

БАЛАНСНИЙ АМПЛІТУДНО-ФАЗОВИЙ ДЕТЕКТОР НВЧ ДІАПАЗОНУ З КВАДРАТУРНИМ ВИХОДОМ

© Кравцов І.Ю., Кичак В.М., Огородник К.В., 2011

У результаті проведених досліджень схем балансних амплітудно-фазових детекторів НВЧ діапазону була розроблена схема БАФД з квадратурним виходом, яка покращує параметри розв'язків між входами та дає змогу використовувати транзисторні детекторні секції для підвищення чутливості.

Ключові слова: БАФД, транзисторні детекторні секції.

As a result of research schemes of balance amplitude and phase detectors UHF scheme was developed with BAFD quadrature output, which improves the solution parameters between inputs and allows the use of transistor detectors used for sensitization.

Key words: BAFD, transistor detectors.

Вступ

Балансні амплітудно-фазові детектори (БАФД) у вигляді гібридних інтегральних модулів, які використовуються в діапазоні надвисоких частот (НВЧ), застосовуються в системах радіолокації, зв'язку, навігації, вимірювальній техніці та в структурі адаптивних антенних решіток. БАФД НВЧ діапазону будують на основі кільцевих або шлейфних спрямованих відгалужувачів [1]. Їх недоліками є невелике значення параметра розв'язки 15–20 дБ між вхідними каналами, яка значною мірою залежить від рівня узгодження входів та вузька робоча смуга частот $\pm 10\%$ [2]. У цих схемах, як нелінійний елемент амплітудного детектора, використовується діод. Під час детектування малих напруг, за яких ВАХ діода апроксимується експонентою $i_D = i_0[\exp(\gamma_n u_D) - 1]$, де i_0 – струм сильно зворотнозмщеного p - n переходу; γ_n – коефіцієнт, що залежить від типу діода; u_D – прикладена до нього напруга. Детектування в цьому режимі відбувається без відсікання струму діода. У разі подання на вхід амплітудного детектора синусного сигналу завдяки експоненційності ВАХ діода площа верхньої півхвилі струму буде більшою за нижню, внаслідок чого з'являється приріст постійної складової струму, який залежить від амплітуди вхідного сигналу, що і забезпечує ефективне детектування. У цьому режимі наявна квадратична детекторна характеристика: $u_{вих} = 0,5m \times (S'/S)U_m^2$, і тому виникають істотні нелінійні спотворення ($k_e \approx m/4$, де m – коефіцієнт амплітудної модуляції). Крім того, недоліками цього амплітудного детектора є низький опір $R_{ex.d.} = 1/S$ і малий коефіцієнт передачі $K_\delta = 0.5(S'/S)U_m$ [3]. Чутливість таких детекторних секцій становить не більше ніж 10^{-6} Вт.

Аналіз відомих публікацій показує, що підвищити чутливість амплітудного детектора можливо за рахунок використання як нелінійного елемента транзистора, це дає вигоду у коефіцієнті передачі ($K_\delta > 1$), що своєю чергою дає змогу використовувати амплітудний детектор у разі малих рівнів вхідного сигналу [3]. Проте транзисторний амплітудний детектор характеризується такими недоліками: великий часовий і температурний дрейф нуля за безпосереднього вмикання, а також погану повторюваність.

Метою цієї праці є розроблення балансного амплітудно-фазового детектора НВЧ діапазону з квадратурним виходом, який є одним із основних блоків в адаптивних антенних решітках, для

отримання вагових коефіцієнтів керування регулятором комплексних амплітуд, в якому збільшений рівень розв'язки між вхідними каналами, збільшена смуга робочих частот, а також усунені недоліки використання транзисторного амплітудного детектора.

Розроблення балансного амплітудно-фазового детектора з квадратурним виходом

Збільшити рівень розв'язки між входами каналів та збільшити робочу смугу частот можливо шляхом побудови БАФД на розв'язаних рівноамплітудних суматорах, подільниках потужності та розв'язаних рівноамплітудних квадратурних подільниках потужності. Здійснюване за допомогою фазового маніпулятора почергове одержання суми та різниці вхідних сигналів на одному амплітудному детекторі гарантує ідентичність характеристик. Дрейф вихідної напруги автоматично компенсується у разі віднімання сигналів, отриманих після інтеграторів, у суматорі, що дає можливість використовувати транзисторну детекторну секцію для підвищення чутливості. Використання одного амплітудного детектора для детектування сумарного і різницевого сигналу дозволяє на його вході ввімкнути підсилювач і тим самим значно підвищити коефіцієнт передачі і, отже, чутливість детекторної секції.

Розроблена функціональна схема БАФД з квадратурним виходом наведена на рис. 1.

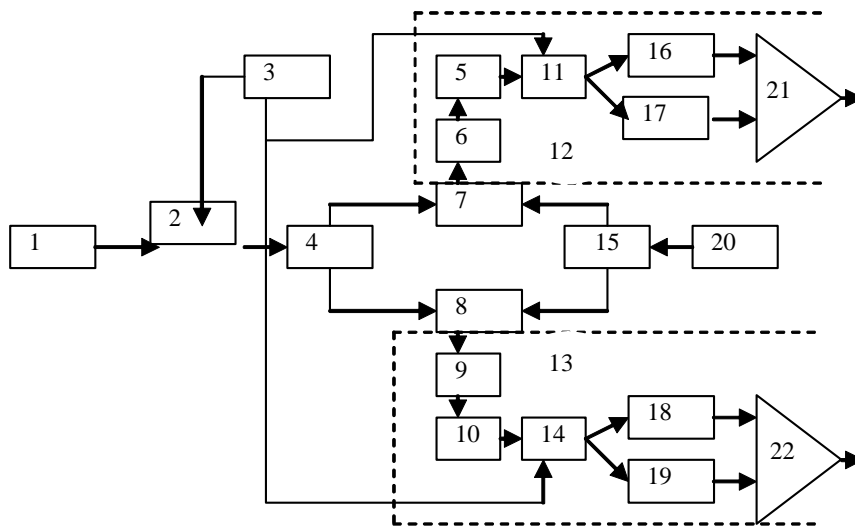


Рис. 1. БАФД з квадратурним виходом

Балансний амплітудно-фазовий детектор з квадратурним виходом складається з:

1, 20 – джерело сигналів; 2 – фазовий маніпулятор $0-180^{\circ}$; 3 – імпульсний генератор; 4 – квадратурний подільник; 15 – синфазний подільник; 7, 8 – суматор; 12, 13 – перша і друга детекторні секції, відповідно. Детекторні секції 12 і 13 складаються з: 6, 9 – амплітудний детектор; 5, 10 – імпульсний підсилювач; 11, 14 – перемикач; 16, 17, 18, 19 – інтегратор; 21, 22 – суматор.

Розглянемо принцип роботи фазового детектора з квадратурним виходом.

За відсутності керуючого імпульсу, який подається імпульсним генератором 3, сигнал від першого джерела 1:

$$\dot{A} = \dot{A}_m \cos(\omega_0 t + \varphi_1), \quad (1)$$

де A_m – амплітуда сигналу; φ – початкова фаза; ω – частота сигналу.

надходить на вхід квадратурного подільника 4. На виходах якого отримуємо рівну за амплітудою синфазну і квадратурну складові сигналу:

$$A_1 = \frac{A_m}{2} \cos(\omega_0 t + \varphi_1), \quad A_2 = \frac{A_m}{2} \cos(\omega_0 t + \varphi_1 + 90^{\circ}). \quad (2)$$

Сигнал від другого джерела 20:

$$B = B_m \cos(\omega_0 t + \varphi_2), \quad (3)$$

де B_m – амплітуда сигналу; φ_2 – початкова фаза,

надходить на вхід синфазного подільника 15. На виходах якого отримуємо сигнали, які синфазні та рівні за амплітудою:

$$B_1 = B_2 = \frac{B_m}{2} \cos(\omega_0 t + \varphi_2). \quad (4)$$

На виході розв'язаного суматора 7, 8, отримаємо сигнали C_1 і C_2 , які дорівнюють відповідно:

$$C_1 = A_1 + B_1, \quad C_2 = A_2 + B_2. \quad (5)$$

Сигнали C_1 і C_2 надходять на входи амплітудних детекторів 6, 9. Амплітуда сигналів на входах детекторів дорівнює

$$U_1 = \sqrt{\left(\frac{A_m}{2}\right)^2 + \left(\frac{B_m}{2}\right)^2 + \frac{A_m B_m}{2} \cos(\varphi_2 - \varphi_1)}; \quad (6)$$

$$U_2 = \sqrt{\left(\frac{A_m}{2}\right)^2 + \left(\frac{B_m}{2}\right)^2 + \frac{A_m B_m}{2} \cos(\varphi_2 - \varphi_1 + 90^\circ)}. \quad (7)$$

Після детектування сигнали підсилюються імпульсними підсилювачами 5, 10 і через перемикачі 11, 14 надходять на інтегратори 16, 18, де запам'ятовуються.

Під дією керуючого імпульсу, який подається імпульсним генератором 3, фазовий маніпулятор 2 змінює фазу сигналу від першого джерела 1 на 180° .

На виході розв'язаного суматора 7 і 8, отримаємо сигнали C_3 і C_4 , які дорівнюють відповідно:

$$C_3 = B_1 - A_1, \quad C_4 = B_2 - A_2. \quad (8)$$

Сигнали C_3 і C_4 надходять на входи амплітудних детекторів 6 і 9. Амплітуда сигналів на входах детекторів дорівнює

$$U_3 = \sqrt{\left(\frac{A_m}{2}\right)^2 + \left(\frac{B_m}{2}\right)^2 - \frac{A_m B_m}{2} \cos(\varphi_2 - \varphi_1)}; \quad (9)$$

$$U_4 = \sqrt{\left(\frac{A_m}{2}\right)^2 + \left(\frac{B_m}{2}\right)^2 - \frac{A_m B_m}{2} \cos(\varphi_2 - \varphi_1 + 90^\circ)}. \quad (10)$$

Після детектування сигнали підсилюються імпульсними підсилювачами 5, 10, і через перемикачі 11, 14, положення якого змінилося, відповідно до керуючого імпульсу, подаються на інтегратори 17, 19, де запам'ятовуються.

Якщо постійна часу інтеграторів 16, 17, 18, 19 $\tau \gg t_u$, де t_u – тривалість імпульсів генератора 3, то сигнали, що знімаються з виходів інтеграторів 16 і 17, надходять відповідно на інвертуючий і неінвертуючий входи суматора 21, на виході якого отримуємо напругу, що дорівнює

$$U_{\text{дв} \delta 1} = k_1 \frac{A_m B_m}{2} \cos(\varphi_2 - \varphi_1), \quad (11)$$

де k_1 – коефіцієнт, що враховує коефіцієнти передачі амплітудного детектора 6, імпульсного підсилювача 5, інтеграторів 16, 17 і суматора 21.

Сигнали, що знімаються з виходів інтеграторів 8, 9, надходять відповідно на інвертуючий і неінвертуючий входи суматора 22, на виході якого отримуємо напругу, що дорівнює

$$U_{\text{дв} \delta 2} = k_2 \frac{A_m B_m}{2} \cos(\varphi_2 - \varphi_1 + 90^\circ), \quad (12)$$

де k_2 – коефіцієнт, що враховує коефіцієнти передачі амплітудного детектора 9, імпульсного підсилювача 10, інтеграторів 8, 9 і суматора 22.

Отже, на виходах отримуємо напругу, яка пропорційна різниці фаз вхідних сигналів в синфазному і квадратурному каналах, для керування квадратурним регулятором комплексних амплітуд.

В результаті проведеної роботи був розроблений балансний амплітудно-фазовий детектор з квадратурним виходом, зовнішній вигляд НВЧ блока для проміжної частоти 900 МГц показаний на рис. 2.

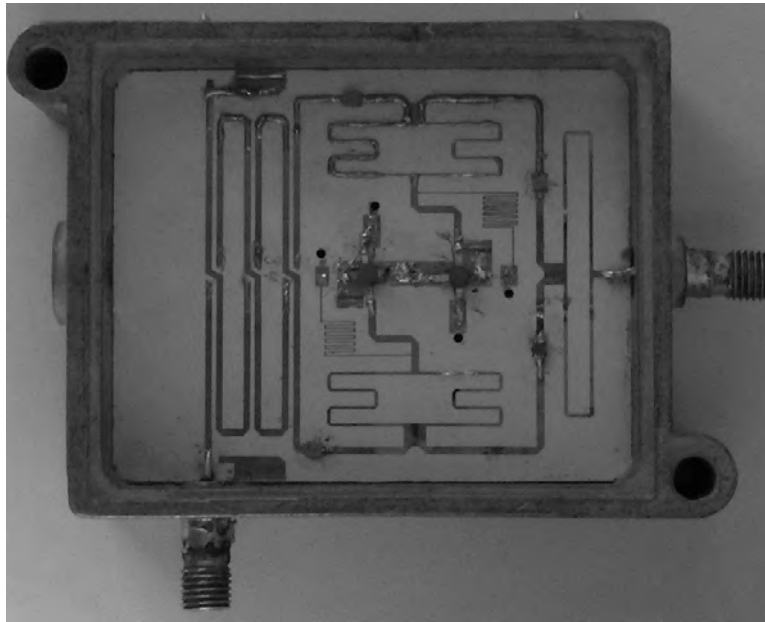


Рис. 2. НВЧ блок балансного амплітудно-фазового детектора

Експериментальна характеристика розв'язки між входами, розробленого НВЧ блока балансного амплітудно-фазового детектора, наведена на рис. 3.

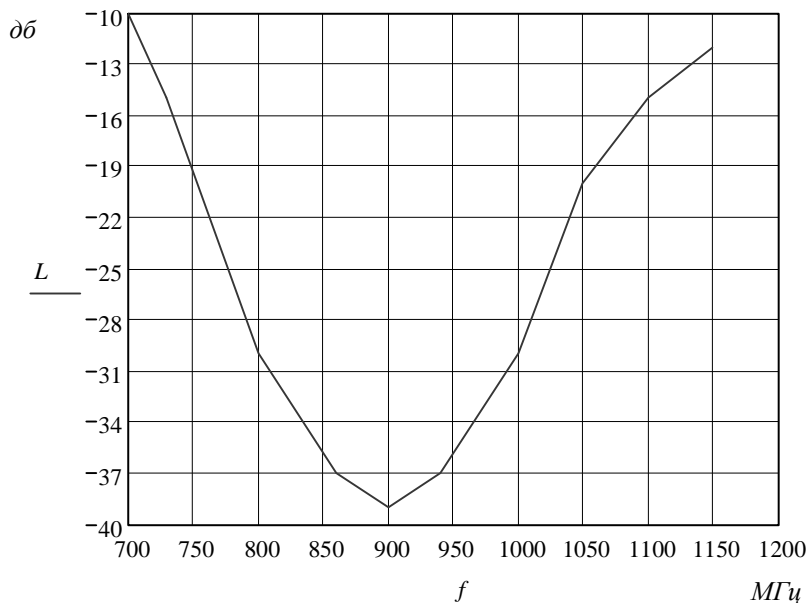


Рис. 3. Характеристика розв'язки між входами

Висновки

В результаті проведеної роботи був розроблений балансний амплітудно-фазовий детектор НВЧ діапазону з квадратурним виходом, який має рівень розв'язки між вхідними каналами більше ніж 30 дБ та робочу смугу частот не менше ніж $\pm 20\%$. Автоматична компенсація часового та температурного дрейфу нуля вихідної напруги дало змогу використовувати транзисторну детекторну секцію, що збільшило чутливість БАФД до 10^{-8} Вт.

1. Малорацький Л.Г. Микромініатюризація елементів і пристроїв СВЧ / Малорацький Л.Г. – М.: Сов.радио, 1976. – 320 с. 2. Фальдштейн А.Л. Справочник по елементам полоскової техніки / Фальдштейн А.Л. – М.: Связь, 1979. 3. Мазор Ю.Л. Енциклопедичний навчальний довідник / Мазор Ю.Л., Мачурський Є.А. – К.: Вища шк., 1999. – 838 с.