

индекс 3624

**ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱՅԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ**  
**ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

ЕФИ-560(47)-82

В.С.УРИХАНЯН

О ЗАЩИТЕ МАГНИТОМЕТРА ИНТЕГРАЛЬНОГО  
МАГНИТНОГО ПОЛЯ ОТ МЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕГРУЗОК

ԵՐԵՎԱՆ 1982 ԵՐԵՎԱՆ

Магнитометр интегрального магнитного поля (МИМП) [1] содержит два полупроводниковых пьезорезистивных преобразователя силы, которые возникающую силу Ампера, пропорциональную интегральному магнитному полю, преобразовывают в электрический сигнал. Рабочее усилие подается на преобразователи силы на уровне первоначального нерабочего усилия, составляющего 0,272 Н. При усилиях, превышающих  $\sim 25\%$  от первоначального нерабочего усилия ( $\sim 0,06$  Н), происходят либо необратимые явления, связанные с пластическими деформациями, либо полупроводниковая структура ломается и преобразователь выходит из строя [2].

Во время эксплуатации МИМП возможны различные механические возмущения (удар, тряска и т.п.), ускорения от которых, из-за наличия масс и упругостей составных частей МИМП, могут создавать усилие в контакте пьезодиода преобразователей силы. Сам пьезодиод из-за малости масс составных частей (порядка несколько мг) может выдерживать ускорения около 1000  $g$ . Однако, в МИМП токонесущий проводник может иметь массу в несколько грамм (для МИМП [1] - 2,7 г) и, даже во время транспортировки (ускорение  $\sim 10-15 g$ ) возникают усилия, намного превышающие допус-

тимне значения для пьезодиода. Возникает необходимость защищать МИМП от механических перегрузок.

Практическое отсутствие перемещения в контакте пьезодиода (несколько мкм) не дает возможности перемещаться токонесущему проводнику МИМП при перегрузках и опираться на ограничители. Возникает необходимость искусственного создания такой возможности, без ущемления достоинств пьезодиодных преобразователей.

Существующие защитные элементы, как правило, ухудшают параметры преобразователя - снижают частотный диапазон, ухудшают чувствительность, увеличивают погрешности и т.д.

В пьезорезистивном преобразователе [3] механические возмущения передаются на чувствительный элемент с помощью связки, которая прижата к упругой системе чувствительного элемента так, что возникающая между ними сила трения покоя не превышает значения усилия (критическое значение), выводящего пьезорезистивную структуру из строя. При механических перегрузках преодолевается сила трения покоя между связкой и чувствительным элементом и связка получает возможность перемещаться. В этом устройстве рабочее усилие от связки передается на чувствительный элемент в виде изгибных колебаний его упругой системы. Это приводит к ухудшению частотной характеристики преобразователя (резонансная частота перемещается в сторону низких частот). Кроме того, сила трения покоя сильно зависит от состояния соприкасающихся поверхностей и от рабочей среды и, в ряде случаев (наличие влаги, паров масел и т.п.), требуется герметизация устройства, что приводит к затруднению и усложнению настройки требуемой величины силы трения покоя. Преобразователь [4] содержит защитный элемент, в котором связка (мембрана) прижата к чувствительному элементу

ту с помощью витой пружины силой, не превышающей критического значения усилия. При перегрузках связка отрывается от чувствительного элемента и, воспринимая на себя перегрузку, защищает чувствительный элемент. В этом устройстве, как только связка отрывается от чувствительного элемента, получается механическая система - индентор, прижатый острым концом к пьезочувствительной структуре с помощью витой пружины, работающей на сжатие. Из-за малой поперечной жесткости витой пружины указанная система не устойчива, что может привести к перемещению или перекосу индентора по отношению к пьезорезистивной структуре и вывести чувствительный элемент из строя.

В пьезорезистивном преобразователе [5] чувствительный элемент прижат к корпусу преобразователя с помощью витой пружины силой меньше на 10% критического значения усилия. Для повышения устойчивости системы защиты (витая пружина, пьезорезистивная структура и индентор, прижатый острым концом) при перегрузках (чувствительный элемент оторван от корпуса) пьезорезистивная структура закреплена с индентором эластичным веществом. Это препятствует свободному перемещению индентора по отношению к пьезорезистивной структуре для передачи на нее рабочего усилия. При этом поглощается часть рабочей механической энергии, что приводит к ухудшению порога чувствительности преобразователя. Другим недостатком этого устройства является отсутствие возможности регулировки силы прижатия для различных пьезорезистивных чувствительных элементов без замены витой пружины. В этом устройстве чувствительный элемент не защищен от механических перегрузок, превышающих на 10% силу прижатия, так как при больших перегрузках имеет место сжатие витой пружины, создающей за счет своей жесткости противодействующую силу, уравно-

вешивающую перегрузку и пропорциональную степени сжатия. Эта сила воспринимается чувствительным элементом и может намного превышать критическое значение усилия и вывести чувствительный элемент из строя.

В работе [6] было сообщено об одном варианте защитного элемента, лишенного перечисленных недостатков. Принцип его работы основан на том, что стержень устойчив к продольному возмущению до значения усилия, определенного для данного стержня (критическое усилие, определяется по формуле Эйлера [7]), после чего стержень теряет свою устойчивость и сгибаясь создает возможность для перемещения массы и опирания её на несущие мощные опоры. Зная максимальное значение механического возмущения, при котором пьезодиод не выходит из строя (критическое усилие для стержня), подбираем размеры стержня. Однако, отсутствие возможности регулировки критического усилия приводит к тому, что для обеспечения необходимого значения допустимого усилия приходится изменять геометрические размеры стержня путем подгонки (неоднократная шлифовка, химическое травление, полировка и т.п.), что усложняет использование защитного элемента в МИМП. Этих недостатков лишен защитный элемент, схематическая конструкция которого приведена на рис.1. Он представляет собой плоскую прорезную пружину 3, закрепленную между двумя пластинками 1 и 2. На пружине 3 закреплен шток 4, который проходя через отверстие регулировочного винта 5, опирается на пьезодиод 6. Винт 5 с одной стороны опирается на среднюю полосу пружины 3 и ввинчиванием его создается усилие поджатия между ними. При значениях возмущающей силы меньше усилия поджатия, которое берется равным допустимой перегрузке пьезодиода  $F_{пз}$ , система

работает как жестко соединенная и внешнее усилие  $F$  передается на пьезодиод. При  $F > F_{пз}$  происходит отрыв пружины от винта 5 и вся система передвигается по направлению действия силы и опирается на мощные опоры 7, закрепленные на основании 8. Тем самым пьезодиод защищается от перегрузок. При обратном направлении возмущения система передвигается в обратную сторону и также опирается на ограничитель 7. После прекращения возмущения, благодаря упругости пружины 3, система возвращается в исходное положение.

В МИМП защитный элемент устанавливается между токонесущим проводником и пьезорезистивными преобразователями силы в зоне их соединения.

В рассмотренном защитном элементе пружина 3 изготовлена из стали 13Х [8] и конструктивно выполнена так, что ширина средней полоски равна сумме ширин двух крайних полос. При этом прогиб  $\delta$  пружины 3 под действием силы  $F_{пз}$  будет в 2 раза больше, чем прогиб  $f$  центральной полоски (рис.2). Прогиб центральной полоски пружины 3 определяется формулой [9]

$$f = \frac{\ell^3 F_{пз}}{48 h^3 E}$$

Следовательно прогиб пружины 3 будет

$$\delta = 2f = \frac{\ell^3 F_{пз}}{24 h^3 E}, \quad (I)$$

где  $\ell$  - длина пролета,

$F_{пз}$  - допустимое значение усилия перегрузки пьезодиода,

$E$  - модуль упругости материала пружины,

$b, h$  - ширина и высота сечения полоски пружины.

Из (I) получаем выражение для определения податливости пружины

$$Q = \frac{\delta}{F_{пз}} = \frac{l^3}{2bh^3E} \quad (2)$$

При принятых нами величинах -  $b = 1,5$  мм,  $h = 0,05$  мм,

$E = 2,1 \cdot 10^{11}$  Па,  $l = 10$  мм для  $Q$  получаем

$$Q = 13,3 \text{ мм/Н.}$$

Жесткость пружины  $K$  при этом будет

$$K = 1/Q = 0,075 \text{ Н/мм.} \quad (3)$$

Для нашего случая, когда допустимая перегрузка пьезодиода составляет  $\sim 0,06$  Н, прогиб пружины будет  $\delta = 0,8$  мм. Такой прогиб достаточен, чтобы установить усилие поджатия с точностью не хуже  $10^{-4}$  Н при повороте винта 5 (винт М2 х 0,25) на угол  $2^\circ$ . Дальнейшее перемещение системы после отрыва составляет всего несколько мкм и возникающим при этом усилием можно пренебречь.

Проверку на изгибную прочность пружины можно провести формулой [10].

$$\sigma = \frac{M_{max}}{W} = \frac{3 F_{пз} l}{2bh^2} \leq [\sigma]_u,$$

где  $[\sigma]_u = 0,5 \sigma_s = 3 \cdot 10^8$  Па - для стали 13Х.

Подставляя значения величин, получаем  $\sigma = 2,4 \cdot 10^8$  Па  $< [\sigma]_u$ .

Экспериментально проверялась приемлемость формулы (1) и определялось усилие прижатия. Установка была собрана по схеме рис.3. Ввинчиванием винта 5 в два оборота создается прогиб пружины на 0,5 мм. Начало подачи усилия контролируется замыканием контакта между стержнем II и штоком 4, т.е. наличием тока во внешней цепи.

До определенного значения усилия  $F_2$ , меньше усилия поджатия  $F_{пз}$ , пружины 3 шток 4, а следовательно, и средняя полоска пружины 3 не перемещаются. При  $F_2 > F_{пз}$  происходит отрыв пружины 3 от винта 5, и шток 4 перемещается по направлению уси-

лия. Начало отрыва контролируется размыканием электрической цепи (прорезная пружина 3 изолирована от пластинки 2). Дальнейшее перемещение штока контролируется под микроскопом с точностью не хуже 1 мкм. Измеряя значение усилия  $F_{пз}$ , при котором происходит отрыв пружины 3 от винта 5, ( $F_{пз} = 0,041$  Н) и, зная значение прогиба  $\delta$  ( $\delta = 0,5$  мм), определяется податливость и жесткость пружины 3

$$Q = \frac{\delta}{F_{пз}} = 12,2 \text{ мм/Н}; \quad K = \frac{1}{Q} = 0,082 \text{ Н/мм.}$$

Несоответствие податливости и жесткости пружины по отношению к расчетным по формулам (2) и (3) не превышает 10%.

Рассмотренный защитный элемент может защищать МИИ от перегрузок, начиная от ускорений  $0,1 g$  при массе токонесущего проводника 2,7 г.

Автор выражает благодарность М.Л.Петросяну за постоянный интерес к настоящей работе.

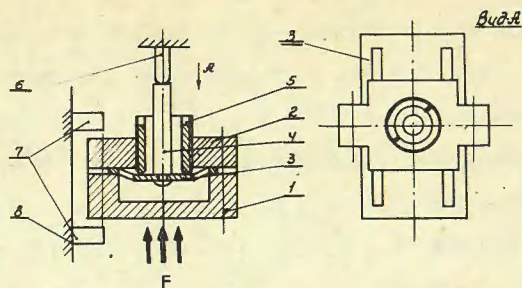


Рис.1 Схематическая конструкция защитного элемента.

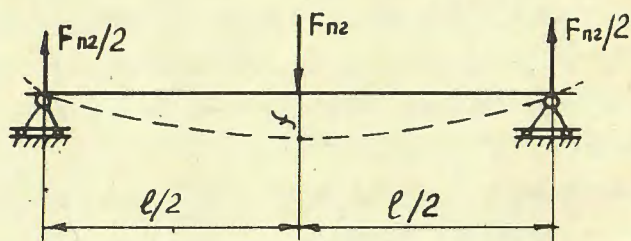


Рис.2 Расчетная схема защитного элемента.

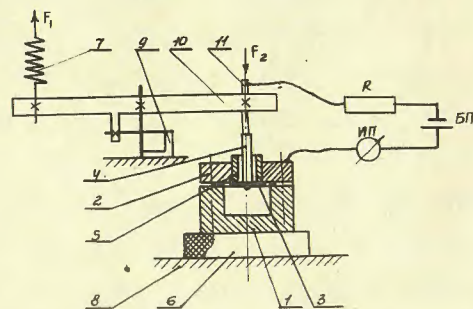


Рис.3 Схема устройства для определения жесткости прорезной пружины.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Уриханян В.С. Исследование динамических характеристик магнитометра интегрального магнитного поля. Препринт ИФИ-478(2I)-8I, Ереван, 1981.
2. Полякова А.Л. Деформация полупроводников и полупроводниковых приборов, М.: Энергия, 1979.
3. Патент ФРГ, № 1260538, Н.кл. 2Ia<sup>2</sup>-5/01, 1964.
4. Патент Австрии, № 258372, Н.кл. 2Ia<sub>6</sub>, 7, 1967.
5. Патент ФРГ, № 1215768, Н.кл. 2Ia<sup>2</sup>- 5/01, 1964.
6. Меликян Э.Г., Уриханян В.С. Защитный элемент от механических перегрузок. Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции "Состояние и перспективы развития электротензометрии", Л., 1973, с. 86.
7. Прочность, устойчивость, колебания. М.: Машгиз, 1968, т.3.
8. ГОСТ.5950-73. Сталь инструментальная легированная, М.: Из-во стандартов, 1979.
9. Рихтер О., Фосс Р. Детали точных приборов, М.: Машгиз, 1960.
10. Справочник машиностроителя, М.: Машгиз, 1955, т.3.

Рукопись поступила 19 апреля 1982 г.

Редактор Л. П. Мугалин  
Тех. редактор А. С. Абрамян

Заказ 253

ВВ - 05265

Тираж 299

Препринт БЭИ

Формат издания 60x84/16

Подписано к печати 22/VI-83 0,9 уч. изд. л. Ц. 13 к.

Издано Отделом научно-технической информации  
Бреванского физического института, Бреван 36, Маргаряна 2