

Иван Темелковски
Михаил Дигаловски
Крсте Најденкоски
Гога Цветковски
Горан Рафајловски
ФЕИТ, Скопје

АНАЛИТИЧКО И ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ОПРЕДЕЛУВАЊЕ НА ЗАГУБИТЕ ВО ПРАЗЕН ОД КАЈ ТРАНСФОРМАТОРИТЕ, ПОД ДЕЈСТВО НА ВИШИТЕ ХАРМОНИЦИ

КУСА СОДРЖИНА

Трансформаторите претставуваат електроенергетски уреди што вообичаено се проектираат и се изработуваат за употреба при номинална фреквенција и при синусни облици на напоните и на струјата на оптоварување. Различните извори на виши хармоници што се среќаваат и различните нелинеарни потрошувачи што се приклучуваат на трансформаторот доведуваат до зголемени загуби на моќност, што, пак, предизвикува не само зголемени трошоци при работата на трансформаторот, туку и дополнително загревање на одредени делови на истиот. Сето тоа придонесува да се јави брзо стареење на изолацијата, но и предвремено намалување на животниот век на трансформаторот, т.е. побрзо доаѓање до дефектна состојба на истиот. Во овој труд е разгледан трифазен трансформатор во сува изведба чија номинална моќност изнесува 500 VA, кој еднаш е напојуван приклучен директно на мрежата, а другпат е напојуван преку напонски инвертор. Загубите на моќност во празен од и вишите хармоници, по експериментален пат, се определени со помош на анализатор на моќност. Загубите на моќност, исто така, се определени и по аналитички пат, врз основа на изведени равенки што служат за пресметка на загубите на моќност во празен од во зависност од редот на вишите хармоници и од нивната фреквенција, како и во зависност од амплитудата на магнетната индукција, при што направена е споредба на вака добиените резултати со резултатите добиени по експериментален пат.

Клучни зборови: загуби на моќност, виши хармоници, празен од

1 ВОВЕД

Во последниве години може да се воочи сè поголема загриженост за последиците што нелинеарните оптоварувања ги причинуваат врз електроенергетскиот систем. Како нелинеарни оптоварувања се вбројуваат сите видови потрошувачи што побаруваат струја чиј бранов облик не е синусен. Во практика, такви потрошувачи претставуваат флуоресцентните светилки, електромоторните погони каде е применета полупроводничка технологија, енергетските конвертори, статичките конвертори, исправувачите, електролачните печки, прекинувачките извори за напојување, циклоконверторите, регулираните електромоторни погони со импулсно-шибочинска модулација, како и сè поголемиот број потрошувачи каде е употребена енергетската електроника при напојувањето.

Вишите хармоници во својата основа претставуваат напони и струи што се јавуваат во електроенергетскиот систем, чија фреквенција е производ од фреквенцијата на основниот хармоник и од соодветниот ред на хармоникот. Тоа резултира како со значително зголемување на нивото на хармониците, така и со изобличувањето на електричните големини што се јавуваат

во енергетскиот систем. Во суштина, трансформаторите како елементи во електроенергетскиот систем, претставуваат врска помеѓу изворот на напојување и повеќето нелинеарни оптоварувања. Тие вообичаено се изработуваат за работа при линеарно оптоварување и при номинална фреквенција.

Денес, присуството на разните нелинеарни оптоварувања резултира со создавање хармоници на струјата. Зголеменото присуство на хармониските струи, пак, предизвикува дополнителни загуби на моќност во намотката на трансформаторот, што, пак, доведува до зголемување на температурата, стареење на изолацијата, зголемување на загубите на моќност и конечно, до намалување на животниот век на трансформаторот [1].

Вишите хармоници на напонот, пак, ги зголемуваат загубите на моќност во магнетното јадро на трансформаторот (загуби на моќност на железото), додека хармониците на струјата придонесуваат за зголемување на загубите на моќност во неговите намотки. Од горенаведените информации повеќе од јасно е дека навистина се јавува голема потреба од детална анализа на влијанието на хармониците од повисок ред врз загубите на моќност што се јавуваат во празен од на трансформаторите [2].

2 ЗАГУБИ НА МОЌНОСТ ВО ПРАЗЕН ОД

2.1 Загуби на моќност поради магнетен хистерезис

Еден дел од вкупните загуби на моќност во празен од се однесуваат на загубите на моќност поради магнетен хистерезис. Овие загуби на моќност се резултат на постоењето елементарни молекуларни магнетни домени во магнетните лимови што се спротивставуваат на магнетизирањето и демагнетизирањето поради променливото магнетно поле. Јачината на магнетното поле што потекнува од примарот на трансформаторот се менува поради фактот дека примарната намотка е приклучена на променлив напон, па јасно е дека секогаш кога доаѓа до промена на нејзината насока, овие домени се поставуваат во соодветната воспоставена насока на магнетното поле.

Нема сомнение дека со цел да се постигне оваа прераспределба на магнетните домени во согласност со насоката на магнетното поле е потребна енергија, која потекнува од примарната, но не се пренесува на секундарната страна на трансформаторот. Токму ова претставува главен индикатор дека станува збор за загуби на моќност. На овој начин, не е тешко да се заклучи дека овие загуби на моќност зависат како од површината на хистерезната јамка што притоа се формира, така и од фреквенцијата на промената. Вообичаено, се проценува дека овие загуби на моќност изнесуваат 50% од константните загуби на моќност односно од загубите во празен од за т.н. CRGO (ладно валани магнетни лимови или магнетни лимови со зрнеста ориентација), изработени според вообичаената постапка на изработување.

Загубите на моќност поради магнетен хистерезис се дадени со следнава релација:

$$P_h = K_h \cdot f \cdot B_m^{1,6} \quad (\text{W/kg}) \quad (1)$$

каде

K_h -константа на загубите на моќност поради магнетен хистерезис

f - фреквенција (Hz)

B_m — максимална вредност на магнетната индукција (T)

2.2 Загуби на моќност поради виорни струи

Постоењето променлив магнетен флуks резултира со индуциран напон во најголемиот дел на магнетното јадро, кој зависи правопрпорционално како од магнетната индукција, така и од фреквенцијата. Како резултат на тоа, во магнетните лимови на јадрото се јавуваат вртложни струи што зависат обратнопрпорционално од отпорноста на материјалот од кој истите се изработени, но правопрпорционално од дебелината на истите. Така, за специфичните загуби на моќност (загуби на моќност по единица маса) што се јавуваат во магнетното јадро се добива дека зависат од квадратот на магнетната индукција, од квадратот на фреквенцијата, но и од дебелината

на магнетните лимови од кои е изработено истото. Се проценува дека загубите на моќност поради постоење на т.н. виорни струи изнесуваат 50% од вкупните загуби на моќност во празен од [1]. Загубите на моќност поради виорни струи аналитички може да се пресметаат според следнава равенка:

$$P_v = K_v \cdot B_m^2 \cdot f^2 \cdot t^2 \quad (\text{W/kg}) \quad (2)$$

каде

K_v – константа на загубите на моќност поради виорни струи

f – фреквенција во херци (Hz)

B_m – максимална вредност на магнетната индукција (T)

t – дебелина на магнетните лимови

2.3 Влијанија на вишите хармоници врз загубите на моќност во празен од

Производителите на трансформаторите вообичаено се стремат да ги проектираат трансформаторите на начин, така што загубите на моќност што се јавуваат во истите ќе бидат минимални при номинални вредности на напонот и на фреквенцијата и при синусоидален облик на струјата. Сепак, како резултат на сè поголемиот број на нелинарни потрошувачи во последниве години, јасно е дека и брановиот облик на напоните и на струите сè повеќе отстапува од т.н. чист синусен облик. Притоа, загубите на моќност се поделени во две групи: загуби на моќност во празен од и загуби на моќност при оптоварување, односно:

$$P_{TL} = P_{NL} + P_{LL} \quad (3)$$

каде

P_{NL} – загуби на моќност во празен од (загуби на моќност во магнетното јадро)

P_{LL} – загуби на моќност при оптоварување

P_{TL} – вкупни загуби на моќност.

Загубите на моќност во празен од се дадени со следнава релација [4]:

$$P_{NL} = P_{NLn} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{K_{fi} \cdot K_{Bi}^{1,6} + K_{fi}^2 \cdot K_{Bi}^2}{2} = P_{NLn} \cdot K' \quad (4)$$

каде

i – ред на вишиот хармоник

K' - коефициент

$K_{fi} = \frac{f_i}{f_1}$ - коефициент на однос на фреквенциите

$K_{Bi} = \frac{B_{mi}}{B_{m1}}$ - коефициент на однос на магнетните индукции

3 РЕЗУЛТАТИ ОД МЕРЕЊАТА

Врз основа на мерењата, за загубите на моќност во празен од се добиени следниве вредности:

$P_{NL}=13,9$ (W) – кога трансформаторот е приклучен на напојување директно на мрежа

$P_{NL}=17,7$ (W) – кога трансформаторот се напојува преку инвертор



Слика 1 Напојување од мрежа



Слика 2 Напојување преку напонски инвертор

На сликите 1 и 2, даден е приказ на мерната опрема. Мерењата се направени со мрежен анализатор OMNI-QUANT Mobil. Пресметаните загуби на моќност во празен од при идеален синусен облик на напонот од табелата 1 се земени како референтни, означени со P_{NLn} согласно равенката (4). По аналитички пат добиени се резултатите дадени во табелата 1.

4 ЗАКЛУЧОК

Резултатите јасно покажуваат дека хармониците имаат мошне значително влијание врз загубите на моќност во празен од. Зголемувањето на загубите на моќност во празен од што се јавуваат при напојување преку инверторот е дури за 27,34% поголемо во однос на загубите на моќност во празен од што се јавуваат кога трансформаторот е приклучен директно на мрежата. На тој начин, потврдена е високата точност на аналитичкиот модел употребен за определување на загубите на моќност во празен од на трансформаторот што се јавуваат при познат спектар на виши хармоници на напонот. Вредноста на загубите на моќност во празен од добиена при мерењата изнесува 17,7 W, додека вредноста добиена по аналитички пат е 17,95 W, што говори за мала отстапка од само 1,4%.

Табела 1 Резултати од мерењата и од аналитичките пресметки

Приклучен да се напојува директно на мрежа					
Ред на хармоникот (l) (измерено)	Амплитуда на V_m (%) (измерено)			Средна вредност за $K'(l)$ (пресметано)	Вредност за $P_{NLn}(W)$ при синусен облик на напонот (пресметано)
	L1	L2	L3	1,0193	13,63
3	0,35	0,40	0,20		
5	1,70	1,85	1,75		
7	1,30	1,25	1,10		
9	0,30	0,40	0,30		
11	0,35	0,30	0,35		
13	0,20	0,15	0,15		
15	0,20	0,15	0,10		
17	0,20	0,20	0,20		
19	0,10	0,15	0,10		
Приклучен да се напојува преку инвертор					
Ред на хармоникот (l) (измерено)	Амплитуда на V_m (%) (измерено)			Средна вредност за $K'(l)$ (пресметано)	Вредност за $P_{NLn}(W)$ (пресметано)
	L1	L2	L3	1,3161	17,95
3	19	19	19,50		
4	3,50	3,80	3,50		
5	0,50	0,40	0,30		
9	1,50	1,70	1,65		
11	0,50	0,60	0,40		
12	0,20	0,15	0,20		
15	0,45	0,35	0,40		

5 ЛИТЕРАТУРА

- [1] Bureau of Energy Efficiency & Indian Renewable Energy Development Agency. "Transformer – Best Practice Manual". New Delhi, India, 2006.
- [2] Amit Gupta, Ranjana Singh. "Computation of Transformer Losses Under the Effects of Non-Sinusoidal Currents". Advanced Computing: An International Journal (ACIJ), Vol.2, No.6, pp. 91 – 104, November 2011.
- [3] Mihail Digalovski, Krste Najdenkoski, Goran Rafajlovski. "Impact of current high order harmonic to core losses of three-phase distribution transformer". Proceedings of EUROCON 2013 (IEEE, Region 8), pp. 1531-1535, Zagreb, Croatia.