

Practica N° 1

Manejo y medidas con multímetro

En esta practica se intenta conocer mejor el multímetro o polímetro, aplicándolo a varias medidas sobre un equipo básico de electricidad

Leyes físicas que intervienen

Como ley fundamental del olímetro es la Ley Ohm, aunque después tenga circuitos auxiliares.

El multímetro se basa en un galvanómetro, el cual posee dos propiedades para su uso como amperímetro y voltímetro, ellos son, la resistencia del galvanómetro R_g y la intensidad de corriente necesaria para producir una desviación a fondo de escala.

Para construir un amperímetro mediante un galvanómetro se le coloca una resistencia, resistencia shunt, en paralelo con el galvanómetro.

Para el voltímetro es muy parecido ya que la resistencia shunt se coloca en serie con el galvanómetro.

Procedimiento experimental

Antes de empezar hay que verificar el estado de la batería del multímetro. Una vez verificada la batería se revisa el margen de medida por si no es el adecuado para las mediciones que se van a hacer.

Medida de tensiones continuas

Una vez ajustado el multímetro en los márgenes apropiados se realizan las mediciones exigidas por el guión:

Nº de medidas	1	2	3	4	5
V	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} = 6,8$$

Valor promedio:

Desviación estándar:

Desviación de cada medida:

$$D1=x1-\bar{x} = 0 ; d2=x2-\bar{x}=0 ; d3=x3-\bar{x}=0 ; d4=X4-\bar{X}=0 ; d5=x5-\bar{x}=0$$

Desviación estándar:

Error probable:

Expresión del resultado:

$$6,8 \pm 0 \text{ V}$$

Medida de tensiones alternas

Ajustamos de nuevo el multímetro para las nuevas condiciones de trabajo:

Nº de medidas	1	2	3	4	5
V	219	219	219	218	219

Valor promedio:

Desviación estándar:

Desviación de cada medida:

$$D1=x1-x = 0.2 ; d2=x2-x=0.2 ; d3=x3-x=0.2 ; d4=X4-X=-0.8 ; d5=x5-x=0.2$$

Desviación estándar:

Error probable:

Expresión del resultado:

$$218.8 \pm 0.3 \text{ V}$$

Medida de resistencias

Volvemos a ajustar el multímetro al margen de medida adecuado, realizando estas nuevas medidas, una resistencia de 10 :

Nº de medidas	1	2	3	4	5
Ohmios	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2

Valor promedio:

Desviación estándar:

Desviación de cada medida:

$$D1=x1-x =0 ; d2=x2-x=0 ; d3=x3-x=0 ; d4=X4-X=0 ; d5=x5-x=0$$

Desviación estándar:

Error probable:

Expresión del resultado:

$$10.2 \pm 0$$

Se reajusta el multímetro otra vez para realizar las medidas a una resistencia de 1K :

Nº de medidas	1	2	3	4	5
Ohmios	992	992	992	992	992

Valor promedio:

Desviación estándar:

Desviación de cada medida:

$$D1=x1-x=0 ; d2=x2-x=0 ; d3=x3-x=0 ; d4=X4-X=0 ; d5=x5-x=0$$

Desviación estándar:

Error probable:

Expresión del resultado:

$$992 \pm 0$$

Conectamos las resistencias de antes (10 y 1K) en serie y medimos:

Nº de medidas	1	2	3	4	5
Ohmios	1002	1002	1002	1002	1002

Valor promedio:

Desviación estándar:

Desviación de cada medida:

$$D1=x1-x=0 ; d2=x2-x=0 ; d3=x3-x=0 ; d4=X4-X=0 ; d5=x5-x=0$$

Desviación estándar:

Error probable:

Expresión del resultado:

$$1002 \pm 0$$

De nuevo conectamos las resistencias en serie y ajustamos el multímetro para las nuevas mediciones:

Nº de medidas	1	2	3	4	5
Ohmios	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1

Valor promedio:

Desviación estándar:

Desviación de cada medida:

$$D1=x1-x=0 ; d2=x2-x=0 ; d3=x3-x=0 ; d4=X4-X=0 ; d5=x5-x=0$$

Desviación estándar:

Error probable:

Expresión del resultado:

$$10.1 \pm 0$$

Practica N° 2

Capacidad de esferas metálicas

Medida de la capacidad de las esferas metálicas a partir de los valores de carga y potencial

Leyes físicas que intervienen

La capacidad de una esfera viene determinada por:

$$\text{Siendo } \epsilon = 8.86 \cdot 10^{-12} \text{ As/Vm}$$

Cuando dos condensadores se disponen en paralelo, existe una redistribución de la carga almacenada por cada uno de ellos, de forma que el condensador de mayor capacidad almacena mas carga que el de menor capacidad.

Se supone entonces una esfera metálica cargada, que en un determinado momento entra en contacto con un condensador de mucha mayor capacidad, e inicialmente descargado. Si se conoce el voltaje o diferencia de potencial U_1 medido en este condensador así cargado, se puede calcular su correspondiente carga Q a partir de:

si

donde:

C_{co} = Capacidad de la esfera metálica

C_{ca} = Capacidad de un condensador dispuesto en paralelo con la esfera

U = Voltaje medido

V = Factor de amplificación.

Por otra parte, la carga Q de la esfera conductora que ha sido transferida al condensador es:

$$Q = C_{co}U_2$$

Por lo que, a partir de las ecuaciones anteriores:

Procedimiento experimental

Se enciende la fuente y se ajusta para el valor que debemos analizar. Primero se carga la esfera de carga durante uno 10 segundos. Seguidamente, sin apagar la fuente de alimentación tocamos la otra esfera. Una vez cargada la otra esfera apagamos la fuente y medimos el potencial de la esfera de ultima instancia tocándola con el cable BNC que a su vez carga un condensador, que es de donde adquiriremos los datos del potencial de carga.

Primero será con la esfera de 120 mm de diámetro:

U2	1000	2000	3000	4000	5000	6000
U1	0,68	1,39	2,16	2,92	3,42	4,39

U2	7000	8000	9000
U1	5,04	5,86	6,18

Ahora seguimos con la esfera de 40 mm de diámetro:

U2	1000	2000	3000	4000	5000	6000
U1	0,25	0,49	0,68	0,92	1,13	1,35

U2	7000	8000	9000
U1	1,53	1,71	1,84

Y por ultimo la esfera de 20 mm de diámetro:

U2	1000	2000	3000	4000	5000	6000
U1	0,168	0,27	0,411	0,526	0,675	0,796

U2	7000	8000	9000
U1	1,025	1,103	1,236

Practica N° 3

Estudio del transformador

Analizaremos los valores de la tensión y de la corriente que se inducen en el secundario de un transformador.

Leyes físicas que intervienen

Un transformador es un dispositivo que permite variar las tensiones y corrientes ***alternas sin pérdida apreciable de potencia. Su funcionamiento se basa en el hecho de que una corriente alterna en un circuito inducirá una fuerza electromotriz alterna en otro circuito próximo, debido a la inducción mutua entre ambos. Un transformador esta compuesto por dos bobinas arrolladas sobre un núcleo común de hierro. La bobina que se conecta a la fuente de entrada se llama PRIMARIO y la de salida SECUNDARIO. El núcleo de hierro esta formado por laminas para reducir las corrientes de Foucault y las perdidas consiguientes de energía. Existen otras perdidas de potencia debido al calentamiento Joule de las pequeñas resistencias formadas por ambos arrollamientos y a la histéresis que se presenta en el núcleo de hierro... Despreciando***

estas pérdidas y considerando el transformador como ideal... el núcleo de hierro sirve para conseguir que el flujo del campo magnético creado por la corriente del primario, atravesase en su totalidad el secundario. De acuerdo con la Ley de Lenz, la f.e.m. inducida, V_p , en el primario es:

$$V_p = -n_p \cdot d\phi/dt$$

Donde n_p es el número de espiras del primario y ϕ es el flujo magnético. Igualmente, en el secundario:

$$V_s = -n_s \cdot d\phi/dt$$

Por tanto, dado que el flujo magnético es el mismo en el primario y en el secundario, dividiendo ambas ecuaciones se obtiene que:

$$V_p/V_s = n_p/n_s$$

Dado que se puede suponer que la potencia es la misma en el primario y en el secundario, se obtiene:

$$V_p \cdot I_p = V_s \cdot I_s$$

Por tanto

$$I_s/I_p = V_p/V_s = n_p/n_s$$

Procedimiento experimental

Variación de la tensión del secundario, V_s , frente a la del primario V_p .

Una vez montado el circuito de la figura nos piden realizar las medidas oportunas al primario y al secundario variando la tensión de la fuente.

V_i	2	4	6	8	10	12	14
V_s	0,54	1,12	1,7	2,26	2,8	3,32	3,82
V_p	1,35	2,78	4,19	5,56	6,89	8,18	9,43

Gráfica con las parejas de valores (V_p, V_s).

Variación de, V_s frente al número de espiras del primario n_p

Situamos el voltaje de la fuente a 4V, y regulamos con el reostato la tensión en el primario hasta obtener una $V_p = 4V$ con 140 en el secundario, anotamos valores de V_p y V_s , variando las espiras del primario

n_p	140	126	112	98	84
V_p	4	4	4	4	4
V_s	3,26	3,42	3,85	4,42	5,13

n_p	70	42	28
V_p	4	3,74	3,26
V_s	6,06	9,74	11,6

Hubo un pequeño percance cuando conectábamos 28 espiras en el primario, saltaba la fuente a los pocos

segundos de conectarla a la red. Pero con tiempo suficiente para realizar las medidas oportunas.

Gráfica con la pareja de valores ($1/n_p, V_s$)

Variación de V_s frente al número de espiras del secundario n_s

Con $V_p = 4V$ y 140 espiras en el primario nos piden anotar los valores de V_s , variando el número de espiras en el secundario.

n_s	140	126	112	98	84
V_p	4	4	4	4	4
V_s	3,26	2,92	2,61	2,25	1,9

n_s	70	42	28
V_p	4	4	4
V_s	1,59	0,93	0,58

Gráfica con las parejas de valores (n_s, V_s)

Variación de I_s frente a I_p

Ahora que tenemos que realizar medidas de corrientes hay que ajustar el polímetro y colocar el polímetro en la parte que queramos medir primero, en serie con el primario o con el secundario. En el primario se colocaran 140 espiras y en el secundario 84, después con el reostato al máximo se toman las medidas de I_p e I_s y reduciendo la resistencia del reostato y repitiendo la experiencia hasta 10 veces.

	R1	R2	R3	R4	R5
I_p (mA)	81,4	85,5	91,5	98,3	104,2
I_s (mA)	39,1	41,1	44,3	47,8	50,9

	R6	R7	R8	R9	R10
I_p (mA)	117,9	135,3	162,4	182,6	208,2
I_s (mA)	53	67,1	80,6	90,6	102,7

Gráfica con la pareja de valores (I_p, I_s)

Variación de I_s frente a n_p

Ahora con la fuente a 2V con 140 espiras en el primario y el secundario del transformador, ajustamos la corriente del primario a 500mA con aumentando o disminuyendo el reostato. Ahora se cogerán los valores de I_s variando el número de espiras del primario, pero debemos mantener los 500mA de la corriente del primario ajustándola con el reostato.

n_p	140	126	112	98	84
I_p (mA)	500	500	500	500	500
I_s (mA)	294	274	252	228	202

n_p	70	56	42	28	14
I_p (mA)	500	500	500	500	500

Is (mA)	179	156	138	138	182
---------	-----	-----	-----	-----	-----

Gráfica con los valores (np,Is)

Variación de Is frente a ns

Ajustamos la fuente a 2V y de nuevo la Ip a 500mA y con 70 espiras en el primario y 14 en el secundario, se tomaran los valores de Is variando el numero de espiras en el secundario a cada medida.

ns	14	28	42	56	70
Is (mA)	230	402	405	380	328
Ip (mA)	500	500	500	500	500

ns	84	98	112	126
Is (mA)	287	251	220	200
Ip (mA)	500	500	500	500

Gráfica con la pareja de valores (1/ns,Vs)

Practica N° 4

CAMPO MAGNETICO EN EL EXTERIOR DE UN CONDUCTOR RECTILINEO

Estudiar la dependencia entre la intensidad por un conductor rectilíneo y el campo magnético creado por ella. Conocer la intensidad del campo magnético en función de la distancia al conductor

Leyes que intervienen

La expresión del campo magnético elemental dB creado por un conductor de longitud dl, por el que circula una corriente I, en un punto situado a una distancia r viene dado por:

Mas conveniente es escribir esta expresión en función de θ en lugar de dl :

Para sumar los campos elementales de todos los elementos de corriente necesitamos relacionar las variables θ , r y x. Lo mas sencillo es expresar x e y en función de θ . Así tenemos:

$$x = y \tan \theta$$

por tanto:

En donde hemos obtenido en cuenta que $\sec \theta = r/y$. Sustituyendo esta expresión en lugar de dx, obtenemos:

Calculando el campo total

Si el conductor es muy largo $\theta = 90^\circ$

Procedimiento experimental

Determinación del campo magnético de un conductor lineal en función de la intensidad de corriente.

Una vez montado lo que se exige en el guión. El transformador se sitúa en el máximo de espiras(140 aprox.). Y la sonda del teslámetro a unos 0,5 cm del conductor. Variamos la intensidad de 0 a 50 mA en intervalos de 5 mA, anotamos los valores que mide el teslámetro:

I(mA)	0	5	10	15	20
B (mT)	0	0,18	0,38	0,57	0,76

I(mA)	25	30	35	40	45	50
B (mT)	0,96	1,15	1,35	1,54	1,73	1,93

Determinación del campo magnético de un conductor lineal en función de la distancia

Fijando la intensidad a 25 mA se realizarán medidas del campo magnético a diferentes distancias, que estarán comprendidas entre 0,5 y 5 cm, las medidas se realizarán en intervalos de 0,5 cm.

r (cm)	0,5	1	1,5	2	2,5
B (mT)	0,97	0,45	0,44	0,33	0,27

r (cm)	3	3,5	4	4,5	5
B (mT)	0,22	0,18	0,16	0,12	0,11

Determinación del campo magnético de dos conductores paralelos, en los cuales la corriente fluye en el mismo sentido, en función de la distancia

Fijando la intensidad a 25 mA se realizarán medidas del campo magnético a diferentes distancias, que estarán comprendidas entre -2 y 5 cm(el eje de coordenadas estará en el conductor mas hacia afuera), las medidas se realizarán en intervalos de 0,5 cm.

r (cm)	-2	-1	0	1	2	3
B (mT)	0,13	0,26	0,59	0,45	0,23	0,17

r (cm)	4	5	6	7	8	9	10
B (mT)	0,12	0,09	0,07	0,05	0,04	0,04	0,03

Determinación del campo magnético de dos conductores paralelos, en los cuales la corriente fluye en sentido opuesto, en función de la distancia.

Fijando la intensidad a 25 mA se realizarán medidas del campo magnético a diferentes distancias, que estarán comprendidas entre -2 y 5 cm(el eje de coordenadas estará en el conductor mas hacia afuera), las medidas se realizarán en intervalos de 0,5 cm.

r (cm)	-2	-1	0	1	2	3
B (mT)	0,7	1,07	1,6	0,87	0,33	0,15

r (cm)	4	5	6	7	8	9	10
B (mT)	0,09	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01

Practica Nº 5

Circuito RLC

Se propone estudiar la variación de intensidad de la corriente en función de los valores que adquiera la frecuencia en un circuito RLC y comparar la frecuencia de resonancia máxima teórica y real.

Leyes físicas que intervienen

Al conectar en serie una bobina de inductancia L , un condensador de capacidad C , una resistencia óhmica R y un generador de corriente alterna $U=U_0\cos \omega t$, la ecuación que gobierna el circuito es:

$$U = IR + L(dI/dt) + Q/c$$

La corriente en el circuito se compone de dos partes, una corriente transitoria y una corriente estacionaria. La primera depende de las condiciones iniciales, como la fase inicial del generador y la carga inicial del condensador. La corriente estacionaria, por otra parte, es independiente de dichas condiciones iniciales. La corriente transitoria disminuye exponencialmente con el tiempo y pronto resulta despreciable en comparación con la corriente estacionaria. No tendremos en cuenta a la corriente transitoria y nos centraremos en la estacionaria. Que será I y Q la carga del condensador. Podemos resolver la ecuación anterior teniendo en cuenta que $I = dQ/dt$, obteniendo:

$$I = I_0\cos(\omega t - \phi)$$

Donde

La diferencia de fase viene dada por:

Como se observa en las experiencias anteriores los valores de I_0 y ϕ dependen de la frecuencia ω . Existe un valor de la frecuencia para el cual la intensidad que circula por un circuito RLC dado es máxima, ese valor recibe el nombre de frecuencia de resonancia, y viene dado por:

Procedimiento experimental

Circuito RLC en serie

Obtenemos el valor teórico de la frecuencia para una resonancia máxima.

Montamos el circuito de la práctica, con los componentes correspondientes, que son: una resistencia de 10Ω , una bobina de 2mH y un condensador de $0,1 \text{ F}$. Unidas en serie y conectadas a un generador de frecuencia y en paralelo con el generador de frecuencia un contador parlante. Pasamos a obtener la tabla con diferentes frecuencias, las tensiones y las corrientes en el circuito entre 1KHz y 20KHz . Y en las proximidades de la frecuencia de resonancia se harán medidas con intervalos de $0,1 \text{ KHz}$.

F (Khz)	1	2	3	4	5
I (mA)	0,6	1,1	1,9	3	4,4

F (Khz)	6	7	8	9	10
I (mA)	5	5,5	6,6	8,1	9,4

F (Khz)	10,7	10,8	10,9	11,1	11,2
I (mA)	9,2	9,2	9,1	9	8,9

F (Khz)	11,3	11,4	11,7	11,6	11,7
I (mA)	8,8	8,7	8,5	8,4	8,3

F (Khz)	12	13	14	15	16
I (mA)	7,6	5,9	4	2,6	1,4

F (Khz)	17	18	19	20
I (mA)	0,7	0,3	0,1	0,1

Después de esta experiencia se repetirá con una resistencia de 200 y otra de 0 .

R = 200

F (Khz)	1	2	3	4	5
I (mA)	0,5	1	1,3	1,5	1,6

F (Khz)	6	7	8	9	10
I (mA)	1,7	1,6	1,4	1,2	0,9

F (Khz)	10,7	10,8	10,9	11	11,1
I (mA)	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5

F (Khz)	11,2	11,3	11,4	11,5	11,6
I (mA)	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4

F (Khz)	11,7	12	13	14	15
I (mA)	0,4	0,3	0,2	0,1	0,1

F (Khz)	16	17	18	19	20
I (mA)	0	0	0	0	0

R = 0

F (Khz)	1	2	3	4	5
I (mA)	0,6	1,1	2	3,2	5

F (Khz)	6	7	8	9	10
I (mA)	5,5	5,9	7,2	9,3	11,2

F (Khz)	10,7	10,8	10,9	11	11,1
I (mA)	11,1	11	10,9	10,8	10,7

F (Khz)	11,2	11,3	11,4	11,5	11,6
I (mA)	10,6	10,5	10,4	10,3	10,1

F (Khz)	11,7	12	13	14	15
---------	------	----	----	----	----

I (mA)	10	9,5	7	4,7	3
--------	----	-----	---	-----	---

F (Khz)	16	17	18	19	20
I (mA)	1,9	1	0,4	0,2	0,1

Ahora con la resistencia nula se tomaran un rango de potencial en la misma proporción que anteriormente utilizábamos.

F (Khz)	1	2	3	4	5
V (v)	1,25	1,24	1,24	1,23	1,1

F (Khz)	6	7	8	9	10
V (v)	1,05	1,13	1,1	0,93	0,63

F (Khz)	10,7	10,8	10,9	11	11,1
V (v)	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53

F (Khz)	11,2	11,3	11,4	11,5	11,6
V (v)	0,53	0,54	0,55	0,56	0,57

F (Khz)	11,7	12	13	14	15
V (v)	0,59	0,63	0,84	1,01	1,19

F (Khz)	16	17	18	19	20
V (v)	1,28	1,37	1,45	1,52	1,6

Circuito RLC en paralelo

Montamos el circuito de la práctica, con los componentes correspondientes, que son: una resistencia de 1K , una bobina de 2mH y un condensador de 1 F. Unidas en paralelo y conectadas a un generador de frecuencia y en paralelo con el generador de frecuencia un contador parlante. Pasamos a obtener la tabla con diferentes frecuencias, las tensiones y las corrientes en el circuito entre 1KHz y 20KHz. Y en las proximidades de la frecuencia de resonancia se harán medidas con intervalos de 0,1 KHz.

F (Khz)	1	2	3	4	5
I (mA)	4,3	2,7	2	2	2,6

F (Khz)	6	7	8	9	10
I (mA)	2,7	2,5	2,3	2	1,6

F (Khz)	11	12	13	14	15
I (mA)	1,3	0,7	0,5	0,4	0,2

F (Khz)	16	17	18	19	20
I (mA)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

No se pudo seguir con la práctica por falta de tiempo en el laboratorio.

8

$$x = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} = 6,8$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - x)^2}{N-1}} = 0$$

$$\varepsilon = 0.675\sigma = 0.675 \cdot 0 = 0$$

$$x = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} = 218.8$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - x)^2}{N-1}} =$$

$$\sigma = 0.447$$

$$\varepsilon = 0.675\sigma = 0.3$$

$$x = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} = 10.2$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - x)^2}{N-1}} = 0$$

$$\varepsilon = 0.675\sigma = 0$$

$$x = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} = 992$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - x)^2}{N-1}} = 0$$

$$\varepsilon = 0.675\sigma = 0$$

$$x = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} = 1002$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - x)^2}{N-1}} = 0$$

$$\varepsilon = 0.675\sigma = 0$$

$$x = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} = 10.1$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - x)^2}{N-1}} = 0$$

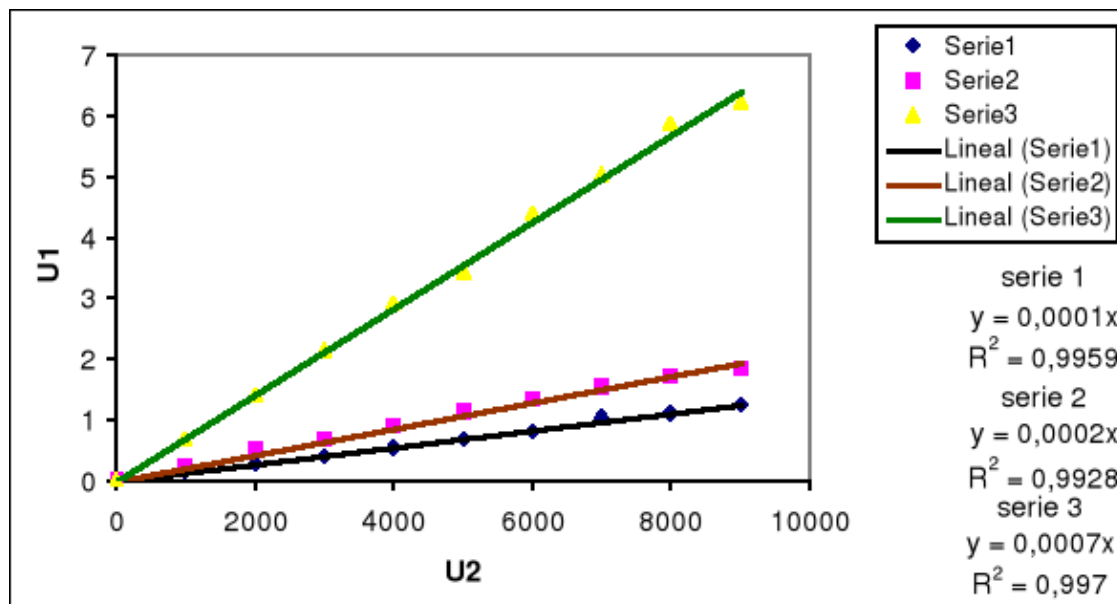
$$\varepsilon = 0.675\sigma = 0$$

$$C = 4\pi\varepsilon_0 R$$

$$Q = (C_{co} + C_{ca})U_1 = (C_{co} + C_{ca})\frac{U}{V}$$

$$C_{co} \ll C_{ca} \quad Q = C_{ca}U_1 = C_{ca}\frac{U}{V}$$

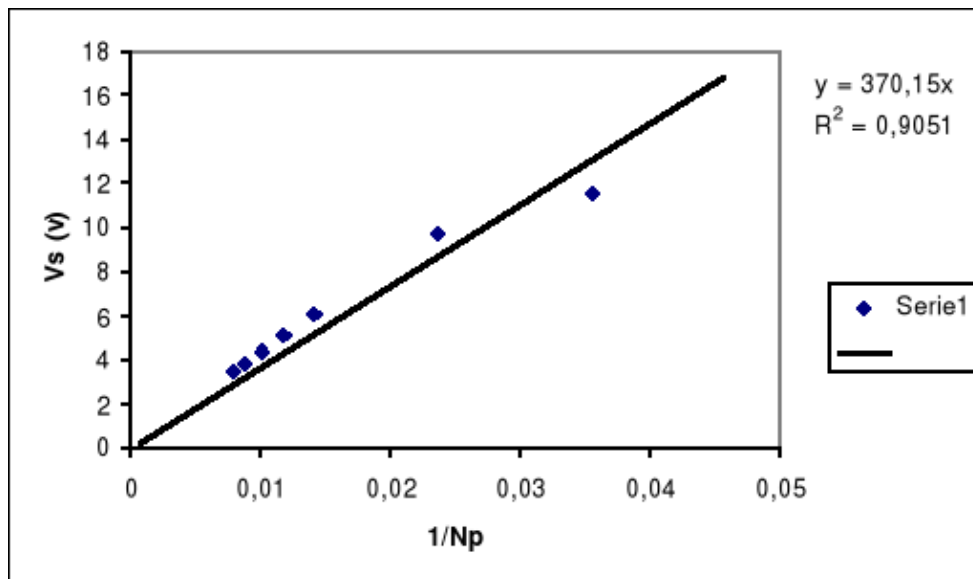
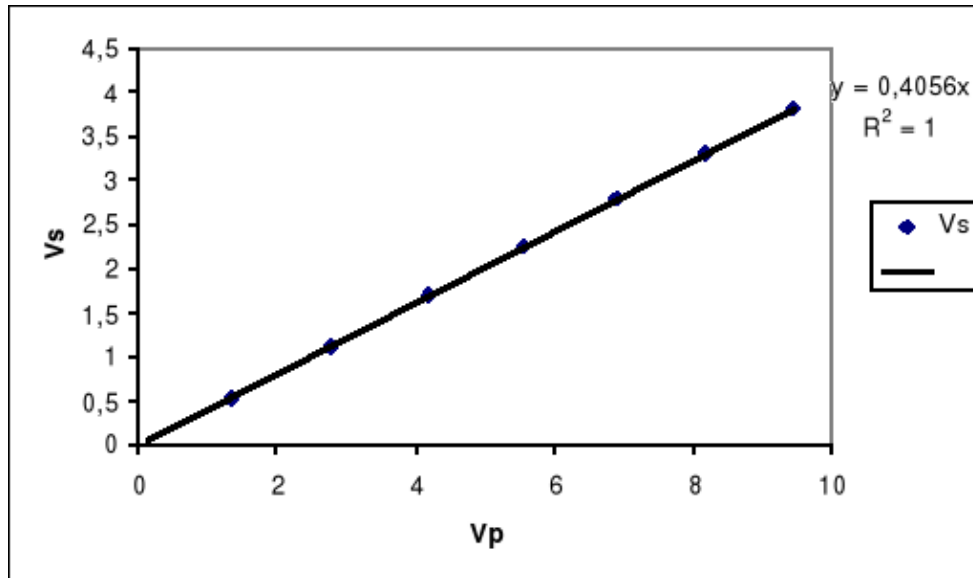
$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{C_{co}}{C_{ca}}$$

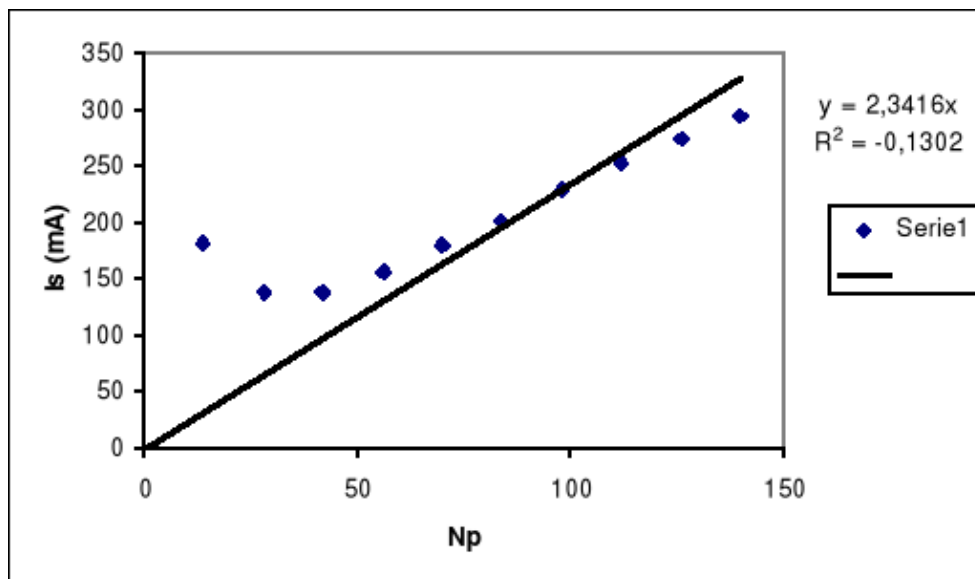
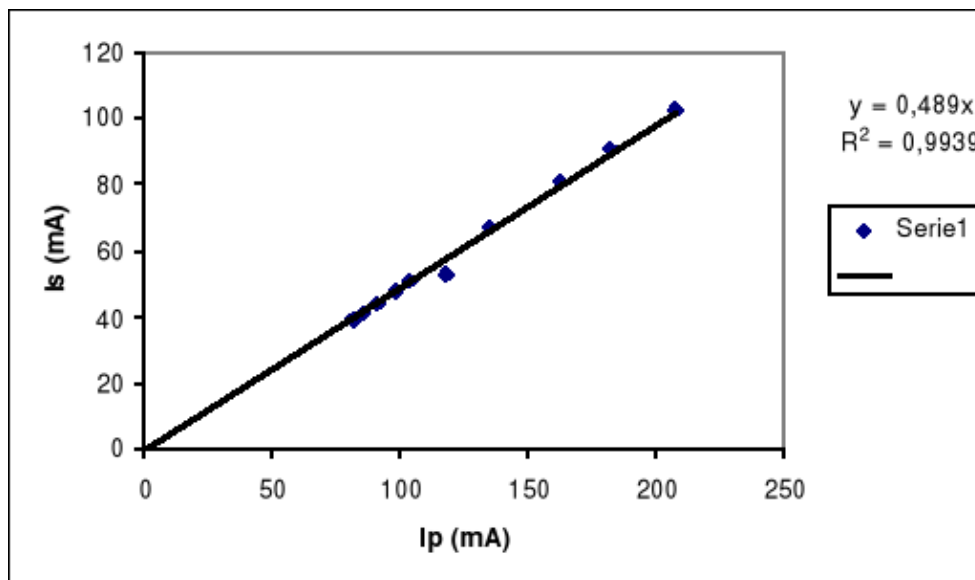
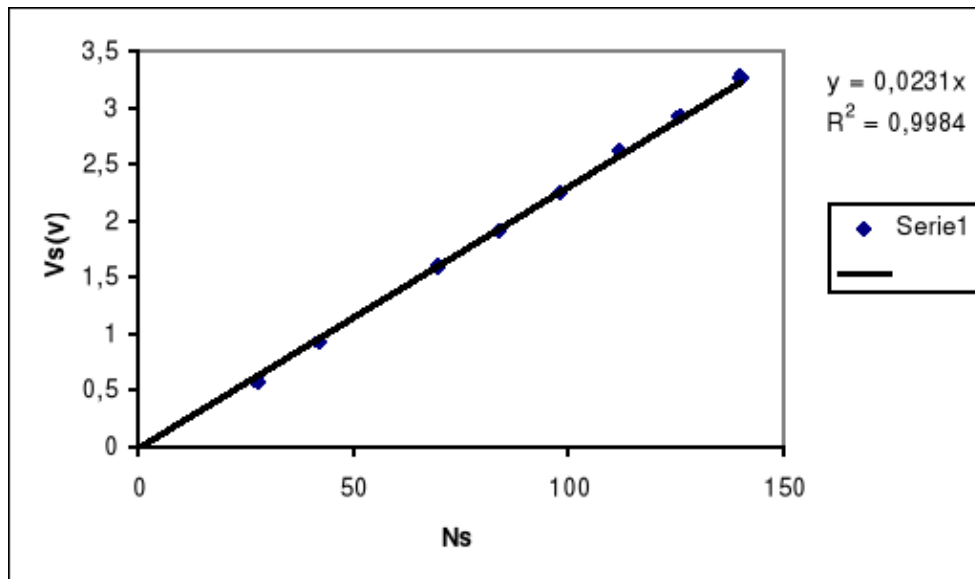


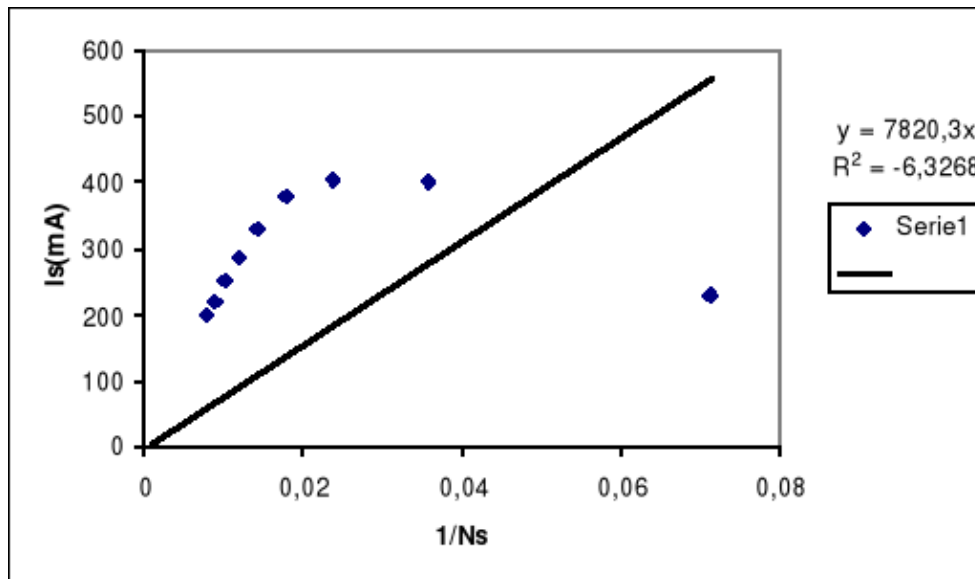
$$C_3 = 4 \Pi \epsilon_0 0,020 = 2,226 \cdot 10^{-12} \quad 2,23nF$$

$$C_2 = 4 \Pi \epsilon_0 0,040 = 4,45 \cdot 10^{-12} \quad 4,45nF$$

$$C_1 = 4 \Pi \epsilon_0 0,120 = 1,33 \cdot 10^{-11} \quad 13,3nF$$







$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{idx}{r^2} \sin\phi$$

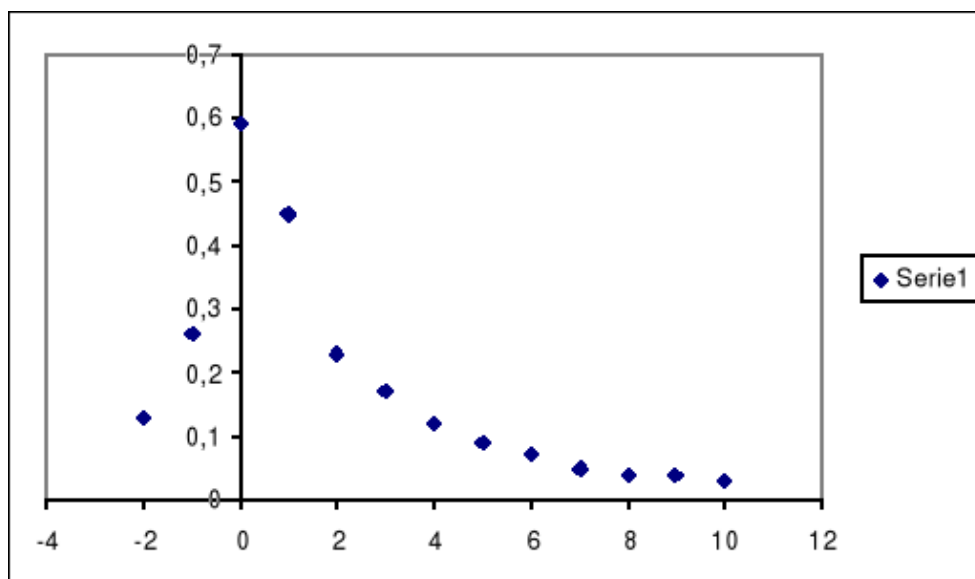
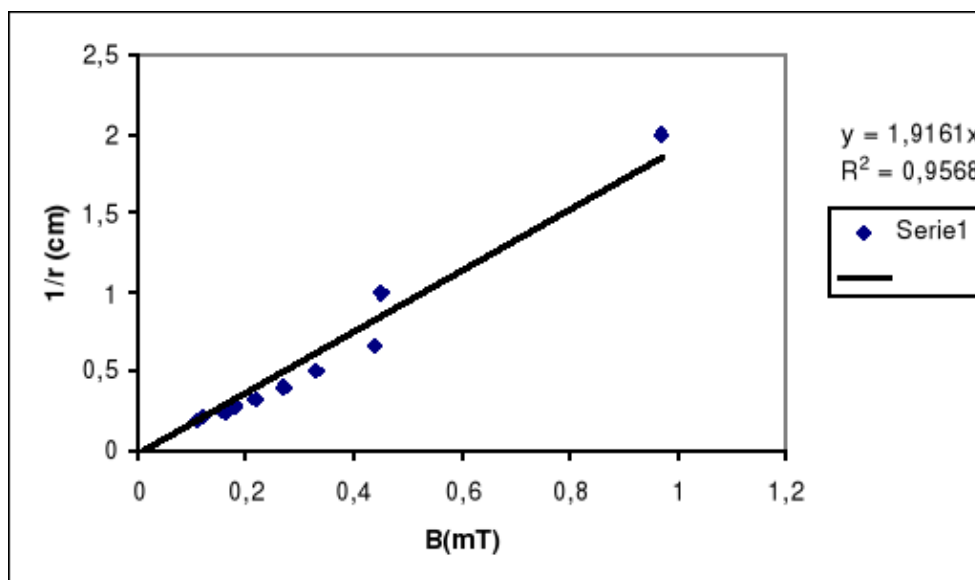
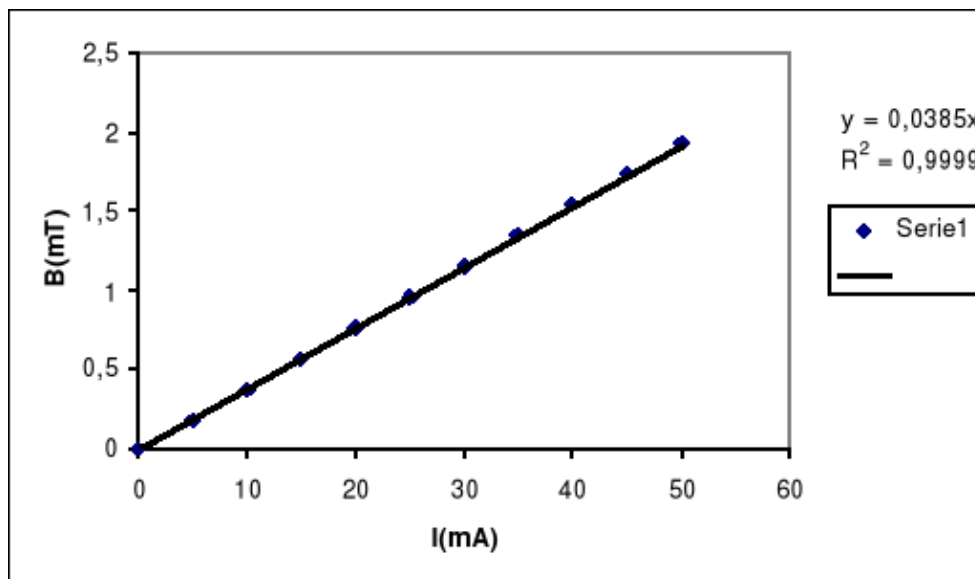
$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Idx}{r^2} \cos\sigma$$

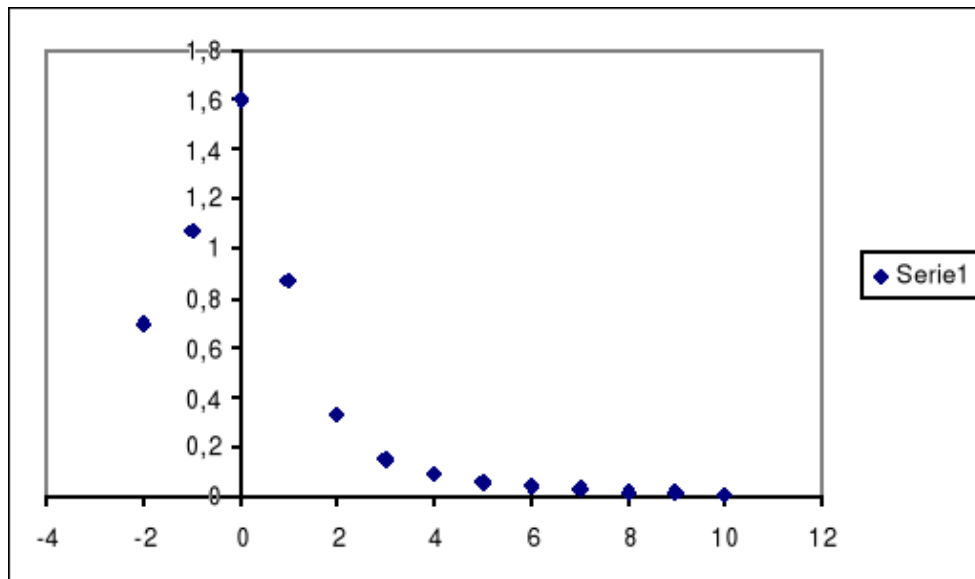
$$dx = y \sec^2 \sigma d\sigma = y \frac{r^2}{y^2} d\sigma = \frac{r^2}{y} d\sigma$$

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I}{r^2} \frac{r^2 d\sigma}{y} \cos\sigma = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{1}{y} \cos\sigma d\sigma$$

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I}{R} (\sin\sigma_1 + \sin\sigma_2)$$

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2I}{R} = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}$$



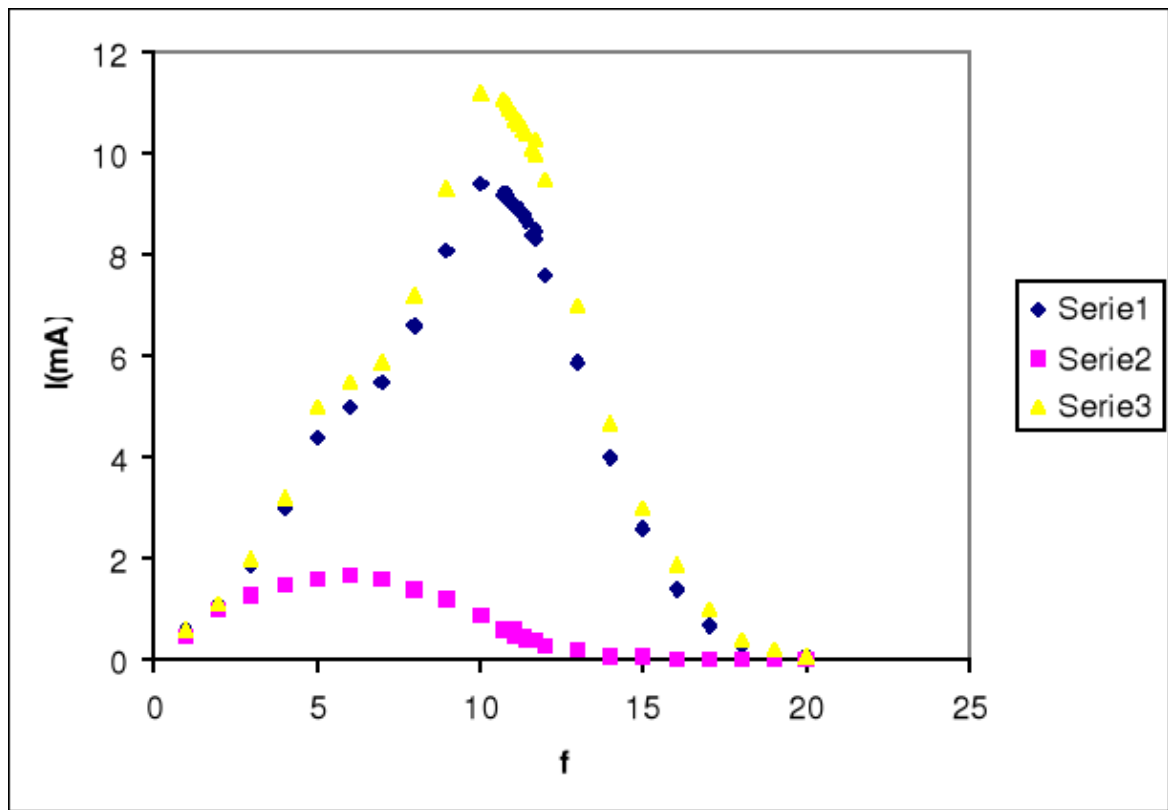


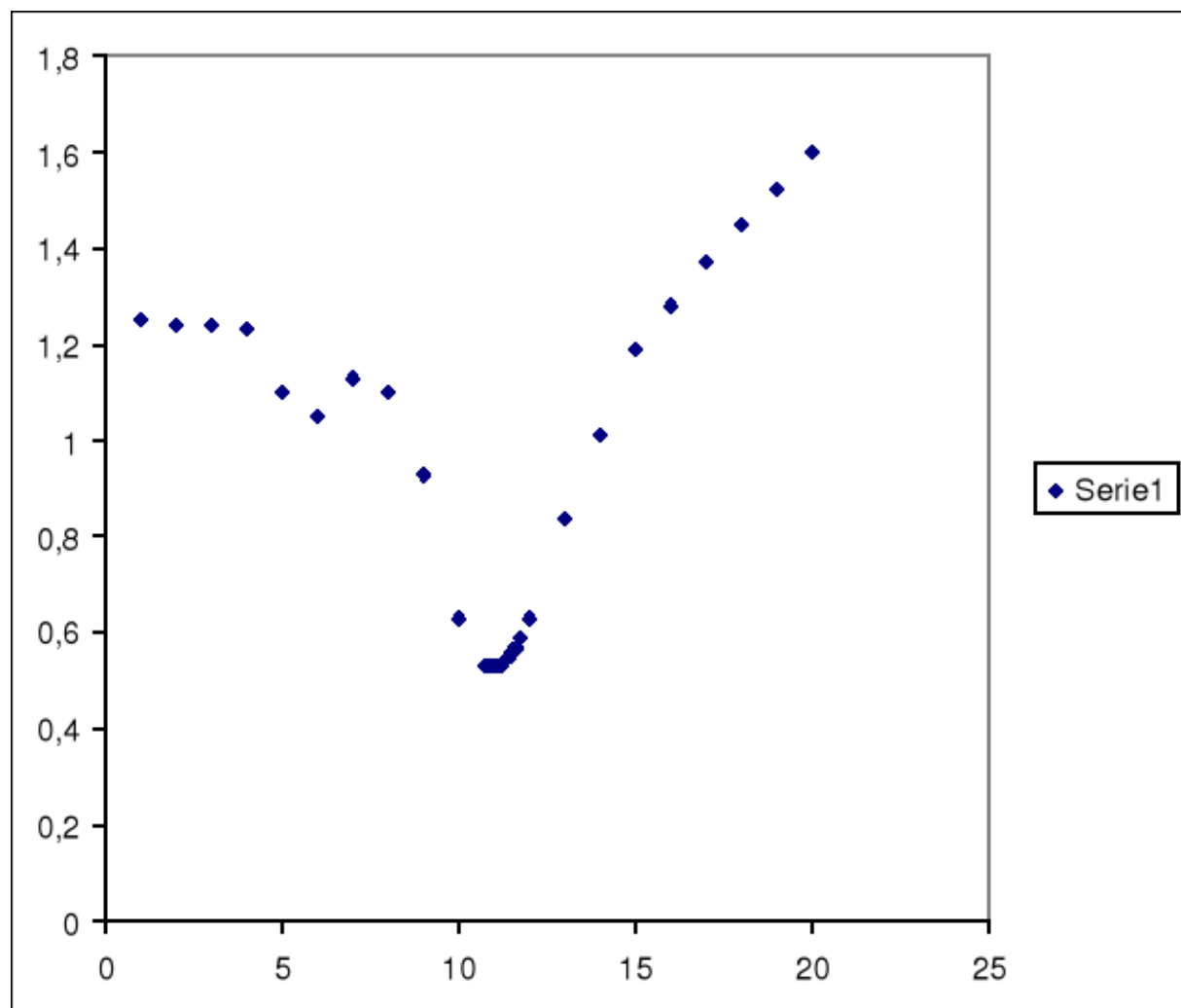
$$I_0 = \frac{U_0}{\sqrt{R^2 + (wL - \frac{1}{wC})^2}}$$

$$\tan \phi = \frac{wL - \frac{1}{wC}}{R}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$f_0 = \frac{1}{\sqrt{2\pi(LC)^2}} = 11254.03 \quad 11.25 \text{ KHz}$$





$$f_0 = \frac{1}{\sqrt{2\pi(LC)^2}} = 8920.62 \text{ } 8.92 \text{ KHz}$$

