

ІНДУКТИВНИЙ ЕФЕКТ В НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ТРАНЗИСТОРАХ

Вінницький національний технічний університет

Анотація: Проаналізовано процес виникнення індуктивного ефекту в напівпровідникових приладах, зокрема, в біполярних транзисторах. Наведено прості математичні моделі еквівалентів індуктивності на базі біполярних структур транзистора та проаналізовано можливість лабораторного дослідження таких транзисторів.

Abstract: The process of occurrence of inductive effect in semiconductor devices, in particular, in bipolar transistors, is analyzed. Simple mathematical models of inductance equivalents based on transistor bipolar structures are presented and the possibility of laboratory research of such transistors is analyzed.

Ключові слова: індуктивний ефект, моделювання, еквівалент індуктивності, індуктивний транзистор.

Keywords: inductive effect, simulation, inductance, inductance transistor.

Вступ

Зазвичай інтегральні схеми проектуються таким чином, щоб виключити індуктивні елементи. Це, на щастя, легко досягається в разі більшості комп'ютерно-обчислювальних схем. Якщо ж індуктивності уникнути не можливо, то еквівалентні функції можуть бути виконані з різним ступенем успіху напівпровідниковими елементами, зокрема, індуктивними транзисторами.

Мета даної роботи – проаналізувати процеси виникнення індуктивного ефекту в напівпровідникових приладах та можливість лабораторного дослідження таких процесів.

Моделювання індуктивного ефекту в напівпровідникових приладах

Важливою проблемою є моделювання індуктивності за допомогою напівпровідникових приладів. Індуктивності величиною аж до декількох мілігенрі можна отримати на основі ефекту модуляції провідності в спеціальних діодах, як це показано на рис. 1. Інжекція носіїв в базову область високоомного кремнію призводить до збільшення струму, що протікає через діод в прямому напрямку, протягом часу, необхідного носіям для проходження бази до рекомбінації. Так як цей струм має тенденцію відставати від вхідної напруги, то в результаті створюється індуктивний зсув фази [1, 2]. Ясно, що чим довша область бази з високим опором, тим довше протікає струм.

Аналіз такого приладу показав, що його можна представити еквівалентною схемою [1], зображеної на рис. 1. Однак через дуже низькі величини доб-

ротності, а також погану температурну стабільність ці прилади мають дуже обмежене використання. Добротність може бути збільшена, якщо компенсувати втрати в діоді шляхом комбінації індуктивного діода з різноманітними приладами з негативним опором, наприклад з тунельним діодом, чотиришаровими приладами або одноперехідними транзисторами. Значний індуктивний ефект можна отримати в схемах, що складаються з ланцюжків RC -фазозміщення і транзисторів.

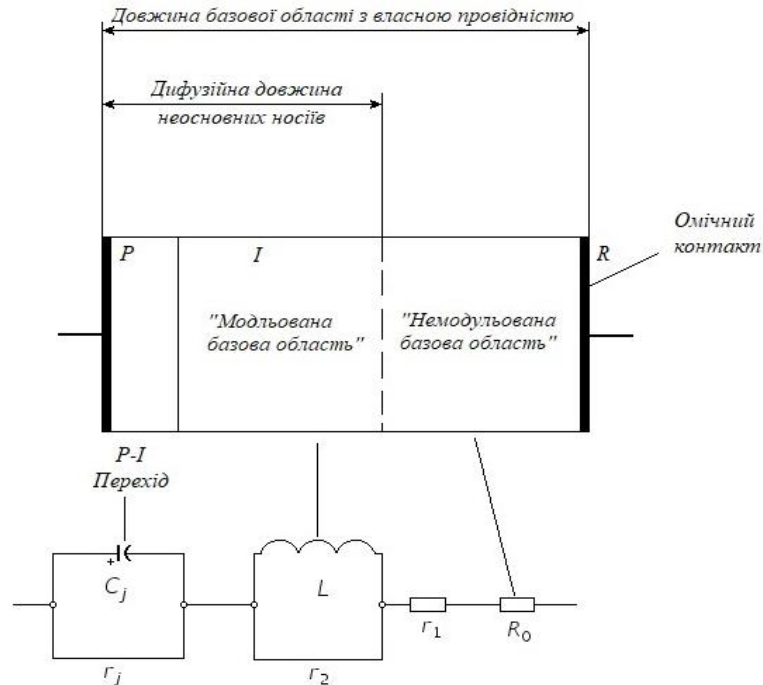


Рисунок 1 - Спрощена модель и еквівалентна схема діода при прямому зміщенні

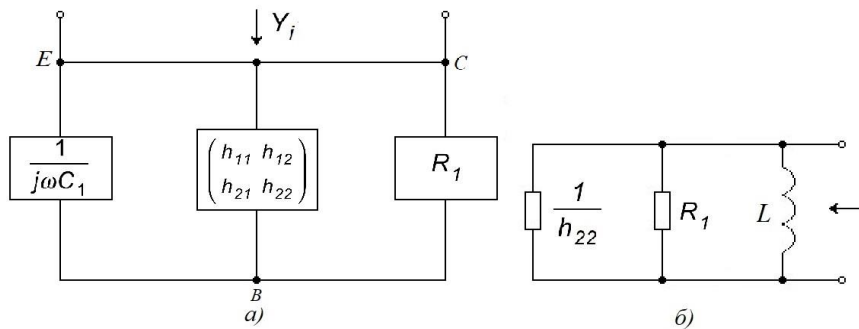


Рисунок 2 - Індуктивний ланцюг на транзисторі (а) та її еквівалентна схема (б)

Простий ланцюг такого типу зображена на рис. 2, де для транзистора використано подання у вигляді чотиріполюсника. Застосовуючи до цієї схеми звичайний аналіз [1, 2], можна показати, що вхідна провідність Y_i є.

Звідси слідує, що ланцюг може бути представлений схемою, показаною на рис. 2. де еквівалентна індуктивність L є.

$$Y_I = \left(h_{22} + \frac{1}{R_1} \right) + \frac{h_{22}}{h_i \left(\frac{1}{j\omega C_1 R_1} \right)}, \quad (1)$$

де

$$h_i = r_B + \frac{r_E}{1 - \alpha},$$

якщо

$$R_1 \gg \frac{1}{\omega C_1} \quad \text{і} \quad h_i \gg \frac{1}{\omega C_1}.$$

Звідси випливає, що ланцюг може бути представлений схемою, показаною на рис. 3, (б), де еквівалентна індуктивність L є

$$L = \frac{h_i}{h_{21}} C_1 R_1 \quad (2)$$

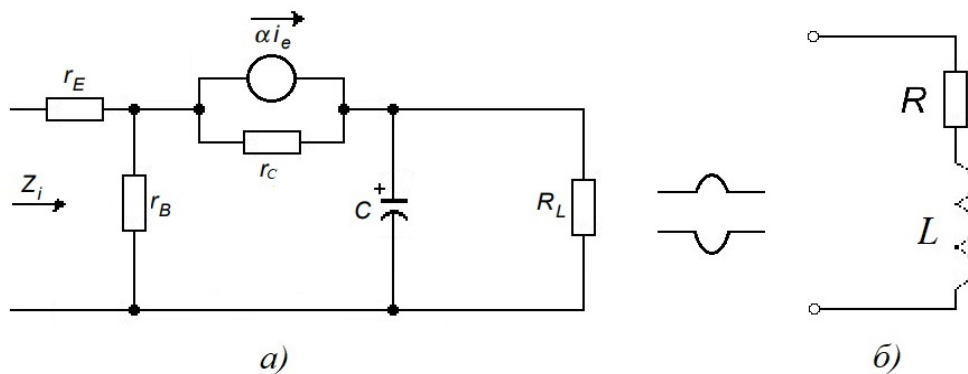


Рисунок - 3. Індуктивний транзистор (а) і його еквівалентна схема (б)

Як і слід було очікувати, схеми цього роду мають низьку добротність, але дозволяють отримати дуже велике значення індуктивності.

Індуктивні ефекти спостерігаються також в транзисторах [1, 2], що працюють в схемі із загальною базою поблизу граничної частоти α . На рис. 3. показана еквівалентна схема, в якій конденсатор C діє як коротке замикання, $R_L \gg r_C$. Тоді вхідний імпеданс Z_i буде

$$Z_i = r_E + r_B(1 - \alpha). \quad (3)$$

Поблизу відсічки по α

$$\alpha = \frac{1 - j\left(\frac{f}{f_\alpha}\right)}{1 + \left(\frac{f}{f_\alpha}\right)^2} \alpha_0. \quad (4)$$

Тому

$$Z = (r_E + r_B) - \frac{r_B \alpha_0}{1 + \left(\frac{f}{f_\alpha}\right)^2} + \frac{j r_B \left(\frac{f}{f_\alpha}\right) \alpha_0}{1 + \left(\frac{f}{f_\alpha}\right)^2} \quad (5)$$

і

$$L = \frac{r_b}{2\pi f} \frac{\left(\frac{f}{f_\alpha}\right) \alpha_0}{1 + \left(\frac{f}{f_\alpha}\right)^2} \quad (6)$$

З останньої формули випливає, що індуктивність зростає зі збільшенням опору бази r_b . Збільшення індуктивності і значне поліпшення добротності може бути використано, якщо збільшити негативний зсув на колектор так, щоб транзистор працював на ділянці лавинного пробою. Тоді стає істотним коефіцієнт множення M , і вираз для вхідного імпедансу приймає наступний вигляд:

$$Z = (r_E + r_B) - \frac{\alpha_0 M r_B}{1 + \left(\frac{f}{f_\alpha}\right)^2} + \frac{j r_B \alpha_0 M \left(\frac{f}{f_\alpha}\right)}{1 + \left(\frac{f}{f_\alpha}\right)^2} \quad (7)$$

Щодо можливості лабораторного дослідження індуктивного ефекту, то тут доцільним, з нашої точки зору, було досліджувати не сам індуктивний ефект, а параметри схемного застосування напівпровідникових приладів в якості еквівалентів індуктивності, зокрема автогенератора електричних коливань, в коливальне коло якого включити, наприклад, індуктивний транзистор [3].

Висновок

Проаналізовано процес виникнення індуктивного ефекту в напівпровідникових приладах, зокрема, в біполярних транзисторах. Наведено прості математичні моделі еквівалентів індуктивності на базі біполярних структур транзистора та запропоновано лабораторне дослідження на базі використання індуктивних транзисторів у відповідних функціональних схемах, зокрема, в схемі автогенератора.

Література

1. Левин С. Основы полупроводниковой микроэлектроники / С.Левин. – М.: Сов.радио, 1966 – 243с.
2. Осадчук В.С. Индуктивный эффект в полупроводниковых приборах/ В. С. Осадчук –К.: Высшая школа, 1987, -155 с.
3. Осадчук В.С. Напівпровідникові перетворювачі інформації / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук. –Вінниця: ВНТУ, 2004. – 208 с.

Подобєдов Максим Олександрович – студент групи МЕ-156, факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: maxpodobedov@gmail.com

Кравченко Юрій Степанович, к. ф.-м. н., професор кафедри електроніки та наносистем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.