

DIMENSIONNEMENT DE LA BOBINE D'EMISSION D'UNE BALISE DE POSITIONNEMENT

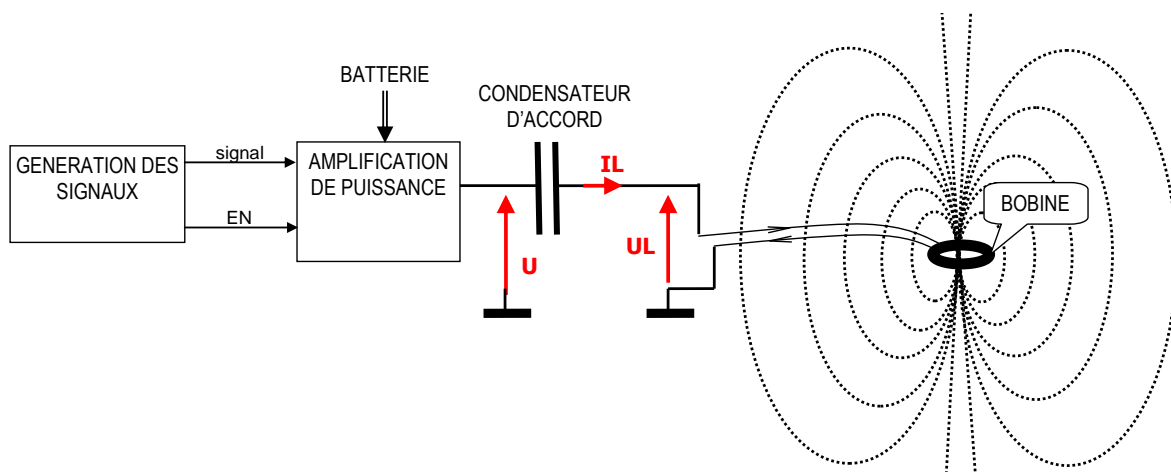
Dimensionner une bobine d'émission c'est déterminer son diamètre, son nombre de spires et la section du conducteur, tout cela pour qu'elle délivre un champ magnétique maximum. Un élément déterminant dans ce dimensionnement sera le générateur qui l'alimente. Il s'agira souvent d'un amplificateur de puissance dont la connaissance de l'amplitude de la tension et du courant qu'il peut fournir seront à prendre en compte pour dimensionner la bobine.

On verra dans cet article une méthode et un utilitaire permettant le dimensionnement des bobines à air sans noyaux de ferrites fonctionnant en très basses fréquences.

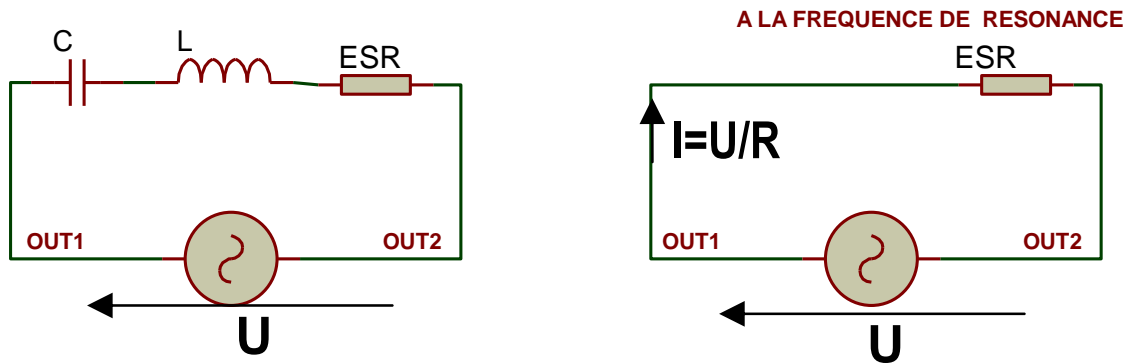
Sommaire interactif

LA RESONANCE (ou ACCORD).....	2
MOMENT MAGNETIQUE EN FONCTION DU COURANT BOBINE.....	2
MOMENT MAGNETIQUE EN FONCTION DE LA TENSION DE COMMANDE	2
METHODE POSSIBLE POUR DIMENSIONNER LA BOBINE D'EMISSION	3
LE POIDS UN CRITERE A CONSIDERER	4
UTILITAIRE EXCEL COMME AIDE A LA CONCEPTION DES BOBINES D'EMISSION.....	5

La plupart du temps on commande la bobine accordée à l'aide d'un condensateur en série à l'aide d'une source de tension. Le tout étant alors à la résonance.



LA RESONANCE (ou ACCORD)



ESR est la Résistance Equivalente Série de la bobine. En régime de courant continu elle vaut la résistance ohmique du bobinage, en régime alternatif elle est augmentée à cause de l'effet de peau et l'effet de proximité (voir document « influence de la ferrite dans une bobine d'émission »).

On montre que la réactance du condensateur $1/C\omega$ se soustrait à celle de la bobine $L\omega$. Pour une fréquence f_0 correspondant à une pulsation ω_0 , telle que $L\omega_0=1/C\omega_0$. Les réactances deviennent égales et la réactance totale devient nulle. L'impédance du circuit RLC se réduit à la résistance ESR. **Le courant devient très grand, on parle de résonance.** Cela permet de générer un flux magnétique important, puisque le flux magnétique augmente avec le courant.

L'utilisation de la résonance série permet d'avoir un courant important dans la bobine avec une tension d'alimentation relativement faible.

A l'accord, l'ensemble bobine-condensateur se comporte comme la résistance équivalente série R de la bobine (ESR)

MOMENT MAGNETIQUE EN FONCTION DU COURANT BOBINE

Dans l'air ou dans le vide, le champ magnétique produit par la bobine sera proportionnel à son moment magnétique qui vaut **$M = N.I.S$**

La valeur de M permettra donc de comparer les bobines entre elles.

I : Intensité du courant

N: nombre de spires

S surface de la bobine $S=\pi D^2/4$ avec D diamètre moyen de la bobine.

MOMENT MAGNETIQUE EN FONCTION DE LA TENSION DE COMMANDE

Il s'agit de considérer, l'amplitude de la tension de commande U du circuit LC série.

$I=U/ESR$ car le circuit sera à la résonance

- U :tension de commande du circuit LC série à la résonance.
- ESR étant la résistance Equivalente Série à la fréquence utilisée.

$$ESR = \rho \pi D N / S_{cu}$$

S_{cu} section utile du fil de cuivre qui est la surface du conducteur effectivement traversée par le courant.

ρ résistivité du Cuivre du câble

Remarque :

La résistivité du cuivre pur est $1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$ à $20^\circ C$. J'ai pu constater que la résistivité du cuivre des câbles est en général un peu plus élevée. Exemples :

- $1,89 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$ à $20^\circ C$ pour conducteur multibrins étamés isolé au silicone
- $1,80 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$ à $20^\circ C$ pour conducteur multibrin H05VK

Soit S_c la section de cuivre du fil de cuivre.

On aura $S_{cu} = S_c$, si à la fréquence considérée, l'effet de peau et de proximité des conducteurs dans la bobine sont négligeables, toute la section de cuivre S_c sera traversée par le courant

On aura $S_{cu} < S_c$ dans le cas contraire. En effet la section traversée par le courant va se réduire. Il faudra évaluer cette réduction de surface en fonction de l'épaisseur de peau, du diamètre du fil, et du nombre de couches de l'enroulement (voir document « influence de la ferrite dans une bobine d'émission de Balise de positionnement souterrain »).

Il vient après simplification

$$M = \frac{U \cdot D \cdot S_{cu}}{4\rho}$$

Si on prend la valeur efficace de U , on aura la valeur efficace du moment et si on prend l'amplitude de U on aura l'amplitude du moment magnétique.

Fait à remarquer : pour le circuit LC série en résonance alimenté par une tension U_c donnée, le moment magnétique, et donc **le champ magnétique ne dépend ni du nombre de spires ni du courant.**

Cela peut se comprendre ; en effet, si par exemple on augmente le nombre de spires, on diminuera le courant d'autant, et le flux magnétique produit restera inchangé.

METHODE POSSIBLE POUR DIMENSIONNER LA BOBINE D'EMISSION

Pour des raisons d'encombrements, on peut se fixer le diamètre de la bobine, pour des raisons de portée on peut se fixer le moment magnétique, si l'amplitude de la tension U correspond à la tension batterie, on en déduira la Section du fil de cuivre.

On déterminera le nombre de spires, en fonction du courant que peut fournir l'ampli de sortie.

LE POIDS UN CRITERE A CONSIDERER

Le poids de la bobine est une donnée importante, car celle-ci devra être transportée par un spéléologue à travers les galeries souvent malaisantes . Le critère du poids est donc à prendre en considération.

$$Pds = \sigma \pi D N S_c \quad \text{Avec :}$$

D : diamètre moyen d'un spire , $\sigma = 8920 \text{ kg/m}^3$: masse volumique du cuivre

N : nombre de spires, S_c section du conducteur

$$M = \frac{U \cdot D \cdot S_{cu}}{4\rho} \quad \text{Avec :}$$

D : diamètre moyen d'un spire ,

ρ résistivité du Cuivre du câble ($1,8 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ à 20°C pour un conducteur H05VK).

U: tension de commande du circuit résonnant série L C ;

S_{cu} :Section utile du conducteur

En prenant pour approximation $S_{cu} = S_c$, et sachant que $4 \cdot \pi \cdot \sigma \cdot \rho = 2 \cdot 10^{-3}$

$$Pds = 2 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{N \cdot M}{U}$$

Pour un Moment magnétique donné, et si $S_{cu} = S_c$ **le poids est indépendant de la Section du conducteur et du diamètre de la bobine.**

Pour le diminuer, il faut donc **le moins de Spires possibles et une tension de commande la plus élevée possible.** Moins de spires implique pour un même moment magnétique d'avoir un diamètre le plus grand possible.

UTILITAIRE EXCEL COMME AIDE A LA CONCEPTION DES BOBINES D'EMISSION

Celui-ci est disponible sur le site www.radiolocalisationsouterraines.fr

On saisit les paramètres suivant (cases mauves):

- Tensions et courants que peut fournir l'ampli de puissance.
- Diamètre de la bobine et section du fil de bobinage
- Fréquence de travail

- Il est possible de modifier la valeur de la résistivité du câble, la valeur de $1,8 \text{ E-}8$ à 20°C que j'ai mis par défaut, correspond à une résistivité souvent rencontré pour les câbles électriques, qui est un peu plus grande que celle du cuivre pur.

Je n'ai volontairement pas inclus de saisir la température, car son incidence est faible. En effet si on passe de 20°C à 10°C , la résistivité et donc le moment magnétique n'augmentera que de 3% seulement.

L'utilitaire donnera (cases jaunes)

- Le moment magnétique
- Le nombre de spires
- La résistance $\text{ESR}=\text{Rac}$ de la bobine.
- Le poids du cuivre

La portée avec un récepteur ARCAS, il s'agit de la profondeur maximum pour laquelle le signal est limite suffisant pour faire une radiolocalisation. La référence est le positionnement à travers 270m de calcaire réalisé au liban avec une bobine de moment magnétique d'amplitude 400Am^2 (282Am^2 efficaces) ;

Mais aussi

- La section effective en tenant compte de l'effet de peau
- La longueur de fil nécessaire
- La résistance Rdc de la bobine en courant continu

Le calcul tient compte de l'effet de peau, mais pas de l'effet de proximité. Ce dernier est souvent négligeable si la fréquence et le nombre de spires restent faibles et/ou si on a intercalé entre les couches du bobinage une feuille isolante, pour qu'elles n'interfèrent pas entre elles.

Dans les exemples qui suivent, les bobines existant déjà, on a mis en œuvre l'utilitaire pour le tester.

Exemple 1 bobine plats de l'ARCAS de 1m de diamètre

Diamètre moyen $D=1\text{m}$

Nombre de spires $N=60$

Section du cuivre $Sc=0,75\text{mm}^2$.



UTILITAIRE POUR LA CONCEPTION DES BOBINES D'EMISSION

(VOIR ARTICLE SUR LE DIMENSIONNEMENT DES BOBINES D'EMISSION)

données à saisir cases mauves
résultats cases jaunes

cet utilitaire tient compte de l'effet de peau mais pas de l'effet de proximité entre les spires et les couches de la bobine. Celui-ci est souvent négligeable à très basse fréquence.

fréquence de travail 3200

CARACTERISTIQUES DU CUIVRE		
Résistivité	1,80E-08	$\Omega \cdot \text{m}$
masse volumique	8920	kg/m^3

AMPLIFICATEUR DE SORTIE				
tension bobine	amplitude	U	25	V
courant bobine	amplitude	Imax	4,7	A

BOBINE D'EMISSION SANS FERRITE				
Diamètre bobine	moyen	D	1	m
Section du fil	section	Sc	0,75	mm^2

RESULTATS				
Section effective	due a effet de peau	Se	6,23E-01	mm^2
Moment magnétique	amplitude	M	216,2	$\text{A} \cdot \text{m}^2$
	valeur efficace	Meff	152,9	$\text{A} \cdot \text{m}^2$
Résistance à la fréquence	due a effet de peau	Rac=ESR	5,3	Ω
résistance en continu	à l'Ohmètre	Rdc	4,4	Ω
Nombre de spires		N	59	
longueur de fil nécessaire		l	184,0	m
poids de cuivre de la bobine		Pds	1,2	kg
Portée max avec Récepteur ARCAS	hypothèse: Meff=282Am ² permet une localisation à travers 270m de calcaire		220	m

Les résultats donnés par l'utilitaire correspondent aux valeurs réelles, sauf pour la résistance Rdc où l'utilitaire donne une résistance 4,4 Ω au lieu des 4,9 Ω mesurés.

Exemple2 Bobine de la balise BIPSE

Diamètre moyen $D=0,096\text{m}$
 Fil de section $S_c=0,5\text{mm}^2$
 Nombre de spires : 670
 En 8 couches séparées par 1 ou 2 feuilles de Kapton pour réduire l'effet de proximité.

Bobinage effectué à la main.



UTILITAIRE POUR LA CONCEPTION DES BOBINES D'EMISSION

(VOIR ARTICLE SUR LE DIMENSIONNEMENT DES BOBINES D'EMISSION)

données à saisir cases mauves
 résultats cases jaunes

cet utilitaire tient compte de l'effet de peau mais pas de l'effet de proximité entre les spires et les couches de la bobine. Celui-ci est souvent négligeable à très basse fréquence.

fréquence de travail 3200

CARACTERISTIQUES DU CUIVRE		
Résistivité	1,80E-08	$\Omega \cdot \text{m}$
masse volumique	8920	kg/m^3

AMPLIFICATEUR DE SORTIE				
tension bobine	amplitude	U	22,2	V
courant bobine	amplitude	I _{max}	2,75	A

RESULTATS				
Section effective	due a effet de peau	Se	4,28E-01	mm^2
Moment magnétique	amplitude	M	12,7	$\text{A} \cdot \text{m}^2$
	valeur efficace	M _{eff}	9,0	$\text{A} \cdot \text{m}^2$
Résistance à la fréquence	due a effet de peau	R _{ac} =ESR	8,1	Ω
résistance en continu	à l'Ohmètre	R _{dc}	6,92	Ω
Nombre de spires		N	637	
longueur de fil nécessaire		l	192,1	m
poids de cuivre de la bobine		P _{ds}	0,9	kg
Portée max avec Récepteur ARCAS	hypothèse: M _{eff} =282Am ² permet une localisation à travers 270m de calcaire		85	m

BOBINE D'EMISSION SANS FERRITE				
Diamètre bobine	moyen	D	0,096	m
Section du fil	section	S _c	0,50	mm^2

Les résultats donnés par l'utilitaire correspondent aux valeurs réelles, sauf pour le nombre de spires où on relève un écart de 5%. Cela est peut-être du à une erreur de mesure du diamètre moyen.