

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИСПЕРСИИ ИМПЕДАНСА ЖИВОЙ ТКАНИ

Цель работы: Установить зависимость импеданса ткани от частоты переменного тока и оценить коэффициент поляризации ткани

Принадлежности: 1. Звуковой генератор; 2. Осциллограф; 3. Электроды

Теоретическая часть. Переменным напряжением называется напряжение, меняющееся по закону:

$$U = U_0 \cos(\omega t),$$

где U_0 – амплитуда напряжения, $\omega = 2\pi\nu$ – циклическая частота, ν – частота.

Равным образом, переменный ток – это ток, меняющийся согласно уравнению:

$$I = I_0 \cos(\omega t),$$

где I_0 – амплитуда силы тока.

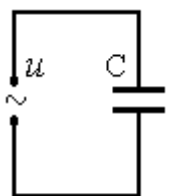
Полное сопротивление (импеданс) по переменному току есть величина

$$|Z| = U_0 / I_0$$

Сопротивление живых тканей (импеданс) имеет две составляющие: активное (резистанс) и емкостное (реактанс) сопротивления. Первое обусловлено различной электропроводностью тканей постоянному току. Наилучшую электропроводность имеют спинномозговая жидкость и сыворотка крови, плохими проводниками являются роговой слой кожи, связки и сухожилия и особенно костная ткань без надкостницы. Электропроводность кожи зависит от толщины и состояния ее поверхностного слоя.

Реактанс обусловлен, в основном, клеточными и субклеточными мембранами, представляющими фактически мельчайшие конденсаторы, емкость которых зависит от их геометрических размеров и состояния среды. Импеданс и его составляющие, а также дисперсия (зависимость его от частоты) представляют большой интерес для медицины и биологии. Установлено, что отношение импеданса на низкой частоте $|Z_0|$ к импедансу на высокой частоте $|Z_\infty|$ отражает уровни метаболической активности живой ткани. Это отношение называется коэффициентом поляризации.

Резистанс слабо зависит от частоты напряжения – при увеличении частоты она уменьшается. Реактанс же обнаруживает сильную зависимость от частоты. С этой же целью рассмотрим конденсатор постоянной емкости C , подключенным к источнику переменного напряжения. $U = U_0 \cos \omega t$. Так как напряжение меняется по гармоническому закону, по такому же закону будет меняться заряд Q на обкладках конденсатора, т.к. $q = CU$, т.е.



$$q = CU_0 \cos \omega t$$

Но изменение заряда на обкладках конденсатора вызвано током I .

Так как $I = \dot{q}$, т.е. равен производной от заряда по времени, то

$$I = \dot{q} = -CU_0 \omega \sin \omega t = -I_0 \sin \omega t = I_0 \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) \quad (1)$$

Таким образом, конденсатор проводит через переменный ток, который опережает напряжение по фазе на $\frac{\pi}{2}$. Из уравнения (1)

следует, что $I_0 = CU_0 \omega$.

Величина $X_c = \frac{U_0}{I_0} = \frac{1}{\omega C}$ называется емкостным сопротивлением. Таким образом, емкостное

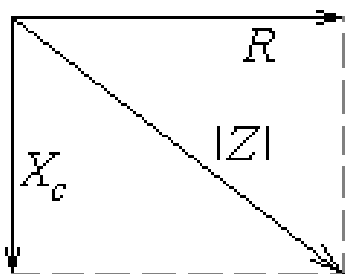


рис. 1

сопротивление уменьшается обратно пропорционально частоте сигнала.

Чтобы подчеркнуть, что между током и напряжением на конденсаторе существует разность фаз $\frac{\pi}{2}$, емкостное сопротивление X_c изображают на векторной диаграмме вектором, перпендикулярным вектору активного сопротивления R (рис. 1).

В итоге, если конденсатор и сопротивление R соединить последовательно, то импеданс такой цепи будет равен векторной сумме исходных сопротивлений;

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X_c^2} = \sqrt{R^2 + \frac{1}{(\omega c)^2}} \quad (2)$$

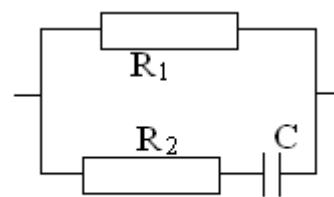


рис. 2

Из уравнения 2 следует, что с увеличением частоты ω импеданс уменьшается. Рассмотренная схема последовательного включения активного сопротивления R и емкостного X_c имеет расхождения с опытом. Поэтому для моделирования живых тканей часто используют другую схему (Рис 2).

Цель настоящей работы – экспериментальное определение зависимости импеданса от частоты и определение коэффициента поляризации.

Для нахождения импеданса тканей $|Z|$ используется схема, показанная на рисунке 3.

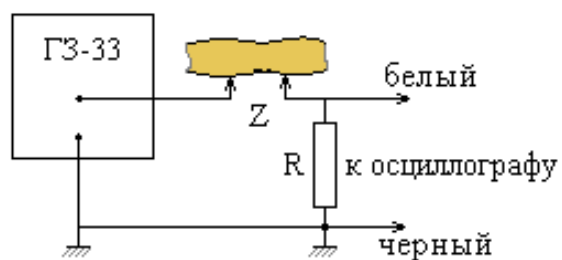


рис.3

Генератор ГЗ-33 вырабатывает переменное напряжение ϵ , частота которого может меняться. Последовательно к клеммам генератора подключены 2 сопротивления – известное R и исследуемое Z , представляющее импеданс тканей предплечья.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ (П.П. 1-3 ВЫПОЛНЯЕТ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ)

1. Включить в сеть генератор ГЗ-33 и установить регулировки:

Расстройка-0

Внутренняя нагрузка – вкл

Пределы ослабл 30 дБ

Шкала прибора $\times 1$

Выходн. сопр 50 Ом

2. Ручкой 3 («Регулировка выходного напряжения») установить выходное напряжение 2 В. Учтите, что шкала прибора проградуирована в эффективных значениях напряжения, поэтому амплитудное значение напряжения ε в формуле (4) будет в $\sqrt{2}$ раз больше, т.е. 2,8 В.

3. Включить осциллограф и установить на нем регулировки:

1. СИНХРОНИЗАЦИЯ(2): ВНУТР. II;

2. переключатель в положение $\sim$.

3. чувствительность S канала II – 0,05 В/дел

4. частота развертки (время/дел) - 2 мкс/дел.

4. Измерение импеданса (производятся вдвоем.)

1. Проверьте схему, показанную на рисунке 3.

2. Вращая ручку изменения частоты «частота» и пользуясь переключателям «множитель» последовательно установите частоту сигнала согласно таблице 1.

3. Наложите электроды, предварительно смоченные раствором NaCl, на предплечье испытуемого.

4. Для заданной частоты измерьте амплитуду сигнала U_R при отключенной развертке. Для этого нажмите кнопку «X» на осциллографе. На экране появится вертикальная черта, длина l которой будет определять удвоенную амплитуду сигнала. (Перемещения сигнала по вертикали и горизонтали задаются регулировками $\leftrightarrow$ и $\updownarrow$). Длина l должна составлять не менее 0,5 большого деления экрана осциллографа. Внесите длину l (в больших делениях) в табл. 1.

Величина амплитуды выражается в вольтах и определяется формулой:

$$U_R = \frac{l \cdot S}{2}, \quad (5)$$

где l - длина отрезка в больших делениях,

S - коэффициент усиления (определяется положением ручки «усиление», $[S]=V/\text{дел}$).

Например: $l = 2,5$ делений, тогда для $S = 0,2$ В/дел $U_R = \frac{2,5 \cdot 0,2}{2} = 0,25$ В

Внесите значение U_R в табл.1.

5. По формуле (4) рассчитайте импеданс $|Z|$. Учтите, что значение $R = 68$ Ом. Полученное значение $|Z|$ занесите в таблицу 1..

6. Прodelайте эти измерения для других частот. **При изменении частоты сигнала электроды с предплечья следует снять!** Для изменения частоты переведите переключатель «множитель» на одно деление вправо, ручкой «частота» установите необходимую частоту. Снимите показания и занесите их в таблицу. Если сигнал будет слишком большим – измените коэффициент усиления осциллографа S .

Таблица 1

№	ν ; (Гц)	U_H			R ; (Ом)	$I_H = \frac{U_H}{R}$; (А)	U_{BX} (В)	$Z = \frac{U_{BX}}{I_H}$; (Ом)	$K = \frac{Z_1}{Z_6}$	$Lg \nu$	$Lg Z$
		дел	S ; (В/дел)	(В)							
1.							3				
2.											
3.											
4.											
5.											
6.											

7. Для последней частоты отожмите кнопку «х» на осциллографе и наблюдайте форму сигнала. Подобрать частоту развертки (регулировка «время/деление»), убедитесь, что сигнал является гармоническим.

8. Рассчитайте $lg \nu$ и рассчитанные значения занесите в табл.1. Постройте график зависимости $|Z|$ от $lg \nu$.

9. Определите коэффициент поляризации $K = \left| \frac{Z_0}{Z_\infty} \right|$, где индекс 0 относится к минимальной частоте, а индекс ∞ - к максимальной частоте. Занесите результат в таблицу 1.

Контрольные вопросы

1. Что такое импеданс ткани?
2. Чем обусловлены емкостные свойства тканей?
3. Чем обусловлены резистивные свойства тканей?
4. Изобразите график зависимости активного и емкостного сопротивления от частоты переменного напряжения.

5. На рисунке приведены три графика зависимости импеданса от частоты для трех видов тканей. Поставьте в соответствие каждому графику вид ткани: 1. живая ткань; 2. ткань, нагретая до 50°C ; 3. мертвая ткань:

