##### САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

*МОРСКОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ*

*ФАКУЛЬТЕТ МОРСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ*

*КАФЕДРА ФИЗИКИ*

*КУРСОВАЯ РАБОТА*

## АНАЛИЗ СФЕРИЧЕСКОГО

## ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

*ВЫПОЛНИЛ:*

###### СТУДЕНТ ГРУППЫ 34РК1

*СУХАРЕВ Р.М.*

*ПРОВЕРИЛ:*

*ПУГАЧЕВ С.И.*

##### САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

*ОСЕННИЙ СЕМЕСТР*

*1999г.*

# **СОДЕРЖАНИЕ**

|  |  |
| --- | --- |
| 1. *Краткие сведения из теории*
 | *3* |
| 1. *Исходные данные*
 | *7* |
| 1. *Определение элементов эквивалентной электромеханической схемы, включая N, Ms, Rs, Rпэ, Rмп*
 | *8* |
| 1. *Нахождение конечных формул для КЭМС и КЭМСД и расчет их значений*
 | *9* |
| 1. *Определение частоты резонанса и антирезонанса*
 | *9* |
| 1. *Вычисление добротности электроакустического преобразователя в режиме излучения*
 | *10* |
| 1. *Расчет и построение частотных характеристик входной проводимости и входного сопротивления*
 | *10* |
| 1. *Список литературы*
 | *16* |

# **1. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ**

*Пьезокерамический сферический преобразователь (Рис.1) представляет собой оболочку 2 (однородную или склеенную из двух полусфер), поляризованную по толщине, с электродами на внутренней и внешней поверхностях. Вывод от внутреннего электрода 3 проходит через отверстие и сальник 1, вклеенный в оболочке.*


##### Рис. 1

***Уравнение движения и эквивалентные параметры.***

*В качестве примера рассмотрим радиальные колебания ненагруженной тонкой однородной оболочки со средним радиусом а, поляризованный по толщине δ, вызываемые действием симметричного возбуждения (механического или электрического).*


##### Рис. 2

*Направление его поляризации совпадает с осью z; оси x и y расположены в касательной плоскости (Рис.2). Вследствие эквипотенциальных сферических поверхностей E1=E2=0; D1=D2=0. Из-за отсутствия нагрузки упругие напряжения T3 равны нулю, а в силу механической однородности равны нулю и все сдвиговые напряжения. В силу симметрии следует равенство напряжений T1=T2=Tc, радиальных смещений ξ1=ξ2ξС и значения модуля гибкости, равное SC=0,5(S11+S12). Заменив поверхность элемента квадратом (ввиду его малости) со стороной l, запишем относительное изменение площади квадрата при деформации его сторон на Δl:*

*Очевидно, относительной деформации площади поверхности сферы соответствует радиальная деформация , определяемая, по закону Гука, выражением*

*.*

*Аналогия для индукции:*

*.*

*Исходя из условий постоянства T и E, запишем уравнение пьезоэффекта:*

 *; .* ***(1)***

*Решая задачу о колебаниях пьезокерамической тонкой сферической оболочки получим уравнения движения сферического элемента*

*,* ***(2)***

*где*

***(3)***

*представляет собой собственную частоту ненагруженной сферы.*

*Проводимость равна*

*,* ***(4)***

*где энергетический коэффициент связи сферы определяется формулой*

*.* ***(5)***

*Из (4) находим частоты резонанса и антирезонанса:*

*; .* ***(6)***

*Выражение (4) приведем к виду:*

*.*

*Отсюда эквивалентные механические и приведенные к электрической схеме параметры, коэффициент электромеханической трансформации и электрическая емкость сферической оболочки равны:*

 *; ;*

***Электромеханическая схема нагруженной сферы.*** *Учесть нагрузку преобразователя можно включением сопротивления излучения , последовательно с элементами механической стороны схемы (Рис. 3). Напряжение на выходе приемника и, следовательно, его чувствительность будут определяться дифрагированной волной, которая зависит от амплитудно-фазовых соотношений между падающей и рассеянной волнами в месте расположения приемника. Коэффициент дифракции сферы kД, т.е. отношение действующей на нее силы к силе в свободном поле, равен , где p- звуковое давление в падающей волне, ka- волновой аргумент для окружающей сферу среды.*

*Приведем формулу чувствительности сферического приемника:*

*,*

*где ;*

 *;*

 *.*

*Колебания реальной оболочки не будут пульсирующими из-за наличия отверстия в оболочке (для вывода проводника и технологической обработки) и неоднородности материала и толщины, не будут так же выполняться и сформулированные граничные условия.*

# **2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ**

ВАРИАНТ С-41

|  |  |
| --- | --- |
| *Материал* | *ТБК-3* |
| *ρ,*  | *5400* |
| *,*  | *8,3 ⋅ 10-12* |
| *,*  | *-2,45 ⋅ 10-12* |
| *ν=-* | *0,2952* |
| *,*  | *17,1 ⋅ 1010* |
| *d31,*  | *-49 ⋅ 10-12* |
| *e33,*  | *12,5* |
|  | *1160* |
|  | *950* |
| *tgδ33* | *0,013* |
| *,*  | *10,26 ⋅ 10-9* |
| *,*  | *8,4 ⋅ 10-9* |

*a=0,01 м – радиус сферы*

 *м – толщина сферы*

*α=0,94*

*β=0,25*

*ηАМ=0,7 – КПД акустомеханический*

*ε0=8,85⋅10-12*

*(ρc)В=1,545⋅106*


# **3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СХЕМЫ, ВКЛЮЧАЯ N, Ms, Rs, Rпэ, Rмп**

*Электромеханическая схема цилиндрического излучателя:*

*Рис. 3*

***коэффициент электромеханической трансформации:***

*N=-2,105*

***присоединенная масса излучателя:***

*MS=4,851⋅10-5 кг*

***сопротивление излучения:***

*RS=2,31⋅103*

**активное сопротивление (сопротивление электрических потерь):**

*RПЭ=1,439⋅103 Ом*

*СS=4,222⋅10-9 Ф*

**сопротивление механических потерь:**

*RМП=989,907*

**4. НАХОЖДЕНИЕ КОНЕЧНЫХ ФОРМУЛ ДЛЯ КЭМС И КЭМСД**

**И РАСЧЕТ ИХ ЗНАЧЕНИЙ**

*Представим эквивалентную схему емкостного ЭАП для низких частот:*


##### Рис. 4

статическая податливость ЭАП:

  *C0=9,31⋅10-11 Ф*

электрическая емкость свободного преобразователя:

*CT=4,635⋅10-9 Ф*



КЭМС=0,089 ; КЭМСД=0,08

**5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТОТЫ РЕЗОНАНСА И АНТИРЕЗОНАНСА:**

*ωр=1,265⋅107*



*ωА=1,318⋅107*

**6. ВЫЧИСЛЕНИЕ ДОБРОТНОСТИ ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ В РЕЖИМЕ ИЗЛУЧЕНИЯ**

*Qm=65,201*

*эквивалентная масса:*



 *MЭ=0,017 кг*

**7. РАСЧЕТ И ПОСТРОЕНИЕ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВХОДНОЙ ПРОВОДИМОСТИ И ВХОДНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ**

активная проводимость:

реактивная проводимость:

активное сопротивление:

реактивное сопротивление:

входная проводимость:

входное сопротивление:



|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *ω/ωр* | *0* | *0,2* | *0,4* | *0,6* | *0,8* | *1* | *1,2* | *1,4* | *1,6* | *1,8* | *2* |
| *Ge* | *6,941E-08* | *0,0001423* | *0,0002958* | *0,000487* | *0,00095* | *0,34* | *0,001432* | *0,001143* | *0,001195* | *0,001301* | *0,001423* |
| *Be* | *-0,000005861* | *-0,012* | *-0,024* | *-0,037* | *-0,054* | *-0,071* | *-0,05* | *-0,067* | *-0,08* | *-0,092* | *-0,103* |
| *Xe* | *-170600* | *-84,979* | *-41,947* | *-27,086* | *-18,424* | *-0,588* | *-20,061* | *-14,898* | *-12,491* | *-10,883* | *-9,682* |
| *Re* | *2020* | *1,028* | *0,521* | *0,357* | *0,323* | *2,814* | *0,577* | *0,254* | *0,186* | *0,154* | *0,133* |
| *Y* | *0,000005862* | *0,012* | *0,024* | *0,037* | *0,054* | *0,348* | *0,05* | *0,067* | *0,08* | *0,092* | *0,103* |
| *Z* | *170600* | *84,985* | *41,95* | *27,088* | *18,426* | *2,875* | *20,069* | *14,9* | *12,493* | *10,884* | *9,683* |
| *ФG* | *1,505E-07* | *0,0003267* | *0,0008529* | *0,002202* | *0,009253* | *6,366* | *0,009361* | *0,002292* | *0,000992* | *0,000541* | *0,000335* |
| *ФB* | *-0,098* | *-0,102* | *-0,116* | *-0,153* | *-0,271* | *-0,332* | *0,222* | *0,102* | *0,063* | *0,044* | *0,033* |


# **8. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Пугачев С.И. Конспект лекций по технической гидроакустике.
2. *Резниченко А.И. Подводные электроакустические преобразователи. Л.: ЛКИ, 1990.*
3. *Свердлин Г.М. Гидроакустические преобразователи и антенны. Л.: Судостроение, 1988.*