



Osnova

Nejjednodušší...

Superhet

Downconverting...

Superhet s dvojitým...

Nastavení...

Domovská stránka



Strana 1 z 13

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec

Rádiové obvody a zařízení Komunikace a elektronika

Superhet

Josef Dobeš

9. října 2013

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická



Osnova

Nejjednodušší...

Superhet

Downconverting...

Superhet s dvojitým...

Nastavení...

Domovská stránka



Strana 2 z 13

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec

1. Osnova

- Nejjednodušší AM radio – krystalka
 - Vrcholový detektor (Peak Detector)



Osnova

Nejjednodušší...

Superhet

Downconverting...

Superhet s dvojitým...

Nastavení...

Domovská stránka



Strana 2 z 13

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec

1. Osnova

- Nejjednodušší AM radio – krystalka
 - Vrcholový detektor (Peak Detector)
- Superhet (s jedním směřováním)
 - Základní struktura superhetu
 - Směřování
 - Zrcadlový kmitočet



Osnova

Nejjednodušší...

Superhet

Downconverting...

Superhet s dvojitým...

Nastavení...

Domovská stránka



Strana 2 z 13

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec

1. Osnova

- Nejjednodušší AM radio – krystalka
 - Vrcholový detektor (Peak Detector)
- Superhet (s jedním směřováním)
 - Základní struktura superhetu
 - Směřování
 - Zrcadlový kmitočet
- Konvertování dolů a nahoru (Downconverting a Upconverting)
 - Downconverting – příklad
 - Upconverting – příklad



Osnova

Nejjednodušší...

Superhet

Downconverting...

Superhet s dvojitým...

Nastavení...

Domovská stránka



Strana 2 z 13

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec

1. Osnova

- Nejjednodušší AM radio – krystalka
 - Vrcholový detektor (Peak Detector)
- Superhet (s jedním směřováním)
 - Základní struktura superhetu
 - Směřování
 - Zrcadlový kmitočet
- Konvertování dolů a nahoru (Downconverting a Upconverting)
 - Downconverting – příklad
 - Upconverting – příklad
- Superhet s dvojitým směřováním



Osnova

Nejjednodušší...

Superhet

Downconverting...

Superhet s dvojitým...

Nastavení...

Domovská stránka



Strana 3 z 13

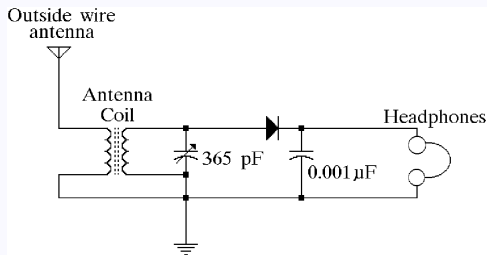
Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

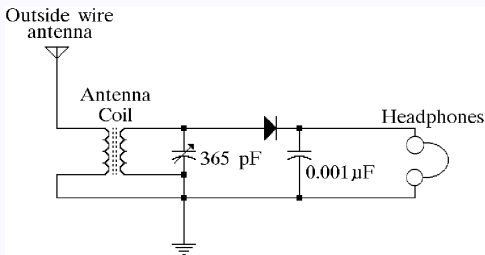
Konec

2. Nejjednodušší přijímač AM – krystalka

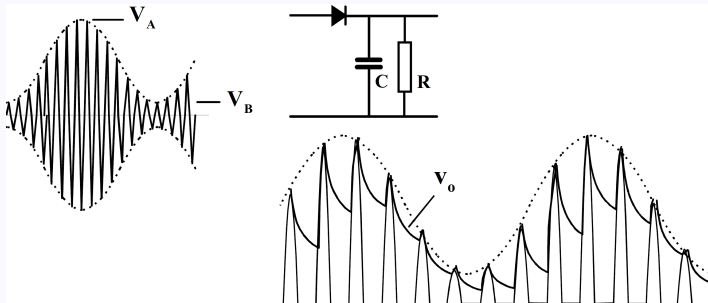




2. Nejjednodušší přijímač AM – krystalka



Princip demodulace za použití vrcholového detektoru:



Domovská stránka



Strana 3 z 13

Zpět

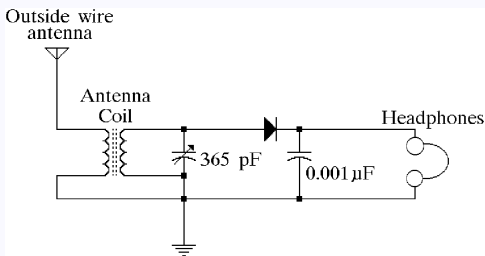
Celá obrazovka

Zavřít

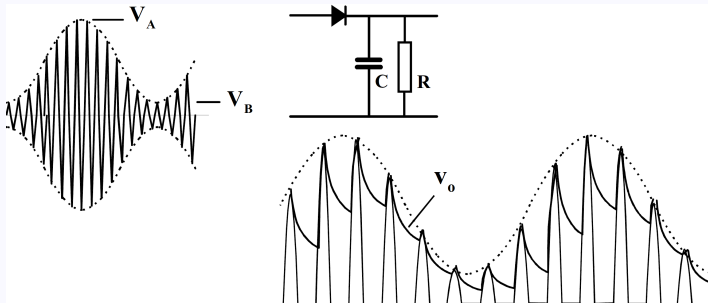
Konec



2. Nejjednodušší přijímač AM – krystalka



Princip demodulace za použití vrcholového detektoru:



¹ Jak by vypadala tato křivka pro příliš malý / příliš velký kapacitor?

¹Heriot-Watt University, Edinburgh

Osnova

Nejjednodušší...

Superhet

Downconverting...

Superhet s dvojitým...

Nastavení...

Domovská stránka



Strana 3 z 13

Zpět

Celá obrazovka

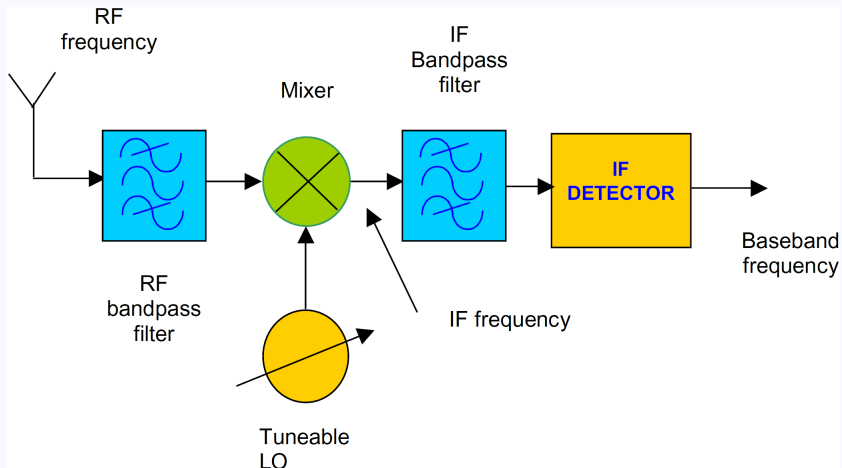
Zavřít

Konec



3. Superhet

Blokové schéma superhetu s jednoduchým (jedním) směřováním:²



IF (Intermediate Frequency): mezifrekvenční kmitočet

RF (Radio Frequency): kmitočet přijímané rádiové stanice

LO (Local Oscillator): kmitočet lokálního oscilátoru

²J.P. Silver (www.rfic.co.uk), Superheterodyne Receiver Tutorial

Osnova

Nejjednodušší...

Superhet

Downconverting...

Superhet s dvojitým...

Nastavení...

Domovská stránka



Strana 4 z 13

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec



Osnova

Nejjednodušší...

Superhet

Downconverting...

Superhet s dvojitým...

Nastavení...

Domovská stránka



Strana 5 z 13

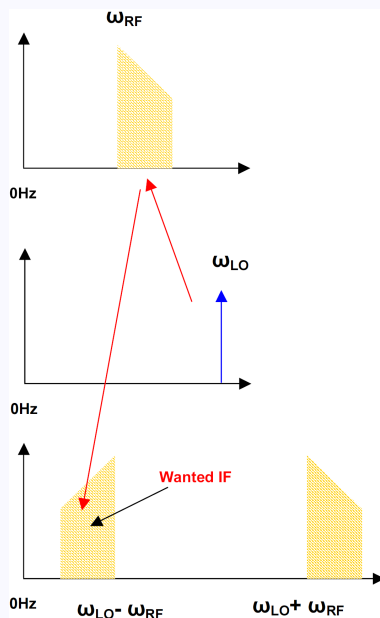
Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec

Kmitočty vytvářené v superhetu jako výsledek procesu směšování (ω_{RF} – rádiový signál, ω_{LO} – lokální oscilátor):



Směšovacími produkty jsou tedy jak rozdíly ($f_{LO} - f_{RF}$), tak součty ($f_{LO} + f_{RF}$) kmitočtů (kombinace kmitočtů tvoří **nelineární obvod!**).



Osnova

Nejjednodušší...

Superhet

Downconverting...

Superhet s dvojitým...

Nastavení...

Domovská stránka



Strana 6 z 13

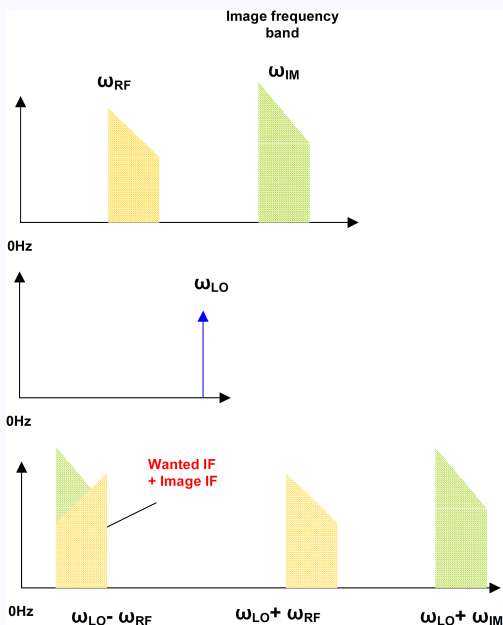
Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec

Problém je však v tom, že se nežádoucí rádiový signál na **zrcadlové** frekvenci přičítá do mezifrekvenčního signálu a zvětšuje tak šumové číslo:



IM (Image Frequency): zrcadlová frekvence ($f_{IM} - f_{LO} = f_{LO} - f_{RF}$)



Osnova

Nejjednodušší...

Superhet

Downconverting...

Superhet s dvojitým...

Nastavení...

Domovská stránka



Strana 7 z 13

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec

4. Downconverting nebo Upconverting

Příklad: Přijímač pozemní televize je navržen k pokrytí kmitočtového rozsahu od 45 do 860 MHz, s kanály o šířce 8 MHz a mezifrekvenčním kmitočtem 40 MHz. Porovnejme obě řešení (downconverting nebo upconverting) přijímače vzhledem k potenciálním problémům se zrcadlovými kmitočty.



4. Downconverting nebo Upconverting

Příklad: Přijímač pozemní televize je navržen k pokrytí kmitočtového rozsahu od 45 do 860 MHz, s kanály o šířce 8 MHz a mezifrekvenčním kmitočtem 40 MHz. Porovnejme obě řešení (downconverting nebo upconverting) přijímače vzhledem k potenciálním problémům se zrcadlovými kmitočty.

Downconverting: Minimální a maximální kmitočty lokálního oscilátoru přijímaným pásmem a stanoveným mezifrekvenčním kmitočtem, tj.

$$f_{\text{LO}_{\min}} = f_{\text{RF}_{\min}} + f_{\text{IF}} = 45 \text{ MHz} + 40 \text{ MHz} = 85 \text{ MHz},$$
$$f_{\text{LO}_{\max}} = f_{\text{RF}_{\max}} + f_{\text{IF}} = 860 \text{ MHz} + 40 \text{ MHz} = 900 \text{ MHz}.$$

Domovská stránka



Strana 7 z 13

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec



4. Downconverting nebo Upconverting

Příklad: Přijímač pozemní televize je navržen k pokrytí kmitočtového rozsahu od 45 do 860 MHz, s kanály o šířce 8 MHz a mezifrekvenčním kmitočtem 40 MHz. Porovnejme obě řešení (downconverting nebo upconverting) přijímače vzhledem k potenciálním problémům se zrcadlovými kmitočty.

Downconverting: Minimální a maximální kmitočty lokálního oscilátoru přijímaným pásmem a stanoveným mezifrekvenčním kmitočtem, tj.

$$f_{\text{LO}_{\min}} = f_{\text{RF}_{\min}} + f_{\text{IF}} = 45 \text{ MHz} + 40 \text{ MHz} = 85 \text{ MHz},$$
$$f_{\text{LO}_{\max}} = f_{\text{RF}_{\max}} + f_{\text{IF}} = 860 \text{ MHz} + 40 \text{ MHz} = 900 \text{ MHz}.$$

Z tohoto důvodu jsou výsledné frekvence zrcadlových kmitočtů tyto:

$$f_{\text{IM}_{\min}} = f_{\text{LO}_{\min}} + f_{\text{IF}} = 85 \text{ MHz} + 40 \text{ MHz} = 125 \text{ MHz},$$
$$f_{\text{IM}_{\max}} = f_{\text{LO}_{\max}} + f_{\text{IF}} = 900 \text{ MHz} + 40 \text{ MHz} = 940 \text{ MHz}.$$

Umístění zrcadlových frekvencí je problematické – viz graf.

Osnova

Nejjednodušší...

Superhet

Downconverting...

Superhet s dvojitým...

Nastavení...

Domovská stránka



Strana 7 z 13

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec



Osnova

Nejjednodušší...

Superhet

Downconverting...

Superhet s dvojitým...

Nastavení...

Domovská stránka



Strana 8 z 13

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec

Upconverting: Lepší řešení spočívá ve zvolení *většího* mezifrekvenčního kmitočtu. Zvolme např. mezifrekvenční kmitočet 1.5 GHz. Požadované kmitočty lokálního oscilátoru nyní budou (lokální oscilátor je nyní *pod* mezifrekvenčním kmitočtem):³

$$f_{\text{LO}_{\min}} = f_{\text{IF}} - f_{\text{RF}_{\max}} = 1500 \text{ MHz} - 860 \text{ MHz} = 640 \text{ MHz},$$

$$f_{\text{LO}_{\max}} = f_{\text{IF}} - f_{\text{RF}_{\min}} = 1500 \text{ MHz} - 45 \text{ MHz} = 1455 \text{ MHz}.$$



Osnova

Nejjednodušší...

Superhet

Downconverting...

Superhet s dvojitým...

Nastavení...

Domovská stránka



Strana 8 z 13

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec

Upconverting: Lepší řešení spočívá ve zvolení *většího* mezifrekvenčního kmitočtu. Zvolme např. mezifrekvenční kmitočet 1.5 GHz. Požadované kmitočty lokálního oscilátoru nyní budou (lokální oscilátor je nyní *pod* mezifrekvenčním kmitočtem):³

$$f_{LO_{\min}} = f_{IF} - f_{RF_{\max}} = 1500 \text{ MHz} - 860 \text{ MHz} = 640 \text{ MHz},$$

$$f_{LO_{\max}} = f_{IF} - f_{RF_{\min}} = 1500 \text{ MHz} - 45 \text{ MHz} = 1455 \text{ MHz}.$$

Z tohoto důvodu jsou výsledné frekvence zrcadlových kmitočtů tyto:

$$f_{IM_{\min}} = f_{LO_{\min}} + f_{IF} = 640 \text{ MHz} + 1500 \text{ MHz} = 2140 \text{ MHz},$$

$$f_{IM_{\max}} = f_{LO_{\max}} + f_{IF} = 1455 \text{ MHz} + 1500 \text{ MHz} = 2955 \text{ MHz},$$

což *není* problém protože pásmo zrcadlových kmitočtů se neprolíná se signálovým pásmem – viz graf.



Osnova

Nejjednodušší...

Superhet

Downconverting...

Superhet s dvojitým...

Nastavení...

Domovská stránka



Strana 8 z 13

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec

Upconverting: Lepší řešení spočívá ve zvolení *většího* mezifrekvenčního kmitočtu. Zvolme např. mezifrekvenční kmitočet 1.5 GHz. Požadované kmitočty lokálního oscilátoru nyní budou (lokální oscilátor je nyní *pod* mezifrekvenčním kmitočtem):³

$$f_{LO_{min}} = f_{IF} - f_{RF_{max}} = 1500 \text{ MHz} - 860 \text{ MHz} = 640 \text{ MHz},$$

$$f_{LO_{max}} = f_{IF} - f_{RF_{min}} = 1500 \text{ MHz} - 45 \text{ MHz} = 1455 \text{ MHz}.$$

Z tohoto důvodu jsou výsledné frekvence zrcadlových kmitočtů tyto:

$$f_{IM_{min}} = f_{LO_{min}} + f_{IF} = 640 \text{ MHz} + 1500 \text{ MHz} = 2140 \text{ MHz},$$

$$f_{IM_{max}} = f_{LO_{max}} + f_{IF} = 1455 \text{ MHz} + 1500 \text{ MHz} = 2955 \text{ MHz},$$

což *není* problém protože pásmo zrcadlových kmitočtů se neprolíná se signálovým pásmem – viz graf.

Jak jsme ukázali, větší mezifrekvenční kmitočet zlepšuje potlačení zrcadel. Na druhé straně však nejselektivnější filtry lze realizovat pouze na nižších kmitočtech. Řešením je superhet s *dvojitým* směřováním – viz superhet s dvojitým směřováním.

³J.P. Silver (www.rfic.co.uk), Superheterodyne Receiver Tutorial



Osnova

Nejjednodušší...

Superhet

Downconverting...

Superhet s dvojitým...

Nastavení...

Domovská stránka



Strana 9 z 13

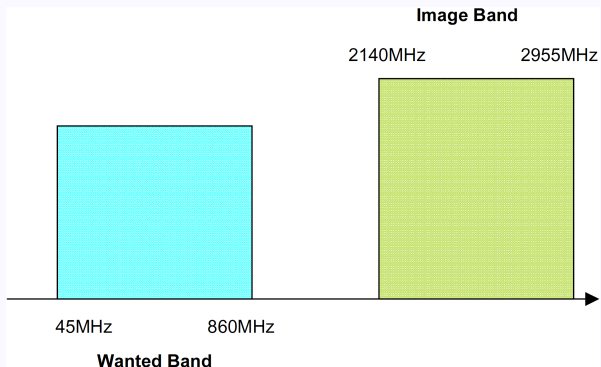
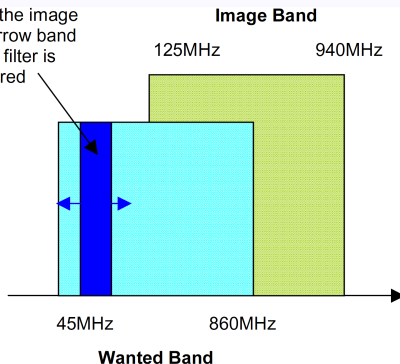
Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

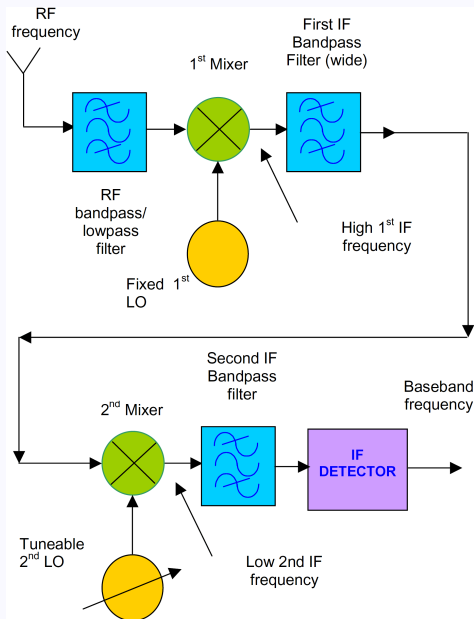
Konec

To eliminate the image Band, a narrow band tuneable filter is required





5. Superhet s dvojitým směřováním



Osnova

Nejjednodušší...

Superhet

Downconverting...

Superhet s dvojitým...

Nastavení...

Domovská stránka



Strana 10 z 13

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec



Osnova

Nejjednodušší...

Superhet

Downconverting...

Superhet s dvojitým...

Nastavení...

Domovská stránka



Strana 11 z 13

Zpět

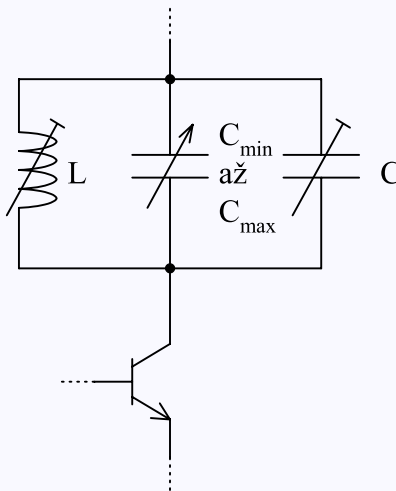
Celá obrazovka

Zavřít

Konec

6. Nastavení úzkopásmového rezonančního zesilovače

V přeladitelném úzkopásmovém rezonančním zesilovači v klasickém zapojení



je nutné vypočítat nastavitelné prvky L a C tak, aby při změnách kapacitoru od C_{\min} do C_{\max} zesilovač pokrýl pásmo od f_{\max} do f_{\min} .



Osnova

Nejjednodušší...

Superhet

Downconverting...

Superhet s dvojítým...

Nastavení...

Domovská stránka



Strana 12 z 13

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec

Kapacitor C a indukčnost L určíme aplikací Thomsonova vztahu:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L'C'}}$$

$$4\pi^2 f_{\min}^2 = \frac{1}{L(C + C_{\max})}$$

$$4\pi^2 f_{\max}^2 = \frac{1}{L(C + C_{\min})}$$

$$\frac{f_{\min}^2}{f_{\max}^2} = \frac{C + C_{\min}}{C + C_{\max}}$$

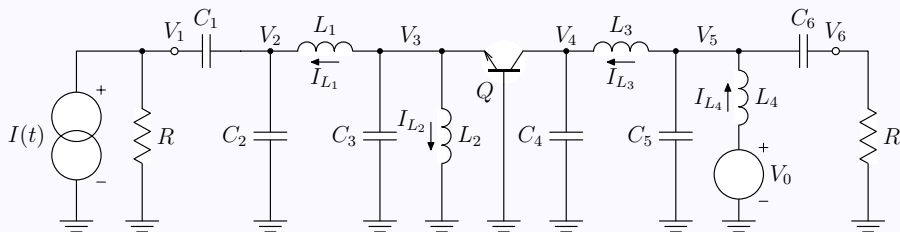
$$Cf_{\min}^2 + C_{\max}f_{\min}^2 = Cf_{\max}^2 + C_{\min}f_{\max}^2$$

$$C = \frac{C_{\max}f_{\min}^2 - C_{\min}f_{\max}^2}{f_{\max}^2 - f_{\min}^2}$$

$$L = \frac{1}{4\pi^2 f_{\max}^2 (C + C_{\min})}$$



Z hlediska kmitočtových vlastností tranzistoru se však zesilovače většinou konstruují se společnou bází, jako je např. následující zapojení



Osnova

Nejjednodušší...

Superhet

Downconverting...

Superhet s dvojitým...

Nastavení...

Domovská stránka



Strana 13 z 13

Zpět

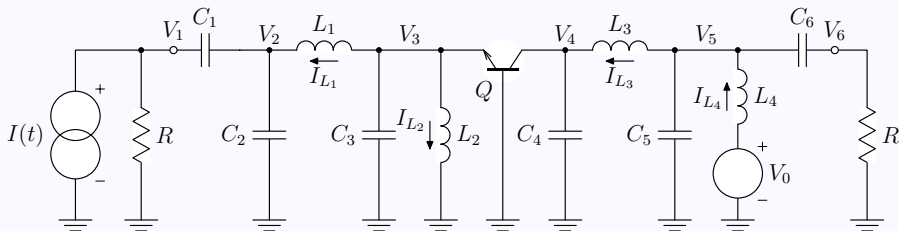
Celá obrazovka

Zavřít

Konec



Z hlediska kmitočtových vlastností tranzistoru se však zesilovače většinou konstruují se společnou bází, jako je např. následující zapojení



(Impedanční přizpůsobení vstupů a výstupů pomocí LC článků bude detailně demonstrováno ve cvičeních.)

Osnova

Nejjednodušší...

Superhet

Downconverting...

Superhet s dvojitým...

Nastavení...

Domovská stránka



Strana 13 z 13

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec