



Міністерство освіти і науки,  
молоді та спорту України  
Національний авіаційний університет  
Інститут інформаційно-діагностичних систем  
Кафедра інформаційних технологій  
Інженерна академія України

**ІНТЕГРОВАНІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ  
РОБОТОТЕХНІЧНІ КОМПЛЕКСИ**

**ІІРТК - 2012**



**П'ята міжнародна  
науково-практична конференція  
15-16 травня 2012 року  
Київ, Україна**

**Збірник тез**



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІНСТИТУТ ІНФОРМАЦІЙНО-ДІАГНОСТИЧНИХ СИСТЕМ  
КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**



**ІНЖЕНЕРНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ**



# **ІНТЕГРОВАНІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ РОБОТО-ТЕХНІЧНІ КОМПЛЕКСИ (ІРТК-2012)**

**П'ЯТА МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА  
КОНФЕРЕНЦІЯ**

**15-16 травня 2012 р.  
Київ, Україна**

**ЗБІРКА ТЕЗ**

**Київ  
НАУ  
2012**

## РЕЗОНАНСНИЙ МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕКВІВАЛЕНТНОЇ СХЕМИ ВАРИКАПА

**А.В. Рудик**, к.т.н., доцент, доцент кафедри приладобудування,  
електротехніки та інформаційних технологій

Національного університету водного господарства та природокористування  
andrey05011971@mail.ru

В резонансних контурах систем радіозв'язку як електрично керовані ємності використовуються варикапи, принцип роботи яких оснований на залежності ємності електричного переходу від напруги. Варикапи також використовуються в пристроях керування частотою резонансного контуру, в параметричних схемах підсилення, ділення та множення частоти, в схемах частотної та фазової модуляції, керованих фазообертачах і т.і.

Одним з основних параметрів варикапу є його добротність. Номінальна добротність варикапу  $Q_B$  є відношенням реактивного опору  $X_B$  до повного опору втрат  $R_B$  при номінальній напрузі зміщення на заданій частоті. Варикап є високодобротним елементом, тому його добротність визначають резонансними методами, включивши його у вимірювальний резонансний контур. Якщо відомі постійні параметри резонансного контуру та виміряні резонансна частота і добротність контуру з варикапом, то можна обчислити і добротність самого варикапу. Тому в цьому випадку принципово важливим є точне визначення параметрів вимірювального резонансного контуру.

Варикап можна замінити еквівалентною малосигнальною схемою [1], на якій враховано індуктивності виводів варикапу  $L_B$  (мають величину порядку декількох мікрогенрі), ємність корпусу  $C_K \leq 1.5 \text{ нФ}$ , опір  $r_S$ , який моделює омичний опір бази з опором омичного контакту та опір емітерної області з аналогічним контактом, опори  $r_{\text{оуф}}$  та  $R_{\Pi}$ , які враховують диференціальний опір переходу та опір переходу при прикладеній до варикапу зворотній напрузі, а також ємність  $C_{\Pi}$  ( $C_{\text{бар}}$ ), яка є еквівалентом ємності переходу (бар'єрної ємності).

На частотах до декількох десятків МГц деякими параметрами еквівалентної малосигнальної схеми ( $L_B$ ,  $C_K$ ,  $r_{\text{оуф}}$ ) можна знехтувати та обмежитись спрощеною еквівалентною схемою, яка складається з елементів  $R_{\Pi}$ ,  $C_{\Pi}$  і  $r_S$  [1]. При цьому типове значення  $R_{\Pi} > 1 \text{ МОм}$ .

За спрощеною еквівалентною схемою варикапу його добротність:

$$Q_B(\omega) = \frac{\omega C_{\Pi} R_{\Pi}}{1 + \omega^2 C_{\Pi}^2 R_{\Pi} r_S} \quad (1)$$

На низьких частотах, для яких  $\omega C_{\Pi} r_S \ll 1$ , еквівалентна схема варикапу є паралельним з'єднанням  $R_{\Pi}$  та  $C_{\Pi}$ . В цьому випадку добротність варикапу  $Q_{B, \text{нч}}(\omega) \approx \omega C_{\Pi} R_{\Pi}$ . При збільшенні частоти добротність лінійно збільшується пропорційно частоті. На високих частотах  $\omega C_{\Pi} R_{\Pi} \gg 1$  та добротність



варикапу  $Q_{B.вч}(\omega) \approx \frac{1}{\omega C_{II} r_S}$ . В цьому випадку при збільшенні частоти добротність зменшується, а еквівалентна схема варикапу є послідовним з'єднанням  $r_S$  та  $C_{II}$ . Таким чином, залежність добротності варикапу від частоти має екстремум (максимум):

$$\omega_{extr} = \frac{1}{C_{II} \sqrt{R_{II} r_S}}; \quad Q_{B.max} = Q_B(\omega_{extr}) = 0.5 \sqrt{\frac{R_{II}}{r_S}}, \quad (2)$$

Варикап можна представити за допомогою послідовної схеми заміщення, при цьому її параметри будуть визначатися таким чином:

$$R_{B.посл}(\omega) = \frac{R_{II}(1 + \omega^2 C_{II}^2 R_{II} r_S)}{1 + \omega^2 C_{II}^2 R_{II}^2}; \quad C_{B.посл}(\omega) = \frac{1 + \omega^2 C_{II}^2 R_{II}^2}{\omega^2 C_{II} R_{II}^2}. \quad (3)$$

Тому варикап в еквівалентній схемі можна замінити на послідовне з'єднання резистора, опір якого є функцією частоти, та конденсатора, ємність якого не залежить від частоти і визначається ємністю переходу.

Розглянемо методику вимірювання добротності варикапу резонансним методом. Для цього використовується вимірювальний паралельний резонансний контур (рис.1, а) з такими відомими параметрами: резонансною частотою  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ , добротністю  $Q = \frac{\rho}{r_L + r_C} = \frac{\omega_0 L}{r_L + r_C}$ , індуктивністю  $L$  та активним опором котушки індуктивності  $r_L$ .

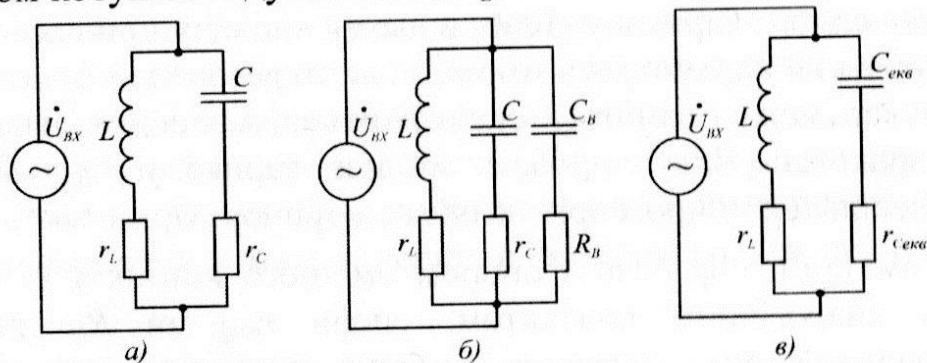


Рис.1. Еквівалентні схеми вимірювального паралельного резонансного контуру без варикапу (а) та при підключеному варикапі (б, в)

При підключенні варикапу паралельно до вимірювального резонансного контуру (рис.1, б) змінюються резонансна частота і добротність еквівалентного паралельного резонансного контуру. Такий контур (рис.1, б) можна за допомогою еквівалентних перетворень звести до більш простого паралельного резонансного контуру (рис.1, в):

$$C_{екв} = C + C_B; \quad r_{C.екв} = \frac{r_C C + R_B C_B}{C + C_B}. \quad (4)$$

Для еквівалентного резонансного контуру (рис.1, в) знайдемо його основні параметри:

$$\omega_{0екв} = \omega_0 \sqrt{\frac{C}{C + C_B}} < \omega_0; \quad Q_{екв} = \frac{\rho}{(r_L + r_{C.екв}) \sqrt{\frac{C + C_B}{C}}} < Q. \quad (5)$$

Розв'язавши рівняння (5) відносно ємності варикапу  $C_B$ , отримаємо:

$$C_B = \frac{C(\omega_0^2 - \omega_{0екв}^2)}{\omega_{0екв}^2} = \frac{\omega_0^2 - \omega_{0екв}^2}{\omega_0^2 \omega_{0екв}^2 L} = \frac{1}{L} \left( \frac{1}{\omega_{0екв}^2} - \frac{1}{\omega_0^2} \right). \quad (6)$$

З співвідношення (6) реактивний опір варикапу на резонансній частоті

$$X_B(\omega_{0екв}) = \frac{1}{\omega_{0екв} C_B} = \frac{\omega_0^2 \omega_{0екв} L}{\omega_0^2 - \omega_{0екв}^2} = \frac{\omega_0^2 \rho_{екв}}{\omega_0^2 - \omega_{0екв}^2} > \rho_{екв}, \quad (7)$$

а добротність варикапу визначається співвідношенням

$$Q_B(\omega_{0екв}) = \frac{X_B(\omega_{0екв})}{R_B} = \frac{1}{\omega_{0екв} C_B R_B} = \frac{\rho_{екв}}{R_B \left( 1 - \frac{\omega_{0екв}^2}{\omega_0^2} \right)}. \quad (8)$$

Знайдемо еквівалентний опір втрат паралельного контуру (рис.1, в):

$$r_{екв} = r_L + r_{C.екв} = r_L + \frac{r_C C + R_B C_B}{C + C_B} = \frac{\rho_{екв}}{Q_{екв}} = \frac{\omega_{0.екв} L}{Q_{екв}}. \quad (9)$$

Тоді добротність варикапу на резонансній частоті контуру

$$Q_B(\omega_{0.екв}) = \frac{Q_{екв} Q \omega_{0.екв} \omega_0^2 L}{\omega_0 \omega_{0.екв} L (Q \omega_0 - Q_{екв} \omega_{0.екв}) - Q_{екв} Q r_L (\omega_0^2 - \omega_{0.екв}^2)}. \quad (10)$$

Таким чином, вимірявши добротність та резонансну частоту вимірювального паралельного резонансного контуру з відключеним та підключеним варикапом, а також знаючи параметри котушки індуктивності резонансного контуру (індуктивність та активний опір), можна розрахувати добротність варикапу на резонансній частоті контуру  $\omega_{0.екв}$ .

Провести вимірювання резонансної частоти та добротності паралельного резонансного контуру можна фазовим методом за методикою, викладеною в роботі [2].

### Література

1. Рудик А.В., Павлов С.М. До визначення основних параметрів варикапів//Вісник ВПІ. – 2003. – №1. – С. 72 – 77.
2. Рудик А.В. Фазовий метод вимірювання добротності резонансних контурів//Прогресивні матеріали, технології та обладнання в машино– та приладобудуванні: Тези доповіді 4 – ої НТК. – Тернопіль. – 2000. – С. 81.