

УПОРЕДНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ МРЕЖНИХ ТРАНСФОРМАТОРА МАЛЕ СНАГЕ СА “ЕІ” ЛИМОВИМА РАЗЛИЧИТОГ КВАЛИТЕТА

Иван Стевановић, Електронски факултет Ниш

Садржај – У овом раду смо дали резултате мерења малих трансформатора на “ЕІ-30” језгру, ефективне површине језгра $1,5 \text{ cm}^2$, са различитим квалитетом “ЕІ” лимова.

1. УВОД

Када се језгро од магнетног материјала налази у наизменичном магнетном пољу, то се део енергије тог поља изгуби. Ти губици се при већим магнетним индукцијама B састоје од губитака услед вихорних струја и губитака услед хистерезиса. Хистерезисни губици су сразмерни површини хистерезисног циклуса и због тога су они, као и загревање језгра, утолико већи уколико је већа површина хистерезисне петље. Због тога се настоји да материјали који се употребљавају за магнетна језгра трансформатора имају што је могуће ужу хистерезисну петљу. Ова петља је највећа када се материјал магнетише до засићења; ако се, пак, са магнећењем престане код мањих индукција, добија се све мања и ужа петља, те и мањи губици.

Губици услед вихорних струја зависе од специфичне отпорности материјала језгра и од учестаности магнетног поља. Зато се, за смањење ових губитака, за језгра „класичних“ мрежних трансформатора користе лимови који морају бити међусобно изоловани, и то вруће ваљани и хладно ваљани силицијумом легирани гвоздени лимови (Fe-Si) [1].

2. МАТЕРИЈАЛИ

Испитивани материјали су стандардни на тржишту. Произвођач је “Gebr. Waasner, Elektrotechnische Fabrik GmbH”, и према стандарду “EN 10027” имају следеће ознаке [3]:

- 1) M111-35N Материјал спада у трафо лим са великим процентом силицијума и сличан је некада познатом “hypersil” лиму. Лим је са оријенти-саним зрнима. Дебљина је $0,35 \text{ mm}$. Површински је изолован танким слојем оксида.
- 2) M330-35A Топло ваљани лим, дебљине, такође, $0,35 \text{ mm}$, са оксидом по површини као изолатором.
- 3) M330-50A Лим истог квалитета као предходни са разликом у дебљини. Дебљина је $0,5 \text{ mm}$
- 4) M400-50A Топло ваљани, жарени, лим дебљине $0,5 \text{ mm}$ који такође има оксид по површини као изолатор.
- 5) M530-50A Трафо лим, жарен, дебљине $0,5 \text{ mm}$ који је по квалитету и цени једнак класичном динамо лиму.

3. ПРОРАЧУН ТРАНСФОРМАТОРА ЗА ИСПИТИВАЊЕ ЈЕЗГАРА

Пошавши од добро познатог израза [1], [2]:

$$\frac{U}{N} = 4,44 \times 10^{-4} \cdot f \cdot B_{\max} \cdot S_{ef} \quad (1)$$

У којем су: U - прикључени напон [V], N -број завојака примара или секундара, B_{\max} – максимална магнетна индукција у засићењу [T], f - фреквенција [Hz], S_{ef} – ефективна површина магнетног језгра [cm^2],

За фреквенцију f од 50 Hz овај израз се трансформише у :

$$N = U \frac{45}{S_{ef} \cdot B_{\max}} \quad (2)$$

За B_{\max} ћемо узети вредност од 1 T . Лимови за тестирање су “ЕІ” типа и према ИЕС стандарду носе ознаку “ЕІ-30”. Калемска тела су стандардна за лим “ЕІ-30” и имају ознаку Е-1015. Површина ефективног попречног пресека ових калемских тела је:

$$S_{ef} = 1,0 \times 1,5 = 1,5 \text{ cm}^2$$

Израз (2) се увођењем B_{\max} и S_{ef} трансформише у:

$$N_1 = U_1 \times 30 \text{ [zav]} \quad (3)$$

За напон примара $U_p=220 \text{ V}$ добијамо да примарни намотај треба да има $N_p=6600 \text{ zav}$. Максимална дебљина жице коју можемо сместити (мотање је насумично) је $d=0,05 \text{ mm}$.

Када је реч о секундарном намотају жељени напон је $U_s=9,5 \text{ V}$ и ако се узме корекциони фактор за трансформатор снаге од 1 VA , који је експериментално утврђен, $v=1,4$ [1],[2], добија се:

$$N_s = 9,5 \cdot 30 \cdot 1,4 \approx 399 \text{ zav}$$

Максимална дебљина жице коју можемо сместити је $d=0,18 \text{ mm}$ (овај пресек је добијен такође за насумично мотање).

4. ГУБИЦИ У ЈЕЗГРУ

Губици у језгру трансформатора се јављају услед хистерезиса и вихорних струја.

Губици услед вихорних струја израчунавају се по обрасцу:

$$P_v = \sigma_v \cdot \left(\frac{f}{100} \right)^2 \cdot B_{max}^2 \cdot G_{FE} \quad [W] \quad (4)$$

где је f учестаност у Hz, B_{max} у T а G_{FE} тежина гвожђа у kg.

Губици услед хистерезиса се рачунају према емпиријском обрасцу (према Steinmetz-у):

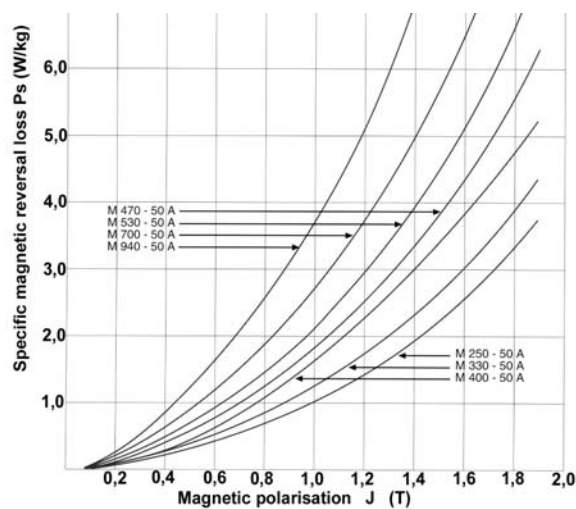
$$P_{FE} = \Theta \cdot B_{max}^2 \cdot \left(\frac{f}{100} \right) \cdot G_{FE} \quad [W] \quad (5)$$

Укупни губици у гвожђу се добијају сабирањем израза (4) и (5).

Произвођач је у каталогу производа дао графике укупних специфичних губитака у гвожђу у [W/kg]. Подаци су приказани графички и табеларно. Ево табеларног приказа губитака за лимове које ћемо користити[3]:

Табела 1. Приказ губитака у гвожђу у [W/kg]

Induction	Specific Iron losses P_{fe} for core lamination types acc. to DIN 41402 Part2 + DIN 41309 Part2			
	M530-50A	M400-50A	M330-50A	M111-35N
T	W/kg			
1,2	3,93	3,07		
1,3	4,78	3,61	3,09	
1,4	5,7	4,18	3,53	
1,5	6,8	4,8	3,99	2,28
1,6	7,9	5,5	4,47	2,63
1,7				3,01
1,8				3,42



Слика 1. Графички приказ губитака у гвожђу у [W/kg]

Губици у гвожђу су дати за материјал од којих се израђују лимови. У пракси су ове вредности веће за око 25% од података датих у табели. Разлог за ово повећање

губитака је због обраде лимова (сечење, савијање, ударање, додиривање ивица лимова при монтажи језгра). Ови губици се манифестују грејањем језгра трансформатора у режиму рада.

5. ГУБИЦИ У БАКРУ

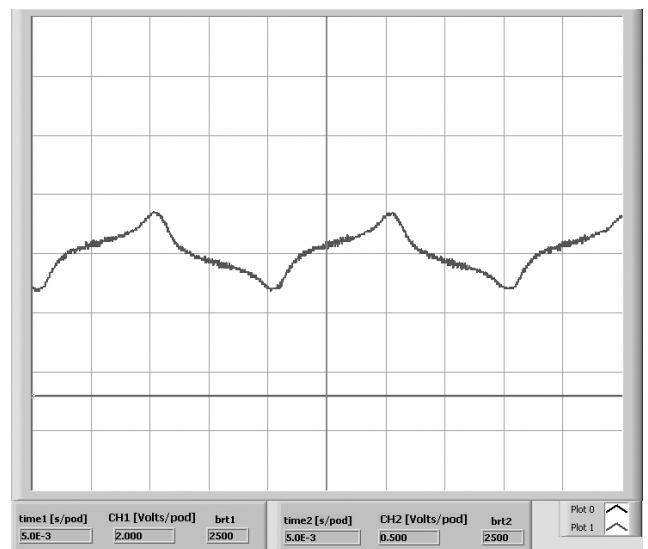
Губици у баку настају услед омске отпорности намотаја како у примару тако у секундару. Укупни губици у баку су:

$$P_{Cu} = R_P \cdot I_P^2 + R_S \cdot I_S^2 \quad (6)$$

Ова снага се троши на грејање намотаја трансформатора и уколико је она толико велика да не може да се израчи може доћи до прегревања намотаја, уништења изолације жице (која је у најшешћем случају лакирана), прегоривања или у најгорем случају паљења трансформатора. Један од начина заштите од прегревања је постављање температурног осигурача, у коло примара, који се налази смештен међу навојцима примара трансформатора. Утврђено је да је највећа температура намотаја на 1/3 растојања од језгра трансформатора, па је термоосигурач најефектније поставити баш на том месту.

6. СТРУЈА МАГНЕЋЕЊА

Струја магнећења је струја која се троши на предмагнетисање језгра и може се измерити на примару трансформатора када је секундар неоптерећен. За сваки материјал посебно је снимљена струја магнећења за вредност индукције од 1Т. Струју смо мерили мерењем пада напона на отпорнику од 1кΩ везаном на ред са примарним намотајем. Следи да један подеок по вертикали има вредност од 2 mA, а по хоризонтални 5 ms.

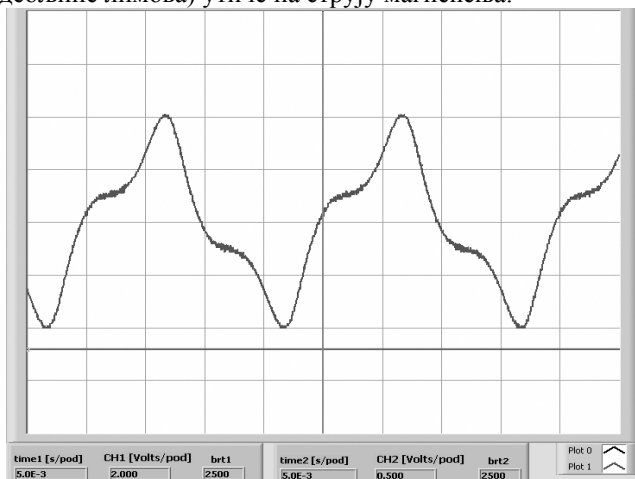


Слика 2. Струја магнећења за материјал M111-35N

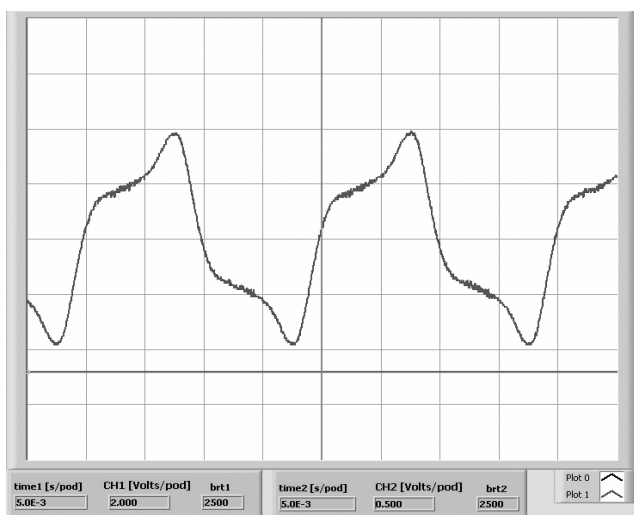
Струја магнећења је фазно померена у односу на прикључени напон и у идеалном случају, када нема губитака, је померена за 90°.

Слике 3 и 4 су снимане за материјал M 330-35A и M 330-50A, респективно. Ови материјали су потпуно истог

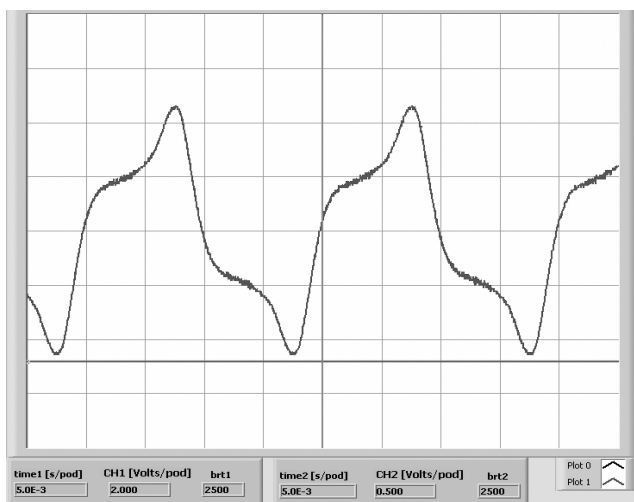
квалитета са разликом у дебљини. Можемо приметити како повећање вихорних струја (које расте са повећањем дебљине лимова) утиче на струју магнећења.



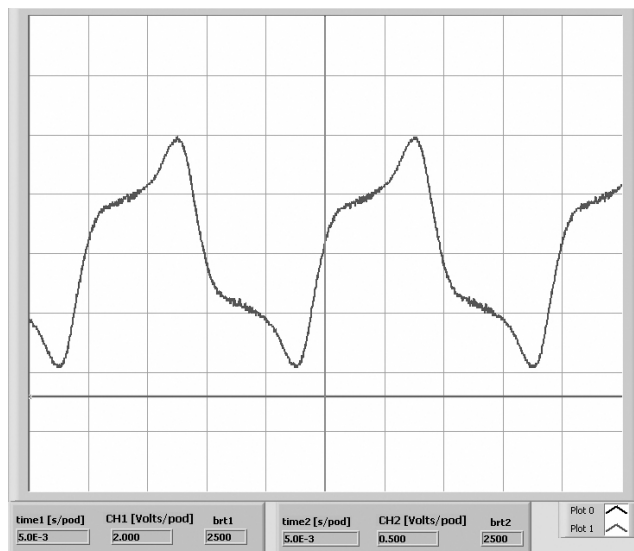
Слика 3. Струја магнећења за материјал M330-35A



Слика 4. Струја магнећења за материјал M330-50A



Слика 5. Струја магнећења за материјал M400-50A



Слика 5. Струја магнећења за материјал M530-50A

Материјали на сликама 5 и 6 су лошијег квалитета, што се испољава повећаном вредношћу струје магнећења.

Квалитет лимова се испољава вредношћу магнетне пермабилности у зависности од јачине магнетног поља. Ово утиче на улазну импедансу трансформатора, што је доста важно уколико се ради о тон-фреквентним трансформаторима. На табели 2. приказане су вредности улазне импедансе трансформатора мерене на 50 Hz при индукцијама 0,25T и 0,5T.

Табела 2. Улазне импедансе трансформатора

Мерење улазне импедансе примара за различите вредности магнетне индукције			
Р. Бр.	Материјал	Z_{ul} (B=0,25T)	Z_{ul} (B=0,5T)
1	M 111-35N	170k Ω	255k Ω
2	M 330-35A	94k Ω	133k Ω
3	M 330-50A	50k Ω	61k Ω
4	M 400-50A	49k Ω	60k Ω
5	M 530-50A	49k Ω	62k Ω

7. ГРЕЈАЊЕ ЈЕЗГРА ТРАНСФОРМАТОРА

Основни проблем код прорачуна трансформатора је грејање (намотаја и гвожђа), као и максимална снага коју можемо извући из одређеног попречног пресека. Случај који се разматра односи се на мале трансформаторе (до 10VA) јер је код њих овај проблем нај-израженији.

Снага која се може извући из неког попречног пресека, у пракси, увек иде на штету грејања (губитака) у трансформатору.

Уколико се жели мали пад напона при оптерећењу секундара, и примар и секундар се мора мотати најдебљом жицом која може да стане.

Из израза (2) се види да се повећањем магнетне индукције смањује број завојака по волту, примара и секундара, што нам омогућаје употребу дебљу жицу и

смањивање отпорности и примара и секундара. Ово за последицу има мањи пад напона на секундару за исто оптерећење. На овај начин, повећањем индукције, добија се много већа снага из истог језгра.

Повећање индукције у језгру ће, према изразима (4) и (5), резултирати повећањем губитака у језгру, односно грејањем. Максимално грејање трансформатора зависи од намене, као и од материјала од којих су сачињени делови трансформатора, услова хлађења и од класе изолације жице. Зависно од класе, максимално грејање трансформатора при пуном оптерећењу је 60°C. Некад дозвољено грејање трансформатора премашује 100°C.

У табели 3. виде се мерене вредности температуре на површини језгра за различите вредности магнетне индукције.

Табела 3. Грејање језгра трансформатора

Температуре површине језгра трансформатора мерене после 4 сата рада под пуним оптерећењем при температури амбијента $T_{amb}=20^{\circ}\text{C}$				
Р. Бр.	Материјал	$T(B=1\text{T})$	$T(B=1,3\text{T})$	$T(B=1,5\text{T})$
1	M 111-35N	30°C	48°C	58°C
2	M 330-35A	32°C	55°C	85°C
3	M 330-50A	35°C	59°C	90°C
4	M 400-50A	44°C	72°C	115°C
5	M 530-50A	50°C	80°C	≈140°C

8. ПРОЈЕКТОВАЊЕ ТРАНСФОРМАТОРА

На основу вредности мерења температуре у табели 3. и на основу графика специфичних губитака трансформатора у гвожђу (слика 1), може се приближно одредити максимална индукција дозвољена за одређени тип језгра, тако да грејање трансформатора не пређе 60°C.

Ако су узму два типа језгра (од најквалитетнијег и најмање квалитетног лима) и направе два нова трансформатора, Код једног ћемо за максималну вредност индукције узети 1,6Т а код другог 1,1Т. Материјали који се користе су М111-35N и М530-50А, респективно. Ако се вредност индукције замени у израз (2) и подели са $S_{ef}=1,5\text{cm}^2$ добиће се 18,75 nav/V и 27,27 nav/V , респективно, па ћемо у првом случају за индукцију од 1,6Т добити:

$$N_p = 220V \cdot 18,17 \frac{zav}{V} = 4125zav \quad d=0,065\text{mm}$$

$$N_s = 15,5V \cdot 18,75 \frac{zav}{V} \cdot 1,2 \approx 350zav \quad d=0,2\text{mm}$$

У другом случају се за индукцију од 1,1Т рачунским путем добија:

$$N_p = 220V \cdot 27,27 \frac{zav}{V} = 6000nav \quad d=0,05\text{mm},$$

$$N_s = 10,5V \cdot 27,27 \frac{zav}{V} \cdot 1,4 \approx 400nav \quad d=0,18\text{mm}$$

9. РЕЗУЛТАТИ МЕРЕЊА

За први случај (за $B_{max}=1,6\text{T}$) напон празног хода секундара је: $U_{phs}=18,2\text{V}$, а оптерећен је: $U_s=15,6\text{V}$ при струји $I_s=110\text{mA}$. За пуно оптерећење струја примара је $U_p=14\text{mA}$.

У другом случају ($B_{max}=1,1\text{T}$) напон празног хода секундара је: $U_{phs}=13,7\text{V}$ а оптерећеног секундара $U_s=10,5\text{V}$ при $I_s=90\text{mA}$. При пуном оптерећењу секундара, струја примара је $U_p=6,07\text{mA}$.

10. ЗАКЉУЧАК

Максимална снага која се може извући на 1,6Т, на основу резултата мерења је:

$P_s=U_s \times I_s = 1,7 \text{ W}$, пад напона на секундару је, у овом случају, 15%.

За индукцију 1,1Т ситуација је следећа:

$P_s=U_s \times I_s = 0,9\text{W}$, док је пад напона на секундару, при пуном оптерећењу, 24%.

На основу добијених резултата истраживања, као и рачунања цене малих мрежних трансформатора, долазимо до закључка да је разлика у цени квалитетнијег трафо лима, у односу на класичне динамо лимове, које користе готово сви произвођачи трансформатора на "EI" језгру у нашој земљи, много мања од уштеде која ће се добити у цени жице (дебља жица је јефтинија) и времена потребног за израду трансформатора са квалитетнијим језгром. Нарочито је значајан однос цена/снага који је знатно мањи уколико се користи квалитетнији материјал за језгро. Ова разлика је најизраженија за трансформаторе снаге до 10W. Ови трансформатори се уграђују у модуле, па се захтева да буду, што је могуће веће снаге и што мањих димензија.

11. ЛИТЕРАТУРА

- [1] С. Ристић, Д. Пантић, „Електронске компоненте I део“ Ниш, 2001.
- [2] Р. Марковић, „Елементи телекомуникационих и електронских уређаја“ стр. 115-135, Београд, 1963.
- [3] Gebr. Waasner Elektrotechnische Fabrik GmbH, Product catalogue, September 2003.

Abstract – The way of solving problems of maximum magnetic induction, overheating, and maximum used power form small transformers made with EI laminators.

PARALLEL CHARACTERISTICS OF SMALL POWER NETWORK TRANSFORMERS WITH DIFFERENT QUALITY OF "EI" LAMINATORS

Ivan Stevanovic