

# ASINHRONO ELEKTRODZINĒJU KOMUTĀCIJAS PĀRSPRIEGUMU PĒTĪJUMI INVESTIGATIONS ON COMMUTATION OVERVOLTAGES OF INDUCTION MOTORS

A. Galiņš

LLU Lauksaimniecības Enerģētikas institūts  
Institute of Agricultural Energetics, LUA

**Abstract:** During the exploitation of induction motors overvoltages are affecting the isolation of windings. Commutation overvoltages appear at the moment of switching-on and switching-off the induction motors. They are essentially exceeding the nominal line voltage. The investigations prove that the highest overvoltages are observed when an overloaded motor is switched off.

**Keywords:** commutation overvoltage, distribution, loading.

## 1. Ievads

Attīstoties lauksaimniecības mašīnu elektrifikācijai un automatizācijai, palielinās elektrodzinēju skaits, kuri strādā cikliski ar biežu ieslēgšanu un izslēgšanu, reversēšanu un elektrisko bremsēšanu. Daudzas iekārtas ir apgādātas ar automātiskajām aizsardzības ierīcēm, kas momentāni atslēdz barošanas tīklu avārijas režīma gadījumos. Atslēgšanas brīdī tiek pārtrauktas lielas strāvas. Elektrisko ķēžu komutācijas rezultātā, t. i., ieslēdzot un izslēdzot elektrodzinējus vai arī citas induktīvas slodzes, tīnumos inducējas strauji sprieguma lēcieni - komutācijas pārspriegumi, kuri var izraisīt elektrodzinēju atteikumu.

## 2. Situācijas raksturojums

Pārspriegumus ir grūti prognozēt, jo tie pakļaujas gadījuma sadalījumam un ir atkarīgi no komutācijas aparatūras kvalitātes. Nav iespējams atkārtot divus vienādus eksperimentus komutācijai pie pilnīgi vienādiem nosacījumiem, jo slēgšanas neviendabīgums un ieslēgšanas moments sinusoidālai strāvai nav atkarojams. Tas, ka dzinēja atslēgšanas momentā netiek konstatēts pārspriegums, neliecina par pārsprieguma neinducēšanos attiecīgajā tīnumā. Bieži vien šie impulsi tiek vai nu aplāpēti, nofiltrēti, vai arī tos ierobežo daļējā izlāde.

Pētījumi parādīja, ka izteiksmīgas pārspriegumu oscilogrammas iegūšanai jāveic liels eksperimentu apjoms. Tas īpaši attiecas uz maksimālās pārsprieguma vērtības iegūšanu. Jāņem vērā, ka iekārtas konstrukcijai vajadzētu būt tendētai ģenerēt pārspriegumus. Sevišķi labi komutācijas pārspriegumus ģenerē magnētiskie palaidēji ar apdegušiem un oksidētiem kontaktiem. Lai iegūtu lielus pārspriegumus, nepieciešams, lai kontakti komutācijas laikā dzirkstejotu. Loka degšana starp kontaktiem komutācijas laikā veicina atkārtotu ķēdes saslēgšanu un atslēgšanu, kā rezultātā notiek pārsprieguma impulsu veidošanās. Komutācijas neviendabība ir svarīgs nosacījums pārsprieguma izcelsmē. Slēgšanās process nenotiek vienlaikus, kontakti savienojas ar noteiktu laika nobīdi.

Arī komutējamā noslodze nosaka pārsprieguma amplitūdu. Piemēram, nelielas jaudas elektrodzinējs (< 1 KW) ir ļoti efektīvs pārsprieguma impulsu avots. Pārsprieguma vērtību būtiski ietekmē arī izolācijas elektriskā kapacitāte, tīnumu induktivitāte, kā arī attiecība starp šiem lielumiem.

Veicot pārsriegumu pētījumus, tika konstatēti gadījumi, kad konkrētā shēma neģenerēja pārsrieguma impulsus un nebija mērķtiecīgi uzņemt oscilogrammas. Komutācijas laikā elektrodzinējam 4A80A2Y3 1.5 KW komplektācijā ar magnētisko palaidēju PME-2, pārsriegumi vispār netika novēroti un oscilogrammās fiksētās sprieguma vērtības svārstījās fāzes amplitūdas vērtības robežās. Izslēdzot šo elektrodzinēju, komutācijas pārsriegums nepārsniedza  $k = 2$ . Izmantojot PME-2 magnētisko palaidēju ar citu elektrodzinēju, pārsriegums sasniedza tikai  $k = 1.6$ . Tādējādi, veidojoties optimālai sistēmai starp asinhrono mašīnu un magnētisko palaidēju, izolācijai bīstami pārsriegumi var arī neparādīties. Jāpiebilst, ka netika veikti pētījumi, šo dzinēju atslēdzot ar nosprūdušu rotoru.

Parasti pārsrieguma amplitūdu vērtē tieši kilovolts, vai arī ar pārsrieguma koeficientu  $k$ , kas ir pārsrieguma impulsa amplitūdas un nominālā fāzes sprieguma amplitūdas attiecība (W. Zwicknagl, 1983):

$$k = \frac{U_{par}}{U_{max}} = \frac{3^{-2} U_{par}}{2^{-2} U_L} ,$$

kur:  $U_{par}$  - pārsrieguma amplitūdas vērtība pēc ķēdes pārtraukšanas;  
 $U_{max}$  - fāzes sprieguma amplitūdas vērtība, 310V;  
 $U_L$  - nominālais trīsfāzu līnijas spriegums, 380V.

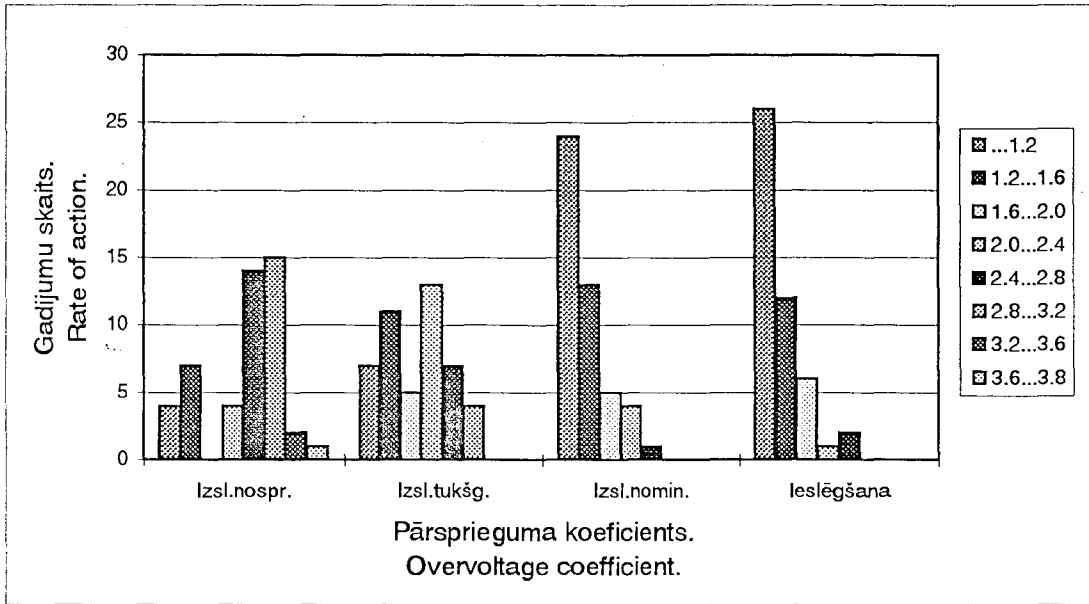
No literatūrā dotajiem (W. Zwicknagl, 1983) datiem, asinhronajām mašīnām ar īsi slēgtu rotoru komutācijas pārsriegumi sasniedz pat  $k = 7... 8$ , bet zemsprieguma mašīnām pārsriegums var sasniegt 2170 - 2480 V.

### 3. Komutācijas pārsriegumu sadalījums atkarībā no atkārtotās biežuma

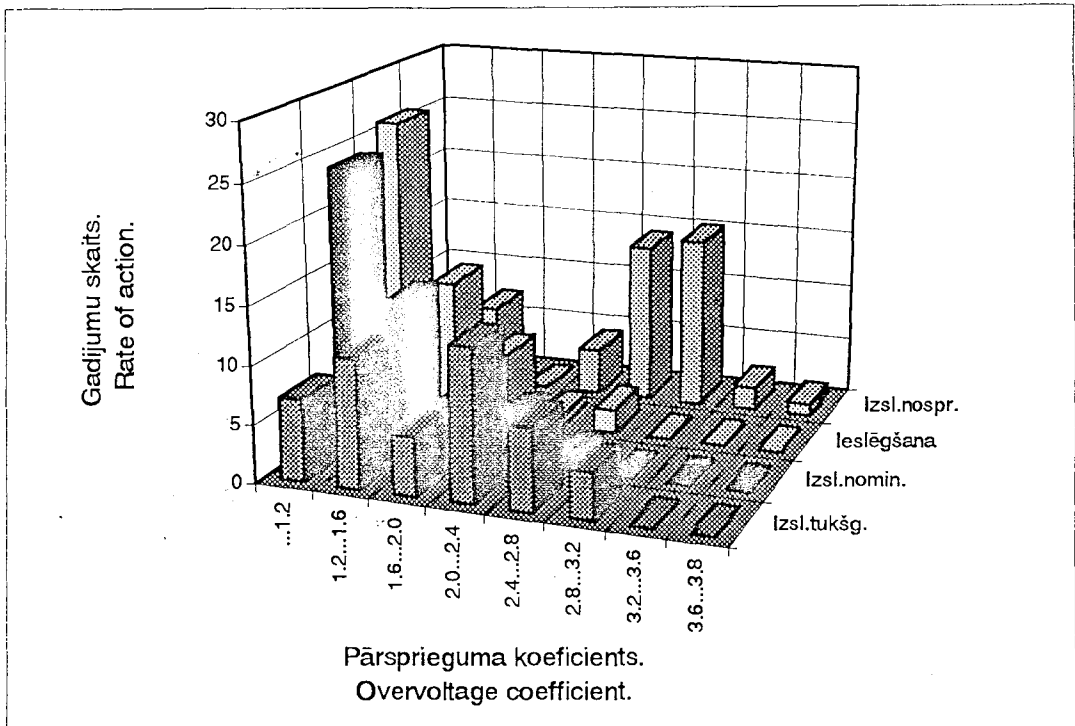
Lai noskaidrotu dzinēja noslodzes ietekmi uz pārsrieguma sadalījumu, tika veikti eksperimenti ar magnētisko palaidēju PML-2 ( ar tendenci ģenerēt pārsriegumus ) un ar elektrodzinēju 4AA56 (jauda - 180 W, vārpstas rotācijas frekvence  $n = 2760 \text{min}^{-1}$  ).

Elektrodzinējam 4AA56 pēc kārtas tika izdarīti vairāki simti pārsrieguma mērījumu. 1. attēlā redzams pārsrieguma sadalījums, kāds izveidojas atkarībā no elektrodzinēja darbības režīma. Histogrammas veidotas kā gadījumu skaita atkarība no pārsrieguma koeficienta. Pārsrieguma sadalījumu, ieslēdzot elektrodzinēju tukšgaitas režīmā, apraksta 4. histogramma. Šeit maksimālais pārsriegums nepārsniedz  $k = 2.57$  (797 V). Aptuveni 25 % gadījumu, pārsriegumi ir ar koeficientu  $k = 1.2...1.6$ . Visvairāk ir ieslēgšanās bez pārsriegumiem, aptuveni 55 % no visiem ieslēgšanas gadījumiem. Maksimālais pārsriegums  $k = 2.4...2.8$  novērots tikai 4.2 % gadījumu. Pārsriegums, kas pārsniedz  $k = 2.0$  parādās tikai 6.4 % gadījumu. Histogramma parāda, ka praktiski normālos apstākļos vērā ņemami pārsriegumi darbojas tikai aptuveni 9 % gadījumu.

Izslēdzot tukšgaitā strādājošu elektrodzinēju rodas pārsriegumi, kas apkopoti 2. histogrammā. Kā parāda praktiskie mērījumi, pārsrieguma maksimālā vērtība šai gadījumā ir daudz lielāka nekā palaižot elektrodzinēju. Maksimālais pārsriegums sasniedz  $k = 3.14$  (973 V). Pārsrieguma sadalījums būtiski atšķiras no sadalījuma, ieslēdzot dzinēju. Viss gadījumu apjoms pārbidīts uz lielāku pārsrieguma vidējo vērtību. Pārsrieguma sadalījums ir daudz vienmērīgāks. Izslēgšana bez pārsriegumiem  $k = 0.7...1.2$  novērojama tikai 15 % gadījumu, un tas ir ļoti maz. Aptuveni 23.2 % gadījumu pārsrieguma vērtība  $k = 1.2...1.6$ , tai pašā laikā pārsrieguma vērtība  $k = 2.0...2.4$  sagaidāma 28 % gadījumu. Maksimālā pārsrieguma vērtība, izslēdzot elektrodzinēju, ir  $k = 3.14$  (973 V), kas novērojama aptuveni 4.5 % gadījumu. Pārsriegums, kas pārsniedz  $k = 2.0$  atslēdzot dzinēju tukšgaitā, sasniedza 51 %. Iegūtie rezultāti liecina, ka pārsriegums pie elektrodzinēja atslēgšanas tukšgaitā ievērojami pārsniedz pārsriegumu pie tā ieslēgšanas.



1.att. Pārsprieguma sadalījums atkarībā no elektrodzinēja noslodzes.  
Fig.1. Distribution of overvoltage depending on motor loading.



2. att. Elektrodzinēja noslodzes ietekme uz komutācijas pārspriegumu sadalījumu.  
Fig. 2. The influence of motor's loading on the distribution of commutation overvoltage.

No praktiskajiem mērījumiem redzams, ka vēl smagāks komutācijas režīms ir nosprūduša elektrodzinēja atslēgšana. Šis faktors īpaši ņemams vērā, izstrādājot elektroniskās asinhrono elektrodzinēju aizsardzības ierīces. Nosprūduša dzinēja atslēgšana bez pārspriegumiem  $k = 0.7...1.2$  notika tikai 8.5 % gadījumu. Pārspriegums galvenokārt koncentrējās ap vērtību  $k = 2.4...3.2$ , tas notika 62 % atslēgšanas gadījumu. Tātad, vismaz katras otrās atslēgšanas pārsprieguma vērtība pārsniedz  $k = 2.4...3.2$ . Maksimālā pārsprieguma vērtība sasniedza  $k = 3.7$  (1151 V) 4.5 % gadījumu. Pārspriegums ar vērtību, kas lielāka par  $k = 2.0$  vērojams 77 % gadījumos. Tātad, vislielākie

pārspriegumi tika novēroti pie nosprūduša elektrodzinēja atslēgšanas.

Izpētot asinhronā dzinēja atslēgšanu pie nominālās noslodzes, mērījumu dati parādīja, ka mazjaudas elektrodzinēja komutācijas pārspriegumi nepārsniedz  $k = 2.43$ . Atslēgšana bez pārspriegumiem  $k = 0.7 \dots 1.2$  notiek 51 % gadījumu. Pārspriegums, lielāks par  $k = 2.0$ , bija aptuveni 11 % gadījumu. Tas liecina, ka vismazākie pārspriegumi parādās atslēdzot nomināli slogotu elektrodzinēju. Jāpiebilst, ka visi pārsprieguma mērījumi bija veikti ar vienu un to pašu mēraparāturu, un komutācija notika ar vienu un to pašu magnētisko palaidēju. Tas dod reālu iespēju salīdzināt pārsprieguma rašanos pie dažādiem elektrodzinēja darbības režīmiem.

Pētījumos iegūtā informācija ir apkopota telpiskā histogrammā (skat. 2. att.), kur redzams, ka visievērojamākie pārspriegumi parādās tieši pie elektrodzinēju izslēgšanas tukšgaitā un izslēgšanas ar nosprūdinātu rotoru. Dzinēja ieslēgšanas pārspriegumi nav tik lieli, tas pats attiecas arī uz nomināli noslogota dzinēja izslēgšanu.

#### 4. Slēdziens

Galvenās likumsakarības, kādas iegūtas apkopojot pētījumu datus:

1. Pārsprieguma izcelsmes varbūtību nosaka komutācijas aparāta tehniskais stāvoklis, kā arī saskaņotība ar slodzi. Komutācijas pārsprieguma vērtība var būt minimāla, t. i., nepārsniegt  $k = 1.6$ , ja komutācijas aparāts un asinhronais elektrodzinējs veido optimālu sistēmu.

2. Komutācijas pārsprieguma vērtība ir atkarīga no elektrodzinēja noslodzes pakāpes tā atslēgšanas brīdī. Vislielākie pārspriegumi konstatēti, atslēdzot nosprūdinātu elektrodzinēju. Tātad, dzinēju aizsardzības ierīču nostrāde, pārslodzes vai rotora nosprūšanas gadījumā, saistīta ar ievērojamu komutācijas pārspriegumu rašanos.

#### Literatūra

1. Zwicknagl W. (1983). Zur Stobspannungsfestigkeit von Hochspannungsmotoren und deren prüfung. Elektrotechnik und Maschinenbau, Bd 100, No 5. 202 - 212.