

Résistances dans les circuits à courant alternatif (impédance)

DETERMINER LA VALEUR DE LA RESISTANCE DU COURANT ALTERNATIF DANS UN CIRCUIT COMPORTANT DES CHARGES INDUCTIVES ET RESISTIVES.

- Déterminer l'amplitude et la différence de phase de la résistance totale (impédance) en fonction de la fréquence dans un montage en série.
- Déterminer l'amplitude et la différence de phase de la résistance totale (impédance) en fonction de la fréquence dans un montage en parallèle.

UE3050311

10/16 UD

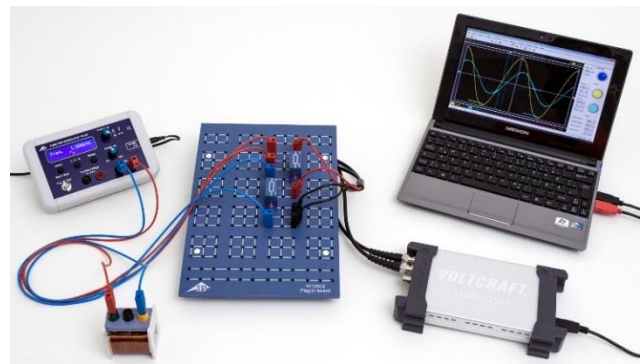
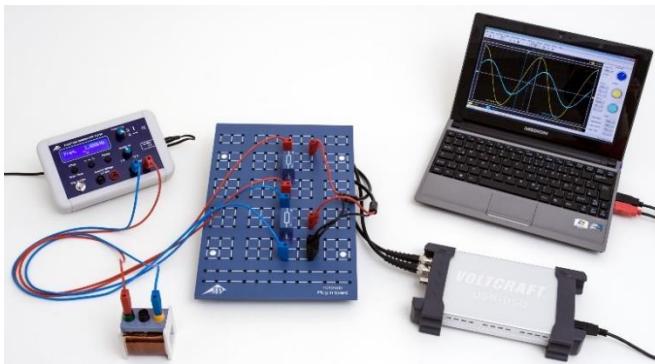


Fig. 1: Dispositif de mesure pour un circuit en série (droite) et pour un circuit en parallèle (gauche).

NOTIONS DE BASE GENERALES

Dans les circuits à courant alternatif, il est fréquent d'utiliser des nombres complexes (résistances non ohmiques ou impédance) pour décrire la résistance dans un circuit comportant des charges inductives, car cela facilite le calcul. En effet, il s'agit d'une part de mesurer respectivement l'amplitude du courant et de la tension, mais aussi de considérer les relations de phase entre ces deux grandeurs. De cette façon, les montages en série et en parallèle de résistances inductives et ohmiques se laissent très facilement expliquer. La tension et le courant sont également considérés comme des grandeurs complexes, dont les parties réelles peuvent respectivement être mesurées.

La résistance complexe (impédance) d'une bobine d'inductance L dans un circuit à courant alternatif de fréquence f s'écrit :

$$(1) \quad X_L = i \cdot X_{L0} = i \cdot \omega \cdot L$$

avec $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$.

Par conséquent, la résistance totale (impédance) du montage en série de la bobine avec une résistance ohmique R s'exprime :

$$(2) \quad Z_S = i \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L + R,$$

tandis que dans un montage en parallèle, la résistance totale s'écrit :

$$(3) \quad Z_P = \frac{1}{\frac{1}{i \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L} + \frac{1}{R}}$$

Selon la formule couramment employée

$$(4) \quad Z = Z_0 \cdot \exp(i \cdot \varphi).$$

on en déduit

$$(5) \quad Z_S = Z_{S0} \cdot \exp(i \cdot \varphi_S) = \sqrt{(2 \cdot \pi \cdot f \cdot L)^2 + R^2} \cdot \exp(i \cdot \varphi_S)$$

avec $\tan \varphi_S = \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot L}{R}$

et

$$(6) \quad Z_P = Z_{P0} \cdot \exp(i \cdot \varphi_P) = \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \cdot R}{\sqrt{(2 \cdot \pi \cdot f \cdot L)^2 + R^2}} \cdot \exp(i \cdot \varphi_P)$$

avec $\tan \varphi_P = \frac{R}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot L}$.

Si l'on applique à la résistance totale $Z = Z_S / Z_P$ la tension

$$(7) \quad U = U_0 \cdot \exp(i \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot t)$$

le courant passe

$$(8) \quad I = \frac{U_0}{Z_0} \cdot \exp(i \cdot (2 \cdot \pi \cdot f \cdot t - \varphi))$$

$$= I_0 \cdot \exp(i \cdot (2 \cdot \pi \cdot f \cdot t - \varphi))$$

Dans l'expérience, ce courant est déterminé à partir de la chute de tension $U_m(t)$ sur une résistance de travail R_m (Fig. 2, 3), et dimensionné de sorte que $U_{m0} \ll U_0$, c'est-à-dire que la tension appliquée chute presque complètement sur Z_S / Z_P . Le courant ainsi déterminé traverse tant Z_S que Z_P , car les deux résistances sont montées en série par rapport à R_m (voir les schémas équivalents des Fig. 2, 3). Étant donné que $U_m(t) = I(t) \cdot R_m$, la courbe dans le temps $U_m(t)$ traduit ainsi la courbe dans le temps $I(t)$ du courant.

LISTE DES APPAREILS

1 Plaque de connexion des composants	1012902 (U33250)
1 Résistance 1 Ω, 2 W, P2W19	1012903 (U333011)
1 Résistance 100 Ω, 2 W, P2W19	1012910 (U333018)
1 Générateur de fonctions FG 100 @230V	1009957 (U8533600-230)
ou @115V	1009956 (U8533600-115)
1 Oscilloscope pour PC 2x25 MHz	1020857 (U11830)
2 Cordon HF, BNC / douille 4 mm	1002748 (U11257)
1 Jeu de 15 cordons à reprise arrière, 75 cm, 1 mm ²	1002840 (U13800)
1 Bobine S à 800 spires	1001001 (U8498080)
1 Bobine S à 1200 spires	1001002 (U8498085)

MONTAGE ET REALISATION

Circuit série

- Réaliser l'agencement de mesure pour le circuit série (Fig. 1, à gauche) conformément au schéma de couplage (Fig. 2) avec $R_m = 1 \Omega$, $R = 100 \Omega$ et la bobine avec $N = 1200$ spires / $L = 23,0$ mH.
- Brancher le signal de sortie $U_m(t) = I(t) \cdot R_m$ au canal CH1 et le signal d'entrée $U(t)$ au canal CH2 de l'oscilloscope.
- Régler les paramètres de démarrage suivants sur l'oscilloscope du PC :

Time/DIV	25 μs
Volts/DIV CH1	2.00 mV AC
Volts/DIV CH2	2.00 V AC
Trigger Mode	Auto
Sweep	Edge
Source	CH2
Slope	+
Level	0.00 μV

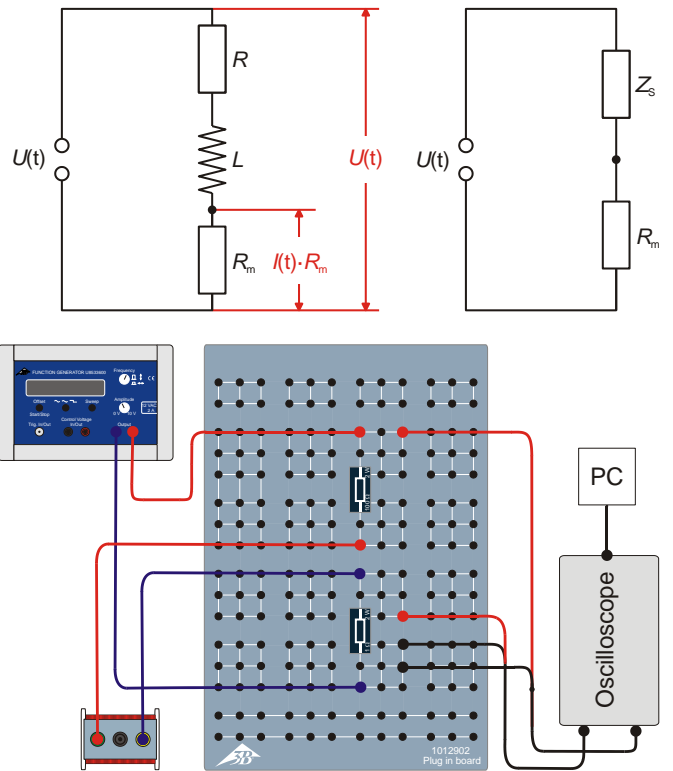


Fig. 2: Schéma de couplage (en haut à gauche), schéma équivalent (en haut à droite) et schéma du montage (en bas) pour le circuit série.

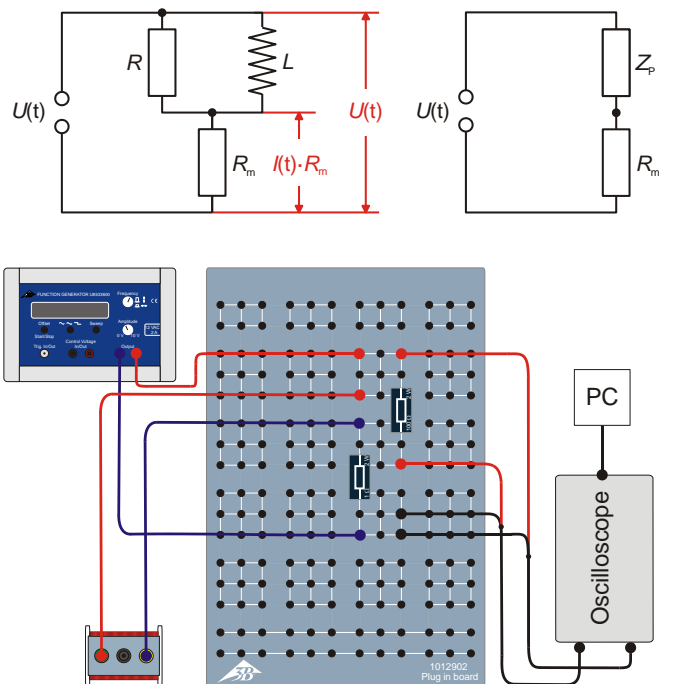


Fig. 3: Schéma de couplage (en haut à gauche), schéma équivalent (en haut à droite) et schéma du montage (en bas) pour le circuit parallèle.

Note

Les paramètres Time/DIV et Volts/DIV CH1 doivent être adaptés au cours de la série de mesures.

- Sur le générateur de fonctions, sélectionner la forme de signal sinusoïdale et régler l'amplitude du signal d'entrée $U_0 = 6 \text{ V}$. Pour cela, ajuster le régulateur d'amplitude de manière à ce que le maximum / minimum du signal sinusoïdal sur le canal CH2 de l'oscilloscope (à 2 V / case) corresponde à 3 cases.
- Sur le générateur de fonctions, régler successivement les fréquences $10\,000 \text{ Hz}$, $5\,000 \text{ Hz}$, $2\,000 \text{ Hz}$, $1\,000 \text{ Hz}$, 500 Hz , 200 Hz et 50 Hz . Selon $T = 1 / f$, calculer les périodes respectives et les inscrire avec les fréquences dans le tableau 1.
- Lire l'amplitude U_{m0} du signal de sortie $U_m(t)$ sur l'oscilloscope et inscrire les valeurs dans le tableau 1.
- Lire la différence de temps Δt des passages par zéro des

signaux $U(t)$ et $U_m(t)$ sur l'oscilloscope et inscrire les valeurs dans le tableau 1.

- Répéter la mesure pour la bobine avec $N = 800$ spires / $L = 10,4 \text{ mH}$ aux mêmes fréquences et inscrire toutes les valeurs dans le tableau 1.

Circuit parallèle

- Réaliser l'agencement de mesure pour le circuit parallèle (Fig. 1, à droite) conformément au schéma de couplage (Fig. 3) avec $R_m = 1 \Omega$, $R = 100 \Omega$ et la bobine avec $N = 1200$ spires / $L = 23,0 \text{ mH}$.
- Effectuer la mesure comme pour le circuit série. Sélectionner les mêmes paramètres de démarrage sur l'oscilloscope du PC, mais régler Volts/DIV CH1 sur $20,0 \text{ mV AC}$.
- Inscrire toutes les valeurs de mesure dans le tableau 2.

EXEMPLE DE MESURE

Tab. 1: Valeurs de mesure pour le circuit série.

f / Hz	T / ms	U_{m0} / mV		$\Delta t / \mu\text{s}$	
		$N = 1200$ $L = 23,0 \text{ mH}$	$N = 800$ $L = 10,4 \text{ mH}$	$N = 1200$ $L = 23,0 \text{ mH}$	$N = 800$ $L = 10,4 \text{ mH}$
10000	0,1	4,1	7,8	21	21
5000	0,2	7,8	14,9	44	39
2000	0,5	18,7	31,6	92	72
1000	1,0	32,1	43,3	139	91
500	2,0	41,8	49,3	173	97
200	5,0	47,7	51,7	188	108
50	20,0	49,5	52,3	211	154

Tab. 2: Valeurs de mesure pour le circuit parallèle.

f / Hz	T / ms	U_{m0} / mV		$\Delta t / \mu\text{s}$	
		$N = 1200$ $L = 23,0 \text{ mH}$	$N = 800$ $L = 10,4 \text{ mH}$	$N = 1200$ $L = 23,0 \text{ mH}$	$N = 800$ $L = 10,4 \text{ mH}$
10000	0,1	60,0	61,7	1,3	2,8
5000	0,2	60,3	62,6	4,4	8,3
2000	0,5	63,0	73,0	25,0	45,0
1000	1,0	76,2	104,5	89,3	130,6
500	2,0	106,0	170,9	238,2	278,6
200	5,0	200,0	316,0	599,4	545,6
50	20,0	323,6	431,5	883,8	614,8

ÉVALUATION

- Calculer la valeur de la résistance inductive selon $X_{L0} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$ (cf. équation 1) et inscrire les valeurs dans le tableau 3.
- À partir des valeurs pour U_{m0} (Tab. 1, 2) et R_m (1 Ω) selon $I_0 = U_{m0} / R_m$, calculer l'amplitude du courant et inscrire les valeurs dans le tableau 3.
- Calculer les valeurs Z_{0S} et Z_{0P} de la résistance totale selon $Z_0 = U_0 / I_0$ ($U_0 = 6 V$) et inscrire les valeurs dans le tableau 3.
- À partir des valeurs pour la période T et la différence de temps Δt (Tab. 1, 2) selon $\varphi = 360^\circ \cdot \Delta t / T$, calculer le déphasage et inscrire les valeurs dans le tableau 3.
- Représenter dans un graphique les valeurs Z_{0S} et Z_{0P} de la résistance totale et les déphasages φ pour les circuits série et parallèle en fonction de X_{L0} (Fig. 4 – 7).

- Calculer les valeurs Z_{0S} et Z_{0P} de la résistance totale et les déphasages φ selon les équations (5) pour le circuit série et (6) pour le circuit parallèle,

$$(9) \quad Z_{S0} = \sqrt{R^2 + X_{L0}^2}, \quad \varphi = \arctan\left(\frac{X_{L0}}{R}\right)$$

$$(10) \quad Z_{P0} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + \frac{1}{X_{L0}^2}}}, \quad \varphi = \arctan\left(\frac{R}{X_{L0}}\right),$$

et les tracer sous forme de lignes continues dans les figures 4 à 7.

Bilan

Dans un circuit de grande impédance inductive, la résistance du montage en série correspond à la valeur de la charge (impédance) inductive et celle du montage en parallèle, à la valeur de la résistance ohmique. Le déphasage se situe entre 0° et 90° et il est de 45° lorsque les valeurs de résistance ohmique et inductive sont identiques.

Tab. 3: Valeurs calculées pour X_{L0} de la résistance inductive ainsi que valeurs (déterminées à partir de la mesure) pour l'amplitude I_0 du courant, les valeurs Z_{0S} et Z_{0P} de la résistance totale et le déphasage φ pour les circuits série et parallèle.

N L / mH	X_{L0} / Ω	Circuit série			Circuit parallèle		
		I_0 / mA	Z_{S0} / Ω	φ	I_0 / mA	Z_{P0} / Ω	φ
1200 23,0	1445,1	4,1	1461,6	75,6°	60,0	100,1	4,7°
	722,6	7,8	766,5	79,2°	60,3	99,4	7,9°
	289,0	18,7	320,7	66,2°	63,0	95,2	18,0°
	144,5	32,1	187,1	50,0°	76,2	78,8	32,1°
	72,3	41,8	143,5	31,1°	106,0	56,6	42,9°
	28,9	47,7	125,7	13,5°	200,0	30,1	43,2°
	7,2	49,5	121,3	3,8°	323,6	18,5	15,9°
800 10,4	653,5	7,8	766,5	75,6°	61,7	97,3	10,0°
	326,7	15,0	402,9	70,2°	62,6	95,8	14,9°
	130,7	31,6	189,9	51,8°	72,9	82,3	32,4°
	65,3	43,3	138,4	32,8°	104,5	57,4	47,0°
	32,7	49,3	121,8	17,5°	170,9	35,1	50,1°
	13,1	51,7	116,0	7,8°	316,0	19,0	39,3°
	3,3	52,3	114,7	2,7°	431,5	14,0	11,1°

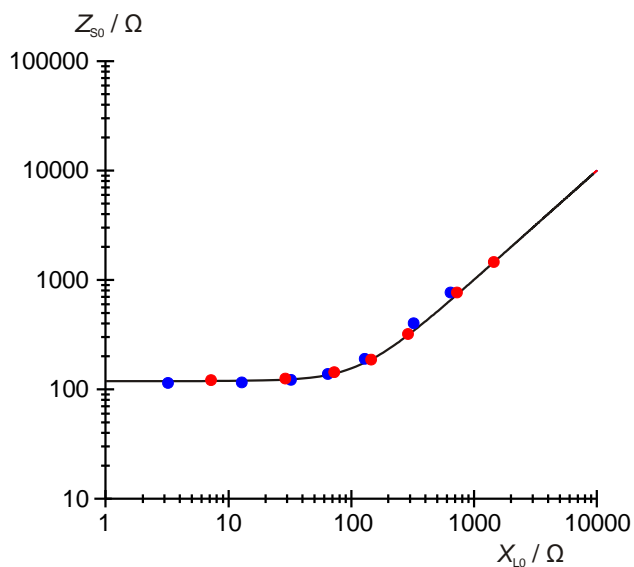


Fig. 4: Résistance totale sur le circuit série pour $N = 800$ (●) et $N = 1200$ (●) spires

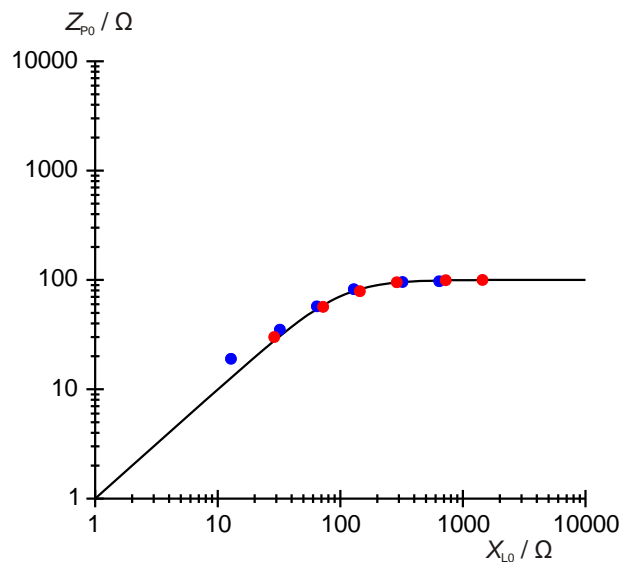


Fig. 6: Résistance totale sur le circuit parallèle pour $N = 800$ (●) et $N = 1200$ (●) spires.

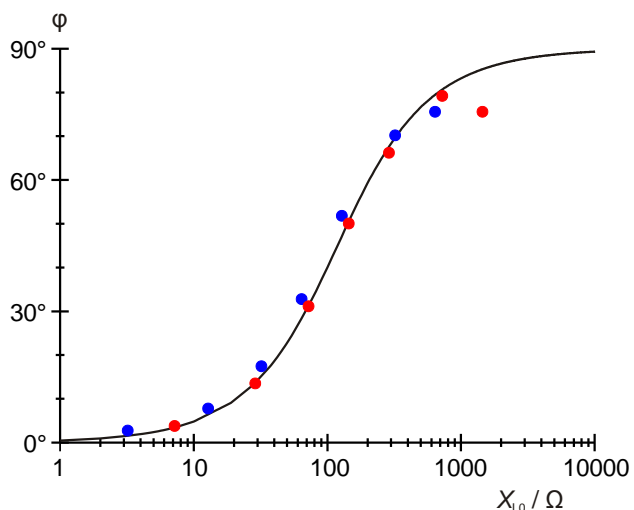


Fig. 5: Déphasage sur le circuit série pour $N = 800$ (●) et $N = 1200$ (●) spires.

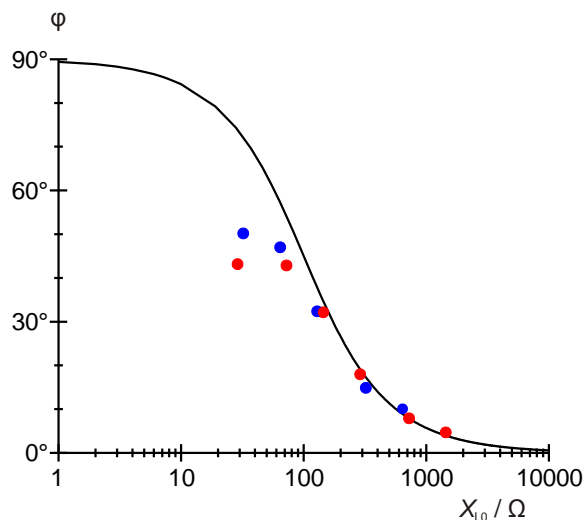


Fig. 7: Déphasage sur le circuit parallèle pour $N = 800$ (●) et $N = 1200$ (●) spires.

