



УДК 621.317

ПОСТРОЕНИЕ РЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕМЕНТОВ ЦИФРОВОЙ ПОДСТАНЦИИ

С.М. Лунёв, s.m.lunoyov@gmail.com, Н.Д. Наракидзе, ndaz@mail.ru

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

В рассматриваемой статье приведены основные понятия об устройстве силовых цифровых подстанций. Описаны имитационные модели силовых цифровых подстанций и их функционирование в процессе реальной эксплуатации при различных режимах работы. Выбран исследуемый блок. Разработана матрица планирования и проведён эксперимент с использованием ортогонального центрального композиционного плана (ОЦКП), позволяющий оценить влияние температуры и напряжения питания на коэффициент усиления исследуемого блока. Обоснована адекватность полученной регрессионной модели. Представлено графическое изображение поверхности отклика. Составлены уравнения регрессии для физических и кодированных значений.

Ключевые слова: подстанция, цифровая подстанция, планирование эксперимента, регрессионная модель, ортогональный центральный композиционный план.

BUILDING A REGRESSION MODEL OF ELEMENTS OF A DIGITAL SUBSTATION

S.M.Lunoyv, N.D.Narakidze

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk

This article presents the basic concepts of the device power digital substations. Imitation models of power digital substations and their functioning in the process of actual operation under various operating modes are described. The block under study is selected. A planning matrix has been developed and an experiment has been conducted using an orthogonal central composition plan, which makes it possible to evaluate the effect of temperature and supply voltage on the gain of the block under study. The adequacy of the obtained regression model is substantiated. Presents a graphic image of the response surface. Compiled regression equations for physical and coded values.

Keywords: substation, digital substation, experiment planning, regression model, orthogonal central composition plan.

Планирование и организация эксперимента играет большую роль в современном мире. Оно имеет практическое значение в различных сферах деятельности человека. Планирование эксперимента состоит в выборе числа и условий проведения опытов, позволяющих получить необходимые знания об объекте исследования с требуемой точностью.

Целям приема, преобразования и распределения электроэнергии служат трансформаторные подстанции. В состав оборудования любой подстанции входят: силовой трансформатор, осуществляет непосредственное преобразование электроэнергии и распределение по ЛЭП; шины, предназначены для подвода и отвода высокого напряжения на подстанции; силовые коммутационные аппараты, предназначены для регулирования и распределения высокого напряжения между элементами подстанции; системы защиты, автоматики, управления, сигнализации, измерения.

Имитационная модель цифровой подстанции, созданная на основе операционных усилителей (ОУ), выглядит следующим образом (рис. 1).

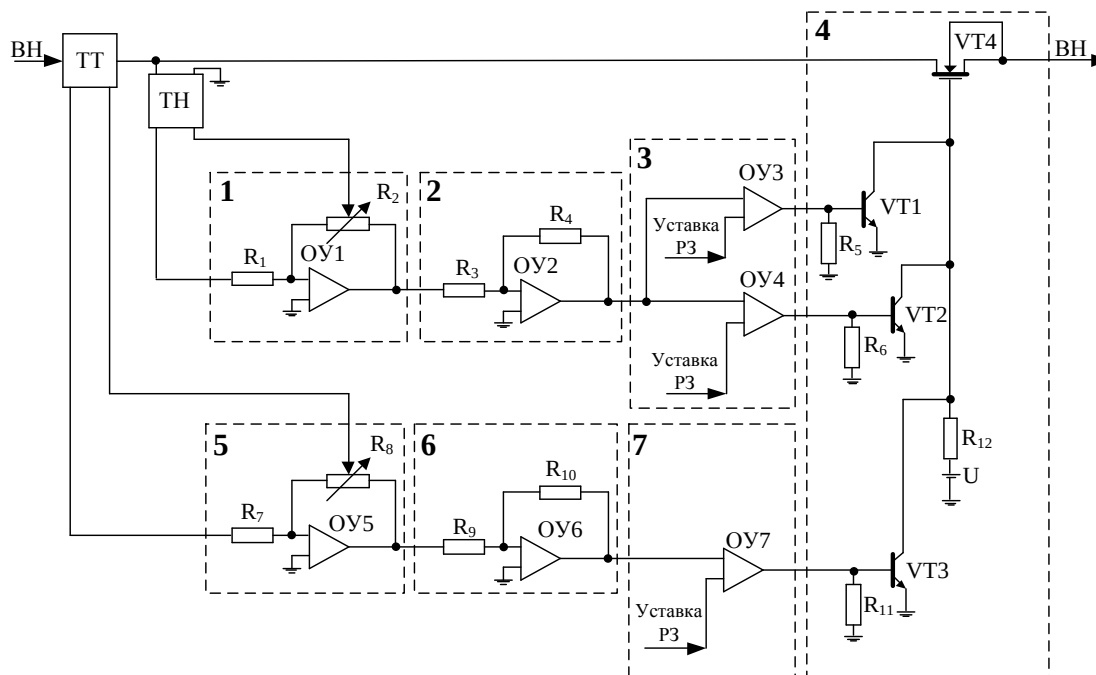


Рис.1 – Имитационная модель цифровой подстанции (часть 1)

На рис.1 использованы следующие обозначения: R_2 , R_8 – сопротивления обратной связи эквивалентные диагностируемому параметру трансформатора напряжения (ТН) и тока (ТТ); R_1 , R_7 – компенсационные сопротивления для обеспечения коэффициента усиления $K_y = 1$; блоки 1 и 5 отвечают за диагностику трансформатора напряжения и тока; блоки 2 и 6 отвечают за инверсию сигнала; блоки 3 и 7 обозначают элемент сравнения или срабатывания релейной защиты (РЗ); блок 4 отвечает за срабатывание силового выключателя и отключение ВЛ.

Схема на рис. 1 функционирует следующим образом: от ТТ и ТН производится получение измерительной информации, блоки 1, 5 осуществляют диагностику ТН и ТТ, соответственно, при отклонении диагностируемых параметров, которые приводят к изменению сопротивлений R_2 или R_8 увеличивается погрешность измерения тока или напряжения. Для удобства расчета коэффициентов усиления ОУ1 и ОУ5, за основу блоков 1 и 5 взят инвертирующий усилитель. Далее для получения положительного сигнала, блок 2 и 6 преобразуют отрицательный сигнал в положительный. После чего в блоке 3 осуществляется сравнение измеренного значения напряжения с уставкой срабатывания РЗ (верхняя и нижняя границы). Блок 7 осуществляет сравнение измеренного значения тока с уставкой срабатывания РЗ (верхняя граница). Блок 4, основываясь на информации от блоков 3 и 7, осуществляет отключение высоковольтной линии в случае выхода значений контролируемых параметров за допустимые пределы.

Схема имитационной модели цифровой подстанции, соответствующая части II приведена на рис. 2. Для примера рассмотрен упрощенный случай, при котором получение информации от силового трансформатора осуществляется от двух источников ТТ и ДТ.

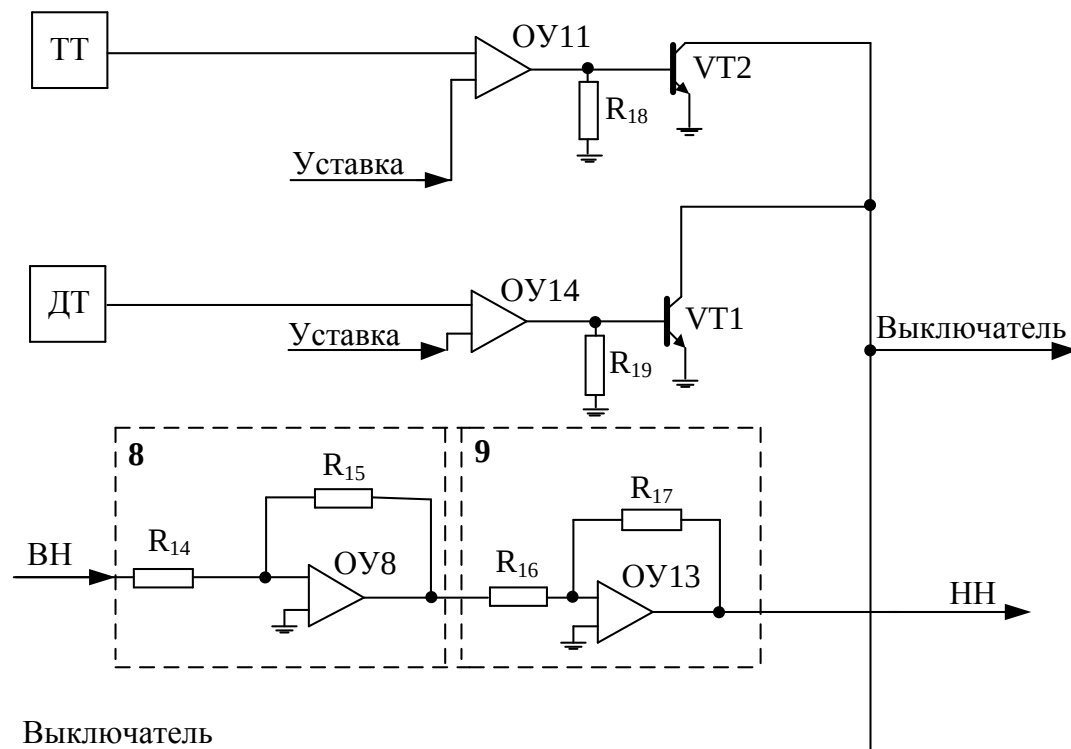


Рис.2 – Имитационная модель цифровой подстанции (часть 2):
ДТ – датчик температуры силового трансформатора

Работа схемы части II заключается в получении информации от источников и сравнении их с предельными значениями. Если контролируемое значение превысило допустимый предел, подается сигнал на выключатели и силовой трансформатор отключается. Блок 8 имитирует работу силового трансформатора на базе использования K_y . Блок 9 преобразует отрицательный сигнал, полученный от блока 8 в положительный для дальнейшего функционирования схемы.

В качестве объекта исследования выберем блоки 1, 2, в соответствии с рис.1. На рис. 3 представлена принципиальная схема исследуемого блока.

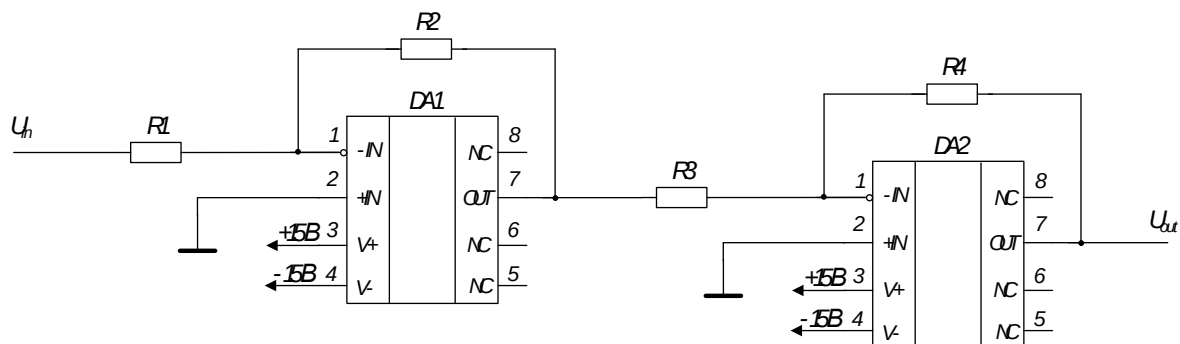


Рис.3 – Принципиальная схема исследуемого блока

Данный блок, согласно описанию выполняет компенсацию сигнала и его инверсию КУ усилителей DA1 и DA2 равен 1. Соответственно можно задаться произвольными величинами входного сигнала и резисторов. Необходимо соблюдать соотношение:



$$K = \frac{R2}{R1} = \frac{R4}{R3} = 1.$$

Примем величину резисторов равной 1 кОм, а амплитуду входного напряжения 1 В с промышленной частотой 50 Гц. В качестве факторов выбираем напряжение питания и температуру.

На рис. 4 представлена матрица планирования эксперимента в среде Statistica 12.0.

	1 Упит	2 Т	3 delta
1	18	70	0.0334
2	18	70	0.0333
3	18	70	0.0333
4	12	70	0.0324
5	12	70	0.0323
6	12	70	0.0323
7	18	-30	0.0077
8	18	-30	0.0076
9	18	-30	0.0076
10	12	-30	0.1024
11	12	-30	0.1023
12	12	-30	0.1023
13	18	20	0.1023
14	18	20	0.1024
15	18	20	0.1024
16	12	20	0.1583
17	12	20	0.1583
18	12	20	0.1584
19	15	70	0.0076
20	15	70	0.0076
21	15	70	0.0077
22	15	-30	0.1023
23	15	-30	0.1023
24	15	-30	0.1024
25	15	20	0.0323
26	15	20	0.0324
27	15	20	0.0323
28	15	20	0.0323

Рис. 4 – Таблица ОЦКП в программе Statistica

	Variables	Cases	Block		
	ANOVA; Var.:delta; R-sqr=.66281; Adj.:58618 (Spreadsheet3) 2 factors, 1 Blocks, 28 Runs; MS Pure Error=0 DV: delta				
Factor	SS	df	MS	F	p
(1)Упит(L)	0,01118958133889	1	0,011190	3,189030682E-04	0,00
Упит(Q)	0,00570158884000	1	0,005702	1,624952819E-04	0,00
(2)Т(L)	0,00966050000000	1	0,009661	2,753242500E-04	0,00
Т(Q)	0,01328116544444	1	0,013281	3,785132152E-04	0,00
1L by 2L	0,00686886750000	1	0,006869	1,957627238E-04	0,00
Lack of Fit	0,02320828874444	3	0,007736	2,204787431E-04	0,00
Pure Error	0,00000000006667	19	0,000000		
Total SS	0,06882929809643	27			

Рис. 5 – Таблица оценки адекватности модели в программе Statistica



Effect Estimates; Var.:delta; R-sqr=.66281; Adj.:.58618 (Spreadsheet3) 2 factors, 1 Blocks, 28 Runs; MS Pure Error=0 DV: delta										
Factor	Effect	Std.Err. Pure Err	t(19)	p	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt
Mean/Interc.	0,073222	0,000001	98891,0	0,00	0,073221	0,073224	0,073222	0,000001	0,073221	0,073224
(1)Упит(L)	-0,049866	0,000001	-56471,5	0,00	-0,049867	-0,049864	-0,024933	0,000000	-0,024934	-0,024932
Упит(Q)	0,059695	0,000001	40310,7	0,00	0,059692	0,059698	0,029847	0,000001	0,029846	0,029849
(2)T(L)	-0,046333	0,000001	-52471,3	0,00	-0,046335	-0,046331	-0,023167	0,000000	-0,023168	-0,023166
T(Q)	-0,091108	0,000001	-61523,4	0,00	-0,091111	-0,091105	-0,045554	0,000001	-0,045556	-0,045553
1L by 2L	0,047850	0,000001	44245,1	0,00	0,047848	0,047852	0,023925	0,000001	0,023924	0,023926

Рис. 6 – Таблица полученной модели в кодированных значениях

Regr. Coefficients; Var.:delta; R-sqr=.66281; Adj.:.58618 (Spreadsheet3) 2 factors, 1 Blocks, 28 Runs; MS Pure Error=0 DV: delta						
Factor	Regressn Coeff.	Std.Err. Pure Err	t(19)	p	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt
Mean/Interc.	0,993902	0,000018	54510,9	0,00	0,993864	0,993940
(1)Упит(L)	-0,110993	0,000002	-44871,7	0,00	-0,110998	-0,110987
Упит(Q)	0,003316	0,000000	40310,7	0,00	0,003316	0,003317
(2)T(L)	-0,002127	0,000000	-37943,5	0,00	-0,002127	-0,002127
T(Q)	-0,000018	0,000000	-61523,4	0,00	-0,000018	-0,000018
1L by 2L	0,000159	0,000000	44245,1	0,00	0,000159	0,000160

Рис. 7 – Таблица полученной модели в физических значениях

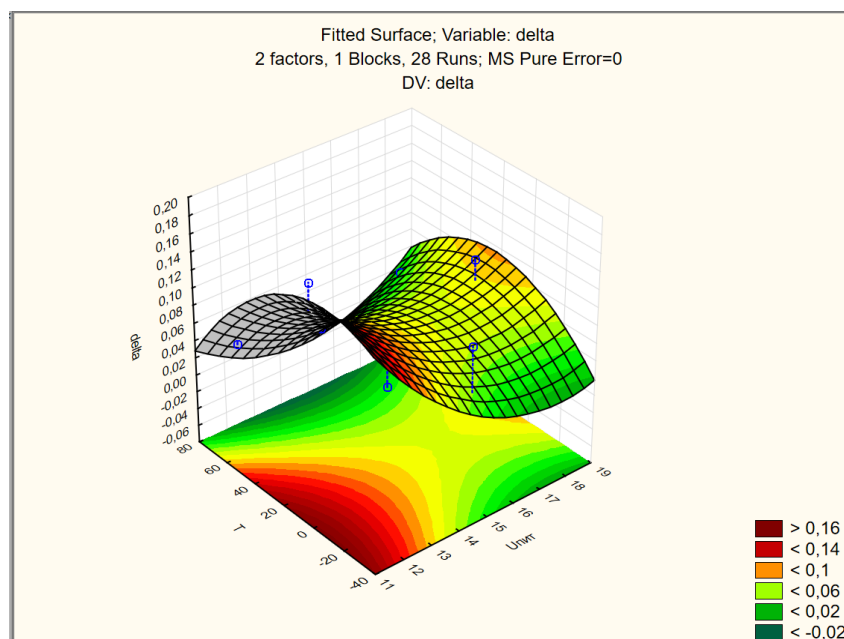


Рис. 8 – Зависимость погрешности КУ от температуры и напряжения питания

Запишем уравнение регрессии в кодированных значениях:

$$y=0,994-0,111X_1+0,003X_1^2-0,002X_2-0,00001X_2^2+0,00016X_1X_2$$

Запишем уравнение регрессии в физических значениях:

$$y=0,994-0,111U_{\text{пит}}+0,003 U_{\text{пит}}^2-0,002T-0,00001 T^2+0,00016 U_{\text{пит}} T$$

Был построен план оценки влияния факторов температуры и напряжения питания операционных усилителей на относительную погрешность выходного напряжения схемы. С помощью ОЦКП построена эмпирическая модель второго порядка и оценено влияние вышеупомянутых факторов на схему.



Результаты работы получены при поддержке гранта РФФИ № 18-38-00950 «Исследование и разработка алгоритмов агрегации гетерогенных данных для развития методов диакоптики и диагностики сложных технических систем на примере цифровых подстанций».

Список цитируемой литературы

1. Энергетические сети и системы. [Электронный ресурс]. URL: <http://electricalschool.info/elstipod/page/4/>. Дата обращения: 22.12.2017 г.
2. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов / Хартман К., Лецкий Э.К., Шефер В. –М.: Мир, 1977. –552 с.

© С.М. Лунёв, Н.Д. Наракидзе, 2019