

Divlīmeņu invertora darbība ar komutējamu filtru

Ivars Rankis¹, Genadijs Zaleskis², ¹⁻²Rīga Technical University

Kopsavilkums. Darbā aplūkots sprieguma invertora sistēma ar līdzsprieguma avotu, kura vērtība var mainīties virs un zem nominālā. Gadījumā, kad spriegums ir virs, invertora slēdžiem izejas sprieguma stabilizācijas nolūkos jādarbojas spriegumu pazeminošā impulsregulatora režīmā (BUCK - angļiski); kad spriegums ir zem nominālā – slēdžiem jādarbojas paaugstinošā impulsregulatora (BOOST) darbības variantā, periodiski īsinot avota ķēdi ar droseļi tajā. Lai panāktu avota strāvu ar iespējami mazām pulsācijām, darbā paredzēts barošanas ķēdē ieslēgt droseles-kondensatora filtru. Lai tāda ierīce labi darbotos BOOST gadījumā, nepieciešams īsslēgumu brīžos operatīvi atslēgt avota filtra kondensatoru. Darbā aplūkota šādas sistēmas darbība ar vienfāzes tiltveida invertoru, kura izeja pieslēgta transformatoram, kas ir izejas līdzstrāvas mezgla barošanas elements. Aplūkoti abi raksturīgie darba režīmi.

Atslēgas vārdi: invertors, slēdži, transformators, drosele, kondensators, filtrs, taisngriezis, slodze, avots, frekvence, ieslēguma attiecība, periods.

I. IEVADS

Plašu pielietojumu līdzsprieguma stabilizācijas sistēmās ar mainīga sprieguma avotu un augstfrekvences invertora ar transformatoru starpposmu pielietošanu avota strāvas gludināšanai ir ieguvuši sarežģītākie droseļu-kondensatoru slēgumu filtri [1,2,3], kas ļauj no to izejas darbināt gan spriegumu pazeminošu invertoru BUCK režīmā, gan spriegumu paaugstinošu invertoru BOOST režīmā. Taču šāds filtrs ir sarežģītāks, kā arī tam nav pietiekamu sprieguma avota īpašību labai darbībai BUCK režīmā.

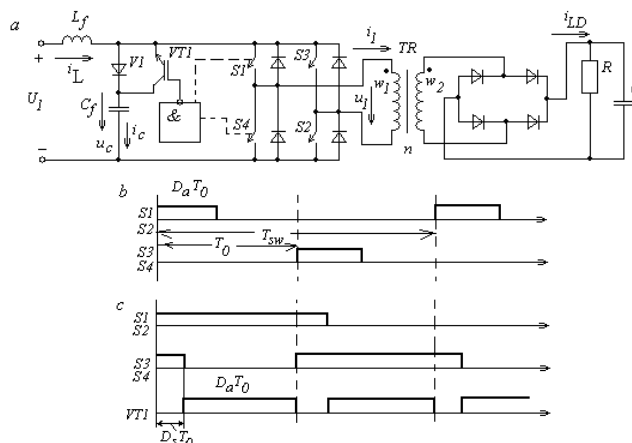
Ievērojot šādu filtra trūkumus, avota strāvas gludināšanai iesaka pielietot parasto LC filtru, no kura nav iespējams tieši realizēt BOOST režīmu, kad filtra izejas ķēde tiek periodiski īsināta, jo to nepieļauj filtra kondensators. Lai novērstu šo neatbilstību, īsslēgumu intervālos var filtra kondensatoru operatīvi atslēgt. Tad veidojas shēma, kas darbojas pēc 1.att. parādītā algoritma.

Šeit paredzēts aplūkot komutējamā filtra sadarbību ar vienfāzes invertoru, kas sastāv no slēdžu pāriem S1,S2 un S3,S4, kuru darbība nobīdīta laikā par slēdžu pārslēgšanas pusperiodu $0,5T_{sw}=T_0$, kur T_0 ir elektromagnētisko procesu atkārtošanas periods. Slēdžu ieslēgšanas laiks DT_{sw} to pārslēgšanas periodā T_{sw} var mainīties praktiski visā perioda diapazonā, t.i., $0 \leq D < 1$.

Kad $D < 0,5$, slēdžu pāri periodiski pieslēdz invertora transformatora primāro tinumu paralēli filtra kondensatoram un tiek realizēts ar slēdžu aktīvo stāvokļu ilgumu $D_a T_0$ regulējams BUCK darbības režīms. Savukārt, kad $D > 0,5$, invertora tilta katra pleca tranzistori brīžiem tiek ieslēgti vienlaikus, periodiski īsinot invertora ieejas ķēdi (intervāls $D_s T_0$ 1.att.), un šai laikā kondensatora ķēdē ieslēgtais

tranzistors VT1 atslēdz filtra kondensatoru, kurš atkārtoti atkal tiek pieslēgts perioda otrajā daļā, un tā tiek nodrošināts BOOST režīms.

Shēmā transformatora sekundārais tinums caur vienfāzes tiltveida taisngriezī pieslēgts RC slodzes mezglam, un šeit slodzes kondensators nodrošina izejas līdzspriegumu U_{LD} ar minimālām pulsācijām.



1.att. Sistēmas shēma (a), slēdžu darbības secība BUCK (b) un BOOST (c) režīmā.

II. SHĒMAS DARBĪBA BUCK REŽĪMĀ

BUCK darbības režīmā ieejas filtrs ir pieslēgts un slēdžu relatīvais ieslēgšanas laiks elektromagnētisko procesu periodā T_0 ir $D_a \leq 1$. Raksturīgās sprieguma un strāvas diagrammas attēlotas 2.att. Kad ieslēdz S1,S2, primārajam transformatora tinumam tiek pieslēgts praktiski barošanas avota spriegums U_1 . Primārā tinuma strāva i_1 praktiski lineāri laika intervālā $D_a T_0$ pieaug no nulles (ja ir pārtrauktās strāvas režīms) līdz amplitūdai I_m , bet, kad slēdžu pāris tiek izslēgts – caur invertora tilta reversīvajām diodēm primārā tinuma spriegums maina polaritāti uz $-U_1$ un laika intervālā t_2 strāva i_1 samazinās līdz nullei.

Invertora taisngrieža izejā, ja transformācijas koeficients $n=w_1/w_2$, strāva i_{LD} periodiski pieaug no nulles līdz nI_m un pēc tam t_2 intervālā samazinās līdz nullei (2.att., kur $n=1$). Transformatora strāvas i_1 izmaiņas abos intervālos nosaka attiecīgi spriegumi $(U_1 - nU_{LD})$ un $(U_1 + nU_{LD})$, kā arī transformatora izkliedes induktivitāte $L_{TR}=L_1+n^2L_2$. Izmantojot pašindukcijas sprieguma izteiksmes, var rakstīt

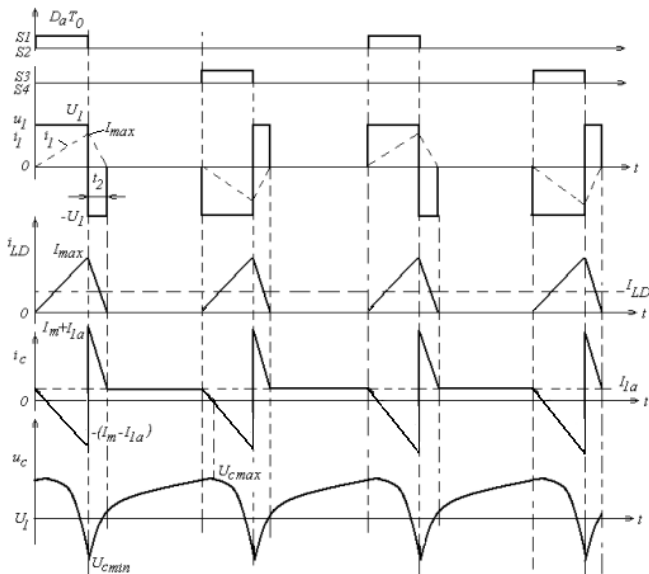
$$(U_1 - nU_{LD})D_a T_0 = (U_1 + nU_{LD})t_2, \quad (1)$$

no kurienes

$$t_2 = \frac{(U_1 - nU_{LD})D_a T_0}{U_1 + nU_{LD}}. \quad (2)$$

Slodzes spriegums, ja i_1 mainās lineāri,

$$U_{LD} = 0,5nI_m R(D_a + t_2 f_0) \quad (3)$$



2.att. Shēmas transformatora un filtra kondensatora spriegumu un raksturīgo strāvu diagrammas pārtrauktas invertora transformatora strāvas gadījumā BUCK darbības režīmā ($D_a < D_{ab}$)

Tā kā strāvas i_1 amplitūdu var noteikt kā

$$I_m = \frac{(U_1 - nU_{LD})D_a}{L_{TR} \cdot f_0} \quad (4)$$

tad slodzes spriegumu var izteikt kā kvadrātvienādojuma risinājumu

$$U_{LD} = U_1 \frac{-(L_{TR} f_0 + n^2 R D_a^2) + \sqrt{B}}{2nL_{TR} f_0} \quad (5)$$

kur $B = \sqrt{(L_{TR} f_0 + n^2 R D_a^2)^2 + 4n^2 R D_a^2 L_{TR} f_0}$.

Šī izteiksme derīga, kamēr nav iestājies strāvas i_1 nepārtrauktās darbības gadījums, t.i., kamēr $(D_a T_0 + t_2) < T_0$. No (2) robežgadījums būs, kad $U_{LD} = (2D_a - 1)U_1/n$. Izmantojot (2) un (3), BUCK pārtrauktas strāvas i_1 robežgadījums būs pie

$$D_{ab} = (0,5 - \frac{L_{TR} f_0}{n^2 R}) + \sqrt{(0,5 - \frac{L_{TR} f_0}{n^2 R})^2 + \frac{L_{TR} f_0}{n^2 R}} \quad (6)$$

Intervālā no $D_a = 0$ līdz D_{ab} kondensatora strāva i_c periodā T_0 sastāv no 3 posmiem: posma $D_a T_0$ laikā i_c lineāri mainās no I_{1a} līdz mīnus $(I_m - I_{1a})$; posma t_2 laikā strāva lineāri mainās no $(I_m + I_{1a})$ līdz I_{1a} ; posma $(T_0 - D_a T_0 - t_2)$ laikā $i_c = I_{1a}$, kur I_{1a} ir līdzsprieguma avota vidējā strāva

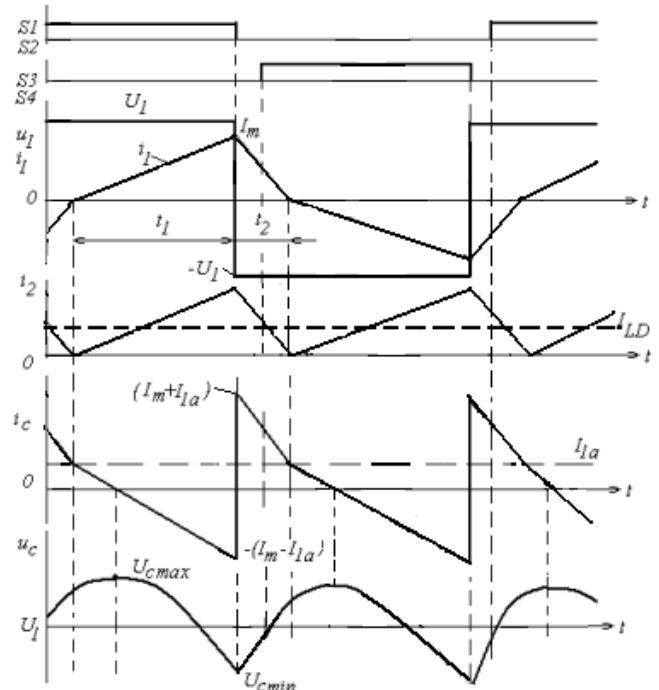
$$I_{1a} = \frac{U_{LD}^2}{R U_1} \quad (7)$$

Kondensatora sprieguma minimālā vērtība U_{cmin} būs slēdžu pāra ieslēgtā stāvokļa beigās, bet maksimālā vērtība aptuveni veidojas šī intervala sākumā. Tad

$$\Delta U_{cf} = \frac{(I_m - I_{1a})^2 D_a}{2f_0 I_m C_f} \quad (8)$$

No šejienes BUCK režīmā var atrast nepieciešamo kapacitāti C_f , ja uzdots ΔU_{cf} .

Robežās no $D_{ab} < D_a < 1$ ir transformatora strāvas nepārtrauktais režīms (3.att.). Šai gadījumā T_0 periodā strāva i_1 daļu laika (t_1) plūst caur invertora tranzistoru pāri, bet pārējo laiku t_2 – caur tranzistoru reversajām diodēm. Strāva i_1 no nulles mainās līdz $\pm I_m$ intervālā t_1 , bet intervālā t_2 lineāri laikā tiecas uz nulli.



3.att. Shēmas transformatora un filtra kondensatora spriegumu un raksturīgo strāvu diagrammas nepārtrauktas invertora transformatora strāvas gadījumā BUCK darbības režīmā ($D_a > D_{ab}$).

Slodzes strāvas vidējā vērtība ir $I_{LD} = 0,5nI_m$ un slodzes vidējais spriegums

$$U_{LD} = 0,5nI_m R \quad (9)$$

Ņemot vērā, ka abos intervālos t_1 un t_2 transformatora primārā tinuma sprieguma polaritātes ir pretējas un pēc absolūtās vērtības vienādas ar U_1 , var rakstīt

$$(U_1 - nU_{LD})(T_0 - t_2) = (U_1 + nU_{LD})t_2 \quad (10)$$

no kurienes

$$t_2 = 0,5T_0 \left(1 - \frac{n^2 I_m R}{2U_1}\right) \quad (11)$$

Savukārt

$$t_2 = 0,5T_0 \left(1 + \frac{n^2 I_m R}{2U_1}\right)$$

Tā kā intervālā t_1 strāvas i_1 pieaugumu nosaka spriegums $(U_1 - nU_{LD})$, tad

$$I_m = \frac{(U_1 - nU_{LD})t_1}{L_{TR}} \quad (12)$$

Izmantojot U_{LD} un t_1 izteiksmes, strāvas i_1 amplitūda aprēķināma kā

$$I_m = \frac{2U_1}{n^2 R^2} \left[-2L_{TR}f_0 + \sqrt{4L_{TR}^2 f_0^2 + n^2 R^2} \right] \quad (13)$$

Filtra kondensatora strāva i_c , tāpat kā iepriekš, mainās robežās no $(I_m + I_{1a})$ līdz mīnus $(I_m - I_{1a})$. Kondensatora sprieguma minimālā vērtība būs slēdžu pāra izslēgšanas brīdī, bet maksimālā vērtība veidojas aptuveni intervāla t_1 sākumā. Tāpēc kondensatora sprieguma pilna izmaiņa aptuveni aprēķināma kā

$$\Delta U_{cf} = \frac{(I_m - I_{1a})^2 \left(1 + \frac{I_m R}{2U_1}\right)}{4I_m C f_0} \quad (14)$$

Lai pārlicinātos par iegūto izteiksmju atbilstību, tika veikti konkrētas sistēmas elementu raksturojumu aprēķini un salīdzināti ar datormodelī iegūtajiem. Tika pieņemti šādi parametri: $U_1=100V$, $f_{sw}=2kHz$ ($f_0=4kHz$), $R=5\Omega$, $L_{TR}=0,2mH$, $L_f=5mH$, $C_f=2000\mu F$, $n=1$. Rezultāti apkopoti 1. tabulā, kur skaitītājā ir aprēķinu, bet saucējā – datormodeļa dati. Relatīvā ieslēgšanas laika robežvērtība starp pārtraukto un nepārtraukto režīmu ir $D_{ab}=0.865$.

1.TABULA
SHĒMAS APRĒKINU UN DATORMODELĒŠANAS REZULTĀTI
RELATĪVAIS IESLĒGŠANAS LAIKS D_a

Parametri	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	1
Amplitūda I_m , A	$\frac{11,8}{11,1}$	$\frac{26,2}{25,3}$	$\frac{30,7}{29,5}$	$\frac{30,65}{29,37}$	$\frac{29,19}{28,76}$	$\frac{29,19}{29,2}$
Slodzes U_{LD} , V	$\frac{5,58}{5,15}$	$\frac{30,15}{30}$	$\frac{50,87}{50,9}$	$\frac{64,9}{65,5}$	$\frac{72,99}{73}$	$\frac{72,99}{71}$
ΔU_{cf} , V	$\frac{0,072}{0,05}$	$\frac{0,425}{0,3}$	$\frac{0,663}{0,4}$	$\frac{0,705}{0,4}$	$\frac{0,636}{0,4}$	$\frac{0,636}{0,43}$
Avota I_{1a} , A	$\frac{0,062}{0,22}$	$\frac{1,82}{2,05}$	$\frac{5,176}{5,36}$	$\frac{8,42}{8,74}$	$\frac{10,66}{10,9}$	$\frac{10,66}{10,22}$

III. DARBĪBA BOOST REŽĪMĀ

Kad invertora plecu slēdži ieslēgti vienlaikus (piemēram, S1 un S4, 1. att.), tiek veikts transformatora ieejas periodisks išslēgums un vienlaikus išslēguma intervālos atslēgts filtra tranzistors VT1.

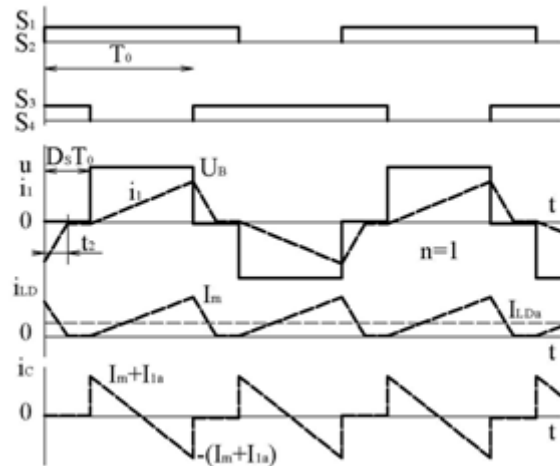
Išslēguma intervāla laikā ($D_s T_0$ 4. att.) tiek uzkrāta elektromagnētiskā enerģija drošē L_f , kas pēc išslēguma intervāla tiks pārvadīta gan uz filtra kondensatoru C_f , gan uz

transformatora-slodzes ķēdi, nodrošinot paaugstinātu spriegumu slodzē, salīdzinot ar BUCK režīmu.

Arī šai darbības režīmā iespējama transformatora primārā tinuma pārtrauktās un nepārtrauktās strāvas gadījumi. Pārtrauktās strāvas gadījumu raksturo 4. att. diagrammas. Šeit U_B – paaugstinātais spriegums, kas rodas drošes L_f darbības rezultātā uz transformatora primārā tinuma pēc išslēguma [4]:

$$U_B = \frac{U_1}{1 - D_s} \quad (15)$$

Šāds spriegums gan ir tikai tad, ja barošanas avots ir ideāls ar nulles iekšējo rezistanci.



4. att. Spriegumu un strāvu diagrammas BOOST darbības režīmā ar pārtrauktu transformatora primārā tinuma strāvu.

Attēlā

I_{Lda} ir slodzes strāvas vidējā vērtība:

$$I_{Lda} = 0,5I_m(1 - D_s + t_2 f_0); \quad (16)$$

t_2 – laiks išslēguma intervālā, kurā strāva i_1 mainās no amplitūdas vērtības $\pm I_m$ līdz nullei:

$$t_2 = \frac{L_{TR} I_m}{n U_{Lda}}; \quad (17)$$

I_m – transformatora primārā tinuma strāvas i_1 amplitūda:

$$I_m = \frac{(U_B - nU_{Lda})(1 - D_s)}{L_{TR} f_0}; \quad (18)$$

U_{Lda} - slodzes sprieguma vidējā vērtība:

$$U_{Lda} = I_{Lda} R = 0,5nI_m R(1 - D_s + t_2 f_0). \quad (19)$$

No (17), ņemot vērā (19) un situāciju, ka pārtrauktā-nepārtrauktā režīma robežgadījumā t_2 kļūst vienāds ar $D_s T_0$, var noteikt relatīvo slēdžu ieslēgšanas laiku robežgadījumam:

$$D_{sb} = \frac{2L_{TR} f_0}{R} \quad (20)$$

Ievērojot (19), var izteikt arī t_2 vērtību pārtrauktam režīmam:

$$t_2 = \frac{-(1-D_s) + \sqrt{(1-D_s)^2 + \frac{8L_{TR}f_0}{n^2R}}}{2f_0} \quad (21)$$

Savukārt no (18) var izteikt strāvas i_1 amplitūdu

$$I_m = 4U_1 / [4f_0L_{TR} + n^2R(1-D_s)^2 + (1-D_s)\sqrt{n^4R^2(1-D_s)^2 + 8n^2RL_{TR}f_0}] \quad (22)$$

Šī izteiksme ļauj aprēķināt slodzes sprieguma vidējo vērtību.

Filtra kondensatora strāva mainās tikai intervālā $T_0(1-D_s)$ un pilna strāvas izmaiņa, pieņemot, ka barošanas avota strāva ir nogludināta, aprēķināma kā

$$\Delta I_c = 2(I_m - I_{1a}) \quad (23)$$

kur

$$I_{1a} = \frac{U_{LDa}^2}{RU_1}$$

Pieņemot lineāru strāvas i_c izmaiņu laikā, kondensatora C_f spriegums u_c mainās kā

$$u_c = U_{c \min} + \frac{0,5\Delta I_c t}{C_f} - \frac{0,5\Delta I_c t^2}{C_f T_0} \quad (24)$$

kur laiks t intervālā $T_0(1-D_s)$ mainās no nulles līdz intervāla garumam. Šī sprieguma amplitūda ir pie $t=0,5T_0(1-D_s)$:

$$U_{c \max} = U_{c \min} + \frac{\Delta I_c T_0 (1-D_s)}{8C_f} \quad (25)$$

tātad pilna svārstība

$$\Delta U_c = \frac{\Delta I_c (1-D_s)}{8C_f f_0} \quad (26)$$

Jāņem vērā, ka kondensatora sprieguma vidējā vērtība ir vienāda ar spriegumu U_B .

Savukārt nepārtrauktās strāvas režīmā pilnā transformatora primārās strāvas izmaiņa $2I_m$ sastāv no divām komponentēm (5.att.):

intervālā $D_s T_0$

$$\Delta I_1 = \frac{0,5I_m n^2 R D_s}{f_0 L_{TR}} \quad (27)$$

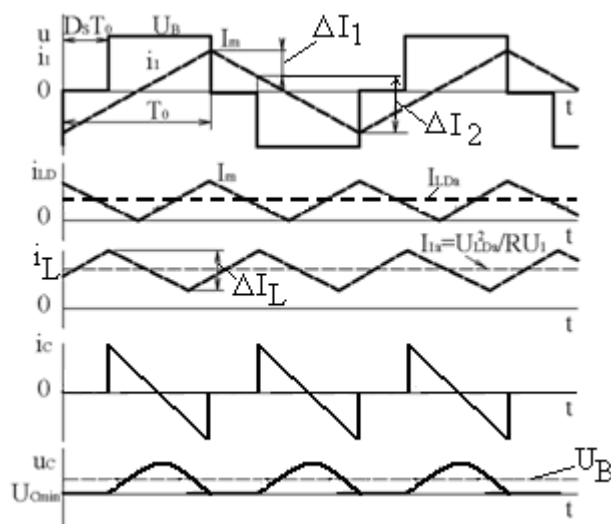
Intervālā $(1-D_s)T_0$

$$\Delta I_2 = \frac{U_1 - 0,5I_m n^2 R (1-D_s)}{f_0 L_{TR}} \quad (28)$$

Apvienojot, $2I_m = \Delta I_1 + \Delta I_2$, un no šejienes

$$I_m = \frac{U_1}{2L_{TR}f_0 - n^2R(D_s - 0,5)} \quad (29)$$

Attiecīgi kondensatora strāvas pilna izmaiņa $\Delta I_c = 2(I_m - I_{1a})$.



5.att. Spriegumu un strāvu diagrammas BOOST režīmā ar nepārtrauktu transformatora primārā tinuma strāvu.

Barošanas avota strāvas pulsācijas BOOST režīmā aprēķināmas īsslēguma intervāla laikā:

$$\Delta I_L = \frac{U_1 D_s}{f_0 L_f} \quad (30)$$

un tās praktiski nosaka filtra droseles nepieciešamos parametrus. Pie maksimālā D_{sm} strāvas pilnai izmaiņai jābūt akceptētajā līmenī

$$k_I = \frac{\Delta I_{Lm}}{I_{1m}} = \frac{U_1^2 D_{sm}}{L_f f_0 P_N} \quad (31)$$

kur P_N ir nominālā slodzes jauda, I_{1m} – avota strāvas lielākā vidējā vērtība. No šejienes

$$L_f = \frac{U_1^2 D_{sm}}{k_I f_0 P_N}$$

Piemēram, ja $U_1=100V$, $D_{sm}=0,7$, $k_I=0,1$, $f_0=4kHz$, $P_N=5000W$, nepieciešams uzstādīt filtra droseles ar induktivitāti $L_f=3,5$ mH un aprēķina strāvu 50 A.

2. tabulā apkopoti aprēķinu un datormodelēšanas rezultāti shēmas darbībai BOOST režīmā ar BUCK piemērā pieņemtajiem parametriem un $L_f=3,5$ mH. Transformatora $n=1$. Robežgadījumam starp nepārtrauktu un pārtrauktu strāvu transformatora primārajā tinumā atbilst $D_{sb}=0,32$.

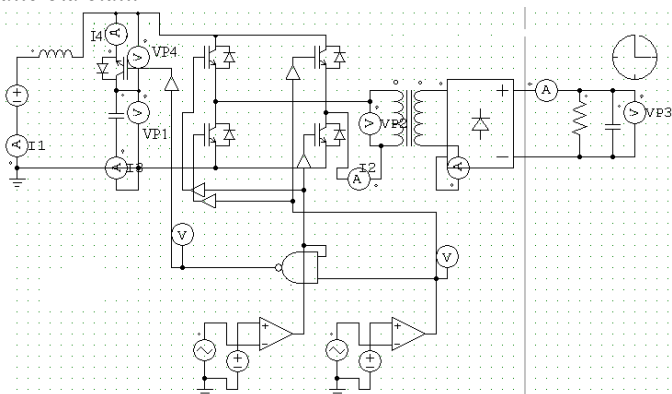
2. TABULA
SHĒMAS APRĒKINU UN DATORMODELĒŠANAS
REZULTĀTI BOOST REŽĪMĀ
RELATĪVAIS ISSLĒGŠANAS LAIKS D_s

Para- metri	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0,6	0,7
Ampli- tūda I_m, A	$\frac{27,8}{30,8}$	$\frac{32,3}{33,0}$	$\frac{38,4}{37,5}$	$\frac{45,2}{43,5}$	$\frac{53,0}{50,9}$	$\frac{62,5}{59,0}$	$\frac{74,0}{70,6}$
Slo- dzes $U_{LD} V$	$\frac{69,5}{79,0}$	$\frac{80,6}{88,8}$	$\frac{96,1}{95,0}$	$\frac{106,3}{106,8}$	$\frac{115,1}{115,6}$	$\frac{125,0}{124,2}$	$\frac{135,0}{137,4}$
Avota strāva $I_{1a} A$	$\frac{9,65}{12,8}$	$\frac{13,0}{15,6}$	$\frac{18,5}{18,8}$	$\frac{22,6}{22,9}$	$\frac{26,5}{28,0}$	$\frac{31,2}{29,7}$	$\frac{36,5}{34,3}$
Kon- densāt $s \Delta I_C$ A	$\frac{36,3}{40,0}$	$\frac{38,5}{40,5}$	$\frac{39,9}{39,8}$	$\frac{45,2}{45,0}$	$\frac{46,8}{50}$	$\frac{62,5}{60,5}$	$\frac{75,0}{63}$
ΔU_{cf} V	$\frac{0,51}{0,5}$	$\frac{0,48}{0,5}$	$\frac{0,44}{0,5}$	$\frac{0,35}{0,4}$	$\frac{0,36}{0,3}$	$\frac{0,39}{0,43}$	$\frac{0,35}{0,5}$
Avota $\Delta I_L,$ A	$\frac{0,71}{0,65}$	$\frac{1,43}{1,3}$	$\frac{2,14}{2,0}$	$\frac{2,85}{2,5}$	$\frac{3,57}{3,4}$	$\frac{4,3}{3,8}$	$\frac{5,0}{4,7}$

Kā redzams no tabulas, aprēķinu un datormodelēšanas rezultāti ir pietiekami tuvi, lai gan pie $D_s=0,1; 0,2$ ir diezgan lielas atšķirības starp aprēķināto un modelī iegūto slodzes spriegumu.

IV. DATORMODELĒŠANA

Shēma tika modelēta PSIM vidē un modelēšanas shēma attēlota 6.att.

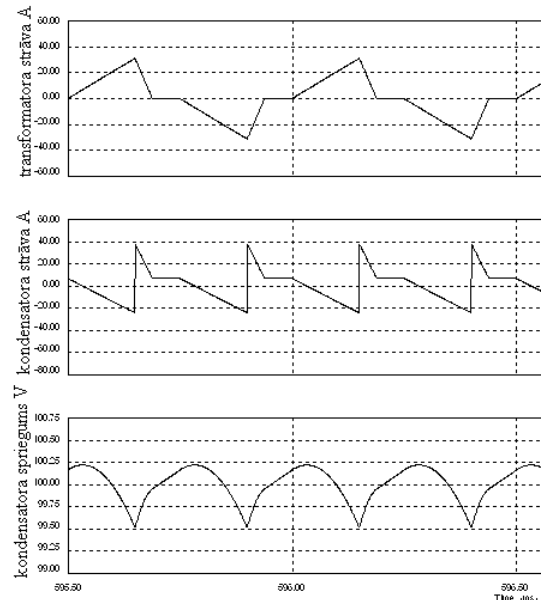


6. att. Modelēšanas shēma PSIM vidē.

Shēmas vadība realizēta ar diviem fāzē par 180° nobīdītiem lineāri augošiem zāģspriegumiem ar amplitūdu 12V. Zāģspriegumi tiek salīdzināti ar vadības līdzspriegumu, un intervālā, kad vadības līdzspriegums ir lielāks par tekošo zāģsprieguma vērtību, tiek

aktivēts viens slēdžu pāris. Tādējādi, ja vadības spriegums ir mazāks par 6V, tiek realizēts BUCK darbības režīms ar pastāvīgi ieslēgtu filtra kondensatora tranzistoru. Savukārt, ja vadības spriegums pārsniedz 6V, periodiski notiek slēdžu pāru vienlaicīga ieslēgšana, šajos intervālos loģiskais UN elements atslēdz filtra kondensatora tranzistoru un notiek darbība BOOST režīmā.

7. att. attēlotas datormodelēšanas signālu diagrammas darbā ar vadības spriegumu 3,6V, t.i., $D_a=0,6$, un aprēķinos pieņemtajiem shēmas parametriem.



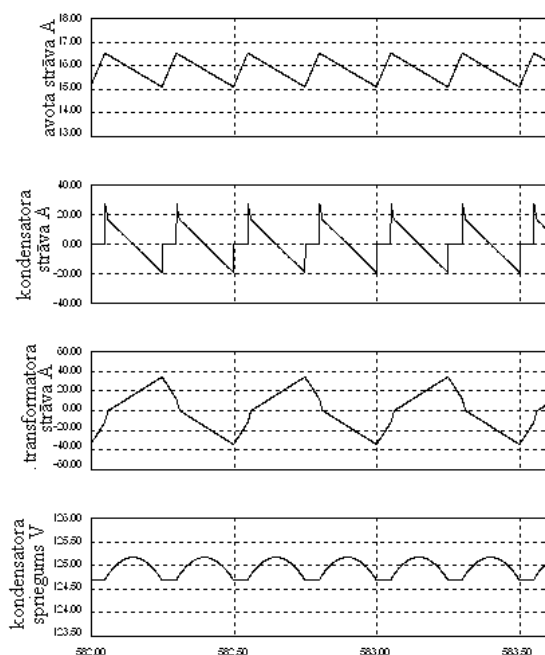
7.att. Datormodelēšanas diagrammas pie $D_a=0,6$ (pārtrauktās strāvas BUCK režīms).

Kā redzams, diagrammas atbilst teorētiski pieņemtajām pārtrauktās strāvas režīmam. Savukārt 8. att. parādītas datormodelī iegūtās diagrammas BOOST darbības režīmā ar $D_s=0,2$. Arī šīs diagrammas labi atbilst teorētiski pieņemtajām nepārtrauktas strāvas režīmam.

Tomēr jāatzīmē, ka šai shēmā, darbojoties BOOST režīmā ar pārtrauktu strāvu, t.i., lielāku D_s , var rasties shēmas stabilitātes problēmas, kuras var novērst, palielinot slodzes kontūra kapacitātes lielumu.

V. SECINĀJUMI

1. Droseles-kondensatora filtra barošanas avota ķēdē ar komutējamu kondensatoru var darboties gan ar konvertoru, kas darbojas no filtra BUCK režīmā, gan atslēdzot kondensatoru išslēgumu brīžos – BOOST režīmā.
2. Iegūtās izteiksmes gan nepārtrauktas, gan pārtrauktas konvertora strāvas gadījumā abos darbības režīmos stacionāros procesos labi sakrīt ar datormodelī iegūtajiem datiem.
3. Filtra kondensatora sprieguma izmaiņas atkarīgas no konvertora ieejas un avota strāvu starpības, pie tam BUCK režīmā svārstības ir ap avota sprieguma vērtību, bet BOOST – ap paaugstināto spriegumu, ko nosaka BOOST išslēguma process. Izejot no pieļaujamajām sprieguma pulsācijām, kondensatora kapacitāti jāizvēlas BUCK režīmā.
4. Filtra droseles inuktivitāte jāizvēlas no BOOST darbības režīma pie lielākā išslēguma relatīvā laika elektromagnētisko procesu periodā.



8. att. Datormodelē diagrammas pie $D_s=0,2$ (nepārtraukta transformatora strāva)

[4] R.W.Ericson Fundamentals of Power Electronics. Kluwer Academic Publishers, 2001.



Ivars Rankis, Professor, Hab.Dr.sc.ing. He graduated from Riga Polytechnical Institute in 1960 as an electromechanical engineer. Defended his first degree of Dr.sc. (candidate of technical sciences) in 1970. Defended his second degree Hab.Dr.sc.eng. in 1992 at Riga Technical University. From 1958-1966 he worked as an engineer at Riga Electrical machine building company. From 1966 he started studies as a doctoral student, but from 1970 – as a teacher of different subjects in electrical engineering at Riga Technical University. Research interests are connected with Power Electronics and Industrial Automation. Now is a professor at the Department of Industrial Electronics and Electrical Technologies at Riga Technical University, Institute of Industrial Electronics and Electrical Engineering

Address: Kronvalda 1, LV1048,Riga.

Phone +371 67 089 917, rankis@cef.rtu.lv



Genadijs Zaleskis, master student. He graduated from Riga Technical University in 2009 as bachelor of electrical engineering. Now he is working at the Department of Industrial Electronics and Electrical Technologies at Riga Technical University as a laboratory technician.

Riga Technical University, Institute of Industrial Electronics and Electrical Engineering

Address: Kronvalda 1, LV1048, Riga.

Phone +371 28 380 558, g.zaleskij@inbox.lv

LITERATŪRAS SARAKSTS

- [1] F.Z.Peng Z-Source Inverter, IEEE Trans. On Ind. Applications, Vol.39, 2/2003, pp.504-510.
- [2] R.Strzelecki, M.Adamovicz Boost-buck inverters with cascaded qZ type impedance networks. SENE Conference, Lodz 2009, CD-ROM, 6 p.
- [3] N.Strzelecka Static and Dynamic Models of the qZ Converters Family. 10th Intern.Sympos. Topical Problems Electr. And Pow.Engineer., Parnu,Estonia,2011, pp.67-71.

Ivars Rankis, Genadijs Zaleskis. Operation of Two-level Inverter with Commutated Filter

Operation of inverter with transformer and DC load in voltage step-down (BUCK) and step-up (BOOST) control cases from reactor-capacitor filter in DC supply circuit with commutated in duration of converter input shortening capacitor of the filter is examined. Such operation modes can be applied for stabilization of inverter output load voltage in a wide range of DC supply voltage variations. When supply voltage is low, the converter operates in BOOST case, but when it is sufficiently high – in BUCK case. In BUCK control case capacitor of the filter is directly connected to input of converter providing function of voltage source for converter. In BOOST operation case when input of the converter is periodically shortened, the DC source can provide properties of current source and the capacitor has to be disconnected from the filter. Application of both control cases allows obtaining constant load voltage at variations in a relatively large range of supply voltage of the scheme. On the basis of operation analysis diagrams of voltages and currents of main elements of the scheme are developed. Main mathematical relations are obtained in both BUCK and BOOST cases both with continuous and discontinuous input current of converter transformer. Comparison of calculation results using the obtained expressions with computer simulation results confirms good coincidence. As investigation results demonstrate, capacitance of the filter capacitor by volume have to be chosen for BUCK case, but operation voltage capacitor have to conform to converter input voltage in BOOST case i.e., which is higher as supply voltage. Inductance of filter reactor has to conform to the conditions in BOOST control case, when reactor periodically is connected through switches of converter in parallel to DC supply source. Computer simulation of the scheme in both operation cases confirms accuracy of the developed diagrams for shape of voltages and currents of elements.

Ивар Ранькис, Геннадий Залеский. Работа двухуровневого инвертора с переключаемым фильтром.

Исследована работа инвертора с трансформатором в цепи нагрузки постоянного тока в двух рабочих режимах напряжения, понижающего и повышающего преобразования с использованием входного дроссельно-конденсаторного фильтра в цепи источника питания постоянного тока, причем конденсатор фильтра оперативно отключается при периодических коротких замыканиях в режиме повышающего преобразования. Такое двухвариантное управление принято с целью стабилизации напряжения нагрузки на выходе инвертора. Для этого при низком уровне напряжения источника преобразователь работает в режиме, повышающем напряжение через периодические короткие замыкания цепи питания с дросселем, при повышенном напряжении источника преобразователь работает в режиме понижения напряжения. В режиме преобразования, понижающего напряжение, конденсатор фильтра подключен постоянно, обеспечивая источнику питания свойства источника напряжения. В режиме преобразования, повышающего напряжение за счет периодических коротких замыканий цепи источника-дросселя источник питания должен обладать свойствами источника тока и конденсатор должен быть оперативно отключен. Применение обоих способов преобразования позволяет обеспечить на выходе преобразователя стабильное напряжение при достаточно широком диапазоне изменения напряжения питания. На основе анализа получены диаграммы напряжений и токов схемы в обоих режимах преобразования, а также как при непрерывном, так и прерывистом токе на входе трансформатора инвертора. Получены основные математические выражения описывающие процессы в схеме. Проведенное сравнение результатов расчета с результатами компьютерного моделирования подтвердили точность выражений. Исследования показали, что емкость конденсатора фильтра должна быть выбрана по режиму понижающего преобразования, а номинальное напряжение – по повышенному напряжению при повышающем преобразовании.