Технические требования к ячейке

1. Трубы круглого сечения фирм „САНДVIК", Швеция
2. Труба марки 316L бесшовная из нержавеющей стали. Знак L — сталь низководородная.
3. Марки труб по рангу предпочтения — 316, 304L, 304
4. Трубы выбирать по размерам диаметров так, чтобы одна труба, вставленная в другую, образовали после полировки зазор 0,5 ÷ 0,7 мм
5. Размеры труб следующие:

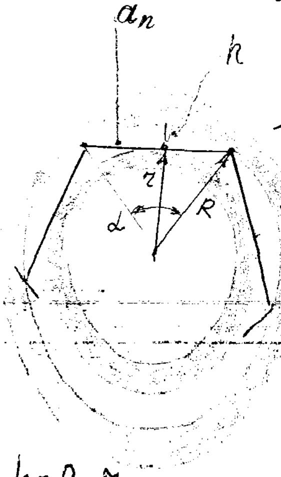
назначение трубы	Внешний диаметр	Внутрен диаметр	толщина стенки	Величина Зазора	средний диаметр зазора	Длина трубы
Внешняя труба	25,317	21,253	2,032	0,6615	20,5915	222,3 mm
Внутренняя труба	19,93	15,866	2,032			?

6. Полировать поверхности внутренней стенки наружной трубы и наружной стенки внутренней трубы. Класс полировки —
7. Средняя длина окружности зазора $\pi \cdot D = \pi \cdot 20,5915 = 64,69$ мм
8. Частота колебания звуковой волны в воде зазора
$$f_0 = \frac{c}{\lambda} = \frac{1500 \cdot 10^3}{64,69} = 23,2 \cdot 10^3 \text{ Гц}.$$
9. Длина внешней трубы должна быть кратной стоячей волне звука в стали: $\lambda_{ст} = \frac{c}{f_0} = \frac{5170 \cdot 10^3}{23,2 \cdot 10^3} = 222,94$ мм $= 22,3$ см
10. Длина внутренней трубы должна быть такой, чтобы её масса равнялась массе внешней трубы
11. Центровка осей внутренней и внешней труб делается 6-ю винтами, вкручиваемые в отверстия с резьбой М3.

Расчет ячейки Мейра

Электрический расчет

Исходные данные:



$h = R - r$
величина зазора

1. Две трубки, вставленные одна в другую, образуют рабочий зазор
2. Трубки опускаются в воду и зазор заполняется водой
3. На трубки подаётся через индуктор разность потенциалов большой амплитуды и очень короткой длительности
4. В зазоре в воде образуются микроудары в ~~момент~~ подачи электрических импульсов и возникают стоячие продольные звуковые волны
5. В зазоре должны уложится стоячие волны, кратные ~~кра~~ целому числу (по окружности и зазору)
6. По наружной окружности зазора располагаются точки отражения (узлы) стоячих волн
7. В середине между узлами располагается пучность.
8. Узловые точки в зазоре образуются благодаря отражению от границы раздела воды и железа, т.е. от менее плотной среды к более плотной (плотность воды $\rho = 1$, плотность железа $\rho = 7{,}9 \frac{кг}{м^3}$).
9. Коэфицент отражения звука на границе вода - железо равен 88%. Остальные 12% звука проходят в железо и образуют в нём стоячие волны.

Определение длины стоячей волны в зазоре $\lambda_{зв}$ и частоты продольной волны звука $f_{\lambda зв}$.

~~1. Стоячие волны~~

1. Определим длину продольной стоячей волны в зазоре для различных размеров ячеек при $\lambda_{зв} = D_{ср}$.

а) Для ... ячейка с размерами

Трубы из нержавеющей стали фирмы „SANDVIK"
Основная труба марки 316L. Знак L означает, что сталь низководородная.
Марки стали по рангу предпочтения:
316; 304L; 304.

Трубы для ячеек выбираются по размерам диаметров, так, чтобы одна труба, вставленная в другую, образовывали зазор 0,5 ÷ 0,7 мм

Труба марки 316L имеет следующие размеры:

внешняя труба: внешний диаметр — 25,317 мм
внутренний диаметр — 21,253 мм
толщина стенки — 2,032 мм

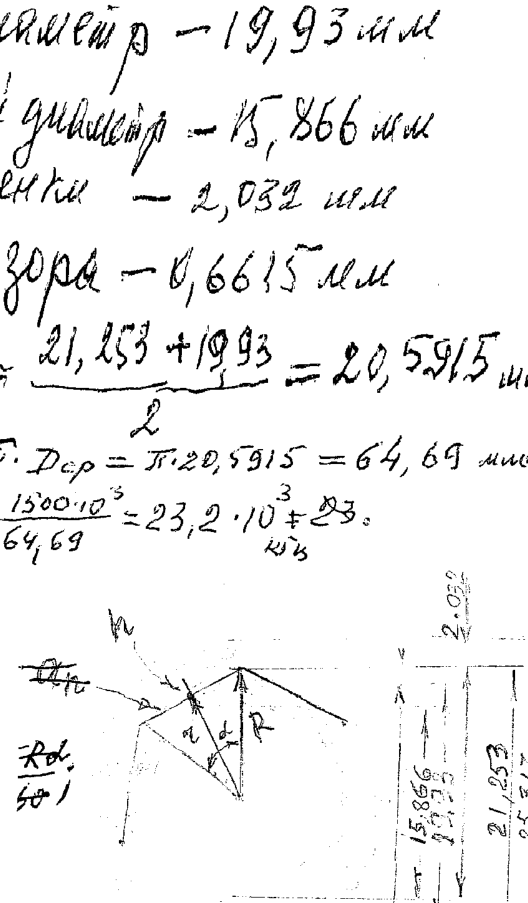
внутренняя труба внешний диаметр — 19,93 мм
внутренний диаметр — 15,866 мм
толщина стенки — 2,032 мм

Величина зазора — 0,6615 мм

Средний диаметр зазора $D_{ср} = \frac{21,253 + 19,93}{2} = 20,5915$ мм

Длина окружности зазора $\lambda_{зв} = \pi \cdot D_{ср} = \pi \cdot 20,5915 = 64,69$ мм
Частота стоячей волны в зазоре $f_0 = \frac{c}{D_{ср}} = \frac{1500 \cdot 10^3}{64,69} = 23,2 \cdot 10^3 \div 23$ кГц.

Условия возникновения стоячих волн в трубах.
На формирование стоячей волны в зазоре тратится около 88% энергии ~~кол~~ звука, около 12% энергии звука поглощается стенками труб и далее распространяется в теле труб, образуя стоячие волны и резонансные колебания труб.



$h = 0,66$ мм
$R = \frac{21,253}{2} = 10,6265$ мм
$r = \frac{19,93}{2} = 9,965$ мм

Скорость распространения звуковых волн в металле $c = 5170 \frac{м}{с} = 5170 \cdot 10^3 \frac{мм}{с}$

Описание параметров резонанса ячейки и их ориентировочный расчет

Колебательный контур с сосредоточенными параметрами C, L и R описывается формулой:

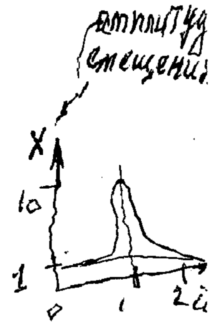
$$2\pi f_0 = \omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}$$

1 → L
→ 1/C
→ R
→ ЭДС

Колебательные системы, не имеющие сосредоточенные параметры (например, антенны, коаксиальные кабели), описываются стоячими волнами и энергетическими потерями. Для отдельного тела системы $\omega_0 = \sqrt{\frac{K}{m}}$ – собственные колебания без трения

$$2\pi f = \omega = \sqrt{\frac{K}{m} - \frac{r^2}{4m^2}}$$

$\omega = \frac{r}{2m}$ – колебания сил трения



Сила удара $F = -KX$, K – коэффициент упругости, $\frac{Н}{м}$

Если $\frac{r}{2m\cdot\omega} = 1$, то резонанс отсутствует.

Если $\frac{r}{2\cdot m\omega} = 0{,}05$, то амплитуда смещения будет в 10 раз больше

В этой формуле под символом М надо понимать всю ячейку Мейера, включая массы двух трубок и массу воды, находящейся в зазоре трубок и во внутренней полости внутренней трубы. Суммарная масса $M = m_{т1} + m_{т2} + m_{в.з} + m_{в.в}$

В суммарной массе М возникает изменение размеров и формы конструкции под действием внешней силы, так называемая деформация. Сила упругости возникает от смещения частиц массы направлена против внешней силы, вызываемой деформацией.

Зависимость силы упругости от величины деформации описывается законом Гука. Для каждой в отдельности массы сила упругости $F_{упр}$, возникающая при упругой деформации пропорциональна деформации каждой массы x, т.е.:

$F_{упр} = ma$; $a = \frac{KX}{m}$; $F_{упр} = -Kx$ „минус" означает, что направление

Чтобы выйти на понимание сути ~~резо~~ механического резонанса, надо помнить, что прямоугольные электрические импульсы создают ударные электрические заряды в теле металла и в воде, смещение частичек металла и воды. Величина их смещения зависит от квазиупругих сил. Частички тела от ударов получают ускорение. Это ускорение можно знать по формуле $F_{упр} = ma$: $a = -\frac{Kx}{m}$. Еще коэффициент K называют жесткостью упругого тела

$K = \frac{F_{упр}}{x}$, $\frac{H}{м}$; ещё название — коэффициент упругости колебательной системы

Неизвестны параметры затухания всей колебательной системы. Можно оценить параметры резонанса через обобщающий параметр — добротность

Добротность — это величина, показывающая во сколько раз упругая сила больше силы трения, вообще потерь в металле, в воде

$$Q = \frac{F_{упр}}{F_{тр}} = \frac{KB}{r \cdot \omega \cdot B} = \frac{K}{r\omega},$$ где B — амплитуда смещения

При затухающих колебания системы смещение x будет

$x = B e^{\delta t} \sin \omega t$, где $\delta = \frac{r}{2m}$ коэффициент затухания

$\omega_0 = 2\pi f_0 = 2\pi \cdot 26{,}9 \cdot 10^3$ Гц; Принять для расчета $Q = 10$

Для расчета взять затухания $\frac{r}{2m\omega_0} = 1;\ 0{,}5;\ 0{,}2;\ 0{,}1;\ 0{,}05$.

Расчитать резонансные кривые относительных значений амплитуд смещения $\frac{B}{F_{упр}/K}$

$\omega_0 = 26{,}9$ Гц — частота собственных колебаний без трения

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{K}{m}}$$

колебаний достаточно мала и, кроме того, достаточно малы силы трения) эти колебания также можно считать гармоническими. Период колебаний крутильного маятника:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{J}{D}}, \tag{3.6}$$

где J — момент инерции тела относительно оси вращения, D — *крутильная жесткость*, численно равная закручивающему моменту, необходимому для поворота тела на единицу угла.

Период колебаний физического маятника:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{J}{mga}}, \tag{3.7}$$

где J — момент инерции тела относительно оси, проходящей через точку подвеса, a — расстояние от центра тяжести до этой оси, m — масса тела, g — ускорение силы тяжести.

Величина $l = J/ma$ — называется *приведенной длиной физического маятника*, которая равна длине такого математического маятника, период колебаний которого совпадает с периодом колебаний данного физического маятника.

3. Свободные и вынужденные колебания

Колебания, которые будет совершать тело, если его каким-либо образом вывести из состояния равновесия и затем предоставить самому себе, называют *свободными* (или *собственными*) *колебаниями*.

Если собственные колебания тела вызваны наличием только квазиупругой силы, то они будут гармоническими.

Колебания тела, обусловленные одновременным действием квазиупругой силы и силы трения (которая пропорциональна мгновенной скорости: $F_{тр} = -rv$*), где v — скорость), называют *затухающими колебаниями*. При затухающих колебаниях смещение

$$x = Ae^{-\delta t}\sin(\omega t + \varphi). \tag{3.8}$$

Положительная величина A называется *начальной амплитудой*, δ — *коэффициентом затухания*, $Ae^{-\delta t}$ — *мгновенным значением амплитуды*, ω — *циклической частотой*; e — основание натуральных логарифмов;

$$\delta = r/2m \tag{3.9}$$

*) Знак минус означает, что векторы скорости и силы направлены противоположно.

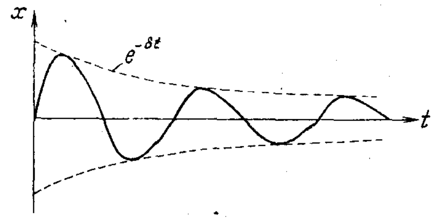


Рис. 25. Затухающие колебания.

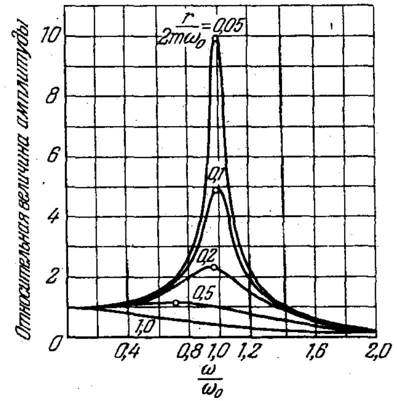


Рис. 26. Резонансные кривые при различных затуханиях. По оси ординат отложены относительные значения амплитуды смещения $\frac{B}{F_0/k}$, где B — амплитуда смещения, F_0/k — статическое смещение, равное тому смещению, которое вызвала бы постоянная сила с величиной, равной амплитуде действующей силы. По оси абсцисс отложены относительные изменения частоты ω/ω_0, где $\omega_0 = \sqrt{k/m}$ — частота собственных колебаний при отсутствии трения. Кривые относятся к различным значениям $r/2m\omega_0$. Кружочки указывают положение максимального значения амплитуды смещения.

и

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m} - \frac{r^2}{4m^2}}, \qquad (3.10)$$

где r — *коэффициент сопротивления*, m — масса тела, k — коэффициент квазиупругой силы.

Затухающие колебания изображаются кривой, показанной на рис. 25.

Колебания тела, вызванные воздействием на тело периодической внешней силы, называются *вынужденными*.

Амплитуда вынужденных колебаний резко возрастает, если период синусоидальной внешней силы приближается к периоду собственных колебаний тела (рис. 26). Это явление называют *резонансом*.

Если силы трения велики (большое затухание), то резонанс выражен слабо (см. рис. 26) или совсем не проявляется (например, при $r/2m\omega_0 > 1$).

Незатухающие колебания, которые поддерживаются воздействием внешних сил на систему в определенные моменты времени, определяемые самой системой, называются *автоколебаниями*.

При автоколебаниях сама система управляет внешним воздействием (например, маятник в часах).

4. Сложение гармонических колебаний

Когда тело совершает одновременно два (или более) колебательных движения, то результирующее смещение его для любого момента времени равно векторной сумме всех смещений.

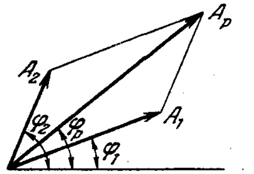


Рис. 27. Сложение амплитуд смещений гармонических колебаний с одинаковым направлением.

При сложении двух гармонических колебаний, имеющих одинаковые частоты и направления:

$$x_1 = A_1 \sin(\omega t + \varphi_1),$$
$$x_2 = A_2 \sin(\omega t + \varphi_2),$$

амплитуда результирующего смещения A_p находится по правилу параллелограмма, как показано на рис. 27. Результирующее смещение для этого случая:

$$x_p = A_p \sin(\omega t + \varphi_p),$$

где

$$A_p = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\cos(\varphi_2 - \varphi_1)},$$

$$\operatorname{tg}\varphi_p = \frac{A_1 \sin\varphi_1 + A_2 \sin\varphi_2}{A_1\cos\varphi_1 + A_2\cos\varphi_2}.$$

Когда тело совершает одновременно два гармонических колебания (с одинаковой частотой) во взаимно перпендикулярных направлениях, его смещения определяются уравнениями:

$$x = A_1 \sin\omega t,$$
$$y = A_2 \sin(\omega t + \varphi),$$

и траектория движения описывается уравнением эллипса (рис. 28)

$$\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} - \frac{2xy}{A_1A_2}\cos\varphi = \sin^2\varphi.$$

При $A_1 = A_2$ и $\varphi = 90°$ движение тела происходит по окружности радиуса A_1. При $\varphi = 0$ тело движется по прямой, проходящей через I и III четверти; при $\varphi = \pi$ тело движется по прямой, которая проходит через II и IV четверти.

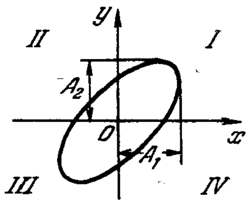


Рис. 28. Сложение взаимно перпендикулярных гармонических колебаний.

5. Волны

Волнами называют процесс распространения любого вида возмущений (т. е. изменений состояния).

Например, при ударе по одному концу металлического стержня на этом конце образуется местное сжатие, которое затем распространяется с определенной скоростью вдоль стержня.

Скорость перемещения возмущения в пространстве называется *скоростью волны*. Скорость механических волн зависит от свойств среды, а в некоторых случаях — и от частоты. Зависимость скорости распространения волны от частоты называют *дисперсией скорости*.

При распространении механических волн частицы среды совершают колебательные движения относительно своих положений равновесия. Скорость таких движений частиц среды называется *колебательной скоростью*.

Расчет основных параметров резонансной системы ячейки

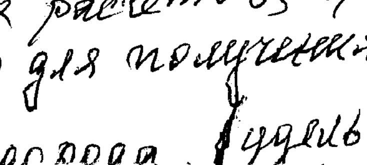
Оценим количественно коэффициент квазиупругих сил K, коэффициент затухания свободных колебаний $\delta = \frac{r}{2m}$, коэффициент сил трения (потерь) r и добротность резонансной системы Q.

Основное условие резонанса системы ячейки — потенциальная энергия квазиупругих сил должна превышать энергию потерь в системе, включая энергию нагрузки и потери в самой ~~потер~~ массе системы. Это условие превышения энергии квазиупругих сил над потерями ~~нужно~~ реализовывать добротностью колебательной системы на резонансной частоте системы ω_0. Если мы затрачиваем на поддержание незатухающих колебаний мощность 30 Вт, то, не делая строгих математических расчетов, практически можно утверждать, что для получения мощности 3 кВт от сжигания водорода (удельная теплота сгорания водорода $1{,}05 \cdot 10^7 \frac{Дж}{м^3}$) добротность системы должна быть 100. Это утверждение надо подтвердить строгим математическим расчетом.

1 Расчет квазиупругих сил системы

$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L}}$ — условие резонанса контура с сосредоточенными параметрами R, L, C

$\omega_0 = \sqrt{\frac{K}{m} - \frac{r^2}{4m^2}}$ — условие резонанса механического контура с распределенными параметрами, т. колебания затухающие



$F_{упр} = KX \quad X = A e^{-\delta t} \cdot \sin\omega t$

$P = E\frac{\Delta l}{l}$; Закон Гука, E — модуль упругости или это модуль Юнга, l — длина стержня, S — площадь сечения стержня

$P = \frac{F_{упр}}{S} = E\frac{\Delta l}{l}$ — величина [illegible]

Используя закон Гука сделаем расчет упругих сил, ~~коэфф~~ $F_{упр}$, коэффициент упругих сил K и эквивалентную массу колебательной системы m.

Модуль Юнга для стали $E = 20.000 \cdot 10^7 \frac{Н}{м^2}$. Он измеряет при относительном удлинении образца в 2 раза

$$F_{упр} = Kx = E\left(\frac{\Delta l}{l}\right)$$

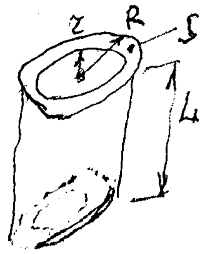
Сила текучести $F_{тек} \equiv P_{тек} = E\left(200\%\frac{\Delta l}{l}\right) = 2000 \cdot 10^8 \cdot \frac{200}{100} = 4000 \cdot 10^8 \frac{Н}{м^2}$

Сила упругости $F_{упр} \equiv P_{упр} = E\left(0{,}4\%\frac{\Delta l}{l}\right) = 800 \cdot 10^6 \frac{Н}{м^2} = 8 \cdot 10^8 \frac{Н}{м^2} \equiv 0{,}8 \frac{кГ}{м}$; $m = 0{,}8$ кГ

Известно, что $10^8 \frac{кГ}{м^2} = 9{,}8 \cdot 10^8 \frac{Н}{м^2}$, тогда $0{,}102 \frac{кГ}{м} = 1 \frac{Н}{м}$

можно утверждать $F = ma$; $a = -\frac{Kx}{m}$ и величина $\frac{кГ}{м}$ есть масса

Найдем массу из условия $\omega_0^2 = \frac{K}{m}$



1 см³ = 1 грамм воды

$$m = \frac{K}{\omega_0^2} = \frac{20.000 \cdot 10^7}{(2\pi \cdot 23{,}2)^2 \cdot 10^6} = 0{,}917 \text{ кГ}$$

масса m образуется из массы трубок и столба воды в объеме зазора $m_{воды} = V = SL = \pi \cdot (R^2 - r^2)L = 9{,}543$ грама

Это для зазора 0,66 мм

$m = \pi \cdot \left(\frac{21{,}253^2}{4} - \frac{19{,}93^2}{4}\right) \cdot 22{,}28 = 9{,}5293$ грамма.

Расчет показывает, что масса m и коэффициент упругости находятся в прямой зависимости. Имея конкретный образец ячейки, его над взвесить и, меняя величину упругой силы $F_{упр}$ настроится на резонансную частоту. $F_{упр}$ менять выбором $E\left(\frac{\Delta l}{l}\right)$.

Расчет сил трения, затухания

Найдем коэффициенты затухания $\delta = \frac{r}{2m}$ для воды, стали и всей колебательной системы.

r – амплитуда сил трения

$$Q = \frac{F_{упр}}{F_{тр}} = \frac{KX}{\delta \omega_c X} = \frac{K}{\delta \omega_0}$$

δ - коэффициент затухания колебаний
r - коэффициент сопротивления (потерь трения, силы трения

Условие резонанса $\frac{r_0}{2m\omega_0} = 1$ — нет резонанса, $\frac{r_0}{2m\omega_0} = 0{,}005$ — резонанс при $Q = 100$

(см. резонансные кривые при различных затуханиях стр 97 Справочник по элементарной физике. Н.И. Кошкин)

Общие силы трения, создающие затухание системы складываются из суммы потерь в воде и в стали труб

$$F_{тр} = r_в v_в + \delta_c v_c = \frac{r_в}{2m_в} v + \frac{r_c}{2m_в} v$$

индекс в — означает отношение к воде
индекс с — означает отношение к стали, к труба

$F_{тр} = r \cdot \omega_c X_0$ $\quad \omega_0 = 2\pi \cdot 23{,}2 \cdot 10^3 = 145{,}696 \cdot 10^3$

$K = 20{,}000 \cdot 10^7$

Материал	Вариант	m, кг	$2m\omega_0$	δ-коэф. затухания $\frac{r}{2m\omega_0} = 1$	$\frac{r}{2m\omega_0} = 0{,}005$	$F_{тр} = \delta\omega_0$	$Q = \frac{K}{\delta\omega_0}$
Сталь	1	0,97 кг	$282{,}66 \cdot 10^3$	$282{,}66 \cdot 10^3$	$1{,}413 \cdot 10^3$	$41{,}1824 \cdot 10^6$ $208{,}3 \cdot 10^6$	4,8 960
	2						
	3						
Вода в зазоре	1	$5 \cdot 10^{-3}$	1478	1478	7,39	$215{,}34 \cdot 10^6$ $1076{,}[illegible] \cdot 10^3$	135 [illegible]
	2						
	3						
Сталь трубок вместе с водой	1	0,975	$284{,}1 \cdot 10^3$	$284 \cdot 10^3$	$1{,}42 \cdot 10^3$	$41{,}3[illegible] \cdot 10^6$ $206{,}8 \cdot 10^6$	4,83 970
	2						

для воды 1 кг = 1000 мг = 1000 мл $\quad K = 20.000 \cdot 10^7 = 200.000 \cdot 10^6$

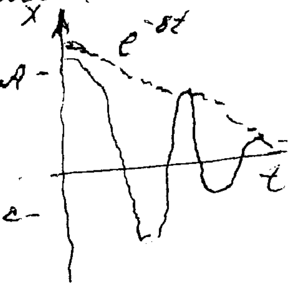
По варианту 1: 1. масса m = 5 гр вода, имеет малые потери на трение, добротность больше 100.
2. масса трубок большая m = 0,9 кг и потери трения (затухания) на три порядка больше чем в воде зазора. Но эти потери все равно меньше квазиупругих сил (модуля Юнга). Можно надеяться, что на частоте резонанса квазиупругие

см. стр. 97 справочник по элементарной физике Н.И. Кошкин, М.Г. Ширкевич

Расчет параметров электрического резонанса.

Ячейка, залитая водой, подсоединяется к генератору прямоугольных импульсов через индуктор, индуктивности которого совместно с емкостью зазора ячейки образуют последовательный колебательный контур. Основное условие: электрический резонанс должен быть на частоте механического резонанса. Расчет механического резонанса показывает, что добротность зазора будет более 100.

Расчет должен показать, какие факторы характеризуют скорость затухания электрических колебаний.



~~$x = A\sin\omega t$~~ $x = Ae^{-\delta t}\sin\omega t$

стр 276

δ = коэффициент затухания;

$\delta = \frac{R}{2L} = \frac{R}{1/C} = RC$ справедливо для ω_0 на частоте резонанса.

$Q = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}}$; $Q = \frac{\omega_0 L}{R}$ ≠; $\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$ — волновое активное сопротивление при резонансе

Собственные колебания контура без затухания:

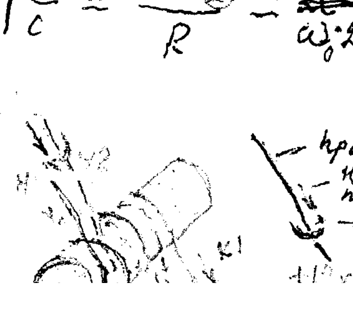
$\omega_0 = 2\pi f_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$; $\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$; $1 = \frac{1}{LC\omega^2}$

Колебания с учетом активных потерь в контуре L

$\omega_0^2 = \frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}$; $\omega_0^2 = \frac{1}{LC} - R^2C^2 4$

При условии $\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C}$ коэффициент затухания $\delta = \frac{R}{2L} = R2\cdot C$.

стр 273 Итак, $Q = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{\omega_0 2L}{R} = \frac{1}{\omega_0 2 C R}$;



— провод,
— направление движения тока в проводе,
— направление силовых магнитных линий.

$T = \frac{1}{f}$

Исходные данные для расчета электрического резонанса:

1. Активное (омическое) сопротивление контура считаем 300 кОм. Это потери из-за проводимости воды зазоре, заполненном водой. Остальные потери (катушка индуктора и др.) ничтожно малы.
2. Резонансная частота контура $\omega_0 = 2\pi f = 2\pi \cdot 23{,}2 \cdot 10^3 = 145{,}8 \cdot 10^3$
3. Емкость зазора C воды, исходя из конструкции ячейки $C_{1\phi} = \dfrac{2\pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot L}{\ln\frac{R}{r}}$ или $C_{n\phi} = \dfrac{0{,}241 \cdot \varepsilon \cdot L(м)}{\lg\frac{R}{r}}$

стр 119 $\varepsilon = 81$ для воды; $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12} \frac{Ф}{м}$ в системе СИ

Длина зазора $L = 0{,}2228$ м

$$C = \frac{2\pi \cdot 81 \cdot 8{,}85 \cdot 10^{-12} \cdot 0{,}2228}{\ln\frac{R}{r} = \ln\frac{21{,}253}{19{,}93}} = 15600{,}6 \cdot 10^{-12} Ф = 15{,}6\ нФ = 0{,}0156\ мкФ$$

4. Индуктивность, необходимая для получения резонанса при $C = 15600$ пФ, $\omega_0 = 2\pi f_0 = 2\pi \cdot 23{,}2 \cdot 10^3 = 145{,}696 \cdot 10^3$ Гц

$$\omega_0 = 2\pi \cdot f_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}};\quad L = \frac{1}{(2\pi \cdot f_0)^2 \cdot C}$$

$$L = \frac{1}{(2\pi)^2 \cdot f_0^2 \cdot C} = \frac{1}{(2\pi)^2 \cdot 23{,}2^2 \cdot 10^6 \cdot 15600 \cdot 10^{-12}} = 0{,}003\ Гн = 3\ мГн.$$

5. В электрическую колебательную систему вносятся потери за счет проводимости воды в зазоре. Сопротивление воды (питьевой) около 300 кОм и это сопротивление шунтирует емкостное сопротивление зазора. Считаем, что в трансформаторе (индукторе) мало и не учитываем.

Волновое сопротивление при резонансе:

$$\rho = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{0{,}003}{15600 \cdot 10^{-12}}} = 0{,}438 \cdot 10^3\ Ом$$

При допущенных нами потерях добротность будет:

$$Q = \frac{R}{\rho} = \frac{300 \cdot 10^3}{0{,}438 \cdot 10^3} = 684.$$

6. [illegible] изготовленных их

— на магнитопроводе стержневом ферритовом от строчника лампового телевизора 90ЛЦ2.

6.1. На ферритовом стержне: диаметр 10 мм, длина 200 мм, $\mu = 600$, число витков 100×2 бифилярно намотанных в один слой. ($\mu_0 = 1{,}26\cdot10^{-6}\frac{Гн}{м}$)

стр159

$$L = \frac{\mu\mu_0 S\cdot N^2}{l_{длина\ стерж}} = \frac{600\cdot1{,}26\cdot10^{-6}\cdot(\pi\cdot5\cdot10^{-3})^2\cdot100^2}{0{,}2\ метра} = 2968\cdot10^{-6} = 2{,}968\cdot10^{-3}\ Гн$$

Эта индуктивность соответствует резонансу ~3 мГн

6.2. Посчитаем L на сердечнике от ТВС-90ЛЦ5: 3 катушки намотаны на три стороны квадратного магнитопровода: $\mu = 2000$, число витков $N = 100$ бифилярно

$L_к$ — индуктивность катушек без магнитопровода

стр20 $L = L_к\cdot\mu$ рассчитаем по приближенной формуле.

$$L_к = \pi\cdot N^2\frac{D_1^2}{D} = \pi\cdot100^2\frac{1{,}5^2}{5} = \frac{\pi\cdot100^2\cdot1{,}5^2}{5} = 1{,}4\cdot10^4 =$$

(нГн)

D_1 диаметр намотки, см

D — диаметр внутреннего кольца намотки, см

$1\ Гн = 10^9\ см$

$= 14000\ см = 14\ мГн$

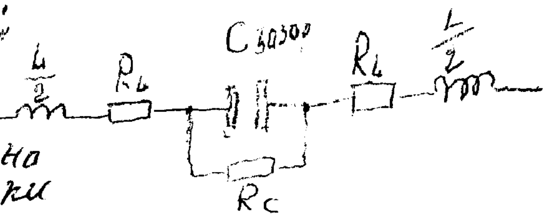
$L = \mu L_к = 2000\cdot14 = 28000\ мГн = 2{,}8\cdot10^{-9}\ Гн = \underline{28\ мГн}$

Эта индуктивность не соответствует резонансу в 10 раз. Для резонанса на этом магнитопроводе надо мотать примерно в 3 раза меньше витков, т.е. около 30 вит.

Рассчитаем величину потерь, чтобы добротность контура колебательной системы была не менее 100.

Частота свободных колебаний колебательной системы и потери оцениваются коэффициентом

Эквивалентная схема колебательной системы состоит из следующих составляющих:



$L = \frac{L}{2} + \frac{L}{2} = 3\cdot10^{-3}$ Гн половинки индуктивности образуют бифилярно намотанные витки

$C_з = 15.600\cdot10^{-12}$ Ф вода в зазоре не должна содержать соли, чтобы R_c не шунтировало электр. емкость зазора

$R = 2R_L + \frac{1}{R_c}$ индуктивности мотать толстым проводом (0,8 ÷ 1,2 толщ.
$R_c \to \infty$

Волновое сопротивление контура $\rho = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{3\cdot10^{-3}}{15600\cdot10^{-12}}} = 438,5$ Ом

Сопротивления потерь контура $R = 2R + \frac{1}{R_c}$ должно быть наименьшим.

Коэффициентом затухания является $\alpha = \frac{R}{2L} = R\,2C$

На резонансной частоте справедливо:

Если $\frac{R}{2L\omega_0} > 1 \div 0,5$ резонанса нет. $\frac{R}{2L\omega_0} = 2RC\omega_0$

Если $\frac{R}{2L\omega_0}$ меньше 0,5 резонанс есть.

Резонансные кривые при различных значениях затухания показывают, что для получения резонанса с Q=100 нужно иметь $\frac{R}{2L\omega_0} = 0,005$

для Q=100 $R = 0,005\cdot2\cdot L\cdot\omega_0 = 0,005\cdot2\cdot3\cdot10^{-3}\cdot2\pi\cdot232\cdot10^{3} = 4,38$ Ом.

$$Q = \frac{1}{R}\cdot\rho = \frac{438,5}{4,3} \approx 100$$

Чтобы наступил (получился) электрический резонанс надо его поставить в режиму (последовательный колебательный контур) вынужденных электрических колебаний, когда подаваемый сигнал совпадает с частотой резонанса и предпочтительно конструировать контур с большей индуктивностью и меньшей величиной емкости зазора с водой. Это компромисс между шириной зазора и производительностью газа, надо делать толстыми проводами, применять намотку индуктивности с большой магнитной прони~~ние~~ магнитопроводы с большой коэрцитивной силой.
цаемостью и большой коэрцитивной в контуре проявлялись

Чтобы резонансные явления в контуре проявлялись сильнее надо, чтобы резонансные частоты механических ... четко совпадали между собой