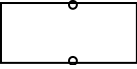
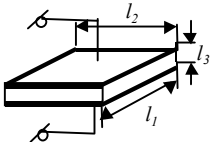
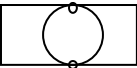
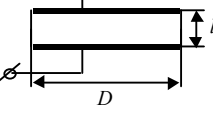


Таблиця 1 – Лінійні деформації деяких п'єзокерамічних елементів

№ п/п	Елемент	Умовне позначення	Схема	Аналітична модель
1.	Прямокутний моноелемент (СЕР)			$\Delta_3 = K_{01} l_3 E_{0p}$ $\Delta_2 = 0,5 K_{01} l_2 E_{0p}$ $\Delta_1 = 8,86 \cdot 10^{-12} \varepsilon E_p / E_y$
2.	Круглий моноелемент (МЕК)			$\Delta_3 = 8,86 \cdot 10^{-12} \cdot \varepsilon^2 \frac{E_p l_3}{E_y} E_{0p}$ $\Delta D = 4,4 \cdot 10^{-12} \cdot \varepsilon^2 \frac{E_p D}{E_y} E_{0p}$

Використання п'єзокерамічних перетворювачів в вібродавачах є перспективним у зв'язку з тим, що вони:

- є малогабаритними;
- найбільше відповідають жорстким умовам прихованості;
- мають високі показники експлуатаційної надійності;
- не гігроскопічні, термостійкі (260 °С) та технологічні.

Література: 1. Сапожков М. А. *Электроакустика. Учебник для вузов.* М., "Связь", 1978 – 272 с. 2. Андрианов В. И., Бородин В. А., Соколов А. В. "Шпионские штучки". *Справочное пособие.* СПб., "Лань", 1996 – 272 с. 3. Джагунов Р. Г., Ерофеев А. А. *Пьезокерамические элементы в приборостроении и автоматике.* – Л., Машиностроение, 1986 – 276 с. 4. Сергей Калинин. *Исследование систем виброакустического шумления – КОНФИДЕНТ № 4/1998, с. 12–15.*

УДК 621.3.002.5.001.4

РЕЗОНАНС ЭКРАНИРОВАННЫХ СООРУЖЕНИЙ

Евгений Зайцев

НИЦ "ТЕЗИС" НТУУ "КПИ"

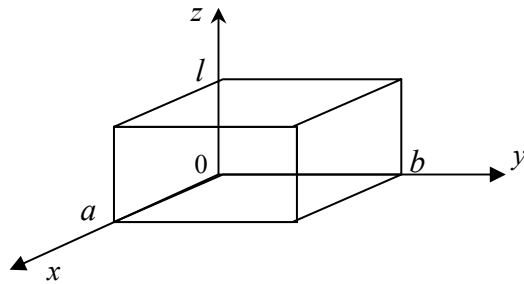
Анотація: Розглядаються можливі способи збудження власних коливань, види зв'язків екранованої споруди з електромагнітним полем, умови при яких резонансні явища максимальні. Наведені рекомендації щодо запобігання резонансним явищам.

Summary: Possible means stimulation dead, type cohesion conditions, Recommendations about prevent of resonance are considered.

Ключові слова: Екранована споруда, найменша резонансна частота, власні коливання, елементи збуджування.

Экранированные сооружения (ЭС) предназначены для ослабления электромагнитных (ЭМ) полей и сигналов, распространяющихся по цепям питания и коммуникациям технических средств (ТС). ЭС представляет собой объем, замкнутый со всех сторон проводящими стенками, образующими экран. Когда геометрические размеры ЭС становятся соизмеримыми с длинами волн в рабочем диапазоне частот, ЭС проявляет резонансные свойства. В этом случае ЭС можно рассмотреть как отрезок прямоугольного волновода с размерами поперечного сечения a и b , замкнутый с двух сторон проводящими стенками в плоскостях $z=0$ и $z=l$ (рис 1).

Основными параметрами объемного резонатора являются собственная резонансная частота и добротность.



Собственные частоты и собственные длины волн E_{mnp} - и H_{mnp} - типов колебаний определяются по формулам [1]:

$$\omega_{h,emnp} = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon\mu}} \sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 + \left(\frac{p\pi}{l}\right)^2},$$

$$\lambda_{h,emnp} = \frac{c\sqrt{\varepsilon\mu}}{\sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2 + \left(\frac{p}{l}\right)^2}}, \quad (1)$$

где $m=1, 2, 3, \dots$; $n=1, 2, 3, \dots$; $p=0, 1, 2, \dots$ в случае E -колебаний;
 $m=0, 1, 2, \dots$; $n=0, 1, 2, \dots$; $p=1, 2, 3, \dots$ в случае H -колебаний.

Каждому собственному колебанию резонатора соответствует значение собственной добротности. Добротность зависит от размеров резонатора, его формы, типа колебаний в нем. Добротность резонатора приближенно оценивают как отношение объема, в котором энергия запасается, к объему, в котором она расходуется. Объем, в котором запасена энергия в резонаторе, – это его внутренний объем, охваченный металлическими поверхностями. Объем, ответственный за потери, – это объем, по которому проходит нагревающий его ток. Добротность резонатора можно приближенно подсчитать по формуле:

$$Q = \frac{V}{\delta S}, \quad (2)$$

где δ – глубина поверхностного слоя;

S – площадь внутренней поверхности резонатора;

V – объем резонатора.

Соответствие между ЭС и резонатором условно. Например, ЭС имеет швы (сварные, соединенные болтами и т. д.), специальные экранирующие конструкции для экранирования вентиляционных каналов, дверного проема и т. д. В ЭС вводятся проводные коммуникации, внутри размещаются ТС. Неоднородности в экране и внутри ЭС вносят дополнительные потери. Это влечет к уменьшению добротности, изменению частоты и распределения ЭМ поля.

Наиболее часто используемые ЭС имеют размеры в пределах от 2 м до 7 м и наименьшие собственные резонансные частоты в диапазоне от 30 МГц до 150 МГц. Возбудить колебания в ЭС могут излучения, сопровождающие работу ТС, устанавливаемых внутри ЭС внешние ЭМ поля токи, наведенные в элементах ЭС кондуктивным способом (например, в устройствах заземления). Величины амплитуд возбуждаемых колебаний зависят от добротности резонатора, расстройки частоты возбуждения от резонансной частоты, уровней поля и токов возбуждения. При заданных возбуждающих токах и полях максимальные значения амплитуд колебаний получаются, когда добротность максимальна и частота возбуждения совпадает с собственной резонансной частотой ЭС. При выполнении указанных условий амплитуда возбуждаемого колебания возрастает и достигает значений, значительно превышающих первоначальные. Следовательно, на резонансной частоте к эффективности экранирования ЭС необходимо предъявлять более жесткие требования. Таким образом, для предотвращения резонансов в ЭС необходимо:

– выбирать размеры ЭС таким образом, чтобы собственные резонансные частоты ЭС отличались от частот ЭМ излучений ТС, устанавливаемых внутри ЭС;

- ослаблять уровни внешних ЭМ полей экранированием и увеличением расстояния от источника внешнего ЭМ поля;
- исключать возможность кондуктивного наведения токов в элементах ЭС;
- уменьшать добротность резонатора, например, нанесением на внутреннюю поверхность экрана радиопоглощающего материала.

При наличии введенных проводных коммуникаций ЭС проявляет свойства связанного объемного резонатора. В этом случае проводные коммуникации выступают в качестве органов связи для ввода ЭМ энергии вовнутрь ЭС, а также для вывода ее из ЭС.

Существуют следующие основные виды связи с ЭС: электрическая (емкостная), магнитная и дифракционная. Проводные коммуникации, вводимые в ЭС, образуют электрические или магнитные связи с ЭС. Электрическая связь осуществляется через металлический элемент, введенный вовнутрь ЭС. Величина связи с ЭМ полем зависит от размера металлического элемента внутри ЭС и расположения его относительно силовых линий электрического поля. Связь с электрическим полем максимальна, когда металлический элемент длиной, равной $\lambda_{h,emnp}/4$, располагается внутри ЭС параллельно силовым линиям электрического поля в месте, где напряженность этого поля наибольшая. Для снижения связи металлический элемент необходимо размещать перпендикулярно силовым линиям электрического поля или в том месте ЭС, где напряженность этого поля равна нулю.

Магнитная связь возникает при наличии витка внутри ЭС и расположением его плоскости перпендикулярно линиям магнитного поля. Величина магнитной связи зависит от размера витка и расположения относительно силовых линий магнитного поля. Магнитная связь равна нулю, когда плоскость витка располагается параллельно силовым линиям магнитного поля. Примером магнитной связи может быть виток, образованный экраном STP кабеля и корпусом активного сетевого оборудования, соединенного с экраном ЭС (при отсутствии в активном сетевом оборудовании гальванической развязки между защитной и информационной «землей»). Магнитная и электрическая связь в чистом виде существует редко. Электрические линии могут замыкаться на виток. В этом случае магнитная связь приобретает комбинированный магнитно-электрический характер.

Появление дифракционной связи возможно при наличии в экране ЭС отверстия. Данный вид связи осуществляется вследствие способности ЭМ полей огибать препятствия. Примером дифракционной связи может быть труба для ввода кабелей, которая приставлена к отверстию и соединена по периметру торца с экраном ЭС. Величина связи зависит от размеров отверстия и его формы.

Для снижения эффективности электрических связей необходимо:

- уменьшать токи в проводных коммуникациях, которые могут возбудить ЭС, например, фильтрацией;
- размещать вводы проводных коммуникаций в местах с минимальной напряженностью электрического поля собственных колебаний;
- размещать проводные коммуникации внутри ЭС перпендикулярно силовым линиям электрического поля собственных колебаний;
- использовать проводные коммуникации внутри ЭС минимально возможной длины, а также отличной от $\lambda_{h,emnp}/4$;
- экранировать проводные коммуникации, которые размещаются внутри ЭС (экран проводных коммуникаций со стороны вводов по периметру соединяется с экраном ЭС).

Для ЭС с размерами, удовлетворяющими условию $a > b > l$ ($l < \lambda_{h,emnp}$), вводы коммуникаций не рекомендуется размещать в центре со стороны стен $z=0$, $z=l$ при $x=a/2$, $y=b/2$. Места вводов коммуникаций со стороны стен $z=0$, $z=l$ рекомендуется выбирать в точках, наиболее приближенных к стенам $x=0$, $x=a$, $y=0$, $y=b$. Наилучшими с точки зрения минимальной электрической связи являются места вводов, которые располагаются со стороны стен $x=0$, $x=a$, $y=0$, $y=b$. Для ЭС с размерами, удовлетворяющими условию $a > l > b$ ($b < \lambda_{h,emnp}$), вводы коммуникаций не рекомендуется размещать в центре со стороны стен $y=0$, $y=b$ при $x=a/2$, $z=l/2$. Места вводов коммуникаций со стороны стен $y=0$, $y=b$ рекомендуется выбирать в точках, наиболее приближенных к стенам $x=0$, $x=a$, $z=0$, $z=l$. Наилучшими с точки зрения минимальной электрической связи являются места вводов, которые располагаются со стороны стенок $x=0$, $x=a$, $z=0$, $z=l$. Если размеры ЭС удовлетворяют условию $a \approx b \approx l$, места вводов коммуникаций со стороны любой из стен рекомендуется выбирать в точках, наиболее удаленных от центра.

Для предотвращения магнитных связей ЭС необходимо избегать витков, образованных вводимыми проводными коммуникациями и экраном ЭС. Например, использовать активное оборудование компьютерных сетей с гальванической развязкой между защитной и информационной «землей» (в случае отсутствия гальванической развязки в активном сетевом оборудовании виток можно исключить, например, применением неэкранированных коммутационных шнуров). Если образование витков исключить не удастся,

то необходимо:

- проводные коммуникации внутри ЭС размещать таким образом, чтобы плоскость витка располагалась параллельно силовым линиям магнитного поля собственных колебаний;
- экранировать проводные коммуникации, которые размещаются внутри ЭС (экран проводных коммуникаций со стороны вводов по периметру соединяется с экраном ЭС).

Литература: 1. Гитин В. Я. Основы общей теории цилиндрических волноводов и резонаторов. ЛЭИС, 1968.