

# СИСТЕМА ЭКСТРЕМАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ С ПИТАНИЕМ ОТ СОЛНЕЧНОГО ГЕНЕРАТОРА

Справедливый В.И.

Донецкий государственный технический университет

wadim.spravedlivij@usa.net

*It is brought up the structure of electrical drive with power supply from solar generator, where the best working performance of drive elements is defined with help of extremal control systems. The extremal control system on neural network base is presented without temperature and illumination sensor, which is used for the determination of the best working performance of solar generator and the whole electrical drive.*

## 1. Введение

В последнее время в преддверии надвигающегося энергетического кризиса все большее значение приобретает использование альтернативных источников электроэнергии, таких, например, как солнечные элементы, электрические свойства которых разительно отличаются от свойств традиционных источников электроэнергии. Управление механизмами в таких электрических системах, примером которой может являться асинхронный привод водяного насоса с питанием от солнечного генератора (рис. 1), должно учитывать нелинейность источника питания, в данном случае солнечного генератора (рис. 2), для которого характерно то, что параметры его оптимального режима работы могут изменяться. В оптимальном режиме солнечный генератор отдает в нагрузку максимум электроэнергии, т. е. работает на экстремуме, величина и положение которого зависят от факторов, на которые человек не может оказывать прямого воздействия (например погодные факторы). Для выведения солнечного генератора в оптимальный режим применяют экстремальные системы управления, одна из модификаций которых, основанная на использовании нейронных сетей, и представлена в данной статье.

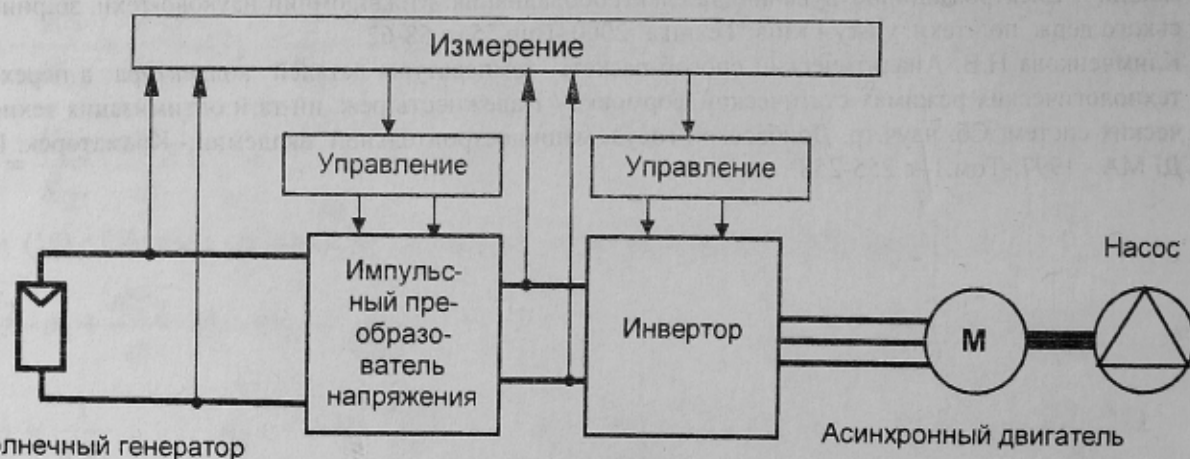
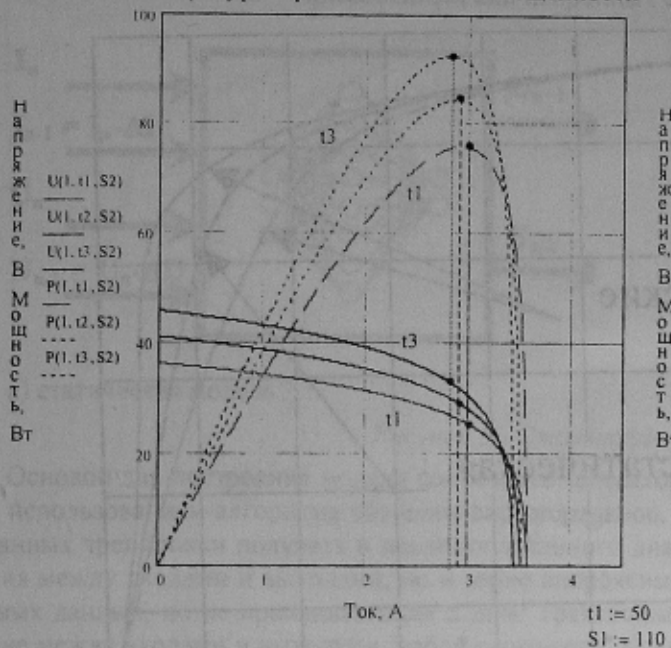


Рисунок 1 - Структура асинхронного электропривода водяного насоса с питанием от солнечного генератора

Правильно задав нагрузку солнечного генератора, можно добиться от него максимума отдаваемой мощности. Для этого нужно знать при каком токе (или напряжении) происходит максимальная отдача энергии. В классических системах регулирования производится поиск оптимального значения тока или напряжения путем принудительного изменения нагрузки с целью наблюдения за изменяющейся при этом выходной мощностью солнечного генератора. Если изменение нагрузки предпринято в правильном направлении, то наблюдается увеличение выходной мощности солнечного генератора, в противном случае предпринимается изменение нагрузки в противоположном направлении. Недостатком данного метода является наличие постоянных колебаний электроэнергии, вызванных поисковым способом работы системы управления, а также необходимость реализации производных по времени от сигналов, участвующих в работе системы управления [1], [4].

Возможность создания модели солнечного генератора на основе нейронных сетей позволяет избежать или снизить подобные колебания путем отказа от алгоритма поиска и замены его моделью солнечного генератора, которая в полной мере отображает поведение солнечного генератора при различных погодных условиях и содержит информацию о положении экстремума для всего диапазона изменения условий окружающей среды и поэтому «знает», используя только информацию, заключенную в соотношении между током и напряжением солнечного генератора, положение экстремума, которое как сигнал задания задается в систему управления и обрабатывается ею без колебаний.

Влияние температуры при постоянной освещенности



Влияние освещенности при постоянной температуре

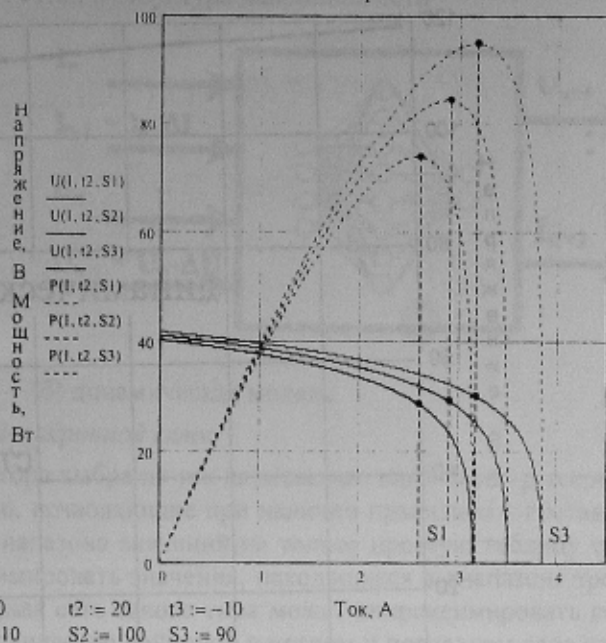


Рисунок 2 - Влияние температуры и освещенности на вольт-амперную характеристику солнечного генератора

## 2. Модель солнечного генератора

Для моделирования поведения солнечного генератора использована его динамическая модель, учитывающая не только статические, но и динамические свойства, т. е. емкостную составляющую солнечного генератора.

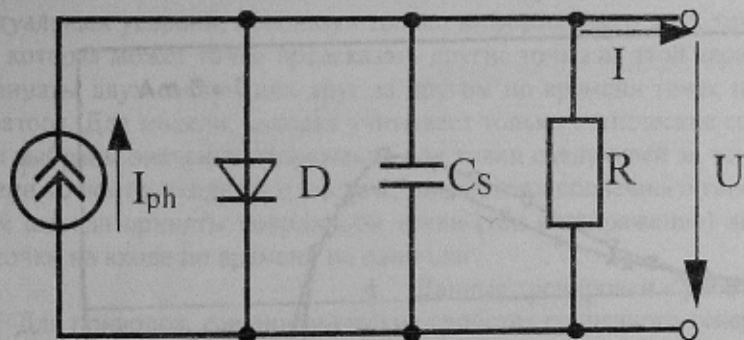


Рисунок 3 - Электрическая схема замещения солнечного генератора

При этом принято согласно [2], [5], рис. 4б, что неоднозначность характеристики солнечного генератора из-за наличия в его составе емкости или, другими словами, отличие статической характеристики солнечного генератора от его динамической характеристики начинает проявляться только начиная с определенной скорости изменения освещенности или нагрузки (рис. 4а). При медленном изменении освещенности или нагрузки динамическими свойствами солнечного генератора можно пренебречь. Влиянием изменения температуры на характеристику солнечного генератора пренебрежено для простоты изложения.

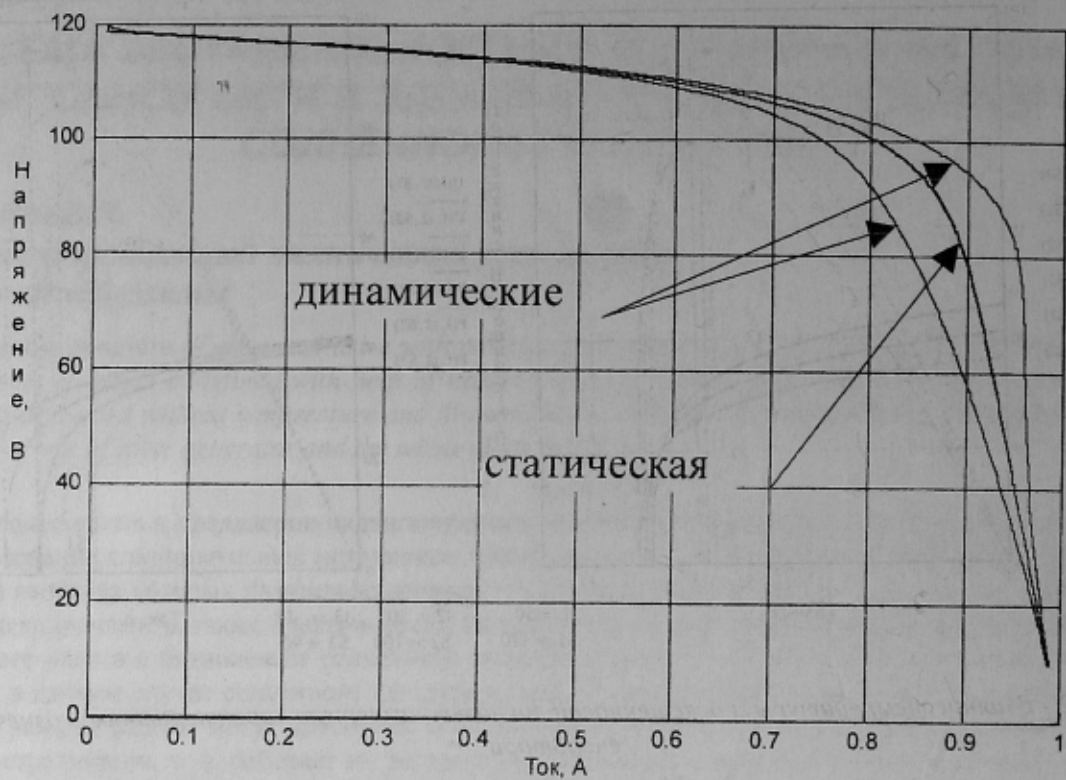


Рисунок 4а - Результаты симуляции вольт – амперной характеристики солнечного генератора

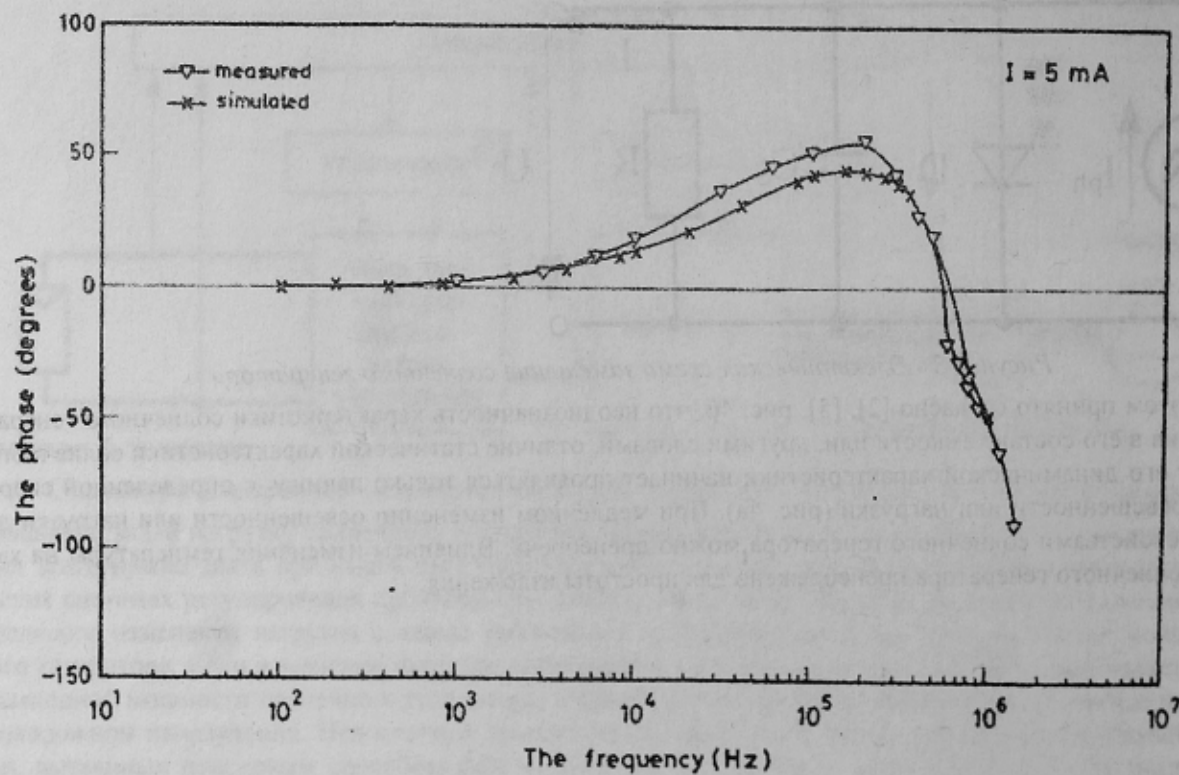


Рисунок 4б - Фазовая характеристика солнечного генератора

### 3. Примененный вид нейронных сетей и структура нейронной сети

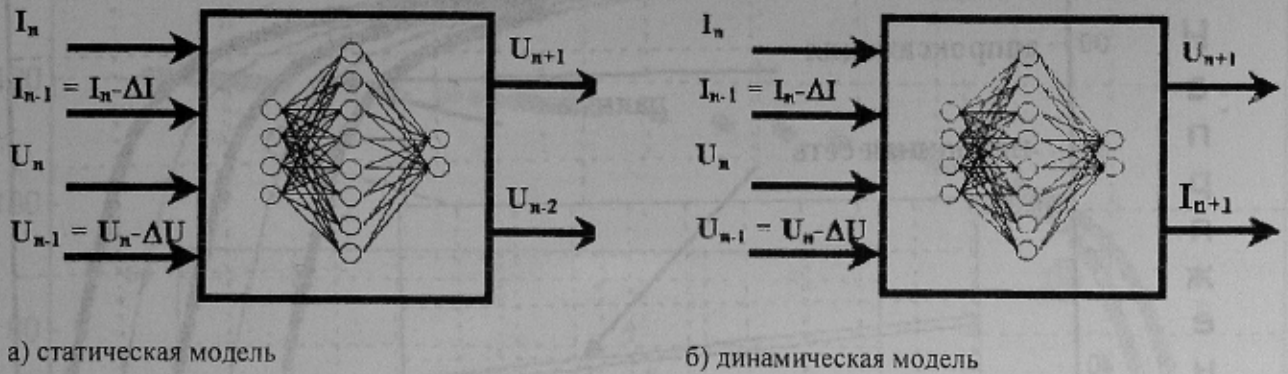


Рисунок 5 - Структура нейронной сети

Основой для построения модели солнечного генератора выбраны так называемые multi-layer-perceptrons сети с использованием алгоритма обучения backpropagation, позволяющие при наличии правильно – составленных данных тренировки получать в пределах заданного диапазона значений не только простую таблицу соответствия между входами и выходами, но и верно аппроксимировать значения, находящиеся в диапазоне тренировочных данных, но не принадлежащих к ним. Трехслойная сеть такого типа может аппроксимировать соответствие между входами и выходами любой сложности. Количество нейронов в первом и последнем слое равно количеству входов и выходов соответственно. Количество нейронов в промежуточном слое определяется методами, представленными в литературе [3].

В данном случае оказалось более целесообразным применение так называемых динамических сетей, где в качестве входов и выходов используются возможные значения из рабочей области сдвинутые друг относительно друга на равные промежутки по времени.

Исходя из предположения, что актуальную по времени вольт-амперную характеристику солнечного генератора возможно восстановить и отличить от других возможных вольт-амперных характеристик для отличных от актуальных условий, используя только информацию о двух точках на этой характеристике, при наличии модели, которая может точно предсказать другие точки на этой характеристике, в качестве входов, были выбраны координаты двух следующих друг за другом по времени точек на вольт-амперной характеристике солнечного генератора. Для модели, которая учитывает только статические свойства солнечного генератора, в качестве выходов выбраны значение напряжения для точки следующей за точками на входе и точки, которая опережает по времени точки на входе на один шаг; для модели солнечного генератора с учетом динамических свойств, в качестве выхода приняты координаты точки (ток и напряжение) на вольт-амперной характеристике, опережающей точки на входе по времени на один шаг.

#### 4. Данные тренировки и работа нейронной сети

Для приводов, где динамические свойства солнечного генератора не играют роли, принимается, что нейронная сеть и алгоритм поиска статической характеристики и экстремума на ней срабатывает, если ток в солнечном генераторе изменился более, чем на какое-то, выбранное заведомо малым, значение. В противном случае в систему управления в качестве сигнала задания поставляется предыдущее значение экстремума и управление “ждет” изменения условий.

На рис 6. проиллюстрированы данные тренировки и результат аппроксимации нейронной сети. Данные тренировки составлены для трех известных характеристик, но не на всем диапазоне вольт-амперной характеристики, а только на ее изгибе, с целью уменьшения времени тренировки, что правда не помешало нейронной сети аппроксимировать характеристики на всем диапазоне изменения тока. Точки выбраны таким образом, чтобы  $\Delta I$  (рис. 5а) было постоянным и достаточно малым, при этом  $\Delta U$  будет определено крутизной каждой характеристики в отдельности. Предполагается срабатывание нейронной сети только в том случае, если изменения тока в процессе работы будут больше или равны  $\Delta I$ .

Алгоритм поиска статической характеристики используя значения для двух точек из данных тренировки или для двух точек с  $\Delta I$ , приблизительно равным значению  $\Delta I$  из массива тренировки, может с большой точностью восстановить всю характеристику или достаточно большую ее часть. Для этого на первом шаге в нейронную сеть подставляются измеренные значения и получают значения напряжения на следующем шаге и на два шага назад, при этом значения для тока на следующем и предыдущих шагах известны и равны замеренному  $\Delta I$ . Далее на вход нейронной сети подставляются эти найденные значения для получения следующей точки и т. д. до достижения границ характеристики или на величину какого – то, заранее предопределенного интервала по току для увеличения точности, так как с каждым подставлением вновь найденных точек ошибка по напряжению на выходе нейронной сети накапливается.

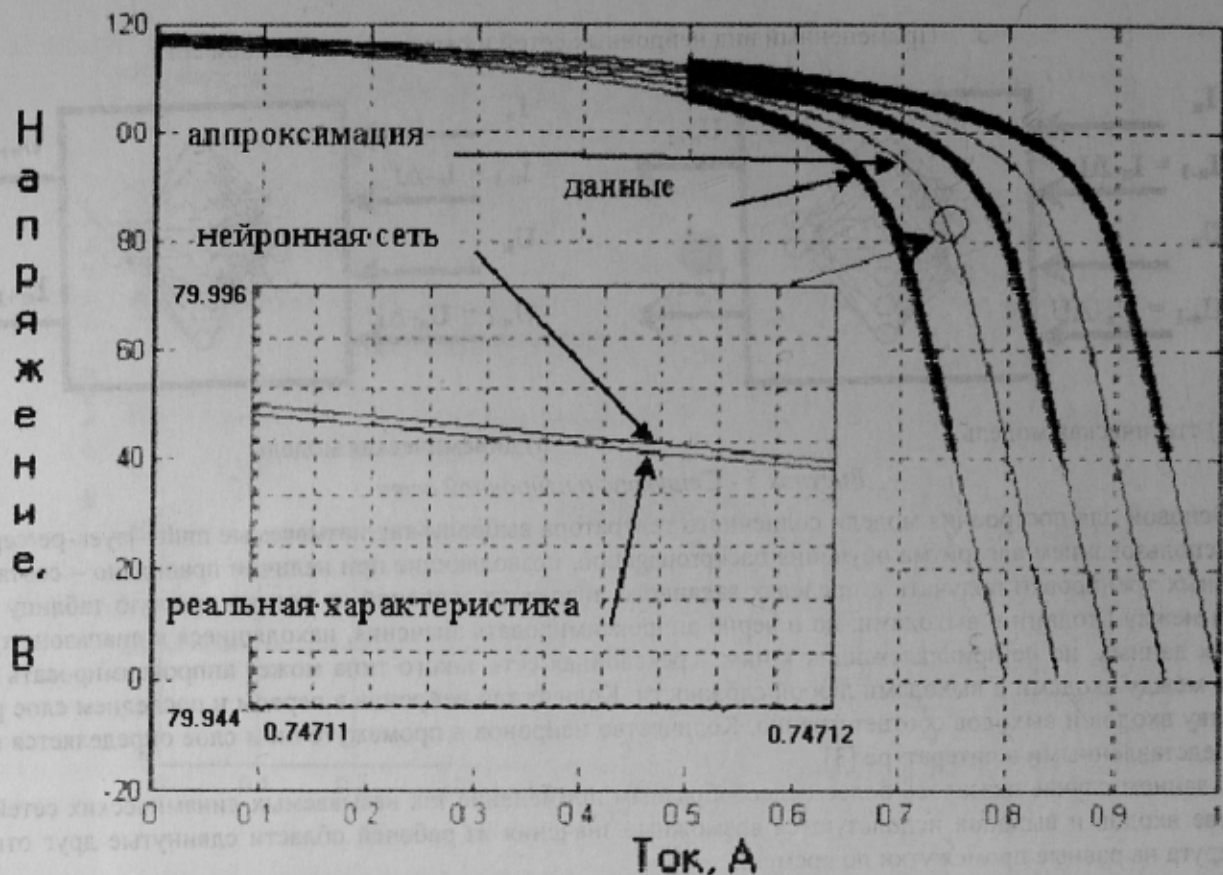


Рисунок 6 - Данные тренировки нейронной сети и аппроксимация ее промежуточных характеристик

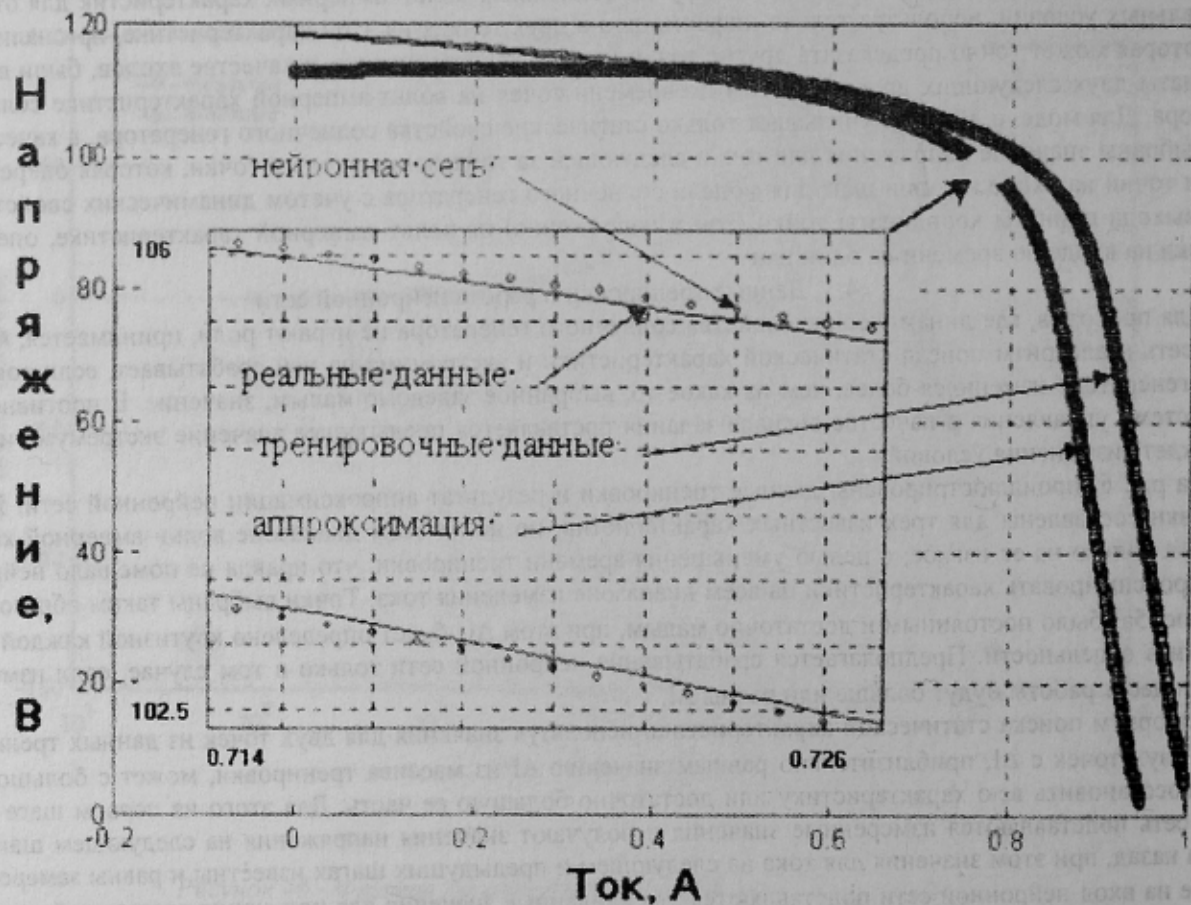


Рисунок 7 - Определение статической характеристики по двум измеренным точкам

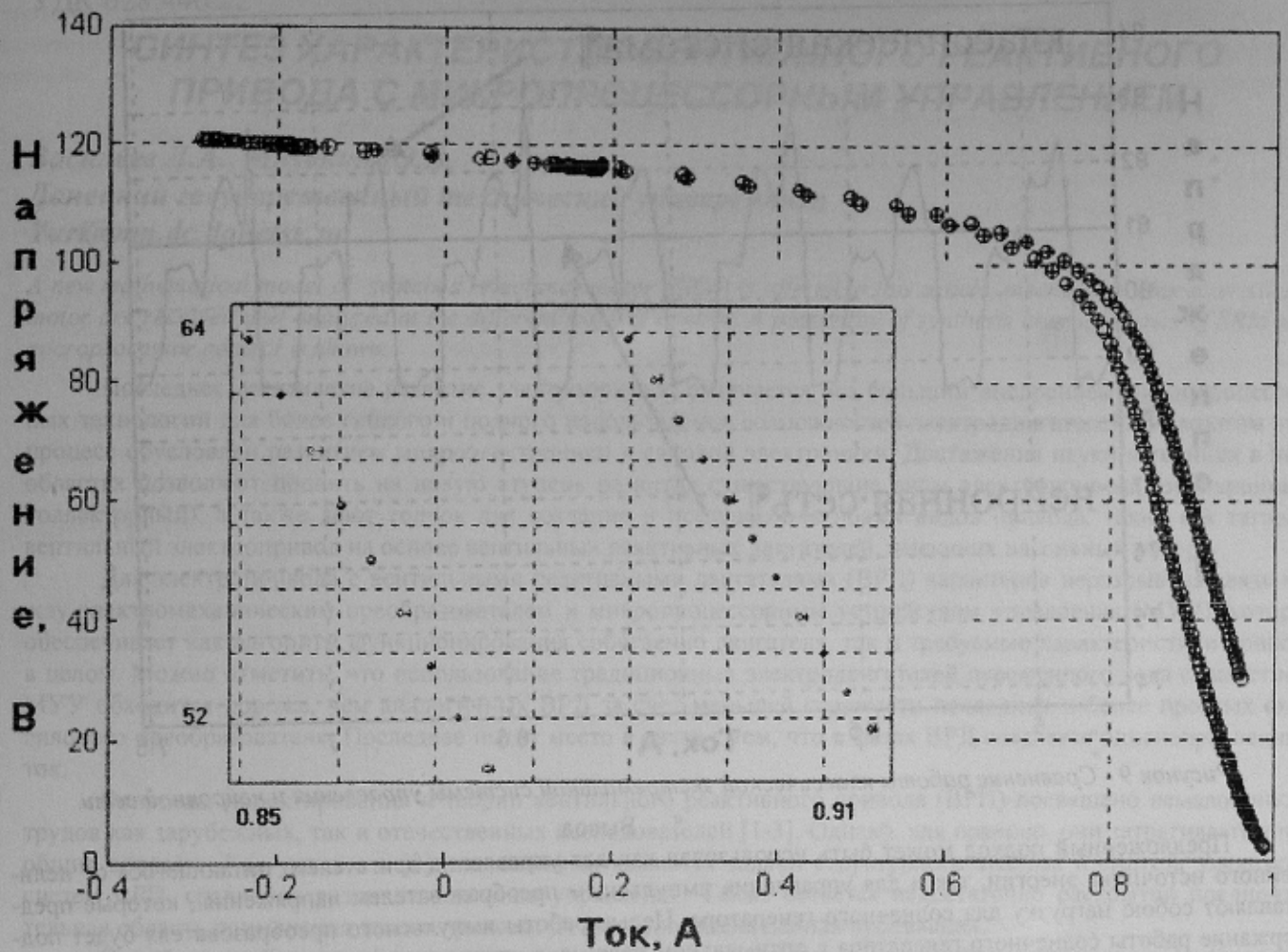


Рисунок 8 - Вольт - амперная характеристика в динамике, O - реальные точки, + - точки, получаемые в результате работы нейронной сети

В завершении для всех найденных точек ищется точка для которой произведение напряжение на ток (мощность) максимально и напряжение или ток, соответствующий этой точке, поставляется в систему управления в качестве задания.

Полученные в результате такого подхода вольтамперные характеристики представлены на рис. 7. Здесь показано, что нейронная сеть способна не только восстанавливать характеристику, использовавшуюся для создания массива тренировочных данных, но и восстанавливать вольтамперную характеристику, не использовавшуюся для создания данных тренировки.

При учете динамических свойств солнечного генератора данные тренировки должны содержать все возможные комбинации изменений освещенности солнечного генератора и изменения нагрузки для крайних значений скорости изменения этих величин. Т. е. нейронная сеть должна быть натренирована, например, на наиболее большую скорость изменения излучения, при том условии, что нагрузка не изменяется или изменяется очень медленно и т. д. Промежуточные значения для средних скоростей изменения освещенности и нагрузки нейронная сеть способна аппроксимировать. Эти данные могут быть получены в лабораторных условиях и распространены на полевые условия.

При работе в системе управления нейронная сеть будет в каждый момент времени поставлять будущее значение напряжения и тока (рис. 5б), а алгоритм нахождения максимального значения будет исходя из этого значения формировать задающее значение, выбирая из имеющихся измеренных точек и найденных нейронной сетью точку с максимальной мощностью. Нейронная сеть содержит модель солнечного генератора, а алгоритм нахождения максимального значения будет срабатывать в каждый момент времени и задавать максимальное значения из значений измеренных и аппроксимированных в будущее, что приведет к постоянному нахождению экстремума мощности со скоростью, на которую натренирована нейронная сеть.

На рис. 9 приведены результаты симуляции классического экстремального закона управления и предложенного закона управления на нейронных сетях для сходных условий в установившемся режиме. Большие колебания в системе управления с классическим экстремальным законом управления вызваны поисковым движением такого управления.

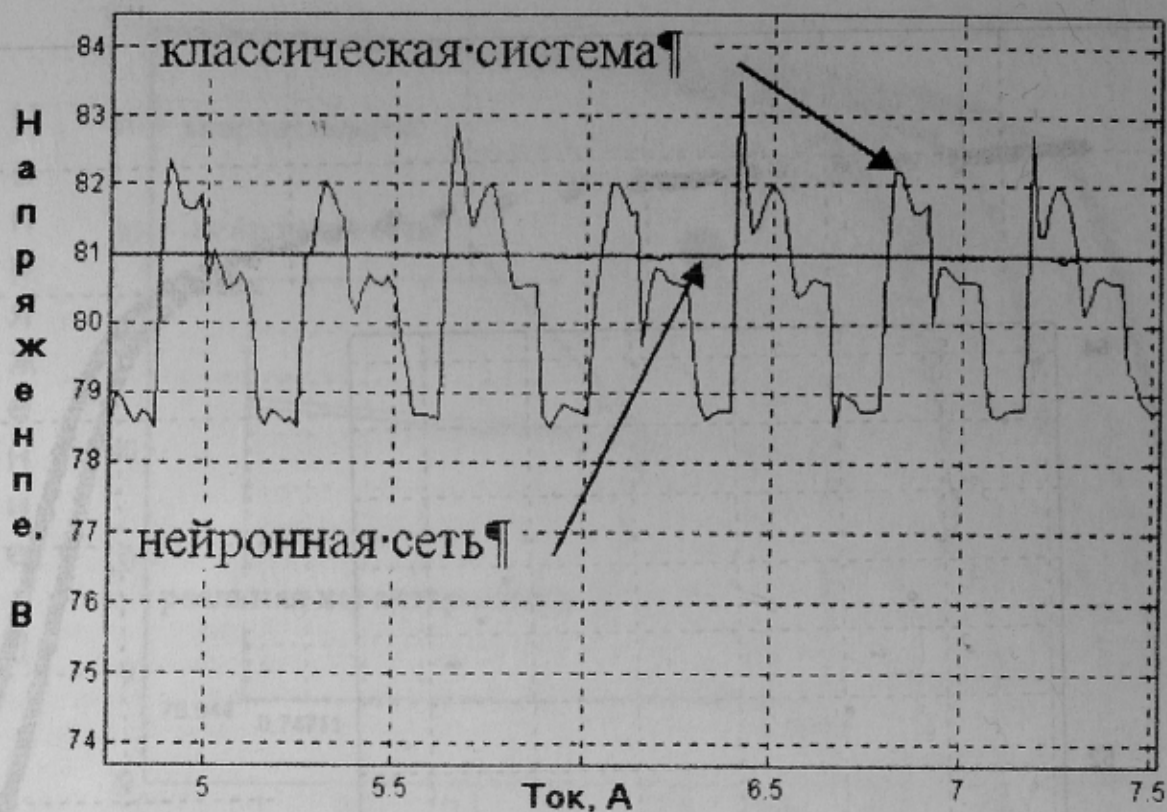


Рисунок 9 - Сравнение работы классической экстремальной системы управления и нейронной сети

#### 5. Вывод

Предложенный подход может быть использован как для управления двигателем, питающегося от нелинейного источника энергии, так и для управления импульсным преобразователем напряжения, которые представляют собою нагрузку для солнечного генератора. Целью работы импульсного преобразователя будет поддержание работы солнечного генератора в оптимальном режиме, а управления двигателем – разгона двигателя до максимально возможной скорости с учетом нагрузки на его валу.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Georg Duschl. Experimentelle und theoretische Untersuchungen an solarelektrischen Systemen mit MPP – Reglern. - Verlag Shaker, Aachen 1993.
2. Abelhaim Zekry, Abdulhameed Yousef Al- Mazroo. A distributet SPICE – Model of a Solar Cell. IEEE Transaction on Elektron devices, Vol. 43, No. 5, May, 1996, стр.691-700.
3. Rüdiger Brause. Neuronale Netze. Teubner 1995, ISBN 3-519-12247-2.
4. Справедливый В. И., Палис. Ф. Исследование системы управления частотно – управляемого асинхронного двигателя с питанием от солнечного генератора. Проблемы автоматизированного электропривода, теория и практика. Материалы конференции. Алушта, 2000, стр. 147 – 150.
5. F. Palis, R. Kurrich, G. Kuhlemann, Z. Khiat, A. Balana. System optimization of a solar energy fed induction motor drive. Congrès sur les Energies Renouvables, la Maîtrise de l’Energie et l’Environnement Biskra, du 03 au 05 Novembre 1997, Algérie.