

## ФОРМИРОВАНИЕ КВАЗИОПТИМАЛЬНОГО ЗАКОНА УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ СО СКАЛЯРНОЙ САР

Задачи повышения энергетической эффективности электроприводов путем оптимизации их режимов работы решались не одним поколением исследователей. Однако стоит заметить, что в целом проблема повышения энергетической эффективности регулируемых электроприводов еще далека от исчерпывающего решения. В современных условиях дефицита энергетических ресурсов исследования в области энергетической эффективности электроприводов приобретают особое теоретическое и практическое значение.

Ранее в [1] авторами было проведено исследование специальных законов управления  $U(f)$  электроприводом со скалярной САР для пусковых режимов. Законы управления были получены при минимизации критериев по минимуму потерь в АД и минимуму просадки напряжения питающей сети за время пуска. В [2] был сделан анализ влияния вариаций статического момента сопротивления  $M_c$  на валу двигателя и суммарного момента инерции электропривода  $J_\Sigma$  на критерии оптимизации при работе электропривода с оптимальным законом управления  $U_{opt} = U/f$ .

В работах в [1 – 2] для получения оптимальных законов поисковым алгоритмом по заданному вектору частоты питающего напряжения  $f = [f_0 \dots f_1]$  Гц осуществлялся поиск вектора  $U_y = [U_0 \dots U_1]$ , при котором критерий оптимизации имел бы минимум. При всех достоинствах, которые получаются при использовании законов управления, полученных таким образом, они имеют два недостатка:

- проблематично использовать данные законы управления на выпускаемых серийно преобразователях частоты, поскольку задание пользовательских зависимостей  $U(f)$  зачастую ограничено 3 – 5 точками, а полученные ранее законы требуют задания много больших значений частоты и напряжения;
- оптимальный закон формируется для конкретного АД и конкретных параметров нагрузки, при изменении которых или замене АД необходимо повторно проводить процедуру оптимизации.

Из анализа указанных выше недостатков были поставлены две задачи:

- сформировать оптимальные с т.з. минимума пусковых потерь в АД законы управления  $U(f)$  пригодные для применения на серийных преобразователях частоты;
- предложить процедуру формирования оптимальных законов управления  $U(f)$  не требующих применения затратных с т.з. времени и вычислительных ресурсов алгоритмов поисковой оптимизации.

При анализе вида оптимальных законов управления в скалярной САР, полученных ранее в [2], можно выделить две характерные точки, а именно,  $U_0$  – начальная вольт – добавка при  $f_0$  и  $(U_N, f_1)$  – точку выхода напряжения управления на номинальный уровень рис.1.

Для получения квазиоптимальных по потерям законов управления был проведён поиск элементов матрицы  $FU = [f_0, f_1; U_0, U_N]$ , обеспечивающих минимум критерия потерь. Результаты сравнения оптимального и квазиоптимального законов управления с традиционно применяемым законом  $U/f = const$  приведены на гистограмме рис.2. Сравнение приведено по критерию потерь:

$$\Delta W = \int_{f_0}^{f_1} \Delta P_T \quad (1)$$

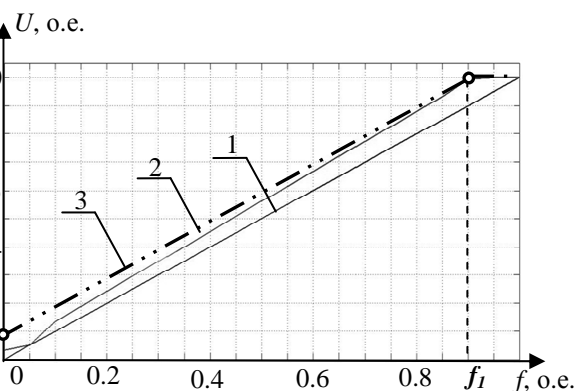


Рис.1. Формирование квазиоптимального по потерям закона управления АД

- 1- закон  $U/f = const$
- 2- закон  $U_{opt} = U/f$
- 3- закон  $U_{оптимальный} = U/f$

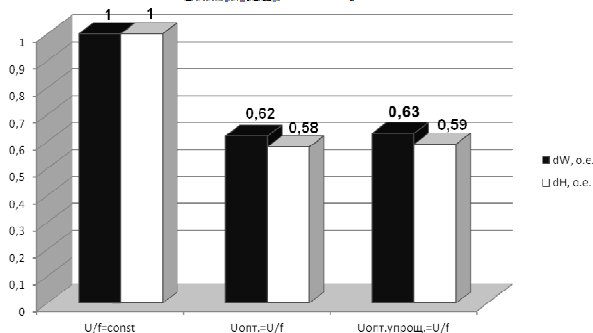


Рис.2. Законы управления АД по критериям минимума потерь ( $dW$ ) и температуры перегрева ( $dH$ ), для двигателя 4А315М12У3:  $P_n=55кВт$ ,  $U_{sn}=220В$ ,  $zр=6$ ,  $M\delta v=Mn$

где  $\Delta P_T$  - суммарные потери;

и критерию минимума температуры перегрева АД за время пуска:

$$\Delta\theta^{\circ} = \frac{\int_0^{T_{\text{п.к}}} \Delta P_{\text{эл.к}}}{C_{\text{стн}}} \quad (2)$$

где  $\Delta\theta^{\circ}$  – температура перегрева обмотки статора,  $\Delta P_{\text{эл.к}}$  – электрические потери в меди статора,  $C_{\text{стн}}$  – теплоёмкость меди статора,  $G_{\text{стн}}$  – масса меди статора,  $c = 385 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$  – удельная теплоёмкость меди.

$$\Delta P_{\text{эл.к}} = R_{\Sigma} \cdot I_{\Sigma}^2; \quad (3)$$

$$C_{\text{стн}} = G_{\text{стн}} \cdot c; \quad (4)$$

Известно, что среди составляющих потерь АД более 60% приходится на долю электрических потерь. По-

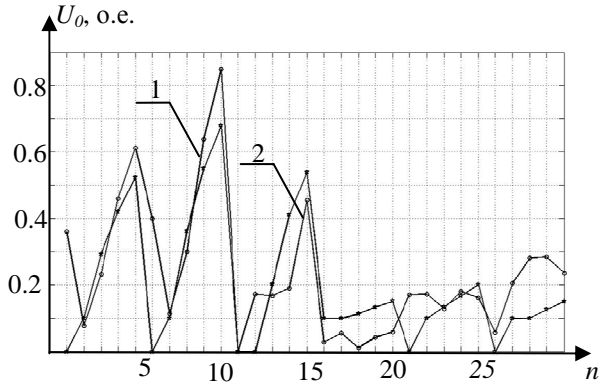


Рис.3. Результат тренировки сети по  $U_0$ .

1 – выход сети

2 – значения эталонного массива

здесь  $n$  – порядковый номер элемента в выходном массиве данных.

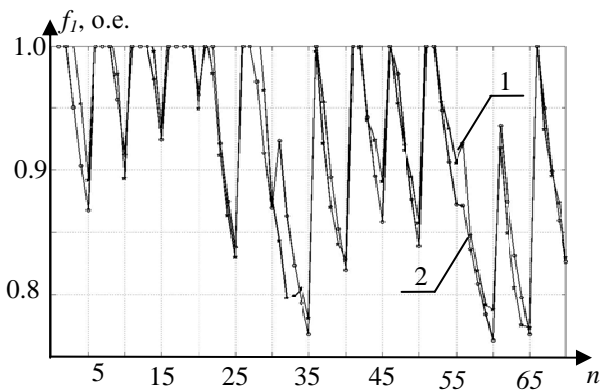


Рис.4. Результат тренировки сети по  $f_1$ .

1 – выход сети

2 – значения эталонного массива

здесь  $n$  – порядковый номер элемента в выходном массиве данных.

этому для решения второй поставленной задачи анализировались зависимости параметров АД с короткозамкнутым ротором серии 4А в функции номинальной мощности двигателя. После проведённого анализа была сформирована выборка двигателей, имеющих характерные пики в графиках параметров  $r_s(P_n)$  и  $r_r'(P_n)$ . В выборку вошли двигатели с мощностями  $P_n=1,1\text{кВт}$ ,  $P_n=4\text{кВт}$ ,  $P_n=15\text{кВт}$ ,  $P_n=55\text{кВт}$  и  $P_n=132\text{кВт}$  и числом пар полюсов от 1 до 6 (всего 22 двигателя). На этапе моделирования для каждого из двигателей был найден квазиоптимальный (упрощенный) закон управления  $U(f)$  для времени пуска в 2 с. и  $M\delta_v=[0.25\dots1.25] \text{ Мн}$ .

Задача унификации полученных законов управления была решена с применением нейронных сетей. Идея использования нейронных сетей заключается в том, чтобы по входному массиву данных, состоящему из параметров АД и величины  $M\delta_v$ , сеть формировала бы значения  $f_1$  и  $U_0$ . Для этого было создано две прямонаправленные сети. Первая сеть по входному массиву данных формировала значения  $U_0$ , вторая – значения  $f_1$ . Сети состояли из двух слоёв. Во входном слое первой сети было задействовано 20 нейронов, которые активировались логарифмическо – сигмоидальной функцией, в выходном слое – 1 нейрон с линейной функцией активацией. Входной слой второй сети содержал 15 нейронов, а выходной – 1 нейрон. Результаты тестирования обученных нейронных сетей для первой и второй сетей представлены на рис.3 и рис.4 соответственно. В тестовые массивы для  $U_0$  и  $f_1$  для каждого двигателя из тестовой выборки было записано по 5 значений  $U_0$  и  $f_1$ , соответствующие изменению нагрузки на валу АД от 0.25  $M\delta_v$  до 1.25  $M\delta_v$  (всего  $n$  – записей). При этом тестовые массивы данных, на которых проверялось качество тренировки сетей, не включали в себя данные, используемые при обучении сетей.

1. В результате синтеза получены квазиоптимальные законы управления, которые могут приме-

няться на выпускаемых серийно преобразователях частоты со скалярной САР.

2. Решена задача применения нейронных сетей для экстраполяции результатов расчетов на более широкий спектр двигателей.

3. Сложность применения нейронных сетей состоит в необходимости удачно сформировать массив входных переменных и вектор целей на этапе обучения сети. Тем не менее, полученные сети дают в целом неплохие результаты при прогнозировании значений  $U_0$  и  $f_1$  для выборки двигателей из серии 4А.

## ЛИТЕРАТУРА

- Браславский И.Я., Костылев А.В, Цибанов Д.В. Оптимизация пусковых процессов в системе «реальная сеть-ПЧ-АД» [Текст]: Электроприводы переменного тока: Труды международной четырнадцатой научно-технической конференции. Екатеринбург: ФГАОУ ВПО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н.Ельцина», 2012. с.175-178.
- Браславский И.Я., Костылев А.В, Цибанов Д.В. Исследование оптимальных пусковых процессов в системе «реальная сеть – ПЧ – АД» [Текст]: журнал «Электротехника» №9 за сентябрь 2012, с.35-40