

## ЕФЕКТИВНІСТЬ СТОКОВОГО ДЕТЕКТУВАННЯ В АВТОДИННОМУ СПІН-ДЕТЕКТОРІ

Досліджені перехідні та сигнальні характеристики стокового детектора на польовому транзисторі. Доведено існування двох нелінійних ділянок на перехідних характеристиках з ефектом детектування. Найбільший детекторний ефект спостерігається на ділянці з параболічною нелінійністю. Детекторні властивості *p-n*-переходу затвора при цьому не виявлено.

The transitional and signal performances of the source-detector on the field transistor were investigated. The existence of two nonlinear plots on which is proved is exhibited effect of detecting. It is more all detection effect monitors on a plot with quadratic dependence. The detection possibility *p-n*-transition for want of that are not exhibited.

У автодинних спіні-детекторах ядерного магнітного та квадрупольного резонансів (ЯМР, ЯКР) для амплітудної демодуляції резонансних сигналів часто застосовують, так зване, стокове детектування, яке обумовлено нелінійністю перехідної характеристики польового транзистора. Завдяки наявності параболічної ділянки на перехідній характеристиці, такий спосіб виділення низькочастотної складової є досить ефективним [1,2]. Більше того, оскільки функції ВЧ-генератора і детектора при цьому, як правило, поєднуються, то немає необхідності в узгодженні коливного контуру з окремим діодним детектором. Отже існує можливість помітно зменшити шум-фактор за рахунок скорочення числа джерел шуму у вхідному пристрої радіоспектрометра [3].

У роботі наведені результати дослідження стокового детектора на польовому транзисторі, проведені з метою виявлення найбільш ефективних режимів демодуляції резонансних сигналів.

### Експеримент

Відомо, що проходження високочастотного сигналу через нелінійну ланку приводить до появи постійної складової, НЧ та ВЧ складових. При цьому необов'язково застосовувати діод, як нелінійний елемент, а можна використовувати нелінійність перехідної характеристики активного елемента – транзистора [4]. Польові транзистори з *p-n*-переходом найбільш придатні для застосування їх у схемах автогенераторних спіні-детекторів. У порівнянні з біполярними транзисторами, вони характеризуються нижчим рівнем шумів, а їхні високі вхідні опори дають можливість знайти

більш компромісні рішення при узгодженні з резонансним контуром. Ще одним важливим фактором польового транзистора є наявність параболічної нелінійної ділянки перехідної характеристики. Розміщення робочої точки на цій ділянці характеристики дає можливість отримати демодульований сигнал, що супроводжується меншим числом комбінаційних частот, а, отже, незначним ростом шуму у порівнянні зі звичайним діодним детектуванням.

При реальному використанні спіні-детектора на польовому транзисторі можна спостерігати два режими детектування сигналу ЯМР або ЯКР. При переміщенні робочої точки транзистора по перехідній характеристиці реєструються два сигнали резонансного поглинання у протифазі, що відповідають різним напругам зміщення  $U_{CB}$  (стік-вітик). Безумовно, один з цих сигналів отримується за рахунок параболічної ділянки перехідної характеристики польового транзистора, яка описується формулою [1]:

$$I_D = \frac{1}{2} g_{fs0} V_{GS0} (1 - V_{GS} / V_{GS0})^2,$$

де  $I_D$  – струм стоку,  $g_{fs0}$  – крутизна транзистора,  $V_{GS}$  – потенціал затвору,  $V_{GS0}$  – потенціал відсічки.

Унаслідок параболічності характеристики навіть малі зміни рівня високочастотної напруги викликають значні зміни струму стоку. Тому сигнал ЯМР та ЯКР зручно детектувати шляхом реєстрації напруги на стоковому або витоковому опорах навантаження.

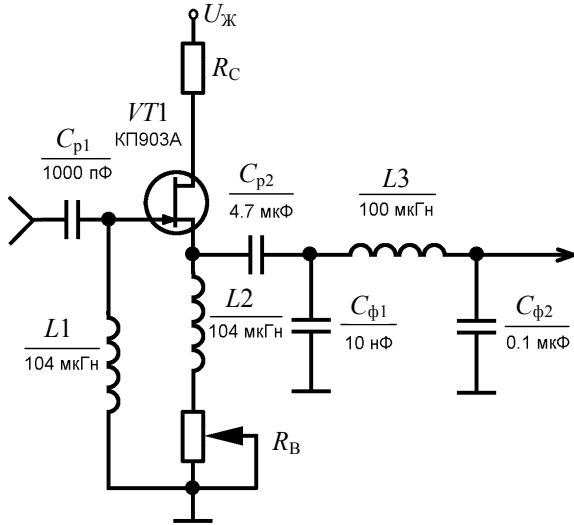


Рис.1 Принципова схема детектора.

Вважалося, що другий резонансний сигнал протилежної фази обумовлений виключно детекторним ефектом *p-n*-переходу затвора при напрузі зміщення  $U_{ЗВ}=0$  В. Для перевірки цього ефекту була складена схема для зняття перехідних характеристик та залежності амплітуди НЧ сигналу від величини опору в колі витоку (сигнальна характеристика) на польовому транзисторі КП903А (рис. 1).

На вхід схеми подавались модульовані ВЧ-коливання частотою 10 МГц з частотою модуляції 400 Гц. Вимірювання амплітуди і фази виділеного НЧ-сигналу здійснювалося за допомогою двопроменевого осцилографа С1-83. Положення робочої точки регулювалося шляхом зміни опору  $R_B$  ввімкненого у ланку витоку. На рис.2 наведені перехідні характеристики польового транзистора при постійній напрузі живлення  $U_{Ж}$  і різних опорах навантаження  $R_C$ . Як видно, така характеристика має дві ділянки з явно вираженою нелінійністю (А і Б). Початкова ділянка поблизу напруги відсічки (А) є типовою для польових транзисторів з *p-n*-переходом. Саме тут залежність струму стоку  $I_C$  від напруги  $U_{ЗІ}$  близька до параболічної [5]. При менших напругах  $U_{ЗІ}$  спостерігається ще одна нелінійна ділянка (Б), яка виникає за рахунок насичення каналу транзистора при збільшенні  $I_C$ .

На рис.3 наведені сигнальні характеристики детекторної властивості каскаду на польовому транзисторі. По вісі ординат відкладена величина амплітуди демодульованого сигналу  $U_{НЧ}$  з врахуванням його фази при різних опорах навантаження  $R_C$  (47 Ом, 510 Ом, 1 кОм, 5,5 кОм). Значенню "0" – відповідає нульова амплітуда сигналу,

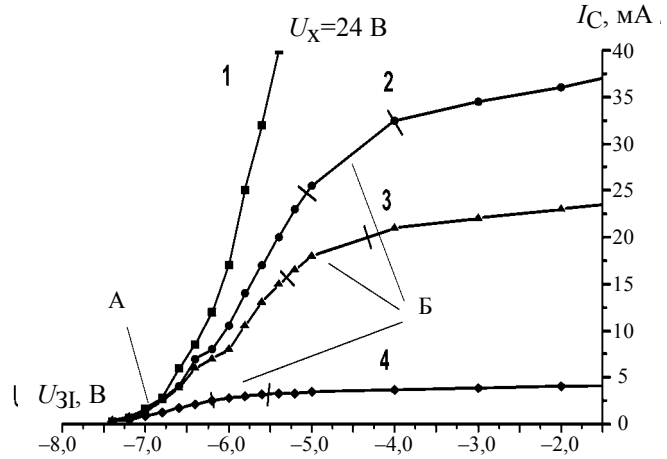


Рис.2 Залежність струму стоку від напруги затвор-вентик при опорах навантаження  $R_C=47$  Ом (1), 510 Ом (2), 1 кОм (3), 5,5 кОм (4).

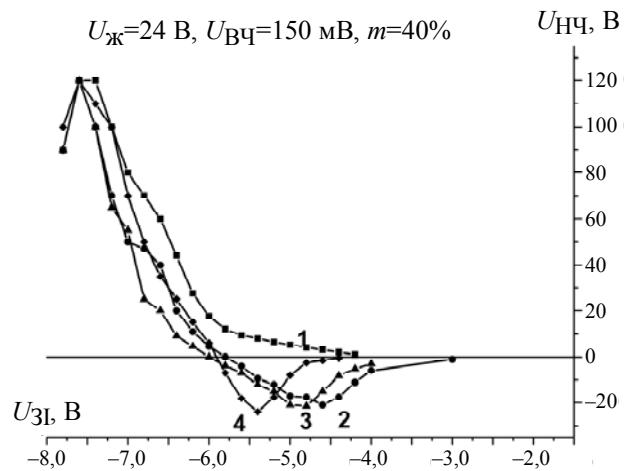


Рис.3 Залежність амплітуди вихідного НЧ сигналу від зміни опору у колі витоку при опорах навантаження  $R_C=47$  Ом (1), 510 Ом (2), 1 кОм (3), 5,5 кОм (4).

тобто його відсутність. При зменшенні напруги  $U_{ЗІ}$  сигнал також детектується, але з меншою амплітудою вихідного сигналу та протилежною фазою.

Співставлення результатів вимірювань (рис.2, 3) показує, що значний ефект детектування проявляється тільки на нелінійних ділянках перехідної характеристики. При вибраних параметрах схеми (рис.1) найбільший детекторний ефект проявляється на ділянці (А). При цьому положення максимуму детекторного ефекту практично не залежить від напруги зміщення. В той же час характерним для ділянки (Б) є переміщення максимуму кривої детекторного ефекту на шкалі напруги зміщення при зміні навантаження.

Отже, дійсно існують дві області детектування, спричинені нелінійністю перехідної характерис-

тики польового транзистора. У нашому випадку ефект детектування не пов'язаний з наявністю затворного  $p-n$ -переходу. Зауважимо, що амплітуда сигналу, яка створюється на параболічній ділянці (А) набагато більше амплітуди сигналу, який створюється на нелінійній ділянці (Б). У випадку, коли спостерігається реальний спектр ЯМР або ЯКР, то дійсно на ділянці (Б) реєструється відносно слабкий зашумлений сигнал.

#### Висновки

1. Досліджені перехідні та сигнальні характеристики стокового детектора амплітудно-модульованих ВЧ-коливань.
2. Доведено, що на перехідній характеристиці існують дві нелінійних ділянки де здійснюється ефект детектування.
3. Виявлено, що найбільшу амплітуду з малим рівнем шумів дає детектування на ділянці перехідної характеристики з параболічною залежністю струму стоку від напруги затвор-витік.
4. Властивості затвора польового транзистора як  $p-n$ -переходу не проявляються при стоковому детектуванні модульованих ВЧ-коливань.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Салливан Н. Применение полевых транзисторов в ЯМР- и ЯКР-спектрометрах // Приборы для научных исследований. – 1973. – №3. – С.56-59.
2. Хандошко А.Г., Слынько Е.И. Автодинный детектор сигналов ЯМР на полевых транзисторах // ПТЭ. – 1975. – №1. – С.152-154.
3. Хандошко А.Г., Слынько Е.И., Черныш И.П. Автодинный детектор для исследования ядерного магнитного резонанса и различных дефектов в полупроводниках // ПТЭ. – №5. – 1988. – С.110-112.
4. Милехин А.Г. Радиотехнические схемы на полевых транзисторах. – М.: Энергия, 1976.
5. Радиоприемные устройства / Под ред. В.И. Сифорова. – М.: Сов. радио, 1974.