

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОЛНОСВЯЗНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ НА ПРЕДСКАЗАНИЕ ВЫХОДНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ТОКОВ И НАПРЯЖЕНИЙ С ОБМОТКОВ ТРАНСФОРМАТОРА

Михайлович М.А.¹, Мамонова Т.Е.², Леонов С.В.³

e-mail: rapirok2008ya@gmail.com

¹ Томский политехнический университет, ИШИНЭС, группа 6ВМЗ1ПИШ

^{2,3} Томский политехнический университет, ИШИНЭС

Введение

Целью данной работы являлась оценка влияния параметров полносвязной нейронной сети, а именно выбор функции активации и количества нейронов в скрытом слое, на предсказание выходных значений токов и напряжений с обмоток силового трехобмоточного трансформатора.

Для выполнения поставленной цели были собраны данные из имитационной модели, собранной в Simulink и далее проводились серии экспериментов на созданной модели нейросети, с изменением тех самых параметров, указанные выше.

В результате экспериментов проанализирован процесс обучения нейронной сети при различных параметрах, также при помощи результатов тестирования нейронной сети сделан вывод при каких параметрах, сеть работает с наименьшим значением ошибки.

Описание алгоритма

Вначале создаются наборы данных при помощи имитационной модели в Simulink. Данные состоят из значений фазных токов и напряжений для нескольких обмоток трансформатора. Сбор данных производится для нескольких режимов трансформатора, холостого хода и короткого замыкания.

Структура нейронной сети состоит из 6 нейронов на входе нейронной сети, функция активации ReLu. Скрытый слой будет меняться динамически в зависимости от эксперимента в диапазоне от 6 до 10 нейронов, функция активации также будет изменяться для каждого из проводимого эксперимента, будем использовать сигмоиду и гиперболический тангенс. На выходе нейронной сети будет 3 нейрона, функция активации ReLu. Основной метрикой для обучения нейронной сети будет использована Mean Square Error (MSE):

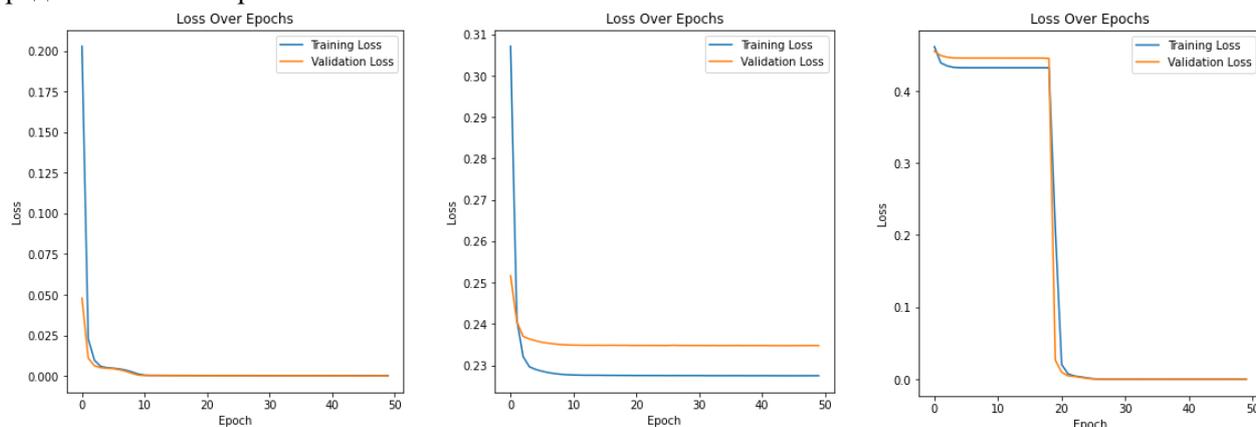
$$\sigma = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - x)^2 \quad (1)$$

где σ – среднеквадратическое отклонение, x_i – каждое наблюдаемое значение признака, x – среднее арифметическое значение, n – количество наблюдений.

Используя данную структуру нейронной сети и меняя параметры скрытого слоя под каждую итерацию, проводим серию экспериментов, в результате, которых получаем предсказание токов и напряжений для каждого режима работы трансформатора соответственно.

Результаты экспериментов

В результате серии экспериментов для опыта холостого хода получены следующие графики, представленные на рис. 1 и 2.



а) опыт с 10 нейронами в скрытом слое

б) опыт с 8 нейронами в скрытом слое

в) опыт с 6 нейронами в скрытом слое

Рис. 1. Графики обучения модели нейронной сети с функцией активации \tanh

На графике рис. 1 а) видно, что обучение нейронной сети заканчивается на 10 эпохе и далее значение ошибки обучения не меняется на своём протяжении. Кривые обучения и валидации совпадают друг с другом. Ошибка обучения составляет 0,000332. На графике рис. 1 б), обучение заканчивается на 10 эпохе, при этом присутствует расхождение между кривыми валидации и обучения. Ошибка обучения при этом существенно больше и составляет 0,227. На графике рис. 1 в), видно, что обучение нейронной сети заканчивается на 27 эпохе, кривые валидации и обучения совпадают, ошибка при этом составляет 0,000241.

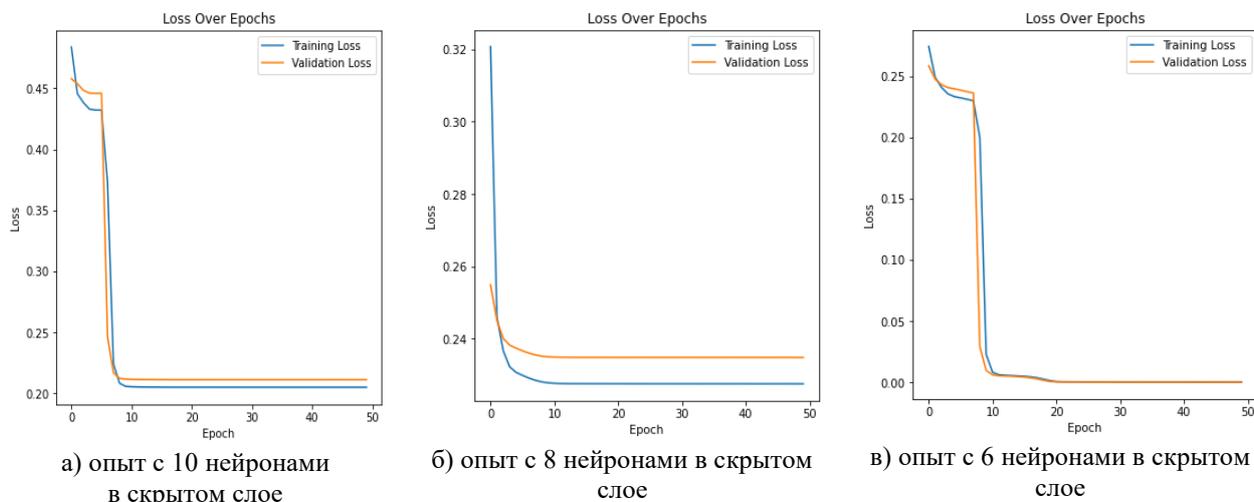


Рис. 2. Графики обучения модели нейронной сети с функцией активации sigmoid

На графике рис. 2 а) видно, что обучение нейронной сети заканчивается на 10 эпохе и далее значение ошибки обучения не меняется на своём протяжении. Кривые обучения и валидации практически совпадают друг с другом. Ошибка обучения составляет 0,22. На графике рис. 2 б), обучение заканчивается на 9 эпохе, при этом присутствует расхождение между кривыми валидации и обучения. Ошибка обучения составляет 0,2276. На графике рис. 2 в), видно, что обучение нейронной сети заканчивается на 21 эпохе, кривые валидации и обучения совпадают, ошибка при этом составляет 0,000354.

Также укажем относительные погрешности между предсказанием и эталонными значениями фазных напряжений на обмотке трансформатора в таблице 1.

Таблица 1

Результаты ошибки обучения модели нейронной сети для опыта XX

	Функция активации – tanh, 10 нейронов	Функция активации – tanh, 8 нейронов	Функция активации – tanh, 6 нейронов	Функция активации – sigmoid, 10 нейронов	Функция активации – sigmoid, 8 нейронов	Функция активации – sigmoid, 6 нейронов
Ошибка нейронной сети в процессе обучения	0,000332	0,227	0,000241	0,22	0,2276	0,000354
Погрешность для U _a _CH	0,068463	0,06629	0,064354	0,069012	0,066973	0,066244
Тест №1	0,057646	0,055078	0,053926	0,055932	0,0547	0,05326
Тест №2	0,055123	0,055057	0,053805	0,056424	0,054508	0,054259
Тест №3	0,068462	0,06629	0,064353	0,069012	0,066973	0,066244
Тест №4	0,062027	0,059783	0,058038	0,06294	0,060363	0,060058
Тест №5						
Погрешность для U _b _CH	0,06436	0,055078	0,053926	0,065821	0,283393	0,064758
	0,050387	0,283393	0,057453	0,083913	0,283393	0,056865
	0,55414	0,283393	0,053577	0,058469	0,283393	0,056697

	0,6436 0,057975	0,283392 0,283393	0,064398 0,058289	0,065821 0,058964	0,283392 0,283393	0,064758 0,058316
Погрешность для $U_{с_CH}$	0,066967 0,05945 0,056452 0,066967 0,060308	0,066921 0,08322 0,056808 0,066921 0,060595	0,06622 0,072728 0,056429 0,066219 0,060104	0,284657 0,284657 0,284657 0,284657 0,284657	0,067082 0,060758 0,056692 0,067082 0,060612	0,066588 0,051407 0,055463 0,058316 0,059675

В результате серии экспериментов для опыта короткого замыкания получены следующие графики, приведенные на рис. 3 и 4.

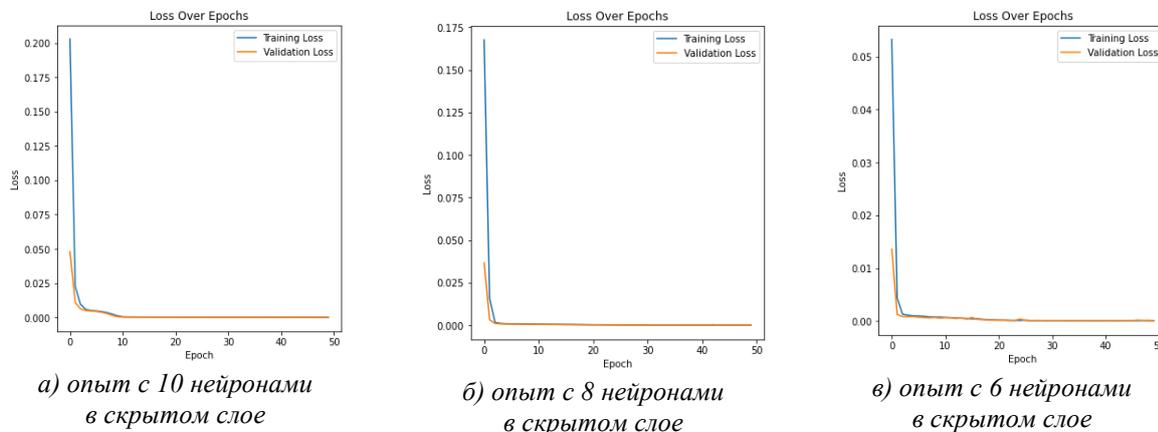


Рис. 3. Графики обучения модели нейронной сети с функцией активации \tanh

На графике рис. 3 а), обучение нейронной сети заканчивается на 13 эпохе и далее значение ошибки обучения не меняется на своём протяжении. Кривые обучения и валидации совпадают друг с другом. Ошибка обучения составляет 0,000785. На графике рис. 3 б), обучение заканчивается на 20 эпохе, при этом кривые валидации и обучения совпадают. Ошибка обучения составляет 0,0003841. На графике рис. 3 в), видно, обучение нейронной сети заканчивается на 29 эпохе, кривые валидации и обучения совпадают, ошибка при этом составляет 0,00010027.

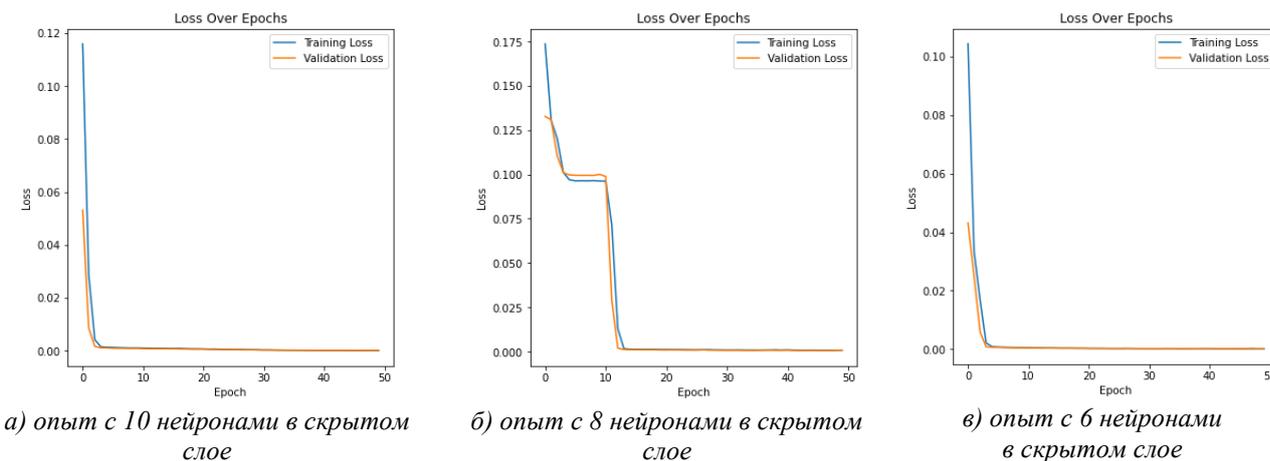


Рис. 4. Графики обучения модели нейронной сети с функцией активации sigmoid

На графике рис. 4 а), обучение нейронной сети заканчивается на 12 эпохе и далее значение ошибки обучения не меняется на своём протяжении. Кривые обучения и валидации совпадают друг с другом. Ошибка обучения составляет 0,000962. На графике рис. 4 б), обучение заканчивается на 32 эпохе, при этом кривые валидации и обучения совпадают. Ошибка обучения составляет 0,0009083. На графике рис. 4 в), обучение нейронной сети заканчивается на 20 эпохе, кривые валидации и обучения совпадают, ошибка при этом составляет 0,000313.

Также укажем относительные погрешности между предсказанием и эталонными значениями фазных токов в обмотках трансформатора в таблице 2.

Таблица 2

Результаты ошибки обучения модели нейронной сети для опыта К3

	Функция активации – tanh, 10 нейронов	Функция активации – tanh, 8 нейронов	Функция активации – tanh, 6 нейронов	Функция активации – sigmoid, 10 нейронов	Функция активации – sigmoid, 8 нейронов	Функция активации – sigmoid, 6 нейронов
Ошибка нейронной сети в процессе обучения	0,000785	0,0003841	0,00010027	0,000962	0,0009083	0,000313
Погрешность для Ia_НН	0,003895	0,001160	0,002017	0,001699	0,007225	0,003229
Тест №1	0,003905	0,001111	0,001986	0,001637	0,007156	0,003286
Тест №2	0,003920	0,001062	0,001959	0,001572	0,007082	0,003346
Тест №3	0,003934	0,001019	0,001927	0,00157	0,007006	0,00341
Тест №4	0,046558	0,047974	0,048511	0,046026	0,04304	0,047038
Тест №5						
Погрешность для Ib_НН	0,002990	0,000685	0,001591	0,000884	0,006589	0,001829
	0,003007	0,000703	0,001666	0,000899	0,006611	0,001871
	0,003026	0,000728	0,001746	0,000922	0,006634	0,001917
	0,003048	0,00076	0,001840	0,000951	0,006659	0,001971
	0,042118	0,040362	0,040543	0,039503	0,04189	0,040448
Погрешность для Ic_НН	0,002629	0,001685	0,001408	0,001503	0,006229	0,002979
	0,002634	0,001625	0,001472	0,001528	0,00627	0,002935
	0,002639	0,001561	0,001547	0,001559	0,006315	0,002889
	0,002647	0,001497	0,00163	0,001596	0,006359	0,002844
	0,039117	0,038934	0,04193	0,039110	0,03969	0,038485

Заключение

В результате выполненных экспериментов выявлено:

Минимальная ошибку тестирования соответствует нейронной сети с функцией активации – tanh для обоих опытов холостого хода и короткого замыкания;

Наибольшую ошибку тестирования показывает функция активации – sigmoid, при 10 и 8 нейронах в скрытом слое.

Резюмируя, созданная нейронная сеть дает точное предсказание напряжений и токов обмоток трансформатора, ошибка предсказания минимальна и остается в допустимых пределах. На данном этапе работ, не учтена нелинейность сердечника трансформатора, что дает такой точный результат, поэтому убирая из имитационной модели допущения, делая её более “реалистичной” мы получим совершенно другой результат работы нейронной сети.

Список использованных источников

1. Михайлович М.А., Леонов С.В., Мамонова Т.Е. Анализ методов моделирования силовых трехобмоточных трансформаторов // Энергетические системы. – Т. 1. – 2024.
2. Мамонова Т.Е., Сидорова А.А. Применение методов искусственного интеллекта при определении утечек из нефтепроводов // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2017. – № 12. – С. 51-56.
3. Васильева Т.Н., Мамонова Т.Е., Применение методов искусственного интеллекта // Сборник трудов XII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и современные информационные технологии». – Томск : Изд-во ТПУ, 2014. – С. 402-403.