evropský sociální fond v ČR
EVROPSKÁ UNIE
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY
OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Projekt: Inovace oboru Mechatronik pro Zlínský kraj Registrační číslo: CZ.1.07/1.1.08/03.0009

# 4.1 OSCILÁTORY, IMPULSOVÉ OBVODY

## 4.1.1 OSCILÁTORYY

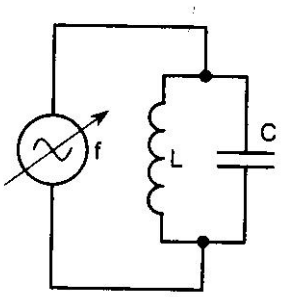
Oscilátory tvoří samostatnou skupinu elektrických obvodů, které nezpracovávají žádný vstupní signál, ale naopak jsou samy zdrojem - generátorem střídavého elektrického signálu od nejnižších do
nejvyšších frekvencí pro další obvody.
Oscilátory se používají ve všech odvětvích elektrotechniky - v radiotechnice, výpočetní technice, měřící technice, atd.
Základem oscilátorů je zesilovač s vhodně vytvořenou zpětnou vazbou. Podle průběhu časového signálu rozdělujeme oscilátory na:
a) harmonické - vytvářejí vysokofrekvenční napětí sinusového průběhu s přesně určenou a stálou frekvencí
b) neharmonické - vyrábějí signály nesinusového průběhu (např. obdélníkové nebo pilovité kmity), jejichž časový průběh je periodický.

Vlastnosti oscilátorů
a) Podle tvaru časového průběhu generovaného napětí se rozdělují oscilátory na:
- oscilátory harmonických kmitů
- oscilátory obdélníkových (pravoúhlých) kmitů
- oscilátory trojúhelníkových kmitů
- oscilátory kmitů jiného tvaru
b) Opakovací kmitočet $f_o$ a doba periody T , pro které platí
$f_o = 1/ T.$
c) Stálost (stabilita) kmitočtu generovaného napětí
- je číselně určena absolutní hodnotou podílu změny kmitočtu, ke které došlo během určitého časového intervalu a za definovaných provozních podmínek a stabilního kmitočtu.

$$S(f) = \left| \Delta f_o / f_o \right|$$

d) Laditelnost - je možnost záměrné změny kmitočtu oscilátoru. Podle tohoto hlediska se rozdělují oscilátory na:
- oscilátory s pevným kmitočtem
- oscilátory s proměnným kmitočtem
Rozsah kmitočtů, ve kterém lze u daného oscilátoru uskutečnit ladění, se nazývá přeladitelnost.

## Vznik netlumených kmitů

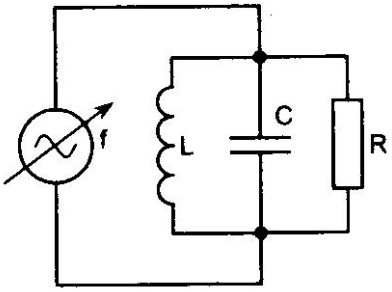



Obr.1 Ideální paralelní rezonanční obvod

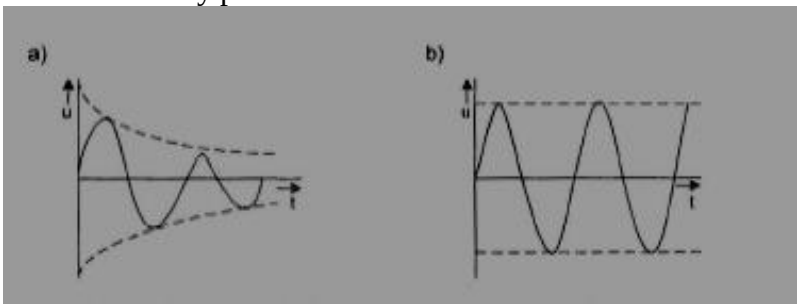
Přivedeme-li do paralelního rezonančního obvodu (obr.1) složeného z ideální cívky a ideálního kondenzátoru elektrický impuls tak, že indukujeme v cívce proud nebo nabijeme kondenzátor, vzniknou v obvodu elektrické kmity s konstantní amplitudou a frekvencí. Tento obvod by kmital tak dlouho, dokud bychom jeho kmity netlumili. (na ideálních součástkách nevznikají ztráty). Rezonanční frekvence takového obvodu je dána vztahem

$$f_R = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \text{ [Hz; H, F]}$$

V praxi se však nevyskytují bezeztrátové rezonanční obvody a vznikají tak kmity tlumené. Je to proto, že v každém reálném rezonančním obvodu vznikají ztráty, čímž se amplituda kmitů stále zmenšuje, až po určité době kmity zcela zaniknou.




Obr. 2 Skutečný paralelní rezonanční obvod




Obr. 3 Kmity: a) tlumené b) netlumené

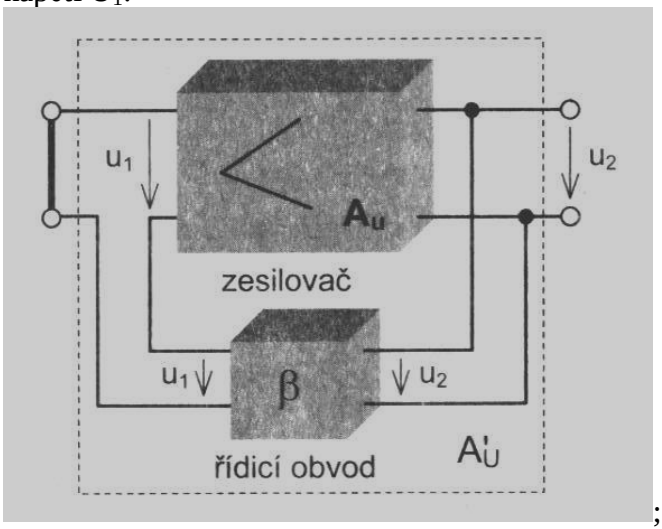
Dodáme-li do paralelního obvodu tvořeného reálnou cívkou a reálným kondenzátorem (obr.2) energii z vnějšího zdroje, dochází v něm k periodické výměně energie mezi cívkou a

kondenzátorem. V důsledku toho v obvodu protéká periodicky časově proměnný proud, na jeho svorkách vzniká periodicky proměnné napětí. Obvod tvoří kmitavou soustavu. Přitom v každém cyklu přeměny energie dochází k energetickým ztrátám. Vzniklé kmity se tlumí, proud a napětí zanikají, a to tím rychleji, čím menší je ztrátový odpor R a činitel jakosti obvodu $Q_o = R/\omega L$. Aby se takový obvod LC stal oscilátorem, musí být zdrojem netlumených kmitů, napětí a proud v obvodu musí mít konstantní amplitudu - činitel jakosti a ztrátový odpor musí být nekonečně velké. Toho se dosáhne tím, že se energetické ztráty LC obvodu nahrazují z vnějšího zdroje.

## Princip činnosti oscilátorů

Každý harmonický (sinusový) oscilátor se skládá ze dvou základních částí:
- zesilovače - je realizován aktivním čtyřpólem, z jehož výstupu je přes obvod zpětné vazby přivedeno budicí napětí na jeho vstup
- řídící obvod - je realizován pasivním čtyřpólem, podle typu oscilátoru obsahuje prvek RC nebo LC a svými vlastnostmi určuje frekvenci generovaného napětí.

Aby se oscilátor rozkmital, musí být řídící obvod zapojen v kladné zpětné vazbě zesilovače. Vstupní svorky zesilovače jsou zkratovány a na jeho vstup je přivedeno pouze zpětnovazební napětí $U_1$.



;

Obr. 4 Vznik oscilátoru

Obvod se chová jako oscilátor pouze tehdy, je-li splněn určitý vztah mezi napěťovým zesílením signálu $A_u$ a mezi napěťovým přenosem $\beta$ zpětnovazebního řídícího obvodu. Podmínka vzniku kmitů se stanovuje ze vztahu pro výpočet zesilovače s kladnou zpětnou vazbou.

Zesílení zesilovače je

$$A_U = \frac{u_2}{u_1}$$

Přenos zpětné vazby je

$$\beta = \frac{u_1}{u_2}$$

Celkové zesílení zesilovače s kladnou zpětnou vazbou je

$$A'_U = \frac{A_U}{1-\beta A_U}$$ a po dosazení za $A_U$ a $\beta$

$$A'_U = \frac{\frac{u_2}{u_1}}{1-\frac{u_1}{u_2}\cdot\frac{u_2}{u_1}} = \frac{\frac{u_2}{u_1}}{1-1} = \frac{\frac{u_2}{u_1}}{0} = \infty$$

Z výsledku výpočtu zesílení zesilovače s kladnou zpětnou vazbou vyplývá, že toto zesílení roste nade všechny meze a ze zesilovače se vlivem kladné zpětné vazby stává oscilátor.
Pro trvalé kmitání oscilátoru musí být splněny dvě základní podmínky:
a) amplitudová podmínka : $A_U * \beta = 1$ , což znamená, že přenos zapojení se zpětnovazební smyčkou se musí rovnat jedné
b) fázová podmínka - je vyjádřena rovnicí $\varphi_{Au} + \varphi_\beta = k*2\pi$ , kde
k = (0, 1, 2, ….)
$\varphi_{Au}$ - je fázový posun způsobený tranzistorem
$\varphi_\beta$ - je fázový posun zpětnovazebního čtyřpólu
Součet fázových posuvů se musí rovnat buď $2\pi$ nebo násobku $2\pi$ - to charakterizuje kladnou zpětnou vazbu.

# Druhy oscilátorů:

## 1) Zpětnovazební RC oscilátory

***Zpětnovazební RC oscilátory*** mají řídící obvod (obvod zpětné vazby) sestaven z členů R a C tak, aby tvořili čtyřpól, který umožní spolu s přenosovými vlastnostmi aktivního čtyřpólu splnit amplitudovou a fázovou podmínku vzniku oscilací. Členy R a C určují frekvenci oscilací.

Základní princip RC oscilátorů je shodný se všemi zpětnovazebními oscilátory: zavedením vhodné kladné zpětné vazby z výstupu zesilovače na jeho vstup se obvod rozkmitá.

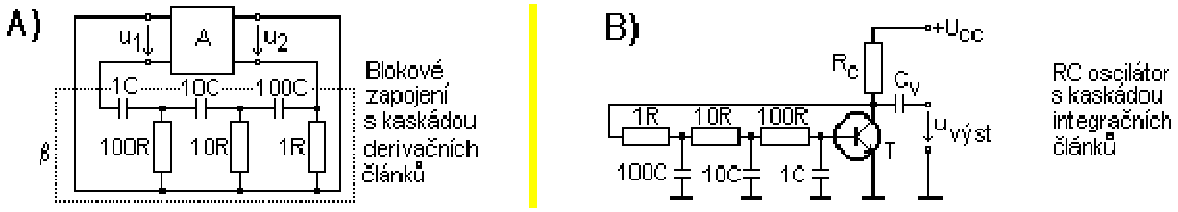
Podle základního zapojení RC oscilátorů je můžeme roztřídit do 2 skupin:

- na oscilátory RC s posuvem fáze.
- na můstkové oscilátory RC;

### a) Zpětnovazební RC oscilátory s posuvem fáze

Používají se pro výrobu velmi nízkých kmitočtů od desetin Hz po několik stovek kHz. Mají zpětnou vazbu (řídící obvod) kombinací rezistorů a kondenzátorů tak, aby bylo v kombinaci s použitým zesilovačem možno splnit obě podmínky oscilací.
Kmitočet oscilátoru závisí na hodnotách RC a je roven kmitočtu, při kterém je fázový posun RC členů $0^o$ nebo $180^o$.
Tyto oscilátory mají ve zpětnovazebním řídícím čtyřpólu zapojenu kaskádu členů RC (zpravidla 3 členy RC), které jsou zapojeny jako derivační články nebo integrační články.

Jako aktivní čtyřpól se volí zpravidla jednostupňový zesilovač v zapojení SE (blokové schéma obr. A, principiální schéma obr. B). Zapojení se rozkmitá na frekvenci, při které kaskáda členů RC vyvolá fázový posun 180°.

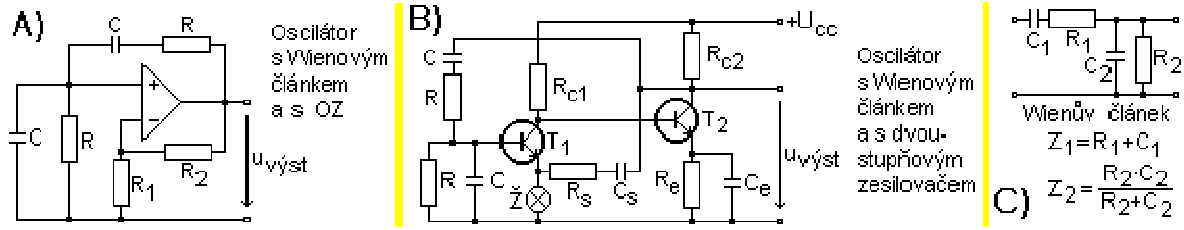



Rozbor oscilátoru:
Zesilovač v zapojení SE má fázový posun roven $\varphi_{Au} = 180°$
Potom fázový posun kaskády RC článků musí být také roven $\varphi_\beta = 180^o$
Tím je splněna fázová podmínka oscilací tj. $\varphi_{Au} + \varphi_\beta = 180^o + 180^o = 360^o$ .

Jednotlivé RC členy kaskády se zpravidla volí s časovou konstantou (viz obr. A): $\tau = 100RC$, což má výhodu v tom, že se články vzájemně nezatěžují.
Vzhledem k těžkostem s amplitudovou a frekvenční nestabilitou se tento druh oscilátoru v praxi používá málo.

## b) Zpětnovazební RC oscilátory - můstkové:

Tyto oscilátory mají ve zpětnovazebním řídícím čtyřpólu zapojeny kombinace členů RC, která vytváří můstkové zapojení a zavádí mezi výstup a vstup zesilovače kombinaci kmitočtově závislé kladné zpětné vazby (zajišťuje vznik oscilací) s kmitočtově nezávislou zápornou zpětnou vazbou (zajišťuje stabilitu amplitudy kmitů). Jako zpětnovazební čtyřpól se nejčastěji používá Wienův článek (lze použít ale i dvojitý T-článek) (obr. A, B a C).




Rozbor oscilátoru:
Přenos Wienova článku (obr. C) je dán:

$$\beta = \frac{u_2}{u_1} = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{1}{1 + \frac{Z_1}{Z_2}} = \cdots \text{dosadíme za } Z_1 \text{ a } Z_2 \cdots = \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1} + \mathrm{Im}(\beta)}$$

Dále uvažujeme, že v praxi se nejčastěji používá zapojení, kde $R = R_1 = R_2$ a $C = C_1 = C_2$.

Kvazirezonanční (kritický) kmitočet (zároveň i oscilační kmitočet) určíme při $\mathrm{Im}(\beta) = 0$ :

$$f_o = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}$$

Přenos při kvazirezonančním kmitočtu je roven:

$$\beta(f_o) = \frac{1}{3}$$

Fáze při kvazirezonančním kmitočtu je rovna:

$$\varphi(f_o) = 0°$$

Abychom splnili amplitudovou a fázovou podmínku oscilací, musíme dosáhnout toho, aby aktivní čtyřpól měl při frekvenci $f_o$ tyto parametry:

$$A(f_o) \cdot \beta(f_o) = 1 \Rightarrow A(f_o) = \frac{1}{\beta(f_o)} = 3 \quad \text{a} \quad \varphi(f_o) = 0°$$

Těmto požadavkům nejlépe vyhovuje operační zesilovač zapojený v neinvertujícím zapojení (obr. A), jehož napěťové zesílení nastavíme na $A(f_o)$ změnou poměru odporů $R_1$ a $R_2$.
V případě, že bychom oscilátor zapojovali s diskrétními součástkami, pak bychom museli použít zesilovač v zapojení se společným emitorem (SE), který musí být tvořen dvěma stupni, aby došlo k posunu fáze o 360° (obr. B).
Přelaďování oscilátoru na jiné kmitočty je snadnější (než u RC oscilátorů s posuvem fáze) a lze ho uskutečnit změnou hodnoty dvou členů RC (tj. zároveň oba R a oba C) nebo jednoho z členů RC (tj. zároveň oba R nebo oba C).

**Použití zpětnovazebních RC oscilátorů :**

- používají se jako nf oscilátory s kmitočtem cca jednotky Hz - stovky kHz.
- možnost použití v integrované podobě (narozdíl od LC oscilátorů neobsahují indukčnost)
- možnost přeladitelnosti kmitočtu v poměrně širokých mezích (u můstkových oscilátorů).

## 2) Zpětnovazební LC oscilátory

***Zpětnovazební LC oscilátory*** mají řídící obvod (obvod zpětné vazby) sestaven z členů L a C tak, aby tvořili čtyřpól, který umožní spolu s přenosovými vlastnostmi aktivního čtyřpólu splnit amplitudovou a fázovou podmínku vzniku oscilací. Členy L a C určují frekvenci oscilací.
Základní princip LC oscilátoru je shodný se všemi zpětnovazebními oscilátory: zavedením vhodné kladné zpětné vazby z výstupu zesilovače na jeho vstup se obvod rozkmitá.

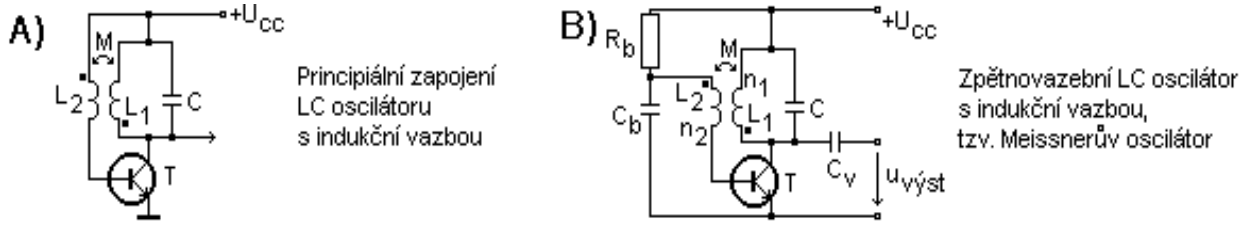
Zpravidla jsou to oscilátory s jednou zpětnovazební smyčkou, ve které je zapojen jednostupňový zesilovač a pasivní čtyřpól, upravený do tvaru rezonančního obvodu LC a doplněný příslušnými transformačními členy.

Podle způsobu zavedení zpětné vazby LC oscilátory dělíme na:

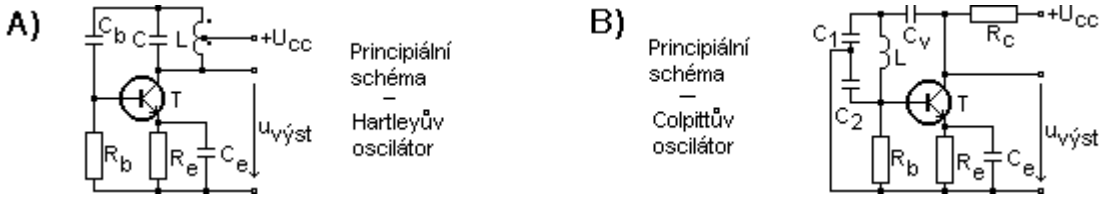
- oscilátory s indukční vazbou (Meissnerův oscilátor);
- oscilátory v tříbodovém zapojení (Colpittův oscilátor, Hartleyův oscilátor, aj.).

**a) Zpětnovazební LC oscilátory - s indukční vazbou:**

***Meissnerův oscilátor*** (principiální zapojení obr. A, v principu skutečné zapojení obr. B) je oscilátor, jehož zpětná vazba je realizována pomocí transformátoru, jehož vstupní vinutí tvoří s kondenzátorem rezonanční obvod LC.
Aby byla splněna fázová podmínka oscilací je třeba fázi otočit o 360° t.j. o 180° natočí fázi tranzistor v zapojení SE a o dalších 180° otočí fázi správně zapojená vinutí transformátoru.
Amplitudová podmínka kmitání se nastaví transformačním převodem.




b) Zpětnovazební LC oscilátory - tříbodová zapojení:
*Tříbodová zapojení oscilátorů* jsou taková zapojení, kde indukční nebo kapacitní větev rezonančního obvodu je upravena jako dělič, který je ve třech bodech připojen k zesilovacímu stupni oscilátoru.




***Hartleyův oscilátor*** je oscilátor s indukčním děličem (principiální zapojení obr. A).
Rezonanční (oscilační) frekvence je dána kombinací cívek $L_1$ a $L_2$ (cívka L s odbočkou) a kondenzátoru C.
Amplitudovou podmínku oscilací nastavujeme poměrem indukčnosti cívek $L_1$ a $L_2$ (cívka L s odbočkou).
Fázovou podmínku oscilací získáme správným vzájemným spojením začátků a konců vinutí cívek $L_1$ a $L_2$ a zapojením tranzistoru v zapojení SE.

***Colpittův oscilátor*** je oscilátor s kapacitním děličem (principiální zapojení obr. B).
Rezonanční (oscilační) frekvence je dána kombinací kondenzátorů $C_1$ a $C_2$ a cívky L.
Amplitudovou podmínku oscilací nastavujeme poměrem kapacit kondenzátorů $C_1$ a $C_2$, přičemž zpětnovazební napětí vzniká na kondenzátoru $C_2$.
Fázovou podmínku oscilací zabezpečuje jednak tranzistor v zapojení SE a jednak kapacitní dělič $C_1$ a $C_2$ s uzemněným středem, který otáčí fázi o dalších 180°.
Existuje mnoho dalších tříbodových zapojení oscilátorů např. Clappovo zapojení, Sailerovo zapojení, atd.

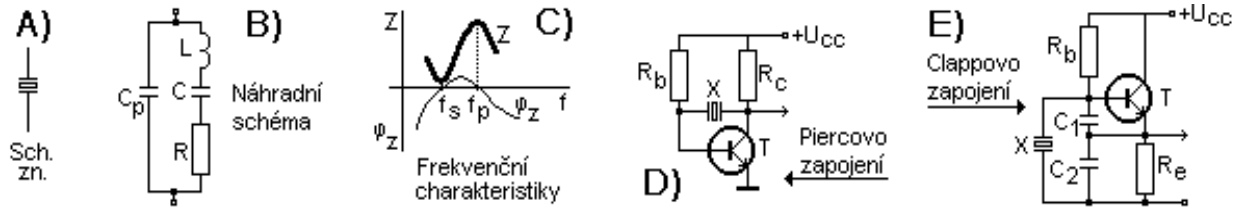
**Použití zpětnovazebních RC oscilátorů :**

- používají se jako vf oscilátory s kmitočtem cca desítky kHz až stovky MHz.

- možnost přeladitelnosti kmitočtu v poměrně širokých mezích
- stálost frekvence je max. $10^{-3}$.

## 3) Krystalové oscilátory:

Krystalové oscilátory jsou oscilátory, které používají piezoelektrický rezonátor - křemenný krystal (schématická značka obr. A). Krystal se přiloženým napětím deformuje a naopak při deformaci se na jeho polepech objeví elektrické napětí. V elektrickém obvodu se pak chová jako velmi jakostní rezonanční obvod (Q = $10^4$ až $10^6$).




Na obr. B je náhradní schéma oscilátoru, kde kapacita C (velmi malá) a indukčnost L (velká) tvoří sériový rezonanční obvod, R je ztrátový odpor krystalu a $C_p$ je kapacita polepů krystalu a vývodů.

Na obr. C jsou frekvenční charakteristiky krystalu, které ukazují, že krystal se chová jako rezonanční soustava, která rezonuje sériově na frekvenci $f_s$ a paralelně na frekvenci $f_p$. Oscilátory řízené krystalem využívají buď jednu, nebo druhou frekvenci.

Rezonanční frekvence krystalu je u sériové rezonance $f_s$ shodná s Thomsonovým vztahem:

$$f_s = 1/\left(2 \cdot \pi \sqrt{L \cdot C}\right)$$

U paralelní rezonance $f_p$ se připojuje ke krystalu relativně velká kapacita, aby se omezil vliv parazitní kapacity $C_p$, pak bude paralelní rezonance $f_p$ téměř shodná s rezonancí sériovou $f_s$, tj. $f_p = f_s$.

### Krystalové oscilátory - zapojení:

Vzhledem k tomu, že v krystalu platí L > C, a chceme-li, aby kmitočet oscilátoru byl určen výhradně krystalem musí se do základního obvodu zapojit tak, aby jeho impedance měla indukční charakter.
Krystalové oscilátory se v podstatě mohou realizovat tak, že u LC oscilátoru nahradíme rezonanční obvod krystalem, který pracuje s paralelní rezonancí. Je však třeba respektovat to, že náhradní kapacita nebo indukčnost krystalu nemůže být využita k přivedení provozního napětí nebo jako dělič, a proto při realizaci je nutné použít přídavný dělič nebo transformátor.

Skutečné zapojení krystalu v oscilátoru představuje:

**a)** ***Piercův oscilátor*** na obr. D - představuje nejjednodušší možné zapojení oscilátoru řízeného krystalem.
Tranzistor je v zapojení se společným emitorem. Frekvence závisí pouze na frekvenci použitého krystalu

**b)** ***Clappův oscilátor*** na obr. E – Je tříbodový oscilátor, ve kterém krystal představuje reaktanci induktivního charakteru a vytváří rezonanční obvod s paralelně připojenými dělenými kapacitami.
Tranzistor je v zapojení se společným kolektorem. Výstupní signál je odebírán z emitoru tranzistoru.
Rezistor R slouží k nastavení vhodného pracovního bodu tranzistoru, rezistor R slouží k teplotní stabilizaci tohoto pracovního bodu.

**Krystalové oscilátory - vlastnosti, použití:**
Vlastnosti – jsou to vf oscilátory s vysokou stabilitou kmitočtu $10^{-7}$ až $10^{-10}$, tj. např. při stabilitě $10^{-7}$ to znamená, že při kmitočtu 1 MHz je odchylka maximálně 0,1 Hz od jmenovitého kmitočtu
Použití - pro přesné frekvence v měřicích přístrojích, digitálních hodinách, apod.

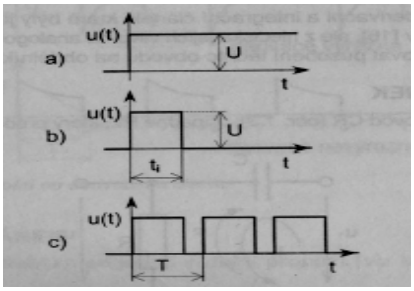
# 4.1.2 IMPULSOVÉ OBVODY

## Impulsní signál

Rozdíl oproti analogovému signálu je ten, že impulzní signál se nemění spojitě, ale skokem, čímž rozumíme náhlou změnu napětí z jedné hodnoty na druhou.

## Druhy impulsnich signálů

Impulsní signál může nabývat pouze dvou hodnot a to 0 nebo U.
Průběhy napětí signálů nakreslených na obr. 1 můžme vyjádřit matematicky.



Obr. 1 Průběhy impulsních signálů

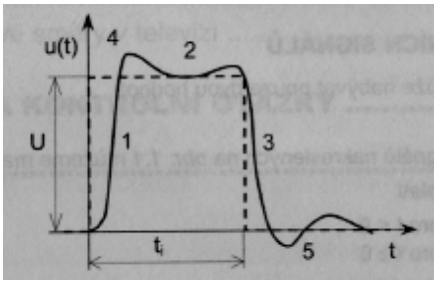
a) Pro napěťový skok platí:
u(t) = 0 pro t<0
u(t) =U pro t>0

b)Pro pravoúhlý impuls s šířkou impulsu $t_i$ platí
u(t) = 0 pro t<0
u(t) = U pro 0< t < $t_i$
u(t) = 0 pro t > $t_i$

c)U periodického impulsního signálu je dalším parametrem perioda signálu T.

Uvedené obrázky představují ideální teoretické tvary impulsů. Ve skutečnosti vlivem přenosu, a vlivem zkreslení vzniklého v obvodech, je skutečný tvar impulsu odlišný od teoretického.

U skutečného impulzu proto rozlišujeme (obr. 2):
U = amplituda impulsu
tI = šířka impulzu
1 = čelo impulzu
2 = temeno impulzu
3 = týl impulzu
4 = překmit
5 = zákmit



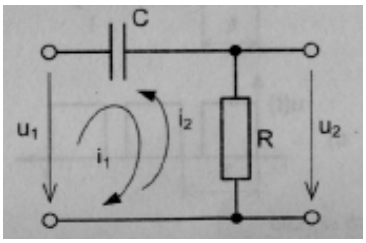
Obr. 2 Skutečný tvar impulsu

## TVAROVACÍ OBVODY

Jsou to takové obvody, které pomocí lineárních nebo nelineárních prvků mění tvar impulsů.
Nejznámější jsou derivační a integrační článek, jejichž působení má velký vliv na tvar obdélníkových impulsů.

a) DERIVAČNÍ ČLÁNEK

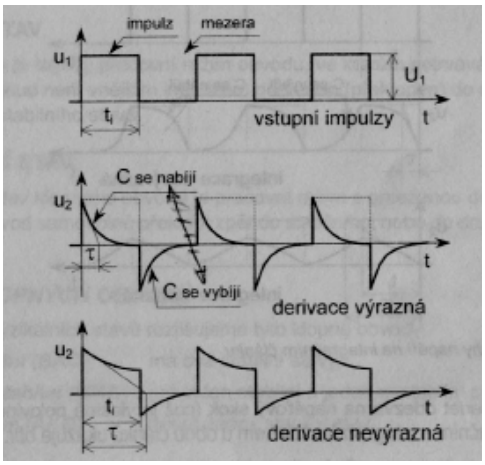
Je to jednoduchý obvod CR (obr. 3), případně RL, který představuje horní propust. Lze si představit, Že čelo a týl impulsu budou přenášeny obvodem beze změny, neboť se jedná o rychlou změnu (vysoký kmitočet), kdežto temeno impulsu (jedná se o stejnosměrné napětí, f = 0) nebude přenášeno vůbec.
S touto zjednodušenou úvahou můžeme odvodit následující průběhy napětí na vstupu článku.
Derivace nastává nabíjením a vybíjením kondenzátoru C.
Po příchodu čela impulsu, tj. v čase t = 0 představuje C krátké spojení a na R se přenese plné napětí $U_1$ ($U_1$ = amplituda impulsu)



Obr. 3 Derivační článek

Po dobu trvání impulsu (temeno impulzu) se C nabíjí proudem $i_1$ a napětí na něm exponenciálně narůstá s časovou konstantou $\tau = RC$ ($\tau$-čti ,,tau“) až dosáhne hodnoty $U_1$. Současně napětí na R klesá exponenciálně až na nulu.
V okamžiku skončení impulsu (týlu) je napětí $U_1$ z C přivedeno na R v opačné polaritě než na počátku impulsu. Kondenzátor C se přes rezistor R postupně vybíjí proudem $i_2$ a napětí na R exponenciálně klesá až na nulu.

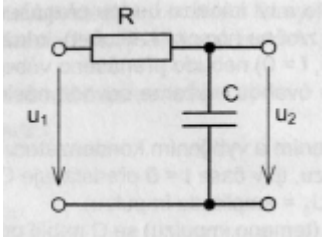
Tvar derivovaného impulsu je závislý na vzájemném vztahu časové konstanty $\tau$ a šířky impulsu $t_i$, jak ukazují průběhy napětí $u_2$ na obr. 1.4. Pro $\tau < t_i$ je derivace impulsu výrazná (impuls se výrazně změnil), pro $\tau > t_i$ je derivace nevýrazná. Časová konstanta $\tau$ určuje rychlost klesání napětí $u_2$ na výstupu (též vyznačeno na obr. 4).



Obr. 4 Průběhy napětí na derivačním článku

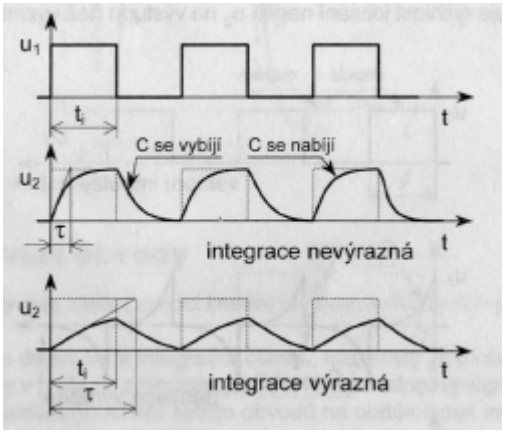
b) INTEGRAČNÍ ČLÁNEK

Z přenosového hlediska se jedná o dolní propust .
Integrační článek se liší od derivačního článku záměnou pozice rezistoru a kondenzátoru (obr. 5).

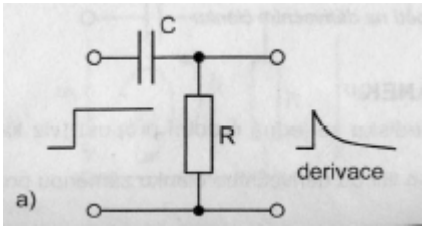


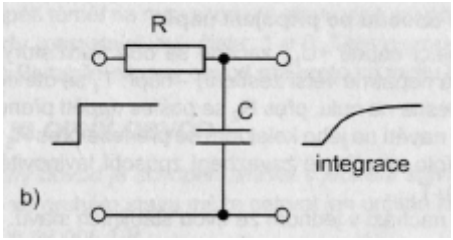
Obr. 5 Integrační článek

Činnost integračního obvodu po dobu trvání impulsu je podobná jako u obvodu derivačního, rozdíl je v místech odebírání výstupního napětí.
Tvar výstupního napětí je opět závislý na vzájemném poměru $\tau$ a $t_i$.
Jak je znázorněno na obr. 6 tvar impulsu se výrazně změní, jestliže je $\tau > t_i$ a proto mluvíme o integraci výrazné, pro $\tau < t_i$ je integrace nevýrazná.
Časovou konstantu $\tau$ spočítáme opět dle vztahu $\tau = R \cdot C$.



Obr. 6 Průběhy napětí na derivačním článku



Obr. 7 Odezvy na napěťový skok: a)derivační článek b) integrační článek

Jak bude vypadat odezva na napěťový skok (což je vlastně polovina impulsu) po průchodu derivačním a integračním článkem ukazuje u obou článků obr. 7.

Použitá literatura:

- Kesl, J.: Elektronika I – analogová technika
- Bezděk, M.: Elektronika I