Лука 15, (11 – 32).

И рече: Човек неки имађаше два сина, и рече млађи од њих оцу: Оче, дај ми део имања што припада мени. И он им подели имање.

И после неколико дана покупи млађи син све своје, и отиде у земљу далеку, и онамо просу имање своје живећи развратно.

А кад потроши све, настаде велика глад у земљи оној, и он поче оскудевати.

И отишавши приби се код једнога житеља оне земље, и он га посла у поље своје да чува свиње.

И жељаше напунити трбух свој рошчићима које свиње јеђаху, и нико му не даваше.

А кад дође себи, рече: Колико најамника у оца мога имају хлеба исувише, а ја умирем од глади!

Уставши отићи ћу оцу своме, па ћу му рећи: Оче, сагреших небу и теби.

И више нисам достојан назвати се сином твојим: прими ме као једнога од најамника својих.

И уставши отиде оцу своју. А кад је још подалеко био, угледа га отац његов и сажали му се, и потрчавши загрли га и пољуби.

А син му рече: Оче, сагреших небу и теби, и више нисам достојан назвати се сином твојим.

А отац рече слугама својим: Изнесите најлепшу хаљину и обуците га, и подајте му прстен на руку и обућу на ноге.

И доведите теле угојено те закољите, да једемо и да се веселимо.

Јер овај син мој беше мртај и оживе; и изгубљен беше и нађе се. И стадоше се веселити.

А син његов старији беше у пољу и долазећи, када се приближи кући, чу певање и играње. И дозвавши једнога од слугу питаше: Шта је то?

А он му рече: Брат је твој дошао; и отац твој закла теле угојено што га је здрава дочекао.

А он се расрди и не хтеде да уђе. Тада изиђе отац његов и мољаше га.

А он одговарајући рече му: Ето, служим те толико година и никад не преступих заповест твоју, па мени никад ниси дао ни јарета да бих се провеселио са пријатељима својим.

А кад дође тај твој син, који је расуо имање твоје са блудницама, заклао си му теле угојено.

А отац му рече: Чедо, ти си свагда са мном, и све моје јесте твоје.

Требало је развеселити се и обрадовати, јер овај брат твој мртав беше, и оживе; и изгубљен беше, и нађе се.

ПРЕДГОВОР

Материја која се обрађује је прорачун жичаних намотаја који су симетрични у односу на уздужну осу. Њихова геометрија је најчешће у облику шупљег правилног цилиндра. Због тога се намотавање жице остварује ротацијом тела намотаја око уздужне осе. Такви намотаји се користе код електромагнетних склопки, релеа, индуктивних пригушница, жичаних отпорника намотаних на ваљкасто тело итд.

Поступци прорачуна и обрасци су детаљно изведени и доказани, и аутору није позната литература која анализира ову тему на сличан начин. Емпиријски обрасци за индуктивност поглавља 19, фабрички подаци о карактеристикама отпорничких материјала и жичаних цилиндричних отпорника у поглављима 20.3, 20.4, 20.7, табеле за пречнике и отпорности лаком илолованих жица у Д1.1, Д1.2, Д1.3, Д6, Д9 и изводи из Стандарда у Д10, су преузети из постојеће литературе наведене у библиографији на крају књиге. У Д12 дато је сумирање свих образаца и резултата, па се ово поглавље може користити као приручник из ове области, који омогућава на једном месту увид у све потребне обрасце и поступке прорачуна. У Додатку Д1, Д6 и Д9 су поред осталог дати подаци о бакарним лак-жицама и жицама за израду отпорника.

Прорачун се састоји из:

(1) прорачуна броја намотаја, пречника жице и отпорности намотаја,
(2) термичког прорачуна бакарног намотаја,
(3) термичког прорачуна жичаних цилиндричних отпорника,
(4) израчунавање магнетопобудне силе,
(5) прорачуна намотаја еквивалентног узорку,
(6) израчунавање индуктивности намотаја,
(7) поређење намотаја од различитог облика попречног пресека жице и тела.

Прорачун (1) се дели на два типа:

(1.1) Израчунавање отпорности намотаја за задату геометрију намотаја, број навоја и пречник жице,
(1.2) Израчунавање броја навоја и пречника жице за задату отпорност и геометрију намотаја.

Примена изложених поступака и образаца на великом броју узорака намотаја и отпорника је потврдила њихову практичну употребну вредност, па се аутор нада да ће књига бити корисна заинтересованима за ову област.

Захваљујем се рецензентима др Љ. Поповићу, др М. Таушановић и Ђ. Глишићу, др З. Лазаревићу, редовном професору на Електротехничком факултету у Београду, на корисним примедбама, упутствима и саветима, као и предузећу „Енипинвест д.о.о“, Моштаничка 86, на техничкој документацији и помоћи у лабораторијском истраживању.

У Београду, на Васкрс 2024

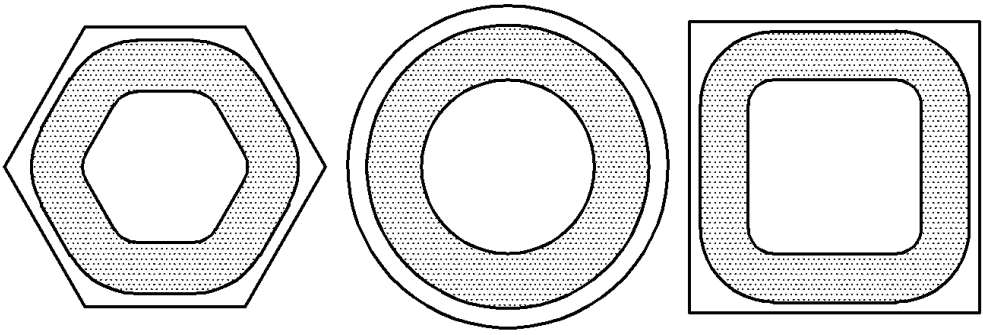
Горан Живадиновић, дипл.ел.инж.
goran.zivadinovic8195@gmail.com

УВОД

У књизи се анализирају намотаји симетрични у односу на уздужну осу који се користе у електромагнетима, индуктивним пригушницама и отпорницима. Уобичајено је, како у стандардима из ове области, тако и у литератури, да се за проводнике за израду намотаја користи термин жица, под којим се подразумева лаком изолована жица. Намотаји се могу израдити и од неизоловане жице, која се омотава различитим изолационим материјалима.

Конструкционо се намотај састоји из жичаних спирално намотаних навоја на телу које је најчешће у облику (Сл.-У1):

- правилне шестостране шупље призме,
- правилног шупљег ваљка,
- правилне четворостране шупље призме.



Сл.-У1. Пресек намотаја и равни управне на аксијалну осу.

Тела су најчешће од неког изолационог материјала, али могу бити и од алуминијума, или неког другог неферомагнетног материјала.

Према стандарду SRPS N.C7.101:1987, повученом 30. 8. 2016, намотаји се израђују од бакарне лаком изоловане жице округлог попречног пресека, меко оджарене, која има електричну проводност и густину

$$\sigma_{20} = 58\ (+0{,}5 \text{ или } -1)\ \frac{\text{S m}}{\text{mm}^2};\quad \gamma_{cu} = 8{,}93\ \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}.$$

Према стандардима [23] и [29] специфична електрична проводност и густина имају вредности

$$\sigma_{20} = 58\ (+1 \text{ или } -1)\ \frac{\text{S m}}{\text{mm}^2};\quad \gamma_{cu} = 8{,}89\ \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}.$$

Пречници жице се најчешће израђују у опсегу

$$(0{,}03 \pm 0{,}002)\ \text{mm}\ \ \text{до}\ \ (6 \pm 0{,}060)\ \text{mm}.$$

Према намени постоје два типа ових жица:

- М за електричне машине и енергетске трансформаторе,

- Т за телекомуникационе и мерне уређаје пречника $(0{,}03 - 1{,}00)$ mm.

Код означавање жице се слово М може изоставити.

За пресеке веће од $2\ \text{mm}^2$, бакарне жице се израђују и са правоугаоним попречним пресеком, и уобичајено су димензија:

$$1\ \text{X}\ (1{,}6;\ 1{,}8;\ 2{,}5);\ (1{,}2\ \text{X}\ 2{,}0);\ (1{,}4\ \text{X}\ 4{,}0)\ \text{mm};$$

$$(1{,}6\ \text{X}\ 4{,}0);\ (1{,}8\ \text{X}\ 4{,}0);\ (2{,}0\ \text{X}\ 3{,}0)\ \text{mm}.$$

Лаком изолована жица се производи и испоручује намотана на калем, као на Сл.-У.2.

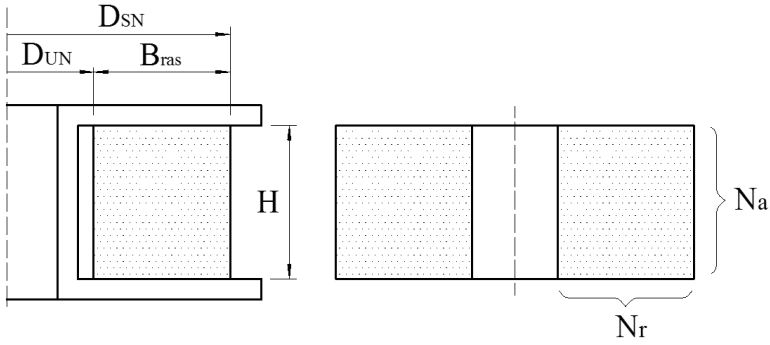


Сл.-У.2. Начин фабричког паковања и испоруке лак-жице.

Жичани намотаји који се анализирају имају особине:

- симетрични су у односу на уздужну осу,
- пресек намотаја и равни која је нормална на аксијалну осу су следећи геометријски облици: кружни, квадратни и шестоугаони прстен, Сл.-У.1.
- пресек намотаја и полуравни која садржи уздужну осу је правоугаоник, чија површина попречног пресека је једнака у свим радијалним правцима, Сл.-У.3.
- укупан број намотаја N је једнак производу броја радијалних слојева N_r, од којих сваки има по N_a аксијалних навоја, $N = N_r \cdot N_a$.

- бројеви N_r, N_a не морају имати искључиво целобројне вредности, већ могу бити децимални бројеви, што се лако доказује елементарним геометријским разматрањем.
- произвођачи лаком изолованих жица дају стандардизоване називне **пречнике бакра** d_{cu}, а не спољашње пречнике жице.



Сл.-У.3. Пресек намотаја и равни која садржи аксијалну осу.

Анализирају се следеће врсте прорачуна:

1 За задату геометрију намотаја, изабране димензије жице, и задат број навоја, треба израчунати дужину жице, њену отпорност и тежину.

2 За задату геометрију, изабране димензије жице, треба израчунати максималан број радијалних слојева и број аксијалних навоја, дужину жице, њену отпорност и тежину.

3 За задату геометрију и отпорност узорка по коме се израђује нов намотај, израчунати број навоја и пречник жице, тако да намотај буде идентичан узорку. Ова врста прорачуна се користи и кад се без узорка пројектује нов калем.

4 За задату геометрију узорка по коме се израђује нов намотај, и измерену укупну тежину узорка (намотај + тело), одређује се број навоја и пречник жице тако да нов намотај буде идентичан или еквивалентан узорку. Зависно од захтева корисника идентичност може бити:

- једнакост отпорности новог намотаја и узорка, $R_{novo} = R_{uz}$,
- једнакост броја навоја и пречника жице новог намотаја и узорка, $\left(N_{novo} = N_{uz};\ d_{cu,novo} = d_{cu,uz}\right)$.
- Еквивалентност новог намотаја и узорка дефинисана као једнакост њихових магнетопобудних сила NI.

У пракси се најчешће задаје отпорност као критеријум кога треба задовољити да би намотај био идентичан узорку. Дозвољене толеранције вредности отпорности доста су широке и крећу се у интервалу од ± 5 % до ± 10 %.

5 За задату геометрију, број навоја и пречник жице израчунати средњу радну температуру намотаја, после завршеног процеса загревања.

6 Одређивање силе привлачења котве електромагнета са намотајем.

Резултати анализе у случајевима 1 и 2 користе се при конструкцији новог намотаја без узорка, а обрасци у 3 и 4 када се захтева прорачун и израда новог намотаја идентичног датом узорку.

До потребних података о узорку се некад може доћи одмотавањем намотаја, пребројавањем броја навоја и мерењем пречника жице, али ако је жица импрегнисана смолом или лаком, то није могуће. Такође, није увек могуће тачно и поуздано пребројати број навоја узорка. У том случају су обрасци изведени у 3 и 4 корисни, а често једино могуће решење.

Текст садржи 21 поглавље и Додатак од 12 поглавља.

У Поглављу-1 (скраћено Пог.-1) дају се ознаке и дефиниције термина.

Обрасци за израчунавање приближне дужине жице на округлом цилиндричном телу, без узимања у обзир аксијалног корака завојнице су у Пог.-2.1.

Резултати Пог.-2.2 су обрасци за израчунавање дужине жице на цилиндричном телу, са узимањем у обзир аксијалног корака завојнице.

У Пог.-3 се уводи појам коефицијента радијалног корака σ_r. Коефицијент σ_r множи пречник жице и одређује радијални корак као растојање између два суседна слоја.

У Пог.-4 дефинише се коефицијент испуне K_{is} и изводи образац за његово израчунавање, а затим се показује како се прорачунава намотај произвољног геометријског облика употребом коефицијента испуне.

Пог.-5 даје дефиницију коефицијента удела бакра k_{cu} у укупном попречном пресеку лак-жице. Количник површине бакра и укупне површине лак-жице одређује k_{cu}. Изводи се образац за израчунавање k_{cu} у функцији назívног пречника d_{cu}.