

INSTITUT UNIFIE DE RECHERCHES NUCLEAIRES, DUBNA
Rapport P13 - 6942

CERN LIBRARIES, GENEVA



CM-P00100728

MAGNETOMETRE QUANTIQUE SUPRACONDUCTEUR SENSIBLE

B.V. Vasil'ev, V.G. Grebinnik et V.G. Simkin

Traduit au CERN par F. Quanquin
(Original: russe)
Non révisé par le Service de Traduction

(CERN Trans. 73-3)

Genève
Mai 1973

Le magnétomètre supraconducteur interférométrique à deux contacts étudié et décrit dans l'ouvrage^{/1/} permettait d'obtenir une sensibilité relativement grande au champ magnétique: 4×10^{-7} oersteds pour une constante de temps de l'appareil, proche d'une seconde. Cependant, la nécessité d'accorder les contacts de telle façon que leurs intensités et leurs impédances critiques dans l'état mixte soient à peu près égales^{/2/}, causait des difficultés considérables. L'obligation d'accorder les contacts lors de chaque refroidissement à la température de l'hélium constituait un défaut supplémentaire. Les auteurs de l'étude^{/3/} ont montré qu'en remplaçant dans l'interféromètre le courant continu de transport par un courant radiofréquence, il suffit d'un seul contact dans l'anneau supraconducteur pour observer l'effet quantique qui se manifeste lorsque le flux magnétique varie.

On comprendra le principe de fonctionnement de ce dispositif en examinant le schéma tracé sur la fig.1 où L et C représentent l'inductance et la capacité du circuit oscillant radiofréquence excité par le générateur extérieur Γ , L_0 l'inductance de l'anneau supraconducteur et J le contact ponctuel.

Le flux magnétique total dans l'anneau est la somme du flux ϕ_L créé par le courant supraconducteur I circulant dans l'anneau et du flux ϕ_K engendré par le circuit oscillant et pénétrant dans l'anneau.

$$\phi_{\Sigma} = \phi_L + \phi_K = J L_0 + \phi_K . \quad (1)$$

Étant donné que le courant supraconducteur passe par le contact, sa valeur est déterminée par l'égalité de Josephson

$$J = J_{cr} \sin 2\pi \frac{\phi_{\Sigma}}{\phi_0} . \quad (2)$$

où J_{cr} est le courant critique du contact et ϕ_0 le quantum de flux magnétique.

En substituant /2/ dans /1/ on obtient

$$\phi_{\Sigma} - J_{cr} L_0 \sin 2\pi \frac{\phi_{\Sigma}}{\phi_0} = \phi_K . \quad (3)$$

La fig. 2 présente le graphique de cette fonction dans l'hypothèse où $2\pi L_0 J_{cr} > \phi_0$. Si le flux

$$\phi_K = \phi_{K1} + \phi_{K2} \sin \omega t, \quad (4)$$

où ϕ_{K1} représente le flux magnétique mesuré, ϕ_{K2} - le flux engendré par le courant radiofréquence, alors, comme le montre la fig.2, l'amplitude des oscillations ϕ_{Σ} sera différente selon que ϕ_{K1} est égal à la valeur entière ou demi entière du quantum de flux magnétique ϕ_0 .

La différence de force électromotrice induite dans le circuit par la variation du flux ϕ_{Σ} dans l'anneau, pour ces deux cas s'écrit^{/4/}:

$$\Delta V = \frac{L_0 \omega \phi_0}{2M} . \quad (5)$$

où ω est la fréquence, correspondant à la fréquence résonnante du circuit, à laquelle celui-ci est excité et M l'induction mutuelle du circuit et de l'anneau. La force électromotrice radiofréquence supplémentaire, qui ressort de l'équation /5/ peut se mesurer et sert d'étalon du flux magnétique utilisé ϕ_{K1} .

Dans une expérience semblable à celle qui a été rapportée dans /4/, le contact ponctuel était réalisé au moyen d'une vis en niobium appointée qui effleurait l'extrémité plate et polie d'une autre vis en niobium. Les deux vis étaient placées, comme le montre la figure 3, dans un cylindre en niobium d'une longueur de 20 mm et

de 10mm de diamètre. Deux orifices de 2mm de diamètre, percés dans le cylindre et réunis par une fente de 0,2mm de large constituaient l'inductance parallèle au contact de Josephson. Le réglage du contact s'effectuait à la température de l'hélium en approchant la vis appointée au moyen d'une vis micrométrique commandée de l'extérieur du cryostat.

Le réglage était contrôlé par la caractéristique tension-courant haute fréquence du contact ^{/4/}. Après un réglage unique, les capteurs, soumis à quelques dizaines de cycles refroidissement - échauffement ne présentaient aucune modification sensible de leurs paramètres. Le capteur était relié par induction au circuit oscillant, alimenté en courant haute fréquence de valeur constante par un générateur extérieur. La bobine supraconductrice d'induction du circuit oscillant, d'environ 3.10^{-7} H, était placée dans un des orifices du capteur. Un condensateur du type KCO de 390 pf constituait la capacité du circuit. Le coefficient de surtension obtenu était voisin de 1000 et la fréquence environ 16 MHz. La valeur de la liaison entre le capteur et le circuit était choisie de façon à obtenir la sensibilité maximale ^{/5/}. La tension haute fréquence dans le circuit était renforcée par un amplificateur, dont le premier étage consistant en un transistor à effet de champ au germanium, fonctionnait à la température de l'hélium /figure 4/. L'amplification ultérieure de la haute fréquence, la détection et l'amplification de la basse fréquence permettaient de distinguer des signaux de l'ordre de quelques dixième de microvolt /appliqués à l'entrée/. Les principaux schémas d'amplification et de conversion du signal sont présentés sur les figures 5 et 6.

Le champ magnétique mesuré était créé par une bobine /analogue à la bobine d'induction du circuit/ située dans l'autre orifice du

capteur. Un courant modulant de forme différente produit par le générateur basse fréquence traversait cette bobine. Ainsi, si le champ magnétique variait selon la loi en dents de scie, à la sortie du magnétomètre, on observait un signal caractéristique /fig.7/, d'après lequel on pouvait facilement effectuer un réglage fin. Pour éviter l'effet des champs magnétiques variables extérieurs, le capteur était entouré d'un écran supraconducteur. L'utilisation de cet écran composé d'une feuille de plomb permettait de réduire cet effet de trois ordres de grandeur environ. La sensibilité du magnétomètre était à peu près égale à 10^{-8} oersteds/s^{1/2} et se trouvait limitée non par les bruits du circuit basse fréquence, mais par les fluctuations du champ magnétique extérieur, traversant l'écran.

Les auteurs remercient E.M. Rusakov et N.I. Volodenkov qui les ont aidé à fabriquer les capteurs.

Bibliographie

1. B.V. Vasil'ev, V.G. Simkin. Communication IURN 13-5894, Dubna, 1971.
2. J.E. Zimmerman et A.H. Silver. Phys. Rev. V. 141, 1, p. 141 (1966).
3. A.H. Silver et J.E. Zimmerman. Phys. Rev. V. 157, p. 317 (1967).
4. J.E. Zimmerman, Z. Thiene et J.T. Harding. Journal of Applied Physics V. 41, 4, 1572 (1970).
5. M.B. Simmonds et W.H. Parker. Journal of Applied Physics 42, 38 (1971).

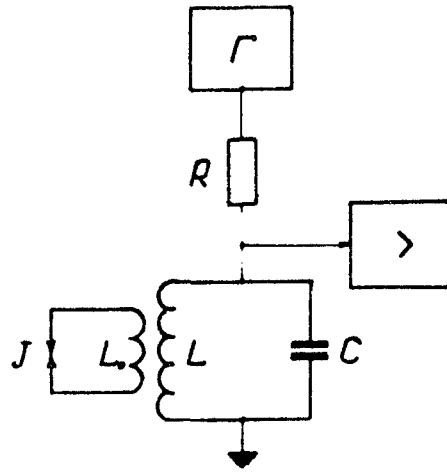


Fig. 1. Γ - générateur haute fréquence, R - résistance limite, L et C - inductance et capacité du circuit oscillant, L_0 - inductance de l'anneau supraconducteur, shuntant la jonction de Josephson J, > - amplificateur.

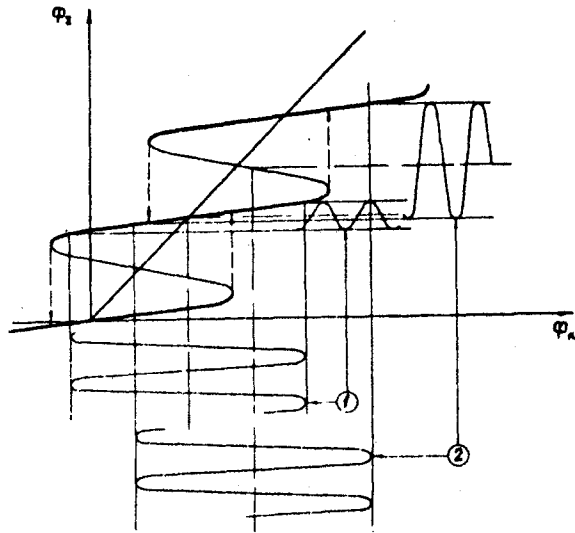


Fig. 2. Illustration du principe de fonctionnement du magnétomètre quantique radiofréquence. ϕ_K - flux magnétique produit par le circuit oscillant dans l'anneau supraconducteur. ϕ_Σ - flux magnétique total pénétrant dans l'anneau. Les traits gras indiquent les sections stables de la caractéristique d'amplitude du dispositif et les pointillés, les valeurs des flux correspondant aux passages d'un état stable à un autre lors d'une augmentation ou d'une diminution du flux ϕ_K . Les chiffres 1 et 2 désignent la valeur du flux radiofréquence du circuit et des réponses de l'anneau supraconducteur pour des valeurs moyennes du flux magnétique égales au nombre entier et demi-entier des quantas $hc/2e$.

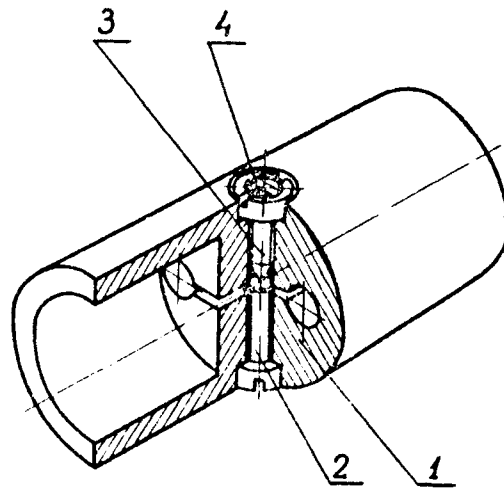


Fig. 3. 1: cylindre en niobium; 2: vis en niobium
à bout plat poli; 3: vis en niobium appointée;
4: contre-écrou.

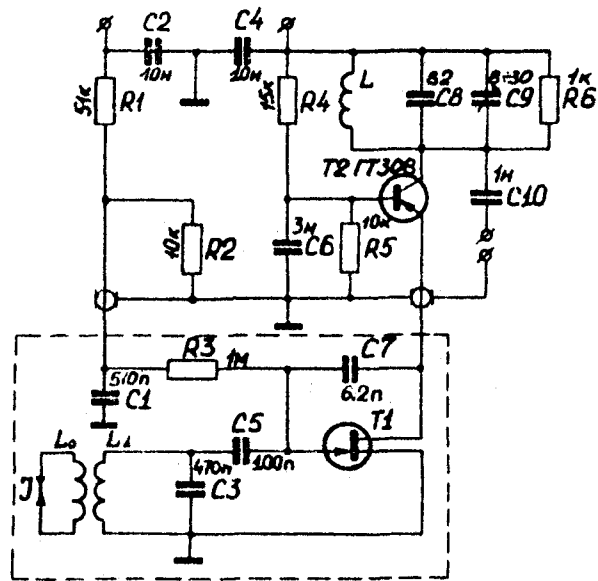


Fig. 4. Schéma du préamplificateur. Le rectangle encadre la partie du circuit qui fonctionne à la température de l'hélium.

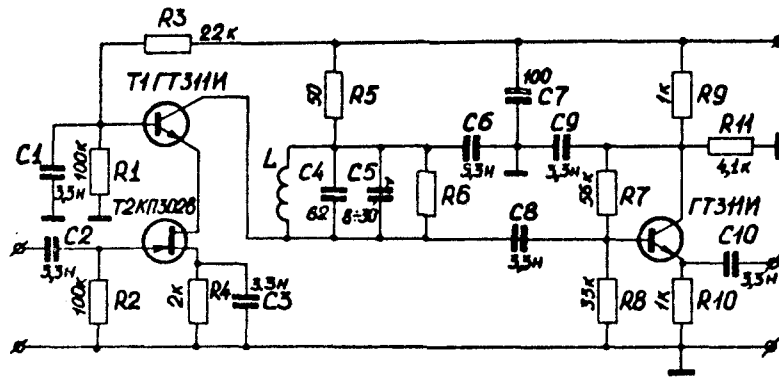


Fig. 5. Schéma de principe de l'amplificateur haute fréquence.

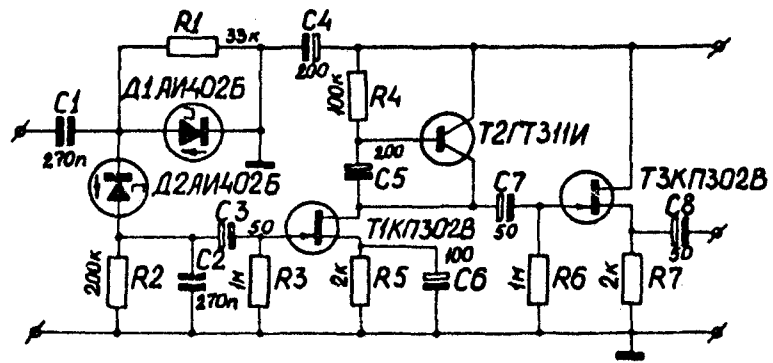


Fig. 6. Schéma de principe du détecteur et de l'amplificateur basse fréquence.

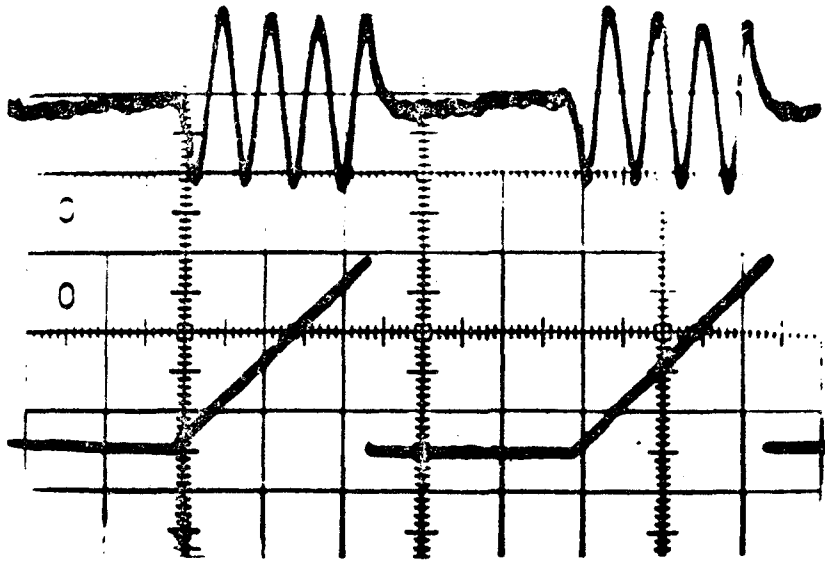


Fig. 7. Oscillogramme du signal à la sortie du magnétomètre/
trace supérieure/ lors de la variation du champ
magnétique selon la loi en dents de scie/ trace
inférieure/. La période du signal de sortie est
égale à 6×10^{-6} .