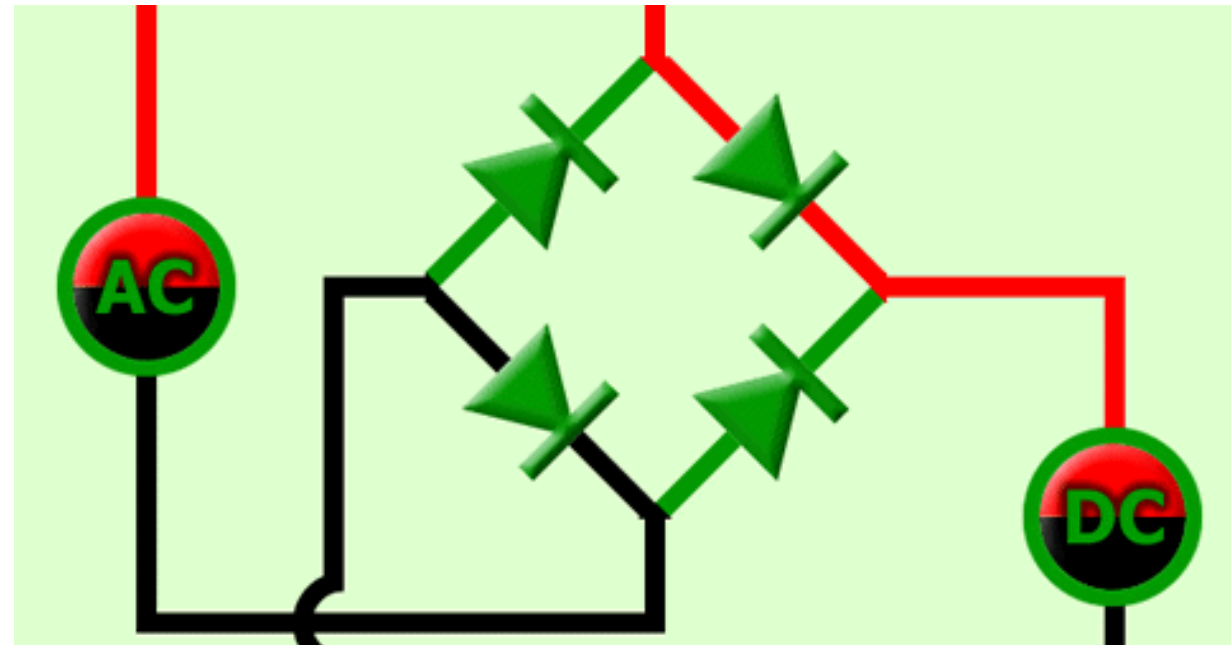


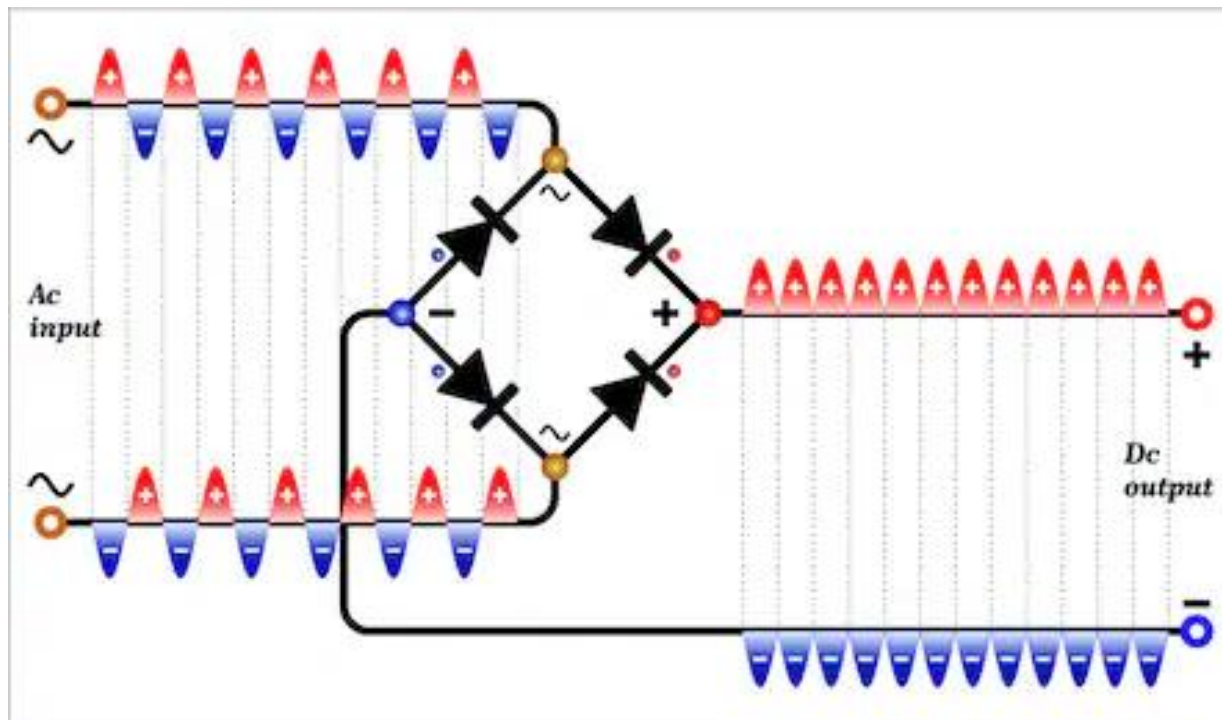
DISPOZITIVE ELECTRONICE ÎN ELECTRONICA APLICATĂ

Tema 10:
**REDRESOARE ȘI CIRCUITE
PENTRU FILTRARE**

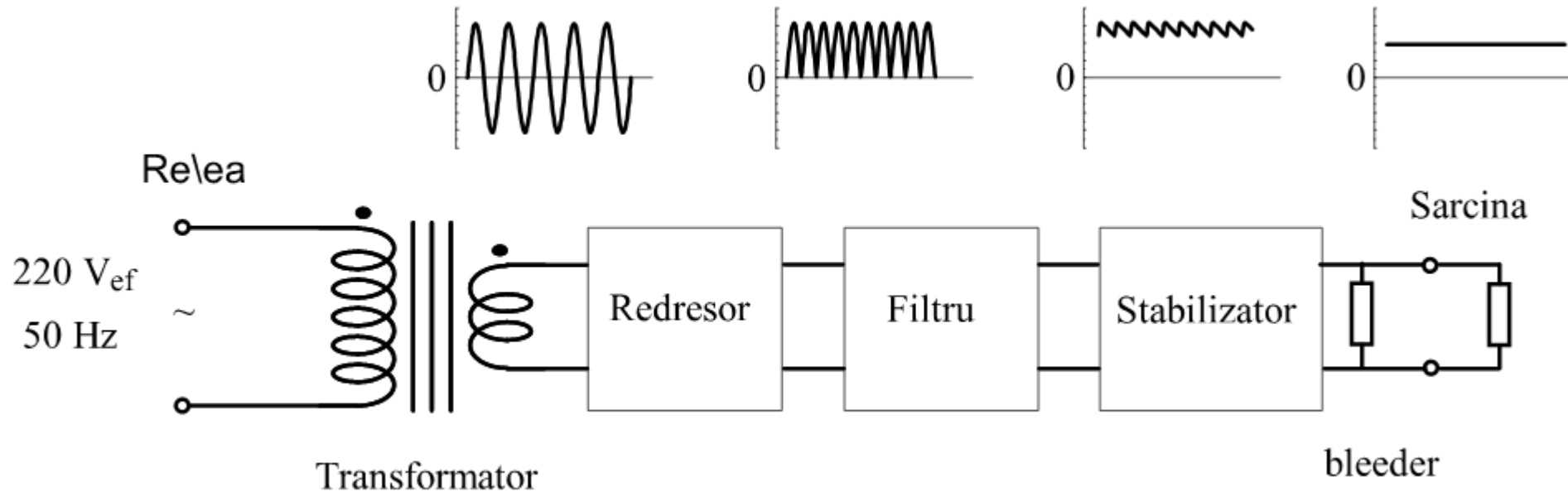


Redresor (curent electric) - convertor de energie electrică; un dispozitiv mecanic, cu vid, semiconductor sau alt dispozitiv conceput pentru a converti un curent electric de intrare alternativ într-un curent electric de ieșire constantă.

Acestea sunt utilizate în sursele de alimentare ale dispozitivelor electronice pentru conversia tensiunii alternative.



Structura unui alimentator electronic

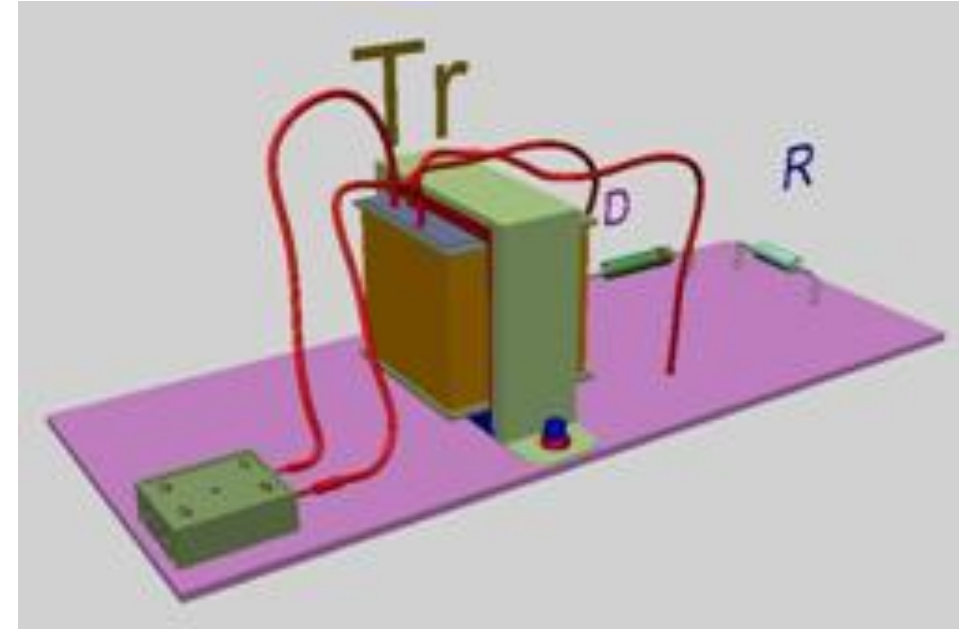


O importantă parte a aparaturii electronice este alimentată cu energie de curent continuu. Această energie se obține în majoritatea cazurilor de la rețeaua de curent alternativ.

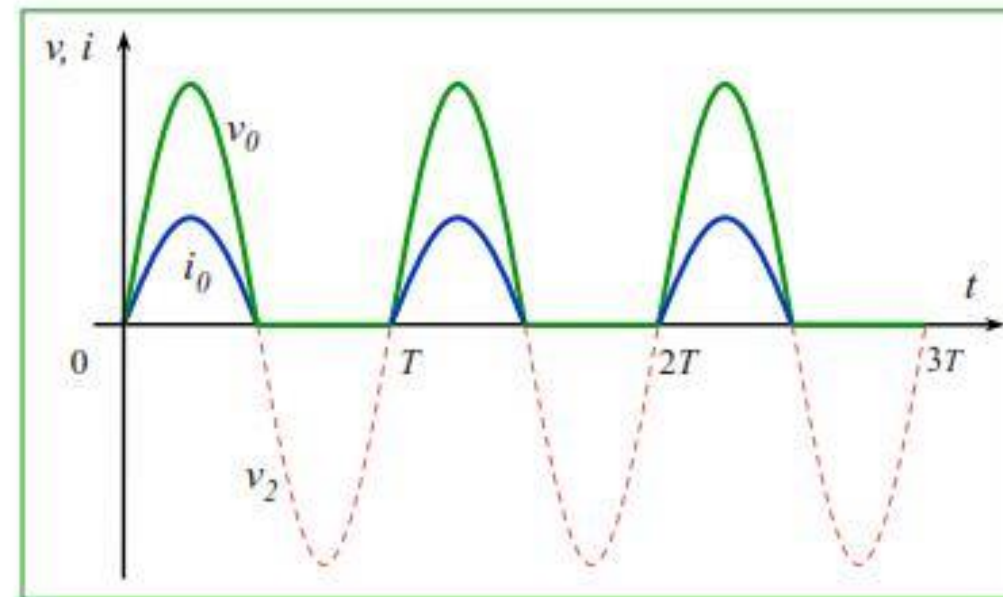
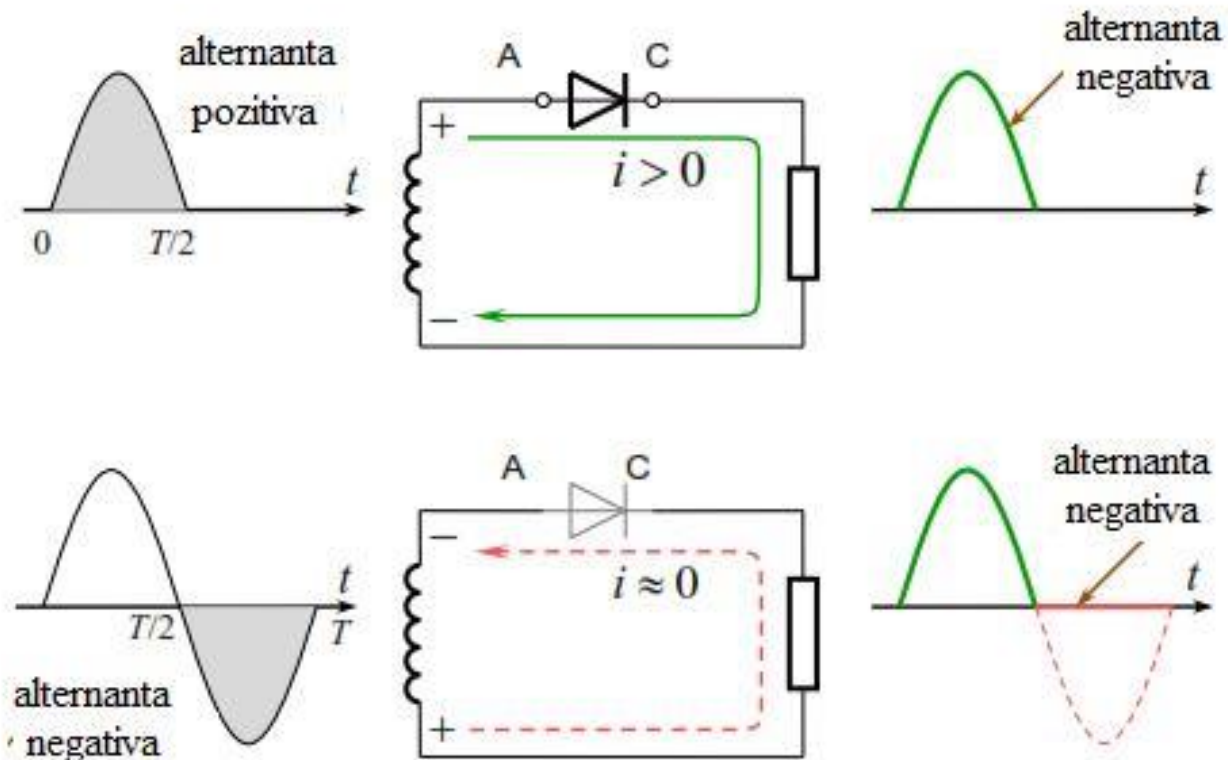
- Transformatorul are rolul de a modifica tensiunea rețelei conform tensiunii continue necesare consumatorului, separând totodată rețeaua de circuitul electronic alimentat.
- Redresorul este un circuit care transformă tensiunea alternativă într-o tensiune pulsatorie. Tensiunea de la ieșirea redresorului conține în afara componentei continue și componente alternative.
- Filtrul micșorează influența componentelor alternative ale tensiunii de la ieșirea redresorului asupra consumatorului. Funcționarea se bazează pe acumularea de energie în intervalul de timp în care tensiunea crește și cedarea de energie consumatorului în intervalul de timp în care tensiunea scade.
- Stabilizatorul are rolul de a furniza consumatorului o tensiune și un curent de o anumită valoare ce trebuie menținută între anumite limite, determinate de funcționarea corectă a consumatorului.
- RS este consumatorul (rezistența de sarcină).

Clasificarea Redresoarelor

- După tipul tensiunii alternative redresate:
 - redresoare monofazate
 - redresoare trifazate
- După numărul de alternanțe redresate:
 - redresoare monoalternanță
 - redresoare bialternanță
- După modul de variație a tensiunii redresate:
 - redresoare necomandate – realizate cu diode, tensiunea redresată este constantă
 - redresoare comandate – realizate cu tiristoare , tensiunea redresată poate fi variată



Redresor monoalternanță



tensiunea de intrare a redresorului este: $v_2 \approx \sqrt{2}V_2 \sin \omega t$

Unde V_2 =tensiunea la ieșirea transformatorului

Folosind modelul diodei ideale, în timpul alternanțelor pozitive dioda este polarizată direct, deci $A \approx C$ și $v_0 \approx v_2$. În alternanțele negative dioda este polarizată invers și se comportă ca un circuit deschis, deci $v_0 \approx 0$.

$$v_0 = \begin{cases} v_2, t \in \left[0, \frac{T}{2}\right] \\ 0, t \in \left(\frac{T}{2}, T\right] \end{cases}$$

Valoarea medie a tensiunii de ieșire este: $V_0 \approx \frac{\sqrt{2}V_2}{\pi}$

Valoarea efectivă a tensiunii de ieșire este: $V_{oef} \approx \frac{\sqrt{2}V_2}{2}$

Raportul dintre valoarea efectivă și valoarea medie (a componentelor continue) la ieșire se numește factor de undă (ripple factor) sau factor de formă. Valori mai mici apropiate de 1 indică o tensiune similară tensiunii continue.

$$\gamma = \frac{V_{oef}}{V_0} = \frac{\frac{\sqrt{2}V_2}{2}}{\frac{\sqrt{2}V_2}{\pi}} = \frac{\pi}{2} \quad \gamma = \frac{\pi}{2} \approx 1.57$$

Raportul dintre tensiune continuă de ieșire și tensiunea alternativă de intrare poartă denumirea de eficiență redresării:

$$\eta = \frac{P_0}{P_t} = \frac{\frac{V_0^2}{R_S}}{\frac{V_{oef}^2}{R_S}} = \frac{V_0^2}{V_{oef}^2} = \frac{1}{\gamma^2} \quad \eta = \frac{1}{\gamma^2} \approx 0.405$$

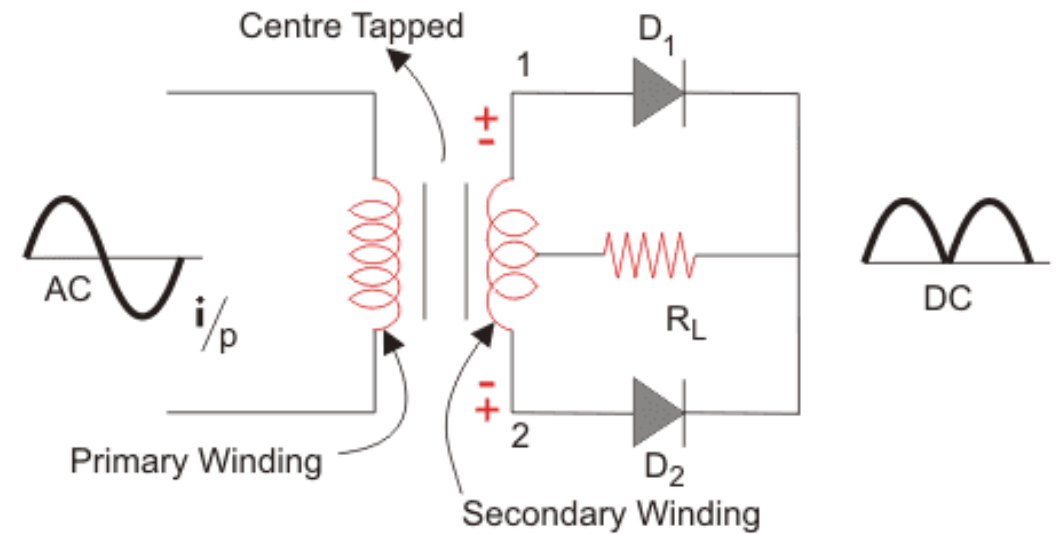
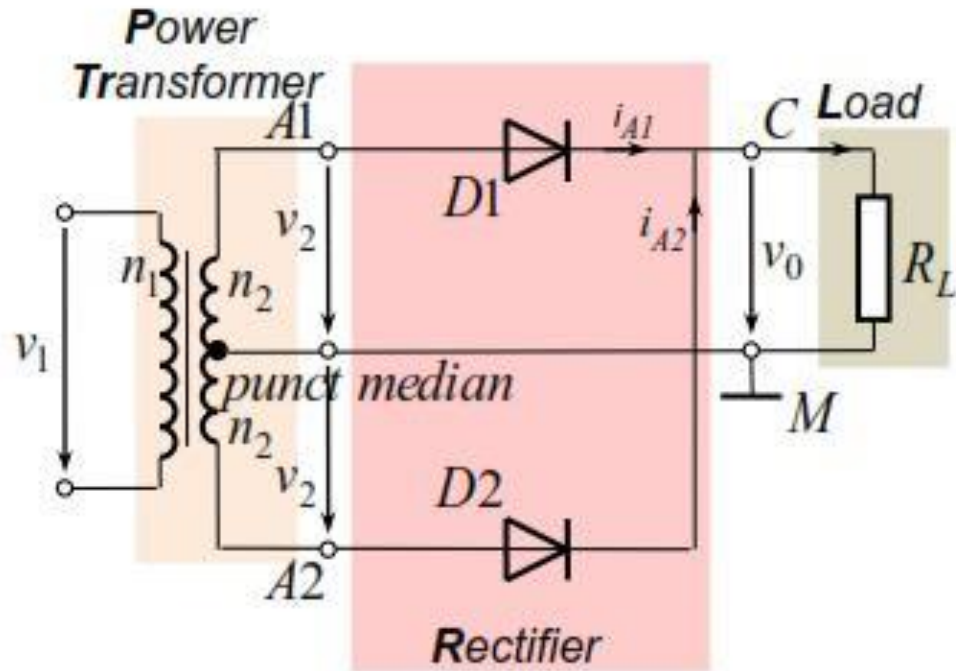
Redresorul de o singură fază este foarte simplu și ieftin, însă calitatea formei tensiunii de ieșire este scăzută

Redresorul dublu alternanță cu priză mediană

Un redresor cu punct median de undă întreagă are principiul de funcționare asemănător unui transformator cu secundarul cu punct median (with a tapped secondary). Cele două secțiuni ale secundarului sunt identice.

Priza mediană este conectată la împământare.

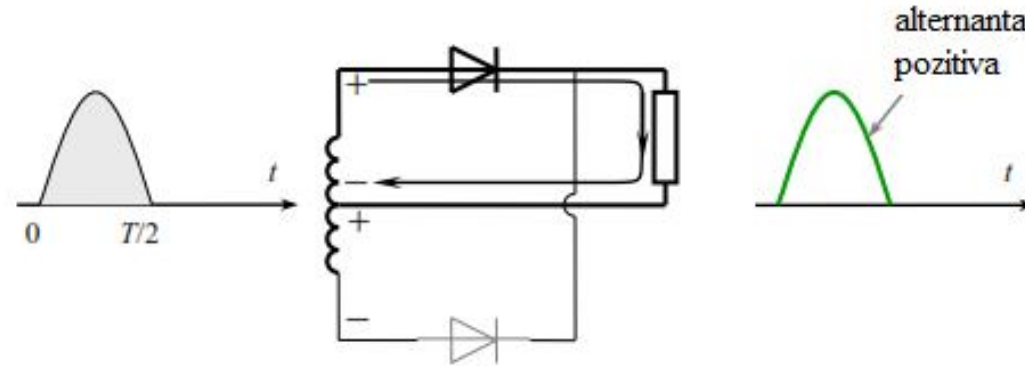
Cele două tensiuni pot fi redresate individual tăind orice jumătate a ciclului.



Centre Tapped Full Wave Rectifier

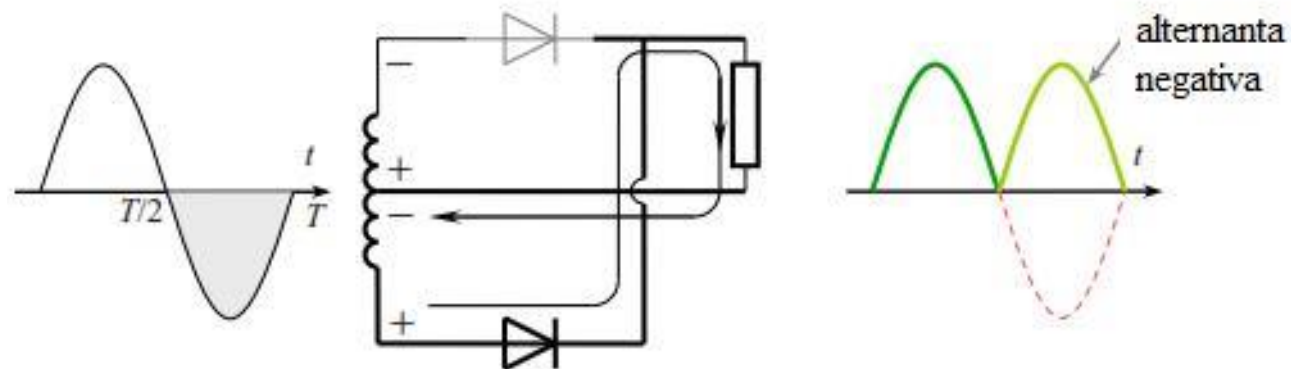
Folosind modelul diodei ideale, în alternanța pozitivă dioda D1 (polarizată direct), iar comportarea este asemănătoare unui circuit închis, iar dacă D2 este polarizată invers ca un circuit deschis. Deci:

$$t \in \left[0, \frac{T}{2} \right] \rightarrow \begin{cases} i_{A1} = i_0 > 0, A1 \approx C \rightarrow u_0 = u_{CM} \approx u_{A1M} = u_2 \\ i_{A2} = 0 \end{cases}$$



În timpul alternanțelor negative, dioda D2 este polarizată direct rezultând o comportare asemănătoare unui circuit închis, și D1 este polarizată invers asemănătoare cu un circuit deschis. Astfel:

$$t \in \left[0, \frac{T}{2} \right] \rightarrow \begin{cases} i_{A1} = 0 \\ i_{A2} = i_0 > 0, A2 \approx C \rightarrow u_0 = u_{CM} \approx u_{A2M} = -u_2 \end{cases}$$



Valoarea medie a tensiunii de ieșire este: $V_0 \approx \frac{2\sqrt{2}V_2}{\pi}$

Valoarea efectivă a tensiunii de ieșire este: $V_{oef} \approx V_2$

Factorul de undă este:

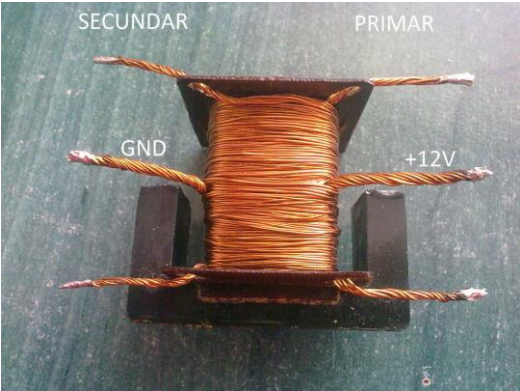
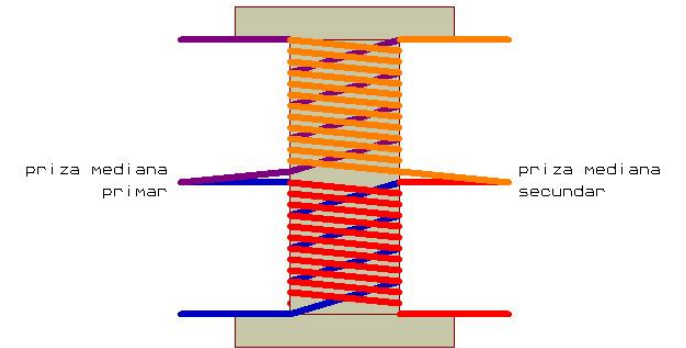
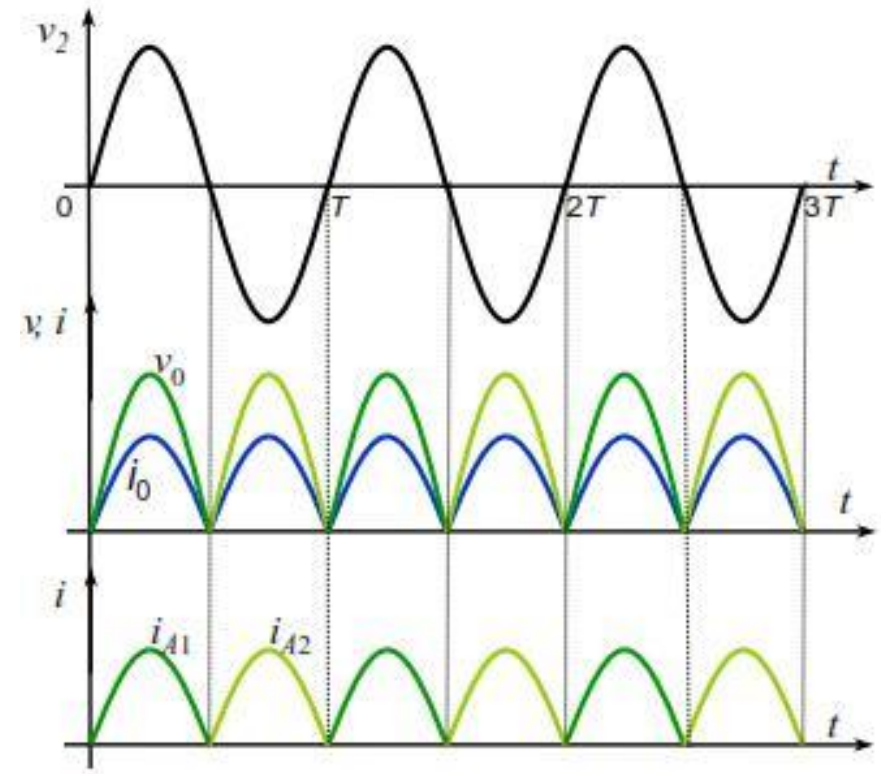
$$\gamma = \frac{V_{oef}}{V_0} = \frac{V_2}{\frac{2\sqrt{2}V_2}{\pi}} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}}$$

$$\gamma = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \approx 1.11$$

Eficiența redresării este:

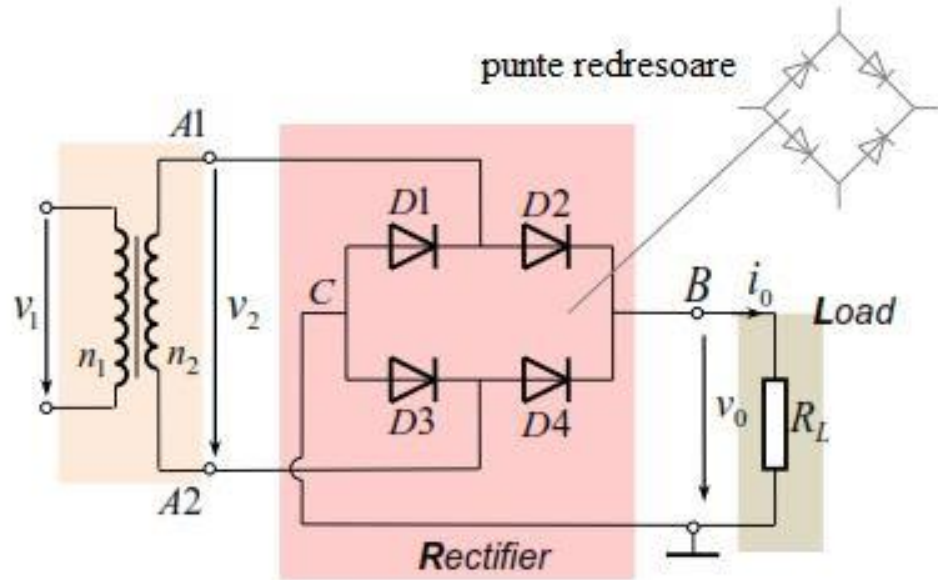
$$\eta = \frac{P_0}{P_t} = \frac{\frac{V_0^2}{R_S}}{\frac{V_{oef}^2}{R_S}} = \frac{V_0^2}{V_{oef}^2} = \frac{1}{\gamma^2}$$

$$\eta = \frac{1}{\gamma^2} \approx 0.81$$



Ieșirea unui redresor de undă întreagă are o formă mai bună și poate fi filtrată mai ușor. Acest redresor are nevoie de un transformator cu două secundare identice și două diode

Punte redresoare



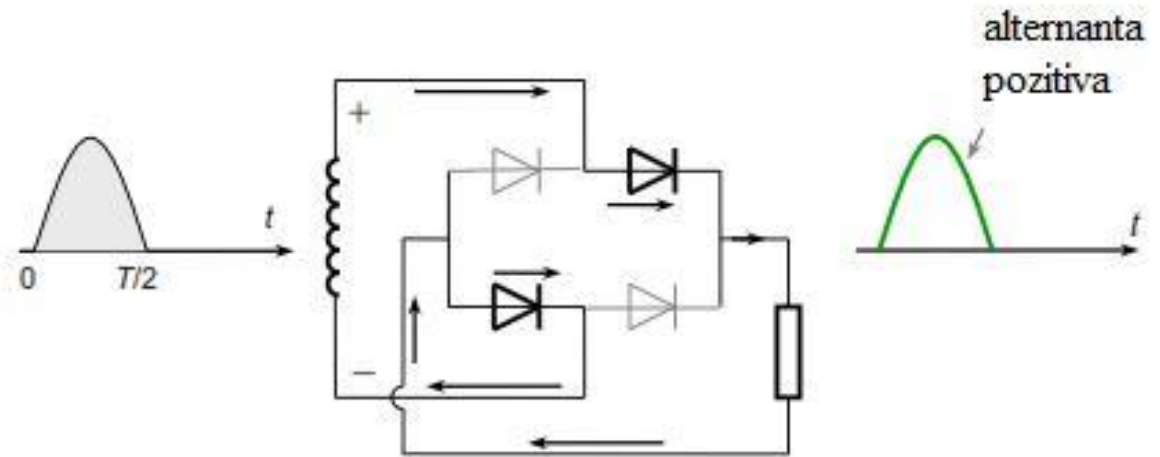
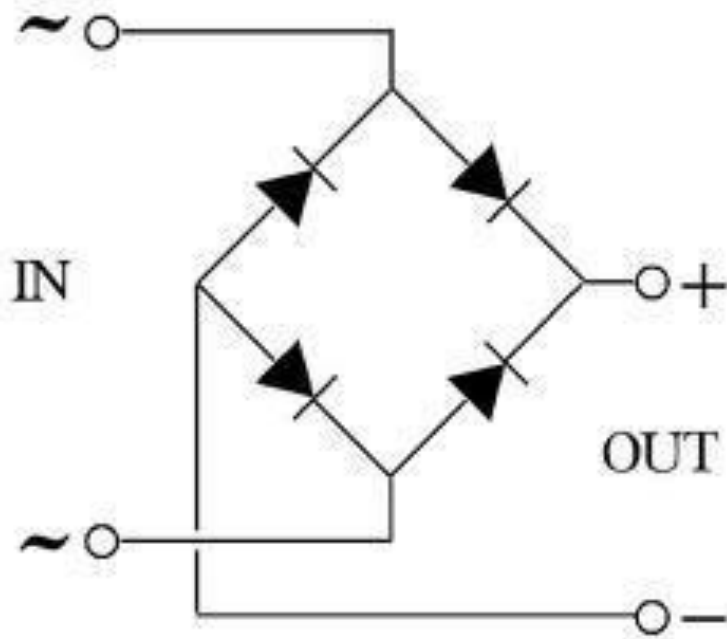
Atunci când pe intrare se află alternanța pozitivă, diodele D2 și D3 sunt polarizate direct și conduc curentul prin R_L în direcția ilustrată. Așadar folosind modelul diodei ideale obținem:

$$t \in \left[0, \frac{T}{2} \right]$$

$$A1 \approx B$$

$$A2 \approx C \rightarrow v_0 = u_{BC} \approx v_{A1A2} = v_2$$

D2, D3 - circuit deschis.



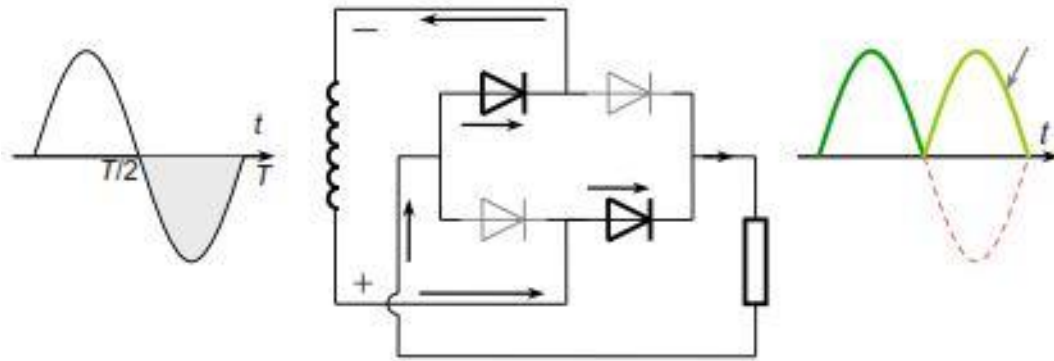
Atunci când pe intrare se află alternanța negativă, D1 și D4 sunt polarizate direct și vor conduce curentul în aceeași direcție prin R_L ca și în cazul alternanței pozitive. Așadar folosind modelul diodei ideale obținem:

$$t \in \left[T, \frac{T}{2} \right]$$

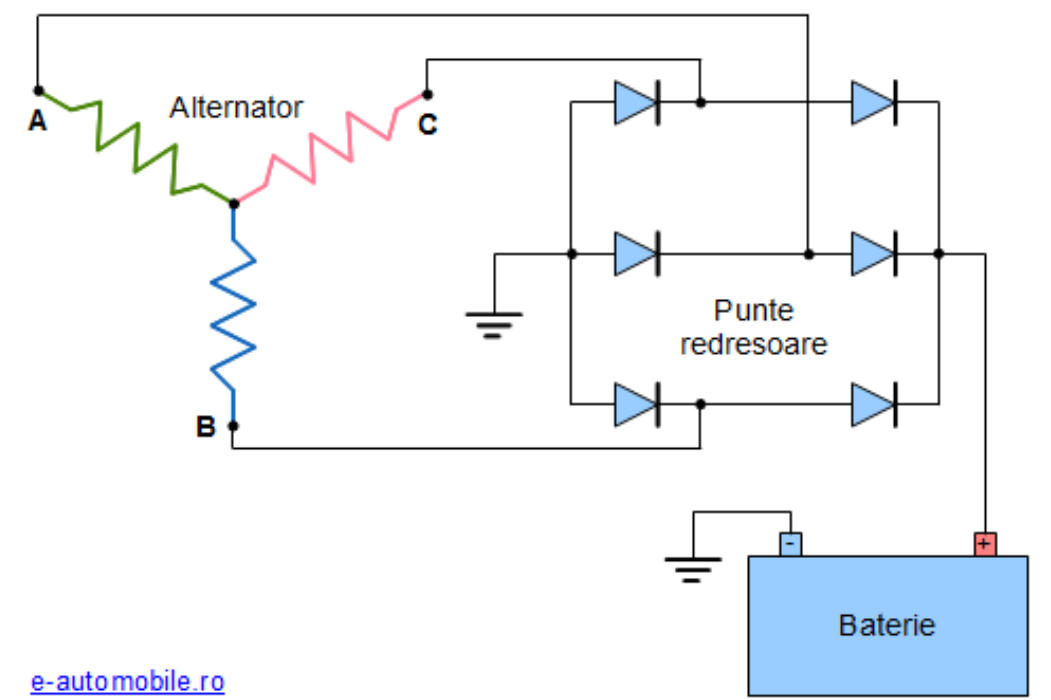
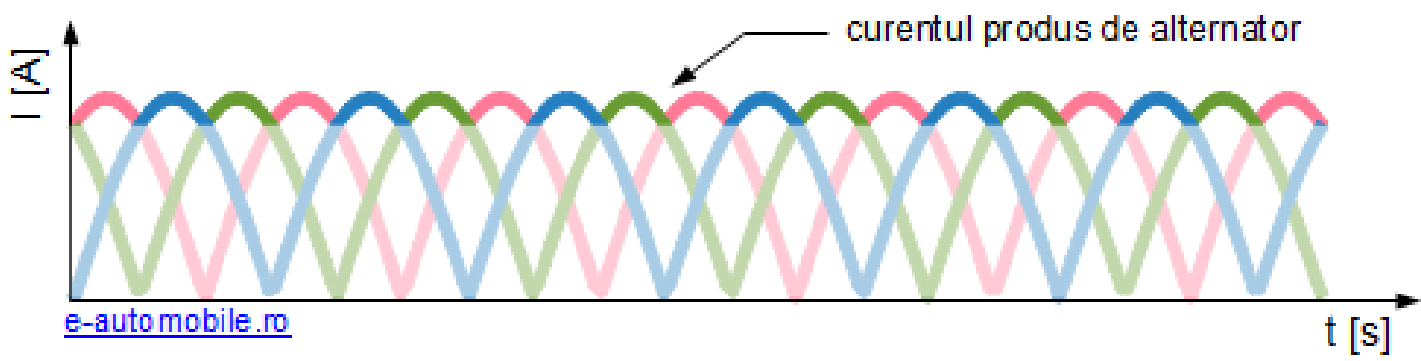
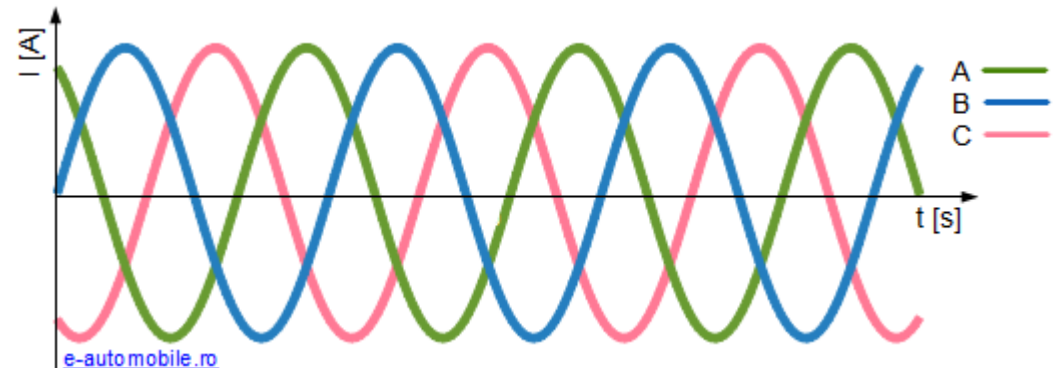
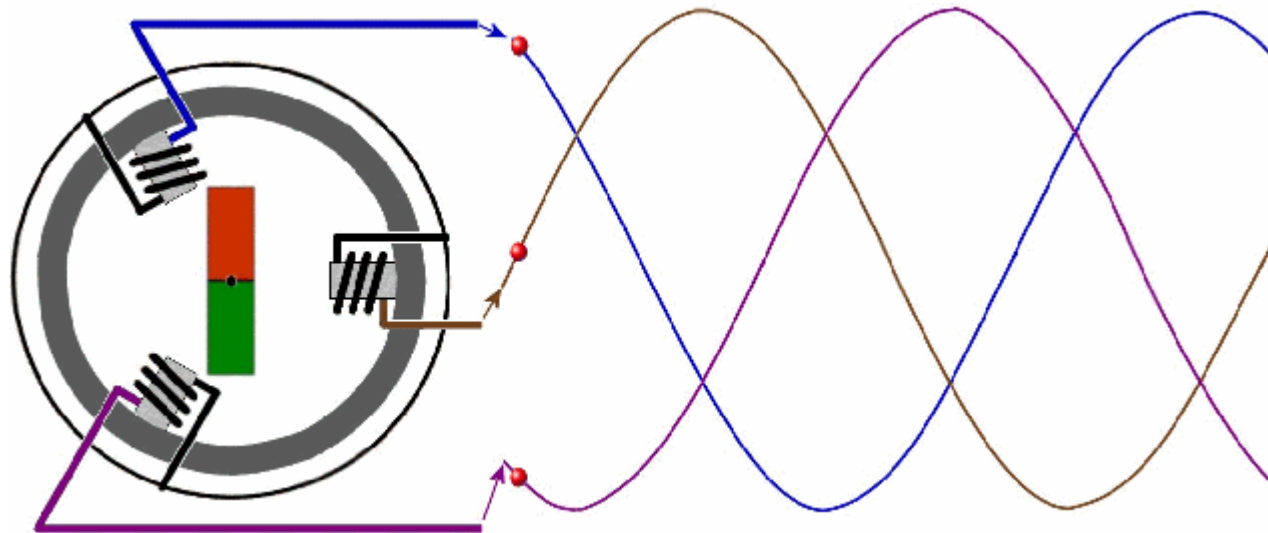
$$A1 \approx C$$

$$A2 \approx B \rightarrow v_0 = v_{BC} \approx v_{A2A1} = -v_2$$

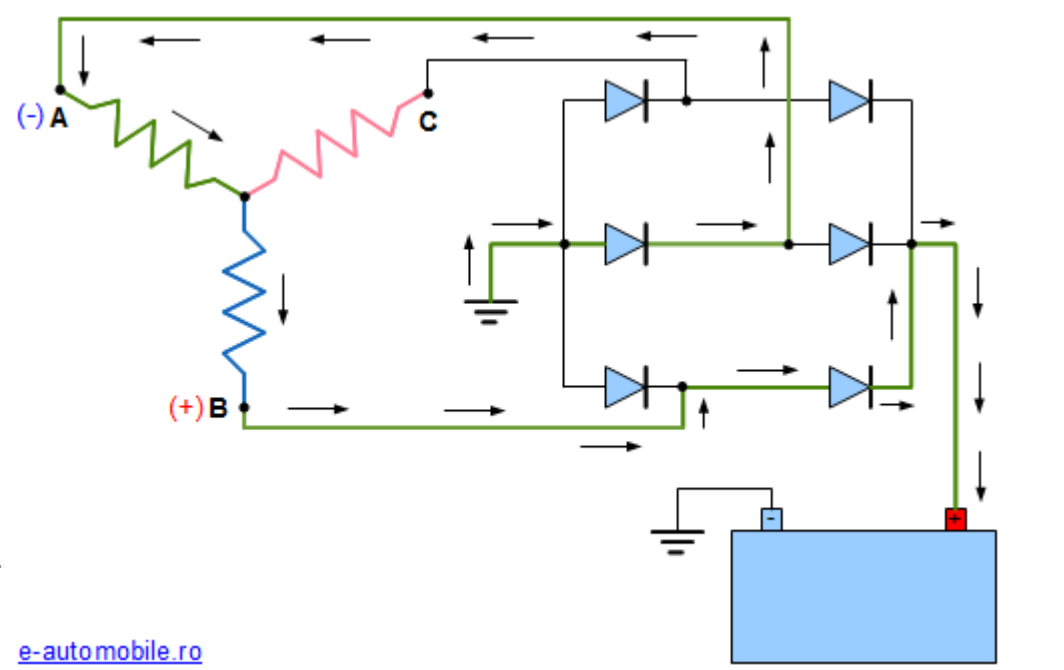
D1 și D4 - circuit deschis.



Forma de undă obținută la ieșire este similară cu cea a redresorului cu punct median.



e-automobile.ro



e-automobile.ro

Tipuri de Filtre

Filtru pasiv trece-jos

Filtru pasiv trece-sus

Filtru pasiv trece-bandă

Filtru activ trece-jos

Filtru activ trece-sus

Filtru activ trece-bandă

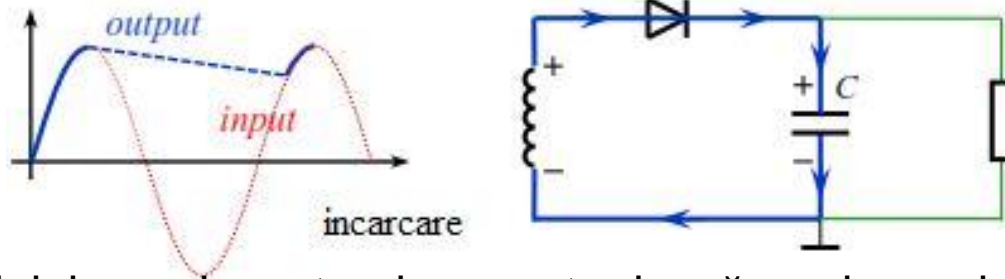
Filtru oprește-bandă

Filtru Sallen-Key

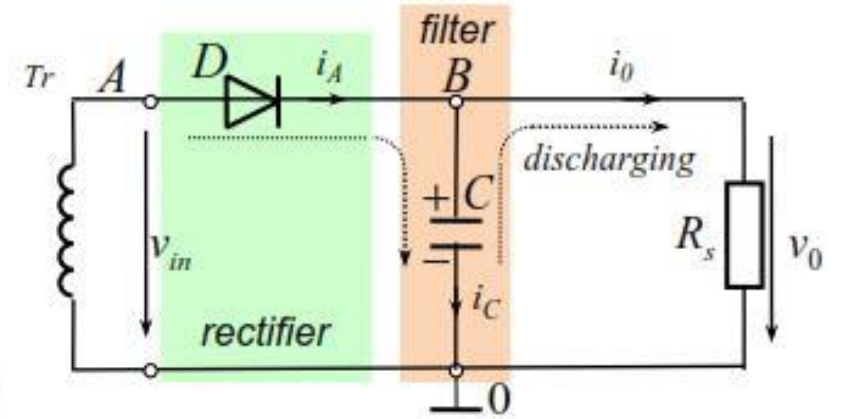
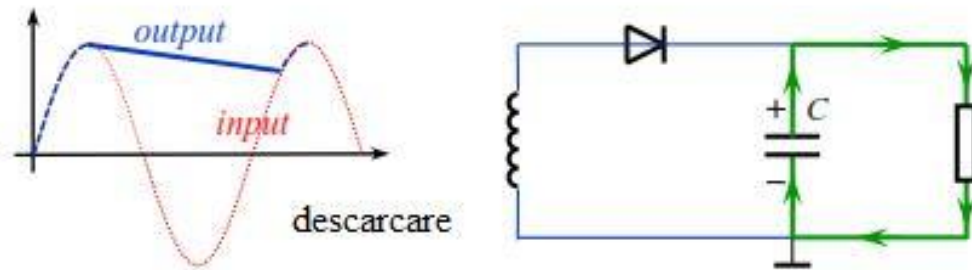
Filtru de intrare cu condensator

Un astfel de filtru constă în conectarea unui condensator C la ieșirea redresorului. Redresarea este influențată de prezența condensatorului.

În timpul alternanței pozitive în primul sfert de ciclu al intrării, dioda se află în polarizare directă și permite condensatorului să se încarce până în momentul în care unda de pe diodă scade. Când intrarea începe să scadă sub valoarea unde, condensatorul este încărcat, iar dioda începe să fie polarizată invers.



Pe cealaltă parte a ciclului, condensatorul se poate descărca doar prin rezistența de sarcină cu o viteză determinată de constanta de timp $R_L C$. Cu cât este mai mare constanta de timp, cu atât condensatorul se va descărca mai greu. La sfârșitul primului sfert al ciclului următor, diodă este din nou polarizată direct atunci când tensiunea depășește starea de încărcare a condensatorului



Calculul riplului (factorului de undă)

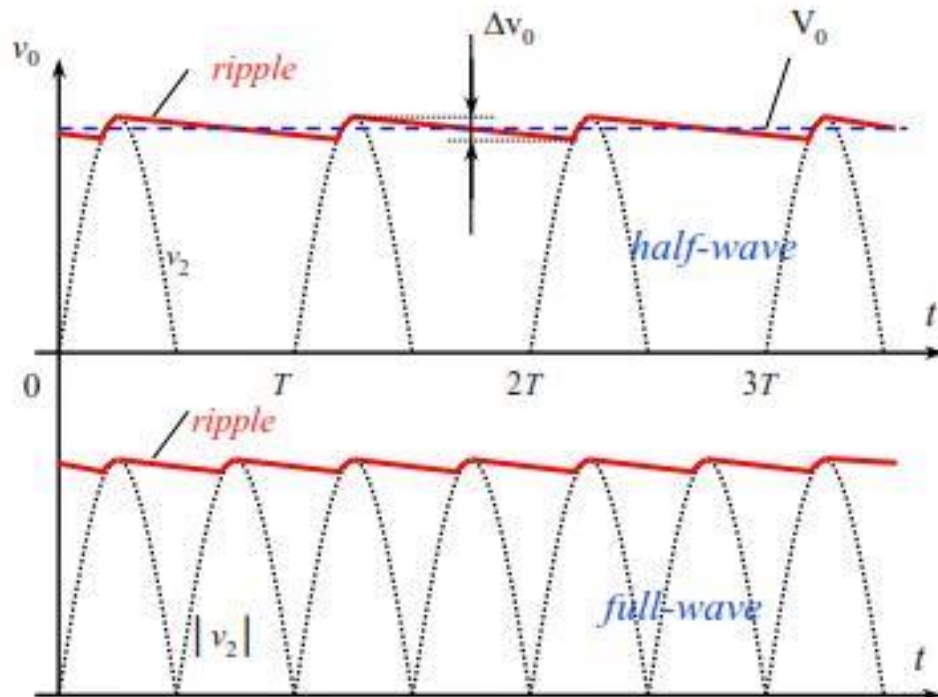
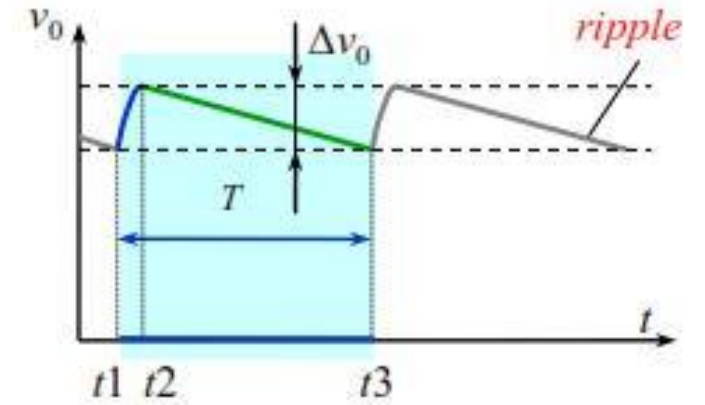
Vom considera că riplul are o valoarea mică și așadar:

$$V_0 \approx \sqrt{2}V_2$$

$$i_0 \approx I_0 = \text{constant}$$

Evaluarea riplului se va face analizând un ciclu complet (t_1, t_3). În timpul (t_1, t_2) condensatorul se încarcă și se va descărca pe perioada (t_2, t_3). Este clar că $(t_2, t_3) \gg (t_1, t_2)$ deci:

$$t_3 - t_2 \approx t_3 - t_1 = T$$



Forma de unda a tensiunii de iesire

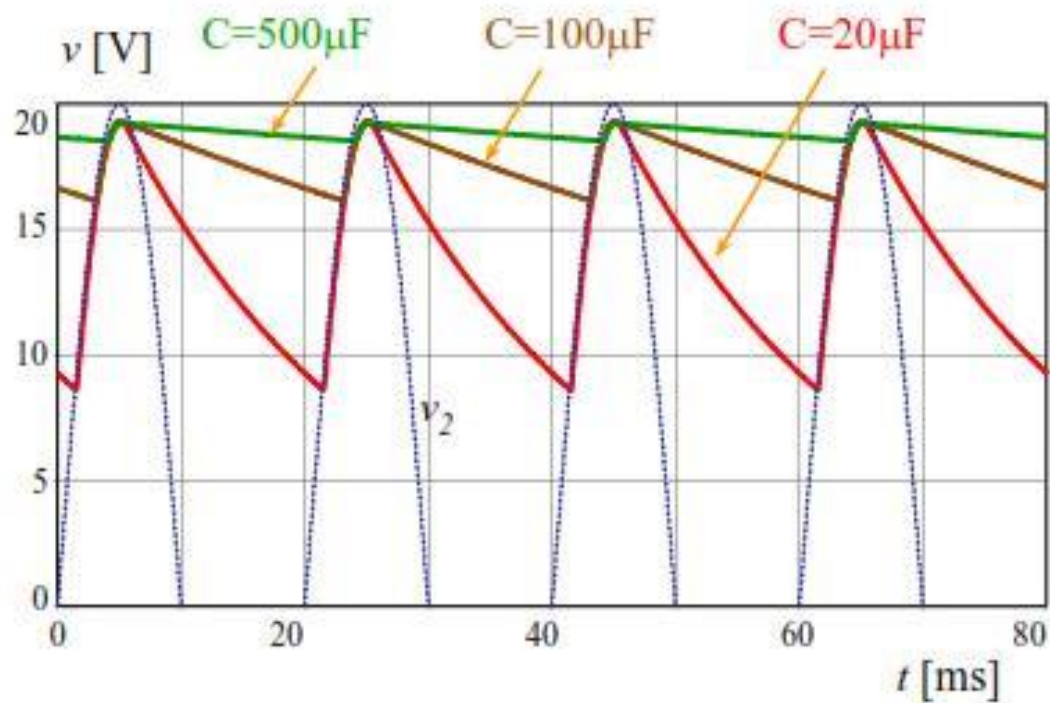
Pe durata (t_2, t_3) atunci când condensatorul se descarcă variația tensiunii de ieșire este:

$$\Delta v_0 = \frac{\Delta Q}{C} = \frac{i_0(t_3 - t_2)}{C} \approx \frac{I_0 T}{C} = \frac{V_0 T}{R_L C}$$

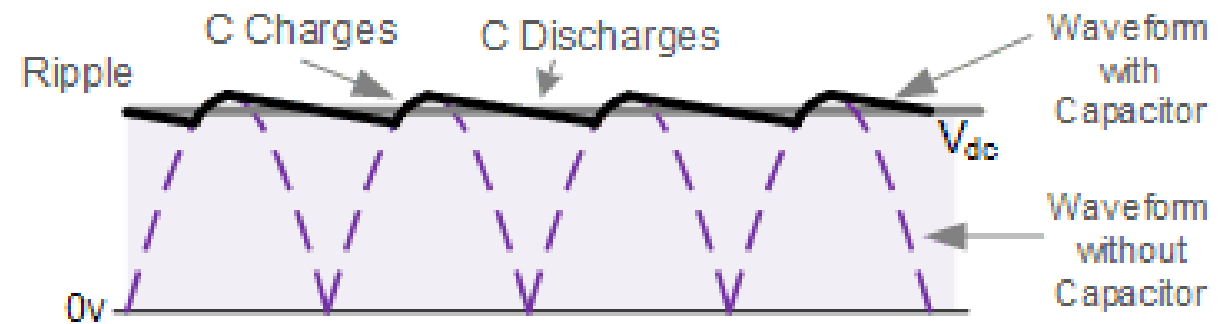
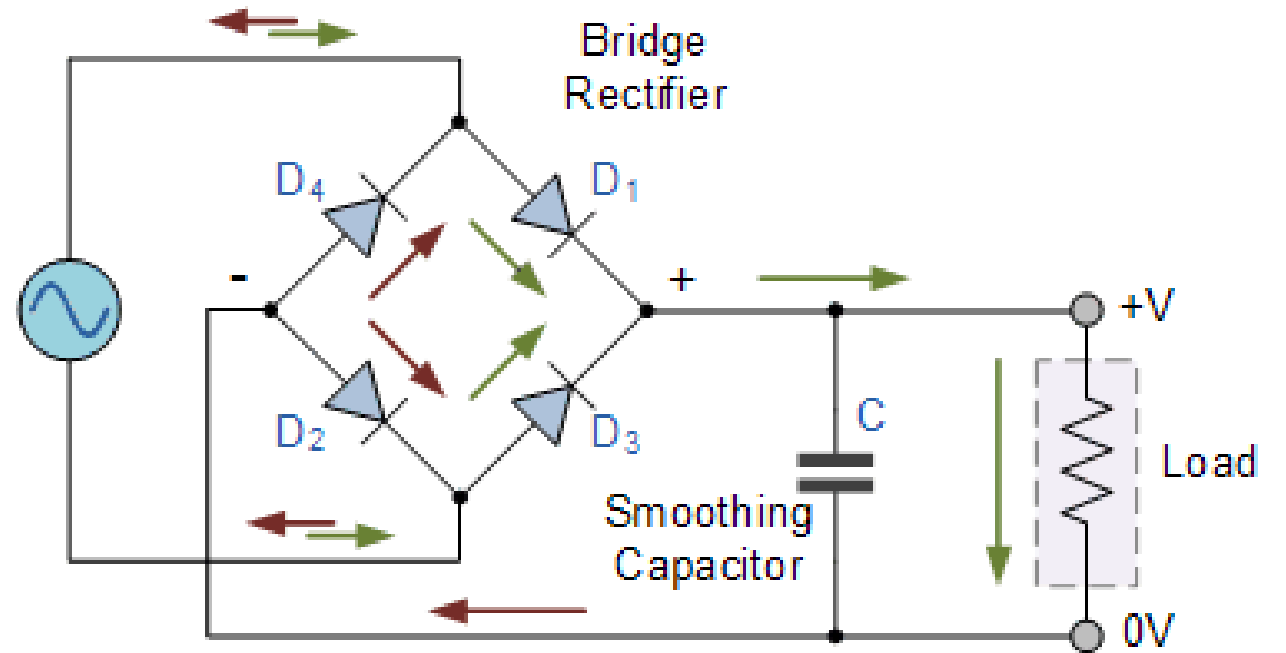
$$\frac{\Delta v_0}{V_0} = \frac{T}{R_L C} \quad \text{formula formei de undă}$$

În majoritatea aplicațiilor de alimentare este folosită o frecvență standard de 50Hz. În cazul redresoarelor de jumătate de undă $T=20\text{ms}$, iar pentru cele de undă întreagă $T=10\text{ms}$.

Frecvența de ieșire a unui redresor de undă întreagă este de două ori mai mare decât a unui redresor de jumătate de undă. Acest lucru se datorează condensatorului care se descarcă mai lent în timpul intervalelor scurte dintre pulsuri. Riplul scade atunci când constanta de timp $R_L C$ crește.

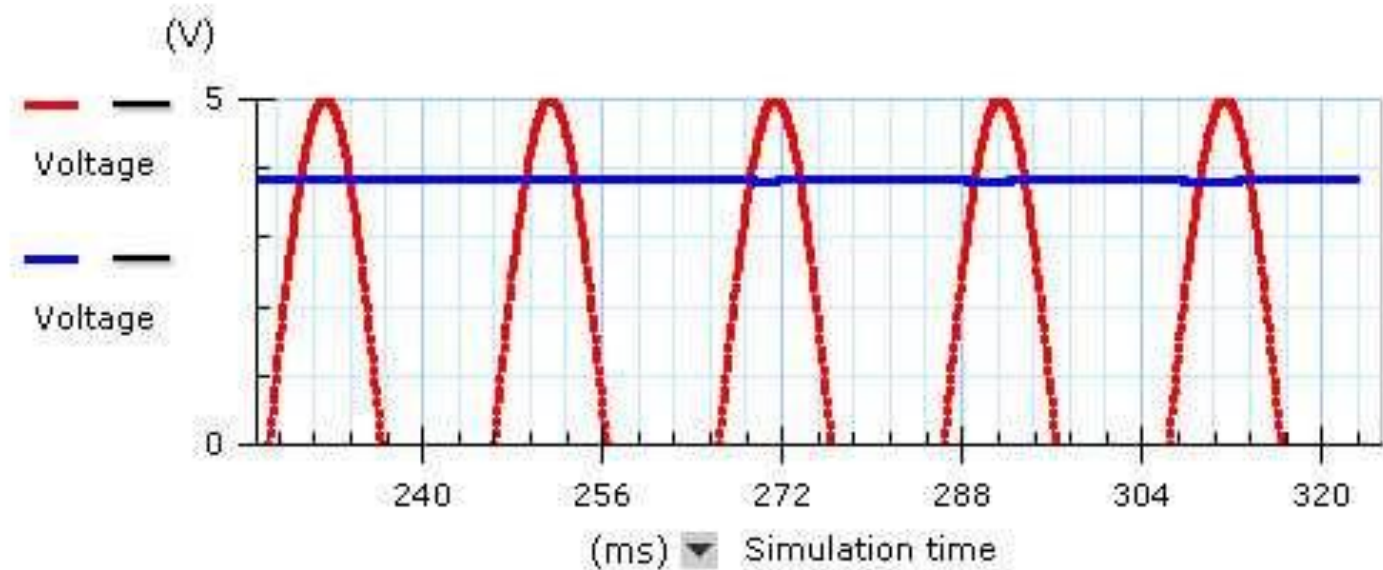
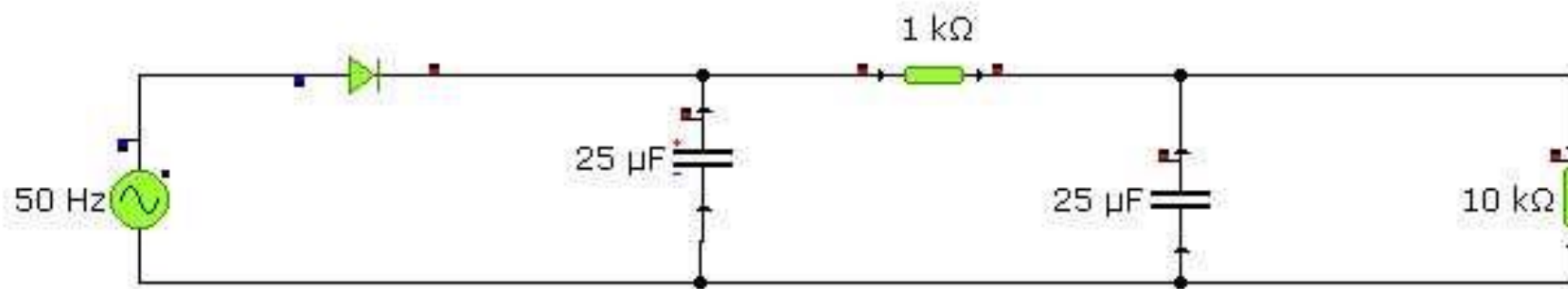


influenta condensatorului asupra riplului

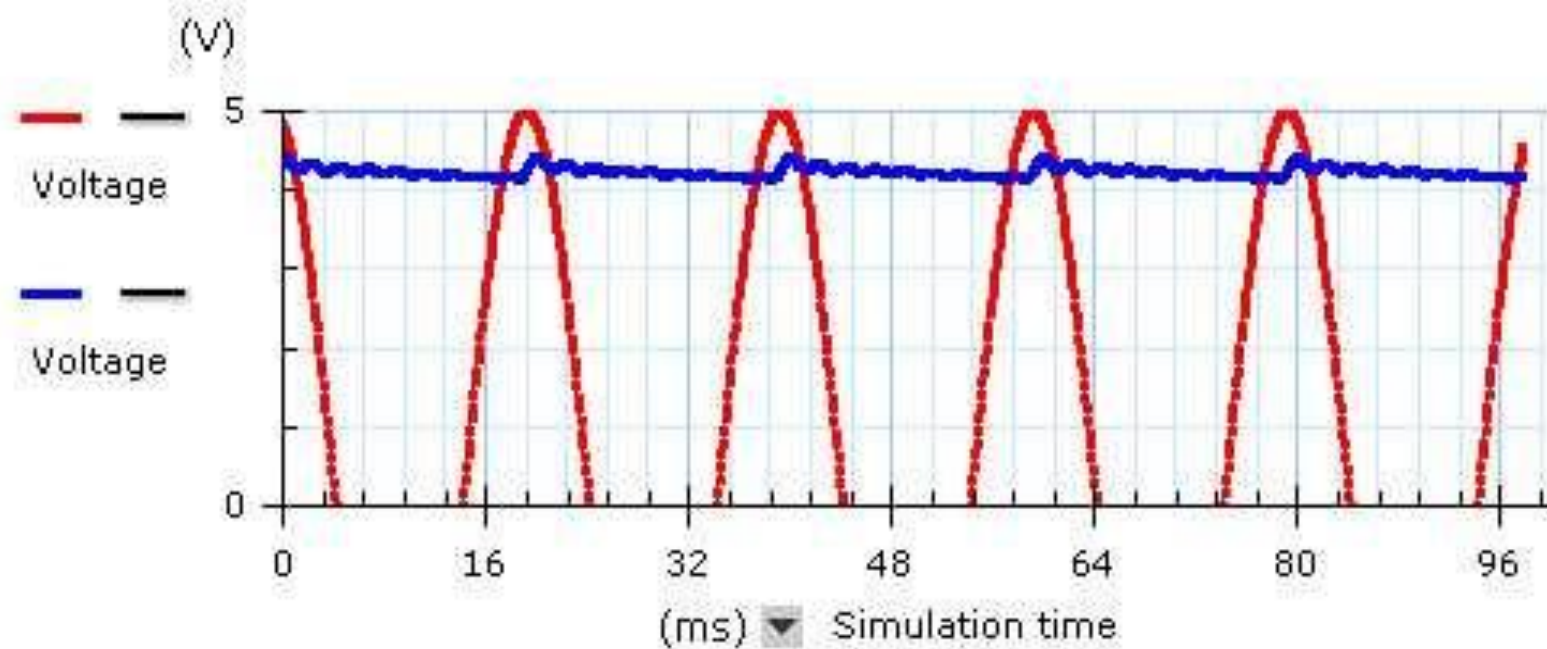
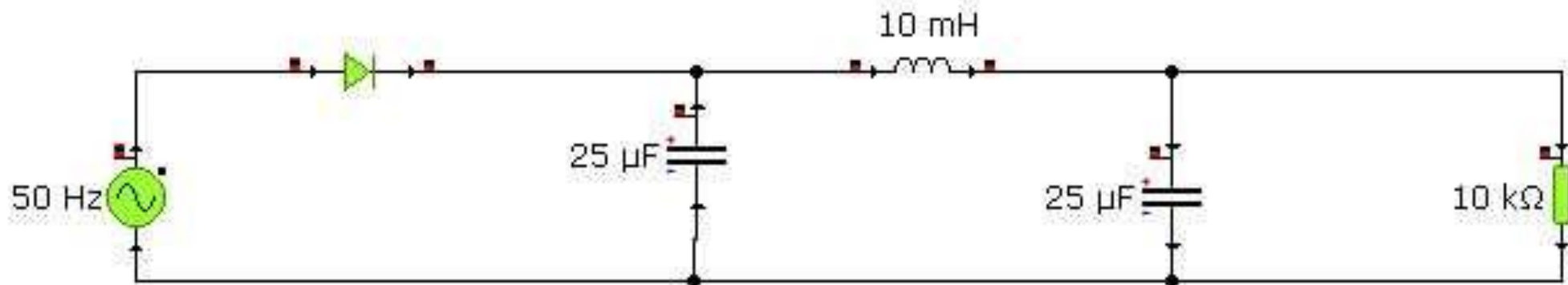


Resultant Output Waveform

REDRESOARE CU FILTRU IN π



Dezavantajul filtrului in π rezistiv este pierderea de tensiune continuă pe rezistența R_F , pierderea energiei prin efect Joule, deoarece mărimea acestei rezistențe trebuie să fie foarte mare pentru a obține un efect cât mai bun, iar aceasta implică și mari pierderi de energie.



Factorul de ondulație în sarcină este dat tot de relația (nr) dacă înlocuim pe R_F cu $|X_{LF}|$.
 După cum vedem, rezultatul filtrului in π inductive este mai slab, dar îl putem îmbunătăți măbind valoarea L_F

Filtru pasiv trece-jos

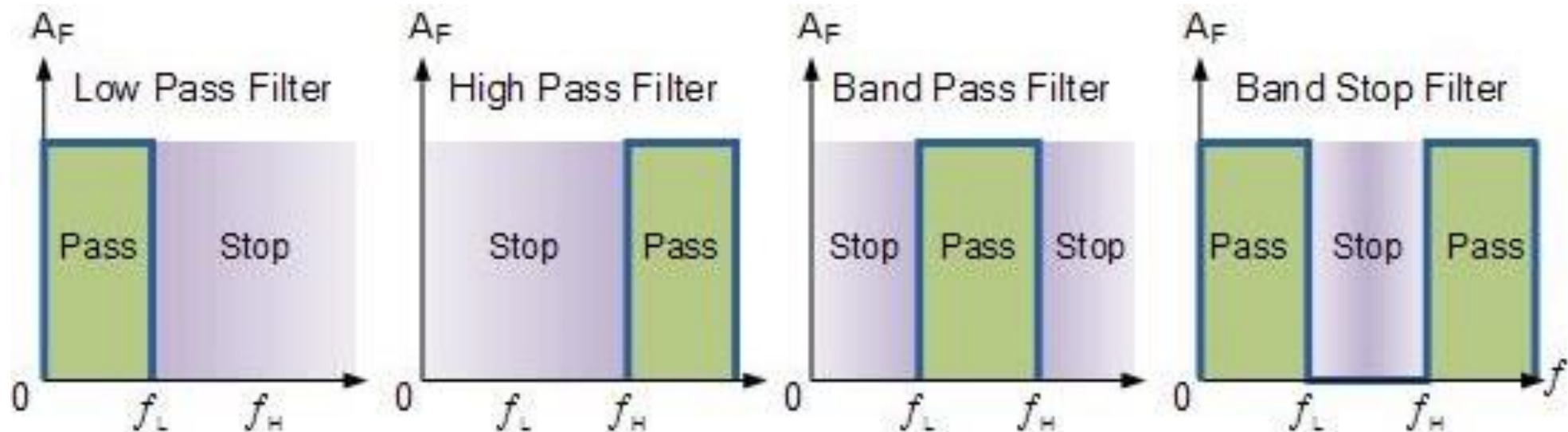
- În principiu, un filtru electric este un circuit care poate fi proiectat să modifice, să remodeleze sau să rejeteze toate frecvențele nedorite ale unui semnal electric și să accepte sau să treacă numai acele semnale dorite de proiectantul circuitelor. Cu alte cuvinte, acesta "filtrează" semnalele nedorite și un filtru ideal va separa și va trece semnale de intrare sinusoidale pe baza frecvenței lor. În aplicațiile de frecvență joasă (până la 100 kHz), filtrele pasive sunt construite în general folosind rețele simple (rezistor-condensator), în timp ce filtrele de frecvență mai mare (peste 100 kHz) sunt de obicei fabricate din componente RLC (rezistor-inductor-condensator).
- Filtrele pasive sunt compuse din componente pasive, cum ar fi rezistoare, condensatoare și inductoare și nu au elemente de amplificare (tranzistoare, amplificatoare operaționale - pe scurt op-amp etc.), astfel încât nu au un câștig de semnal, deci nivelul lor de ieșire este întotdeauna mai mic decât intrarea.

Filtru pasiv trece-jos

- Filtrele sunt denumite în funcție de gama de frecvențe a semnalelor pe care le permit să treacă prin ele, blocând sau "atenuând" restul. Cele mai frecvent utilizate forme de filtru sunt:
 - Filtrul Low Pass - filtrul trece-jos permite să treacă numai semnalele de frecvență joasă de la 0 Hz până la frecvența lui de tăiere (cut-off frequency), punctul f_c , în timp ce blochează oricare altele mai înalte.
 - Filtrul High Pass - filtrul trece-sus permite doar trecerea semnalelor de înaltă frecvență de la frecvența lui de tăiere, punctul f_c , până la infinit, în timp ce le blochează pe oricare altele mai joase.
 - Filtrul Band Pass - filtrul trece-bandă permite ca semnalele care se încadrează într-o anumită bandă de frecvență, setată între două puncte, să treacă în timp ce blochează frecvențele inferioare și superioare fiecărei părți a acestei benzi de frecvență.

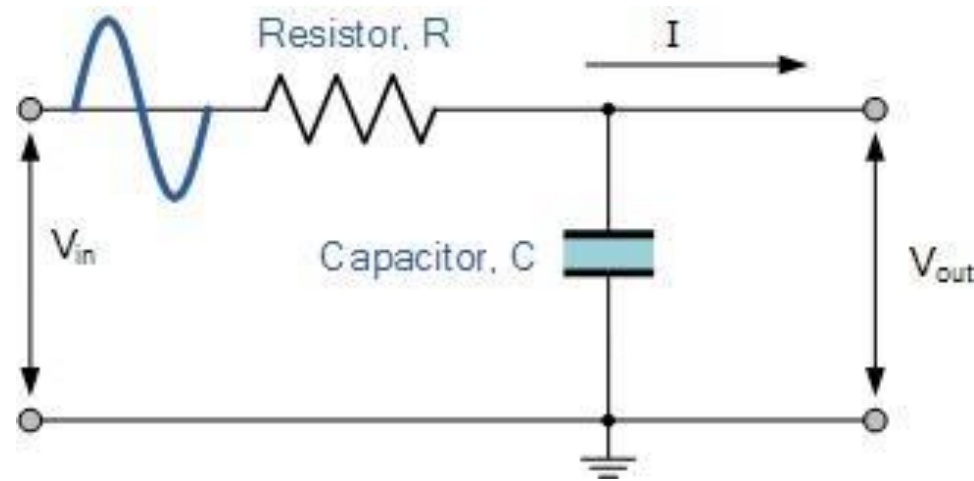
Filtru pasiv trece-jos

- Filtrele pasive simple de ordinul întâi (1st order) pot fi realizate prin conectarea împreună a unui singur rezistor și a unui singur condensator în serie cu un semnal de intrare (V_{in}), cu ieșirea filtrului (V_{out}) preluată de la joncțiunea acestor două componente.
- În funcție de modul în care conectăm rezistorul și condensatorul cu privire la semnalul de ieșire, se determină tipul de construcție a filtrului care are ca rezultat fie un filtru trece-jos, fie un filtru trece-sus.
- Deoarece funcția oricărui filtru este de a permite ca semnalele dintr-o anumită bandă de frecvențe să treacă nealterată în timp ce atenuază toate celelalte care nu sunt dorite, putem defini caracteristicile de răspuns în amplitudine ale unui filtru ideal folosind o curbă ideală de răspuns în frecvență a patru tipuri de filtru de bază, după cum se arată.



Filtrul trece-jos (Low Pass)

- Un filtru RC Low Pass simplu pasiv, sau LPF, poate fi ușor realizat prin conectarea în serie a unui singur rezistor cu un singur condensator, după cum se arată mai jos. În acest tip de aranjament de filtru, semnalul de intrare (V_{in}) este aplicat combinației serie (atât rezistor cât și condensator împreună), dar semnalul de ieșire (V_{out}) este preluat numai de pe condensator.
- Acest tip de filtru este cunoscut, în general, ca un "filtru de prim ordin" sau un "filtru cu un pol", de ce primul ordin sau un singur pol ?, deoarece are doar o componentă "reactivă", condensatorul, în circuit.



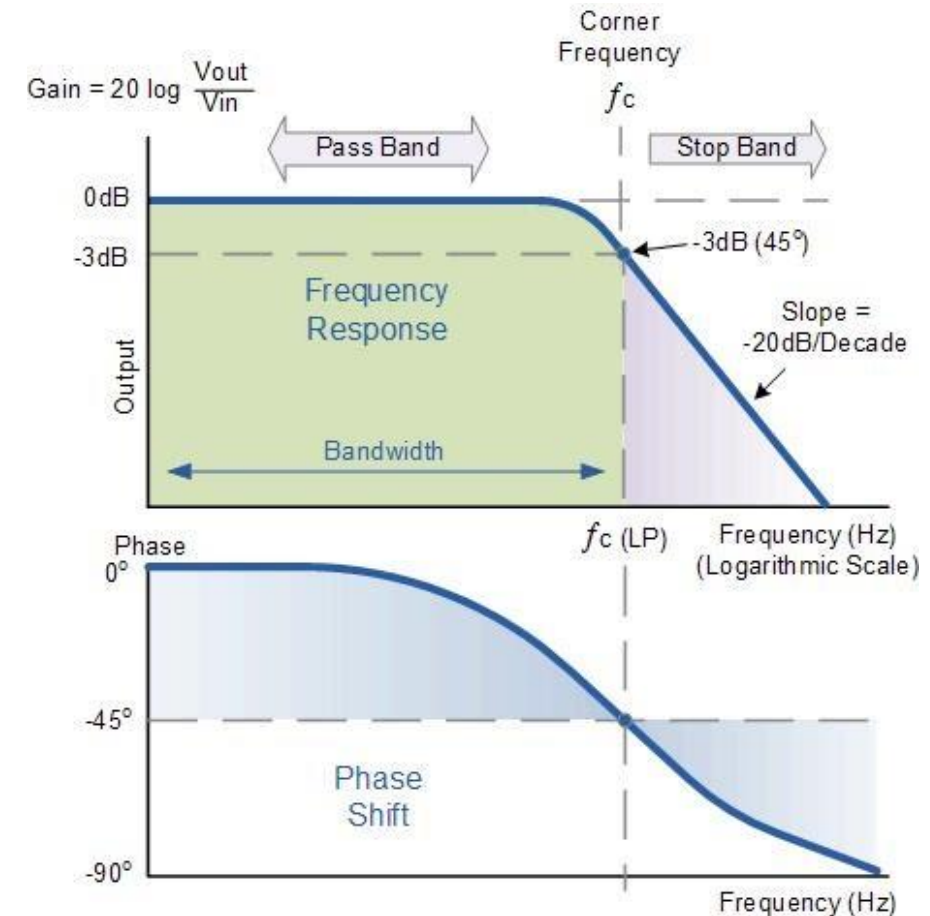
Răspunsul în frecvență al unui filtru trece-jos de ordinul I

Bode Plot (Diagrama Bode) arată că răspunsul în frecvență al filtrului este aproape neted pentru frecvențele joase și că tot semnalul de intrare este trecut direct la ieșire, rezultând un câștig de aproape 1, numit unitate, până când atinge punctul frecvență de tăiere (f_c). Acest lucru se datorează faptului că reactanța condensatorului este ridicată la frecvențe joase și blochează orice flux de curent prin condensator.

După acest punct frecvență de tăiere, răspunsul circuitului scade la zero cu o pantă "roll-off" de -20 dB/Decadă (sau -6 dB/Octavă). Rețineți că unghiul pantei, acest "roll-off" de -20 dB/Decadă va fi întotdeauna același pentru orice combinație RC.

Orice semnale de înaltă frecvență aplicate circuitului filtru trece-jos deasupra acestui punct frecvență de tăiere vor deveni foarte atenuate, adică se vor reduce rapid. Acest lucru se întâmplă deoarece la frecvențe foarte înalte, reactanța condensatorului devine atât de mică, încât dă efectul unei stări de scurtcircuit la bornele de ieșire, rezultând o ieșire zero.

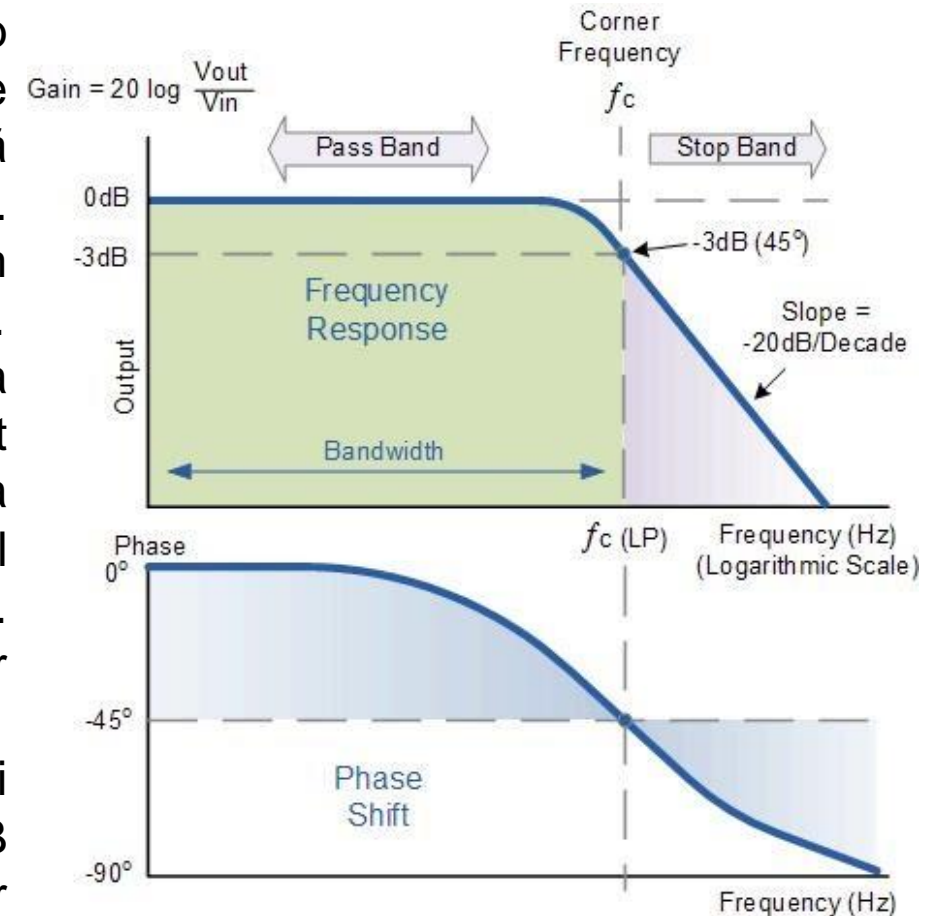
Atunci, selectând cu atenție combinația corectă de rezistor-condensator, putem crea un circuit RC care să permită o gamă de frecvențe sub o anumită valoare să treacă prin circuit neafectată, în timp ce orice frecvență aplicată circuitului, de deasupra acestui punct de tăiere este atenuată, creând ceea ce se numește frecvent un filtru trece-jos.



Răspunsul în frecvență al unui filtru trece-jos de ordinul I

Pentru acest tip de circuit "Low Pass Filter", toate frecvențele de sub acest punct de tăiere, f_c , care sunt nemodificate cu atenuare mică sau de loc se spune că sunt în zona filtrelor Pass band (trece-bandă). Această zonă de trece-bandă reprezintă de asemenea lățimea de bandă a filtrului. Orice frecvență a semnalului deasupra acestui punct de tăiere este în general declarată a fi în zona filtrelor oprește-bandă și va fi mult atenuată. Această frecvență "Cut-off", "Corner" sau "Breakpoint" este definită ca fiind punctul de frecvență în care reactanța capacitivă și rezistența sunt egale, $R = X_c = 4k7 \Omega$. În acest caz, semnalul de ieșire este atenuat la 70,7% din valoarea semnalului de intrare sau -3 dB ($20 \log (V_{out}/V_{in})$) al intrării. Deși $R = X_c$, ieșirea nu este jumătate din semnalul de intrare. Acest lucru se datorează faptului că este egală cu suma vectorială a celor două și este, prin urmare, 0,707 din intrare.

Deoarece filtrul conține un condensator, unghiul de fază (Φ) al semnalului de ieșire LAGS dincolo de cel al intrării și la frecvența cut-off de -3 dB (f_c) este -45° defazat. Acest lucru se datorează timpului necesar încărcării plăcilor condensatorului ca modificări ale tensiunii de intrare, rezultând că tensiunea de ieșire (tensiunea pe condensator) "rămâne" în spatele semnalului de intrare. Cu cât este mai mare frecvența de intrare aplicată la filtru, cu atât mai mult condensatorul se blochează și circuitul devine tot mai mult "defazat".



Răspunsul în frecvență al unui filtru trece-jos de ordinul I

- Punctul frecvență cut-off și unghiul de schimbare a fazei pot fi găsite utilizând următoarea ecuație:

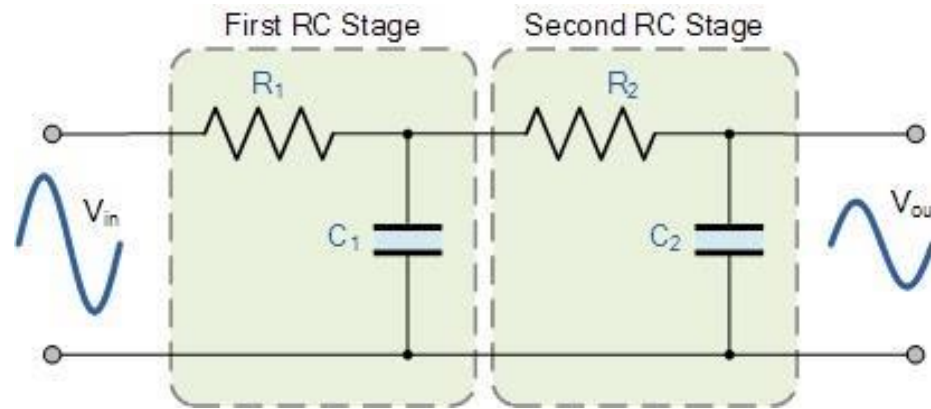
$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \times 4700 \times 47 \times 10^{-9}} = 720 \text{ Hz}$$

$$\text{Phase Shift } \varphi = -\arctan(2\pi fRC)$$

- Atunci, pentru exemplul nostru simplu al unui circuit "Low Pass Filter" de mai sus, frecvența cut-off (f_c) este dată la 720 Hz cu o tensiune de ieșire de 70,7% din valoarea tensiunii de intrare și un unghi de defazare de -45° .

Filtru Low Pass de ordin doi

- Până acum am văzut că acele simple filtre RC trece-jos de ordinul întâi pot fi realizate prin conectarea unui singur rezistor în serie cu un singur condensator. Acest aranjament cu un singur pol ne oferă o pantă roll-off de atenuare a frecvențelor de -20 dB/decadă deasupra punctului de tăiere la f_{-3dB} . Cu toate acestea, uneori în circuitele de filtrare acest unghi de -20 dB/decadă (-6dB/octavă) al pantei poate să nu fie suficient pentru a elimina un semnal nedorit și atunci pot fi utilizate două etape de filtrare, așa cum se arată.

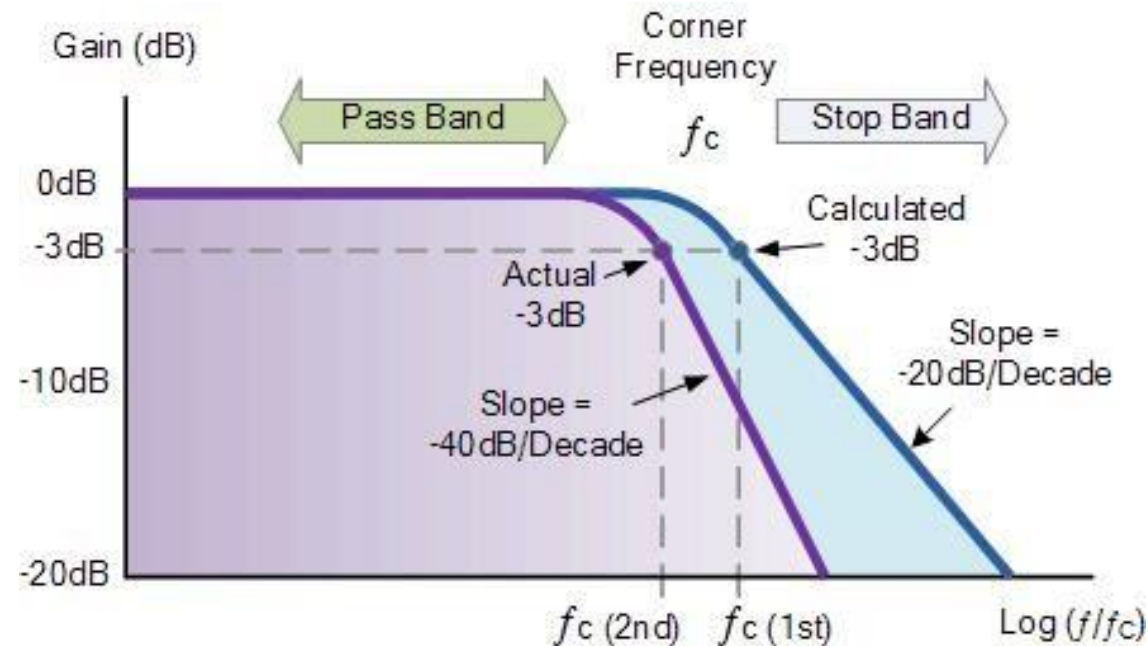


Frecvența cut-off pentru filtru de ordin doi

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 C_1 R_2 C_2}} \text{ Hz}$$

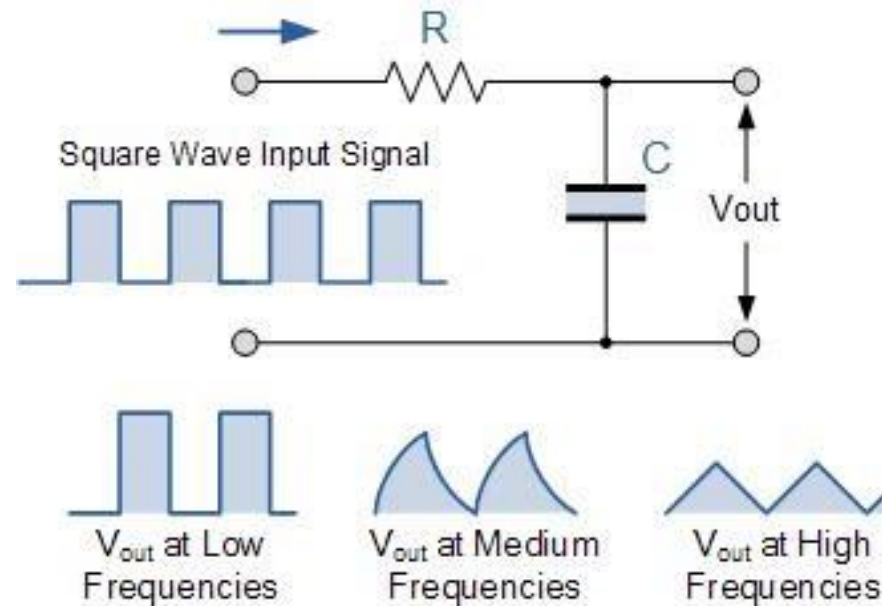
Răspunsul în frecvență al unui filtru trece-jos de ordin doi

- În practică, legarea în cascadă împreună a filtrelor pasive pentru a produce filtre de ordin mai mare este dificil de implementat cu exactitate, deoarece impedanța dinamică a fiecărui ordin de filtrare afectează rețeaua vecină. Dar, pentru a reduce efectul de încărcare putem face impedanța fiecărui etaj următor 10x cea a etajului anterior, deci $R2 = 10 \times R1$ și $C2 = (1/10) C1$. Rețelele de ordin doi și cele de mai sus sunt utilizate în general în circuitele de feedback ale op-amp, făcând ceea ce sunt cunoscute sub denumirea de [Filtre active](#) sau ca o rețea de schimbare fază în circuitele [oscilatorului RC](#).



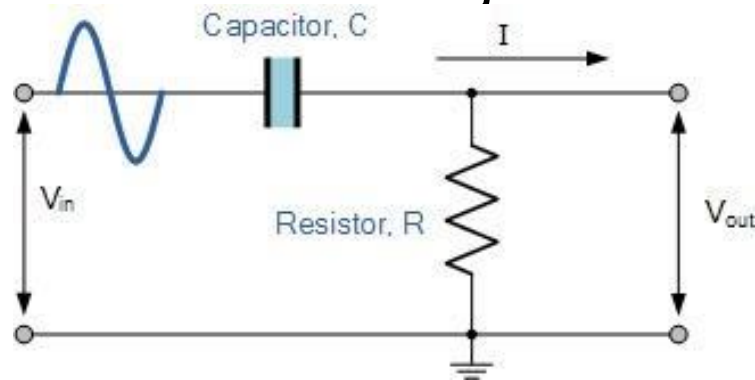
Circuitul RC integrator-Aplicație

- este practic un circuit filtru trece-jos care funcționează în domeniul timp și care convertește un semnal de intrare "treaptă" de undă dreptunghiulară într-o formă de undă la ieșire în formă triunghiulară ca încărcări și descărcări ale condensatorului. O formă de undă triunghiulară constă din rampe alternative, dar egale, pozitive și negative.
- Așa cum se vede mai jos, dacă constanta de timp RC este mare în comparație cu perioada de timp a formei de undă de intrare, forma de undă rezultată la ieșire va fi triunghiulară și cu cât frecvența de intrare este mai mare, cu atât amplitudinea de ieșire va fi mai mică decât cea a intrării.
- Aceasta face atunci acest tip de circuit ideal pentru conversia unui tip de semnal electronic într-altul pentru a fi utilizat în circuite de generare a undelor sau de modelare a undelor.



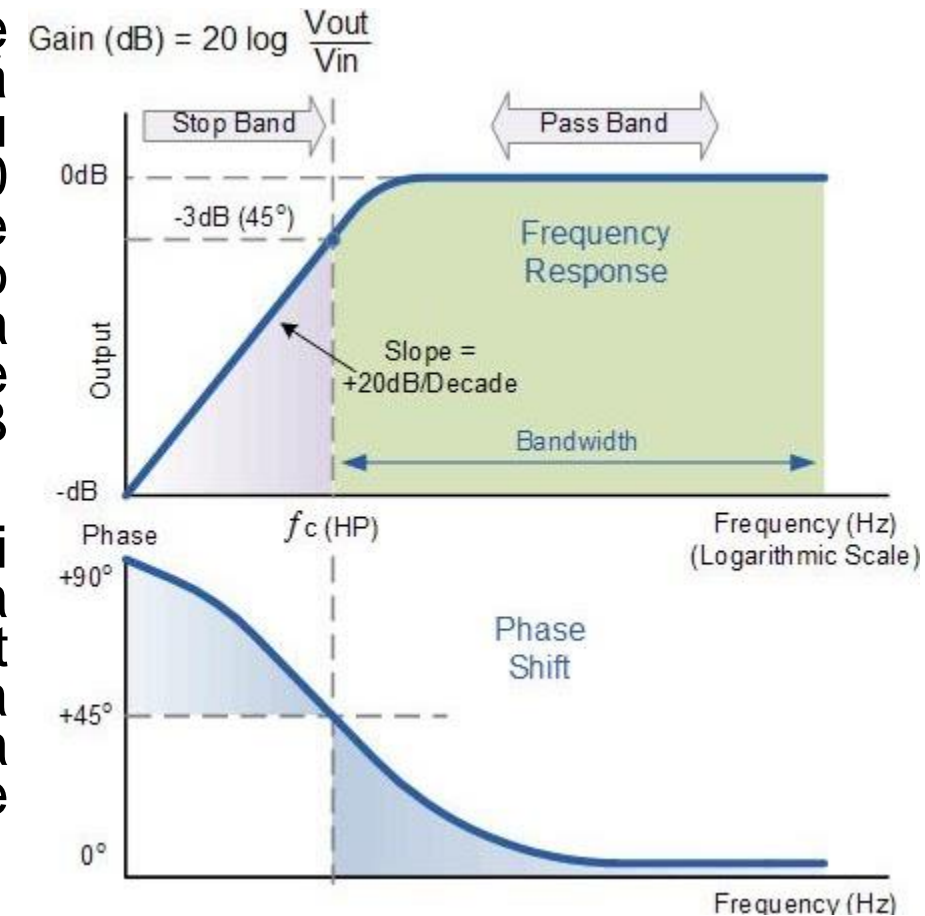
Filtru pasiv trece-sus (High Pass)

- Un filtru High Pass sau HPF este exact opus circuitului filtru trece-jos, deoarece cele două componente au fost interschimbate, semnalul de ieșire al filtrului (V_{out}) fiind preluat de pe rezistor.
- Pe când filtrul trece-jos trece numai semnalele permise de sub punctul de frecvență cut-off, f_c , circuitul filtru pasiv trece-sus, după cum sugerează și numele său, trece doar semnale deasupra punctului cut-off selectat, f_c , eliminând orice semnale de frecvență joasă din forma de undă.
- În acest circuit, reactanța condensatorului este foarte ridicată la frecvențe joase, astfel încât condensatorul acționează ca un circuit deschis și blochează orice semnale de intrare la V_{in} până la atingerea punctului de frecvență cut-off (f_c). Deasupra acestui punct de frecvență cut-off, reactanța condensatorului a fost redusă suficient pentru a acționa acum mai mult ca un scurtcircuit care permite ca întreg semnalul de intrare să treacă direct la ieșire, după cum se arată mai jos în curba de răspuns a filtrelor.



Răspunsul în frecvență al unui filtru trece-sus de prim-ordin

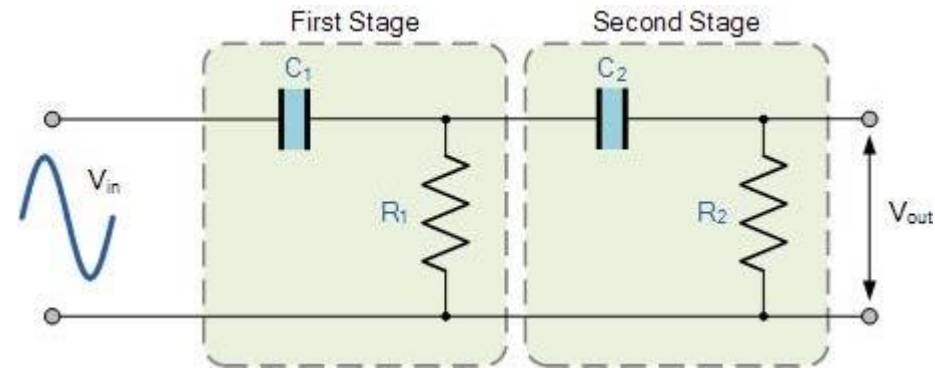
- Diagrama Bode, sau Curba de răspuns în frecvență, de mai sus pentru un filtru pasiv trece-sus este exact opusă celei a unui filtru trece-jos. Aici semnalul este atenuat sau amortizat la frecvențe joase, ieșirea crescând la +20 dB/Decadă (6 dB/Octavă) până când frecvența atinge punctul de cut-off (f_c) unde din nou $R = X_c$. Aceasta are o curbă de răspuns care se extinde de la infinit la frecvența cut-off, unde amplitudinea tensiunii de ieșire este $1/\sqrt{2} = 70,7\%$ din valoarea semnalului de intrare sau -3 dB ($20 \log (V_{out}/V_{in})$) din valoarea de intrare.
- De asemenea, vedem că unghiul de fază (Φ) al semnalului de ieșire conduce pe cel al intrării și este egal cu $+45^\circ$ la frecvența f_c . Curba de răspuns în frecvență pentru acest filtru implică faptul că filtrul poate trece toate semnalele la infinit. Totuși, în practică, răspunsul filtrului nu se extinde la infinit, ci este limitat de caracteristicile electrice ale componentelor utilizate.



Punctul de frecvență cut-off pentru un filtru trece-sus de ordinul I poate fi găsit folosind aceeași ecuație ca și filtrul trece-jos, dar ecuația pentru schimbarea de fază este ușor modificată pentru a ține cont de unghiul de fază pozitiv, după cum se arată mai jos.

Filtru trece-sus de ordinul doi

- Din nou, ca și în cazul filtrelor trece-jos, etapele filtrelor trece-sus pot fi legate împreună în cascadă pentru a forma un filtru de ordinul doi (doi poli), așa cum se arată.

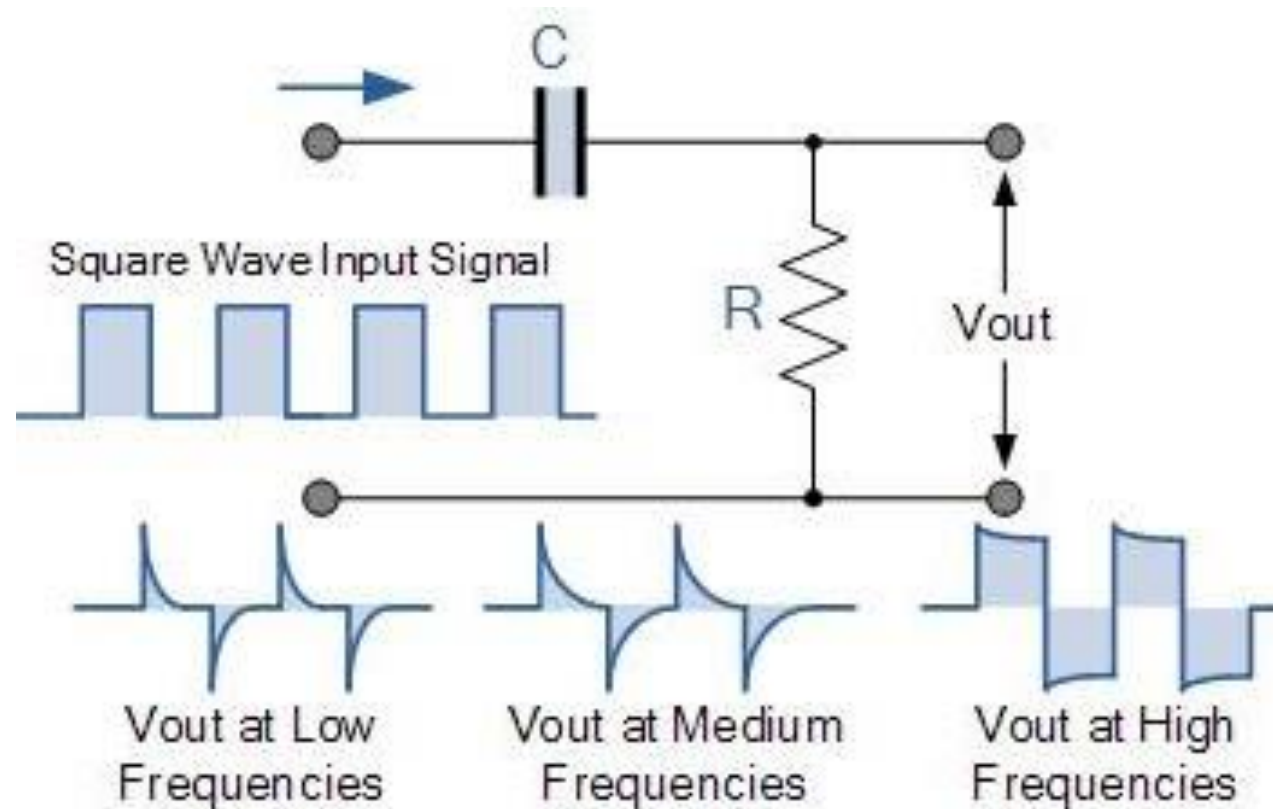


- Circuitul de mai sus utilizează două filtre de prim ordin conectate sau legate împreună în cascadă pentru a forma o rețea de trece-sus de ordin doi sau doi poli. Astfel, un etaj al filtrului de prim ordin poate fi transformat într-un tip de ordinul doi prin simpla utilizare a unei rețele RC suplimentare, la fel ca și pentru filtrul trece-jos de ordinul doi. Circuitul rezultat de filtru trece-sus de ordin doi va avea o pantă de 40 dB/decadă (12 dB/octavă).
- Ca și în cazul filtrului trece-jos, frecvența cut-off, f_c , este determinată atât de rezistoare, cât și de condensatoare, după cum urmează.

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 C_1 R_2 C_2}} \text{ Hz}$$

Circuitul de diferențiere RC-Aplicație

- Fiecare ciclu al formei de undă dreptunghiulară de intrare produce două vârfuri la ieșire, unul pozitiv și unul negativ și a căror amplitudine este egală cu cea a intrării. Rata de degradare a vârfurilor depinde de constanta de timp, valoarea (RC) a ambelor componente, ($t = R \times C$) și valoarea frecvenței de intrare. Impulsurile de ieșire se aseamănă tot mai mult cu forma semnalului de intrare, pe măsură ce crește frecvența.

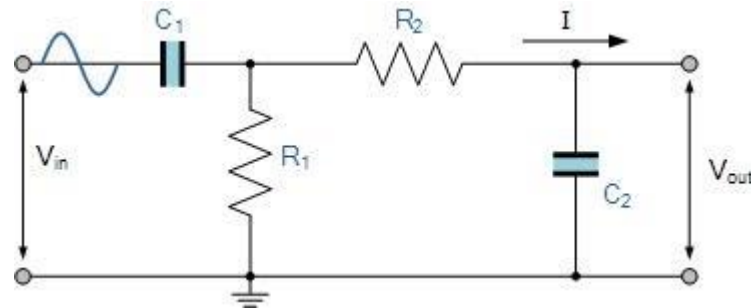


Filtru pasiv trece-bandă (Band Pass)

- Filtrele Band Pass pot fi, de asemenea, folosite pentru a izola sau a filtra anumite frecvențe care se află într-o anumită bandă sau gamă de frecvențe.
- Frecvența cut-off sau punctul f_c într-un filtru simplu pasiv RC poate fi controlată cu acuratețe folosind doar un singur rezistor în serie un condensator nepolarizat și în funcție de modul în care sunt conectate, am văzut că se obține fie un filtru Low Pass sau un filtru High Pass.
- O utilizare simplă pentru aceste tipuri de filtre pasive este în aplicații sau circuite de amplificare audio, cum ar fi în filtre încrucișate ale difuzoarelor sau în comenzi de ton preamplificator. Uneori este necesar să treacă doar o anumită gamă de frecvențe care nu începe la 0 Hz, (DC) sau se termină la un punct de frecvență superioară înaltă, dar se află într-un anumit interval sau bandă de frecvențe, fie înguste, fie largi.

Filtru pasiv trece-bandă (Band Pass)

- Prin conectarea împreună a unui circuit filtru Low Pass cu un circuit filtru High Pass, putem produce un alt tip de filtru pasiv RC care trece un domeniu selectat sau o "bandă" de frecvențe care pot fi fie înguste, fie largi, în timp ce face atenuarea tuturor celor din afara acestui interval. Acest nou tip de aranjament filtrant pasiv produce un filtru selectiv de frecvență cunoscut în mod obișnuit ca un filtru **Band Pass Filter** (trece bandă) sau BPF pe scurt.



Spre deosebire de un [filtru trece-jos](#), care trece doar semnalele cu un domeniu de frecvență joasă sau un [filtru trece-sus](#), care trece semnale cu un domeniu de frecvență mai înalt, un filtru Band Pass trece semnale într-o anumită "bandă" sau "propagă" frecvențe fără a distorsiona semnalul de intrare sau a introduce zgomot suplimentar. Această bandă de frecvențe poate fi de orice lățime și este cunoscută în mod obișnuit ca Bandwidth (lățimea de bandă) a filtrelor.

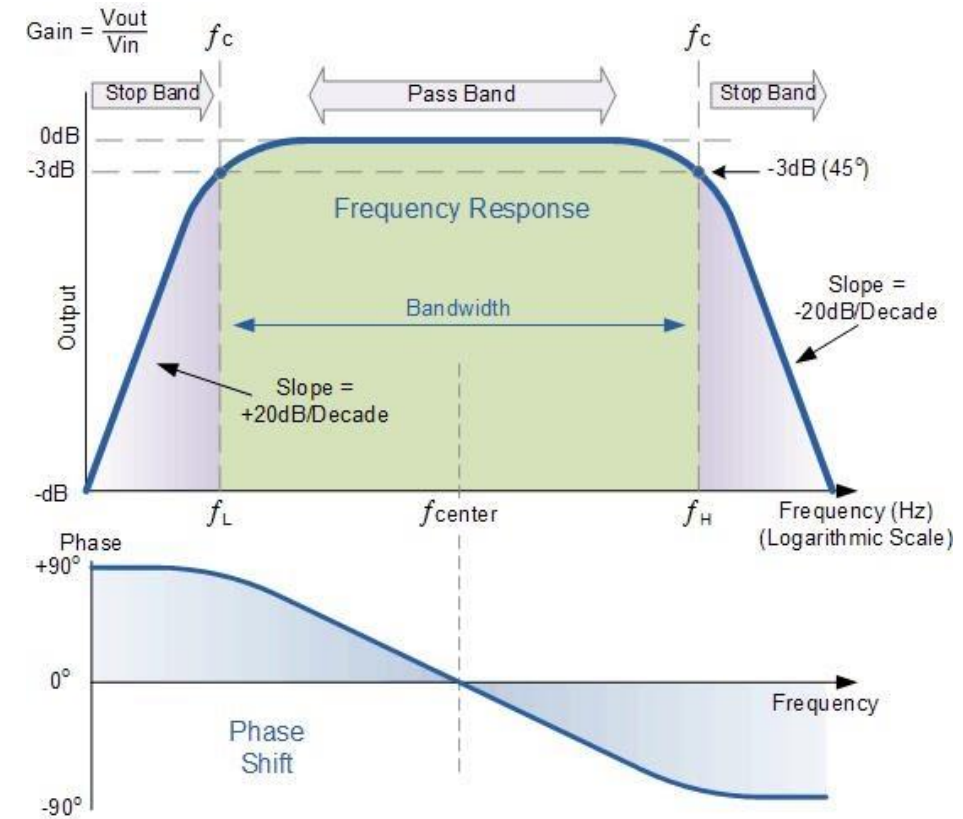
Filtru pasiv trece-bandă (Band Pass)

- Lățimea de bandă este definită în mod obișnuit ca intervalul de frecvență care există între două puncte cut-off de frecvențe specificate (f_c), care sunt 3 dB sub vârful maxim sau vârful rezonant, în timp ce se face atenuarea sau slăbirea celorlalte în afara acestor două puncte.
- Deci, pentru frecvențe foarte răspândite, putem defini pur și simplu termenul "lățime de bandă", BW ca fiind diferența dintre frecvența cut-off mai joasă (f_{cLOWER}) și frecvența cut-off mai înaltă ($f_{cHIGHER}$). Cu alte cuvinte, $BW = f_H - f_L$. În mod evident pentru ca filtrul trece-bandă să funcționeze corect, frecvența cut-off a filtrului trece-jos trebuie să fie mai mare decât frecvența cut-off pentru filtrul trece-sus.
- Filtrul Band Pass "ideal" poate fi, de asemenea, utilizat pentru izolarea sau filtrarea anumitor frecvențe care se află într-o anumită bandă de frecvențe, de exemplu, anularea zgomotului. Filtrele trece-bandă sunt cunoscute în general ca filtre de ordinul doi (doi-poli), deoarece au "două" componente reactive, condensatoarele, în cadrul schemei lor de circuit, un condensator în circuitul trece-jos și un alt condensator în circuitul trece-sus.

Răspunsul în frecvență al unui filtru Band Pass de ordinul doi

Diagrama Bode, sau curba de răspuns în frecvență, de mai sus arată caracteristicile filtrului trece-bandă. Aici semnalul este atenuat la frecvențe joase, ieșirea crescând la o pantă de +20 dB/Decadă (6 dB/Octavă) până când frecvența atinge punctul "cut-off" inferior f_L . La această frecvență, tensiunea de ieșire este din nou $1/\sqrt{2} = 70,7\%$ din valoarea semnalului de intrare sau -3 dB ($20 \log(V_{out}/V_{in})$) a intrării.

Ieșirea continuă la câștigul maxim până când atinge punctul "cut-off" superior f_H unde ieșirea scade cu o viteză de -20 dB/Decadă (6 dB/Octavă) atenuând orice semnale de înaltă frecvență. Punctul de maxim al câștigului de ieșire este, în general, media geometrică a celei două valori de -3 dB între punctele cut-off inferior și cel superior și se numește valoarea "Center Frequency" sau "Resonant Peak" f_r . Această valoare medie geometrică este calculată ca fiind $f_r^2 = f(\text{UPPER}) \times f(\text{LOWER})$.

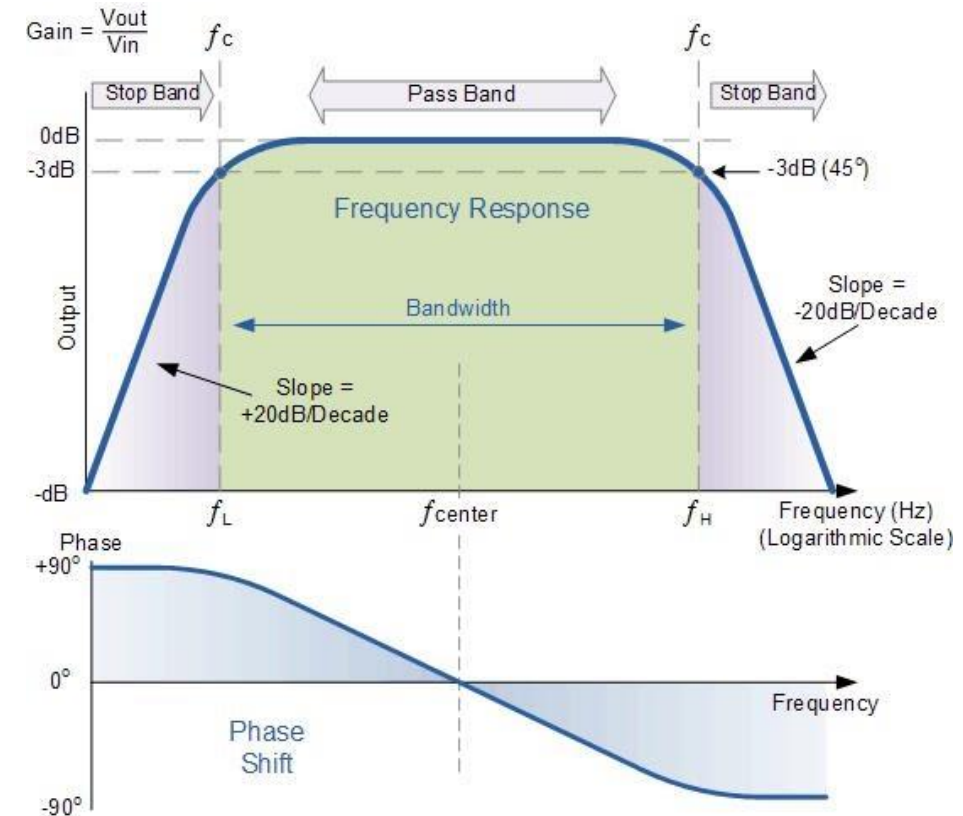


Răspunsul în frecvență al unui filtru Band Pass de ordinul doi

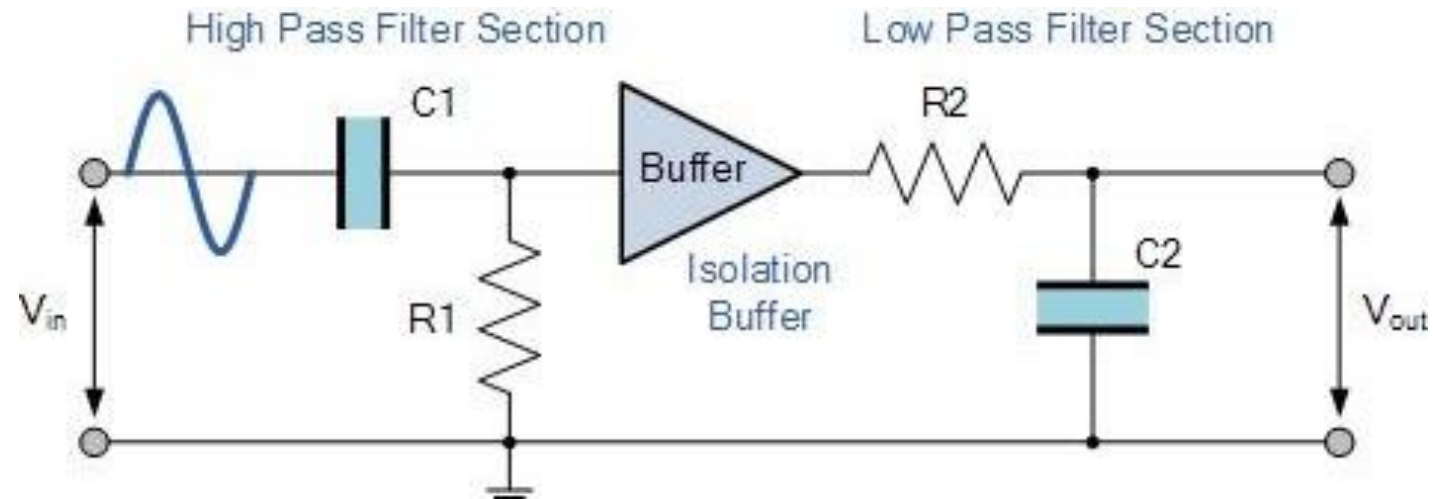
- Un filtru de bandă este considerat ca un filtru de ordin 2 (doi poli) deoarece are două componente reactive în structura sa de circuit, atunci unghiul de fază va fi de două ori mai mare decât cel al filtrelor de prim ordin, 180° . Unghiul de fază al semnalului de ieșire LEADS cel al intrării cu $+90^\circ$ până la frecvența de centru sau frecvența de rezonanță, punctul f_r unde devine "zero"grade (0°) sau "in-phase" și apoi schimbă la LAG intrarea la -90° deoarece crește frecvența de ieșire.
- Punctele de frecvență cut-off superioară și inferioară pentru un filtru trece-bandă pot fi găsite utilizând aceeași formulă ca și pentru filtrele trece-jos și trece-sus, de exemplu:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \text{ Hz}$$

În mod clar, lățimea benzii de trecere a filtrului poate fi controlată prin poziționarea celor două puncte de frecvență cut-off ale celor două filtre.



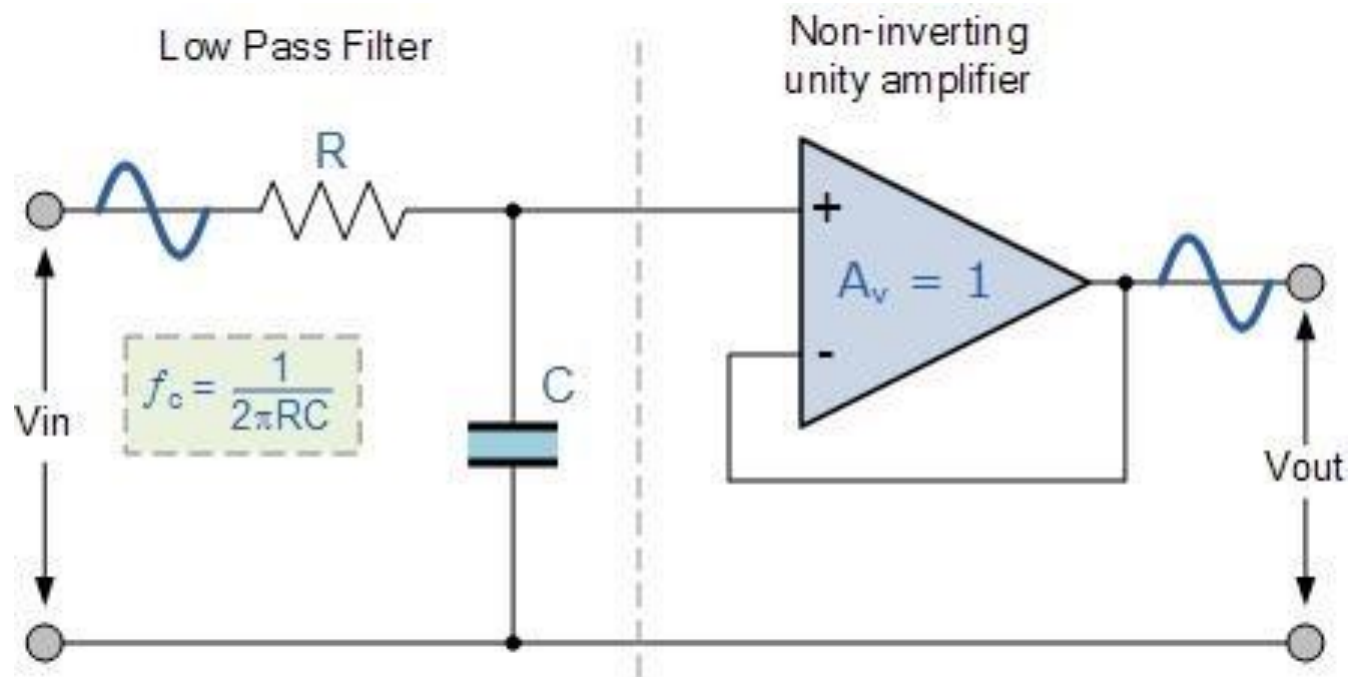
Etaje de filtru individual cu tampon (buffering)-Aplicație



- O modalitate de a combina amplificarea și filtrarea în același circuit ar fi utilizarea unui amplificator operațional. Acestea oferă, nu numai câștig, ci și oferă o izolare între etaje. Aceste tipuri de filtre sunt în general cunoscute ca filtre active.

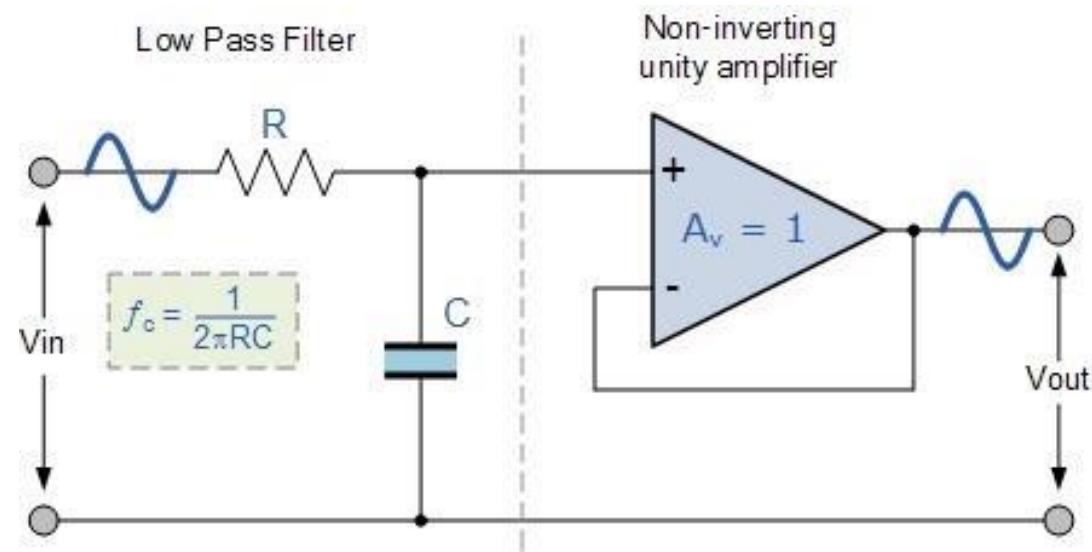
Filtru activ trece-jos (Low Pass)

- Cel mai obișnuit și ușor de înțeles filtru activ este Filtrul activ Low Pass. Principiul său de funcționare și răspunsul în frecvență sunt exact aceleași ca și cele pentru filtrul pasiv văzut anterior, singura diferență de această dată este aceea că utilizează un op-amp pentru amplificarea și controlul câștigului. Cea mai simplă formă a unui filtru activ trece-jos este conectarea unui amplificator inversor sau neinversor, la circuitul de bază al filtrului RC Low-Pass, ca mai jos.



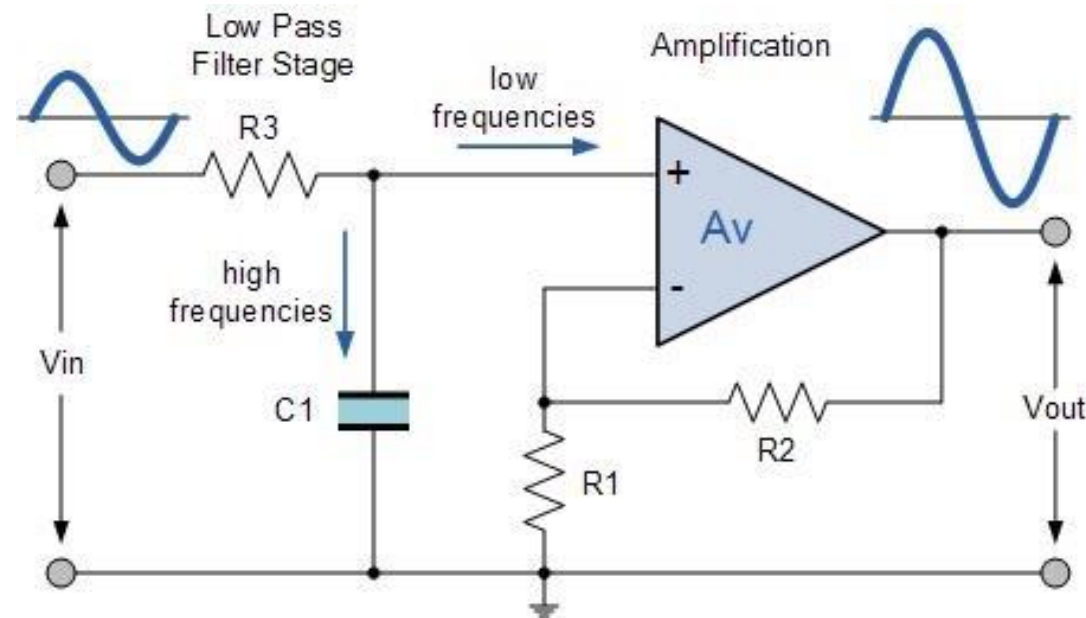
Filtru activ trece-jos (Low Pass)

- Acest filtru activ trece-jos de prim ordin, constă pur și simplu dintr-un etaj de filtrare pasivă RC care asigură o cale de frecvență joasă la intrarea unui amplificator operațional neinversor. Amplificatorul este configurat ca un repetor de tensiune (Buffer), obținându-i un câștig DC de 1, $A_v = +1$ sau câștig unitate, spre deosebire de filtrul RC pasiv anterior care are un câștig DC mai mic decât unitatea.
- Avantajul acestei configurații este acela că impedanța de intrare ridicată a op-amp previne încărcarea excesivă a ieșirilor filtrelor, în timp ce impedanța scăzută de ieșire împiedică punctul de frecvență cut-off al filtrelor să fie afectat de modificările impedanței de sarcină.



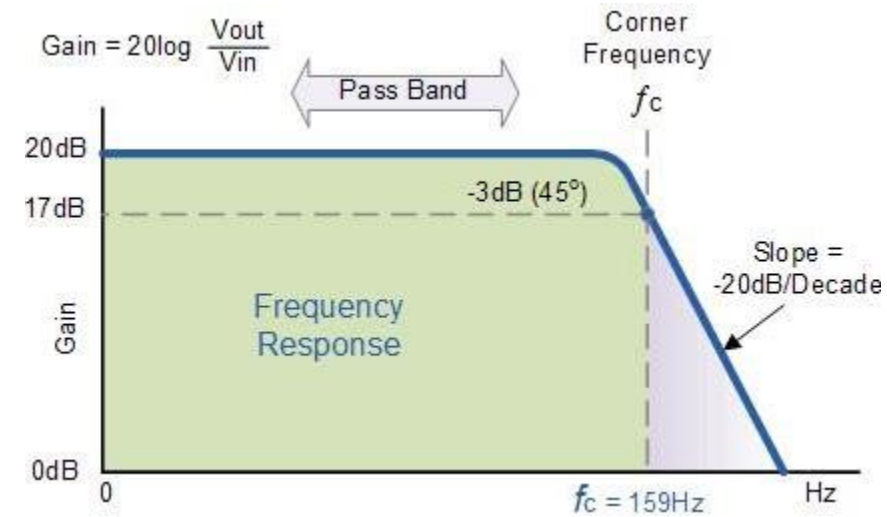
Filtru activ trece-jos cu amplificare

- În timp ce această configurație asigură stabilitate bună a filtrului, principalul său dezavantaj este că nu are un câștig de tensiune mai mare decât unu. Cu toate acestea, deși câștigul de tensiune este unitate câștigul de putere este foarte mare, deoarece impedanța de ieșire este mult mai mică decât impedanța de intrare. Dacă este necesar un câștig de tensiune mai mare decât unu, putem folosi următorul circuit de filtrare.
- Răspunsul în frecvență al circuitului va fi același ca cel pentru filtrul pasiv RC, cu excepția faptului că amplitudinea ieșirii este mărită de câștigul benzii de trecere, AF al amplificatorului.

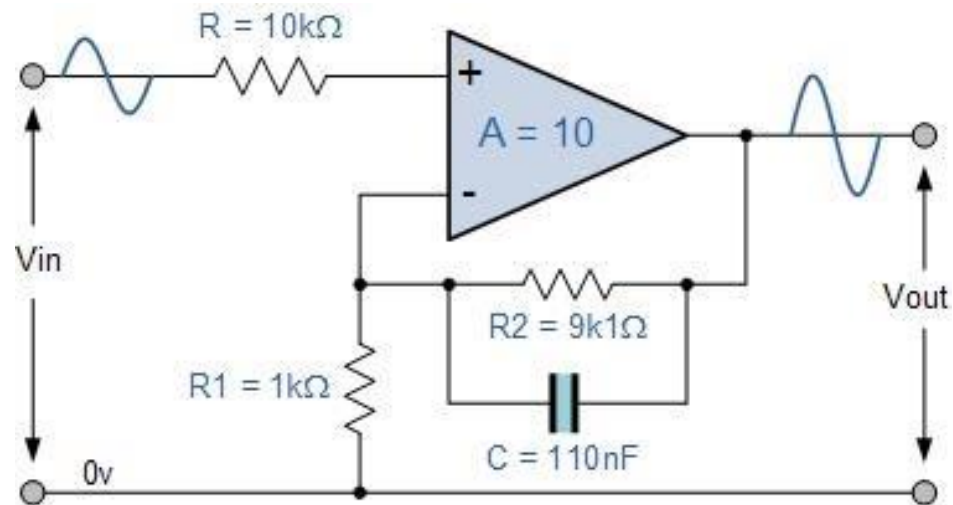


Curba răspunsului în frecvența

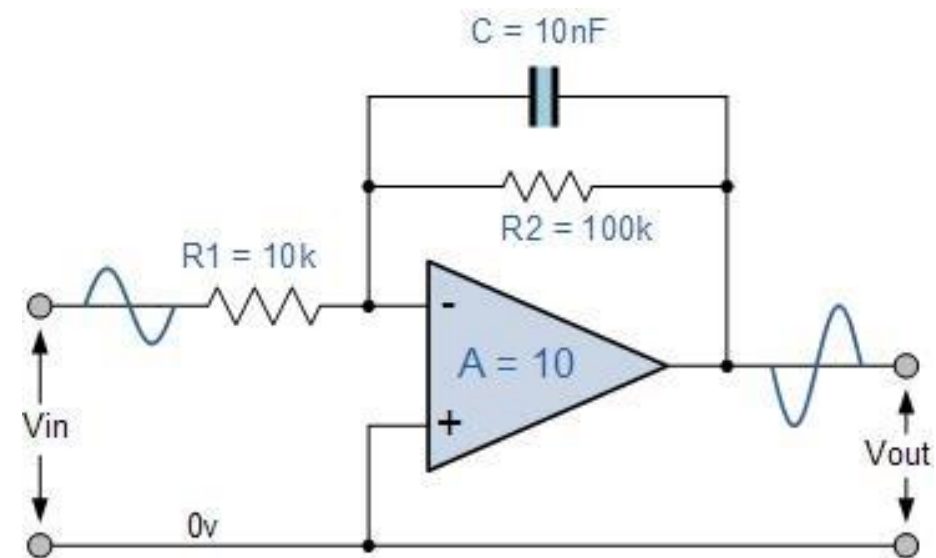
- Dacă se modifică impedanța externă conectată la intrarea circuitului, această modificare va afecta  i frecvența de col  a filtrului (componente conectate în serie sau paralel). O modalitate de a evita acest lucru este de a plasa condensatorul în paralel cu rezistorul de feedback R2.
- Valoarea condensatorului se va schimba ușor de la 100 nF la 110 nF pentru a  ine cont de rezistorul de 9 k  si formula folosită pentru a calcula frecvența cut-off este aceeași cu cea folosită pentru filtrul pasiv Low Pass RC.



Circuit simplificat de filtru cu amplificator neinversor- Aplicație



Circuitul echivalent de filtru cu amplificator inversor- Aplicație

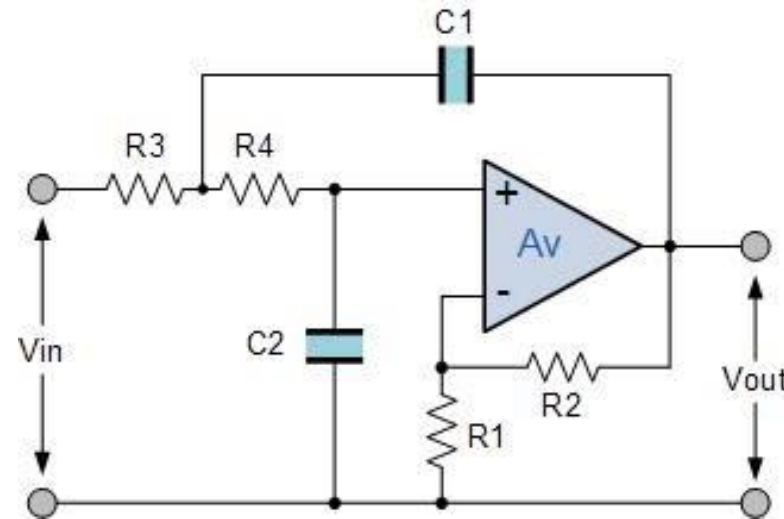


Aplicațiile filtrelor active Low Pass sunt în amplificatoare audio, egalizatoare sau sisteme de difuzoare pentru a direcționa semnalele bass de frecvență mai joasă către difuzoarele de bass mai mari sau pentru a reduce orice zgomot de înaltă frecvență sau distorsiuni de tip "hiss". Când se folosește astfel în aplicațiile audio, filtrul activ trece-jos este numit uneori filtru "Bass Boost".

Filtru activ Low Pass de ordin doi

- Ca și în cazul filtrului pasiv, un filtru activ Low-Pass de prim ordin poate fi transformat într-un filtru Low Pass de ordin doi pur și simplu utilizând o rețea suplimentară RC în calea de intrare. Răspunsul în frecvență al filtrului Low-Pass de ordinul doi este identic cu cel al tipului de prim ordin, cu excepția faptului că roll-off-ul benzii de oprire va fi dublu decât al filtrului de ordin întâi, la 40 dB/decadă (12 dB/octavă). Prin urmare, etapele de proiectare necesare pentru filtrul activ Low-Pass de ordin doi sunt aceleași.

Atunci când se leagă împreună circuitele de filtrare pentru a forma filtre de ordin mai înalt, câștigul global al filtrului este egal cu produsul fiecărui etaj. De exemplu, câștigul unui etaj poate fi de 10, iar câștigul celui de-al doilea etaj poate fi de 32, iar câștigul unui al treilea etaj poate fi 100. Atunci, câștigul total va fi de 32.000 (10 x 32 x 100) după cum se arată mai jos .

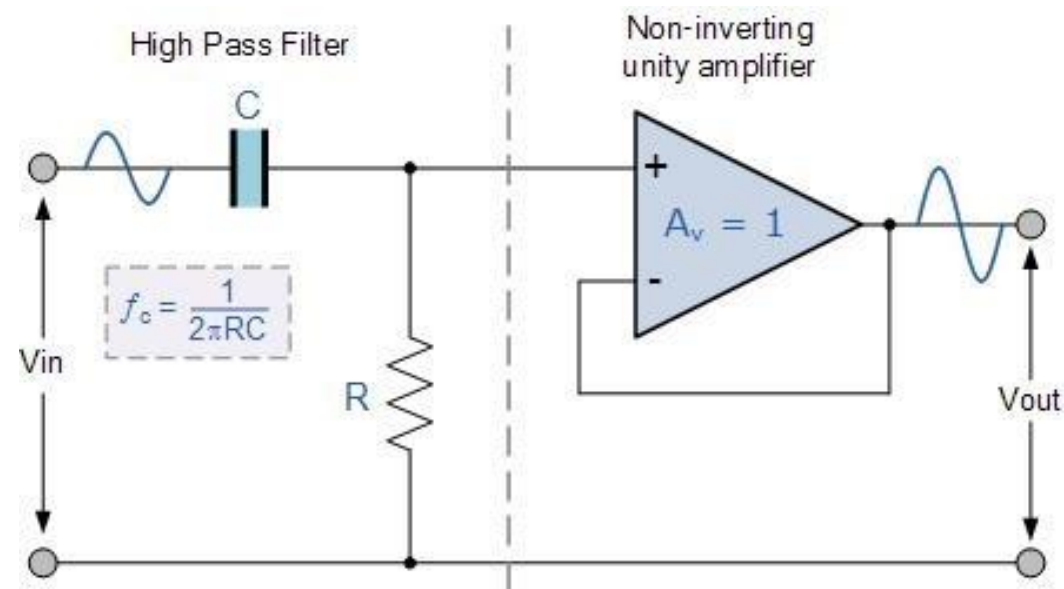


$$A_v = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$
$$f_c = \frac{1}{2\pi \sqrt{R_3 R_4 C_1 C_2}}$$

Filtrele active de ordinul doi (cu două poli) sunt importante, deoarece pot fi proiectate filtre de ordin mai înalt cu ajutorul acestora. Prin legarea împreună a filtrelor de prim și de al doilea ordin, pot fi construite filtre cu o valoare a ordinului, impare sau pare chiar până la orice valoare. În următorul tutorial despre filtre, vom vedea că filtrele [Active High Pass](#), pot fi construite prin inversarea pozițiilor rezistorului și a condensatorului în circuit.

Filtru activ trece-sus (High Pass)

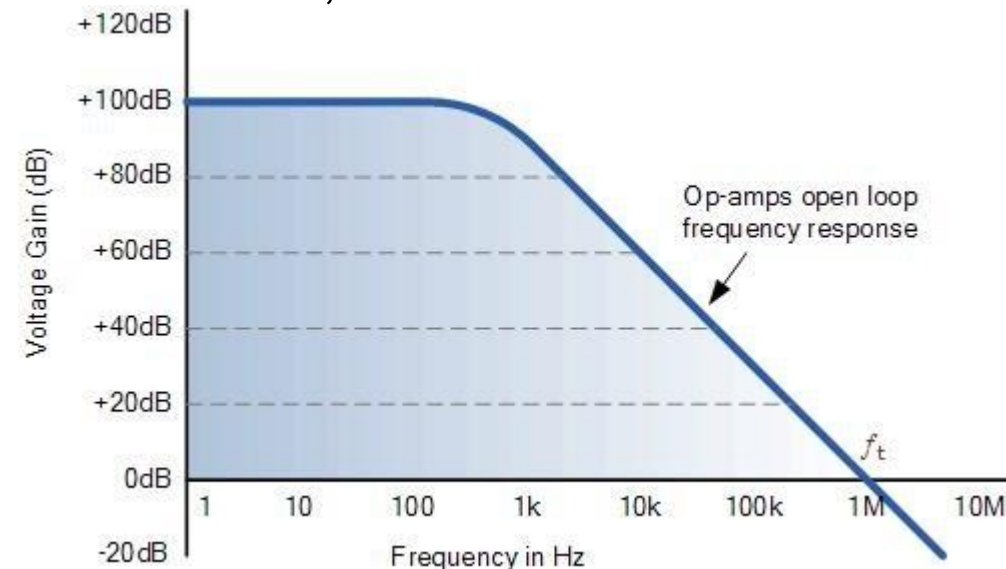
- Funcționarea de bază a unui filtru activ High Pass (HPF) este aceeași cu cea a circuitului RC echivalent de filtrare pasivă High Pass, cu excepția faptului că circuitul are un amplificator operațional, asigurând amplificarea și controlul câștigului.
- Ca și în cazul circuitului de filtru activ trece-jos, cea mai simplă formă a unui filtru activ trece-sus este să conectați un amplificator operațional standard, inversor sau neinversor, la circuitul filtrant pasiv RC High Pass, ca mai jos:



Filtru activ trece-sus (High Pass)

- Din punct de vedere tehnic, nu există așa ceva ca un filtru activ High Pass. Spre deosebire de [filtrele pasive High Pass](#), care au un răspuns în frecvență "infiniț", răspunsul la frecvența maximă a benzii de trecere a unui filtru activ trece-sus este limitat de caracteristicile de buclă deschisă sau de lățimea de bandă a amplificatorului operațional utilizat, făcându-le să apară ca și cum ar fi filtre Band-Pass cu o înaltă frecvență cut-off determinată de selecția de op-amp și câștig.
- Un amplificator operațional disponibil în mod obișnuit, cum ar fi $\mu A741$, are un câștig tipic de tensiune DC "în buclă deschisă" (fără nici un feedback) de aproximativ 100 dB maxim, reducând la o viteză roll-off de -20 dB/Decadă (-6 dB /Octavă) când frecvența de intrare crește. Câștigul lui $\mu A741$ se reduce până când ajunge la câștig unitate, (0 dB) sau "frecvența lui de tranziție" (f_t), care este de aproximativ 1 MHz. Acest lucru face ca op-amp-ul să aibă o curbă de răspuns în frecvență similară cu cea a unui filtru trece-jos de prim ordin și acest lucru este arătat mai jos.

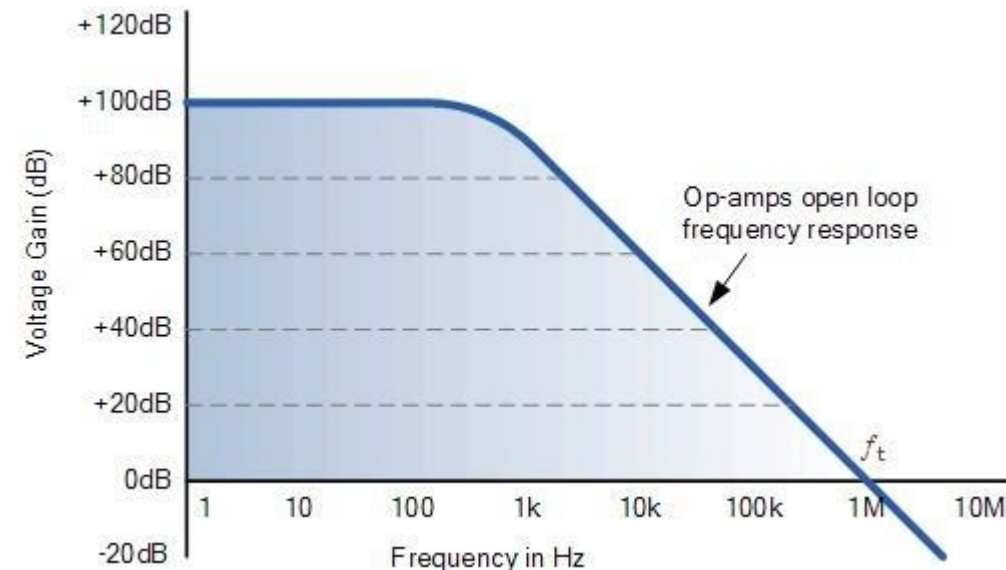
Curba de răspuns în frecvență a unui amplificator operațional tipic.



Filtru activ trece-sus (High Pass)

- Deci, performanța unui "filtru High Pass" la frecvențe înalte este limitată de această frecvență încrucișată a câștigului de unitate care determină lărgimea de bandă totală a amplificatorului în buclă deschisă. Produsul gain-bandwidth al op-amp pornește de la aproximativ 100 kHz pentru amplificatoarele de semnal mic până la aproximativ 1 GHz pentru amplificatoarele video digitale de mare viteză și filtrele active bazate pe op-amp pot obține o acuratețe și o performanță foarte bune, cu condiția să fie utilizate rezistoare și condensatoare cu toleranțe mici.

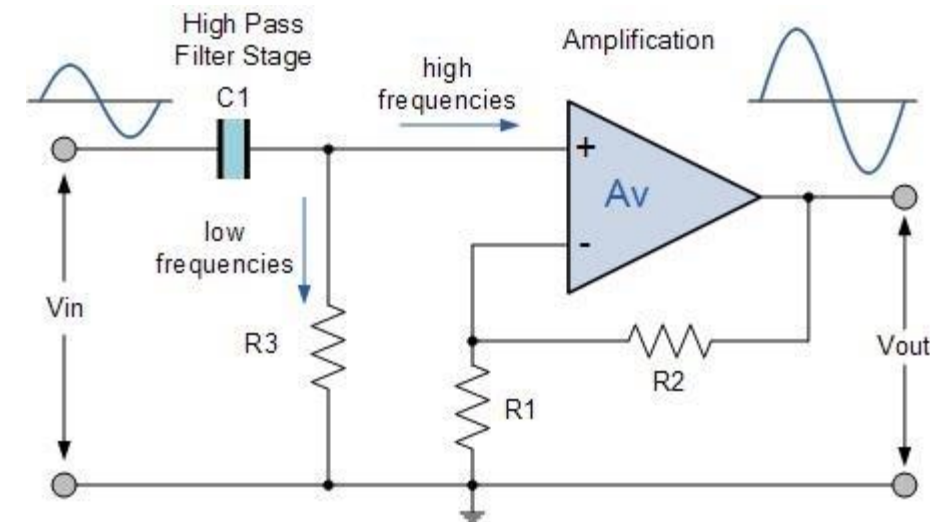
În condiții normale, banda maximă de trecere necesară pentru un filtru High Pass sau un filtru Band Pass este cu mult sub cea a frecvenței maxime de tranziție în buclă deschisă. Cu toate acestea, atunci când proiectați circuite active de filtrare, este important să alegeți op-amp corect pentru circuit, deoarece pierderea semnalelor de înaltă frecvență poate duce la distorsiuni de semnal.



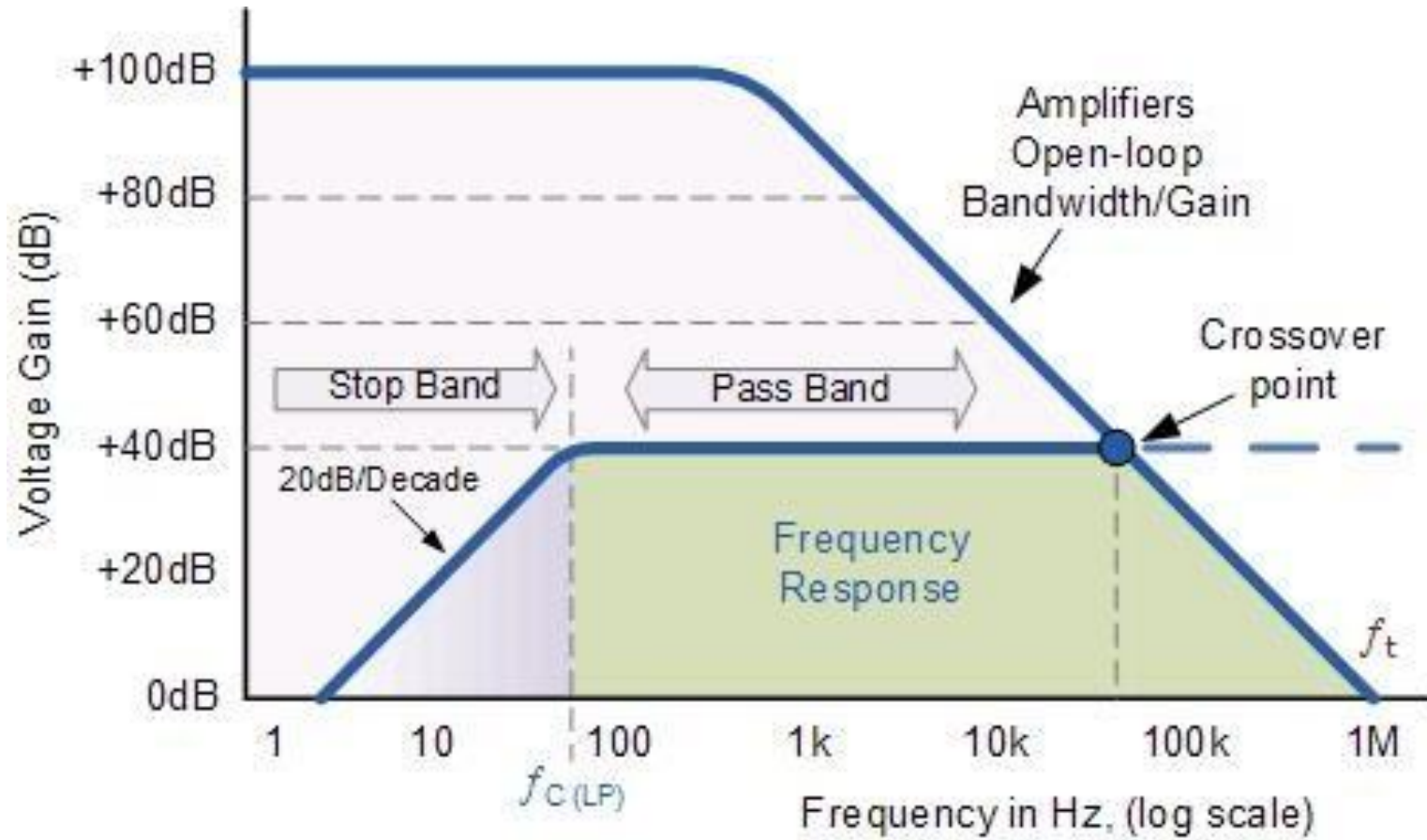
Filtru activ trece-sus (High Pass)

- Un filtru activ High Pass de prim ordin (single-pole), așa cum sugerează numele său, atenuează frecvențele joase și trece semnale de înaltă frecvență. Se compune pur și simplu dintr-o secțiune de filtru pasivă urmată de un amplificator operațional neinversor. Răspunsul în frecvență al circuitului este același ca cel al filtrului pasiv, cu excepția faptului că amplitudinea semnalului este mărită de câștigul amplificatorului, iar pentru un amplificator neinversor, valoarea câștigului de tensiune din banda de trecere este dată de $1 + R2/R1$, la fel ca și pentru circuitul filtru trece-jos.

Acest filtru High Pass, de prim ordin, constă pur și simplu dintr-un filtru pasiv urmat de un amplificator neinversor. Răspunsul în frecvență al circuitului este același cu cel al filtrului pasiv, cu excepția faptului că amplitudinea semnalului este mărită de câștigul amplificatorului.

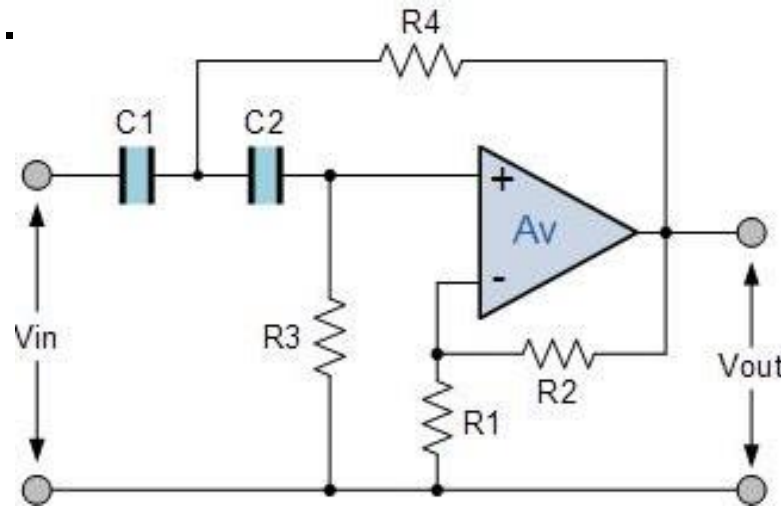


Răspunsul în frecvență



Filtru activ High Pas de ordin doi

- Ca și în cazul filtrului pasiv, un filtru activ High Pass de prim ordin poate fi transformat într-un filtru High Pass de ordinul doi, pur și simplu, utilizând o rețea RC suplimentară în calea de intrare. Răspunsul în frecvență al filtrului High Pass de ordinul doi este identic cu cel al tipului de prim ordin, cu excepția faptului că roll-off-ul benzii de oprire va fi de două ori mai mare decât filtrele de ordinul întâi, la 40 dB/decadă (12 dB/octavă). Prin urmare, etapele de proiectare necesare pentru filtrul activ trece-sus de ordin doi sunt aceleași.

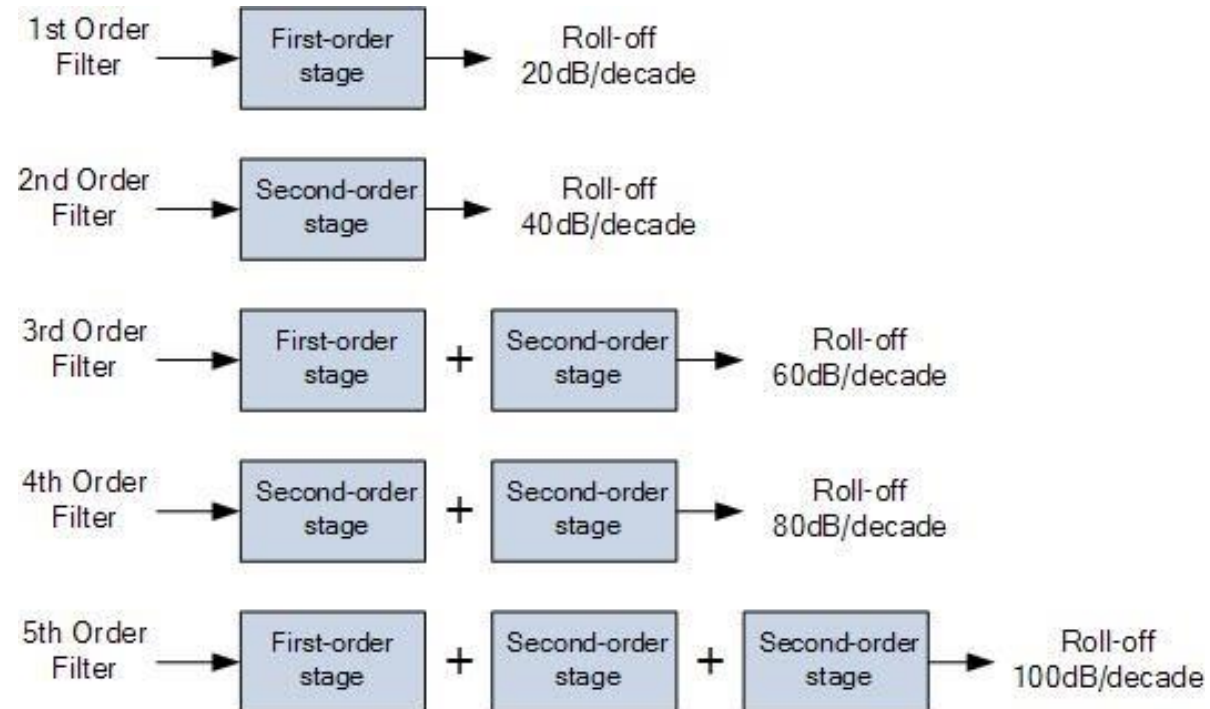


$$A_v = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$
$$f_c = \frac{1}{2\pi \sqrt{R_3 R_4 C_1 C_2}}$$

Filtrele active High Pass de ordin înalt, cum ar fi al treilea, al patrulea, al cincilea, etc, sunt formate pur și simplu prin legarea împreună a filtrelor de prim și secund ordin. De exemplu, un filtru High Pass de ordinul al treilea este format prin cascadă în serie de filtre de prim și de al doilea ordin, un filtru High Pass de ordinul al patrulea, prin legarea în cascadă a două filtre de ordinul doi împreună și așa mai departe.

Legarea în cascadă a filtrelor active High Pass

- Deși nu există nici o limită a ordinului unui filtru care poate fi format, ordinul filtrului crește odată cu dimensiunea sa. De asemenea, scade precizia, adică diferența dintre răspunsul real al benzii de oprire și răspunsul teoretic al benzii de oprire, de asemenea, crește.
- Dacă rezistoarele de determinare a frecvenței sunt toate egale, $R1 = R2 = R3$ etc, iar condensatoarele de determinare a frecvenței sunt toate egale, $C1 = C2 = C3$ etc, atunci frecvența cut-off pentru orice ordin al filtrului va fi exact aceeași. Cu toate acestea, câștigul global al filtrului de ordin mai înalt este fixat deoarece toate componentele de determinare a frecvenței sunt egale.



Filtru activ trece bandă (Band Pass)

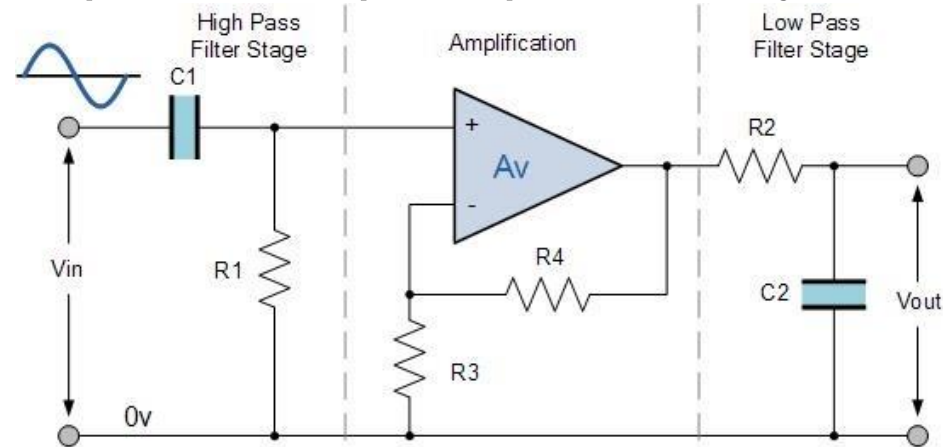
- Caracteristica principală a unui filtru Band Pass, sau a oricărui filtru, este capacitatea sa de a trece frecvențe relativ neatenuate pe o bandă specificată sau răspândirea frecvențelor, numită "Pass Band".
- Pentru un filtru trece-jos, această bandă de trecere începe de la 0 Hz sau DC și continuă până la punctul de frecvență cut-off specificat la -3 dB mai jos de câștigul maxim al benzii de trecere. În mod similar, pentru un filtru trece-sus, banda de trecere începe de la această frecvență cut-off de -3 dB și continuă până la infinit sau câștigul maxim în buclă deschisă pentru un filtru activ.
- Cu toate acestea, filtrul activ Band Pass este puțin diferit în măsura în care este un circuit filtru selectiv de frecvență utilizat în sistemele electronice pentru a separa un semnal la o anumită frecvență, sau o gamă de semnale, care se află într-o anumită "bandă" de frecvențe, de semnale la toate celelalte frecvențe. Această bandă sau gamă de frecvențe este stabilită între două puncte de frecvență cut-off, denumite "frecvență inferioară" (f_L) și "frecvență superioară" (f_H), în timp ce se atenuează oricare semnale în afara acestor două puncte.

Filtru activ trece bandă (Band Pass)

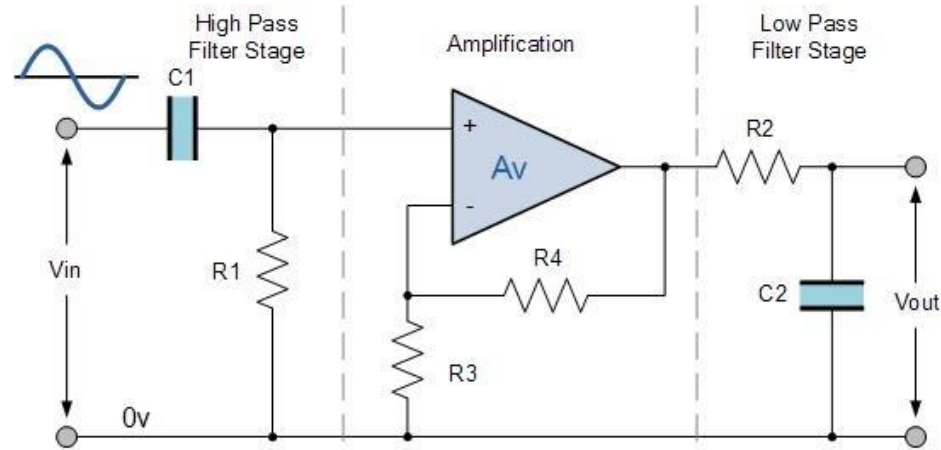
- Filtrul activ simplu Band Pass poate fi ușor realizat prin legarea împreună în cascadă a unui [filtru Low pass](#) cu un [filtru High Pass](#), așa cum se arată mai jos.



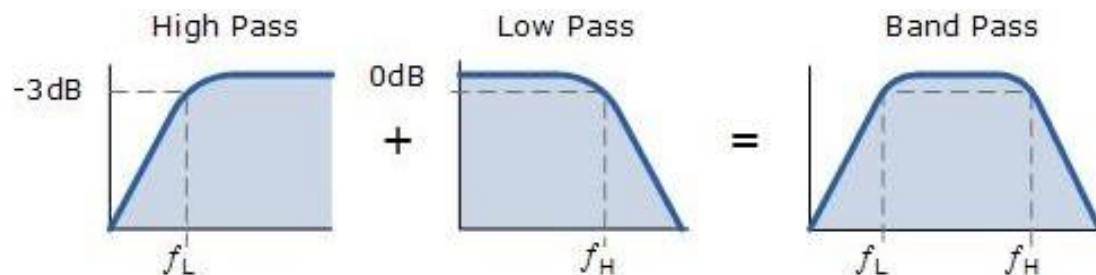
- Frecvența cut-off a filtrului trece-jos (LPF) este mai mare decât frecvența cut-off a filtrului trece-sus (HPF), iar diferența dintre frecvențele la punctul -3dB va determina "lărgimea de bandă" a filtrului Band Pass în timp ce se atenuează orice semnale în afara acestor puncte. O modalitate de a realiza un filtru Band Pass activ, foarte simplu, este de a conecta filtrele de bază pasive High-Pass și Low-Pass pe care le-am văzut anterior la un circuit de amplificare op-amp, ca mai jos.



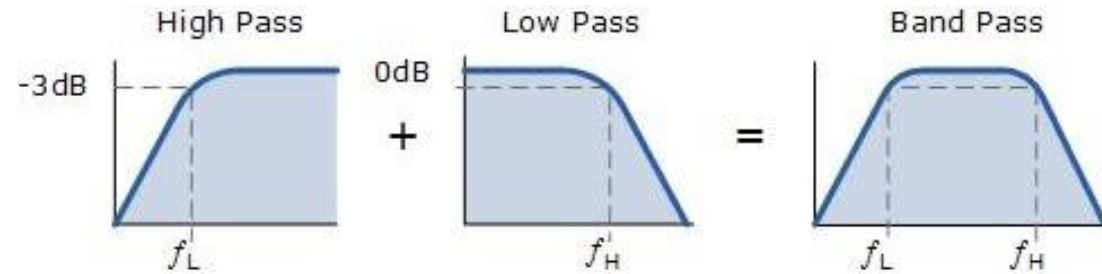
Filtru activ trece bandă (Band Pass)



- Această combinație în cascadă a filtrelor pasive individuale Low-Pass și High-Pass produce un circuit filtru de tip "Q-factor" scăzut, care are o bandă largă de trecere. Primul etaj al filtrului va fi treapta trece-sus care utilizează condensatorul pentru a bloca orice polarizare DC de la sursă. Această schemă are avantajul de a produce un răspuns în frecvență în banda de trecere asimetric și relativ plat, cu o jumătate reprezentând răspunsul trece-jos și cealaltă jumătate reprezentând răspunsul trece-sus ca mai jos.



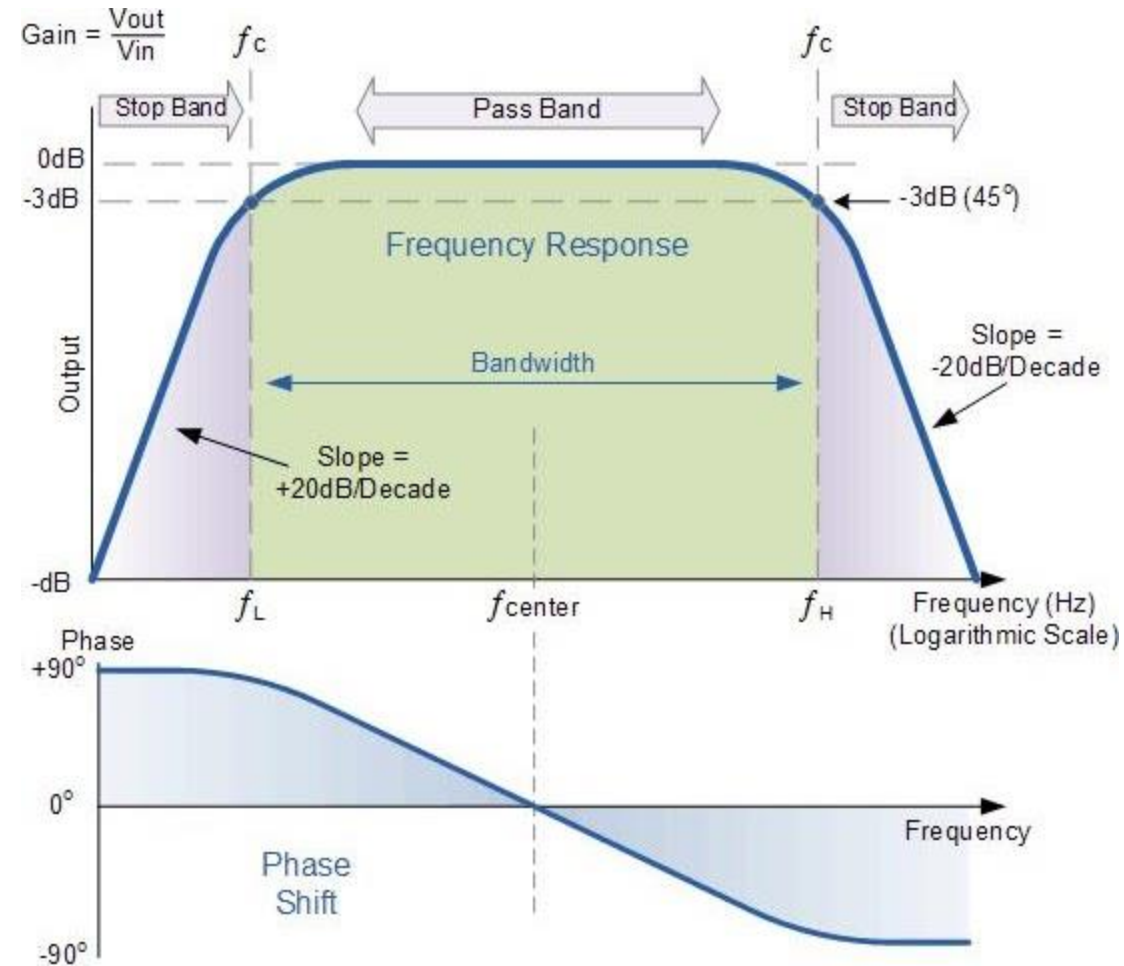
Filtru activ trece bandă (Band Pass)



- Punctul superior cut-off (f_H), precum și punctul inferior cut-off de frecvență (f_L) se calculează la fel ca înainte în circuitele de filtrare standard de prim ordin trece-jos și trece-sus. Evident, este necesară o separare rezonabilă între cele două puncte cut-off pentru a preveni orice interacțiune între etajele trece-jos și trece-sus. Amplificatorul asigură, de asemenea, izolare între cele două etaje și definește câștigul global de tensiune al circuitului.
- Lățimea de bandă a filtrului este prin urmare diferența dintre aceste puncte superior și inferior de -3 dB. De exemplu, să presupunem că avem un filtru trece-bandă ale cărui puncte cut-off de -3 dB sunt setate la 200 Hz și 600 Hz. Atunci, lățimea de bandă a filtrului ar fi dată de: Bandwidth (BW) = 600 - 200 = 400 Hz.

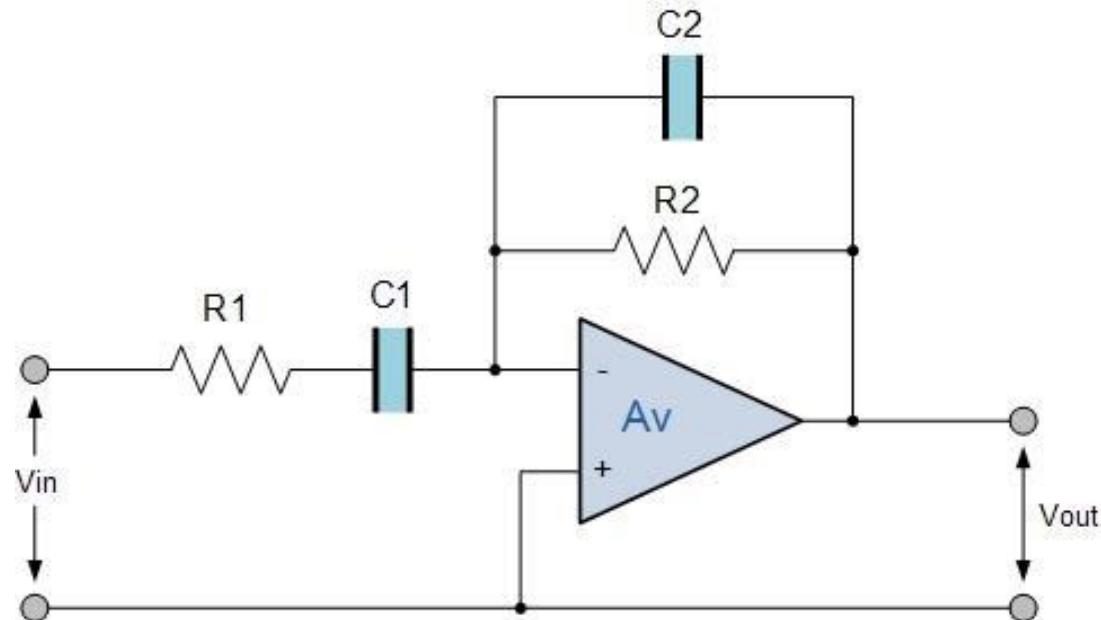
Răspunsul în frecvență al filtrului activ Bandă Pass

- În timp ce circuitul filtru pasiv reglat mai sus va funcționa ca un filtru trece-bandă, banda de trecere (lățimea de bandă) poate fi destul de largă și aceasta poate fi o problemă dacă dorim să izolăm o bandă mică de frecvențe. Filtrul activ trece-bandă poate fi de asemenea realizat utilizând un amplificator operațional inversor.
- Prin rearanjarea pozițiilor rezistoarelor și condensatoarelor din filtru, putem produce un circuit filtru mult mai bun, după cum se arată mai jos. Pentru un filtru activ trece-bandă, punctul cut-off de -3 dB inferior este dat de f_{C1} , în timp ce punctul superior cut-off de -3 dB este dat de f_{C2} .



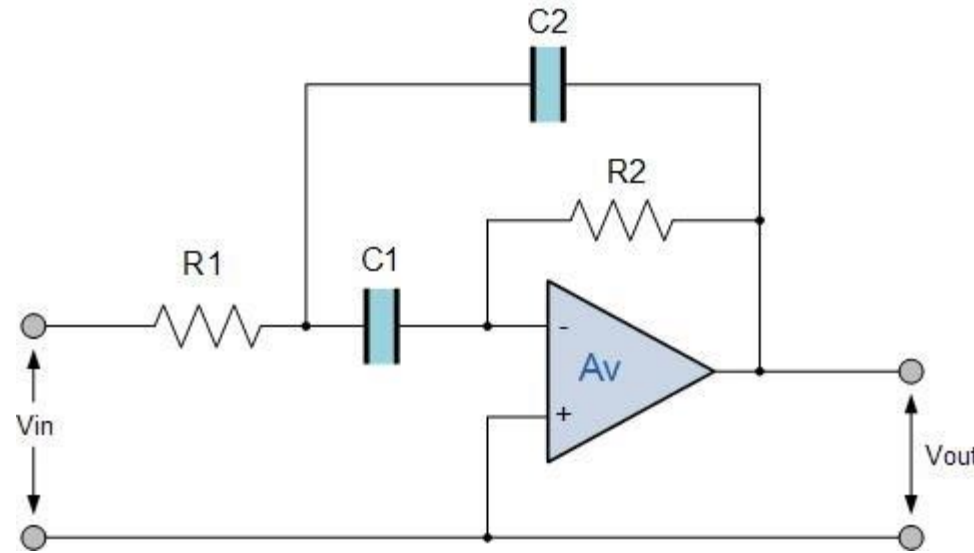
Circuit filtru Band Pass inversor

- Acest tip de filtru trece-bandă este proiectat să aibă o bandă de trecere mult mai îngustă. Frecvența centrală și lărgimea de bandă ale filtrului sunt corelate cu valorile R_1 , R_2 , C_1 și C_2 . Ieșirea filtrului este preluată de la ieșirea op-amp.



$$\text{Voltage Gain} = -\frac{R_2}{R_1}, \quad f_{c_1} = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}, \quad f_{c_2} = \frac{1}{2\pi R_2 C_2}$$

Filtru activ cu reacție multiplă și câștig infinit



- Acest circuit filtru trece-bandă activ utilizează câștigul maxim al amplificatorului operațional, cu feedback negativ multiplu aplicat prin rezistorul R2 și condensatorul C2. Atunci, putem defini caracteristicile filtrului IGMF după cum urmează:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad Q_{BP} = \frac{f_r}{BW_{(3dB)}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{R_2}{R_1}}$$

$$\text{Maximum Gain, } (Av) = -\frac{R_2}{2R_1} = -2Q^2$$

Putem vedea atunci că relația dintre rezistoare, R1 și R2 determină "factorul Q" de trecere de bandă și frecvența la care are loc amplitudinea maximă, câștigul circuitului va fi egal cu $-2Q^2$. Atunci când câștigul crește va crește și selectivitatea.

Filtru oprește bandă

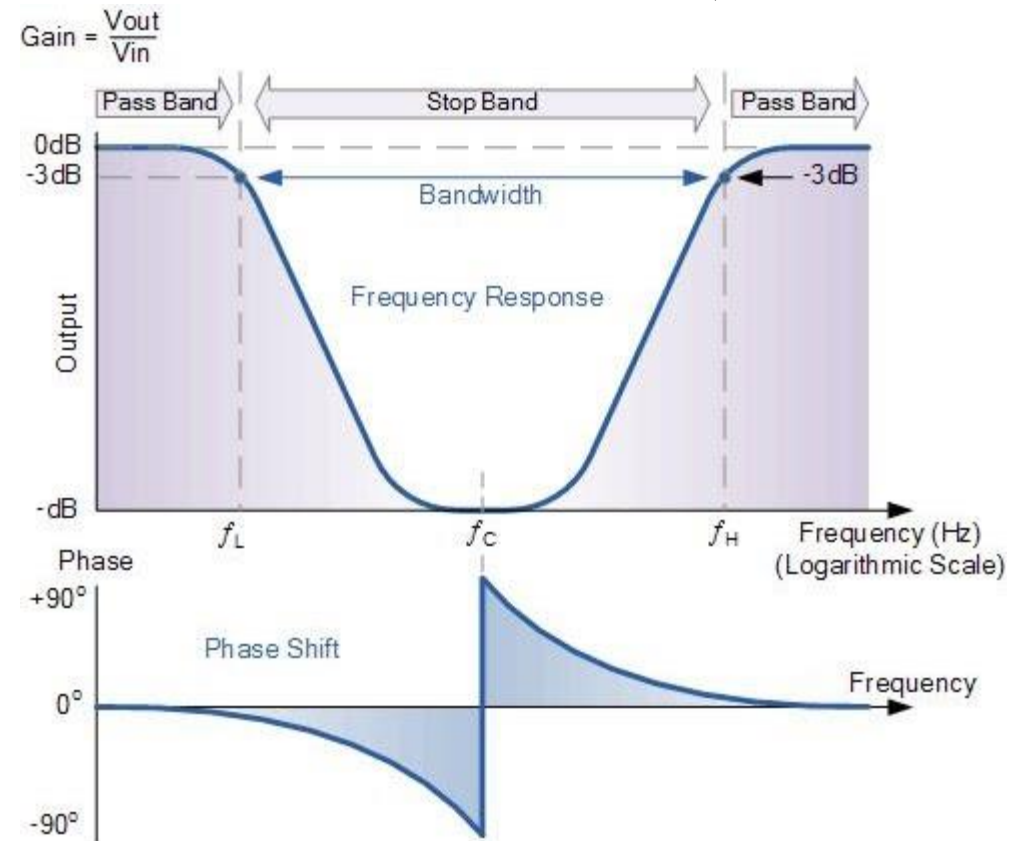
- Filtrul Band Stop (BSF) este un alt tip de circuit selectiv de frecvență care funcționează exact în sens invers față de filtrul Band Pass pe care l-am privit înainte. Filtrul de oprire a benzii, cunoscut și sub denumirea de filtru de rejectare a benzii, trece toate frecvențele, cu excepția celor care se află într-o bandă de oprire specificată, care sunt mult atenuate.
- Dacă această bandă de oprire este foarte îngustă și foarte atenuată pe câțiva herți, atunci filtrul de oprire a benzii este mai frecvent denumit un filtru cu creștătură (notch), deoarece răspunsul său în frecvență arată ca o creștătură profundă cu selectivitate ridicată (o curbă cam exagerată) mai degrabă decât o bandă mai extinsă aplatizată.
- La fel ca și filtrul trece-bandă, filtrul oprește-bandă (rejectare bandă sau notch) este un filtru de ordinul doi (doi poli) care are două frecvențe cut-off, cunoscute în mod obișnuit ca puncte de -3 dB sau jumătate de putere, oferind o lățime largă de stop-band între cele două puncte de -3 dB.
- Deci, funcția unui filtru oprește-bandă este să treacă toate acele frecvențe de la zero (DC) până la primul punct de frecvență cut-off f_L și să treacă toate acele frecvențe superioare celei de-a doua frecvențe cut-off f_H , dar să blocheze sau să rejeteze toate acele frecvențe dintre ele. Atunci, lățimea de bandă a filtrelor, BW este definită ca: $(f_H - f_L)$.

Filtru oprește bandă

- Astfel, pentru un filtru band-stop de bandă largă, banda de oprire reală a filtrelor se află între punctele inferior și cel superior de -3dB, deoarece atenuează sau rejectează orice frecvență dintre aceste două frecvențe cut-off. Curba de răspuns în frecvență unui filtru ideal band-stop este, prin urmare, dată de:

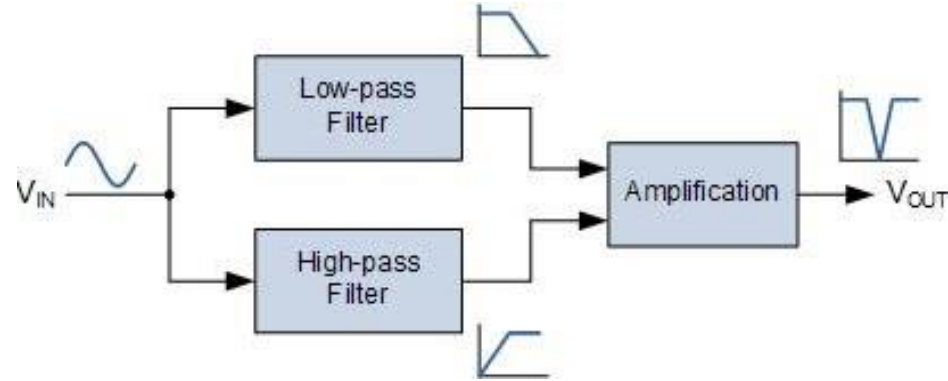
Putem vedea din curbele de amplitudine și de fază de mai sus pentru circuitul oprește bandă că mărimile f_L , f_H și f_C sunt aceleași cu cele utilizate pentru a descrie comportamentul filtrului trece-bandă. Acest lucru se datorează faptului că filtrul oprește-bandă este pur și simplu o formă inversată sau complementară a filtrului band-pass standard. De fapt, definițiile utilizate pentru lățime de bandă, trece-bandă, oprește-bandă și frecvența centrală sunt la fel ca înainte, și putem folosi aceleași formule pentru a calcula lățimea de bandă, BW, frecvența centrală, f_C , și factorul de calitate, Q.

Filtrul ideal oprește-bandă ar avea atenuare infinită în banda sa de oprire și atenuare zero în fiecare bandă de trecere. Trecerea dintre cele două benzi de trecere și banda de oprire ar fi verticală (zid de cărămidă). Există mai multe moduri în care putem proiecta un "Band Stop Filter", și toate realizează același scop.



Filtru oprește bandă

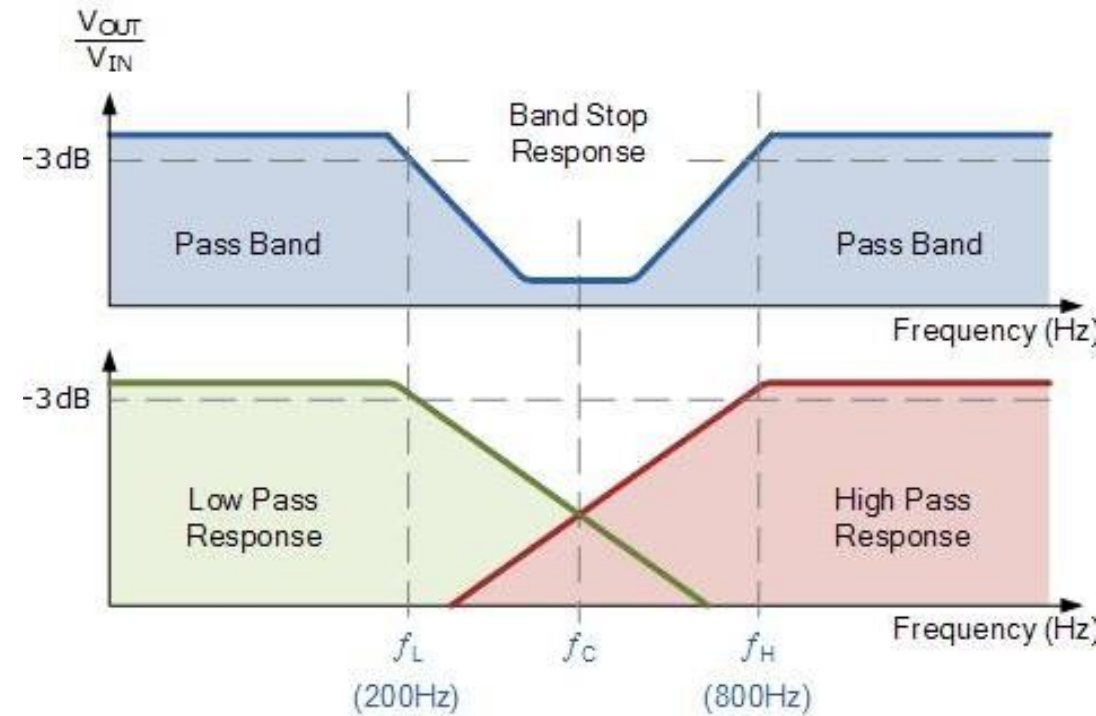
- În general, filtrele band-pass sunt construite prin combinarea unui filtru trece-jos (LPF) în serie cu un filtru trece-sus (HPF). Filtrele oprește-bandă sunt create prin combinarea secțiunilor de filtre low pass și high pass într-o configurație de tip "paralel" așa cum se arată mai jos.



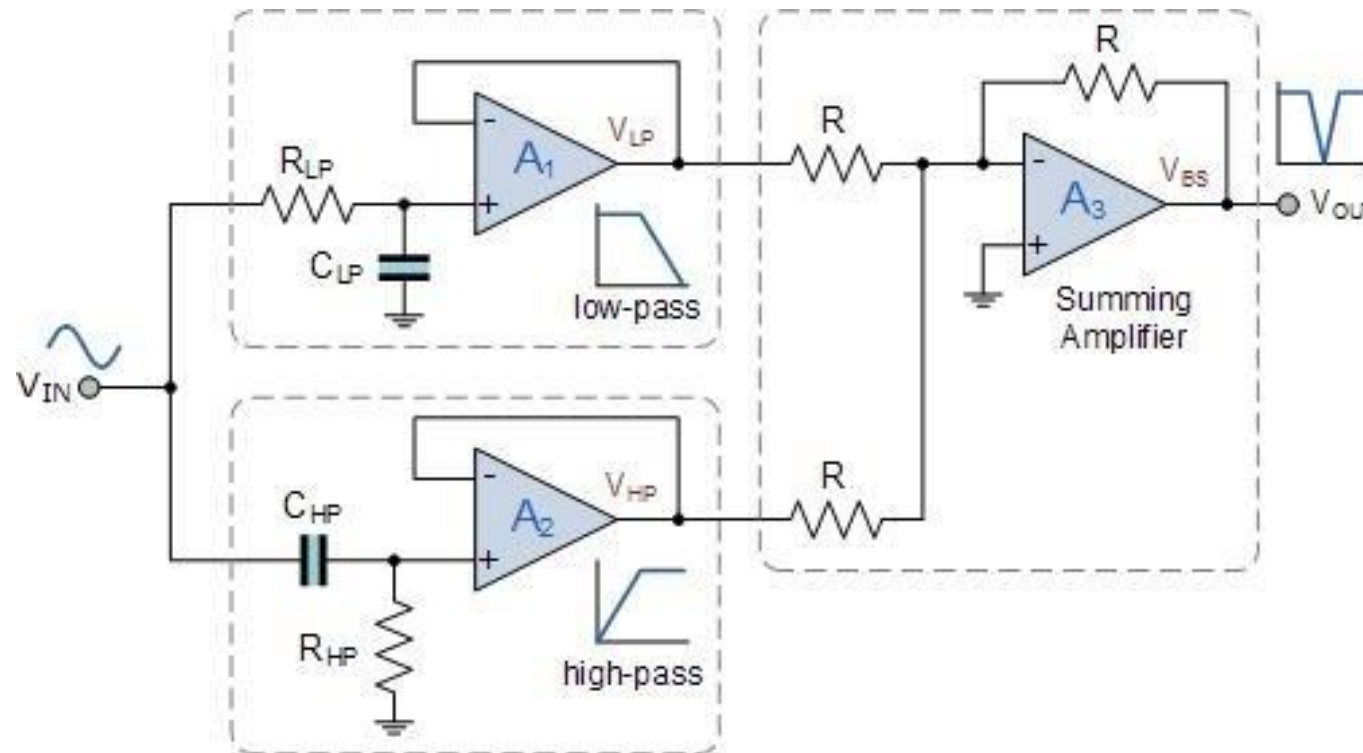
- Însumarea filtrelor high pass și low pass înseamnă că răspunsurile lor în frecvență nu se suprapun, spre deosebire de filtrul trece-bandă. Acest lucru se datorează faptului că frecvențele lor de pornire și de sfârșit se află la puncte de frecvență diferite. De exemplu, să presupunem că avem un filtru trece-jos de prim ordin, cu o frecvență cut-off, f_L de 200 Hz conectat în paralel cu un filtru trece-sus de prim ordin, cu o frecvență cut-off, f_H de 800 Hz. Deoarece cele două filtre sunt conectate efectiv în paralel, semnalul de intrare este aplicat ambelor filtre simultan, după cum se arată mai sus.

Filtru oprește bandă

- Toate frecvențele de intrare mai mici de 200 Hz ar fi trecute neatenuate la ieșire prin filtrul trece-jos. De asemenea, toate frecvențele de intrare de peste 800 Hz ar fi trecute neatenuate la ieșire de către filtrul trece-sus. Dar, frecvențele semnalului de intrare între aceste două puncte de frecvențe cut-off de 200 Hz și 800 Hz, adică de la f_L la f_H , vor fi rejectate de oricare filtru, formând o creștătură în răspunsul de ieșire al filtrelor.
- Cu alte cuvinte, un semnal cu o frecvență de 200 Hz sau mai jos și 800 Hz sau mai sus ar trece neafectat, dar o frecvență de semnal de exemplu 500 Hz ar fi rejectată deoarece este prea mare pentru a fi trecută prin filtrul trece-jos și prea mică pentru a fi trecută prin filtrul trece-sus. Putem afișa efectul acestei caracteristici de frecvență mai jos.



Circuitul filtrului Band Stop



Utilizarea amplificatoarelor operaționale în cadrul schemei filtrului band-stop permite introducerea câștigului de tensiune în circuitul de bază al filtrului. Cele două repetoare de tensiune neinversoare pot fi transformate ușor într-un amplificator neinversor de bază, cu un câștig de $A_v = 1 + R_f/R_{in}$ prin adăugarea de rezistoare de intrare și de reacție. De asemenea, dacă avem nevoie de un filtru band-stop pentru a avea punctele sale cut-off de -3 dB la 1 kHz și 10 kHz și un câștig de band-stop de -10 dB între ele, putem proiecta cu ușurință un filtru low-pass și un filtru high-pass cu aceste cerințe și pur și simplu le legăm împreună în cascadă pentru a forma schema noastră de filtru band-stop de bandă largă.

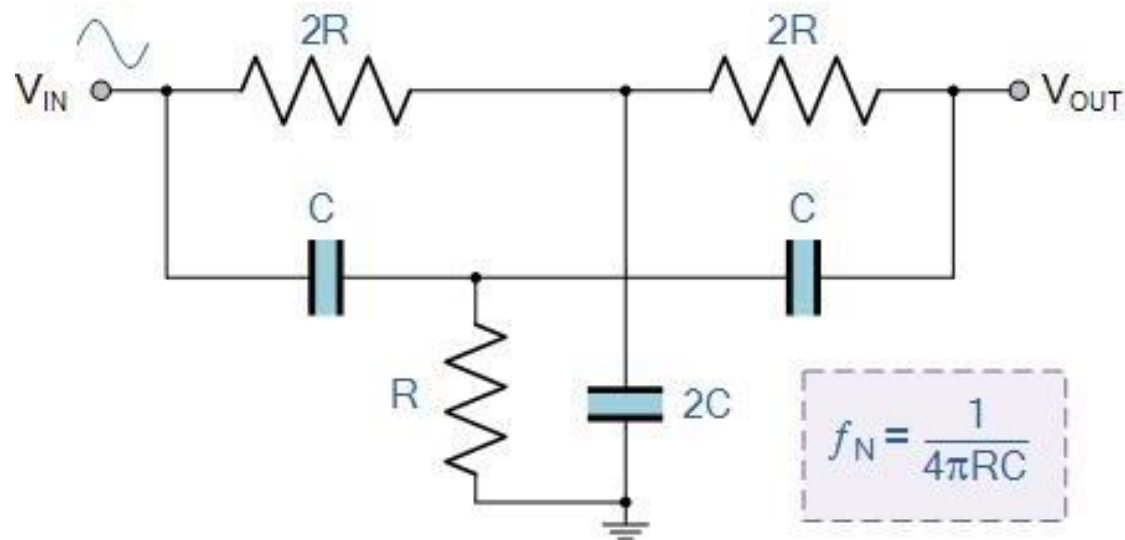
Filtre Notch

- Am văzut mai sus că filtrele simple band-stop pot fi realizate utilizând filtre trece-jos și trece-sus de ordinul întâi sau de al doilea, împreună cu un circuit de op-amp sumator neinversor, pentru a rejecta o bandă largă de frecvențe. Dar, putem proiecta și construi filtre band-stop pentru a produce un răspuns în frecvență mult mai îngust, pentru a elimina frecvențele specifice prin creșterea selectivității filtrului. Acest tip de filtru este numit "Filter Notch".
- Filtrele Notch sunt o formă extrem de selectivă, înalt-Q, a filtrului band-stop, care poate fi utilizat pentru a rejecta o bandă de frecvențe unică sau foarte mică, mai degrabă decât o lățime de bandă întreagă de frecvențe diferite. De exemplu, poate fi necesar pentru a rejecta sau atenua o anumită frecvență care generează zgomot electric (cum ar fi [mains hum](#) - brum de rețea), care a fost indus într-un circuit de la sarcini inductive, cum ar fi motoarele sau balastul iluminatului, sau eliminarea armonicilor etc.
- Dar ca toate filtrele, filtrele notch variabile sunt folosite de muzicieni în echipamente de sunet, cum ar fi egalizatoare grafice, sintetizatoare și crossover-ele electronice pentru a face față vârfurilor înguste în răspunsul acustic al muzicii. Deci, putem vedea că filtrele notch sunt utilizate pe scară largă în același mod ca filtrele low-pass și high-pass.

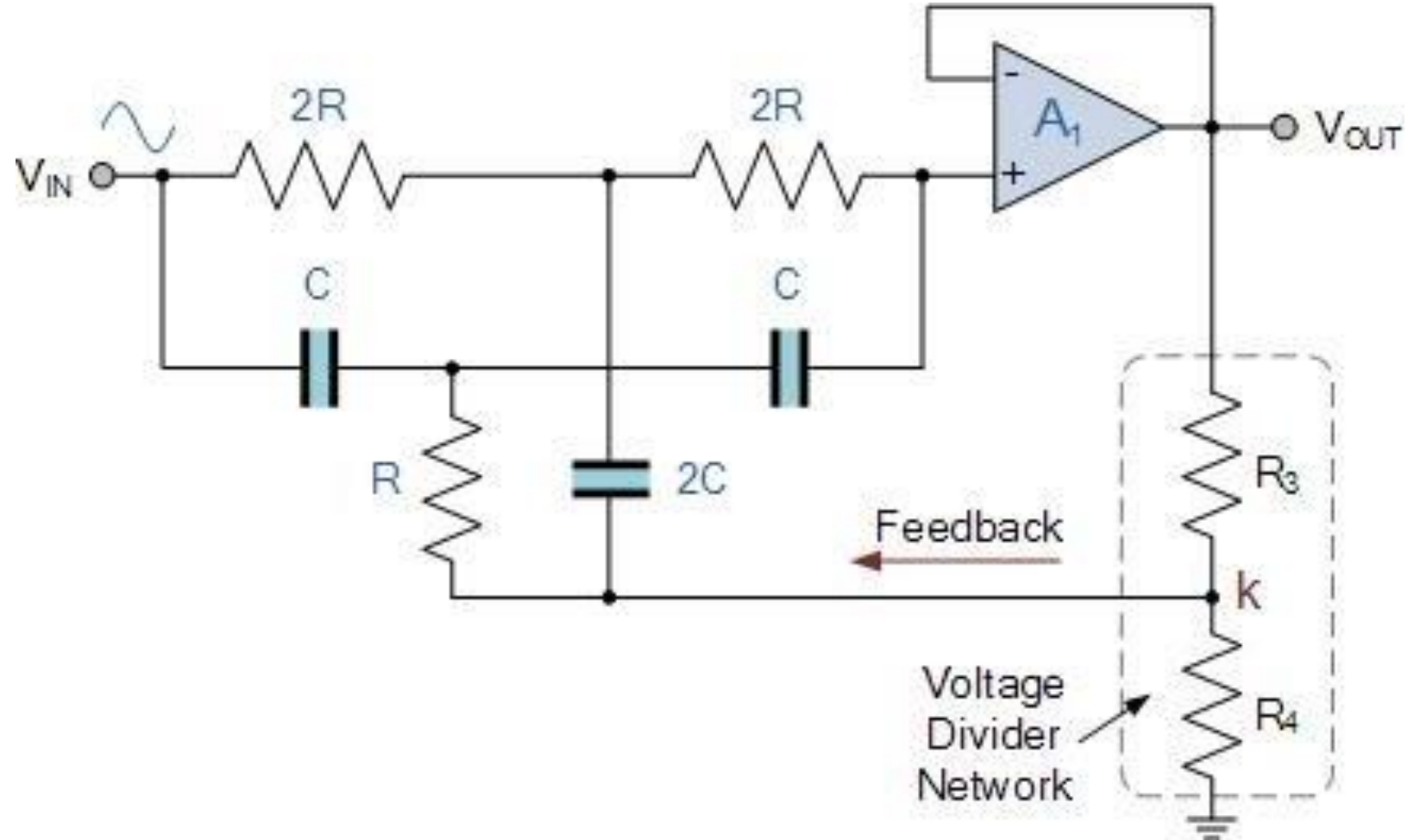
Filtre Notch

- Filtrele Notch, din proiectare, au o bandă-stop foarte îngustă și foarte adâncă în jurul frecvenței lor centrale, lățimea creștăturii fiind descrisă prin selectivitatea Q-ului său, exact în același mod ca vârfurile frecvenței de rezonanță în circuitele RLC.
- Cea mai obișnuită schemă de filtru notch este rețeaua de filtru notch în dublu-T. În forma sa de bază, configurația twin-T, numită și o configurație T-paralel, constă din două ramuri RC sub forma a două secțiuni T, care utilizează trei rezistoare și trei condensatoare cu elemente R și C opuse în piesa de T a schemei sale așa cum este arătat mai jos, creând o creștătură mai profundă.

Schema de bază a filtrului Notch dublu-T



Filtru Notch dublu-T cu un singur op-amp



Filtru Sallen-Key

- Modelul de filtru **Sallen and Key** este o topologie de filtru activ de ordinul doi, pe care îl putem folosi ca elemente de bază pentru implementarea circuitelor de filtrare de ordin superior, cum ar fi circuite de filtrare low-pass (LPF), high-pass (HPF) și band-pass (BPF).
- Așa cum am văzut în această secțiune de filtre, filtrele electronice, pasive sau active, sunt utilizate în circuite unde o amplitudine a semnalelor este necesară numai pe o gamă limitată de frecvențe. Avantajul utilizării modelelor de filtre *Sallen-Key* este că sunt simplu de implementat și de înțeles.
- Topologia Sallen-Key este un model de filtru activ bazat în jurul unui singur amplificator operațional neinversor și a două rezistoare, creând astfel un model de sursă de tensiune (VCVS) controlată cu tensiune, cu caracteristici ale filtrului de impedanță mare de intrare, impedanță scăzută de ieșire și o bună stabilitate și, ca atare, permite secțiunile individuale de filtru Sallen-Key să fie cuplate în cascadă pentru a produce filtre de ordin mult mai mare.

Filtru Sallen-Key

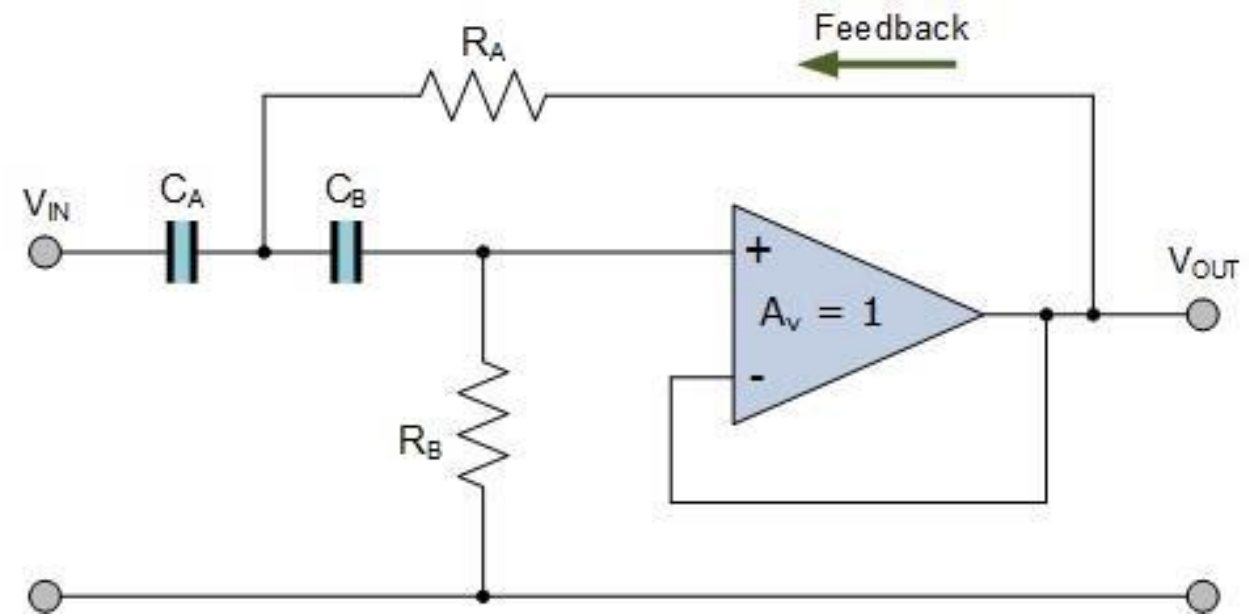
Sallen-Key este una dintre cele mai comune configurații de filtrare pentru proiectarea filtrelor de prim-ordin și de ordin doi, și, ca atare, este folosit ca blocurile de construcție de bază pentru crearea filtrelor de ordin mult mai mare.

- Principalele avantaje ale modelului de filtru Sallen-Key sunt:
- Simplitatea și înțelegerea schemei lor de bază
- Utilizarea unui amplificator neinversor pentru a crește câștigul de tensiune
- Modelele de filtru de ordinul I și II pot fi ușor cuplate în cascadă
- Etajele trece-jos și trece-sus pot fi în cuplate în cascadă împreună
- Fiecare etaj RC poate avea un câștig de tensiune diferit
- Replicarea componentelor RC și a amplificatoarelor
- Etajele Sallen-Key de ordinul doi au un roll-off mai abrupt, de 40 dB/decadă decât RC în cascadă

Dar, există unele limitări ale modelului de bază al filtrului Sallen-Key, în condițiile în care câștigul de tensiune AV și factorul de mărire Q sunt strâns legate datorită utilizării unui amplificator operațional în schema Sallen-Key. Aproape orice valoare Q mai mare de 0,5 poate fi realizată, deoarece se utilizează o configurație neinversoare, câștigul de tensiune AV va fi întotdeauna mai mare decât 1, (unitate), dar trebuie să fie mai mic de 3, altfel va deveni instabil.

Filtru Sallen-Key

Componentele pasive C_A , R_A , C_B și R_B formează circuit selectiv de frecvență de ordinul doi. Astfel, la frecvențe joase, condensatoarele C_A și C_B apar ca circuite deschise, încât semnalul de intrare este blocat rezultând o ieșire zero. La frecvențe mai mari, C_A și C_B apar la semnalul de intrare sinusoidal ca scurtcircuite, astfel încât semnalul este trimis direct la ieșire.

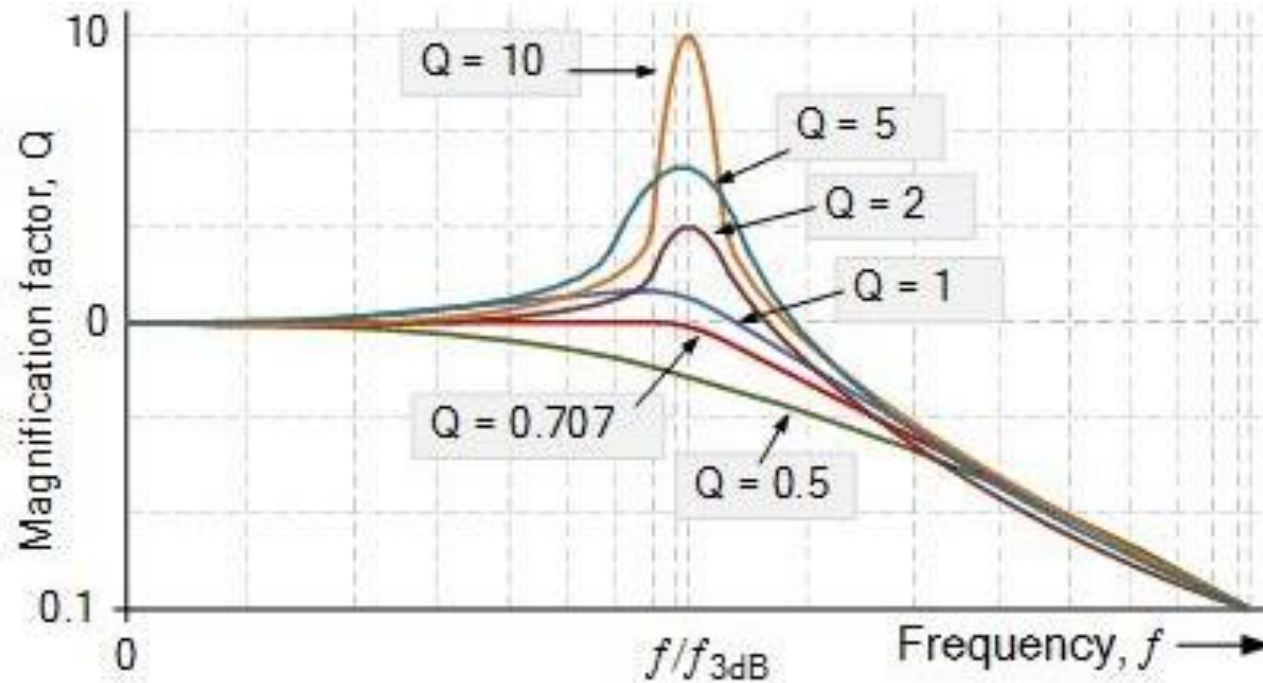


- Dar, în jurul punctului de frecvență cut-off, impedanțele C_A și C_B vor avea aceeași valoare ca R_A și R_B , așa cum s-a menționat mai sus, astfel încât feedback-ul pozitiv produs prin C_B asigură un câștig de tensiune și o creștere a amplitudinii semnalului de ieșire Q .
- Deoarece avem acum două seturi de rețele RC , ecuația de mai sus pentru frecvența cut-off pentru un filtru Sallen-Key este modificată și ea:

Ecuția frecvenței cut-off Sallen-Key

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_A R_B C_A C_B}}$$

Răspunsul filtrului Sallen-Key



- Atunci putem vedea că cu cât valoarea Q este mai mică, cu atât mai stabil va fi schema filtrului Sallen-Key. În timp ce valorile ridicate ale Q pot face ca schema să fie instabilă, cu câștiguri foarte mari producând un Q negativ ce ar duce la oscilații.