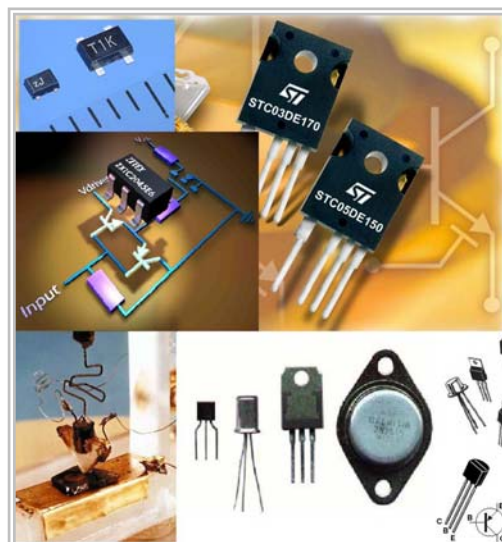


Elektronické prvky a obvody



L. Stuchlíková - R. Redhammer - L. Hulényi

Elektronické prvky a obvody

L. Stuchlíková - R. Redhammer - L. Hulényi

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
2009

**© Doc. Ing. Ľubica. Stuchlíková, PhD., Doc. Ing. Róbert Redhammer, PhD.,
Doc. Ing. Ladislav Hulényi**

**Dostupné bezo zmeny na vzdelávacom portáli eLearn central na URL:
<http://ec.elf.stuba.sk/moodle/course/view.php?id=7>
od 2009 do 2011**

**Vydala Slovenská technická univerzita v Bratislave vo Vydavateľstve STU,
Bratislava, Vazovova 5**

ISBN 978-80-227-3181-2

Predslov

Začiatky polovodičovej techniky možno hľadať niekde v roku 1948, kedy bol objavený princíp základného funkčného prvku elektroniky – bipolárneho tranzistora. Od tohto roku sa polovodičová technika začala rozvíjať rýchlym tempom. Stala sa technickým základom – predpokladom na rozvoj ďalším technickým odvetviam a najmä prostredníctvom elektroniky a informatiky významne ovplyvnila spoločenský život ľudstva.

Táto interaktívna učebnica je určená poslucháčom druhého ročníka bakalárskeho štúdia Fakulty elektrotechniky a informatiky. Môže byť však užitočným zdrojom informácií aj pre iných študentov, ktorí sa zaujímajú o základy elektronických prvkov a obvodov.

Pri tvorbe tejto učebnice sme vychádzali z našich skript Elektronické prvky a systémy (Redhammer, Stuchlíková, Hulényi, STU v Bratislave FEI, 2005. - 204 s. - ISBN 80-227-2340-1). Tieto boli aktualizované a miestami doplnené o text, interaktívne animácie, spracované do e-learning formy s uvážením najnovších trendov v e-learning.

Táto interaktívna učebnica sprístupňuje užívateľom základné pojmy a fyzikálne princípy týkajúce sa elektronických prvkov a obvodov. Učebnica pozostáva z 10-tich lekcíí skontvertovaných do medzinárodne uznávaného e-learning formátu SCORM (Sharable Content Object Reference Model): Elektronické systémy, súčiastky a pasívne obvody, Polovodiče a polovodičové pn priechody, Polovodičové diódy a ich zapojenia, Bipolárny tranzistor, Dynamické parametre bipolárneho tranzistora, Unipolárny tranzistor, Zosilňovací stupeň s tranzistorom v zapojení so spoločným emitorom, Ďalšie základné zapojenia s tranzistorami, Operačný zosilňovač a Číslicové elektronické systémy.

Ku každej lekcii je k dispozícii jeden alebo dva druhy testov (k všetkým lekciiám je test určený na rýchlu kontrolu vedomostí a k dvom lekciiám je vytvorený aj vzdelávací test – t.j. ak neodpoviete správne, systém Vás vráti na učebný text s nezvládnutou problematikou). Tieto testy umožňujú samoostestovanie získaných vedomostí. Hneď po odoslaní textu sa zobrazia výsledky testu s ukázaním správnych odpovedí a vyčíslením výsledku testu v %. Učebnici samozrejme nechýba ani slovník pojmov. Súčasťou učebnice sú všetky interaktívne flash animácie umiestnené vo voľne prístupnom kurze Interaktívne flash animácie na portáli eLearn central. Tieto animácie boli vytvorené členmi eLearn central tímu s cieľom, aby mal študent možnosť hravou intuitívnou formou dopracovať sa jednak k podstate vnútorných fyzikálnych javov v elektronických prvkoch, ako aj k princípom činnosti elektronických obvodov. Interaktívne animácie pokrývajú širokú oblasť elektronických prvkov a ich aplikácií. Sú tam zastúpené pasívne prvky, pasívne filtre, diódy a zapojenia s nimi, tranzistory BT, HBT, JFET, IGBT, ideálna a reálna štruktúra MOS, príklad výroby prvkov planárnou technológiou, pamäťová karta, NAND TTL, hradlá v CMOS technológii, zobrazovacie prvky atď.

Pod'akovanie

Na záver by sme sa radi poďakovali všetkým členom eLearn central tímu, ktorí sa podieľali na konvertovaní učebnice do interaktívnej elektronickej podoby a na vývoji animácií, menovite dnes už Ing. Michalovi Gronovi, Ing. Jánovi Beňovi, Ing. Petrovi Mondočkovi, Ing. Tomášovi Košíkovi, Ing. Jánovi Mikulášovičovi, Ing. Jozefovi Radobickému, Ing. Marekovi

Helbichovi, Ing. Michalovi Benkovičovi, Ing. Martinovi Benkovi, Ing. Petrovi Švrčekovi, Ing. Arnoldovi Nagymu, Ing. Martinovi Bednárovi, Ing. Františkovi Vacekovi, Ing. Matúšovi Pavlovičovi, Marekovi Hanáčkovi, Bc. Petrovi Nemčokovi, Ing. Filipovi Lazišťanovi, doc. PhDr. Ľubici Rovanovej, PhD., doc. Ing. Rudolfovi Kinderovi, PhD., doc. Ing. Ladislavovi Harmathovi, PhD., prof. Ing. Jaroslavovi Kováčovi, PhD., Ing. Jaroslavovi Kováčovi, PhD., Ing. Milanovi Števo, Ing. Jane Benkovskej, Ing. Samuelovi Böhmerovi a Ing. Jánovi Šebokovi.

Súčasne sa chceme poďakovať za podporu pri tvorbe prof. Ing. Ottovi Csabayovi, DrSc., a prof. Ing. Danielovi Donovalovi, DrSc., a ďalším za cenné rady a pripomienky v rámci konzultácií.

Budeme vďační za všetky pripomienky a námety zo strany našich čitateľov k obsahovej a odbornej náplni učebnice.

Bratislava, október 2009

Autori



Obsah



Predhovor

Ako študovať e-learning učebnicu "Elektronické prvky a obvody"






1. Elektronické systémy, súčiastky a pasívne obvody

- 1.1 Základné pojmy
- 1.2 Spoľahlivosť elektronických súčiastok a systémov
- 1.3 Stupne kvality a klimatická odolnosť súčiastok
- 1.4 Elektronické súčiastky a ich rozdelenie
- 1.5 Pasívne súčiastky
- 1.6 Odporový napäťový delič
- 1.7 Dolnopriepustný frekvenčný RC filter
- 1.8 Hornopriepustný frekvenčný RC filter
- 1.9 Frekvenčne kompenzovaný napäťový delič

Flash animácie

-  f.1.1 Kondenzátor v obvode jednosmerného prúdu
-  f.1.2 Jednoduchý frekvenčný filter










Samohodnotiace testy:

-  ES Auto test 01
-  ES Auto test 02
-  ES Auto test 03
-  ES Auto test 04
-  ES Auto test 05


2. Polovodiče a polovodičové *pn* priechody









- 2.1 Rozdelenie materiálov podľa elektrickej vodivosti
- 2.2 Elektrický prúd a elektrická vodivosť
- 2.3 Energetická pásmová štruktúra látok
- 2.4 Mechanizmus elektrickej vodivosti polovodičov
- 2.5 Polovodiče typu *n* a typu *p*
- 2.6 Driftový a difúzny prúd v polovodičoch
- 2.7 Polovodičový *pn* priechod
- 2.8 *pn* priechod pod napätím
- 2.9 Špecifiká reálnych *pn* priechodov

Flash animácie:











-  f.2.1 Generácia a rekombinácia elektrónov a dier
-  f.2.2 Kryštalografická štruktúra kremíka
-  f.2.3 Závislosť koncentrácie voľných nosičov náboja v Si od teploty
-  f.2.4 Prierez polovodičovým *pn+* priechodom v termodynamickej rovnováhe
-  f.2.4b Prierez polovodičovým *pn+* priechodom v termodynamickej rovnováhe
-  f.2.5 Priepustne a záverne polarizovaný *pn* priechod
-  f.2.6 Volt-Ampérová charakteristika *pn* priechodu
-  f.2.7 Vplyv sériového R_s a paralelného R_p odporu
-  f.2.8 Lavínový a Zener prieraz

Testy so spätnou väzbou:

-  Test-01
-  Test-02

-  Test-03
-  Test-04
-  Test-05
-  Test-06
-  Test-07
-  Test-08
-  Test-09
-  Test-10








Samohodnotiace testy:

-  AutoTest-01
-  AutoTest-02
-  AutoTest-03
-  AutoTest-04
-  AutoTest-05
-  AutoTest-06
-  AutoTest-07
-  AutoTest-08
-  AutoTest-09
-  AutoTest-10







3. Polovodičové diódy a ich zapojenia

- 3.1 Konštrukcia a rozdelenie diód
- 3.2 Usmerňovacie diódy
- 3.3 Jednocestný usmerňovač
- 3.4 Dvojcestný usmerňovač s odbočkou
- 3.5 Dvojcestný mostíkový usmerňovač
- 3.6 Filtrácia pulzujúceho napätia
- 3.7 Sériové a paralelné radenie diód
- 3.8 Stabilizačné diódy
- 3.9 Jednoduchý stabilizátor napätia
- 3.10 Zdvojený stabilizátor napätia
- 3.11 Kapacitné diódy
- 3.12 Schottkyho diódy
- 3.13 Svetlo emitujúce diódy
- 3.14 Fotodiódy

Flash animácie:

-  f.3.1 Planárno-epitaxná technológia výroby pn diódy
-  f.3.2 Diódový usmerňovač
-  f.3.3 Jednoduchý stabilizátor napätia so stabilizačnou diódou
-  f.3.4 Schottkyho dióda
-  f.3.5 LED
-  f.3.6 Fotodióda
-  f.3.7 Laserová dióda






Samohodnotiace testy:

-  PD Auto test 01
-  PD Auto test 02
-  PD Auto test 03
-  PD Auto test 04
-  PD Auto test 05
-  PD Auto test 06




4. Bipolárny tranzistor

- 4.1 Konštrukcia bipolárneho tranzistora
- 4.2 Režim činnosti a spôsob zapojenia tranzistora
- 4.3 Fyzikálny princíp činnosti bipolárneho tranzistora
- 4.4 Bipolárny tranzistor v zapojení so spoločnou bázou
- 4.5 Vstupné a výstupné charakteristiky SB
- 4.7 Bipolárny tranzistor v zapojení so spoločným emitorom
- 4.8 Vstupné a výstupné charakteristiky SE
- 4.9 Pracovné oblasti a medzné hodnoty bipolárnych tranzistorov
- 4.10 Katalógové údaje BT

Flash animácie:

-  f.4.1 Planárna technológia výroby BT
-  f.4.3 Bipolárny tranzistor v zapojení so spoločnou bázou
-  f.4.4 Bipolárny tranzistor v zapojení so spoločným emitorom
-  f.4.5 SiGe heterobipolárny tranzistor
-  f.4.6 Tranzistor IGBT





Samohodnotiace testy:

-  BT Auto test 01
-  BT Auto test 02
-  BT Auto test 03

5. Dynamické parametre bipolárneho tranzistora

- 5.1 Prevodová charakteristika bipolárneho tranzistora SE
- 5.2 Prevodová strmosť
- 5.3 Dynamický vstupný a výstupný odpor
- 5.4 Základné rovnice bipolárneho tranzistora SE
- 5.5 Tranzistor ako štvorpól
- 5.6 Ebersov - Mollov model bipolárneho tranzistora
- 5.7 Dynamické vlastnosti bipolárneho tranzistora








Samohodnotiace testy:

-  DP Auto test 01
-  DP Auto test 02
-  DP Auto test 03
-  DP Auto test 04

6. Unipolárny tranzistor




- 6.1 Rozdelenie unipolárnych tranzistorov
- 6.2 Unipolárny tranzistor JFET
- 6.3 Unipolárne tranzistory MIS FET
- 6.4 MOS FET s indukovaným kanálom
- 6.5 MOS FET so zabudovaným kanálom
- 6.6 C MOS
- 6.7 Vlastnosti unipolárnych tranzistorov
- 6.8 Porovnanie unipolárnych a bipolárnych tranzistorov

Flash animácie:

-  f.6.1 Unipolárny tranzistor JFET
-  f.6.2 Aplikácie JFET
-  f.6.3 Ideálna štruktúra MOS
-  f.6.4 Reálna štruktúra MOS
-  f.6.5 MOS FET
-  f.6.6 MES FET
-  f.6.7 Princiálny technologický postup výroby štruktúry CMOS invertora

Samohodnotiace testy:




-  UT Auto test 01

-  UT Auto test 02
-  UT Auto test 03
-  UT Auto test 04





7. Zosilňovací stupeň s tranzistorom v zapojení so spoločným emitorom

- 7.1 Zapojenie a základný princíp
- 7.2 Vstupná a výstupná impedancia.
- 7.3 Harmonické skreslenie
- 7.4 Prúdová spätná väzba.
- 7.5 Napät'ová spätná väzba
- 7.6 Jednoduché nastavenie pracovného bodu.
- 7.7 Stabilizácia pracovného bodu mostíkovým zapojením

Flash animácie:

-  f.7.1 Prúdová spätná väzba zosilňovača s BT v zapojení SE
-  f.7.2 Napät'ová spätná väzba zosilňovača s BT v zapojení SE
-  f.7.3 Návrh zosilňovacieho stupňa s BT v zapojení SE




Samohodnotiace testy:

-  SE Auto test 01
-  SE Auto test 02
-  SE Auto test 02
-  SE Auto test 03

8. Ďalšie základné zapojenia s tranzistormi

- 8.1 Zosilňovací stupeň s tranzistorom v zapojení so SB
- 8.2 Zosilňovací stupeň s tranzistorom v zapojení so SC
- 8.3 Porovnanie vlastností zosilňovacích stupňov s tranzistorom v zapojení so SE, SB, SC
- 8.4 Diferenciálny zosilňovač
- 8.5 Jednoduchý zdroj konštantného prúdu
- 8.6 Prúdové zrkadlo
- 8.7 Darlingtonovo zapojenie







Samohodnotiace testy:

-  ZT Auto test 01
-  ZT Auto test 02
-  ZT Auto test 03



9. Operačný zosilňovač




- 9.1 Základné konvencie a konštrukcia operačného zosilňovača
- 9.2 Vlastnosti operačného zosilňovača
- 9.3 Dôsledky vlastností OZ pre analýzu zapojenia
- 9.4 Invertujúci zosilňovač
- 9.5 Neinvertujúci zosilňovač
- 9.6 Ďalšie zapojenia s operačným zosilňovačom
- 9.7 Frekvenčná kompenzácia a stabilita OZ

Testy so spätnou väzbou:

-  OZ test 01
-  OZ test 02
-  OZ test 03
-  OZ test 04
-  OZ test 05
-  OZ test 06

Samohodnotiace testy:






-  OZ Auto test 01
-  OZ Auto test 02

-  OZ Auto test 03
-  OZ Auto test 04
-  OZ Auto test 05











10.Číslicové elektronické systémy

- 10.1 Princípy číslicových systémov
- 10.2 Tranzistor ako spínač
- 10.3 Rozdelenie číslicových obvodov
- 10.4 Obvody základných logických funkcií
- 10.5 Priamo viazaná logika DCTL
- 10.6 Diódová DTL a tranzistorová TTL logika
- 10.7 Emitorovo viazaná logika ECL
- 10.9 Unipolárne logické obvody NMOS
- 10.10 Unipolárne logické obvody CMOS











Flash animácie

-  f.10.1 Tranzistorový spínač - Invertor
-  f.10.2 Logický člen NAND TTL realizovaný v integrovanej forme 7400
-  f.10.3 Invertor CMOS
-  f.10.4 Logické členy NOT,NOR a NAND CMOS
-  f.10.5 Pamäťová karta Secure digital

Testy so spätnou väzbou:

-  CIO test 01
-  CIO test 02
-  CIO test 03
-  CIO test 04
-  CIO test 05
-  CIO test 06
-  CIO test 07
-  CIO test 08
-  CIO test 09
-  CIO test 10

Samohodnotiace testy:

-  CIO Auto test 01
-  CIO Auto test 02
-  CIO Auto test 03
-  CIO Auto test 04
-  CIO Auto test 05
-  CIO Auto test 06
-  CIO Auto test 07
-  CIO Auto test 08
-  CIO Auto test 09
-  CIO Auto test 10

Literatúra

- Burger, I., Hudec, L.: Elektronické prvky , Alfa, Bratislava 1989
- Boylestand, R., Nashelsky, L.: Electronic Devices and Circuits Theory, Prentice HALL, New Jersey, 1992
- Vaniček F.: Elektronické Součástky (Princípy, vlastnosti modely), ČVUT, Praha 1999
- Tietze, U., Schenk, Ch.: Electronic Circuits, Springer, Berlin 1991
- Musil, V. Brzobohatý, J., Boušek J, Prchalová I.: Elektronické součástky, VUT BRNO 2000
- Žiška, M., Stuchlíková, L.: Elektronické prvky (Návody na cvičenia a prípravu projektov). STU, Bratislava 1999
- Frisch, H: Základy elektroniky a elektronických obvodů, Praha, SNTL, 1987
- Frank, H, Šnejdar, V.: Princípy a vlastnosti polovodičových součástek. SNTL, Praha 1976
- Sze, S.M.: Physics of Semiconductor Devices. John Wiley&Sons 1981
- Roulston, D.J.: Bipolar Semiconductor Devices. McGraw-Hill, New York 1990
- Nečásek,S., Jeneček, J., Rambousek, J.: Elektronické a elektroakustické součástky. SNTL, Praha 1985
- Benda, V., Gowar, J., Grant, D.A.: Power Semiconductor Devices (Theory and Applications) John Wiley&Sons, New York, 1999
- Foit, J., Hudec, L.: Součástky moderní elektroniky. ČVUT, Praha 1996
- Kubát,M.: Výkonová polovodičová technika. SNTL/ALFA, Praha, 1978
- Frank, H.: Fyzika a technika polovodičů. SNTL 1990
- Súčiastky pre elektroniku: firemné katalógy Tesla Lanškroun, Tesla Blatná, Philips, Siemens
- Vaniček, F.: Modely elektronických struktur. ČVUT 1992
- Mllman, J. And Gabel, A.: Microelectronics, McGraw-Hill book company, Singapore 1987
- Klímek A, Zíka, J.: Malá encyklopedie elektrotechniky, Polovodičové součástky a mikroelektronické struktury, SNTL/ALFA,1989
- Floyd, T. L.: Electronics Devices, USA,1996

On line zdroje