

ZAVIRALNI SISTEM V INDUKCIJSKEM ŠTEVCU

BRAKING SYSTEM IN AN INDUCTION METER

Damijan Chvatal

Iskraemeco, d. d., Kranj, Savska loka 4, 4000 Kranj, Slovenija
damijan.chvatal@rd.iskraemeco.si

Prejem rokopisa - received: 2003-01-10; sprejem za objavo - accepted for publication: 2003-03-11

Zaviralni sistem deluje po principu vrtilne zavore rotorja merilnega sistema indukcijskega števca. Za pravilno in neodvisno merjenje porabe električne energije mora biti števec umerjen v deklariranem razredu točnosti. Zaviralni moment, ki ga ustvarja magnetno polje trajnega magneta, ki prehaja skozi v njegovi zračni reži vrtečo se aluminijasto ploščo - rotor, mora v vsakem trenutku pri vsaki obremenitvi držati dinamično ravnovesje z vrtilnim momentom gonilnega sistema. S tem se doseže sorazmernost med številom vrtljajev rotorja in količino pretečene električne energije skozi števec. Kratak pregled zaviralnih sistemov različnih konstrukcij in proizvajalcev je nekako vzporeden razvoju in tehnologiji izdelave trdomagnetnih materialov. Opisana je zahtevnost izdelave zaviralnega sistema števca, ki mora zadržati dolgo časovno stabilnost fizikalnih lastnosti kljub mnogim notranjim in zunanjim vplivom, ki nastopajo v njegovi obratovalni dobi.

Ključne besede: števec električne energije, indukcijski merilni sistem, zaviralni magnet, vrtilna zavora, vplivne veličine

The braking system in the disc of an induction meter functions on the principle of the eddy-current brake. For a correct and independent measurement of the electric energy, the meter should be calibrated in a declared accuracy class. The braking torque produced by the magnetic field of the permanent magnet passing through a rotating aluminium plate in its air gap, i.e. a rotor, should, for any load and for any time, keep dynamic balance with the rotating torque of the driving element. In this way the proportionality between the number of revolutions and the electric energy that has flowed through the meter is achieved. A short survey of various braking systems is also given, which coincides with the development and technology of the manufacturing of hard-magnetic materials. The making of the meter braking system is described. It should maintain long-term stability of the physical characteristics, despite the many internal and external influences that occur during its working time.

Keywords: watt-hour meter, induction measuring system, braking magnet, eddy-current brake, influence quantities

1 UVOD

Indukcijski merilni sistem - imenovan tudi Ferraris - je zasnovan na principu elektromotorja s kratkostičnim rotorjem - kolutom. V prenesenem pomenu je rotor aluminijasta plošča z neskončnim številom radialno ležečih kratkostičnih palic (slika 1). Stator sta napetostni (1,2) in tokovni elektromagnet (3,4). Pogoja za nastanek vrtilnega momenta rotorja sta krajevna in časovna premaknitev izmeničnih magnetnih pretokov napetostnega in tokovnega elektromagneta ter ustvarjata potujoče polje.

Število vrtljajev rotorja na enoto porabljene električne energije se preneša preko zobniškega predležja na številčnik, ki integrira skozi števec pretečeno električno energijo. Da zadostimo temu pogoju, moramo zavirati rotor in s tem zagotoviti sorazmernost med količino električne energije in prikazom na številčniku.

2 ZAVIRALNI SISTEM

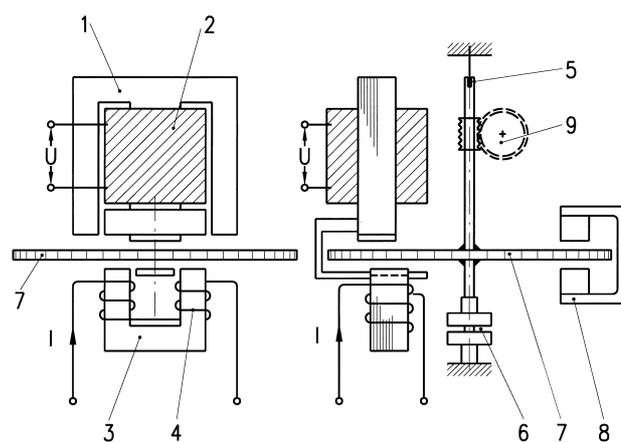
2.1 Osnovne značilnosti

Za sorazmernost med vrtilnim momentom gonilnega sistema in zaviralnim momentom se pri indukcijskih števcih uporablja zaviralni magnet, to je trajni magnet, ki s svojim magnetnim pretokom, katerega silnice potekajo skozi aluminijasto ploščo - rotor, deluje kot vrtilna zavora (slika 2).

Zaviralni moment M_z mora biti v vsakem trenutku v ravnovesju z vrtilnim momentom M_v (slika 3):

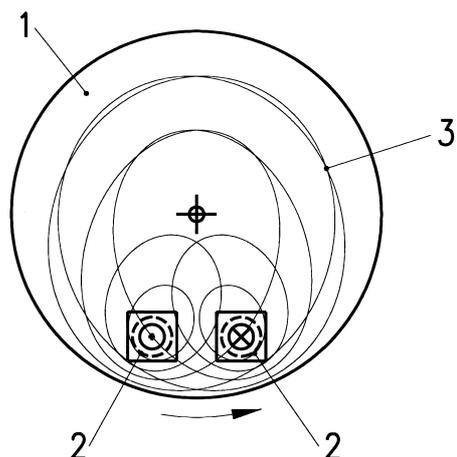
$$M_z = k \cdot M_v \quad (1)$$

Pri dinamičnem ravnovesju delujejo prečne sile na os rotorja in se prenašajo na oba ležaja. Smer rezultante sil



Slika 1: Princip merilnega sistema indukcijskega števca: 1 - napetostno jedro, 2 - napetostna tuljava, 3 - tokovno jedro, 4 - tokovno navitje, 5 - zgornji ležaj, 6 - spodnji ležaj, 7 - rotorjeva plošča - kolut, 8 - zaviralni magnet, 9 - pogon številčnika

Figure 1: Principle of the induction-meter measuring system: 1 - tension core, 2 - tension windings, 3 - current core, 4 - current windings, 5 - upper bearing, 6 - lower bearing, 7 - disc, 8 - brake magnet, 9 - drive to register



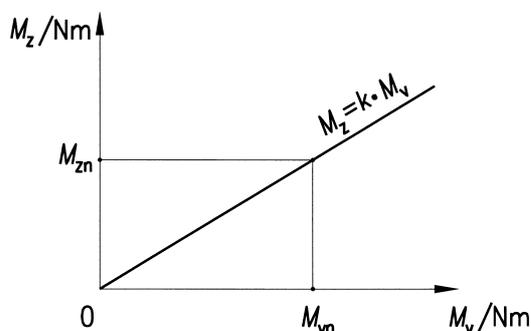
Slika 2: Vrtinčni toki v kolutu: 1 - kolut, 2 - pola zaviralnega magnetna, 3 - vrtilni toki v kolutu

Figure 2: Eddy-currents in disc: 1 - disc, 2 - poles of brake magnet, 3 - eddy-currents in disc

je odvisna od medsebojne razporeditve gonilnega (G.S.) in zaviralnega sistema (Z.M.) (slika 4).

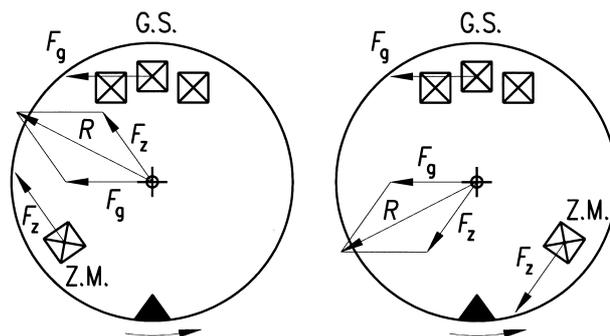
Proizvajalci indukcijskih števcov uporabljajo mnogo različnih konstrukcijskih izvedb zaviralnih sistemov. Videti je, da se je zaviralni sistem postopno razvijal približno sočasno z razvojem novih magnetnih materialov in tehnologij. Slika 5 prikazuje približno razvojno pot zaviralnih sistemov od začetka z masivnimi jeklenimi magneti, preko kombinacije aktivnega magnetnega materiala z mehkomagnetno povratno potjo, do sodobnih kovinskih zlitin in keramičnih magnetov z visokim energijskim produktom.

Pogosto se pri indukcijskih števcih uporablja kot aktivni magnetni material zlitina AlNiCo, bodisi v liti ali v sintrani izvedbi, navadno v obliki dveh podkvic ali dveh kvadrov. Magneta sta tako namagnetena, da magnetni pretok dvakrat ali trikrat prehaja skozi kolut med nasproti si ležečima pola različnih polaritet. Predstavitve, ki sledi, se nanaša na zaviralni sistem v indukcijskih števcih družbe Iskraemeco. Izvedba je plod lastnega razvoja in tehnologije (slika 6).



Slika 3: Sorazmernost zaviralnega momenta z gonilnim momentom

Figure 3: Proportionality of brake torque and measuring system torque



Slika 4: Prečne sile na os rotorja

Figure 4: Side forces on rotor shaft

Zaviralni sistem indukcijskega števca sestavljajo: aktivni magnetni material (trajni magnet), magnetni stranski stik z nastavitvenim(a) vijakom(a) in temperaturna kompenzacija. Vse elemente povezuje stabilno nosilno ogrodje, izrezano iz feromagnetne pločevine (enofazni števec - slika 6a) ali tlačno brizgano ogrodje iz silumina (trifazni števec - slika 6b).

Zaviralni moment opiše enačba:

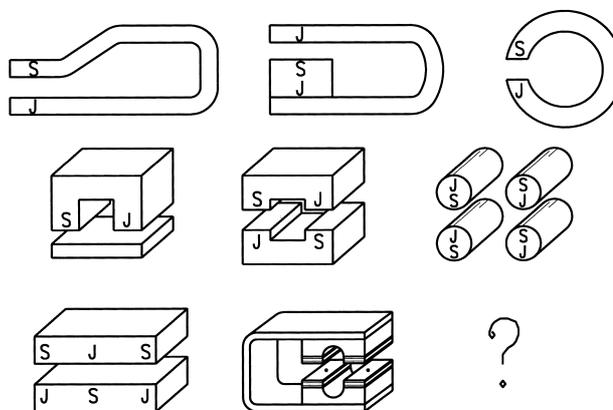
$$M_z = k_z \cdot n \cdot \phi_z^2 \cdot 1/R_z \quad (2)$$

kar pomeni, da je zaviralni moment premo sorazmeren s številom vrtljajev rotorja (n), v kvadratni odvisnosti z magnetnim pretokom (ϕ) in obratno sorazmeren z ohmsko upornostjo koluta na poteh vrtilnih tokov (R_z).

2.2 Časovna stabilnost magnetne gostote zaviralnega magnetna

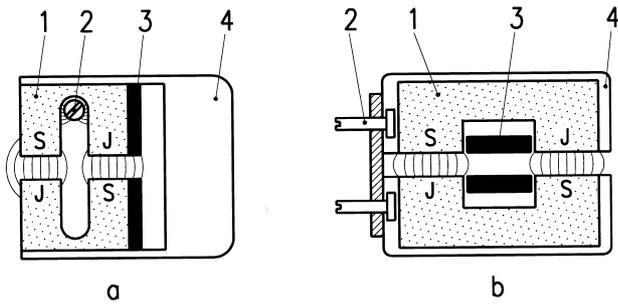
Iskraemeco vgrajuje v zaviralne sisteme indukcijskih števcov trdomagnetni material LIMAG 400K in SIMAG 500 proizvodnje Magneti Ljubljana, d. d., katerih razmagnetilne karakteristike v II. kvadrantu prikazuje slika 7a.

Po maksimalnem impulznem magnetenju magnet razmagnetimo ali v izmeničnem razmagnetilnem polju



Slika 5: Zgodovinski pogled na razvoj zaviralnih magnetov v indukcijskih števcih

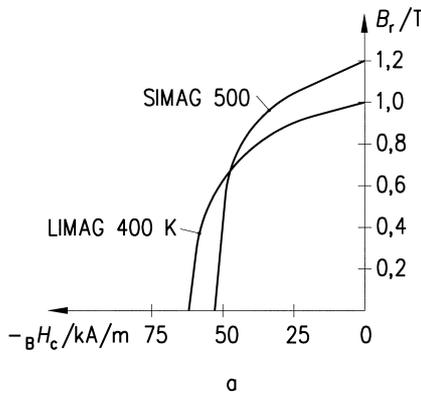
Figure 5: Historical view of brake-magnet development in induction meters



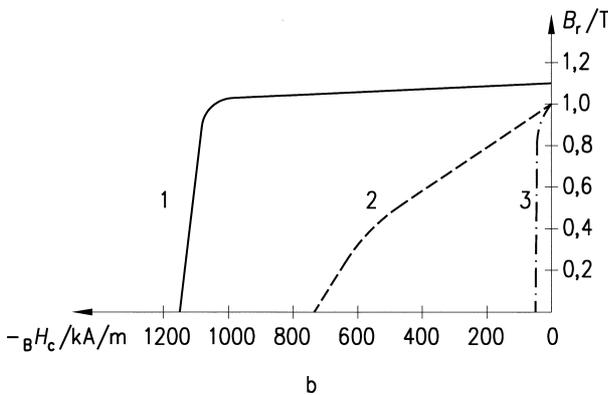
Slika 6: Zaviralni sistem indukcijskega števca: 1 - aktivni magnetni material, 2 - magnetni stranski stik (nastavitveni vijak), 3 - temperaturna kompenzacija, 4 - ogrodje - nosilec

Figure 6: Brake system of induction meter: 1 - active magnetic material, 2 - magnetic shunt (adjusting screw), 3 - temperature compensation, 4 - frame

ali impuzno z dozirano magnetno poljsko jakostjo obrnjene polaritete. S tem ga kalibriramo na določeno vrednost magnetne gostote v delovni zračni reži, ki jo narekuje tip števca, oz. njegova konstanta C_z (število vrtljajev rotorja na enoto električne energije). Z razmagnetanjem za najmanj 5 % od maksimalne gostote dosežemo primerno časovno stabilnost. Ta magnetni material je po dolgoletnih analizah časovnih sprememb magnetnih lastnosti med najbolj stabilnimi magnetnimi materiali.



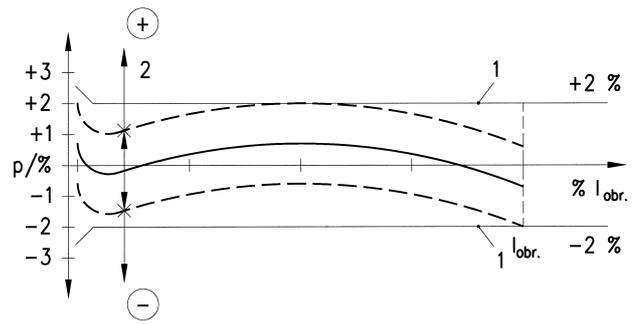
a



b

Slika 7: Karakteristike trdomagnetnih materialov v II. kvadrantu: a - AlNiCo, b - primerjava: 1 - NdFeB; 2 - Remag 25; 3 - AlNiCo

Figure 7: Characteristics of magnetic materials in II. quadrant: a - AlNiCo, b - comparison: 1 - NdFeB; 2 - Remag 25; 3 - AlNiCo



Slika 8: Osnovna obremenilna karakteristika indukcijskega števca: 1 - meje razreda točnosti 2,0, 2 - nastavitev pogreška s spreminjanjem zaviralnega momenta

Figure 8: Basic load characteristic of induction meter: 1 - limits of error for accuracy class 2, 2 - error adjustment with change of brake-magnet torque

Na svetovnem trgu števcev se zahteva vedno daljša obratovalna doba števca, ki mora obdržati deklarirane merilno-tehnične lastnosti: pogrešek $\pm 2\%$ v mejah razreda točnosti 2,0, in sicer najmanj 20 do 25 let. Stroški zamenjave števcev, servisiranja in kontrole po določenem obdobju (zakonsko določena doba "žigosanja" je različna v različnih državah) se v razvitih državah tako povečujejo, da bo v prihodnje ekonomičneje zamenjati števec z novim, starega pa zavreči, četudi bo ta še v razredu točnosti.

3 VPLIVNE VELIČINE ZAVIRALNEGA SISTEMA

Karakteristika števca je njegova obremenilna krivulja: pogrešek v odvisnosti od obremenilnega toka (slika 8).

Obremenilna karakteristika poteka v mejah razreda točnosti, za katerega je števec deklariran: navadni "gospodinjški števci" so razreda točnosti 2,0, precizijski števci pa točnostnega razreda 1,0. Indukcijskih števcev višjih točnostnih razredov ni ekonomično izdelovati. To področje pokrivamo s elektronskimi - statičnimi števci točnostnih razredov 0,2S in 0,5S.

Spremembe kazanja povzročajo druge veličine, ki jih števec ne meri pa vendar vplivajo na njegovo merilno točnost. (podobno kot stranski učinki zdravil!). Največje dovoljene spremembe kazanja zaradi posameznih vplivnih veličin določajo standardi in meroslovni pravilniki.

Poleg vplivnih veličin, na katere zaviralni sistem ne vpliva (spremembe napetosti, frekvence, višjih harmonikov, itd.), so naslednje vplivne veličine, ki vplivajo na zaviralni sistem in nasprotno:

- sprememba temperature
- lastno segrevanje
- nagib (odmik od navpične lege števca)
- tuje magnetno polje
- kratki stik
- nastavitev pogreška (umerjanje)

3.1 Vpliv spremembe temperature

Standardi predpisujejo temperaturno območje od 0 °C do +40 °C oziroma od - 20 °C do +50 °C (strožje zahteve) za normalno delovanje indukcijskega števca v okviru dovoljene vplivne veličine.

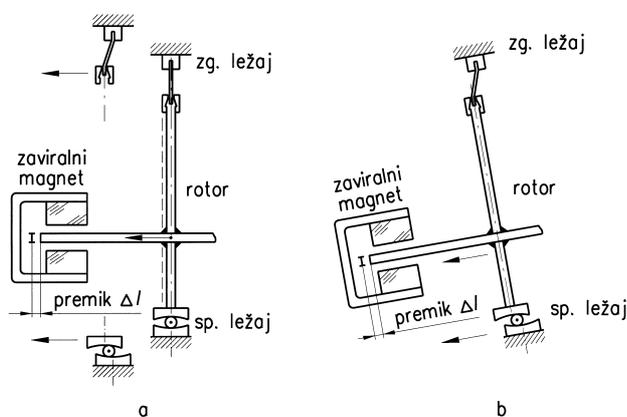
Magnetni material ima navadno negativni temperaturni koeficient magnetne gostote (AlNiCo okoli - 0,02 %/K). Tudi merilni sistem števca ima negativni temperaturni koeficient. Merilni sistem in zaviralni magnet sta kompenzirana v zaviralnem sistemu z magnetnim stranskim stikom iz temperaturno odvisnega materiala. navadno se uporablja zlitina Ni-Fe, ki ima padajočo karakteristiko magnetne gostote pri porastu temperature do Curie-jeve točke pri konstantni magnetni poljski jakosti. Ali preprosteje: z višanjem temperature se večja magnetna upornost stranskega stika.

3.2 Vpliv lastnega segrevanja

Zaradi lastne porabe se merilni sistem segreva po drugačni časovni funkciji kot zaviralni magnet, dokler ni v notranjosti okrova števca doseženo temperaturno ravnovesje. Tudi to kompenzacijo prevzame magnetni stranski stik iz termokompensacijskega materiala.

3.3 Vpliv dinamičnih prečnih sil in vpliv nagiba števca

Na **sliki 9a** je prikazan relativni premik Δl koluta rotorja v zračni reži zaviralnega magneta zaradi dinamičnih prečnih sil (glej tudi **sliko 4**). Pri tem se zaradi premika rotorja v smeri rezultante sil v odvisnosti od tokovne obremenitve števca in premika v spodnjem ležaju (tudi dviga rotorja) ter upogiba vodilnih trnov v obeh ležajih (izvedba z magnetnim ležajem) spremeni lega točke koluta glede na prijemališče zaviralne sile v reži zaviralnega magneta. Ta vpliv se more kompenzirati z optimalno lego prijemališča zaviralne sile z ozirom na srednjo magnetno gostoto v reži magneta, ki je določena z merilno konstanto obravnavanega tipa števca.



Slika 9: Vpliv dinamičnih prečnih sil in vpliv nagiba števca

Figure 9: Influence of dynamic side forces and influence of oblique suspension

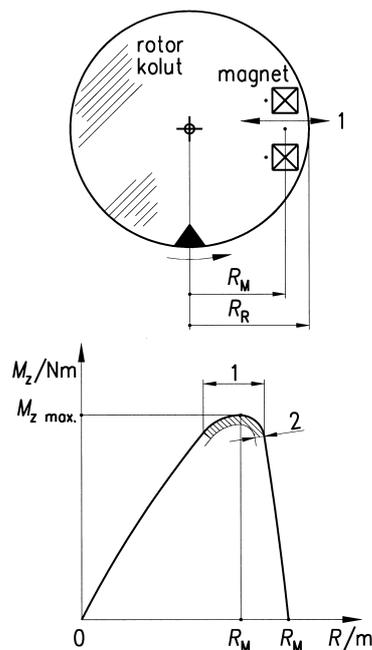
Tudi pri nagibu števca od navpične lege (**slika 9b**) - standardi navadno predpisujejo nagib 3° v katerikoli smeri od navpične lege - se premakne prijemališče zaviralne sile iz navpične lege umerjenega števca za premik Δl v smer zmanjšanja ali povečanja zaviralnega momenta, kar povzroči spremembo kazanja števca in s tem pogreška.

3.4 Vpliv tujega magnetnega polja

Pri tipskem preskušanju se števec postavi v sredino tuljave premera 1m. Tuljava s 400 amperovoji se napaja z izmeničnim tokom enake frekvence, tok tuljave je v različnih faznih legah proti toku števca. Za preskus in za določitev vpliva enosmernega magnetnega polja predpisujejo nekateri standardi elektromagnet z jedrom "T"-oblike z vzbujalno tuljavo s 1000 amperovoji, ki ga namestimo k števcu v najbolj neugodni legi. Predvsem zaradi možnih vplivov na merilno točnost s približevanjem zunanjih magnetov k števcu, nekateri kupci povečujejo zahteve, povečujejo amperovoje in velikost preskusnega elektromagneta (primer: od 5000 do 10 000 amperovovjev, magnetna gostota na površini pola je 0,2 T). Strožjih standardov še ni, dokončne zahteve še niso opredeljene.

3.5 Vpliv kratkega stika

Za preskus vpliva kratkega stika določa standard kratkostični impulzni tok skozi tokovno navitje glede na deklarirani največji tok števca: $50 \times I_{max}$ (do 7 kA) v definiranem času. Tokovni impulz inducira v rotorjevi



Slika 10: Optimalna lega zaviralnega sistema: 1 - groba nastavitve, 2 - fina nastavitve

Figure 10: Operating place of brake system (magnet): 1 - coarse calibration, 2 - fine calibration

plošči inducirano napetost, skozi ploščo steče močan kratkostični tok, ki glede na smer lahko spremeni magnetno gostoto zaviralnega magneta. Poleg tega ima lahko tudi škodljiv dinamičen učinek na druge dele merilnega sistema.

3.6 Vpliv nastavitve pogreška (umerjanje)

Pri umerjanju števca se število vrtljajev rotorja nastavi glede na električne podatke in na prestavno razmerje številčnika. To določa števna konstanta C_z . Točnost števca pri tej umerjevalni točki se nastavlja z velikostjo zaviralnega momenta.

Grobo nastavitve se opravi s premikom (sukanjem) celotnega magneta okoli pritrdilnega vrtišča (1 na **sliki 10**), fino nastavitve pa s spremembo velikosti magnetnega pretoka v stranskem stiku z nastavitvenim(a) vijakom(a) (2 na **sliki 10**, glej tudi **sliki 6**).

Standardi zahtevajo še ostanek nastavitve števila vrtljajev za ev. ponovno umerjanje in kontrolo. S previsoko magnetno gostoto v reži se tako magnet z grobo nastavitvijo odmakne iz optimalne lege nastavitvenega območja in s tem se lahko poslabša vpliv lege. Da bi se temu izognili, je treba zaviralni magnet pred vgradnjo v števec razmagnetiti - kalibrirati na vrednost magnetne gostote v ozkih mejah.

V prihodnje se bo verjetno pokazala potreba po reviziji standardov, ki še zahtevajo ostanek nastavitve, da se ta zmanjša ali celo odpravi, kajti kaže se težnja, da se bodo števci šele po končani zakonsko določeni obratovalni dobi izločili iz merilnega mesta in se ne bodo več servisirali.

4 SKLEPI

Iskraemeco, d. d., kot proizvajalec opreme za merjenje električne energije in krmiljenje obremenitve, ima poleg proizvodnje statičnih števcov in sistemov v svojem t. i. železnem repertoarju še vedno v velikoserijski proizvodnji klasični indukcijski števec. Zahteve trga so vedno strožje, kolikor bolj smo prisotni na trgih, kjer vlada velika konkurenca tujih proizvajalcev. Po dolgotrajni tradiciji pri razvoju in proizvodnji indukcijskih števcov je znano, da se na novo zahtevo hitro odzovemo in ponudimo kupcu optimalno rešitev. To je sicer prednost pred konkurenco in nam zagotovi tržni delež, vendar nam na drugi strani povečuje stroške razvoja in proizvodnje.

V zadnjem času so aktualna vprašanja kupcev v raznih državah, kako so števci odporni proti vplivom zunanega magnetnega polja z ozirom na deklarirano točnost. Poleg zahtev po časovni stabilnosti, dolgi

obratovni dobi in korozijski obstojnosti je zelo pomembna odpornost proti razmagnetanju zaviralnega magneta s tujim, zunanjim izmeničnim ali enosmernim magnetom. Približanje magneta z dovolj visokim energijskim produktom in z visoko magnetno poljsko jakostjo k okrovu števca vpliva na spremembo kazanja števca. Če je zunanji magnet take oblike in tako polariziran, da ojači zaviralni moment merilnega sistema števca, tedaj je pogrešek negativen, t. j. števec registrira manj električne energije. To so redki primeri. Odvisni so od lege zaviralnega magneta v števcu, od feromagnetnih zaslonov in ostalih uporabljenih materialov. Pogostejši primeri vplivanja na merilno točnost pa so nasprotni: zunanji magnet lahko začasno (samo v času prisotnosti) ali pa trajno oslabi (delno razmagnetni) magnet zaviralnega sistema, s tem se poruši ravnotežje vrtilnega in zaviralnega momenta in pogrešek števca je pozitiven: številčnik registrira več električne energije, kot je dejansko porabljeno, torej je porabnik oškodovan. Domači in mednarodni standardi točno opredeljujejo vplivne veličine, v tem primeru vpliv zunanega izmeničnega in enosmernega magnetnega polja definirane magnetne gostote oz. amperovojev na spremembo kazanja števca. Te meritve se redno izvajajo pri tipskem preskušanju.

V standardih predpisana motilna magnetna polja po velikosti in smeri, ki na točnost števca vplivajo znotraj zahtevanih vrednosti, so mnogo manjša, kot so lahko magnetna polja komercialnih trajnih magnetov, izdelanih na osnovi redkih zemelj (samarij, neodim, kompozitni materiali), s katerimi se lahko hote ali nehote vpliva na merilno točnost števca.

Števec električne energije je merilo, ki mora imeti po zakonsko določenih pogojih certifikat o skladnosti in točnosti, ki ga podeljujejo državni certifikacijski organi.

Proizvajalci števcov moramo vsekakor zagotoviti delovanje števca v deklariranem razredu točnosti ne glede na to, komu je v prid sprememba pogreška, ali prodajalcu električne energije ali porabniku - kupcu. Zato iščemo optimalno razmerje med še ekonomično zaščito pred tujimi magnetnimi polji in lastno ceno izdelka. Najbolj občutljiv sestavni del indukcijskega števca je ravno zaviralni magnet.

5 LITERATURA

¹ SIST EN 60521

² D. Chvatal: Magnetika in njena uporaba v indukcijskih števcih, Interni izobraževalni seminar, Iskraemeco, 2000

³ D. Hadfield: Permanent magnets and magnetism, London, Iliffe Books LTD, 1962