

Indukcijski štedilnik

Janez Strnad

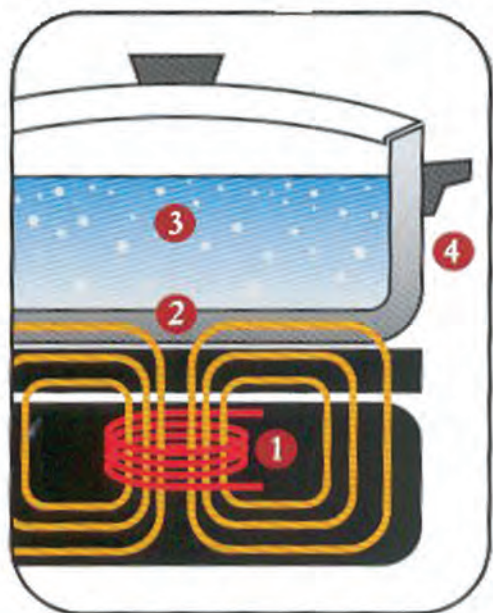
Razprava o prenosu energije v prejšnji številki je napeljala na misel o indukcijskem štedilniku. Zaradi njegovih prednosti pred drugimi sorodnimi napravami ga uporablja vse več gospodinjstev.

Zamisel *indukcijskega grelnika* je preprosta. Skozi tuljavo poganjamo izmenični tok. Spremenljivo magnetno polje v dnu posode inducira izmenični tok, ki segreva dno. Od dna toplota s prevajanjem prehaja v hrano v posodi in jo segreva ali kuha. Naprava pa zahteva precejšnjo amplitudo, to je največjo vrednost izmeničnega toka, in veliko frekvenco. Šibko izmenično napetost, ki jo da nihajni krog s tuljavico in kondenzatorjem, priključijo na *bipolarni tranzistor z izoliranimi vrati* (IGBT). Ta deluje kot stikalo, ki zmore slediti frekvencam do več deset tisoč na sekundo z veliko amplitudo toka. Na ta način napajajo tudi vžigalne svečke v bencinskih motorjih. Polprevodniško vezje, ki

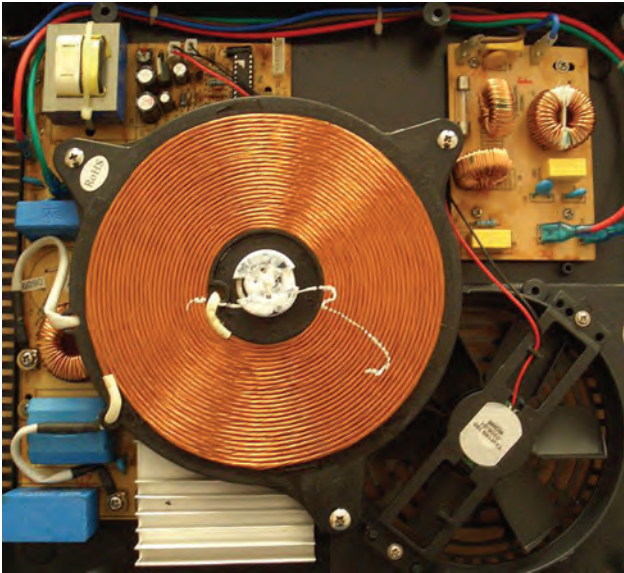
skozi tuljavo poganja velik izmenični tok, hladi ventilator s tokom zraka kot pri računalniku.

Tuljava z navpično osjo je nameščena tik pod vrhno ploščo iz steklene keramike. V večini naprav zaradi lastnosti tuljave tok približno sinusno niha s frekvenco približno 24.000 nihajev na sekundo. Znatno večjih frekvenc s polprevodniškimi elementi iz silicija ni mogoče doseči. Uprabljena frekvenca sodi med zelo *nizke frekvence (VLF)* in ji ustreza valovna dolžina 12,5 kilometra. Frekvenca izmeničnega toka v omrežju meri 50 nihajev na sekundo, frekvenca mikrovalov v mikrovalovni pečici pa okoli 2,45 milijarde nihajev na sekundo (o mikrovalovni pečici je *Proteus* poročal v 62. letniku (1999/2000) na straneh 350-353). Medtem ko v mikrovalovni pečici energijo prenašajo zelo kratki radijski valovi, prenos v indukcijskem grelniku spominja na polnilnik za baterije ali še bolj na transformator.

Dno posode je v neposredni bližini indukcijske tuljave, tako da si lahko predstavljamo, da tuljava in dno sestavljata transformator. Pri tem gre za skrajni primer bližnjega polja v zanemarljivo majhni razdalji, ko seveda ni treba upoštevati zakasnitve zaradi končne hitrosti polja. Energijo prenaša izmenično magnetno polje. Tuljava ima veliko ovojev, dnu posode pa ustreza en sam ovoj. Tako indukcijski grelnik spominja na kratkostični transformator. Pri transforma-



Poenostavljena risba indukcijskega grelnika: 1 tuljava (rdeče) in silnice magnetnega polja (oranžno), 2 izmenično magnetno polje v dnu posode inducira vrtnični električni tok, ki segreva dno, 3 toplota z dna s prevajanjem prehaja v vsebino posode, 4 magnetno polje in električni tok ne vplivata na okolico. Vir: Induction cooking: How it works.



Fotografija grelnika od zgoraj z odstranjeno vrhno ploščo. Vidna sta tuljava in vijak ventilatorja, ki hladi polprevodniško vezje, ter glavni in pomožni napetostni izviri. Vir: Wikipedia

torju je amplituda napetosti sorazmerna s številom obojev, amplituda toka pa obratno sorazmerna s številom obojev. Napetost, ki se inducira v dnu, je veliko manjša od napetosti na tuljavi, po dnu z majhnim električnim uporom pa požene velik *vrtinčni tok*. Dno deluje kot upornik in v njem se sprošča Joulova toplota kot v vsakem uporniku, po katerem teče električni tok. Električna moč, ki je enaka oddanemu toplotnemu toku, če se temperatura ne spreminja, je sorazmerna s kvadratom amplitude toka in s frekvenco. Posoda mora imeti ravno dno, ker se gostota magnetnega polja z razdaljo nad vrhno ploščo hitro zmanjšuje. Dno mora biti iz feromagnetne snovi, ki ima podobne magnetne lastnosti kot železo in jeklo. V jeklu posod, ki so v rabi, je magnetno polje približno dvestokrat gostejše, kot bi bilo v praznem prostoru. Pri tem polje v dnu z naraščajočo razdaljo hitreje pojema kot v dobrih nemagnetnih prevodnikih elektrike, na primer bakru in aluminiju. *Vdorna globina* podaja razdaljo, do katere v povprečju seže magnetno polje. Značilna vdorna globina v jeklu uporabljenih posod meri samo desetino milimetra, medtem ko v bakru doseže slabe pol milimetra in v aluminiju dobre pol

milimetra. Jeklo ima do tridesetkrat večji specifični upor kot baker, zato je *upor dna*, ki ga meri kvocient specifičnega upora in vdorne globine, v jeklu 3,5 tisočine ohma, v bakru 0,04 tisočine ohma in v aluminiju 0,05 tisočine ohma. Zaradi tega se v jeklu toplota sprošča učinkoviteje in v

tanjši plasti neposredno ob dnu kot v bakru ali aluminiju.

V feromagnetni snovi se razvije toplota v izmeničnem magnetnem polju še pri *magnetni histerezi*. V taki snovi so magnetne množice atomov v mikroskopskih območjih, Weissovih domenah, urejene same od sebe. V snovi, ki še ni bila v magnetnem polju, kažejo magnetne domen v vse mogoče smeri. Vse več pa se jih uredi v smer zunanega magnetnega polja, čim gostejše je polje, v katero damo feromagnetno snov. Del te urejenosti obdržijo, ko snov vzamemo iz zunanega polja. Tako nastane trajni magnet. V izmeničnem magnetnem polju se sprošča toplota, ko domene z zakasnitvijo sledijo spremembam zunanega polja in se na mejah med seboj tarejo. Ugodno je, če je snov magnetno trda, kakršna je pripravna za trajne magnete. Ta histerezna toplota pa je razmeroma majhna. Podatek je za različne naprave različen, a večinoma je histerezna toplota več kot desetkrat manjša od Joulove. Po ovojih tuljave teče precejšen tok. Frekvenca je že tolikšna, da izmenično magnetno polje toka ta tok izrine na površje vodnika. Tok zaradi tega kožnega pojava ali

skin efekta teče predvsem po površju vodnika. Da bi zmanjšali upor vodnikov v tuljavi in bi se v tuljavi sami sproščalo čim manj Joulove toplote, je tuljava zvita iz pramenke. Vodnik sestavlja veliko tankih žičk – pramenov, ki so druga od druge električno izolirane in zvite v vijačnico. S tem povečajo učinkovito površino vodnika in zmanjšajo upor.

Indukcijski grelnik ima pred drugimi grelniki več prednosti. Izkoristek pri prenosu energije je večji. Tudi v tem primeru se podatki različnih izdelovalcev razlikujejo. Večinoma podatki za izkoristek indukcijskega grelnika dosežejo 84 do 90 odstotkov in celo več. Za običajne električne grelnike navajajo izkoristek okoli 74 odstotkov in za plinske grelnike 40 odstotkov ali manj. V običajnem električnem grelniku tok segreje upornik v plošči, iz katere toplota s prevajanjem prehaja v posodo in od tam v snov, ki jo segrevamo ali kuhamo v posodi. Po oddanem toplotnem toku, od katerega je odvisna hitrost segrevanja, je indukcijski grelnik podoben plinskemu grelniku. Pri indukcijskem grelniku pa segrevanje lahko bolje nadzorujemo in naravnamo čas kuhanja. Čeprav indukcijski grelnik rabi manj električne moči od drugih grelnikov, zaradi večje nabavne cene ni mogoče zagotoviti, da je njegova uporaba veliko cenejša. Indukcijski štedilnik v gospodinjstvu s širino od šestdeset do petinsedemdeset centimetrov ima v Evropi in v Združenih državah pogosto štiri grelnike, enega z električno močjo pod 1 kilovatom, dva z močjo med 1 in 2 kilovatom in enega z močjo nad 2 kilovatom. Ponekod so priljubljeni štedilniki z dvema ali s tremi grelniki. Dobijo se tudi razmeroma cenenim indukcijski kuhalniki z enim grelnikom.

Pri indukcijskem grelniku se segreje le tanka plast dna, zaradi česar je manjša nevarnost, da se opečemo. Vsebinske posode lahko segrejemo tudi, če pod dno posode podložimo list papirja. Steklena keramika je toplotni izolator, zato dno skozi jo izgubi le

malo toplote. Navadno se lahko plošče dotaknemo, ne da bi se opekli, ko po uporabi odmaknemo posodo. Posebna naprava ugotavlja moč, ki jo rabi tuljava. Če umaknemo posodo, se grelnik sam izključi. Smiselno je, da se velikost dna čim bolj prilagaja območju grelnika, ki ga določa tloris tuljave. Poročajo pa o tem, da razvijajo indukcijski štedilnik, ki ga bo mogoče uporabljati po vsej vrhni plošči. Sestavljalo ga bo veliko majhnih tuljav, od katerih bodo delovale le tiste, nad katerimi bodo posode. Pri kuhanju na indukcijskem štedilniku se pogosto lahko izognemo uporabi maščob. Čiščenje indukcijskega štedilnika je preprosto.

Na indukcijskem štedilniku moramo uporabljati feromagnetno posodo. To lastnost lahko preizkusimo z magnetkom, ki ga mora dno posode privlačiti. Steklena ali keramična posoda ni uporabna. To velja tudi za bakreno in aluminjsko posodo. Tako posodo lahko uporabimo, če pod njo namestimo tanko ploščo iz feromagnetne snovi, toda pri tem gre več toplote v izgubo. Poročajo, da razvijajo indukcijski grelnik, pri katerem bo mogoče uporabljati tudi posodo iz bakra ali aluminija. V ta namen bodo uporabili izmenični tok z večjo frekvenco. Vdorna globina je namreč obratno sorazmerna s kvadratnim korenem iz frekvence. Vendar se bo zaradi tega najbrž treba odpovedati razmeroma cenenim polprevodniškim elementom iz silicija.

Prvi patent za indukcijski grelnik so prijavi-li na začetku 20. stoletja v Združenih državah Amerike. Prvi indukcijski štedilniki so prišli na trg v sedemdesetih letih, a se niso uveljavili. Širiti so se začeli v osemdesetih letih, ko so tudi cene zaradi večje proizvodnje postale dostopnejše.

Literatura:

Induction cooking: How it works.

<http://theinductionsite.com/how-induction-works.shtml>

Induction cooking, http://en.wikipedia.org/wiki/Induction_cooking