**Лекція 14**

**Коефіцієнт стоячої хвилі і налаштування антени**

1. **Загальні відомості про коефіцієнт стоячої хвилі.**
2. **Способи вимірювання коефіцієнта стоячої хвилі.**
3. **Опис експерименту для вимірювання КСХ.**
4. **Висновки**

Коефіцієнт стоячої хвилі (КСХ) є найважливішим показником при налаштуванні антени. Даний коефіцієнт показує ступінь узгодження антенно-фідерного тракту. **Ідеальний КСХ повинен наближатися до 1**. Слід пам'ятати, що КСХ більше 3 може привести до виходу з ладу радіостанції, тому слід дуже уважно ставитися до установки антени і не включати радіостанцію на передачу, не перевіривши налаштування антени.

 Встановивши антену, слід налаштувати КСХ на мінімальне значення в діапазоні частот, в якому збираємося працювати. У табл.1 показана залежність втрати потужності передавача від значення КСХ.

 Таблиця 1 – Втрати потужності передавача

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| КСХ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 7 | 10 | 20 |
| Випромінюючапотужність, % | 100 | 88 | 75 | 64 | 55 | 44 | 33 | 18 |

З табл. 1 видно, яка частина потужності йде назад на «розігрів» вихідного каскаду радіостанції, що і призводить до виходу його з ладу, при перевищенні граничних значень КСХ.

КСХ = (Pпад. + Pвід.) / (Pпад – Pвід.).

Тут розглядається ВЧ - сигнал хвилеводу (антенному кабелі), де Pпад. - потужність падаючої хвилі, а Рвід. - потужність відбитої від навантаження (антени). Таким чином, **максимальне значення КСХ досягається** при максимальному значенні потужності відбитого сигналу.

У нашому випадку важливо, щоб уся потужність йшла в антену, а не назад у хвилевод (кабель), тому що використовуються звичайна штирова антена, яка і є випромінювачем радіосигналу.

Говорячи простою мовою, для нас важливий режим біжучої хвилі, в якому сигнал не повинен «затримуватися» на лінії передавач-антена, а повинен без спотворень і втрат потрапляти в ефір. Тобто потужність відбитого сигналу від навантаження (антени) (Рвід.) повинна бути мінімальна, яка прагне до нуля, тобто значення КСХ повинно прагнути до 1, тому що в чисельнику і знаменнику формули залишається тільки Рпад.

Або можна сказати по-іншому, в нашому випадку важливо максимальне значення КБХ - коефіцієнта біжучої хвилі, якій має просту формулу розрахунку:

КБХ = 1 / КСХ.

Однак, на практиці прийнято оперувати поняттям КСХ, тому що ці коефіцієнти обернено пропорційні і їх залежність проста і очевидна.

Середні значення втрат потужності за різними показниками КСХ, наведені у табл.2.

 Таблиця 2 - Утрати потужності в % при КСХ > 1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| КСХ | 1,0 | 1,2 | 1,5 | 1,9 | 2,3 | 3,0 | 4,0 | 5,7 | 9,0 |
| Потужністьутрат, % | 0 | 1 | 4 | 9 | 16 | 25 | 36 | 49 | 64 |

**Налаштування антени на автомобілі.** Важливим фактором нормальної роботи радіостанції є правильна установка антени на автомобілі. Найкраще місце установки антени - найвища точка автомобіля. Магнітна антена встановлюється на даху в центрі. Небажано встановлювати дані антени на багажник автомобіля.

Врізні антени, небажано встановлювати на капот і багажник автомобіля, так як вузли кріплення даних деталей не забезпечують хороше заземлення з корпусом автомобіля.

Налаштування антени проводиться наступними способами:

* зміна довжини штиря антени по відношенню до узгоджувальної котушки;
* узгодження фідерної частини.
1. **Способи вимірювання коефіцієнта стоячої хвилі.**

Для налагодження антени застосовується спеціальний прилад - КСХ-метр (SWR-meter). Прилад включається у розрив між радіостанцією і антеною за допомогою додаткового кабелю з двома роз'ємами. В інструкції приладу, як правило, є опис вмикання приладу. **Визначаються з діапазоном частот,** або каналом, в якому збираються працювати. В інструкції на антену наведено діапазон частот, в якому дана антена може працювати і відповідно може бути налаштована.

Вмикається додатковий підсилювач, якщо такий є. Перед початком вимірювання КСВ прилад потрібно відкалібрувати, якщо цього вимагає дана модель приладу. Виставляється потрібна частота на радіостанції або канал, на якому буде переважно працювати рація. Переводяться перемикачі приладу в режим калібрування, відповідно до інструкції, вмикається радіостанція на передачу і виставляється максимальне значення на шкалі приладу ручкою калібрування. Калібрування потрібно виконувати при кожній зміні параметрів антени.

Важливо пам'ятати, що робоча потужність КСХ - метра повинна бути вище вихідної потужності радіостанції.

Переводимо перемикачі приладу у режим вимірювання КСХ згідно з інструкцією. Включаємо рацію на передачу на мінімальний час і дивимося за шкалою приладу значення КСХ. Якщо значення КСХ лежить у межах 1.1 - 1.3 подальше налагодження антени не потрібно, але так буває рідко.

Найчастіше значення КСХ буде далеко від ідеального. Беремо папір і ручку і записуємо отримане значення. Далі перемикаємо частоту радіостанції з кратністю 10 каналів вгору або вниз. Припустимо, що при збільшенні частоти значення КСХ починає зменшуватися.

Для приведення КСХ у норму, слід висунути штир антени. Для цього потрібно відкрутити гвинт кріплення штиря до котушки і висунути його не маленьку відстань. Перевірити значення КСХ, як це було описано вище. Повторити процедуру до отримання мінімального значення КСХ. Не забувайте кожного разу добре фіксувати штир антени у котушці після зміни його довжини. Якщо не вдається домогтися прийнятних результатів, слід вибрати робочий канал у більш високих сітках частот.

У разі, **якщо значення КСХ падає** при зменшенні частоти **слід вкоротити довжину антени**. Це робиться способом описаним вище. Якщо штир антени максимально засунуть у котушку, а мінімального значення КСХ домогтися не вдається, слід фізично **обрубати штир** антени.

Перш, ніж це робити необхідно зміною частоти передачі рації знайти частоту або канал, на якому значення КСХ буде мінімальним. Слід відвести частоту вгору і вниз на кілька каналів і переконатися, що КСХ починає збільшуватися. Вкорочувати антену слід акуратно - 0,5 - 0,7 см за раз, так як, обрубавши занадто багато, ви можете проскочити потрібне значення робочої частоти.

Домігшись мінімального значення КСХ (для деяких антен він може досягати 1,5-1,6), слід перевірити діапазон частот, в якому може працювати на передачу ваша радіостанція. Зрушуючи діапазон частот вгору і вниз потрібно запам'ятати частоти або назву каналів, за межами яких значення КСХ перевищує допустиму норму 2,0 - 2,2. Робота на передачу при таких значеннях КСХ може привести до виходу з ладу вашої радіостанції або підсилювача.

**Кілька корисних порад.**

Антену слід налаштовувати тільки на її постійне місце знаходження.

Не слід укладати кільцями вільний кабель всередині вашого автомобіля. Постарайтеся укласти кабель не скручуючи.

При налаштуванні антени значення КСХ більше 5,0 - це свідчить про обрив кабелю або котушки антени.

Значення КСХ 2,1 - 5,0 - несправність антени, погане заземлення, неправильна установка, або антена іншого частотного діапазону.

Значення КСХ 1,6 - 2,0 - погані контакти у роз'ємах, втрати в ВЧ-роз'ємах, або потрібне узгодження фідерного тракту.

При установці антени на «Гронден» (кріплення на жолоб) проконтролюйте, щоб був хороший контакт з кузовом автомобіля.

1. **Опис експерименту для вимірювання КСХ.**

Структурна схема вимірювання КСХ в діапазоні (0,01 2,15) ГГц представлена ​​на рис. 11. ГКЧ з'єднується з індикатором Я2Р-70 багатожильним кабелем і коаксіальним кабелем (АРМ). СВЧ - сигнал з виходу ГКЧ через напівтвердий коаксіальний кабель подається на рефлектометр і далі на спрямований детектор відбитої хвилі, до іншого виходу рефлектометра підключається КЗ перемичка або досліджуваний пристрій.



 Рисунок 11 - Структурна схема вимірювання КСХ у заданому диапазоні

Вимірювання починають з калібрування. При калібруванні по КЗ каналу КСХН замість досліджуваного пристрою на виході рефлектометра відбитої хвилі встановлюється короткозамикач. Потім по цифровому табло каналу А встановлюється рівень сигналу в межах -17 до -15 дБ (на частоті де сигнал мінімальний, в режимі А).

Для вимірювання КСХ в межах 1,05 - 5 або (-10 дБ) для індикації КСХ <1,05. Далі натискаються послідовно кнопки А / R і I (проводиться нормалізація, вирівнюється крива на екрані ЕПТ і в усьому діапазоні частот показання цифрового табло не виходять за межі 0,2 дБ). При калібрування по ХХ відключається короткозамикач від рефлектометра і натискається кнопка 1 на панелі КСХН.

В цьому випадку в ОЗП вимірювача записується середньоарифметичне між нормалізацією по КЗ і ХХ (проводиться нормалізація, вирівнюється крива на екрані ЕПТ і в усьому діапазоні частот показання цифрового табло не виходять за межі 0 0,2дБ). Потім, встановлюється досліджуваний пристрій і знімаються результати вимірювань, або з екрана, або (на частоті мітки) з цифрових табло, або реєструються на двухкоординатному графобудівнику.

Експериментальні дослідження проводилися для двухдиапазонної антени з перехрещеними вібраторами. В ході експерименту були зняті залежність КСХ в діапазоні частот 230МГц - 490МГц. У табл. 3 наведені експериментальні значення КСХ.

 Таблиця 3 - Експериментальні значення КСХ

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| F, МГц | 230 | 235 | 240 | 245 | 250 | 255 | 260 | 265 | 270 | 275 |
| КСХ | 7,79 | 5,73 | 6,15 | 4,19 | 2,98 | 2,04 | 1,35 | 2,10 | 3,21 | 3,9 |
| F, МГц | 280 | 285 | 290 | 295 | 300 | 305 | 310 | 315 | 320 | 325 |
| КСХ | 4,46 | 4,71 | 4,92 | 4,98 | 4,58 | 4,76 | 4,49 | 3,93 | 3,28 | 2,62 |
| F, МГц | 330 | 335 | 340 | 345 | 350 | 355 | 360 | 365 | 370 | 375 |
| КСХ | 2,38 | 2,81 | 3,81 | 4,45 | 4,55 | 4,33 | 3,88 | 3,75 | 3,60 | 3,29 |
| F, МГц | 380 | 385 | 390 | 395 | 400 | 405 | 410 | 415 | 420 | 425 |
| КСХ | 3,12 | 2,81 | 2,66 | 2,67 | 2,79 | 2,78 | 2,62 | 2,15 | 1,50 | 1,58 |
| F, МГц | 430 | 435 | 440 | 445 | 450 | 455 | 460 | 465 | 470 | 475 |
| КСХ | 1,40 | 1,17 | 2,14 | 1,39 | 1,34 | 1,62 | 1,98 | 1,74 | 1,73 | 1,70 |
| F, МГц | 480 | 485 | 490 |  |  |  |  |  |  |  |
| КСХ | 1,85 | 2,12 | 2,71 |  |  |  |  |  |  |  |

На рис. 12 наведено залежність КСХ від частоти.



Рисунок 12 – Залежність КСХ від частоти

З рис. 12 видно, що мінімальний КСХ досягається на частотах на яких повинна працювати розроблена антена.

**ВИСНОВКИ**

Максимальна потужність передачі інформації від джерела до навантаження забезпечуються рівністю їх опорів, тобто узгодження лінії зв’язку між передатчиком і приймачем. При відсутності узгодження не вся випромінююча потужність надходить у навантаження.

 При відсутності узгодження в антенно-фідерному тракті частина енергії, що розповсюджується по фідеру, не надходить у навантаження, а відбивається від місця з’єднання фідера з навантаженням і поширюється у зворотному напрямку. Узгоджувальний пристрій (УП) необхідний коли опір антени ZА не дорівнює хвильовому опору фідера *ρ* (ZА ≠ ρ).

 Ступінь узгодження антени оцінювався за коефіцієнтом стоячої хвилі (КСХ), який змінюється від 1 (ідеальне узгодження) до *ρ.* На практиці хорошим узгодженням вважається коли КСВ ≤ 1,5. За дослідженням було отримано оптимальну залежність коефіцієнта стоячої хвилі від частоти, яка дозволяє визначити величину і тип реактивного елемента для компенсації реактивного опору антени.

Установлено залежність втрат потужності передавача від величини КСХ. Потужність відбитого сигналу від навантаження (антени) повинна бути мінімальна, тобто КСХ повинен прагнути до 1. Утрати потужності при зростанні КСХ зростають.

**КСХ (Коефіцієнт стоячої хвилі) - SWR (Standing wave ratio)** - в радіотехніці і телекомунікації **відношення амплітуди максимумів до амплітуди мінімумів в стоячій хвилі** - міра узгодження імпедансу навантажень з характерним опором лінії передачі або хвилеводу.

 Опір імпедансу призводить до появи стоячих хвиль уздовж лінії передачі, а КСВ визначається як відношення амплітуди часткової стоячій хвилі в пучності (максимум) до амплітуди на вузлі (мінімум) уздовж лінії. Характеризує ступінь узгодження внесених wi-fi антени і фідера (коаксіального НВЧ кабелю ), також говорять про узгодження виходу бездротової wi-fi точки і фідера.

На практиці завжди **частина переданої енергії відбивається** і повертається в wi-fi передавач. Відображена енергія погіршує роботу бездротового wi-fi передавача і може його пошкодити.

Зазвичай КСХ сприймається з точки зору максимального і мінімального змінної напруги вздовж лінії передачі, що називається відношенням **стоячої хвилі напруги** або КСВП. Наприклад, значення КСВВ 1.2: 1 означає напругу змінного струму через стоячих хвиль уздовж лінії передачі, що досягає пікового значення в 1,2 рази більше, ніж мінімального змінної напруги вздовж цієї лінії.

 КСХ можна також визначити як відношення максимальної амплітуди до мінімальної **амплітуді струмів** лінії електропередачі, напруженості електричного поля або напруженості магнітного поля. Нехтуючи втратою лінії передачі, ці відносини ідентичні.

В ідеалі КСВ = 1 - це означає, що відбита хвиля відсутня. Значення до 1,5 вважаються прийнятними в Wi-Fi діапазоні 2400-2485 МГц.

**При появі відбитої хвилі** КСХ зростає в прямій залежності від ступеня неузгодженості тракту і навантаження. На практиці частіше використовується коефіцієнт стоячої хвилі по напрузі (КСХН). Цей параметр обов'язково обмовляється в технічних вимогах на передавальний пристрій. Крім того, існують ГОСТи на гранично допустимий рівень КСХ.

КСХ є зворотною величиною до коефіцієнта біжучої хвилі (КБХ).

**При поганому узгодженні в кабелі виникають стоячі хвилі, які погіршують роботу wi-fi обладнання в результаті:**

- знижується ККД фідера, і, отже, загальний ККД передавача; зменшується реальна чутливість приймача;

- знижується максимальна потужність, яку можна підвести до антенно-фідерному пристрою;

- утруднюється узгодження передавача і приймача з антенно-фідерних пристроєм.

**Однак зробити висновок** про те, що наявний антенно-фідерне пристрій буде працювати помітно краще, якщо знизити КСХ до 1 можна тільки після порівняння його характеристик при наявному КСХ і КСХ = 1.

**Для вимірювання коефіцієнта** стоячої хвилі використовуються спеціальні вимірювальні прилади, які називаються КСХ метр. Оскільки КСХ є мірою імпедансу навантаження щодо характерного імпедансу використовуваної лінії передачі (яка разом визначає коефіцієнт відображення), даний вимірювач КСВ може інтерпретувати тільки імпеданс, який він бачить в термінах КСХ, якщо він має бути розроблений для цього специфічного імпедансу.

На практиці більшість ліній передачі, використовуваних в цих додатках, є **коаксіальні кабелі** з опором 50 або 75 Ом, тому більшість КСХ відповідають одному з них.



[Роутер Wi-Fi - Бездротовий маршрутизатор Wi-Fi (Router Wi-Fi)](https://ua.nettech.ua/news/router-wi-fi-besprovodniy-marshrutizator-wi-fi)

Wi-Fi роутер - від англійського router, мережеве обладнання, яке виконує функції маршрутизатора, а також функції бездротової точки доступу. Він використовується для забезпечення доступу до Інтернету або приватної комп'ютерної мережі.

Залежно від виробника і моделі він може працювати в дротовій локальній мережі, через бездротову локальну мережу або в змішаній дротовій і бездротовій мережі..

**Коефіцієнт стоячої хвилі**

 **Коефіцієнт стоячої хвилі** - Ставлення найбільшого значення амплітуди напруженості електричного або магнітного поля [стоячої хвилі](https://znaimo.com.ua/%D0%A1%D1%82%D0%BE%D1%8F%D1%87%D0%B0_%D1%85%D0%B2%D0%B8%D0%BB%D1%8F) в лінії передачі до найменшого [[1]](https://znaimo.com.ua/%D0%9A%D0%BE%D0%B5%D1%84%D1%96%D1%86%D1%96%D1%94%D0%BD%D1%82_%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%8F%D1%87%D0%BE%D1%97_%D1%85%D0%B2%D0%B8%D0%BB%D1%96#link1).

 Характеризує ступінь узгодження [антени](https://znaimo.com.ua/%D0%90%D0%BD%D1%82%D0%B5%D0%BD%D0%B0%22%20%5Co%20%22%D0%90%D0%BD%D1%82%D0%B5%D0%BD%D0%B0) і [фідера](https://znaimo.com.ua/%D0%A4%D1%96%D0%B4%D0%B5%D1%80_%28%D1%80%D0%B0%D0%B4%D1%96%D0%BE%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D1%96%D0%BA%D0%B0%29%22%20%5Co%20%22%D0%A4%D1%96%D0%B4%D0%B5%D1%80%20%28%D1%80%D0%B0%D0%B4%D1%96%D0%BE%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D1%96%D0%BA%D0%B0%29) (також говорять про узгодження виходу [передавача](https://znaimo.com.ua/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%B0%D0%B2%D0%B0%D1%87%22%20%5Co%20%22%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%B0%D0%B2%D0%B0%D1%87) та фідера) і є частотнозавісімой величиною. Зворотній величина КСХ називається КБВ - [коефіцієнт біжучої хвилі](https://znaimo.com.ua/%D0%9A%D0%BE%D0%B5%D1%84%D1%96%D1%86%D1%96%D1%94%D0%BD%D1%82_%D1%85%D0%B2%D0%B8%D0%BB%D1%96_%D1%89%D0%BE_%D0%B1%D1%96%D0%B6%D0%B8%D1%82%D1%8C%22%20%5Co%20%22%D0%9A%D0%BE%D0%B5%D1%84%D1%96%D1%86%D1%96%D1%94%D0%BD%D1%82%20%D1%85%D0%B2%D0%B8%D0%BB%D1%96%2C%20%D1%89%D0%BE%20%D0%B1%D1%96%D0%B6%D0%B8%D1%82%D1%8C).

 Слід розрізняти величини КСВ і КСХН (коефіцієнт стоячої хвилі по напрузі): перша вираховується по потужності, друга - по амплітуді напруги і на практиці використовується частіше; в загальному випадку ці поняття еквівалентні.

 Коефіцієнт стоячої хвилі по напрузі обчислюється за формулою:

  ,
де *U 1* і *U 2* - амплітуди падаючої і відбитої хвиль відповідно.

Можна встановити зв'язок між KCBH і [коефіцієнтом відбиття](https://znaimo.com.ua/%D0%9A%D0%BE%D0%B5%D1%84%D1%96%D1%86%D1%96%D1%94%D0%BD%D1%82_%D0%B2%D1%96%D0%B4%D0%B1%D0%B8%D1%82%D1%82%D1%8F_%28%D1%80%D0%B0%D0%B4%D1%96%D0%BE%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D1%96%D0%BA%D0%B0%29%22%20%5Co%20%22%D0%9A%D0%BE%D0%B5%D1%84%D1%96%D1%86%D1%96%D1%94%D0%BD%D1%82%20%D0%B2%D1%96%D0%B4%D0%B1%D0%B8%D1%82%D1%82%D1%8F%20%28%D1%80%D0%B0%D0%B4%D1%96%D0%BE%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D1%96%D0%BA%D0%B0%29) Г:



 Також величину коефіцієнта стоячої хвилі можна отримати з виразів для [S-параметрів](https://znaimo.com.ua/S-%D0%BF%D0%B0%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%B8).

 В ідеальному випадку КСХН = 1, це означає, що відбита хвиля відсутня. При появі відбитої хвилі КСВ зростає в прямій залежності від ступеня неузгодженості тракту і навантаження.

 Допустимі значення КСХН на робочій частоті або в смузі частот для різних пристроїв регламентуються в технічних умовах і ГОСТах. Зазвичай прийнятні значення коефіцієнта лежать в межах від 1,1 до 2,0.

 Значення КСВ залежить від багатьох факторів, наприклад:

* Хвильовий опір СВЧ кабелю і джерела НВЧ сигналу
* Неоднорідності, спайки в кабелях або хвилеводах
* Якість оброблення кабелю в СВЧ-з'єднувачах (роз'ємах)
* Наявність перехідних з'єднувачів
* Опір антени в точці підключення кабелю
* Якість виготовлення і налаштування джерела сигналу і споживача (антени і ін)



