

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 | $U_{г,В}$ | $f_{рез, Гц}$ | 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 | $f_{рез}, Гц$ | | | | | | |
|-----------|----------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------------------|
| | $U_{возб.}, В$ | 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 $U_g = 8,5 В$.

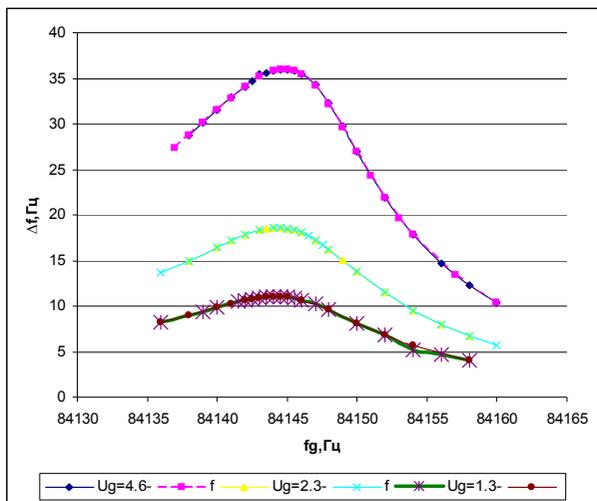


Рис. 1. График измерений АЧХ конструкция № 1. Образец № 16 до воздействия напряжения возбуждения $U_g = 8,5$ В

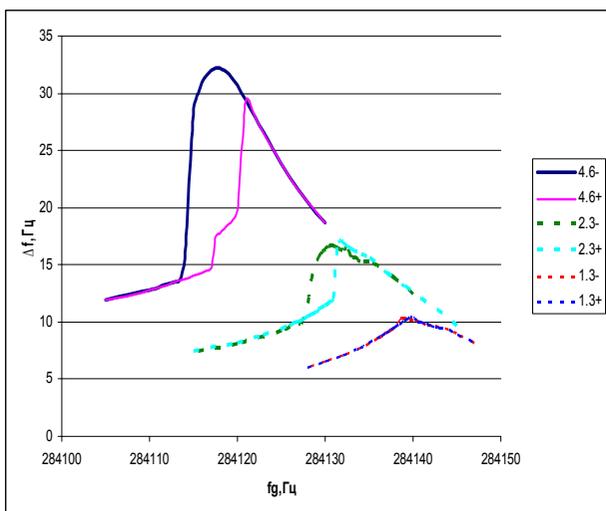


Рис. 2. График измерений АЧХ конструкция № 1. Образец № 16 после воздействия напряжения возбуждения $U_g = 8,5$ В

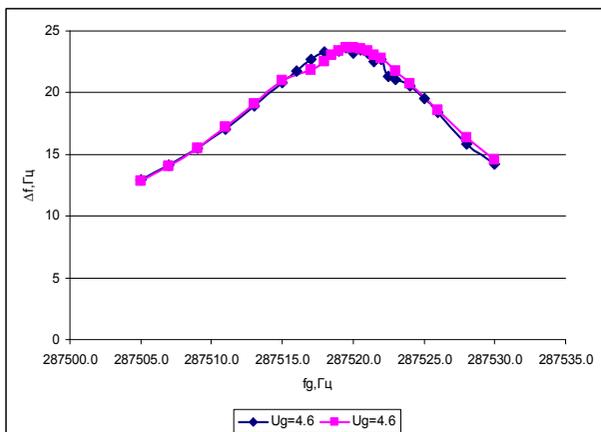


Рис. 3. График АЧХ конструкция № 2. Образец № 17 до воздействия $U_g = 8,5$ В

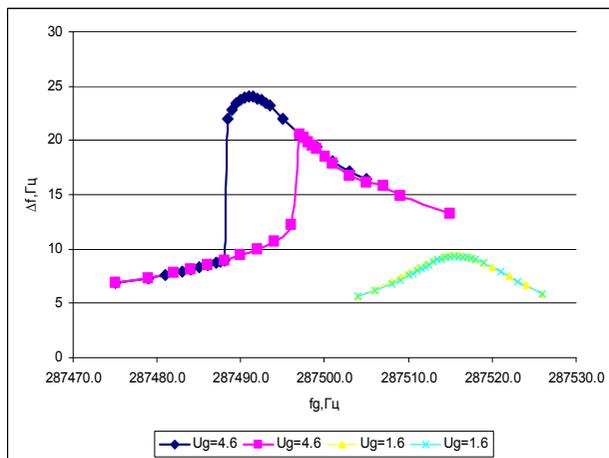


Рис. 4. График АЧХ конструкция № 2. Образец № 17 после воздействия $U_g = 8,5$ В

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

Таблица 3

| № образца | Вариант конструкции | Δf_1 , Гц | Δf_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 |

Δf_1 – значение дрейфа частоты до воздействия напряжением возбуждения амплитуды $U_g = 8,5$ В.

Δf_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.

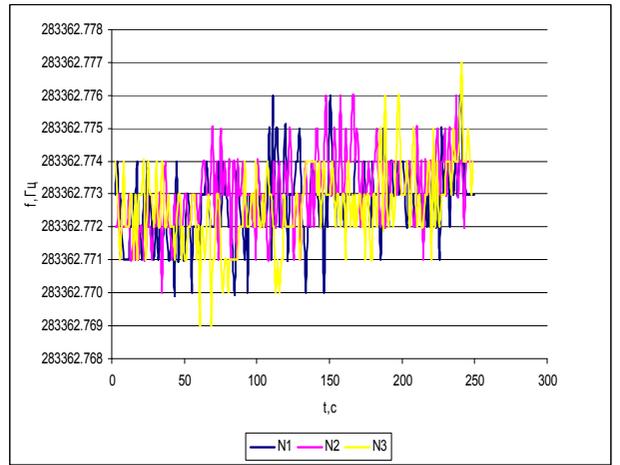


Рис. 7. График дрейфа частоты образца № 14, конструкция № 2 до воздействия напряжением возбуждения $U_g = 8,5$ В

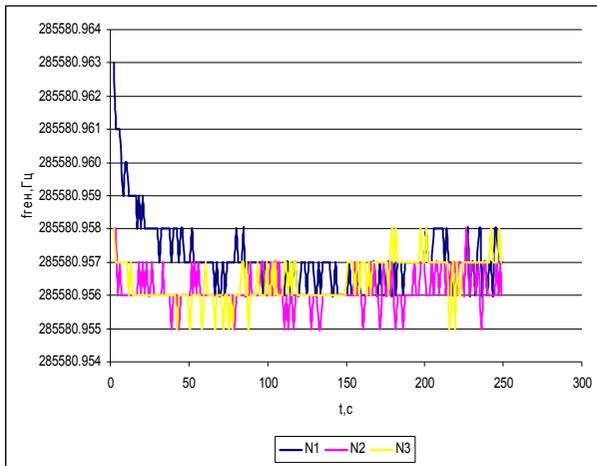


Рис. 5. График дрейфа частоты образца № 7, конструкция № 1 до воздействия напряжением возбуждения $U_g = 8,5$ В

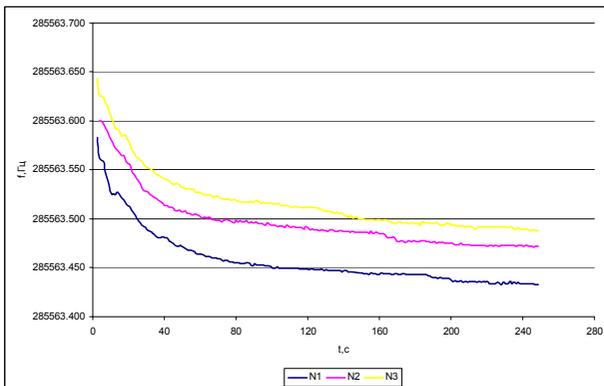


Рис. 6. График дрейфа частоты образца № 7, конструкция № 1 после воздействия напряжением возбуждения $U_g = 8,5$ В

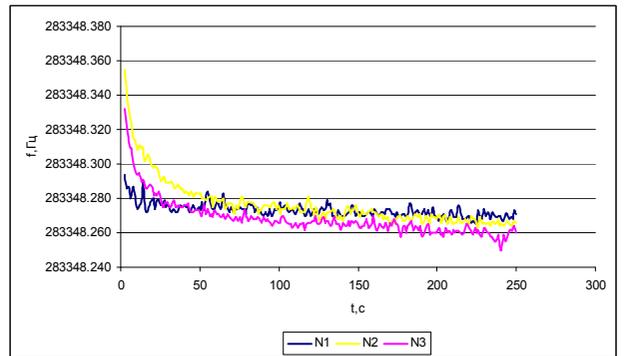


Рис. 8. График дрейфа частоты образца № 14, конструкция № 2 после воздействия напряжением возбуждения $U_g = 8,5$ В

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 ± 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.