

Mr. Damir Bandl, dipl.inž.
RO "KONČAR - Industrijska elektronika"
41 001 ZAGREB
J. Lončara 3

TEHNIČKI UVJETI ZA INDUKTIVNE KOMPONENTE
U SKLOPOVIMA INDUSTRIJSKE ELEKTRONIKE

TECHNICAL REQUIREMENTS ON INDUCTIVE
COMPONENTS FOR POWER ELECTRONICS

U radu su analizirani nacionalni i međunarodni standardi za induktivne komponente i izvedena je podjela komponenti s obzirom na upotrebu.

Posebna pažnja je posvećena tehničkim uvjetima za komponente koje se ugrađuju u uređaje industrijske elektronike. Za ocjenu sigurnosti transformatora, detaljno su obradjeni zahtjevi IEC-a.

National and international standards for inductive components are analysed and components are divided in groups in consideration of place of use.

Special care is taken over technical requirements on components for power electronics.

O. UVOD

Ime standardna komponenta dodijeljen nekoj induktivnoj komponenti, prema definiciji, označava da je dotična komponenta u potpunosti izrađena u skladu s odgovarajućim standardom koji je, u pravilu, označen na natpisnoj pločici na komponenti. Tako kod transformatora npr. postoje:

- standardni energetske transformatori
- standardni transformatori za poluvodičke usmjerivače
- standardni mjerni transformatori

Transformatori kao neizbježne komponente u većini sklopova energetske elektronike, projektirani za posebne zahtjeve električnog sklopa, ako su izrađeni kao standardne komponente bili bi neopravdano skupi. Treba odmah napomenuti da se radi o sklopovima i uređajima koji nisu pokriveni standardima ili iz nekih razloga odstupaju od postojećih standarda. Svakako je i za ove nestandardne uređaje neophodno osigurati odgovarajući nivo sigurnosti i pouzdanosti rada. Pojedine tehničke uvjete kod nestandardnih komponenti možemo ostvariti u sklopu uređaja, a ne na komponenti a da ne ugrozimo sigurnost ili točnost rada.

Kod projektiranja se ne rijetko zaboravlja da se u proizvodnji induktivnih komponenti bolji ekonomski rezultati mogu postići i zadovoljenjem viših tehničkih uvjeta od standardiziranih. Ovo se postiže internom standardizacijom dijelova iz kojih se proizvode komponente na temelju zadovoljenja tehničkih uvjeta za najveći dio komponenti.

Područje standardizacije dijeli se na više grupa. Grupe čine:

- standardi koji određuju tehničke uvjete i ispitivanja,
- standardi koji određuju dimenzije i kvalitetu jezgri,
- standardi koji određuju oblik i dimenzije komponenti i
- standardi koji određuju pribor za komponente.

Oč poselnog su značaja standardi uređaja i dijelova /prva i druga grupa/ koji određuju tehničke karakteristike, kvalitetu, sadržaj, materijale iz kojih se izrađuju i način upotrebe, jer se njime postiže racionalna proizvodnja. Zadnje dvije grupe su malobrojne i nisu obuhvaćene ovim radom.

Primjenjivani standardi mogu biti međunarodni, nacionalni i interni. Interni standardi vrijede samo za odgovarajuću organizaciju udruženog rada i donose se za olakšavanje postupka konstruiranja i izrade proizvoda na temelju proširenja liste nacionalnih i međunarodnih standarda.

1. PODJELA KOMPONENTI

Osim već navedene podjele u uvodu, postoji i cijeli niz podjela na komponente prema sigurnosti od električnog udara, mjestu ugradnje, namjeni, zagrijavanju, snazi, radnom naponu i slično.

Podjelom na temelju zahtjeva na dielektričnu čvrstoću i sigurnost od električnog udara dobijemo tri vrste transformatora:

- izolacioni transformatori su transformatori s električki odvojenim primarnim i sekundarnim namotima, da se smanji opasnost od slučajnog istovremenog dodira uzemljenja i dijelova pod naponom,
- učinski transformatori su transformatori za pretvorbu izmjeničnog napona i struje, između dva ili više napona, kod iste frekvencije,
- odvojni transformatori su transformatori s ulaznim namotima odvojenim od izlaznih namota jedino temeljnom izolacijom.

U podjeli su spomenuti samo transformatori jer se na prigurnice odnose samo zahtjevi na dielektričnu čvrstoću i općenito možemo govoriti o:

- izolacionim komponentama,
- učinskim komponentama i
- odvojnim komponentama.

Pouzdan rad komponente osigurava pravilna konstrukcija i dimenzioniranje izolacije između namota, izolacije između namota i jezgre i izolacije između namota i konstrukcijskih dijelova, odakle proizlazi da su najvažniji parametri zagrijavanje, dielektrična čvrstoća i otpor izolacije.

Navedene vrste komponenti temelje se na odgovarajućim standardima u kojima su određena tipska ispitivanja. U nastavku su za svaku vrstu obrađeni parametri i određena rutinska ispitiva-

nja s kojima treba otkriti, ovisno o zahtijevanoj sigurnosti, neprihvatljive promjene u materijalu ili proizvodnji.

1.1 Izolacione komponente

Na ovu vrstu komponenti se postavljaju najviši sigurnosni zahtjevi u pogledu smanjenja opasnosti od električnog udara i temelje se na IEC publikaciji 742 /odgovarajući JUS je u fazi anotacije/.

Sigurnost od električnog udara se postiže kombiniranjem upotrebe temeljne izolacije /izolacije dijelova pod naponom za osiguranje temeljne zaštite od električnog udara, koja ne mora biti sama izolacija za funkcionalnu svrhu/, dopunske izolacije / nezavisna izolacija koja u slučaju otkaza temeljne izolacije osigurava zaštitu od električnog udara/ i pojačane izolacije /izolacioni sistem koji pruža jednaki stupanj zaštite od električnog udara kao i suma temeljne i dopunske izolacije ali koja se ispituje kao sistem a ne pojedinačno/ s uzemljenjem svih metalnih dijelova i s naponima u izlaznim krugovima koji ne prelaze sigurnosni posebno niski napon /50 V/.

Ova vrsta komponenti prema svojoj namjeni isključuje autotransformatore.

1.1.1 Zagrijavanje

Transformatori i njihova postolja se u normalnoj upotrebi ne smiju pretjerano zagrijati. Dozvoljena zagrijavanja za temperaturu okoline do 25 °C /povremeno i do 35 °C/ su prikazana u tablici I.

Nadtemperatura namota se utvrđuje metodom promjene otpora a ostalih dijelova pomoću termo-parova koje treba tako odabrati i postaviti da što je moguće manje utiču na temperaturu dijela čije se zagrijavanje mjeri. Preporučljivo je da se temperatura namota u trenutku isključivanja izračuna iz krivulje promjene otpora koja se dobije mjerenjem otpora u kratkim vremenskim razmacima nakon isključivanja. Kod transformatora s više namota ili otcjepima u obzir se uzimaju rezultati koji daju najveći porast temperature.

Temperatura okoline se mjeri dovoljno daleko od ispitivane komponente, da ne utječe na očitavanje i ne smije se u toku mjerenja mijenjati više od 10 °C.

1.1.2 Otpor izolacije i dielektrična čvrstoća

Otpor izolacije mora zadovoljiti vrijednosti iz tablice II, a mjeri se istosmjernim naponom od oko 500 V nakon jedne minute od priključivanja.

Odmah nakon ispitivanja otpora izolacije, izolacija primarnih i sekundarnih namota se ispituje jednu minutu s stranim naponom sinusoidalnog oblika, čija je vrijednost određena u tablici III. Za vrijeme ispitivanja ne smije doći do proboja ili preskoka, dok se zanemaruje efekt korone i slične pojave.

visokonaponski ispitni transformator mora moći kroz kratkospojene izlazne stezaljke protjerati struju od najmanje 200 mA a zaštitni nadstrujni relej ne smije proraditi kod struje manje od 100 mA.

Na kraju se induciranom naponom ispituje izolacija između zavoja namota. Ispitivanje se provodi u praznom hodu tako da se na jedan ulazni namot, 5 minuta, priključi napon jednak dvostrukoj vrijednosti nazivnog napona napajanja i dvostruke frekvencije. Ispitivanje se može provesti i s višom frekvencijom i tada je trajanje ispitivanja jednako:

$$t = 600 \frac{f_n}{f_i} \quad (s)$$

f_n - nazivna frekvencija

f_i - ispitna frekvencija

ali ne kraće od 2 minute.

1.1.3 Zaštitno uzemljenje

Izolacioni transformatori u izlaznim krugovima ne smiju imati priključnice s kontaktima spojenim na zaštitno uzemljenje. Otpor između stezaljke za uzemljenje i svakog metalnog dijela spojenog na stezaljku ne smije biti veći od 0,1 ohm.

Mjerenje se provodi tako da se kroz ispitivani spoj propušta izmjenična struja, iz izvora čiji je napon u praznom hodu najviše 12 V, jednaka 1,5 puta nazivna ulazna struja, ali ne manje od 25 A i mjeri se pad napona.

1.2 Učinske komponente

Učinske komponente su vrsta komponenti koje odgovaraju zahtjevima u IEC publikaciji 76-1 do 76-5. Prema definiciji učinski transformatori pretvaraju izmjenični napon i struju pomoću elektromagnetske indukcije, između dve ili više namota, obično na različite vrijednosti. Ova vrsta komponenti obuhvaća i autotransformatore. Odgovarajući JUS je u fazi revizije.

Rutinsko ispitivanje obuhvaća:

- mjerenje otpora namota,
- mjerenje prijenosnog omjera i vektorskog pomaka,
- mjerenje napona kratkog spoja i gubitaka pod opterećenjem,
- mjerenje struje i gubitaka u praznom hodu i
- dielektrično ispitivanje.

1.2.1 Zagrijavanje

Učinske komponente se mogu hladiti s različitim sredstvima, u razmatranju ćemo se zadržati jedino na hladjenju pomoću zraka. Nadtemperatura namota iz bakra se određuje iz jednadžbe:

$$\Theta_2 = \frac{R_2}{R_1} (235 + \Theta_1) - 235 \quad (^\circ\text{C})$$

Nadtemperatura namota Θ_2 na kraju ispitivanja, se izračunava iz izmjerenog otpora namota R_2 u tom trenutku i izmjerenog otpora namota R_1 kada je namot na temperaturi okoline Θ_1 . Otpori R_1 i R_2 se mjere na stezaljkama namota, pomoću istosmjerne struje.

Transformator se opterećuje s nazivnom strujom, kod ispitivanja zagrijavanja, sve dok porast temperature unutar 1 sata ne bude manji od 3°C .

Temperatura okoline /zraka za hladjenje/ mjeri se pomoću najmanje tri termometra postavljena oko transformatora na polovici njegove visine i na udaljenosti 1 do 2 m, da se izbjegne utjecaj na termometre. Temperatura okoline je srednja vrijednost pokazivanja svih termometara i ne smije nikada biti veća od 40°C i niža od -5°C .

1.2.2 Stupanj izolacije i dielektrična čvrstoća

Stupanj izolacije je određen ispitnim stranim naponom i udarnim naponom punog vala. Razmatramo samo dvopolno izolirane

transformatore za najviši dopustivi napon mreže od 24 kV.

Ispitivanje dielektrične čvrstoće sastoji se iz tri ispitivanja:

- ispitivanje s stranim naponom frekvencije 50 Hz s kojim se utvrđuje dielektrična čvrstoća namota međusobno i prema zemlji, provodi se jednu minutu s naponom sinusoidalnog oblika frekvencije koja nije manja od 80% nazivne frekvencije,
- ispitivanje s induciranim naponom s kojim se utvrđuje dielektrična čvrstoća unutar namota i između faza, provodi se u pravilu s naponom dvostruke nazivne frekvencije koji je kod ispitivanja namota jednak dvostrukoj nazivnoj vrijednosti a kod ispitivanja između faza ne smije prijeći iznos ispitnog strenog napona,
- ispitivanje s udarnim naponom punog vala standardnog oblika 1,2 / 50 us s kojim se utvrđuje otpornost transformatora na udarne napone iz mreže.

Vrijeme ispitivanje induciranim naponom iznosi 1 minutu za frekvencije do $2f_n$ a za ostale frekvencije:

$$t = 120 \frac{f_n}{f_i} \quad (\text{s})$$

ali ne kraće od 15 s.

1.3 Čdvojne komponente

U ovu vrstu komponenti ubrajamo transformatore koji se upotrebljavaju u uređajima za dobijanje potrebnih napona za rad uređaja. Sigurnost od električnog udara se postiže svojstvima uređaja a ne transformatora. Zahtjevi na ovu vrstu su i okviru IEC-a i JUS-a u fezi razmatranja.

U ove komponente je ugrađena jedino funkcionalna izolacija koja osigurava pouzdano pretvaranje napona a ulazni i izlazni krugovi mogu biti međusobno spojeni /npr. kao kod autotransformatora/.

Rutinsko ispitivanje obuhvaća:

- ispitivanje spoja uzemljenja,
- ispitivanje naponskih prijenosnih omjera,
- ispitivanje dielektrične čvrstoće.

1.3.1 Zagrijavanje

Primjenjuju se svi podaci navedeni za izolacione komponente.

1.3.2 Otpor izolacije i dielektrična čvrstoća

Otpor izolacije mora zadovoljiti vrijednosti iz tablice II i mjeri se istosmjernim naponom od oko 500 V nakon jedne minute od priključivanja.

Ispitivanje s stranim naponom iznose prema tablici II provodi se odmah nakon ispitivanja otpora izolacije.

Ispitivanje s induciranim naponom je identično izolacionim komponentama.

1.3.3 Zaštitno uzemljenje

Odvojni transformatori smiju imati namote međusobno spojene i spojene na zaštitno uzemljenje. Provjeravanje zaštitnog uzemljenja je jednako kao i kod izolacionih transformatora.

2. STANDARDIZACIJA

Budući su u radu obradjeni zahtjevi na izolaciju u komponentama, zbog cjelovitog sagledavanja problema potrebno je ukratko spomenuti i druge standarde u kojima se navode tehnički uvjeti.

U pravilu se većina standarda poziva na odredbe standarda za energetske transformatore /učinske komponente/ u cjelini ili djelomično. Od važnijih standarda potrebno je spomenuti IEC publikacije 92-1 do 92-6 koje obradjuju standardizirane brodske transformatore i IEC publikaciju 146 koja obradjuje standardizirane transformatore za poluvodičke usmjerivače.

3. ZAKLJUČAK

Predložena podjela induktivnih komponenti na tri vrste je nepravljena na temelju zahtjeva na izolaciju u komponentama. Iz ovih zahtjeva proizlaze zaštite od opasnosti po život korisnika i od materijalne štete uslijed uništenja ili degradacije komponenti.

Na temelju ove analize i tablica I, II i III izradjena je u RO "Končar - Industrijska elektronika" interna standardizacija izolacionih materijala za izradu dijelova induktivnih komponenti, čija je posljedica da se za izolaciju koristi samo tri tipa izolacionog materijala.

Pored ovdje navedenih zahtjeva u pojedinim primjenama treba zadovoljiti i cijeli niz zahtjeva, koji ovdje nisu razmatrani a

koji se kreću od mehaničke čvrstoće do dozvoljenog zagađivanja okoline i koji se nalaze u odgovarajućim standardima.

4. LITERATURA

1. IEC PUBLICATION 76-1,2,3,4,5 Power transformers
2. IEC PUBLICATION 742 Isolating transformers and safety isolating transformers
3. IEC DRAFT 14D/Sekretariat/11 Separating transformers and autotransformers
4. IEC PUBLICATION 92-1,2,3,4,5,6 Electrical installations in ships
5. IEC PUBLICATION 146 Semiconductor convertors
6. Bego, vojislav, Mjerni transformatori, Zagreb, Skolska knjiga, 1977
7. Dolenc, A., Transformatori I i II, Zagreb, Sveučilište u Zagrebu, 1963

Popis tablica

Tablica I : Dozvoljene radtemperature dijelova

Tablica II : Vrijednosti izolacionog otpora

Tablica III : vrijednosti ispitnog stranog napona

Tablica IV : Amplitude ispitnog napona za učinske komponente

Autor:

Mr. Demir Bandl, dipl. inž.

RO "Končar - Industrijska elektronika"

41001 Zagreb

J. Lončara 3

Dio	Temp. klasa	Izolacione komponente	Učinske komponente	Odvojne komponente
Namoti /svici i jezgra u kontaktu s njima/	A	75	60	75
	E	90	75	90
	B	95	80	95
	F	115	100	115
	H	140	125	140
Podloga		60	1/	60
Priključne stezaljke		45	1/	45
Dijelovi koji se dodiruju				
	- iz metala	35	1/	35
- iz drugog materijala		60	1/	60

Tablica I : Dozvoljene nadtemperature dijelova

1/ Temperatura ovih dijelova i jezgre koja nije u dodiru s namotima ne smije, u bilo kojoj situaciji, prijeći vrijednost kod koje bi došlo do samouništenja.

	Izolacione komponente	Učionice komponente	Odvodne komponente
Između ulaznih i izlaznih strujnih krugova	5	-	2
Između namota ulaznog ili izlaznog svitka	2	-	2

Tablica II : Vrijednosti izolacionog otpora

		Radni napon /V/					
		50	150	250	440	690	1000
između dijelova pod naponom ulaznih i dijelova pod naponom izlaznih strujnih krugova	Izol komp	500	2000	3500	4200	5000	5500
	Odv komp	250	1000	1750	2100	2500	2750
Između dijelova pod naponom i mase ako se priključuju na zaštitno uzemljenje	Izol komp	250	1000	1750	2100	2500	2750
	Odv komp	250	1000	1750	2100	2500	2750

Tablica III : Vrijednosti ispitnog strnog napona

		Radni napon /kV/					
		1.1	3.6	7.2	12	17.5	24
između stezaljki ulaznih i stezaljki izlaznih strujnih krugova	Strani napon	3	10	20	23	33	50
	Ampl. impulse	-	20	40	60	75	95

Tablica IV : Amplitude ispitnog napona za učinske
komponente