

# РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИЛОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РЕЗОНАТОРОВ

Д. В. Акимов, Е. А. Осоченко

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Создание надежных, высокоточных акселерометров требует от силочувствительных резонаторов, являющихся составной частью датчиков, стабильности метрологических характеристик при действии различных внешних дестабилизирующих факторов.

В процессе изготовления пьезоэлемента первичного преобразователя ускорения с силочувствительным пьезоэлектрическим кварцевым резонатором на стенках и в углах конструкции образуются клинья травления. При образовании дефектов изготовления в зонах роста клиньев травления могут возникать концентраторы напряжений, приводящие в условиях внешних дестабилизирующих факторов к нарушению целостности конструкции пьезоэлемента.

В рамках данной работы проведены исследования первичного преобразователя в нелинейных режимах работы силочувствительного резонатора, в условиях воздействия повышенного (в сравнении с штатным режимом работы) напряжения возбуждения, и предложен способ выявления скрытых дефек-

тов силочувствительных пьезоэлектрических резонаторов.

Исследования проводились для двух вариантов конструкции первичного преобразователя.

В результате проведенных исследований определены:

- изменение эквивалентных параметров силочувствительных резонаторов (резонансной частоты, динамического сопротивления, добротности);
- уровень напряжения возбуждения, при котором происходит необратимое изменение указанных выше параметров;
- зависимости временного дрейфа частоты резонаторов до и после воздействия повышенного напряжения возбуждения.

Результаты изменений характеристик резонаторов от величины напряжения возбуждения  $U_g$  с амплитудой от 2,3 В до 8,5 В приведены в табл. 1–2 и на рис. 1–4.

Таблица 1

№ образца	Вариант конструкции	$U_g, В$	$f_{рез}, Гц$	$Q$	$R_k, кОм$
7	1	2,3	285579,1	5800	735
		2,8	285579,6	5850	
		5,3	285582,8	5600	
		8,5	285563,0	-	
		2,3	285562,0	6250	
12	1	2,3	284133,3	5950	945
		2,8	284133,6	6050	
		5,3	284136,5	6100	
		8,5	284114,4	-	
		2,3	284112,6	-	
15	1	2,3	284093,6	5900	715
		2,8	284094,3	5530	
		5,3	284097,5	5900	
		8,5	284080,0	-	
		2,3	284069,5	-	
16	1	2,3	284145,2	5550	600
		2,8	284145,8	5450	
		5,3	284150,5	5050	
		8,5	284132,0	-	
		2,3	284122,8	-	
					800
					690

№ образца	Вариант конструкции	$U_{g,B}$	$f_{рез}, Гц$	$Q$	$Rk, кОм$
11	2	2,3	282627,1	5550	1100
		2,8	282627,4	5550	
		5,3	282629,0	5400	
		8,5	282631,1	4850	
		10	282632,6	4600	
		2,3	282625,3	5000	1150
14	2	2,3	283360,9	5830	885
		2,8	283361,3	5950	
		5,3	283364,0	6000	
		8,5	283349,3	-	
		2,3	283344,8	4410	950
17	2	2,3	287519,4	5450	835
		2,8	287519,7	5500	
		5,3	287520,8	5650	
		8,5	287496,4	-	
		2,3	287491,2	-	890
18	2	2,3	286643,1	5500	870
		2,8	286643,5	-	
		5,3	286644,4	4350	
		8,5	286627,0	-	
		2,3	286624,1	-	935

Таблица 2

№ образца	$f_{рез}, Гц$						
	$U_{возб.}, B$	2,3	2,8	5,3	8,5	2,3	$\Delta f_{рез2}, Гц$
7		285579,1	285579,6	285582,8	285563,0	285562,0	-16,1
12		284133,3	284133,6	284136,5	284114,4	284112,6	-18,9
15		284093,6	284094,3	284097,5	284080,0	284069,5	-13,6
16		284145,2	284145,8	284150,5	284132,0	284122,8	-13,2
11		282627,1	282627,4	282629,0	282631,1	282625,3	4,0
14		283360,9	283361,3	283364,0	283349,3	283345,2	-11,6
17		287519,4	287519,7	287520,8	287496,4	287491,2	-23
18		286643,1	286643,5	286644,4	286627,0	286624,1	-16,1

$\Delta f_{рез1}$  – изменение резонансной частоты от исходного значения при напряжении возбуждения с внешнего генератора  $U_g = 8,5$  В амплитудного значения.

$\Delta f_{рез2}$  – изменение резонансной частоты от исходного значения при напряжении возбуждения с внешнего генератора  $U_g = 2,3$  В амплитудного значения после воздействия напряжения возбуждений  $U_g = 8,5$  В.

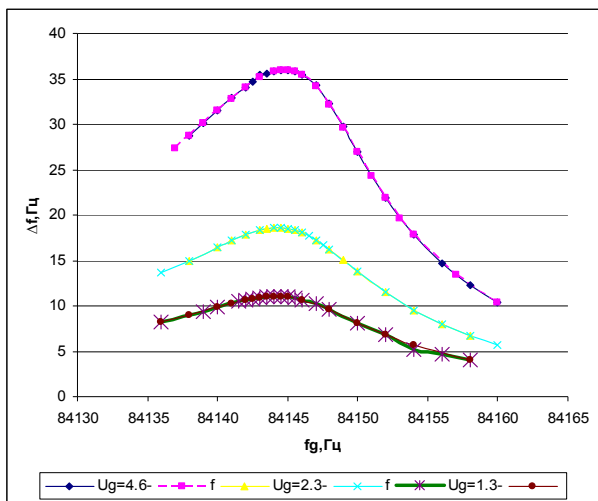


Рис. 1. График измерений АЧХ конструкция № 1. Образец № 16 до воздействия напряжения возбуждения  $U_g = 8,5$  В

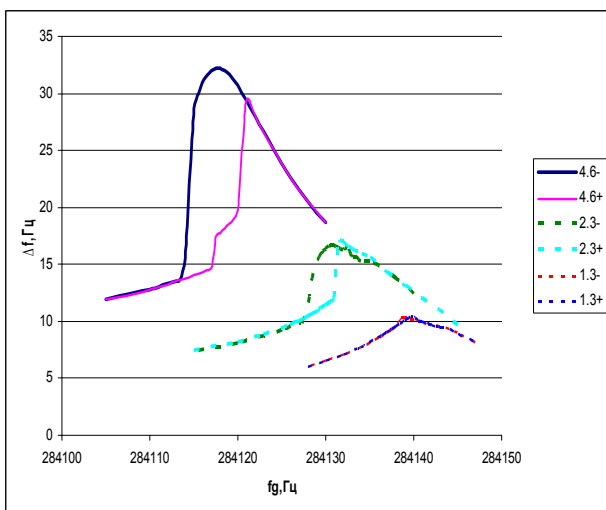


Рис. 2. График измерений АЧХ конструкция № 1. Образец № 16 после воздействия напряжения возбуждения  $U_g = 8,5$  В

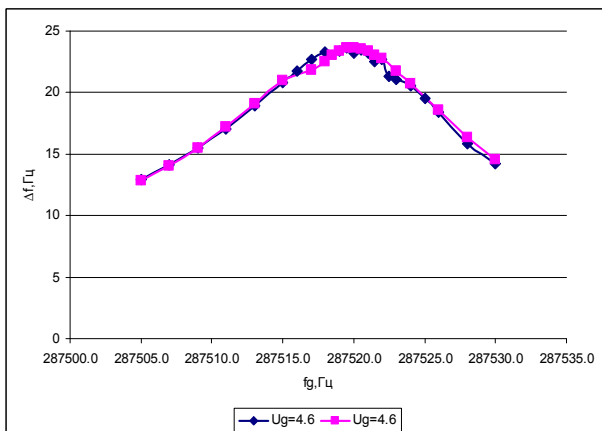


Рис. 3. График АЧХ конструкция № 2. Образец № 17 до воздействия  $U_g = 8,5$  В

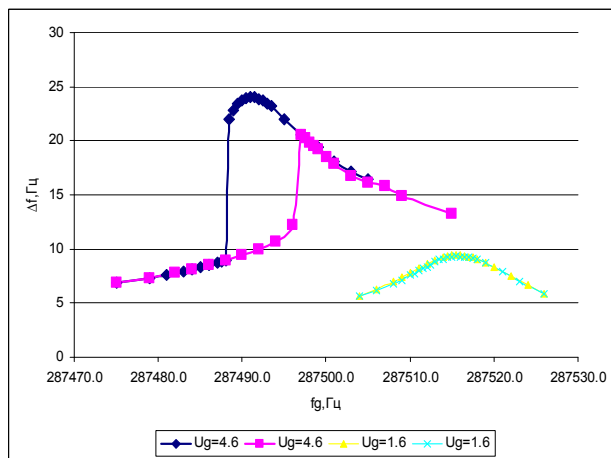


Рис. 4. График АЧХ конструкция № 2. Образец № 17 после воздействия  $U_g = 8,5$  В

Результаты изменения дрейфа частоты представлены в табл. 3 и на рис. 5–8.

Таблица 3

№ образца	Вариант конструкции	$\Delta f_1$ , Гц	$\Delta f_2$ , Гц
7	1	0,01	0,07
12	1	0,01	0,025
15	1	0,025	0,2
16	1	0,01	0,16
11	2	0,01	0,015
14	2	0,007	0,1
18	2	0,035	0,115

$\Delta f_1$  – значение дрейфа частоты до воздействия напряжением возбуждения амплитуды  $U_g = 8,5$  В.

$\Delta f_2$  – значение дрейфа частоты после воздействия напряжением возбуждения амплитуды  $U_g = 8,5$  В.

Результаты измерений частоты автогенерации после воздействия напряжения возбуждения  $U_g = 8,5$  В приведены в табл. 4.

Таблица 4

№ образца	Вариант конструкции	$f_1$ , Гц	$f_2$ , Гц	$f_1 - f_2$ , Гц
7	1	285581,0	285563,6	17,356
12	1	284134,7	284108,9	25,770
15	1	284095,6	284070,6	25,065

№ образца	Вариант конструкции	f1, Гц	f2, Гц	f1-f2, Гц
16	1	284147,6	284118,9	28,636
11	2	282629,3	282628,6	0,691
14	2	283362,8	283348,3	14,502
18	2	286645,6	286625,9	19,670

$f_1$  – значение частоты автогенерации до воздействия напряжением возбуждения амплитуды  $U_g = 8,5$  В.

$f_2$  – значение частоты автогенерации после воздействия напряжением возбуждения амплитуды  $U_g = 8,5$  В.

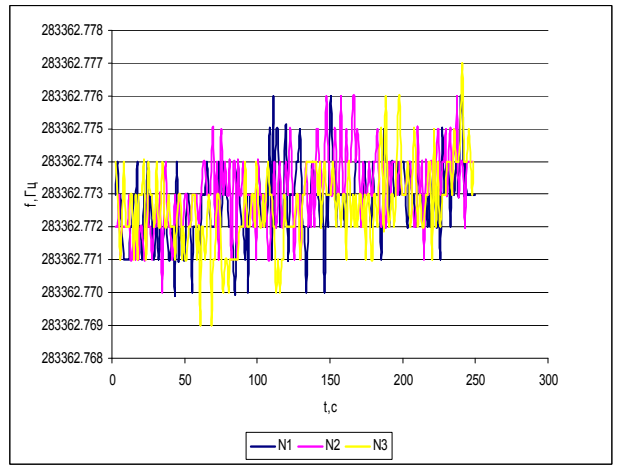


Рис. 7. График дрейфа частоты образца № 14, конструкция № 2 до воздействия напряжением возбуждения  $U_g = 8,5$  В

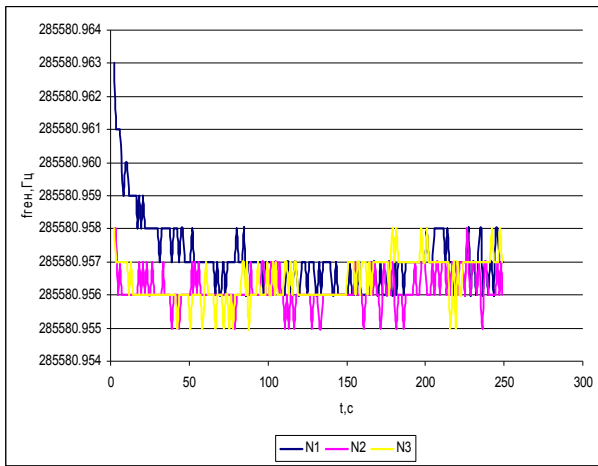


Рис. 5. График дрейфа частоты образца № 7, конструкция № 1 до воздействия напряжением возбуждения  $U_g = 8,5$  В

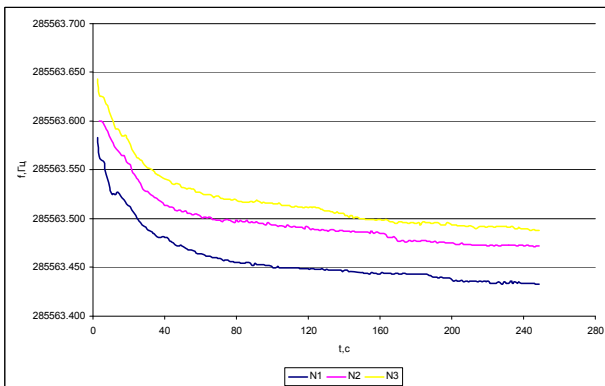


Рис. 6. График дрейфа частоты образца № 7, конструкция № 1 после воздействия напряжением возбуждения  $U_g = 8,5$  В

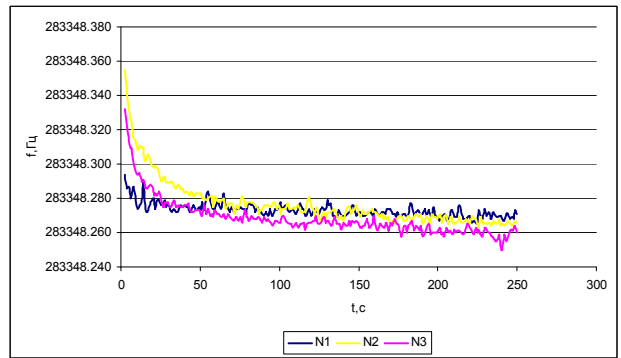


Рис. 8. График дрейфа частоты образца № 14, конструкция № 2 после воздействия напряжением возбуждения  $U_g = 8,5$  В

В результате проведенных исследований получены следующие результаты:

1. При воздействии на систему напряжением возбуждения с амплитудой  $U_g = 2,3$  В (рис. 1, 3) изменения АЧХ обратимы, при увеличении амплитуды возбуждения до  $U_g = 8,5$  В АЧХ становится нелинейной (рис. 2, 4) и необратимой, растет величина неизохронности (зависимость периода вынужденных колебаний от амплитуды возбуждения).

2. Дрейф частоты после воздействия напряжением возбуждения с амплитудой  $U_g = 8,5$  В увеличивается, а частота автогенерации уменьшается.

3. По результатам проведенных исследований рекомендуется производить отбраковку резонаторов при их изготовлении по критерию изменения частоты автогенерации более  $\pm 1$  Гц после воздействия на них напряжением возбуждения с амплитудой  $U_g = 4,5$  В на резонансной частоте.

4. В процессе изготовления пьезоэлемента на стенках и в углах конструкции образуются клинья травления. При образовании дефектов изготовления в зонах роста клиньев травления могут возникать

концентраторы напряжений, приводящие к нарушению целостности конструкции пьезоэлемента.

С целью улучшения метрологических характеристик акселерометра, необходимо изготавливать резонаторы без клиньев травления в области перехода в акустические пробки с применением плазмохимического или комбинированного (жидкостного и плазмохимического) способа травления, с последующим проведением исследований резонаторов по описанной методике.

## Литература

1. Новицкий П. В., Кнорринг В. Г., Гутников В. С. Цифровые приборы с частотными датчиками. Л.: «Энергия», 1970.
2. Ленк А. Электромеханические системы. М.: «Мир», 1978.
3. Малов В. В. Пьезорезонансные датчики. М.: «Энергоатомиздат», 1989.