

Laboratorul 02 - Simularea circuitelor analogice

Falstad Circuit Simulator

Pentru simularea circuitelor vom folosi **Falstad**, un simulator online, care poate fi găsit la <http://www.falstad.com/circuit> [http://www.falstad.com/circuit]. Dacă este necesar, instalați plug-in-ul de java folosind comanda `sudo apt-get install sun-java6-plugin . falstad.zip`

Mod de folosire

Indicatori grafici:

- **Tensiunea pozitivă** este reprezentată prin culoarea **verde**.
- **Tensiunea negativă** este reprezentată prin culoarea **roșie**.
- **Groundul** este reprezentat prin culoarea **gri**.

Fiecare **element de circuit** are un **meniu de editare** accesibil prin **click dreapta pe componenta** și selectare **Edit**. De aici se pot modifica diferite caracteristici ale componentei (ex. rezistența unui rezistor).

Pentru a obține informații realtime despre o componentă: click dreapta pe componentă și selectare View in Scope, având ca efect apariția unui ecran în partea de jos a ferestrei cu informații despre componentă (tensiune, curent).

Din meniul Circuits pot fi selectate diferite circuite; o parte dintre acestea sunt prezentate în continuare.

Circuite Simple

Legea lui Ohm

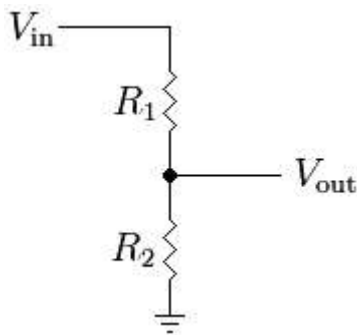
Intensitatea curentului dintr-un circuit este direct proporțională cu tensiunea aplicată și invers proporțională cu rezistența din circuit. $I = \frac{U}{R}$

Elemente simple

Încărcați în falstad circuitul

- Basics→Resistors
- Basics→Capacitor
- Basics→Inductor

Divizor de tensiune



Divizorul de tensiune este circuit ce produce la ieșire o tensiune ce reprezintă o fracție din tensiunea de intrare. Un exemplu de un astfel de circuit ar putea fi două rezistențe în serie sau un potentiometru.

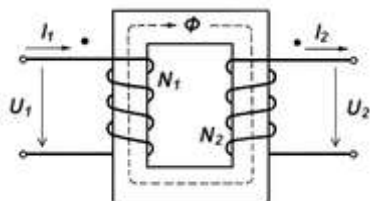
Curentul este același prin ambele rezistențe, $I = \frac{V_{in}}{R_1 + R_2}$, iar tensiunea pe a doua este $V_{out} = I \cdot R$; de aici rezultă:

$$V_{out} = V_{in} * \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Utilizări:

- Tensiune de referință
- Sursă de tensiune (Not a good idea :) see here [<https://learn.sparkfun.com/tutorials/voltage-dividers> why)

Transformator



Transformatorul este un dispozitiv electric ce permite transferul energiei dintr-un circuit primar în altul, secundar. Dacă un curent alternativ străbate circuitul primar, el produce un flux magnetic variabil în miezul transformatorului; acest flux produce o tensiune variabilă în circuitul secundar.

Tensiunea generată în circuitul secundar depinde de numărul de spire ale bobinelor și de tensiunea din primul circuit după formula:

$$N = \text{numarul de spire} \quad V = \text{tensiunea} \quad \frac{N_s}{N_p} = \frac{V_s}{V_p}$$

Randamentul transformatorului se definește ca fiind raportul dintre puterea activă P_2 furnizată de circuitul secundar și puterea activă P_1 primită de către circuitul primar. Randamentul unui transformator poate ajunge la valori destul de mari, chiar și 99%.

$$P = \text{puterea} \quad \eta = \frac{P_2}{P_1}$$

k = raportul dintre N_2 și N_1 (N secundar și N primar) Dacă $k > 1$ atunci avem un transformator de ridicare; tensiunea de la circuitul secundar va fi mai mare decât cea de la cel primar. Dacă $k < 1$ atunci avem un transformator de coborare; tensiunea de la circuitul secundar va fi mai mică decât cea de la cel primar.

Transportul curentului electric

- Transportul curentului electric pe distanțe lungi (zeci de km sau sute de km) ridică problema pierderii puterii electrice pe linia de transport.
- Sa presupunem ca dorim sa transportam o putere electrica P intre punctele A si B. Dorim ca puterea pierduta pe linia de transport sa fie minima. Privind intr-un mod simplificat, intre punctele A si B, linia de transport are o rezistenta R_{ab} . Puterea pierduta pe linia de transport este $P_c = I^2 \cdot R$, adica depinde foarte mult de curentul ce trece prin fir. Pentru a micșora cat putem puterea pierduta pe linie, trebuie micșorat curentul electric ce trece prin linia de transport.
- Intrucat $P = U \cdot I$, daca dorim sa micșoram curentul (I), trebuie sa creștem tensiunea. In functie de distanțe și de consumatori, se folosesc diferite valori ale tensiunii utilizate pe liniile de transport. Pentru consumatorii casnici standardul este de 0.4kV (faza la faza), iar liniile de transport se numesc linii de joasă tensiune. Liniile de transport de 20kV sunt linii de medie tensiune, iar liniile de 110kV,

200kV, 400kV si 750kV sunt linii de inalta tensiune. Cu cat tensiunea este mai mare, cu atat pierderea de putere pe linia de transport este mai mica.

- Pentru ridicarea sau coborarea tensiunii pentru liniile de transport se folosesc statii de transformare ale caror componente esentiale sunt transformatoarele de tensiune.
- Transformator 220kV/20kV, 360MVA



- Transformator 20kV/0.4kV de mica putere



Relee

Releu este un switch controlat electric. Este format dintr-un electromagnet(bobină), un braț mobil și unul sau mai multe contacte. Când nu circulă curent prin releu, brațul mobil este ținut la unul dintre contacte de un arc; în momentul în care prin bobină începe să circule curent, se creează un câmp magnetic și brațul se mută la celălalt contact.

Avantaje:

- Separarea completă a circuitelor

Dezavantaje:

- Se pot uza părțile mecanice
- Viteză relativ scăzută

Funcții logice cu relee

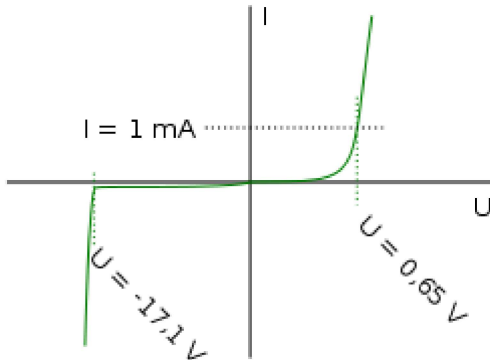
- AND. Funcția ȘI se poate realiza legând releele în serie. Fiecare intrare este un releu; contactul closed e legat în gol, iar contactul open este legat la intrarea următorului releu. Când toate releele sunt deschise avem "1" la ieșire, altfel avem "0".
- OR. Funcția OR se poate realiza legând releele în paralel. Fiecare intrare este un releu; contactul closed e legat în gol, iar contactul open este legat la ieșire. Când oricare dintre relee este deschis avem "1" la ieșire.
- XOR. Funcția XOR se poate realiza legând punctele de contact a doua relee invers (open la closed).

Flip-Flop cu relee

- Un flip-flop este un circuit electronic care simulează un bit de memorie.
- Se folosesc în general două intrări Set și Reset.

Dioda

Dioda Zener



Dioda Zener este o diodă ce conduce în ambele direcții. Când este polarizată direct se comportă ca o diodă normală, însă permite trecerea curentului și când este polarizată invers dacă tensiunea este suficient de mare ($>$ tensiunea Zener a diodei).

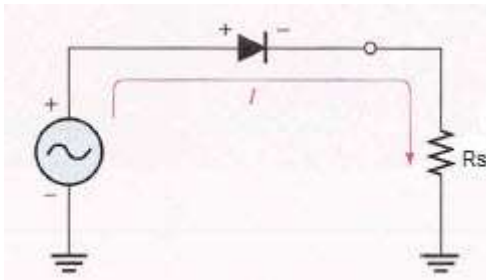
O diodă normală nu suportă o tensiune de polarizare prea mare; dacă este aplicată o tensiune inversă prea mare, ea se străpunge. Această tensiune se numește tensiune de străpungere și se notează V_s .

Dioda Zener permite o străpungere controlată. Are o tensiune de străpungere redusă (denumită tensiune Zener); dacă este atinsă această tensiune, ea va permite trecerea curentului, însă va limita

tensiunea la tensiunea Zener.

Circuite cu diode

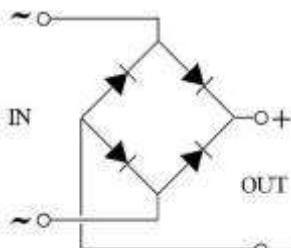
Redresor monoalternanță



Diodele pot fi folosite pentru a transforma curentul alternativ în curent continuu. Un redresor parțial permite trecerea doar a părții negative sau doar a părții pozitive. Sunt foarte ineficiente din punctul de vedere al transferului de putere, pentru că jumătate din forma de undă este pierdută. Se pot realiza cu o singură diodă:

- dacă tensiunea este mai mare ca 0.6V, ea va putea trece la ieșire
- dacă tensiunea este sub 0.6V, ea este blocată

Redresor bialternanță



Redresorul total permite transformarea întregii forme de unde într-una polarizată pozitiv. Pentru a realiza acest lucru este folosită o punte de diode. Doua diode dintre cele 4 vor fi mereu polarizate pozitiv, deci vor permite trecerea curentului, iar celelalte două vor fi polarizate invers.

Atât redresorul monoalternanță, cât și redresorul bialternanță produc variații în tensiunea de la ieșire. Pentru a netezi forma de undă se utilizează un condensator.

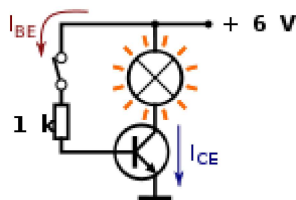
Voltage reference with follower

După cum am spus mai sus, dacă o diodă Zener este strapunsă, ea permite trecerea curentului și ține o tensiune egală cu tensiunea zener. Se poate profita de acest lucru pentru a realiza o sursă de tensiune stabilă sau o referință.

Tranzistoare bipolare

Circuite cu tranzistoare

Switch



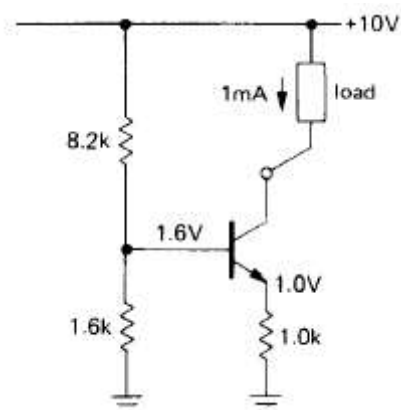
Switchul cu tranzistoare bipolare permite controlul unui curent mare folosind un curent mic. Mod de operare:

- Când switchul mecanic este deschis, nu avem curent în bază. Cum I_c depinde I_b ($I_c = \beta I_b$), nu avem curent nici în colector, deci becul este stins
- Când switchul mecanic este închis, tensiunea în bază ajunge la 0.6V. Tensiunea pe rezistorul din bază va fi 5.4V, deci $I_b = 5.4\text{mA}$. Teoretic $I_c = \beta I_b$; presupunând $\beta = 100$, am avea $I_c = 540\text{mA}$. Însă tranzistorul este saturat, deci $I_c = V_{cc}/R_c$.

Flip Flop

- Un flip-flop este un circuit electronic care simulează un bit de memorie.
- Se folosesc în general două intrări Set și Reset.

Sursă de curent



Curentul din colector este independent de tensiunea din colector.

$$I_c \approx I_e$$

$$I_e = \frac{V_e}{R_e}$$

$$V_e = V_b - 0.6$$

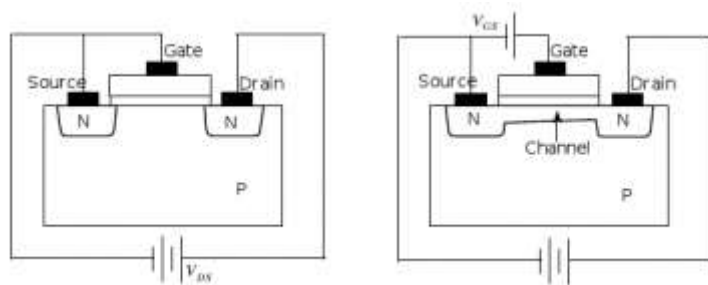
$$I_c \approx I_e = \frac{V_b - 0.6}{R_e}$$

Tensiunea în bază poate fi produsă prin:

- divizor de tensiune
- dioda Zener
- mai multe diode în serie

O astfel de sursă de curent poate produce curent constant doar pentru o anumită plajă de valori ale tensiunii pe sarcină.

Tranzistoare cu efect de câmp



Tranzistoarele cu efect de câmp sunt componente active în care conductibilitatea dintre două borne (numite sursă și drenă) este controlată de un câmp electric aplicat asupra materialului semiconductor dintre ele. Câmpul este controlat printr-o a treia bornă (Gate). Aceste trei borne sunt similare ca funcție cu cele 3 borne ale tranzistorului bipolar. Gate-ul permite trecerea electronilor între sursă și drenă. O a patra bornă o reprezintă Baza (sau Body), care de obicei este legată la cea mai mare/mică tensiune din circuit. Body-ul este suportul fizic pe care sunt puse Sursa, Drena și Gate-ul în circuitele integrate.



Dintre tranzistoarele cu efect de câmp (FET), cele mai folosite sunt MOSFET-urile (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor). În acestea Gate-ul este separat de canalul pe care îl controlează printr-un strat izolator de oxid. După tipul dopajului canalului, MOSFET-urile sunt pMOSFET sau nMOSFET.

nMOS-urile au un canal de tip n, Body de tip p și Sursa cu Drena **n+** (dopate puternic). Atunci când tensiunea între Gate și Sursă este peste o valoare de prag, purtătorii de sarcină (în cazul acesta electronii) se deplasează în regiunea dintre Sursă și Drenă (venind în principal dinspre Sursă), formând un canal de conductibilitate. Astfel tranzistorul devine deschis. Comportarea pMOS este exact opusă, purtătorii de sarcină sunt golurile, venite într-o zonă a Bazei dopată n.

Avantajele MOSFET-urilor față de tranzistoarele bipolare sunt următoarele:

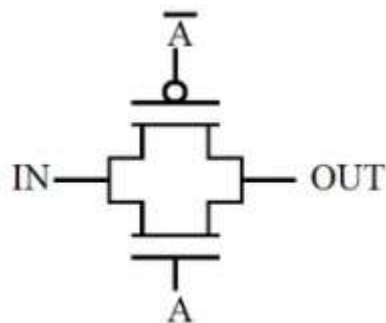
- Impedanță mare de intrare → Dispozitiv controlat în tensiune (ușor de controlat): Tranzistoarele bipolare au nevoie să se mențină un curent în bază de 10-100 de ori mai mic decât în colector, ceea ce face circuitul ce le controlează mai complicat. MOSFET-urile pe de altă parte sunt controlate de o tensiune în poartă (Gate), izolată de suprafața semiconductorului. Curentul fiind mic în poartă în toate situațiile, circuitul de control este mai simplu și mai ieftin de fabricat.
- Dispozitiv unipolar: Tranzistoarele bipolare folosesc ambele tipuri de purtători pentru conducție. Mai mult, tranzistoarele bipolare folosesc purtătorii în minoritate pentru conducție (electroni în zone P și goluri în zone N). FET-urile folosesc un singur tip de purtători, fie electroni, fie goluri și în plus curentul este dat de purtători majoritari (electroni în zone N și goluri în zone P). Aceste caracteristici fac MOSFET-urile să poată schimba starea la o frecvență mult mai mare decât TBIP (cu câteva ordine de mărime).
- Au limite de funcționare mult mai mare (suportă mai bine curenți/tensiuni mari)

Circuite cu tranzistoare

Switch

- Dacă switchul este deschis, tensiunea în poartă va fi 0V, deci tranzistorul va fi închis.
- Dacă switchul este închis, tensiunea din poartă va fi mai mare ca 0, iar cea din sursă va fi 0. $V_g > V_s$, deci tranzistorul conduce.

Transmission gate



Poarta de transmisie este un element electronic ce se comportă ca un releu non-mecanic. Este format din punerea în paralel a unui tranzistor nMOS cu unul pMOS cu intrarea pe poarta unuia fiind complementară intrării celuilalt.

Numite și porți analogice, ele permit trecerea curentului în oricare direcție cu cădere de tensiune minimă. * Când intrarea tranzistorului nMOS este **0** și intrarea tranzistorului pMOS este **1**, amândouă sunt oprite. * Când intrarea tranzistorului nMOS este **1** și intrarea tranzistorului pMOS este **0**, cele două tranzistoare sunt deschise.

Porțile de transmisie sunt folosite pentru a simplifica logica CMOS, cât și în construirea multiplexoarelor.

Amplificatoare Operationale

Un amplificator operational (op-amp [http://en.wikipedia.org/wiki/Operational_amplifier]) este un amplificator de voltaj cu input diferențial (nu contează atât de mult voltajul de pe intrări, ci diferența de voltaj dintre intrări). Amplificarea poate să fie cu 2-3 ordine de mărime mai mare ca diferența de la intrare.

Original folosite în calculatoare analogice, în rezolvarea de probleme matematice, acum este folosit în principal pentru a amplifica semnale.

Exerciții

1. **(2p)** Simulați alimentarea unui LED, folosind un switch SPDT, care sa comute între alimentarea direct de la sursa și alimentarea printr-un potentiometru.
2. **(2p)** Simulați o poartă NOT folosind releu.
3. **(2p)** Divizor de tensiune folosit ca sursă de tensiune.
 - Încărcați exemplul Voltage Divider
 - Vrem să folosim circuitul ca sursă de tensiune în alt circuit. Pentru a simula acest circuit, adăugați o rezistență de 10k între referința de 5V și ground.
 - Ce se întâmplă, de ce?
4. **(2p)** Implementați funcția (a OR b) XOR c folosind releu. Marcați intrările cu litere "a", "b" și "c", și ieșirea cu litera "o"
 - HINT: puteți copia și reproduce un circuit folosind copy și paste.
5. **(2p)** Proiectați și simulați o punte H cu tranzistori MOSFET (toti tranzistorii vor fi canal N).
6. **(2p)** Transformați o tensiune alternativă de 5V într-una continuă de aproximativ 10V.
 - (Hint: Folosiți diode și un transformator)