

ESIMENE SÕPRUS TAKISTI JA DIOODIGA

VELJO SINIVEE

Tahaks mingid LED-d võimendi väljundisse vilkuma panna, aga kuidas? Kas on tähtis, mispidi takisti skeemi ühendada?

Niisuguseid küsimusi kohtab tihti nii veebi jututubades kui ka tehnikafoorumites. Jääb mulje, et elektroonika on midagi ülikeerukat või et küsija pole füüsikatunnis just ülearu tähelepanelik olnud.

Kui aga prooviks elektroonika selgeks saada katsetamise teel? ELEKTROPOLis püüamegi valgust heita elektroonika põhitõdedele. Peamine rõhk on praktilikal, valemeid vaataks just niipalju, kui minimaalselt vaja. Kuna moodsal ajal on vist igas seadmes varsti paar protsessorit, püüame ka nendeni jõuda.

TAKISTI

Nagu igas joonistuses olevat päike, on igas skeemis vähemasti üks takisti. (Jah, kodanik Hemingway rääkis ka midagi sellist.) Takisti ülesandeks on vähendada ahelas uitava voolu tugevust. Klassikud toovad selgituseks võrdluse vee voolamisega: on selge, et mida kitsam toru ehk suurem takistus, seda raskem on veel voolata. Samamoodi on elektronidega.

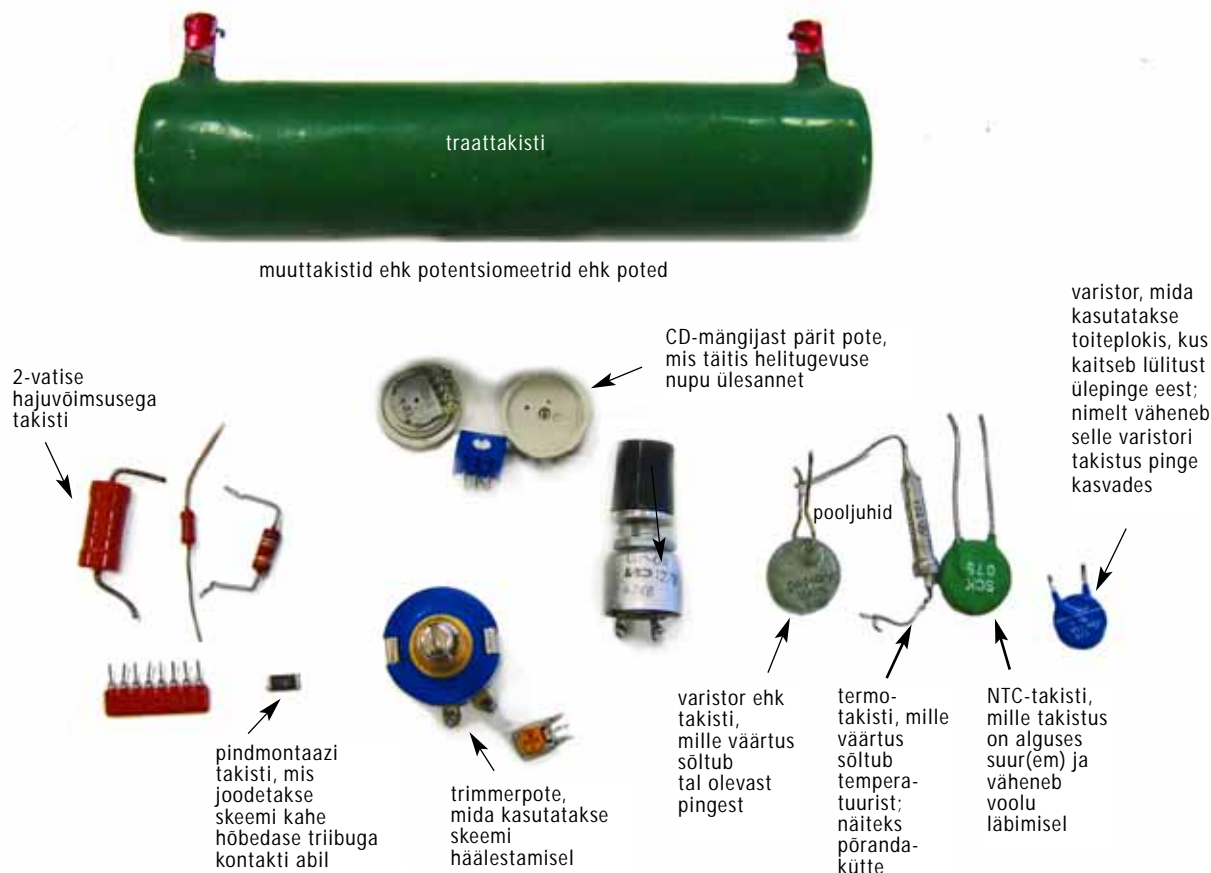
Nagu kitsa toru puhul pole oluline, mispidi toru veevärki on ühendatud, nii pole see määrav ka takisti korral. Õeldakse, et ühendamise polaarsusel pole tähtsust. Paljudel muudel juhtudel, kas või patareil, on see jällegi väga oluline.

Takisti põhisuurust ehk takistust mõeldetakse kuulsa Saksa füüsiku Georg Ohmi auks oomides, tähis oomega Ω . Kõik on suhteline, kuid praktilistes skeemides on oomidesse jäävad takistused üsna väikesed väärtused – enamasti liigutakse kilo-

oomides ($k\Omega$, $1 k\Omega = 1000 \Omega$) ja isegi megaoomides ($M\Omega$, $1 M\Omega = 1\,000\,000 \Omega$) – tarbitud vool ju maksab, igas mõttes.

Reaalsuses on igal elektrijuhil mingi takistus. Kuigi vaskjuhtme eritakistus ehk 1 meetri pikkuse ja 1 mm^2 läbimõõduga juhtme takistus on kaduvväike, on isegi see äärmiselt kahjulik. Elektrivõrgus on voolud prisked – veeboiler, keedukann, pliit ja muud seadmed rüüpad elektrone ahnelt. Nii langeb pinge ka ülekandeliini väikesel takistusel piisavalt palju. Kaotsi energia ei lähe, vaid eraldub soojusena, aga see ei lohuta ju tarbijat. Meie elektroonikaskeemides, kus kiloampreid ei kulutata, võib juhtmete takistuse siiski arvestamata jätta.

Skeemis tähistatakse takistit tavaliselt sümboliga R. Näiteks R1 tähendab takistit järjenumbriga 1. Konkreetse väärtuse kirjutamisel jäetakse enamasti keerukas oomikrõnks ära: 1 k tähendab 1 $k\Omega$. Alla



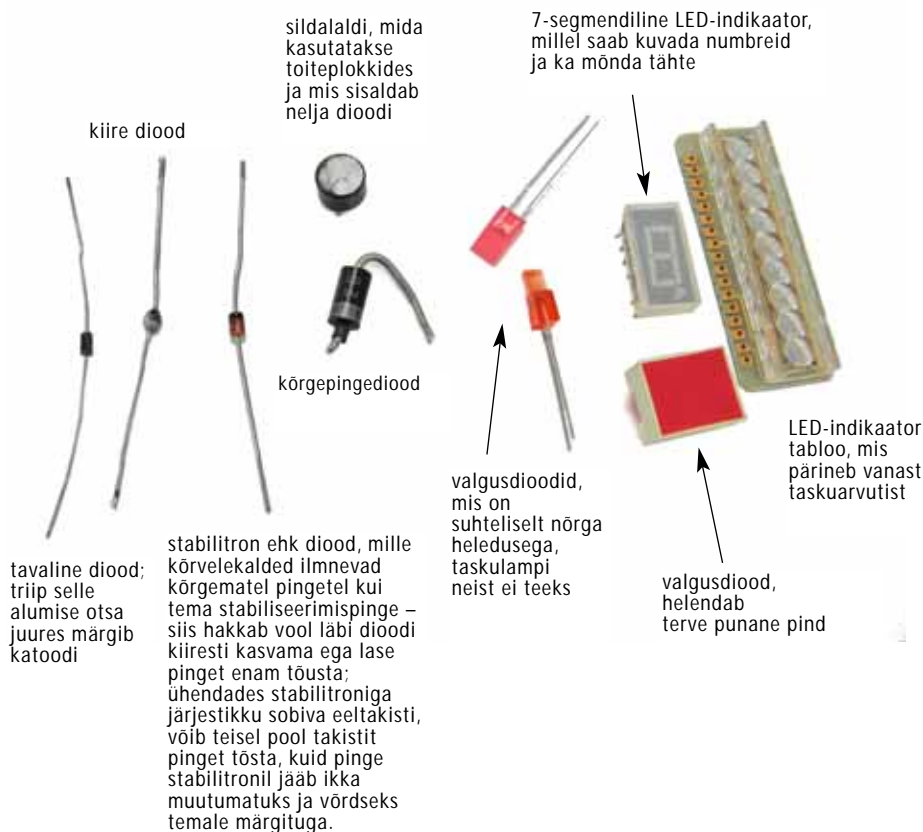
oomise takisti puhul ühikut isegi ei kirjutata. Näiteks 0,22 või R22 märgib takistit takistusega 0,22Ω. Reaalsele takistile märgitakse väärtus peale värvikoodis. Kooditabeleid leiab netis päris palju, üks on maakeelsena saadaval Tevalo elektroonikapoe veebilehel: http://www.tevalo.ee/cgi-bin/web_store.cgi?page=products/kasulik_files/takistitekooditabel.html&cart_id=. Värvikood jääb ruttu pähe ja erinevalt nõukaaegsest markeerimist on hõlpsasti loetav isegi takisti suvalise asendi puhul.

Sõbral takistil on veel üks lisasuurus: maksimaalne hajuvõimsus. Siin toome sisse paar valemit. Ohmi kehtestatud seadus väidab, et ahelas kulgev vool sõltub ahela takistusest ja sellele rakendatud pingest: $I = U/R$. Ehk kui ühendame üheoomise takisti 9-voldise (tähis V) patareiga, voolab läbi takisti $9/1 = 9$ amprit (A). Takistil eraldub (ikka soojusena) võimsus $P = U \times I = 9 \times 9 = 81$ vatti (W). Päris suur number. Võrdluseks: auto stopptulede pirnide võimsus on 21 W. Enamik takisteid säärase mahvi ei kannataks ja põleksid heleda leegiga tuhaks. Tavatakesti on veerandvatise hajuvõimsusega, võimsam kuskil 5–10-vatised. On olemas ka suuremaid ning sääraseidki, mille takistus ei ole kogu aeg ühesugune, vaid sõltub näiteks temperatuurist (termotakisti), pingest (varistor) või valgustatusest (fototakisti). Kasu on neist mitmel pool: termotakistiga saab mõõta temperatuuri, varistor võib pakkuda kaitset ülepinge eest, fototakistiga lülitatakse pimedas sisse kas või aiavalgusti. Ja lõpuks – on ka kätsi muudetava takistusega isendeid. Neid kutsutakse potentsiomeetriteks ehk kodusemalt – potedeks. Selline on näiteks võimendi helitugevuse nupp.

DIOOD

Väljaviike on diodil samuti kui takistil – kaks, mõõdukki sarnased. Diodid erinevad takistist põhiliselt selle poolest, et juhib voolu vaid ühes suunas. Ühendades diodi patarei ja pirni vahele pärisuunas, hakkab pirn põlema, aga pingelambikesel on patarei omast umbes 0,7 V väiksem. Seda suurust nimetatakse diodi päripingelanguks. Parematel eksemplaridel (nn Schottky diodid) on pingelang väiksem, ulatudes isegi 0,2 voldini. Tavaliselt valmistatakse diodid ränist, pooljuht nagu ta on, mõnikord ka germaaniumist.

Pöörame nüüd diodi vastupidi – pirnike jääb pimedaks. Vastusuunas diodid voolu ei juhi. Natuke ta küll ikkagi lekib, aga seda omadust üritavad tootjad maha suruda.



Kui aga pinget diodil tõsta? Kilovoltideni näiteks? Paha mõte, enamik meie kahejalgetest põleb seepeale läbi. Siit tuleb diodi teine oluline parameeter – maksimaalne vastupinge. “Harju keskmised” diodid, nagu 1N4148 ja teised, kannatavad kuskil 50 V, veidi tublimad alaldusdiodid taluvad 400–700 V. Need sobivad 220-voldise vooluvõrgu alalditesse.

Nagu takistil, on ka diodi voolujuhtimise võimel piir. Seda suurust nimetatakse maksimaalseks päriooluks. Mainitud 1N4007 kannatab välja umbes ühe ampri. Korraliku helivõimendi toitedioidiks see järelikult ei sobi, sest seal küünib vool mitmetesse ampritesse.

VALGUSDIOOD

Kas valgusdiodid põlebki heleda leegiga? Nii ja naa. Tavalisest klaaskestaga diodistki saab välja võluda ilusa sähvaka, aga vaid üks kord. Seevastu valgusdiodid on disainitud pidevaks helendamiseks. Helendus on moodsal ajal isegi sinist värvi ja spetsidiodidel pimestavalt hele, ulatudes sadade kandelateni, millega heledust mõõdetakse. On olemas valgusdiodid (lühemalt LED, ingl *Light Emitting Diode*), mis suudavad taasesitada mitmeid värve. Efekt savutatakse mitme

erivärvilise LED monteerimisega samasse korpusesse. Igaühel on mõistagi oma väljaviik.

LED heledus sõltub seda läbivast voolust – mida suurem on vool, seda heledamalt diodid kiirgab. Siit ka tema teine oluline omadus (esimene oli valguse tugevus ja ehk ka värvus) – maksimaalne päriool. Tavalised LED-d kannatavad umbes 10–30 milliamprit (mA), andes selle juures heleduse mõttes endast kõik. Võimsamad eksemplarid saavad hakkama ka suuremate vooludega: 350 mA ja enamgi. Sel puhul nõutakse tihti LED kinnitamist jahutusradiaatorile. Võimsaid ja heledaid LED-sid toodavad näiteks firmad Luxeon, Cree, Citizen, Seoul Semiconductors jpt.

Muide, kui mingi LED kannatab pidevalt välja 50 mA, võib olla, et lühiajaline vastupidavus on palju suurem. Tavaliselt see nii ongi. Kas või 0,5 A. Sel juhul on too “lühike” kindlasti vidina andmelehel konkreetselt määratletud, näiteks 10 millisekundit jooksul. Inimese silm nii kiireid vilkumisi ei märka ja talle tundub ikka, et vastu vaatab hele prožektor. Veel üks tähelepanek. Ei tasu valgusdiodide valmistajate andmelehtedel pakutud suurte heleduste õnge minna. Ei, nad ei valeta, aga nagu reklaamideski, ei

räägita kõike. Nimelt on valgusallika puhul oluline ka kiirguse nurk. Enamik hüper-superheledaid diode kiirgavad kuni 40-kraadise nurga ulatuses, enamasti veelgi kitsamalt. Maakeeli tähendab see, et vaadates otse diodi, võib see küll, kirjanduslikult liialdades, paberisse augu põletada, aga LED teljest veidi kõrvale nihkudes on valgus üsna tagasihoidlik. Tasub veel teada, et osa andmelehti avalikustavad poole nurgast, teised jälle kaks korda suurema väärtuse. Vahest see polegi niivõrd oluline, ent kui ehitate näiteks mingit tabloidi, pakuvad huvi 100-kraadise või suurema nurgaga diodid (ingl *Lambertian emitter*). Vastasel juhul on otse displei vastas olevasse seinale põletatud teksti läheduses pilkane pimedus. Muide, mainitud 100 ja enam kraadi on kahekordne nurk.

Aga prooviks kuulnud juttu praktikas rakendada.

INDIKAATORITULI MÕNE SCHEEMI LÜLITILE

LED-ist saab indikaatoritule teha edukalt mõnes oma elektroonikaprojekti. Vaja on vaid valgusdiodi ja sobivat eeltakistit. Ilma voolu piirava takistita ei tasu LED-i kunagi ühendada – ta annab vaid ühe sähvaka ja ongi elustav sinine suits välja läinud (hiljem näeme, et on ka erandeid). Oletame, et meie autovõimendi vajab pingestatud olukorra näitamiseks kena tulukest. Auto pardapinge on teatavasti 12 V. Moodsal ajal pole kahtlustki, et valime nimelt sinise diodi. Sellised hakkavad tööle alates umbes kolmest voldist. Seega peab eeltakistil soojuseks hajuma $12 - 3 = 9$ V. "Kõrvetame" tulukest vooluga 10 mA. Takisti väärtus tuleks sel juhul $R = U/I = 9 \text{ V}/10 \text{ mA} = 900$ oomi. Sellist nominaali standardtakistuste reast ei leia, lähim väärtus on 910 oomi. Aga võimsus? Seda arvutame valemiga $P = U \times I$. Arvud asemele: $P = 9 \text{ V} \times 10 \text{ mA} = 0,09 \text{ W}$. Piisavalt pisike suurus, tavaline 0,25-vatine takisti ajab asja edukalt ära.

Prooviks midagi vingemat? Hüva, ka kodu (lae-)tulede lülitid võiksid sisaldada LED-sid, mis hõõguvad mõnusalt, kui lamp ise ei põle. Pimedas ruumis oleks sedasi nuppu maru mugav leida. Egas

midagi, valem on sama, vaid numbrid veidi teised. Seinas liikuva voolu pinge on 220 V. Kasutades jälle 3-voldise päripingega sinist diodi, peab eeltakistil hajuma $220 - 3 = 217$ V. Tavalise 10 mA päri-voolu juures leiame, et on vajalik $R = U/I = 217 \text{ V}/10 \text{ mA} = 21,7 \text{ k}$ takisti. Element peab taluma $P = U \times I = 217 \times 10 \text{ mA} = 2,17 \text{ W}$ võimsust. Lähim sobiv eksemplar on 12 k takistuse ja 2 W võimsusega. Takistist ja LED-st koosnev ahel ühendatakse lüliti kontaktidega paralleelselt (otse kontaktidele).

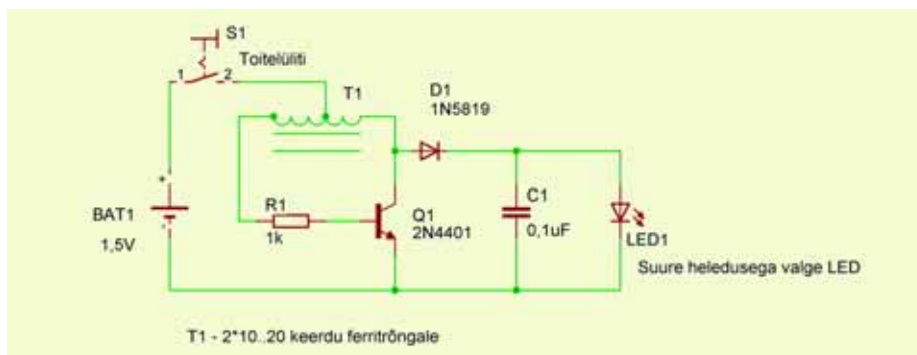
Aga kuidas on lood maksimaalse vastupingega? Juhub ju LED nagu tavalinegi diod voolu vaid ühes suunas ja järeli-

kult saaks ta vooluvõrgu vastupidise pingepoolperioodi ajal kenasti terve 220-voldise sähmaka kaela!? Jah, nii juhtub ja diod põleb maha ka. Selle vältimiseks ühendame oma valgusdiodi otseste teise samasuguse diodi, kuid vastupidi – katood kokku anoodiga ja anood katoodiga. Nüüd hakkab üks diod helenema näiteks võrgu vahelduvvoolu positiivsel poolperioodil ja teine negatiivsel. Nii kasutame seinast tulevat energiat tõhusamalt ja ka diodid jäävad terveks. Kui teine LED ei mahu, ei meeldi või ei sobi muudel põhjustel, asendame selle tavalise diodiga, näiteks 1N4007-ga.

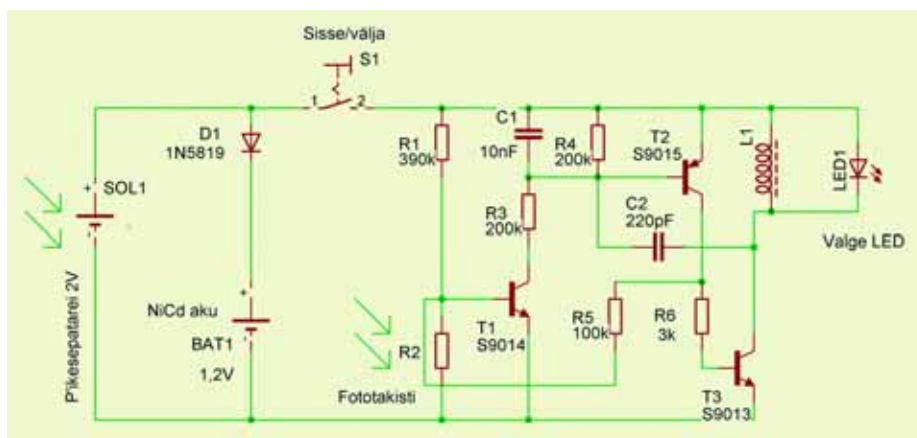
EDASIJÕUDNUTELE

Siinkohal toome aeg-ajalt skeeme neile, kes tahaksid kangesti midagi põnevamat ehitada. Skeemid on maketil proovitud ja vähemasti autori eksemplar töötas.

Meisterda ise LED-taskulamp!



Meisterda ise LED-aiavalgusti!



LOE VEEL

Valget värvi kiirgusega LED-d on põnevad – moodsad isendid sobivad peaaegu et auto esitulesid asendada. Hetkel veel ehk mitte, aga see aeg on varsti käes. Valgusallika eluiga on tunduvalt pikem kui hõõglambil. Kasutegur samuti, st enam ei pea niipalju maksma ilma soojaks kütmise eest. Valgete (ja mitte ainult) LED-de tööks vajalike pingete/voolude tekitamiseks on välja mõeldud hulk skeeme. Näiteks sellised: <http://www.cappels.org/dproj/Home.htm> http://www.otherpower.com/otherpower_lighting_flashlites.html (taskulambid LED-del) http://ourworld.compuserve.com/homepages/Bill_Bowden/page10.htm (LED-de toitmine otse vooluvõrgust, vilkuvad tuled jne). http://metku.net/index.html?path=mods/ledcalc/index_eng LED-de eeltakistite arvutamise kalkulaator neile, kellele valemid kohe üldse ei istu.

AUTORIST

VELJO SINIVEE (1964) töötab Tallinna Tehnikaülikooli füüsikainstituudis elektroonikuna. Huvialadeks elektroonika, koodi kirjutamine PIC-, 8051- ja viimasel ajal ka AVR-mikrokontroleritele, ning akvaristika. E-aadressid: <http://parsek.yf.ttu.ee/~felc/> ja felch@staff.ttu.ee.