

# Зв'язок

УДК 621.385.632.12

Н.М. Довженко, М.Г. Твердохліб, Н.С. Чумак

Державний університет телекомунікацій, Київ

## ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПОТУЖНОЇ ШИРОКОСМУГОВОЇ ЛАМПИ РУХОМОЇ ХВИЛІ

В даній статті розглянуто та проведено аналіз удосконалення перехідного пристрою електродинамічної структури широкосмугової лампи рухомої хвилі, призначеного для високочастотного зв'язку між спіральною сповільнюючою системою електродинамічної структури і хвилеводами, яке дозволяє покращити тепловий режим роботи сповільнюючої системи і підвищити надійність ЛРХ.

**Ключові слова:** лампа рухомої хвилі, електродинамічна структура, перехідний пристрій, хвилевід, спіральна сповільнююча система, спіраль, діелектричні опори, температурний режим, надійність.

### Вступ

Потужні широкосмугові лампи рухомої хвилі (ЛРХ) широко використовуються в системах зв'язку як активні елементи. ЛРХ являє собою прилад, дія якого базується на взаємодії біжучої електромагнітної хвилі, збуджуваної в сповільнюючій системі (СС) електродинамічної структури (ЕДС), і електронного потоку, які рухаються в одному напрямі. ЛРХ застосовують у радіоелектронних та інших пристроях систем зв'язку головним чином для підсилення електромагнітних коливань надвисокої частоти (НВЧ). ЛРХ складається з електронної гармати, електродинамічної структури, фокусувальної системи і колектора. Електронна гармата створює потік електронів, електродинамічна структура забезпечує взаємодію сигналу НВЧ з потоком електронів, фокусувальною системою формує електрони у потік і утримує в пролітному каналі ЕДС, колектор приймає відпрацьовані електрони. Підведення сигналу НВЧ в електродинамічну структуру і виведення з неї забезпечується хвилеводами.

### Основна частина

Потужність широкосмугових ЛРХ обмежується тепловою стійкістю сповільнюючої системи ЕДС [1]. Сповільнююча система широкосмугової ЛРХ являє собою повздовжню спіраль, яка кріпиться у вакуумному циліндричному балоні за допомогою керамічних стержнів круглого або трапецієвидного поперечного перерізу. Створення потужних спіральних ЛРХ являє собою складну задачу, пов'язану з перегрівом спіралі СС під час роботи. Спіраль нагрівається, головним чином, за рахунок осідання на неї частини електронів електронного потоку. Підвищення теплової стійкості СС досягається шляхом удосконалення теплових контактів між елементами СС та покращення теплопровідності елементів СС [2]. Для монтажу СС часто використовують метод триангуляції. За цим методом тонкостінний металевий вакуумний балон,

що являє собою пружну циліндричну оболонку, стискають системою з трьох сил, направлених радіально. В проміжках між лініями прикладання сил діаметр оболонки, який в недеформованому стані дещо менший діаметра пакета (спіраль з трьома опорними діелектричними стержнями), збільшується, що дозволяє з зазором ввести пакет в оболонку. Після зняття зовнішніх сил оболонка, намагаючись повернутися до вихідної форми та розмірів, за рахунок пружних сил затискує спіраль між діелектричними стержнями. Для забезпечення необхідної точності на відстань між сусідніми витками спіралі (крок спіралі) монтаж сповільнюючої системи здійснюють, не знімаючи спіраль з циліндричного металевго стержня (керна), на котрий вона щільно намотана. Керн забезпечує точність кроку і також утримує витки спіралі від прогину під дією радіальних сил, утворюваних пружно деформованою оболонкою. Після видалення керна величина пружної деформації перерозподіляється між оболонкою і спіраллю, як показано на рис. 1. При цьому точки витків спіралі, що контактують з керамічними опорними стержнями, переміщуються до осі спіралі на величину деформації спіралі, а точки, що розташовані в проміжках між опорами, віддаляються від осі приблизно на таку ж саму величину.

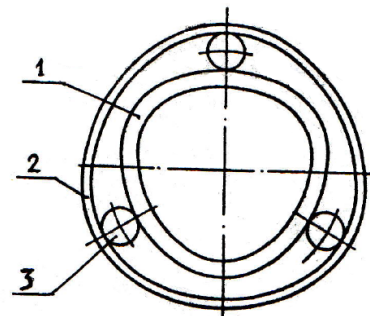


Рис. 1. Перерозподіл пружної деформації між оболонкою і спіраллю після монтажу сповільнюючої системи та видалення керна (вигляд торця; в СС використані циліндричні опорні стержні)

Теплопровідність контактів між спіраллю 1, опорами 3 і оболонкою 2 залежить від сил стиснення. Ці сили пропорційні величині пружної деформації оболонки та спіралі, які після монтажу СС і видалення керна знаходяться в пружно деформованому стані. Для досягнення максимального стиснення доцільно урівноважувати жорсткість спіралі й балона, яка визначається розмірами та механічними характеристиками матеріалів цих елементів.

Високочастотний зв'язок між спіраллю СС і хвилеводом в ЛРХ здійснюється за допомогою перехідного пристрою. Відома конструкція перехідного пристрою, що містить кільце, яке одним елементом зв'язку (перемичкою) з'єднане з кінцем спіралі, іншим – з оболонкою, причому кільце введене в порожнину хвилеводу [3]. Однак, використання цього пристрою для введення і відведення високочастотної енергії від СС, яка монтується з використанням методу пружної деформації оболонки (тобто триангуляції), може призвести до значного ослаблення зусиль притиснення крайніх витків спіралі (рис. 2), працюючих як розрізні кільця, до керамічних стержнів або навіть відсутності контакту між ними. Це приводить до погіршення відводу тепла на стержні від крайніх витків, їх перегріву або руйнування і, відповідно, виходу з ладу ЛРХ.

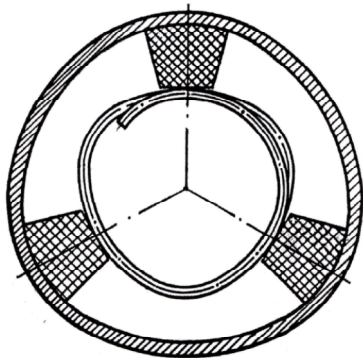


Рис. 2. Форма крайнього витка спіралі у сповільнюючій системі після видалення керна (вид зверху; в СС використані опорні стержні трапецієвидного поперечного перерізу; кільце та перемички перехідного пристрою на рисунку не показані)

При несприятливих взаємних положеннях перемичок перехідного пристрою, які з'єднують кільце з кінцем спіралі та оболонкою, переміщення точок оболонки після видалення керна змушує зміщуватись кінець спіралі в сторону віддалення від опорних стержнів або від одного з них (рис. 3, 4).

Це пояснюється наступним. Після видалення керна (на кресленні не показаний) зі спіралі 2 точки 9, 10 та 11 на оболонці, які знаходяться в зоні розташування стержнів 5, 6, 8, приблизяться під дією зусиль, створюваних пружно деформованою оболонкою 1, до осі спіралі на величину прогину спіралі, а точки 12, 13 і 14, які розташовані посередині проміжків між стержнями, віддаляться від осі спіралі на приблизно таку ж величину. Зміна положення точки

13 змушує завдяки перемичці 7 зміщуватись з осі СС кільця 3. Кільце 3 через перемичку 4, яка з'єднує його з кінцем спіралі 2, буде відтягувати кінець спіралі від стержня 5 і створювати зусилля  $F$ , направлене на скручування та зменшення діаметра крайнього витка спіралі, що призводить до появи зазору між крайнім витком та стержнем 5 і послаблює притиснення його до наступного по ходу спіралі стержня 6 (рисунку відповідає права навівка спіралі). Отже, тепловідведення від крайнього витка спіралі на керамічні стержні буде значно погіршене.

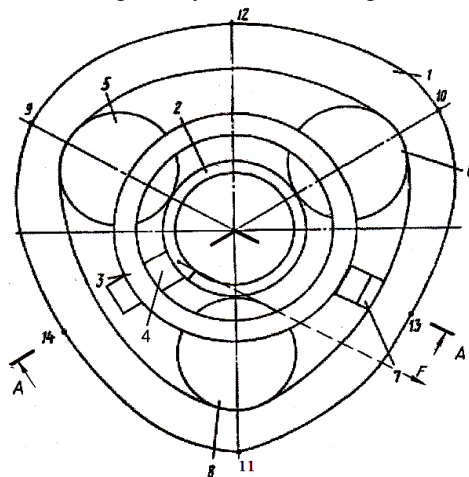


Рис. 3. Вид зверху сповільнюючої системи з перехідним пристроєм відомої конструкції

А - А повернуто

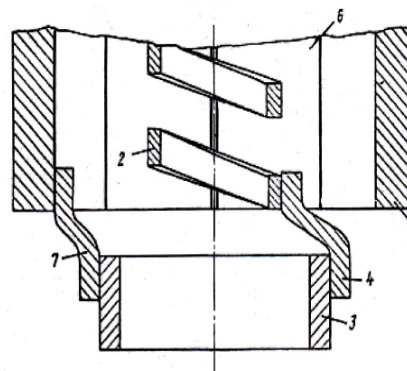


Рис. 4. Поздовжні розрізи А - А сповільнюючих систем з перехідними пристроями відомої та удосконаленої конструкцій (розрізи мають однакові зображення)

**Метою даної роботи** є підвищення надійності ЛРХ за рахунок покращення тепловідведення від крайніх витків спіралі, працюючих в найбільш несприятливому температурному режимі, шляхом покращення контакту між ними

Поставлена мета досягається тим, що перемички, що з'єднують кінець спіралі з кільцем і кільце з оболонкою (рис. 4, 5), розташовані таким чином, щоб зусилля, що виникає після видалення керна, діяло на розкручування спіралі і притисало кінець спіралі до найближчої до нього опори. Наприклад, перемичка 4, яка з'єднує з кільцем 3 кінець спіралі, може бути розташо-

вана посередині проміжку між діелектричними стержнями 5 і 6, а перемичка 7, що з'єднує кільце 3 з оболонкою 1, розташована посередині наступного по ходу спіралі проміжку між стержнями 6 і 8. Після видалення керна (на кресленні не показаний) зі спіралі 2 точки 9, 10 та 11 на оболонці, що знаходяться в зоні розташування стержнів 5, 6, 8, приблизяться під дією зусиль, створюваних пружно деформованою оболонкою 1, до осі спіралі на величину прогину спіралі, а точки 12, 13 і 14, що розташовані посередині проміжків між цими стержнями, віддаляться від осі спіралі на приблизно таку ж величину. Зміна положення точки 13 створює зусилля, що намагається змістити з осі сповільнюючої системи кільце 3, але цьому через перемичку 4 перешкоджає кінець спіралі, котрий спирається на стержень 6, розташований між перемичками 7 і 4. В результаті, виникає зусилля  $F$ , яке частково деформує кінець крайнього витка спіралі і притискає його до стержнів 6 і 8.

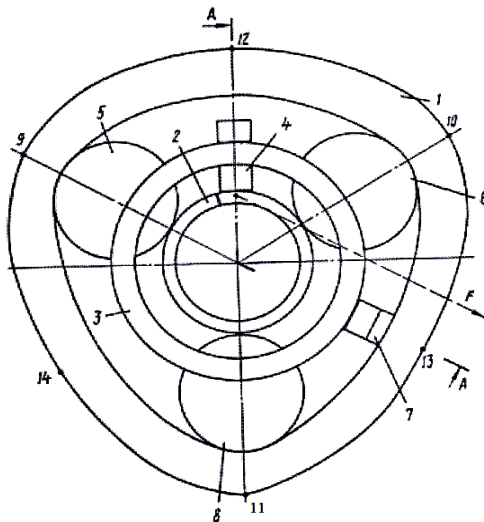


Рис. 5. Вигляд торця сповільнюючої системи з перехідним пристроєм удосконаленої конструкції та діелектричними опорами [4].

Удосконалена конструкція перехідного пристрою електродинамічної структури ЛРХ з пружно деформованою спіральною сповільнюючою системою, в якій використані механічні теплові контакти,

дозволяє створити такі зусилля притиснення крайніх витків спіралі до діелектричних стержнів, які за величиною дорівнюють або перевищують зусилля притиснення до стержнів кожного з витків, що розташовані в середній частині спіралі [5]. Це забезпечує надійне тепловідведення від крайніх витків, адже теплопровідність механічного контакту між витком спіралі та опорним стержнем зростає зі збільшенням зусилля притиснення їх один до одного.

## Висновки

Однією з найбільш поширених причин виходу з ладу ЛРХ, як уже відмічалось, було руйнування (розплавлення) від перегріву крайніх витків спіралі. Підвищення теплової стійкості крайніх витків виключає вказану причину відмови ЛРХ, яка спостерігалась як в процесі експлуатації, так і при випробуваннях ЛРХ. Це, відповідно, підвищує надійність і довголіття ламп рухомої хвилі та зменшує технологічні втрати при їх виготовленні.

## Список літератури

1. Анализ конструкции замедляющей системы, закрепляемой упругими силами. Ч.1. Разработка методики расчета механических напряжений и перемещений в замедляющей системе / [Барковский В.В. и др.] // СВЧ – техника. Серия 1. – 1992. – Вып. 1 (445). – С. 25-29.
2. Предмировский В.С., Твердохлеб Н.Г. Метод изготовления высокоточных диэлектрических опор замедляющих систем ЛБВ / В.С. Предмировский, Н.Г. Твердохлеб // Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій. – 2005. – Т. 3, № 3-4. – С. 161-164.
3. Руденко В.Г. Авторское свидетельство СССР № 576862, кл. H01J 23/32, 1972.
4. Руденко В.Г., Твердохлеб Н.Г. Авторское свидетельство СССР № 743475, кл. H01J 23/32, 1980.
5. Анализ конструкции замедляющей системы, закрепляемой упругими силами. Ч.3. Экспериментальное исследование механических элементов замедляющей системы / [Барковский В.В., Предмировский В.С. и др.] // СВЧ – техника. Серия 1. – 1992. – Вып. 3 (447). – С.28-32.

Надійшла до редколегії 16.10.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.В. Козелков, Державний університет телекомунікацій, Київ.

## ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ МОЩНОЙ ШИРОКОПОЛОСНОЙ ЛАМПЫ БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ

Н.М. Довженко, Н.Г. Твердохлеб, Н.С. Чумак

В данной статье рассмотрен и проведен анализ усовершенствования переходного устройства электродинамической структуры широкополосной лампы бегущей волны, предназначенного для высокочастотной связи между спиральной замедляющей системой электродинамической структуры и волноводами, которое позволяет улучшить тепловой режим работы замедляющей системы и повысить надежность ЛБВ.

**Ключевые слова:** лампа бегущей волны, электродинамическая структура, переходное устройство, волновод, спиральная замедляющая система, спираль, диэлектрические опоры, температурный режим

## IMPROVING THE RELIABILITY OF POWERFUL BROADBAND TRAVELING WAVE TUB

N.M. Dovzhenko, M.G. Tverdohlib, N.S. Chymak

This article is about analysis and improvement of structures adapter broadband electrodynamic waves moving lights, designed for high-frequency connection between spiral slowing electrodynamic system structure and waveguides, which improves the thermal conditions of slowing down the system and improve the reliability LRH.

**Keywords:** lamp moving waves electrodynamic structure, transition device waveguide system slowing spiral, spiral, dielectric resistance, temperature, reliability.