

Винахід має відношення до радіотехніки і може бути використаний для автоматичного налагодження об'ємного резонатора НВЧ підсилювача на задану частоту від джерела коливань стабільної заданої частоти.

Для використання НВЧ коливань в технологічних цілях (нагрів, висушування, стерилізація та ін.) нормативними документами визначені фіксовані частоти у діапазоні 0,4-30ГГц. Необхідну потужність НВЧ коливань забезпечують резонансні підсилювачі потужності (на потужних транзисторах, пролітних клістродах та ін.), частота налагодження і смуга пропускання котрих забезпечується об'ємними резонаторами. Однак, непостійність навантаження, вплив навколишнього середовища, нестабільність джерел живлення та інші причини викликають розлагодження резонансного підсилювача відносно частоти збуджуючого сигналу, що приводить до зниження віддачі й її навантаженню потужності.

Автоматичне налагодження резонансної частоти підсилювача на задану резонансну частоту сигналу дозволяє забезпечити отримання максимальної потужності НВЧ коливань і узгодження навантаження при впливі дестабілізуючих факторів.

Відомий спосіб налагодження резонансного НВЧ підсилювача (див. Вамберський В.М., Казанцев В.И., Шелухов С.А. Передающие устройства НВЧ: Учебное пособие для радиотехнических специальностей ВУЗов. - М: ВШ, 1984, с.140-141), який базується на низькочастотній модуляції власної частоти резонатора, наприклад, періодичною зміною його обсягу чи ємності вбудованого варикапу, виділенні змінної напруги частоти модуляції із НВЧ коливань на виході детектора, порівнянні фази цієї напруги з фазою модулюючої напруги і формуванні керуючої напруги, пропорційної частотному розлагодженню резонатора.

Недоліком способу є присутність залишкової амплітудної та фазової модуляції у вихідній напрузі налагоджуваного підсилювача навіть при точному налагодженні резонатора на сигнал заданої частоти. Крім того, модуляція параметрів потужних резонаторів пов'язана з великими технічними труднощами, а періодичні зміни власної частоти резонатора відносно заданої частоти зменшують к.к.д. резонансного підсилювача і його середню потужність.

Відомий також спосіб налагодження резонансного НВЧ підсилювача (див. Чернушенко А.М, Майбородин А.В. Измерение параметров электронных приборов дециметрового и сантиметрового диапазонов волн.- М: Радио и связь, 1986, с.182), який базується в формуванні двох випробувальних НВЧ сигналів з частотами, симетричними резонансній частоті за межами смуги пропускання резонатора, пропусканні випробувальних сигналів через НВЧ підсилювач, в порівнянні параметрів цих сигналів між собою, формуванні різницевого сигналу, котрим регулюють власну частоту резонатора до отримання рівності порівнюваних параметрів.

До недоліків способу частотної вилки слід віднести невисоку точність налагодження резонатора через нерівність і нестабільність параметрів двох випробувальних сигналів від допоміжних генераторів під впливом дестабілізуючих факторів, а також підвищені вимоги до стабілізації амплітуди і частоти випробувальних сигналів і збереженні їх частотної симетрії при зміні центральної частоти, котра є для НВЧ підсилювача заданою частотою.

Відомий пристрій для налагодження резонансного НВЧ підсилювача (див. Лагутин В.К. Частотно-избирательные цепи с электронной настройкой.- М.-Л.: Энергия, 1966, с.96-98), який містить високочастотний генератор заданої частоти, модулюючий генератор низької частоти, з'єднаний з керованим елементом резонатора налагоджуваного підсилювача, ланцюг з послідовно з'єднаних амплітудного детектора, підсилювача низької частоти і фазочутливого випрямляча, вхід котрого з'єднаний з виходом налагоджуваного резонансного підсилювача, а вихід - з керованим елементом резонатора.

Через параметричну модуляцію сигналу заданої частоти в налагоджуваному підсилювачі в підсиленому сигналі навіть при точному налагодженні власної частоти резонатора на задану частоту зберігається низькочастотна огинаюча другої гармоніки модулюючої напруги. Розширення спектра підсиленого по потужності сигналу у деяких випадках небажано.

Відомий також пристрій для налагодження резонансного НВЧ підсилювача по патенту РФ №2014623, кл. G01R27/32, 1991, Бюл. №11, 1994, який містить послідовно з'єднані високочастотний кварцевий генератор, помножувач частоти і балансний НВЧ модулятор, до виходу котрого підключені паралельно НВЧ фільтри нижніх і верхніх частот, хвилевідний перемикач, входами з'єднаний з виходами НВЧ фільтрів, подвійний хвилевідний трійник, до виходу котрого підключений налагоджуваний НВЧ підсилювач, послідовно з'єднані підсилювач низької частоти і фазочутливий випрямляч, а також два послідовно з'єднаних подільники частоти, вхід першого з котрих з'єднаний з виходом кварцевого генератора, його вихід з'єднаний з другим входом балансного НВЧ модулятора, вихід другого дільника частоти з'єднаний з керованим входом хвилевідного перемикача і керованим входом фазочутливого випрямляча. Крім того, пристрій містить послідовно з'єднані балансний НВЧ змішувач, смуговий фільтр, амплітудний детектор, керований дільник напруги і широкосмуговий підсилювач, підключені між виходом налагоджуваного резонансного підсилювача і входом підсилювача низької частоти, а також диференціальний підсилювач, джерело опорної напруги та інтегратор, вихід котрого з'єднаний з керованим входом подільника напруги, перший вхід диференціального підсилювача з'єднаний з виходом широкосмугового підсилювача, другий вхід - з виходом джерела опорної напруги, а вихід диференціального підсилювача підключений до входу інтегратора. Вихід хвилюваного перемикача з'єднаний з другим входом балансного НВЧ змішувача, а виходи НВЧ фільтрів додатково з'єднані з входами подвійного хвилевідного трійника.

Недоліком відомого пристрою є невисока точність налагодження резонансного НВЧ підсилювача на задану частоту. Це обумовлено тим, що при виборі випробувальних сигналів за межами смуги пропускання налагоджуваного резонансного підсилювача їх рівень на виході підсилювача малий і порівняний з завадами. Тому точно зафіксувати рівність їх амплітуд при налагодженні резонатора важко через накладення шумів і неідентичність параметрів НВЧ детекторів

Крім того, в багаторезонаторних підсилювачах, особливо при наявності нелінійних елементів, екстремальні значення амплітудно-частотної і фазочастотної характеристик не співпадають, тобто має місце зсув частот, на котрих спостерігається максимум амплітуди першої гармоніки підсилюваного сигналу і й нульова фаза. Максимальна віддача потужності в навантаження має місце при чисто активному характері вихідного опору резонансного підсилювача, тобто при нульовій фазі підсиленого сигналу. Ця умова не забезпечується відомим пристроєм.

В основу винаходу поставлена задача створення таких способа і пристрою налагодження резонансного НВЧ підсилювача на задану частоту, в котрих введення нових операцій в способі та введення нових елементів в пристрої дало б можливість виключити вплив викривлення випробувальних НВЧ сигналів і тим самим підвищити точність налагодження резонансного НВЧ підсилювача на задану частоту збуджуючого сигналу.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі налагодження резонансного НВЧ підсилювача на задану частоту, який полягає і формуванні двох випробувальних НВЧ сигналів з частотами, симетричними резонансній частоті за межами смуги пропускання резонатора, пропусканні випробувальних сигналів через НВЧ підсилювач, порівнянні параметрів цих сигналів між собою, формуванні різницевого сигналу, котрим регулюють власну частоту резонатора до

отримання рівності порівнюваних параметрів, відповідно винаходу резонатор налагоджуваного резонансного НВЧ підсилювача збуджують неперервними НВЧ коливаннями заданої частоти і по черзі пакетами випробувальних НВЧ коливань нижньої і верхньої бокових частот резонатора резонансного НВЧ підсилювача, виділених з балансно-модульованих низькочастотним сигналом НВЧ коливань, змішують між собою роздільно НВЧ коливання, підсилені НВЧ підсилювачем, і НВЧ коливання на вході НВЧ підсилювача, виділяють із змішаних коливань пакети низькочастотних вимірювальних і опорних сигналів частоти модуляції, порівнюють по фазі пакети вимірювальних і опорних сигналів, формують послідовність відеоімпульсів, амплітуди котрих пропорційні різниці фаз порівнюваних сигналів, виділяють з модульованих відеоімпульсів напругу низькочастотної огибаючої, котру використовують в якості різницевого керуючого сигналу.

Поставлена задача вирішується також тим, що в пристрій для налагодження резонансного НВЧ підсилювача на задану частоту, який містить послідовно з'єднані високочастотний кварцевий генератор, помножувач частоти і балансний НВЧ модулятор, до виходу котрого підключені паралельно НВЧ фільтри нижніх і верхніх частот, хвилевідний перемикач, входами з'єднаний з виходами НВЧ фільтрів, подвійний хвилевідний трійник, до виходу котрого підключений налагоджуваний НВЧ підсилювач, послідовно з'єднані підсилювач низької частоти і фазочутливий випрямляч, а також два послідовно з'єднаних подільники частоти, вхід першого з котрих з'єднаний з виходом кварцевого генератора, його вихід з'єднаний з другим входом балансного НВЧ модулятора, вихід другого подільника частоти з'єднаний з керуючим входом хвилевідного перемикача і керуючим входом фазочутливого випрямляча, відповідно винаходу введені два одноктактних НВЧ змішувача, спрямований відгалужувач, два фільтри низьких частот, два підсилювачі-обмежувачі, фазовий детектор і серводвигун, підключений до виходу фазочутливого випрямляча і кінематичне з'єднання з регулюючим елементом об'ємного резонатора налагоджуваного резонансного НВЧ підсилювача, до виходу котрого через спрямований відгалужувач підключені послідовно з'єднані одноктактний НВЧ змішувач, фільтр нижніх частот і підсилювач-обмежувач, виходом з'єднаний з одним входом фазового детектора, другий вхід котрого з'єднаний з другим виходом подвійного хвилевідного трійника через другі послідовно з'єднані одноктактний НВЧ змішувач, фільтр нижніх частот і підсилювач-обмежувач, вихід фазового детектора з'єднаний з входом підсилювача низької частоти, а входи подвійного хвилевідного трійника з'єднані з виходом хвилевідного перемикача і помножувачем частоти відповідно.

Виділення випробувальних сигналів нижньої і верхньої бокових частот налагоджуваного резонатора НВЧ фільтрами із балансно модульованого НВЧ сигнала заданої частоти і їх по чергове подання за допомогою хвилевідного перемикача на резонансний НВЧ підсилювач з одночасним збудженням його безперервними коливаннями заданої частоти, подальше змішування пакетів вихідних коливань бокових частот з немодульованими коливаннями заданої частоти одноктактним змішувачем дозволяє отримати пакети вимірювальних низькочастотних коливань, фази котрих різні і визначаються розлагодженням резонатора відносно випробувальних сигналів. Змішування пакетів вихідних коливань налагоджуваного підсилювача з немодульованими коливаннями заданої частоти одноктактним змішувачем дозволяє отримати пакети опорних низькочастотних коливань, фази котрих не залежать від параметрів налагоджуваного резонатора НВЧ підсилювача. Зрівнення по фазі у фазовому детекторі вимірювальних і опорних пакетів напруг модулюючої частоти формують послідовність відеоімпульсів з амплітудами, пропорційними різниці фаз порівнюваних пакетів. З останньої виділяють напругу огибаючої частоти перемикачання пакетів, котрою після фазочутливого випрямлення керують серводвигуном, який змінює геометричні розміри об'ємного резонатора, а відповідно і його резонансну частоту. Досягненням рівності фаз йорівнюйдим пакетів, котра не залежить від додаткових фазових зсувів, які вносяться перетворювальними елементами, виключається вплив викривлення випробувальних НВЧ сигналів і тим си-ми забезпечується підвищена точність налагодження резонансного НВЧ підсилювача на задану частоту при мінімально допустимому рівні побічних складових в підсиленому сигналі.

На фіг. представлена функціональна схема пристрою для налагодження резонансного НВЧ підсилювача.

Пристрій містить високочастотний кварцевий генератор 1, помножувач 2 частоти, балансний НВЧ модулятор 3, два подільники частоти 4 і 5, НВЧ фільтри нижніх 6 і верхніх 7 частот, хвилевідний перемикач 8, подвійний хвилевідний трійник 9, резонансний НВЧ підсилювач 10 з налагоджуваним резонатором 11, спрямований відгалужувач 12, два одноктактних НВЧ змішувачі 13 і 14, два фільтри нижніх частот 15 і 16, два підсилювачі-обмежувачі 17 і 18, фазовий детектор 19, підсилювач 20 низької частоти, фазочутливий випрямляч 21, серводвигун 22 і вихід 23 резонансного НВЧ підсилювача.

Вихід кварцевого генератора 1 з'єднаний з входами помножувача 2 і першого подільника частоти 4, вихід котрого з'єднаний з входом другого подільника частоти 5 і одним із входів балансного НВЧ модулятора 3, другий вхід котрого з'єднаний з виходом помножувача 2 частоти і через подвійний хвилевідний трійник 9 з входом резонансного НВЧ підсилювача 10 з настроюваним об'ємним резонатором 11 і другого одноктактного НВЧ змішувача 14. Другий вхід подвійного хвилевідного трійника з'єднаний з виходом хвилевідного перемикача 8, входи котрого через фільтри нижніх 6 і верхніх 7 частот з'єднані з виходом балансного НВЧ модулятора 3, а керуючий вхід хвилевідного перемикача 8 з'єднаний з виходом другого подільника частоти 5 і керуючим входом фазочутливого випрямляча 21. Вихід резонансного НВЧ підсилювача 10 через послідовно з'єднані спрямований відгалужувач 12, перший одноктактний НВЧ змішувач 13, другий фільтр нижніх частот 15 і перший підсилювач-обмежувач 17 з'єднаний з першим входом фазового детектора 19. Вихід другого одноктактного змішувача 14 через послідовно з'єднані третій фільтр нижніх частот 16, другий підсилювач-обмежувач 18 з'єднаний з другим входом фазового детектора 19, до виходу котрого підключені підсилювач 20 низької частоти, фазочутливий випрямляч 21 і виконавчий серводвигун 22, кінематичне з'єднання з регульованим резонатором 11. Вихід 23 резонансного НВЧ підсилювача 10 є основний енергетичний, а вихід через спрямований відгалужувач 12 - допоміжний інформаційний.

Сутність пропонованого способу міститься у наступному. З сигнала джерела стабільної частоти, наприклад, кварцевого генератора 1, виділяють помножувачем 2 гармоніку частоти ω_1 , на котру необхідно налагодити резонансний підсилювач потужності 10, наприклад, підсилювальний клістрон з регульованим об'ємним резонатором, власна частота котрого $\omega_0 \approx \omega_1$. Сигнал заданої частоти $U_1 = U_{m1} \cos(\omega_1 t + \varphi_1)$ балансно модулюють в НВЧ модуляторі 3 сигналом низької частоти Ω , котру отримують діленням частоти від того ж кварцевого генератора подільником 4. Значення низької частоти Ω обирають у 2-2,5 рази більше половини ширини смуги пропускання $\Delta\omega$ НВЧ резонатора підсилювача потужності, тобто частота модуляції $\Omega = (1-1,25) \Delta\omega$.

У результаті балансної модуляції низькочастотним сигналом $U_2 = U_{m2} \cos(\Omega t + \varphi_2)$ формується амплітудно-модульований НВЧ сигнал виду

$$U_3 = \frac{S_1}{2} U_{m1} U_{m2} \left\{ \cos[(\omega_1 - \Omega)t + \varphi_1 - \varphi_2] + \cos[(\omega_1 + \Omega)t + \varphi_1 + \varphi_2] \right\}, \quad (0)$$

де 5, - крутість модуляційного перетворення.

Складова різницевої частоти $\omega_2 = \omega_1 - \Omega$ являє собою сигнал нижньої бокової частоти резонатора, а складова сумарної частоти $\omega_3 = \omega_1 + \Omega$ - сигнал верхньої бокової частоти резонатора.

З двочастотного сигналу U_3 НВЧ фільтрами 6 і 7 роздільно виділяють гармонічні складові різницевої і сумарної частот:

$$U_4 = \frac{S_1}{2} k_1 U_{m1} U_{m2} \cos(\omega_2 t + \varphi_1 - \varphi_2 - \varphi_3), \quad (2)$$

$$U_5 = \frac{S_1}{2} k_2 U_{m1} U_{m2} \cos(\omega_3 t + \varphi_1 + \varphi_2 - \varphi_4), \quad (3)$$

де k_1 і k_2 - коефіцієнти передачі відповідно фільтрів нижніх і верхніх частот; φ_3 і φ_4 - додаткові фазові зсуви, внесені відповідними фільтрами.

За допомогою перемикача 8 формують випробувальні сигнали у вигляді пакетів коливань нижньої і верхньої бокових частот резонатора з тривалістю, кратною періоду коливань низької частоти Ω :

$$U_6 = \frac{S_1}{2} k_1 U_{m1} U_{m2} \cos(\omega_2 t + \varphi_5), \quad 0 < t < \frac{\pi n}{\Omega}, \quad (4)$$

$$U_7 = \frac{S_1}{2} k_2 U_{m1} U_{m2} \cos(\omega_3 t + \varphi_6), \quad \frac{\pi n}{\Omega} < t < \frac{2\pi n}{\Omega}, \quad (5)$$

де $\varphi_5 = \varphi_1 - \varphi_2 - \varphi_3$ результуючий зсув фаз коливань нижньої бокової частоти;

$\varphi_6 = \varphi_1 + \varphi_2 - \varphi_4$ - результуючий зсув фаз коливань верхньої бокової частоти; n - коефіцієнт ділення низької модулюючої частоти Ω подільника 5.

Збуджують резонатор налагоджуваного резонансного НВЧ підсилювача безперервним НВЧ сигналом U_1 заданої частоти ω_1 і пакетами випробувальних НВЧ сигналів U_6 і U_7 нижньої і верхньої бокових частот резонатора. Для цього сигнал основної частоти ω_1 і сигнали допоміжних частот ω_2 і ω_3 підсумовуються у подвійному хвилевідному трийнику 9. Пакети коливань випробувальних сигналів проходять через резонансний підсилювач із значним послабленням відносно рівня підсиленого сигналу на власній частоті ω_0 резонатора. Тому пакети ослаблених коливань бокових частот мають вигляд:

$$U_8 = \frac{S_1}{2} k_1 k_3 U_{m1} U_{m2} \cos(\omega_2 t + \varphi_5 + \varphi_7), \quad 0 < t < \frac{\pi n}{\Omega}, \quad (6)$$

$$U_9 = \frac{S_1}{2} k_2 k_4 U_{m1} U_{m2} \cos(\omega_3 t + \varphi_6 + \varphi_8), \quad \frac{\pi n}{\Omega} < t < \frac{2\pi n}{\Omega}, \quad (7)$$

$$k_3 = \frac{k_0}{\sqrt{1 + Q^2 \lambda_2^2}} \quad \text{і} \quad k_4 = \frac{k_0}{\sqrt{1 + Q^2 \lambda_3^2}}$$

де k_0 - коефіцієнти підсилення сигналів бокових частот ω_2 і ω_3

k_0 - коефіцієнт підсилення резонансного підсилювача на власній частоті, коли $\omega_0 = \omega_1$;

$$Q = \frac{\omega_0}{\Delta \omega} - \text{еквівалентна добротність резонансного підсилювача};$$

$$\lambda_2 = \frac{\omega_2}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega_2} \quad \text{і} \quad \lambda_3 = \frac{\omega_3}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega_3} - \text{відносні розлагодження резонатора на бокових частотах};$$

$$\varphi_7 = \arctg Q \lambda_2 \quad \text{і} \quad \varphi_8 = \arctg Q \lambda_3 - \text{фазові зсуви, внесені розлагодженим резонатором на частотах } \omega_2 \text{ і } \omega_3.$$

Збуджуючі коливання основної частоти ω_1 підсилюються у k_0 разів резонансним підсилювачем і при розлагодженні його резонатора відносно заданої частоти ($\omega_0 \neq \omega_1$) амплітуда вихідних коливань декілька зменшується і виникає додатковий фазовий зсув

$$U_{10} = k'_0 U_{m1} \cos(\omega_1 t + \varphi_1 - \varphi_9), \quad (8)$$

$$k'_0 = \frac{k_0}{\sqrt{1 + Q^2 \lambda_1^2}}$$

де k'_0 - коефіцієнт підсилення розлагодженого резонансного підсилювача;

$$\lambda_1 = \frac{\omega_1}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega_1} \quad - \text{відносне розлагодження резонатора відносно заданої частоти } \omega_1$$

$\varphi_9 = \arctg Q \lambda_1$ - фазовий зсув, який вноситься роз лагодженим резонатором на заданій частоті ω_1 . Пакети коливань U_8 і U_9 , які пройшли через резонансний підсилювач, по чергово змішуються в однотактному змішувачі 13 з неперервними коливаннями U_{10} заданої частоти ω_1 . У результаті змішування коливань U_{10} і U_8 утворюються пакети двочастотних сигналів

$$U_{11} = \frac{S_1 S_2}{4} k'_0 k_1 k_3 U_{m1}^2 U_{m2} \{ \cos(\Omega t + \varphi_1 - \varphi_5 - \varphi_7 - \varphi_9) + \cos[(2\omega_1 - \Omega)t + \varphi_1 + \varphi_5 + \varphi_7 - \varphi_9] \}, \quad (9)$$

де S_2 - крутість сигналів на виході резонансного НВЧ підсилювача.

Відповідно при змішуванні коливань U_{10} і U_9 утворюються пакети коливань

$$U_{12} = \frac{S_1 S_2}{4} k'_0 k_2 k_4 U_{m1}^2 U_{m2} [\cos(\Omega t + \varphi_1 + \varphi_6 + \varphi_8 - \varphi_9) + \cos[(2\omega_1 + \Omega)t + \varphi_1 + \varphi_6 + \varphi_8 - \varphi_9]]. \quad (10)$$

Виділяють з коливань U_{11} ; U_{12} фільтром нижніх частот 15 пакети тільки низькочастотних коливань:

$$U_{13} = \frac{S_1 S_2}{4} k'_0 k_1 k_3 k_5 U_{m1}^2 U_{m2} \cos(\Omega t + \varphi_1 - \varphi_5 - \varphi_7 - \varphi_9 - \varphi_{10}); \quad (11)$$

$$U_{14} = \frac{S_1 S_2}{4} k'_0 k_2 k_4 k_5 U_{m1}^2 U_{m2} \cos(\Omega t + \varphi_1 + \varphi_6 + \varphi_8 - \varphi_9 - \varphi_{10}); \quad (12)$$

де k_5 - коефіцієнт передачі фільтра нижніх частот;

φ_{10} - фазовий зсув, який вноситься фільтром.

Нормують амплітуди пакетів вимірювального сигнала на заданому рівні за допомогою підсилювача-обмежувача 17:

$$U_{15} = U_0 \cos(\Omega t + \varphi_1 - \varphi_5 - \varphi_7 - \varphi_9 - \varphi_{10}), \quad 0 < t < \frac{\pi n}{\Omega}; \quad (13)$$

$$U_{16} = U_0 \cos(\Omega t + \varphi_1 + \varphi_6 + \varphi_8 - \varphi_9 - \varphi_{10}), \quad \frac{\pi n}{\Omega} < t < \frac{2\pi n}{\Omega}; \quad (14)$$

де U_0 - рівень обмеження сигнала.

Змішують однотактним змішувачем 14 пакети випробувального сигнала U_6 і U_7 з сигналом U_1 безпосередньо на вході резонансного НВЧ підсилювача 10 і виділяють фільтром на частоту Ω пакети опорних сигналів низької частоти:

$$U_{17} = \frac{S_1 S_3}{4} k_1 k_6 U_{m1}^2 U_{m2} \cos(\Omega t + \varphi_1 - \varphi_5 - \varphi_{11}), \quad 0 < t < \frac{\pi n}{\Omega}; \quad (15)$$

$$U_{18} = \frac{S_1 S_3}{4} k_2 k_6 U_{m1}^2 U_{m2} \cos(\Omega t + \varphi_1 + \varphi_6 - \varphi_{11}), \quad \frac{\pi n}{\Omega} < t < \frac{2\pi n}{\Omega}; \quad (16)$$

де S_3 - крутість змішування сигналів на вході резонансного НВЧ підсилювача;

k_6 - коефіцієнт передачі третього фільтра низьких частот;

φ_{11} - фазовий зсув, який вноситься третім фільтром.

Нормують амплітуди пакетів опорних коливань також на рівні U_0 :

$$U_{19} = U_0 \cos(\Omega t + \varphi_1 - \varphi_5 - \varphi_{11}), \quad 0 < t < \frac{\pi n}{\Omega}; \quad (17)$$

$$U_{20} = U_0 \cos(\Omega t + \varphi_1 + \varphi_6 - \varphi_{11}), \quad \frac{\pi n}{\Omega} < t < \frac{2\pi n}{\Omega}; \quad (18)$$

Далі порівнюють по фазі в фазовому детекторі 19 з лінійною фазо-амплітудною характеристикою (наприклад, у двополярному тригерному детекторі) пакети вимірювальних сигналів U_{15} і U_{16} , отриманих з коливань, які пройшли НВЧ підсилювач, з пакетами опорних сигналів U_{19} і U_{20} , які отримані з коливань на вході НВЧ підсилювача. У результаті порівняння сигналів U_{15} і U_{19} утворюється різницевий сигнал у вигляді імпульсів постійної напруги (відеоімпульсів) у

інтервалі часу $0 < t < \frac{\pi n}{\Omega}$ з амплітудою

$$U_{21} = S_4 (\arg U_{19} - \arg U_{15}) = S_4 (\varphi_7 + \varphi_9 + \varphi_{10} - \varphi_{11}), \quad (19)$$

а при зрівнянні сигналів U_{16} і U_{20} утворюються відеоімпульси у інтервалі $\frac{\pi n}{\Omega} < t < \frac{2\pi n}{\Omega}$ з

амплітудою

$$U_{22} = S_4(\arg U_{20} - \arg U_{16}) = S_4(-\varphi_8 + \varphi_9 + \varphi_{10} - \varphi_{11}), \quad (20)$$

де S_4 - крутість перетворення фази у напругу.

З послідовності відеоімпульсів (19) і (20) підсилювачем 20 низької частоти виділяють змінну різницеву напругу частоти слідування відеоімпульсів

$$U_{23} = k_6 \frac{U_{21} - U_{22}}{2} = \frac{k_6 S_4}{2} (\varphi_7 + \varphi_8) \operatorname{signsin} \left(\frac{\omega}{n} \right), \quad (21)$$

де k_6 - коефіцієнт підсилення низькочастотного підсилювача,

$\operatorname{signsin}$ - прямокутна огинаюча відеоімпульсів.

Різницевою напругою (21) змінюють власну частоту ω_0 резонатора НВЧ підсилювача до збіжності з частотою задаючого сигналу ω_1 . При збіжності частот $\omega_1 = \omega_0$ відносне розлагодження резонатора по сигналу заданої частоти стає рівною нулю ($\lambda_1 = 0$), а відносне розлагодження резонатора по бокових частотах вирівнюється по абсолютному значенню ($|\lambda_2| = |\lambda_3|$). Зважаючи, що при цьому фазові зсуви, які вносяться розлагодженням резонатором на нижній і верхній бокових частотах рівні, але мають протилежні знаки, маємо

$$\varphi_8 + \varphi_7 = \arctg Q \lambda_2 + \arctg Q \lambda_3 = 0; \quad (22)$$

Таким чином, як слідує з (21) і (22), при налагодженні НВЧ резонатора на задану частоту збуджуючого сигналу ($\omega_0 = \omega_1$; $|\lambda_2| = |\lambda_3|$) зникає огинаюча відеоімпульсів U_{23} , котрі отримуються у процесі порівняння фаз пакетів низькочастотних вимірювального і опорного сигналів. При цьому вихідний сигнал НВЧ підсилювача 10 частоти ω_1 для $\lambda_1 = 0$ має нульовий фазовий зсув ($\varphi_9 = 0$).

Так як частоти пакетів випробувального сигналу лежать за межами смуги пропускання резонатора, то на виході НВЧ підсилювача легко забезпечити допустимий рівень остаточної модуляції підсиленого сигналу вибором модулюючої частоти Ω . З отриманого результату (22) видно, що фазові зсуви φ_3 і φ_4 , які вносяться НВЧ фільтрами, за допомогою котрих формується випробувальний сигнал, і фазові зсуви φ_5 , φ_6 , φ_9 , φ_{10} і φ_{11} , які вносяться нижньочастотним фільтром і другими елементами фазочутливої частки схеми, не впливають на точність налагодження НВЧ підсилювача на нульовий фазовий зсув, а отже, і на резонанс.

Пристрій автоматичного налагодження резонансного НВЧ підсилювача на задану частоту діє таким чином.

З вихідного сигналу високочастотного кварцевого генератора 1 за допомогою помножувача 2 частоти виділяється гармоніка, на частоту котрої налагоджується об'ємний резонатор 11 НВЧ підсилювача 10. НВЧ сигнал з виходу помножувача 2 надходить на вхід балансного НВЧ модулятора 3, де модулюється низькочастотним сигналом, котрий отримують за допомогою подільника 4 частоти з кварцованої частоти. З балансно модульованого сигналу НВЧ фільтрами 6 і 7 виділяються коливання нижньої і верхньої бокових частот резонатора 11, котрі через хвилевідний перемикач 8, керований прямокутною напругою подільника частоти 5, по чергово надходять на один із входів подвійного хвилевідного трійника 9. На другий вхід трійника 9 надходять неперервні НВЧ коливання задаючої частоти безпосередньо з виходу помножувача 2. З одного виходу трійника 9 збуджуючий сигнал заданої частоти і пакети випробувальних сигналів бокових частот надходять на НВЧ підсилювач 10 з налагоджуванням резонатором 11. З другого виходу трійника 9 ці ж сигнали надходять на одноктактний НВЧ змішувач 14, де формуються пакети опорних коливань низької частоти. Одноктактний НВЧ змішувач являє собою нелінійний елемент, наприклад, НВЧ діод, з квадратичною ділянкою вольт-амперної характеристики. Частина підсиленого сигналу через направлений відгалужувач 12 надходить на одноктактний НВЧ змішувач 13, де формуються пакети вимірювальних коливань низької частоти. Низькочастотні вимірювальні і опорні коливання виділяються відповідно фільтрами 15 і 16 нижніх частот і нормуються по амплітуді на заданому рівні підсилювачами-обмежувачами 17 і 18. Пакети вимірювальних сигналів надходять на один вхід фазового детектора 19, на другий вхід котрого надходять пакети опорних сигналів. У результаті фазового детектування утворюються відеоімпульси, амплітуди котрих пропорційні різниці фаз порівнюваних сигналів низької частоти. Напруга огинаючої відеоімпульсів підсилюється підсилювачем 20 низької частоти і випрямляється фазочутливим випрямлячем 21, котрий керується синхронно з перемикачем 8 вихідною напругою дільника 5 частоти. 14 Випрямлена напруга діє на серводвигун 22, котрий змінює геометричні розміри об'ємного резонатора. 11, змінюючи його власну частоту. Процес регулювання частоти резонатора 11 триває поки не виникне огинаюча відеоімпульсів на виході фазового детектора 19. При цьому серводвигун 22 зупиняється, що відповідає збігу власної частоти резонатора 11 і основної частоти збуджуючого сигналу на виході помножувача 2 частоти. Завдяки точному налагодженню резонатора 11 на нульовий фазовий зсув забезпечується отримання максимальної потужності на виході 23 НВЧ підсилювача 10.

Використання пропонованих способу налагодження резонансного НВЧ підсилювача і відповідного пристрою дозволяє отримати максимальну потужність НВЧ коливань при впливі дестабілізуючих факторів і нестабільності параметрів самого резонатора. Так, наприклад, зсув частоти резонатора клістронного підсилювача через зміну геометричних розмірів резонатора від зміни температури на 10...15°C складає 1...2%, а при зміні навантаження в межах 70...100% досягає 8...10%. Такі зміни частоти ведуть до зміни віддаваної потужності на 20...25%. Автоматичне налагодження НВЧ підсилювача по нульовому зсуву фаз, який вноситься резонатором, забезпечує стабілізацію потужності у навантаженні в межах $\pm 0,5...1\%$ при максимальній віддачі.

