



Студентска унија Електротехничког факултета

**Материјали из
Радио комуникација**

Уредила:
Јелисавића Марковић

ТЕОРИЈСКА ПИТАЊА ЗА ПРВИ КОЛОКВИЈУМ ИЗ РАДИО КОМУНИКАЦИЈА¹

1. Значајна међународна регулациона тела у области радио – комуникација (скраћени и пун назив, област деловања).

- **ITU – International Telecommunication Union** – Уједињене нације, Женева, Швајцарска. Чланице су државе и приватни сектори. Област деловања: координација развоја и имплементација телекомуникационих мрежа и сервиса на глобалном нивоу. ITU – R је од 1927. Године централно тело за послове радио – комуникација. (Баве се техничким карактеристикама сервиса и система, регулативама и препорукама)
- **ETSI – European Telecommunications Standards Institute** – Изражена улога у постављању стандарда у Европи, али и знатно шире. ETSI – је поставио GSM и TETRA стандарде. Преко 780 чланова из 56 земаља.
- **IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers** – Најмасовније удружење електроинжењера на планети (више од 500 000 појединачних чланова у више од 150 земаља). Сваке године се од стране чланова IEEE објави укупно 30% светске литературе у области електротехнике и рачунарства. Организује годишње око 300 конференција. Бави се постављањем стандарда (око 900 усвојених и око 700 у фази реализације по подацима пре 2011. године).
- **IEC – International Electrotechnical Commission** – Водећа глобална организација која припрема и публикује међународне стандарде у области електротехнике. Стандарди представљају основу за националну стандардизацију.
- **FCC – Federal Communications Commission** – Независна агенција владе Сједињених држава. Бави се регулисањем међудржавних и интернационалних активности.
- **JUS – Југословенски усвојени стандард** – Стандард који се користио за време постојања Југославије, додуше неки стандарди су и данас у употреби.
- **SRPS** – Ознака за стандарде и сродне документе које доноси Институт за стандардизацију Србије. Некадашњи JUS стандарди су замењени ознаком SRPS.

2. Фреквенцијски опсези: HF, UHF, SHF, MF, VHF. Навести пун назив, границе опсега, типичне сервисе и пропагационе услове

VLF – very low frequency – Веома дуги таласи (3 – 30 kHz), **ELF – extra low frequency** – Екстра дуги таласи, **ULF – ultra low frequency** – Ултра кратки таласи – Таласне дужине су велике, 1 km и веће, тако да ови таласи не виде ништа као препреку. Имају велики домет – користе се у прекоморској телеграфији. До 30 kHz нема простора за велике протоке јер је пропусни опсег јако мали (максимална брзина неколико стотина бита). Димензије антене су мале у односу на таласну дужину. Ефикасност антена је према томе врло проблематична. Са друге стране у овом опсегу не могу да се праве усмерени антенски системи. У овим опсезима има доста шума, што значи да је медијум за пренос доста лош.

LF – low frequency – Дуги таласи (30 – 300 kHz), велике таласне дужине, због чега је велики и домет. Користи се за везе са бродовима – али је она доста критична. Фиксни сервиси – повезивање амбасаде са матичном земљом. Поларизација је вертикална, овде је већа ефикасност антене. Шум је и даље изражен. Проток је и даље мали, јер је опсег 270 kHz па не може доста сервиса да се реализује на овој учестаности.

MF – medium frequency – Средњи таласи (300 kHz – 3 MHz). Типични сервиси: дифузија (AM радио-дифузија), радионавигација, поморске мобилне комуникације.

¹ Приликом спремања колоквијума не користити ову скрипту као једини извор знања. Молимо Вас да све уочене грешке пошаљете на jelisaveta_m@hotmail.com.

Пропагација: површински талас је изражен преко морских површина, интензивно слабење јоносферског таласа током сунчаног дела дана, али мало слабење током ноћи, висок ниво атмосферског шума.

HF – high frequency – кратки таласи (3-30 MHz), међународна дифузија (радио - дифузија), национална дифузија у тропским регионима, комуникације тачка-тачка на великим растојањима, поморске и ваздушне мобилне комуникације. Омогућава везе на великим удаљеностима, слаб утицај јоносферског таласа.

VHF – very high frequency – Веома кратки таласи (30 – 300 MHz). Типични сервиси: копнени, поморски и ваздушни мобилни радио-сервиси, радио-дифузија звука (FM и DAB) и телевизијског сигнала (осим у UK), ваздушни радионавигациони системи и системи за слетање, аналогна бежична телефонија и пејџинг, у ограниченом обиму мали LEO (Low Earth Orbit) сателитски системи. Пропагација: често се користе ефекти рефракције у тропосфери, могуће рефлексије на траси, слабење услед дифракције је релативно мало, веће препреке (брда и планине) могу довести до ефеката заклањања, нежељени јоносферски утицају услед спорадичног E и метеорског расејања, последично долази до Фарадејеве ротације и јоносферске нестабилности на везама типа земља-свемир.

UHF – ultra high frequency – ултра кратки таласи (300-3000 MHz), дифузија телевизијског сигнала, хелијски и персонални комуникациони системи, сателитски мобилни системи, GPS, важни радио-астрономски сервиси, истраживачки радар, копнени сервиси типа тачка-тачка, системи фиксног радио-приступа, телеметрија, бежична кућна телефонија (cordless), тропосферске везе. Пропагација: до линије оптичке видљивости и нешто преко тога, тропосферско расејање се користи за трансхоризонталне путање, ефекти заклањања долазе до изражаја (брда, зграде, дрвеће), ефекти рефракције, јоносферска нестабилност на сателитским везама, јављају се ефекти нежељеног вођења таласа итд.

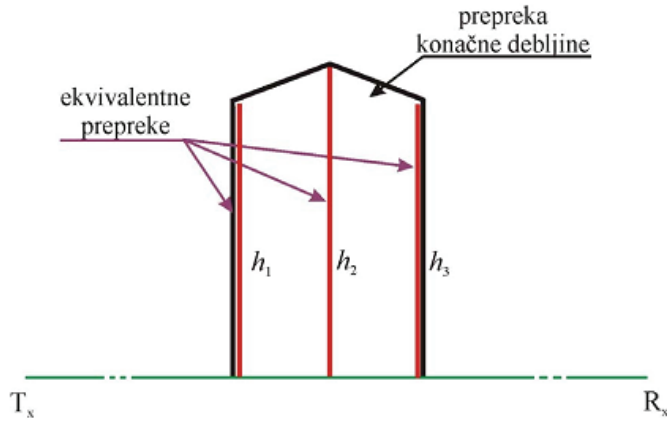
SHF – super high frequency – Супер кратки таласи (3-30 GHz), фиксни сервиси (копнене везе типа тачка-тачка до 155 Mb/s), фиксни сателитски сервиси, радарски сервиси, сателитска телевизија, GSO и NGSO фиксни сателитски сервиси, сателитски истраживачки сервиси (remote sensing), фиксни радио-приступ. Антене са великим добитком. На вишим учестаностима цена уређаја расте (озбиљни микроталасни проблем). Пропагација: препреке најчешће доводе до прекида везе, рефракција и нежељено вођење таласа (ducting), слабење услед кише, снега, магле на учестаностима преко 10 GHz, изражено атмосферско слабење преко 15 GHz, јоносферски утицају су мали.

EHF – extra high frequency – Екстра кратки таласи (30 - 300 GHz). Данашњи системи могу да раде до највише 60 GHz, домет је неколико десетина метара и користи се на пример за повезивање две зграде. Углавном је тип тачка – тачка, што је у основи угодно за реализацију. Магла и смог праве проблем, захтева се оптичка видљивост. Користе се мале антене велих добитака, велика примена у стратосфери.

3. Дифракција на препреци коначне дебљине. Написати израз за одређивање средњег слабљења.

У пракси препреке нису бесконачно танке па се примењују модели за апроксимацију. Еквивалентирање препреке коначне дебљине системом од три оштрице ножа.

Препреке се некад намерно постављају (ометачи). Од интереса су: просечно слабљење које уноси препрека (усредњавање по амплитуди) и минимално слабљење које уноси препрека (усредњавање по фази). Минимално слабљење - сабирање амплитуда све три оштрице ножа, а просечно слабљење - сабирање по снази.



Израчуна се Френелов аргумент v за за све три оштрице ножа (врх препреке, лева и десна ивица). Израчунају се појединачна слабљења за сваку препреку (оштрицу ножа понаособ).

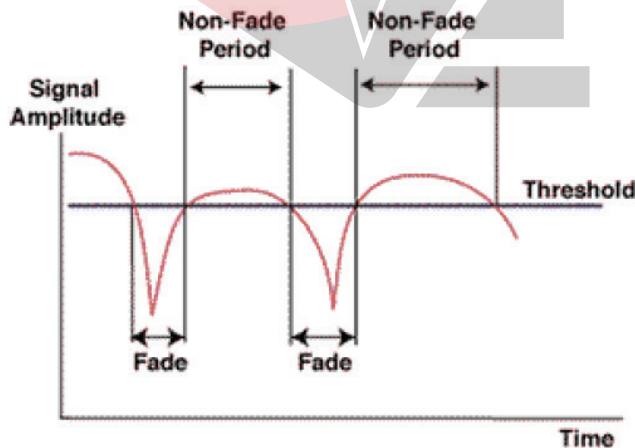
Минимално слабљење дифракције J_{\min} :

$$J_{\min}(v) = -20 \log \left[\frac{1}{j_1(v)} + \frac{1}{j_2(v)} + \frac{1}{j_3(v)} \right] \text{ [dB]}$$

Средње слабљење дифракције:

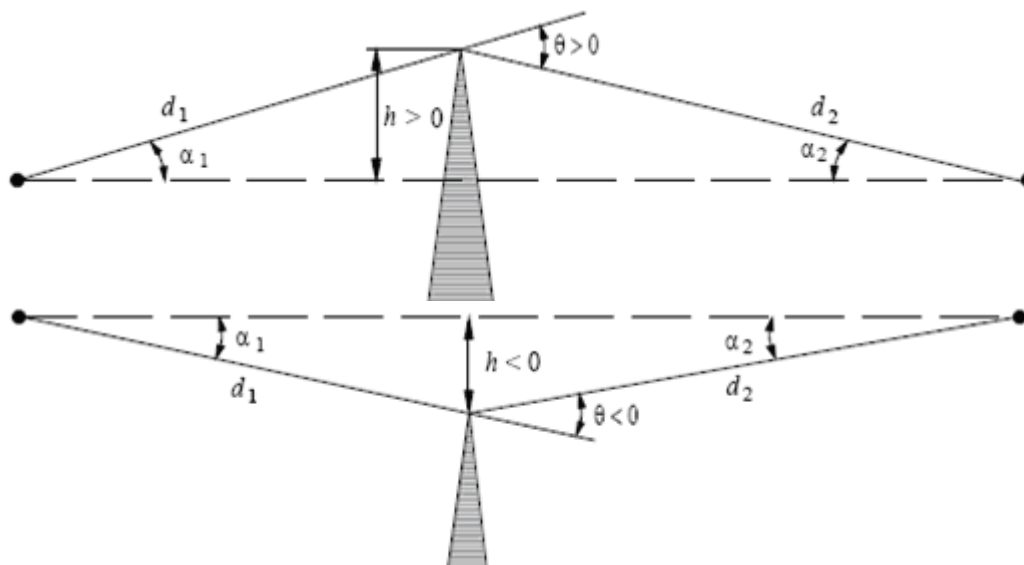
$$J_{av}(v) = -10 \log \left[\frac{1}{j_1^2(v)} + \frac{1}{j_2^2(v)} + \frac{1}{j_3^2(v)} \right] \text{ [dB]}$$

4. Нацртати типичну промену нивоа сигнала на пријему у случају multipath fading. Са којом периодом просторног помераја се типично јављају минимуми у измереним вредностима нивоа сигнала.



Локални минимум (максимум) нивоа сигнала јавља се типично на сваких $\lambda/2$. Дубина fading-а чак и преко 30 dB.

5. Навести тачан и апроксимативан израз за слабљење на оштрици ножа. Илустровати графички.



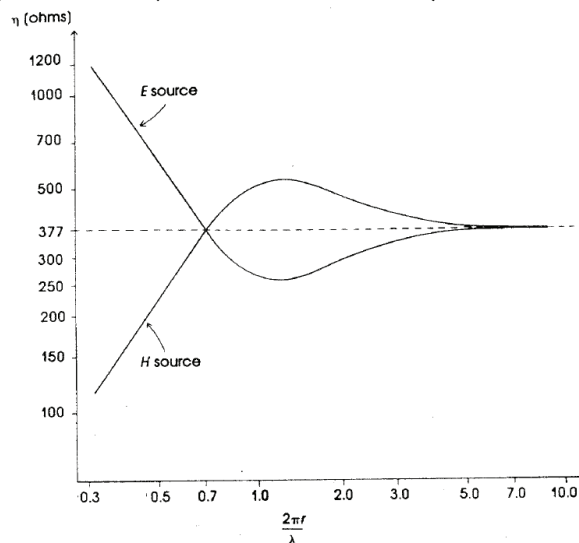
За израчунавање слабљења користимо Френелов коефицијент $v = h \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right)}$.

$$J(v) = 6,9 + 20 \log(\sqrt{(v - 0,1)^2 + 1} + v - 0,1) [dB]$$

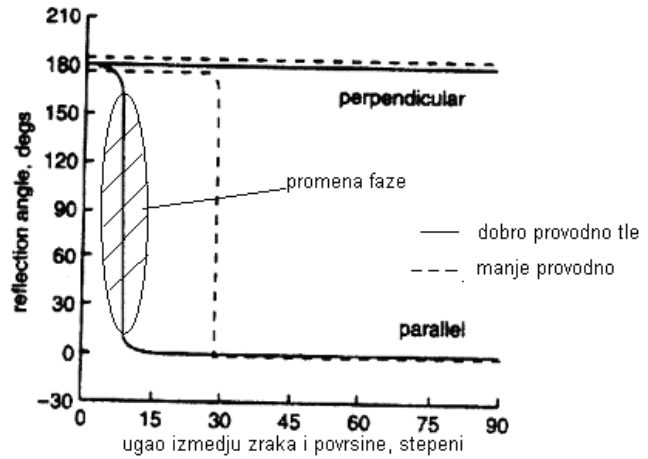
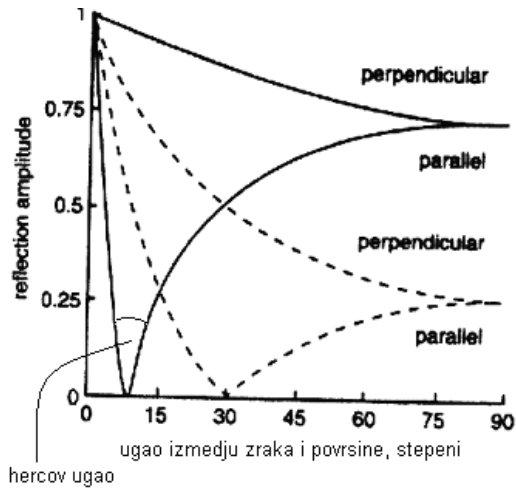
Апроксимација важи за $v > -0,7$; а за $v < -0,7$ усваја се да је слабљење једнако 0.

6. Дефиниција блиског и далеког поља – нацртати таласну импедансу електричног и магнетног дипола, навести од код растојања се може сматрати да почиње далеко поље и навести израз који повезује интензитет електричног и магнетног поља.

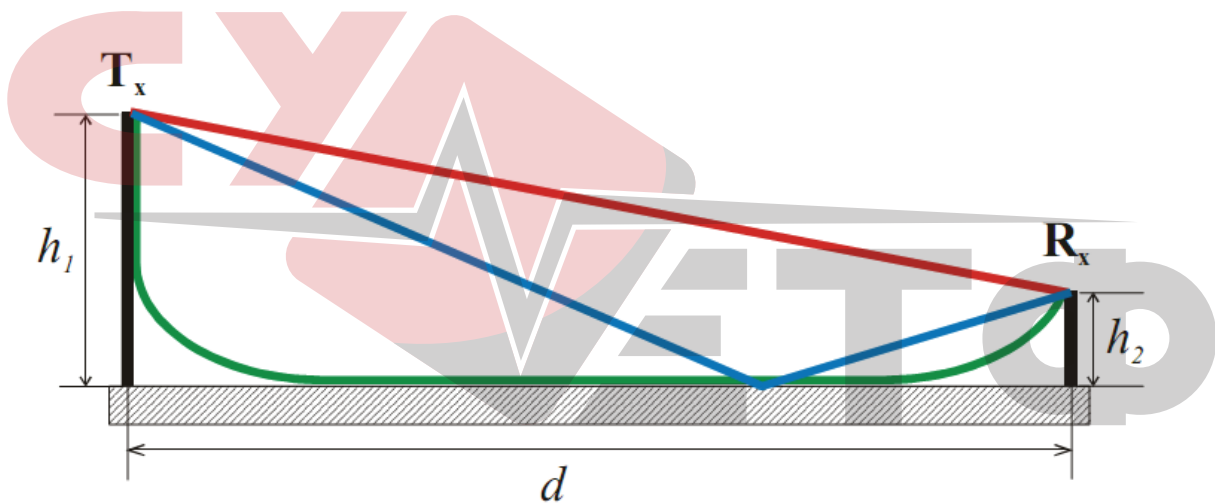
Зона од интереса је далеко од предајника, то је такозвано далеко поље. Кад смо у близини предајника то је блиско поље. За случај дипола, зона блиског поља је до 5 таласних дужина, преко тога је далеко поље. Веза између електричног и магнетног поља је дата релацијом: $H = E/Z$. Интензитети електричног поља на растојањима која су већа од физичких димензија антене називају се далеким пољем, а интензитети електричних поља на растојањима која су блиска антени називају се блиским пољем. Одређен број компоненти се губи после одређеног растојања па можемо посматрати само једну величину E и H , а то је после 5 таласних дужина λ . Где је $Z = 377\Omega$.



7. Нацртати амплитудску и фазну карактеристику коефицијента рефлексије.



8. Простирање изнад „равне земље“. Написаи Bulling-ов израз (укључујући и израз за коефицијен апсорпције, пригушења, површинског таласа).



Црвена линија означава директан талас, плава рефлектовани талас, а зелена линија представља површински талас.

Према Bulling-у снага на пријему P_2 у зависности од снаге на предаји P_1 :

$$P_2 = P_1 \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 G_1 G_1 \cdot \left| 1 + \underline{R}e^{j\Delta} + (1 - \underline{R})\underline{A}e^{j\Delta} + \dots \right|^2$$

Односно:

$$P_2 = P_{20} \cdot \left| 1 + \underline{R}e^{j\Delta} + (1 - \underline{R})\underline{A}e^{j\Delta} + \dots \right|^2$$

Где је P_{20} – снага сигнала на пријему у слободном просору

R – комплексни коефицијент рефлексије,

A – коефицијен апсорпције (пригушења) површинског таласа,

Δ - фазна разлика између рефлектованог и дирекног таласа.

$$\underline{A} = \frac{-1}{1 + j \left(\frac{2\pi d}{\lambda} \right) (\sin \theta + \underline{q})^2}$$

9. Модел равне земље. Каква је зависност снага на пријему од растојања у случају идеалне рефлексије $R=-1$ (занемарити површински талас).

$$P_2 = P_1 \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 G_1 G_2 |1 + \underline{R} e^{j\Delta}|^2; \quad \underline{R} = -1$$

$$P_2 = P_1 \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 G_1 G_2 |1 - e^{j0}|^2 = P_1 \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 G_1 G_2 |1 - 1|^2 = 0$$

10. Написаи израз за густину расподеле верованоће $p(x)$ у случају Rayleigh-ве расподеле. На шта се односи променљива x . У којим ситуацијама се јавља ова расподела.

Карактеристична за расподелу електричног поља у такозваној „микрозони“ (микрозона представља површину димензија $\sim \pm 10\lambda$). Јавља се у случајевима када електрично поље формира већи број мањих компоненти без изражене доминантне компоненте (сабирање великог броја вектора мале амплитуде и униформне фазе). Типична распоредела за NLoS случајеве. Често се јавља и у LoS случајевима када јака рефлектована компонента поништава директну. Променљива x се односи на интензитет електричног поља – E .

$$p(x) = \frac{x}{q^2} \exp\left(-\frac{x^2}{2q^2}\right)$$

$$F(x) = 1 - \exp\left(-\frac{x^2}{2q^2}\right) \quad x \in [0, \infty]$$

11. Написати израз за густину расподеле вероватноће $p(x)$ у случају Nakagami – Rice – ове расподеле. На шта се односи променљива x . У којим случајевима се јавља ова расподела.

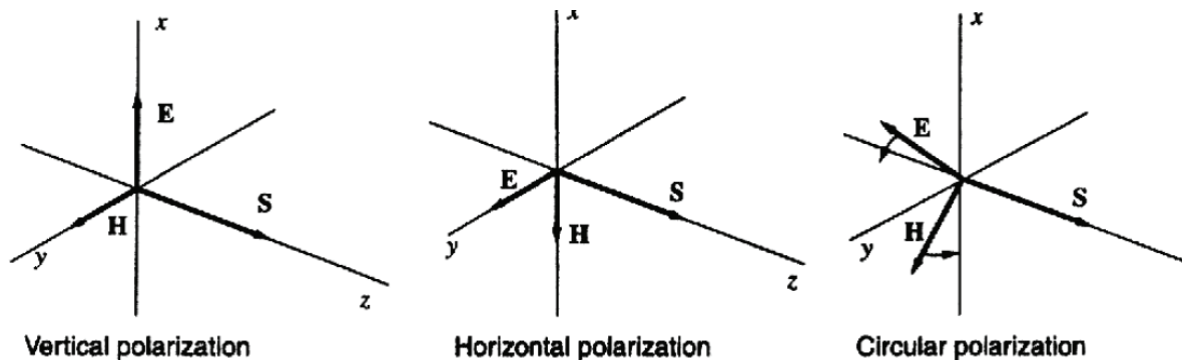
Карактеристична за расподелу електричног поља у такозваној „микрозони“. Јавља се у случајевима када електрично поље формира већи број компоненти од којих је једна доминантна. Типична расподела за LoS случајеве. Променљива x се односи на интензитет

електричног поља – E .
$$p(x) = \frac{x}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + a^2}{2\sigma^2}\right) I_0\left(\frac{ax}{\sigma^2}\right).$$

12. До код фреквенцијског опсега је значајан индустријски (man-made) шум.

Индустријски шум се јавља у опсегу од 60 kHz до 900 MHz. UHF опсег (од 300 до 3000 MHz) одговара тој учестаности па индустријски шум нестаје у тој области. А пошто се јавља на око 60 kHz тај опсег припада VHF опсегу (30 – 300 MHz).

13. Илустровати случајеве вертикалне, хоризонталне и елиптичке поларизације.



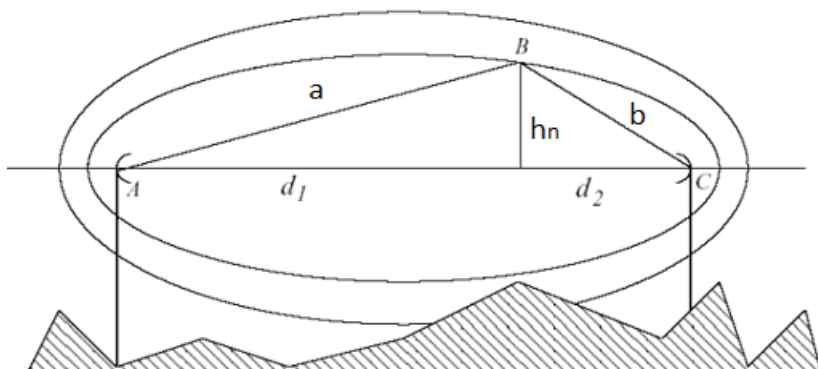
Вертикална поларизација: дипол је нормалан у односу на површину земље, електрично поље иде на горе или на доле.

Хоризонтална поларизација: дипол је паралелан са површином земље, електрично поље се простире лево или десно.

Елиптичка поларизација: два дипола која се напајају електричним пољем променљиве фазе (± 90) долази до обртања дипола и до елиптичке поларизације. Од знака \pm зависи смер обртања.

14. Извести израз за дебљину Френелове зоне. Илустровати проблем препрека у блиској зони.

Услов који треба да задовоље инцидентни и рефлектовани талас $a+b-d_1-d_2 \leq n * \lambda/2$ пошто нам треба граница узимамо знак једнакости: $a+b-d_1-d_2 = n * \lambda/2$



$$a = \sqrt{d_1^2 + h_n^2}; \quad b = \sqrt{d_2^2 + h_n^2}; \quad \sqrt{d_1^2 + h_n^2} + \sqrt{d_2^2 + h_n^2} - d_1 - d_2 = n \frac{\lambda}{2};$$

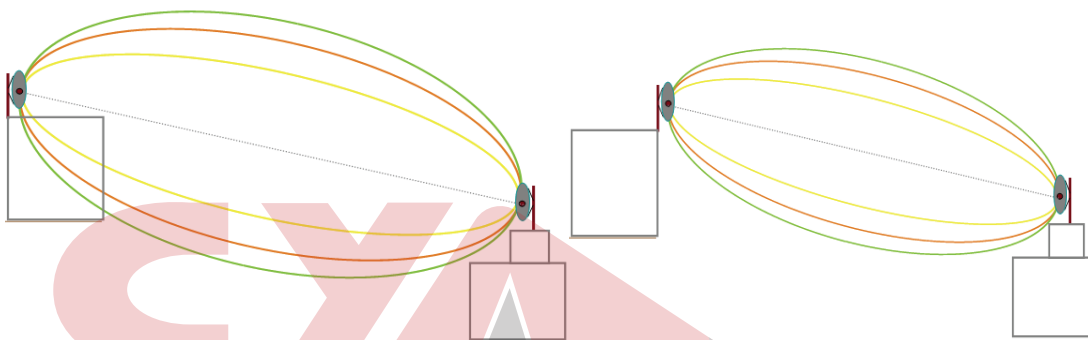
$$d_1 \sqrt{1 + \frac{h_n^2}{d_1^2}} + d_2 \sqrt{1 + \frac{h_n^2}{d_2^2}} - d_1 - d_2 = n \frac{\lambda}{2};$$

$$d_1 \left(1 + \frac{h_n^2}{2d_1^2} \right) + d_2 \left(1 + \frac{h_n^2}{2d_2^2} \right) - d_1 - d_2 = n \frac{\lambda}{2}$$

$$\Rightarrow h_n^2 \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right) = n\lambda \Rightarrow h_n = \sqrt{n\lambda \frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2}}$$

- primer **LOŠE** projektovane veze -

- primer **DOBRO** projektovane veze -



n – ред Френелове зоне, h_n – дебљина Френелове зоне

Сваки објекат који уђе у Френелову зону уноси додатно слабљење. Френелова зона је елипсоид (има 3 димензије). На пример ако се солитер налази између предајника и пријемника сигнал може да га обиђе бочно (не мора да дође до прекида везе). У пракси се најчешће користи прва Френелова зона $n=1$, врло ретко $n=2$, али се користи и $n=0.8$ или $n=0.6$.

d – растојање између предајника и пријемника.

Највећа дебљина прве Френелове зоне је 5 km. Дебљина Френелове зоне много зависи од фреквенције. Френелова зона је симетрична у односу на предајник и пријемник. Може да се деси да сам објекат где је антенски систем, представља сметњу.

15. Навести типове стања атмосфере са становишта рефракције. Илустровати путање радио таласа за наведене типове.



Нормална $K=4/3$; Суб-нормална $K<4/3$; Супер-нормална $K>4/3$

16. Извести израз за Рејлијев критеријум глаткости.

$$2 \cdot \Delta l = 2H \sin(\theta)$$

$$\Delta \varphi = 2\pi \frac{2\Delta l}{\lambda}$$

$$\text{kriterijum: } \Delta \varphi = \frac{\pi}{4} \Rightarrow$$

$$\Delta \varphi = 2\pi \frac{2H \sin(\theta)}{\lambda} \leq \frac{\pi}{4} \Rightarrow H \leq \frac{\lambda}{16 \sin(\theta)}$$

17. Навести тачне границе фреквенцијских опсега за радио дифузне сервисе (FM и TV).

За FM (87.5 - 108)MHz, а за TV (174 - 230)MHz. Обухвата делове опсега VHF (30 - 300) MHz, и UHF (300 - 3000) MHz.

18. Нормална (Гаусова) расподела.

Јавља се у овим случајевима када разматрана величина настаје сабирањем великог броја случајних процеса, од којих ни један није значајнији у односу на остале.

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-m}{\sigma}\right)^2\right], \quad x \in (-\infty, +\infty)$$

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{t-m}{\sigma}\right)^2\right] dt = \frac{1}{2} \left[1 + \operatorname{erf}\left(\frac{x-m}{\sigma}\right)\right], \quad \operatorname{erf}(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-t^2} dt$$

Важи за флукуације неких величина око средње вредности (расподела нивоа електричног поља у такозваној „макрозони“), и за логаритме неких позитивних величина (напон, снага, време, поље).

19. Log-нормална расподела.

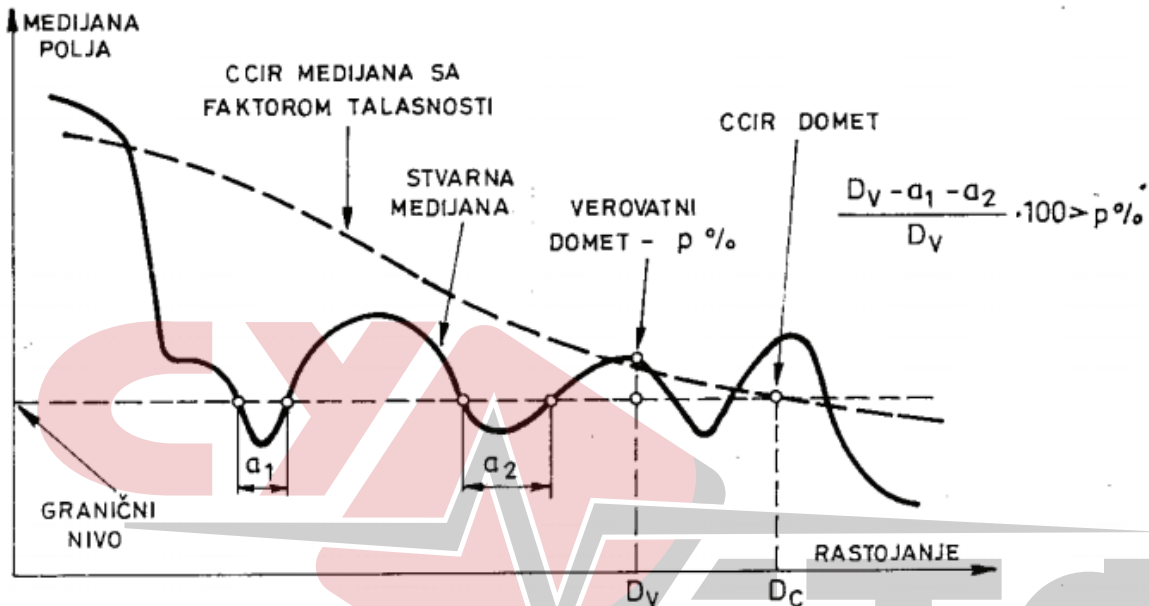
Расподела позитивн променљиве чији логаритам има нормалну расподелу. Јавља се у овим случајевима када разматрана величина настаје множењем великог броја случајних процеса, од којих ни један није значајнији у односу на друге.

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \frac{1}{x} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - m}{\sigma}\right)^2\right], \quad x \in (0, +\infty)$$

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^x \frac{1}{t} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln t - m}{\sigma}\right)^2\right] dt = \frac{1}{2} \left[1 + \operatorname{erf}\left(\frac{\ln x - m}{\sigma\sqrt{2}}\right) \right]$$

Ниво снаге и ниво електричног поља – нормална расподела. Време и брзина – log-нормална расподела.

20. Илустрати начин одређивања вероватног домета.



Вероватни домет треба одређивати идући од периферије према предајнику. $a_1 + a_2 \rightarrow$ збир подручја где су сенке, проценат сенки је по правилу 10%. Гранични ниво – минимални ниво електричног поља на улазу у пријемник; у подручју a_1 и a_2 нема домета (испод прага нивоа електричног поља). Од тачке вероватног домета до тачке предајника збир свих делова трасе ван домета не сме прећи одређени проценат (за $p=90\%$ не сме прећи 10%).

21. Дефиниције појма зоне покривања.

- 1) Зона покривања без интерференције, тј. зона ограничена искључиво природним шумом и шумом који је резултат човекових активности
- 2) Номинална зона покривања, тј. зона која је предвиђена приликом пројектовања радио система, узимајући у обзир и остале предвиђене радио предајнике
- 3) Реално остварена зона покривања, тј. стварна зона покривања узимајући у обзир шумове и интерферентне сметње које постоје у пракси
- 4) Сервисна зона, тј. зона која је дефинисана истим техничким условима као и 3), али је додатно ограничена техничким или административним захтевима. Подскуп је реално остварене зоне.