

Střídavý proud a jeho využití v praxi



1. Střídavý proud

1.1 Základní vlastnosti střídavého proudu a napětí

- proměnné napětí i proud s harmonickým (sinusovým) průběhem
- Jde o harmonické elektrické kmitání

$$u = U_m \sin \omega t$$

- u – okamžitá hodnota napětí, $[u] = \text{V}$ (volt)

U_m – amplituda napětí

ω – úhlová frekvence, $[\omega] = \text{rad s}^{-1}$

$$\omega = 2\pi f$$

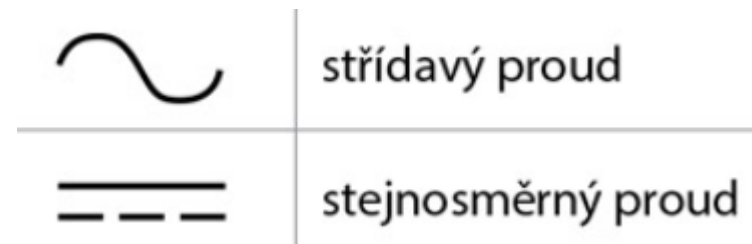
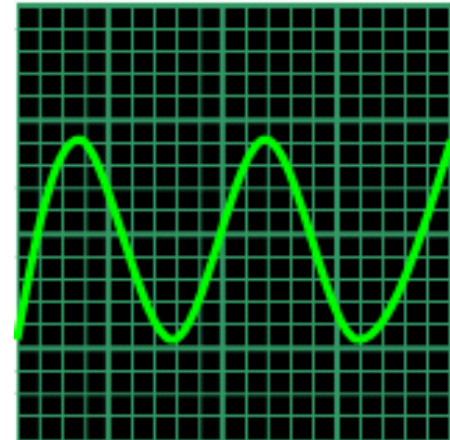
t – čas, f – **frekvence střídavého proudu**

- **Alternátor** – generátor střídavého proudu

- **Značka střídavého a ss proudu:**

- Pozn.1: **dynamo** – generátor stejnosměrného proudu

- Pozn.2: „**dynamo**“ na kole – kdysi se používalo jako zdroj elektrické energie pro žárovky v předním a zadním světle; ve skutečnosti jde o **malý alternátor**



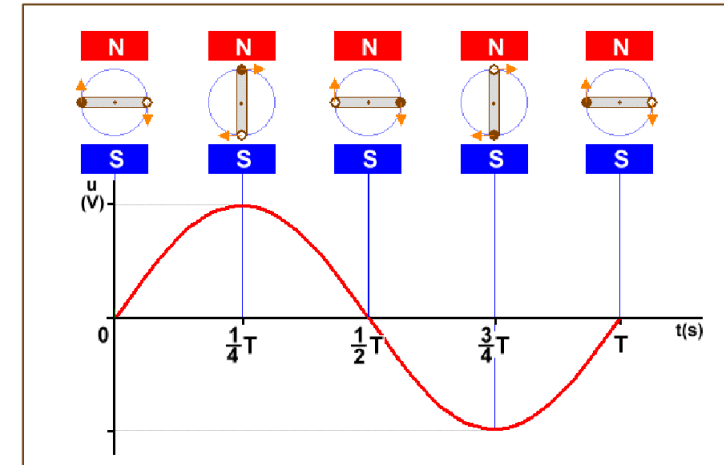
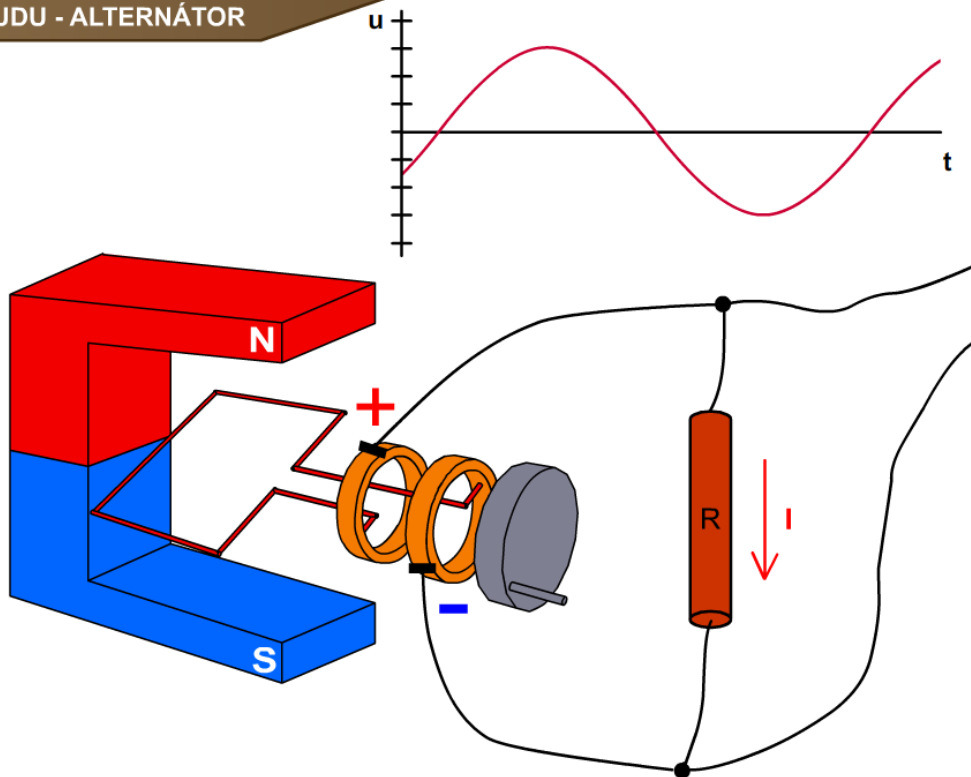
1. Střídavý proud

1.1 Základní vlastnosti střídavého proudu a napětí

Alternátor – generátor střídavého proudu

- princip elektromagnetické indukce
- při otáčení cívky (rotor) v magnetickém poli magnetu (stator) se na jejích vývodech indukuje střídavé napětí

GENERÁTOR STŘÍDAVÉHO PROUDU - ALTERNÁTOR



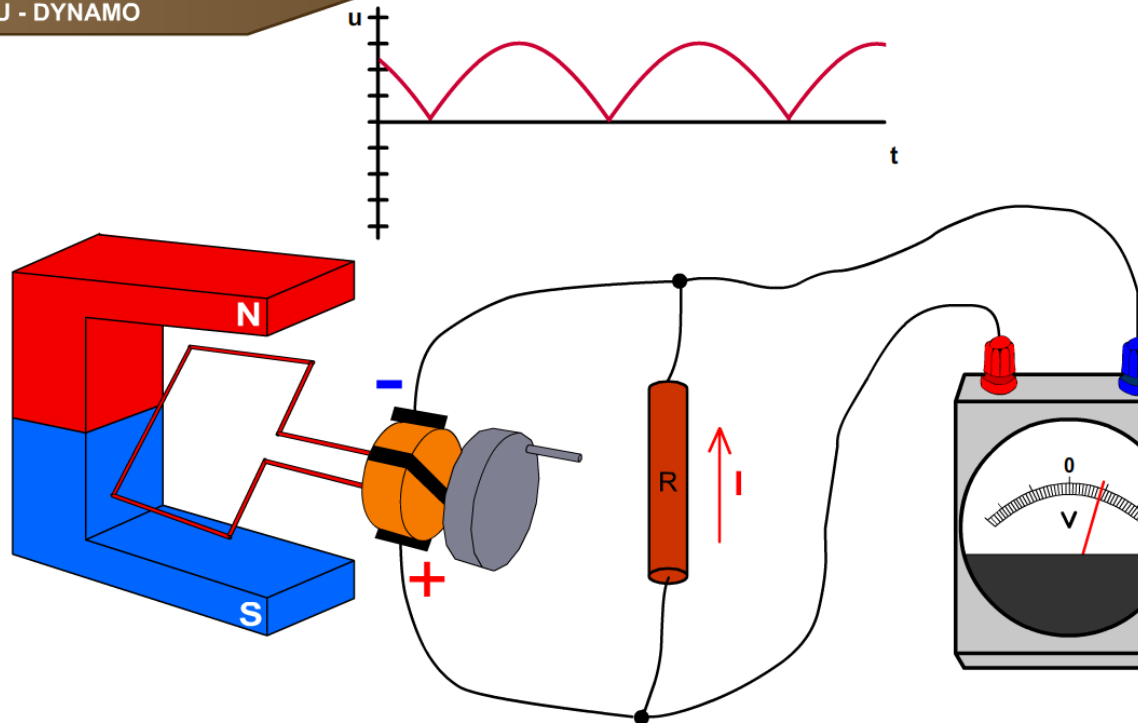
- největší napětí se indukuje v čase v čase $\frac{1}{4}T$ a $\frac{3}{4}T$ (T – perioda)
- **stator** je v praxi tvořen soustavou cívek, které vytváří soustavu elektromagnetů
- **rotor** – cívka, jejíž dva vývody jsou spojeny se 2 prstenci
- **sběrače** – měděné nebo ocelové kartáčky dotýkající s prstenců a odvádějící střídavý proud z alternátoru

1. Střídavý proud

1.1 Základní vlastnosti střídavého proudu a napětí

Dynamo – generátor stejnosměrného proudu

GENERÁTOR STEJNOSMĚRNÉHO
PROUDU - DYNAMO



- na výstupu je pulzní tepavý proud
- k vyhlazení výstupního napětí do téměř konstantní přímky je třeba použít **kondenzátor**, paralelně připojený ke spotřebiči R

- **komutátor** – dva vzájemně izolované půlprstence, díky kterým je polarita napětí na výstupu stále stejná

1. Střídavý proud

1.1 Základní vlastnosti střídavého proudu a napětí

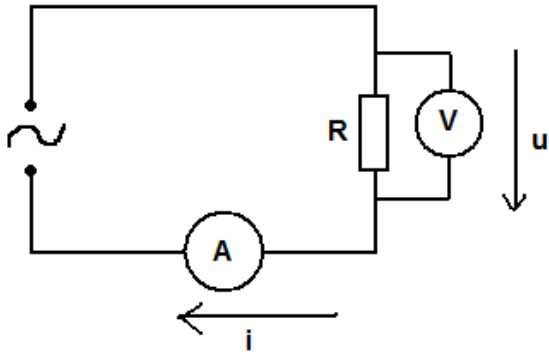
- **energetika:** $f = 50 - 60$ Hz
(turbogenerátor: 3000-3600 ot/min)
- **oscilační obvody:** řádově 10 kHz – 10 GHz
→ rádiové signály, televize, WiFi, GSM



1. Střídavý proud

1.2 Obvod střídavého proudu s rezistorem

Schéma zapojení



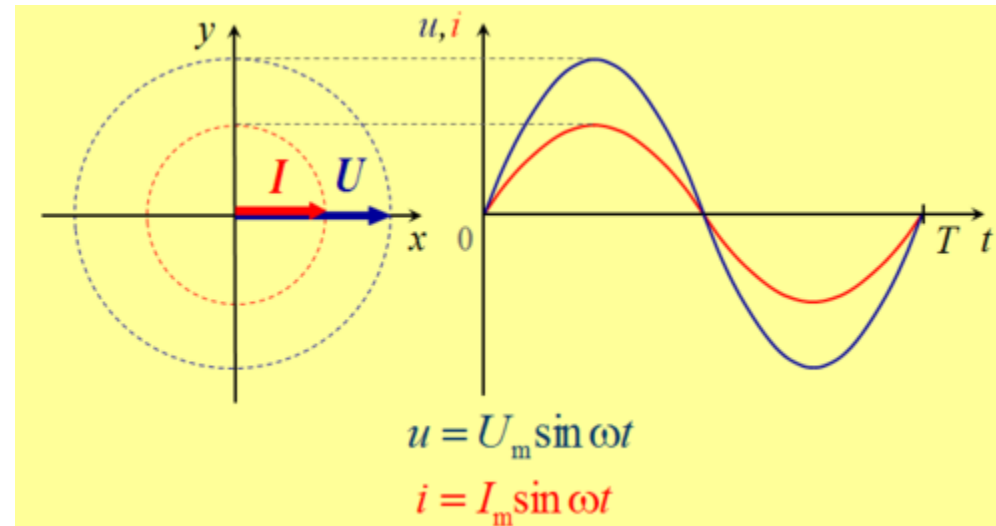
Ohmův zákon

- **Ohmův zákon** platí stejně jako u stejnosměrného proudu
- **R – resistance** → odpor rezistoru v obvodu střídavého proudu

$$i = \frac{u}{R} = \frac{U_m}{R} \sin \omega t = I_m \sin \omega t$$

Fázorový diagram

- grafické znázornění veličin U a I
- proud i napětí jsou tzv. **ve fázi**:
fázový rozdíl $\Delta\varphi = 0$

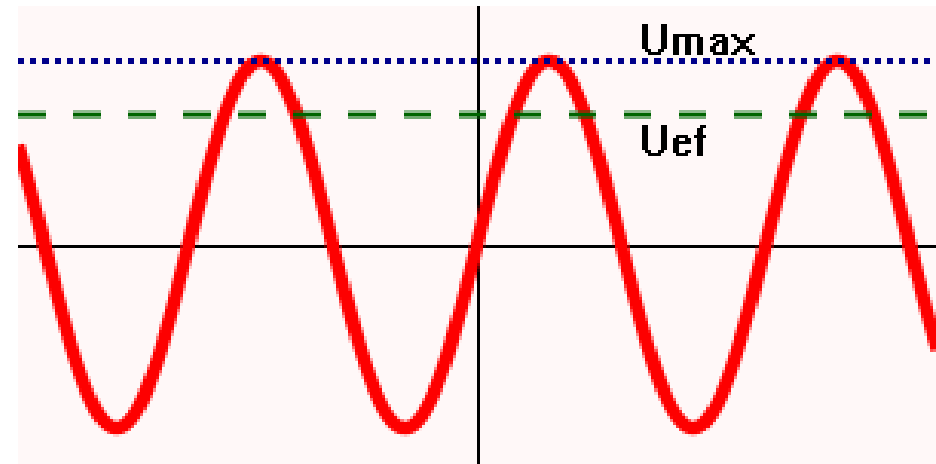


1. Střídavý proud

1.2 Obvod střídavého proudu s rezistorem

Efektivní hodnoty U a I

- jsou takové hodnoty napětí a proudu, které v součinu dávají **stejný střední výkon, jako by obvodem protékal stejnosměrný proud**
- tyto hodnoty měří střídavé voltmetry a ampérmetry, resp. multimetry



$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0,707 U_m$$

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0,707 I_m$$

Maximální hodnoty U_m a I_m

- jsou maximální hodnoty napětí a proudu, odpovídající **amplitudě napětí**, resp. **amplitudě proudu**

1. Střídavý proud

1.2 Obvod střídavého proudu s rezistorem

Výkon střídavého proudu v obvodu s rezistorem

- = proud: $P = UI = RI^2$
- ~ proud: okamžitý výkon ...
- amplituda výkonu ... P_m

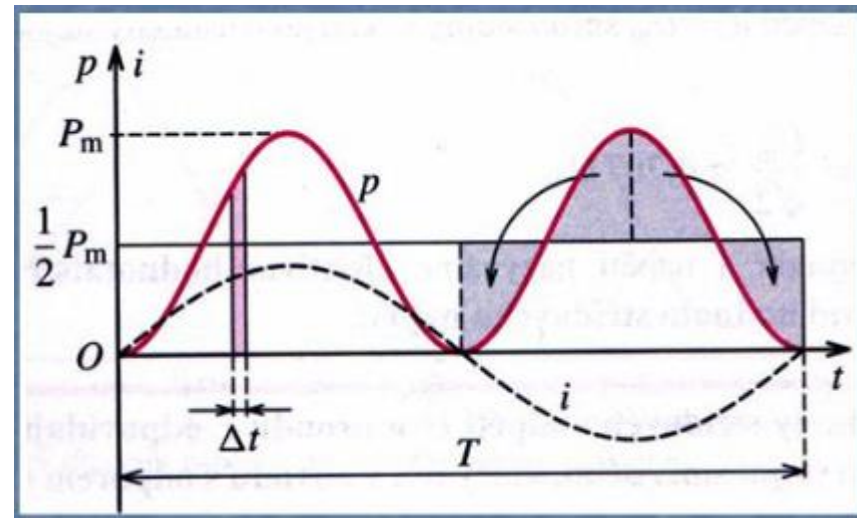
$$p = u \cdot i = Ri^2 = RI_m^2 \sin^2(\omega t)$$

$$P_m = RI_m^2$$

- celková práce za jednu periodu ... W
→ číselně rovna obsahu plochy pod křivkou okamžitého výkonu = číselně obsahu obdélníku o stranách $\frac{1}{2} P_m$ a T

$$W = \frac{1}{2} P_m T$$

- střední výkon ... P
- efektivní hodnoty ... U, I



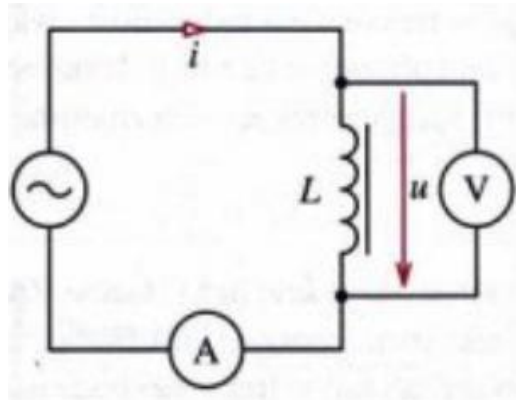
$$P = \frac{1}{2} P_m = \frac{1}{2} U_m I_m = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \cdot \frac{I_m}{\sqrt{2}} = U \cdot I$$

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \quad I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

1. Střídavý proud

1.3 Obvod střídavého proudu s indukčností L

Schéma zapojení



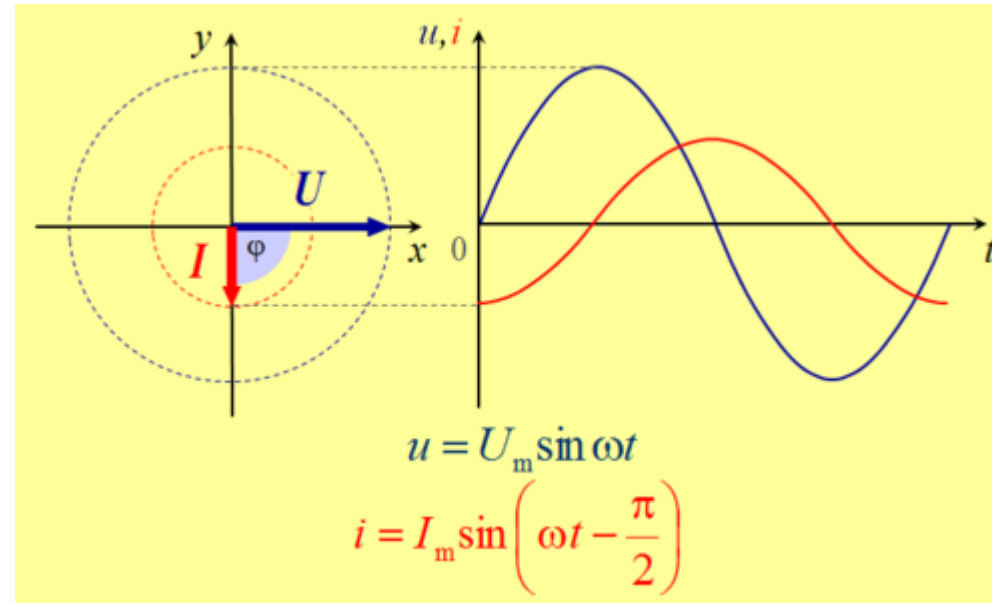
Induktance

- střídavý proud indukuje v cívce napětí, které dle Lenzova zákona působí proti U_e zdroje → to způsobí opoždění proudu za napětím
- X_L – **induktance** $[X_L] = \Omega$
→ odpor, který klade **cívka** průchodu střídavého proudu

$$X_L = \frac{U_m}{I_m} = \omega L$$

Fázorový diagram

- proud opožděn za napětím o fázový rozdíl $\varphi = -\frac{\pi}{2}$**



$$i = -I_m \cos \omega t$$

- reálná cívka má i vlastní odpor R → chová se jako sériový RL obvod

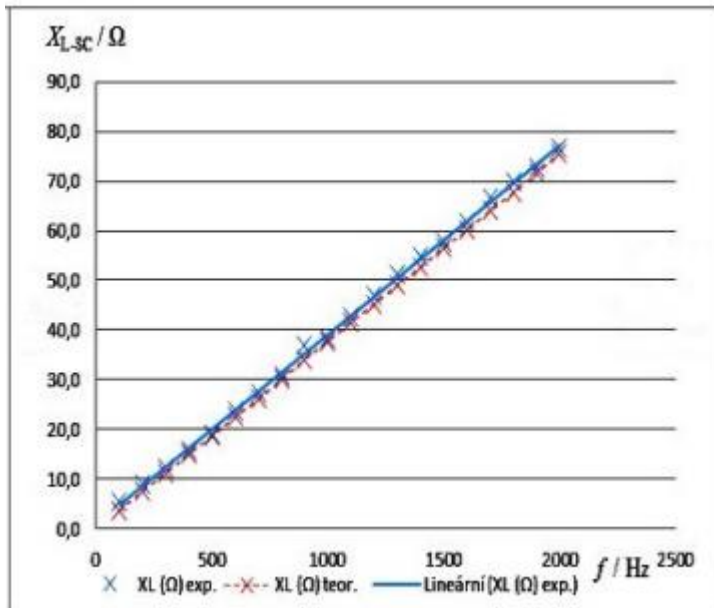


1. Střídavý proud

1.3 Obvod střídavého proudu s indukčností L

Frekvenční závislost indukčnosti

$$X_L = \omega L = 2\pi fL$$

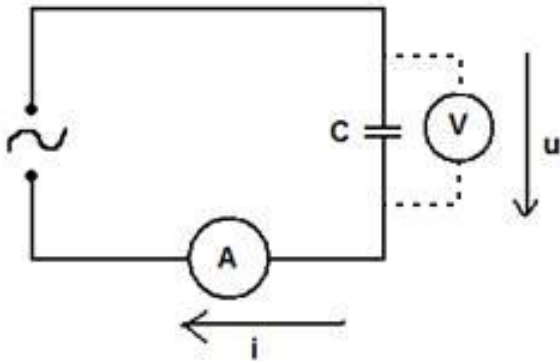


- **odpor cívky lineárně roste s frekvencí** střídavého proudu
- **indukčnost cívky se zvyšuje s rostoucí frekvencí proudu** → v cívce se vytváří více a více vířivých proudů
- hustě vinuté cívky s železným jádrem velmi silně zeslabují střídavé proudy → takové cívky se nazývají **tlumivky**

1. Střídavý proud

1.4 Obvod střídavého proudu s kapacitou C

Schéma zapojení



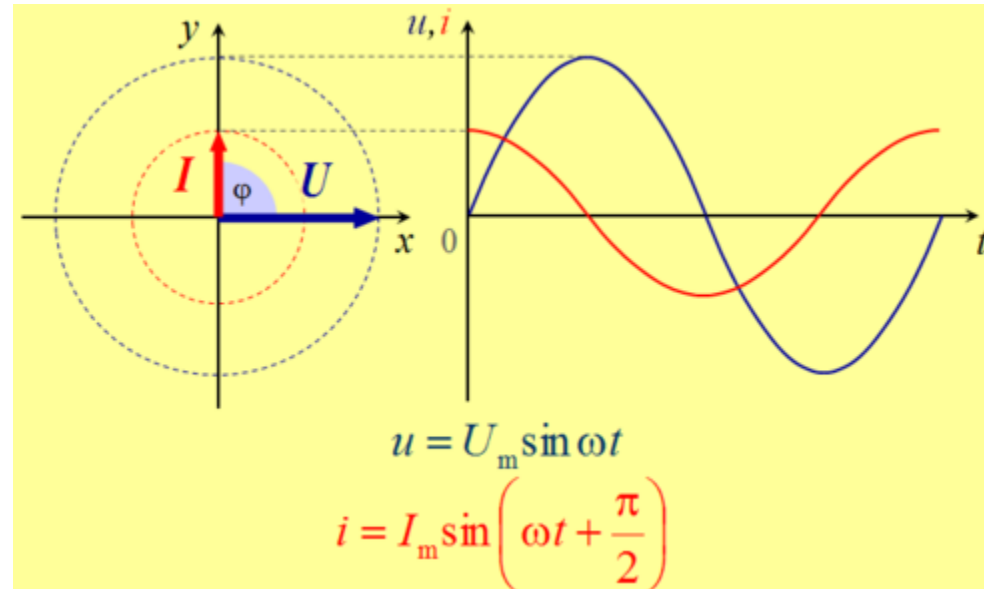
Kapacitance

- nabíjecí proud je největší, když je kondenzátor nenabitý → napětí mezi deskami je nulové
- X_C – kapacitance $[X_C] = \Omega$
→ odpor, který klade **kondenzátor** průchodu střídavého proudu

$$X_C = \frac{U_m}{I_m} = \frac{1}{\omega C}$$

Fázorový diagram

- proud předbíhá napětí o fázový rozdíl $\varphi = +\frac{\pi}{2}$



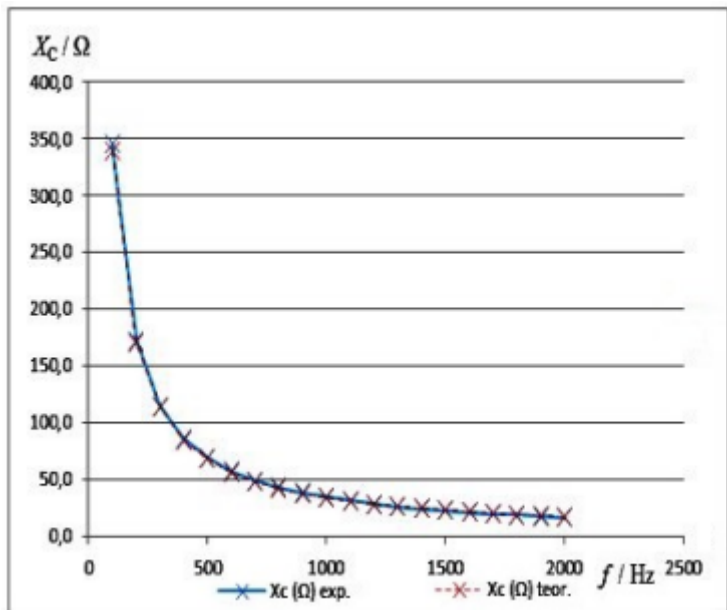
$$i = I_m \cos \omega t$$

1. Střídavý proud

1.4 Obvod střídavého proudu s kapacitou C

Frekvenční závislost kapacity

$$X_C = \frac{1}{\omega C}$$



- odpor kondenzátoru hyperbolicky klesá s frekvencí střídavého proudu
- kondenzátor se opakovaně nabíjí a vybíjí → dielektrikum se střídavě polarizuje
- takže i když žádné elektrony mezerou mezi deskami kondenzátoru neprojdou, tak se ve vodičích „před kondenzátorem“ i „za kondenzátorem“ střídavě pohybují tam a zpátky
- stejnosměrný proud kondenzátorem neprojde
- má-li napětí z nějakého zdroje jak stejnosměrnou, tak střídavou složku, kondenzátor propustí jen střídavou složku

1. Střídavý proud

1.5 RLC obvody

Výpočet impedance RLC obvodu

$$U_m^2 = U_R^2 + (U_L - U_C)^2 =$$
$$= I_m^2 R^2 + \left(I_m \omega L - I_m \frac{1}{\omega C} \right)^2 = I_m^2 \left[R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2 \right]$$

$$U_m = I_m \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}$$

Impedance Z $[Z] = \Omega$

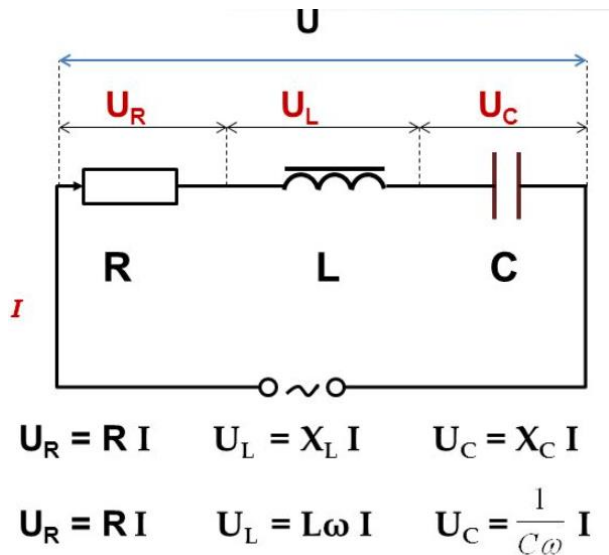
- impedance obvodu je odpor, který klade průchodu střídavého proudu RLC obvod

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2} = \sqrt{R^2 + X^2}$$

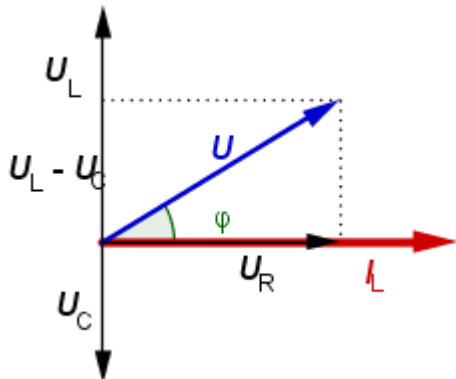
X – reaktance

Induktance = indukční reaktance
Kapacitance = kapacitní reaktance

Sériový RLC obvod



Fázorový diagram



1. Střídavý proud

1.5 RLC obvody

Rezonanční frekvence – Thomsonův vztah



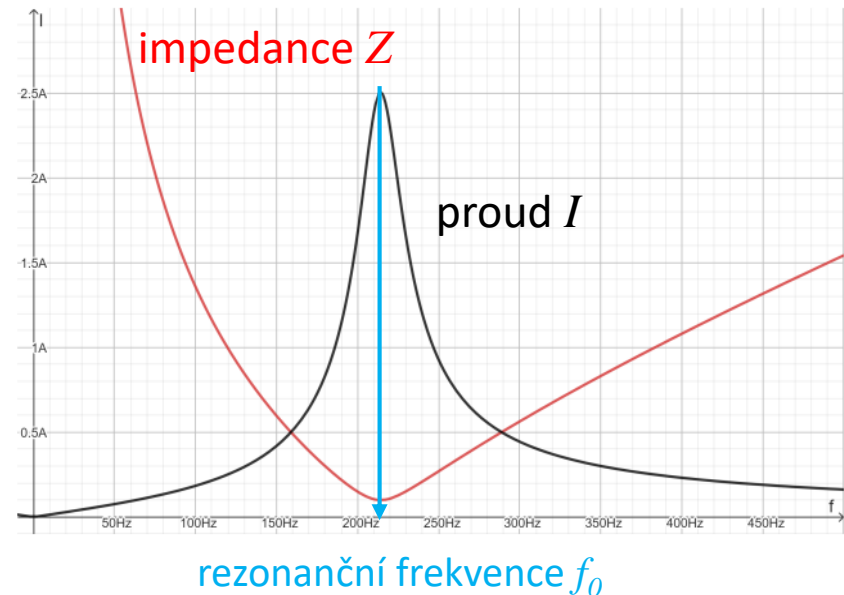
Kdy prochází sériovým RLC obvodem největší proud?

- největší proud prochází obvodem tehdy, je-li impedance obvodu nejmenší → pro $X = 0$ je $Z = R$
- $X = 0 \rightarrow \omega L - \frac{1}{\omega C} = 0 \rightarrow \omega L = \frac{1}{\omega C} \rightarrow \omega^2 = \frac{1}{LC} \rightarrow 2\pi f = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

Thomsonův vztah a rezonanční křivka

- vztah pro **rezonanční frekvenci sériového** RLC obvodu
- při **rezonanci** je **proud** procházející obvodem **maximální**, impedance minimální

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$



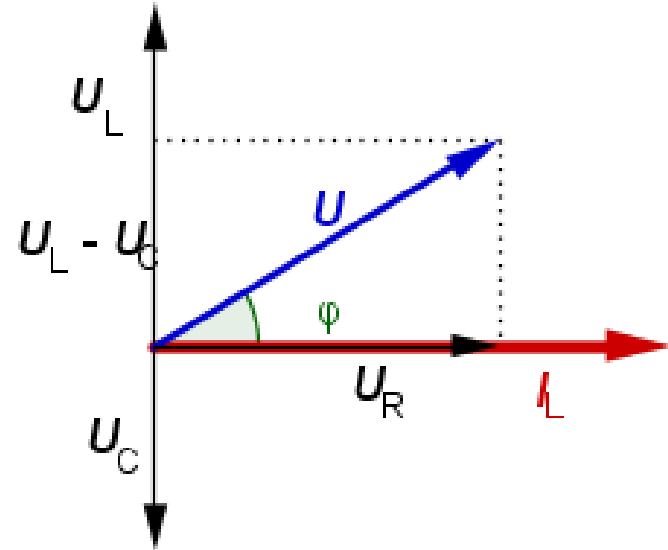
1. Střídavý proud

1.5 RLC obvody

Fázový rozdíl napětí a proudu

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{U_L - U_C}{U_R} = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} = \frac{X}{R}$$

$$-\frac{\pi}{2} \leq \varphi \leq \frac{\pi}{2}$$



1. Střídavý proud

1.5 RLC obvody

Výpočet impedance RLC obvodu

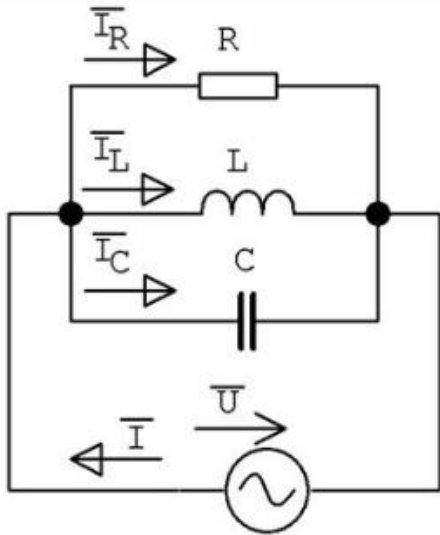
$$I_m^2 = I_R^2 + (I_C - I_L)^2 = \\ = \frac{U_m^2}{R^2} + \left(U_m / \frac{1}{\omega C} - U_m / \omega L \right)^2 = U_m^2 \left[\frac{1}{R^2} + \left(\omega C - \frac{1}{\omega L} \right)^2 \right]$$

$$I_m = U_m \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\omega C - \frac{1}{\omega L} \right)^2}$$

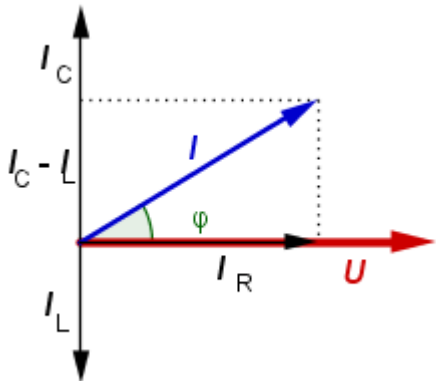
Impedance Z

$$Z = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\omega C - \frac{1}{\omega L} \right)^2}}$$

Paralelní RLC obvod



Fázorový diagram



1. Střídavý proud

1.5 RLC obvody

Rezonanční frekvence – Thomsonův vztah



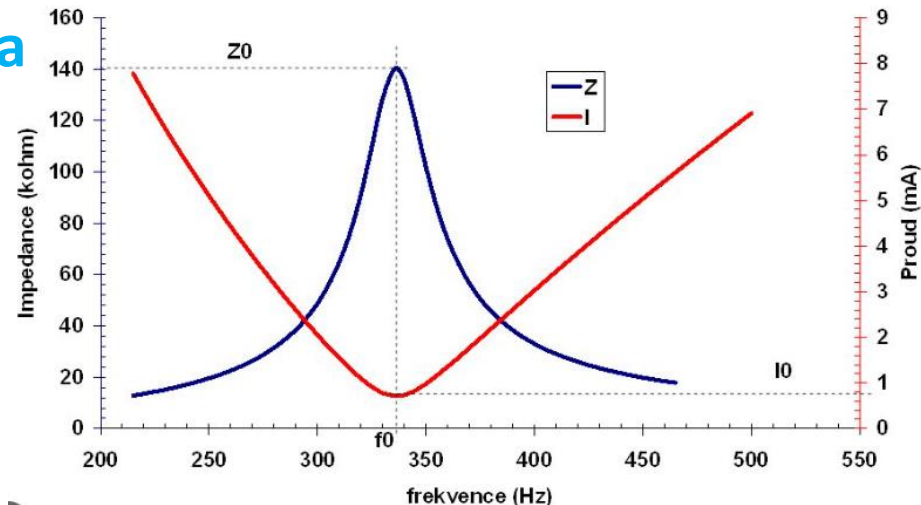
Kdy prochází paralelním RLC obvodem nejmenší proud?

- nejmenší proud prochází obvodem tehdy, je-li impedance obvodu největší → pro $X = 0$ je $Z = R$
- $X = 0 \rightarrow \omega L - \frac{1}{\omega C} = 0 \rightarrow \omega L = \frac{1}{\omega C} \rightarrow \omega^2 = \frac{1}{LC} \rightarrow 2\pi f = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

Thomsonův vztah a rezonanční křivka

- vztah pro **rezonanční frekvenci paralelního** RLC obvodu
- při **rezonanci** je **proud** procházející obvodem **minimální**, impedance maximální

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

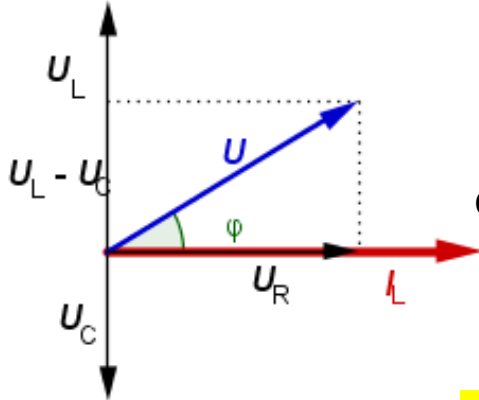


1. Střídavý proud

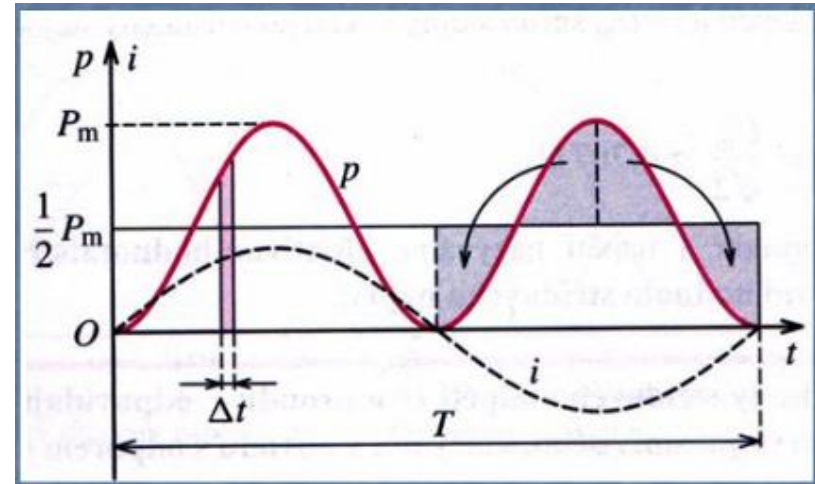
1.6 Činný výkon střídavého proudu

Střední výkon P_s

$$P_s = \frac{1}{2} P_m = \frac{1}{2} R I_m I_m = \frac{1}{2} R \frac{U_m}{Z} I_m = \frac{U_m I_m R}{\sqrt{2} \sqrt{2} Z}$$



$$\cos \varphi = \frac{U_R}{U_m} = \frac{I_m R}{I_m Z} = \frac{R}{Z}$$



Činný výkon P

$$P = UI \cos \varphi$$

- určuje tu část výkonu střídavého proudu, která se v obvodu **mění na užitečnou práci**

Ztrátový jalový výkon P_Z

$$P_Z = UI \sin \varphi$$

- určuje tu část výkonu střídavého proudu, která se v obvodu **mění na ztrátové teplo**

$\cos \varphi$ - účinník

$\varphi = 0 \rightarrow \cos \varphi = 1 \rightarrow P = UI$
 $\varphi = \pi/2 \rightarrow \cos \varphi = 0 \rightarrow P = 0$
 \rightarrow obvodem prochází tzv.

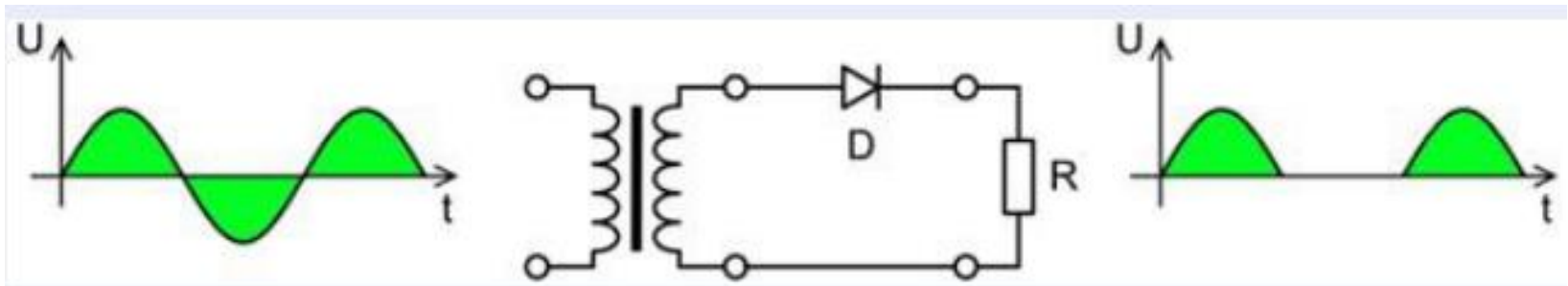
jalový proud

1. Střídavý proud

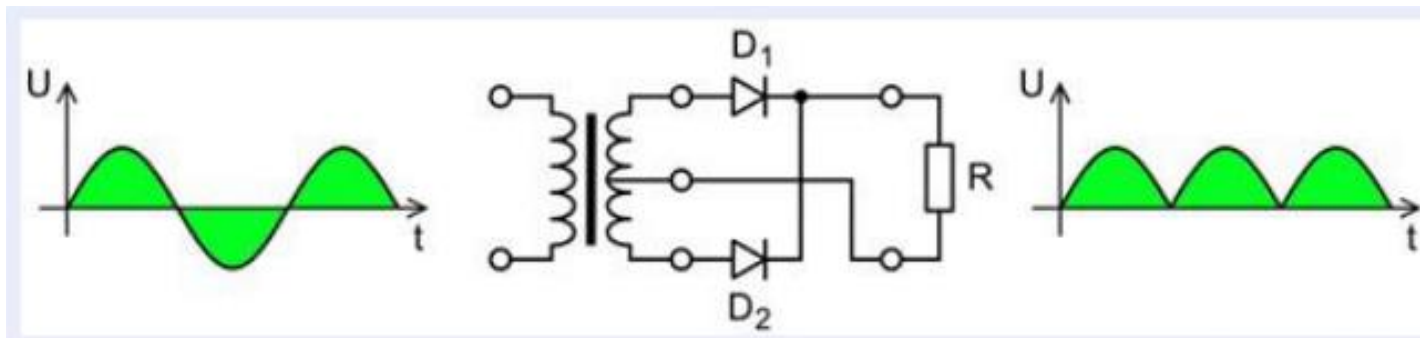
1.7 Usměrňovač a zesilovač

Usměrňovač

- Mění střídavý proud (sinusový průběh) na stejnosměrný (konstantní průběh)
- a) jednocestný usměrňovač – **pulzní napětí a tepavý proud** na výstupu



- b) dvoucestný usměrňovač – usměrnění obou půlperiod

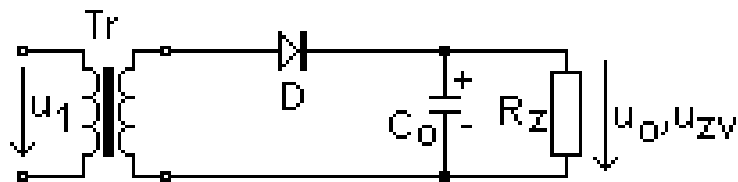


1. Střídavý proud

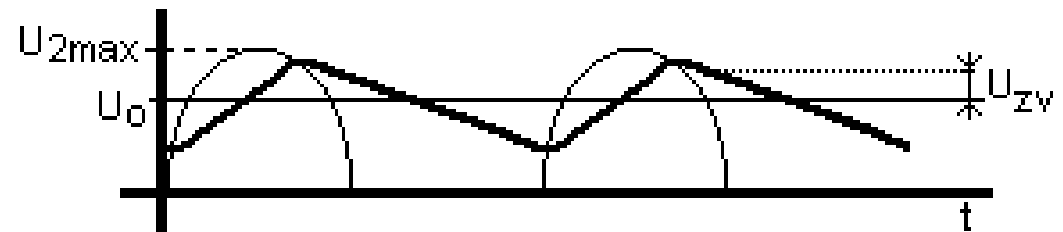
1.7 Usměrňovač a zesilovač

Usměrňovač

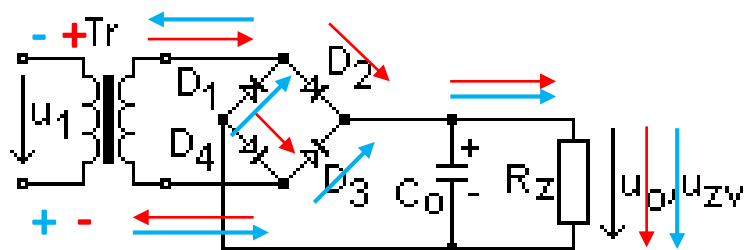
- kondenzátor zabraňuje poklesu napětí → místo pulzního napětí je na výstupu pilovité napětí
- při **větší kapacitě kondenzátoru** je pokles menší a tím je **menší zvlnění** křivky
- lze dosáhnout téměř konstantní závislosti (jako u stejnosměrného proudu)



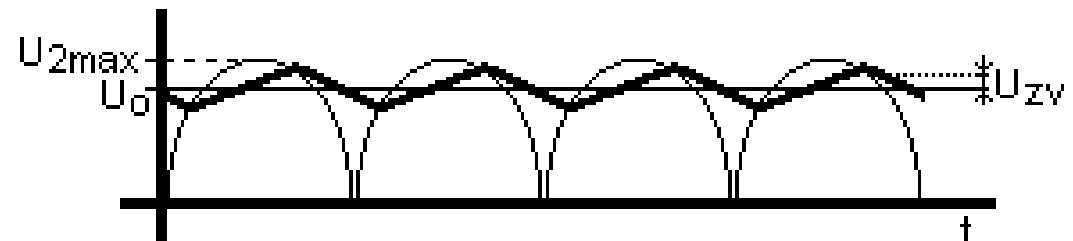
Jednocestný usměrňovač



Průběhy napětí j.u. se sběracím kondenzátorem



Dvoucestný usměrňovač



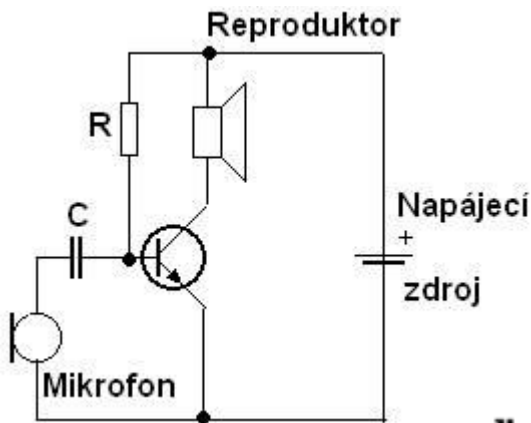
Průběhy napětí dv.usm. se sběracím kondenzátorem

1. Střídavý proud

1.7 Usměrňovač a zesilovač

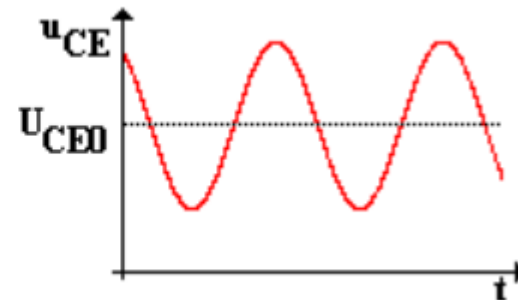
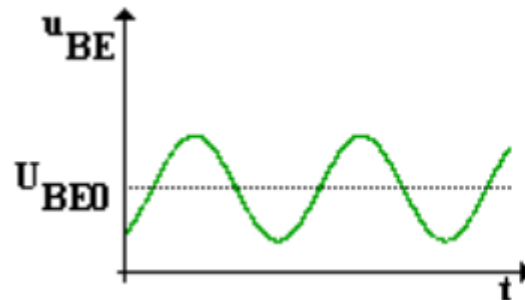
Zesilovač

- základní činnost tranzistoru spočívá v zesílení signálu (napětí)
- plní tedy funkci jednoduchého **zesilovače**
- jsou základem všech integrovaných obvodů (IO) → procesory, paměti
- **zesílené napětí na výstupu zesilovače má opačnou fázi** než vstupní napětí



Proudový zesilovací činitel – β

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \sim 10^2$$



1. Střídavý proud

1.7 Usměrňovač a zesilovač

Zesilovač – zajímavosti

běžné tranzistory:

- slouží pro zpracování signálu ať už jako jednotlivé „diskrétní“ součástky, či součástky v **čipech** a mikročipech **integrováných obvodů**
- jsou dnes základním prvkem spotřební i nespotební elektroniky (televize, rádia, počítače, mobilní telefony...)
- běžné tranzistory obvykle zpracovávají signál v jednotkách voltů, proud přitom bývá nejvýše v řádu miliampérů



výkonové tranzistory:

- jsou klíčovým prvkem používaným ve **výkonové elektronice**, například v oblasti **spínaných zdrojů** nebo **frekvenčních měničů**
- výkonová elektronika je rovněž klíčová při **realizaci moderních zdrojů světla** (úsporná žárovka, LED), moderních trakčních vozidel s asynchronními motory, **hybridních automobilů a elektromobilů, fotovoltaických a větrných elektráren**
- současné výkonové tranzistory jsou schopny ve spínacím režimu pracovat s **napětím až v řádu kilovoltů** a s **proudy v řádu 10^2 až 10^3 A**



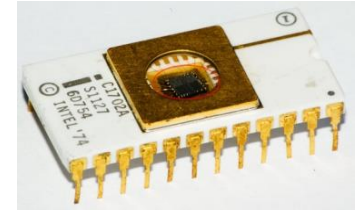
- v procesoru Intel Pentium 4 je cca 42 000 000 tranzistorů se spoji o šířce 0,18 μm

1. Střídavý proud

1.7 Usměrňovač a zesilovač

Integrovaný obvod

- složen z desítek miniaturních tranzistorů, rezistorů, kondenzátorů, OZ
- jako celek jde o elektrický obvod, který vykonává určitou funkci
- první IO vytvořen v roce 1958 v Texas Instruments
- meze integrace součástek závisí krom jiného i na **Heisenbergových relacích neurčitosti**
→ součástky i jejich počet na mm^2 nelze zmenšovat do nekonečna



Využití

- veškeré spotřební elektronice, ale i různá vědecká zařízení, např. na **umělých družicích**.
- televize, videa, satelitní přijímače, dálková ovládání
- rádia, CD či MP3 i MP4 přehrávače
- digitální hodinky, kalkulačky
- mobilní telefony, vysílačky, GPS přijímače
- fotoaparáty, digitální fotoaparáty
- počítače, tiskárny, monitory, PDA
- automobily, letadla a další dopravní prostředky
- lékařské, vědecké a měřicí přístroje



Zajímavosti

Nejmenší IO na světě: Vědci z IBM dokázali vytvořit **nejmenší logický obvod na světě sestávající z jediné molekuly kysličníku uhelnatého**. Tento obvod má rozměr menší než jedna triliontina čtverečního palce (a je tedy 260 000 x menší než obdobný obvod na křemíkové bázi).

Nejmenší tranzistor na světě

- výzkumníci z MIT vytvořili 3D tranzistory o průměru pouhých 2,5 nanometrů
- Na jediný mikročip o velikosti nehtu lze umístit až desítky miliard těchto drobných tranzistorů

2. Střídavý proud v praxi

2.1 Třífázový generátor střídavého proudu

Válka proudů – výhody střídavého proudu nad stejnosměrným

▪ **1882 – 1892**

válka proudů mezi **T. A. Edisonem (1847 – 1931)** (zastánce stejnosměrného proudu, který používal k napájení osvětlení domácností žárovkami) a

G. Westinghousem () (zastánce střídavého proudu, který používal k napájení veřejného osvětlení obloukovými lampami nebo k pohonu elektrických strojů;

N. Tesla jeho zaměstnanec vynalezl většinu zařízení na střídavý proud;)

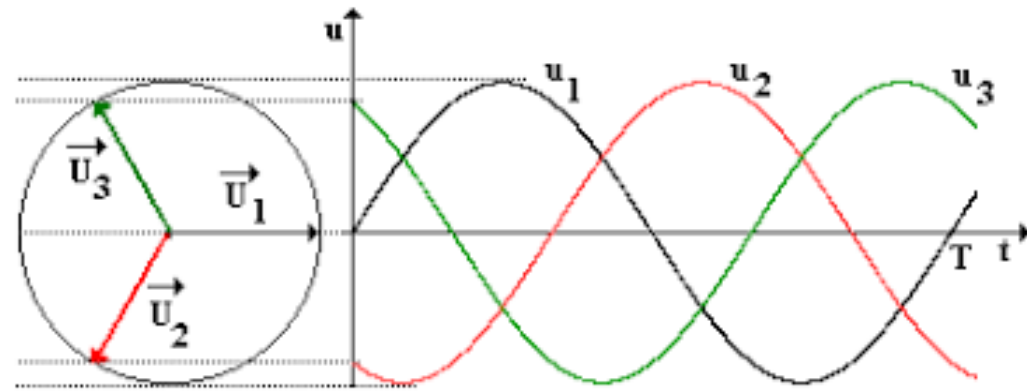
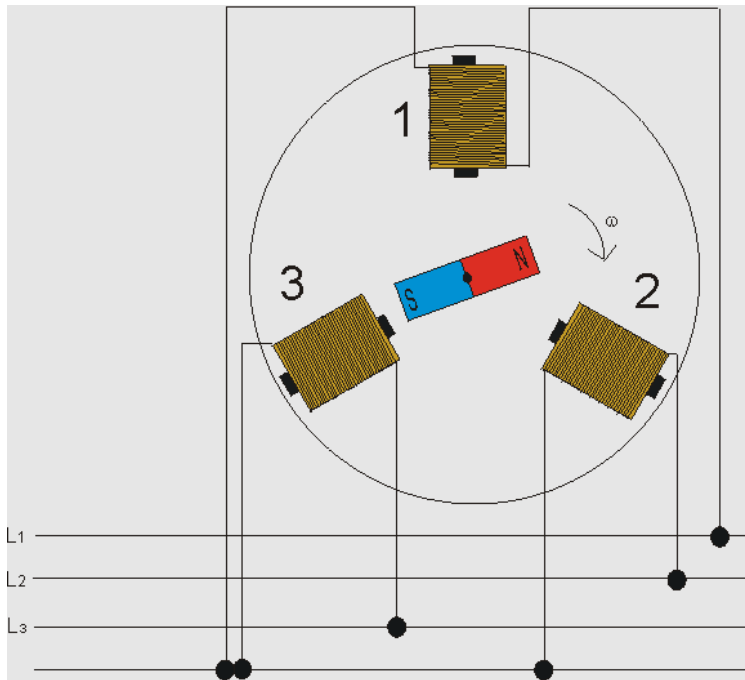
- tři aspekty války: ostrý konkurenční boj, řada smrtelných úrazů způsobených rozvody střídavého proudu a zákulisní manévry spojené se zaváděním elektrického křesla
- **1882** – Edison: ss rozvody do domácností měly nahradit svícení plynem a petrolejem; nevýhoda: rozvody do vzdálenosti max. několika km, pak velké ztráty, každé město by muselo mít svoji elektrárnu
- **1886** – Westinghouse: střídavé rozvody, malý proud, vysoké napětí, levnější přenos
- **1892** – konec sporů: Edison odešel z podnikání s elektřinou, jeho společnost splynula s Thomson-Houston Electric a přešla na střídavý proud
- **1893** – Westinghouse získal kontrakt na osvětlení Světové výstavy v Chicagu a stavbu elektrárny u Niagarských vodopádů
- V některých městských částech přetrvaly ss elektrárny po celé 20. století
- **Nový Bydžov 1895-1920:** byl mezi prvními městy při zavádění elektrické energie. Městská ss elektrárna zahájila činnost již v roce **1895**. Elektrické osvětlení města bylo slavnostně zahájeno 23. července.

2. Střídavý proud v praxi

2.1 Třífázový generátor střídavého proudu

Třífázový generátor – princip

- Rotor – pohyblivá cívka s jádrem (elektromagnet)
- Stator – 3 pevné cívky, ve kterých se indukují proud



$$u_1 = U_m \sin \omega t$$

$$u_2 = U_m \sin \left(\omega t - \frac{2}{3} \pi \right)$$

$$u_3 = U_m \sin \left(\omega t + \frac{2}{3} \pi \right)$$

$$\vec{u}_1 + \vec{u}_2 + \vec{u}_3 = 0$$

2. Střídavý proud v praxi

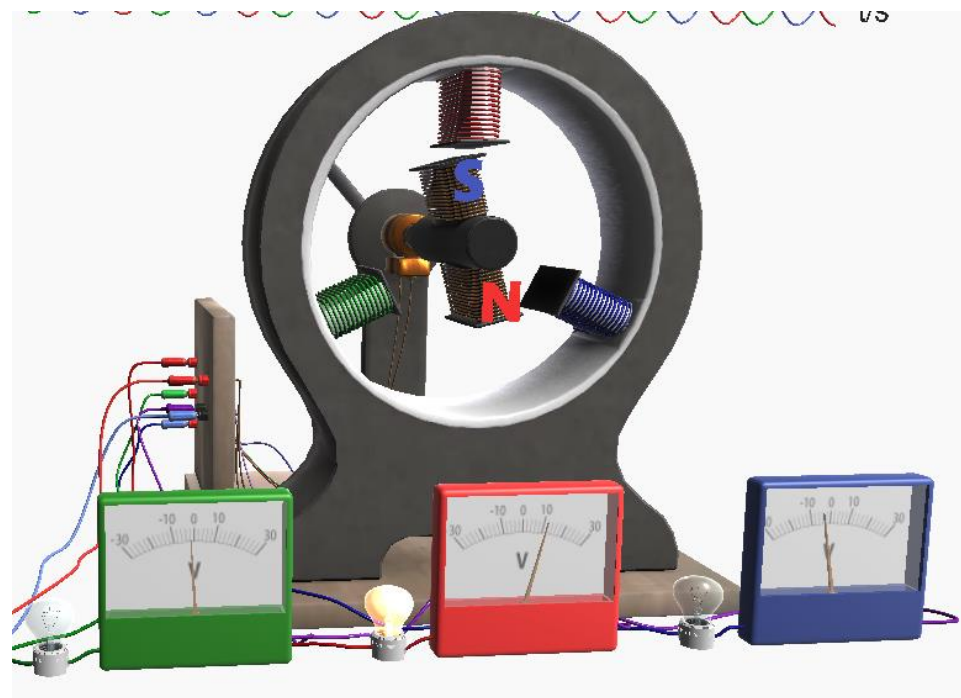
2.1 Třífázový generátor střídavého proudu

Třífázový generátor – provedení

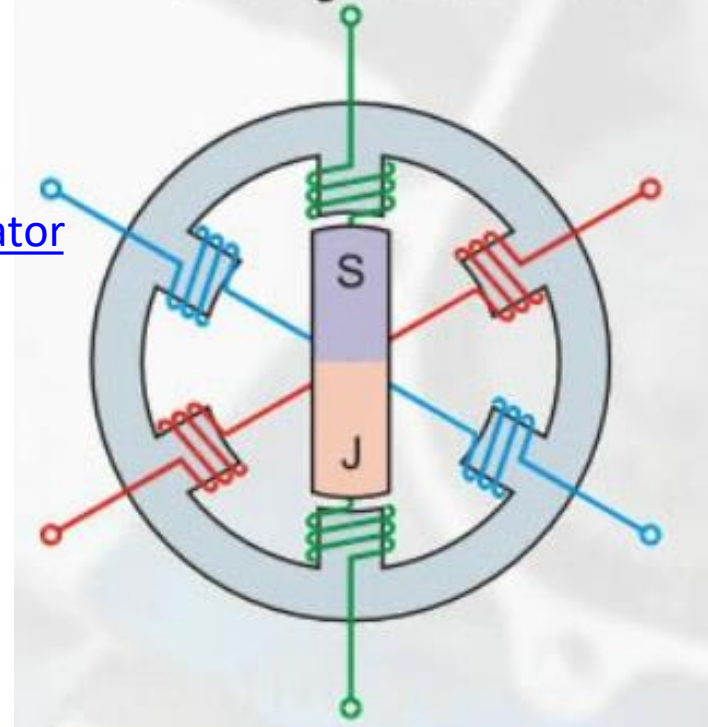
- Rotor – pohyblivá cívka s jádrem (elektromagnet)
- Stator – dvojice pólových nástavců naproti sobě

Corinth 3D – model generátoru

https://online.corinth3d.com/app/scene/f_vyna_3f_generator



Třífázový alternátor

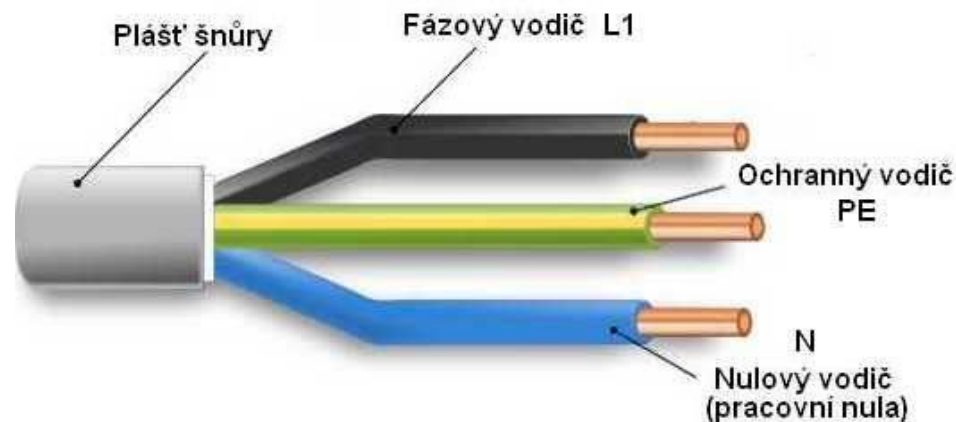


2. Střídavý proud v praxi

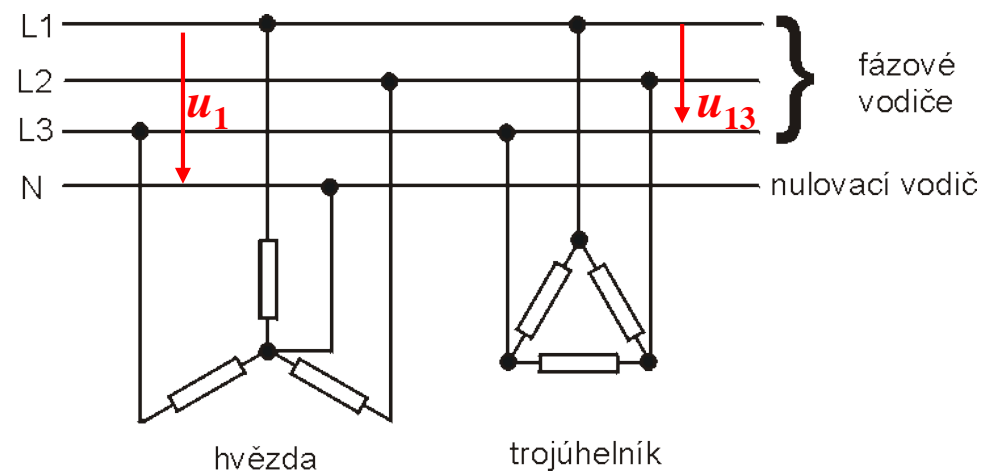
2.2 Třífázová soustava střídavého proudu

Fázové vodiče

- Černý nebo hnědý – fáze L, pod napětím vůči zemi
- Modrý – nulovací vodič N
- Zelenožlutý – ochranný vodič (zemnění) PE



Zapojení spotřebiče do hvězdy nebo trojúhelníku



- **Zapojení do hvězdy** – využívá **fázového napětí 230 V** mezi nějakou fází a nulovacím vodičem
Př.: Rádio, počítač, domácí spotřebiče
- **Zapojení do trojúhelníku** – využívá **sdrúženého napětí 400 V** mezi fázemi
Př.: výkonové spotřebiče: pila, čerpadlo

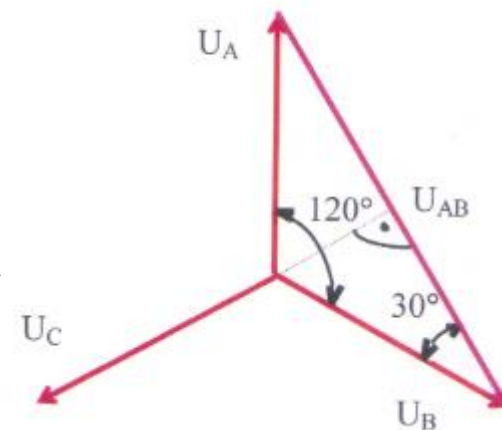
2. Střídavý proud v praxi

2.2 Třífázová soustava střídavého proudu

Sdružené napětí

- **mezi dvěma fázemi**, např. U_{AB} viz obr.
- **fázová napětí** $U_A = U_B = U_C = 230\text{ V}$

$$\sin 60^\circ = \frac{U_{AB}/2}{U_B} = \frac{\sqrt{3}}{2} \rightarrow U_{AB} = \sqrt{3} U_B = 1,732 \cdot 230\text{ V} \cong 400\text{ V}$$



Zapojení zásuvky 230 V



- **nulovací vodič nesmí být přerušen!**
(např. pojistkou – ta musí být zásadně na fázovém vodiči)
- **Spotřebiče 1. třídy** – kovový obal spotřebiče (např. PC) – ochrana zemněním → zelenožlutý vodič spojený s kovovým obalem → spojí-li se fázový vodič s kostrou spotřebiče, spojí se přes PE vodič se zemí, dojde ke zkratu, přepálí se pojistka nebo vypne jistič
- **Spotřebiče 2. třídy** – izolovaný nevodivý povrch (např. fén)
- **Spotřebiče 3. třídy** – do 50 V (bezpečné napětí)
- **Délka prodlužovacího kabelu 220 V** – max. 12 m
→ při větší délce má nulovací vodič velký odpor a pojistka nejistí



2. Střídavý proud v praxi

2.2 Třífázová soustava střídavého proudu

Třídy ochrany spotřebičů a bezpečná napětí

Třída ochrany zařízení	Prostředky ochrany
0	Elektrické zařízení nemá žádné prostředky pro připojení neživých částí, ochrana je založena pouze na základní izolaci (v ČR zakázána!!)
I	Elektrické zařízení, mimo základní izolaci je opatřeno prostředky pro připojení ochranného vodiče (ochrana samočinným odpojením od zdroje)
II 	Elektrické zařízení obsahuje základní izolaci a přídavnou izolaci, nemá prostředky pro připojení ochranného vodiče
III 	Elektrické zařízení má ochranu před úrazem elektrickým proudem zajištěnou připojením ke zdroji napětí SELV (ochrana malým napětím)

ČSN EN 61140

- **Normální** – suchá, izolovaná místa, která svou podstatou zabraňují úrazu el. proudem → dětský pokoj
- **Nebezpečné** – vlhké, horké, hrozí nebezpečí úrazu el. proudem → koupelna, kuchyň
- **Zvlášť nebezpečné** – mokré s extrémní korozní aktivitou → vlhké sklepy, studny, jeskyně, kovové nádrže

Prostory	při dotyku částí (při obsluze)	Bezpečná napětí (V)
Normální	Živých	25
	Neživých	50
Nebezpečné	Živých	25
	Neživých	50
Zvlášť nebezpečné	Živých	-
	Neživých	12

2. Střídavý proud v praxi

2.2 Třífázová soustava střídavého proudu

Účinky elektrického proudu na lidský organismus

Lidské tělo obsahuje průměrně 60–70 % vody.



- Oba druhy způsobují rozklad krve, svalové křeče (neschopnost okysličovat organismus, zástava dýchání) a popáleniny.
- Střídavý proud navíc způsobuje tzv. „fibrilaci srdce“.
frekvence sítě = 50 Hz = 50 s⁻¹
frekvence srdce = 70 min⁻¹ = 1,2 s⁻¹
Snaha bít rychlostí 50 tepů za sekundu = **nefunguje jako pumpa!**
- Střídavý proud je nebezpečnější. Tkáně namáhá změna polarity.

0,5 až 1 mA	práh vnímání elektrického proudu, krátkodobě příjemný pocit
1 až 8 mA	podráždění v nervech – bolest, stoupaní krevního tlaku
6 až 15 mA	způsobuje nervosvalovou křeč, mez uvolnění – člověk se již nemůže vlastní vůlí z obvodu vymanit
25 mA	nervosvalová křeč dýchacího svalstva
60 mA	chvění srdeční komory (fibrilace), přechodná zástava srdce
nad 80 mA	zpravidla trvalá zástava srdce

Max. bezpečný proud

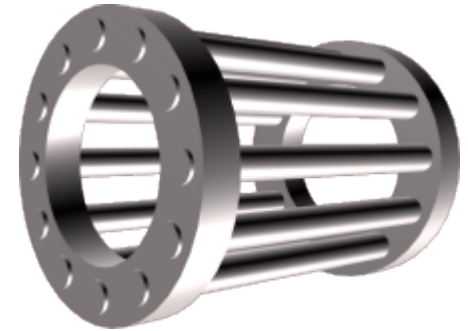
- stejnosměrný – **10 mA**
- střídavý – **3,5 mA**

2. Střídavý proud v praxi

2.3 Elektromotor na střídavý proud

Točivé magnetické pole

- rotor – permanentní magnet (malé synchr.m.), elektromagnet (větší synchr.m.) nebo kotva nakrátko (asynchr.m.)
- stator – 3 cívky, ve kterých vzniká v dutině statoru tzv. **točivé magnetické pole** → vektor B se otáčí s frekvencí f



Synchronní a asynchronní elektromotor

- **elektromotor** – mění elektrickou energii na mechanickou
- princip – **pohyb vodiče s proudem v magnetickém poli statoru**
- **Synchronní elektromotor** – rotor se otáčí s frekvencí točivého magnetického pole
→ elektromobily, motory s velkým výkonem a konstantními otáčkami, krokové motory, CD-ROM, hračky
- **Asynchronní elektromotor** – otáčky motoru nižší než je frekvence točivého pole, velikost proudu se mění podle zatížení
→ cirkulárka, pračka, gramofony, ventilátory, ledničky, vrtačky

2. Střídavý proud v praxi

2.3 Elektromotor na střídavý proud

Moderní diskový synchronní elektromotor

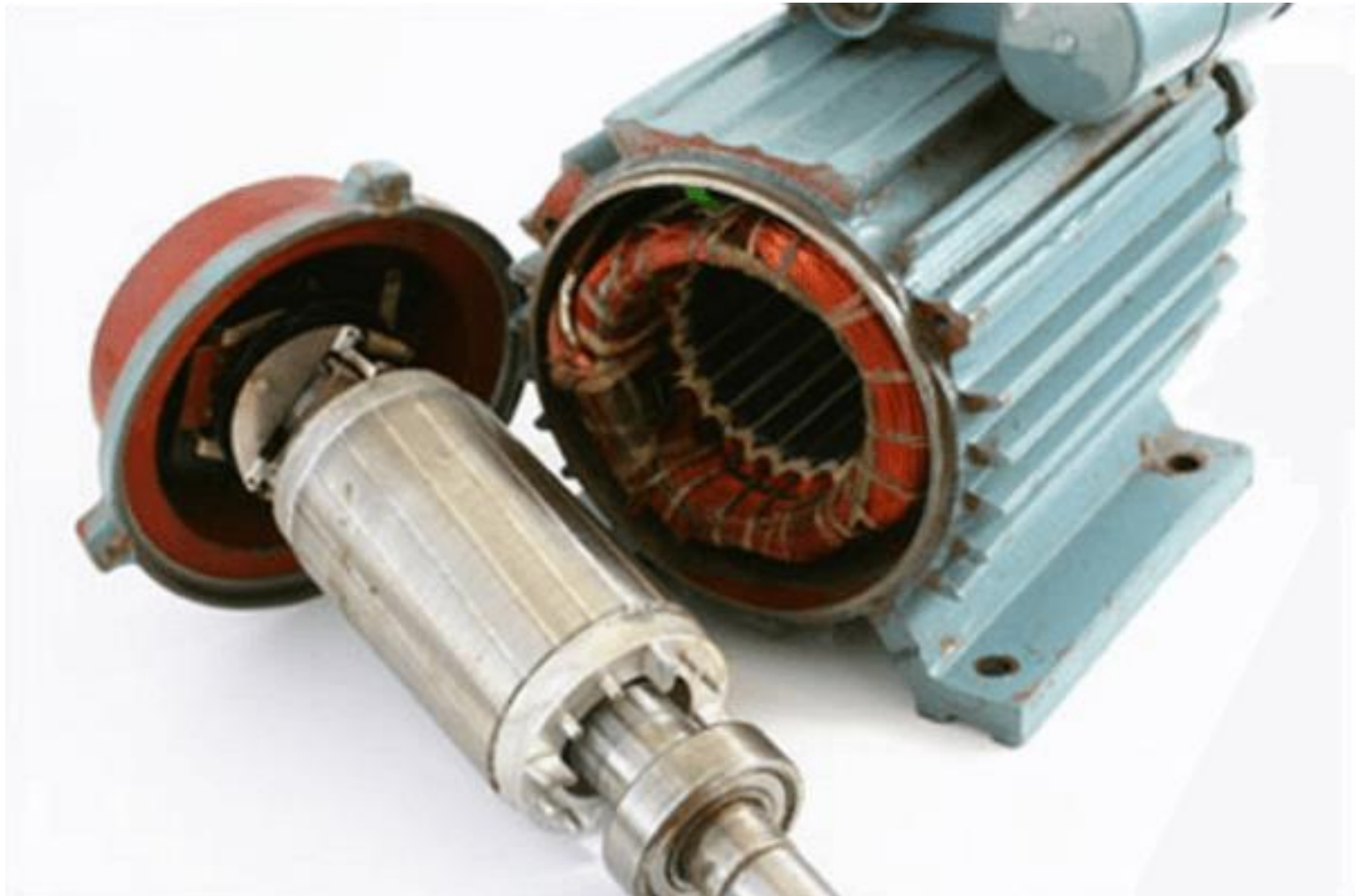
- využití: elektromobily



2. Střídavý proud v praxi

2.3 Elektromotor na střídavý proud

Asynchronní elektromotor



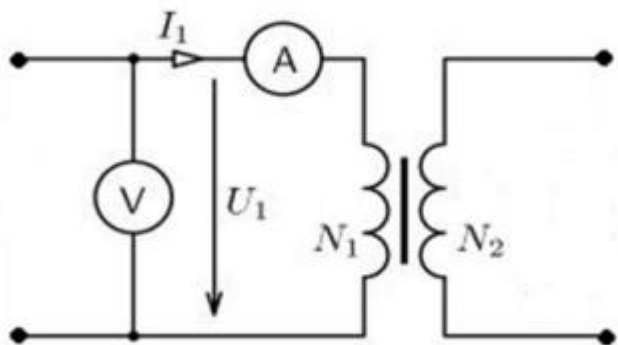
2. Střídavý proud v praxi

2.4 Transformátor

Jednofázový transformátor

- 2 cívky na společném jádře z magneticky měkkých vzájemně izolovaných plechů
- princip **elektromagnetické indukce**
- zvyšuje nebo snižuje hodnoty **střídavého napětí a proudu** (ss I se transformovat nedá)

Transformátor naprázdno

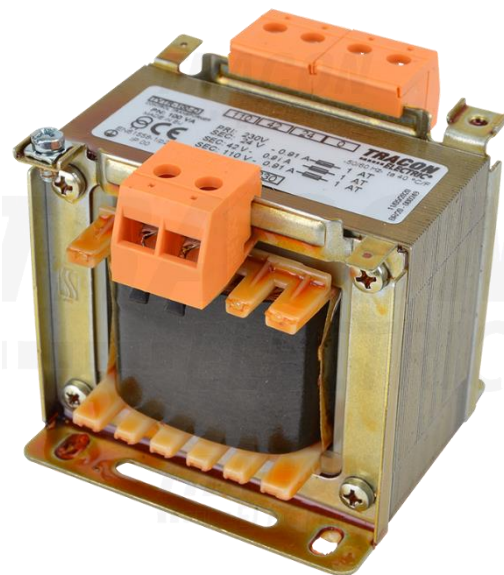
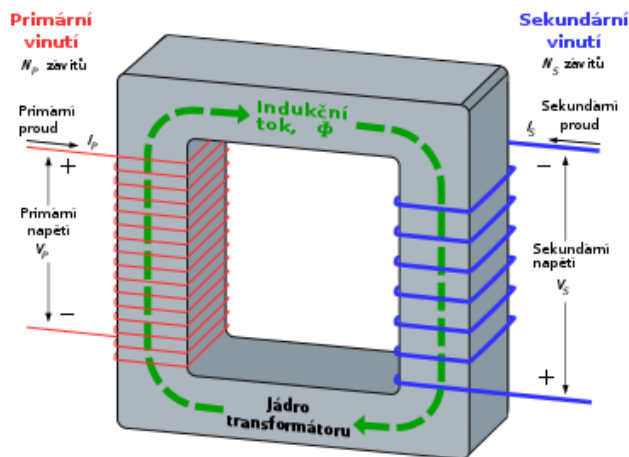


transformační poměr ... k

$k > 1$... transformace nahoru

$k < 1$... transformace dolů

$$k = \frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{I_1}{I_2}$$

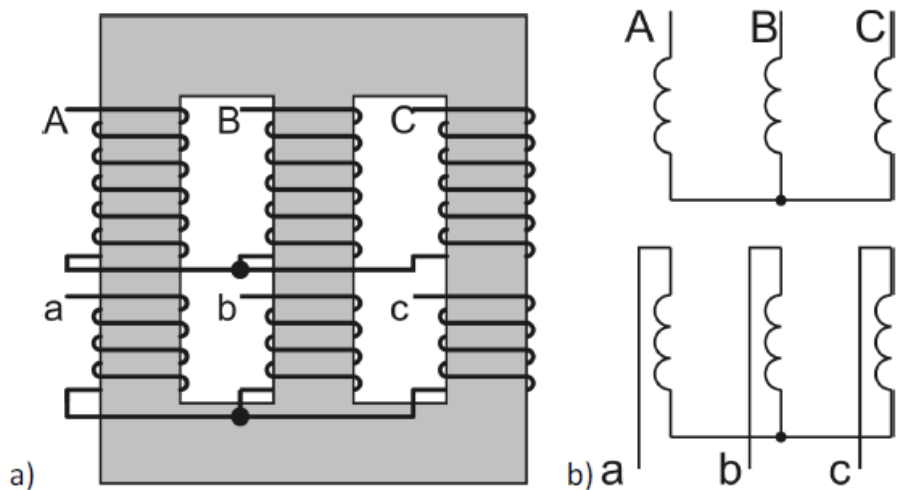


2. Střídavý proud v praxi

2.4 Transformátor

Třífázový transformátor

- trojice cívek v primárním i sekundárním obvodu
- využití – energetika, výrobní sektor



Ztráty při přenosu – Jouleovo teplo

$$Q_J = RI^2t$$

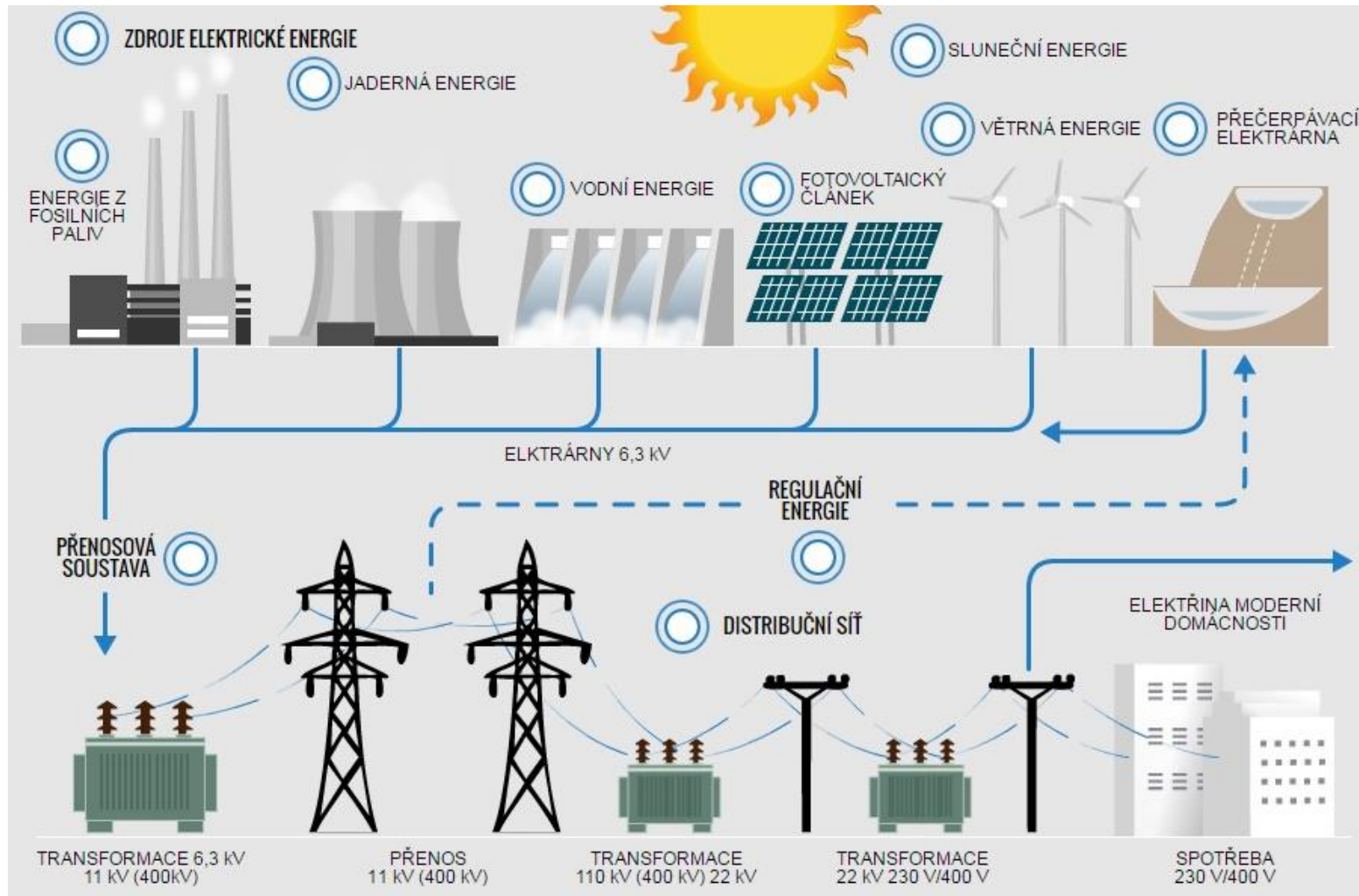
- při transformaci dochází ke ztrátám energie vlivem tepla, vířivých proudů, periodického přemagnetování jádra
- ztráty omezíme malým proudem a vysokým napětím



2. Střídavý proud v praxi

2.5 Přenos elektrické energie

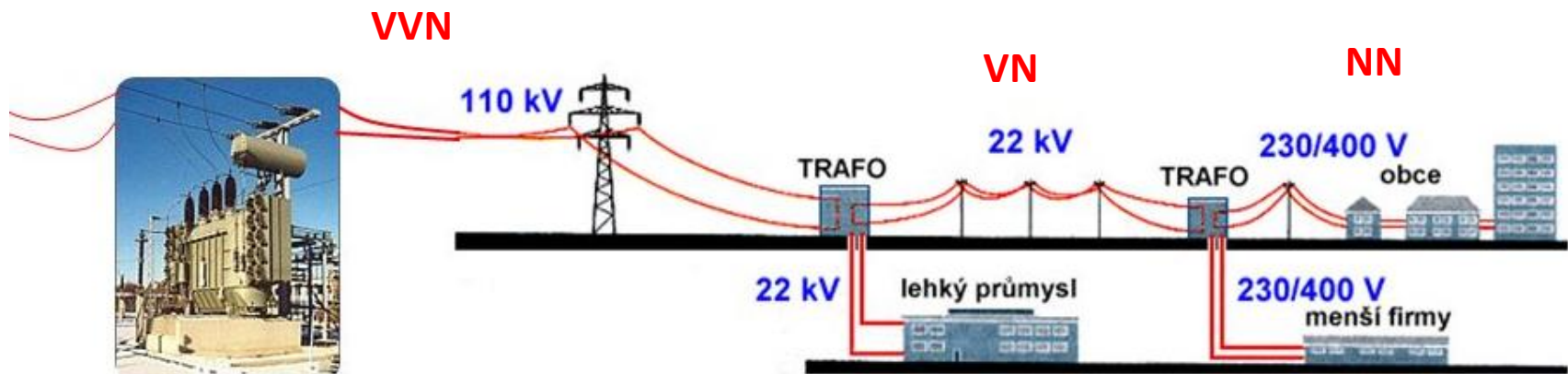
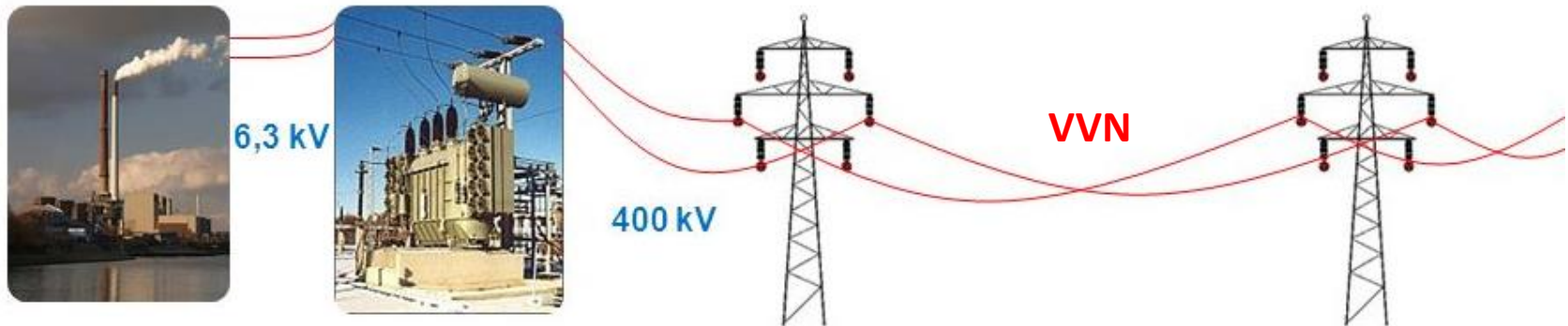
Přenosové schéma



2. Střídavý proud v praxi

2.5 Přenos elektrické energie

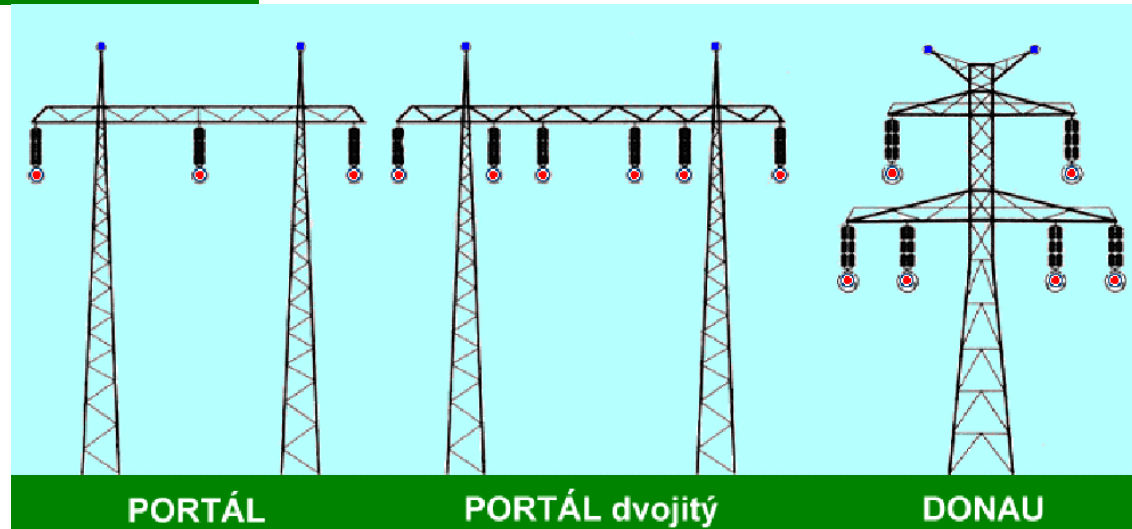
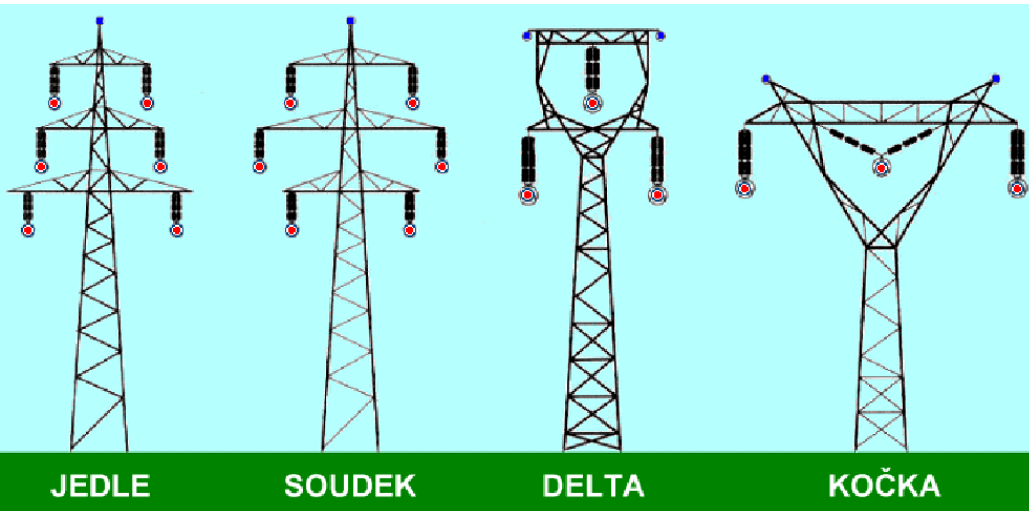
Dálkový přenos energie zajišťuje přenosová síť vedení **velmi vysokého napětí**.



2. Střídavý proud v praxi

2.5 Přenos elektrické energie

Poezie stožárů VVN



2. Střídavý proud v praxi

2.5 Přenos elektrické energie

Městské rozvodny



Městská transformátorová stanice s trojfázovými transformátory, ze které se do městských čtvrtí rozvádí vysoké napětí 22 kV

2. Střídavý proud v praxi

2.5 Přenos elektrické energie

Obecní transformátory



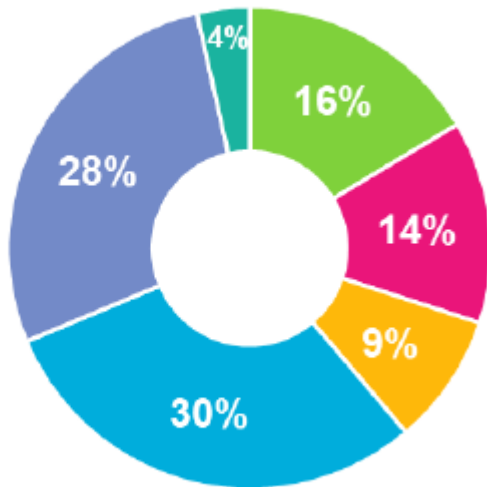
2. Střídavý proud v praxi

2.5 Přenos elektrické energie

Procentuální rozložení výroby energie v EU a ve světě

Podíl jednotlivých paliv na produkci primární energie v EU (v %, 2017)

- Pevná paliva
- Zemní plyn
- Ropa
- OZE
- Jádro
- ostatní

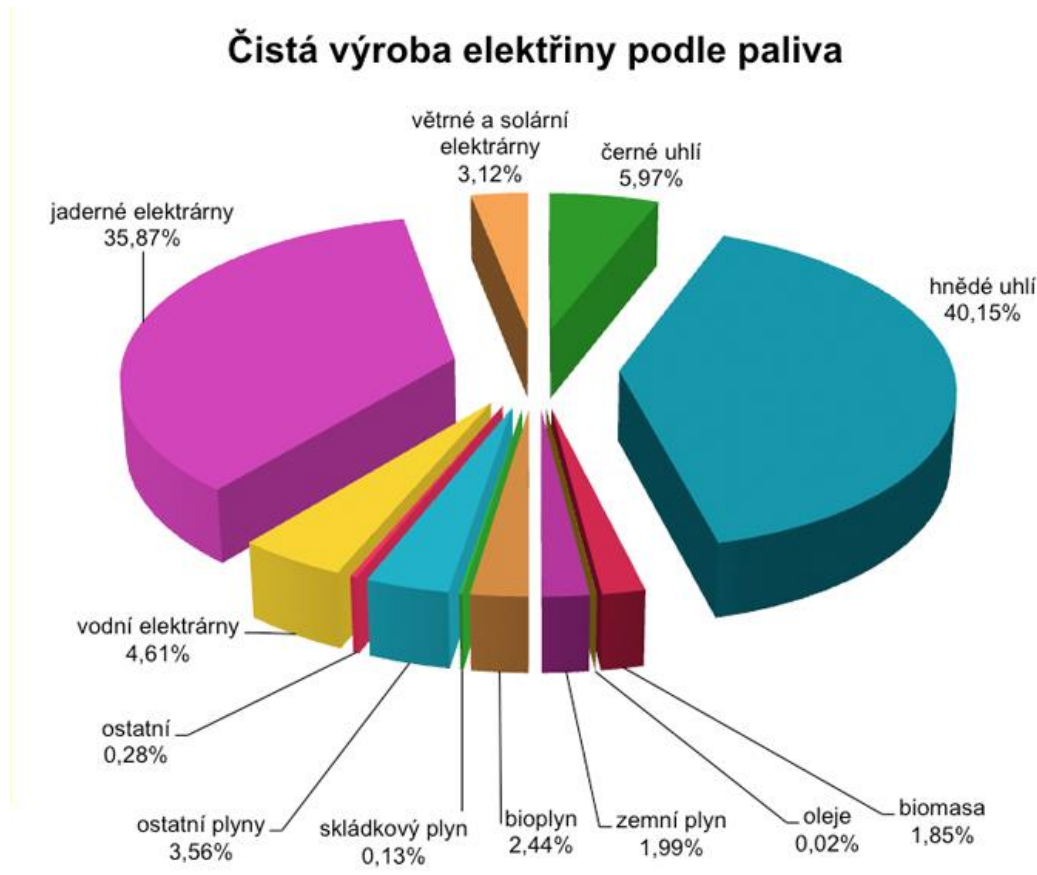


Zdroj: Eurostat

2. Střídavý proud v praxi

2.5 Přenos elektrické energie

Procentuální rozložení výroby energie v ČR v roce 2013

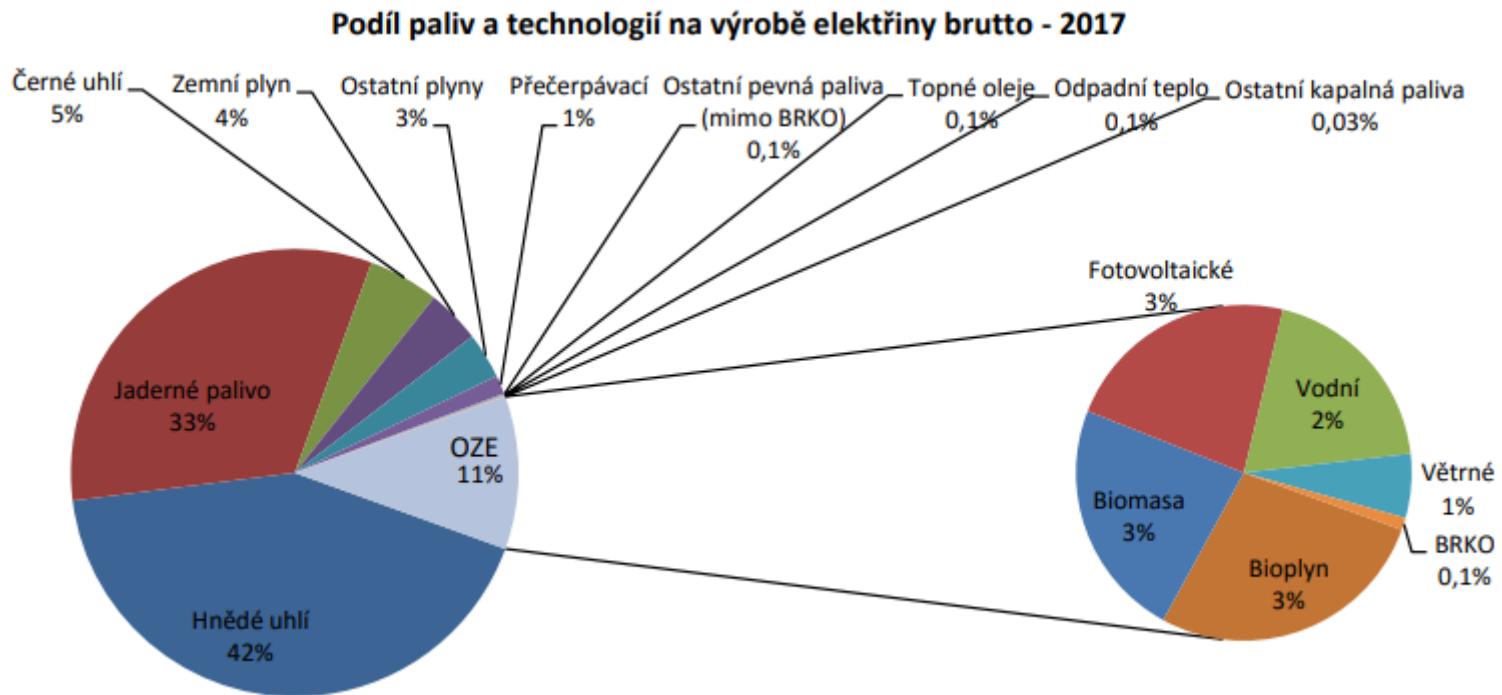


Zdroj: ERÚ, data z roku 2013, graf: Elektřina.cz

2. Střídavý proud v praxi

2.5 Přenos elektrické energie

Procentuální rozložení výroby energie v ČR v roce 2017



Pokles

- černé uhlí z 6 % na 5%
- jádro z 36 % na 33 %
- vodní z 5 % na 2 %

Růst

- hnědé uhlí ze 40 % na 42 %
- zemní plyn ze 2 % na 4%
- větrné a solární ze 3 % na 4 %
- biomasa, bioplyn ze 4 % na 6 %