

КОЕФІЦІЄНТ ШУМУ ТА ЧУТЛИВІСТЬ АВТОДИННОГО СПІН-ДЕТЕКТОРА

На основі малосигнальної еквівалентної схеми розраховано коефіцієнт шуму та чутливість автодинного спіну-детектора, побудованого на двотактному витоковому повторювачі напруги. При оптимальних значеннях амплітуди коливань, добротності контуру та частоти модуляції досягається найкраще співвідношення сигнал/шум, при якому коефіцієнт шуму складає 5,6 дБ.

The noise factor and sensitivity of marginal oscillator spin-detector, designed on the two-stroke source follower of voltage, are calculated by the low-signal scheme. The least value of the noise factor, which makes 5,6 dB, is achieved for optimal values of the oscillation amplitude, Q -factor of oscillatory outline and modulation frequency.

Автогенераторні датчики сигналів - автодини мають досить широке розповсюдження в експериментальній техніці стаціонарної радіоспектроскопії, зокрема ЯМР та ЯКР. Причина полягає у тому, що ці пристрої мають відносно просту схемотехніку та можливість проведення температурних досліджень у широкому температурному інтервалі, включаючи область рідкого гелію. Автодини, а також інші радіотехнічні пристрої, характеристики яких зорієнтовано на спостереження резонансних сигналів ядерних або електронних магнітних моментів, у технічній літературі прийнято називати спіну-детекторами. У роботі [1] був запропонований такий пристрій, побудований на двох витокових повторювачах напруги високої частоти (ВЧ), що працюють у протифазі. Симетрія електричної схеми відносно заземлення та шин живлення дозволила у значній мірі послабити вплив зовнішніх завад на роботу цього пристрою. Особливо це відчутно при проведенні низькотемпературних досліджень, де присутні сильні акустичні завади. Метою даної роботи є аналіз модифікованої схеми автодинного спіну-детектора, розрахунок коефіцієнта шуму і чутливості. У літературі практично відсутні дані з подібних досліджень. Для визначення шумів схема автодинного генератора на основі "ємнісної триточки" була замінена малосигнальною еквівалентною схемою [2], яка показана на рис. 1.

Коливальний контур складається з паралельного резонансного LC-кола з еквівалентною паралельною провідністю G_0 і пов'язаним з нею

шумом i_0 . Додаткова провідність ΔG відповідає ЯМР-поглинанню. Вхідне коло складається з елементів, які шунтують коливальний контур. Ємнісні частини їхніх повних провідностей входять у величину C , тоді як частини, пов'язані з активними опорами, входять у G_i .

Генератор струму вхідних шумів i_i повинен утворюватись з відповідної квадратичної комбінації теплових шумів усіх шунтуючих елементів. Послідовно ввімкнений генератор шумових напруг v_n відповідає дробовому шуму, віднесеному до входу. Для аналізу шумів вхідного кола зручно замінити активні прилади їхніми малосигнальними еквівалентними схемами [3]. При визначенні загальних значень теплових і дробових шумів вхідного кола необхідно врахувати взаємну кореляцію шумів паралельно ввімкнених транзисторів. Коло зворотного зв'язку (33) складається з генератора $G_m v_1$ та активної частини еквівалентної повної провідності $33 G_j$, ємнісна частина якої входить у C .

При аналізі даної схеми застосована модель, запропонована у роботі [2], завдяки якій визначено коефіцієнт шуму F_N :

$$F_N = S_i(f_M) / S_{coil}(f_0) = 3,63 \text{ (або } 5,59 \text{ дБ)},$$

де $S_i(f_M) = 1,084 \cdot 10^{-15}$ Вт/Гц - повна спектральна густина вхідних шумів на частоті модуляції $f_M = 200$ Гц; $S_{coil}(f_0) = 2,989 \cdot 10^{-16}$ Вт/Гц - спектральна густина безпосередніх шумів котушки на несучій частоті $f_0 = 14,8$ МГц.

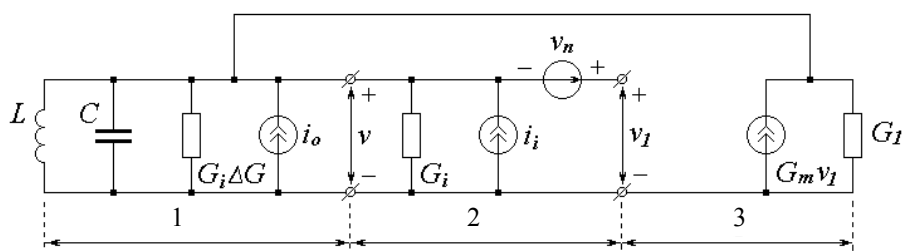


Рис.1. Еквівалентна схема автодинного детектора у малосигнальному режимі: 1 - коливальний контур, 2 - вхідне коло, 3 - зворотний зв'язок.

Також була розрахована чутливість автодинного спін-детектора за методикою роботи [2]:

$$\chi_s'' = (\omega_M L / E) [S_{in}(f_0) + \alpha^2 S_{in}(f_0)]^{1/2},$$

де $\omega_M = 2\pi f_M = 2\pi \cdot 200 = 1257 \text{ с}^{-1}$ - кутова частота модуляції, $L = 1,3 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}$ - величина індуктивності коливального контура, $E = 270 \text{ мВ}$ - амплітуда ВЧ коливань, $S_{in}(f_0) = 2,698 \cdot 10^{-12} \text{ Вт/Гц}$ - спектральна густина джерела шуму $i_n = i_0 + i_i$ на несучій частоті, $\alpha = 6,67 \cdot 10^{-3}$ - коефіцієнт нелінійності залежності струму стоку від напруги "затвор-витік" польового транзистора, $S_{in}(f_0) = 7,619 \cdot 10^{-25} \text{ Вт/Гц}$ - спектральна густина джерела дробового шуму v_n на несучій частоті. Тоді чутливість схеми складатиме величину $\chi_s'' = 9,97 \cdot 10^{-9}$.

У процесі дослідження схеми визначена залежність коефіцієнта шуму F_n від амплітуди ВЧ коливань E (рис.2) при різних значеннях добротності коливального контуру. Цю залежність отримано за допомогою зміни провідності G_i при частоті несучих коливань $f_0 = 14,8 \text{ МГц}$. Також знята залежність чутливості χ_s'' від частоти модуляції f_M при різних амплітудах ВЧ коливань E (рис.3). Графік отримано при частоті несучих коливань $f_0 = 14,8 \text{ МГц}$ і добротності коливального контуру $Q = 95$. В порівнянні із залежністю роботи [2] існує зниження чутливості на низьких частотах завдяки незначному вкладу величини шуму типу $1/f$ польових транзисторів у порівнянні з радіолампами. Експериментальне дослідження автодинного спін-детектора показало, що найкраще співвідношення сигнал/шум спектрів ЯМР досягається при коефіцієнті шуму $F_N = 5,6 \text{ дБ}$ і таких параметрах пристрою: амплітуді ВЧ коливань $E = 270 \text{ мВ}$, добротності коливального контуру $Q = 95$, частоті модуляції $f_M = 230 \text{ Гц}$, що непогано узгоджується з розрахунковими даними.

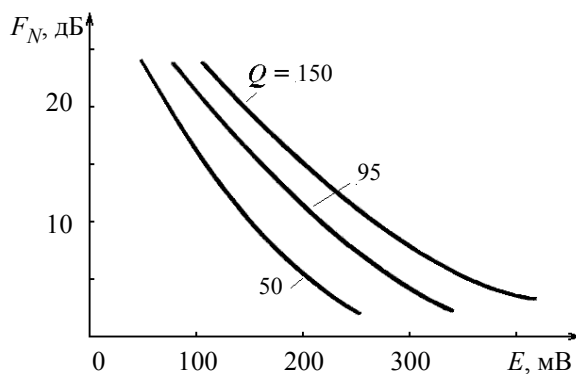


Рис.2. Залежність коефіцієнта шуму від рівня високо-частотної напруги E .

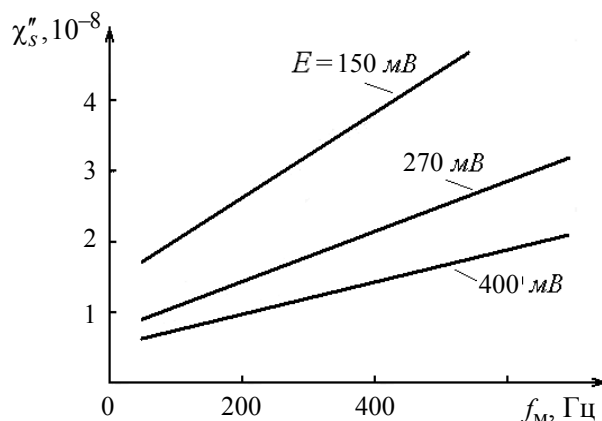


Рис.3. Залежність чутливості спін-детектора від частоти модуляції f_M .

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Хандошко А.Г., Слынько Е.И., Черныш И.П. Автодинный детектор для исследования ядерного магнитного резонанса и размерных эффектов в полупроводниках // ПТЭ. - 1988. - №5. - С.110-112.
2. Adler M.S., Senturia S.D., Hewes C.R. Sensitivity of Marginal Oscillator Spectrometers // Rev. Sci. Instrum. 1971. - 42, No.5. - P.704-712.
3. Bloyet D., Lepaisant J., Varoquaux E. Very-low-noise amplifier for low-temperature pulsed NMR experiments // Rev. Sci. Instrum. - 1985. - 56, No. 9, P.1763-1771.