

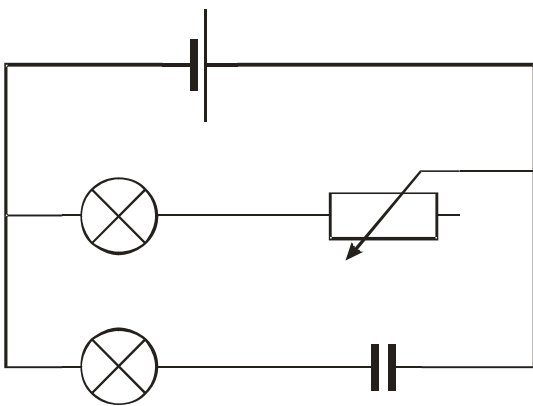
### 4.6.3 Kondenzátor v obvodu střídavého proudu

**Předpoklady:** 4109, 4601, 4602

**Pomůcky:** Pomůcky: dvě žárovky 6V, kondenzátor  $50\ \mu\text{F}$ , reostat  $100\ \Omega$ . Stejnoseměrný obvod napájejte raději z baterie, špatně vyhlazené napětí z některých síťových zdrojů přes kondenzátor částečně prochází a žárovku rozsvítí, což je samozřejmě dost nepříjemné.

**Kondenzátor** = „nádrž“ na náboj, dvě kovové desky oddělené dielektrikem, slouží ke shromažďování elektrického náboje.

Sestavíme obvod:



**Př. 1:** Jak budou svítit žárovky v nakresleném obvodu, poté co jej připojíme ke zdroji stejnosměrného napětí? Zdůvodni odhad.

V rameni s kondenzátorem žárovka svítit nebude.

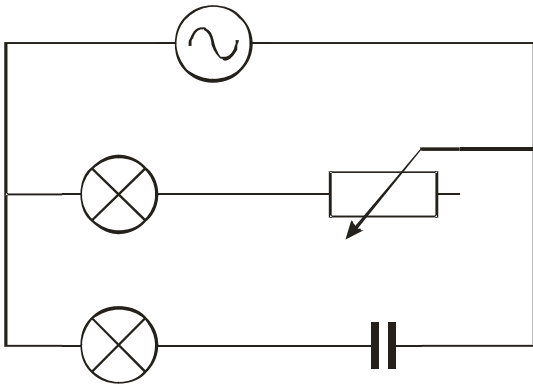
Proč?

Kondenzátor je přerušením obvodu  $\Rightarrow$  když se nabije, proud přes něj neprochází  $\Rightarrow$  žárovka nesvítí, protože přes ní neprochází proud.

Přesně stejnou zkušenost už máme ze začátku roku. Pouze u velkého kondenzátoru a LED diody jsme pozorovali bliknutí po zapojení obvodu.

**V obvodu stejnosměrného proud přes kondenzátor neprochází elektrický proud.  
Kondenzátor je přerušením obvodu.**

Zapojíme obvod ke zdroji střídavého napětí:



### Žárovka svítí i v rameni s kondenzátorem!

Jak je možné, že žárovka svítí?

V obvodu prochází střídavý proud (neustále se střídá jeho polarita)  $\Rightarrow$  kondenzátor se pořád nabíjí a vybíjí  $\Rightarrow$  ve větvi s kondenzátorem prochází střídavý proud, který rozsvítí žárovku.

Kondenzátor však omezuje velikost proudu (žárovka u kondenzátoru svítí méně, musíme posunout jezdec reostatu přibližně do poloviny a do obvodu tak přidat přibližně  $50 \Omega$ , aby žárovky svítily stejně). Proč?

Jakmile kondenzátor trochu nabije, objeví se na jeho deskách napětí, které se s dalším nabíjením zvyšuje  $\Rightarrow$  v obvodu, kterým se nabíjí kondenzátor, se objeví napětí, které zmenšuje procházející proud

$\Rightarrow$  **kapacitance** = „odpor“ vyrobený kondenzátorem. Na čem závisí?

- Větší kapacita  $\Rightarrow$  kondenzátor se pomaleji nabíjí  $\Rightarrow$  pomaleji stoupá napětí na jeho deskách  $\Rightarrow$  menší „odpor“ k nabíjení  $\Rightarrow$  menší kapacitance.
- Větší frekvence  $\Rightarrow$  kondenzátor nedostává tolik času na nabití (rychleji se obrací směr proudu)  $\Rightarrow$  méně se nabíjí  $\Rightarrow$  méně se omezuje proud  $\Rightarrow$  menší kapacitance.

Vzorec:  $X_c = \frac{1}{\omega C}$  [ $\Omega$ ] měří se v ohmech stejně jako odpor,

$\omega = 2\pi f$  - úhlová frekvence,  $C$  - kapacita kondenzátoru.

**Př. 2:** Urči kapacitanci kondenzátoru v zapojení úvodního pokusu (kapacita kondenzátoru  $50 \mu F$ , frekvence střídavého proudu  $50 \text{ Hz}$ ).

$$C = 50 \mu F = 50 \cdot 10^{-6} F, \quad f = 50 \text{ Hz}, \quad X_c = ?$$

$$X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 50 \cdot 10^{-6}} \Omega = 64 \Omega$$

Kapacitance kondenzátoru je  $64 \Omega$ .

Výsledek předchozího příkladu přibližně odpovídá hodnotě nastavené na reostatu. Podrobněji zatím situaci zkoumat nebudeme.

**Dodatek:** Pokud přeměříte odpor reostatu ohmmetrem, získáte s velkou pravděpodobností ještě lepší shodu. Například v našem případě byl naměřený odpor  $68 \Omega$ .

**Př. 3:** Urči, jaký proud bude procházet kondenzátorem o kapacitě  $C = 4 \text{ nF}$ , pokud jej zapojíme do normální sítě  $230 \text{ V} / 50 \text{ Hz}$ .

$$C = 4 \text{ nF}, \quad U = 230 \text{ V}, \quad f = 50 \text{ Hz}, \quad I = ?$$

$$I = \frac{U}{X_c} = \frac{U}{\frac{1}{\omega \cdot C}} = U \omega C = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot U \cdot C$$

$$I = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot U \cdot C = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 230 \cdot 4 \cdot 10^{-9} \text{ A} = 2,9 \cdot 10^{-4} \text{ A}$$

Kondenzátorem bude procházet proud  $2,9 \cdot 10^{-4} \text{ A}$ .

### Postřehy:

- Ohmův zákon používáme pro kapacitanci stejně jako pro odpor.
- Stejnoseměrný proud  $\Rightarrow \omega = 0 \Rightarrow X_c = \infty$  (jasné, když se směr proudu nemění kondenzátor se nabije a nepustí přes sebe proud).
- Kondenzátor kvůli kapacitanci nemění energii na teplo (na rozdíl od vlákna žárovky se nezahřívá)  $\Rightarrow$  neztrácí se na něm energie (více později).

**Poznámka:** V druhém bodu postřehů samozřejmě nejde o dělení nulou, spíše o představu limity, když zmenšujeme frekvenci, zvyšuje se postupně kapacitance a pro frekvenci se blíží nule se blíží nekonečnu. Nekonečná kapacitance u stejnosměrného proudu je logickým vyústěním této tendence.

Kondenzátor se nechová zcela shodně s odporem, zmenšuje odpor, ale nemění elektrinu v teplo  $\Rightarrow$  zřejmě existují i další rozdíly.

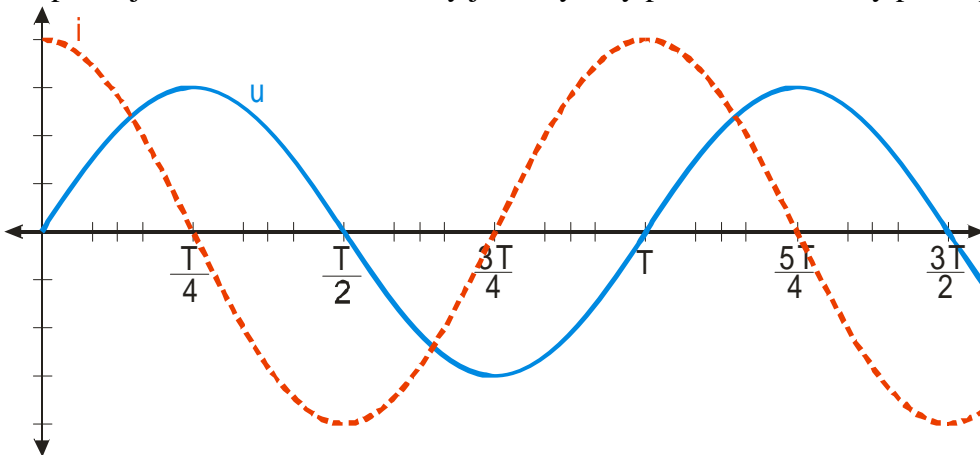
### Fázový posun napětí a proudu na kondenzátoru

Není vidět okem, je možné jej zachytit pomocí osciloskopu nebo počítače.

**Upozornění:** V grafu není nakresleno napětí na zdroji, ale **napětí měřené na kondenzátoru** =

napětí, které vzniká díky náboji, který se na deskách nashromáždil (vzorec  $Q = C \cdot U \Rightarrow U = \frac{Q}{C}$ ),

toto napětí není analogií napětí, jak si ho představujeme u rezistoru při stejnosměrném proudu (tedy s napětím jako rozdílem tlaků, který je nutný, aby protlačil elektrický proud přes rezistor).



Proud v obvodu s kondenzátorem není ve fázi s napětím a předbíhá ho o čtvrt periody (o  $\frac{\pi}{2}$ )

Proč?

**1. čtvrtina periody** (od  $t=0$  do  $t=\frac{T}{4}$ )

V čase  $t=0$  není na kondenzátoru žádný náboj, tedy ani žádné napětí na jeho deskách  $\Rightarrow$  proud nic neomezuje a je maximální  $\Rightarrow$  kondenzátor se nabíjí  $\Rightarrow$  na deskách kondenzátoru se shromažďuje náboj a zvětšuje napětí  $\Rightarrow$  proud je čím dál víc omezován napětím na deskách a zmenšuje se.

Sledujeme průběh proudu a napětí:

- V čase  $t=0$  je proud největší  $\Rightarrow$  náboj na deskách kondenzátoru roste nejrychleji  $\Rightarrow$

- napětí na kondenzátoru se zvětšuje nejrychleji (křivka je nejstrmější).
- Proud postupně klesá  $\Rightarrow$  kondenzátor se nabíjí čím dál pomaleji  $\Rightarrow$  napětí stále roste, ale čím dál pomaleji (křivka je čím dál méně strmá).
  - V čase  $t = \frac{T}{4}$  je proud nulový  $\Rightarrow$  kondenzátor se nenabíjí  $\Rightarrow$  hodnota napětí se nemění.

Podobně můžeme argumentovat i dále.

**Př. 4:** Urči kapacitu kondenzátoru, přes který prochází při zapojení ke zdroji 20V/50Hz střídavý proud 0,05 A.

$$U = 20 \text{ V} , \quad f = 50 \text{ Hz} , \quad I = 0,05 \text{ A} , \quad C = ?$$

$$I = \frac{U}{X_c} = \frac{U}{\frac{1}{\omega \cdot C}} = U \omega C$$

$$C = \frac{I}{U \omega} = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot U} = \frac{0,05}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 20} \text{ F} = 8 \mu \text{ F}$$

Kondenzátorem musí mít kapacitu  $8 \mu \text{ F}$  .

**Shrnutí:** Střídavý proud prochází i přes kondenzátor. Hodnota proudu je omezena kapacitancí a proud přebíhá napětí o  $\frac{\pi}{2}$  .