

## ЛЕКЦІЯ 2

### Види станцій на РРЛ

#### Загальні властивості радіохвиль

#### Розповсюдження радіохвиль у вільному просторі

#### Область простору, що впливає на поширення радіохвиль

#### Ослаблення поля вільного простору в реальних умовах

#### Розповсюдження земних радіохвиль

### Види станцій на РРЛ

На РРЛ є кілька видів станцій.

1. Кінцева станція (КС), призначається для введення в РРЛ багатоканального й ТВ сигналу на стороні передачі й для виділення цих сигналів на стороні прийому. КС РРЛ зв'язана сполучними лініями із МТС і ТЦ. Часто КС з'єднується із ТЦ. Структурна схема КС наведена на рис.2.1.

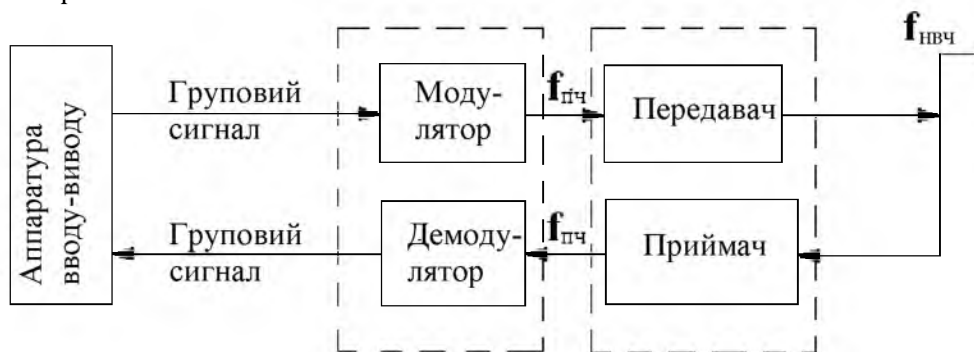


Рис.2.1

2. Проміжна станція (ПС), призначена для прийому сигналів від попередньої станції, їх посилення й передачі в напрямку наступної станції. З'єднання на ПС між передавачем і приймачем здійснюється на проміжній частоті, тобто без демодуляції сигналів у приймачі й без модуляції в передавачі. При необхідності може бути здійснене виділення ТВ програми - для цього демодуляція сигналу проміжної частоти здійснюється шляхом його зняття з додаткового виходу приймача, що не впливає на якісні показники наскрізних каналів.

У малоканалних РРЛ й особливо в РРЛ із часовим розподілом застосовується побудова апаратур ПС, при якому демодуляція й модуляція виробляється на кожній ПС. Це дозволяє вводити й виводити ТЛФ канали на будь-який ПС. Структурна схема станції наведена на рис.2.2.

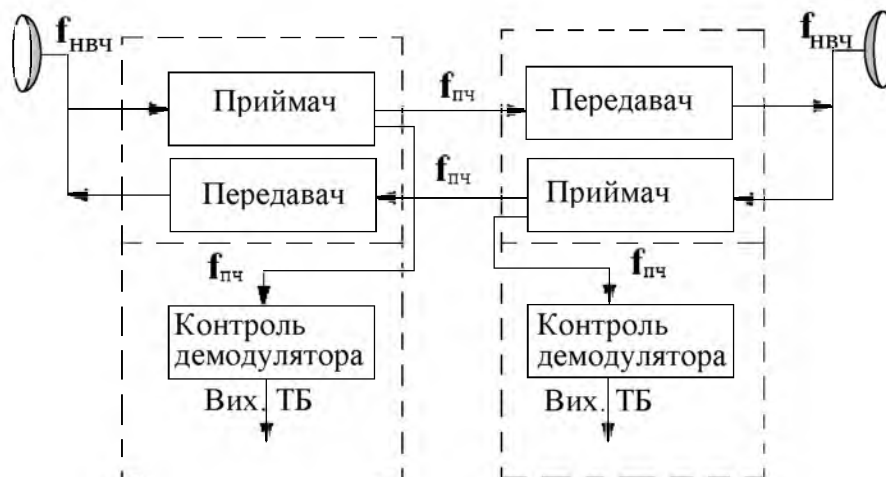


Рис.2.2

3. *Вузлові станції (ВС)* призначені для виділення частини ТЛФ каналів і введення відповідної кількості нових каналів. Від ВС часто беруть початок нові РРЛ (лінії відгалуження). У ТЛФ стовбурах на ВС здійснюється демодуляція сигналів з боку прийому й модуляція з боку передачі. При необхідності ці перетворення здійснюються й у ТВ стовбурах. Структурна схема станції наведена на рис.2.3.

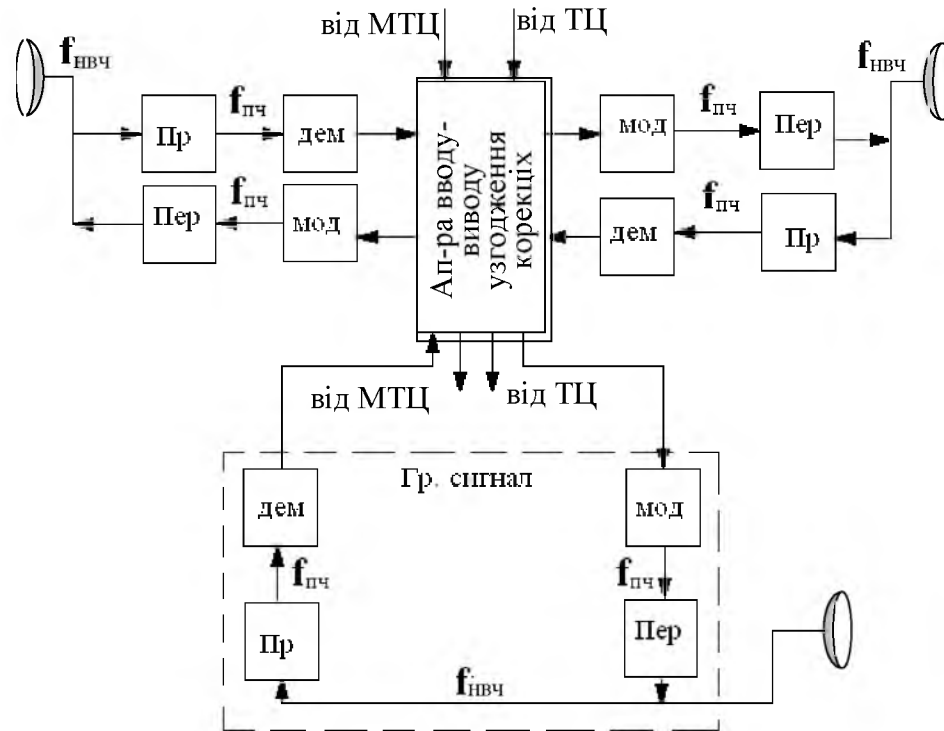


Рис.2.3

### Загальні властивості радіохвиль

У процесі розповсюдження радіохвилі ослаблюються, це пов'язане з рядом причин. У міру видалення від передавача енергія розповсюджується все в більшому об'єму, отже, щільність потоку енергії зменшується. Середовище, у якій поширюються радіохвилі, також викликає їхнє ослаблення. Це пов'язане з поглинанням енергії хвиль внаслідок теплових втрат і зменшенням напруженості поля хвилі при огинанні перешкод у вигляді опуклості земної кулі або височин. У кожній точці простору вектор напруженості електричного поля хвилі  $E$  перпендикулярний вектору напруженості магнітного поля  $H$ , і обидва вектори перпендикулярні напрямку поширення хвилі.

Поширення радіохвиль підкоряється певним загальним законам:

1. *Прямолінійне поширення в однорідному середовищі*, тобто середовищі, властивості якого у всіх точках однакові.
2. *Відбиття й переломлення при переході з одного середовища в інше*. Кут падіння дорівнює куту відбиття.
3. *Дифракція*. Зустрічаючи на своєму шляху непрозоре тіло, радіохвилі огинають його. Дифракція проявляється в різній мірі залежно від співвідношення геометричних розмірів перешкоди й довжини хвилі.
4. *Рефракція*. У неоднорідних середовищах, властивості яких плавно змінюються від точки до точки, радіохвилі поширюються по криволінійних траєкторіях. Чим різкіше змінюються властивості середовища, тим більше кривизна траєкторії.
5. *Повне внутрішнє відбиття*. Якщо при переході з оптично більш щільного середовища в менш щільне, кут падіння перевищує деякі критичні значення, то промінь у

друге середовище не проникає й повністю відбивається від границі середовищ. Критичний кут падіння називають кутом повного внутрішнього відбиття.

6. *Інтерференція.* Це явище спостерігається при додаванні в просторі декількох хвиль. У різних точках простору з'являється збільшення або зменшення амплітуди результуючої хвилі залежно від співвідношення фаз хвиль, що додаються.

Радіохвилі, що поширюються над поверхнею землі й, внаслідок дифракції, які частково обгинають опуклість земної кулі, називаються *поверхневими хвилями*. Поширення поверхневих хвиль сильно залежить від властивостей земної поверхні.

Радіохвилі, що поширюються на великій висоті в атмосфері й повертаються на землю внаслідок відбиття від атмосферних неоднорідностей, називають *просторовими хвилями*.

### Розповсюдження радіохвиль у вільному просторі

Під вільним простором розуміють такий однорідний безмежний простір, у якому відсутні молекули, атоми, вільні заряди. Введення такого поняття вільного простору дозволяє виявити загальні властивості поля, які властиві будь-якому механізму поширення радіохвиль.

Якщо в точці А вільному просторі, що має відносну діелектричну проникність  $\epsilon=1$  і відносну магнітну проникність  $\mu=1$ , розташувати ненаправлений випромінювач то напруженість електричного поля  $E_0$  на відстані  $R$  від випромінювача можна визначити в такий спосіб:

Проведемо навколо точки А сферу з радіусом  $R$  рис. 2.4.

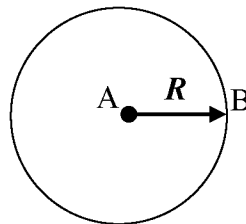


Рис.2.4.

Тоді потужність  $|P|$ , що відводиться на одиницю поверхні сфери, тобто середнє за період значення модуля вектора Пойтінга, можна визначити як

$$|P| = P / 4\pi R^2,$$

де  $P$  – потужність, що підводиться до випромінювача. Вектор Пойтінга є векторний добуток напруженості електричного поля  $E_0$  і напруженості магнітного поля  $H_0$

$$P = [E_0; H_0] \text{ або оскільки } E_0 \perp H_0, \text{ тоді } |P| = |E_0| \cdot |H_0|.$$

Напрямок вектора Пойтінга збігається з напрямком поширення енергії в даній точці.

На досить великих відстанях від випромінювача випромінювану їм сферичну хвилю в межах невеликої площі, займаною прийомною антеною, приблизно можна вважати плоскою, а для останньої існує наступне співвідношення:

$$\frac{|\bar{E}_0|}{|\bar{H}_0|} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 120\pi, \text{ Ом,}$$

що називається хвильовим опором вільного простору.

Отже, можна записати  $|P| = |E_0| / 120\pi$  або, з огляду на значення  $|P|$ , одержимо

$$\frac{P}{4\pi R^2} = \frac{|\bar{E}_0|^2}{120\pi},$$

$$|\bar{E}_0| = \sqrt{\frac{P \cdot 120\pi}{4\pi R^2}} = \sqrt{\frac{30P}{R}},$$

тобто напруженість електричного поля на відстані  $R$  від випромінювача. Фаза вектора  $E_0$  при проходженні хвилею відстані  $R$  здобуває значення

$\varphi = (2\pi/\lambda) \cdot R$ , где  $\lambda$  - длина волны.

### Область простору, що впливає на поширення радіохвиль

При поширенні радіохвиль в однорідному безмежному просторі різні області цього простору неоднаково впливають на процес формування поля в точці прийому. Щоб визначити істотну область простору, що відіграє визначальну роль, звернемося до принципу хвилеводної оптики - принципу Гюйгенса-Френеля.

Припустимо, що в точці А розташований випромінювач: потрібно визначити напруженість електричного поля  $E_B$  точці В на відстані  $R$  від випромінювача. Проведемо подумки навколо випромінювача довільну замкнуту поверхню  $\Sigma$  (рис. 2.5).

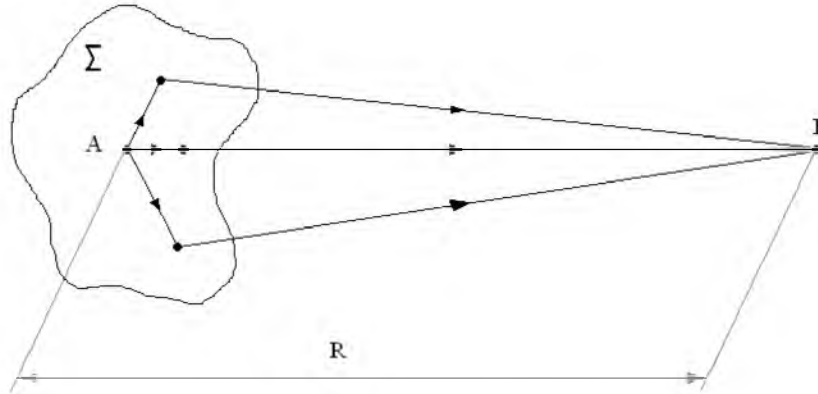


Рис.2.5.

Відповідно до принципу Гюйгенса – Френеля: кожна точку на поверхні  $\Sigma$  можна вважати джерелом вторинних сферичних хвиль (віртуальним джерелом), а поле в точці В можна визначити як результат векторного підсумовування полів всіх таких вторинних випромінювачів на поверхні  $\Sigma$ . Кожний із вторинних випромінювачів має діаграму спрямованості, максимум його випромінювання збігається з нормаллю до поверхні  $\Sigma$  у даній точці.

Щоб простежити процес формування поля в точці В, припустимо, що на відстані  $R_1$  від точки В перпендикулярно лінії АВ розташований екран, непрозорий для радіохвиль нескінченних розмірів. Замкнуту навколо точки А поверхню  $\Sigma$  виберемо, що складається із площини екрана й нескінченної півсфери, що охоплює точку А і опираючої на екран. Якщо отвору в екрані немає, то через непрозорість екрана поле в точці В буде дорівнює 0 (рис.2.6).

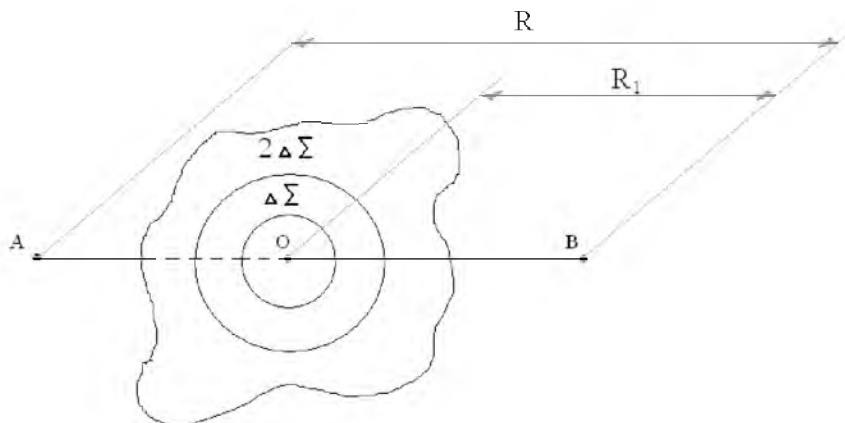


Рис.2.6.

Проробимо тепер в екрані навколо точки О малий круглий отвір площею  $\Delta\Sigma$ . За рахунок випромінювання вторинних джерел на поверхні  $\Delta\Sigma$  у точці В з'явиться деяка напруженість поля  $\Delta E_1$ , що має модуль  $|\Delta E_1|$  і фазу  $\varphi_1$ . Збільшимо площу отвору до величини  $2\Delta\Sigma$ . Через випромінювання вторинних джерел з нової кільцевої поверхні, що також має

площа  $\Delta\Sigma$ , у точці В з'явиться нова складова напруженості поля  $\Delta E_2$  з модулем  $|\Delta E_2|$  і фазою  $\varphi_2$ . Очевидно, що фаза  $\varphi_2 > \varphi_1$ , тому що шлях  $AD_2Y > AD_1$  рис.2.7.

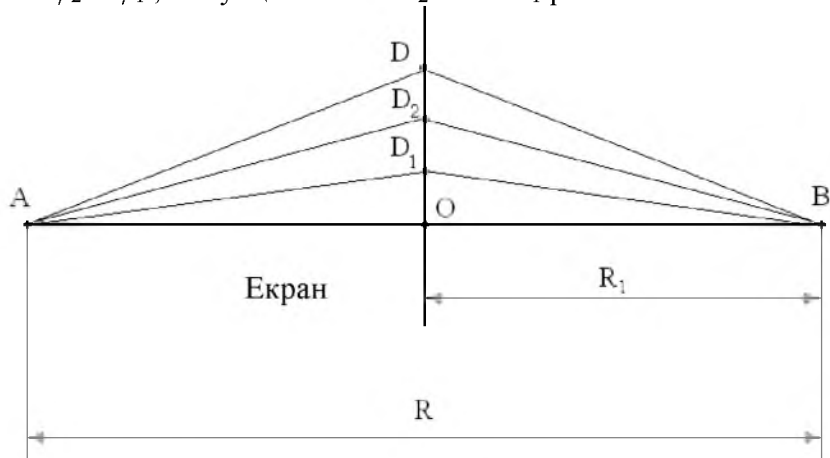


Рис.2.7.

Отже,  $\Delta E_1$  й  $\Delta E_2$  зсунуті по фазі на  $\Delta\varphi_1 = \varphi_2 - \varphi_1$ .

Збільшуючи площу відгалуження ще на  $\Delta\Sigma$ , одержимо складову  $\Delta E_3$ , зрушену по фазі відносно  $\Delta E_2$  на  $\Delta\varphi_2 = \varphi_3 - \varphi_2$  і т.д.

У результаті будемо мати векторну діаграму виду рис.2.8.

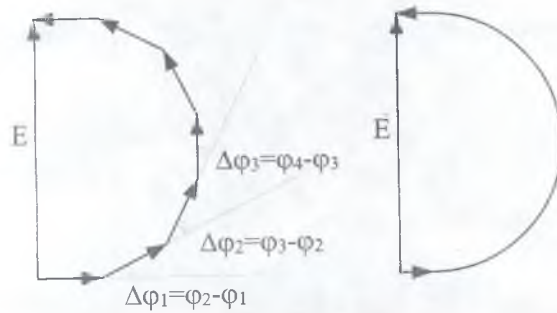


Рис.2.8

У міру збільшення площі отвору наступить такий випадок, коли поля від вторинних джерел периферійної лінії отвори виявляться в протифазі з полем, обумовленим вторинним випромінюванням центра отвору. Це відбудеться коли  $ADB - AB = \lambda/2$ . Отвір, при якому задовольняється ця умова, зветься першою зоною Френеля. Результуюча напруженість поля в крапці В при площі отвору, рівній першій зоні Френеля, виходить найбільшої.

При подальшому збільшенні площі отвору напруженість поля в крапці В почне зменшуватися внаслідок того, що поле від знову одержуваних кільцеподібних поверхонь отвору будуть уже в протифазі з полями, обумовленими випромінюванням першої зони Френеля рис.2.9

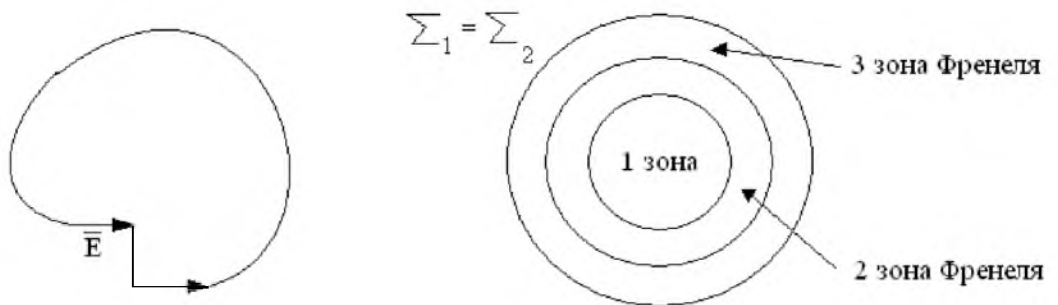


Рис.2.9

При різних отворах, що відповідають другій зоні Френеля, коли  $ADB - AB = \lambda$ , напруженість поля в точці В мінімальна.

Варто звернути увагу на те, що зі зміною відстані  $R_1$  від точки В до екрана, радіус зони Френеля так само міняється й визначається по наступній формулі.

$$\rho_n = \sqrt{\frac{n\lambda R_1 (R - R_1)}{R}},$$

де:  $n$  – номер зони Френеля.

На площині креслення зони Френеля відповідно до формули виглядають у такий спосіб (еліпси) рис.2.10.

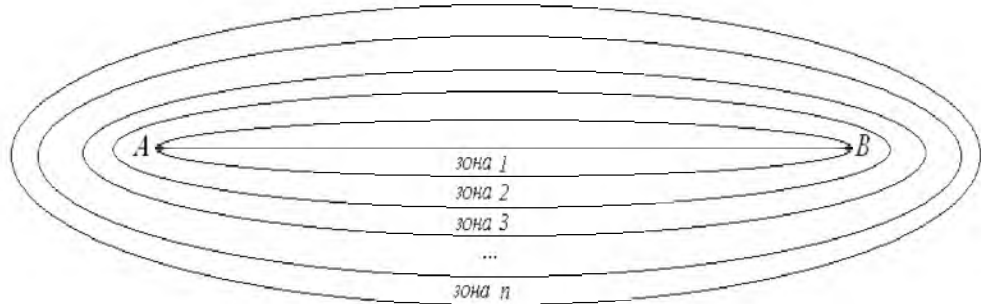


Рис.2.10

У просторі ж, для кожної зони Френеля одержимо відповідні еліпсоїди обертання навколо прямої АВ.

### Ослаблення поля вільного простору в реальних умовах

При поширенні радіохвиль у вільному просторі амплітуда хвилі убуває зі збільшенням відстані від випромінювача за рахунок сферичної розходженності фронту хвилі. Фаза хвилі змінюється тільки за рахунок зміни відстані.

Реальні умови поширення радіохвиль істотно відрізняються від умови поширення у вільному просторі через наявність границі роздязнула атмосфери - Земля й неоднорідна будова атмосфери й земної поверхні.

При реальних умовах поширення радіохвиль амплітуда хвилі може зменшуватись зі збільшенням відстані не тільки сферичної розбіжності фронту хвилі, але й за рахунок поглинання й розсіювання електромагнітної енергії (у землі, іоносфері, гідрометеорах і т.д.), а також за рахунок просторового перерозподілу електромагнітної енергії при інтерференції хвиль.

Фаза хвилі буде визначатися не тільки відстанню від випромінювача, але й зміною швидкості поширення через електричну неоднорідність атмосфери, поява відбиттів від границі роздязнула й т.д. Для обліку впливу поверхні Землі й неоднорідності атмосфери на поширення радіохвиль вводять поняття множника ослаблення поля вільного простору  $V$ , що звичайно називають для стислості множником ослаблення.

Кількісно  $V$  є відношення напруженості поля  $E$  на відстані  $R$  від передавальної антени при поширенні в реальних умовах до напруженості поля  $E_0$  на тім же відстані  $R$  при поширенні у вільному просторі, тобто

$$V = \frac{\bar{E}}{E_0} = |V|e^{iarcV},$$

де:  $|V|$  - модуль множника ослаблення;

$arcV$  – його фаза.

Таким чином,  $|V|$  ураховує додаткове ослаблення амплітуди хвилі в порівнянні з її ослабленням у вільному просторі, а  $arc$  – додаткова зміна фази хвилі.

Величина  $V$  залежить від багатьох факторів: відстані між крапками передачі й прийому, висот підняття антен над поверхнею Землі, довжини хвилі, виду поляризації

радіохвиль, характеру рельєфу місцевості на трасі, а також від неоднорідної будови атмосфери, підданого досить значним випадковим змінам.

Складний випадковий характер неоднорідної будови атмосфери уможлиблює, строго говорячи, лише статичний опис просторових і часових змін  $V$ , тому основним завданням теоретичного й експериментального вивчення поширення радіохвиль є визначення законів статичного розподілу  $V$  або, принаймні, його статичних характеристик, середнього значення дисперсії просторових і часових кореляційних функцій або спектрів.

#### **Розповсюдження земних радіохвиль.**

У більшості випадків прийомні й передавальні антени розміщуються на таких відстанях від земної поверхні, при яких необхідно враховувати її вплив на поширення радіохвиль. Електричне поле в місці прийому таких антен можна представити як сукупність первинного поля, що відповідає полю вібратора в необмеженому однорідному середовищі при відсутності земної поверхні, і вторинного поля, обумовленого загальним впливом землі на процес поширення радіохвиль.

Строге рішення завдання про знаходження напруженості електричного поля в деякій крапці над земною поверхнею при довільному розташуванні випромінювача досить складно. Розглянемо деякі найбільш важливі випадки поширення радіохвиль.