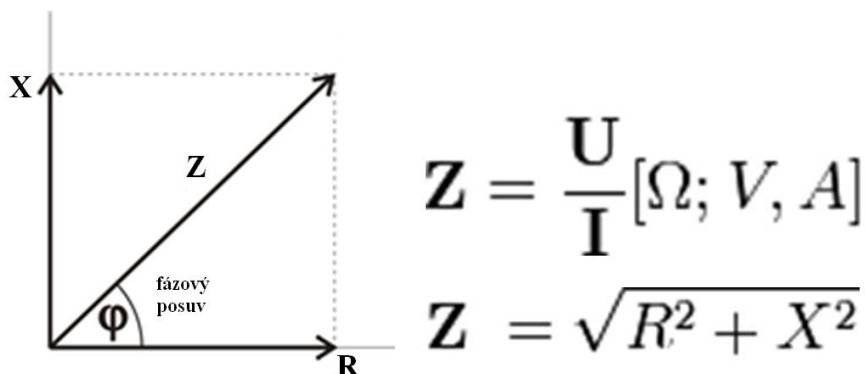


FREKVENČNĚ ZÁVISLÉ OBVODY

Základní pojmy:

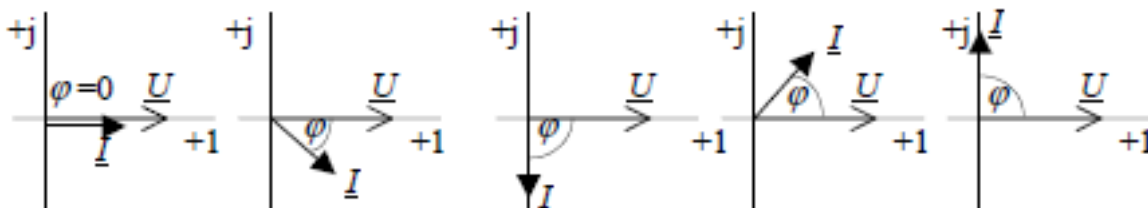
IMPEDANCE Z (Ω)- charakterizuje vlastnosti prvku pro střídavý proud. Impedance je základní vlastností, kterou potřebujeme znát pro analýzu střídavých elektrických obvodů. Jde o komplexní veličinu popisující zdánlivý odpor součástky a fázový posuv napětí proti proudu při průchodu harmonického střídavého elektrického proudu dané frekvence. Obsahuje reálnou složku což je činný odpor R (Ω) a imaginární složku což je reaktance X (Ω).



REAKTANCE X (Ω)- je to imaginární (zdánlivý) odpor, který součástka vykazuje v obvodu střídavého proudu. Převažující vlastnost součástky, nebo obvodu (cívka - indukčnost, kondenzátor – kapacita) určuje druh reaktance:

- 1) převažuje indukčnost reaktance je induktivní X_L (induktance)
- 2) převažuje kapacita reaktance je kapacitní X_C (kapacitance)

Kromě zdánlivého odporu součástky se reaktance projevuje v obvodu fázovým posuvem (vyjádřeno úhlem φ) mezi napětím a proudem. Pokud je reaktance induktivní předbíhá napětí před proudem a úhel $\varphi > 0^\circ$ (v případě ideální cívky $\varphi=90^\circ$). V případě kapacitní reaktance předbíhá proud před napětím a úhel $\varphi < 0^\circ$ (u ideálního kondenzátoru $\varphi=-90^\circ$).



Fázorové diagramy pro ideální rezistor, skutečná cívka, ideální cívka, skutečný kondenzátor, ideální kondenzátor.

Reaktance cívky je odvozena od vlastní indukčnosti a frekvence procházejícího proudu:

$$X_L = 2\pi fL$$

Podle uvedeného vzorce je jasné, že **zdánlivý odpor cívky (reaktance) v obvodu střídavého proudu roste se zvyšováním frekvence procházejícího proudu a indukčnosti cívky.**

Reaktance kondenzátoru je odvozena od kapacity a frekvence procházejícího proudu:

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

Na tomto vzorci vidíme, že **reaktance (zdánlivý odpor) kondenzátoru v obvodu střídavého proudu naopak klesá s rostoucí frekvencí procházejícího proudu a s nárůstem kapacity.**

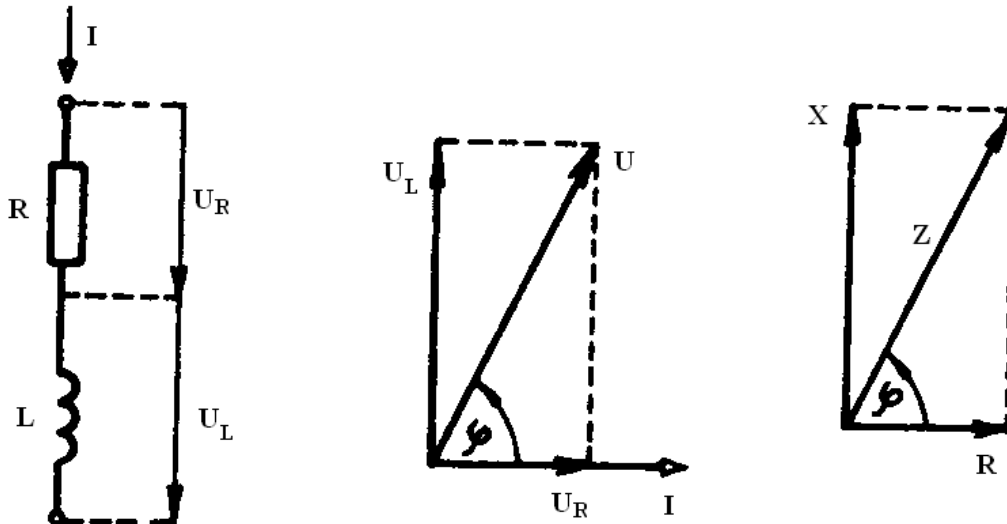
Jednoduché frekvenčně závislé obvody

Ing. M. Bešta

VŠECHNY SOUČÁSTKY V NÁSLEDUJÍCÍCH OBVODECH MAJÍ IDEÁLNÍ PARAMETRY!

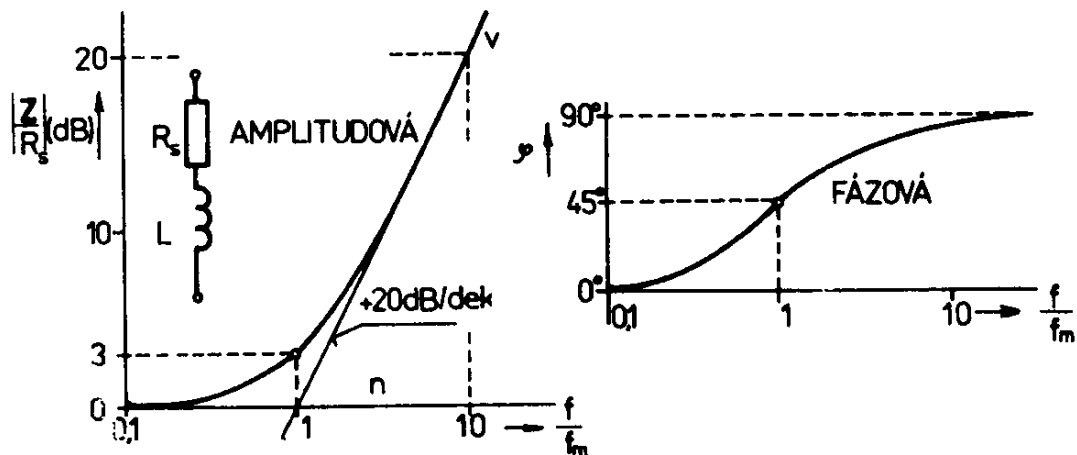
Sériový RL obvod:

Ideální rezistor a cívka zapojená v sérii tvoří sériový RL obvod. Obvodem prochází proud I a ten vytváří na rezistoru úbytek napětí označený jako U_R toto napětí je ve fázi s procházejícím proudem I . Na cívce procházející proud I vytváří úbytek napětí U_L , který předbíhá proud I o 90° . Vektorovým součtem U_L a U_R dostaneme výsledné napětí U na RL článku, toto napětí tedy není prostým součtem obou napětí! Výsledné napětí U pak předbíhá proud I o úhel φ . Stejný úhel φ je mezi impedancí Z a činným odporem R .



$$X_L = 2\pi fL$$

Pokud budeme sledovat změny obvodu v závislosti na změně frekvence procházejícího proudu, dojdeme ke zjištění, že při nulové frekvenci procházejícího proudu (stejnoseměrný proud) se v obvodu projevuje pouze činný odpor a fázový posuv mezi napětím a proudem $\varphi = 0^\circ$ velikost proudu je daná $I = U_R/R$ (v tomto případě $U = U_R$). Toto je maximální velikost proudu, v případě zvyšování frekvence se objeví napětí na cívce U_L a s rostoucí frekvencí proudu poroste vliv reaktance cívky X_L (to znamená, že roste i celková impedance Z). Napětí začne předbíhat proud a úhel φ se bude zvětšovat až do mezního (teoretického) stavu kdy $\varphi = 90^\circ$, pak proud $I = 0$. Změny v obvodu znázorňuje fázová a amplitudová charakteristika.

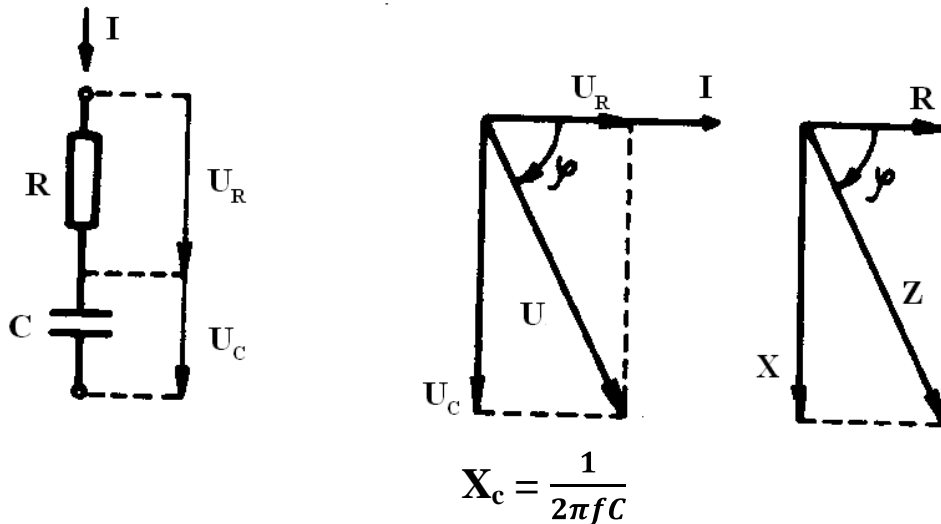


Jednoduché frekvenčně závislé obvody

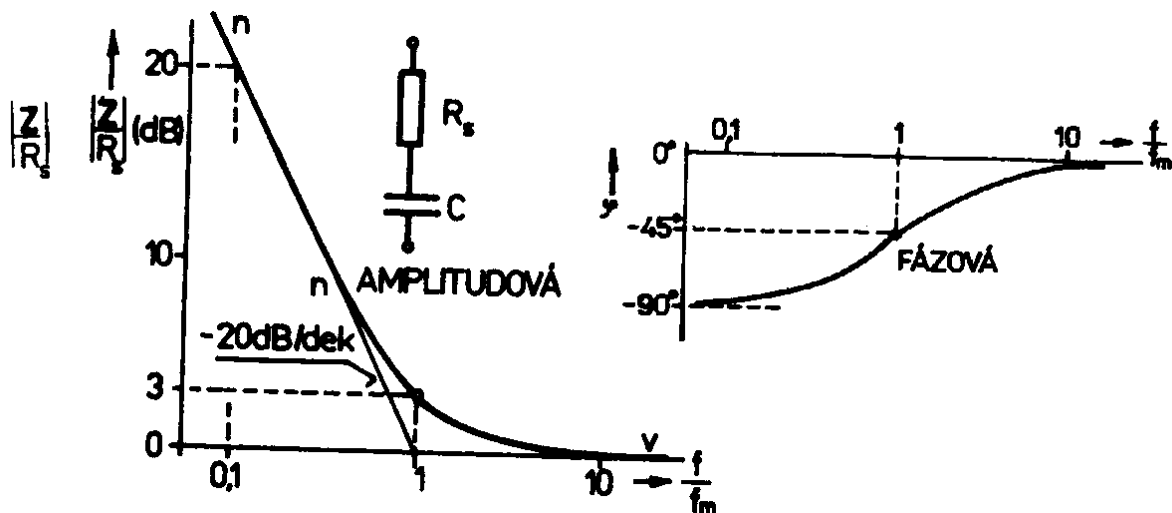
Ing. M. Bešta

Sériový RC obvod:

Ideální kondenzátor (kapacita) a rezistor zapojený v sérii tvoří sériový RC obvod. Obvodem opět prochází proud I vytváří úbytky na rezistoru U_R a kondenzátoru U_C . Procházející proud musí mít nenulovou frekvenci, neboť stejnosměrný proud kondenzátorem neprochází. Tento proud opět vytváří na prvcích obvodu úbytky napětí U_R a U_C jejich vektorový součet opět jako v předcházejícím případě dá celkový úbytek napětí U . Toto napětí, se však vlivem kapacitní reaktance X_C zpožďuje za proudem o úhel φ (značíme ho znamínkem minus pro odlišení od cívy). A opět stejný úhel je mezi vektorem impedance Z a činného odporu R .



Pokud v tomto obvodu budeme sledovat změny v amplitudě (velikosti) proudu v závislosti na změně frekvence, dojdeme k závěru, že obvod má nejnižší impedanci Z při maximální frekvenci. Mezní stavy mají tedy na velikost proudu účinek přesně opačný než v předchozím případě. Při nulové frekvenci je $\varphi = -90^\circ$ a obvodem neprochází žádný proud $I = 0$. Pokud budeme zvyšovat frekvenci napětí U (tím i procházejícího proudu I) bude se proud I zvyšovat až k maximální (teoretické) hodnotě kdy proud obvodem bude omezen pouze velikostí činného odporu R tzn. $I = U_R/R$ a úhel $\varphi = 0^\circ$. To je způsobeno poklesem kapacitní reaktance X_C a tím i celkové impedance Z . Výše zmíněné opět popisuje fázová a amplitudová charakteristika.

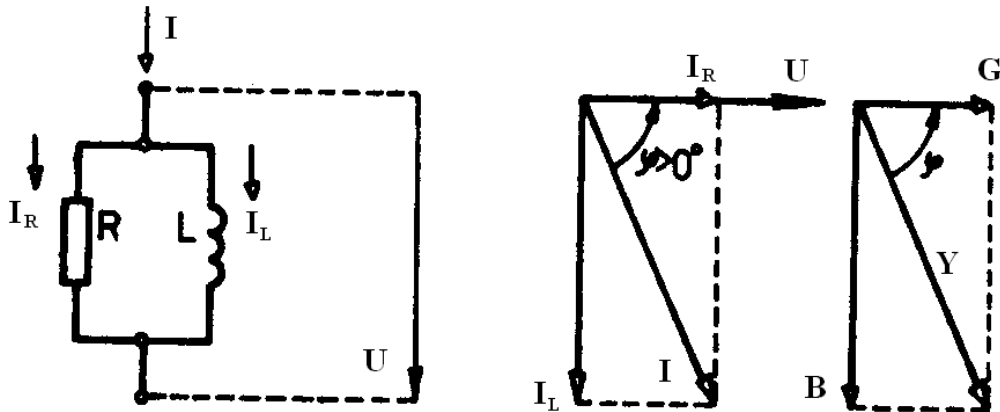


Jednoduché frekvenčně závislé obvody

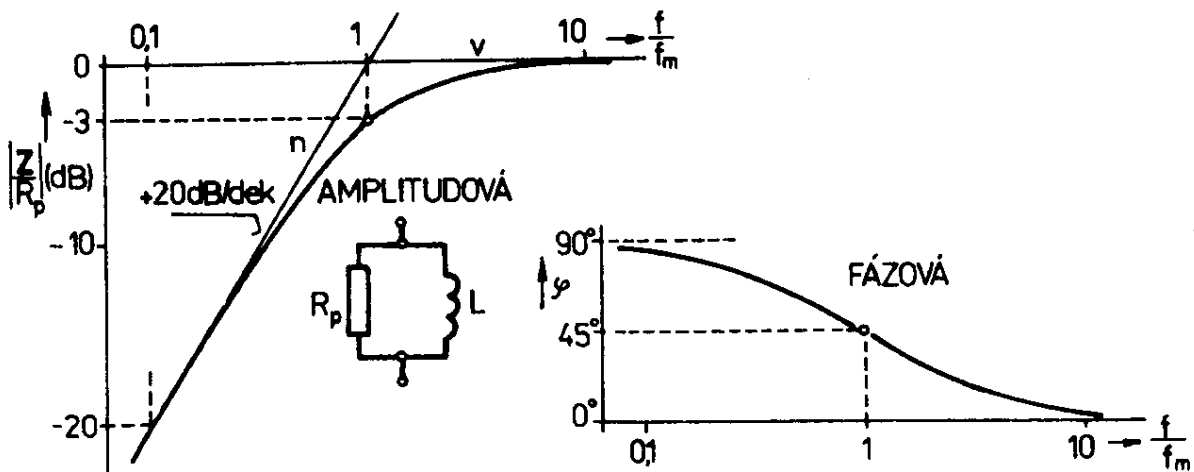
Ing. M. Bešta

Paralelní RL obvod:

V případě paralelního RL obvodu jsou prvky (cívka a rezistor) spojeny paralelně a připojeny na napětí U , které je pro oba prvky společné. Podle I. Kirchhoffova zákona, se však proud I v uzlu rozdělí na I_R procházející rezistorem a I_L procházející indukčností. Proud procházející indukčností I_L se zpožďuje za napětím U , zatímco proud I_R je s napětím ve fázi. Vektorovým součtem (nikoliv prostým součtem) dostaneme celkový proud I , který je fázově posunut za napětím o úhel φ .



Při sledování amplitudy proudu v tomto obvodu dojdeme ke zjištění, že v případě nulové frekvence procházejícího proudu (stejnoseměrný proud) prochází proud pouze ideální indukčností, neboť nemá žádný odpor (obvod je teoreticky ve zkratu) fázový posuv je o úhel $\varphi=90^\circ$. Se zvyšující frekvencí proudu roste imaginární odpor cívky X_L a při maximální frekvenci proud prochází pouze rezistorem a fázový posuv $\varphi=0^\circ$ jak zobrazuje fázová charakteristika.



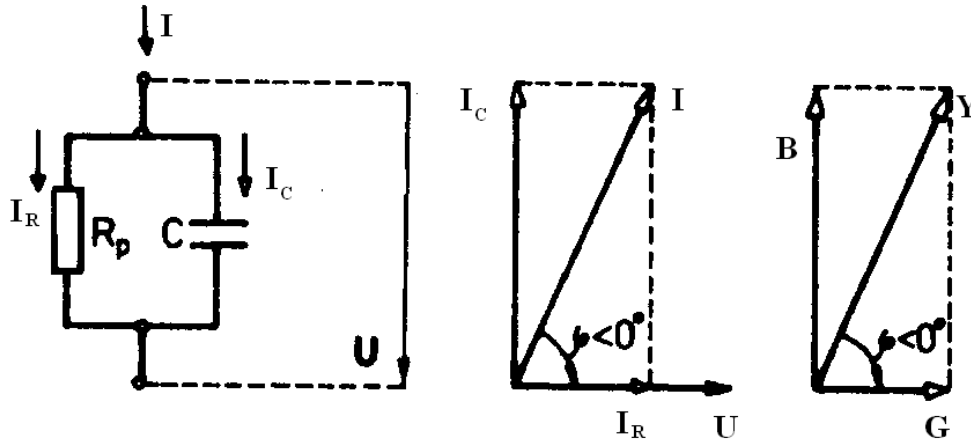
$$X_L = 2\pi fL$$

Jednoduché frekvenčně závislé obvody

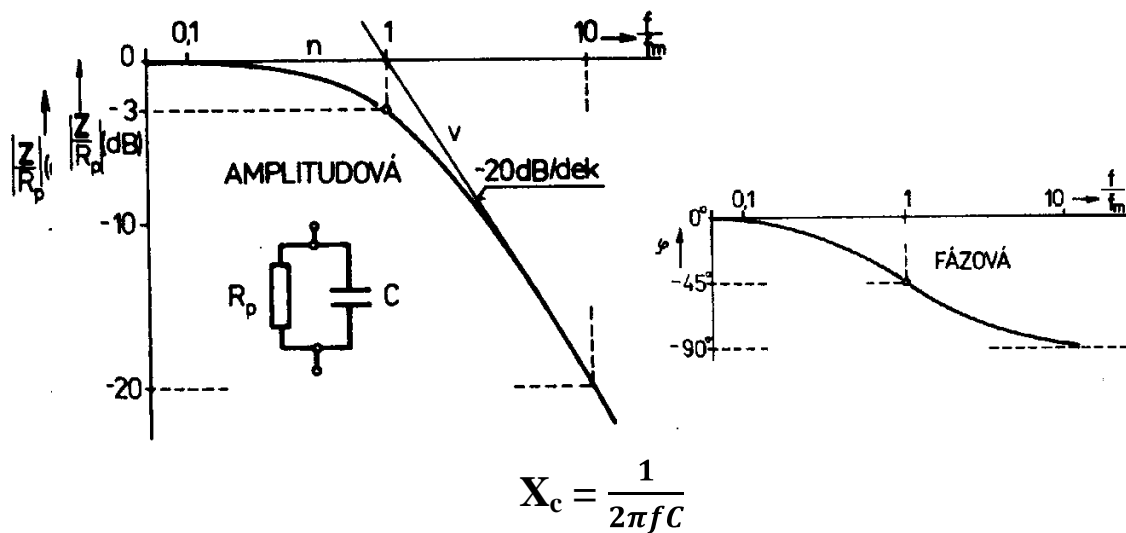
Ing. M. Bešta

Paralelní RC obvod:

Kondenzátor a rezistor jsou zde řazeny paralelně a napětí U je společné pro oba prvky. Proud I je v uzlu rozdělen na proud kondenzátorem I_C a proud rezistorem I_R . Opět se jedná o vektorový součet proudů v obou prvcích. V tomto případě však proud předchází napětí U , obvod má kapacitní charakter.



V případě nulové frekvence procházejícího proudu (stejnosměrný proud) protéká proud pouze rezistorem a je s napětím ve fázi to znamená, že fázový posuv $\varphi=0^\circ$. Se zvyšováním frekvence roste proud I_C a zároveň vlivem narůstající kapacitní reaktance narůstá fázový posuv, napětí se zpožďuje za proudem. V mezním stavu při maximální frekvenci je fázový posuv $\varphi=-90^\circ$ a proud protéká pouze kondenzátorem (obvod je teoreticky ve zkratu).

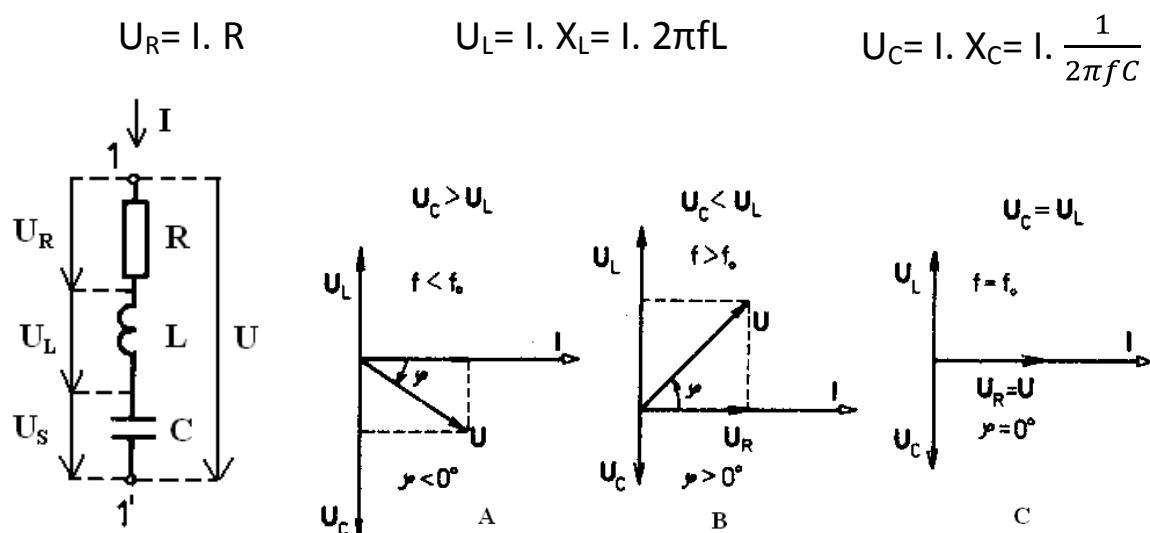


JEDNODUCHÉ REZONANČNÍ OBVODY

Pokud spojíme do obvodu všechny tři prvky R, L a C, při určité frekvenci procházejícího proudy se vyrovnají reaktance kondenzátoru a cívky $X_L = X_C$, to znamená, že fázový posuv mezi napětím a proudem je nulový $\varphi = 0^\circ$. Takovou frekvenci, při které se vyrovnají účinky kapacitní a induktivní reaktance a projevuje se pouze činný odpor, nazýváme rezonanční frekvence. Podle způsobu zapojení prvků v obvodu dostaneme paralelní, nebo sériový rezonanční obvod. Tento obvod se při rezonanční frekvenci kdy $X_L = X_C$ a $\varphi = 0^\circ$ nachází v rezonanci.

Sériový rezonanční obvod:

Spojení prvků R, L, C v sérii vytváří sériový rezonanční obvod. Obvodem prochází proud I a na každém z prvků se vytvoří úbytek napětí podle vztahů pro ideální prvky, jejich (vektorovým) součtem je napětí U:

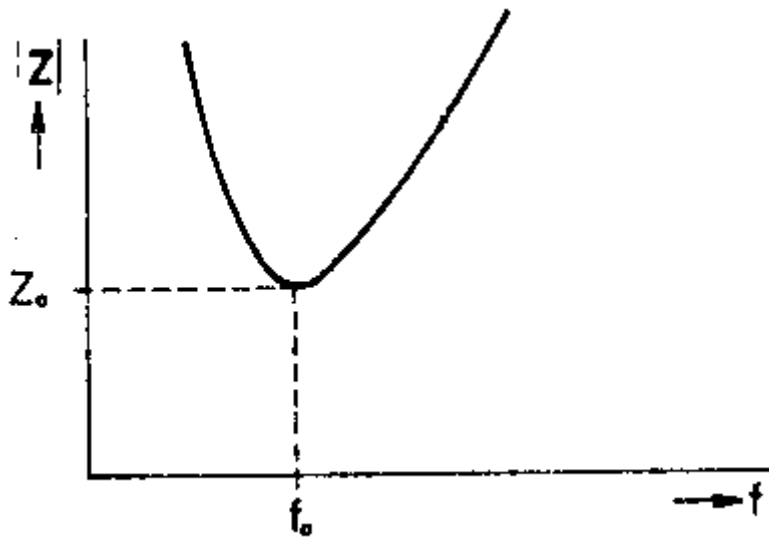


Při nízkých frekvencích přiloženého napětí U má kondenzátor nejvyšší reaktanci X_C , úbytek napětí na kondenzátoru U_C je nejvyšší, naproti tomu reaktance cívky X_L je velmi malá a tím i úbytek napětí na cívce je velmi malý, v obvodu tak převažuje kapacitní charakter. Fázový posuv $\varphi < 0^\circ$ a tomu odpovídá fázorový diagram označený písmenem A. Při zvyšování frekvence napětí klesá reaktance kondenzátoru a naopak roste reaktance cívky. Odpor rezistoru není závislý na frekvenci, a proto je celou dobu neměnný. Pokud dále zvyšujeme frekvenci, dostaneme se do stavu kdy se reaktance cívky a kondenzátoru vyrovnají $X_L = X_C$ a tím $U_L = U_C$. Zde je třeba si uvědomit, že fázory napětí na cívce U_L a kondenzátoru U_C míří opačným směrem a při stejné velikosti je jejich vektorový součet nulový. To znamená, že obvod se navenek projevuje pouze činným odporem rezistoru a fázový posuv $\varphi = 0^\circ$. **Obvod je v rezonanci a frekvence, při které tato skutečnost nastala je rezonanční frekvencí obvodu označovanou jako f_0 nebo f_r .** Tomu odpovídá fázorový diagram označený písmenem C. Sériový rezonanční obvod má při rezonanční frekvenci nejnižší impedanci Z kdy platí $Z = R$. Pokud budeme frekvenci napětí dále zvyšovat nad úroveň rezonanční frekvence, dále klesá reaktance kondenzátoru a naopak roste reaktance cívky v obvodu při frekvencích vyšších než

Jednoduché frekvenčně závislé obvody

Ing. M. Bešta

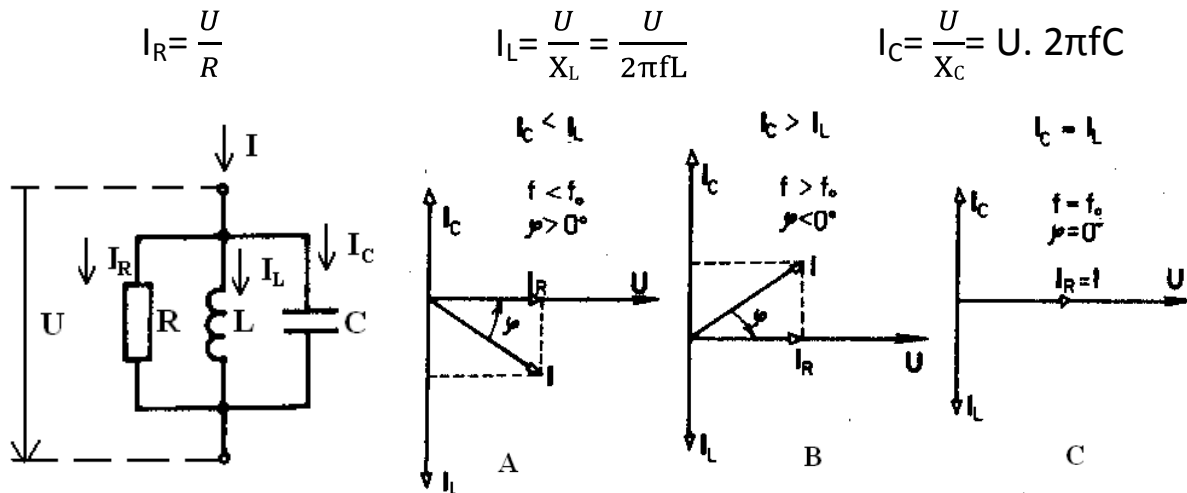
f_0 začne v obvodu převládat induktivní charakter. Tento stav je znázorněn na fázorovém diagramu označeném B.



Z rezonanční křivky sériového RLC obvodu jsou patrné změny impedance při změně frekvence napětí. Při rezonanční frekvenci f_0 je impedance nejnižší a je rovna pouze činnému odporu rezistoru, při této frekvenci se vlivy kondenzátoru a cívky navzájem kompenzují.

Paralelní rezonanční obvod:

Paralelním zapojením prvků RLC získáme paralelní rezonanční obvod. Připojením na napětí U prochází obvodem proud I , který je (vektorovým) součtem proudů procházejících jednotlivými prvky.



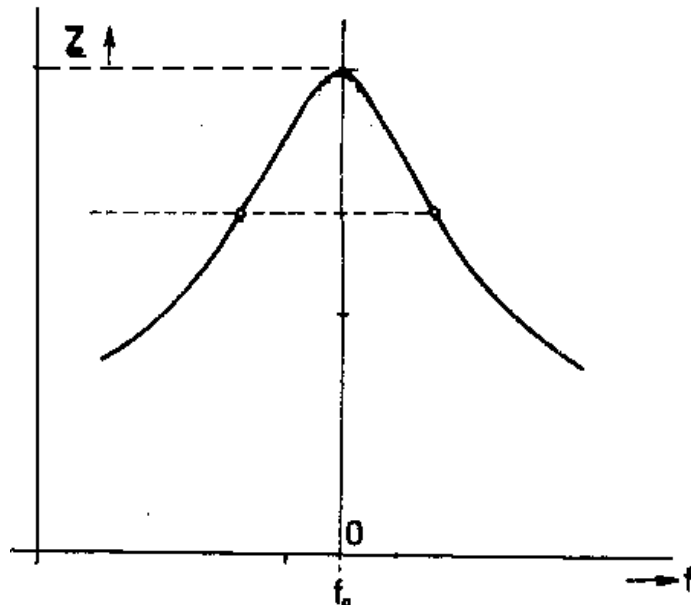
Při nízkých frekvencích je velikost proudu I_C , který prochází kondenzátorem téměř nulová a celkový proud se skládá především z proudu I_R procházejícího rezistorem, který je na frekvenci nezávislý a proudu I_L , který prochází cívkou, který je při nízkých frekvencích velmi velký. V obvodu se tedy projevuje především induktivní charakter a fázový posuv $\varphi > 0^\circ$, tomu odpovídá fázorový diagram A. Při zvyšování frekvence roste reaktance cívky (klesá I_L) a naopak klesá reaktance kondenzátoru (roste I_C). Při dalším zvyšování frekvence se opět dostaneme do stavu kdy $X_L = X_C$ a tedy $I_L = I_C$. Protože celkový proud I je opět vektorovým

Jednoduché frekvenčně závislé obvody

Ing. M. Bešta

součtem všech proudů a proudy I_L a I_C jsou oba stejně velké, ale v opačných směrech platí, že $I_L + I_C = 0$. **Celkový proud I je tedy roven proudu I_R a obvod se nachází v rezonanci, frekvence při které k rezonanci došlo se nazývá rezonanční f_0 .** Obvod se projevuje pouze činným odporem a $\varphi=0^\circ$, to je znázorněno na fázorovém diagramu C.

Při dalším zvyšování frekvence dále roste reaktance cívky a naopak klesá reaktance kondenzátoru, potom platí, že $I_L < I_C$ a $\varphi < 0^\circ$. Obvod má kapacitní charakter a tomu odpovídá fázorový diagram B.



Z rezonanční křivky paralelního RLC obvodu je jasné, že při rezonanční frekvenci f_0 má tento obvod nejvyšší impedanci. To je dáno tím, že součet proudů I_C a I_L se navzájem vykompenzují a celkový proud je dán pouze proudem I_R tekoucím rezistorem.

Výpočet rezonanční frekvence:

- 1) Vycházíme z předpokladu, že při rezonanci: $X_L = X_C$
- 2) Z toho vyplývá že: $2\pi fL = \frac{1}{2\pi fC}$
- 3) Z toho pro rezonanční frekvenci pak platí důležitý vztah:

Thompsonův vzorec:

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

Obrázky převzaty:

<http://hellweb.loose.cz/index.php?page=school&subpage=elt&id=15>

<http://elektross.gjn.cz/skripta/sbirka/TEORIE/rezonance.html>