

ADAPTIVNA METODA MERJENJA STATIČNIH KARAKTERISTIK ELEKTRONSKIH KOMPONENT IN NJENA REALIZACIJA Z VIRTUALNIM INSTRUMENTOM

Jože Mohorko, Ladislav Mikola

Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Inštitut
za avtomatiko, Maribor, Slovenija

Ključne besede: deli sestavni elektronski, karakteristike statične, U-I karakteristike napetost-tok, tranzistorji, diode, upori električni, tiristorji, merjenje karakteristik, izvedbe praktične, VI instrumenti virtualni, metode merilne adaptivne, metode merilne tangentne, DAQ zajemanje podatkov

Povzetek: V članku opisujemo računalniško podprt postopek določanja statičnih $I-U$ karakteristik elektronskih elementov. Osnovna kriterija izbire števila merilnih točk na karakteristiki sta hitrost meritve in zveznost izmerjene karakteristike, ki pa sta protislovna. Postopek temelji na adaptivni metodi izbiranja omejenega števila maksimalne merilnih točk tako, da so enakomerno razporejene po karakteristiki, brez vnaprejšnjega poznavanja lastnosti merjenca, ob omejitvah dovoljene moči, toka in napetosti. Realiziran je v obliki virtualnega instrumenta v programskem okolju LabView® firme National Instruments. Rezultati meritev statičnih karakteristik različnih tipov merjencev, kot so: upor, dioda, tranzistor, zener dioda in tiristor, potrjujejo uspešnost predstavljene metode tudi v primerih izbire dokaj malega števila merilnih točk (10-15).

Adaptive Method for the Measurement of Statical Characteristics of Electronics Parts and its Realisation as Virtual Instrument

Keywords: electronic components, static characteristics, U-I characteristics, voltage-current characteristics, transistors, diodes, electrical resistors, thyristors, measurement of characteristics, practical realizations, VI, Virtual Instruments, adaptive measuring methods, tangent measuring methods, DAQ, Data Acquisition

Abstract: An approach to the computer-aided measurement of static characteristics is described. There are two basic criteria for choosing the number of measurement points: the speed of measurement performance and the continuity of the measured characteristic, which are contradictory. The approach is based on the adaptive method for choosing a limited set of measuring points with a uniform distribution along the characteristic, without the need for a priori knowledge about measured parts, limited by maximum permitted power, current and voltage. The approach is implemented as Virtual Instrument (VI) using LabView® from National Instruments. The results of experimental measurements of statical characteristics of different types of electronic elements, such as resistor, zener diode, transistor and thyristor, confirm the efficiency of the presented method even in the case of choosing a relatively small number of measurement points (10-15).

1. Uvod

Kontrola statičnih karakteristik elektronskih komponent je zelo pomembna dejavnost merilne tehnike. Naštejmo samo nekatera področja uporabe v proizvodnih dejavnostih in pedagoškem procesu.

Proizvajalec izvaja meritve v fazi razvoja komponente /1, 7, 8, 9, 10, 13 15, 16, 17/, ko želi preveriti ali izdelek ustreza lastnostim, ki so bile zastavljene, kot tudi v serijski proizvodnji za zagotavljanje konstantne kakovosti izdelkov.

Po drugi strani pa proizvajalci elektronskih naprav izvajajo vhodne kontrolne meritve elektronskih komponent pred vgradnjo v naprave. Zgodnje odkrivanje in preprečevanje napak v izdelku, ko še ni velike dodane vrednosti, namreč zmanjša stroške proizvodnje.

Zelo pomembno področje izvajanja takih meritev je tudi v pedagoškem procesu na fakultetah in srednjih šolah, kjer

je potrebno študentom poleg teoretične podlage na čim bolj nazoren način prikazati lastnosti delovanja elektronskih gradnikov /11,12,14/.

Sodobni trendi merilne tehnike gredo v smer računalniške avtomatizacije zajemanja merilnih podatkov s pomočjo **DAQ** merilnih vmesnikov (**Data Acquisition**) in računalniško krmiljenih merilnih instrumentov z instrumentacijskimi podatkovnimi vodili **GPB** (**General Purpose Interface Bus**) oziroma IEEE-488.2. Program, ki upravlja računalniško podprto meritev, imenujemo navidezni instrument **VI** (**Virtual Instrument**) /3,5/. Značilen navidezni instrument, ki se uporablja za izvajanje meritev, vsebuje zajemanje merilnih vrednosti, analizo podatkov in prikaz merilnih vrednosti. Na tržišču obstaja precej programskih orodij za razvoj VI /4/. Najbolj je znan **LabVIEW** (**Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench**) firme National Instruments (NI), ki je zasnovan na objektnem grafičnem programskem jeziku "G".

Če hočemo v polni meri izkoristiti vse prednosti, ki jih sodobna tehnologija merilne opreme ponuja, je potrebno uporabljati merilne postopke, ki to omogočajo /6/. V tem članku je predstavljena nova metoda avtomatizirane meritve $I-U$ statičnih karakteristik z adaptivno optimalno optimizirano izbiro merilnih točk. Ta metoda omogoča zasnovo univerzalnega VI, ki je primeren za meritev statičnih karakteristik poljubnih linearnih in nelinearnih elektronskih elementov kot so upori, varistorji, PTC/NTC upori, diode, zener diode, FET, transistorji. VI omogoča tudi meritev družine karakteristik merjenja, pri katerem spreminjamo parametre, kot so: temperatura, bazni tok, krmilna napetost, ... Element je med meritvijo zaščiten pred uničenjem zaradi prekoračitev mejnih vrednosti toka, napetosti ali moči.

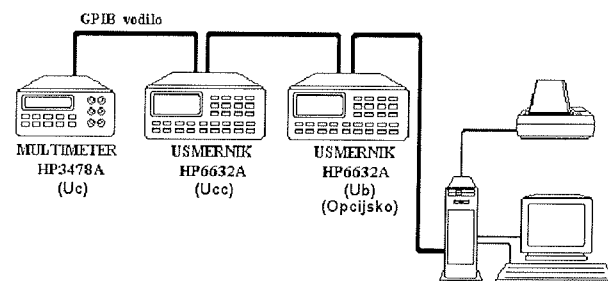
2. Adaptivna metoda izbire merilnih točk

Načrtovanje metode za meritev statičnih karakteristik temelji na merilnem vezju na sliki 1. Statično karakteristiko bomo dobili s pomočjo meritve kolektorske napetosti U_c in izračunane vrednosti kolektorskega toka I_c pri konstantnem baznem toku I_b . Za meritev smo uporabili instrumente, ki

Merilno vezje	Izračun I_c , U_c
U_B avtomatsko	$I_c = \frac{U_{CC} - U_c}{R_c}$
U_B ročno	$U_c = U_{DVM}$
U_B avtomatsko	$I_c = \frac{U_{DVM}}{R_c}$
U_B ročno	$U_c = U_{CC} - U_{DVM}$

Slika 1: Avtomaska/polavtomaska meritev družine statičnih karakteristik

podpirajo GPIB komunikacijo. Za merjenje napetosti U_{DVM} je multimeter HP 3478A, izvor napetosti U_{CC} je napajalnik HP 6632A, izvor U_b pa je lahko še en napajalnik HP 6632A za avtomatsko nastavitve baznih tokov ali pa nekrmljen izvor napetosti, če merimo na polavtomatski način z ročno nastavitvijo krmilnih tokov. Povezava instrumentov s krmilnim računalnikom je razvidna na sliki 2.

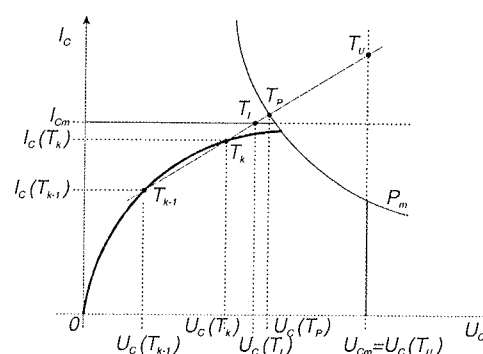


Slika 2: Računalniško krmiljeni merilni instrumenti

Pri elektronskih elementih z linearnimi karakteristikami je najprimernejše izbrati merilne točke enakomerno, na primer z enakomernim povečevanjem napetosti. Pri elementih z nelinearnimi karakteristikami pa se lahko zgodi, da enakomerna porazdelitev merilnih točk vzdolž ene osi ne določa dovolj točno poteka karakteristike. V takem primeru je primernejše uporabiti način, ki omogoča enakomerno porazdelitev merilnih točk vzdolž same karakteristike, oziroma krivulje takega elementa. V linearnih delih karakteristik je potek razviden že iz manjšega števila merilnih točk.

Izvedbo meritve v tem smislu zagotovimo na naslednji način:

- v osnovo za graf karakteristik vnesemo tri omejitve; v primeru za transistor: omejitev I_{cm} , omejitev U_{cm} in omejitev P_m .
- izberemo določeno število vseh merilnih točk N ,
- nastavimo prvo merilno točko tako, da leži v začetnem delu karakteristike, pri čemer izhajamo iz podatkov o merjencu,
- po prvi meritvi izberemo naslednjo in vse ostale merilne točke s pomočjo (tangente) metode, ki omogoča enakomerno porazdelitev merilnih točk vzdolž krivulje in s tem dober opis nelinearnega dela karakteristike.



Slika 3: $I-U$ karakteristika elementa

Postopek bomo opisali skladno s sliko 3, kjer smo vrisali predvideno nelinearno karakteristiko merjenja.

Vzemimo na primer, da smo opravili meritev v k -ti merilni točki. Strmino tangente, oziroma karakteristike v tem delu, določimo iz točk T_k in T_{k-1} ki morata ležati dovolj blizu ena drugi.

$$s = \frac{\Delta I_C}{\Delta U_C} = \frac{I_C(T_k) - I_C(T_{k-1})}{U_C(T_k) - U_C(T_{k-1})} \quad (1)$$

Iz tega podatka lahko dobimo diferenčno upornost R_T v tem delu karakteristike.

$$R_T = \frac{1}{s} = \frac{\Delta U_C}{\Delta I_C} \quad (2)$$

Dobljena tangenta seka linije omejitev I_{cm} , U_{cm} in P_m v točkah T_l , T_U in T_p . Izračunajmo napetosti $U_C(T_l)$, $U_C(T_U)$ in $U_C(T_p)$ v teh točkah.

V prvem primeru določimo napetost $U_C(T_l)$.

Upornost R_T lahko izrazimo tudi z naslednjim razmerjem:

$$R_T = \frac{\Delta U_C}{\Delta I_C} = \frac{U_C(T_l) - U_C(T_k)}{I_{cm} - I_C(T_k)} \quad (3)$$

$$U_C(T_l) = (I_{cm} - I_C(T_k))R_T + U_C(T_k) \quad (4)$$

Za sečišče T_p tangente in krivulje omejitve moči lahko zapišemo:

$$R_T = \frac{\Delta U_C}{\Delta I_C} = \frac{U_C(T_p) - U_C(T_k)}{I_C(T_p) - I_C(T_k)} \quad (5)$$

Izraz preoblikujemo in ga pomnožimo z $U_C(T_p)$:

$$U_C(T_p) - U_C(T_k) = (I_C(T_p) - I_C(T_k)) \cdot R_T \quad (6)$$

Dobimo:

$$U_C^2(T_p) - U_C(T_k) \cdot U_C(T_p) = I_C(T_p) \cdot U_C(T_p) \cdot R_T - I_C(T_k) \cdot U_C(T_p) \cdot R_T \quad (7)$$

Upoštevajmo, da je $U_C(T_p) \cdot I_C(T_p) = P_m$ in enačbo uredimo:

$$U_C^2(T_p) + U_C(T_p) \cdot (I_C(T_k) \cdot R_T - U_C(T_k)) - P_m \cdot R_T = 0 \quad (8)$$

Izračunajmo $U_C(T_p)$:

$$U_C(T_p)_{1,2} = \frac{-I_C(T_k) \cdot R_T + U_C(T_k)}{2} \pm \frac{\sqrt{(I_C(T_k) \cdot R_T - U_C(T_k))^2 + 4P_m \cdot R_T}}{2} \quad (9)$$

kjer dobimo dve rešitvi. Uporabimo realno rešitev s pozitivnim predznakom.

V tretjem primeru, ko seka tangenta premico omejitve napetosti U_m velja:

$$U_C(T_U) = U_m \quad (10)$$

Iz dobljenih oziroma izračunanih vrednosti napetosti $U_C(T_l)$, $U_C(T_U)$ in $U_C(T_p)$ izberemo za nadaljnjo obravnavo tisto, ki je najmanjša, torej:

$$U_C(T) = \min \{U_C(T_l), U_C(T_U), U_C(T_p)\} \quad (11)$$

Z njo nato določimo napetost za naslednjo merilno točko T_{k+1} .

Interval na tangenti med točkama T_k in izbranim sečiščem na liniji omejitve T razdelimo na $N - k - 1$ delov. Potrebni prirastek napetosti ΔU_C na merjencu je:

$$\Delta U_C = \frac{U_C(T) - U_C(T_k)}{N - k - 1} \quad (12)$$

Prirastek napajalne napetosti U_{CC} (slika 1) pa mora biti večji zaradi upornosti R_C elementa za ugotavljanje toka:

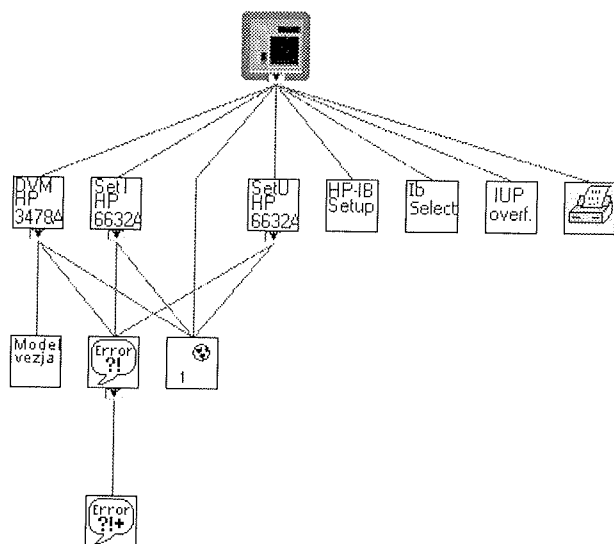
$$\Delta U_{CC} = U_C(T_k) \cdot \frac{R_T + R_C}{R_T} \quad (13)$$

Za naslednjo merilno točko T_{k+1} je potrebno na napajalniku nastaviti napetost:

$$\Delta U_{CC}(T_{k+1}) = U_{CC}(T_k) + \Delta U_{CC} \quad (14)$$

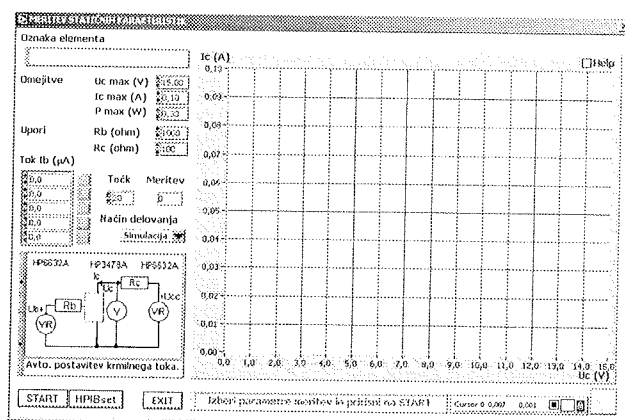
3. Virtualni instrument

Virtualni instrument za avtomatsko merjenje statičnih karakteristik je sestavljen iz modulov, ki so prikazani na hierarhičnem diagramu na sliki 4: meritev napetosti (DVM HP3478A), krmiljenje napajalnikov (SetU HP6632A, SetI HP6632A), postavitve parametrov komunikacije (HP-IB setup), kontrola prekoračitev (IUP overf.), tiskanje, simulacija meritve (Model vezja) ter obdelava napak (Error).



Slika 4: Hierarhični diagram VI

Kontrolni panel navideznega instrumenta je predstavljen na slikah 5 in 6.

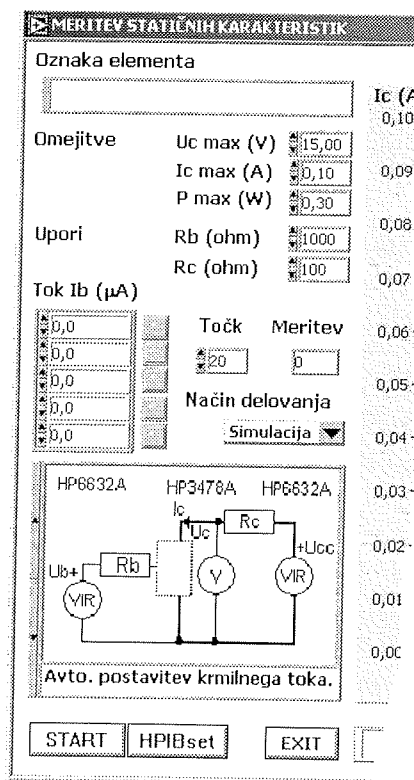


Slika 5: Osnovni panel VI

Predstavimo podrobne opise kontrol, s katerimi vplivamo na delovanje indikatorjev, ki prikazujejo delovanje sistema in merilne rezultate. Kontrolne komponente panela so, za boljšo prepoznavnost, označene z okvirjem. Njihov pomen pa je naslednji:

Oznaka elementa

V to rubriko zapišemo oznako ali naziv elementa, ki ga merimo.



Slika 6: Detajl osnovnega panela VI

Omejitve

To so omejitve, ki so za vsak element na nek način predpisane. Omejitve pa so tudi z zmogljivostjo napajalnika. Te omejitve so maksimalni tok, ki lahko teče skozi merjenec, maksimalna napetost, ki je lahko na njem in tudi maksimalna moč, ki se lahko porabi na elementu. Te vrednosti dobimo na primer iz tabel podatkov o tranzistorjih in jih vpišemo v naslednja okenca:

$U_{cmax}(V)$ - maksimalna napetost tranzistorja

$I_{cmax}(A)$ - maksimalni tok tranzistorja

$P_{max}(W)$ - maksimalna moč tranzistorja

Upori

V tej rubriki vnesemo vrednosti uporov v W takšne, kakršne smo nastavili na uporovnih dekadah. Upornost R_c je nastavljena glede na maksimalni tok I_c pri maksimalni napetosti U_c medtem ko je upornost R_b odvisna od tokov I_b za katere želimo meriti karakteristike, pri čemer vemo, da smo omejeni v izbiranju U_b .

$R_b(ohm)$ - bazni upor

$R_c(ohm)$ - kolektorski upor

Bazni tokovi

Pred vsako meritvijo je potrebno vpisati vrednosti krmilnih parametrov (na primer baznih tokov pri katerih želimo meriti karakteristike tranzistorja). Tokove vpisujemo v μA . Maksimalno število krmilnih parametrov je 5. Vzrok za to omejitev je, da so grafi še dovolj pregledni. V primeru, da želimo meriti manj kot 5 karakteristik, na zadnja mesta vpišemo vrednost $0.00 \mu\text{A}$, oziroma jih pustimo taka kot so, če predhodno nismo vanje vpisovali vrednosti.

Točk

V tej rubriki imamo možnost izbiranja števila izmerjenih točk na posamezni karakteristiki. Smiselna izbira je med 15-40, odvisno od tega, kako podrobno želimo posneti karakteristiko.

Meritev

Je indikator trenutne meritve za posamezno karakteristiko.

Način delovanja

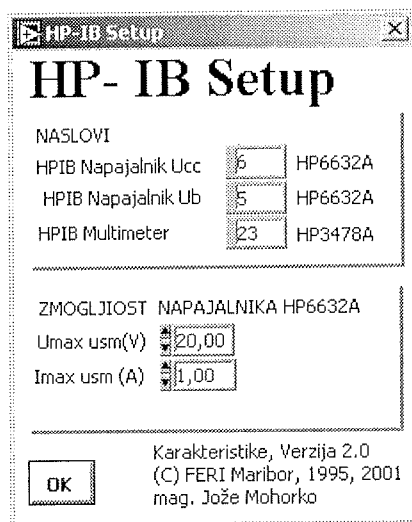
Tu lahko izbiramo med *simulacijo* meritve in *meritvijo* z dejanskim instrumentarijem. V prvem primeru je simulirana meritev statične karakteristike tranzistorja, v drugem pa se izvede meritev karakteristike merjenca v vezju. Simulacija je namenjena za pomoč uporabniku in za vadbo operaterjev saj ni potrebno dejansko realizirati merilne sheme.

Izbira merilne sheme

Izbiramo lahko med merilnimi vezji prikazanimi na sliki 2.

HPIBSet

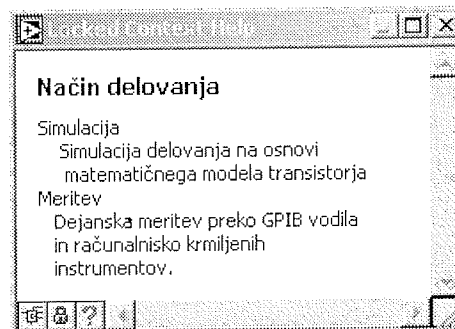
Ob pritisku na ta gumb se odpre okno iz slike 7, na katerem postavimo parametre komunikacije z merilnimi instrumenti in zmožljivostjo napajalnika.



Slika 7: Nastavitev komunikacijskih parametrov in omejitev napajalnikov

Help

Virtualni instrument za merjenje statičnih karakteristik je opremljen z močno podporo za pomoč uporabniku. Če potrdimo to opcijo, se nam prikaže okno (slika 8) za pomoč pri rokovanju s programom. Vsebina okna za pomoč ustreza objektu, ki je trenutno pod kazalcem miške.



Slika 8: Okno z pomočjo uporabniku

Statusna vrstica

Tu se izpisujejo sprotni napotki za izvajanje meritve.

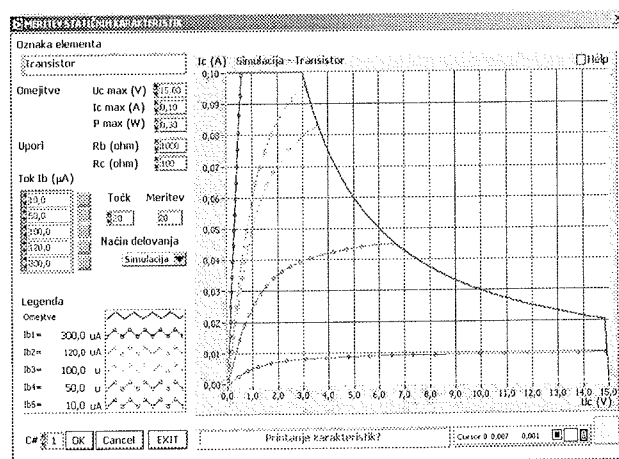
START

Ob pritisku na ta gumb se aktivira meritev oziroma simulacija. Na grafu se izrišejo karakteristike, ki smo jih definirali z izbiro krmilnih parametrov I_B . Pojavijo se dodatni krmilni gumbi za tiskanje poročila o meritvi na sistemski tiskalnik.

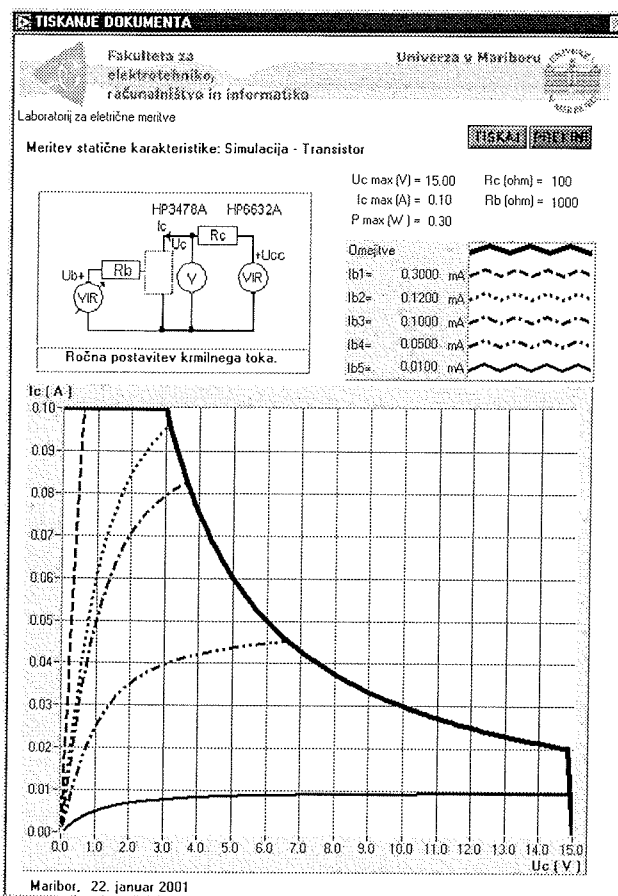
Nadaljuj

Ta tipka se pojavi v primeru, ko imamo izbran način ročne postavitve krmilnih parametrov. Z njo nadaljujemo meritev družine karakteristik, ko smo nastavili želeni bazni tok, temperaturo merjenca ali podobno krmilno veličino.

Po končani meritvi se izrišejo izmerjene karakteristike, kot je prikazano na sliki 9.



Slika 9: Rezultati meritve



Slika 10: Računalniško generirana dokumentacija



S kontrolo za krmiljenje grafičnega kurzorja odčitamo funkcijske vrednosti v merilnih točkah.

#C

Število kopij za tiskanje poročila

Cancel

Tiskanje poročila se ne izvede. Program je pripravljen za novo meritev.

OK

Odpre okno za predhodni ogled tiskanega dokumenta iz slike 10. Na izbiro imamo:

TISKAJ

Če smo z meritvijo zadovoljni, tiska vsebino okna na sistemski tiskalnik.

PREKINI

Tiskanje se ne izvede. Program je pripravljen za novo meritev.

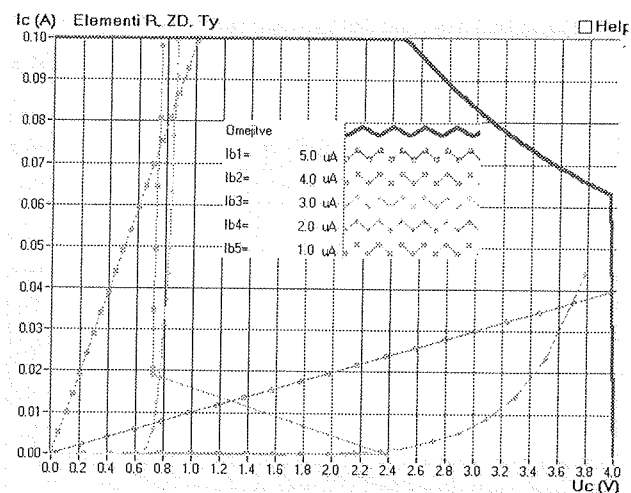
4. Eksperimentalni rezultati

Rezultate uporabe adaptivne metode meritve statičnih karakteristik bomo pokazali na primerih, kjer smo izbrali različne elektronske elemente.

1. Primer meritve izbranih elementov je prikazano na sliki 11:

I_B (μA)	Element
1	upor $R = 100\Omega$
2	upor $R = 10\Omega$
3	zener dioda BZX3V, prevodna smer
4	zener dioda BZX3V, zaporna smer
5	tyristor S2800B ($I_G = 5mA$)

Parametri meritve so: $I_{Cm} = 0.1A$, $U_m = 4V$, $P_m = 0.25W$, $R_C = 100\Omega$, $N = 20$.



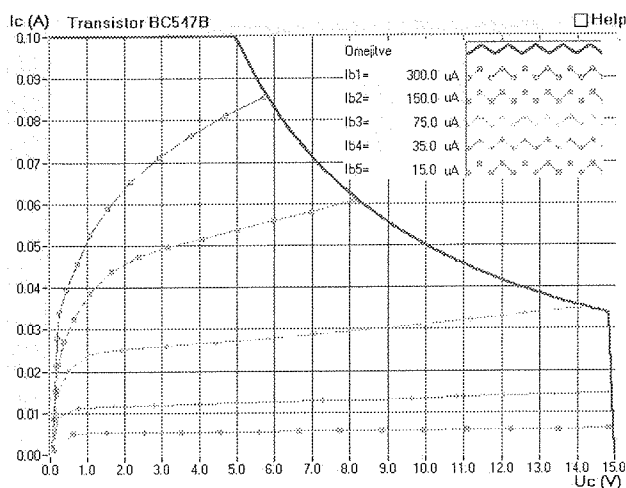
Slika 11: Statične karakteristike različnih elementov

2. Primer meritve družine statičnih karakteristik tranzistorja

$I_C = f(U_{CE})$ pri baznih tokovih

$I_B = \{15, 35, 75, 150, 300\} \mu A$ (slika 12).

Parametri meritve so: $I_{Cm} = 0.1A$, $U_m = 15V$, $P_m = 0.5W$, $R_C = 100\Omega$, $N = 15$.



Slika 12: Statične karakteristike tranzistorja

5. Zaključek

Osnovna kriterija izbire števila merilnih točk sta hitrost izvajanja meritve in zveznost izmerjene karakteristike, ki pa sta protislovna. Opisana merilna metoda skuša razporediti omejeno število merilnih točk tako, da bi bile karakteristike po linearni interpolaciji, ki je uporabljena pri izrisu grafov, čimbolj gladke.

Iz rezultatov meritev z VI smo ugotovili, da daje merilna metoda zadovoljive rezultate tudi v primeru, ko smo izbrali dokaj malo število merilnih točk za posamezno karakteristiko (15-20).

Računalniško krmiljeni instrumenti, ki so bili na voljo, omogočajo meritve napetosti do 20V in tokov do 2A. V primeru, ko želimo meriti statične karakteristike elementov pri večjih tokovih in napetostih, kot so na primer močnostni stikalni elementi /1,18/, pa potrebujemo zmogljivejšo računalniško krmiljene napajalnike in merilne pretvornike, ki zagotavljajo dovolj veliko merilno dinamiko /2/.

Zaradi možnosti delovanja VI v simulacijskem načinu je instrument zelo primeren tudi za pedagoške namene.

6. Reference

- /1./ Asano, K.; Hayashi, T.; Saito, R.; Sugawara, Y., High temperature static and dynamic characteristics of 3.7 kV high voltage 4H-SiC JBS, Power Semiconductor Devices and ICs, 2000. Proceedings. The 12th International Symposium on, pp. 97 - 100, May 2000
- /2./ Cucej Z, Romih T, Mohorko J, Adaptive current measuring circuit for electric power meters, Informacije MIDEM - journal of microelectronics electronic components and materials, Vol.30, Nr.3, pp. 61-164, Sep. 2000
- /3./ Foster, K.R., Virtual instruments, This paper appears in: IEEE Spectrum, Vol. 33, Nr.4 pp. 18, Apr. 1996
- /4./ Geirinhas Ramos, H.M.; Silva Girao, P.M., Software environments for the implementation of virtual instrumentation, Mediterranean Electrotechnical Conference, 1998. MELECON98, 9th, vol.1, pp. 534 - 538
- /5./ Goldberg, H., What is virtual instrumentation? IEEE Instrumentation & Measurement Magazine, Vol. 3, Nr. 4, pp. 10 - 13, Dec. 2000
- /6./ Good, J.A.; Allitt, M.L.; Owczarkowski, M.; Probst, P.A., A fully automated system for the characterization of standard reference resistors using the quantum Hall effect, Precision Electromagnetic Measurements Digest, 1996 Conference on, pp. 254, Jun. 1996
- /7./ Grozdic, T.D.; Aleksic, O.S.; Tomic, M.; Uskokovic, D., Integrated printed varistor, Belgrade Univ., Yugoslavia, Electrotechnical Conference, 1991. Proceedings, 6th Mediterranean, vol.1, pp. 118 - 120, May 1991
- /8./ Hamdi, W.I.; Darwish, S. Evaluation of the interface state density from light induced effects on I-U characteristics of Schottky diodes, Physica Status Solidi (A) Applied, Publ by Akademie-Verlag Berlin, vol. 143, nr. 2, pp. 457-461, Jun, 1994
- /9./ Kanoun, O., Modeling the p-n junction I-U characteristic for an accurate calibration-free temperature measurement, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 49, Nr. 4, pp. 901-904, Aug, 2000
- /10./ Pavel Mach, Diagnostics of nonlinearity of current VS voltage characteristic theory of applications, Informacije MIDEM - journal of microelectronics electronic components and materials, Vol.30, Nr.3, pp. 199-202, Dec. 2000
- /11./ Marino, P.; Nogueira, J.; Hernandez, H., Electronics laboratory practices based on virtual instrumentation, Frontiers in Education Conference, 1999. FIE '99. 29th Annual, vol.2, pp. 12C6/6 - 12C610, Nov. 1999
- /12./ Moure, M.J.; Valdes, M.D.; Mandado, E.; Salverria, A., Educational application of virtual instruments based on reconfigurable logic, Microelectronic Systems Education, 1999. MSE'99. IEEE, International Conference on, pp. 24 - 25, Jul. 1999
- /13./ Raikh, M., Current-voltage characteristics of polymer light-emitting diode at low voltages, Molecular Crystals and Liquid Crystals Science and Technology, 1994 Gordon & Breach
- /14./ Stegawski, M.A.; Schaumann, R., A new virtual-instrumentation-based experimenting environment for undergraduate laboratories with application in research and manufacturing, Instrumentation and Measurement Technology Conference, 1997. IMTC/97. Proceedings. Sensing, Processing, Networking, IEEE, vol.2, pp. 1418 - 1421, May 1997
- /15./ Suresh, P.R.; Ramkumar, K.; Satyam, M., Current-voltage characteristics of grain boundaries in cast polycrystalline silicon, Physica Status Solidi (A) Applied Research, Publ by Akademie-Verlag Berlin, Vol. 141, Nr. 2, pp. 381-388, Feb, 1994
- /16./ You, B.; Huang, A.Q.; Sin, J.K.O.; Xu, A, Static and dynamic characteristics of 600-V, 10-A trench bipolar junction diodes, Power Semiconductor Devices and ICs, 2000. Proceedings. The 12th International Symposium on, pp. 233 - 236, May 2000
- /17./ Zardas, G.E.; Euthymiou, P.C. Szentpali, B. Symeonides, CH. Kourkoutas, K., Dependence of I-U characteristics of GaAs MESFETS on temperature and alpha particle irradiation, Physica Status Solidi (A) Applied Research, vol. 123, nr. 1, pp k79-k82, Jan, 1991

mag. Jože Mohorko, univ.dipl.inž.el.
mag. Ladislav Mikola, univ.dipl.inž.el.

Univerza v Mariboru,
Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in
informatiko, Inštitut za avtomatiko,
Semtanova 17, 2000 Maribor, Slovenija
Email: {mohorko, ladislav.mikola}@uni-mb.si
Tel: +386 2 2207123, Fax: +386 2 2511178

Prispelo (Arrived): 21.05.2001

Sprejeto (Accepted): 20.08.2001