



TEHNOLOGII DE INTERCONECTARE ÎN ELECTRONICĂ

LUCRAREA DE LABORATOR nr. 5 METODE „CAD” DE INVESTIGAȚIE “PRE-LAYOUT” A PROIECTELOR ELECTRONICE

Scopul lucrării: Scopul prezentei lucrări de laborator este de a introduce studentul în simularea circuitelor electronice din cadrul proiectelor CAD ale modulelor și sistemelor electronice. Prin această activitate, ce face parte din categoria investigațiilor “pre-layout”, proiectantul poate testa funcționarea modulului electronic virtual și poate corecta eventuale erori de calcul și/sau concepție, astfel încât problemele de funcționare să fie detectate înainte de fabricația PCB și fabricația modulului electronic real.

Desfășurarea lucrării

1. Introducere

Dezvoltarea explozivă a modulelor/sistemelor electronice, creșterea complexității acestora și necesitatea imperioasă a reducerii timpilor de cercetare – proiectare – fabricație (așa numitul “time to market”) au condus la o schimbare radicală de optică în ceea ce privește înțelegerea funcționării unei scheme electronice și testarea parametrilor circuitelor ce formează structura SCM. Astfel, specialiștii au ajuns la concluzia că este practic obligatoriu ca în momentul începerii procedurii de transfer SCM – PCB să existe certitudinea că schema proiectată funcționează în conformitate cu cerințele inițiale, specificate în cadrul temei de proiectare a respectivului produs.

În aceste condiții, simularea asistată de calculator a devenit o metodă performantă, ieftină și necesară în cadrul fluxului CAE – CAD – CAM de dezvoltare a unui produs electronic. Ea permite evaluarea structurilor analogice, digitale și mixte înainte realizării practice a unui model experimental, prototip sau seriilor de fabricație și oferă, prin “tehnici de investigație virtuală”, informații precise cu privire la componente și circuite electronice, luându-se în considerare variația parametrilor componentelor, comportarea circuitului în diferite game de temperatură și în condiții speciale, efectul căderilor unor componente etc.

În cazul unor erori în cadrul structurii SCM, simularea oferă (prin prezentarea tensiunilor, curenților și puterilor în diverse zone și prin intermediul unor oscilograme virtuale) soluții sau indicații prețioase pentru rezolvarea problemelor existente. De la

Început trebuie spus, însă, că simulatoarele de circuit nu îl înlocuiesc pe specialistul electronist și că acesta, pe baza cunoștințelor teoretice/practice acumulate în cadrul facultății și prin experiență personală, trebuie să fie sursa de creație/concepție și factorul de decizie în cadrul dezvoltării schemei electronice și viitorului produs.

Prin simulare, cu ajutorul calculatorului, se pot efectua analize complexe de componente și circuite electronice, mai flexibile, mai precise, mai fiabile și mai ieftine decât cele care presupun realizarea lor experimentală. Astfel, prin simularea componentelor și circuitelor electronice, devine posibilă luarea în considerare a unei game largi de factori, care vizează:

- efectele variațiilor parametrilor unor componente;
- efectele căderilor unor componente;
- comportarea unor componente scumpe și/sau greu obținabile;
- comportarea fizică a componentelor și circuitelor care, în condiții de laborator, s-ar examina foarte greu (sau chiar nu ar fi posibilă).

Simularea permite specialistului să găsească mult mai repede soluția optimă. Pe această cale, se pot efectua determinări asupra:

- punctului static de funcționare;
- răspunsului la semnal mic, în regim permanent;
- sensitivității la variația unor parametri de circuit;
- variațiilor statistice ale parametrilor componentelor electronice și a efectelor acestora privind răspunsul circuitelor simulate;
- răspunsului în regim tranzitoriu;
- comportării componentelor și circuitelor în situațiile cele mai defavorabile;
- efectul temperaturii;
- zgomotului;
- distorsiunilor;
- comportării în frecvență și analizei Fourier.

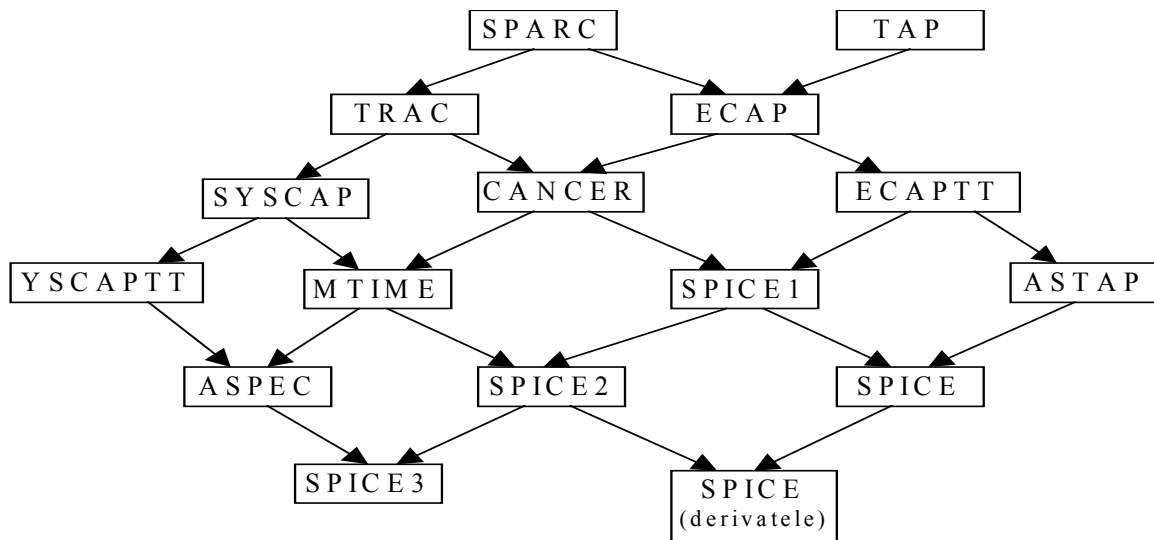
În problemele de simulare trebuie avută în vedere și convergența algoritmilor numerici. Există o serie de condiții care previn soluțiile eronate în cazul unor modele neadevate pentru componente sau în cazul unor circuite "exotice". Neconvergența apare la modelele cu derivate discontinue, la rețelele puternic neliniare, la circuitele simetrice și la cele cu o reacție foarte puternică. Soluția de eliminare a neconvergențelor este specifică fiecărui caz în parte, în general realizându-se prin schimbarea condițiilor inițiale. De exemplu, la circuitele cu reacție foarte puternică se va încerca analiza în buclă deschisă; valorile obținute pot fi luate ca puncte de plecare într-o nouă analiză cu buclă refăcută (închisă). Din fericire, cei mai mulți producători prevăd programe pentru diagnosticarea neconvergențelor.

Programe de simulare

Analiza pe calculator a circuitelor a fost inițiată încă din anii '60. În perioada de început au fost o serie de limitări impuse de hardware și software, de calitatea și numărul modelelor existente pentru componente. Simularea se efectua doar în domeniile avansate din electronică (de exemplu, în proiectarea circuitelor MSI). Din motivele enumerate mai sus, complexitatea circuitelor și a problemelor rezolvate este relativ redusă.

Dezvoltarea cercetărilor spațiale și militare, bazate pe echipamente de calcul, au impus cerințe din ce în ce mai puternice simulatoarelor. Astfel, a apărut analiza neliniară în curent continuu și în regim tranzitoriu, analiza de semnal mic, modele mai bune pentru semnal mic și semnal mare, algoritmi ce asigură precizie și stabilitate mai bună, precum și posibilitatea simulării unor circuite complexe. Aplicația imediată a fost proiectarea circuitelor integrate bipolare.

O schemă simplificată a evoluției simulatoarelor este prezentată mai jos:



Primele programe (TAP, ECAP, SCEPTRE) aveau limitările timpului lor. Ele lucrau în modul batch, pe frame-uri, memoria era scumpă și limitată, costul sistemului era ridicat și, deci, prohibit, pentru foarte mulți utilizatori. De asemenea, complexitatea circuitului se limita la câteva sute de noduri și componente.

Anii '70 constituie un moment important în evoluția simulatoarelor, prin dezvoltarea și ieftinirea hardware-ului, dezvoltarea tehnicilor de gestiune a memoriei și, în special, prin dezvoltarea programelor și algoritmilor de calcul. Proliferează o serie de simulatoare, dar se impun și altele: ASPEC, SYSCAP și SCEPTRE. Dominant rămâne **SPICE**, dezvoltat de Universitatea Berkeley din California. **SPICE** devine simulatorul standard la care se vor referi, de acum încolo, toți producătorii de simulatoare.

SPICE are, în esență:

1. o parte de descriere a circuitului (editare);
2. o parte de vizualizare grafică (forme de undă, răspuns în frecvență etc.);
3. o secțiune de modelare de dispozitiv;
4. un ansamblu de biblioteci de componente cu modele asociate.

Tendențe actuale

În prezent se dezvoltă a treia generație de simulatoare, care beneficiază de facilități multiple:

- grafică specială și de mare rezoluție;
- meniuri;
- ferestre diverse;
- reprezentarea schematică a circuitelor.

O serie de companii au apelat la programele clasice, altele și-au dezvoltat programe proprii (exemple: Motorola-MTIME, IBM-ASTAP, INTEL-ISPEC). Simulatoarele au fost implementate pe calculatoare de tip PC/AT, în competiția producătorilor înscriindu-se inițial “Microsim” cu PSPICE, “Intusoft” cu IsSPICE, “Technology modelling associates (TMA)” cu AAM, “Cadence design systems Inc.” cu SPECTRE. Simularea de circuit din cadrul laboratorului de față de bazează pe simulatorul “Pspice A/D” al pachetului de proiectare OrCAD 16.6 al firmei Cadence, divizia PCB, OrCAD, simulator de generația a III-a (Cadence a preluat OrCAD, care preluase, anterior, Microsim). Prin intermediul acestuia studentul poate face investigații ale circuitelor analogice, digitale și mixte.

Pspice A/D folosește ca tehnică de investigație metoda potențialelor la noduri și de aceea fiecare nod trebuie să aibă un număr de ordine. Sistemul OrCAD numerotează automat toți arborii de interconectare (net-urile) și ajută, astfel, utilizatorul în pregătirea structurii SCM pentru simulare, dezavantajul fiind că această numerotare este aleatorie, fapt ce impune deseori atribuirea unor numere de ordine firești (figura 1).

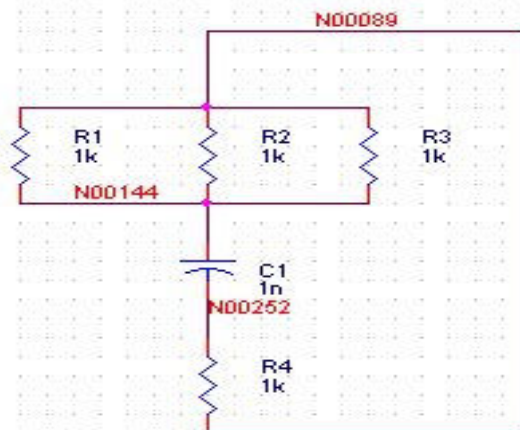


Fig. 1 Exemplu de alocare automată a nodurilor (arborilor, net-urilor) de interconectare

Numerele alocate nodurilor trebuie să fie numere naturale, masa fiind totdeauna nodul “zero”. Atenție, nu orice masă reprezintă o referință pentru simulare (figura 2). Pentru ca simularea să aibă loc trebuie ca simbolul de masă să fie “0/SOURCE” (simbolul “0” din biblioteca “SOURCE”). În cazul în care se utilizează un alt simbol de masă, acestuia trebuie să i se aloce numele “0” prin intermediul comenzii NET ALIAS. Mai mult chiar, în cazul în care nodul este numit corect, prezența masei nici nu mai este obligatorie. Se sugerează, totuși, folosirea simbolurilor de masă pentru o mai bună reprezentare a schemei electronice.

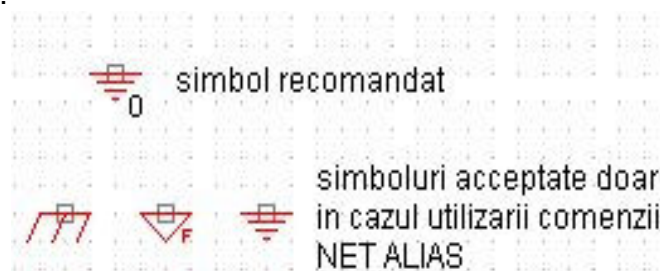


Fig. 2 Simboluri de masă pentru simulare

Deoarece specificitatea activităților CAD generează structuri electronice care nu pot fi soluționate de simulatorul PSPICE, utilizatorul trebuie să cunoască și să respecte o serie de reguli fundamentale de pregătire a postprocesării destinate simulării de circuit:

1. fiecare nod trebuie conectat la cel puțin 2 (două) elemente de circuit, excepție făcând doar nodurile liniilor de transmisiune și cele ale substratului la MOS-FET;
2. pentru fiecare nod trebuie să existe cel puțin o cale de curent continuu la masă (nodul de referință, notat cu "0"); dacă această cale nu există, ea trebuie creată (figura 3) prin plasarea unei rezistențe de valoare foarte mare (pentru a nu influența funcționarea circuitului) între nodul izolat și masă;

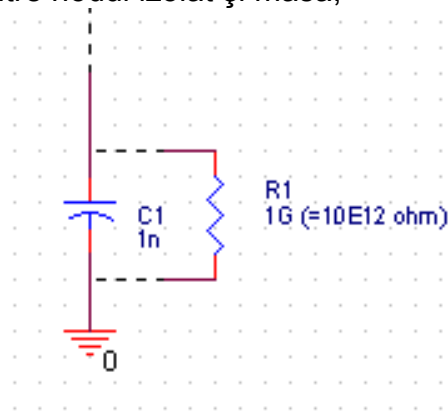


Fig. 3 Plasarea unei rezistențe de valoare foarte mare între nodul izolat și masă

3. circuitul de simulat nu poate conține o buclă numai cu surse de tensiune și/sau inductanțe (numite bucle în scurtcircuit) deoarece se generează o buclă de rezistență electrică nulă. Dacă se întâlnește această situație, ea trebuie evitată prin plasarea unei rezistențe de valoare foarte mică (pentru a nu influența funcționarea circuitului, de exemplu $1 \text{ p}\Omega$) în cadrul buclei;
4. circuitul de simulat nu poate conține o buclă numai cu surse de curent și/sau capacități (condensatoare); în acest caz trebuie să se plaseze o rezistență de valoare foarte mare în paralel cu sursele de curent sau capacitățile (condensatoarele).

În tabelul 1 sunt prezentați factorii de scală pentru valorile numerice alocate componentelor din cadrul circuitului.

OBS: Trebuie remarcat în mod special faptul că prefixul pentru **mega-** nu este clasicul **M** ci **MEG**!

Factor de scală	Simbol
femto (10^{-15})	F sau F
pico (10^{-12})	p sau P
nano (10^{-9})	n sau N
micro (10^{-6})	u sau U
mili (10^{-3})	m sau M
kilo (10^3)	k sau K
mega (10^6)	MEG
giga (10^9)	G
tera (10^{12})	T

Tab. 1 Factori de scală pentru valorile numerice

PSPICE nu face deosebire între majuscule și minuscule și lucrează cu următoarele unități implicite: Volt, Amper, Ohm, Farad, Henry și Watt. Trebuie precizat, însă, că din respect pentru savanții care au dat numele respectivelor unități de măsură și pentru o

Înțelegere mai bună a multiplicatorilor este bine să se scrie corect și complet unitățile de măsură și multiplicatorii (de exemplu: kHz, nu KHZ sau doar K în cazul frecvenței; mA, nu MA, mAmps, sau doar m în cazul intensității curentului).

Simularea de circuit se împarte în două etape distincte:

- **Etapa SCM** – generarea schemei electrice (a circuitului electronic), verificarea structurii proiectate din punct de vedere electric, verificarea regulilor PSpice, postprocesarea orientată spre simularea de circuit și obținerea fișierului “netlist”.
- **Etapa PSpice** – Accesarea blocului de simulare, pregătirea simulării și stabilirea parametrilor, rularea simulării și obținerea rezultatelor sub formă numerică, text sau grafică, interpretarea rezultatelor și optimizarea soluțiilor. În cazul majorității simulatoarelor moderne pregătirea simulării, stabilirea parametrilor și startarea simulării se realizează în cadrul blocului SCM.

2. Blocurile sistemului OrCAD de proiectare și simulare a circuitelor electronice

- **Capture** – editor schematic;
- **PSpice** – simulator de circuit;
- **Probe** – procesor grafic pentru vizualizare rezultate;
- **Stimulus Editor** – editor de forme de undă (generate de sursele de tensiune/criterii extinse);
- **Parts** – program de determinare semiautomată a parametrilor componentelor.
Obs: Se folosește “Notepad” pentru editări de texte ale modelelor și netlist-urilor.

3. Preliminarii Pspice

- Orice circuit trebuie să aibă “nodul 0”= referință = GND de tip “0” (masă specială destinată doar simulării de circuit);
- Orice nod trebuie să aibă o cale de c.c. spre referință;
- Nu se admit în schemă, în c.c., bucle în scurt-circuit (bucle cu surse de tensiune și inductanțe);
- Fiecare nod trebuie conectat la cel puțin două componente;
- Unități de măsură – implicite (V,A,Ω,F,H,W), funcție de mărimea fizică;
- PSpice – nu face deosebire între majuscule și minuscule;
- “Space”, “Tab ” (paranteze rotunde, semne de egalitate, separatori, virgule), numărul lor între câmpuri este nesemnificativ;
- o linie = 80 caractere;
- se poate continua pe linia următoare cu “+”;
- Începerea unei instrucțiuni de comandă: “.” (punct);
- Începerea unei instrucțiuni de comentariu: “*” (asterisc).

4. Structura unui fișier PSpice

- a) **titlu** – obligatoriu (dacă nu se scrie, programul va considera prima linie ca titlu și o va ignora din analiză);

- b) comentariu;
- c) descrierea componentelor;
- d) instrucțiuni de comandă;
- e) încheiere (.END).

Obs: Ordinea instrucțiunilor în program nu contează (cu foarte rare excepții), în afară de a) și e) dar este bine să fie structura de mai sus.

Obs: Fișier PSpice: “*.cir” (reprezintă fișierul de intrare pentru simulatorul PSpice).

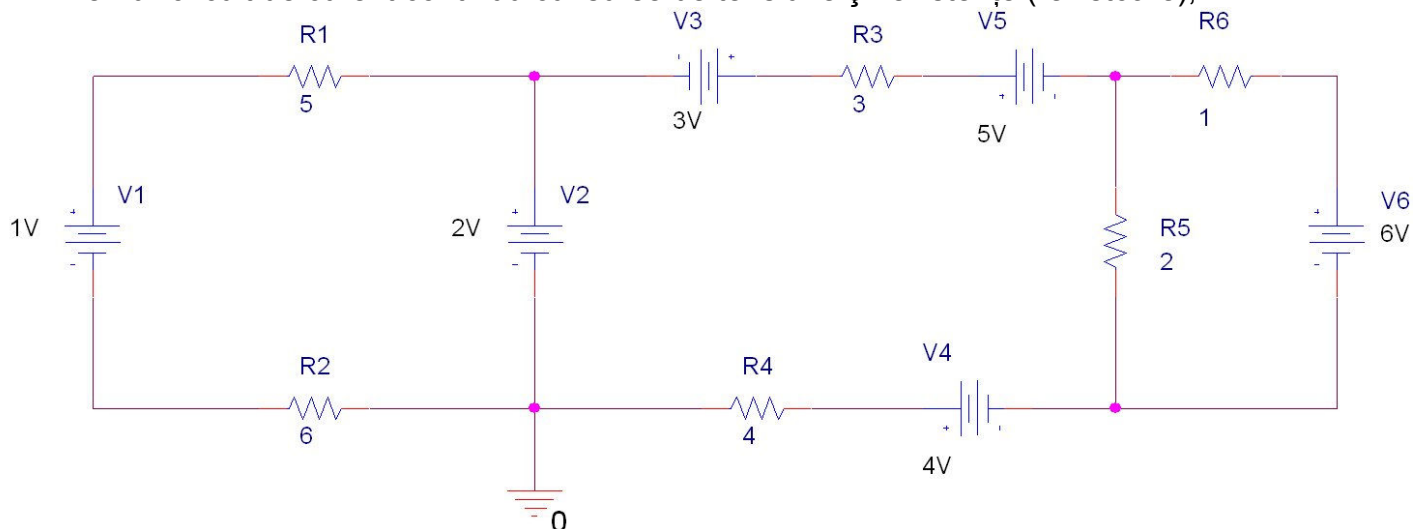
5. Pași destinați activității de simulare

1. Realizare proiect SCM pe calea “Analog or Mixed A/D”;
2. Plasarea de componente virtuale (part-uri) care să cuprindă informații pentru simularea de circuit (din bibliotecile subdirectorului “Pspice”, aflat în directorul principal al bibliotecilor, “Library”);
3. Setarea valorilor și proprietăților de componentă;
4. Definirea și plasarea surselor de alimentare și semnal;
5. Definirea formelor de undă cu care se lucrează;
6. Stabilirea profilului de analiză și configurarea caracteristicilor de analiză de circuit;
7. Plasarea marker-ilor;
8. Generarea de “netlist” și verificarea fișierului;
9. Rularea simulării;
10. Vizualizarea rezultatelor;
11. Interpretarea rezultatelor și determinarea soluției optime.

6. Proiecte de realizat în cadrul laboratorului

⇒ Simulări de curent continuu

Temă: circuit de curent continuu cu surse de tensiune și rezistențe (rezistoare);

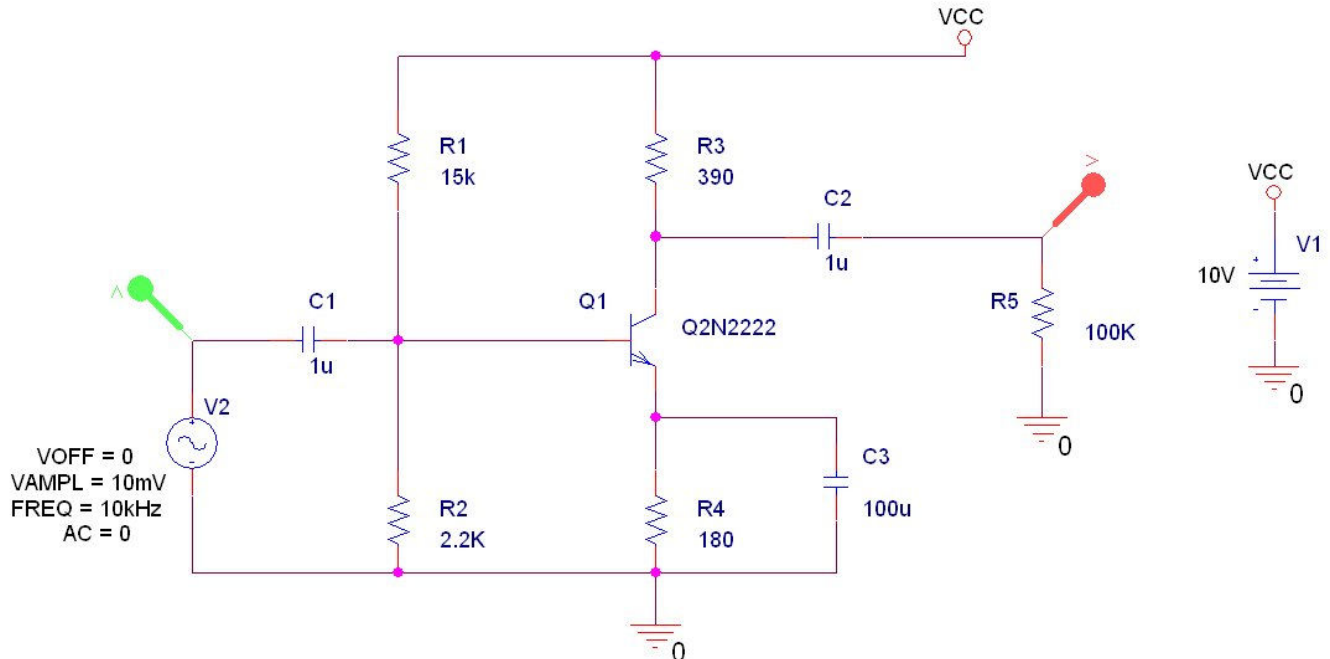


Să se determine prin simulare toate potențialele la noduri (funcție de potențialul de referință), toți curenții prin ramuri și toate puterile pe surse și rezistențe (rezistoare).

Temă suplimentară: divizor de curent cu rețea R-2R.

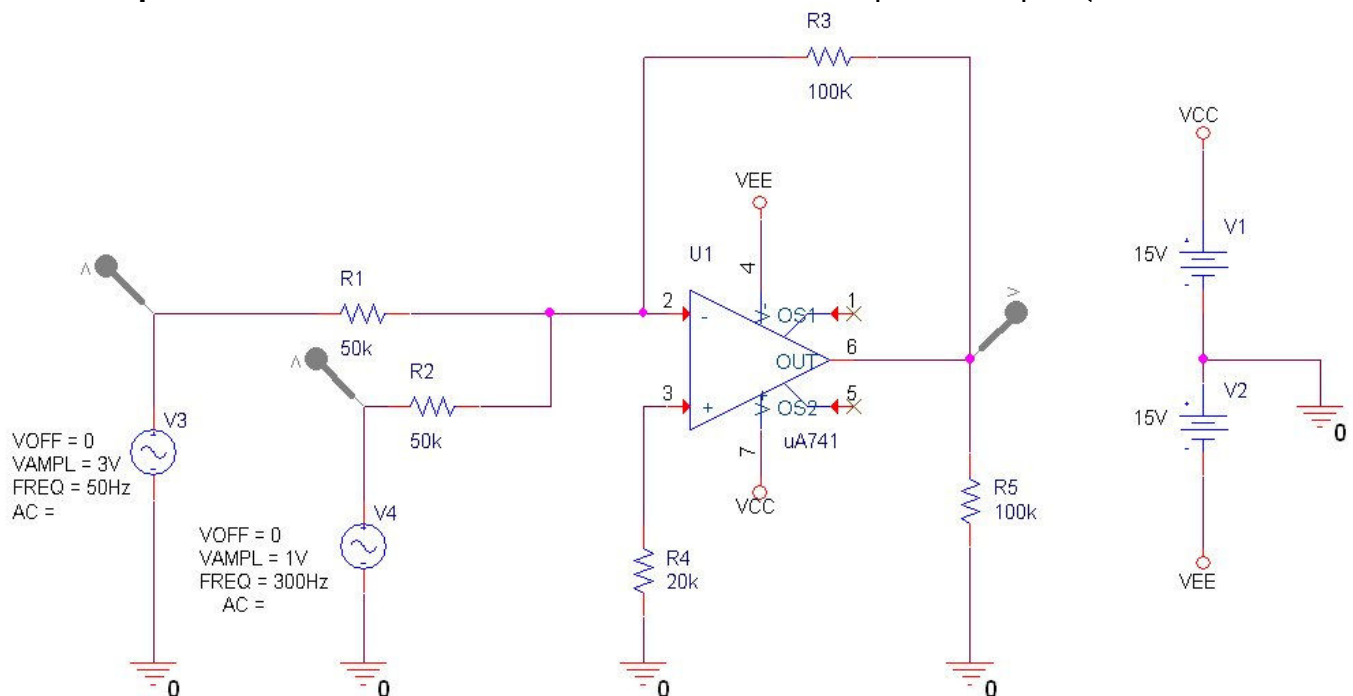
⇒ **Simulări în domeniul timp**

Temă: Amplificator cu tranzistor bipolar cu jonțiune;



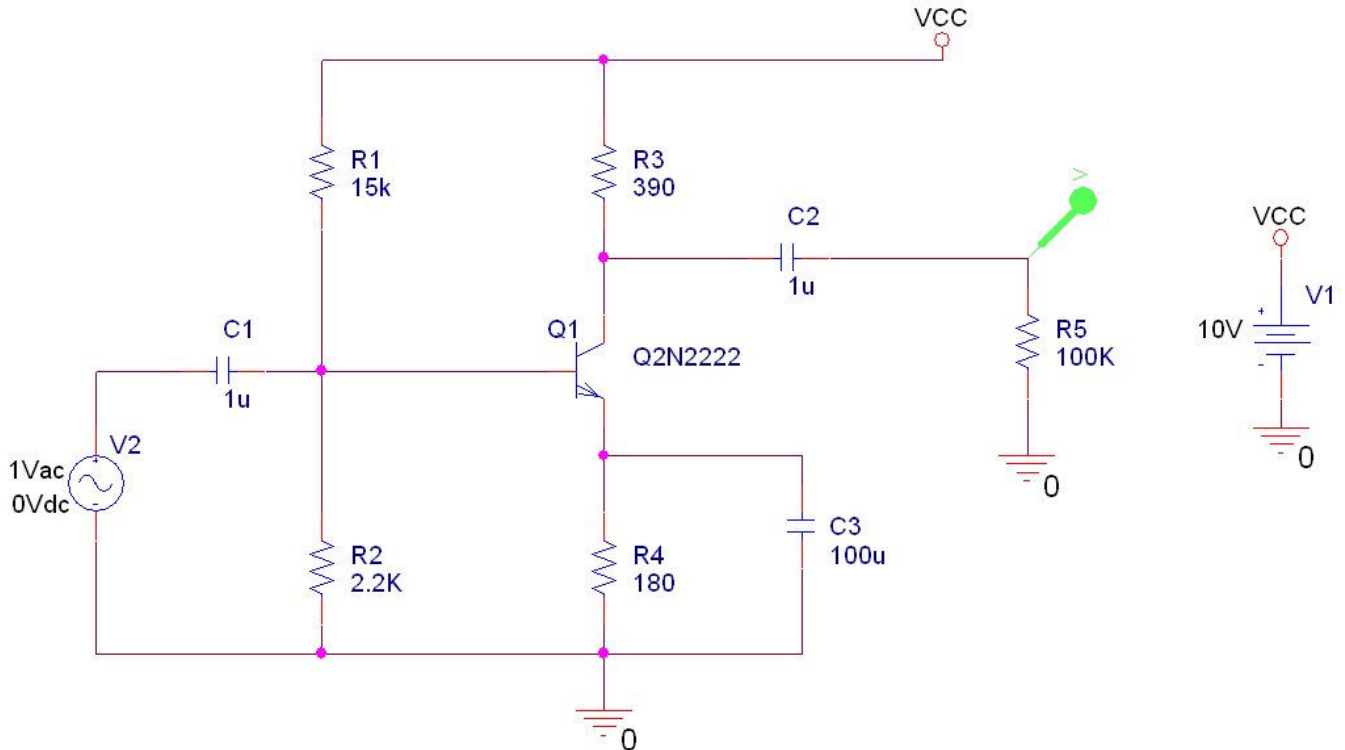
Să se determine prin simulare amplificarea circuitului de mai sus.

Temă suplimentară: sumator de semnale sinusoidale cu amplificator operațional 741.



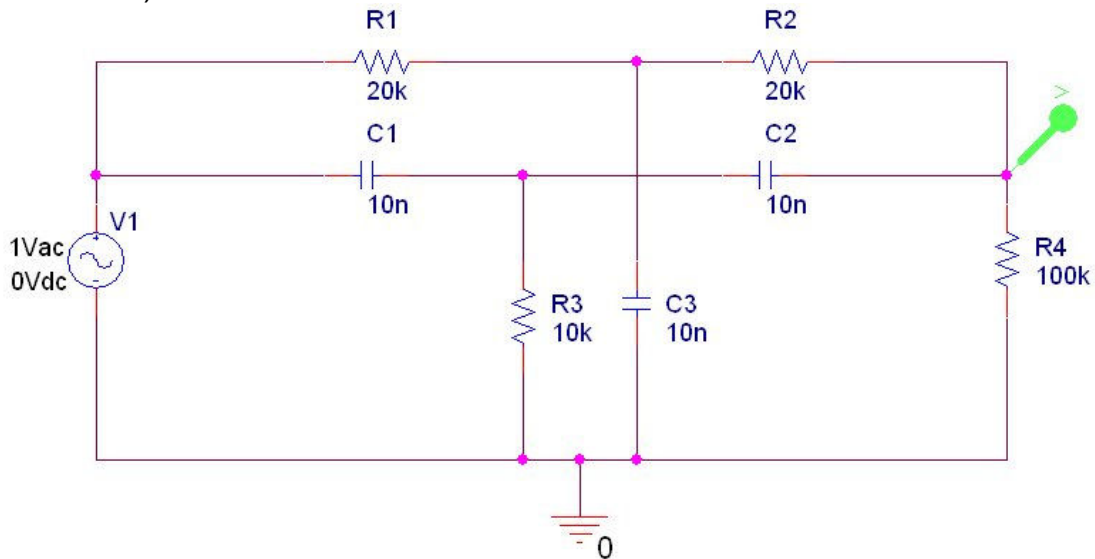
⇒ **Simulări în domeniul frecvență**

Temă: amplificator cu tranzistor bipolar cu jonțiune;



Să se determine prin simulare banda la 3dB a amplificatorului de mai sus.

Temă suplimentară: filtru dublu T cu rezistențe (rezistoare) și capacități (condensatoare).



Să se determine prin simulare tipul filtrului și să se găsească frecvența de interes maxim după obținerea caracteristicii amplitudină – frecvență.

≈ • ≈