

ОДЕССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

НИКОЛЬСКИЙ Виталий Валентинович



УДК 621.396.6.082.73:62-52.087

**БИПОЛЯРНЫЕ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕНСОРНЫЕ  
ГЕНЕРАТОРЫ**

Специальность 05.13.08 - "Вычислительные машины, системы  
и сети, элементы и устройства вычислительной техники и систем  
управления"

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Одесса-1997

Диссертация является рукописью.

Работа выполнена в Одесском политехническом университете.

научный руководитель - доктор технических наук,  
академик Джагунов Р.Г.

официальные оппоненты -

д.т.н., профессор Куценко А.Н.

к.т.н., доцент каф.

электрооборудования судов  
Украинского государственного  
морского технического  
университета Швед Э.А.

Ведущее предприятие-Одесский Государственный Университет им.  
И.И.Мечникова

Защита состоится "10" 07 1997 г. в 15<sup>00</sup> часов на  
заседании специализированного совета Д05.06.04 Одесского  
государственного политехнического университета.

270044, г. Одесса, пр. Шевченко, 1, ОГПУ

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке  
университета.

Автореферат разослан "10" 06 1997 г.

Ученый секретарь  
специализированного Совета,  
кандидат технических наук  
Ю.С.Ямпольский

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00751181 (N)

## Вступление

Ежегодно в мире выпускается большое количество электронных вычислительных машин и телефонных аппаратов. Их составной частью является клавиатура или кнопочные номеронабиратели. Число кнопок увеличится, если взять в расчет кнопки пультов дистанционного управления и панелей управления телевизорами и видеомагнитофонами. Возникающие в процессе их эксплуатации отказы и поломки создают большое количество проблем.

Кнопочные устройства ввода информации претерпевали конструктивные изменения. Претерпевали изменения и физические эффекты, заложенные в их работу. Несмотря на такое количество и разнообразие, заменить их не возможно.

Учитывая, что при указанных обстоятельствах любые усовершенствования в области кнопочных устройств ввода могут привести к большим экономическим эффектам, исследования, направленные на повышение эффективности, надежности и эргономического совершенства кнопочных переключателей являются актуальными. Предлагаемая работа относится к именно таким научным исследованиям.

Общая характеристика работы.

1. Объектом исследований диссертации является биполярный пьезоэлектрический сенсорный генератор (БПСГ).

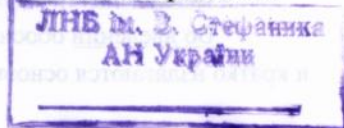
Целью работы является повышение надежности и эргономических характеристик сенсорных переключателей информационных каналов путем использования биполярных пьезоактивных микромеханизмов.

2. Методы исследования.

Экспериментальные исследования осуществлялись в лабораторных и производственных условиях. Обработка экспериментальных данных проводилась на ЭВМ. Для решения поставленной задачи использованы преобразования Лапласа и интеграл Дюамеля для оптимизации динамических характеристик БПСГ.

3. Научная новизна полученных результатов.

-метод асимметричного включения биполярного пьезоэлектрического сенсорного генератора,



-метод симметричного включения биполярного пьезоэлектрического сенсорного генератора.

#### 4. Практическая ценность работы:

-устройство для переключения информационных каналов на базе биполярного пьезоэлектрического сенсорного генератора.

-результаты расчета параметров пьезоактивных микромеханических элементов в импульсном режиме;

-аналитические выражения для использования при расчете основных параметров биполярного пьезоэлемента.

#### 5. Реализация результатов работы.

Внедрен пульт управления микропроцессорным устройством управления инфракрасным влагомером сыпучих продуктов в ЗАО НПО "ПИЩЕПРОМАВТОМАТИКА".

#### 6. Апробация результатов работы.

Основные результаты и отдельные положения диссертационной работы докладывались на 29 и 30 Научно-технических конференциях студентов и молодых исследователей по специальным, общинженерным и гуманитарным наукам / Одесса, ОГПУ 1994-95 гг./

#### 7. Публикации по теме диссертации. Опубликовано 11 работ.

8. Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 68 наименований, приложения.

Основная часть работы изложена на 140 страницах машинописного текста и содержит 57 рисунков, 1 таблицу.

#### Основные положения, выносимые на защиту:

- метод биполярного включения пьезоэлементов;
- соотношение между толщиной пьезоэлемента и его развиваемой мощностью;
- зависимость развиваемой мощности от конструкции биполярных электродов;
- критерии максимума выходной мощности пьезоэлемента с биполярными электродами.

#### Содержание работы.

Во введении обоснована актуальность задачи, формулируется цель работы и кратко излагаются основные достигнутые результаты.

В первой главе проводится анализ существующих кнопок-коммутаторов, согласно которого все коммутаторы можно разделить на две основные группы: механические контакты и бесконтактные.

К первой группе следует отнести гальванические контакты, недостатками которых являются низкая надежность из-за механического и электрического износа. Для улучшения их работы в 40-х годах стали герметизировать контакты. Так появились герконы, усложнившие и удорожившие конструкцию кнопки: для их работы потребовался встраиваемый магнит. Применение геркона уменьшило, но не устранило основных недостатков механических контактов.

Учитывая это, многие исследования последних лет были направлены на создание бесконтактных коммутаторов. Переходным этапом стало появление магнитоуправляемых бесконтактных кнопок на основе магниторезисторов, магнитодиодов, магнитотранзисторов. Они почти не отличаются от герконовых. Такие кнопки требуют специальных схем управления, которые потребляют мощность в режиме покоя. Совершенствование этих коммутаторов шло по пути снижения энергопотребления.

В 70-е годы появились сенсорные бесконтактные кнопки. Первыми из них были параметрические сенсоры. Электронные схемы обработки информации воспринимали помехи от источников электромагнитных полей и изменения условий окружающей среды. Поэтому были предложены сенсорные резонансные преобразователи, основу которых составляет генератор. Прикосновение пальца человека вносило изменения в параметры LC-контура и всей схемы. Наличие генератора требовало защитных экранов для защиты от влияния различных устройств. Как и магнитоуправляемые, сенсорные коммутаторы потребляют мощность в холостом режиме.

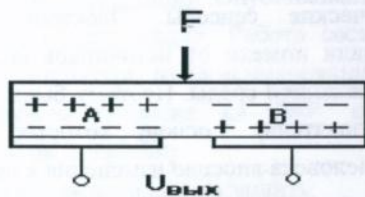
Исследования показали, что наиболее предпочтительным сенсором является пьезоэлемент (ПЭ), работающий в режиме прямого пьезоэффекта. ПЭ отличаются высокой надежностью в работе, низкой себестоимостью, твердотельностью, высоким КПД до 98%. Он не потребляет мощность, а ее генерирует. Однако, недостатками являются очень маленькое значение выходного тока и невозможность работы в статике.

Известные униполярные пьезоэлементы не приемлемы для автоматической сборки устройств ввода информации, т.к. для этого необходимо припаять их одним электродом к печатной плате, а ко второму электроду припаять проводник.

В диссертации эта проблема решена путем разработки специальной конструкции ПЭ. Один токосъемный электрод в нем разделен на два. Второй соединяет области А и В пьезоэлемента таким образом, что в одном пьезоактивном теле получено два встречно включенных источника ЭДС. Очевидно, что если размеры областей равны, то суммарное выходное напряжение равно 0. Поэтому, манипулируя соотношением электродов областей А и В можно получить достаточный полезный сигнал. Установлено, что при соотношении 1:5 и больше выходной сигнал будет максимальным.

Чтобы получить  $U_{\text{вых}}$  равное сумме модулей источников ЭДС, нужно изменить поляризацию керамических областей так, чтобы возникло их последовательное соединение. Такая конструкция получила название биполярного пьезоэлектрического сенсорного генератора (БПСГ).

Метод симметричного включения БПСГ состоит в равенстве областей А и В, а метод асимметричного предусматривает неравенство этих областей.



### Биполярный пьезоэлектрический сенсорный генератор

Возможно два способа пайки. Первый, когда площадь печатных дорожек равна площади токосъемных электродов. В этом случае БПСГ испытывает деформацию сжатия. Второй, когда площадь печатных площадок намного меньше площади электродов. В этом случае БПСГ испытывает как деформацию сжатия, так и деформацию растяжения, что приводит к увеличению мощности выходного сигнала. Сборка биполярного сенсора и панели легко автоматизируется.

Решение конструктивных проблем потребовало выявления достаточности развиваемой ПЭ мощности, необходимой для

срабатывания триггерной схемы. Для этого исследовались триггерные схемы на биполярных транзисторах и микросхемах, изготовленных по ТТЛ и КМОП технологиям. Результат был следующий: микросхемы КМОП с высоким входным сопротивлением порядка 1 МОм срабатывали от БПСГ, т.к. его выходная мощность достаточна для их срабатывания. Были опробованы микросхемы 176 и 561 серий. К176ТМ1 надежно работает в паре с БПСГ.

По результатам анализа литературы и триггерных схем было установлено, что повышение эффективности сенсорных переключателей электронных каналов возможно путем замены их биполярными пьезоактивными микромеханическими элементами.

Вторая глава посвящена исследованиям БПСГ. Целью этих исследований является поиск рационального использования размеров БПСГ, нахождение минимальных размеров при развиваемой мощности, достаточной для срабатывания электронных схем.

Т.к. БПСГ генерирует напряжение на съёмных электродах при воздействии на него силы в режиме прямого пьезоэффекта, требуется найти зависимость напряжения от прикладываемой силы. В процессе исследований было получено уравнение для прямого пьезоэффекта:

$$m \cdot \frac{dU(t)}{dt} + b \cdot U(t) + q \cdot \int U(t) \cdot dt = \frac{R_n \cdot C}{K} \cdot F(t), \quad (1)$$

где  $m$ -масса БПСГ,  $b$ -коэффициент внутреннего трения БПСГ,  $q$ -коэффициент упругости,  $C$ -ёмкость БПСГ,  $R_n$ -сопротивление нагрузки,  $K$ -коэффициент, связывающий механические и электрические свойства пьезокерамики,  $F(t)$ -сила, действующая на БПСГ со стороны пальца,  $U(t)$ - напряжение на съёмных электродах БПСГ.

Однако его решение должно быть связано с тем, что БПСГ в отличие от униполярного составляет батарею минимум из двух источников ЭДС. Поэтому результаты решения отличаются от решений для униполярного пьезоэлемента.

Установлено, что сила может иметь вид одиночного импульса произвольной формы: фронтальный, прямоугольный и экспоненциальный. Сила может быть сосредоточена в точке, равномерно распределена по поверхности или распределена по части поверхности БПСГ. Один из этих вариантов присутствует при взаимодействии пальца оператора с кнопкой. Подставив аналитическое выражение для каждого вида силы в уравнение прямого пьезоэффекта и

решив его относительно  $U(t)$ , получили уравнения для определения напряжения на съемных электродах БПСГ.

$$U(t) = \frac{F_m R_n \sqrt{2gE_y}}{2\varepsilon \sqrt{d} E_p l_3} e^{-\alpha t} \sin \omega t, \quad (2)$$

$$U(t) = \frac{F_m R_n C}{K m \omega} \left[ e^{-\alpha t} \sin \omega t - e^{-\alpha(t-\tau)} \sin \omega(t-\tau) \right], \quad (3)$$

$$U(t) = \frac{F_m R_n C \gamma e^{-\gamma t}}{K m \omega (A_1^2 + \omega^2)} \left( 2e^{-(\alpha-\gamma)(t-\tau)} (A_1 \sin \omega(t-\tau) + \omega \cos \omega(t-\tau)) - A_1 e^{-(\alpha-\gamma)t} (\sin \omega t + \omega \cos \omega t) - \omega \right), \quad (4)$$

где  $\alpha$ -коэффициент затухания колебаний,  $\omega$ -частота собственных колебаний ПЭ,  $A_1=(\alpha-\gamma)$ ,  $\gamma$ -коэффициент нарастания силы,  $\varepsilon$ -диэлектрическая проницаемость пьезокерамики,  $d$ -удельный вес пьезокерамики,  $E_y$  - модуль Юнга,  $E_p$ -напряженность электрического поля,  $g$ -ускорение свободного падения,  $l_3$ -толщина БПСГ,  $\tau$ -длительность импульса силы.

Уравнение (2)-аналитическое решение при фронтальном воздействии, которое характеризуется коэффициентом затухания и частотой собственных колебаний БПСГ. Расхождение результатов расчета и экспериментов составляет не более 10%. Амплитуда выходного напряжения составляет 4.5В и достаточна для срабатывания микросхем. В результате экспериментов было установлено, что в случае сосредоточенной силы с изменением координаты точки ее приложения изменяется выходной сигнал.

Выражение (3)-это решение уравнения при воздействии прямоугольного импульса. В выражении представлен новый параметр  $\tau$ -длительность импульса силы, который влияет на амплитуду  $U_{\text{вых}}$ .  $\tau$  определяет запаздывание появления заднего фронта. Кроме этого были проведены исследования экстремальных значений выходного напряжения. Они включают в себя длительность импульса, толщину БПСГ и время. Установлено, что толщина  $l_{3\text{min}} = 0.3$  мм и длительность импульса  $\tau=0.024$  с.

Уравнение (4)-решение при экспоненциальном воздействии. В нем присутствует параметр  $\gamma$ , который отличает данное решение от предыдущих. Были проведены эксперименты по определению

коэффициент затухания  $\gamma$ , который составил  $2.5\text{с}^{-1}$ . Присутствие  $\gamma$  обуславливает дополнительные слагаемые. Был проведен анализ по поиску рациональных размеров БПСГ. Кроме того, проводились исследования биморфного БПСГ, которые подтвердили, что его чувствительность в 2 раза больше БПСГ. Это позволяет получать полезный сигнал при использовании биморфных БПСГ в пультах дистанционного управления, когда  $S_{\text{кнопки}} \ll 0.0001\text{м}^2$ . Установлено, что генерируемое БПСГ напряжение по амплитуде достаточно для срабатывания КМОП микросхем.

Третья глава посвящена исследованиям мощности, генерируемой БПСГ. Т.к. ПЭ не является идеальным элементом, в нем присутствуют потери на внутреннее трение, которые нужно учитывать при расчете КПД. Являясь трехмерной системой, он может испытывать продольные и поперечные колебания. Был проведен расчет составляющих мощности для всех трех видов воздействия. Рассматривались мощности в двух точках  $t_1=0$  и  $t_2=\tau$ . Это обусловлено тем, что при прямоугольном импульсе максимальная мощность будет в точке приложения импульса силы. А в случае экспоненциального воздействия максимальная мощность будет при  $t=\tau$ .

Амплитуда мощности продольных колебаний для фронтального воздействия:

$$P_{\text{ом}} = \frac{F_m^2 R_n \varepsilon \varepsilon_0 l_1 g}{4K d l_3^2}, \quad (5)$$

где  $l_1$  - ширина БПСГ.

Амплитуда мощности поперечных колебаний для фронтального воздействия:

$$P_{\text{орп}} = 2F_m^2 R_n C l_3 l_2 / (K m l_2), \quad (6)$$

Мощность продольных колебаний для прямоугольного импульса:

$$P_0 = C F_m^2 R_n l_1 D(\tau) / (K m \ominus B_1), \quad (7)$$

Мощность поперечных колебаний для прямоугольного импульса:

$$P_{\text{оп}} = \frac{2F_m^2 R_n \varepsilon \varepsilon_0 g l_3 l_2 l_1}{K l_3 d \sqrt{E, g S^2 / d - b^2 / d^2}} \cdot \frac{D(\tau)}{B_1}, \quad (8)$$

где  $B_1$  - коэффициент,

$$D(\tau) = \frac{1}{\Delta_2(t)} \frac{d}{dt} (\Delta_2(t) U_2(t)) \text{ при } t=\tau, \quad (9)$$

$\Delta_2(t)$ -решение уравнения для обратного пьезоэффекта при прямоугольном воздействии.

Мощность продольных колебаний для экспоненциального воздействия:

$$P_0 = 1_1 (1 - e^{-\alpha\tau}) F_m D_2(\tau), \quad (10)$$

Мощность поперечных колебаний для экспоненциального воздействия:

$$P_{op} = 2(1 - e^{-\alpha\tau}) F_m l_3 D_2 \Theta, \quad (11)$$

где

$$D_2(\tau) = \frac{B_{20} e^{-\gamma\tau}}{\omega} \left( 2A_1 \omega + e^{-(\alpha-\gamma)\tau} (A_1 - 1) (A_1 \sin \omega\tau + \omega \cos \omega\tau + \right. \quad (12)$$

$$\left. + (\omega - e^{-(\alpha-\gamma)\tau} (A_1 \sin \omega\tau + \omega \cos \omega\tau)) \cdot \frac{1}{\Delta_3(t)} \cdot \frac{d\Delta_3(t)}{dt} \right)$$

$$\begin{aligned} \frac{d\Delta_3(t)}{dt} = & C_9 \left( \frac{2A_1}{C_8} (B_8 - \alpha B_7 - e^{-\gamma\tau} (\cos \omega\tau (B_8 - \alpha B_7) - \right. \\ & - \sin \omega\tau (B_7 - \frac{B_8 - \alpha B_7}{\omega})) + 2C_8 - 2B_9 B_3 + e^{-\frac{B_1\tau}{2}} (\cos \omega_1\tau (\omega_1 B_9 + \\ & + \frac{B_3 B_9}{2}) + \sin \omega_1\tau (C_8 - \frac{B_3 C_{10}}{2})) \left( \frac{1}{\omega_1} - 1 \right) + \frac{1}{C_8} (-2C_9 + C_{11} - \\ & - B_3 C_{10} + e^{-\alpha\tau} (\cos \omega\tau (2\alpha C_8 - C_9) + \alpha \sin \omega\tau (C_8 - C_9 - \\ & - \frac{C_9 - \alpha C_8}{\omega})) + e^{-\frac{B_1\tau}{2}} (\cos \omega_1\tau (B_3 C_{10} - C_{11}) + \sin \omega_1\tau \cdot \\ & \left. (C_{10} \omega_1 + \frac{C_{11}}{\omega_1} - \frac{B_3 C_{10}}{\omega_1} / 2) \right) + \frac{1}{\omega} \frac{1}{(B_3 / 2 - \gamma)^2 + \omega_1^2} (-\gamma e^{-\gamma\tau} + \\ & + e^{-\frac{B_1\tau}{2}} \cos \omega_1\tau \left( \frac{\omega_1}{\omega} \left( \gamma - \frac{B_3}{2} \right) + \frac{B_3}{2} \right) + \sin \omega_1\tau \left( \frac{B_3}{2} \left( 1 - \frac{\gamma - \frac{B_3}{2}}{\omega} \right) \right) \right) \end{aligned} \quad (13)$$

$B_8, B_3, B_7, B_9, B_{20}, C_8, C_9, C_{10}, C_{11}$  - коэффициенты.

Дальнейшие исследования свелись к определению зависимости мощности БПСГ от его толщины. Установлено, что при прямоугольном и фронтальном воздействии мощность обратно пропорциональна толщине БПСГ, а при экспоненциальном-прямопропорциональна. Следующим шагом было определение

мощности от соотношения биполярных электродов. В случае униполярного ПЭ мощность зависит от соотношения электродов, как и выходное напряжение, а в случае биполярного суммарная мощность будет максимальной при равенстве площадей съемных электродов.

В четвертой главе рассмотрены некоторые из возможных областей применения биполярных пьезоэлектрических сенсорных генераторов.

В разделе 4.1 рассмотрены датчики для линейных измерений. Применение в них разработанных сенсорных устройств позволяет избавиться от электрических контактов, повысить точность и надежность измерительного устройства. Все они представляют собой механизм, состоящий из двух или более регулируемых при работе сенсоров, включенных в цепь с исполнительным устройством, и устройства, передающего перемещение измерительного наконечника от контролируемой детали до подвижного упора или контакта.

Датчики подразделяют на две группы: "предельные" и "амплитудные". В предельных датчиках установлена жесткая связь между перемещением измерительного стержня и перемещением упора, а в передаточную схему амплитудных вводят фрикционное звено, допускающее проскальзывание. Кроме того, предельные датчики могут иметь какой-либо передаточный механизм, увеличивающий перемещение упора по сравнению с перемещением измерительного стержня.

В работе описан предельный датчик с передаточным механизмом в виде рычага, закрепленного на оси. Его технические характеристики следующие: число БПСГ-2, диапазон измерения отклонения от заданного размера-0-0.4мм, свободный ход измерительного рычага-1.2мм, передаточное отношение рычага-3:1, измерительное усилие-30-60сН, колебательное усилие-10сН, габаритные размеры-50×50×16 мм, масса-0.12кг. Наиболее часто такой тип датчиков устанавливается в автоматах определения размеров небольших и малых деталей. Например, внутреннего диаметра трубы. В работе также описан предельный датчик без передаточного механизма. Его технические характеристики следующие: число БПСГ-2, пределы измерения-0-0.3мм, свободный ход измерительного стержня-7мм, цена деления барабана настроечного винта-5мкм, колебательное усилие-0.1Н,

габаритные размеры-96×45×17мм, масса-0.115кг. Такой датчик широко применяется при контроле станин, толщины шестерен и др.

- Для разделения по разным группам точности измеряемых деталей в предельных датчиках может быть использовано несколько групп сенсоров. В работе описан датчик со следующими характеристиками: число БПСГ-4, пределы измерения-0-0.3мм, свободный ход измерительного стержня-7мм, измерительное усилие-300сН, габаритные размеры-96×55×17мм, масса-0.120кг.

Сенсорный преобразователь может быть использован и в амплитудных датчиках. В работе описана конструкция, позволяющая контролировать биения подшипников в радиальном и аксиальном направлениях. Амплитудные датчики имеют только два сенсора. Поэтому нет необходимости применять два регулируемых настроечных устройства, т.к. контролируемая погрешность является величиной без знака. Датчик имеет следующие характеристики: количество БПСГ-2, пределы измерения-0-3мм, свободный ход измерительного стержня-7мм, измерительное усилие-0.3Н, габаритные размеры-93×48×17 мм, масса-0.1кг.

В разделе 4.2 рассмотрены путевые плоскостные концевые выключатели, которые широко применяются в автоматизированных системах управления. Путевые механические выключатели содержат пару или несколько пар контактов, из которых один, как правило, подвижный и приводится в движение измерительным стержнем. Все контакты заключены в герметичный корпус.

Применение в концевых выключателях разработанных биполярных пьезоэлектрических сенсорных генераторов позволяет избавиться от механических или герконовых контактов и, тем самым, повысить надежность конструкции выключателей, снизить металлоемкость и себестоимость.

В работе описан плоскостной путевой концевой выключатель повышенной точности, который позволяет фиксировать одно положение микроманипулятора в пространстве. Его механические характеристики следующие: число БПСГ-1, пределы измерения-0-0.05мм, измерительное усилие-0.3Н, габаритные размеры-20×15×10мм, масса-0.02кг. Датчик также может применяться при касании к упору. Применение упругого элемента позволяет избежать разрушения

конструкции, когда объект обладает значительной инерционной массой.

В качестве проходного плоскостного путевого датчика повышенной точности в работе описан датчик, применяемый для подсчета продукции или ограничения поворота стрелы крана, когда непосредственное взаимодействие с объектом может привести к разрушению конструкции датчика. К поверхности упругого элемента прикреплен постоянный магнит, который взаимодействует с намагниченной пластиной, установленной на объекте. Под действием этого магнита возникает сила, оказывающая давление на сенсорный преобразователь, при прохождении объекта в области действия датчика. Прибор предназначен для взаимодействия с одним сенсорным преобразователем. Его механические характеристики: число БПСГ-1, измерительное усилие-0.3Н, габаритные размеры-20×15×20мм, масса-0.1кг.

В разделе 4.3. рассмотрен номеронабиратель телефонного аппарата. С вводом автоматических телефонных станций, в телефонах использовались дисковые контактные номеронабиратели, которые постепенно заменяются кнопочными лепестковыми или мембранными. Применение в качестве кнопки БПСГ позволяет упростить конструкцию, увеличить надежность срабатывания. Конструктивно номеронабиратель представляет собой припаянные к печатным площадкам текстолита БПСГ, армированные слоем резины. Технические характеристики номеронабирателя следующие: количество БПСГ-12, габаритные размеры-0.06×0.08×0.035м, масса-0.025кг, необходимое усилие для срабатывания-не менее 0.5Н. Такая клавиатура относится к линейным. Кроме телефонных аппаратов применяется в пультах управления микропроцессорным устройством измерения влажности сыпучих продуктов.

В заключении сформулированы основные выводы и результаты, полученные в работе.

В приложении приведены таблица и результаты экспериментов для униполярного пьезоэлемента, разделенного на две встречно включенные батареи.

Общие выводы и результаты работы.

В результате проведенных исследований были созданы основные принципы построения конструкций биполярных пьезоэлектрических сенсорных генераторов.

Особенностью разработанных БПСГ является высокая надежность, простота конструкции, дешевизна производства и возможность использования в широком круге автоматизированных информационных систем.

В работе обобщена информация, которая необходима для расчета таких основных параметров сенсорных переключателей как чувствительность, динамический диапазон, быстродействие и т.д..

Кроме того, были получены достаточно обобщенные критерии определения конструктивных параметров биполярных пьезоэлектрических сенсорных генераторов и электрических схем, необходимых для их функционирования.

Анализируя и обобщая содержащуюся в работе информацию, можно сформулировать следующие выводы и основные результаты.

1. По результатам анализа литературы было установлено, что повышение эффективности сенсорных переключателей электронных каналов возможно путем замены их биполярными пьезоактивными микромеханическими элементами.

2. Установлено, что биполярное включение пьезоэлементов позволяет упростить технологию сборки сенсорного элемента и повысить его надежность.

3. Установлено, что минимальная толщина БПСГ, обеспечивающая максимальную развиваемую мощность, составляет 50% от толщины электродов.

4. Установлено, что в случае униполярной поляризации максимальная мощность развивается пьезоэлементом, когда соотношение площадей съёмных электродов составляет 1:5.

5. Установлены типы сил, действующих на сенсор (сосредоточенная, равномерно-распределенная и сосредоточенно-распределенная).

6. Получены основные уравнения для генерируемого напряжения и развиваемой мощности биполярного пьезоэлектрического сенсорного генератора при воздействии основных видов сил.

7. Определены параметры, характеризующие тактильное воздействие на БПСГ.

8. Проведен поиск рациональных размеров БПСГ по параметрам: длительность импульса силы, сопротивление нагрузки, толщина.

9. Разработаны конструкции датчиков, коммутаторов на основе БПСГ.

10. Разработаны методики расчета биполярного пьезоэлектрического сенсорного генератора при воздействии сил, изменяющихся по фронтальному, прямоугольному и экспоненциальному законам.

Основные положения диссертации отражены в публикациях.

1. Никольский В.В., Рыбалов Б.А. Коммутаторы информационных каналов / Придніпровський науковий вісник (Вип. Проблеми технічної фізики N18(29) стр. 8) "Наука і освіта" Днепропетровск, 1997 г.

2. Никольский В.В. Биполярный пьезоэлектрический сенсорный генератор / Придніпровський науковий вісник (Вип. Проблеми технічної фізики N18(29) стр.6) "Наука і освіта" Днепропетровск, 1997 г.

3. Никольский В.В. К вопросу о применении биполярного пьезоэлектрического сенсорного генератора / Придніпровський науковий вісник (Вип. Проблеми технічної фізики N18(29) стр.1) "Наука і освіта" Днепропетровск, 1997 г.

4. Плавинский Е.Б., Антощук С.Г., Никольский В.В. Метод построения нелинейной градуировочной характеристики средства измерения // Труды Одес. политехн. ун-та.-1997.-Вып.1

5. Джагулов Р.Г., Никольский В.В. Пьезоэлектрические коммутаторы информационных каналов // Труды Одес. политехн. ун-та.-1997.-Вып.2

6. Джагулов Р.Г., Никольский В.В. Оценка мощности биполярного пьезоэлемента // Труды Одес. политехн. ун-та.-1997.-Вып.2

7. Джагулов Р.Г., Никольский В.В. Пьезоэлектрические элементы для коммутации систем контроля и управления // Тез. докл. Второй украинской конф. по автоматическому управлению "Автоматика-95", 26-30 сентября 1995 г., г. Львов.

8. Джагулов Р.Г., Никольский В.В. Математическая модель биполярного пьезоэлемента / деп. в ГНТБ Украина 5.07.95, N 1665-Ук 95.

9. Джагулов Р.Г., Никольский В.В. Пьезоэлектрические биполярные сенсорные устройства / деп. в ГНТБ Украина 5.07.95, N 1666-Ук 95.

10. Джагунов Р.Г., Никольский В.В. Пьезоэлектрическая управляемая кнопка / Информационный листок N 048-95

11. Джагунов Р.Г., Никольский В.В. Пьезоэлектрический концевой выключатель / Информационный листок N 067-95.

#### АННОТАЦИЯ

Никольский Виталий Валентинович "Биполярные пьезоэлектрические сенсорные генераторы".

Диссертация является рукописью, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.08 - "Вычислительные машины, системы и сети, элементы и устройства вычислительной техники и систем управления"

Диссертация посвящена разработке методов и средств создания биполярных пьезоэлектрических сенсорных генераторов. Содержит результаты их теоретического и экспериментального исследования.

#### АНОТАЦІЯ

Нікольський В.В. "Біполярні п'єзоелектричні сенсорні генератори".

Дисертація є рукопис, представлений на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.08-"Обчислювальні машини, системи та мережі, елементи і пристрої обчислювальної техніки та систем управління".

Дисертація присвячена розробці методів і засобів побудови біполярних п'єзоелектричних сенсорних генераторів. Містить результати їх теоретичного і експериментального досліджень.

#### ANNOTATION

Nikolskiy V.V. "Bi-polar piezoelectric sensor generators".

The thesis being submitted for scientist degree of candidate of technical sciences on speciality 05.13.08 - "Computers, systems and networks, elements and devices of computation techniques and control systems".

The thesis designed for creation of the methods and abilities connected with bi-polar piezoelectric sensoric generators. The thesis contains results of their theoretic and experimental.

#### Ключевые слова

Биполярный пьезоэлектрический сенсорный генератор