

# AAR3390

## Elektroonikaseadmete raalprojekteerimine



---

**Õppeaine maht: 2.5 ainepunkti**

**Kontrollivorm: Hindeline arvestus**

**Tunde nädalas: 3, neist loenguid 1, laboreid 2.**



# Põhimõisted

---

- **elektrilülitus** (*electrical circuit*)
- **elektriskeem** (*electrical circuit diagram*)
- **elektroonikalülitus** (*electronic circuit*)
- **raalprojekteerimine** (*computer aided design, CAD*)
- **tingmärk** (*graphical symbol*)
- **elektriline aseskeem** (electrical equivalent circuit)
- **simuleerimine** (*simulation*)



# Õppeaine AAR3390 programm

---

- Lülituste mudelid ja tingmärgid
- Elektrilülituste simulaatorid
- Jõuelektronikaseadmete ja analooglülituste modelleerimine
- Elektronikakomponentide mudelid
- Trükkplaatide projekteerimine



# Kirjandus

---

- Lehtla, M.: Elektroonikaseadmete raalprojekteerimine, Tallinn, TTÜ 2002
- Разевиг, В.Д.: Применение программ P-CAD и PSpice для схемотехнического моделирования на ПЭВМ Выпуск 2, Москва, Радио и Связь 1992,
- Kühnel, C.: Schaltungssimulation mit PSice : analoge Schaltungen erfolgreich simulieren, analysieren und optimieren: mit komplettem Simulationsprogramm auf 2 Disketten, Francis 1994., 200 lk.
- Price, T. E.: Analog electronics : an integrated PSpice approach, Prentice hall c1997., 706 lk.
- Kühnel, C.: Schaltungsdesign mit PSPICE unter Windows : das Design Center für Windows, Franzis, 1996, 283 lk.
- Shur, M., Ytterdal, T.: Introduction to device modeling and circuit simulation, Wiley c1998, 409 lk.
- Tuinenga, P.W.: SPICE : a guide to circuit simulation and analysis using PSpice / Paul W. Tuinenga, Englewood Cliffs (N.J.) : Prentice Hall 1995, 288 lk.
- Joller, J.: Jõuelektronika, Tallinn, TTÜ 1996
- Mohan, N. Undeland, T.M., Robbins, W.P.: Power Electronics: Converters Application and Design, John Wiley & Sons, New York. 1989, 657 p



# Praktikumid

---

1. Elektriahela mudeli analüüsimeetodid  
(MultiSIM, PSpice)
2. Elektriahela mudeli analüüsimeetodid  
(MatLAB SimPowerSystems)
3. Trükkplaatide projekteerimine  
(Ultiboard, Eagle)
4. Individuaalne projekt  
(<http://www.discovercircuits.com/list.htm>)



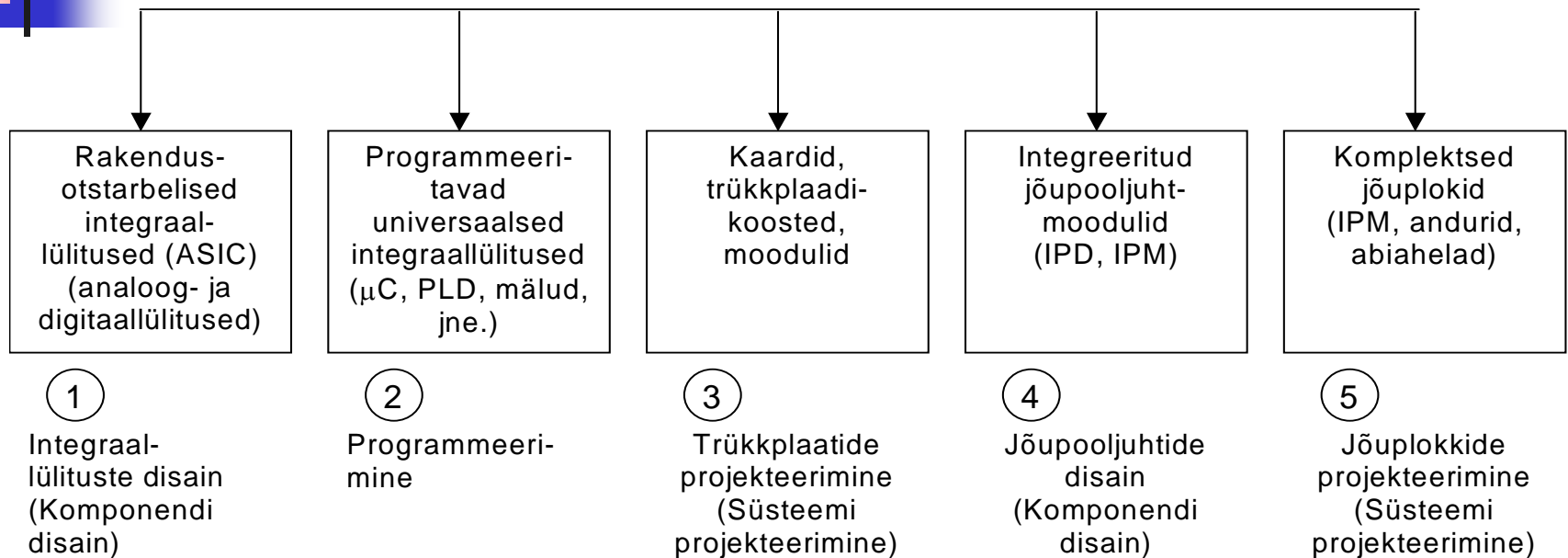
# Simuleerimisülesanded

---

1. Dioodalaldi
2. RLC filtrite sagedustunnusjooned
3. Näited programmiga MultiSIM
4. Aktiivfiltrid ja regulaatorid
5. Analoo- ja digitaallülitustega segaahelad
6. Plokkide käitumuslik modelleerimine ülekandefunktsioonidega



# Elektroonikalülitused



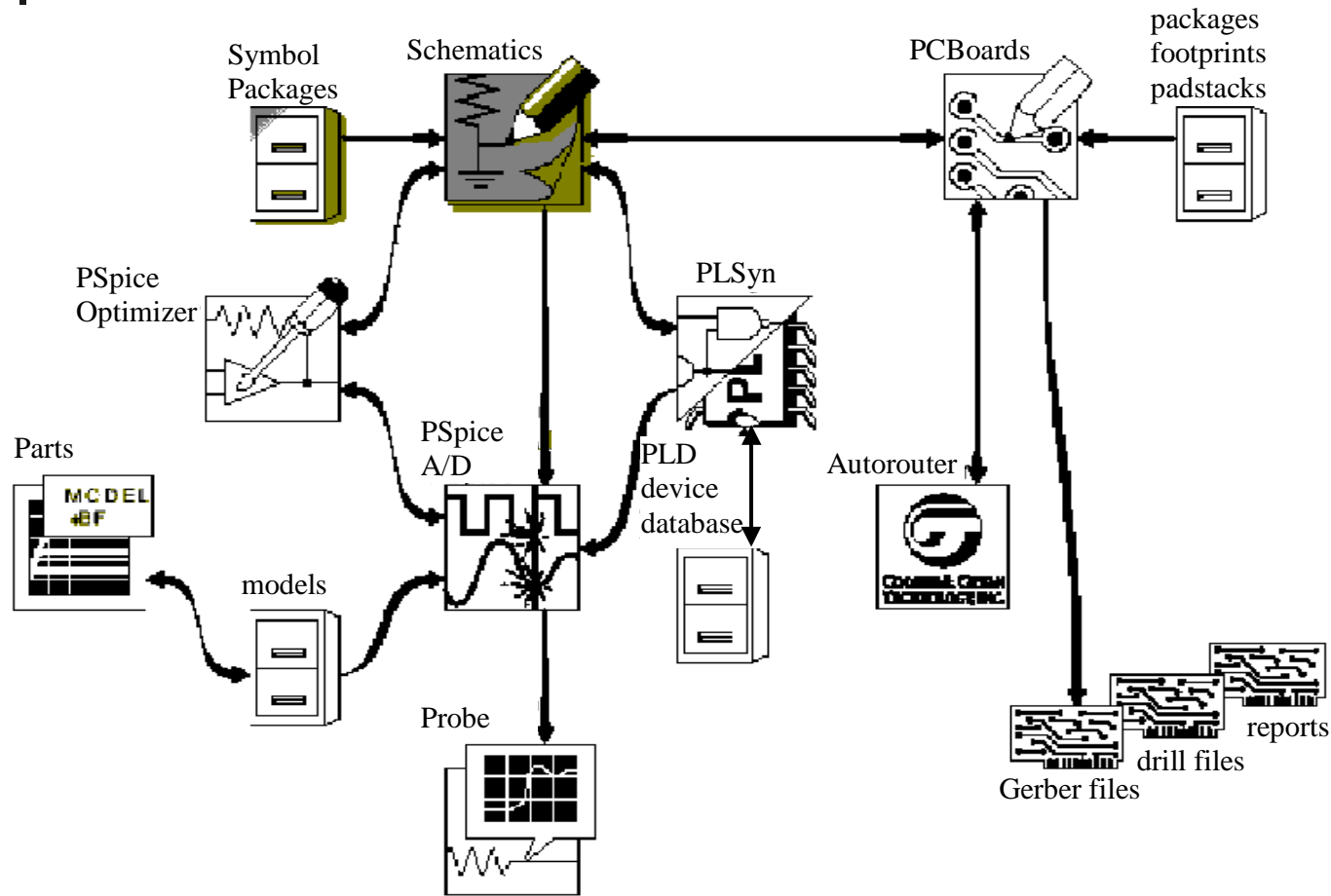



# Mudelid

---

- matemaatiline mudel
- struktuuriline ja käitumuslik mudel
- aseskeem ja makromudel
- objekti mudeli klass ja eksemplar
- modelleerimistarkvara ja projekteerimiskeel
- simulaatorisisene ja kasutajamudel

# EDA paketid





# SPICE - Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis

---

## SPICE simulaatoril põhinevad tarkvarapaketid

- US-Bercley <http://rpmfind.net/linux/RPM/spice.html>
- PSpice <http://www.orcad.com>
- WinSpice <http://www.willingham2.freemove.co.uk/winspice.html>
- AIM-Spice <http://www.aimspice.com>
- SIMatrix <http://www.newburytech.co.uk/>
- SpiceAge <http://www.spiceage.com/>
- MultiSim <http://www.electronicworkbench.com>
- Ivex Spice <http://www.ivex.com>
- SMASH <http://www.dolphin.fr/medal.htm>
- H-SPICE <http://www.avant.com/>
- B2 SPICE <http://www.beigebag.com/>, <http://www.cadsoft.de/>



# Veel analoog elektrilülituste simulaatoreid...

---

- MatLAB SimPowerSystems

<http://www-europe.mathworks.com/>

- Saber

<http://www.analogy.com>

- Simplorer

<http://www.simplorer.com>

- Aplac



# Tähised vastavalt IEC 750, EN 61346-1 ja EN61346-2 standarditele

---

- A - koost, alamkoost, magnetvõimendi, laser, trükkplaat
- B - andurid: termoelektrilised, fotoelektrilised, dünamomeetrid, mikrofon, impulssandur, koodandur, valjuhääldi
- C - kondensaatorid
- D - kahend-elemendid: viivitusseadised, salvestusseadised, registrid, ketta ja lindiseadmed,
- E - mitmesugused valgustusseadised, kütteseadised
- F - kaitseseadised: sulavkaitse, liigpingelahendi
- G - generaatorid: toiteplokid, masinmuundurid, akupatareid, kvarts-signaaligeneraatorid
- H - indikaatorid: optilised ja akustilised
- J --
- K - releed ja kontaktorid
- L - induktiivpoolid, reaktorid
- M - mootorid
- N - analoogelemendid: operatsioonivõimendi, hübriid analoog-digitaalseadised jne.
- P - mõõteseadised, katseseadised, signaaligeneraatorid, kellad jne.
- Q - jõuahelate lülitusseadised: kaitselüliti jne.
- R - takitstid
- S - juhtahelate lülitusseadised, surunupud, lõpplülitid, jne.
- T - trafod
- U - modulaatorid, de-modulaatorid, vaheldid, muundurid jne.
- V - elektronikiiretorud, pooljuhtdiodid, transistorid, türistorid
- W - ülekandelülid, lainejuhid, kaablid, siinid jne.
- X - pistikühendused, jooteliidesed, kaabliühendused
- Y - elektriliselt juhitavad mehaanilised seadised: pidur, pneumo-klapp jne.
- Z - lõppühendused, filtrid, võrgud, equalizer'id jne.

# Kaheklemmiliste seadiste SPICE tähised

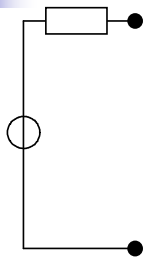
<b>SPICE tähis</b>	<b>2 klemiline seadis</b>
C	kondensaator
D	Diod
z	Pingega juhitud pingesallikas*
F	Vooluga juhitud voolusallikas*
G	Pingega juhitud voolusallikas*
H	Vooluga juhitud pingesallikas*
I	Sõltumatu voolusallikas
L	Induktiivsus
R	Takistus
S	Pingega juhitud lüliti*
V	Sõltumatu pingesallikas
W	Vooluga juhitud lüliti *

\* Juhtimissisendeid ei käsitle programm PROBE klemmidena

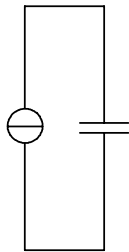
# Kolme- ja neljaklemmiliste seadiste SPICE tähised

<b>3 või nelja-klemmiline seadis</b>	<b>Seadise SPICE tähis</b>	<b>Väljaviigud, klemmid</b>
GaAs MESFET	B	D (drain), G (gate), S (source)
Junction FET	J	D (drain), G (gate), S (source)
MOSFET	M	D (drain), G (gate), S (source), B (bulk, substrate)
Bipolar transistor	Q	C (collector), B (base), E (emitter), S (substrate)
transmission line	T	A ( <i>near side</i> ), B ( <i>far side</i> )
IGBT	Z	C (collector), G (gate), E (emitter)

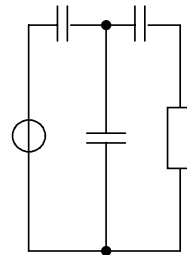
# Ideaalelementidest koosnevad ahelad, mida pole võimalik simuleerida



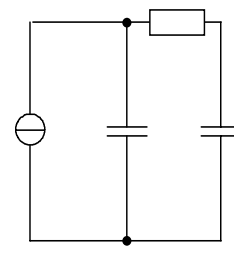
a)



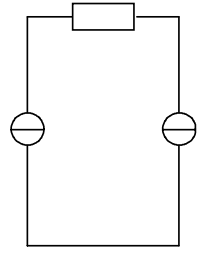
b)



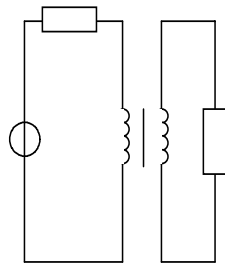
c)



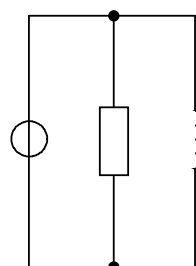
d)



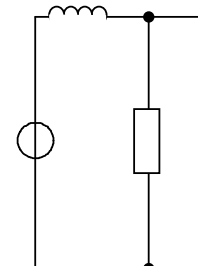
e)



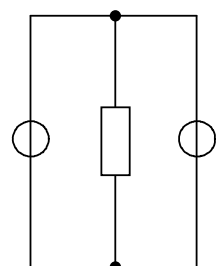
f)



g)



h)



i)

a) – f) Puudub ühendus 0 sõlmega.

g) – i) Alalisvoolutakistus sõlmede ja 0 sõlme (massisõlme) vahel on null.

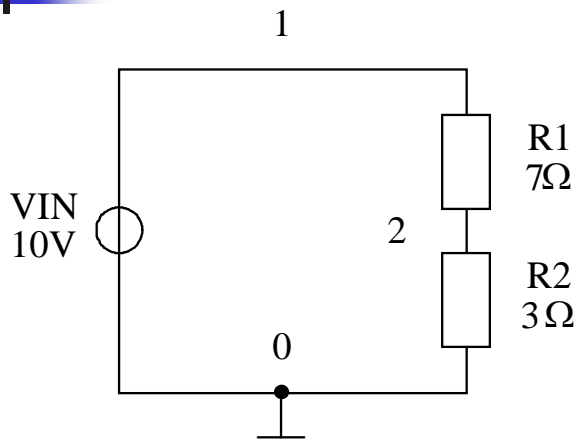


# Analüüsimeetodid

---

- Alalisvooluanalüüs
  - Tundlikkuse analüüs
  - Tööpunkti arvutus
  - Nõrgasignaali ülekandefunktsioon
- Aeg-analüüs
  - Siirdeanalüüs
- Sagedus-analüüs
  - Sageduskarakteristik
  - Müraanalüüs
  - Fourier analüüs

# NÄIDE - PINGEJÄGUR



- PINGEJAGUR
- VIN 1 0 10VOLT
- R1 1 2 7OHM
- R2 2 0 3OHM
- .END

1. Rida Pealkirjarida
2. Rida Pingeallikas VIN sõlmest 1 sõlme 0 pingega 10 Volti. (Tähti numbrite järel üldiselt ignoreeritakse, väljaarvatud juhul kui märgijada numbri järel algab tähistega T, G, MEG, K, M, U, N, P, F ja MIL. Need tähised kirjeldavad skaleerimisfaktorit).
3. Rida Takisti R1 sõlmest 1 sõlme 2 takistusega 7 W. Tähis OHM on programmi jäoks kommentaariga võrdne ja seda skeemianalüüsil arvesse ei võeta (vt. rea 2 selgitus).
4. Rida Takisti R2 sõlmest 2 sõlme 0 takistusega 3 W. Tähis OHM on programmi jäoks kommentaariga võrdne ja seda skeemianalüüsil arvesse ei võeta (vt. rea 2 selgitus).
5. Lõpulause





# Väljundfaili näide

```
** 08/30/99 17:17:00 *** Win95 PSpice 8.0 (July 1997) *** ID# 99195
*PINGEJAGUR
*****      CIRCUIT DESCRIPTION
VIN  1 0 10VOLT
R1   1 2 7OHM
R2   2 0 3OHM
.END

** 08/30/99 17:17:00 *** Win95 PSpice 8.0 (July 1997) *** ID# 99195
*PINGEJAGUR
*****      SMALL SIGNAL BIAS SOLUTION          TEMPERATURE = 27.000 DEG C
NODE  VOLTAGE      NODE  VOLTAGE      NODE  VOLTAGE      NODE
VOLTAGE
(  1)  10.0000  (  2)   3.0000

      VOLTAGE SOURCE CURRENTS
      NAME          CURRENT
      VIN           -1.000E+00

      TOTAL POWER DISSIPATION  1.00E+01  WATTS
      JOB CONCLUDED
      TOTAL JOB TIME           .06
```

- PSPICE toob kõigepealt ära skeemikirjelduse listingu (CIRCUIT DESCRIPTION).
- Signaalide tööpunktid (SMALL SIGNAL BIAS SOLUTION)
- Kõigi sõlmede pinged (NODE VOLTAGE)
- Pingeallikate voolud (VOLTAGE SOURCE CURRENTS)
- Skeemi kaovõimsus (TOTAL POWER DISSIPATION)
- Arvutuseks kulunud aeg (TOTAL JOB TIME).

# SPICE faili (CIR) KOOSTAMISE REEGLID

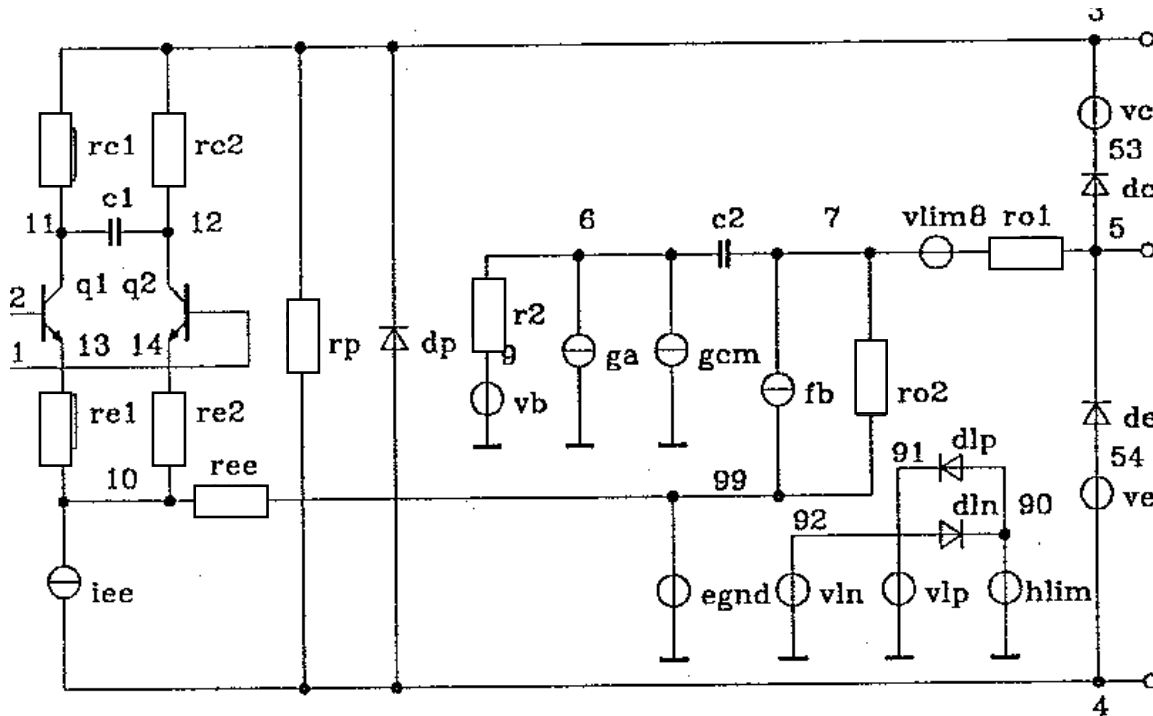
- Esimest rida SPICE-failis käsitletakse kui pealkirja
- Lõpuosas peab sisalduma ".END" lause. Ridasid mis algavad tärniga ("\*") käsitletakse kommentaaridena ja ignoreeritakse simulaatori poolt.
- Read, mis algavad plussmärgiga ("+") on eelmise rea järg (eelmise rea lõpp on üle viidud järgmisele reale).
- Pealkirjarea ja .END lause vahele jäävad laused kantakse simuleerimisel üle ka väljundfaili (väljaarvatud juhul kui on määratud parameeter NOECHO käsulausega .OPTIONS)
- Suur ja väiketähtedel simulaator vahet ei tee (on samaväärsed)
- Tühikud ja tabulatsioonid (<TAB> märgid) ja komad on samaväärsed ja toimivad eraldusmärkidena
- Mitu skeemi (algavad pealkirjaga ja lõpevad ".END" lausega) võivad paikneda samas failis. PSpice töötleb kõik läbi.
- Nimed peavad algama tähega, ülejäänud märgid võivad olla numbrid või märgid \$, \_, ` , / ja %. Nimed võivad olla kuni 131 märki pikad, kuid PSpice arvestab vaid 8 –t esimest märki.
- Sõlmesid saab tähistada nimedega. Kui esineb kokkulangevus komponendinimega, siis tuleb sõlmenime kasutada kantsulgudega. Kui SPICE-fail sisaldab Takistust RLOAD ja ühte sõlmenime RLOAD, siis tähistab kirjutusviis V(RLOAD) pinget takistusel RLOAD ja kirjutusviis V([RLOAD]) pinget sõlmel RLOAD.
- Nimede abil on skeemis võimalik määrata nn. "globaalseid" sõlmi. Globaalsete sõlmede abil saab määrata ühtseid sõlmi põhiskeemis ja alamskeemis. Globaalsed sõlmed algavad alati tähistusega \$G\_ .
- Kui osa skeemikirjeldusest paikneb eraldi failis, siis neid faile on võimalik arvutamiseks siduda kasutades lauset .INC <"faili nimi"> SPICE-failis. Sellisel juhul loetakse simuleerimisel vahepeal andmeid vahele paigutatud SPICE-failist.



# Väljundmuutujate vormingute näiteid

<b>Näide</b>	<b>Samaväärne</b>	<b>Kirjeldus</b>
V(NET3,NET2)	-	Pinge analoogsignaali sõlmede NET3 ja NET2 vahel
V(C1:1)	V1(C1)	Pinge kondensaatori C1 klemmil 1.
VP(Q2:B)	VBP(Q2)	Pinge faas bipolaartransistori Q2 baasil.
V(T32:A)	VA(T32)	Pinge ülekandeliini T32 ühenduspunktis (port) A.
I(M1:D)	ID(M1)	Vool läbi MOSFET väljatransistori M1 neelu.
VIN	-	Pingeallikas nimega VIN
FREQUENCY	-	sagedus skaneerimisel vahelduvvooluanalüüsil(AC)
NFID(M1)	-	Müra... flicker noise from MOSFET M1

# Makromudel



```

*$
*-----
* connections: non-inverting input
*               | inverting input
*               || positive power supply
*               ||| negative power supply
*               |||| output
*               |||||
.subckt uA741 1 2 3 4 5
*
c1 11 12 8.661E-12
c2 6 7 30.00E-12
dc 5 53 dy
de 54 5 dy
dlp 90 91 dx
dln 92 90 dx
dp 4 3 dx
egnd 99 0 poly(2),(3,0),(4,0) 0 .5 .5
fb 7 99 poly(5) vb vc ve vlp vln 0 10.61E6 -1E3 1E3 10E6 -10E6
ga 6 0 11 12 188.5E-6
gcm 0 6 10 99 5.961E-9
iee 10 4 dc 15.16E-6
hlim 90 0 vlim 1K
q1 11 2 13 qx
q2 12 1 14 qx
r2 6 9 100.0E3
rc1 3 11 5.305E3
rc2 3 12 5.305E3
re1 13 10 1.836E3
re2 14 10 1.836E3
ree 10 99 13.19E6
ro1 8 5 50
ro2 7 99 100
rp 3 4 18.16E3
vb 9 0 dc 0
vc 3 53 dc 1
ve 54 4 dc 1
vlim 7 8 dc 0
vlp 91 0 dc 40
vln 0 92 dc 40
.model dx D(Is=800.0E-18 Rs=1)
.model dy D(Is=800.00E-18 Rs=1m Cjo=10p)
.model qx NPN(Is=800.0E-18 Bf=93.75)
.ends
*$

```



# Koonduvusprobleemid

---

- The transient analysis starts using a known solution - the bias point. It then uses the most recent solution as the first guess for each new time point. If necessary, the time step is cut back to keep the new time point close enough that the first guess allows the Newton-Raphson repeating series to converge. The time step is also adjusted to keep the integration of charges and fluxes accurate enough.
- In theory the same considerations which were noted for the bias point calculation apply to the transient analysis. However, in practice they show up during the bias point calculation first and, hence, are corrected before a transient analysis is run.
- The transient analysis can fail to complete if the time step gets too small. This can have two different effects:
  - 1 The Newton-Raphson iterations would not converge even for the smallest time step size, or
  - 2 Something in the circuit is moving faster than can be accommodated by the minimum step size.
- The message PSpice puts into the output file specifies which condition occurred.
- Solution
  - 1 Check circuit connections, device model parameters used, expected operating regions of the devices, etc.
  - 2 Set initial conditions, relax the tolerance parameters, use GMIN stepping (for DC convergence problems), etc.