

# РАДІОЕЛЕКТРОНІКА ТА РАДІОЕЛЕКТРОННЕ АПАРАТОБУДУВАННЯ

УДК 621.3.011.212

Л. Б. Ліщинська, к. т. н., доц.;  
О. В. Войцеховська, к. т. н.;  
О. О. Лазарєв, к. т. н.;  
М. А. Філінюк, д. т. н., проф.

## АНАЛІЗ КОЕФІЦІЄНТА ДОБРОТНОСТІ ПОМНОЖУВАЧА ІНДУКТИВНОСТІ

Розроблено методику підвищення коефіцієнта добротності помножувача індуктивності шляхом використання оптимальних параметрів узагальненого перетворювача імітансу.

### Вступ

Помножувач індуктивності — це активний чотириполюсник, значення вхідної  $L_{\text{вх}}$  (вихідної  $L_{\text{вих}}$ ) індуктивності якого залежить від індуктивності навантаження  $L_{\text{н}}$  (генератора  $L_{\text{г}}$ ) та в  $K_L$  разів перевищує її [1].

Другим після коефіцієнта множення індуктивності  $K_L$  найважливішим параметром є коефіцієнт добротності

$$K_{Q_{\text{вх}}} = Q_{L_{\text{вх}}}/Q_{L_{\text{н}}} \quad \text{або} \quad K_{Q_{\text{вих}}} = Q_{L_{\text{вих}}}/Q_{L_{\text{г}}}, \quad (1)$$

де  $Q_{L_{\text{вх}}}$  і  $Q_{L_{\text{вих}}}$  — добротності вхідної (вихідної) індуктивності чотириполюсника;  $Q_{L_{\text{н}}}$  і  $Q_{L_{\text{г}}}$  — добротності індуктивності навантаження і генератора. Структурну та високочастотну схеми помножувача індуктивності показано на рис. 1.

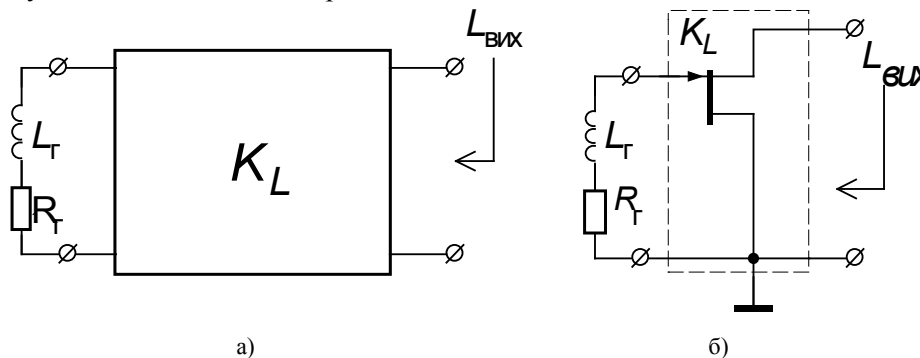


Рис. 1. Структурна (а) та високочастотна (б) схеми помножувача індуктивності

Застосування помножувача індуктивності, який має  $K_Q < 1$  практично недоцільно, оскільки приводить до погіршення низки параметрів радіовимірювальних пристроїв. У публікаціях, які присвячені помножувачам індуктивності [1, 2] та перетворювачам імітансу [3, 4], ці питання не знайшли теоретичної оцінки. Виходячи з цього, в роботі вирішується завдання визначення умов, які забезпечують отримання значень  $K_Q > 1$ .

### Аналітичне визначення коефіцієнта добротності

Аналіз узагальнених перетворювачів імітансу показав, що в якості помножувача індуктивності можуть використовуватися тільки конвертори імітансу, які мають дійсний або комплексний коефіцієнт конверсії  $T_K$ .

У випадку використання дійсного конвертора імітансу з коефіцієнтом конверсії  $T_K = \text{Re } T_K$ , його вхідний імітанс буде рівний [5]

$$W_{\text{вх}} = T_K W_{\text{н}} = T_K \text{Re } W_{\text{н}} + j T_K \text{Im } W_{\text{н}} = \text{Re } W_{\text{вх}} + j \text{Im } W_{\text{вх}}, \quad (2)$$

де  $W_{\text{н}}$  — перетворюваний імітанс.

Враховуючи, що добротність перетворюваного імітансу

$$Q_{L_{\text{н}}} = \text{Im } W_{\text{н}} / \text{Re } W_{\text{н}},$$

а добротність перетвореного імітансу

$$Q_{L_{\text{вх}}} = \text{Im } W_{\text{вх}} / \text{Re } W_{\text{вх}},$$

з урахуванням (1) та (2), знаходимо:

$$K_{Q_{\text{вх}}} = \frac{Q_{L_{\text{вх}}}}{Q_{L_{\text{н}}}} = \frac{T_K \text{Im } W_{\text{н}} \text{Re } W_{\text{н}}}{T_K \text{Re } W_{\text{н}} \text{Im } W_{\text{н}}} = 1. \quad (3)$$

Таким чином, як випливає з (3), у разі використання ідеального дійсного конвертора імітансу, добротність індуктивності вхідного кола буде дорівнювати добротності індуктивності навантаження  $Q_{L_{\text{вх}}} = Q_{L_{\text{н}}}$ .

У випадку використання узагальненого конвертора імітансу з коефіцієнтом конверсії  $\dot{T}_K = \text{Re } \dot{T}_K + j \text{Im } \dot{T}_K$ , перетворений імітанс буде дорівнювати:

$$\begin{aligned} W_{\text{вх}} &= \dot{T}_K \dot{W}_{\text{н}} = (\text{Re } \dot{T}_K + j \text{Im } \dot{T}_K)(\text{Re } W_{\text{н}} + j \text{Im } W_{\text{н}}) = \\ &= \text{Re } \dot{T}_K \text{Re } W_{\text{н}} - \text{Im } \dot{T}_K \text{Im } W_{\text{н}} + j(\text{Im } \dot{T}_K \text{Re } W_{\text{н}} + \text{Re } \dot{T}_K \text{Im } W_{\text{н}}). \end{aligned}$$

Звідки

$$Q_{\text{вх}} = \frac{\text{Im } \dot{T}_K \text{Re } W_{\text{н}} + \text{Re } \dot{T}_K \text{Im } W_{\text{н}}}{\text{Re } \dot{T}_K \text{Re } W_{\text{н}} - \text{Im } \dot{T}_K \text{Im } W_{\text{н}}} = \frac{\text{Im } \dot{T}_K + Q_{L_{\text{н}}} \text{Re } \dot{T}_K}{\text{Re } \dot{T}_K - Q_{L_{\text{н}}} \text{Im } \dot{T}_K}. \quad (4)$$

Підставляючи (4) в (1), знаходимо:

$$K_Q = \frac{\text{Im } \dot{T}_K + Q_{L_{\text{н}}} \text{Re } \dot{T}_K}{Q_{L_{\text{н}}} (\text{Re } \dot{T}_K - Q_{L_{\text{н}}} \text{Im } \dot{T}_K)}. \quad (5)$$

З аналізу (4) і (5) виходить, що із зростанням  $Q_{L_{\text{н}}}$  збільшується  $K_Q$  і при

$$Q_{L_{\text{н}}} = \frac{\text{Re } \dot{T}_K}{\text{Im } \dot{T}_K} \quad (6)$$

маємо  $K_Q = \infty$ . Це свідчить про те, що  $Q_{\text{вх}} = \infty$  і умова (6) визначає межу самозбудження схеми.

Враховуючи, що при  $\text{Im } \dot{T}_K = 0$  маємо  $K_Q = 1$ , необхідною умовою збільшення  $K_Q$  є виконання умови  $\text{Im } \dot{T}_K \neq 0$ . В цьому випадку, при  $Q_{L_{\text{н}}} = 1$  отримуємо:

$$Q_{\text{вх}} = \frac{\text{Re } \dot{T}_K + \text{Im } \dot{T}_K}{\text{Re } \dot{T}_K - \text{Im } \dot{T}_K} > 1.$$

Таким чином, наявність  $\text{Im } \dot{T}_K$  забезпечує підвищення добротності перетвореної індуктивності в діапазоні  $1 \leq K_Q \leq \infty$ . При цьому необхідною умовою ефективної роботи помножувача індуктивності є

$$\text{Re } \dot{T}_K / \text{Im } \dot{T}_K \geq Q_{L_{\text{н}}}.$$

Моделювання проводилося в програмі Microwave Office AWR Design Environment 7.05 з використанням схеми польового транзистора АПЗ21А, фізична еквівалентна схема якого показана на рис. 2.

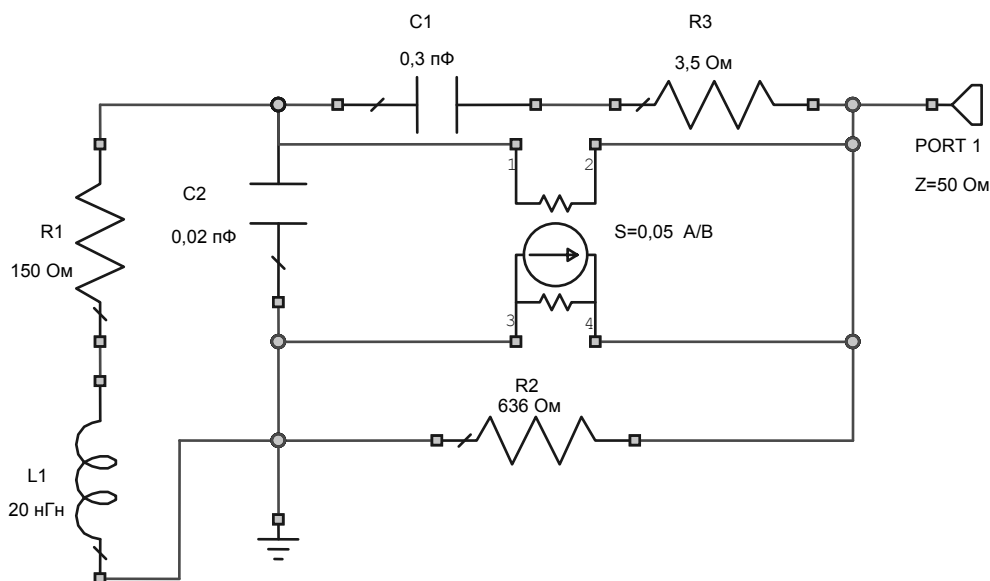


Рис. 2. Фізична еквівалентна схема польового транзистора, ввімкненого за схемою зі спільним стоком та з входною індуктивністю

Враховуючи, що величина активної складової перетвореного імпедансу  $\text{Re } W_{\text{ВХ}}$  при  $Q_{L\text{H}} > 1$  може приймати від'ємні значення, добротність входної (вихідний) індуктивності також може мати від'ємну величину. Тому, щоб уникнути розриву характеристик в процесі досліджень, доцільно використовувати величину  $1/K_Q$ . Результати її залежності від добротності перетворюваного імпедансу та частоти показані на рис. 3а. Як видно з рис. 3а при  $Q_{L\text{H}} > 1$  маємо  $Q_{L\text{ВХ}} < 0$  та  $1/K_{Q\text{ВХ}} < 0$ . Подальше збільшення  $Q_{L\text{H}}$  приводить до експоненціального збільшення  $|1/K_{Q\text{ВХ}}|$ , що вказує на зменшення від'ємної добротності  $Q_{L\text{ВХ}}$ .

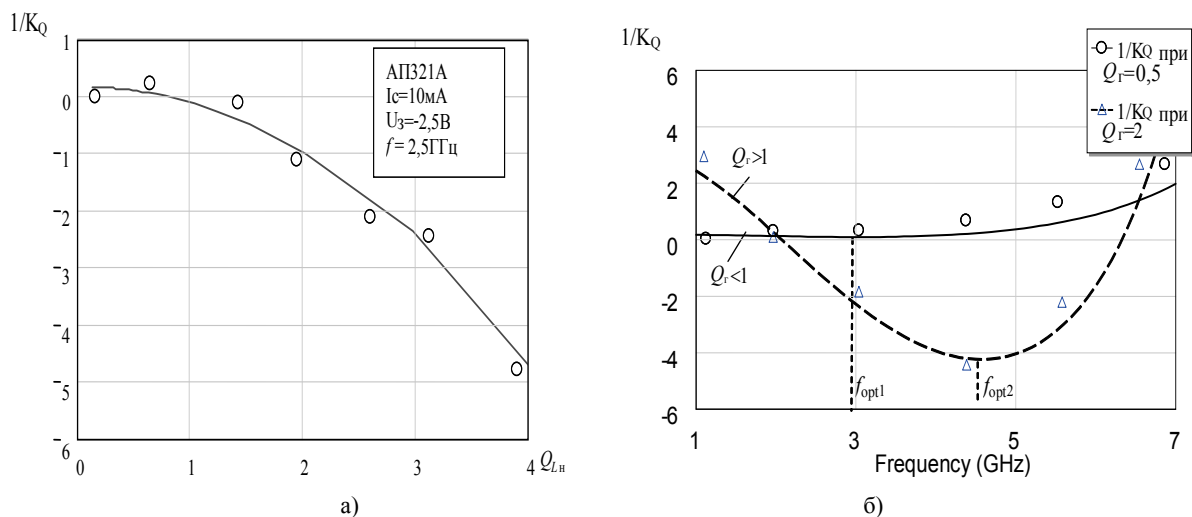


Рис. 3. Залежності значень  $1/K_Q$  від: а — величини добротності перетворюваного імпедансу; б — та частоти;  $\circ, \Delta$  — експериментальні результати

Експериментальні результати, подані на рис. 3, отримані за методикою, що описана в [6].

Аналіз частотних залежностей  $1/K_Q$  при  $Q_T < 1$  та  $Q_T > 1$ , зображених на рис. 3б, показав, що в обох випадках є оптимальні частоти  $f_{opt}$ , де  $1/K_Q$  має мінімальне значення.

### Висновки

1. Використовуючи ідеальний дійсний конвертор імітансу, добротність індуктивності вхідного кола буде дорівнювати добротності індуктивності навантаження  $Q_{L_{вх}} = Q_{L_{н}}$ .

2. Наявність  $\text{Im} T_k$  забезпечує підвищення добротності перетвореної індуктивності в діапазоні  $1 \leq K_Q \leq \infty$ . При цьому необхідною умовою ефективної роботи помножувача індуктивності є  $\text{Re} T_k / \text{Im} T_k \geq Q_{L_{н}}$ .

3. Аналіз частотних залежностей  $1/K_Q$  при  $Q_T < 1$  та  $Q_T > 1$ , показав, що в обох випадках є оптимальні частоти  $f_{opt}$ , на яких  $1/K_Q$  має мінімальне значення.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Филинюк Н. А. Полупроводниковый умножитель индуктивности / Н. А. Филинюк, А. М. Куземко, И. В. Булыга // Вісник Хмельницького національного університету. — 2007. — Т. 1(93), № 3. — С. 150—152.
2. Филинюк Н. А. Полупроводниковые индуктивности для СВЧ-диапазона / Н. А. Филинюк, А. М. Куземко, М. М. Журбан Салех // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2006. — № 5. — С. 9—13.
3. Бенинг Ф. Отрицательное сопротивление в электронных схемах / Ф. Бенинг. — М.: Сов. радио, 1975. — 288 с.
4. Филановский И. М. Схемы с преобразователями сопротивлений / И. М. Филановский, А. Ю. Персианов, В. К. Рыбин. — Л.: Энергия, 1973. — 192 с.
5. Філінюк М. А. Теоретичні і фізичні основи негatronіки / М. А. Філінюк. — Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. — 456 с. — ISBN 966-641-198-9.
6. Філінюк М. А. Метрологічні основи негatronіки / М. А. Філінюк, Д. В. Гаврилов. — Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. — 188 с. — ISBN 966-641-168-7.

Рекомендована кафедрою проектування комп'ютерної та телекомунікаційної апаратури

Надійшла до редакції 28.04.09  
Рекомендована до друку 14.05.09

**Ліщинська Людмила Бронеславівна** — доцент кафедри інформаційних технологій.

Вінницький торговельно-економічний інститут;

**Войцеховська Олена Валеріївна** — старший викладач, **Лазарев Олександр Олександрович** — старший викладач, **Філінюк Микола Антонович** — завідувач кафедри.

Кафедра проектування комп'ютерної та телекомунікаційної апаратури, Вінницького національного технічного університету