

Návrh a konstrukce antén

B0M17NKA

Systemy bezdrátového napájení a "vytěžování" energie

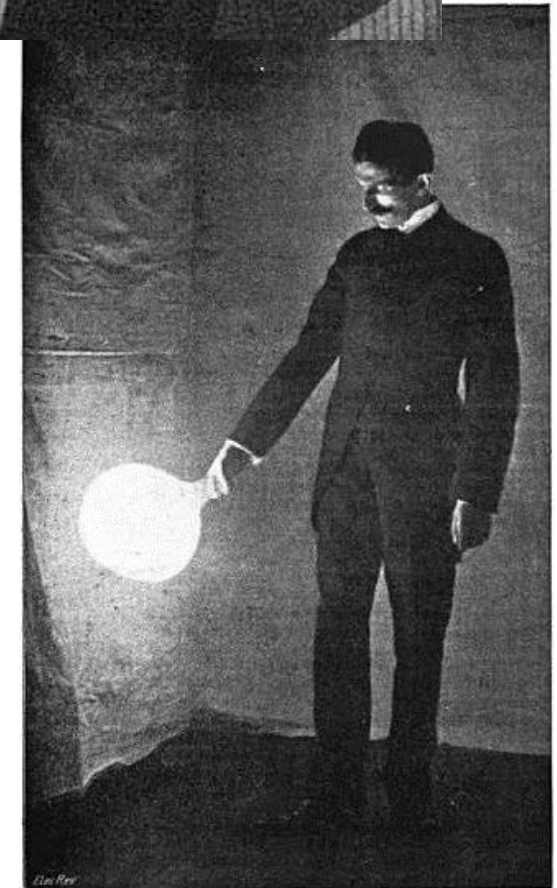
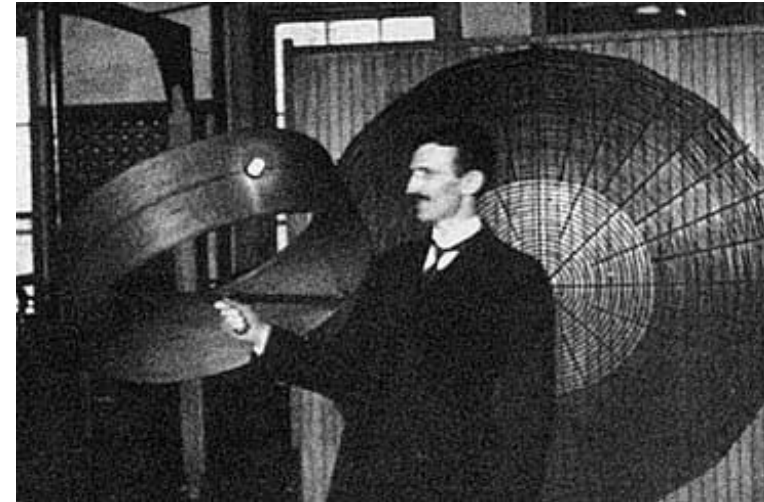
Milan Švanda
ČVUT v Praze, FEL
B2: 639

milan.svanda@fel.cvut.cz



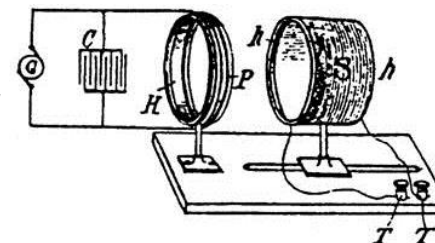
Osnova

- **Rozdělení přístupů**
 - Bezdrátový přenos výkonu
 - Induktivní přenos
 - Přenos elektromagnetickou vlnou
 - „Vytěžování energie“
- **Induktivní přenos výkonu**
 - Účinnost přenosu
 - 2D a 3D systém
- **Přenos výkonu elektromagnetickou vlnou**
 - Účinnost přenosu
 - 2D a 3D systém
 - Rectena
- **Vlastnosti systémů „vytěžování“ energie**
- **Návrhové aspekty systémů pro dobíjení baterií**
- **Shrnutí**



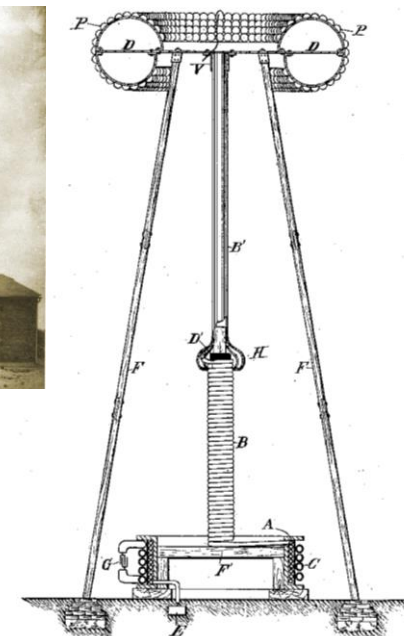
Trocha historie

- Bezdrátový přenos výkonu elektrickým a magnetickým polem.
 - N. Tesla: "High frequency oscillators for electro-therapeutic and other purposes," *The Electrical Engineer*, vol. 26, no. 550, 17 Nov., 1898.
 - N. Tesla: "System of transmission of electrical energy," U.S. Patent 649 621, 1900.



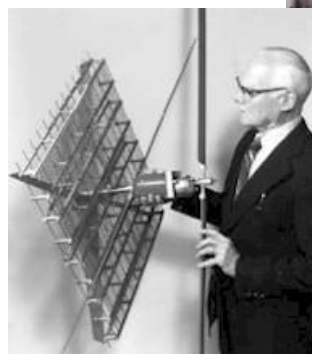
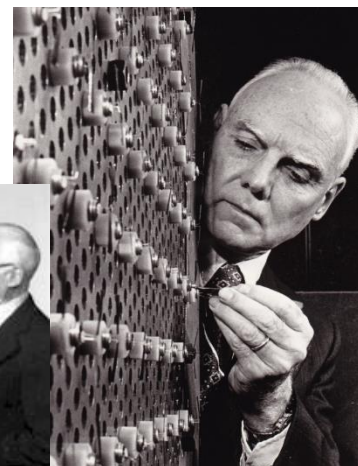
- Wardencliffská (Teslova) věž

- N. Tesla: "Apparatus transmitting electrical energy," U.S. Patent 1 119 732, 1 Dec. 1914.
- Cílem bylo po celém světě bezdrátově přenášet informace a elektrickou energii, která je schopna se za určitých podmínek odrážet od ionosféry.
- Věž byla vysoká 57m, průměr kupole činil 21m. Pod věží byla vyhloubena 37m hluboká kolmá šachta se schodištěm. Kovové jádro věže vážilo asi 50t. Jak přesně věž fungovala, věděl jen její autor. A možná ani ten ne...



- Přenos elektromagnetickou vlnou

W. C. Brown: "Experiments involving a microwave beam to power and position a helicopter," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. AES-5, no. 5, pp. 692–702, Sept. 1969.



Rozdělení

- Bezdrátový přenos výkonu
(WPT – Wireless Power Transfer)

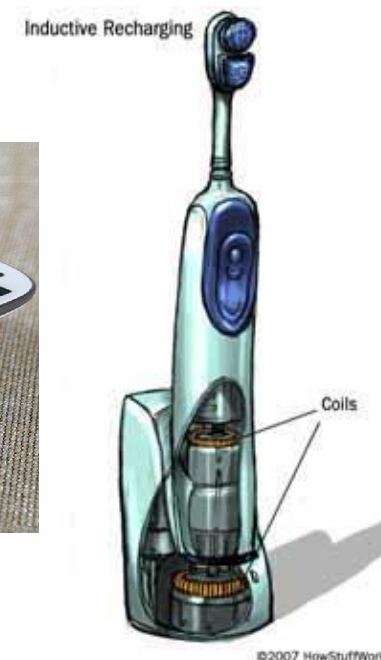
Dle charakteru EM pole:

- Přenos magnetickým polem
(elektromagnetická indukce)
 - Indukční vazba
 - Rezonanční induktivní vazba
- Přenos elektromagnetickou vlnou

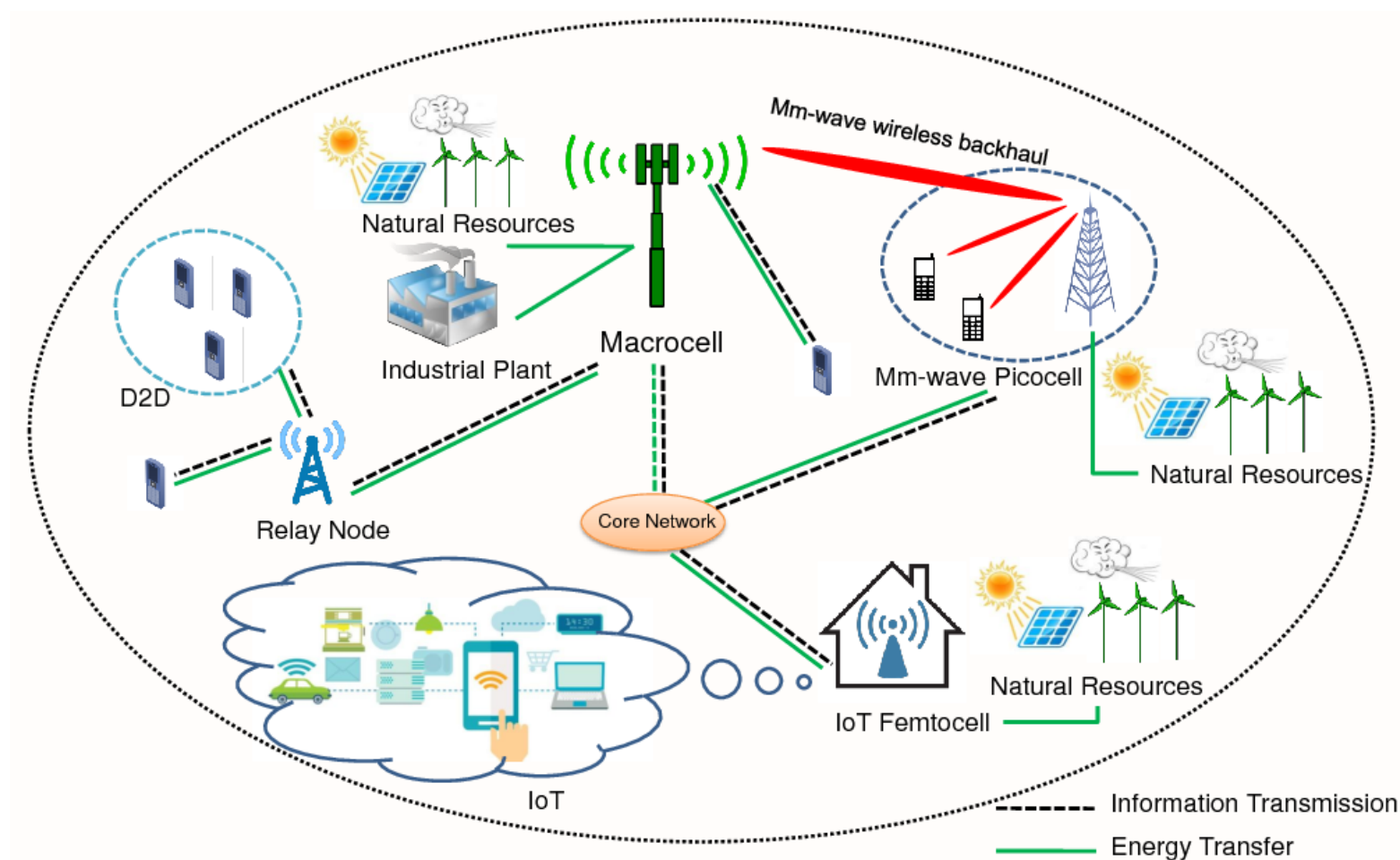
Dle stupňů volnosti pohybu:

- 2D
- 3D

- „Vytěžování“ energie („Energy Harvesting“)
 - Principy využívající tepelnou energii
 - Mechanické principy
 - Elektromagnetické principy
 - Fotovoltaické systémy



Systemy bezdrátového napájení



Blokové schéma systému bezdrátového napájení

- Obecné blokové schéma WPT systému pro přenos výkonu

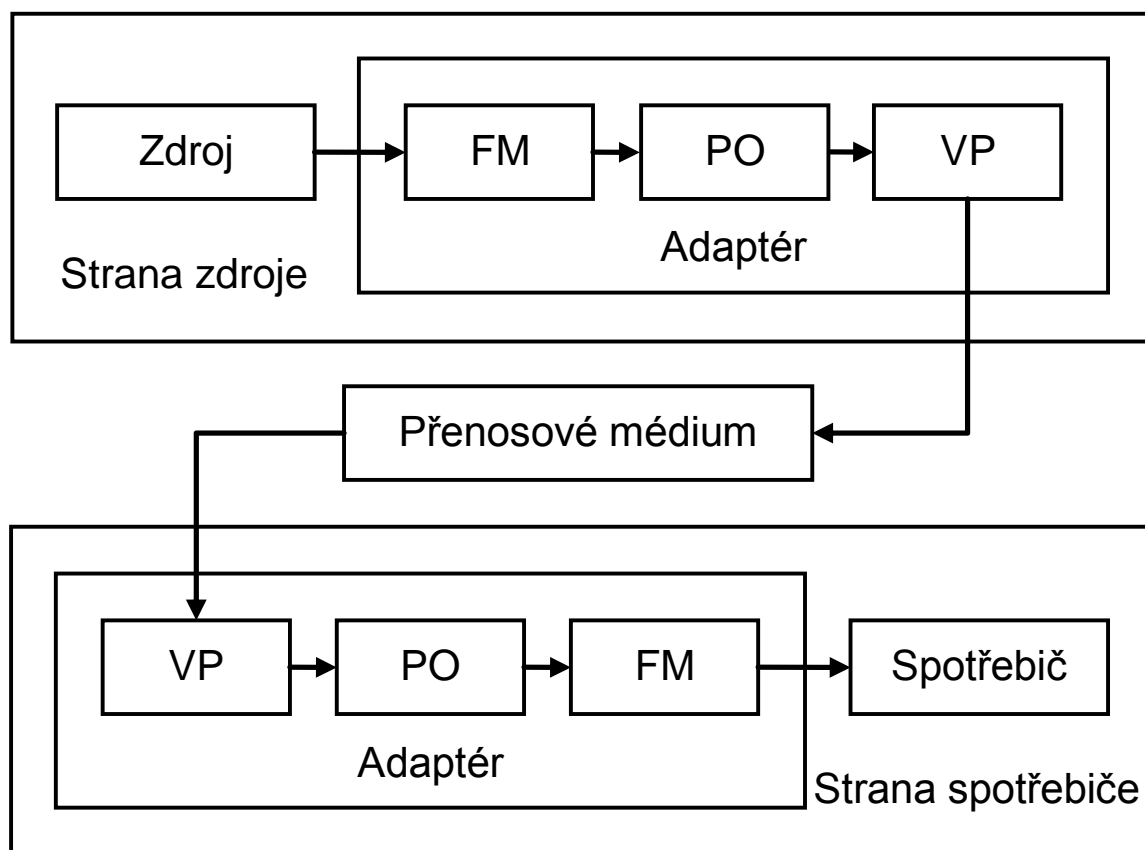
FM – Frekvenční měnič

- Kmitočet vhodný pro přenos může být odlišný od pracovního kmitočtu zdroje a spotřebiče.

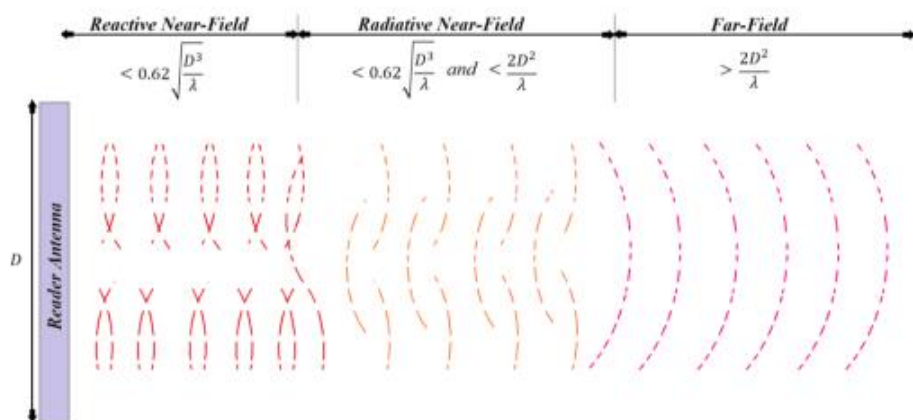
PO – Přizpůsobovací obvod

VP – Vazební prvek

- Cívka
- Anténa



Hranice zón vyzařování EM pole zdrojem



Zóna	Hranice
Reaktivní blízká zóna	$r \in \langle 0; 0,62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \rangle$
Vyzařující blízká zóna	$r \in \langle 0,62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}}; \frac{2D^2}{\lambda} \rangle$
Vzdálená zóna	$r \in \langle \frac{2D^2}{\lambda}; \infty \rangle$

D ... největší rozměr vazebního prvku (antény)

Reaktivní blízká zóna

- Dominuje jalový výkon nad činným.
- Rozložení elektromagnetického pole je závislé na vzdálenosti r .

Vyzařující blízká zóna

- Činný výkon začíná dominovat nad jalovým.
- Rozložení elektromagnetického pole je stále závislé na vzdálenosti r .

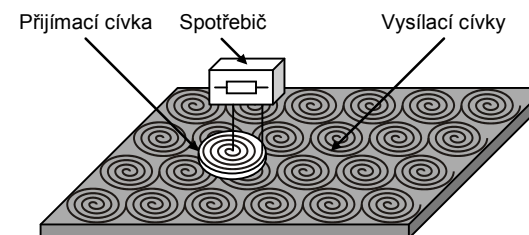
• Vzdálená zóna

- Jalový výkon zaniká a činný výkon je dominantní.
- Rozložení elektromagnetického pole je v podstatě nezávislé na vzdálenosti.
- Elektromagnetické pole zde existuje ve formě vlny.

Porovnání vlastností konceptů WPT

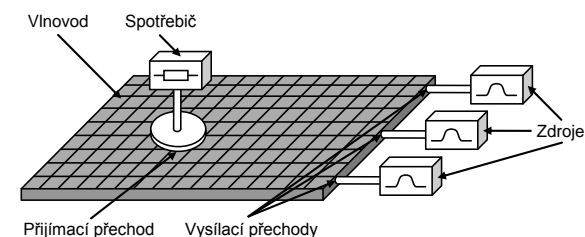
- Indukční přenos 2D

Vzdálenost přenosu	jednotky mm – jednotky cm
Frekvence	desítky kHz – jednotky MHz
Účinnost přenosu	desítky % (až 80 %)



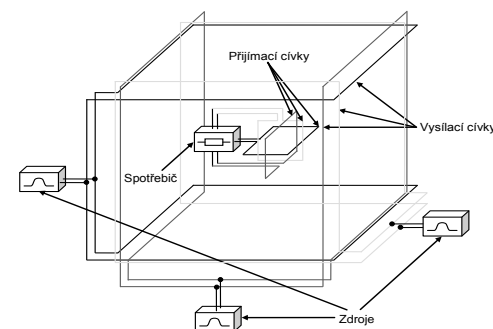
- Přenos EM vlnou 2D

Vzdálenost přenosu	jednotky mm – jednotky cm
Frekvence	jednotky GHz
Účinnost přenosu	jednotky %



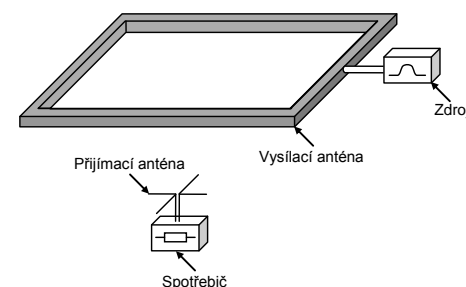
- Indukční přenos 3D

Vzdálenost přenosu	desítky cm – jednotky m
Frekvence	stovky kHz – jednotky MHz
Účinnost přenosu	jednotky – desítky %



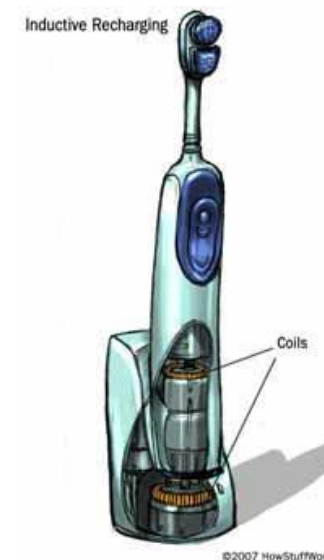
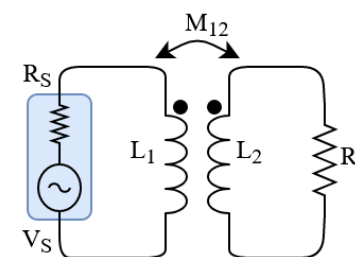
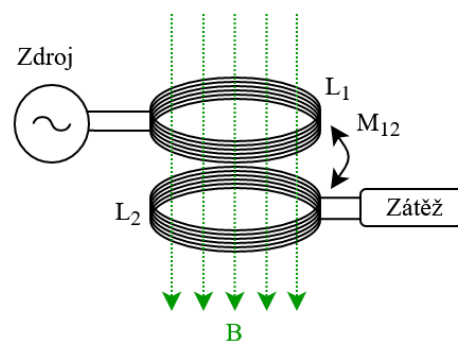
- Přenos EM vlnou 3D

Vzdálenost přenosu	desítky cm – jednotky m
Frekvence	jednotky GHz
Účinnost přenosu	setiny %



Bezdrátové napájení

Induktivní přenos



©2007 HowStuffWorks

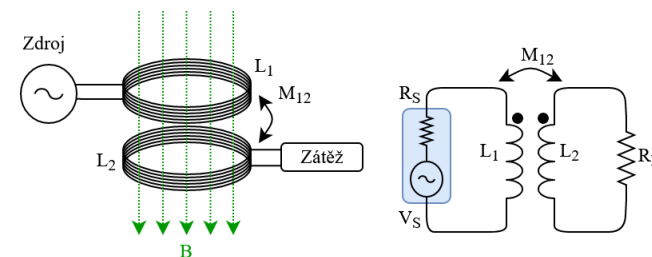
Principy přenosu (nf)

- Elektromagnetická indukce (Faradayův zákon)

- V důsledku časové změny magnetického indukčního toku je generováno (indukováno) napětí na přijímací cívce.

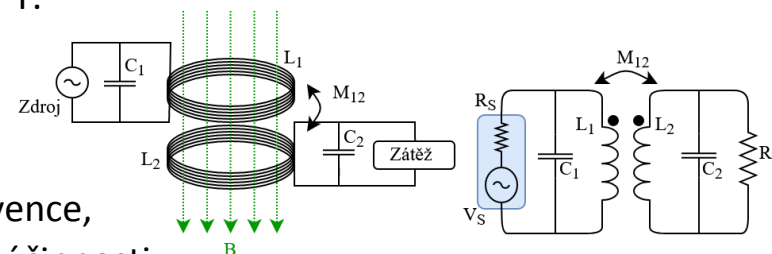
- Systémy s indukční vazbou (Inductive power transfer, IPT)

- Princip vzduchového transformátoru.
- Pracuje mírně nad rezonancí.
- Nutné zajistit přesnou vzájemnou pozici cívek.



- Systémy s rezonanční induktivní vazbou (Resonant inductive coupling)

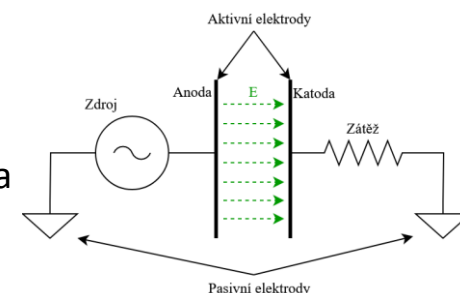
- Přijímací obvod je naladěn přesně na stejnou rezonanční frekvenci jako obvod vysílací.
- Přenos maximální možné energie na delší vzdálenost než u IPT.
- Menší vliv vzájemné pozice dvou cívek.
- Nevýhoda – „frequency splitting“ (štěpení frekvence)
 - V případě těsné vazby, původní rezonanční frekvence zaniká a vznikají dvě nové rezonanční frekvence, což má za následek rozladění původní vazby a pokles účinnosti.



- Elektrostatická indukce

- Systémy s kapacitní vazbou

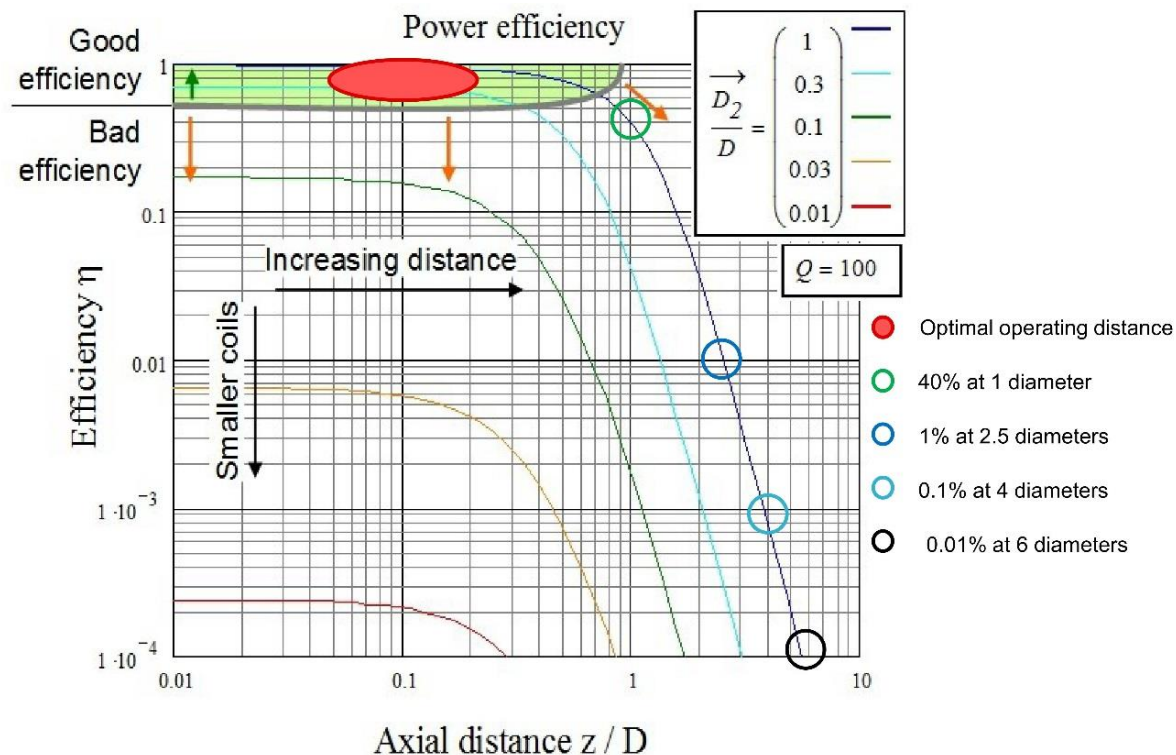
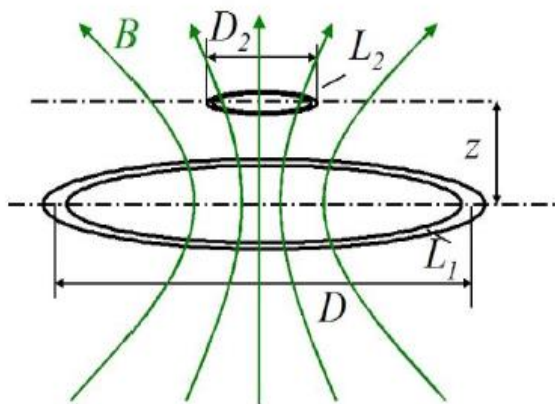
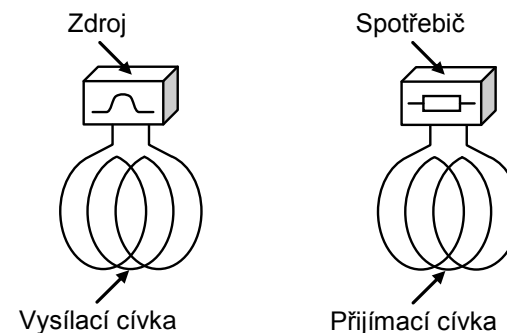
- Přenos prostřednictvím elektrického pole, které vzniká mezi 2 elektrodami.
- Generování střídavého napětí vysílačem způsobí střídavou změnu potenciálu na primární elektrodě -> generuje střídavou změnu potenciálu na přijímací straně.
- Nevýhody: interakce el. pole s okolními materiály (svedení náboje do země), riziko výboje.



Účinnost indukčního přenosu

- Induktivní vazba - podmínky

- Ztráty tvoří převážně ohmické odpory vysílací a přijímací cívky.
- Přenos není příliš ovlivněn přenosovým prostředím ani cizími předměty v něm (médium a většina předmětů v místnosti mají dielektrický charakter).
- Nutná bezprostřední vzdálenost srovnatelná s průměrem cívek.
- Plochy vysílací a přijímací cívky by měly být srovnatelné.
- Jinak extrémně klesá účinnost (pro vzdálenost $z=6D \rightarrow \eta=10^{-4}$)



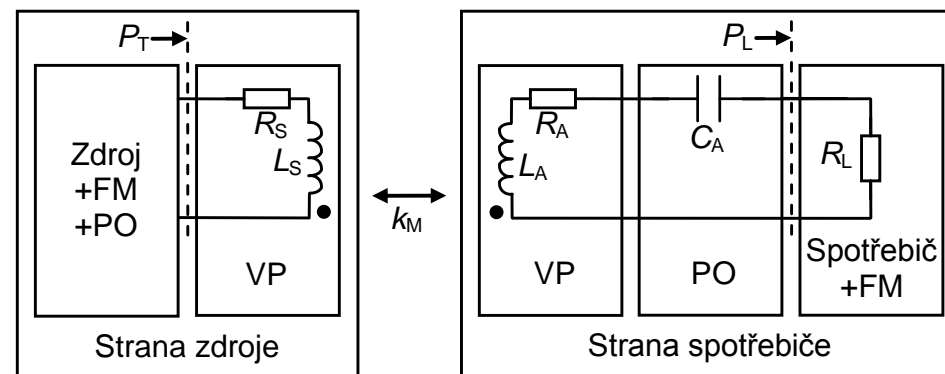
Účinnost indukčního přenosu

- Podmínky optima

$$\omega L_A = \frac{1}{\omega C_A}$$

$$R_L = \sqrt{R_A^2 + \omega^2 k_M^2 L_A L_S \frac{R_A}{R_S}} \quad \text{kde} \quad k_M = \frac{M}{\sqrt{L_A L_S}}$$

- Zajištění rezonance reaktancí přijímací cívky a přizpůsobovacího kondenzátoru.



C_A - kapacita přizpůsobovacího kondenzátoru

L_A - vlastní indukčnost přijímací cívky

L_S - vlastní indukčnost vysílací cívky

R_A - ohmický odpor přijímací cívky

R_S - ohmický odpor vysílací cívky

R_L - efektivní odpor spotřebiče včetně frekvenčního měniče

k_M - koeficient vazby vysílací a přijímací cívky

ω - úhlový kmitočet $\omega = 2\pi f$

Účinnost indukčního přenosu

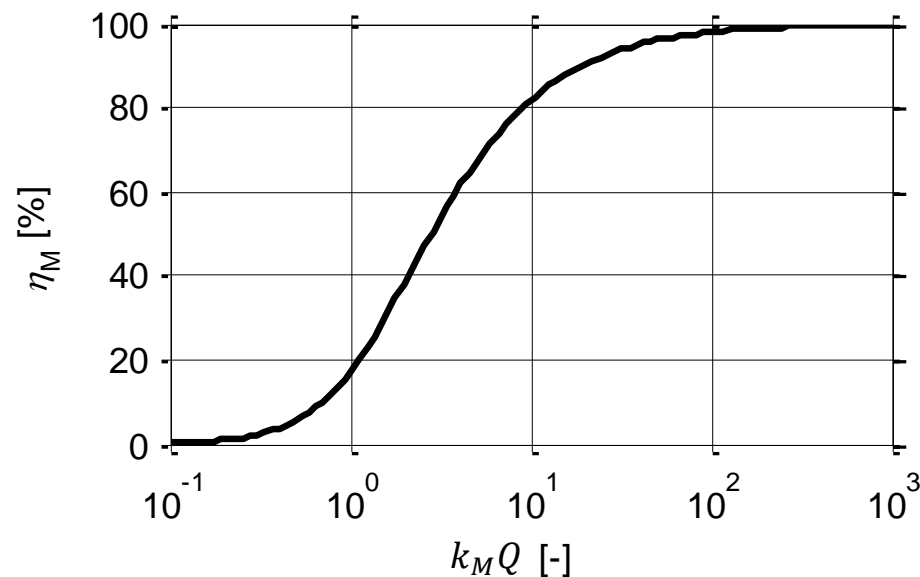
- Maximální dosažitelná výkonová účinnost přenosu

$$\eta_M = \frac{P_L}{P_T} = \frac{(k_M Q)^2}{(1 + \sqrt{1 + (k_M Q)^2})^2}$$

kde

$$k_M = \frac{M}{\sqrt{L_A L_S}}$$

$$Q = \sqrt{Q_A Q_S} \quad Q_A = \frac{\omega L_A}{R_A} \quad Q_S = \frac{\omega L_S}{R_S}$$



- Požadované účinnosti η_M lze dosáhnout vhodnou kombinací parametrů k_M a Q ->
- Snížení vazby vysílacích a přijímacích cívek (k_M)
 - zvětšení vzdálenosti vysílacích a přijímacích cívek
 - nevhodné vzájemné uspořádání cívek
- Lze kompenzovat zvýšením činitelů jakosti cívek Q_A , Q_S
 - snížení odporů cívek R_A , R_S
 - zvýšení úhlové frekvence ω
 - > R_A , R_S závisí na frekvenci přibližně úměrně $\omega^{1/2}$. Zvětšení ω tedy skutečně zvyšuje Q .

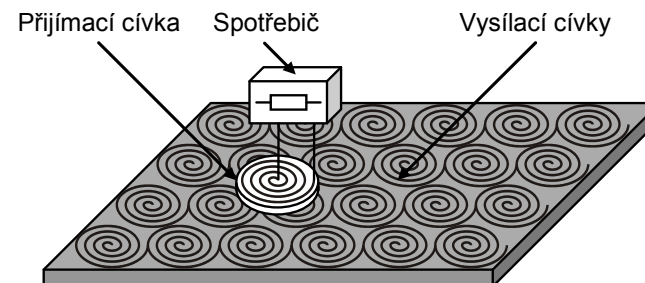
Indukční přenos - příklady

• 2D systém

- Bezdrátové dobíjení mobilních telefonů, hodinek, apod.
 - Nabíječky
 - Podložky
 - Integrace do nábytku



- Bezdrátové dobíjení zařízení pracujících ve vlhkém prostředí
 - Např. zubní kartáčky

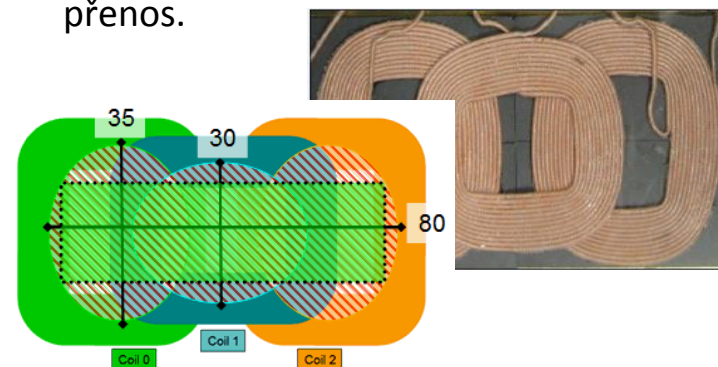


- Bezdrátové dobíjení elektromobilů



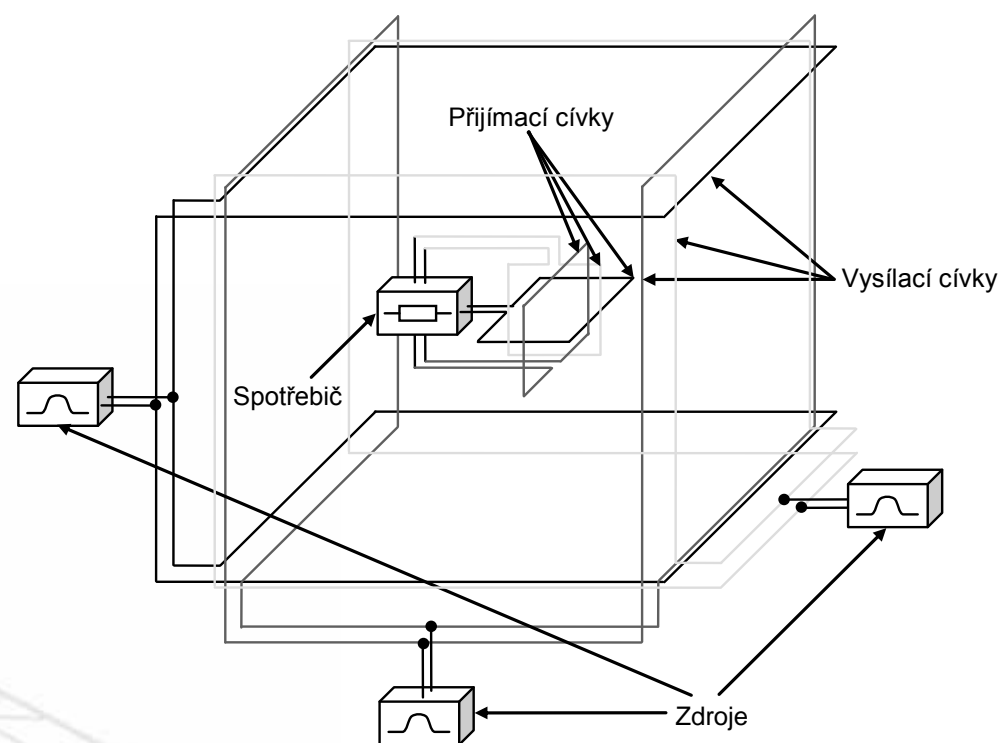
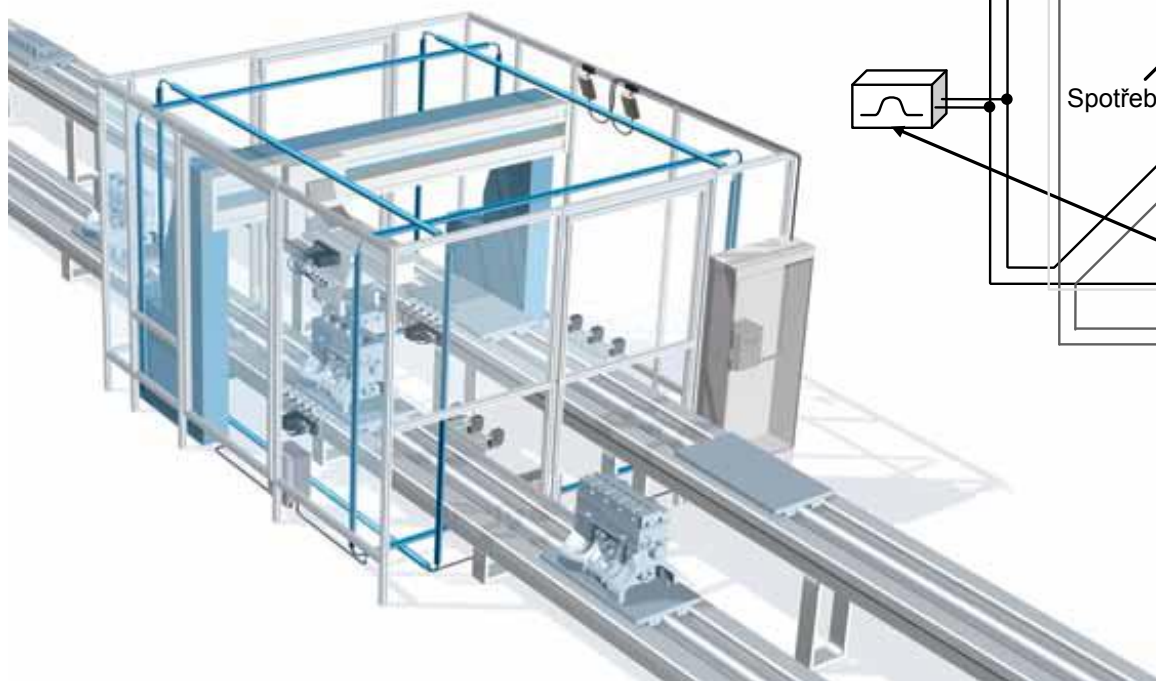
- Vícecívkové systémy (podložky)

- Schopny nabíjet jen 1-2 zařízení (dle počtu přijímačů)
- Dochází k výběru nejlépe umístěné cívky.
- Ostatní cívky jsou odpojeny a neovlivňují přenos.



Indukční přenos - příklady

- 3D systém
 - Systém WISA (společnost ABB)
 - Bezdrátové napájení senzorů a aktuátorů v průmyslových aplikacích.
 - Automatizace továren v mnoha případech vyžaduje dobu odezvy kratší než 10 ms pro stroj s více než 100 snímačů a/nebo akčních členů.
 - 2003 nasazeno v prvních aplikacích
 - www.abb.com



Indukční přenos (přenos magnetickým polem)

- Standardizace

- **Qi** (www.wirelesspowerconsortium.com)

- Výslovnost: čí – z čínštiny – význam „přírodní energie“.
 - Standard pro **bezdrátové nabíjení pomocí elektromagnetické indukce** vyvinutý sdružením výrobců „Wireless Power Consortium“(WPC).
 - **Pracuje v kmitočtových pásmech 87 – 205 kHz.**
 - Dnes se přechází na 1 MHz (menší ztráty v přijímači, menší cívky).
 - **Využívá** (většinou) **indukční vazbu** (pracuje mírně nad rezonancí).
 - **Umožňuje napájení zařízení výkony do 5 a 15W.**
 - Vzájemná komunikace mezi zařízeními je pomocí AM – FM modulace.
 - Členy skupiny jsou např.: Nokia, Sony, Panasonic, Apple, Bosch, ST Microelectronics.



- **AirFuel Alliance** (airfuel.org)

- Alternativní standard pro **rezonanční elektromagnetické nabíjení** sdružení AirFuel.
 - Vzniklo spojením několika menších aliancí
 - A4WP (Alliance for WirelessPower) a PMA (Power Matters Alliance).
 - **Pracuje na kmitočtu 6,58 MHz.**
 - **V současnosti zahrnuje výkonové úrovně do 50W.**
 - **Pracuje přesně v rezonanci.**
 - lepší účinnost, menší nároky na sesazení cívek.
 - Vzájemná komunikace mezi zařízeními je s pomocí AM – FM modulací (stejně jako u Qi)
 - některá zařízení mohou využívat k výměně informací Bluetooth.
 - Členy aliance jsou např.: Huawei, Samsung, TDK.



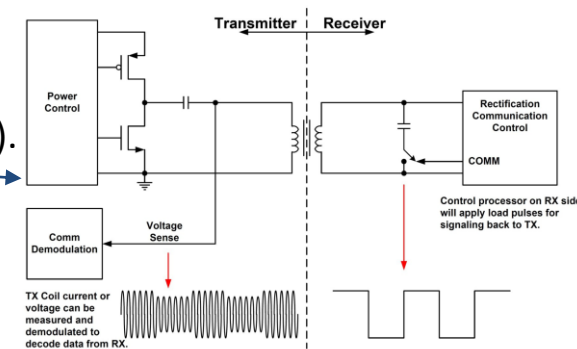
Indukční přenos (přenos magnetickým polem)

- Qi standard



- Kmitočet 87 – 205 kHz, dnes se přechází na 1 MHz (menší ztráty v přijímači, menší cívky).
- Před spuštěním přenosu výkonu probíhá komunikace mezi vysílačem a přijímačem.

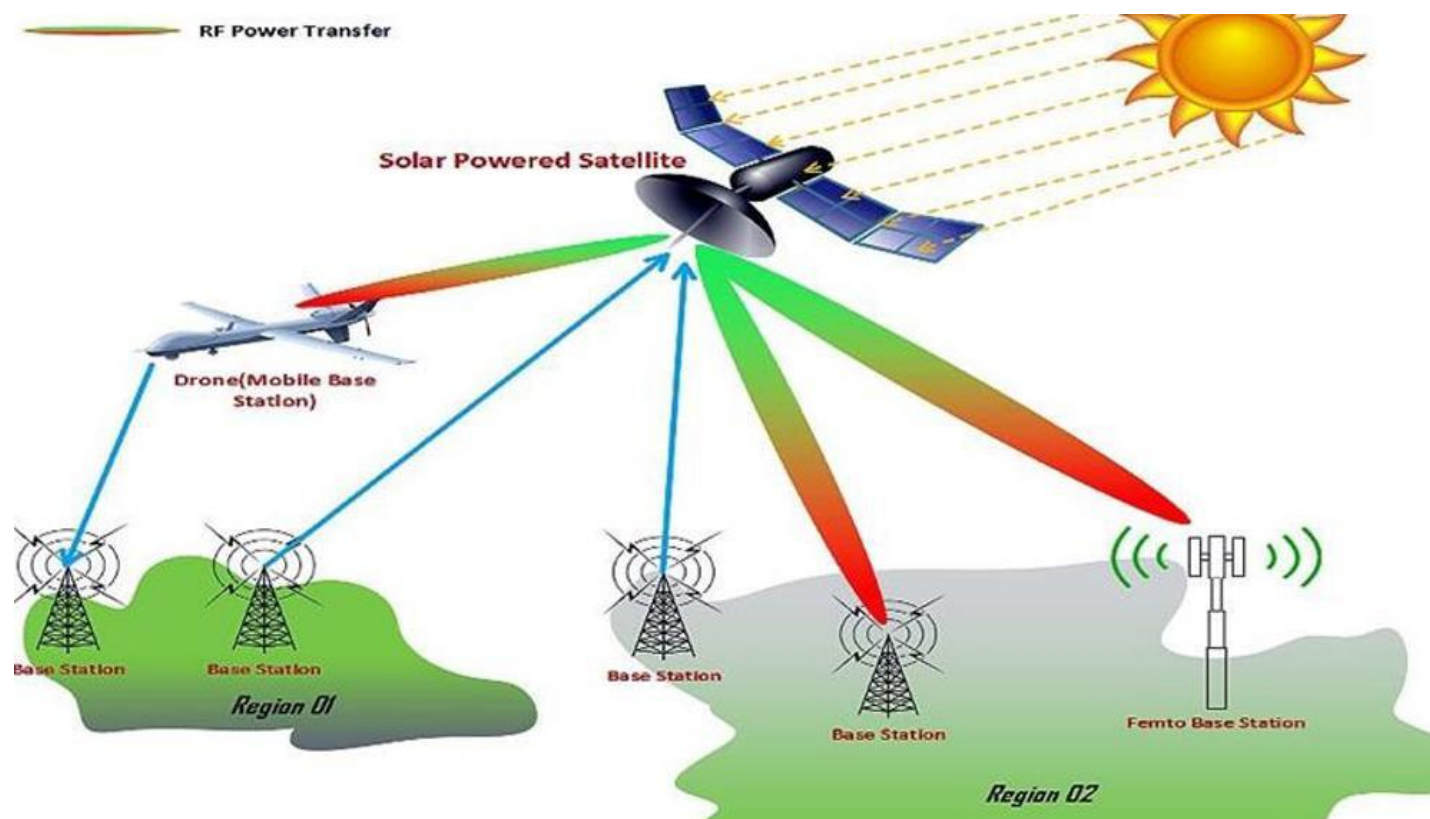
- Komunikace ve stejném kmitočtovém pásmu jako přenos výkonu (existují systémy s oddělenými pásmy).
- ASK modulace pro Rx -> Tx (pomocí připínání/odepínání kapacitoru).
- Problémy s rušením (výkonové části kmitočtově blízko komunikačním).
- FSK Tx -> Rx.



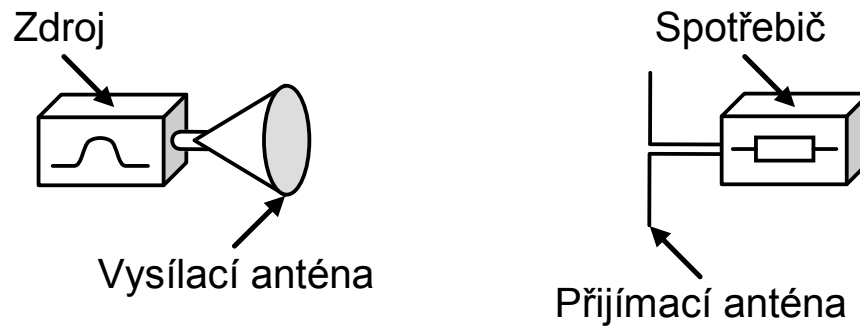
- Detekce cizích předmětů (Foreign object detection - FOD)
 - Impedanční měření s použitím činitele jakosti.
 - Vyhodnocení před spuštěním přenosu.
 - Přítomnost kovového objektu v blízkosti vysílací cívky způsobuje snížení činitele jakosti vysílacího obvodu.
 - Porovnání Q s referenční hodnotou implementovanou do firmware.
 - Měření přenosových ztrát.
 - Vyhodnocení až ve fázi přenosu energie (realizovatelné pouze s připojenou zátěží).
 - Část přenášené energie je objektem absorbována.
 - Rozdíl vstupního a výstupní výkonu je porovnáván s referenční hodnotou.
 - Kombinace obou metod

Bezdrátové napájení

Přenos elektromagnetickou vlnou



Účinnost přenosu elektromagnetickou vlnou



- Vazba EM vlnou - podmínky
 - Ztráty jsou reprezentovány převážně poklesem hustoty výkonu na čele vlny s rostoucí vzdáleností od vysílací antény.
 - Ke spotřebiči se dostane pouze část přenášeného výkonu.
 - Přenos je ovlivněn odrazy a vícecestným šířením v přenosovém médiu i cizími objekty v něm.

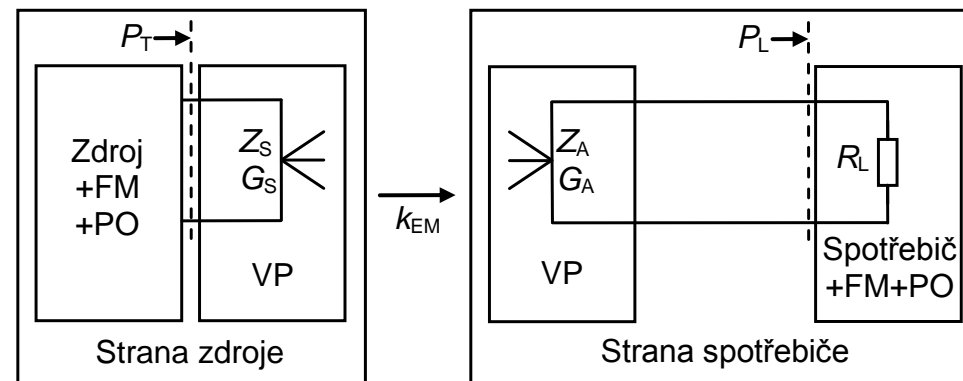
Účinnost přenosu elektromagnetickou vlnou

- Podmínky optima
 - Impedanční přizpůsobení vysílacích a přijímacích prvků (antén).
 - Polarizační přizpůsobení vysílacích a přijímacích prvků (antén).

- Maximální dosažitelná výkonová účinnost přenosu

$$\eta_{EM} = \frac{P_L}{P_T} = \left(\frac{k_{EM} G}{2^n \pi} \right)^2 \quad \text{kde} \quad k_{EM} = \left(\frac{\lambda}{r} \right)^{\frac{n}{2}}$$
$$G = \sqrt{G_A G_S}$$

- Maximalizace účinnosti lze dosáhnout:
 - Zvýšením zisků obou antén
 - Malou vzdáleností mezi anténami (s ohledem na jejich blízkou zónu)
 - Použitím nižších kmitočtových pásem (s ohledem na možnost návrhu účinných antén rozumných rozměrů)



G_A - zisk přijímací antény

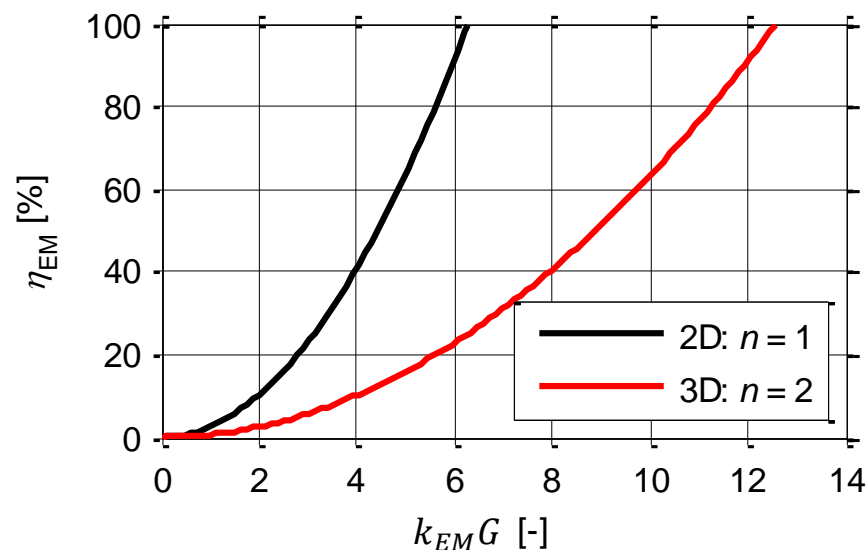
G_S - zisk vysílací antény

R_L - efektivní odpor spotřebiče včetně frekvenčního měniče a přizpůsobovací sítě

k_{EM} - přenosový koeficient mezi vysílacími a přijímacími anténami

r - vzdálenost mezi anténami

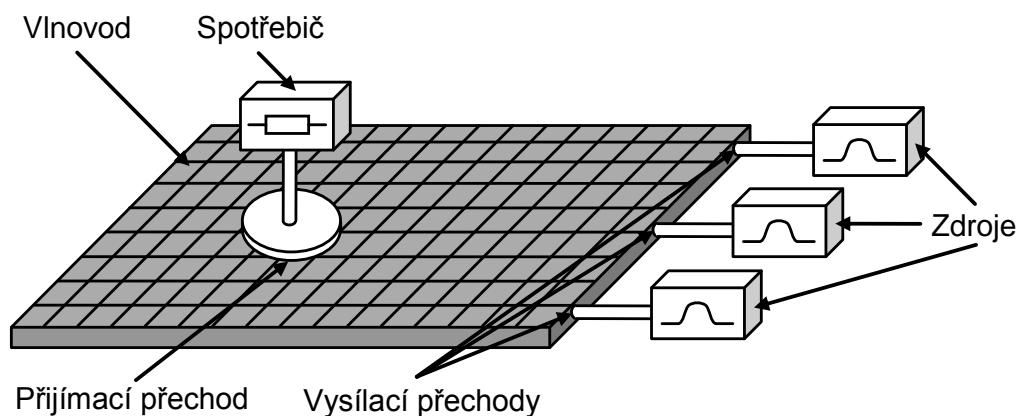
λ - vlnová délka v daném prostředí



Přenos elektromagnetickou vlnou - příklady

- 2D systém

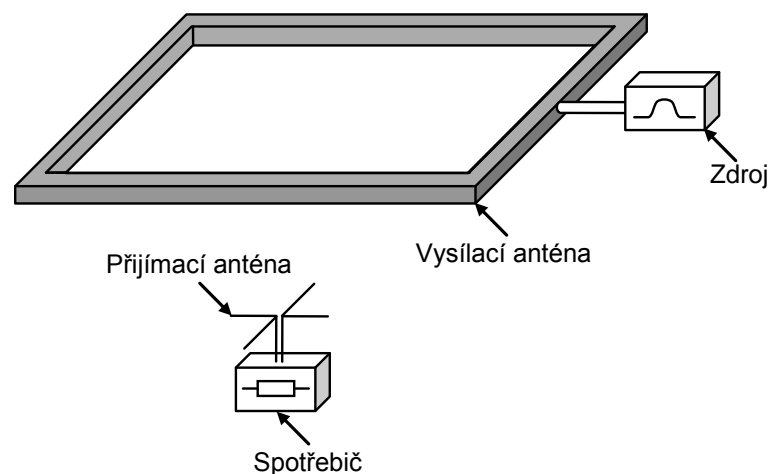
- K. Nakatsuma, Y. Makino, H. Shinoda, "Node localization in the "two-dimensional communication" networks based on electric field pattern measurement," *Proceedings of the SICE Annual Conference*, art. no. 4655249, pp. 3380–3385, 2008.
- Metoda lokalizace uzlů na 2D povrchu.
- Přenos signálu i napájení prostřednictvím dvourozměrného povrchu.
- Pravý počítač zobrazuje filmová data odeslaná z levého počítače.
- LED diody a malé ventilátory přijímají elektrickou energii ze zdroje v levé horní části obrázku prostřednictvím povrchu.



Přenos elektromagnetickou vlnou - příklady

- 3D systém

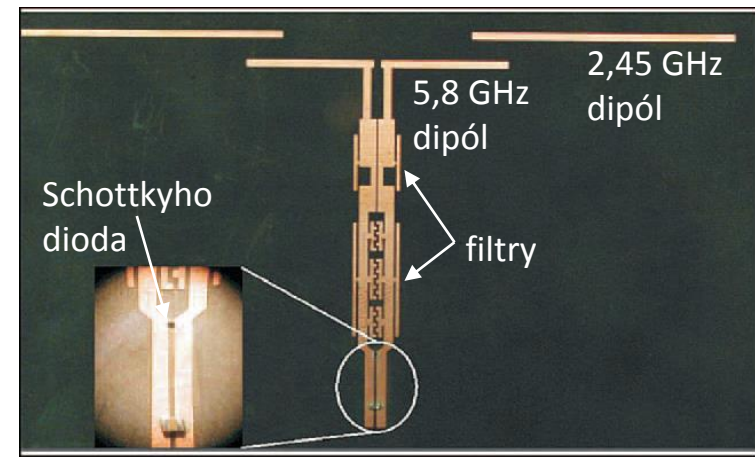
- R. M. Dickinson, "Performance of a high-power, 2.388-GHz receiving array in wireless power transmission over 1.54km," *IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest*, pp. 139–141, 1976.
- Experiment s přenosem výkonu v Kalifornii.
- Sada přijímacích anténních řad (polí) je umístěna cca v polovině výšky 30 m věže.
- Průměr vysílací parabolické antény je 26 m.
- Vzdálenost 1,54 km.
- Vysílací klystron
 - Frekvence 2,388 GHz.
 - Až 450 kW CW výkonu.
- Přijatý DC výkon 30 kW.
 - Účinnost přenosu cca 6,5%.



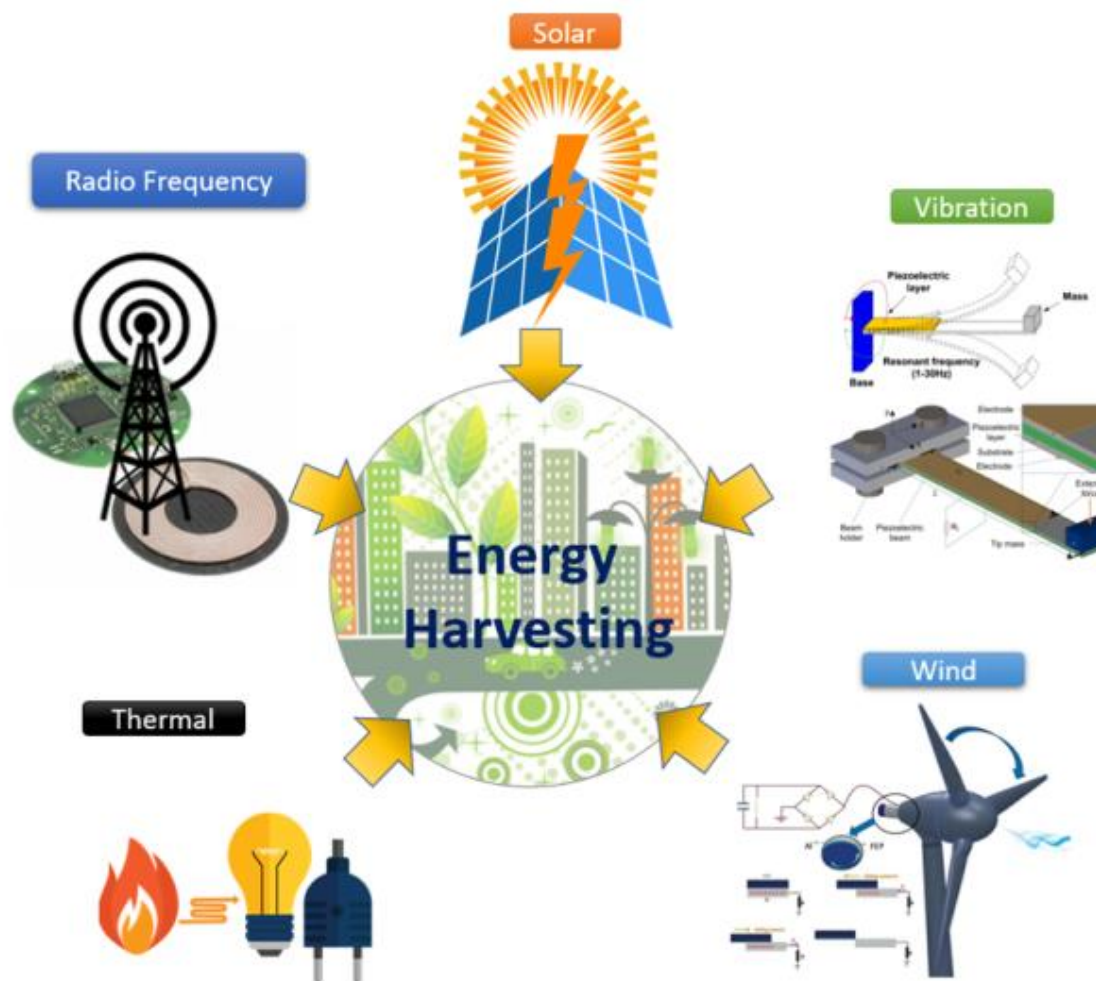
Přenos elektromagnetickou vlnou - příklady

- Rectena (rectifying antenna)

- J. O. McSpadden, J. C. Mankins, "Space solar power programs and microwave wireless power transmission technology," *IEEE Microwave Magazine*, vol. 3, no. 4, pp. 46–57, Dec. 2002.
- Speciální typ přijímací antény, která slouží k přeměně elektromagnetické energie na stejnosměrné napětí.
- Má integrován usměrňovací obvod (diodu).
- „Sběr“ EM pole z okolního prostředí
 - Vysílané cíleně
 - Vysílané jinými službami (vysílače)
- Př.:
 - Dipólová anténa integrovaná s diodou.
 - Dvoupásmová anténa
 - 2,45 GHz
 - 5,8 GHz
 - Konverzní účinnost >80% (Nejedná se o účinnost přenosu výkonu!)



Přehled systémů vytěžování energie



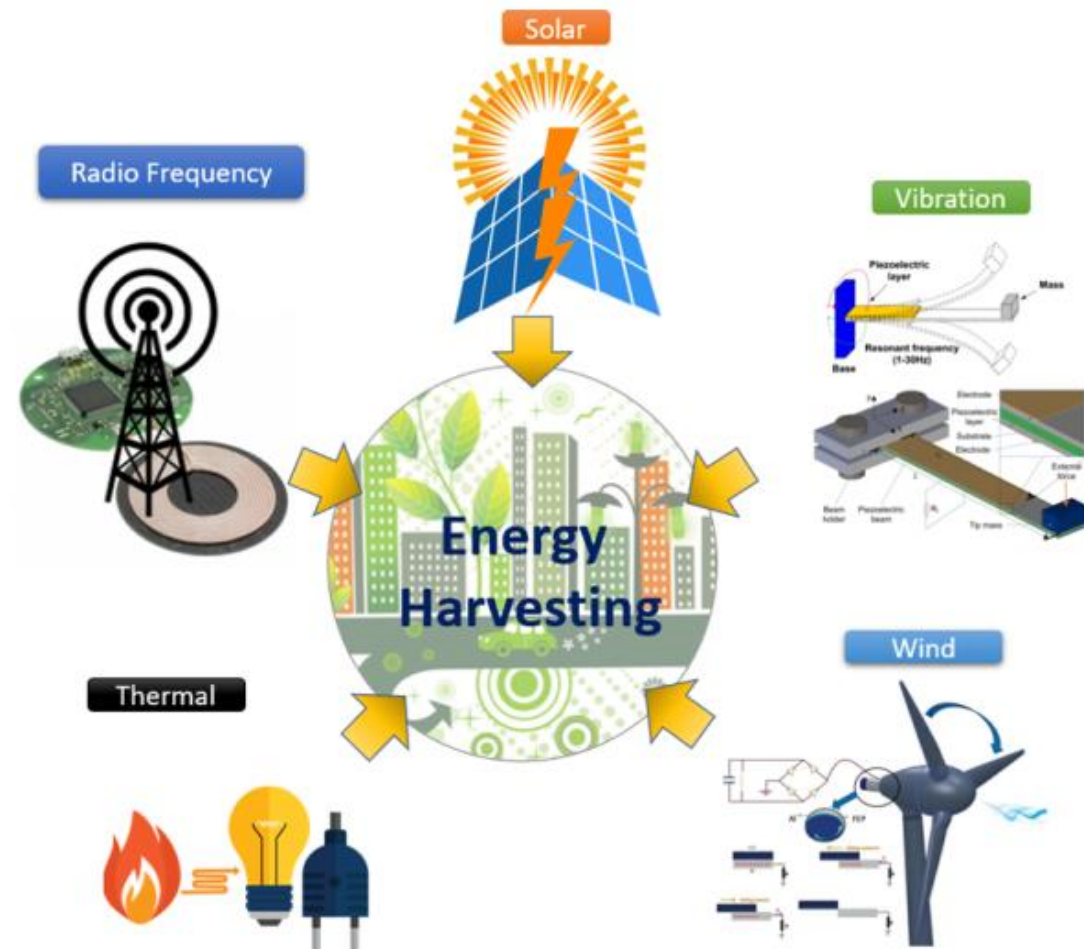
Vytěžování energie „energy harvesting“

- Způsob získávání „nevyužité“ energie z okolních zdrojů
 - Vhodné pouze pro napájení nízkoenergetických zařízení (kromě solár. panelů a větrných turbín).
 - Aplikace
 - Napájení nízkoenergetických mobilních zařízení.
 - Napájení senzorů v uzlech senzorových sítí.
 - Napájení implantátů.
 - Způsoby napájení
 - Autonomní napájení zařízení s malým příkonem.
 - Průběžné dobíjení baterií.



Vytěžování energie „energy harvesting“

- Rozdělení dle zdroje energie
 - Zářivá energie
 - Solární
 - Elektromagnetická vlna
 - Elektromagnetická indukce
 - Mechanická energie
 - Pohyb (částí) lidského těla
 - Došlapy patou
 - Vibrace
 - Proudění vzduchu
 - Průtok krve
 - Tepelná energie
 - Tělesné teplo
 - Externí teplo

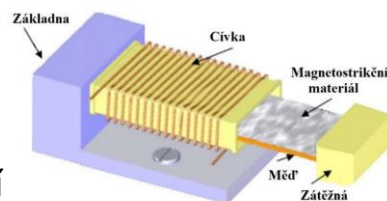


Vytěžování energie „energy harvesting“

- Rozdělení dle fyzikálního principu

- Fotovoltaický princip
- Radiofrekvenční princip (rectena)
- Mechanická energie (pohyb, vibrace)

- Elektromagnetický
- Elektrostatický
- Triboelektrický
- Piezoelektrický
- Magnetostrikční



- Tepelná energie (termoelektrický princip)

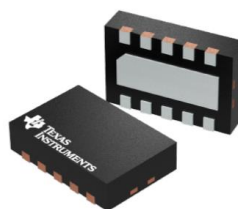
- Seebeckův princip
- Pyroelektrický

- Kombinované harvestery



Typ energie	Dosažitelný výkon
Radiofrekvenční (rectena)	1 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
Vibrace (pohyb člověka, v řádu Hz)	4 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
Vibrace (průmysl, v řádu kHz)	800 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
Termogenerátory (člověk)	60 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
Termogenerátory (průmysl)	10 mW/cm^2
Proudění vzduchu	1 mW/cm^2
Piezoelektrický generátor (vločka v obuvi)	10 mW/cm^2

Realizace bezdrátového nabíjení akumulátorů



Realizace Qi bezdrátového nabíjení akumulátorů

- Přehled vlastností vybraných typů akumulátorů

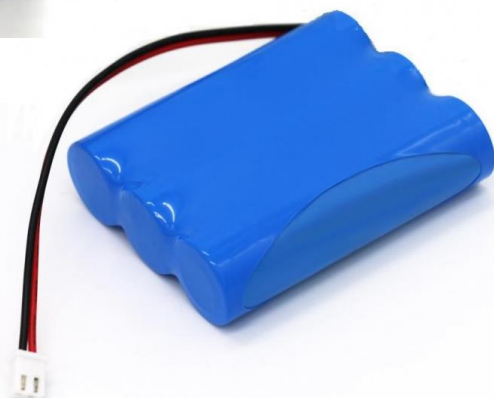
- Li-Ion

- Elektrolyt kapalný hořlavý
- Jmenovité napětí: 3,6V / 3,7V
- Maximální napětí 4,1V / 4,2V
- Pracovní teplota: -20 až 60°C
- Nabíjení: CC-CV



- Li-Pol

- Elektrolyt pevný polymerní kompozit, hořlavý
- Jmenovité napětí: 3,7V
- Maximální napětí 4,2V
- Pracovní teplota: -20 až 60°C
- Nabíjení: CC-CV



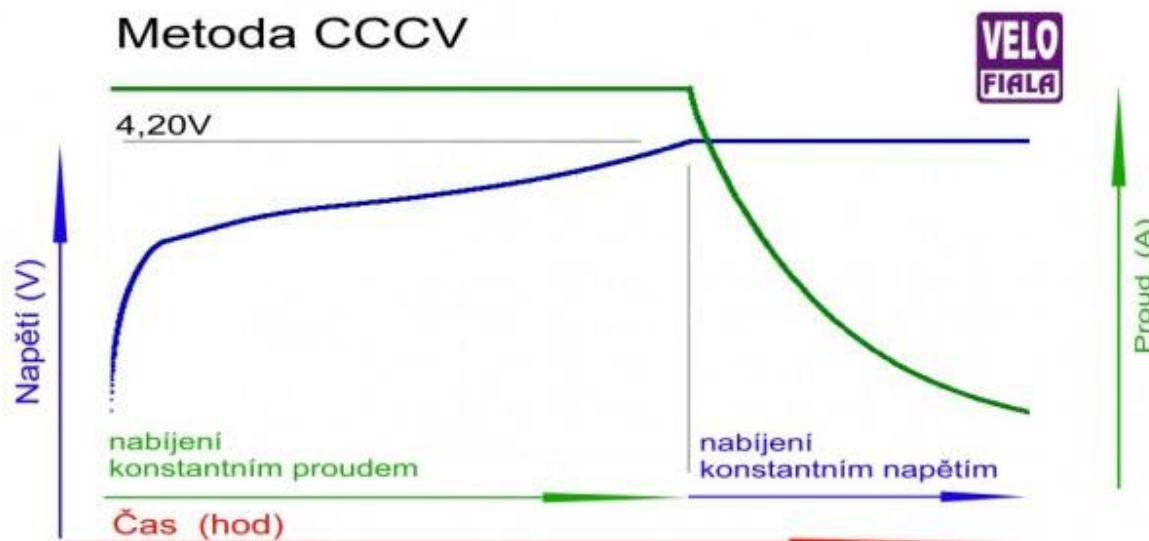
- LiFePO4

- Stabilita (při extrémních podmínkách nevybuchují)
- Katoda z lithium železo fosfátu, anoda z uhlíku
- Jmenovité napětí: 3,2 V
- Maximální napětí 3,6 V
- Pracovní teplota: -20 až 60°C
- Nabíjení: CC-CV



Realizace Qi bezdrátového nabíjení akumulátorů

- Nabíjení akumulátorů Li-Ion, LiFePO₄, apod.
 - Nabíjení akumulátorů probíhá ve dvou fázích.
 - Liší se maximální nabíjecí napětí dle typu článku.
 - První fáze - Nabíjení konstantním proudem (CC)
 - Proud 0,5–1 C (0,5 až 1 násobek kapacity akumulátoru).
 - Nabíjení konstantním proudem trvá až do dosažení maximálního napětí článku.
 - Při požadavku rychlejšího dobíjení lze dobíjet větším proudem, přičemž je nutné monitorovat teplotu akumulátoru.
 - Druhá fáze - Nabíjení konstantním napětím (CV)
 - Dobíjecí proud postupně klesá, až klesne pod určitou mez, kdy je nabíjení ukončeno.



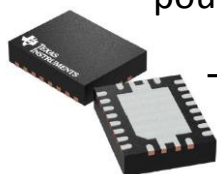
Realizace Qi bezdrátového nabíjení akumulátorů

- Integrované obvody pro řízení procesu nabíjení a pro WPT přenos
 - Nabíječka akumulátorových článků
 - Zajišťuje správný režim CC-CV nabíjení včetně ochranných mechanismů (kontrola max. napětí, přehřetí článku, kontrola teploty, apod.)
 - Zdroj USB port, AC adaptér nebo připojení výstupu WPT přijímače
 - Např. nabíječka LiFePO4 článků BQ25071 (Texas Instruments)



○ Integrovaný WPT Qi přijímač

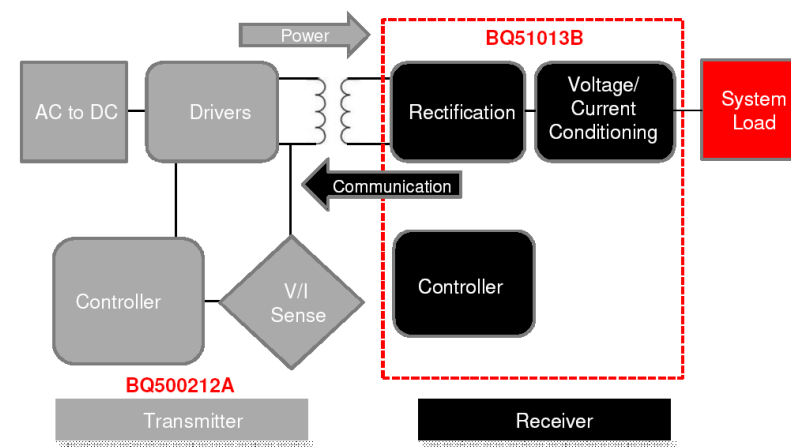
- Zajišťuje přenos výkonu z vysílače včetně komunikace dle standardu Qi.
- Např. WPT Qi přijímač - BQ51013B (Texas Instruments)
- Pro Li-Ion články je dostupné plně integrované řešení WPT Qi přijímač + nabíječka v jednom pouzdře.



– Např. WPT Qi přijímač s nabíječkou Li-Ion článků BQ51051b (Texas Instruments)

○ Integrovaný WPT Qi vysílač

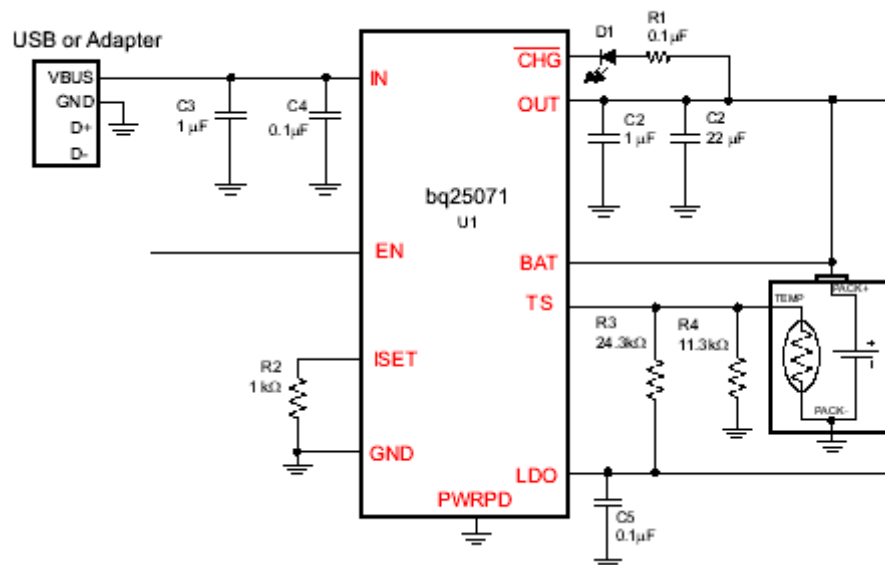
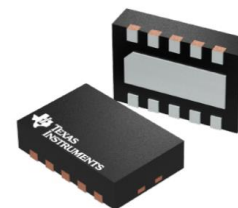
- WPT Qi vysílač zajišťuje vysílací stranu přenosu výkonu dle standardu Qi.
- Např. WPT Qi vysílač - BQ500212a (Texas Instruments)



Realizace Qi bezdrátového nabíjení akumulátorů

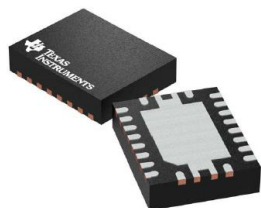
○ Nabíječka akumulátorových článků LiFePO4 (BQ25071)

- Nízké nároky na vstupní napětí
- Rozsah U_{vst} : 3,75 - 10V
- Integrovaná ochrana překročení nebo nedosažení U_{vst}
- Trvalý nabíjecí proud 1A
- Nastavitelný max. vstupní proud rozsahem rezistoru R2: 1k Ω – 10k Ω (nastaví proud v rozmezí 100mA – 1A)
- Integrované řízení nabíjení (precharge and fast charge mode)
- Kontinuální monitorování teploty - automatická redukce nabíjecího proudu
- Dostupný vývojový kit BQ25071EVM-658

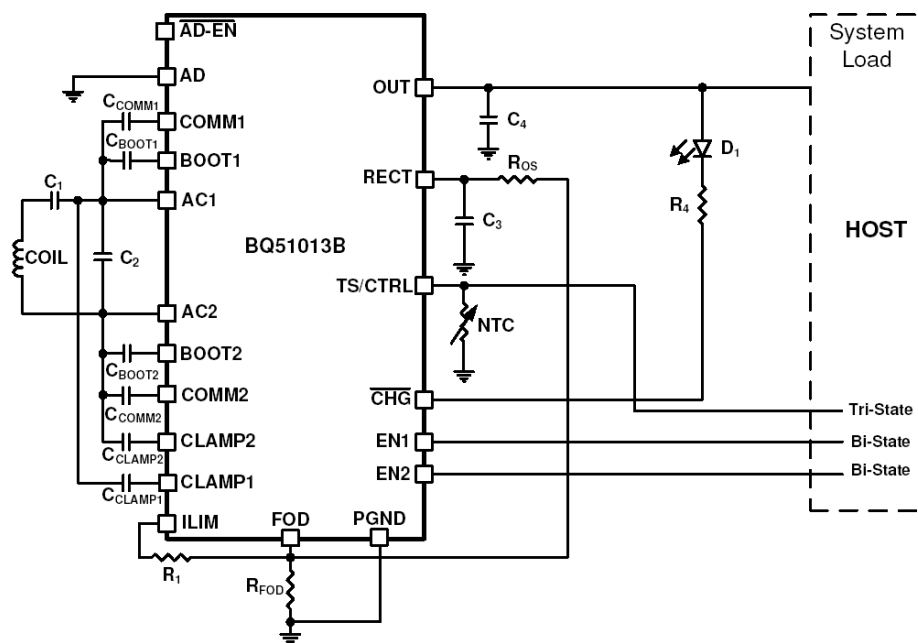
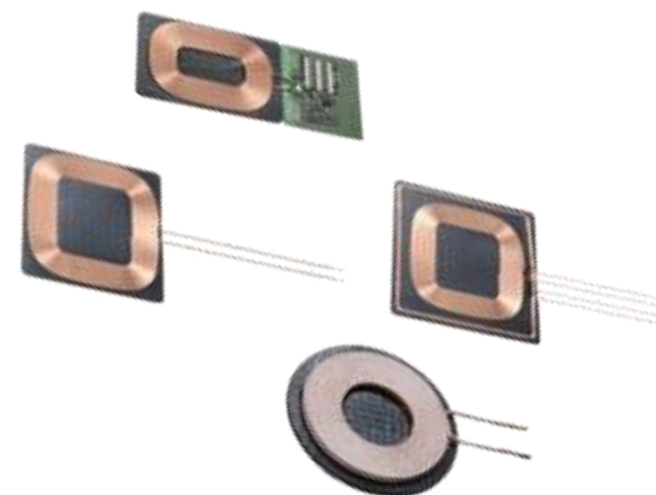


Realizace Qi bezdrátového nabíjení akumulátorů

○ Integrovaný WPT Qi přijímač (BQ51013B)



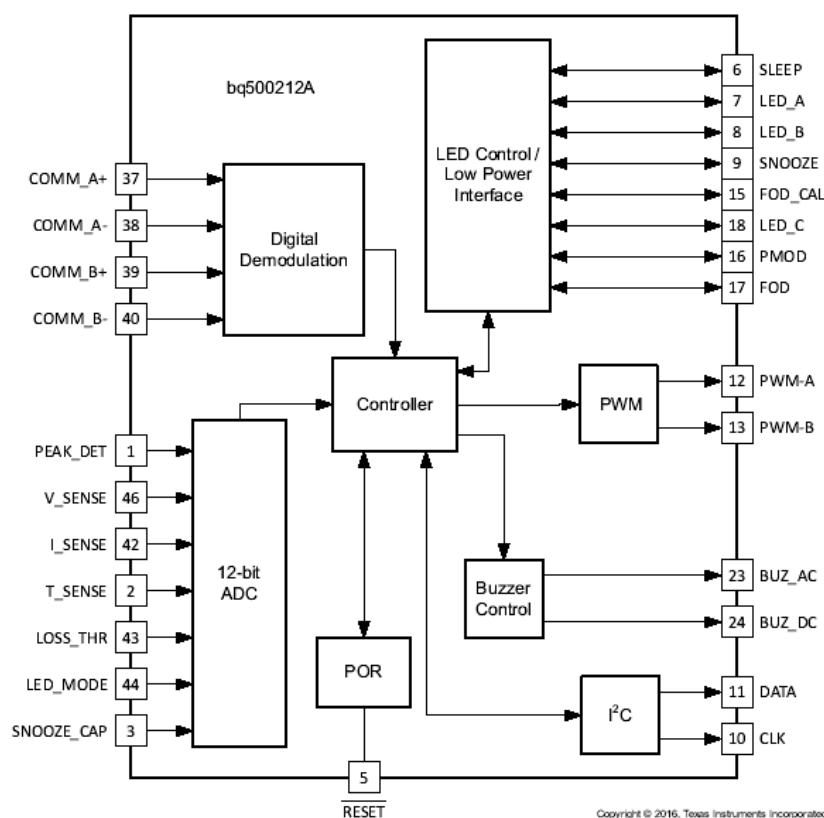
- Přijímač pro systém bezdrátového napájení kompatibilní se standardem Qi (WPC v1.2)
- Do výkonu 5W
- Ochrana před přehřátím
- Ochrana před překročením výstupního proudu
- Integrovaná detekce cizích předmětů v oblasti cívek (FOD)
- Dostupný vývojový kit: BQ51013AEVM



Realizace Qi bezdrátového nabíjení akumulátorů

○ Integrovaný WPT Qi vysílač (BQ500212A)

- Vysílač pro systém bezdrátového napájení kompatibilní se standardem Qi (WPC v1.2)
- Dostupný vývojový kit: BQ51013AEVM
- Jako vysílač lze samozřejmě využít Qi kompatibilní komerční nabíječku



Copyright © 2016, Texas Instruments Incorporated



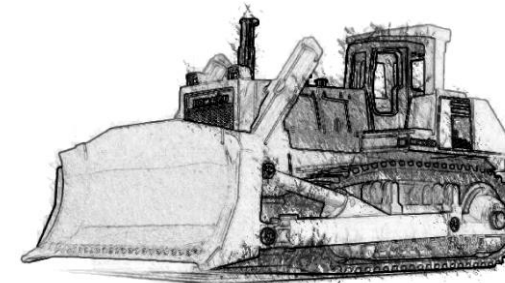
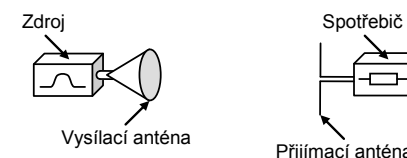
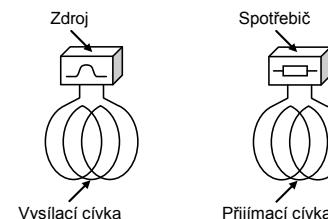
Bezdrátové nabíjení zásahové obuvi - příklad

- Testovací experiment s vývojovými kity Texas Instruments
 - Jako vysílač použita komerční nabíječka mobilních telefonů WG MagSafe 15W.
 - WPT přijímač – vývojový kit BQ51013B-EVM
 - Součástí BQ51013B-EVM je oválná cívka 40 x 30 mm s feritovou podložkou + magnetem.
 - Nabíječka LiFePO4 článků – vývojový kit BQ25071EVM-658



Shrnutí

- Bezdrátový přenos výkonu (WPT – Wireless Power Transfer)
 - Indukční přenos – dosažitelná účinnost **desítky % (až 80 %)**
 - Lze rozumně využívat na krátkou vzdálenost
 - Nutná bezprostřední vzdálenost srovnatelná s průměrem cívek.
 - Plochy vysílací a přijímací cívky by měly být srovnatelné.
 - Jinak extrémně klesá účinnost (pro vzdálenost $z=6D \rightarrow \eta=10^{-4}$)
 - Význam především pro:
 - Napájení/nabíjení zařízení ve vlhkém a prašném prostředí (např. zubní kartáček)
 - Zařízení, která nemohou být snadno vyjímatelná (např. tělesné implantáty)
 - „Pohodlné“ nabíjení bez nutnosti připojovat konektor a kabel (např. mobilní telefony, hodinky, ...)
 - Přenos EM vlnou – dosažitelná účinnost **jednotky %**
 - Využití jen ve speciálních případech
- Vytěžování energie („energy harvesting“)
 - Řada principů
 - Dosažitelný výkon jednotky $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ až jednotky mW/cm^2 (mimo solární panely a větrné turbíny)
 - Vhodné pro nízkoenergetická zařízení (implantáty, senzorové sítě, mobilní zařízení s nízkým příkonem)
- Realizace WPT s využitím integrovaných obvodů
 - WPT přijímače popř. vysílače
 - Nejrozšířenější standard Qi
 - Automatické zajištění komunikace dle protokolu a ochranných funkcí
 - Nabíječky akumulátorových článků
 - Nutno volit vhodnou nabíječku dle typu článku (maximální nabíjecí napětí)



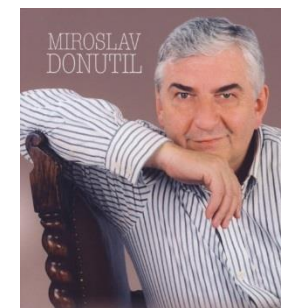
Vybrané publikace

- [1] J. Kraček, M. Mazánek: Wireless Power Transmission for Power Supply: State of Art, *Radioengineering*, vol 20, no 2, 2011.
- [2] J. Kraček: Wireless Power Transmission, disertační práce ČVUT FEL, 2015.
- [3] J. Bednařík: Návrh a realizace bezdrátového nabíjení pro vestavěné systémy, diplomová práce, VUT Brno, 2020.
- [4] K. Nakatsuma, Y. Makino, H. Shinoda, "Node localization in the "two-dimensional communication" networks based on electric field pattern measurement," Proceedings of the SICE Annual Conference, art. no. 4655249, pp. 3380–3385, 2008
- [4] R. M. Dickinson, "Performance of a high-power, 2.388-GHz receiving array in wireless power transmission over 1.54km," IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest, pp. 139–141, 1976.
- [5] J. O. McSpadden, J. C. Mankins, "Space solar power programs and microwave wireless power transmission technology," IEEE Microwave Magazine, vol. 3, no. 4, pp. 46–57, Dec. 2002.
- [6] Yen Kheng Tan: Sustainable Wireless Sensor Networks, In-Tech, Rijeka 2010.
- [7] J.A. Paradiso, T. Starner: Energy Scavenging for Mobile and Wireless, Electronics, *IEEE Pervasive Computing*, 2005, 4(1), 18–27.
- [8] R. J. M. Vullers, et al: Micropower energy harvesting, Solid-State Electronics, 2009, 53 (7), 684–693.
- [9] M. Mikeš: Energy harvesting pro smart textilie, Bakalářská práce, ZČU Plzeň, 2018.
- [10] Texas Instrument, bq25071, technický list, [online], dostupné na: <https://www.ti.com/product/BQ25071>
- [11] Texas Instrument, bq51013b, technický list, [online], dostupné na: <https://www.ti.com/product/BQ51013B>
- [12] Texas Instrument, bq51013b, vývojový kit, technický list, [online], dostupné na: https://www.ti.com/lit/ug/sl.ua44a/sl.ua44a.pdf?ts=1681904166926&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F
- [13] Texas Instrument, bq51013b, vývojový kit, technický list, [online], dostupné na: <https://cz.mouser.com/ProductDetail/Texas-Instruments/BQ51013EVM-725?qs=NMIWVe%252BXyfmKoFjsky9haw%3D%3D>
- [14] <http://babinet.cz/clanek-19026-zazracny-pan-blesku.html>
- [15] <https://www.newelectronics.co.uk/content/news/wireless-power-transfer-over-5g-networks/>
- [16] <https://www.semanticscholar.org/paper/A-Rethinking-of-RF-Wireless-Power-Transfer%3A-How-to-Tran-Kaddoum/8060439c394c05048587b67a1e019548c6b9b4df>
- [17] www.teslasociety.com
- [18] www.solarsat.org
- [19] www.tdk.com
- [20] www.abb.com
- [21] www.fdrive.cz
- [22] www.velofiala.cz





Děkuji za pozornost



„Ptejte se mě na co chcete
... já na co chci odpovím.“