представлена на рис. 3.

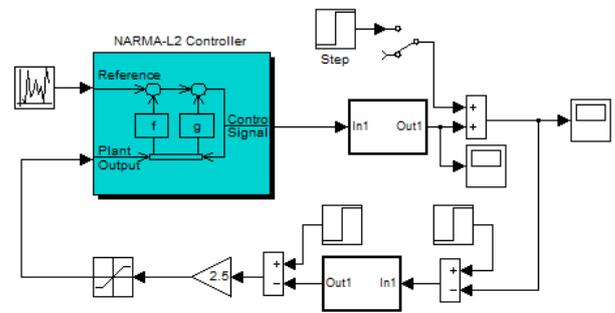


Рис. 3. Математическая модель системы охлаждения с неросетевым управлением в MatLab

Внешний контур охлаждения в MatLab представлен на рис. 4.

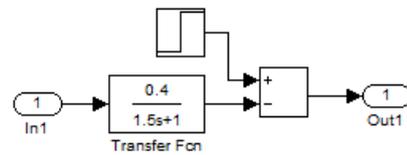


Рис. 4. Схема объекта охлаждения в MatLab

С помощью разработанной модели исследования проводились для задания разных температур:

- при температуре 40 °С без возмущающего воздействия, графики изменения температуры и скорости двигателя насоса представлены на рис. 5 и 6.

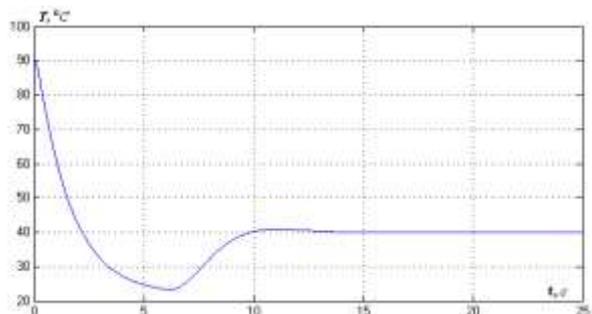


Рис. 5. График изменения температуры

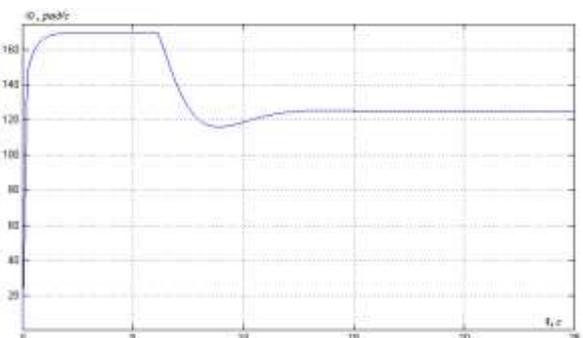


Рис. 6. График изменения скорости двигателя насоса

- при температуре 45 °С на 15 секунде работы системы охлаждения введено возмущающее воздействие, в виде повышения температуры на 10 °С (включение дополнительного оборудования), графики изменения температуры и скорости двигателя насоса представлены на рис. 7 и 8.

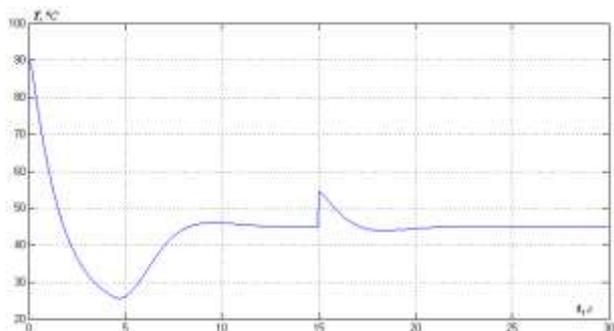


Рис. 7. График изменения температуры

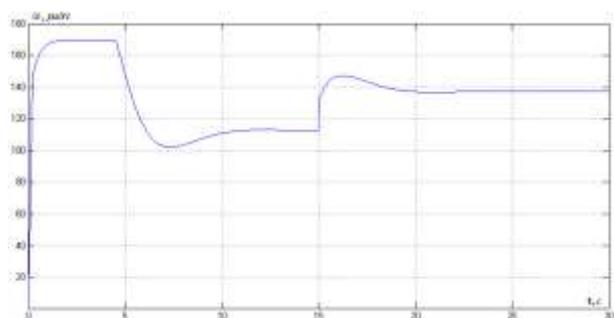


Рис. 8. График изменения скорости двигателя насоса

Из рис. 5–8 видно, что нейросетевое управление обеспечивает выполнение требований, предъявляемых к системе охлаждения.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрен вопрос управления системой охлаждения, которая имеет большое значение для обеспечения надежной и эффективной работы оборудования.

Для управления системой охлаждения используются традиционные подходы, которые не позволяют стабильно поддерживать температуру. Применение нейросетевого управления системой охлаждения эффективно обеспечивает выполнение требуемых значений температуры при появлении неопределенного возмущающего воздействия, что подтверждается полученными результатами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Kozlova L.P., Kozlova O.A. Application of Fuzzy Logic for Implementation Pumping Equipment with Account Energy Efficiency / Proceedings of 2017 20th IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2017, pp. 171-173 DOI: 10.1109/SCM.2017.7970529.
- [2] Kozlova L.P., Belov A.M., Kozlova O.A. Improving the Energy Efficiency of the Electric Drive of the Pumping Equipment / Proceedings of 2020 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus), pp.710-712 DOI: 10.1109/EIConRus49466.2020.9039408
- [3] Omondi A.R., Rajapakse J.C. FPGA implementations of neural networks. New York: Springer. 2006. 365 p.