



PPL 9.2

Radiotechnika a radionavigace

Petr Papica



Radiotechnika a radionavigace



- Základy elektrotechniky
- Základy radiotechniky
- Radionavigace



Pro obyčejné pilotní žáky !!!



Základy elektrotechniky



- Stejnoseměrný proud, střídavý proud, sériové a paralelní zapojení, magnetické pole
- Baterie a generátory elektrického proudu
- Statická elektřina
- Elektrické komponenty

Radiotechnika

- Základy teorie šíření radiových signálů, antény
 - základní charakteristiky
 - šíření vln, šíření na frekvenčních pásmech
 - radiová zařízení
- Komunikační systémy
 - vysílání VHF, UHF, SATCOM
 - základní principy, dosah, omezení a použití

Radionavigace

- Pozemní zaměřovač VKV (DF – direction finder)
- Všesměrový radiomaják NDB/ADF
- VOR
- DME
- Radar, pozemní radar
- Odpovídač sekundárního přehledového radaru
- GPS, GNSS, Glonass, Galileo

Základy Elektrotechniky

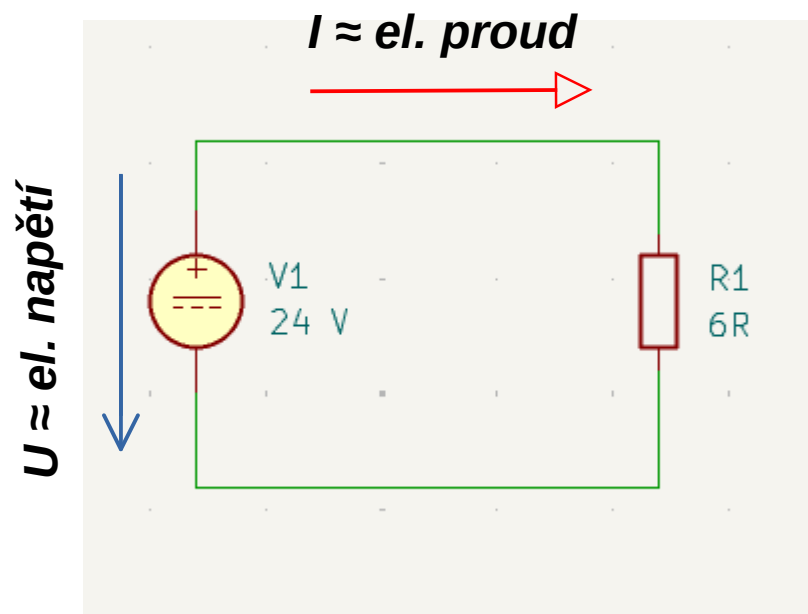
Elektrotechnika používá tyto veličiny a jednotky



Veličina	Značka veličiny	Název jednotky	Značka jednotky
Napětí	U	volt	[V]
Proud	I	ampér	[A]
Odpor	R	ohm	[Ω]
Kapacita	C	farad	[F]
Indukčnost	L	henry	[L]
Kmitočet	f	hertz	[Hz]
Délka	l	metr	[m]
Výkon	P	watt	[W]

Ohmův zákon

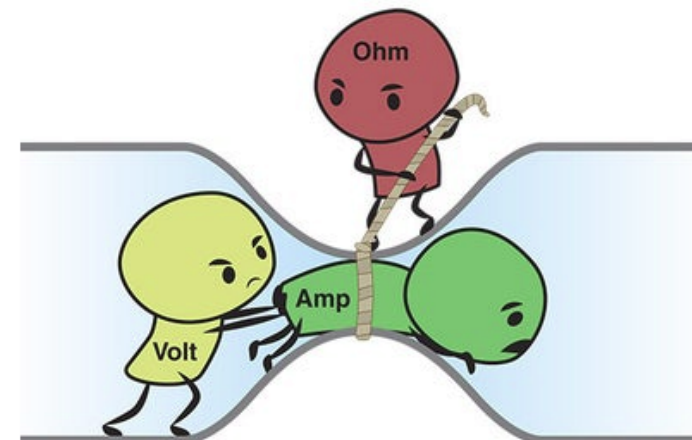
- základní fyzikální zákon
- závislost proudu mezi dvěma body na vodiči
- proud závisí na přiloženém napětí a na odporu vodiče



$$U = R \cdot I$$

$$I = \frac{U}{R}$$

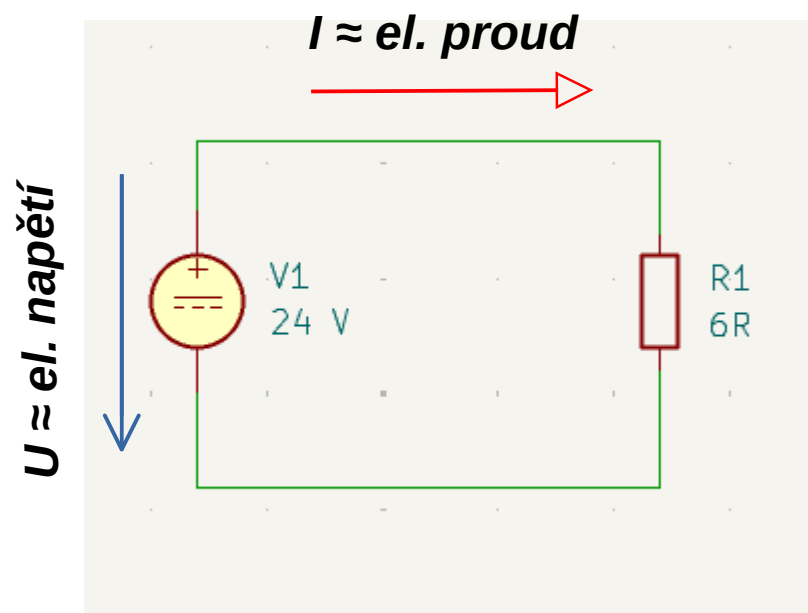
$$R = \frac{U}{I}$$



Jaký elektrický proud teče tímto jednoduchým elektrickým obvodem?

$$I = \frac{U}{R} = \frac{24 \text{ V}}{6 \Omega} = 4 \text{ A}$$

Elektrický výkon



$$P = U \cdot I$$

$$P = \frac{U^2}{R}$$

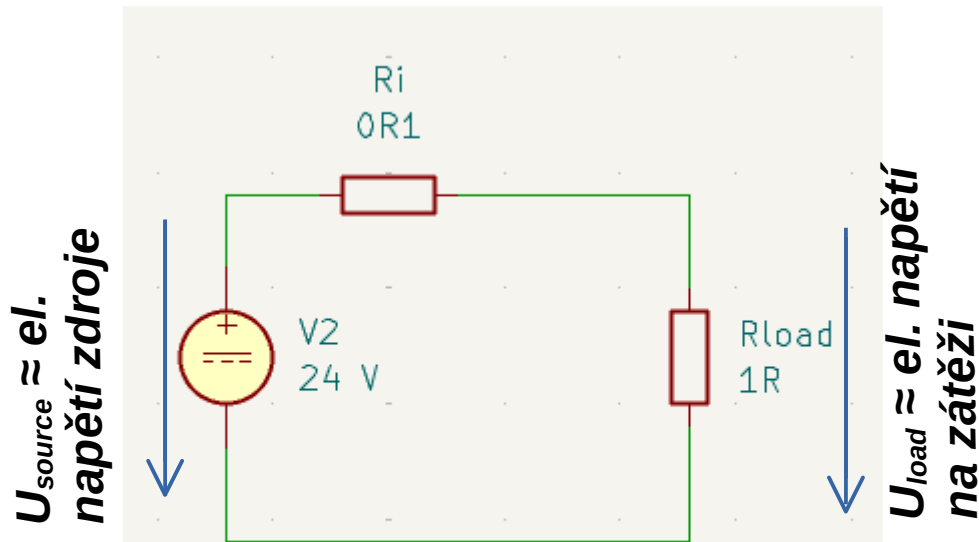
$$P = I^2 \cdot R$$

Jaký elektrický výkon dodává zdroj do zátěže v tomto jednoduchém elektrickém obvodu?

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{24^2 \text{ V}}{6 \Omega} = \frac{576}{6} \text{ W} = 96 \text{ W}$$

Reálný elektrický obvod

každý reálný zdroj napětí (i proudu) má svůj vnitřní odpor R_i
 vnitřní odpor R_i způsobuje ztráty a při velkém proudu i snížení napětí na zátěži
 vnitřní definuje R_i zkratový proud



$$P_{load} = P_{source} - P_{loss}$$

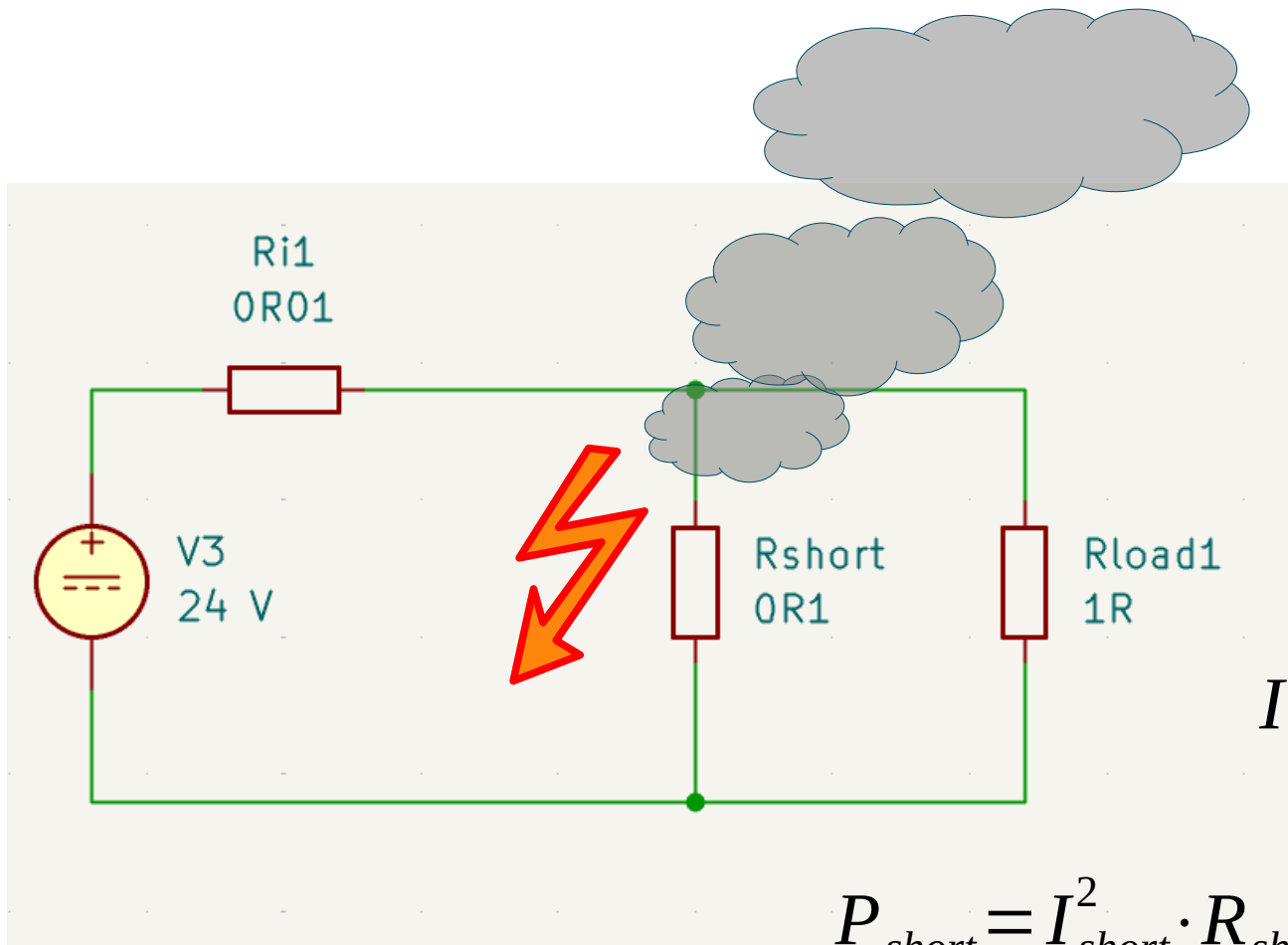
$$P_{load} = U_{source} \cdot I_{load} - R_{load} \cdot I_{load}^2$$

$$I_{load} = \frac{U_{source}}{R_i + R_{load}}$$

O zdroji beze ztrát, tj. $R_i = 0\Omega$ sní třeba Elon Musk, ale neexistuje!!!



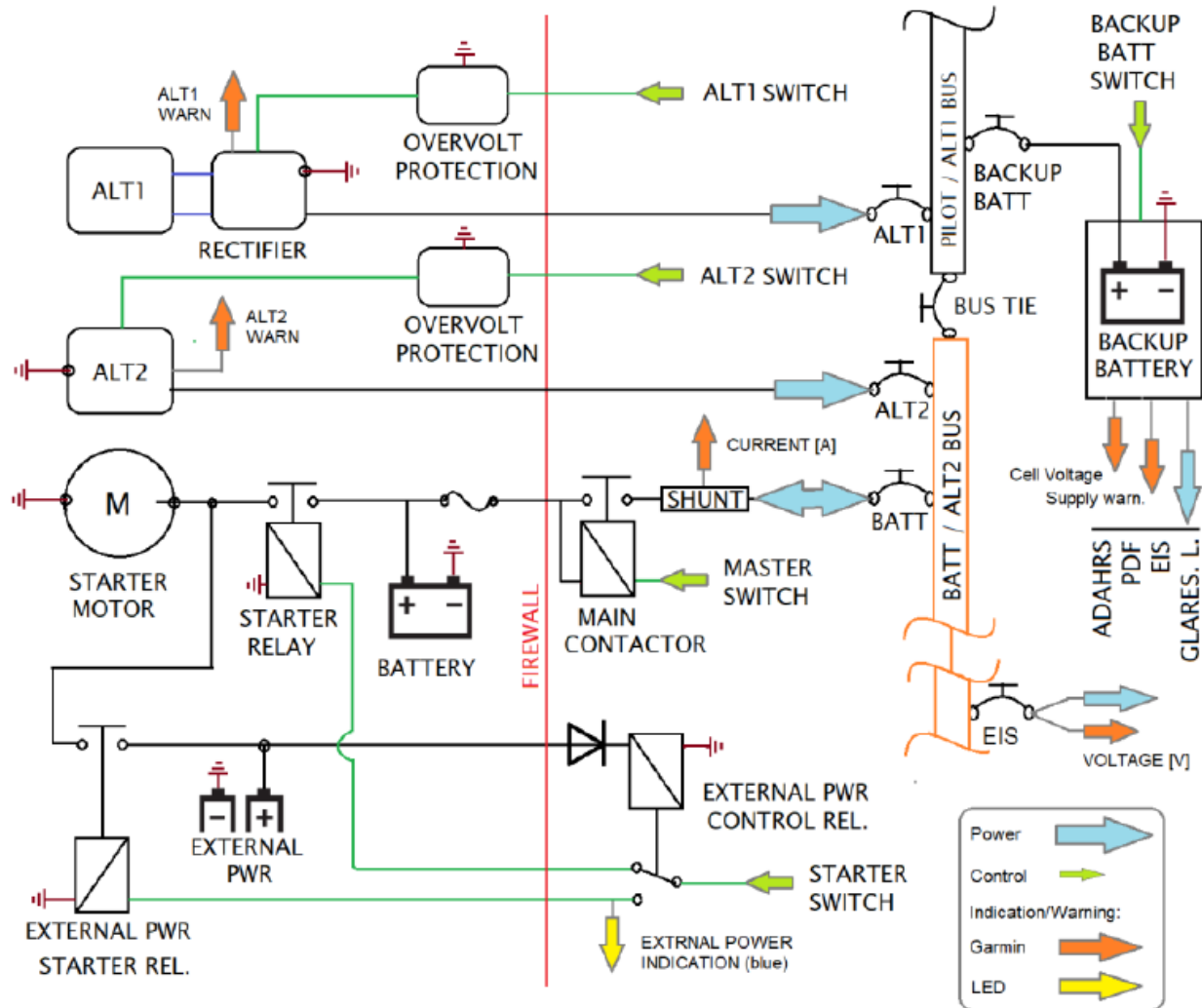
Zkrat v elektrickém obvodu



$$I_{short} = \frac{24^2}{0.1+0.01} = 218 \text{ A}$$

$$P_{short} = I_{short}^2 \cdot R_{short} = 218^2 \cdot 0.1 = 4.75 \text{ kW} \quad !!!$$

Elektrický systém B23



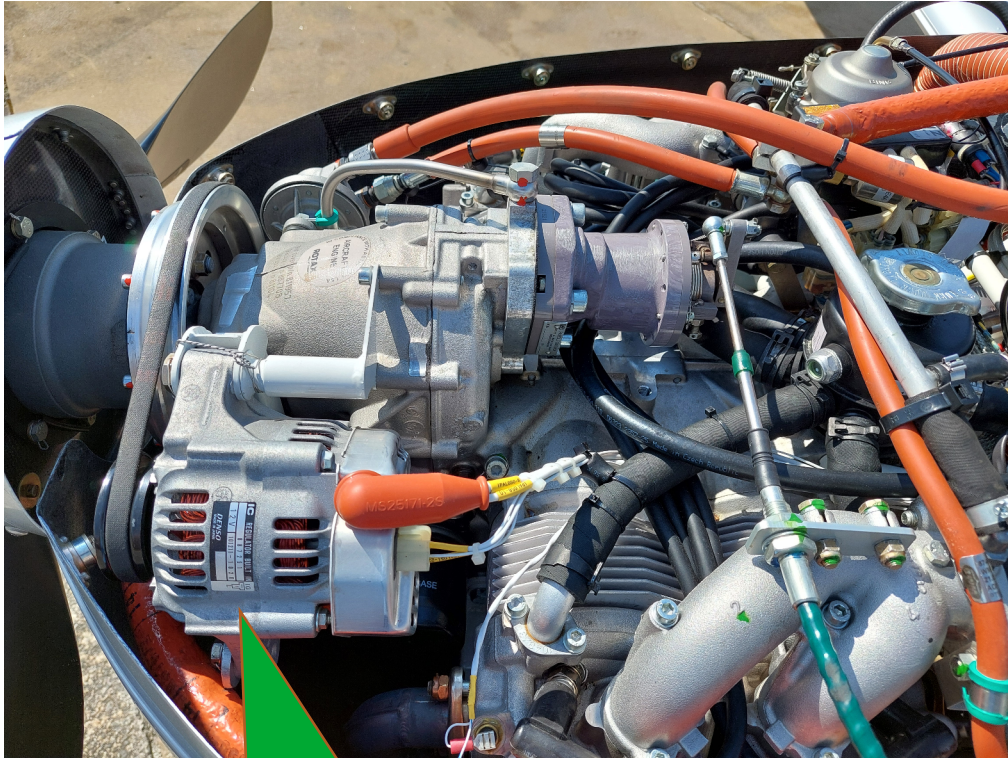
Pojistky, jističe



- Pojistky a jističe jsou elektrické přístroje, které vypnou elektřinu, dojde-li ke zvýšení proudu nad bezpečnou mez, či přímo ke zkratu.
- zabraňují možnému úrazu elektřinou či požáru. Nadproudem je myšlena hodnota proudu, která jakkoliv přesahuje jmenovitý proud předřazeného bezpečnostního prvku
- zatímco zkratový proud už jej přesahuje několikanásobně.



Zdroje el. energie v malém GA letadle



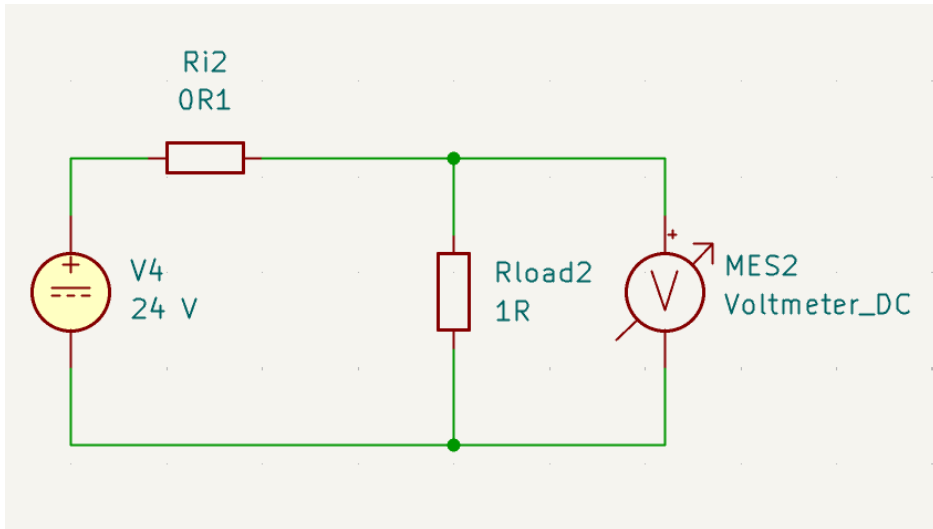
Alternátor ALT2



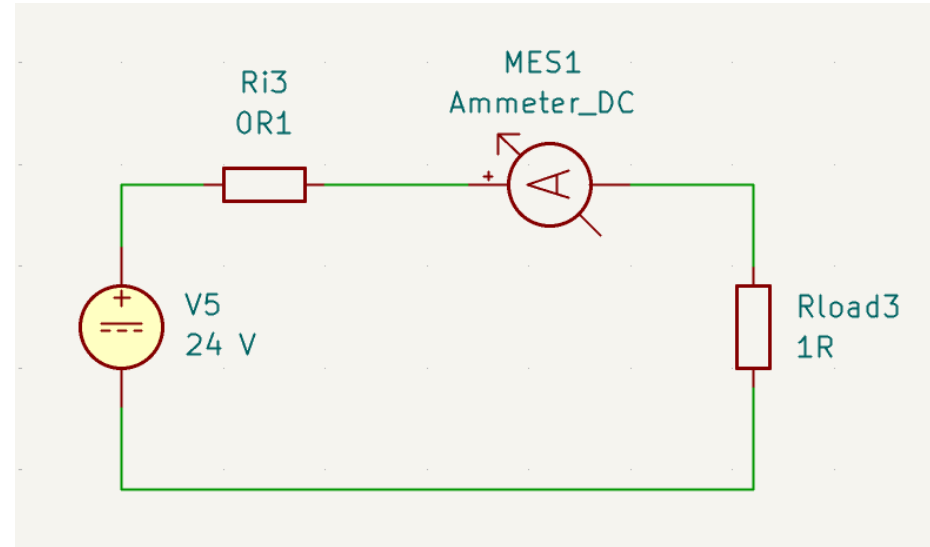
Hlavní baterie

Kondenzátor,
jeho velikost
měříme v μF ,
 nF , pF

Měření napětí a proudu

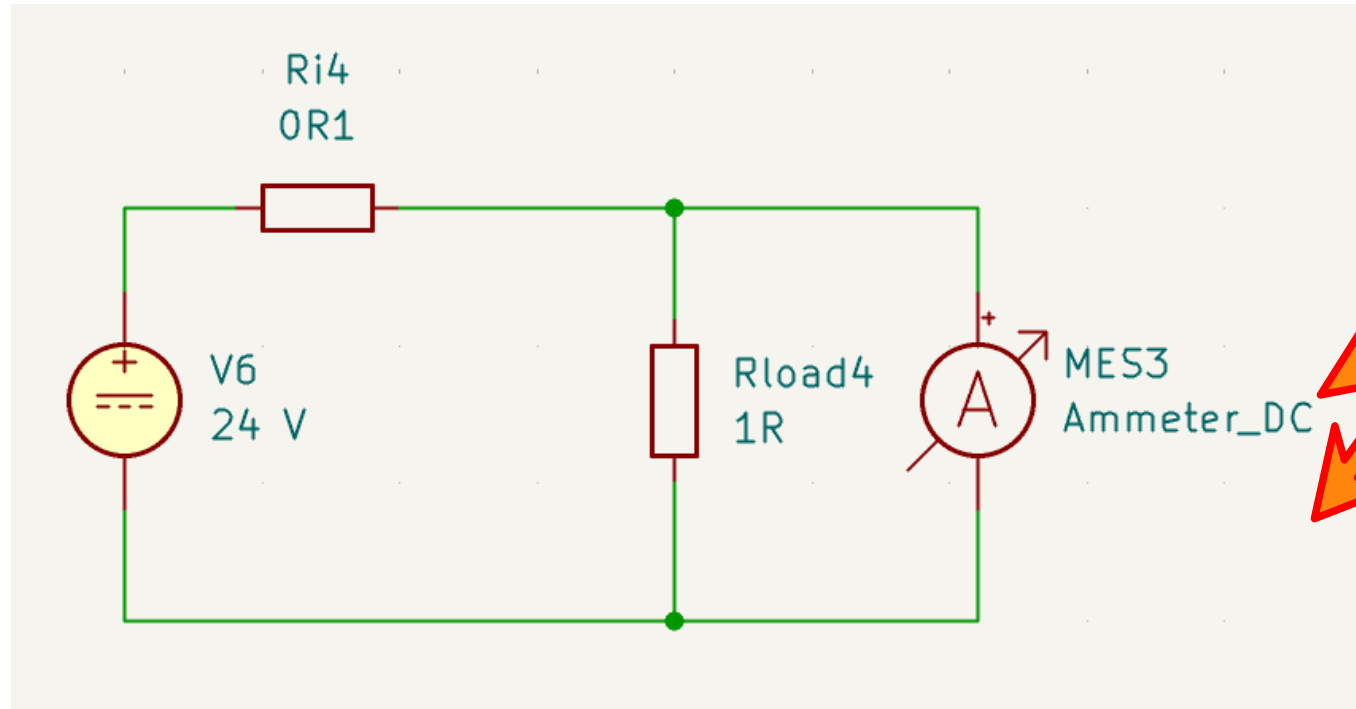


Voltmetr připojujeme
paralelně ke
spotřebiči



Ampérmetr
připojujeme sériově
ke spotřebiči

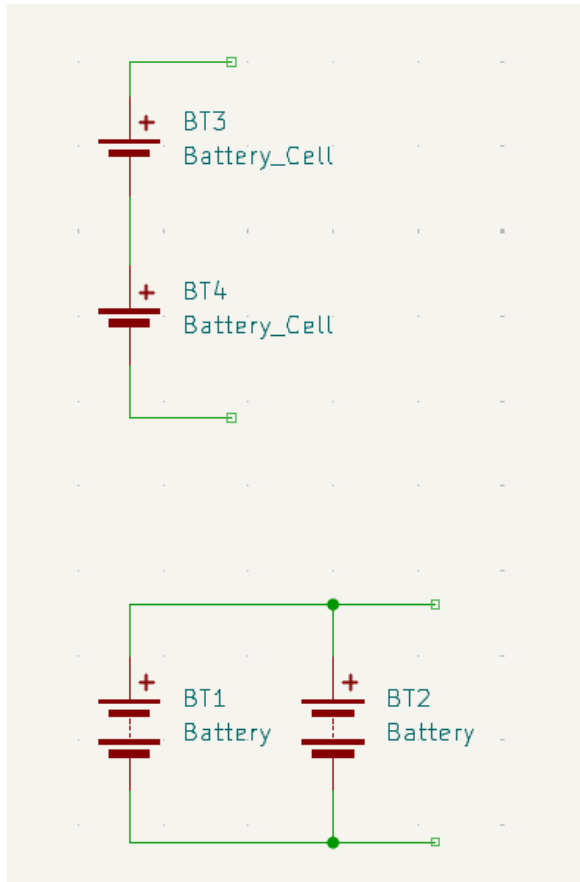
Jak NE !!!!!!!



Ampérmetr připojený paralelně ke spotřebiči (baterii) způsobí zkrat !!! A něco shoří.

Komu se to nestalo, ať zvedne ruku !!!

Sériové a paralelní spojování - zdroje



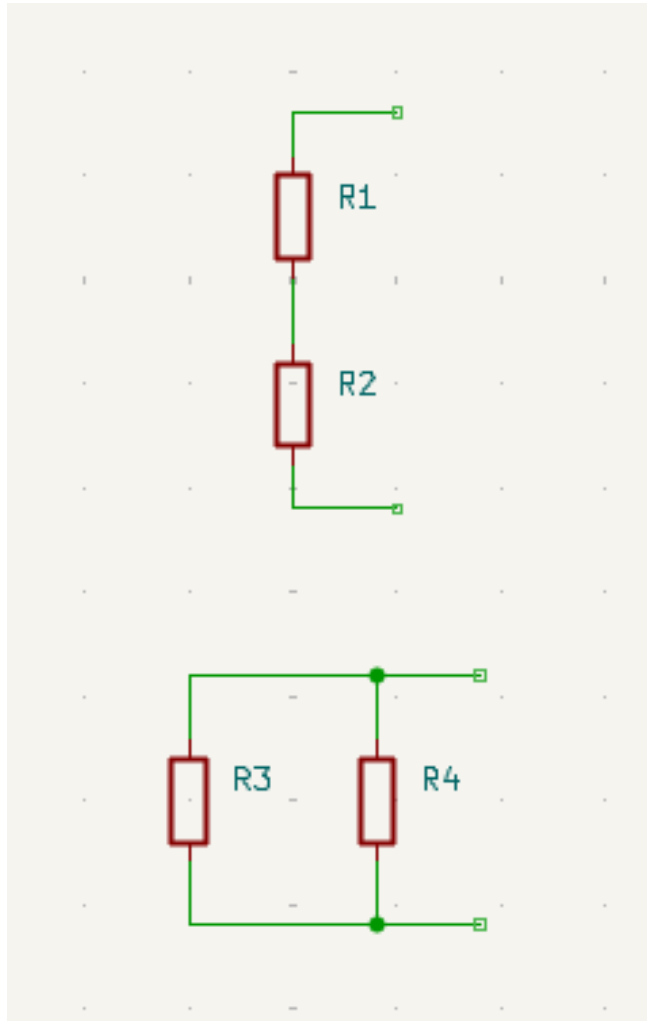
$$U_{total} = U_3 + U_4$$

Sériovým spojením zdrojů napětí zvyšujeme jejich celkové napětí. Např. 12V baterie má 6 článků o napětí 2V. Napětí se sčítají.

$$I_{total_{max}} = I_{1,max} + I_{2,max}$$

Paralelním spojením zdrojů napětí zvyšujeme jejich maximální proudovou schopnost. Musí mít stejné jmenovité napětí, jinak dojde k vyrovnávacím proudům.

Sériové a paralelní spojování - zátěže



$$R_{total} = R_1 + R_2$$

Výsledný odpor sériového zapojení rezistivních zátěží je roven součtu jejich dílčích odporů.

$$G_n = \frac{1}{R_n}$$

Výsledná vodivost paralelního zapojení rezistivních zátěží je roven součtu jejich vodivostí. Odebírané proudy se sčítají.

$$G_{total} = G_3 + G_4$$

$$R_{total} = \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4}$$

Střídavý proud

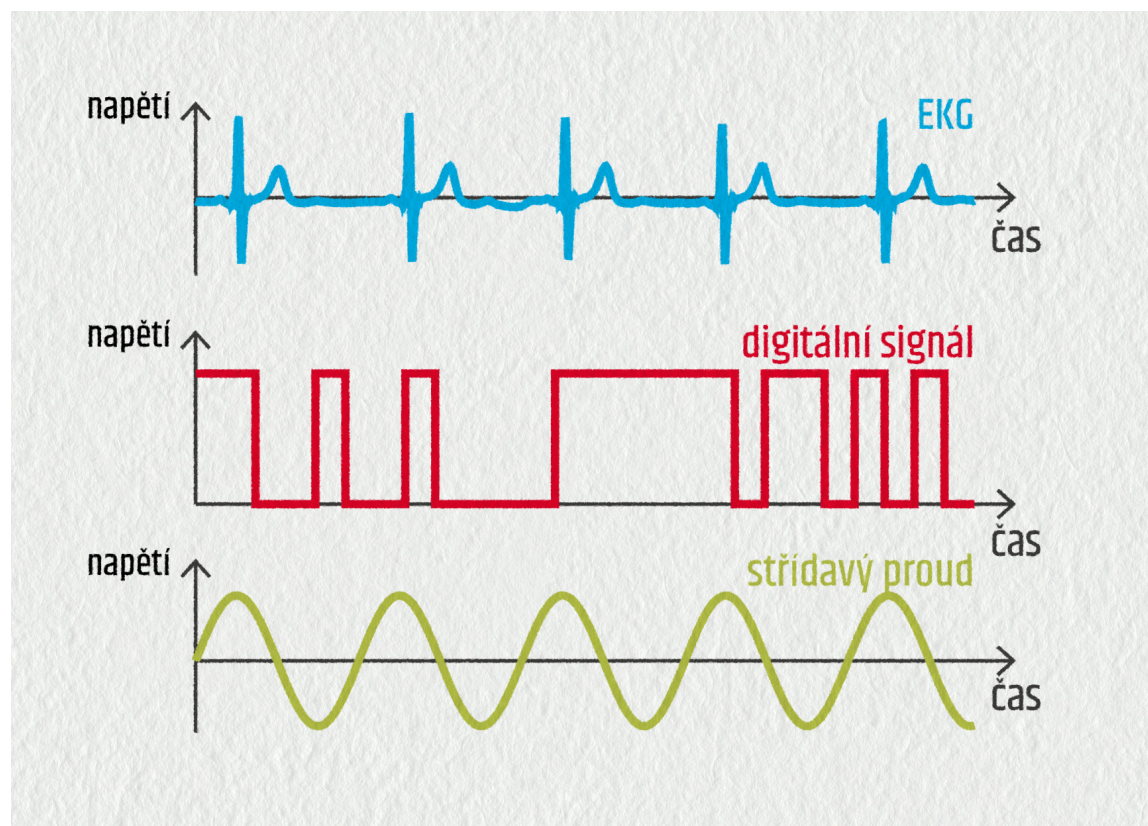


- Také AC z angl. Alternating Current
- Elektrický proud, který v čase mění směr svého toku a svou velikost
- Periodické průběhy mohou být například pilovité, obdélníkové nebo jiné.
- Proud s periodickým sinusovým průběhem se nazývá harmonický



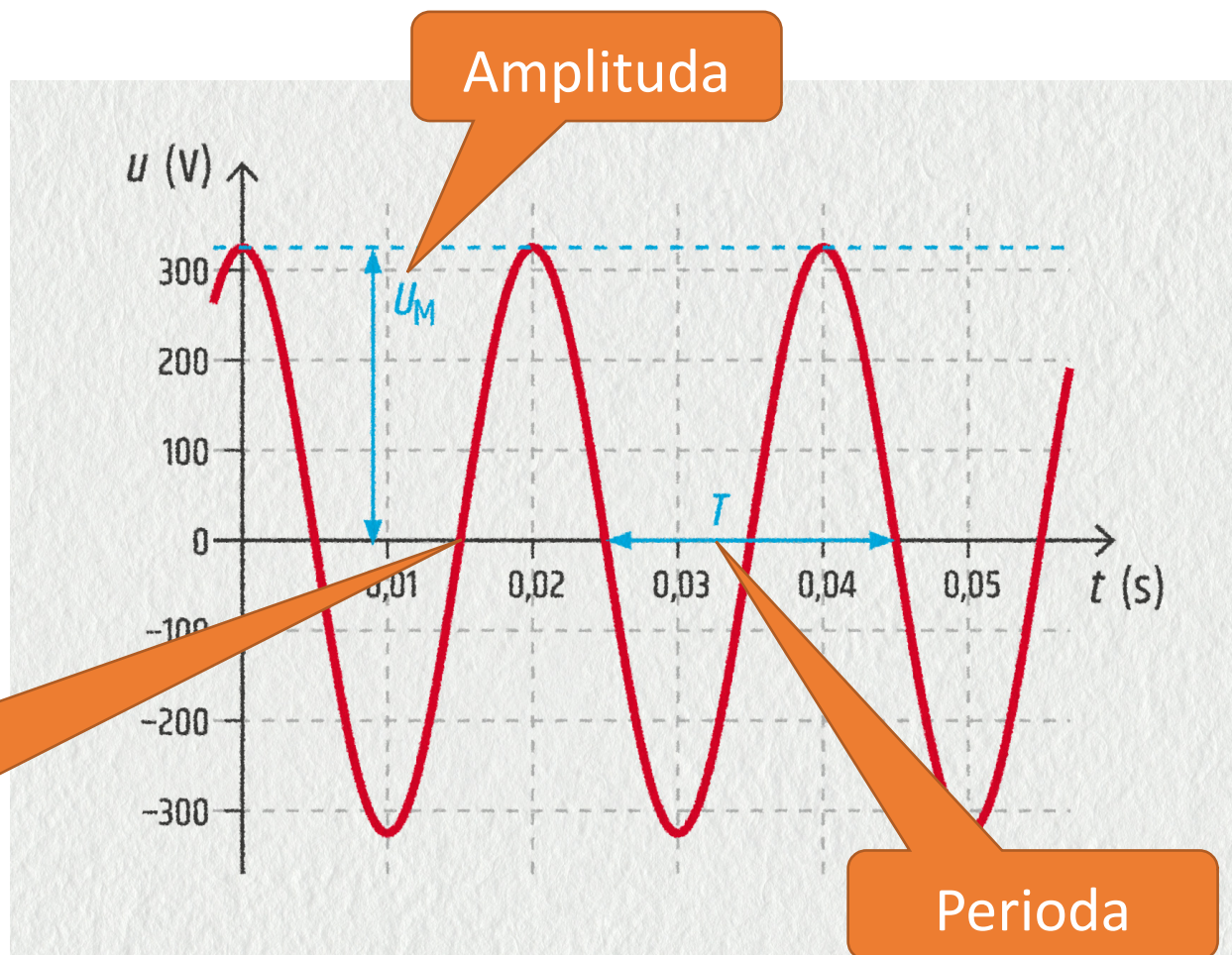
Střídavý proud

- Může mít různé průběhy
- Přenáší energii
- Může přenášet i informace – DATA, činnost srdce – EKG
- Může a nemusí mít nulovou střední hodnotu



Střídavý proud - parametry

- Amplituda
- Frekvence, perioda
- Fáze



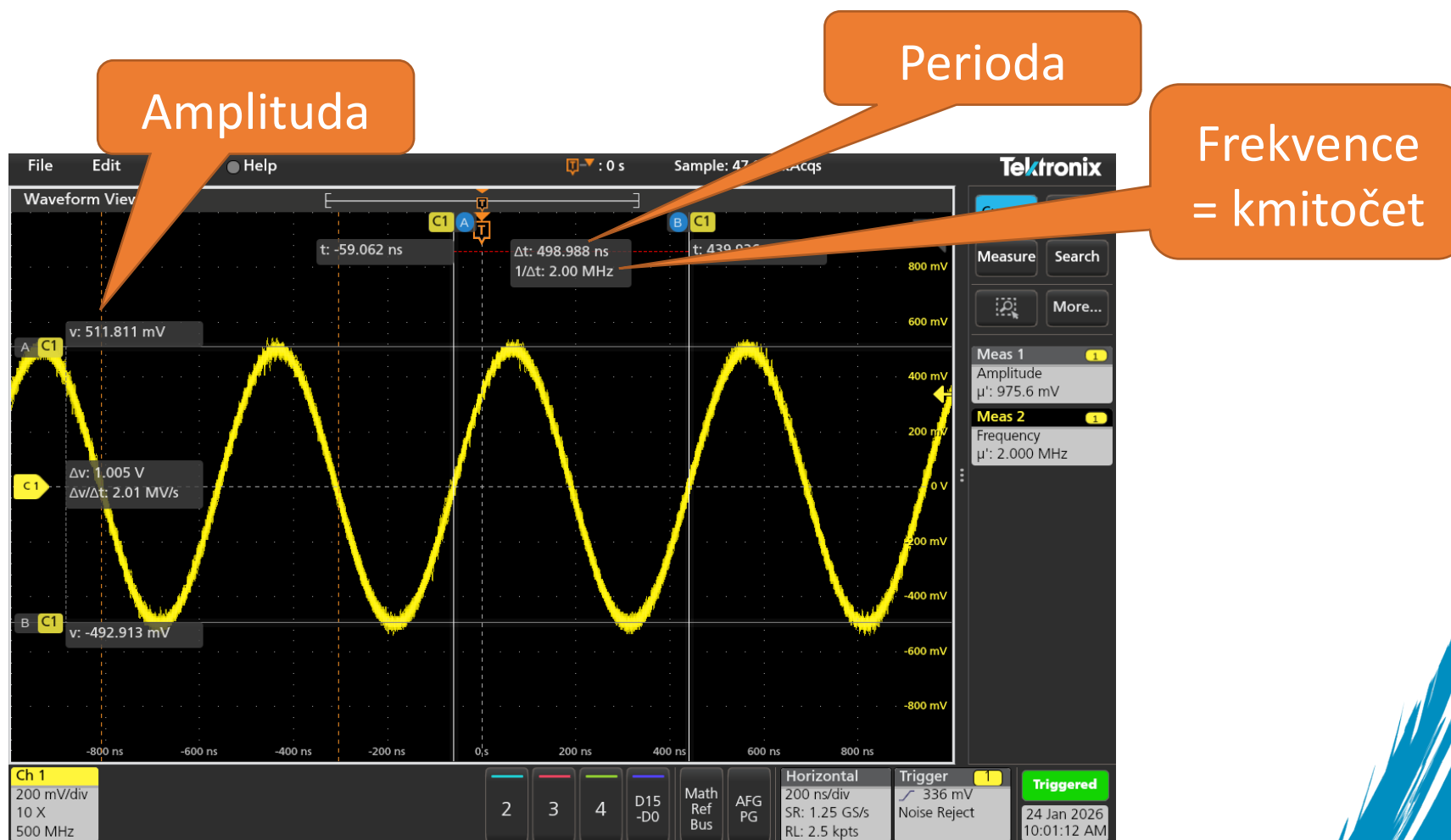
Posuv začátku grafu vůči nule souřadného systému je fáze

Perioda

Střídavý proud - parametry



- Amplituda
- Frekvence, perioda
- Fáze



Jiný - střídavý proud

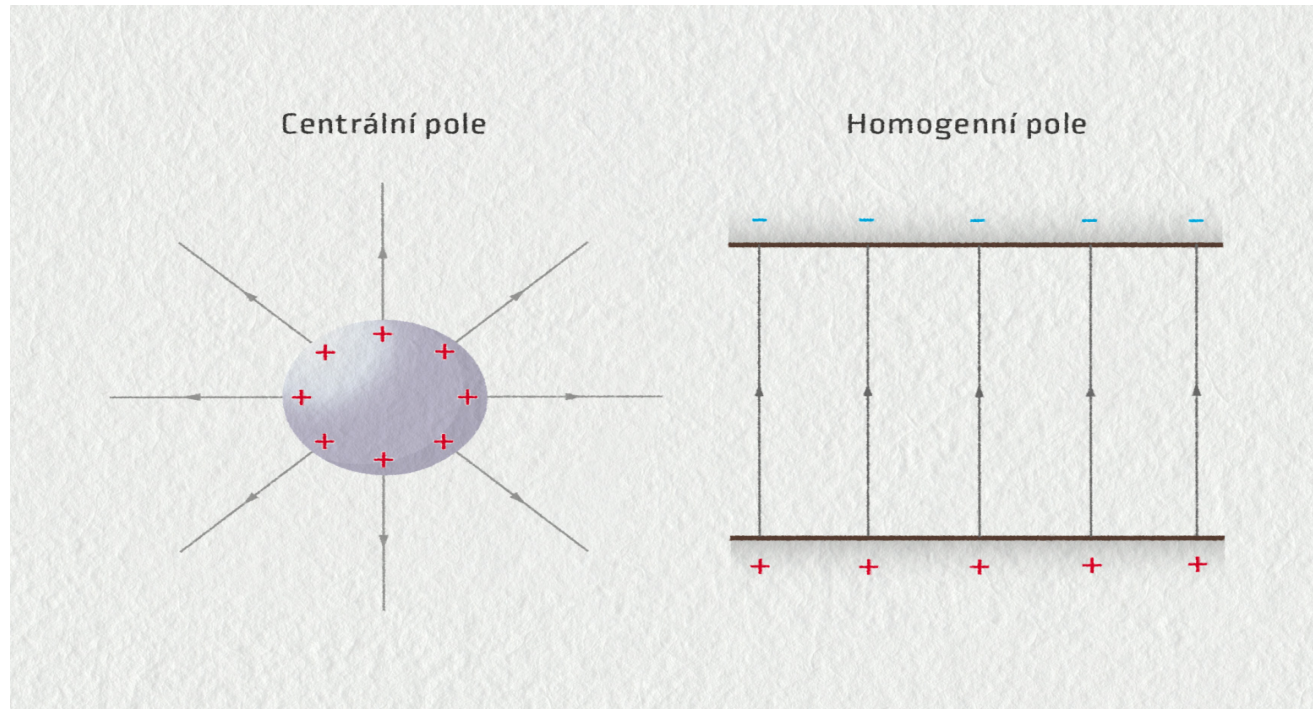


- Dá se měřit
- Kardiogram
- QRS vlna
- Naše kardiogramy jsou na CAA

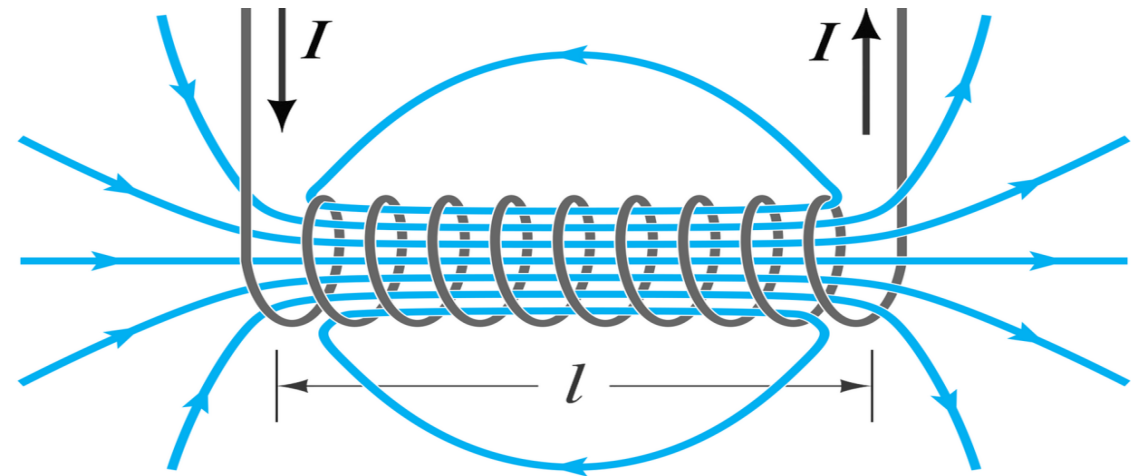
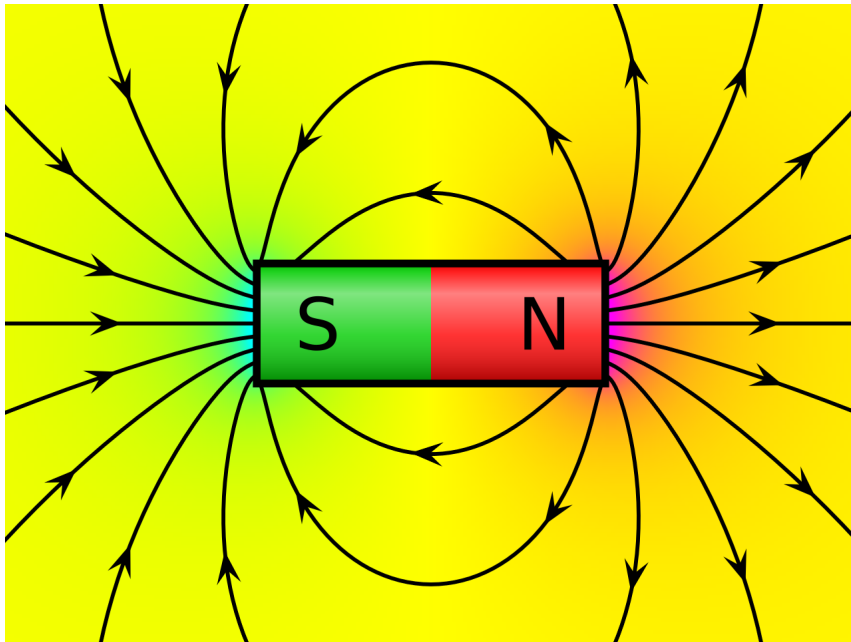


Otázka: Jaká je tepová frekvence sejmutého kardiogramu srdce?

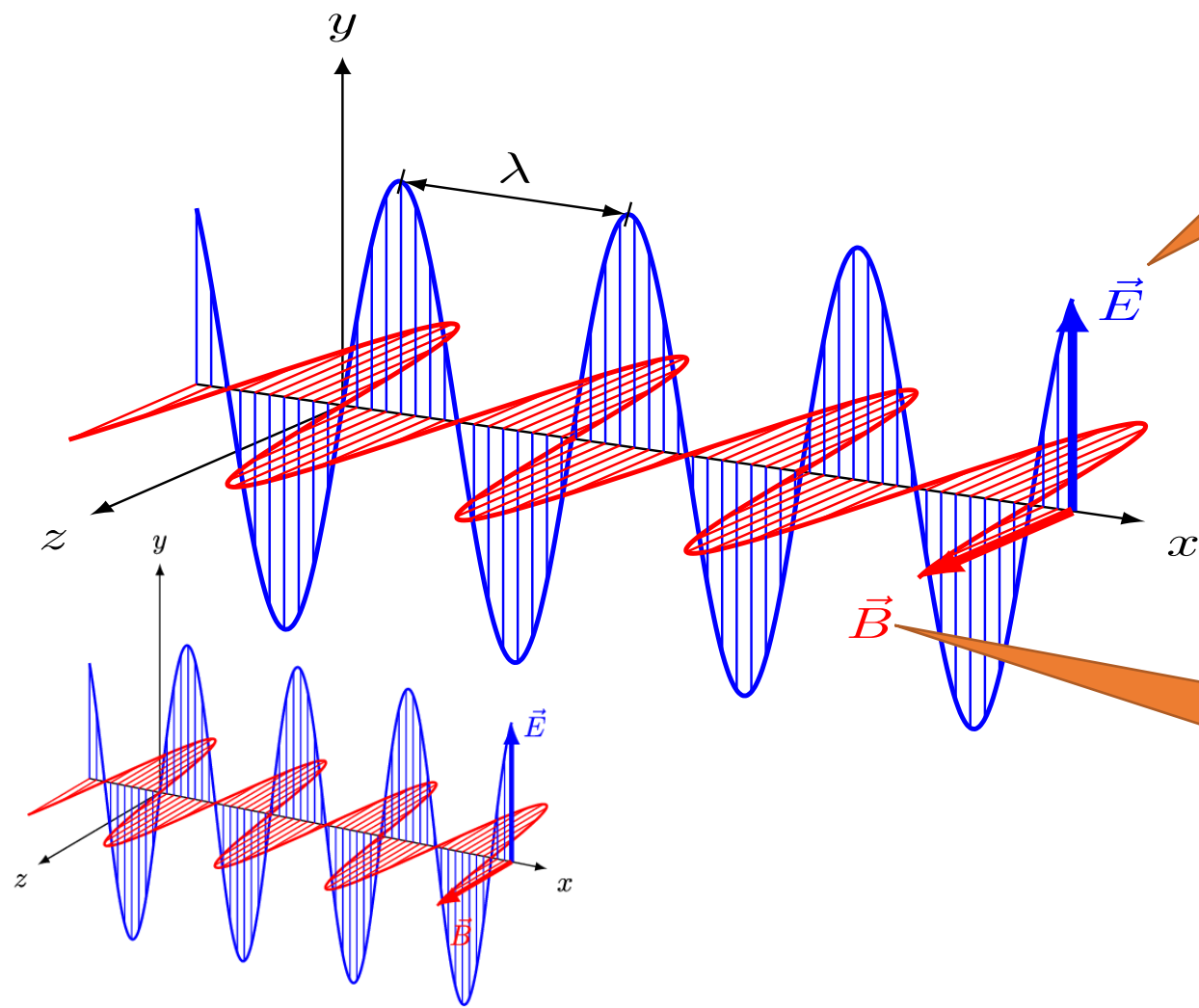
Elektrické pole



Magnetické pole



Elektro-magnetické pole a vlna

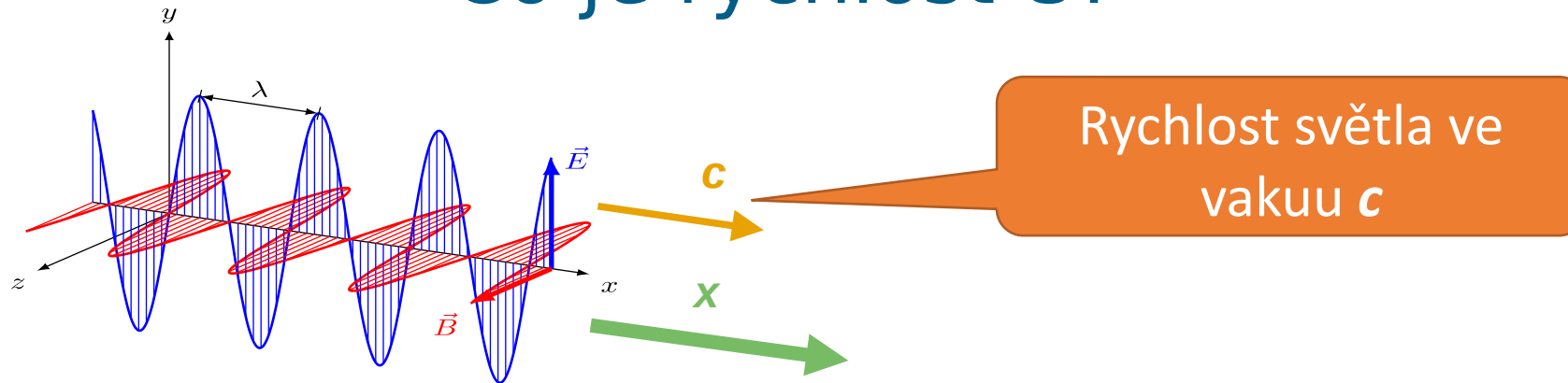


Vektor intenzity
elektrického pole E

Vlna TEM si to valí
prostorem ve směru
osy x rychlostí c

Vektor intenzity
magnetického Pole B

Co je rychlost c ?



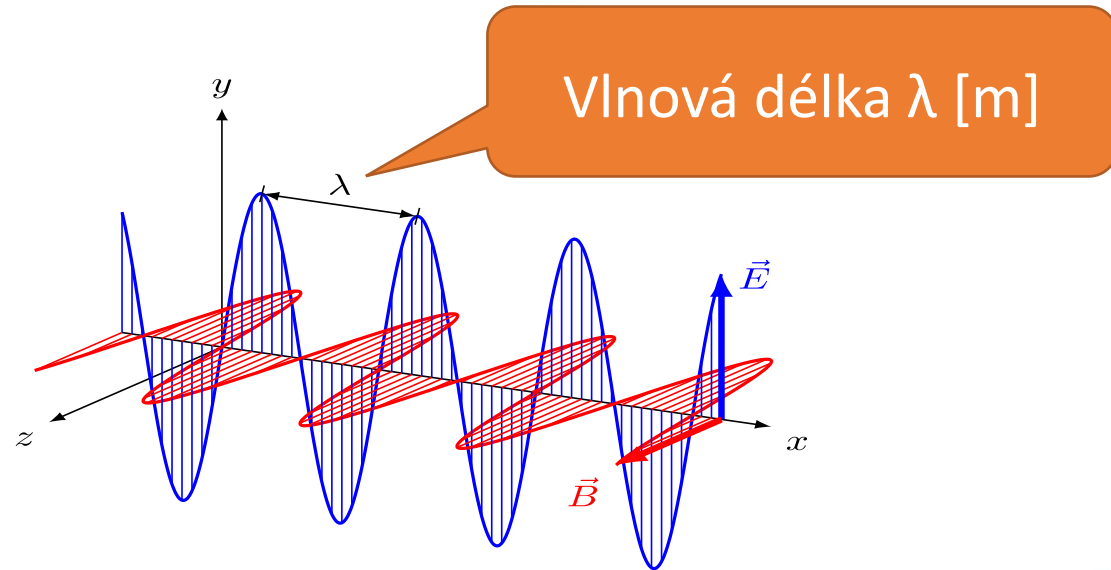
Rychlost světla ve vakuu (též světelná rychlost), značka c , je fyzikální konstanta s přesnou hodnotu 299 792 458 metrů za sekundu.

Rychlostí c se šíří elektromagnetická vlna ve vakuu a také s technickou přesností ve vzduchu.

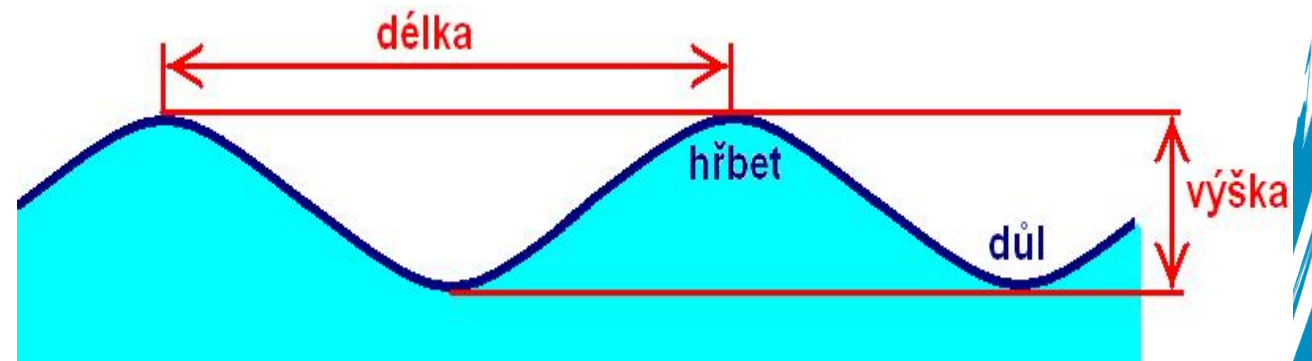
Rychlost c je nejvyšší rychlostí šíření informace.

$$c = 300\,000 \text{ km/s} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Elektro-magnetické pole a vlna



Analogie s vodní vlnou

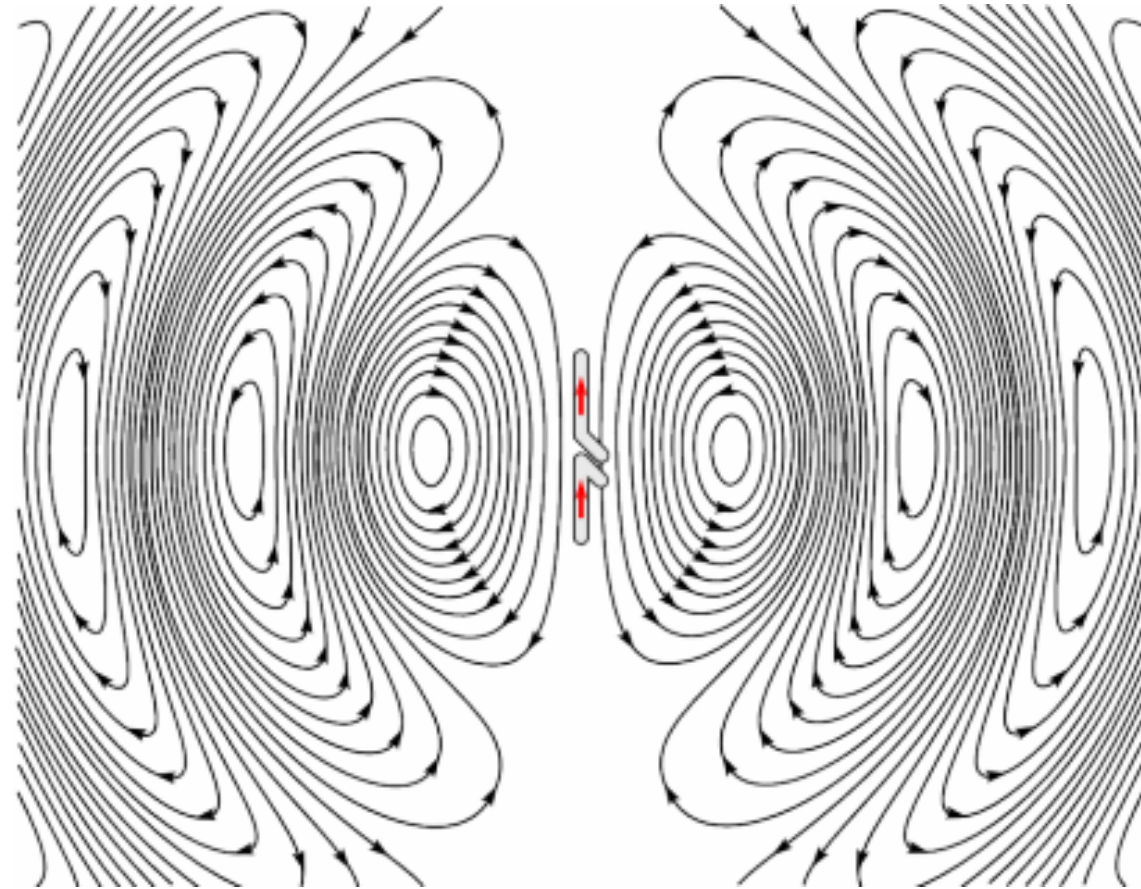
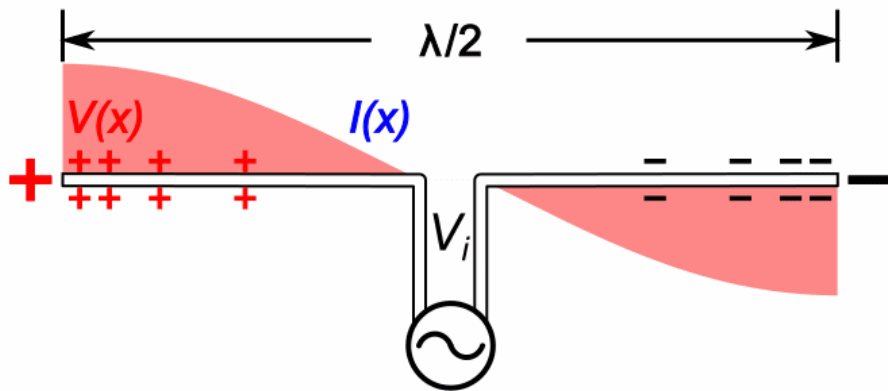


$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{300}{f} \quad [\text{m}; \text{MHz}]$$

Elektro-magnetické pole vznik



Napájený dipól nám vytvoří anténu



Radiotechnika

www.budupilotem.cz



Kmitočtová pásma



Název pásma	<u>Zkratka</u>	Značení <u>ITU</u>	<u>Frekvence</u> <u>Vlnová délka</u>	Příklady využití
<u>Velmi nízká frekvence</u>	VLF	4	3–30 kHz 100 km – 10 km	Komunikace s ponorkami, bezdrátové měřiče <u>pulsu</u>
<u>Nízká frekvence</u>	LF	5	30–300 kHz 10 km – 1 km	<u>Navigace</u> , <u>časové</u> signály, <u>AM</u> vysílání (<u>dlouhé vlny</u>)
<u>Střední frekvence</u>	MF	6	300–3000 kHz 1 km – 100 m	AM vysílání (<u>střední vlny</u>), ADF
<u>Vysoká frekvence</u>	HF	7	3–30 MHz 100 m – 10 m	<u>Krátkovlnné</u> vysílání a <u>amatérské rádio</u>
<u>Velmi vysoká frekvence</u>	VHF	8	30–300 MHz 10 m – 1 m	<u>FM</u> rádiové (<u>velmi krátké vlny</u> ; <u>Televizní vysílání</u> a radioamatérské vysílání, letecká komunikace, VOR, ILS

Kmitočtová pásma



Název pásma	<u>Zkratka</u>	Znač ní <u>ITU</u>	<u>Frekvence</u> <u>Vlnová délka</u>	Příklady využití
<u>Ultra vysoká frekvence</u>	UHF	9	300–3000 MHz 1 m – 100 mm	<u>Televizní vysílání</u> , radioamatérské vysílání, <u>mobilní telefony</u> , <u>Wi-Fi</u> , komunikace typu země-vzduch nebo vzduch-vzduch, odpovídač SSR, DME
<u>Super vysoká frekvence</u>	SHF	10	3–30 GHz 100 mm – 10 mm	<u>Mikrovlnná</u> zařízení, Wi-Fi, většina moderních <u>radarů</u>
<u>Extrémně vysoká frekvence</u>	EHF	11	30–300 GHz 10 mm – 1 mm	<u>Radioastronomie</u> , vysokorychlostní mikrovlnný přenos dat

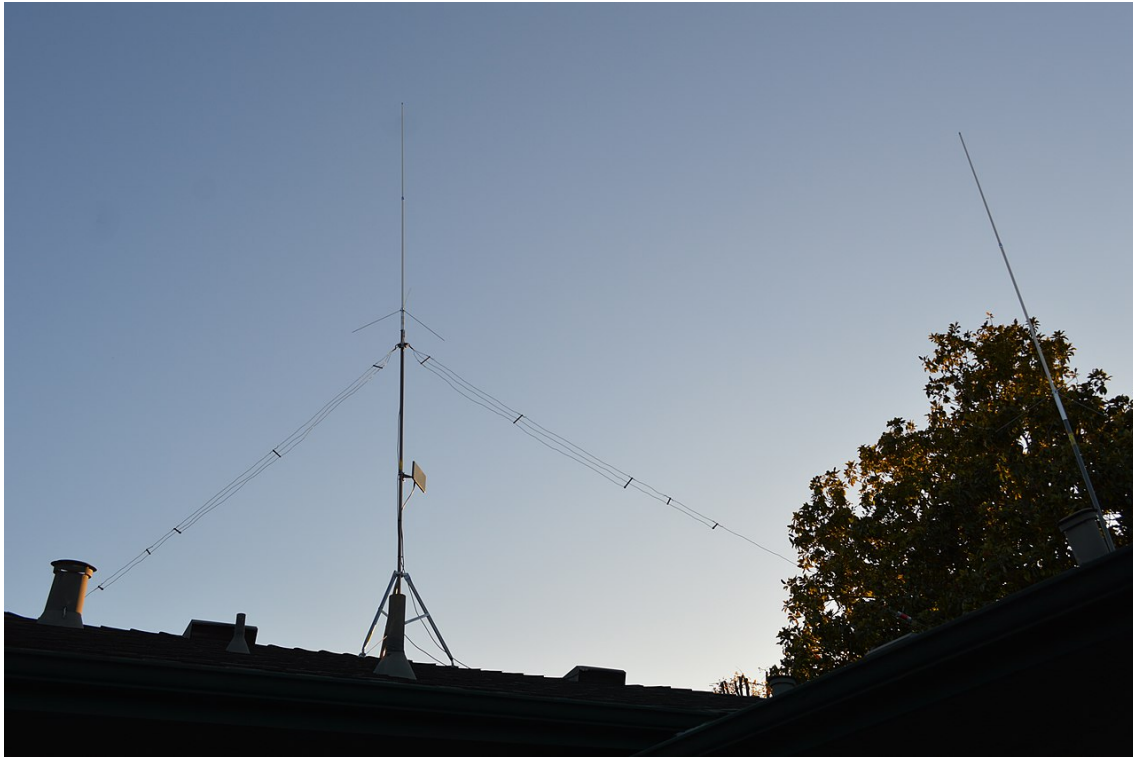
Co to je anténa



- **Anténa** je **elektrotechnické** zařízení pro příjem nebo vysílání **rádiových vln** (rádiového signálu).
- Antény jsou používány pro příjem **rozhlasu**, **televize**,
- Po roce 2000 jsou široce využívány pro **mobilní telefony** a **Wi-Fi** (bezdrátový přístup k **Internetu**).
- První anténu sestrojil v roce 1888 německý fyzik **Heinrich Hertz**.
- V roce 1895 započal **Guglielmo Marconi** vývoj antén pro reálný dálkový bezdrátový přenos signálů (**telegraf**).

zdroj Wikipedie

Příklady antén



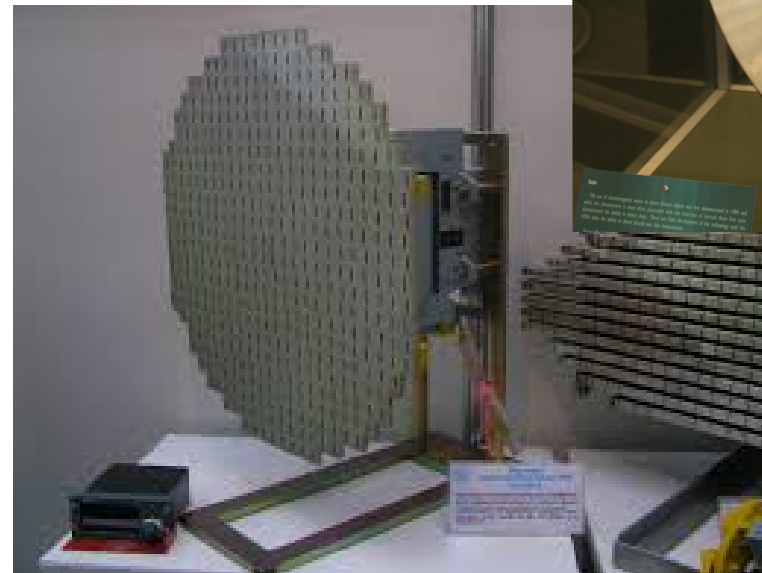
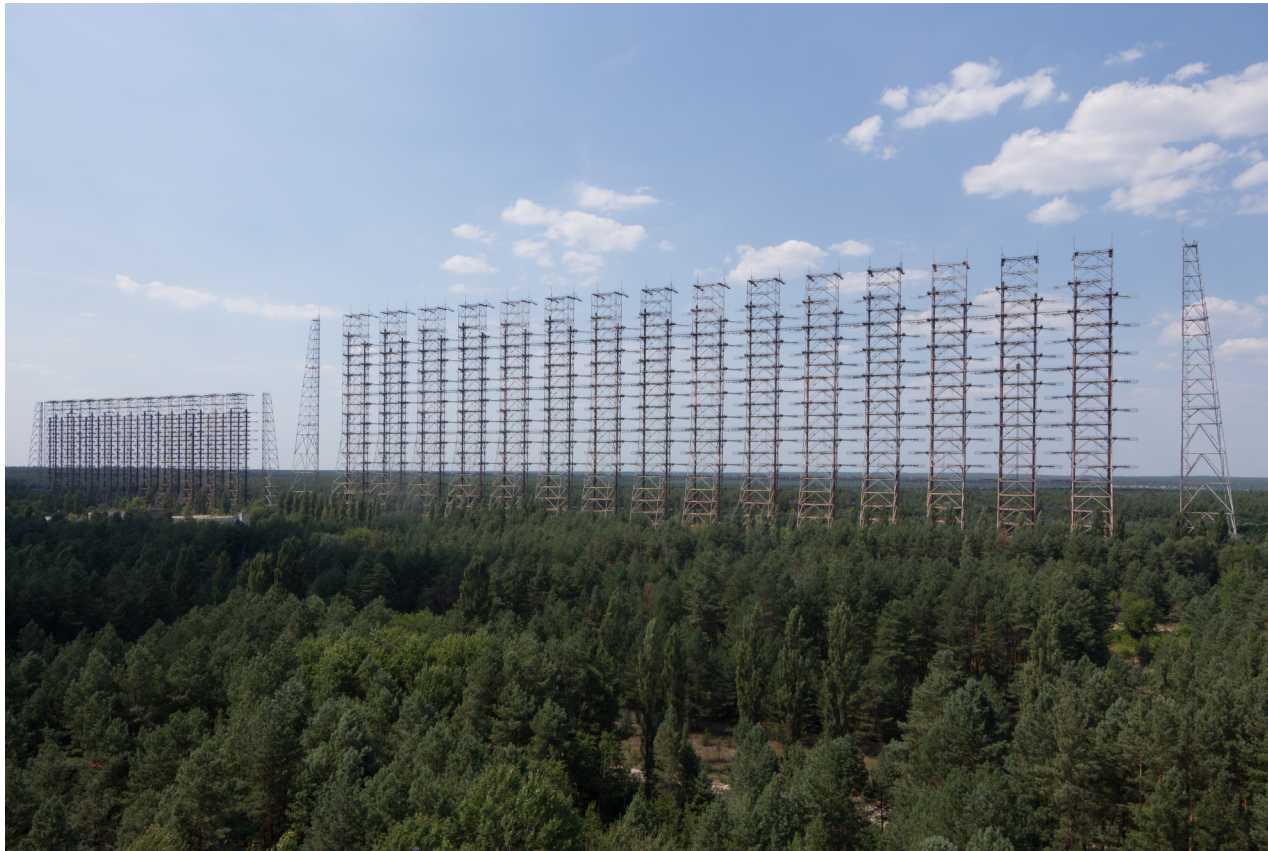
Příklady antén



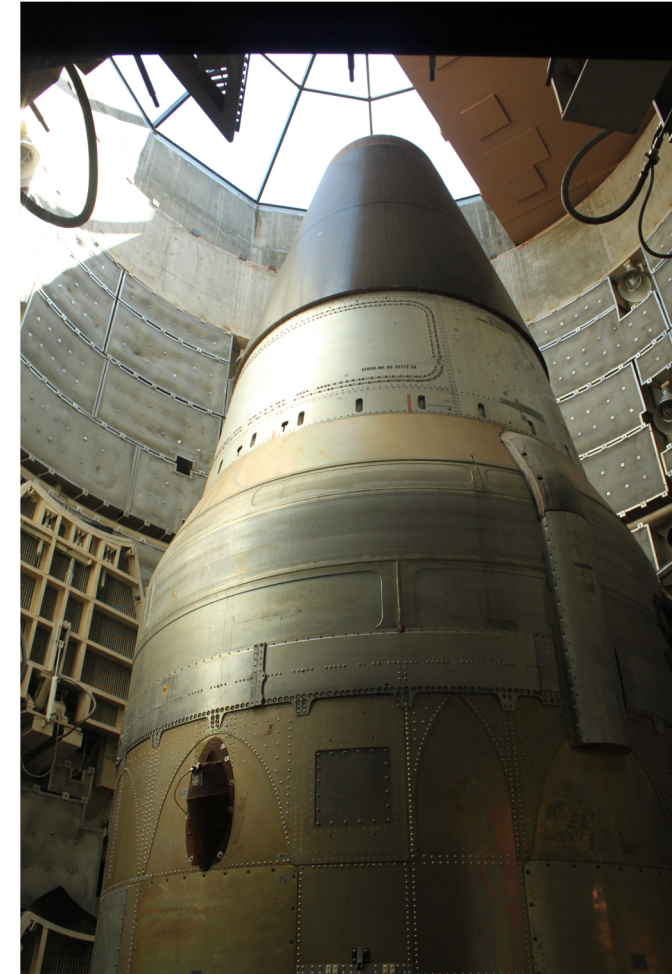
Příklady antén



Příklady antén



Příklady antén



Princip funkce antény

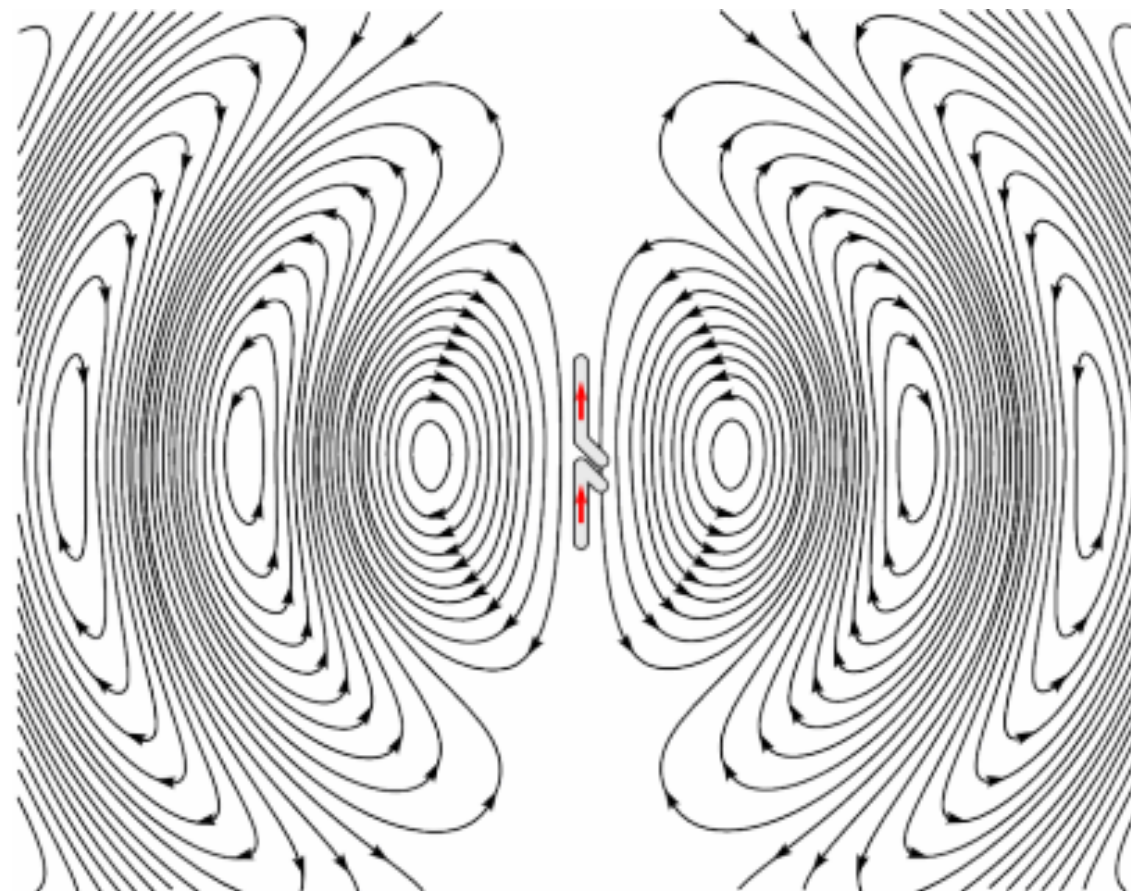
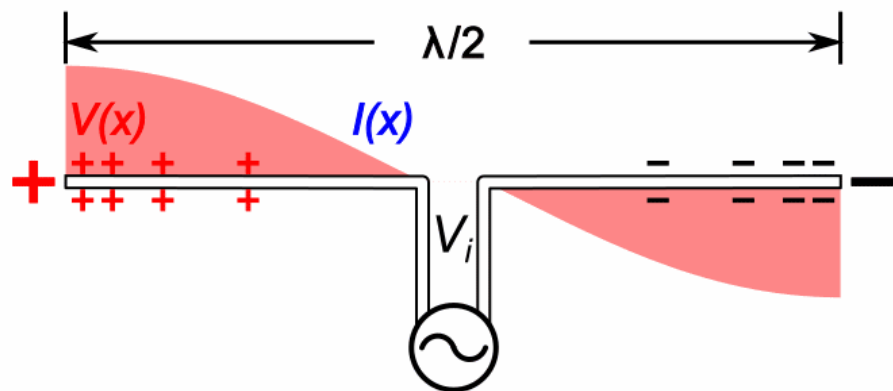


- Anténa je **rozhraním** mezi **rádiovými vlnami šířícími se prostorem** a **elektrickým proudem** tekoucím ve vedení
- Při **vysílání** dodává **rádiový vysílač** elektrický proud do **svorek antény** a anténa **vyzařuje energii** jako elektromagnetické vlny
- Při **příjmu** anténa **zachycuje část energie** rádiových vln, aby na **jejích svorkách vytvořila elektrický proud**

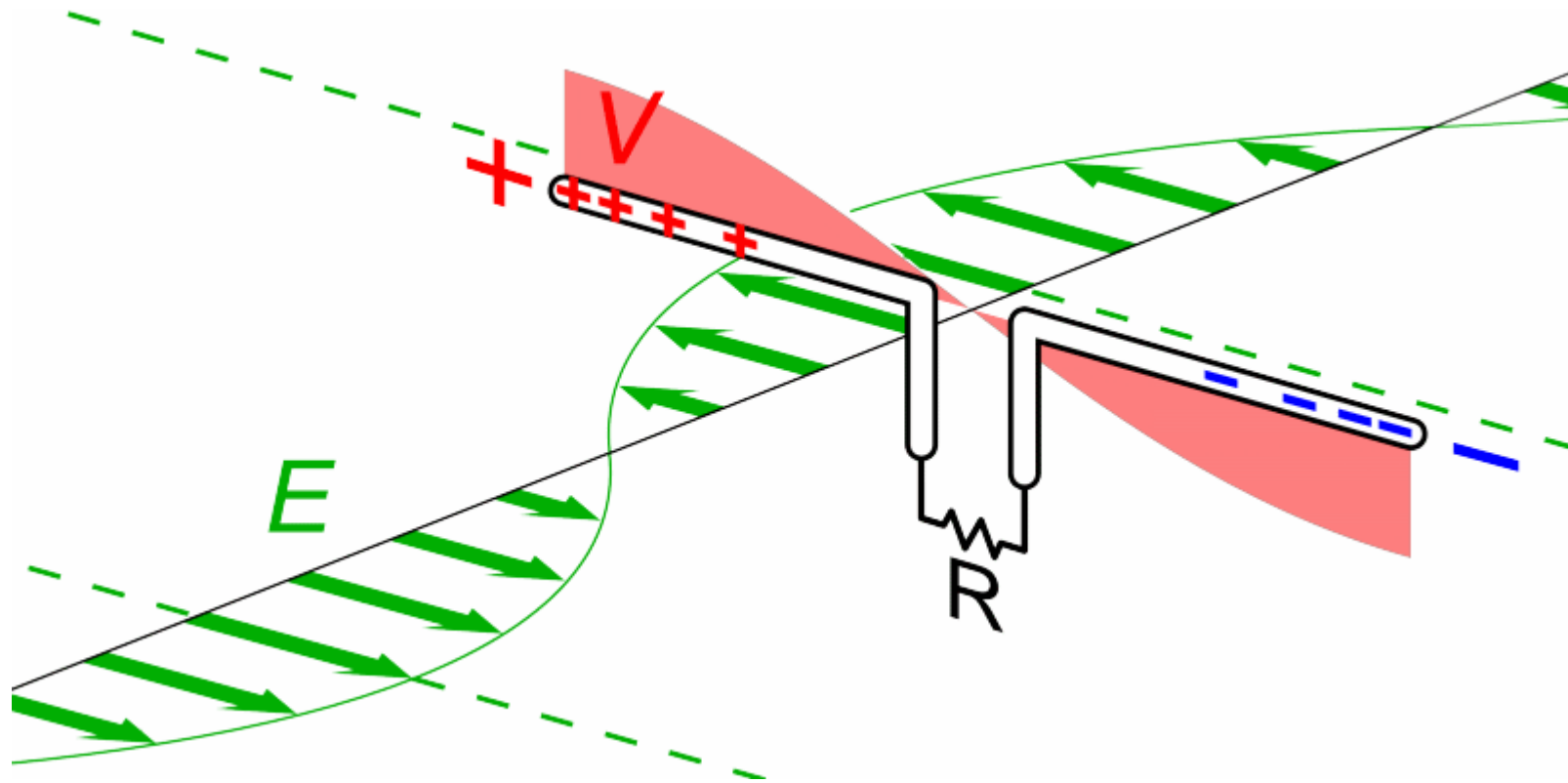
Princip funkce antény - vysílání



Napájený dipól nám vytvoří anténu



Princip funkce antény - příjem



Antény pro Velmi Krátké Vlny- VKV

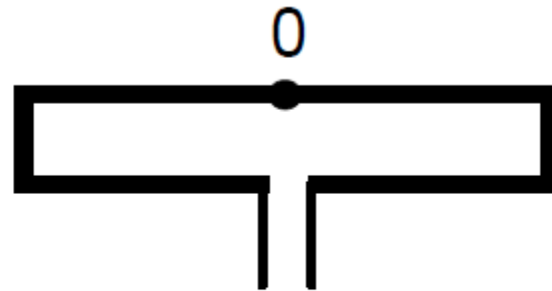


- Spojení prostorovou vlnou.
- Konstrukce musí umožnit montáž na vysoko položená místa a stožáry.
- Antény směrové i všesměrové.
- Často je žádána také kmitočtová širokopásmovost.
- Mnoho antén používaných Na VKV používáme i soustavy složené z více antén

Varianty dipólu na VKV:



a)



b)



c)

Antény pro VKV – Ground Plane



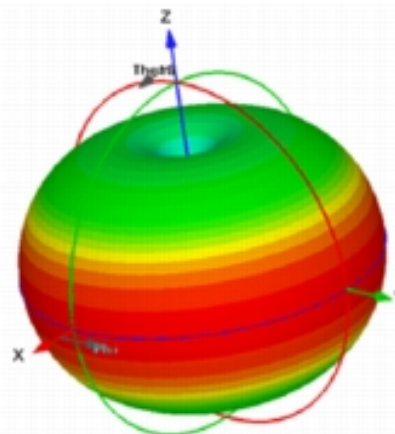
- Všesměrová
- Jednoduchá
- Impedance 50 Ω
- Vše má délku $\lambda/4$

Vyzařovací charakteristika dipólu

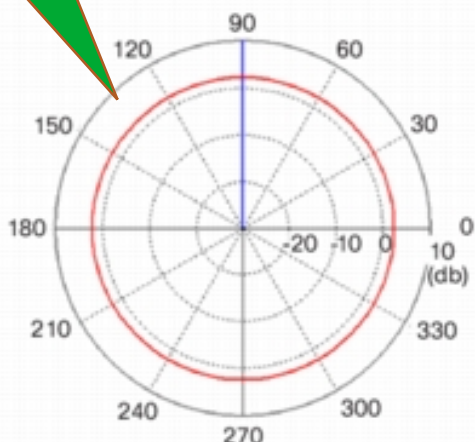
Vertikálně umístěný dipól má všesměrovou charakteristiku



(a) Dipole Antenna Model

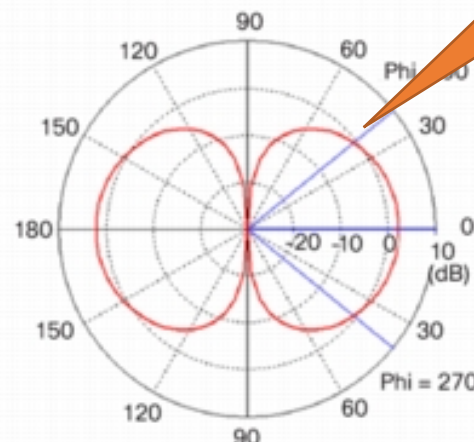
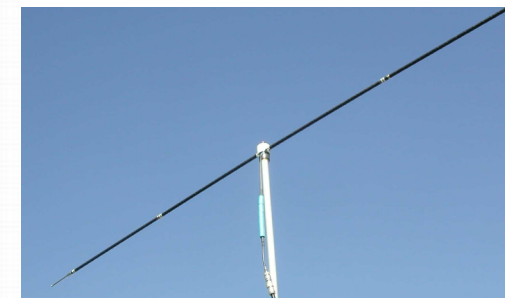


(b) Dipole 3D Radiation Pattern



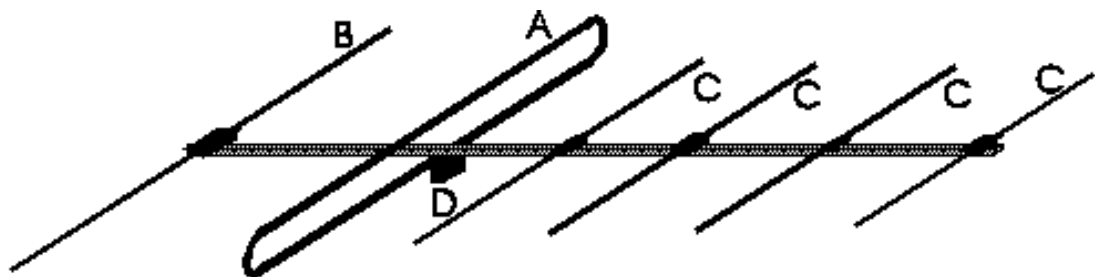
(c) Dipole Azimuth Plane Pattern

Horizontálně umístěný dipól má osmičkovou charakteristiku



(d) Dipole Elevation Plane Pattern

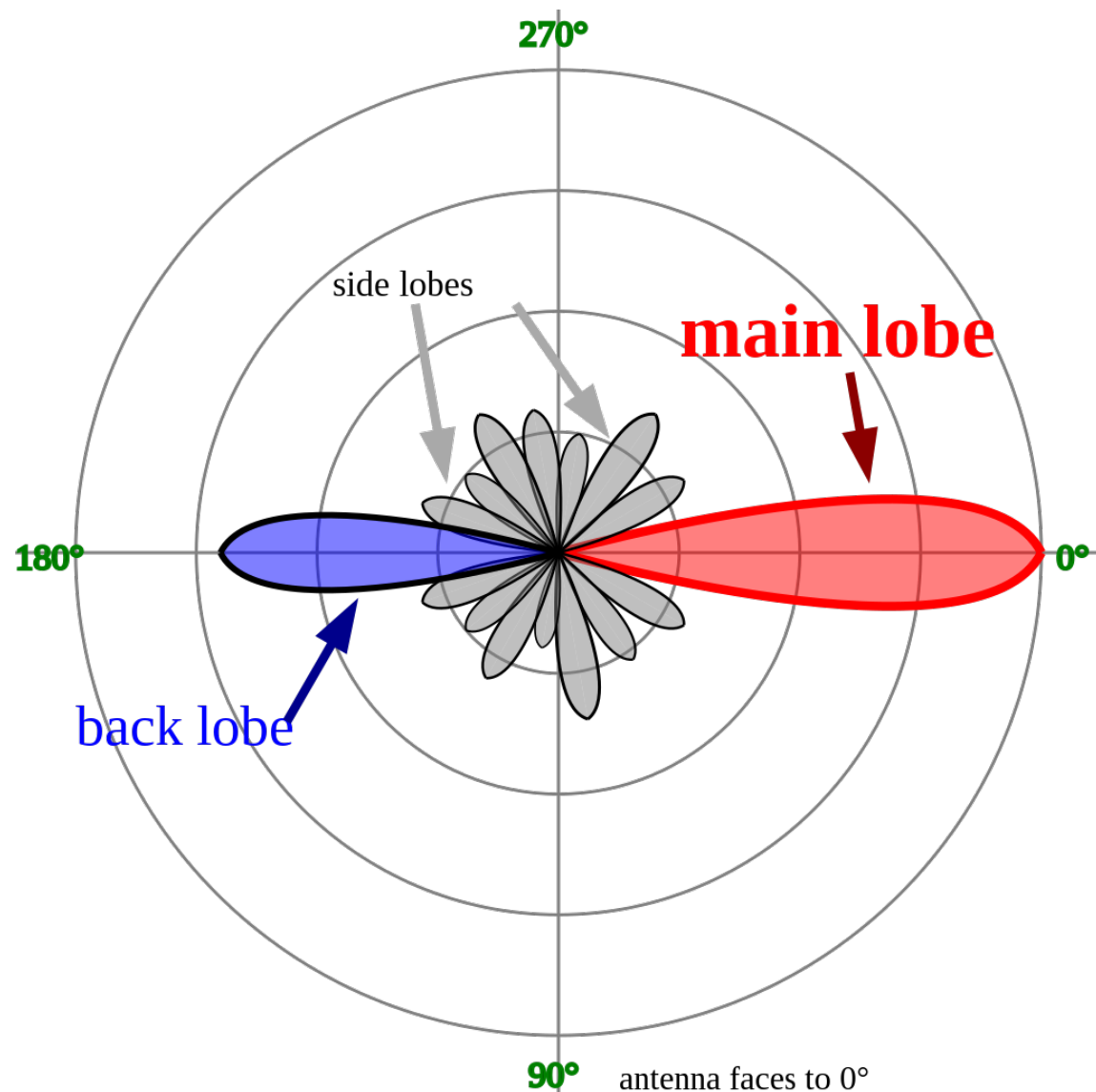
Antény pro VKV – Yagi Uda anténa



- Pole dipólů
- Vzájemná vazba prvků
- 1 ks zářič A
- 1 ks reflektor B
- X ks direktorů C
- I v soustavách

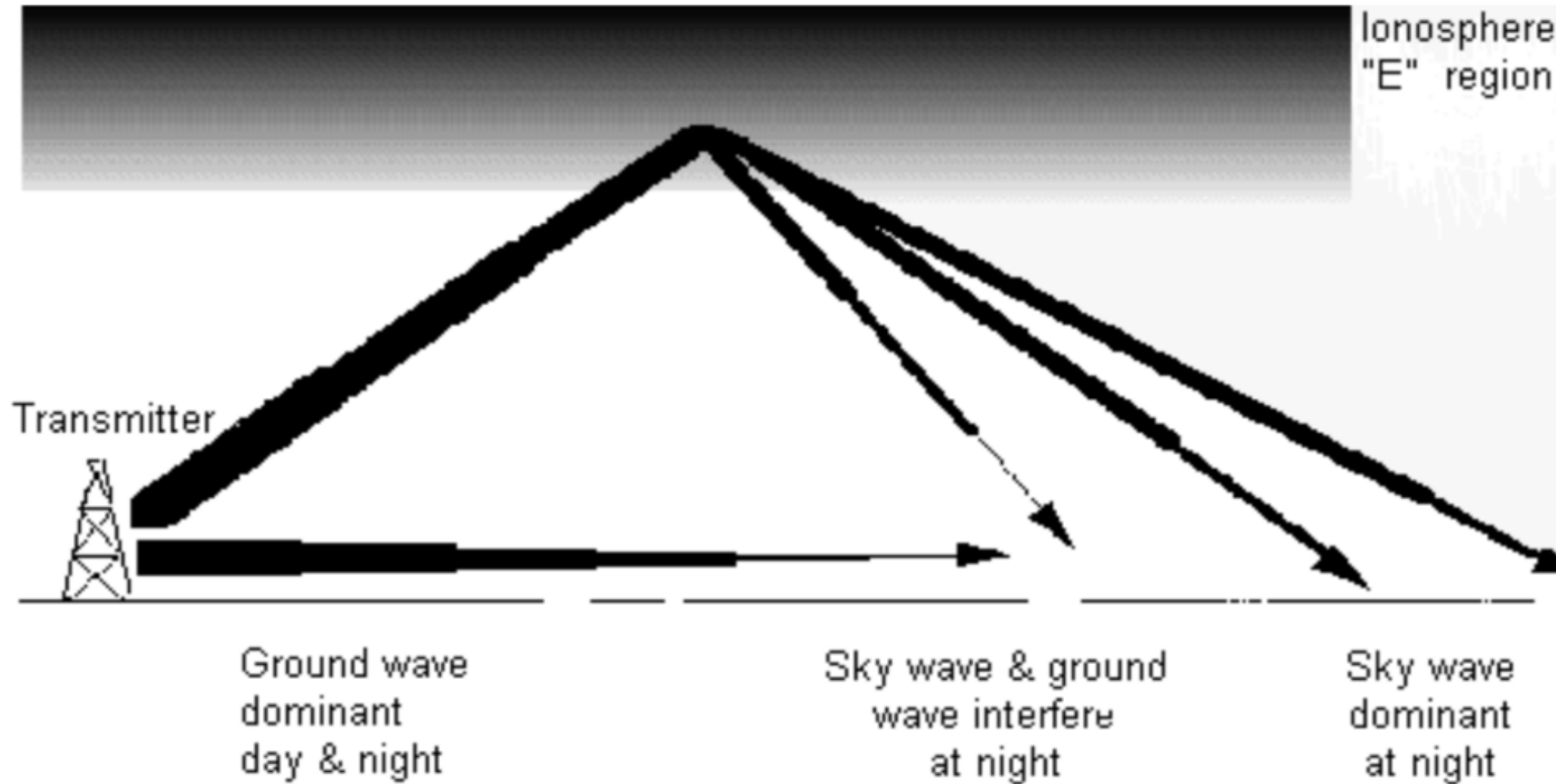


Yagi Uda anténa – směrovost

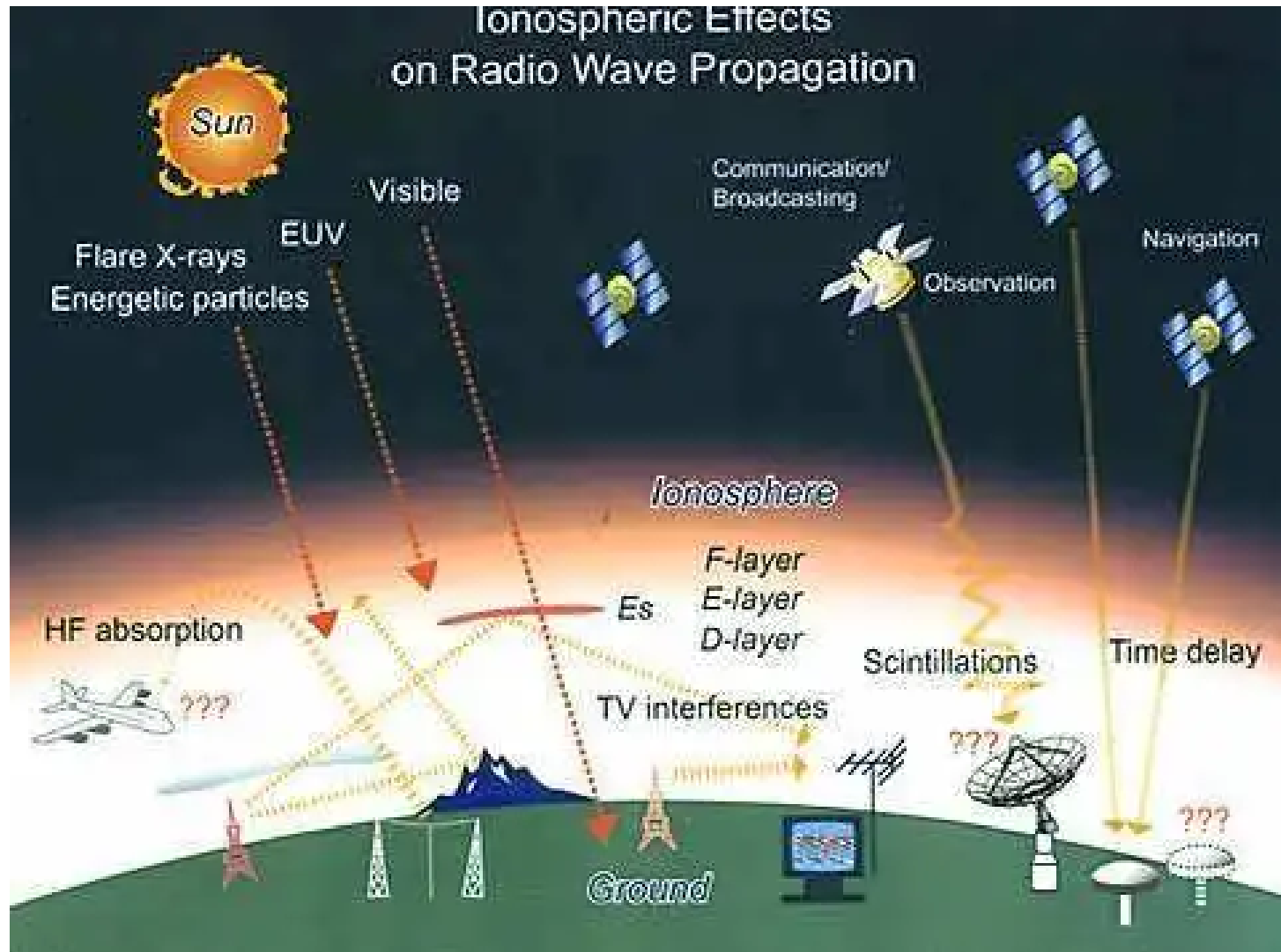


- Směrová charakteristika antény
- Charakteristika má laloky
- Hlavní lalok → zisk antény
- Zadní lalok → nežádoucí
- Boční laloky → nežádoucí

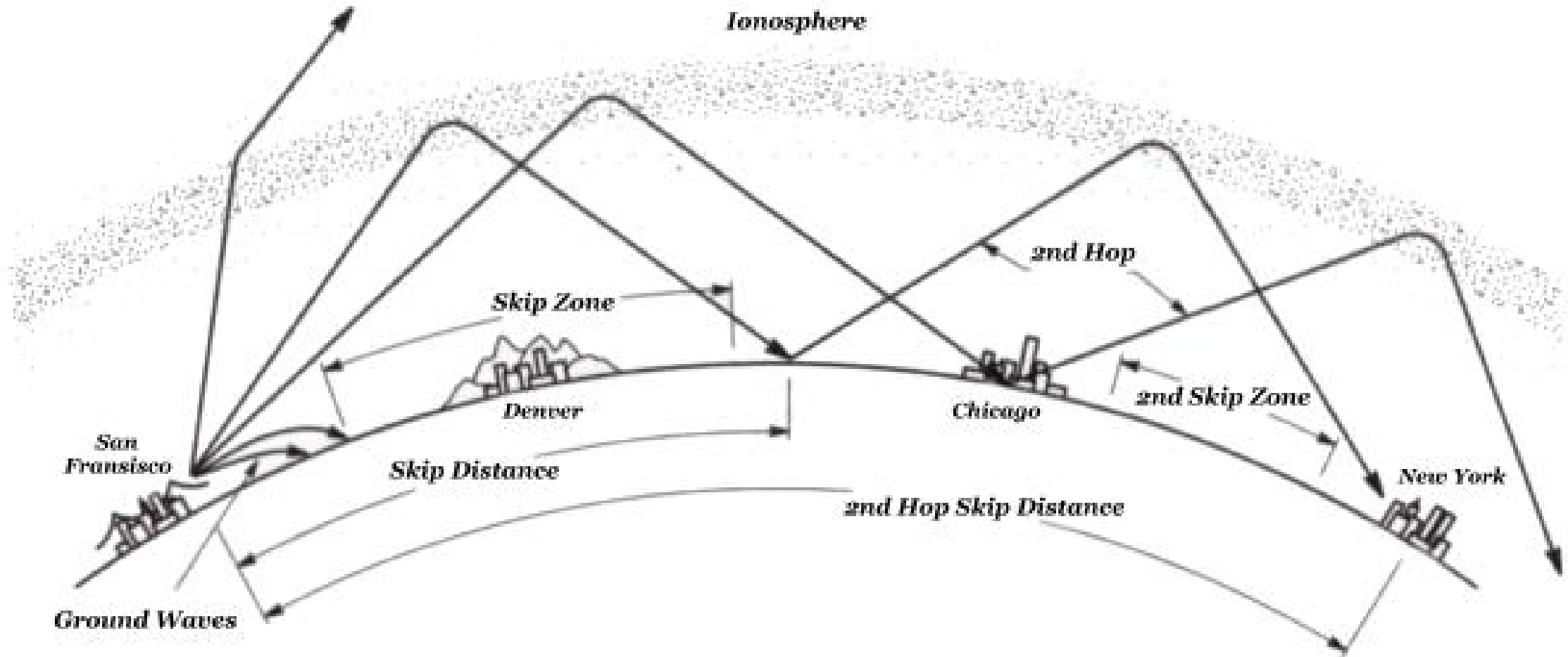
Šíření vln – SV, MW, 300 kHz až 3 MHz



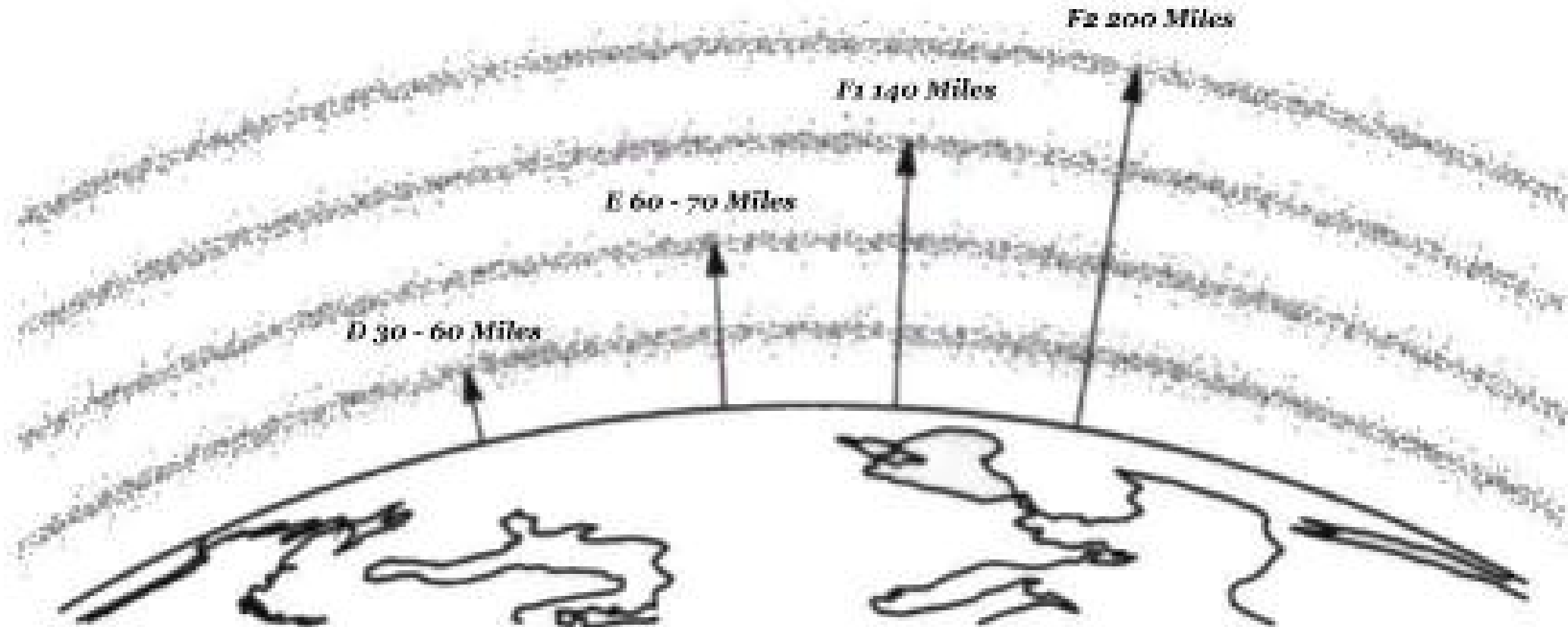
Šíření vln – vliv ionosféry



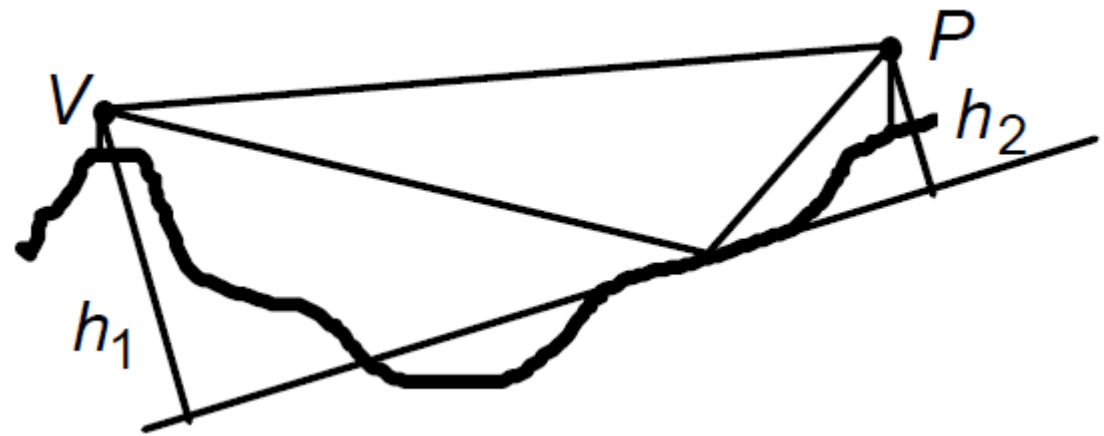
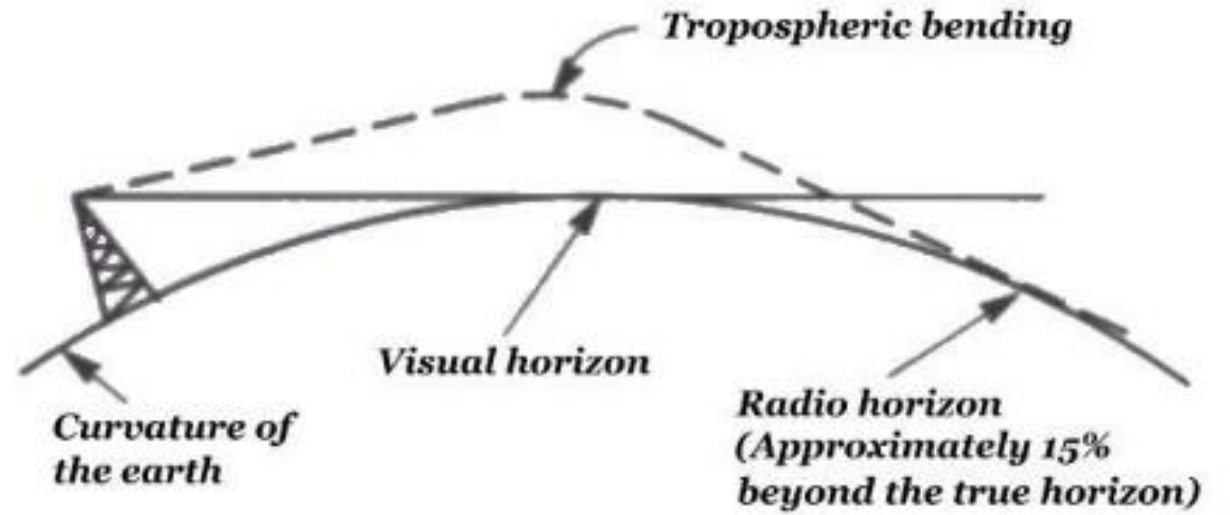
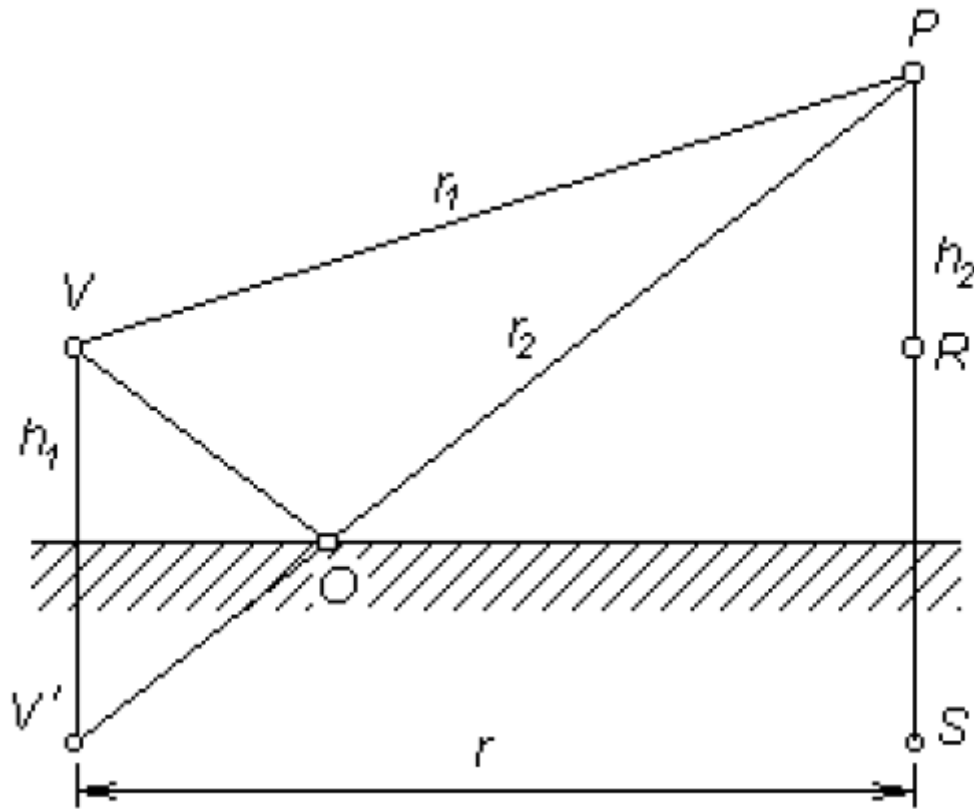
Šíření vln – KV, SW, HF; 3 MHz až 30 MHz



Šíření vln – KV, SW, HF; 3 MHz až 30 MHz

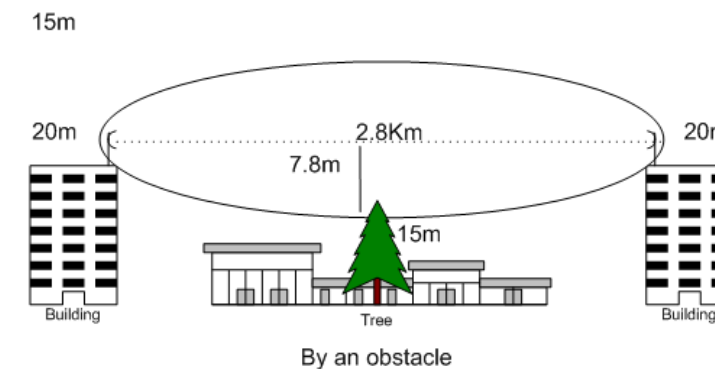
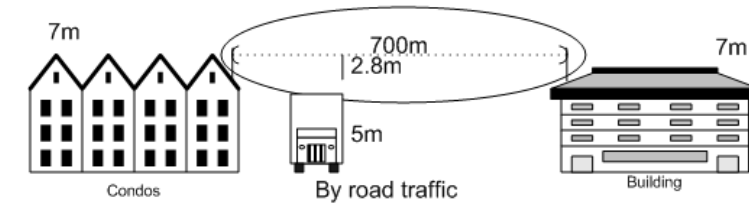
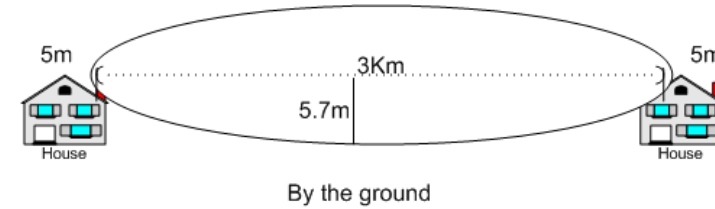
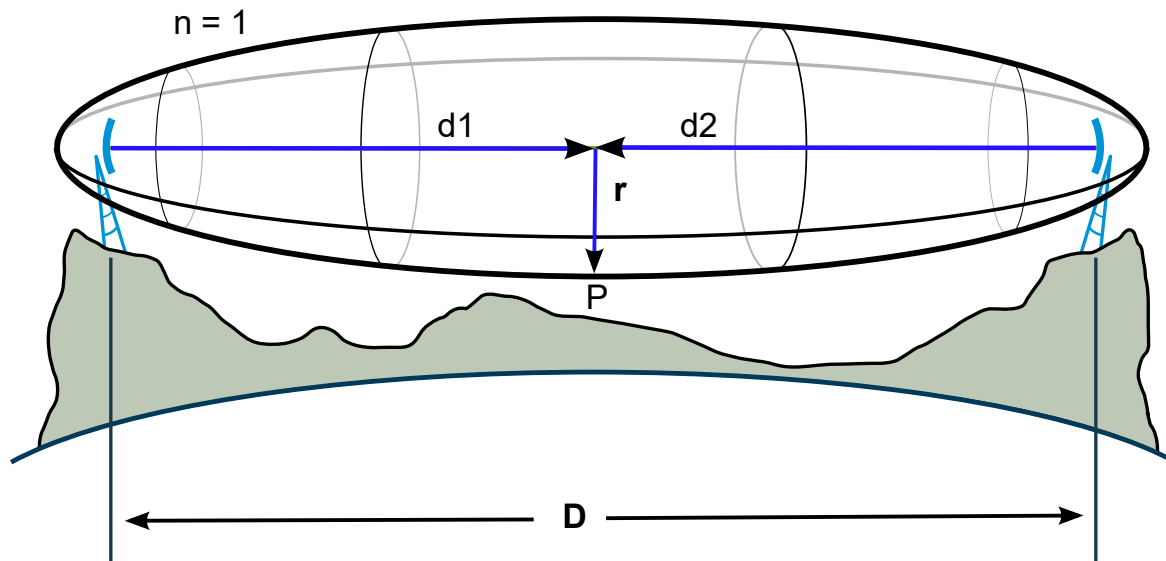


Šíření vln – VKV, VHF; 30 MHz až 300 MHz



Fresnelova zóna

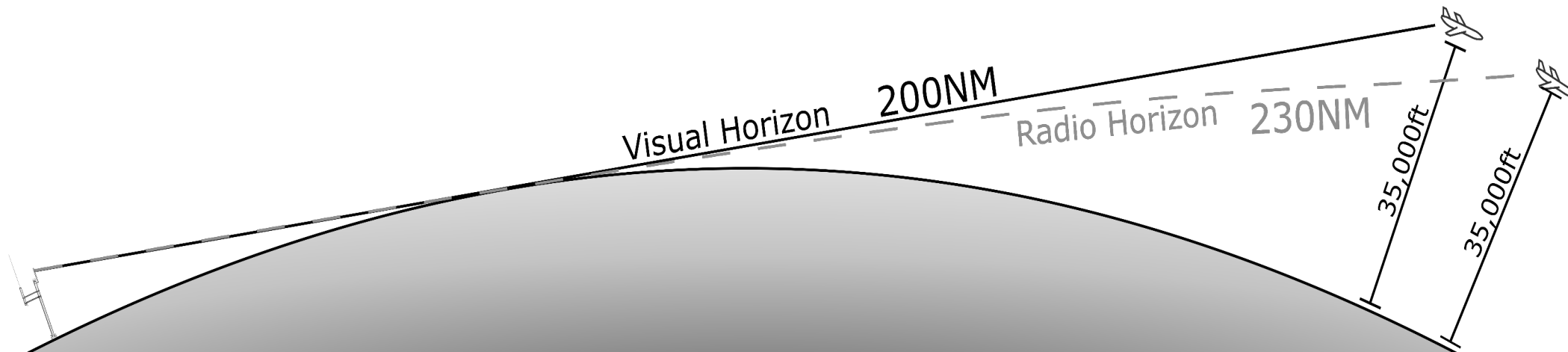
- Fresnelovy zóny (čti [frenelovy]) je sada konfokálních protáhlých elipsoidních oblastí prostoru mezi vysílačem a přijímačem a v jejich okolí
- překážky v první Fresnelově zóně a předměty způsobující odrazy v několika prvních sudých Fresnelových zónách negativně ovlivňují sílu a kvalitu signálu.



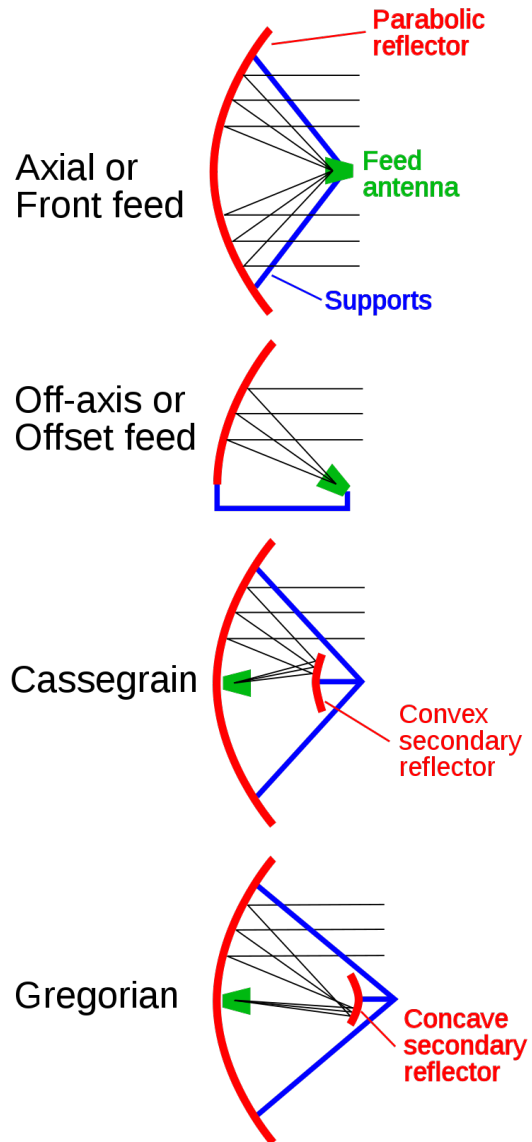
Atmosferická refrakce



- Index lomu vzduchu závisí na hustotě vzduchu, mění se tedy v závislosti na teplotě a tlaku.
- tlak je ve vyšších nadmořských výškách nižší, je nižší rovněž index lomu
- světelné paprsky a EM vlny se při průchodu atmosférou pod nízkým úhlem ohýbají směrem k zemskému povrchu
- v důsledku se zdánlivé polohy hvězd blízko horizontu mírně posunou nahoru
- rádiový horizont je dále než geometrický
- stejně tak je při východu Slunce viditelné dříve, než geometricky vystoupí nad obzor



Parabolické antény na UHF od 1 GHz výše



Modulace



- Přenos informace
- Amplitudová modulace
- Frekvenční modulace
- Fázová modulace
- Digitální modulace

Informace – Co to je?



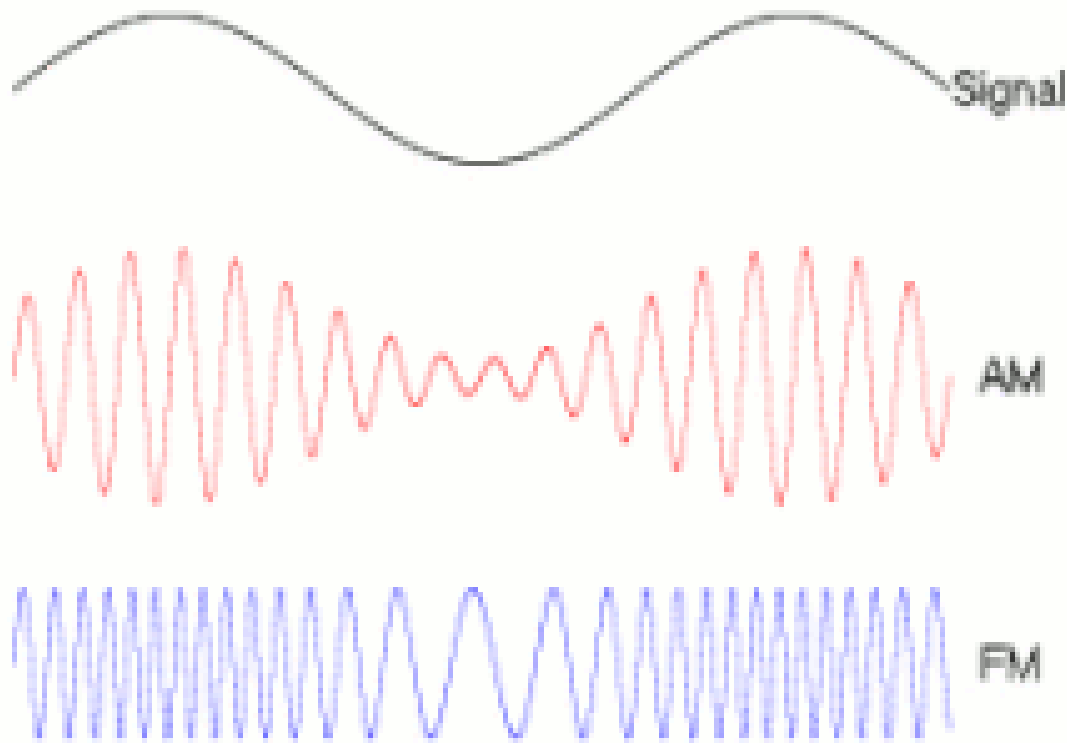
- Řečová zpráva
 - Hudba
 - Textová zpráva
 - Obrázek
 - Pohybující se obrázek – film, stream
 - Datový soubor
- Informace má svoji nejistotu, náhodu
 - Kdyby byla informace jistá, nemusíme ji přenášet, protože ji známe

Modulace



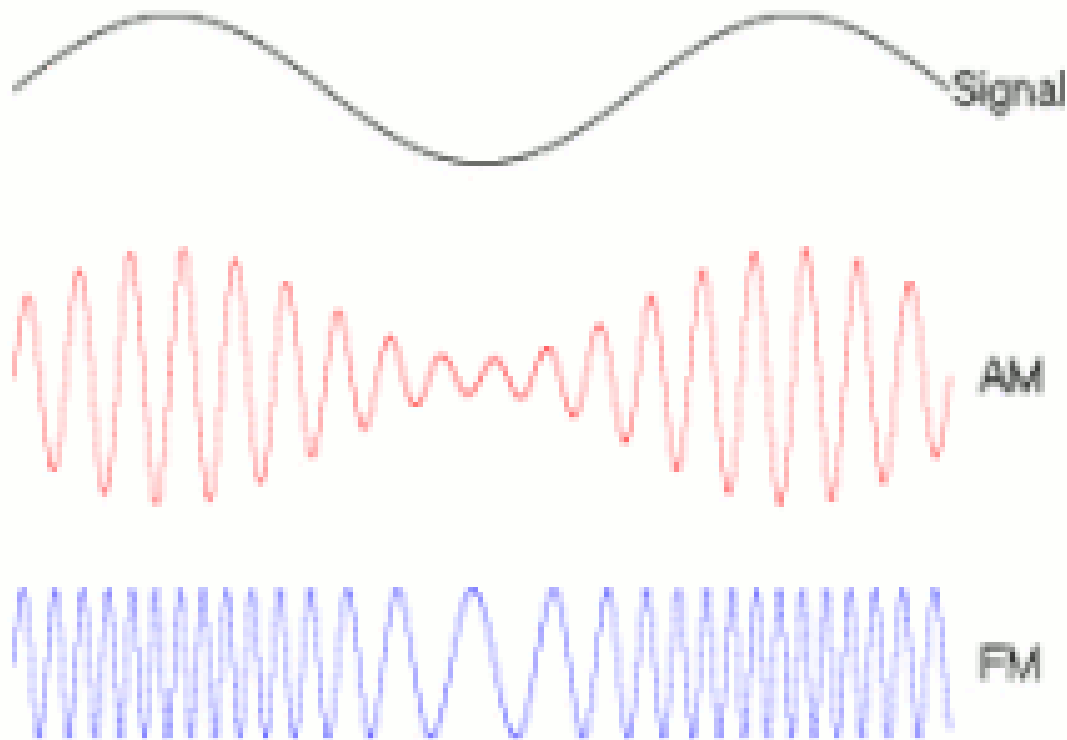
- Modulace je proces, kterým se mění charakter vhodného nosného signálu pomocí modulujícího signálu.
- Modulace se velmi často používá při přenosu nebo záznamu elektrických nebo optických signálů.
- Nejběžnějšími příklady zařízení spotřební elektroniky využívajících modulaci jsou například rozhlasový a televizní přijímač, mobilní telefon, různé typy modemů, satelitní přijímače atd.

Amplitudová a frekvenční modulace



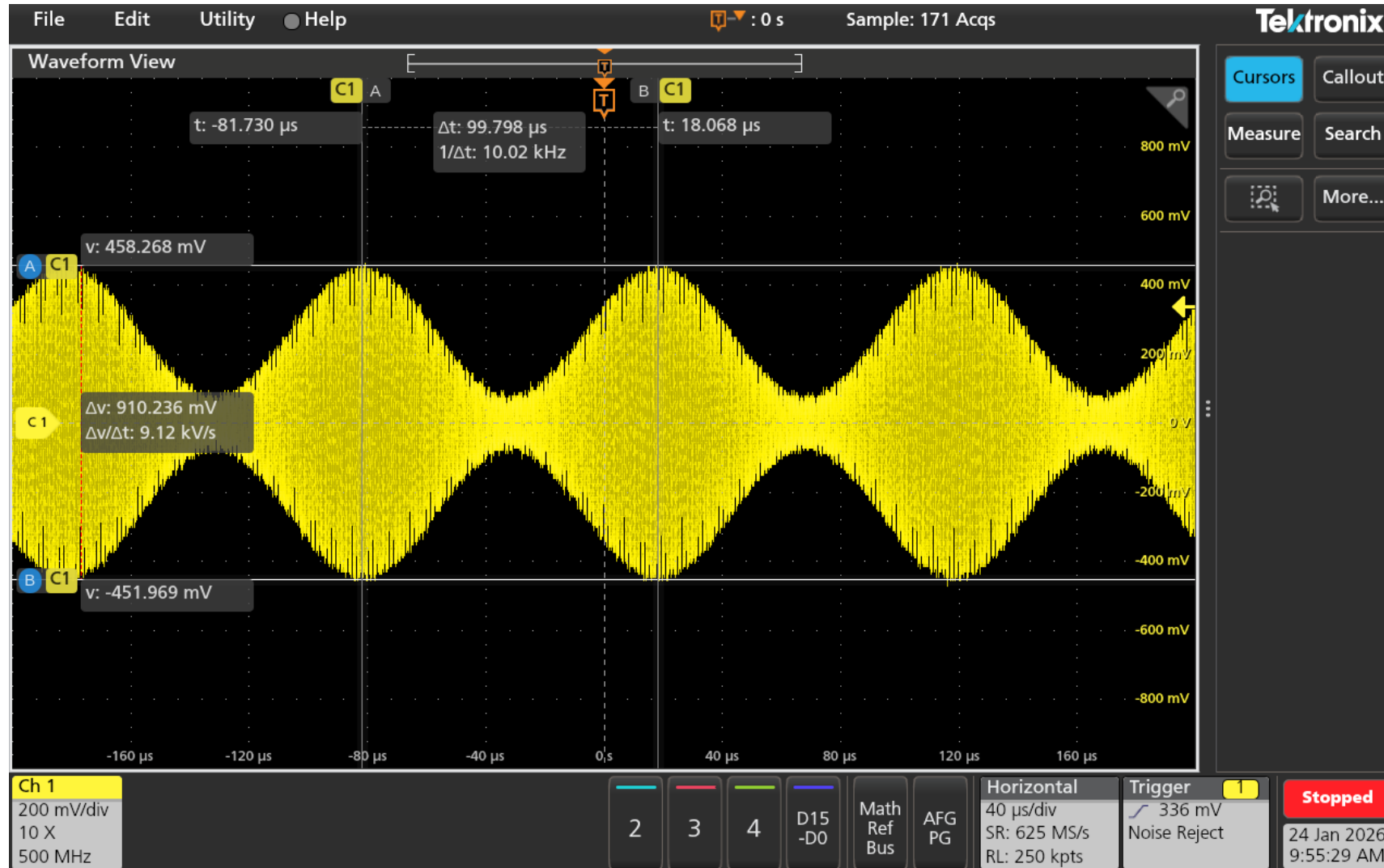
- AM = amplitudová modulace
- Modulační signál ovlivňuje amplitudu modulovaného signálu
- FM = frekvenční modulace
- Modulační signál ovlivňuje frekvenci modulovaného signálu

Amplitudová a frekvenční modulace

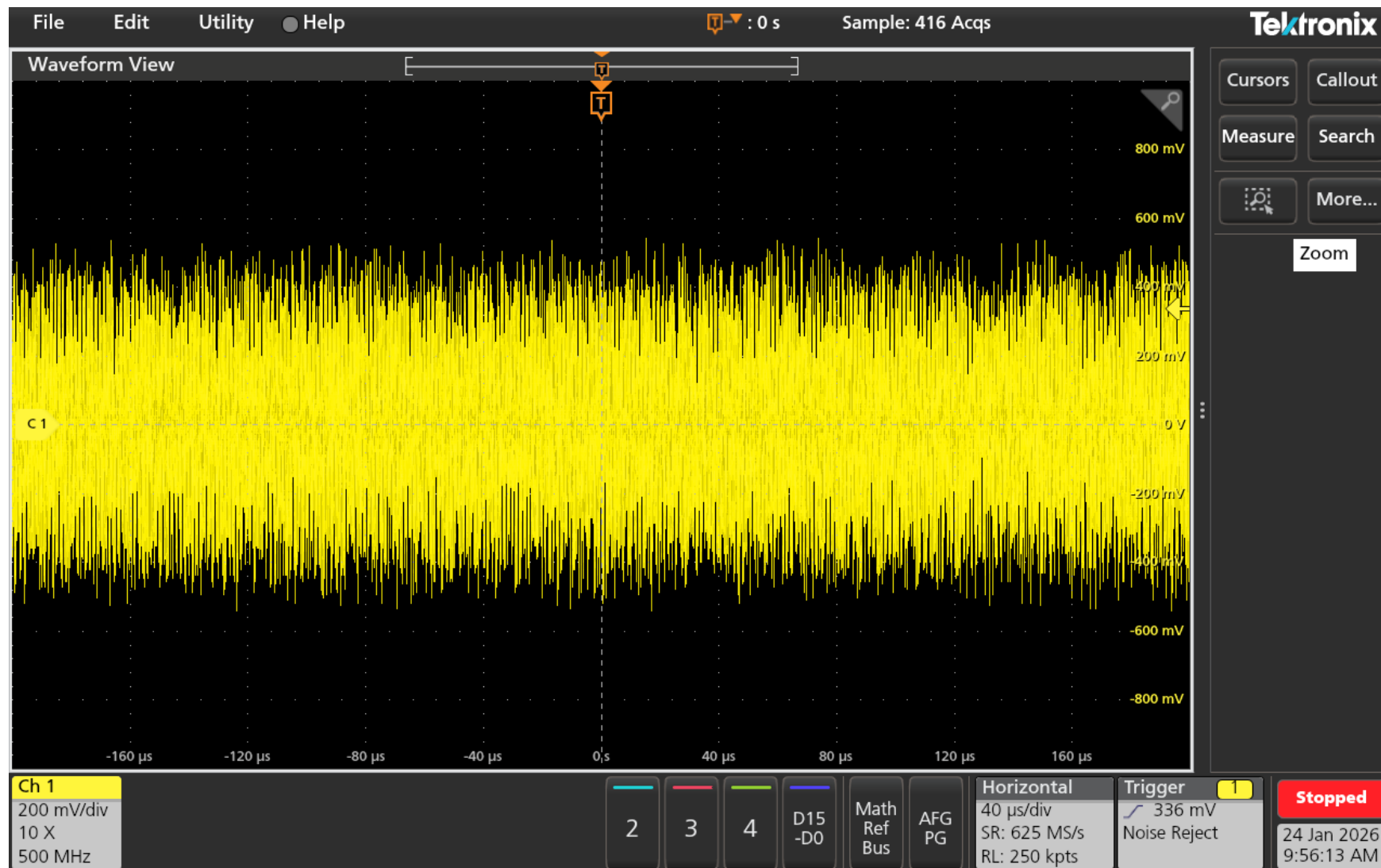


- AM = amplitudová modulace
- Modulační signál ovlivňuje amplitudu modulovaného signálu
- FM = frekvenční modulace
- Modulační signál ovlivňuje frekvenci modulovaného signálu

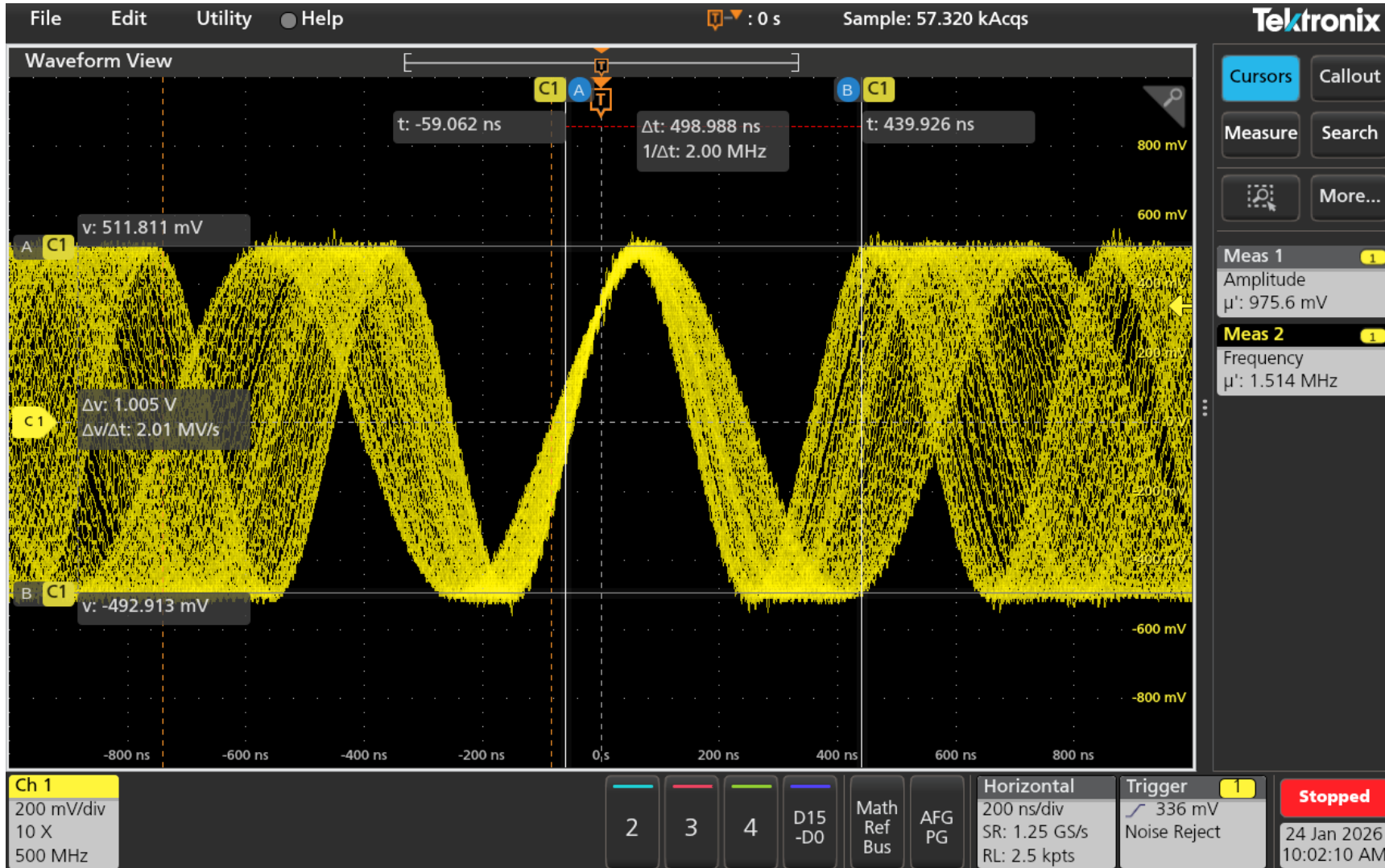
Amplitudová modulace



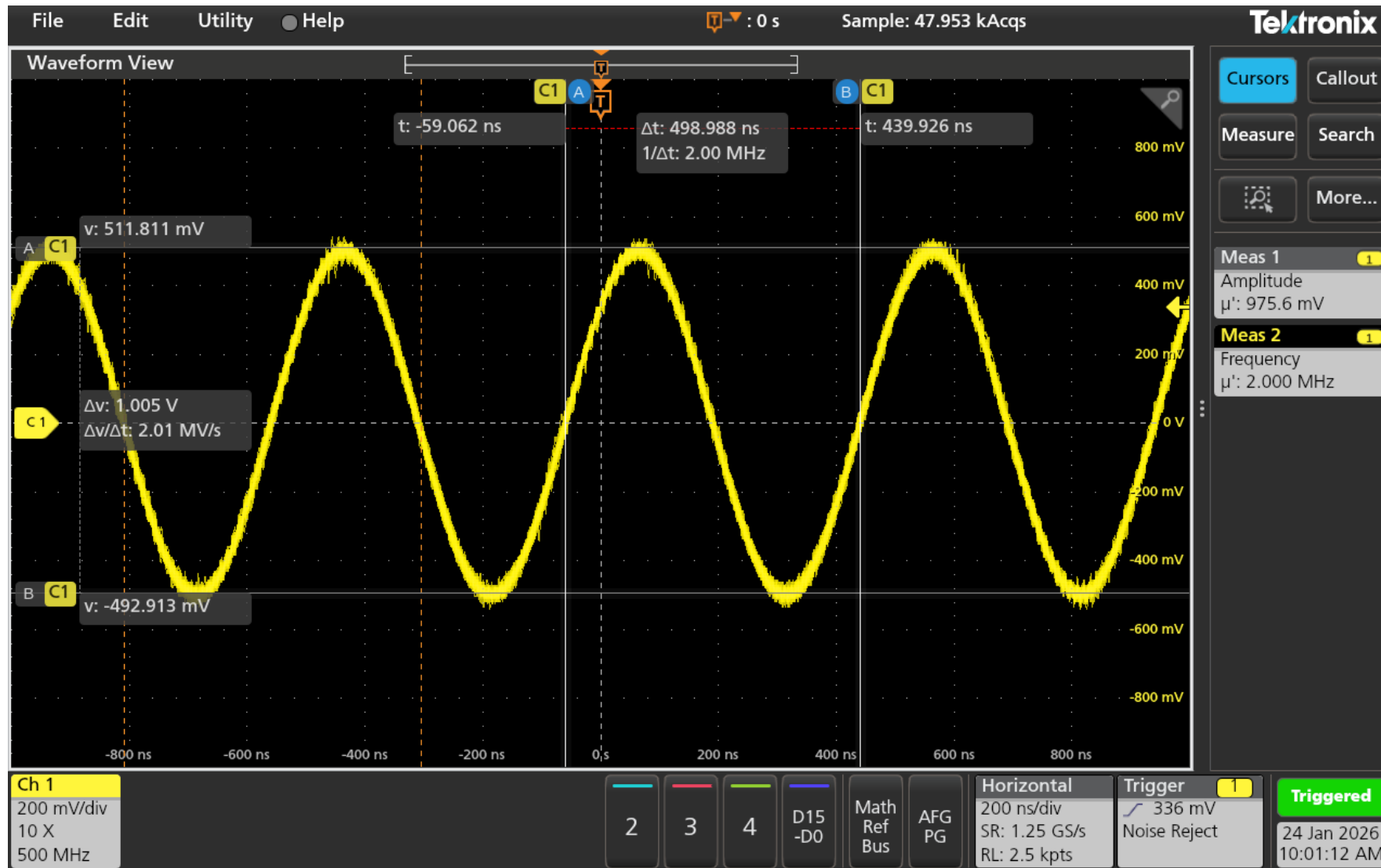
Amplitudová modulace - šumem



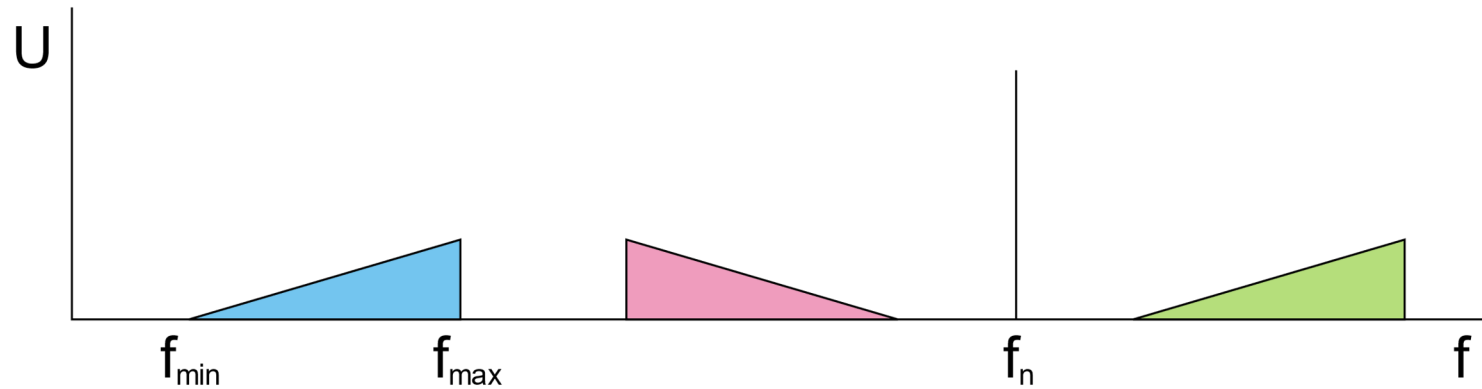
Frekvenční modulace



Nosná vlna

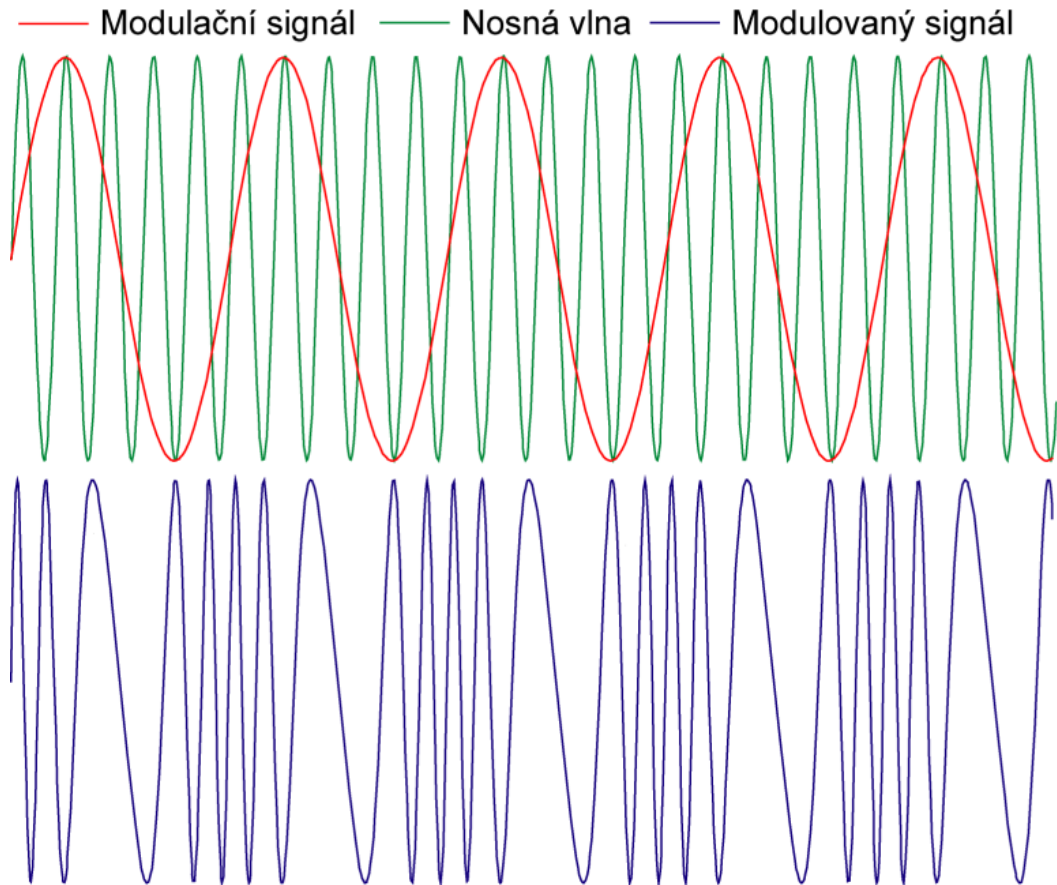


Frekvenční analýza amplitudové modulace

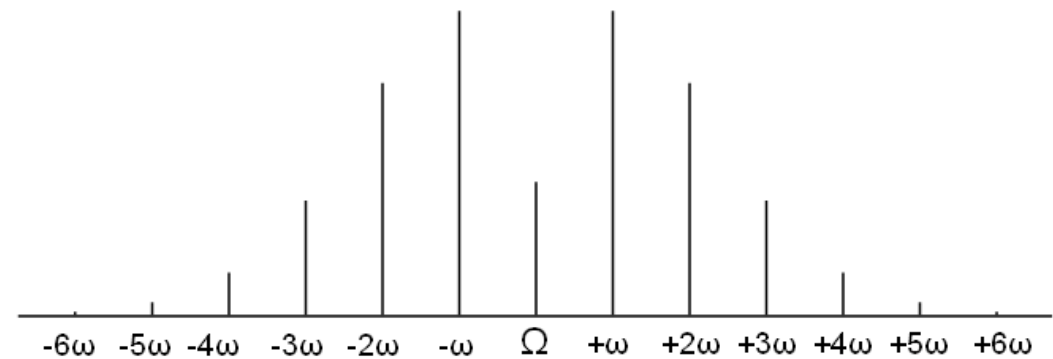


- Modrý trojúhelník na obrázku znázorňuje modulační signál ve frekvenčním základním pásmu od f_{\min} do f_{\max}
- Zelený trojúhelník je součtové pásmo
- Červený znázorňuje rozdílové pásmo
- Čára mezi nimi je nosná f_n

Frekvenční modulace



Časový průběh FM



Frekvenční spektrum FM

Proč AM a ne FM v letectví



- V letectví se nepoužívá frekvenční modulace (FM), ale amplitudová modulace (AM) v pásmu VHF (118-136 MHz), především kvůli nutnosti spolehlivé komunikace na přímou viditelnost a možnosti překrývání signálů.
- AM umožňuje pilotům slyšet více stanic najednou bez zahlcení přijímače, což je klíčové pro bezpečnost a zabránění vzájemnému rušení, zatímco FM by mohla způsobit totální výpadek signálu.

Hlavní důvody pro AM místo FM v letectví



Detekce více signálů (Capture effect u FM): FM má tzv. "capture effect", kdy silnější signál úplně potlačí slabší. Pokud by dva piloti mluvili najednou na FM, řídicí by neslyšel nic nebo jen jednoho. U AM se signály sčítají, takže řídicí může slyšet oba (např. nouzové volání přes běžnou komunikaci).

Historická kontinuita a jednoduchost: AM zařízení jsou historicky jednodušší a lehčí, což bylo v počátcích letectví zásadní. Vzhledem k obrovskému množství letadel nelze snadno přejít na jiný systém.

Vlastnosti v pásmu VHF: Pro komunikaci vzduch-země na přímou viditelnost je AM dostatečně spolehlivá a méně náchylná k selektivnímu úniku signálu v členitém terénu oproti FM, která vyžaduje stabilnější úroveň signálu pro čistý přenos.

Ačkoliv je AM náchylnější k šumu, pro hlasovou komunikaci v letectví nabízí potřebnou spolehlivost a bezpečnost.

Radionavigace

Trocha motivace



ILS

GPS

VOR

Radiomaják

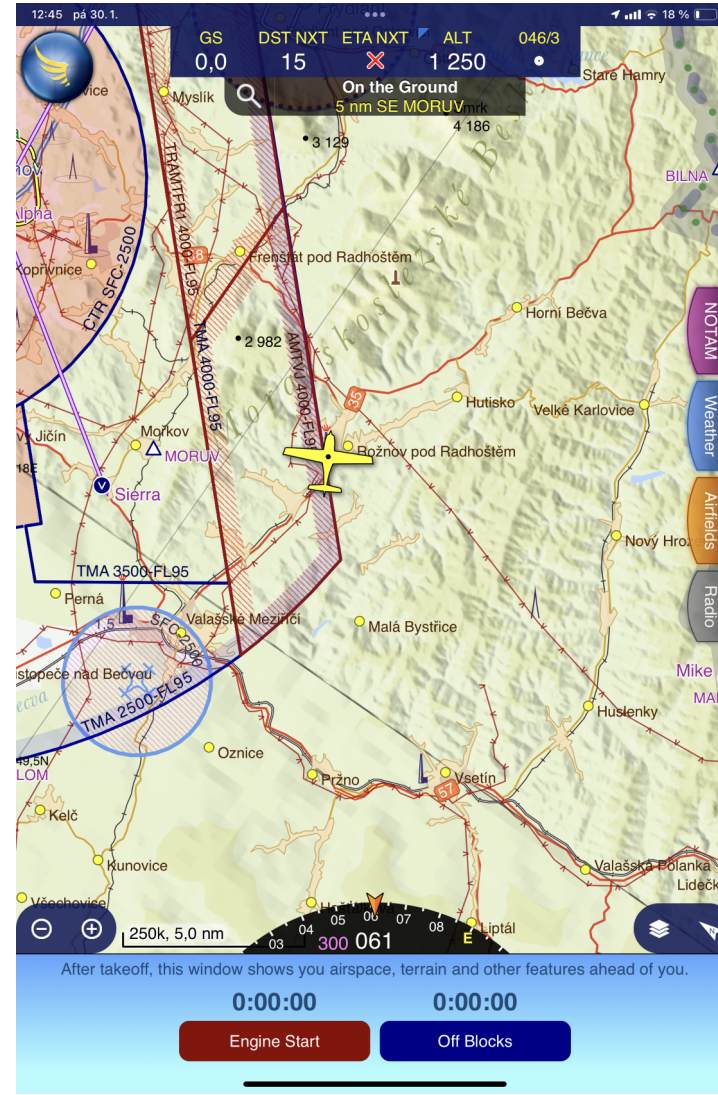
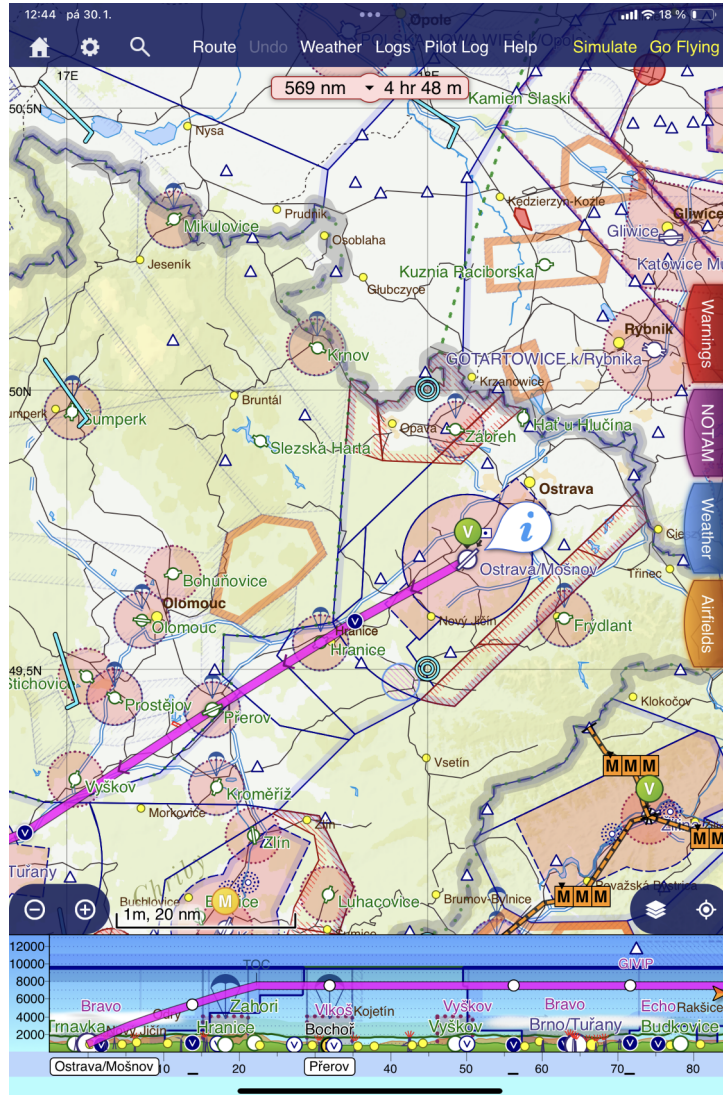
Odpovídač SSR



GPS – Garmin G100 certifikovaná



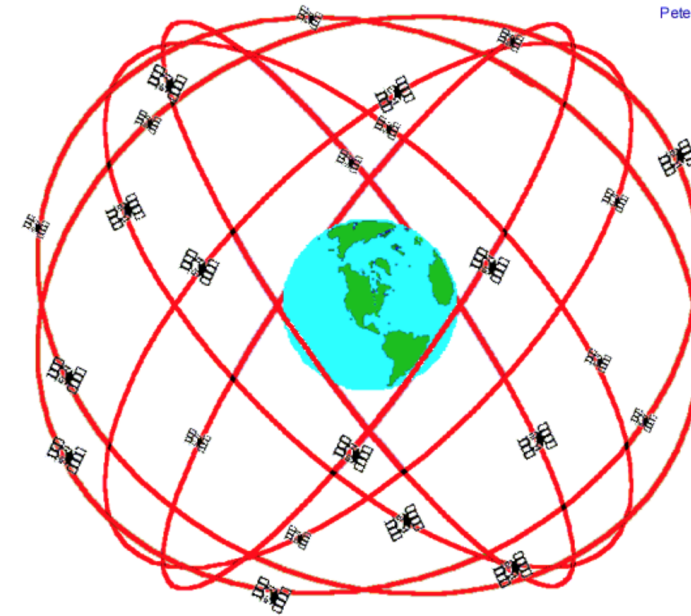
GPS - Sky Demon - záložní



Princip GPS

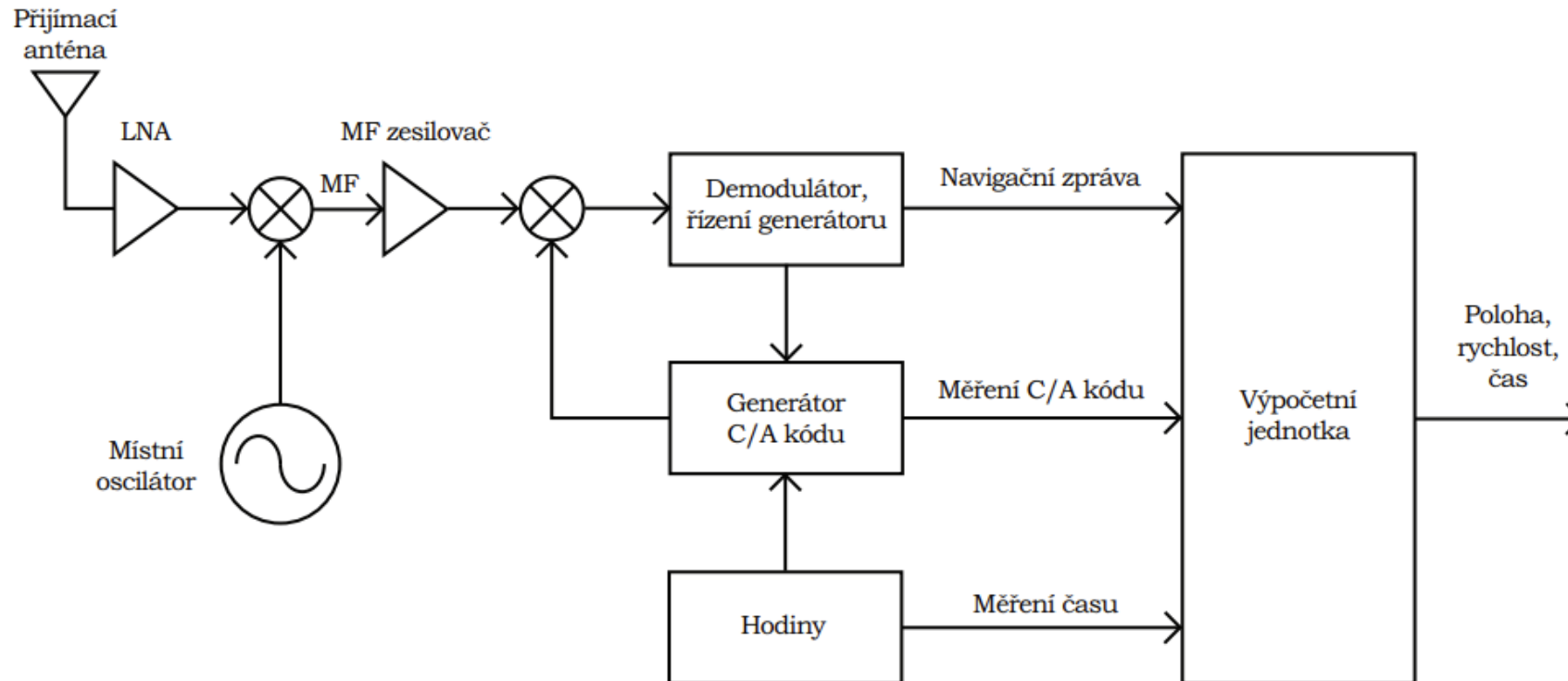


- GPS (Global Positioning System) funguje na principu měření vzdálenosti od několika (minimálně 4) satelitů pomocí časových signálů, které přijímač porovnává;
 - na základě zpoždění signálu vypočítá svou přesnou polohu (zeměpisnou šířku, délku a výšku)
 - případně i rychlost a směr, přičemž satelity vysílají data a přijímač je pasivně přijímá, což je klíčové pro navigaci a časovou synchronizaci.
-
- **Konstelace 32 satelitů (2016);
31 v provozu**
 - **Minimálně 5 pozorovatelných z
jakéhokoli bodu na Zemi**
 - **5 nebo více používaných pro
provoz IFR**

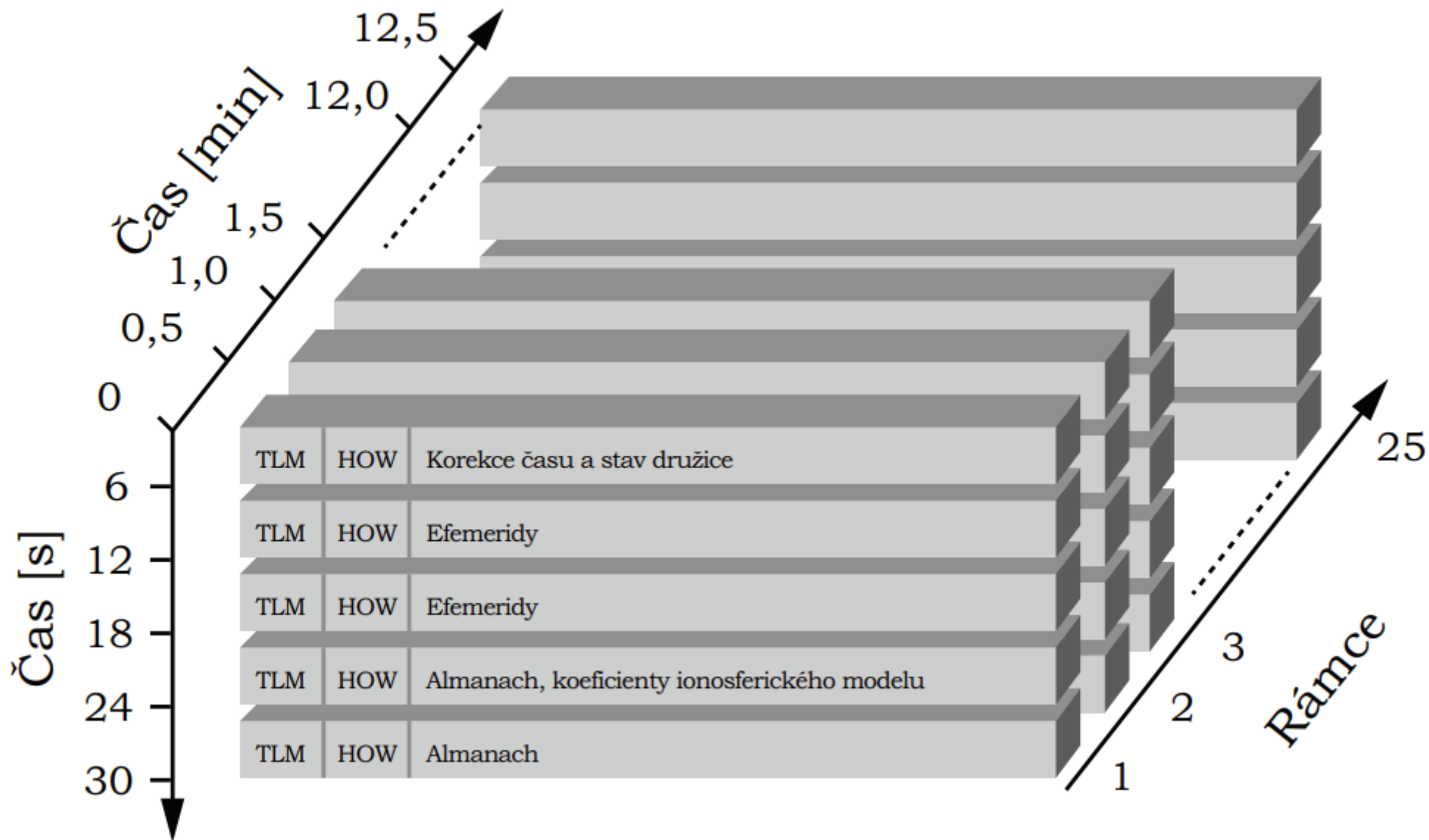


GPS Nominal Constellation
24 Satellites in 6 Orbital Planes
4 Satellites in each Plane
20,200 km Altitudes, 55 Degree Inclination

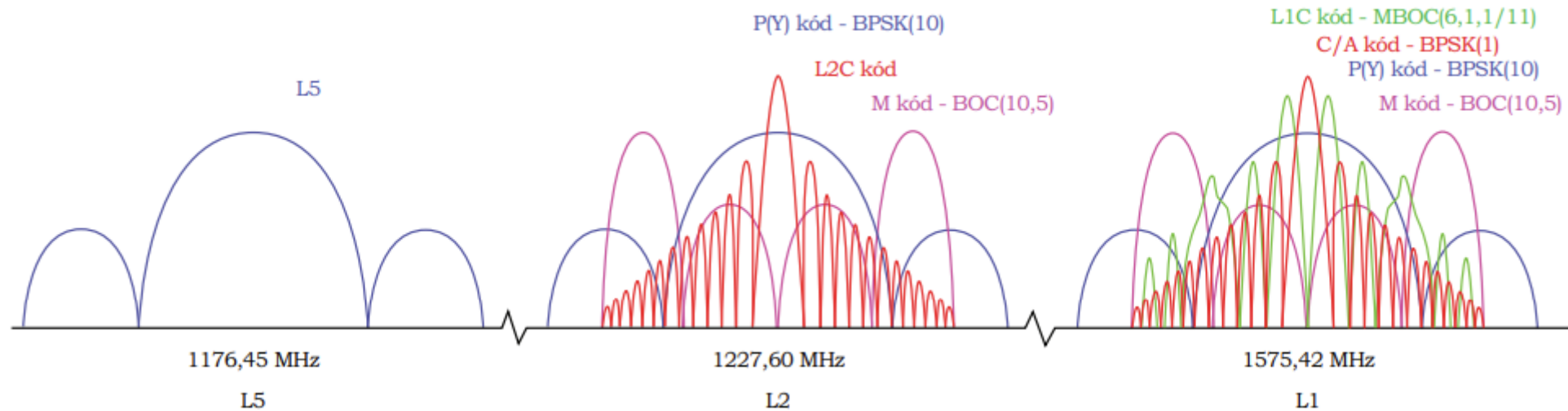
Princip GPS – blokové schéma přijímače



Princip GPS - struktura zprávy



Přehled spektra vysílaného signálu GPS



- Vysílá se s rozprostřeným spektrem pomocí digitálního kódu
- Pak je signál detekovatelný pod úrovní šumu
- Stačí antény s malým ziskem



Wide Area Augmentation System (WAAS)



- Pozemní segment: Síť referenčních stanic (WRS) monitoruje signály GPS a odesílá data do hlavních řídicích stanic (WMS), které vypočítávají korekce.
- Vesmírný segment: Geostacionární družice vysílají opravená data (korekční zprávy) zpět uživatelům (přijímačům).
- Uživatelský segment: GPS přijímače s podporou WAAS (waas-enabled) přijímají tyto zprávy a automaticky zpřesňují svou polohu.
- Přínosy: Zvýšená přesnost (často lepší než 3 metry), včasné varování o poruše satelitů (integrita) a spolehlivější navigace zejména pro civilní letectví.
- Na displeji přijímače se při aktivním WAAS (v Evropě EGNOS) často zobrazuje písmeno "D" u sloupců síly signálu jednotlivých družic, což značí, že je využívána diferenciální korekce.

GPS – nefunguje?



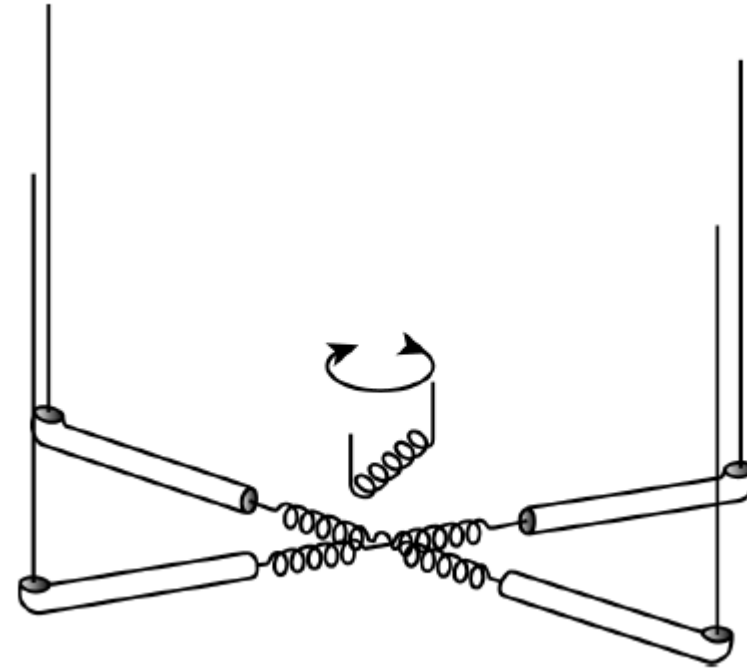
- **Porucha** – vybitá baterie
- **Rušení GPS je zakázáno**, ale:
- **Jamming (Zarušení)**: Úmyslné vysílání silného rádiového šumu na frekvencích GNSS (např. L1/L2), které přijímači znemožní signál zachytit. K tomuto účelu se používají rušičky, které mohou být kapesní (USB rušičky do auta) i výkonné vojenské systémy.
- **Spoofing (Podvržení)**: Sofistikovanější metoda, kdy útočník vysílá falešný signál, který se tváří jako pravý. Navigace pak ukazuje chybnou polohu, aniž by nahlásila výpadek. ***Místo Polska jsem v Jemenu***

A proto jsou další systémy

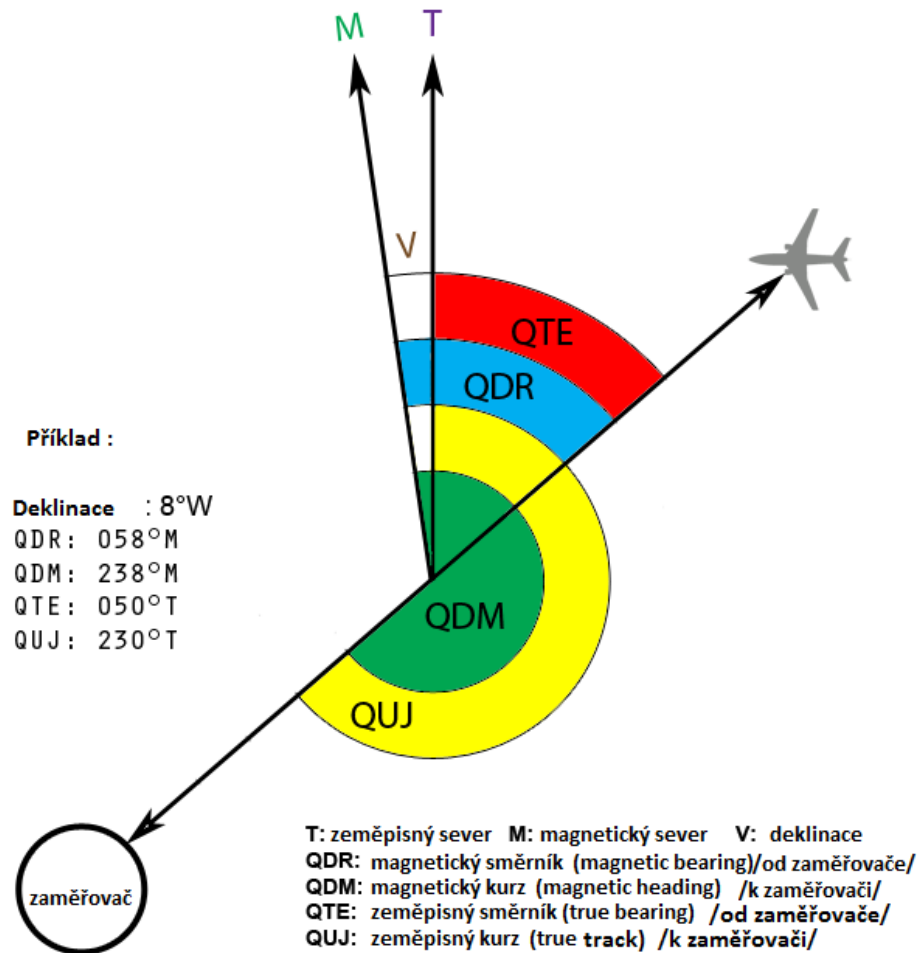
Radiové zaměřování



- Pro zaměření cíle – letadla používá zaměřovací anténní soustavu - Adcockova soustava
- Zaměřuje se na minimum signálu
- Dříve goniometrem, dnes tuto úlohu plní Digital Signal Processing automaticky
- Pokud vysílám radiostanicí, je řídicí na TWR mne schopen zaměřit!!! **Ale SSR je lepší**



Radiové zaměřování – Q kódy



- QDM – DoMů, Magnetický, k zaměřovači
- QDR – Opačně tj. Mag od zaměřovače
- QUJ – zeměpisný k zaměřovači
- QTE - zeměpisný od zaměřovače
- Ujo = strýc (taky domů)

ADF, NDB - radiokompas

... stále je zábavné se o tom učit.

První nesměrové majáky (NDB) zřízené ve 30. letech 20. století.

Pilot musel původně otáčet číselníkem, aby zjistil směr stanice.

Automatický zaměřovač (ADF) byl obrovskou inovací.

Vpravo: z Flying 1952.



SIMPLE AS A-B-C

Every city or good-sized town has a radio station on which you can home reliably and automatically with the Lear ADF-12—and it's just this simple—

A—Tune the Lear ADF-12 to the desired station—instantly the hand will point the way to go.

B—Turn the airplane till the hand points straight up—you will then be heading straight for the station.

C—As the hand swings to 180° you are over the station.

Safer, More Economical Navigation ... How many times have you been all fouled up with primitive, complex, hunt-and-look navigation? Ever figure out how much gas you have wasted getting your bearings, or how that forced landing could have been avoided had you not been lost?

Consider, then, the simplicity and the economy of reliable, automatic radio navigation. Fly relaxed—feel safer over strange terrain without fear of missing check points, getting lost, or not finding the airport when visibility is poor.

There's no further need for confusing, cumbersome navigation paraphernalia. The Lear ADF-12 automatically points the way with amazing accuracy. The initial cost is low—the best and cheapest insurance you can buy.

It Has Everything. The Lear ADF-12 is a combined automatic direction finder, a broadcast receiver, and a radio range and communications receiver—all in one neat, compact, lightweight inexpensive package that weighs less than 18 pounds. It is accurate and very sensitive—provides reception on three bands: 300-440 kc., 475-1050 kc. and 1000-1750 kc. In addition, the ADF-12 contains

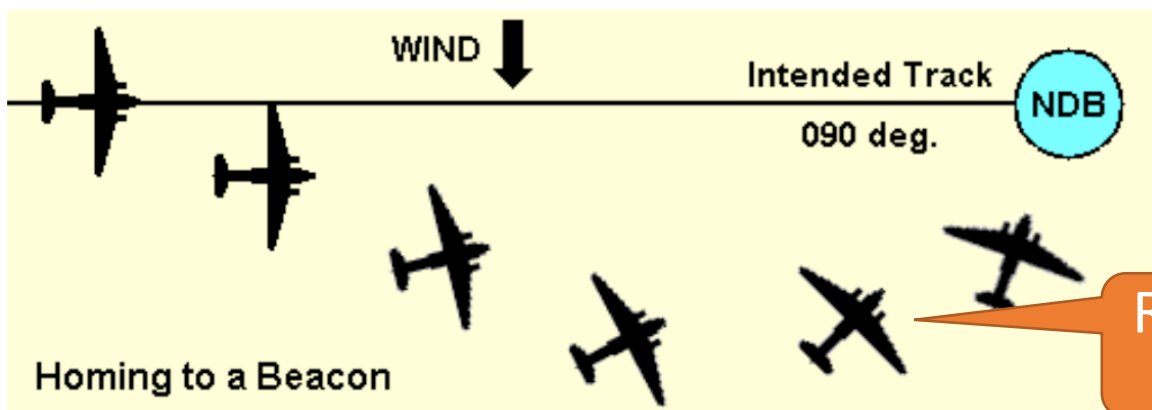
ADF, NDB - radiokompas

- Automatic Direction Finder (ADF) – Jednotka v letadle
- Non Directional Beacon (NDB) – Pozemní stanice
- Indicator – Růžice kompasu s ručičkou, ručička ukazuje na stanici

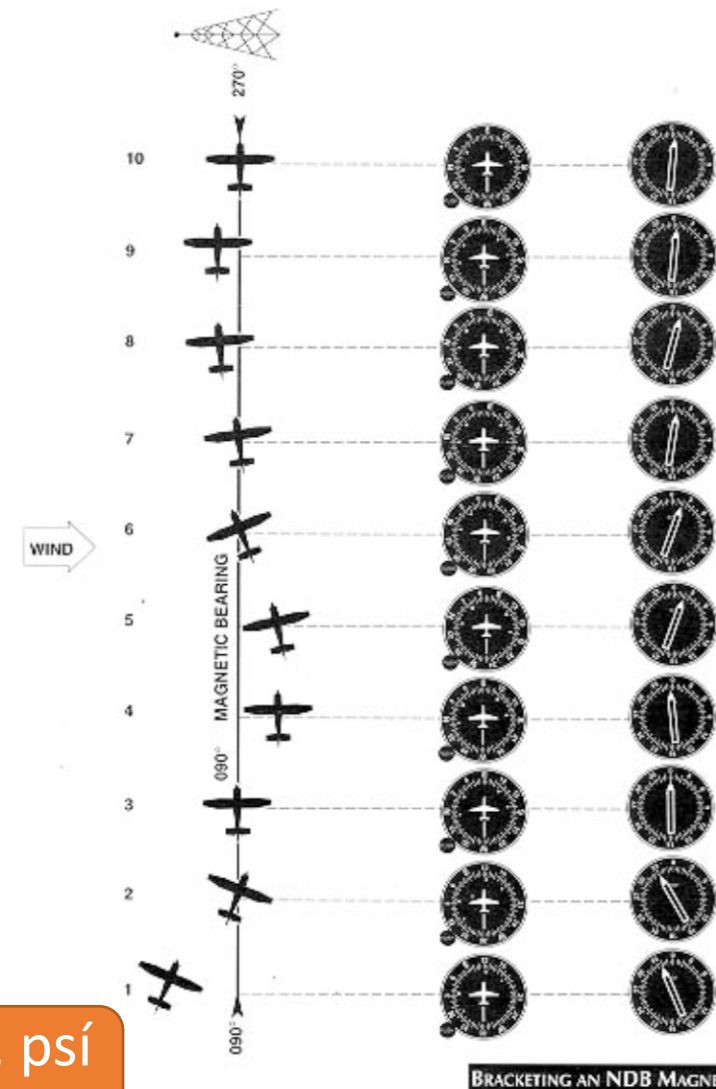


ADF, NDB - radiokompas

- Homing – pasivní let, držte ručičku mířící dopředu na přednastavený směrník, letadlo sleduje zakřivenou dráhu ve větru
- Tracking – aktivní let, ručička je posunuta kvůli větru, letadlo sleduje přímou dráhu nad zemí, letadlo musí mít směrový setrvačník



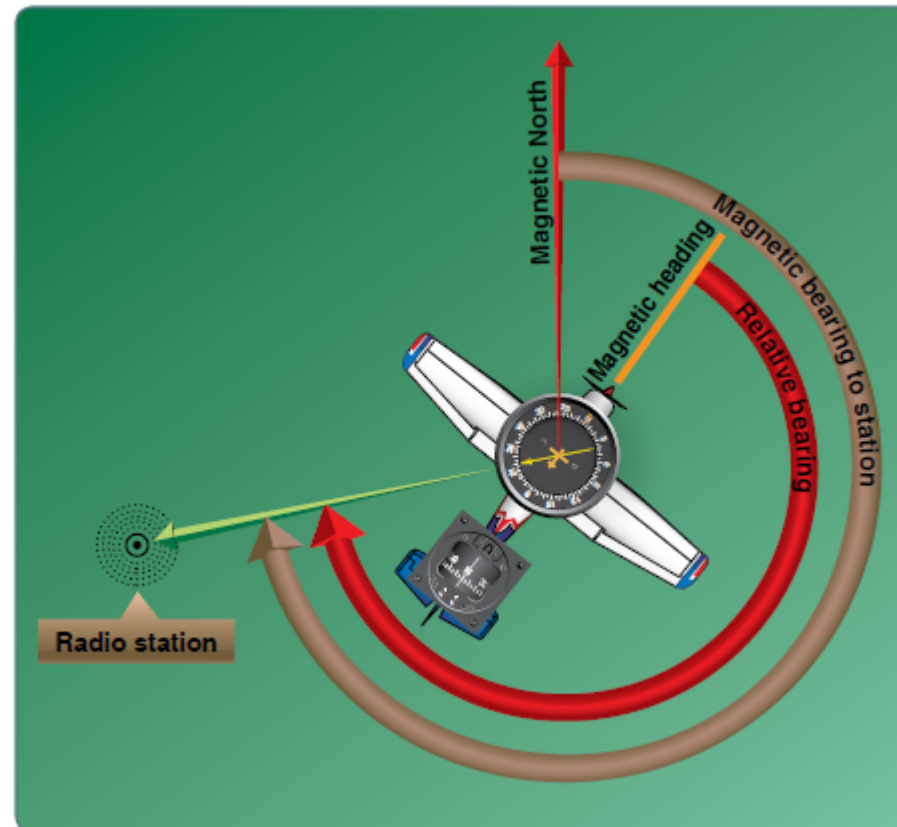
Radiodroma, psí křivka



ADF, NDB – magnetický kurz



- Relative Bearing
 - Number read on face of the ADF
- Magnetic Heading
 - Number read from face of directional gyroscope
- Magnetic Bearing
 - Magnetic heading TO the station



Magnetic Heading + Relative Bearing = Magnetic Bearing

ADF, NDB – magnetický kurz

- Otočte růžici aby souhlasila s headingem letadla
- Na magnetic bearing ukazuje ručička



Figure 30. ADF (movable card).

VHF Omni-Directional Range (VOR)

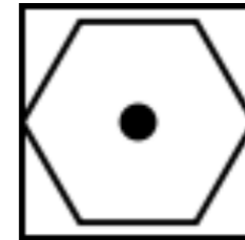


- Vylepšení NDB v 50. letech 20. století
- Bez odkazu na magnetický kompas může přijímač určit magnetický radiál ze stanice
- 360° radiálů (jeden pro každý stupeň)
- Lze sledovat stanici „TO“ nebo „FROM“ na konkrétním radiálu
- Lze určit zeměpisnou šířku a délku protínáním radiálů ze dvou VORů

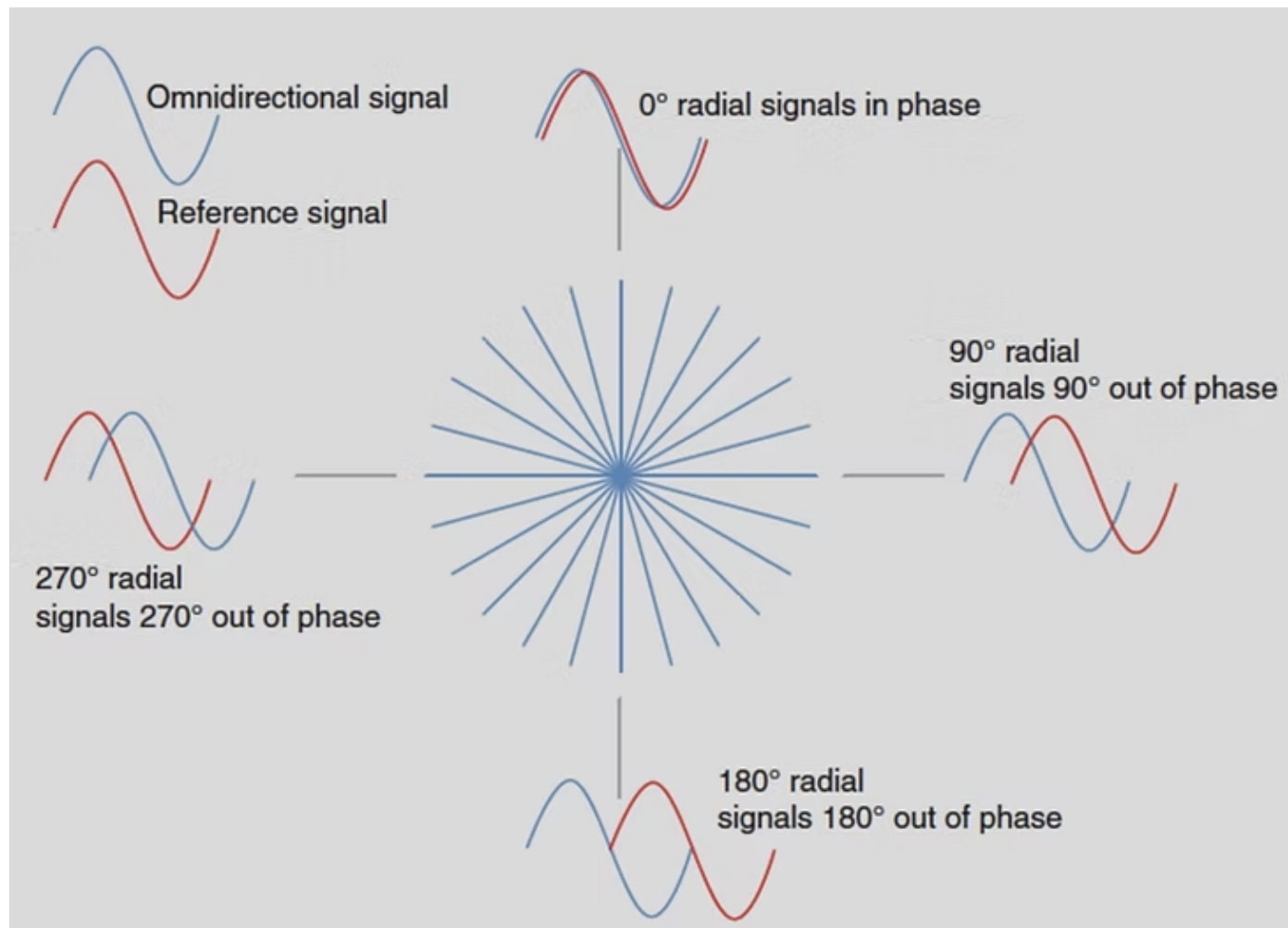
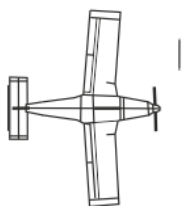


Tři typy VOR

- VOR
 - Přenáší pouze informace o azimutu
- VOR-DME
 - Distance Measuring Equipment (DME) Meřič vzdálenosti
 - Azimuth plus vzdálenost z informace VORu
- VORTAC
 - Vojenský: Tactical Air Navigation (TACAN)
 - Azimuth plus vzdálenost pro navigaci
 - Pohled Private Pilota: Ta samá funkce jako VOR/DME



Princip VOR - jako maják na moři



Princip VOR



- Konvenční stanice VOR (CVOR) vyzařují dva horizontálně polarizované signály modulované vlnou VHF:
- Všesměrový referenční signál
- Směrový proměnný signál

Princip VOR

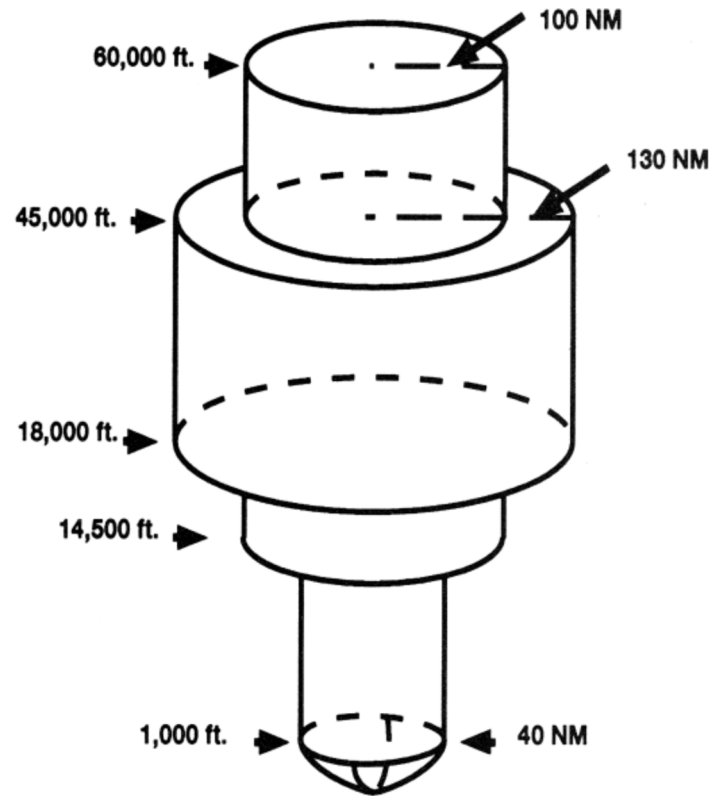


- Všesměrový (nebo referenční) signál je 30 Hz (frekvenčně modulovaný) na subnosné vlně 9950 Hz (amplitudově modulovaný) s odchylkou +480 Hz.
- Směrový (proměnný) signál je 30 Hz (amplitudově modulovaný) vyzařovaný jako kardioidní vzor, elektronicky se otáčí ve směru hodinových ručiček rychlostí 30 otáček za sekundu.
- Identifikace stanice je v morseově kódu a vysílána na frekvenci 1020 Hz (amplitudově modulovaná) nejméně třikrát každých 30 sekund. Pokud jsou VOR a DME umístěny společně, je přenos identifikace synchronizován.

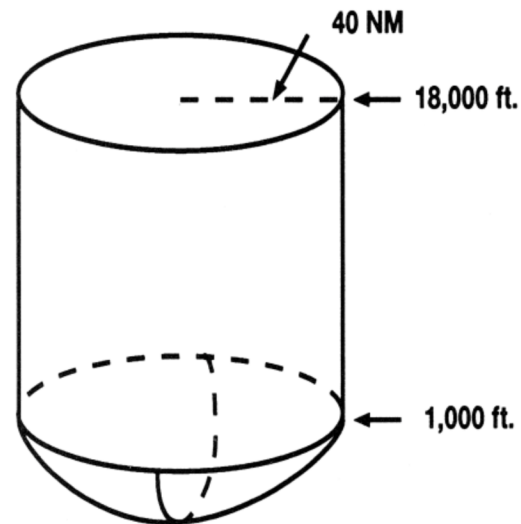
Typy majáků VOR



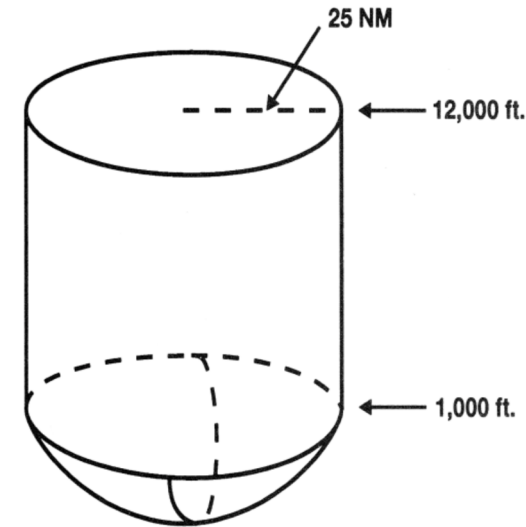
High-Altitude



Low-Altitude



Terminal



NOTE: All elevations shown are with respect to the station's site elevation (AGL). Coverage is not available in a cone of airspace directly above the facility.

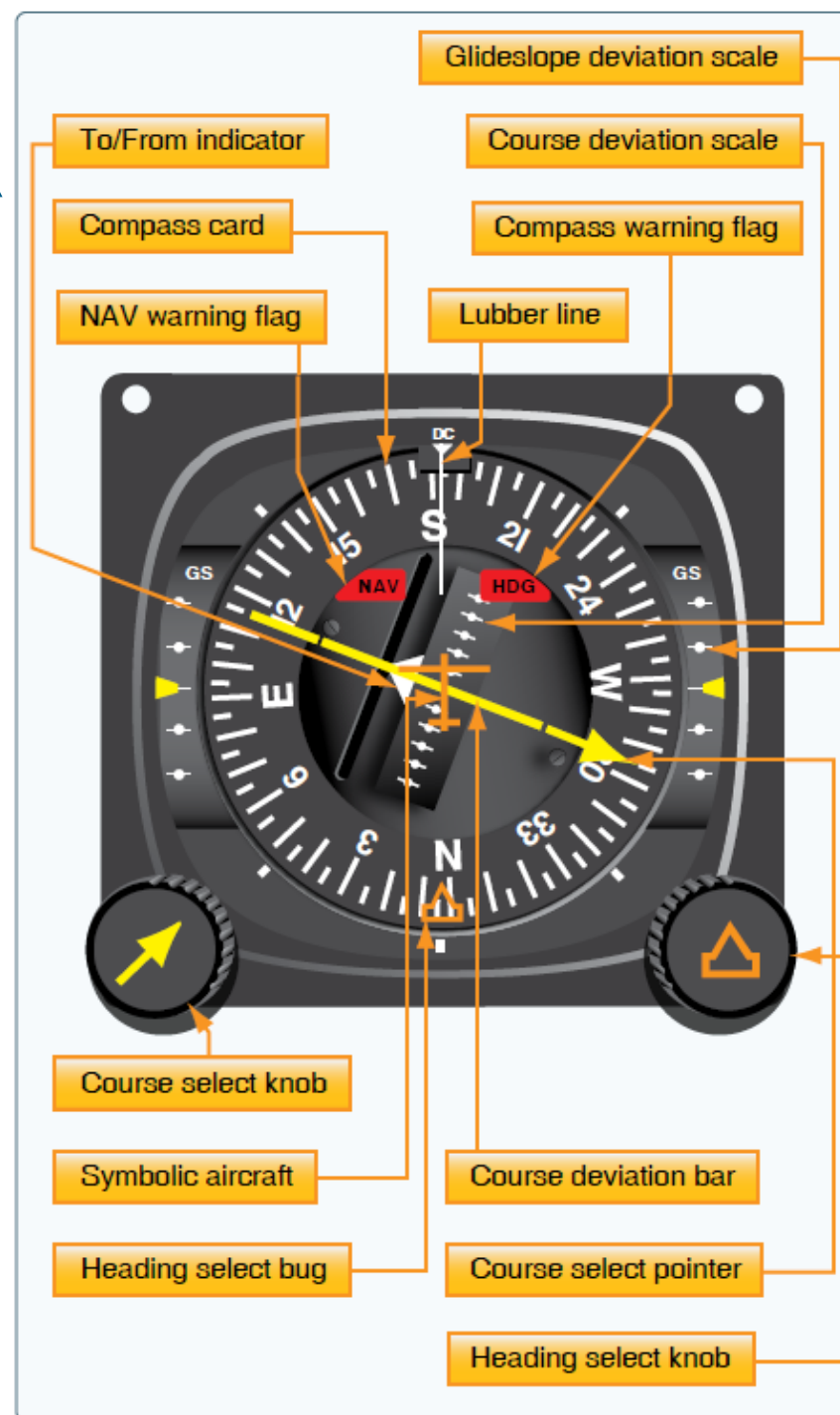
Části systému VOR



- Vysílač
- Přijímač
- Indikátor
 - OBS – Omni Bearing Selector/Volič
 - CDI – Course Deviation Indicator/Ukazatel
 - TO/FROM Flag/Návěští



Indikátory systému VOR



HSI
Horizontal
Situation
Indicator

Příklad užití systému VOR

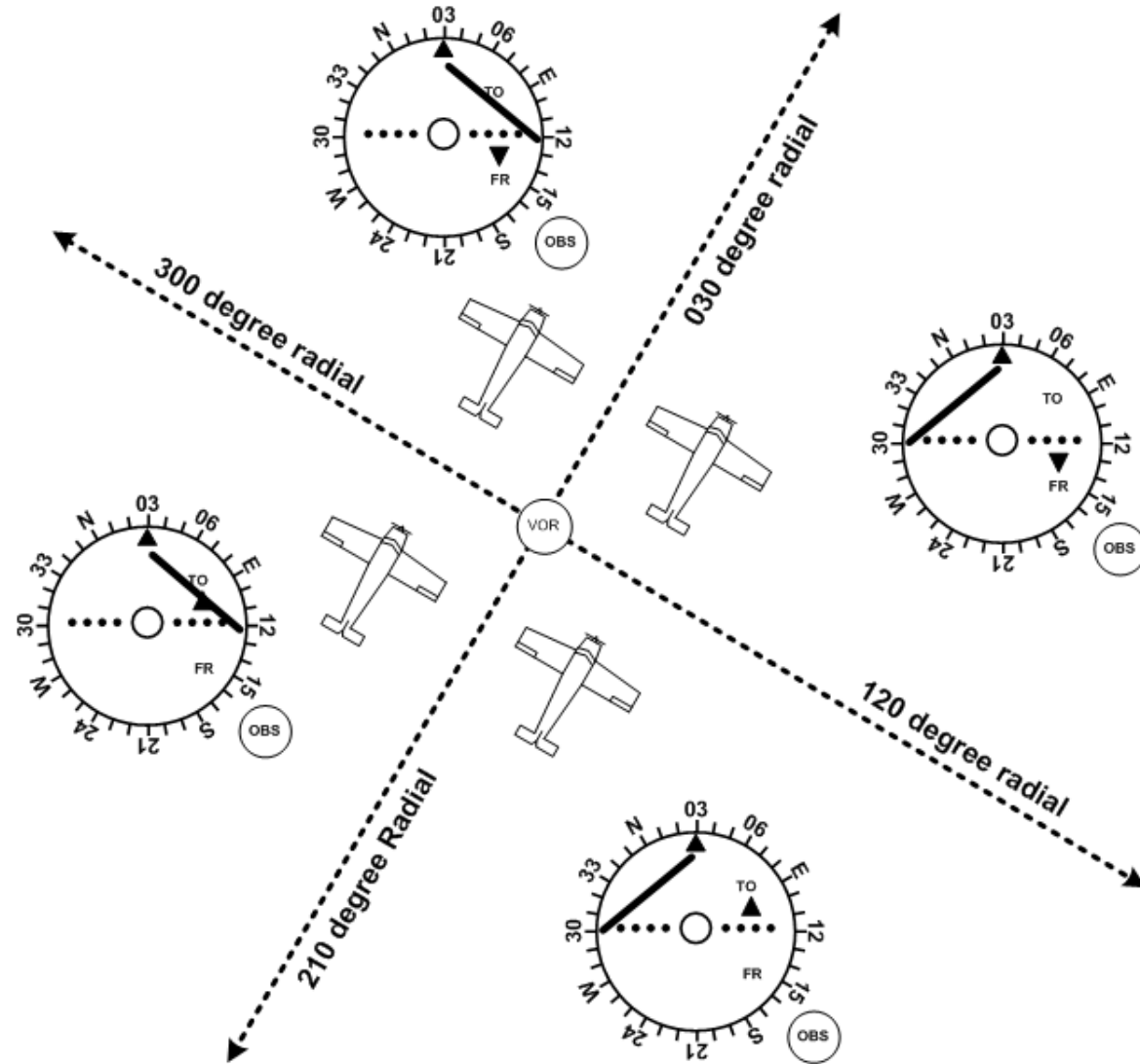


Nejjednodušší metodou pro určení vychýlení VOR je představit si, že letadlo je namířeno stejným směrem jako OBS.

Údaj OBS NENÍ citlivý na skutečný kurz letadla.

Výchylka ručky je povelová, kam ukazuje tam musíme opravit kurz.

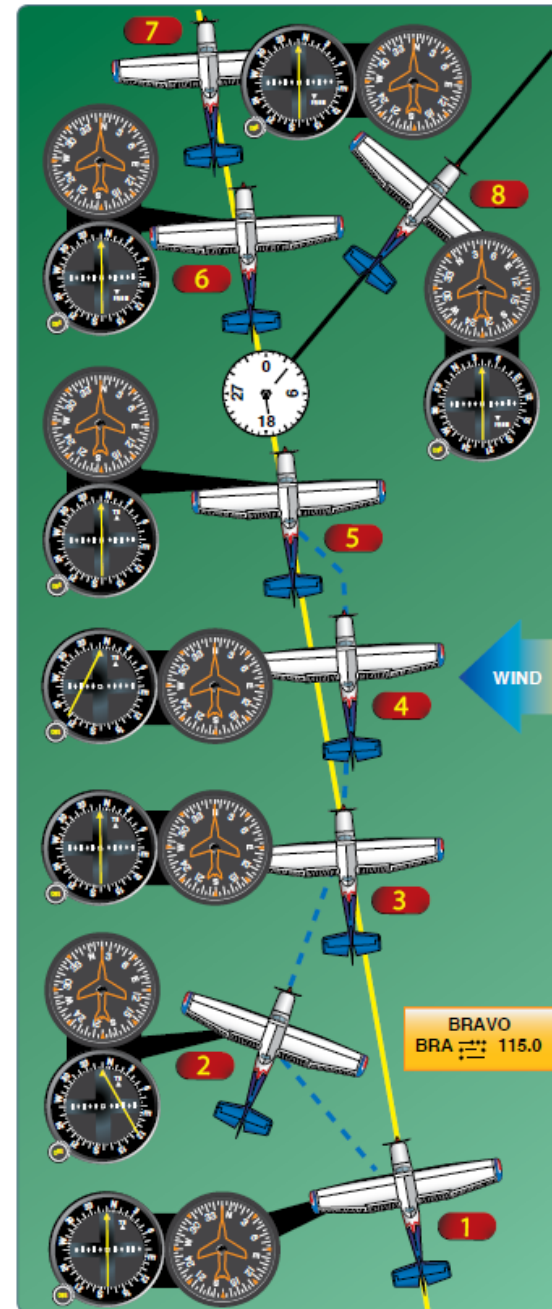
Jeden dílek jsou 2°



Příklad užití systému VOR

Pokud je letadlo udržováno v kurzu 350° s větrem zprava, jak je znázorněno, odchyluje se od zamýšlené dráhy doleva.

Jak se letadlo odchyluje od kurzu, ručička odchylky kurzu VOR se postupně posouvá doprava od středu nebo ukazuje směr požadovaného radiálu nebo dráhy.



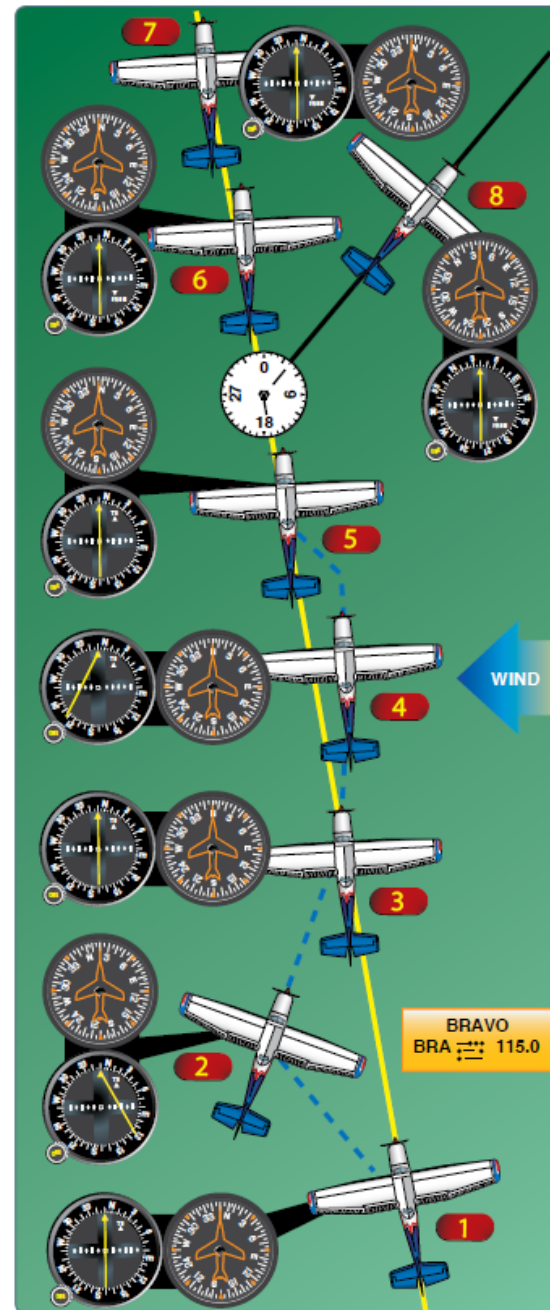
Příklad užití systému VOR

Pro návrat na požadovaný radiál je nutné změnit směr letadla vpravo.

Jak se letadlo vrací na požadovanou trať, ručička odchytky se pomalu vrací do středu. Po vycentrování se letadlo nachází na požadovaném radiálu a musí se provést zatáčka doleva směrem, ale ne do původního směru 350° , protože je nutné provést korekci snosu větrem. Velikost korekce závisí na síle větru.

Pokud rychlost větru není známa, lze k nalezení správného směru použít metodu pokus-omyl.

Předpokládejme v tomto příkladu, že je zachována 10° korekce pro směr 360° .

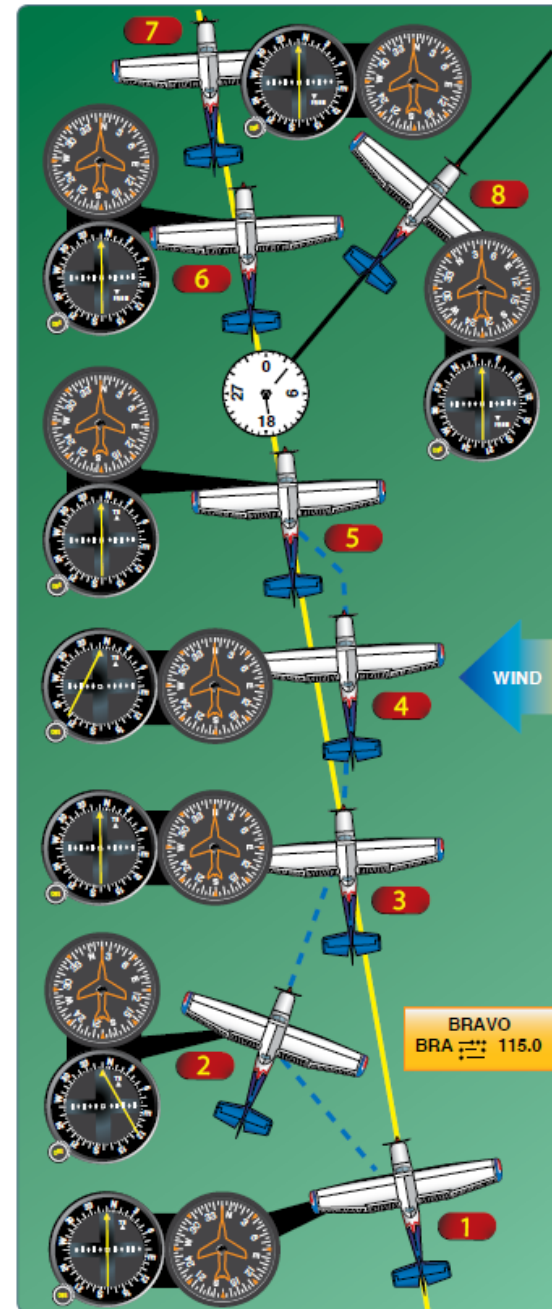


Příklad užití systému VOR

Při udržování kurzu 360° předpokládejte, že odchylka kurzu se začíná pohybovat doleva. To znamená, že korekce větru o 10° je příliš velká a letadlo letí do pravého kurzu.

Mělo by se provést mírné otočení doleva, aby se letadlo mohlo vrátit na požadovaný radiál.

Když se ručička odchylky vycentruje, měla by se provést malá korekce větrného snosu o 5° nebo korekce kurzu na 355° .



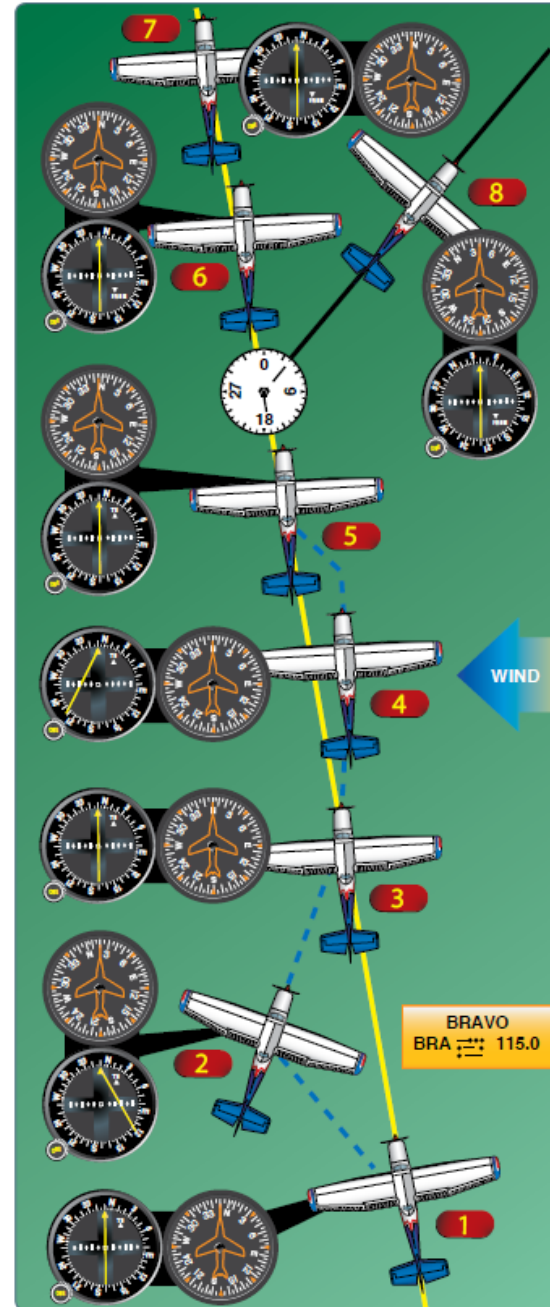
Příklad užití systému VOR

Je-li tato korekce dostatečná, letadlo zůstává na radiálu.

Pokud ne, měly by se provést malé změny kurzu, aby se ručička udržela vycentrovaná a následně letadlo na radiálu zůstalo.

Při průletu kolem stanice VOR ručička odchylny kurzu kolísá, poté se ustálí a indikace „TO“ se změní na „FROM“.

Pokud letadlo přeletí na jednu stranu od stanice, ručička se vychýlí směrem ke stanici, indikátor se změní na „FROM“.

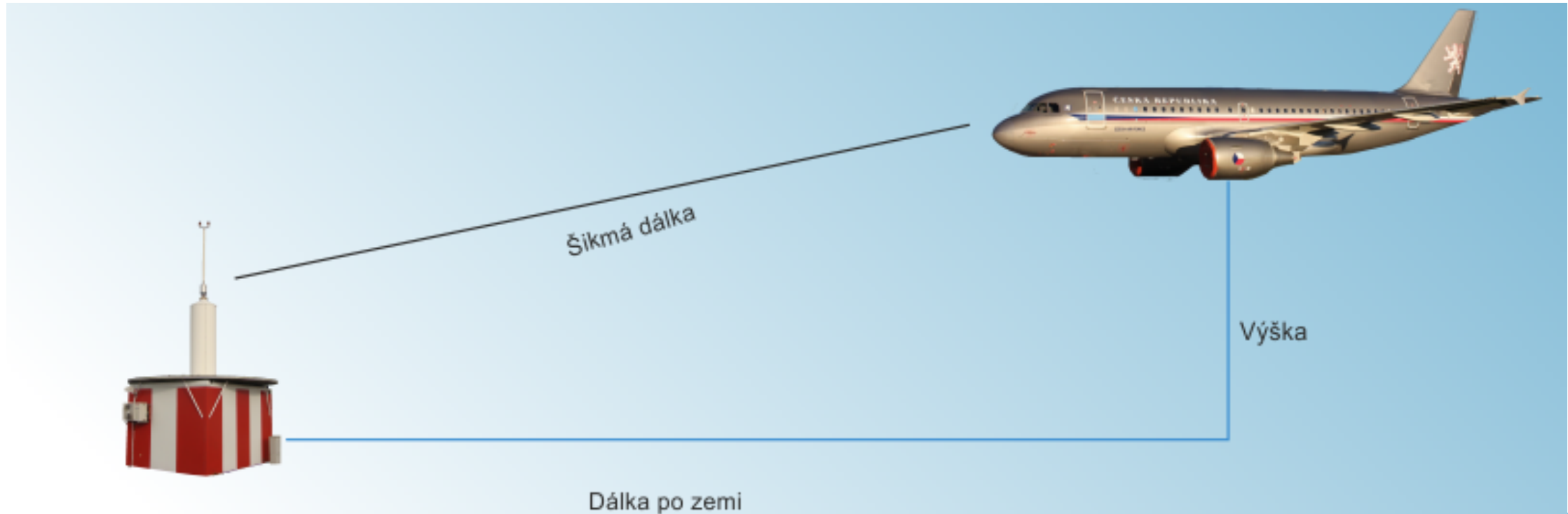


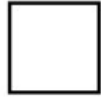
DME



- DME (distance measuring equipment) je radionavigační zařízení, které udává šikmou dálku mezi palubním dotazovačem a pozemním odpovídáčem.
- Palubní dotazovač umožňuje výpočet času k dosažení pozemního majáku a rychlosti letu vůči zemi. Pilot na palubě nastavuje na zařízení frekvenci DME z rozsahu VHF, která je spárovaná s frekvencí pozemního majáku DME (z rozsahu UHF) a „pouze“ čeká na odpověď a zobrazení šikmé dálky.

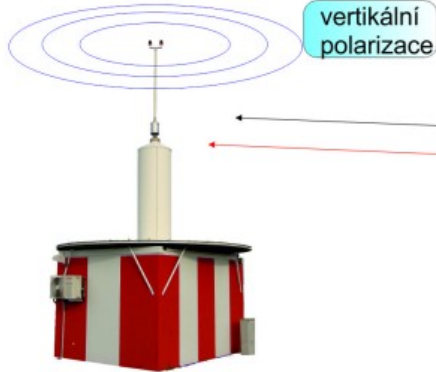
DME - měří šikmou dálku





PRINCIP FUNKCE DME

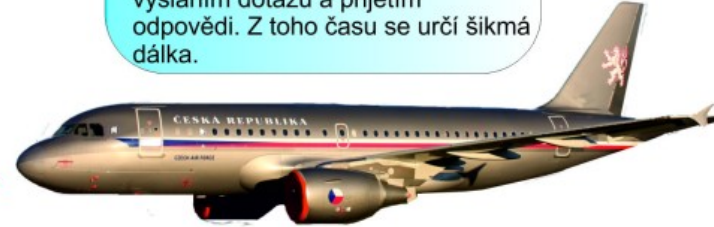
vyzařovací charakteristika majáku -
všesměrová (ve všech směrech stejná intenzita)



vertikální
polarizace



Palubní dotazovač vyšle dotaz ve formě dvojimpulzu s určitým zpožděním mezi pulzy podle typu pozemního majáku. Zároveň vnitřní obvody spouští měření času mezi vysláním dotazu a přijetím odpovědi. Z toho času se určí šikmá dálka.



Aby se rozlišilo, který dotaz patří kterému letadlu, tak palubní dotazovač posílá dvojimpulzy s náhodnou frekvencí - jitterem. Se stejnou frekvencí potom i pozemní maják odpovídá.

Pozemní maják po obdržení dotazu vytvoří odpověď s příslušným jitterem, zpoždění mezi pulzy a přidá „systémové“ zpoždění 50 nebo 56 mikro sekund.

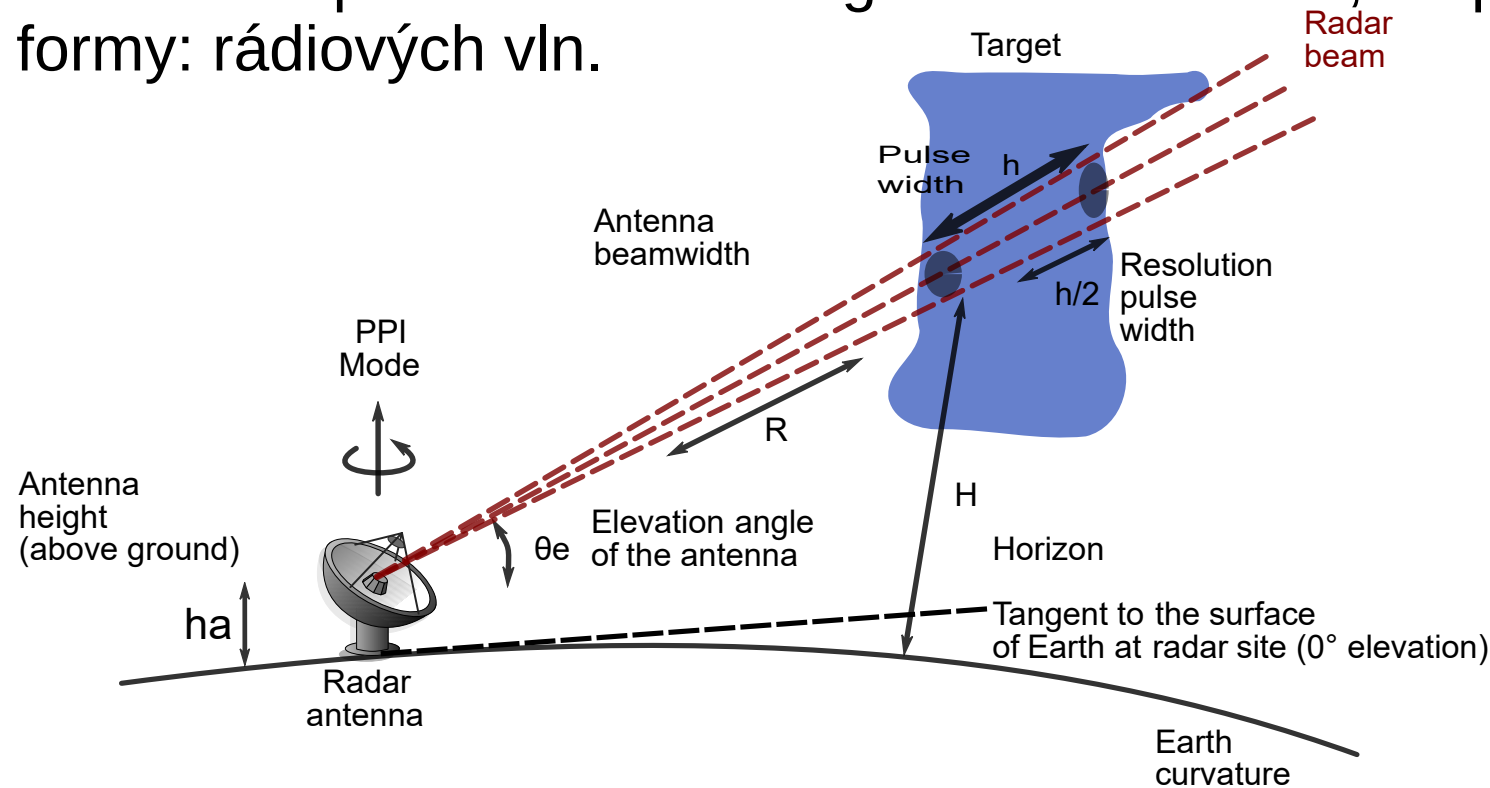
Nosná frekvence dotazu a frekvence odpovědi je z rozsahu 962-1213 MHz. Rozdíl mezi nosnou dotazu a odpovědí je ± 63 MHz podle toho, zda se jedná o maják v módu YX nebo Y..

DME může dle „normy“ obsloužit 100 letadel, ale někteří výrobci udávají i 200. Aby se zabezpečil konstantní výkon i v případě malého počtu letadel a naopak, aplikuje se takzvaný squitter, kdy pozemní DME samo řídí citlivost přijímače a také umí vytvářet „falešné“ odpovědi.

RADAR



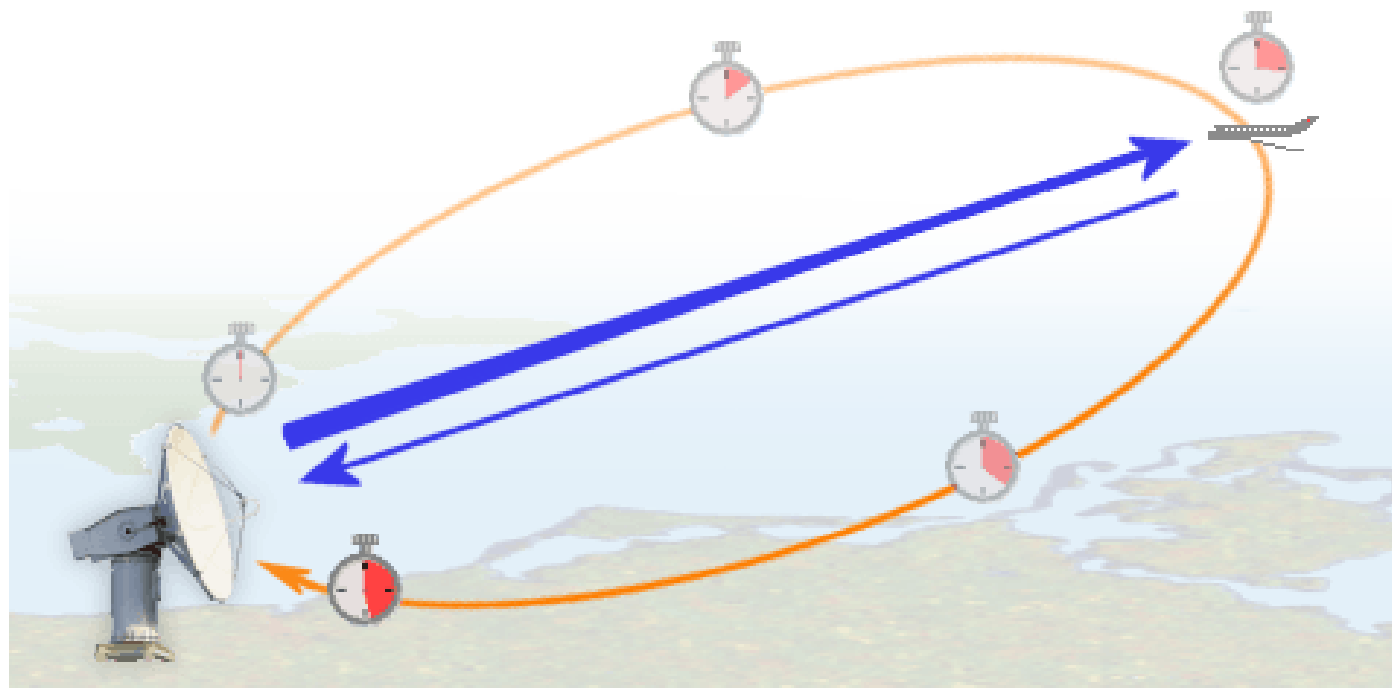
Radiolokátor neboli **radar** (anglický akronym pro radio detection and ranging, česky rádiové rozpoznávání a zaměřování) je zařízení určené k vyhledání cílů, určení jejich polohy, případně i jejich identifikaci pomocí elektromagnetického záření, resp. jedné jeho formy: rádiových vln.



Primární RADAR



Primární radar je klasický aktivní radar, kdy vysílač (pozemní nebo palubní) vysílá mikrovlnnou energii ve formě impulzů nebo stálé vlny a v čase mimo vysílání přijímá odrazy od objektů (letadel, vzducholodí, mraků, země...) jež se nacházejí ve směru kam je energie vysílána.



Odpovídač SSR



- Odpovídač SSR (Secondary Surveillance Radar) je palubní zařízení v letadle, které aktivně odpovídá na dotazy pozemního radaru (sekundárního přehledového radaru)
- Řídícím letového provozu poskytuje přesné informace o poloze, výšce a identitě letadla. Zařízení, často označované jako „squawk“, zlepšuje viditelnost letadla na obrazovce radaru.



Odpovídač SSR



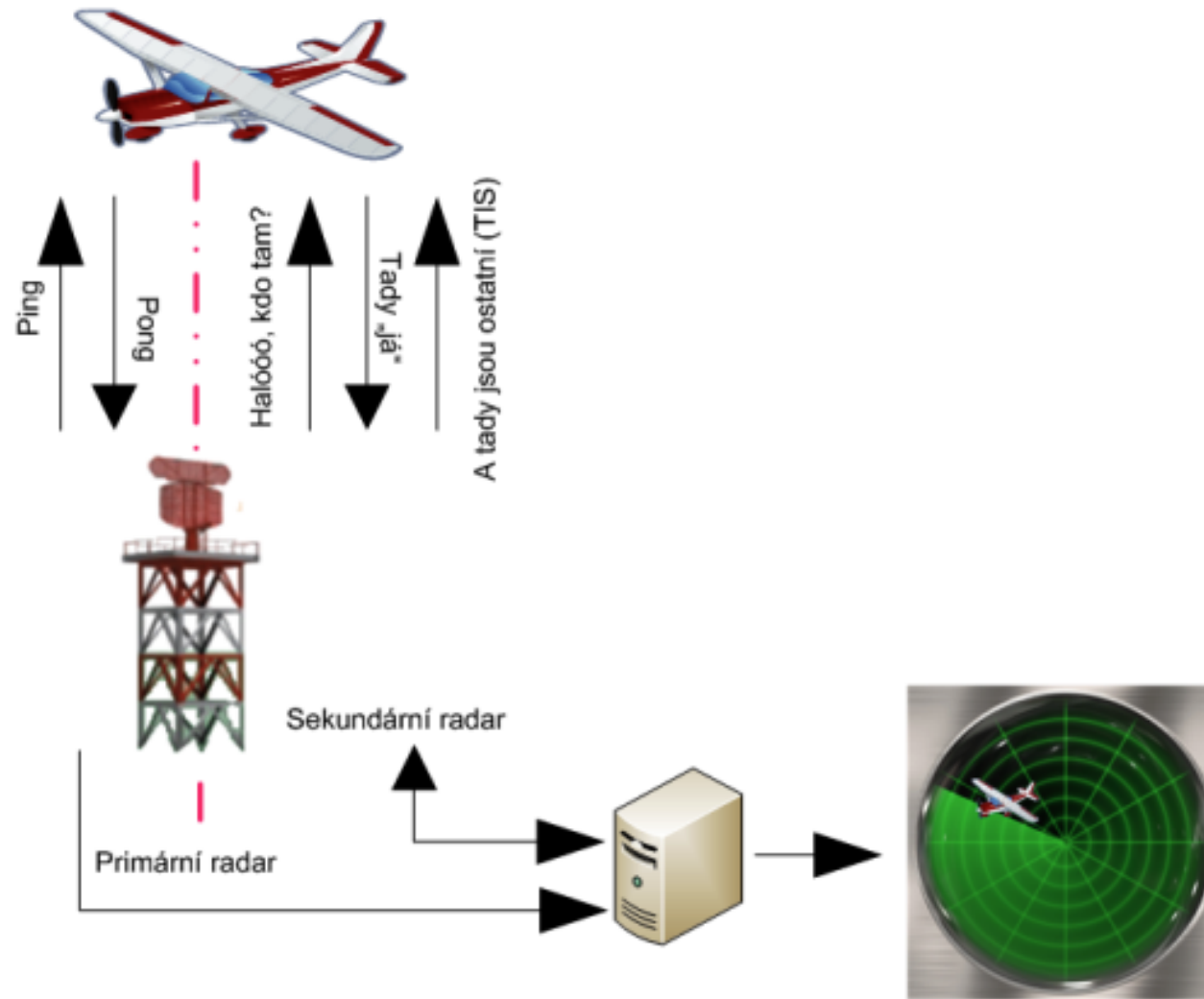
Klíčové funkce a módy SSR odpovídače:

- **Mód A:** Vysílá 4místný identifikační kód (tzv. squawk code, např. 7000 pro VFR).
- **Mód C:** Vysílá barometrickou výšku letadla (hladinu).
- **Mód S (Mode S):** Moderní standard, který vysílá 24bitovou unikátní adresu letadla, přesnou výšku a další letová data (např. nastavení QNH, rychlost).

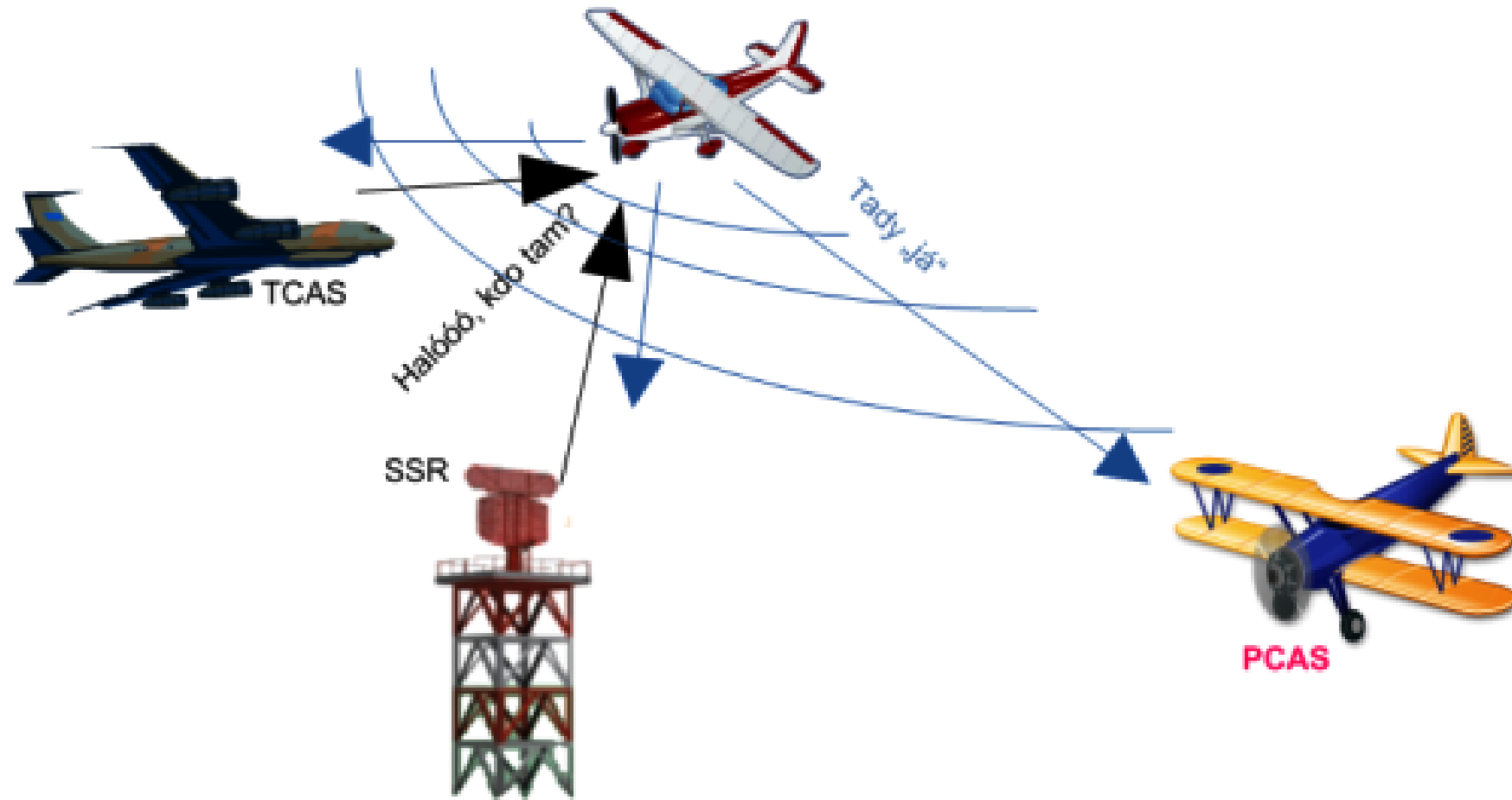
Význam a použití:

- **Bezpečnost:** Umožňuje řídicím přesně identifikovat letadla a předcházet srážkám.
- **Povinnost:** V ČR a EU je pro většinu letů (zejména IFR a v řízených prostorech) vyžadováno vybavení odpovídačem módu S.

Odpovídač SSR



Odpovídač SSR



Klíčové nouzové a specifické kódy odpovídající SSR (Squawk Codes):



7700: Nouzová situace (Emergency).

7600: Ztráta radiového spojení (Radio Failure).

7500: Protiprávní čin / únos letadla (Hijack).

7000: Standardní kód pro VFR lety (pokud není ATC určeno jinak).

2000: Standardní kód pro VFR lety v řízeném prostoru.

ILS Instrument landing system

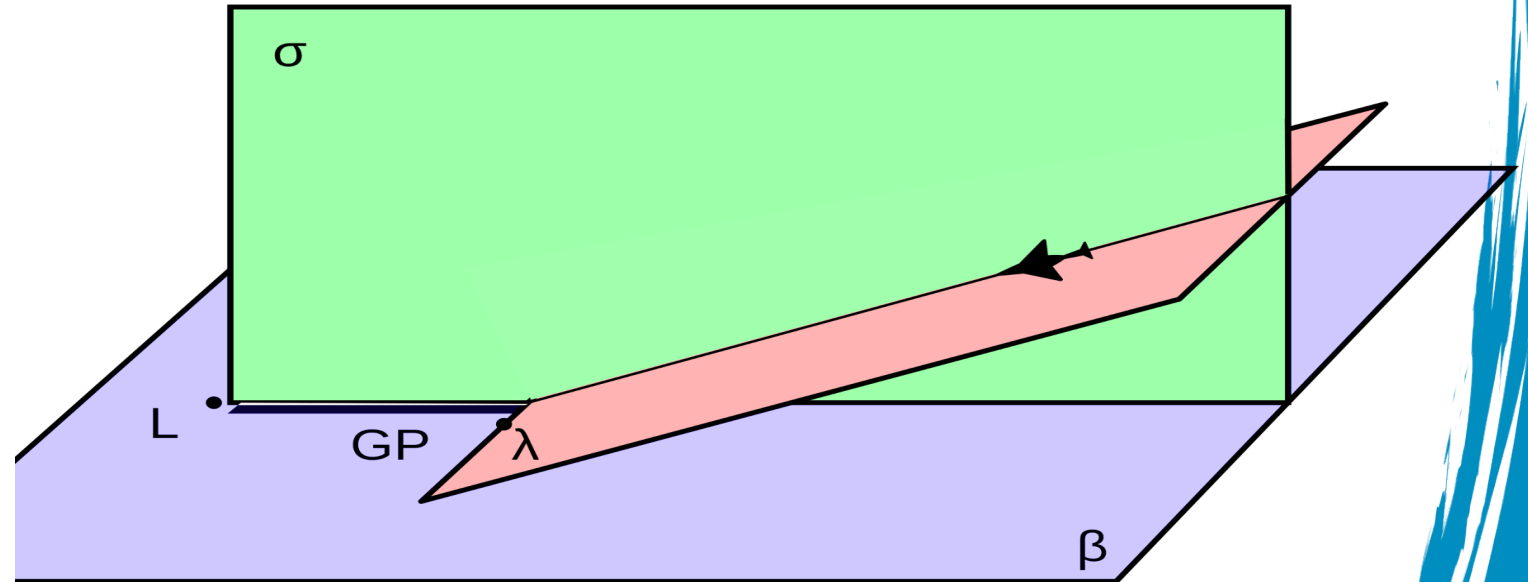


Instrument landing system (ILS) je elektronický přístrojový přistávací systém.

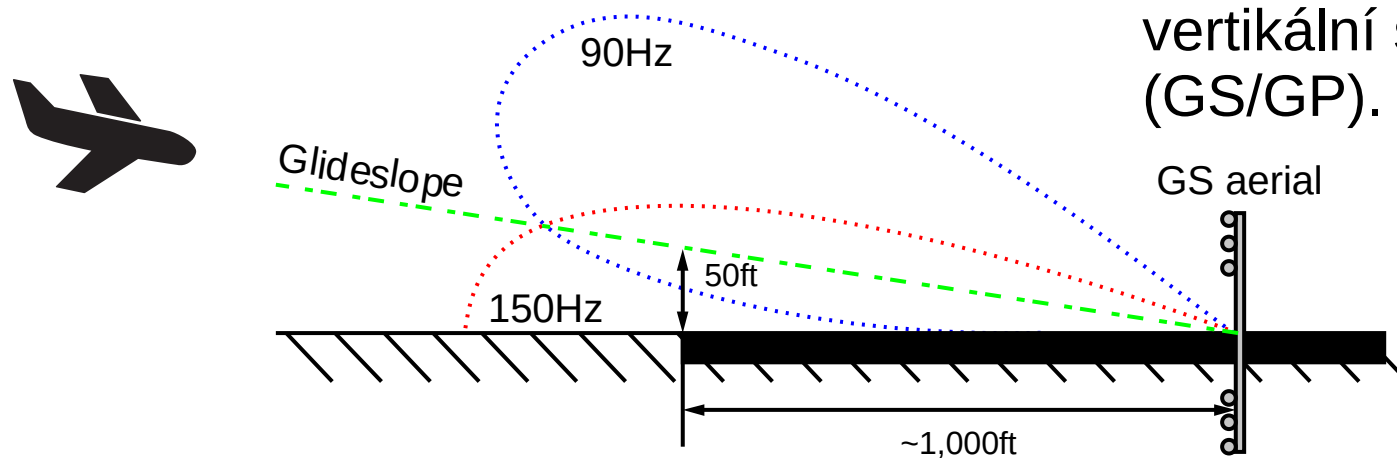
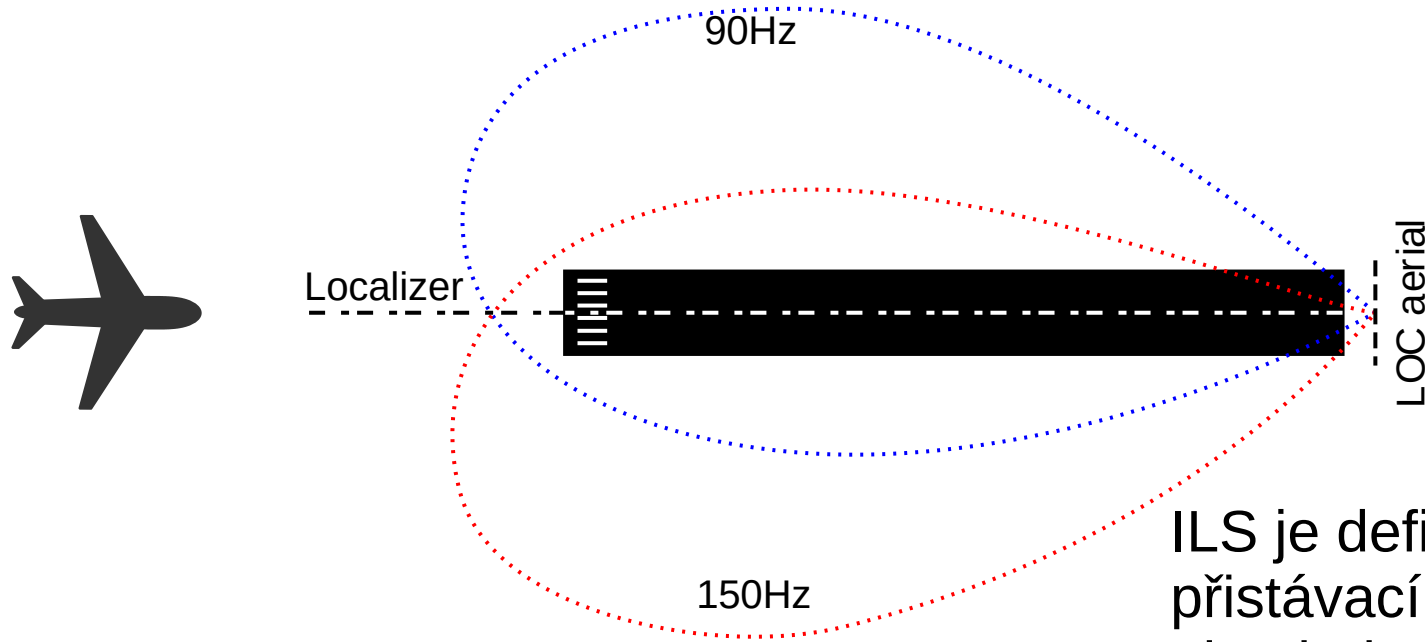
Byl vyvinut ve 40. letech dvacátého století a schválen k použití organizací ICAO v roce 1949.

Používá se dodnes, prakticky beze změn.

System poskytuje přesné informace o okamžité poloze letadla vzhledem k referenční trajektorii, vytvořené dvěma majáky pomocí směrového rádiového signálu.

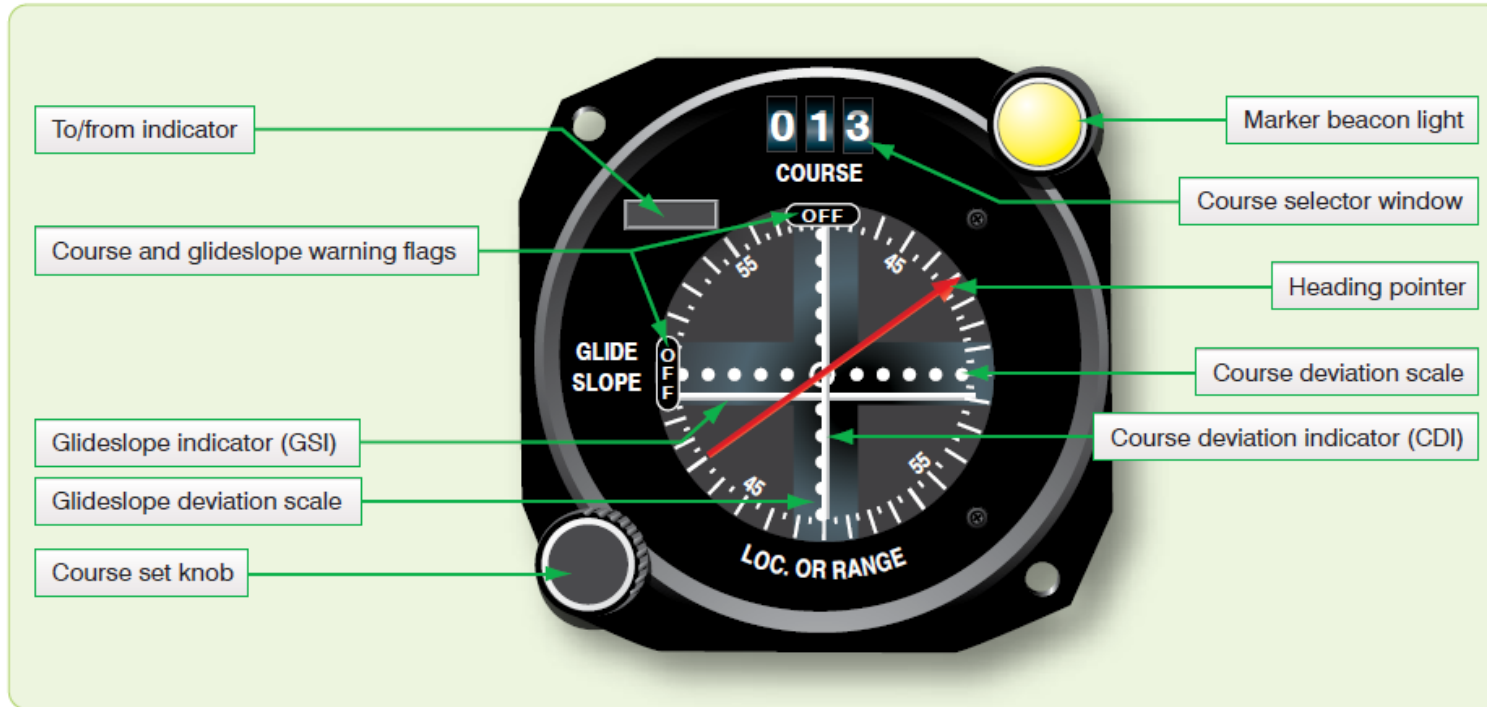


ILS Instrument landing system



ILS je definován jako „přesný“ přistávací systém, jelikož obsahuje podle definice i vertikální složku navádění (GS/GP).

ILS Instrument landing system



Zkuste si to na simulátoru



<https://www.ifrsim.fergonez.net/>

Pár odkazů

<https://www.aeroweb.cz/clanky/2195-neni-dulezite-videt-ale-byt-viden>

<https://www.radartutorial.eu/>

<https://www.airnav.eu/index.php>