

Technika bezdrátové komunikace

B2B17TBK

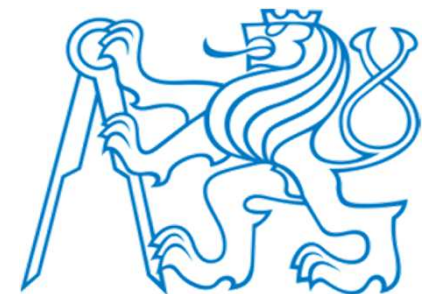
Část 1 - úvod

Přemysl Hudec

ČVUT-FEL katedra elektromagnetického pole

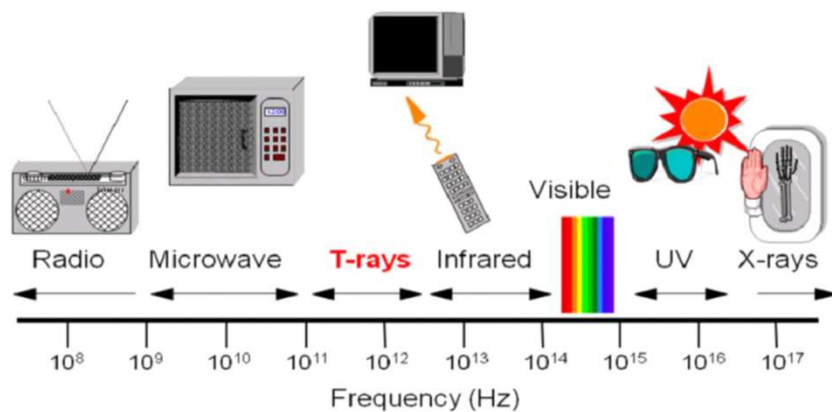
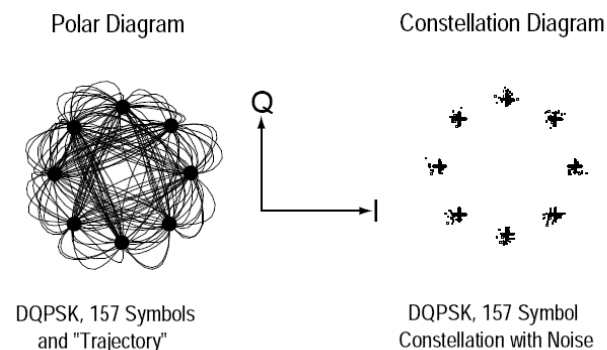
hudecp@fel.cvut.cz

verze 2025



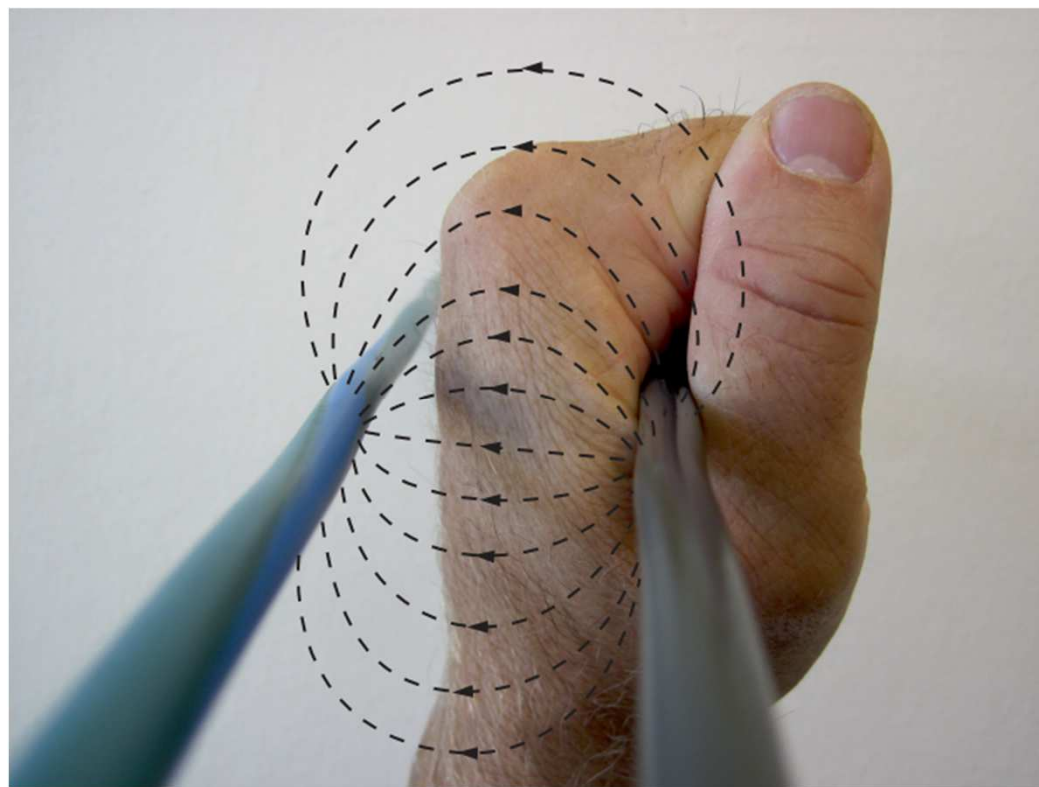
Obsah

- Bezdrátové "wireless" komunikace
- Použití vysokých frekvencí
- Antény
- Dosažitelná šířka pásma
- Související předměty EK



Bezdrátové komunikace

- **Komunikace** = přenos informací - hlas, video, data
- **Bezdrátové** = přenos informací pomocí elektromagnetických vln šířících se ve volném prostředí
- **Drátové** = přenos informací pomocí elektromagnetických vln šířících se podél vedení = speciálních metalických (optických) struktur
- **Elektromagnetické vlny** = opakování **B2B17EMP, B2B17ELD**
- **Jakákoliv elektrická energie** (na družici, z elektrárny, mezi μ -procesorem a pamětí, z baterie k LED, ...) se šíří výlučně pomocí min. 1 složky elektrického pole E a min. 1 složky magnetického pole H



Příklad vařič 2 kW

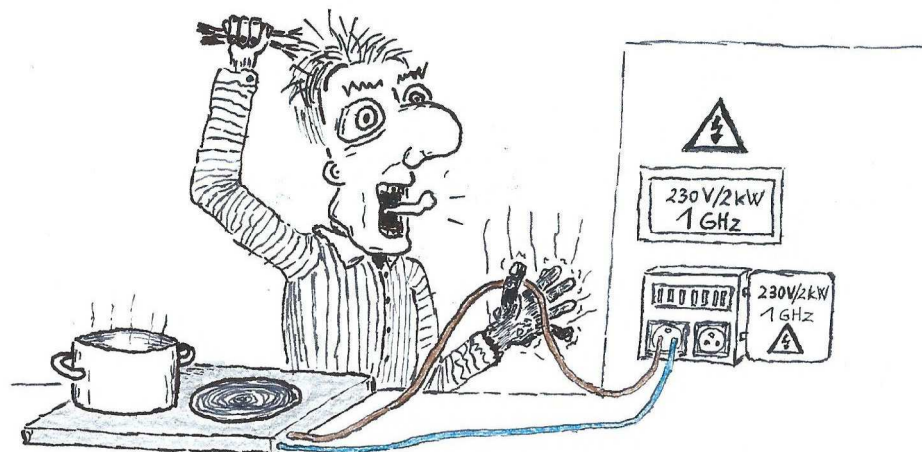
- Na nízkých frekvencích pole bez problémů prostupuje tkání
- Na 50 Hz prostupují 2 kW rukou bez povšimnutí

50 Hz



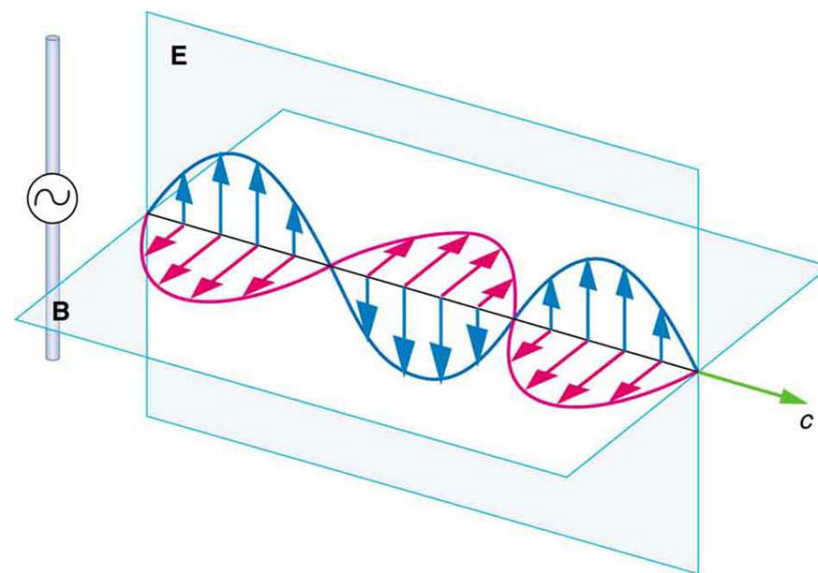
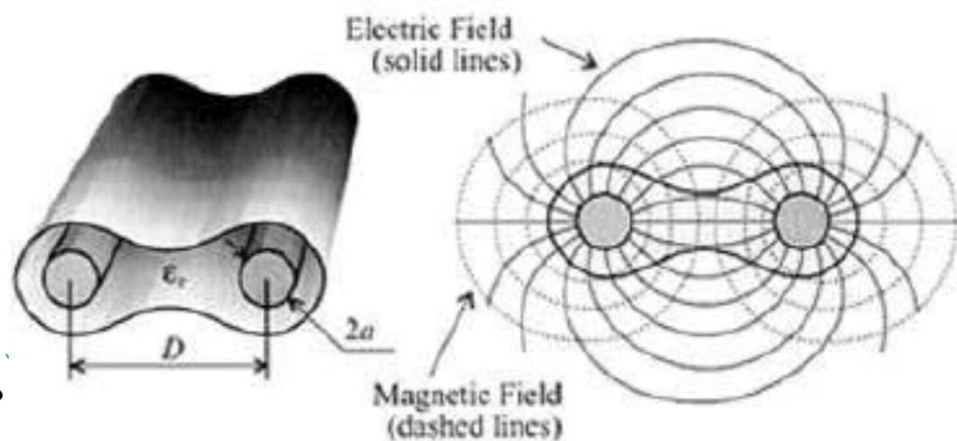
- Na vysokých frekvencích vznikají uvnitř tkání intenzivní ztráty, tkáně se zahřívají
- Princip mikrovlnné trouby
- Na 1 GHz by došlo k velmi rychlému ohřátí - popálení

1 GHz



Elektromagnetické vlny

- Složky **E** a **H** jsou na sobě kolmé a tvoří Poyntingův vektor $\hat{\vec{S}} = \hat{\vec{E}} \times \hat{\vec{H}}$
- **Vlna na vedení** – šíří se podél metalické struktury („koleje“, vlna se nerozptyluje)
- Uvnitř vodičů se žádná energie nešíří
- **Vlna ve volném prostředí** – nepotřebuje „koleje“ za cenu obrovského plýtvání, jen zcela zanedbatelná část vyslané energie je využita
- Ve volném prostředí versus na vedení - úplně stejné elektromagnetické vlny jen s trochu jinou konfigurací
- **V radiových zařízeních se využívají oba typy vln a plynuje se mezi nimi přechází**



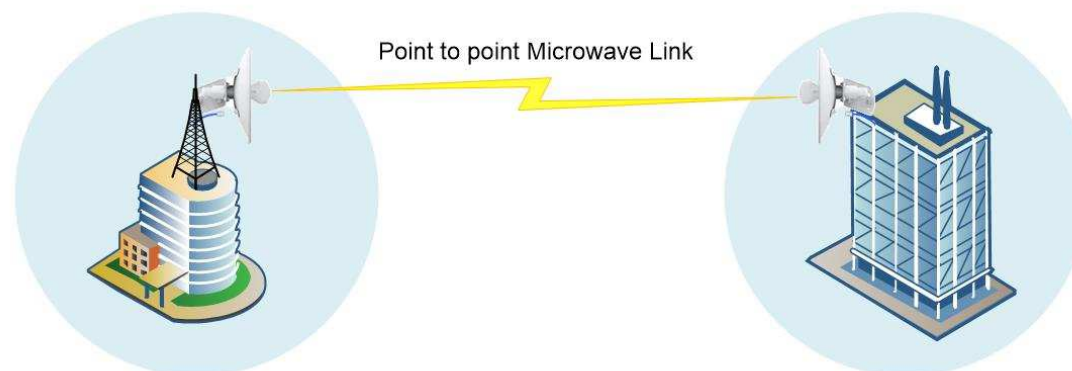
Radiová "wireless" zařízení

- **Mimořádně široké použití** → R, TV, GPS, mobilní komunikace, radarová technika, satelitní komunikace, spojení s letadly, loděmi, WLAN, Wi-Fi...
- Příklad: Mobilní telefony → obsahují přijímače/vysílače **GSM, DCS, UMTS, LTE, WiFi, GPS, FM-R, bluetooth**
- **Nějaké "rádio" je již téměř v každém zařízení** → např. fotoaparáty (bluetooth, GPS), tlakoměry na pneumatikách, kartáčky na zuby (bluetooth), ...
- S nějakým "rádiem" bude dříve nebo později pracovat (navrhovat, nastavovat, ...) každý
- **Pro efektivní návrh/používání je nutné znát základní principy, struktury a konfigurace**



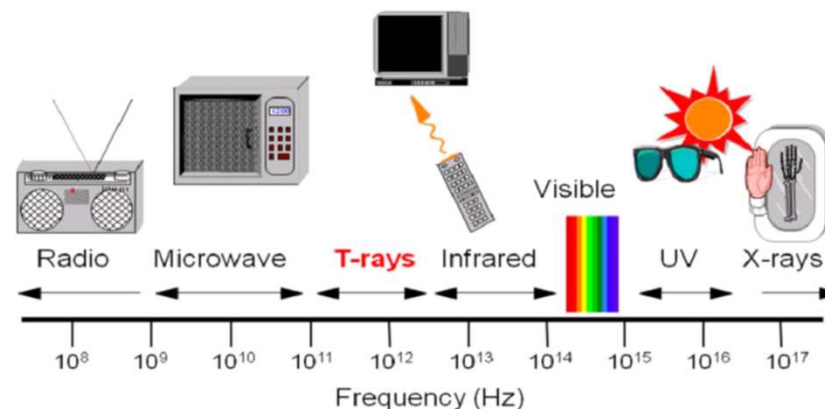
"Business"

- Objem bezdrátově přenášených dat se z 2-násobuje každých 1,5 roku
- Zabírají stále větší objem celkového světového datového toku
- Použití (velká řada různých služeb):
 - **Je to NEZBYTNÉ** → dané datové spojení není možné vytvořit jinak = komunikace se satelity, letadly, loděmi, mobilní komunikace , ...
 - **Je to JEDNODUŠŠÍ, RYCHLEJŠÍ, POHODLNĚJŠÍ** → náhrada metalických nebo optických spojů = Wi-Fi, bluetooth, WLAN, point-to-point, ...
- Radiové trasy "point-to-point" (bod-bod) → lze je instalovat a zprovoznit **během hodin až dnů**
- Metalická nebo optická propojení → plánování, schvalování, výkopy, instalace, ... mohou trvat **měsíce až roky**



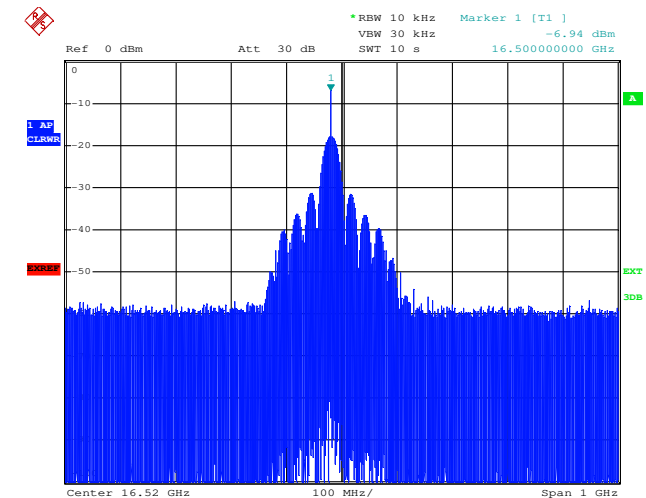
Pracovní frekvence

- Běžně 100 MHz – 100 GHz
 - **Radio Frequency** = RF
 - **Microwave** = 300 MHz – 30 GHz
 - **Mm wave** = 30 – 300 GHz
 - **THz** = nad 300 GHz
- Používají se stále vyšší a vyšší frekvence - důvody:
 - **Volnější pásma** → jednodušeji získatelná, menší rušení (=interference)
 - **Větší použitelné šířky pásem B** (větší B = větší datový tok)
 - **Menší rozměry antén**
- Nižší frekvenční pásma (<6 GHz) → již víceméně plně obsazená



Šířka pásma

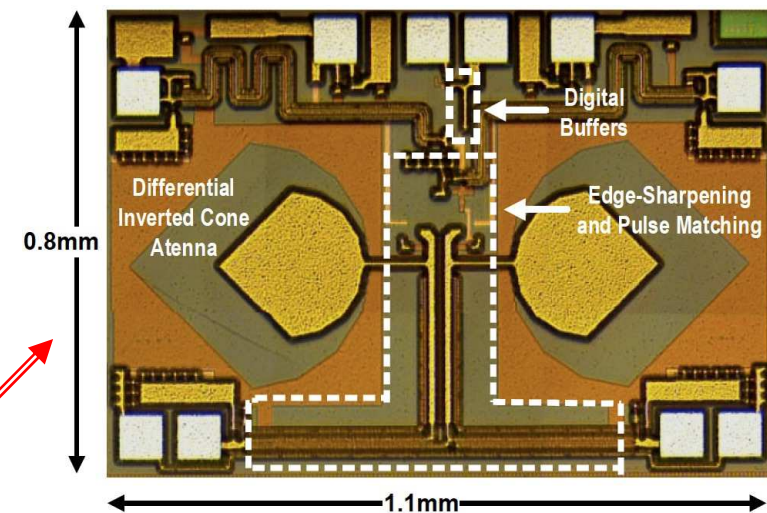
- **Frequency bandwidth** $B = f_{horní} - f_{dolní}$
- Přímý vztah s datovým tokem C , teoreticky až $C = B \log_2(1 + SNR)$
- Běžně $C > B$
- Příklad: NOKIA realizovala 10 Gbps v $B=100$ MHz @28 GHz
- **Při použití stejné modulace $2B$ poskytuje $2C$**
- Frekvenční šířky pásma:
 - Na nižší frekvencích < 6 GHz velmi omezené
 - Je to téměř stejná „komodita“ jako voda, uhlí, ...
 - Prodávají se za miliardy CZK, Euro
- Často v %:



Frekvence (GHz)	$B_{1\%}$ (MHz)	$B_{10\%}$ (MHz)
0,1	1	10
1	10	100
10	100	1000
100	1000	10000

Vysoké GHz frekvence

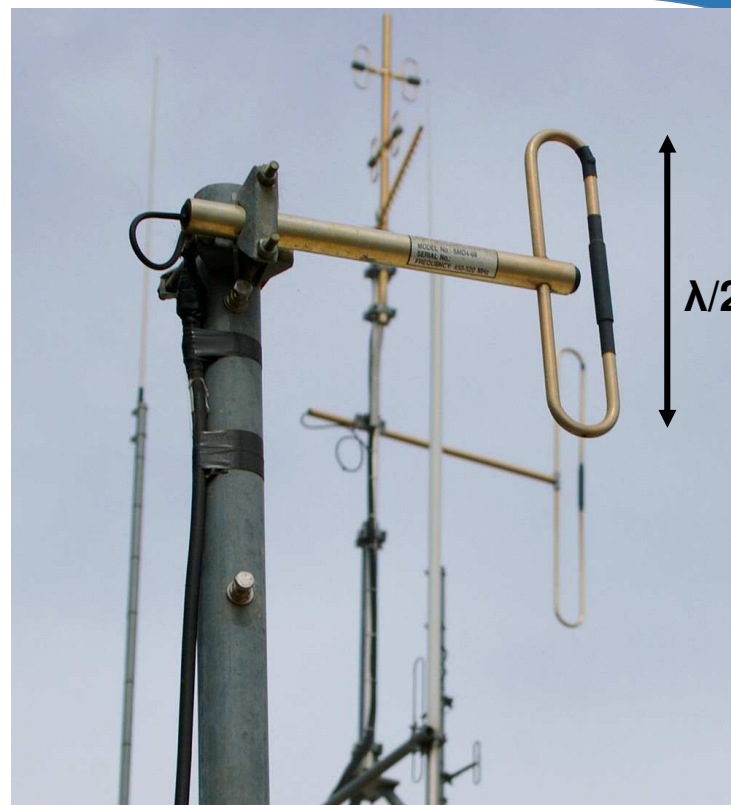
- 30 – 300 GHz, označení **mm-wave**
 - Vlnová délka 10 až 1 mm
 - Poskytuje **velmi široká B** - řádově GHz
 - Umožňuje **Gbps**
 - Stále ještě velmi málo obsazené
 - Antény mohou být přímo na čipu – 122 GHz
- ALE:
 - Obecně **velké útlumy**
 - Obvykle **malý dosah**
 - Doposud drahé (ceny rychle klesají)
- 5G komunikace → 27-80 GHz, 5 Gbps při dosahu do cca 100 m



Frekvence (GHz)	$B_{10\%}$ (MHz)	FSL (dB) @ 100m
0,1	10	52
1	100	72
10	1000	92
100	10000	112

Antény

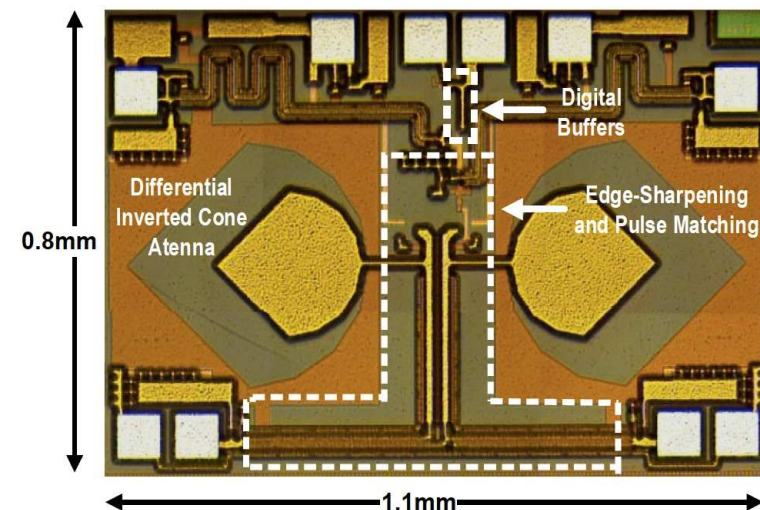
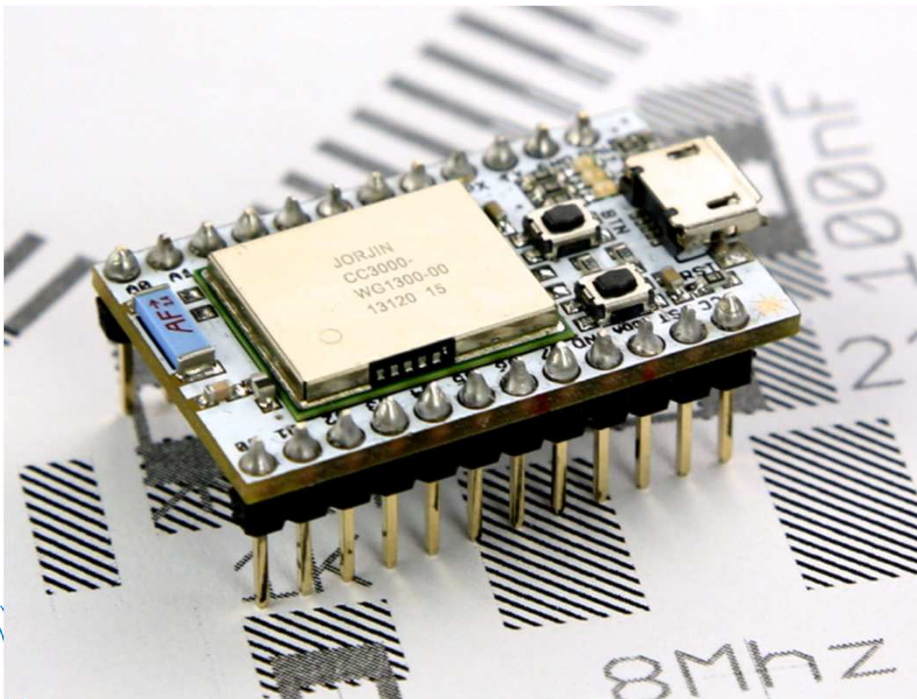
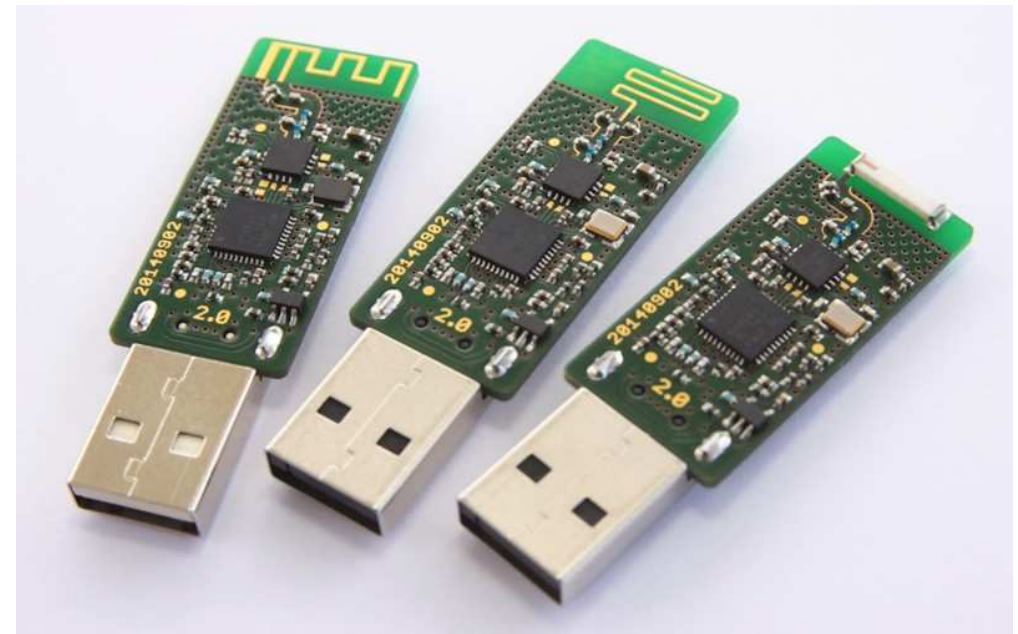
- Jedny ze základních komponent všech radiových tras
- Mnoho různých typů
- Rozměry přímo souvisí s f , λ
- **Základní rozměr je $\lambda/2$**
- Na vyšších frekvencích jsou tedy rozměry vždy menší ($\lambda = c/f$)
- Mohou být i $\gg \lambda/2$, např. parabolické antény



Frekvence	λ	$\lambda/2$
1 MHz	300 m	150 m
10 MHz	30 m	15 m
100 MHz	3 m	1,5 m
1 GHz	30 cm	15 cm
10 GHz	3 cm	1,5 cm
100 GHz	3 mm	1,5 mm

Malé antény

- Velmi důležité např. v mobilních komunikacích
- Rozměry $< \lambda/2$ (5 - 10x)
- **Ale obvykle nižší účinnost**
- Přímo na čipu v pásmech mm nebo THz
- Podrobnosti dále v kurzu



Tento předmět → B2B17TBK

- Úvod to techniky bezdrátových radiových komunikací
- Zaměřen na:
 - **Fyzikální základy**
 - **Používané komponenty a obvody**
 - **Důležité systémové výpočty**
 - **Běžně používané struktury vysílačů (TX) a přijímačů (RX)**
 - **Nejčastěji používané měřicí přístroje (v rámci semináře) a laboratoří**
 - **Šíření elektromagnetických vln v různých prostředích (volné prostředí, město, vnitřky budov, ...)**
- Velký rozsah problematiky - omezený počet hodin
- Další podrobnosti - v souvisejících resp. navazujících předmětech

Související / navazující předměty - Bc.

- **B2B17EMP Elektromagnetické pole**
 - Teorie elektromagnetického pole je základem všech bezdrátových přenosů
- **B2B17ELD Elektrodynamika**
 - Běží paralelně, teoretické základy bezdrátových komunikací, velmi důležité !!!
- **B2B32TSI Telekomunikační systémy a sítě**
 - Popis komunikačních systémů zejména s ohledem na protokoly
- **B2B37SAS Signály a soustavy**
 - Velmi důležité popisy signálů
- **B2B17VPD Vedení pro datové přenosy**
 - Bližší popis metalických vedení - používají se i pro konstrukci pasivních i aktivních radiových obvodů
 - Podrobněji – telegrafní rce, Smithův diagram, impedanční přizpůsobování, ...
- **B2B37ROZ Rádiové obvody a zařízení**
 - Podrobnější popis radiových obvodů
 - Podrobnější popis používaných modulací

Související / navazující předměty - Mgr.

- **B2M32MKS Buňkové mobilní sítě**
 - Podrobný popis struktur a protokolů mobilních sítí
- **B2M37DKM Digitální komunikace**
 - Detailní popis modulací a metod zpracování signálů
- **B2M17ANT Antény**
 - Podrobný popis návrhu různých typů antén
- **B2M17SBS Šíření vln pro bezdrátové spoje**
 - Analýza šíření elektromagnetických vln v různých prostředích - volné prostředí, uvnitř měst, uvnitř budov, ...
- **B2M17MIO Mikrovlnné obvody**
 - Návrh všech důležitých aktivních i pasivních mikrovlnných obvodů
 - Cvičení = praktické návrhy konkrétních obvodů s využitím profi SW
- **B2M17MIM Mikrovlnná měření**
 - Podrobný popis důležitých VF a mikrovlnných měřicích přístrojů a metod
 - Řada praktických měření s použitím moderních přístrojů