



УДК 519.242.1

ПОСТРОЕНИЕ РЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛИ ЭХОЛОКАЦИОННОГО ОПРЕДЕЛИТЕЛЯ ДИСТАНЦИИ

Потемкина А.А., potemkina@mail.ru

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

В статье описан и построен план оценки влияния факторов на отклик, а именно влияние факторов температуры, напряжения питания операционных усилителей и входного напряжения на коэффициент усиления дифференциального усилителя. С помощью полного факторного эксперимента построена эмпирическая модель первого и второго порядка и оценено влияние вышеупомянутых факторов на схему. В ходе эксперимента определено что регрессионная модель является адекватной. Получено уравнение регрессии в кодированных и физических величинах.

Ключевые слова: математическая модель, уравнение регрессии, математическая модель, дальномер

CONSTRUCTION OF THE REGRESSION MODEL OF DISTANCE ECHO-LOCATOR

Potemkina A.A. , potemkina@mail.ru

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

The article describes and builds a plan for assessing the influence of factors on the response, namely the influence of temperature factors, supply voltage of operational amplifiers and input voltage on the gain of a differential amplifier. Using a full factorial experiment, an empirical model of the first and second order is constructed and the influence of the above factors on the circuit is estimated. During the experiment, it was determined that the regression model is adequate. The regression equation in coded and physical quantities is obtained.

Keywords: mathematical model, regression equation, mathematical model, range finder

Введение. Задача измерения дальности до объектов часто возникает в большом количестве областей как в повседневной жизни, так и в специализированных отраслях и профессиях: в геодезии, на охоте, при фотографировании, в строительстве и ремонте. При этом в одних задачах требуется измерять расстояние в диапазоне нм, а в других – в гораздо больших диапазонах (например, в метрах). Ясно, что при таком существенном различии в диапазоне значений измеряемой величины одного универсального способа измерений не существует.

В силу того, что подобные исследования не являются массовыми специальными серийно выпускаемых измерительных средств, разработанных специально для нужд таких лабораторий, не существует.

Актуальность использования данного разрабатываемого дальномера заключается в потребности в устройствах данного класса, отличающихся сравнительно высокой скоростью, многоканальностью, контролем температуры воздуха для корректировки измерений и удобством проведения измерений. В задании к работе предложено построить систему на основе ультразвукового подхода. Действительно, ультразвуковые дальномеры намного дешевле лазерных аналогов, и обладают приемлемыми пределами измерений и точности. В работе по-



ставлена цель достижения минимальной погрешности устройства при сохранении компактности его размеров.

Теоретическая часть. Дальномер – устройство, предназначенное для определения расстояния от наблюдателя до объекта. Используется в геодезии, для наводки на резкость в фотографии, в прицельных приспособлениях оружия, систем бомбометания и т.д. Дальнометрия является одной из первых областей практического применения лазеров в зарубежной военной технике. Первые опыты относятся к 1961 году, а сейчас лазерные дальнометры используются и в наземной военной технике (артиллерийские, таковые), и в авиации (дальнометры, высотомеры, целеуказатели), и на флоте. Эта техника прошла боевые испытания во Вьетнаме и на Ближнем Востоке. В настоящее время ряд дальнометров принят на вооружение во многих армиях мира.

Виды дальнометров:

Дальномерные приспособления делятся на активные и пассивные:

- активные: звуковой дальномер; световой дальномер; лазерный дальномер и др.
- пассивные: дальнометры, использующие оптический параллакс (напр. дальномерный фотоаппарат); дальнометры, использующие сопоставление объекта какому-либо образцу и др.

Принцип действия дальнометров активного типа состоит в измерении времени, которое затрачивает посланный дальномером сигнал для прохождения расстояния до объекта и обратно. Скорость распространения сигнала (скорость света или звука) считается известной.

Измерение расстояний дальномерами пассивного типа основано на определении высоты h равнобедренного треугольника ABC , например, по известной стороне $AB = l$ (базе) и противолежащему острому углу b (т. е. параллактическому углу). При малых углах b (выраженных в радианах)

$$h = l / b \quad (1.1)$$

Одна из величин, l или b , обычно является постоянной, а другая – переменной (измеряемой). По этому признаку различают дальнометры с постоянным углом и дальнометры с постоянной базой.

Разработка эхолокационного определителя дистанции. Актуальной задачей является разработка эхолокационного определителя дистанции, в котором будет реализовано определение расстояния до объектов на основе ультразвукового принципа действия.

На рис. 1 изображена функциональная схема разрабатываемого эхолокационного определителя дистанции.

Устройство работает следующим образом.

Преобразователь *USB-UART*, имеющий встроенный стабилизатор 5В в 3,3В, питает всю измерительную систему, получая напряжение с *USB*. Цифровой датчик температуры связан с микроконтроллером по интерфейсу *SPI* (МК-*master*, датчик температуры-*slave*). Ультразвуковой датчик расстояния имеет дифференциальный усилитель и связан с микроконтроллером по каналам *Trig* (запуск излучения) и *Echo* (канал приема эхо сигнала). Все данные передаются с ультразвукового датчика и датчика температуры после усиления в микроконтроллер,



который, в свою очередь, по каналу *USB* передает их на ПК для дальнейшего хранения.

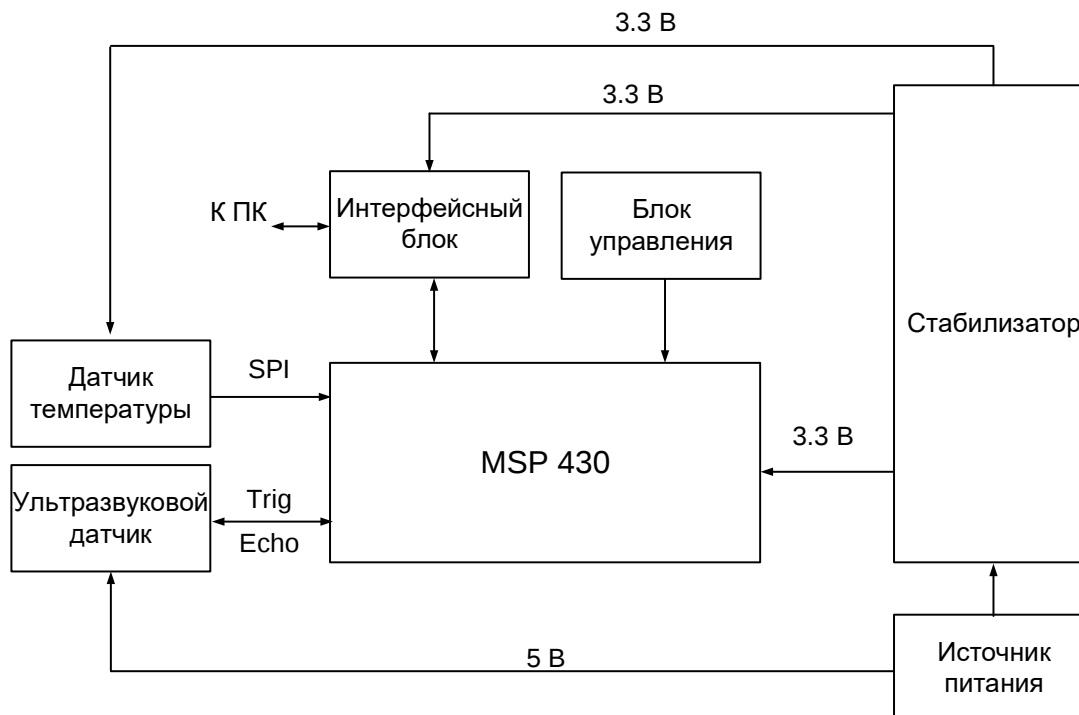


Рис. 1 – Функциональная схема разрабатываемого эхолокационного определителя дистанции

Необходимо учитывать, что в реальных условиях на устройство могут влиять такие факторы как температура и напряжение питания, которые могут оказать влияние на чувствительность прибора.

Можно сделать вывод о необходимости проведения исследований влияния условий окружающей среды – температуры, а также амплитуды входного сигнала и напряжения питания дифференциального усилителя ультразвукового датчика расстояния.

Моделирование. Необходимо выбрать регрессионную модель объекта исследования. Выбрать модель – значит выбрать вид этой функции, записать её уравнение. Тогда остается спланировать и провести эксперимент для оценки численных значений коэффициентов этого уравнения. Полиномиальная модель в общем виде определяется выражением [1]:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 + \sum_{\substack{i,j=1 \\ i < j}}^k b_{ij} x_i x_j ,$$

где b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} – оценки значений коэффициентов уравнения, x_i, x_j – факторы, y – отклик, k – количество факторов.

Необходимо получить регрессионную модель первого порядка. Эксперимент, в котором реализуются все возможные сочетания уровней факторов, называется полным факторным экспериментом [1].

Если число уровней каждого фактора равно двум, то имеем ПФЭ типа

$$N = 2^k ,$$



Для построения модели первого порядка используется полный факторный эксперимент типа 2^k .

Нулевые уровни факторов и интервалы их варьирования:

$$\begin{aligned}t &= 10^\circ\text{C}; & h_2 &= 40^\circ\text{C}; \\U_{\text{BX}} &= 75 \text{ мВ}; & h_2 &= 25 \text{ мВ}. \\U_{\text{П}} &= 15 \text{ В}; & h_3 &= 1,5 \text{ В}.\end{aligned}$$

Для проведения эксперимента с числом факторов, равным 3, используем ПФЭ 2^3 . То есть, количество опытов для ПФЭ будет равно 8 ($N = 8$).

Описание хода измерений

Чтобы построить модель изменения коэффициента усиления, разработанная схема смоделирована в программной среде *MicroCap 9*, показана на рис. 2.

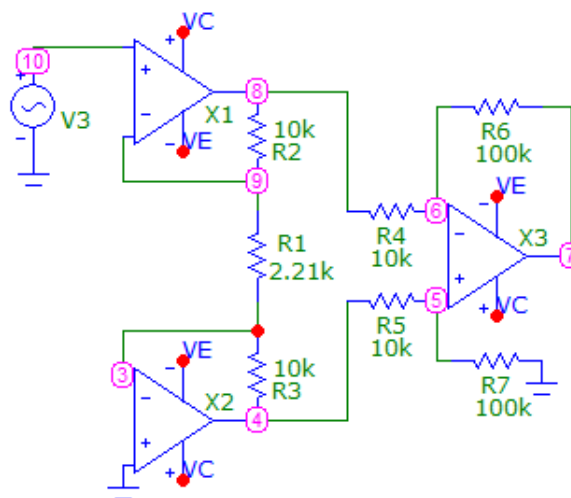


Рис. 2 – Схема исследуемого устройства в программной среде *MicroCap*

Нулевые значения сопротивлений используемых в схеме резисторов (при нормальной температуре):

$$\begin{aligned}R_1 &= 2,21 \text{ кОм}; \\R_2 = R_3 = R_4 = R_5 &= 10 \text{ кОм}; \\R_6 = R_7 &= 100 \text{ кОм};\end{aligned}$$

Для оценки влияния температуры на значения сопротивлений резисторов рассчитаем их сопротивления при температуре 10 и 30 °C.

ТКС для резисторов типа P2-67-0,125Вт ряда E192 с погрешностью $\pm 0,5\%$ равен [4]: при температурах от минус 60 до 125 °C: для 1-100 кОм ТКС = 5×10^{-6} (1/°C).

Для температуры -30 °C:

$$\begin{aligned}R_1 &= 2210 \cdot (1 + 5 \cdot 10^{-6} \cdot (-30 - 20)) = 2209,4 \text{ Ом}; \\R_2 = R_3 = R_4 = R_5 &= 10^4 \cdot (1 + 5 \cdot 10^{-6} \cdot (-30 - 20)) = 9997,5 \text{ Ом}; \\R_6 = R_7 &= 1 \cdot 10^6 \cdot (1 + 1000 \cdot 10^{-6} \cdot (-30 - 20)) = 99975 \text{ Ом}.\end{aligned}$$

Для температуры 50 °C:

$$\begin{aligned}R_1 &= 2210 \cdot (1 + 5 \cdot 10^{-6} \cdot (50 - 20)) = 2210,3 \text{ Ом}; \\R_2 = R_3 = R_4 = R_5 &= 10^4 \cdot (1 + 5 \cdot 10^{-6} \cdot (50 - 20)) = 10001,5 \text{ Ом};\end{aligned}$$



$$R_6 = R_7 = 1 \cdot 10^6 \cdot (1 + 1000 \cdot 10^{-6} \cdot (50 - 20)) = 100015 \text{ Ом.}$$

Далее подставляем значения сопротивлений этих резисторов в схему для режимов работы, соответственно, -30 и 50 °С.

Построим план эксперимента, и выполним измерения и внесем их в матрицу планирования эксперимента (таблица 1).

Таблица 1 – Матрица планирования эксперимента

№	X1	$t^{\circ}\text{C}$	X2	$U_{\text{вх}}, \text{ мВ}$	X3	$U_{\text{п}}, \text{ В}$	$U_{\text{вых}}, \text{ В}$	$K_{\text{ц, о.е.}}$
1	–	-30	–	50	–	13,5	4,909	98,27818
2	–	-30	–	50	–	13,5		98,18
3	–	-30	–	50	–	13,5		98,08182
4	+	50	–	50	–	13,5	4,909	98,27818
5	+	50	–	50	–	13,5		98,18
6	+	50	–	50	–	13,5		98,08182
7	–	-30	+	100	–	13,5	9,783	97,92783
8	–	-30	+	100	–	13,5		97,83
9	–	-30	+	100	–	13,5		97,73217
10	+	50	+	100	–	13,5	9,783	97,92783
11	+	50	+	100	–	13,5		97,83
12	+	50	+	100	–	13,5		97,73217
13	–	-30	–	50	+	16,5	4,909	98,27818
14	–	-30	–	50	+	16,5		98,18
15	–	-30	–	50	+	16,5		98,08182
16	+	50	–	50	+	16,5	4,909	98,27818
17	+	50	–	50	+	16,5		98,18
18	+	50	–	50	+	16,5		98,08182
19	–	-30	+	100	+	16,5	9,783	97,92783
20	–	-30	+	100	+	16,5		97,83
21	–	-30	+	100	+	16,5		97,73217
22	+	50	+	100	+	16,5	9,783	97,92783
23	+	50	+	100	+	16,5		97,83
24	+	50	+	100	+	16,5		97,73217

Результаты модельного эксперимента

Создаём матрицу планирования эксперимента [5 - 8] для ПФЭ при $N = 8$ (рис. 3).



Данные: Обработка.sta* (4v * 24с)				
	1 t	2 Uвх	3 Uп	4 Ku
1	-30	50	13,5	98,27818
2	-30	50	13,5	98,18
3	-30	50	13,5	98,08182
4	50	50	13,5	98,27818
5	50	50	13,5	98,18
6	50	50	13,5	98,08182
7	-30	100	13,5	97,92783
8	-30	100	13,5	97,83
9	-30	100	13,5	97,73217
10	50	100	13,5	97,92783
11	50	100	13,5	97,83
12	50	100	13,5	97,73217
13	-30	50	16,5	98,27818
14	-30	50	16,5	98,18
15	-30	50	16,5	98,08182
16	50	50	16,5	98,27818
17	50	50	16,5	98,18
18	50	50	16,5	98,08182
19	-30	100	16,5	97,92783
20	-30	100	16,5	97,83
21	-30	100	16,5	97,73217
22	50	100	16,5	97,92783
23	50	100	16,5	97,83
24	50	100	16,5	97,73217

Рис. 3– Матрица планирования эксперимента в программе *Statistica*

Далее вычисляем оценки коэффициентов регрессии, базирующиеся на кодированных исходных значениях факторов (столбец "*Коэф.*" в таблице на рис. 4).

Оценки эффектов; R-кв. = 82707; Скор., 76603 (Обработка.sta) 2**(3-0) план; SS чист.ошиб. = ЗП Ку										
Фактор	Эффект	Ст. Ош. Чис. Ош.	t(16)	p	-95, % Дов.Пред	+95, % Дов.Пред	Коэф.	Ст. Ош. Коэф.	-95, % Дов.Пред	+95, % Дов.Пред
Сред/Св.член	98,00500	0,020005	4898,972	0,000000	97,96259	98,04741	98,00500	0,020005	97,96259	98,04741
(1)t	0,00000	0,040010	0,000	1,000000	-0,08482	0,08482	0,00000	0,020005	-0,04241	0,04241
(2)Uвх	-0,35000	0,040010	-8,748	0,000000	-0,43482	-0,26518	-0,17500	0,020005	-0,21741	-0,13259
(3)Uп	-0,00000	0,040010	-0,000	1,000000	-0,08482	0,08482	-0,00000	0,020005	-0,04241	0,04241
1 на 2	0,00000	0,040010	0,000	1,000000	-0,08482	0,08482	0,00000	0,020005	-0,04241	0,04241
1 на 3	0,00000	0,040010	0,000	1,000000	-0,08482	0,08482	0,00000	0,020005	-0,04241	0,04241
2 на 3	0,00000	0,040010	0,000	1,000000	-0,08482	0,08482	0,00000	0,020005	-0,04241	0,04241

Рис. 4 – Таблица полученной модели в кодированных значениях

Затем вычисляем оценки коэффициентов регрессии, базирующиеся на некодированных (физических) исходных значениях факторов (столбец "*Регрес. Коэф.*" в таблице на рисунке 5).

2* - Регрессия; R-кв.=,82707; Скор.,76603 (Обработка.sta)						
Регрессия; R-кв. = 82707; Скор., 76603 (Обработка.sta) 2**(3-0) план; SS чист.ошиб. = ЗП Ку						
Фактор	Регрес. Коэф.	Ст. Ош. Чис. Ош.	t(16)	p	-95, % Дов.Пред	+95, % Дов.Пред
Сред/Св.член	98,53000	0,637936	154,4512	0,000000	97,17764	99,88236
(1)t	-0,00000	0,005245	-0,0000	1,000000	-0,01112	0,01112
(2)Uвх	-0,00700	0,008044	-0,8702	0,397080	-0,02405	0,01005
(3)Uп	-0,00000	0,042306	-0,0000	1,000000	-0,08969	0,08969
1 на 2	0,00000	0,000020	0,0000	1,000000	-0,00004	0,00004
1 на 3	0,00000	0,000333	0,0000	1,000000	-0,00071	0,00071
2 на 3	0,00000	0,000533	0,0000	1,000000	-0,00113	0,00113

Рис. 5 – Таблица полученной модели в физических значениях

Для проверки гипотезы об адекватности полученной модели используется



F -критерий Фишера и определяется следующей формулой [1]:

$$F_{\text{рас}} = \frac{S_{\text{ад}}^2}{S_{\text{вос}}^2},$$

где $S_{\text{ад}}^2$ – дисперсия адекватности, показывающая погрешность отклика, полученного из уравнения регрессии;

$S_{\text{вос}}^2$ – дисперсия воспроизводимости, показывающая погрешность отклика, полученного экспериментальным путем.

2* - Дисперсионный анализ; Прм.:Ку; R-кв.=,82707;Скор.,76603 (Обрат					
Дисперсионный анализ; Прм.:Ку; R-кв.=,82707 2**(3-0) план;SS чист.ошиб.= ЗП Ку					
Фактор	SS	сс	MS	F	p
(1)t	0,000000	1	0,000000	0,00000	1,000000
(2)Uвх	0,735000	1	0,735000	76,52256	0,000000
(3)Уп	0,000000	1	0,000000	0,00000	1,000000
1 на 2	0,000000	1	0,000000	0,00000	1,000000
1 на 3	0,000000	1	0,000000	0,00000	1,000000
2 на 3	0,000000	1	0,000000	0,00000	1,000000
Потеря согл.	0,000000	1	0,000000	0,00000	0,999999
Чист. ошибка	0,153680	16	0,009605		
Общая SS	0,888680	23			

Рис. 5 – Таблица оценки адекватности модели

$$F_{\text{рас}} = \frac{S_{\text{ад}}^2}{S_{\text{вос}}^2} = \frac{0,009605}{0,15368} \approx 0,0625.$$

При выборе $F_{\text{кр}}$ необходимо знать число степеней свободы f_1 и f_2 [4]:

$$f_1 = N - d,$$

где N – количество опытов, а d – количество значимых коэффициентов кодированных значений (рис. 3.2).

$$f_2 = N(m - 1),$$

где m – количество повторных опытов.

Таким образом:

$$f_1 = 8 - 2 = 6,$$

$$f_2 = 8(3 - 1) = 16.$$

Исходя из полученных значений, выбираем по таблице Фишера [1]:

$$F_{\text{кр}} = 2,74.$$

Таким образом, $F_{\text{кр}} > F_{\text{рас}}$ ($2,74 > 0,0625$). Следовательно, полученная модель является адекватной.

Уравнение регрессии для кодированных значений факторов имеет вид:

$$y = 98,005 - 0,35 \cdot X_2.$$

Уравнение регрессии для некодированных (физических) значений факторов имеет вид:

$$y = 98,53 - 0,07 \cdot U_{\text{вх}}.$$

На рис. 3.6 показана поверхность отклика зависимости коэффициента усиления K_u от амплитуды входного сигнала $U_{\text{вх}}$ и температуры t .



php). Дата обращения: 25.12.17.

6. П.В. Тяглицова, Н.Д. Наракидзе Построение регрессионной модели изменения импеданса на электродах при электроимпедансной томографии. // Электронный научный журнал «Вестник молодёжной науки России», 2020. – №7, – 17 с.

7. Гираев А.А., Дубяго М.Н., Полуянович Н.К. Контроль и диагностика термофлуктуационных характеристик изоляционных материалов силовых кабелей. // Электронный научный журнал «Вестник молодёжной науки России», 2019, – №5, – 9 с. 4.

8. Дубяго М.Н., Полуянович Н.К. Математическая модель развития частичных разрядов и прогнозирования пробоя изоляционных материалов. // Электронный научный журнал «Вестник молодёжной науки России», 2019. – №4, – 14 с

© Потемкина А. 2020