

РАЗПРОСТРАНЕНИЕ НА ЕЛЕКТРОМАГНИТНИТЕ ВЪЛНИ

Една от особеностите на любителските радиовръзки е, че ние никога не можем да бъдем напълно сигурни за тяхното провеждане. Прохождението за една и съща честота се променя от година на година и зависи силно от сезона и времето на деня. Въпреки че тези промени се подчиняват на определени закономерности, ние често пъти сме свидетели на аномалии в разпространението и прохождението на радиовълните. Всеки радиолюбител би трябвало да има минимални познания за характера и механизма на разпространението на радиовълните, така че да бъде в състояние да интерпретира необичайните условия в прохождението и да може да се възползва

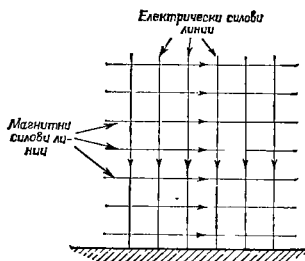
в максимална степен от тях. Наблюдателят радиолюбител е в състояние да допринесе за развитието на науката при условие, че той има достатъчна теоретическа подготовка и умеє да анализира резултатите от своите наблюдения. Той би могъл да открие нови факти за разпространението на радиовълните в УКВ и СВЧ обхватите, както неведнъж се е случвало в миналото. Между другото радиолюбителите са допринесли твърде много — било то случайно или след дълго и задълбочено изследване, за усвояване и разширяване на възможностите на различните честоти от радиоспектъра.

ХАРАКТЕРИСТИКИ НА РАДИОВЪЛНИТЕ

Радиовълните, както и другите форми на електромагнитно излъчване, като например светлината, се разпространяват във вакуум със скорост $300\,000\,000\text{ m/s}$ и могат да бъдат отразени, пречупени или разсеяни. Електромагнитната вълна е съставена от движещи се електрически и магнитни силови полета. Векторите на електрическите и магнитните полета са под прав ъгъл едни спрямо друг и от своя страна са взаимно перпендикулярни на посоката на движение. Едно опростено представяне на вълната е показано на фиг. 18-1. На този чертеж електрическите линии са перпендикулярни на земята, а магнитните линии са хоризонтални. Те биха могли обаче да бъдат под какъвто и да е друг ъгъл спрямо земята доколкото, доколкото са под прав ъгъл едни спрямо други.

Повърхността, съдържаща непрекъснатите електрически и магнитни силови линии, наподобява решетка във фиг. 18-1, се нарича фронт на вълната.

Средата, в която се разпространяват електромагнитните вълни, оказва силно влияние върху тяхната скорост. Когато средата е вакуум, скоростта, както бе отбелязано по-горе, е $300\,000\,000\text{ m/s}$. За въздуха тя е малко по-малка, докато за някои вещества разликата може да бъде значителна. В диелектриците например скоростта на разпространение на електро-



Фиг. 18-1 — Представяне на електрическите и магнитните силови линии в една радиовълна. Стрелките показват моментните посоки на двете полета за случая, когато вълната напредва към читателя. Обръщането на посоката на силовите линии ще доведе до обръщане на посоката на разпространение на вълната

магнитните вълни е обратно пропорционална на корен квадратен от диелектрическата константа.

Когато вълната срещне добър проводник, тя не може да проникне през него (независимо от това, че преминава лесно през диелектриците), тъй като електрическите силови линии практически се дават навън.

Поляризация

Поляризацията на радиовълните се определя от посоката на силовите линии на електрическото поле. Ако електрическите силови линии са перпендикулярни на земята; казваме, че имаме вертикална поляризация; в случай че те са паралелни на повърхността на земята, говорим за хоризонтална поляризация. По-дългите вълни при тяхното разпространение обикновено запазват своята поляризация такава, каквато е била тя при излъчването антенна. Поляризацията на по-късите вълни обаче може да се изменя при тяхното разпространение и често пъти тези изменения са доста бързи.

Разсейване на енергията на радиовълните

Напрегнатостта на полето на една вълна в дадена точка е обратно пропорционална на разстоянието от точката до източника. Така, ако при разпространение на вълната в еднородна среда имаме една точка, която е на два пъти по-голямо разстояние от източника, отколкото друга такава, напрегнатостта на полето в по-далечната точка ще бъде точно два пъти по-малка от напрегнатостта на полето в по-близката. Това идва от факта, че енергията във фронта на вълната трябва да се разпредели върху толкова по-голяма повърхност, колкото по-далече се намира вълната от източника. Законът за зависимостта на напрегнатостта на полето от разстоянието се базира на предположението, че в средата, в която се разпространява вълната, няма нищо, което да поглъща енергията ѝ при нейното движение. Това предположение обаче не е вярно при разпространението на вълните в близост до Земята и през атмосферата.

ИОНОСФЕРНО РАЗПРОСТРАНЕНИЕ НА РАДИОВЪЛНИТЕ

Свойства на йоносферата

С изключение на разстояния до около десетина километри почти всички любителски радиовръзки на честоти, по-ниски от 30 MHz, се осъществяват посредством йоносферната вълна. След излъчването ѝ от антената на предавателя тази вълна започва да се отдалечава от повърхността на земята под определен ъгъл и би продъл-

Видове разпространение

В зависимост от височината на каналите, по които се разпространяват, вълните могат да бъдат класифицирани като йоносферни, тропосферни и приземни.

Йоносферната, или «небесната», вълна е онази част от излъчената енергия, която е насочена към йоносферата. Тя може да бъде върната на земята посредством отражение и пречупване от йоносферата. Този процес зависи силно както от състоянието на йоносферата, така и от дължината на излъчваната вълна.

Тропосферната вълна е онази част от излъчената енергия, която претърпява отражение и пречупване в тропосферата при преминаването ѝ от една среда в друга. Тези явления възникват винаги на границата на две среди, имащи различни диелектрически константи, като например границата на въздушни маси, които имат различна температура и влажност.

Приземната вълна е онази част от излъчената енергия, която директно зависи от присъствието на земята и от особеностите на нейния повърхностен слой. Приземната вълна има две компоненти. Едната се нарича повърхностна вълна и се разпространява по повърхността на земята, а другата компонента се нарича пространствена вълна (да не се бърка с йоносферната вълна). Пространствената вълна от своя страна е резултантна на две компоненти — директна вълна и вълна отразена от повърхността на земята, както е показано на фиг. 18-2.



Фиг. 18-2 — Илюстрация на това, как могат да бъдат приети едновременно директната и отразената вълна

жила своето разпространение в космоса, ако не съществуваше нещо, което да промени нейната посока на движение и да я върне обратно на земята. Средата, която осъществява промяната на посоката на движение на радиовълната, е йоносферата. Йоносферата е област в горната част на атмосферата на височина над около 100 km,

където концентрацията на свободни йони и електрони е достатъчно голяма, за да повлияе на разпр. странието на радио вълните.

Предполага се, че йонизацията на горната част на атмосферата е предизвикана от ултравиолетовото излъчване на Слънцето. Йоносферата не трябва да се разглежда като една однородна област, а по-скоро като серия от слоеве с различна степен на йонизация, проявяващи се на различни височини. Характерно за тези слоеве е, че степенята на тяхната йонизация е най-голяма в средната им част и постепенно намалява както за по-големите, така и за по-малките височини.

Пречупване

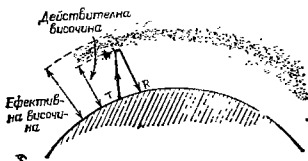
Колкото по-голяма е степенята на йонизация на даден слой от йоносферата, толкова в по-голяма степен се променя посоката на движение на вълната. Промяната на посоката, или пречупването на вълната (често пъти наричано още отражение), зависи в голяма степен също така и от дължината на вълната; при по-дългите вълни за дадена степен на йонизация имаме по-силно изразена промяна в посоката на разпространение. Така по-нискочестотните радиовълни се поддават по-лесно на пречупване и отражение от високочестотните. По тази причина високочестотните обхвати — 3,5 и 7 MHz — са «по-надеждни» от високочестотните обхвати — 14 до 28 MHz. Понякога, когато степенята на йонизация на йоносферата не е достатъчно голяма, вълните от високочестотните обхвати не могат да бъдат пречупвени в достатъчно голяма степен и те не се връщат на земята.

Поглъщане

При преминаването ѝ през йоносферата вълната отдава част от енергията си, която раздвижва йонизираните частици. Когато движещите се йонизирани частици се сблъскат, те губят тази енергия. Загубата на енергия, или поглъщането, е по-голямо при по-ниските честоти. То също така е по-силно изразено при по-висока степен на йонизация на йоносферата и при по-голяма плътност на атмосферата на йонизиранния слой.

Ефективна височина

Независимо от това, че един йоносферен слой понякога има значителна дебелина, удобно е за всеки един такъв слой да използваме една точно определена височина, наречена **ефективна височина**. Това е онази височина, при която едно просто



Фиг. 18-3 — Пречупване в йоносферата и метод за определяне на нейната ефективна височина посредством отражение от нея, известен още като ехо ефект

отражение на вълната би имало същия ефект, както и сложното постепенно пречупване, което се осъществява на практика, както е показано на фиг. 18-3. Вълната, която плува нагоре, претърпява пречупване обратно към земята, имащо значителен радиус на кривина, и то се осъществява за определено време. Ефективната височина е височината на един мислен равнобедрен триъгълник, чиито страни имат обща дължина, пропорционална на времето, за което вълната изминава пътя от T до R .

Нормална структура на йоносферата

Най-ниският полезен йонизиран слой е наречен E -слой. Средната височина на изобата зона на максимална йонизация е около 110 km. Атмосферата на тази височина е достатъчно плътна, така че йоните и електроните, освободени в резултат на слънчевата радиация, изминават сравнително малки разстояния, преди да се срещнат и рекомбинират, поради което този слой може да съществува и да има нормалната си степен на йонизация само в присъствието на продължителна слънчева радиация. Поради това йонизацията е най-голяма по обяд и практически изчезва след залез слънце.

През деня се явява един още по-нисък йонизиран слой — D -слоят. Йонизацията на D -слоя е пропорционална на височината на Слънцето над хоризонта и е най-голяма по обяд. Радиовълните от най-нискочестотните любителски обхвати (1,8 и 3,5 MHz) почти напълно се абсорбират от този слой и само излъчените под голям ъгъл радиовълни преминават през него и се отразяват от E -слоя. (Излъчените под по-малък ъгъл радиовълни плуват по-дълго време през D -слоя и се поглъщат от него.)

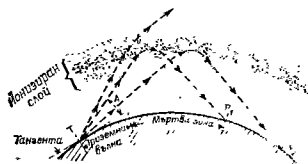
Вторият основен слой е F -слоят, който през нощта има височина около 260 km.

На тази височина плътността на атмосферата е толкова малка, че рекомбинацията на електроните и йоните става много бавно. Йонизацията намалява след залез слънце, достигайки минимум непосредствено преди изгрева му. През деня F_2 -слоеве се разделя на две части: F_1 и F_2 слоеве имащи средни ефективни височини, респективно 225 km и 320 km. Тези два слоя са най-силно йонизирани по обяд, а при вечер се съединяват отново в един единствен F -слой.

Разпространение на йоносферната вълна

Ъгъл на излъчване

Колкото по-малък е ъгълът, под който вълната напуска Земята, толкова по-малко пречупване е необходимо в йоносферата, за да се върне тя обратно. Също така колкото по-малък е ъзв ъгъл, толкова по-голямо е разстоянието между точката, в която вълната напуска Земята, и тази, в която тя се връща обратно. Това е показано на фиг. 18-4. Вертикалният ъгъл, образуван от вълната и тангентата към Земята в точката на излъчването, се нарича ъгъл на вълната или още ъгъл на излъчване.



Фиг. 18-4 — Пречупване на йоносферната вълна, като е показан също така критичният ъгъл на излъчване и мъртвата зона. Вълните, напускащи предавателния пункт под ъгъл, по-голям от критичния (по-голям от A), не могат да бъдат пречупени достатъчно, за да се върнат обратно на Земята. Колкото повече намалява ъгълът на излъчване, толкова повече се увеличава разстоянието, на което вълните се завръщат отразени на Земята.

Мъртва зона

При по-голям ъгъл е необходимо и по-голямо пречупване в йоносферата, за да се върне тя на Земята, и понякога това пречупване може да не бъде достатъчно,

освен ако ъгълът на излъчване не е по-малък от някаква критична стойност. Това е илюстрирано на фиг. 18-4, където A и вълните с по-малки ъгли дават полезни сигнали, докато вълните, излъчени под по-големи ъгли, проникват през йоносферния слой и не могат да бъдат върнати обратно. Тогава разстоянието между T и R_1 за дадена честота е най-малкото възможно разстояние, на което може да се осъществи радиовръзка чрез пречупване от йоносферата.

Площта, ограничена от края на зоната на полезния приземен сигнал и началото на зоната на присматане на йоносферната вълна, се нарича мъртва зона, а разстоянието от предавателя до най-близката точка, в която йоносферната вълна се връща обратно на земята — мъртво разстояние. Големината на мъртвата зона зависи както от използваната честота и състоянието на йоносферата, така също и от височината на слоя, в който се осъществява пречупването на вълната. За един и същи ъгъл на излъчване по-високите слоеве дават по-големи мъртни разстояния. За даден път на разпространение ъгълът, под който вълната напуска Земята, обикновено е равен на ъгъла, под който тя пад обратно, въпреки че това не винаги е вярно.

Критична и максимална използвана честота

Ако честотата е достатъчно ниска, го вълна, излъчена вертикално нагоре към йоносферата, ще бъде отразена и върната обратно в точката на излъчването ѝ. Ако сега започнем постепенно да увеличаваме честотата на сигнала, ще достигнем до една определена честота, при която няма да можем да получим вертикално отражение. Това е т. нар. критична честота за разглеждания йоносферен слой. Мъртвата зона липсва, когато работната честота е по-ниска от критичната.

Критичната честота е един полезен показател при определянето на най-високата честота, която може да бъде използвана за предаване на информация на едно определено разстояние, наречена още максимална използвана честота (МИЧ). Ако вълната, излъчена под ъгъл A от точката на предаване (фиг. 18-4), е например с честота 14 MHz и ако по-високочестотните сигнали прескачат точката на приемане R_1 , тогава 14 MHz е МИЧ за разстоянието от T до R_1 .

Най-голямото възможно разстояние се покрива, когато вълната е излъчена по посока на тангентата към Земята, т. е. когато ъгълът на излъчване е нула. При

нормални условия това разстояние е около 4000 km за F -слоя и около 2000 km за E -слоя. Тези разстояния варират и зависят от височината на съответния слой. МИЧ за 4000 km разстояние на F -слоя е приблизително 3 пъти по-голяма от критичната честота за този слой, а за 2000 km разстояние на E -слоя — около 5 пъти по-голяма от критичната му честота. Сигнали с честоти, по-високи от тези лимитиращи МИЧ, не могат да бъдат върнати на Земята изобщо.

Поглъщането в йоносферата е най-малко при честота на сигнала, равна на максималната използвана честота, и се увеличава много бързо с намаляване на честотата на сигнала под тази граница. Поради това най-добри резултати при използването на малки мощности се получават, когато честотата на сигнала е колкото се може по-близо до тази на МИЧ.

Твърде възможно е за йоносферната вълна да премине през E -слоя и да бъде пречупена и върната на Земята от F , F_1 или F_2 -слоеве. Това е така, защото вторите имат по-висока критична честота, така че сигнал с твърде висока честота, за да бъде върнат от E -слоя, може все още да бъде върнат от един от другите слоеве в зависимост от времето на деня и съществуващите условия.

Многократно отражение на радиовълните

При завръщането си на Земята вълната може да бъде отразена обратно нагоре към йоносферата. Там тя може още веднъж да бъде пречупена и върната на Земята. Този процес може да се повтори няколко пъти. Този вид разпространение чрез многократно отражение е необходим за осъществяването на радиовръзки на големи разстояния, тъй като ограничената височина на йоносферните слоеве и кривината на земната повърхност не позволяват реализирането на радиовръзки чрез еднократно пречупване от йоносферата на разстояния, по-големи от посочените в предишния параграф. Трябва да се има пред вид обаче, че загубите в Земята погълщат част от енергията на вълната при всяко нейно отразяване от земната повърхност (количеството на тези загуби зависи от качествата на почвата и е най-малко при отражение от повърхността на морето) и освен това имаме поглъщане на енергия от йоносферата при всяко пречупване или преминаване на вълната през нея. Така при равни други условия помалкият брой отражения ще ни даде по-силен сигнал в точката на приемане.

Фадинг

При разпространението си вълната може да стигне до точката на приемане по няколко различни пътя, при което разликите в дължините на изминатите разстояния ще доведат до фазови разлики между отделните компоненти в приемната антена. Сумата от отделните компоненти дава стойността на напрегнатостта на полето и тя може да бъде по-голяма или по-малка в сравнение с една отделна компонента в зависимост от това, дали фазовите разлики идват до събирането им или до тяхното изваждане. Тъй като разстоянията, изминати от отделните компоненти на сигнала, се променят с времето, това води и до промяна на силата на сигнала, наречено фадинг. Фадинг може да получим и като резултат от комбинация на еднократно и многократно отразени от йоносферата вълни или от комбинация на призмисна с йоносферна или треоносферна вълна.

Фадингът може да бъде както бърз, така и бавен, като първият е обикновено резултат на бързо изменящи се условия в йоносферата, докато вторият се получава при относително стабилни условия за радиовръзка. Големите промени от порядъка на 10—20 dB или повече са наречени «дълбоки фадове» за разлика от по-обичайните «плитки» фадове от по няколко dB.

Често пъти се случва така, че условията за разпространение на два сигнала с много близки честоти са различни. В случай на амплитудно-модулиран сигнал, при който разликата между честотите на страничните ленти и носещата е много малка, вследствие на различните условия за тяхното разпространение фазовите и амплитудните съотношения между тях могат да бъдат нарушени. Този ефект е известен като селективен фадинг и той е причината за силното изкривяване на сигнала. Изкривяването е най-силно изразено при амплитудно-модулирани сигнали с висок процент на модулация. Отрицателният ефект, причинен от селективния фадинг, може в значителна степен да бъде намален чрез използването на техниката на еднократно предаване и приемане с възстановяване на носещата, което на практика има ефекта на намаляване процента на модулацията в приемния пункт.

Обратно разсейване

Ако за дадено разстояние работната честота е значително по-голяма от МИЧ, обикновено е възможно да се чуят сигнали, идващи от вътрешността на мъртвата зона. Това явление, наречено обратно разсейване, е причинено от отражения, станали извън мъртвата зона. Подобни отраже-

ния могат да станат, когато излъчената енергия срещне на известно разстояние Земята и част от нея се отрази обратно в мъртвата зона, където е приемникът. Тези разсеяни сигнали са по-слаби от сигналите, разпространени по обичайните пътища, и освен това се характеризират с бърз фадинг — «къртене», което улеснява тяхното идентифициране.

Разсейване в известна степен става и в йоносферата пред вид нейното неравномерно йонизиране. Разсейването по посока на нормалното разпространение се нарича правоъсочно разсейване и е причина както за разширяване обхвата на радиовръзките на разстояние, по-големи от тези, получени при еднократно пречупване на сигнала от йоносферата, така и за възможност за радиосъобщения на честоти, по-високи от действителните МЧ.

Други особености на йоносферното разсейване

Циклични промени в йоносферата

Тъй като степента на йонизация зависи от ултравиолетовото лъчение, условията в йоносферата варират с промяната на слънчевата радиация. В допълнение на ежедневните вариации сезонните промени водят до по-високи критични честоти. Е-слоят през лятото има критични честоти средно около 4 MHz, докато през зимата те са средно 3 MHz. Критичната честота за F-слоя вечерно време е от порядъка на 4 до 5 MHz. Слой F_1 , чиято критична честота през лятото е близо 5 MHz, обикновено изчезва изобщо през зимата. Дневните максимални критични честоти за слой F_2 са най-високи през зимата (10 до 12 MHz). Ефективната височина на слой F_2 , която е около 300 km през зимата, се променя средно до около 400 km през летните месеци. Тези стойности са в сила за географските райони от западното полукуълб с 40° северна ширина и са предмет на значителни вариации за другите части на света.

Много силно изразени промени в йонизацията се наблюдават във връзка с 11-годишния цикъл на слънчевата активност. Въпреки че за даден ден от годината не може да се говори за определена връзка между слънчевата активност и критичните честоти, валиде е съвсем ясно изразена връзка между *средната* слънчева активност и критичните честоти. Критичните честоти са най-високи по време на максимума в цикъла на слънчевата активност и най-ниски по време на изговия минимум. По време на минимума на слънчевата

активност по-ниските честоти — 7 и 3,5 MHz, са често единствените използваемы ношни обхвати. В тези периоди 28-MHz обхват рядко може да се използва за далечни връзки, а 14-MHz обхват се изпява добре през деня, но обикновено е запушен през нощта.

Йоносферни бури

Някои особености в състоянието на Слънцето водят до силни смущения в нормалното състояние на йоносферата (йоносферни бури) и са съпроводени от силни смущения в земното магнитно поле (магнитни бури). Характерно за йоносферните бури е, че се увеличават значително поглъщането на радиовълните, с което силно се влошават условията за радиовръзка. По време на йоносферна буря критичните честоти падат до сравнително ниски стойности, така че само нискочестотните обхвати могат да се използват за комуникации. Йоносферните бури имат продължителност от няколко часа до няколко дена. Тъй като Слънцето извършва по едно завъртване около оста си на всеки 28 земни денонощия, смущенията в състоянието на йоносферата и магнитното поле на Земята се повторят със същия интервал, ако, разбира се, слънчевите петна, които са причината за тяхната поява, не изчезнат дотогава. Обикновено непосредствено преди йоносферна буря поглъщането е малко, а прохождението добро.

Спорадична E-йонизация

Понякога се получават образувания от пластове облаци със сравнително голяма йонизация на приблизително същите височини, на които се памира и E-слоят. Причината за тяхната поява и механизъмът на образуването им все още не е известен. Тази спорадична E-йонизация е характерна преди всичко за екваториалните области, където взема относително големи размери и трае по-продължително време. В северните географски ширини това явление се среща най-често през пролетта и началото на лятото, въпреки че по-слабо изразено можем да го наблюдаваме почти през цялата година. На спорадичната E-йонизация се дължи заслугата за по-голямата част от нощната работа на къси разстояния на нискочестотните обхвати (3.5 до 7 MHz) и когато е по-интензивна за поддържа работа на обхватите от 14 до 28 MHz. Случаите на изключително интензивна спорадична E-йонизация даят възможност за работа на 50 MHz обхват на разстояние, по-големи от 650-800 km.

Има сведения, които говорят за връзка между образуването на спорадична E-

йонизация и средната слънчева активност. От друга страна, няма никакви факти, които да говорят за директна връзка между явлениято и времето на деня или нощта, тъй като то се наблюдава по всяко време на денонощието. Налице е обаче тенденцията йонизацията да достига своята връхна точка в средносутрешните часове или рано вечер.

Тропосферно разпространение

Разликата в температурата и влажността на въздушни маси в долната част на атмосферата често пъти позволява работа на по-големи от нормалните за приземната вълна разстояния, за честотите от 28 MHz и нагоре. Този ефект може да се наблюдава и на 28 MHz, но е по-силно изразен на 50 и 144 MHz. Въпросът се разглежда по-дробно по-нататък.

Карти за прогноза

Институтът за телекомуникации (The Institute for Telecommunication Sciences) предлага карти за прогнозиране на състоянието на йоносферата, с чиято помощ може да прогнозираме с достатъчно голяма точност максималните използваемы честоти за кое да е трасе на Земята. Картите и инструкциите за тяхното използване с общ обем от четири тома могат да бъдат изписани от: Superintendent of Documents, U.S. Government Printing Office, Washington, D. C. 20407. Те са наречени Telecommunications Research and Engineering Report 13, Ionospheric Predictions, OT-TREER 13. Начинът за използване на картите е даден в том I. Томове 2, 3 и 4 съдържат карти за прогнозиране степента на слънчевата активност на определени нива. За междинните стойности трябва да се прави линейна интерполация. Информация за прогнозираните относителни нива на слънчевата активност се дава периодично и в Propagation Forecast Bulletins, излъчвани от WIAW и много други Official Bulletin Stations.

В горните издания са включени също така прогнози за разпространението посредством E-слоя.

Разпространение на радиовълните в обхватите с честота, по-ниска от 30 MHz

1,8-MHz, или «160-метровият» обхват, през деня предлага надеждни условия за работа на разстояния до около 40 km. По време на зимните нощи обаче са възмож-

ни връзки на разстояния до няколко хиляди километра. В момента само малка част от обхвата може да се използва от радиолюбители, тъй като останалата е дадена за ползуване на службите за навигация.

3,5-MHz, или «80-метровият» обхват, се използва повече през нощта, отколкото през деня. Дневно време рядко може да се чуе сигнал на по-голямо разстояние от 300—400 km, но по време на нощните часове не е необичайно покриването на разстояния от няколко хиляди километра и през зимните месеци редовно се правят трансокеански връзки. През лятото нивото на атмосферния шум е твърде високо.

7-MHz, или «40-метровият» обхват, притежава повечето от характеристиките на 3,5 MHz с тази разлика, че разстоянията, които могат да се покриват през дневните и нощните часове, са по-големи. През деня при добри условия могат да бъдат постигнати разстояния от няколко хиляди километра, а след залез и рано сутрин през зимата е възможна работа със станции от другия край на света, като при това сигналът следва затъмнената част на земното кълбо. Общо взето, зимните месеци дават по-добри резултати от летните, а летните атмосферни шумове са значително по-малък проблем, отколкото на 80 метра, въпреки че те могат да достигнат до високи нива в екваториалните области.

14-MHz, или «20-метровият» обхват, е може би най-добрият за работа на големи разстояния. По време на по-голямата част от цикъла на слънчевата активност той е отпуснен за някои части на света практически през всичките 24 часа на денонощието, докато по време на минимума в слънчевия цикъл той като правило е използваем само през деня, вечер и рано сутрин. Този обхват на практика винаги има мъртва зона.

21-MHz, или «15-метровият» обхват, има характеристики, които силно зависят от цикъла на слънчевата активност. По време на неговия максимум този обхват е удобен за работа на далечни разстояния през по-голямата част на денонощието, а в годишните на ниска слънчева активност той става почти изключително дневен обхват и дори понякога е неизползуваем и през деня. Независимо от това често пъти е възможно да се поддържа радиовръзка на разстояния до 2500 km посредством спорадична E-йонизация, която може да възникне както през деня, така и през нощта, по всяко време на цикъла на слънчевата активност.

28-MHz, или «10-метровият» обхват, за близо половината от 11-годишния слънчев цикъл се счита обикновено за DX-обхват

през часовете на деня (с изключения на лятото) и е добър за местни връзки през нощните часове. По време на максималната активност на слънцето той може да бъде «отворен» за връзки до късно вечерно време. През периода на минимална активност на Слънцето този обхват в северното полукуълбо обикновено е «запушен» за работа на далечно разстояние посредством F_2 -

слоя. Въпреки това радиовръзки могат да бъдат установени по всяко време чрез спорадичния E-слой, какъвто беше случаят и с 15-метровия обхват.

Често ще има изключения от казаното по-горе и тяхното наблюдение и описване е една колкото интересна, толкова и полезна дейност на раднолюбителското движение.

СВЕТЪТ НАД 50 MHz

Доброто познаване на способите за разпространение е абсолютно необходимо за УКВ ентусиастите, а разработването на възможностите, предоставени ни от природата за DX-работа на честоти над 50 MHz, е било предизвикателство още от най-ранните години в развитието на комуникациите. Голяма част от това, което е известно днес за разпространението при далечните УКВ връзки, е било започнало от радиолюбители пионери, като все още има много проблеми и различни аспекти в тази област, които не са обяснени и чакат своето решение.

Характер на УКВ обхватите

Ценни качества на тази обширна област от честотния спектър са възможностите, които тя предоставя за непрекъснати и надеждни местни радиовръзки. По-ниските честоти се влияят от промените в условията за разпространение, които влошават местните комуникации. Нашите KB обхвати са тесни и най-често сериозно претоварени. УКВ обхватите са значително по-широки и могат да поемат по-голям трафик, който прави техните характеристики идеални за местна работа.

Преди време се е смятало, че тези честоти могат да се използват само за връзки на близки разстояния, но с увеличаването на броя на техните почитатели и усъвършенстването на свързочната техника стана ясно, че има много и различни форми за далечно разпространение на УКВ вълните. В резултат на това активността на УКВ започна да се развива бързо в отделни райони и често населени области, докато накрая останаха съвсем малко райони в света, в които по една или друга причина засега не е възможно да се развие тази дейност и да ѝ се обърне достатъчно внимание.

Това, което следва, е едно допълнение към казаното вече по-горе. Първо, нека да разгледаме характера на обхватите над 50 MHz.

50 до 54 MHz*. Този граничен обхват съчетава в себе си някои от характеристиките както на по-ниските, така и на по-високите честоти. Почти всички видове разпространение могат да се срещнат в този обхват, което е допринесло в значителна степен за неговата популярност. Преди всичко не трябва да се пренебрегват удобствата, които той предлага за местни радиовръзки. Дори и да липсват благоприятни условия, една добре обзаведена станция на 50 MHz би трябвало да е в състояние да поддържа редовни връзки в радиус от около 120 до 160 km в зависимост от формите на терена, размерите и височината на антената, а така също и уменията на самия оператор.

Промяната в атмосферните условия води до увеличаване на радиуса на покритие до 500 и повече километри, като това важи най-вече за по-топлите месеци. Спорадичните E-слоеве водят до т. нар. «сезонни отпушвания», при които е възможна работа на разстояния от 650 до 4000 km, като самите «сезони» са дните и седмиците около най-късия и най-дългия ден на годината. Аврорните ефекти дават една интригуваща възможност на ултракъсовълновците от по-северните географски ширини да работят DX до около 2000 km. По време на максимум 11-годишния цикъл на слънчевата активност може да се работи DX на 50 MHz в състоен мащаб чрез пречупване на вълните от F_2 -слоя на йоносферата. Съществуват и други различни способности за разпространение, които биха допълнили общата картина, но пред вид техните по-ограничени възможности ще няма да се спираме сега на тях.

144 до 148 MHz. Йоносферните ефекти са значително намалени на 144 MHz. Сега за сега не е известно да е била направена връзка чрез F-слоя. Радиовръзките, направени посредством спорадичен E-слой, са редки. В сравнение с 50-MHz обхват 144 MHz се отпушва за този вид комуни-

* Този обхват не е разрешен за ползуване от любителите у нас. (Б. ред.)

кации за много по-късо време, а покритите разстояния са значително по-малки. Аврорното разпространение е почти както за 50 MHz, с изключение на това, че сигналите са малко по-слаби и по-изкривени. Тропосферното разпространение с увеличаване на честотата се подобрява. То е било причина за провеждането на радиовръзки на 144 MHz на разстояния до 4000 km, а връзките на 800 km са доста чести през по-големите месеци. Радиусът на сигурни радиосъобщения на 144 MHz при най-лоши условия е малко под 80 km.

220 MHz* и нагоре. Йоносферното разпространение, за което ставаше въпрос по-горе, е напълно неизвестно за честоти над около 200 MHz. Комуникации с помощта на аврорни ефекти са възможни на 20 и 420 MHz, но вероятно не и на по-високи честоти, като се имат пред вид мощностите, използвани от радиолюбителите. Т; осферното пречупване е силно изразено и е може би по-добро на 432, отколкото например на 144 MHz. Радиовръзки са били провеждани на разстояния, далеч надхвърлящи линията на пряка видимост на всички любителски честоти до 10 000 MHz включително. При минимални условия за разпространение нивото на сигнала пада малко с всеки по-висок обхват.

Способи за разпространение

По-долу са описани известните пътища, по които УКВ сигналите се разпространяват над линията на хоризонта.

Отражение от слой F_2 . По големата част от радиовръзките на по-ниските честоти се осъществяват чрез отражение на вълната от F-областта, най-високия от йонизираните слоеве. Неговата степен на йонизация зависи от слънчевата активност, като максималната използваема честота (MUF) е най-висока в годините на максимум в цикъла на слънчевата активност. Циклите варират по интензивност и наблюденията показват, че в момента тенденцията е към понижаване. Цикъл 19 (в записаната история на слънчевата активност) достигна най-високия максимум за всички времена през есента на 1958 година, което може би никога повече няма да се повтори през живота на повечето от нас. Цикъл 20 донесе известна F_2 DX активност на 50 MHz през 1968 до 1970 година, но тя беше по-малка от тази на Цикъл 18 (1946 до 1949 година) и значително по-слаба от тази на Цикъл 19.

MUF за слой F_2 слезава също така други добре разграничени цикли: дневни, месечни и сезонни, като зависи от състоянието на Слънцето и неговата позиция спрямо Земята. MUF за F_2 -слоя може доста лесно да бъде определен, ако притежаваме приемник, покриващ честотите от 14 до 50 MHz. Тази честота се използва почти непрекъснато в целия свят, така че няма да представлява особена трудност да се чуят сигнали чак до най-високата честота, която в момента на наблюдението може да се използва за радиовръзки. Честите проверки ще ни покажат дали MUF се увеличава или намалява и освен това времената и посоките, за които тя е най-голяма. Месечните максимуми следват един 27-дневен цикъл, съвпадащ с периода на завъртането на Слънцето около неговата ос. MUF е най-висока през пролетта и есента, като през зимата има едно леко спадане, което през лятото става значително по-голямо и по-силно изразено.

Радиусът на комуникациите на 50 MHz чрез слой F_2 е сравним с този на 28 MHz, но минималното разстояние е по-голямо. Двустранни връзки са били правени на разстояние от около 3000 до 20 000 km, а дори и на по-големи, ако се сметнат тези, работещи по дългия път около Земята, следвайки посоката на деня. Предполага се, че MUF през 1958 г. е достигнала 70 MHz.

TE способ. Трансекваториалният способ за разпространение на ултракъсите вълни е също така асоцииран с високата слънчева активност. Той има малко по-висока MUF от тази на слой F_2 . Това най-често може да се наблюдава между точки, разположени на разстояния до 4000 km на север и на юг от геомагнитния екватор, в късните следобедни или ранните вечерни часове. Класически пример на радиолюбителско откритие — разработването на TE способа, представлява една вълнуваща история.

Спорадично E-прохождение. Вълните от 28 и 50-MHz обхвасти често пъти се разпространяват на разстояние от 650 до 2000 km, като се отразяват от частично йонизирания E-слой. Този вид разпространение, често пъти наречено: «близо прохождение», е най-вероятно за месеците май, юни и юли, а освен това и за един по-кратък период в края на годините. В южното полукулоб сезоните са обратни на тези в северното. Отражения от E-слоя могат да се получат практически по всяко време на деня, но са най-вероятни сутрин и рано следобед. Чрез многократно отражение може да се увеличи радиусът на покритие до над 4000 km.

* Този обхват не е разрешен за ползуване от любителите у нас. (Б. ред.)

Горната честотна граница за *E*-разпространението не е известна, но то е било наблюдавано на 144 MHz и на някои телевизионни канали с честоти до около 200 MHz. Минималното разстояние на покритие и времетраенето на прохождението са значително по-малки на 144 MHz, отколкото на 50 MHz. Приемането на силни *E*-сигнали на 50 MHz, идващи от разстояние над 500 km, е едно указание за възможни *E*-прохождението на 144 MHz на разстояние до над 1300 km.

Аврора-прохождението. Късовълновите комуникации могат да бъдат напълно замлъкнати или силно да пострадат от поглъщане в йоносферата по време на силни смущения, свързани с повишената активност на Слънцето и измененията в земното магнитно поле. Ако това се случи през нощта, в ясно време може директно да се наблюдава Аврора, но условията могат да се развият и през деня, обикновено късно след обед. Добър индикатор са слабите чуруликаци сигнали на 3,5 MHz или 5 MHz (WVV).

УКВ могат да бъдат отразени от аврорната област обратно на Земята, но променящата се интензивност на аврората и нейната изхомогенност власт фазови изкривявания в сигнала, които влошават или дори унищожават всякакъв вид модулация. Изкривяванията се увеличават с повишаване на честотата и парират понякога много бързо в зависимост от характера на аврората. Общо взето, аврората внася по-малки изкривявания в 50-MHz сигнали, отколкото тези от високочестотните обхвати и телефония се използва по-често на 50 MHz, отколкото на 144 MHz. Едюдентовата модулация е за предпочитане пред модулация, изскващи по-широка честотна лента. На 144 MHz и по-горе най-ефективна се явява телеграфията, която е може би единственият сигурен способ за радиовръзки по време на повечето аврори.

Прохождението по принцип е от север независимо от посоката на линията, свързваща директно двата кореспондента, въпреки че е за препоръчване тя да се търси с насочена антена. Максималният радиус на покритие е около 2000 km независимо от това, че 50-MHz сигнали се чуват понякога и на по-големи разстояния обикновено почти без никакви изкривявания.

Вероятността за чисти аврорни връзки зависи от геомагнитната ширина на участващите станции, като зирите са най-чести за северноатлантическата част на САЩ и съседните райони на Канада. Те са редки за ширините под 32° на южноатлантическата и под 38 до 40° на югозападната част на САЩ. Най-високата честота, при която все още

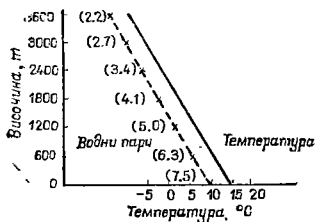
биха могли да се получат аврорни отражения, зависи от използваната апаратура и антени, но любителски аврорни радиовръзки са били правени от радиоблители на честоти най-малко до 432 MHz.

Тропосферно пречупване. Едно лесно постижимо увеличаване на нормалното УКВ покритие се получава в резултат на резки промени на коефициента на пречупване на атмосферата, на границата между въздушни маси с различни температури и различна влажност. Често пъти границите между сух-топъл въздух, движещ се над студени-влажни въздушни маси, лежат по протежение на южния и западния фронт на райони с хубаво време и високо атмосферно налягане. Тропосферното пречупване може да увеличи нивото на сигналите, идващи от станции, намиращи се в радиуса на нормалното покритие, или да докара по-далечни станции, които обикновено не се чуват.

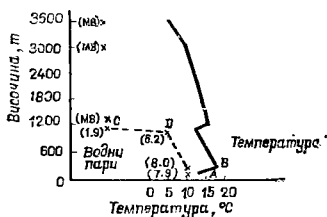
Понякога се образуват т. нар. «канални», които имитират разпространение на вълните във въдросет и са причина ултракъсите вълни да следват профила на Земята по протежение на стотици и хиляди километри. Вероятността за образуване на канал нараства с увеличаване на честотата. Каналите са редки на 50 MHz, доста чести за 144 MHz и още по-вероятни за по-високите честоти. Те са характерни предимно за малките и умерените географски ширини. Именно посредством канал бяха направени известните УКВ DX връзки между W6NLZ и K1BOK на 144, 220 и 432 MHz, като разстоянието между тях беше над 4064 km. Явлението се наблюдава доста често в щатите, разположени покрай Мексиканския залив, и по-рядко в райони по протежение на Атлантическия бряг, Великите езера и долините на Мисисипи, събиращи през месеците септември и октомври.

За тропосферното пречупване допринасят много местни условия: конекцията в крайбрежните райони в топло време; бързото изстиване на земята след горещ ден; при което горните въздушни маси изстиват по-бавно; нагряването на въздуха въско над Земята лятно време при изгрев слънце; падането на мъгла в долините през тихите летни вечери — всичките тези ситуации създават условия в горните въздушни маси, подобни на тези, показани на фиг. 18-5, които могат да увеличат нормалното покритие на УКВ.

Наблюденията на ултракъсовълновик се научава бързо да свързва различните процеси във времето с възможностите за промени в прохождението. Тенденциите за промяна на температурата и атмосферното налягане, промяна на вида на облаците



Фиг. 18-5 — Състояние на горните въздушни маси, посредством които се осъществяват връзки на УКВ на разстояния, по-големи от нормалните. На U. S. Standard Atmosphere curve, графикът вляво, кривата на влажността (с пунтир) е тази, която би се получила, в случай че относителната влажност от нивото на океана до височина 3600 метра е била 70%, което би довело до съвсем слабо пречупване.



Отдачно е илюстриран ефектът, на екстрем, който е типичен за подчертаното трогообразно пречупване на УКВ. Числата, в скобите отразяват количеството вода в грамове, разсена в един килограм сух въздух. Забележете острите чупки и в двете криви за височините от около 1200 метра. Горните графики са приличаващи от Collier, «Upper-air Conditions for 2-meter DX», QST, September, 1955

и техните образувания, посоката на вятъра, видимостта и други естествени симптоми могат да му дадат ключа за евентуално тропосферно прохождение. В това отношение много могат да помогнат радио- и телевизионните програми за времето.

50-MHz обхват е по-чувствителен към измененията на времето от 28 MHz, а от своя страна 144 MHz е значително по-активен от 50 MHz. Тази тенденция се запазва и за по-високите честоти чак до микровълновия обхват, което се потвърждава от тропосферни рекорди на всички наши обхвати, включително и връзка на 440 km на 10 000 MHz.

Разпространение посредством разсеяни сигнали. Някои от тези гранични способности привличат вниманието на напредналите УКВ оператори, въпреки че при тях нивото на сигнала е твърде ниско, за да могат да се поддържат регулярни радиосъобщения. Всичките те се явяват като вторичен продукт от други основни способности за разпространение и са обединени под името «разсеяни», с което се подчертава техният случаен характер. Независимо от това всеки един от тези методи представлява сам по себе си интерес.

Тропосферното разсейване предоставя гранични условия за радиовръзка на разстояние до около 800 km, при това почти независимо от честотата и прохождението, но ниските използването на оптимални методи и апаратура.

Ионосферното разсейване е от значение

главно на 50 MHz, където обикновено то е смесица от метеорни отражения и слаби остатъчни разсеяни сигнали. Последните могат да бъдат чути само при оптимални условия за прохождение. Най-добрите покрити разстояния са от 1000 до 2900 km.

Обратното разсейване, което е характерно за по-ниските честоти, се наблюдава и на 50 MHz по време на йоносферно прохождение главно през слоя F_2 . Сигналите обикновено са слаби и чуруликащи. Радиусът на покритие варира в твърди широки граници. Обратните разсеяни сигнали от слоя F_2 помагат при определянето на времето и посоката на отпусване на обхвата, особено при насочване на антената към райони на земното кълбо с ниска активност на 50 MHz, тъй като сигналите са най-силни по посока на най-голямата йонизация.

Разсейването от метеорни следи в E-слоя може да доведе до рязко, на моменти спонтанно увеличаване силата на сигнала, идващ от станция, която иначе не може да се чуе. Използването на тази възможност за бърза обмяна на информация е едно вълнуващо предизвикателство за опитния УКВ оператор. Силата и продължителността на метеорните отражения намаляват с увеличаване на честотата, но този вид гранични радиовръзки са популярни на 50 и 144-MHz обхвати. Метеорни радиовръзки са правени и на 220 MHz, а на 432 MHz с използването на оптимална апаратура и големи антени са били по-

лучени метеорни отражения, достатъчно дълги, за да бъдат идентифицирани.

Случайни метеорни отражения могат да бъдат приети по всяко време на деня или сезона по предварителна уговорка, но равните сутрешни часове са за предпочитане. Основните метеорни потоци (августовските Персеиди и декемврийските Джеминиди) осигуряват сравнително чести отражения. Има и други метеорни потоци, които имат различни периоди и могат понякога да станат причина за феноменални отражения по време на върховите години.

Метеорните отражения на 144 MHz са рядко по-дълги от няколко секунди, а някои са често и просто отделни «звънвания» на сигнала. Продължителни отражения или няколко суперпозирани такива могат да ни осигурят продължителност на връзката до една минута и повече, но тези случаи са редки, освен ако са по време на основния метеорни потоци. «Потоцит на века», какъвто беше Леонидите от месец юли 1966 и 1967 година, може да осигури почти непрекъснато прохождение на 50 и 144 MHz в продължение на няколко часа. В протавен случай за обмяна на информация са необходими кратки и точно определени време на излъчване и предварително уговорени методи за даване на рапорта. Покритите разстояния са сравними с тези, които се получават при отражение от Е-слой.

Всичките способи за радиовръзка, използващи разсеяните сигнали, изискват хубава апаратура и оптимални методи при реализирането на връзката. Теснолентовите видове работа са супериорни на широколентовите системи. Еднолентовата модулация се използва все повече и по-ефективно, но за слабите сигнали CW остава основен вид работа при ултракъсите дължини. Презапасяването в известни граници почти винаги помага независимо от вида на работата.

Радиовръзки чрез отражения от Луната. Независимо от това, че радиолюбители за първи път отразиха сигнали от Луната в началото на 50-те години, успешните радиовръзки по трасето Земя—Луната—Земя (EME) са едно съвсем скорошно постижение. Предоставили за тяхното осъществяване са максималната разрешена мощност, оптималната приемна апаратура, много големите антени с голямо усилване и прецизното насочване. Необходимо е изгодзуването на сложни съседни системи за автоматично насочване, тясна лента (с особен интересвания към стабилността на приемника и предавателя) и визуални методи за следене на сигнала. Връзки чрез отражение от Луната са правени и всички любителски честоти от 144 до 2300 MHz, като разстоянията са били ограничени единствено от възможността и двете станции да «виждат» Луната едновременно.