

FLYBACK TIPO TRANSFORMATORIAUS SKLAIDOS SRAUTO MAŽINIMO TYRIMAS

Edvardas BIELSKIS¹, Martynas ŠAPUROV², Andrius PLATAKIS³

^{1,2,3}Fizinių ir technologijos mokslų centras, Vilnius, Lietuva

¹Šiaulių universitetas, Šiauliai, Lietuva

²Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva

El. paštas: ¹edvardas.bielskis@su.lt; ²martynas.sapurov@vgtu.lt; ³andrius.platakis@ftmc.lt

Santrauka. Darbe pateikti *flyback* tipo impulsinio transformatoriaus eksperimentiniai tyrimai. Tyrimų tikslas – ištirti, nuo ko priklauso *flyback* tipo transformatoriaus magnetolaidžio sklaidos srauto (angl. *leakage inductance*) reiškiniai, kurie mažina tokio tipo transformatoriaus efektyvumą ir didžiausiąją darbinę galią. Matematiškai sunku įvertinti sklaidos magnetinio srauto reiškinį transformatoriaus magnetinėje sistemoje, nes jis priklauso nuo transformatoriaus apvijų tarpusavio išsidėstymo. Todėl eksperimentui atlikti panaudotas daugelio apvijų *flyback* tipo transformatorius, kuris ištirtas eksperimentiškai. Palyginus gautus eksperimentų rezultatus, nustatytas optimalus tirtuo *flyback* transformatoriaus darbo režimas ir optimalūs konstrukciniai parametrai.

Reikšminiai žodžiai: *flyback* transformatorius, magnetinis sklaidos srautas, viršįtampiai, slopinimo grandinė.

Įvadas

Flyback tipo transformatoriai yra naudojami mažos galios elektros energijos įtampos keitimo iš vieno lygio į kitą operacijoms atlikti. Lyginant su kitų tipų keitikliais (*forward* ir *push-pull*), *flyback* tipo keitikliai yra naudojami plačiausiai (Robert 2001). Šių keitiklių populiarumą lėmė tai, kad pagrindinę elektros grandinę sudaro mažai elektronikos komponentų, todėl keitiklis yra paprastesnis, patikimesnis, efektyvumo koeficientas, palyginti su kitų tipų keitikliais, yra aukštesnis (Ouyang, Zhang 2015).

Tačiau, be šių teigiamų savybių, keitiklis turi ir nepageidaujamų reiškinį. Keitiklyje pasireiškia ryškūs parazitinio sklaidos srauto magnetinėje sistemoje reiškiniai (angl. *leakage inductance*) (Ouyang, Zhang 2015; Leuenberger, Biela 2015), kurie raktą Q1 (3 pav.) komutacijos metu kuria viršįtampius (angl. *voltage spikes*). Šie viršįtampiai mažina keitiklio naudingumo koeficientą, didžiausiąją leidžiamąją galią. Viršįtampiai gesinti įdiegiamos papildomos slopinimo elektrinės grandinės (angl. *clamping circuit*), kurios iki nepavojingo elektronikos komponentams lygio mažina įtampos šuolius (Radvan *et al.* 2011).

Dažnai, parenkant *flyback* transformatorius, pateikiami teoriniai modeliai, kuriuos taikant visapusiškai neįvertinami atsirandantys parazitiniai reiškiniai, būdingi tokio tipo transformatoriams (Holguin *et al.* 2015). Taip yra todėl,

kad sunku įvertinti tikslų tarpusavio apvijų magnetinį ryšį, kuris priklauso nuo sudėtingos magnetinės sistemos savybių ir apvijų išdėstymo *flyback* transformatoriaus korpuse. Neretai matematinio modelio rezultatai gerokai skiriasi nuo praktiškai gautų, todėl dažnai bandoma *flyback* tipo transformatorių tirti kompiuterinėmis baigtinių elementų modeliavimo programomis (angl. *simulation of finite element method*) (Radvan *et al.* 2011; Zengyi, Wei 2006).

Skaidos srauto susidarymo priežastys

Dėl oro tarpo *flyback* transformatoriaus magnetinėje grandinėje ne visas pirminės apvijos sukuriamas kintamasis magnetinis laukas veria antrinės apvijos vijas. Dalis kintamojo magnetinio lauko kuriamos magnetovaros (angl. *magnetomotive force*) išlenda iš transformatoriaus magnetinės šerdies medžiagos ir oro tarpuose veria apvijas (Ouyang, Zhang 2015; Holguin *et al.* 2015). Šios ne šerdyje esančios magnetinio srauto linijos kuria magnetinio sklaidos srauto reiškinį. Dėl magnetinio sklaidos srauto pirminėje apvijoje kuriama saviindukcinė elektrovara – viršįtampis $U_{maks.}$, kuris krenta ant keitiklio puslaidininkio elemento – lauko tranzistoriaus santakos ir ištakos – išvadų (1 pav.).

Skaidos srautą Φ_s kurianti magnetovara $F(x)$ susidaro tarp apvijų oro tarpuose (Ouyang, Zhang 2015). Sklaidos srautas priklauso nuo tarpusavio pirminės ir antrinės apvijų

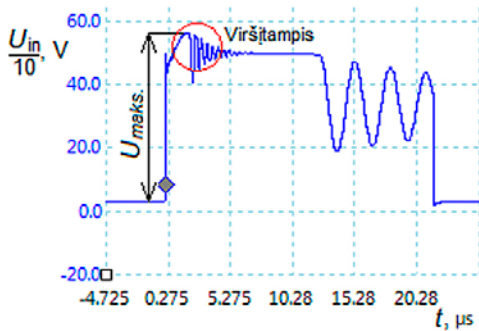
padėčių išdėstymo transformatoriaus korpuse, apvijų tarpusavio atstumo, apvijų kiekio (2 pav.). Magnetovara oro tarpe apskaičiuojama pagal formulę:

$$F(x) = H(x)l_w, \quad (1)$$

čia $H(x)$ – magnetinio lauko stipris, A/m; l_w – transformatoriaus korpuso ilgis, mm.

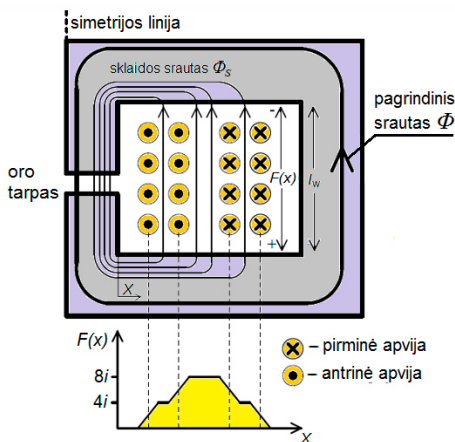
Sklandos magnetinių srautų atsiranda tarp apvijų oro tarpuose ir priklauso nuo kuriamos apvijų magnetovaros jėgos (Zengyi, Wei 2006). Kaip matyti iš 2 pav., antrine apvija tekanti srovė kuria priešingos krypties magnetovara ir mažina sklandos magnetinio srauto reiškinį. Tačiau tarp pirminės ir antrinės apvijų esantis oro tarpas yra maksimaliai įmagnetintas – ten koncentruojasi didžiausi sklandos magnetiniai srautai, mažinantys apvijų tarpusavio magnetinį ryšį.

Oro tarpas taip pat daro įtaką sklandos magnetinio srauto didėjimui, didindamas transformatoriaus pagrindinio magnetinio srauto magnetovara, todėl apvijų tarpusavio ryšys tampa dar silpnesnis.



1 pav. Pereinamasis procesas *flyback* keitiklyje tarp lauko tranzistoriaus santakos ir ištakos išvadų

Fig. 1. Transient of drain-source voltage of *flyback* converter MOSFET switch transistor



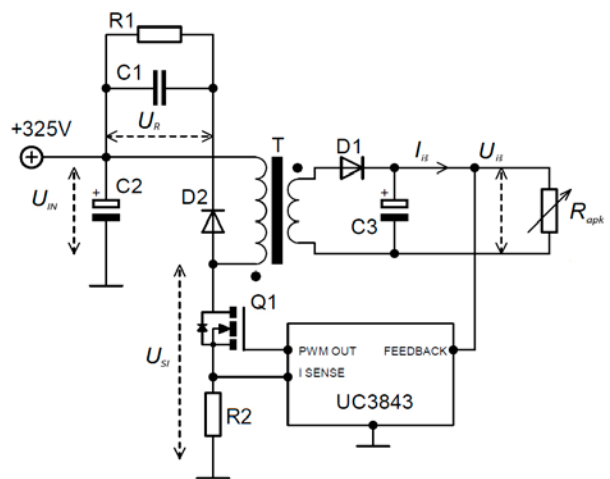
2 pav. Magnetovaros jėgų priklausomybė nuo ričių tarpusavio padėties transformatoriaus korpuse

Fig. 2. Variation of magnetomotive force in the half-core window area

Flyback transformatoriaus tyrimo modelis

Tyrimui atlikti parinktas ETD-34 tipo feritinis magnetolaidis iš standartinės N27 medžiagos, dažniausiai naudojamos pramoniniuose ir buitiniuose impulsiniuose keitikliuose.

Eksperimentai atlikti su tipine *flyback* DC-DC keitiklio elektrine schema (3 pav.). Keitiklio valdymo dalis UC3843 integruoto grandyno pagrindu pagal neigiamą įtampos grįžtamąjį ryšį palaiko išėjime nustatyto dydžio įtampą. Tai pat valdiklis turi galimybę keisti sistemos dažnį, kuriuo yra junginėjamas tranzistorius Q1. Eksperimentinį *flyback* keitiklį sudarančių elementų sąrašas pateiktas 1 lentelėje.



3 pav. Eksperimentinio *flyback* keitiklio tyrimo principinė elektrinė schema

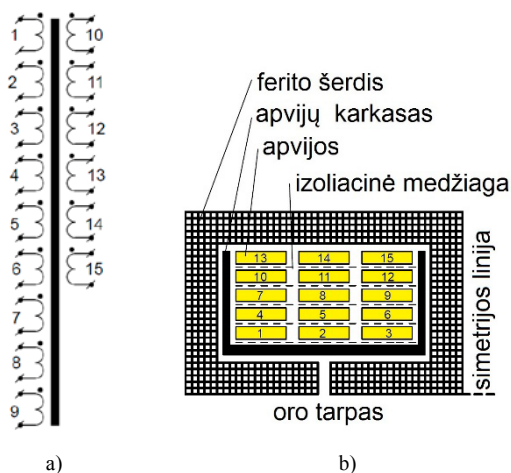
Fig. 3. Circuit diagram of *flyback* DC-DC converter experimental model

1 lentelė. Eksperimentinio *flyback* keitiklio komponentų nominalių vertės

Table 1. Parameters of *flyback* converter model components

Grandinės elementas	Nominalas
C1	10 nF × 450 V
C2	1200 μF × 400 V
C3	4700 μF × 35 V
R1	3,3 KΩ, 10 W
R2	0,22 Ω, 2 W
Q1	K2717 (900 V, 5 A)
D1	MUR1560 (600 V, 15 A)
D2	BY228 (1500 V, 5 A)

Tyrimo objektas – *flyback* transformatorius, turintis 15 nepriklausomų apvijų po 10 vijų iš 0,6 mm² lakuotos varinės vielos (4 pav.). Esamas vijas galima sujungti reikalinga tvarka pagal planuojamą eksperimento eigą.



4 pav. Tiriomojo *flyback* transformatoriaus: a – apvijų principinė elektrinė schema; b – apvijų išdėstymas transformatoriaus korpuse

Fig. 4. Design of *flyback* transformer experimental model: a – circuit diagram of windings; b – windings of the bobbin

Flyback transformatoriaus sklaidos magnetinio srauto tyrimai

Eksperimentams atlikti parinkta tipinė *flyback* keitiklio schema, kuri pavaizduota 3 pav. Keitiklis turi pasyvią slopinimo grandinę, kurią sudaro R1, C1 ir D2 elementai. Slopinimo grandinės dalis yra labai svarbi *flyback* tipo keitikliuose – mažina viršįtampio pikinę vertę iki nepavojingos tranzistoriui Q1 ribos.

Sklaidos srauto sukurtos saviindukcinės elektrovaros kuriamus nuostolius galima apskaičiuoti žinant vidutinį įtampos kritimą R1 rezistoriuje pagal formulę:

$$P_{nuost} = \frac{U_R^2}{R_1} = \frac{\left(U_{sklaidos} + \left(U_{D1} + U_{is} \frac{N_1}{N_2} \right) \right)^2}{R_1}, \quad (2)$$

Čia $U_{sklaidos}$ – sklaidos srauto kuriama įtampa, V; U_{D1} – įtampos kritimas ant diodo D1, V; U_{is} – keitiklio išėjimo įtampa, V; N_1, N_2 – pirminės ir antrinės apvijų *flyback* transformatoriaus vijų skaičius.

Slopinančiosios elektros grandinės įtampos kritimą U_R pagal (2) formulę sudaro dvi komponentės:

1. Sklaidos magnetinio srauto pereinamojo proceso metu kuriama elektrovara $U_{sklaidos}$
2. Pastoviojo dydžio įtampos kritimas. Šios dalies nuostoliai yra neišvengiami ir priklauso nuo antrinės grandinės išėjimo įtampos U_{is} ir diodo D1 įtampos kritimo sumos (3 pav.) ir nuo transformatoriaus pirminės ir antrinės apvijų santykio.

Įvertinę tai, kad pastovioji nuostolių dalis slopinančiojoje grandinėje nesikeičia visame keitiklio tiekiamos į apkrovą R_{apk} galios diapazone, o keičiasi tik sklaidos srauto

nuostolių dedamoji – eksperimentų metu slopinančiojoje grandinėje gausime galios nuostolių pokytį, tiesiogiai susijusį su sklaidos srauto reiškinium, t. y. didėjant sklaidos srautui, didės ir nuostoliai slopinančiojoje grandinėje.

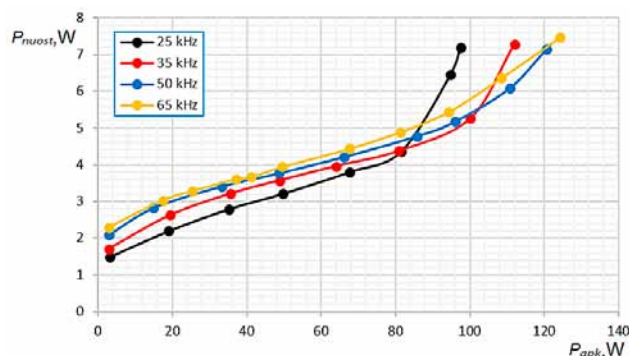
Pirmame eksperimente *flyback* transformatoriaus tyrimai atlikti esant skirtingiems nešlio dažniams: 25; 35; 50; 65 kHz keičiant tiekiamą galią apkrovai. Rezultatai gauti esant 0,5 mm oro tarpui *flyback* transformatoriaus magnetinėje sistemoje, išėjimo įtampai U_{is} esant 16 V. Pirminės ir antrinės apvijų sujungimo būdai pavaizduoti 2 lentelėje žvaigždutės simboliu. Gauti rezultatai pavaizduoti 5 pav.

5 pav. matyti, kad iki 82 W apkrovos galios mažiausiu nešlio dažniu veikiantis keitiklis generuoja mažiausius nuostolius. Tačiau šerdžiai imant sotintis – sklaidos srautas ima sparčiai didėti, nuostoliai viršįtampį gėsinančioje grandinėje padidinus apkrovos galią iki 98 W padidėja iki 1,6 karto.

Didinant nešlio dažnį *flyback* transformatoriaus šerdies sotinimosi taškas pasiekiamas esant didesnei keitiklio apkrovos galiai – taip daugiau išnaudojamas transformatorius. Padidinus dažnį nuo 25 kHz iki 50 kHz, tokių pačių parametrų transformatoriumi galima perduoti iki 25 % daugiau galios apkrovai, tačiau nuostoliai slopinančiojoje grandinėje padidėja iki 30 %.

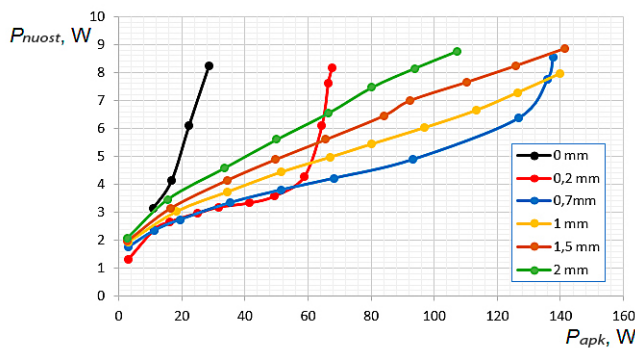
Kitame eksperimente tyrimai atlikti esant skirtingiems oro tarpams *flyback* transformatoriaus magnetinėje sistemoje: 0; 0,2; 0,7; 1; 1,5; 2 mm ir keičiant tiekiamą galią apkrovai. Rezultatai gauti išėjimo įtampai U_{is} esant 16 V, 35 kHz nešlio dažniui. Pirminės ir antrinės apvijų sujungimo būdai pavaizduoti 2 lentelėje žvaigždutės simboliu. Gauti rezultatai pavaizduoti 6 pav.

Esant mažam oro tarpui (0 mm – tarpo nėra ir 0,2 mm), feritinė transformatoriaus šerdies sotinimosi tašką pasiekia esant santykinai mažoms išėjimo galioms. Toliau didinant oro tarpą (0,7; 1; 1,5; 2 mm), šerdis išsotindavo esant



5 pav. Galios nuostolių slopinančiojoje grandinėje priklausomybė nuo tiekiamos į apkrovą galios, esant skirtingiems nešlio dažniams

Fig. 5. The dependence of power losses in the clamping circuit on the output power at various carrier frequencies



6 pav. Galios nuostolių slopinančiojoje grandinėje priklausomybė nuo tiekiamos galios apkrovai, esant skirtingiems oro tarpams transformatoriaus magnetinėje sistemoje

Fig. 6. The dependence of power losses in the clamping circuit on the output power at various air gap sizes in the transformer

didėsnėms keitiklio apkrovos galioms (6 pav.). Optimalus darbo diapazonas pasiektas esant 0,7 mm oro tarpui – galios nuostoliai slopinimo grandinėje santykinai nedideli visame apkrovos galių diapazone. Oro tarpas padidina transformatoriaus išsotinimo srovę įterpdamas į magnetinę sistemą papildomą magnetovaržą R_{oro} , kuri neturi savybės sotintis:

$$I_{sot} = \frac{B_{sot} A_c}{N_1} (R_{šerd} + R_{oro}), \quad (4)$$

čia B_{sot} – šerdies sotinimosi taško magnetinio srauto tankis, T; A_c – šerdies skerspjūvio plotas, mm^2 ; $R_{šerd}$, R_{oro} – transformatoriaus šerdies ir oro tarpo magnetovaržos, Ω .

Kuo didesnė srovė teka transformatoriaus pirminėje apvijoje, tuo didesnė energija sukaupiama oro tarpe:

$$E = \frac{1}{2} I_1^2 L_1, \quad (5)$$

čia I_1 – pirminės apvijos srovė, A; L_1 – pirminės apvijos induktyvumas, H.

Tai įrodo gauto eksperimento rezultatai – didinat oro tarpą nuo 0,2 mm iki 0,7 mm, sotinimosi taškas gaunamas keitikliui veikiant didesne galia. T. y. keitiklis gali perduoti apie 2 kartus daugiau galios apkrovai. Tačiau didinat oro tarpą, padidėja magnetinio lauko sklaidos srauto reiškiniai, tai įrodo dėsningai didėjantys galios nuostoliai slopinančiojoje grandinėje (6 pav.).

Kitame eksperimente iširta, kaip priklauso nuostoliai viršįtampio slopinimo grandinėje, kai yra skirtingi antrinės apvijos lygiagrečiai sujungtų vijų kiekiai, keičiant tiekiamą galią apkrovai. Tyrimas atliktas esant 16 V išėjimo įtampai, Q1 raktą komutuojant 35 kHz nešlio dažniu esant 1 mm oro tarpui transformatoriaus magnetinėje sistemoje. Pirminių ir antrinių apvijų sujungimo tvarka nurodyta 2 lentelėje. Gauti rezultatai pavaizduoti 7 pav.

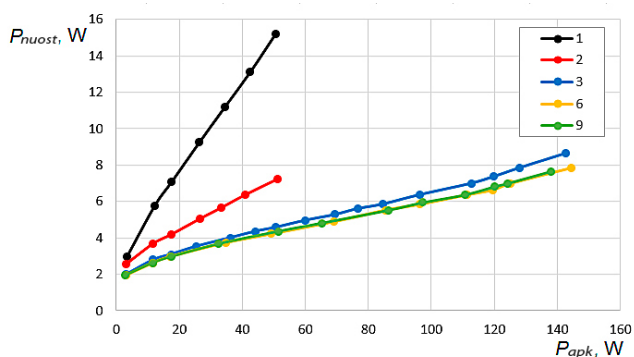
2 lentelė. Apvijų tarpusavio sujungimo tvarka
Table 2. Transformer windings connection variants

Vijų kiekis antrinėje apvijoje	Antrinės vijos, lygiagrečiai	Pirminės vijos, nuosekliai
1	4	1; 2; 3; 7; 8; 9
2	4; 5	1; 2; 3; 7; 8; 9
3	4; 5; 6	1; 2; 3; 7; 8; 9
6*	4; 5; 6; 7; 8; 9*	1; 2; 3; 10; 11; 12*
9	4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12	1; 2; 3; 13; 14; 15

Iš 7 pav. matyti kad, *flyback* transformatoriaus generuojami nuostoliai slopinančiojoje grandinėje, naudojant 1 ir 2 lygiagrečiai jungtas antrines apvijas, yra didesni, lyginant su atvejais, kai lygiagrečiai jungiamos 3–6 apvijos. Pavyzdžiui, kai keitiklio apkrovos galia $P_{apk} = 53W$, jungiant vieną antrinę apviją nuostoliai yra iki 3,3 kartų didesni negu jungiant lygiagrečiai tris antrines apvijas.

Gautus rezultatus galima paaiškinti magnetovaros veikimu oro tarpuose tarp apvijų (2 pav.). Esant vienai vijai, tarp pirminės ir antrinės apvijų oro tarpe kuriama magnetovara yra silpnai slopinama antrinės apvijos, nes (žr. 4 pav., b) apvija yra vijų karkaso krašte ir slopina oro tarpe esančias magnetovaras, kurias kuria tik 1-a ir 7-a apvijos, o 2-os, 3-ios, 8-os, 9-os vijų magnetovaros oro tarpuose nėra slopinamos ir kuria didelius magnetinio lauko sklaidos srautus.

Kai antrinę apviją sudaro trys lygiagrečiai jungtos apvijos, tuomet visos pirminės apvijos karkase (4 pav., b) perdengiamos antrinėmis. Taigi pirminės vijos efektyviau perdengiamos antrinėmis vijomis. Tai patvirtina gauti atlikto eksperimento rezultatai (7 pav.).



7 pav. Galios nuostolių slopinančiojoje grandinėje priklausomybė nuo tiekiamos galios apkrovai, esant skirtingiems lygiagrečiai jungtų apvijų kiekiams

Fig. 7. The dependence of power losses in the clamping circuit on the output power at various transformer secondary winding sizes

Jungiant lygiagrečiai daugiau nei 3 vijas pastebėta, kad viršūnė mažėja menkai – didinant pirminės apvijos perdengimą antrinėmis apvijomis sklaidos srauto kuriami nuostoliai skiriasi nedaug.

Kitame eksperimente ištirta, kaip priklauso sklaidos srauto kuriami nuostoliai slopinančiojoje grandinėje esant skirtingiems pirminės ir antrinės apvijų tarpusavio išdėstymo būdams apvijų karkase keičiant tiekiamą galią apkrovai. Eksperimentas atliktas su 16 V išėjimo įtampa esant 35 kHz Q1 rako nešlio dažniui ir 1 mm oro tarpui transformatoriaus magnetinėje sistemoje. Tyrimui pasirinkti penki alternatyvūs jungimo būdai, kurių išdėstymas pateiktas 3 lentelėje.

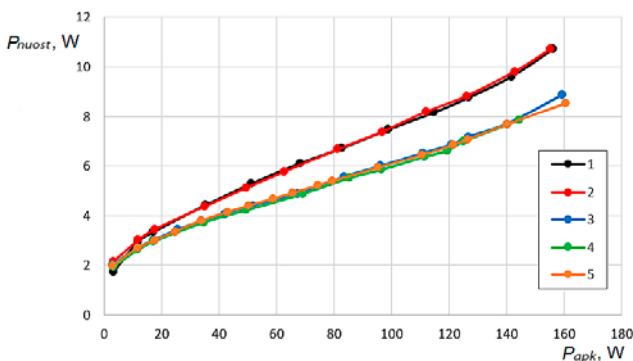
3 lentelė. Apvijų tarpusavio jungimo tvarka

Table 3. Transformer windings connection variants

Jungimo būdas	Antrinės vijos, lygiagrečiai	Pirminės vijos, nuosekliai
1	7; 8; 9; 10; 11; 12	1; 2; 3; 4; 5; 6
2	1; 2; 3; 4; 5; 6	7; 8; 9; 10; 11; 12
3	1; 2; 3; 10; 11; 12	4; 5; 6; 7; 8; 9
4	4; 5; 6; 7; 8; 9	1; 2; 3; 10; 11; 12
5	4; 5; 6; 10; 11; 12	1; 2; 3; 7; 8; 9

Pirminės apvijos jungiamos nuosekliai, antrinės – lygiagrečiai. Gauti rezultatai pavaizduoti 8 pav.

Gauti rezultatai, kai apvijos sujungiamos nesluoksniuojant, t. y. 1-u ir 2-u jungimo būdais (žr. 3 lentelę), sklaidos srautas gaunamas didesnis lyginant su alternatyviais jungimo būdais: 3-iu, 4-u – iš dalies sluoksniuojant apvijas (pirminės apvijas perdengiant antrinėmis); 5-u – visiškai sluoksniuojant apvijas. Tai matyti iš 8 pav., kuriame parodyti gauti iki 18 % didesni galios nuostoliai slopinimo



8 pav. Galios nuostolių slopinančiojoje grandinėje priklausomybė nuo tiekiamos galios apkrovai, esant skirtingiems apvijų jungimo būdams

Fig. 8. The dependence of power losses in the clamping circuit on the output power at various transformer windings wiring variants

grandinėje esant apkrovos galiai $P_{apk} = 140$ W taikant 1-ą ir 2-ą apvijų jungimo būdus.

Jungiant transformatoriaus apvijas 3-iu, 4-u, 5-u jungimo būdais, *flyback* transformatoriaus sklaidos srauto slopinimas gautas efektyvesnis, tačiau nuo sluoksniavimo lygio, lyginant 3-ią, 4-ą būdus su 5-u jungimo būdu, gauti galios nuostoliai priklauso nežymiai.

Išvados

- Didinant impulsinio keitiklio nešlio dažnį pastebėta, kad *flyback* transformatoriaus šerdies sotinimosi taškas gaunamas esant didesnei keitiklio apkrovos galiai. Veikiant keitikliui aukštesniu nešlio dažniu (pvz., lyginant 25 kHz ir 50 kHz gautus rezultatus 5 pav.), tokių pačių parametrų transformatoriumi galima pasiekti 34 % didesnę išėjimo galią, tačiau nuostoliai slopinančiojoje grandinėje didinant nešlio dažnį padidėja iki 42 %.
- Didinant oro tarpą nuo 0,2 iki 0,7 mm *flyback* transformatoriaus magnetinėje sistemoje, šerdis pradeda sotintis esant 119 % didesnei apkrovos galiai. Tačiau esant per didiam oro tarpui (atlikto eksperimento atveju daugiau nei 7 mm), sklaidos srauto kuriami nuostoliai tampa daug didesni. Todėl optimalus transformatoriaus oro tarpas turi būti parenkamas atsižvelgus į *flyback* keitiklio apkrovos galią.
- Sklaidos srauto reiškinio sukurti nuostoliai mažėja padidinus lygiagrečiai sujungtų apvijų kiekį antrinėje apvijoje. Taigi perdengiant pirminės apvijas antrinėmis mažinama tarp apvijų oro tarpe esanti magnetovara. Sujungus lygiagrečiai 3 vijas, nuostoliai slopinančiojoje grandinėje sumažėjo 3,3 karto.
- Sklaidos srauto reiškinys stipriai priklauso nuo pirminės ir antrinės transformatoriaus apvijų tarpusavio padėties. Slopinančiosios grandinės nuostoliai gaunami 23 % mažesni apvijas tarpusavyje sujungus sluoksniuotai, tai įrodo 8 pav. gautų rezultatų duomenys.
- Įvertinus atliktų tyrimų rezultatus – 140 W galiai tiekti į apkrovą *flyback* tipo transformatoriaus parametrai parinkti optimaliai, kai nešlio dažnis yra 35 kHz, pirminė ir antrinė apvijos karkase paskirstytos sluoksniuotai, oro tarpas yra 0,7 mm.

Literatūra

- Holguin, F.; Prieto, R.; Asensi, R. 2015. Power losses calculations in windings of gapped magnetic components: the i2D method applied to flyback transformers, in *2015 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, 20–24 September, Montreal, Canada, 5675–5681. <https://doi.org/10.1109/ECCE.2015.7310457>

- Leuenberger, D.; Biela, J. 2015. Accurate and computationally efficient modeling of flyback transformer parasitics and their influence on converter losses, in *2015 17th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'15 ECCE-Europe)*, 8–10 September, Geneva, 1–10.
- Ouyang, Z.; Zhang, W. 2015. Calculation of leakage inductance for high-frequency transformers, *IEEE Transactions on Power Electronics* 30(10): 5769–5775.
<https://doi.org/10.1109/TPEL.2014.2382175>
- Radvan, R.; Dobrucký, B.; Frivaldský, M.; Rafajdus, P. 2011. Modelling and design of HF 200 kHz transformers for hard- and soft-switching application, *Electronics and electrical engineering* 4(110): 7–12.
- Robert, W. 2001. DC-DC power converters, in *Wiley encyclopedia of electrical and electronics engineering*. Colorado, 1–19. ISBN 978–0-471–39052–7.
- Zengyi, L.; Wei, C. 2006. Novel winding loss analytical model of flyback transformer, in *IEEE Annual Power Electronics Specialists Conference, 2006 (PESC '06)*, July 2006, Shanghai, China, 1–6.

INVESTIGATION OF FLYBACK TRANSFORMER FLUX LEAKAGE REDUCTION WAYS

E. Bielskis, M. Šapurov, A. Platakis

Abstract

Results of experimental investigation and design optimization of flyback transformer are presented. Aim of the work is to investigate experimentally the impact of the flyback transformer design on the flux leakage and maximal output power. It is difficult to evaluate the effect of the leakage flux mathematically because it depends on various factors: the position of the windings relative to each other; the position of the windings in the transformer; the distance between the winding. A multi-winding flyback transformer was used for experiments. Using the results of the experiments optimal design of the investigated flyback transformer was defined.

Keywords: flyback transformer, flux leakage, voltage spikes, flyback clamping circuit, power losses.