

## THE SOFT-STARTING OF AC-DC INPUT LINK OF CONVERTER

## PĀRVEIDOTĀJA MAIŅSTRĀVAS-LĪDZSTRĀVAS IEEJAS MEZGLA PLŪSTOŠA PALAIŠANA

**Ivars Rankis**, *professor, Hab.Dr.sc. ing.*

Riga Technical university  
Institute of Industrial Electronics and Electrical Drives  
Address: b.Kronvalda 1, LV 1048 Riga, Latvia  
Phone: +371 7089917

**Anastasija Zhiravetska**, *asoc. prof., Dr. Sc. ing.*

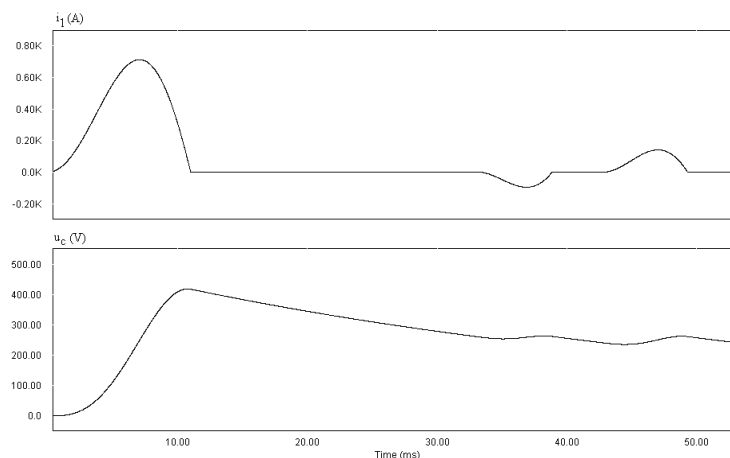
Riga Technical University  
Institute of Industrial Electronics and Electrical Drives  
Address: b.Kronvalda 1, LV 1048 Riga, Latvia  
Phone: +371 7089917  
e-mail: [zhiravetska@eef.rtu.lv](mailto:zhiravetska@eef.rtu.lv)

*Atslēgas vārdi: drosele, impulsi, kondensators, taisngriezis, tiristori, tīkls*

### Ievads

Frekvences pārveidotājos pieslēgums primārajam maiņstrāvas tīklam tiek veikts caur nevadāmu taisngriezi, kura līdzstrāvas izejā tieši vai caur filtra droseļi pieslēgts lielas kapacitātes vienpolārā sprieguma kondensators.

Pieslēdzot šādu mezglu primārajam tīklam, rodas lieli tīkla strāvas triecieni, kas var izraisīt gan tīkla aizsardzības nostrādi, gan kondensatora sprieguma būtisku palielināšanos, radot "stresa" situāciju frekvenču pārveidotāja invertora elementiem (1.att.).

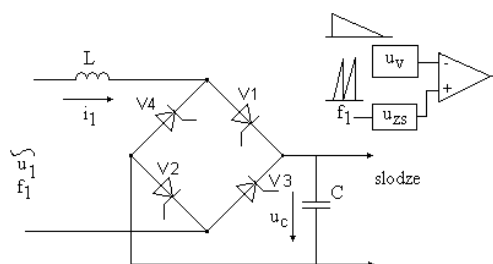


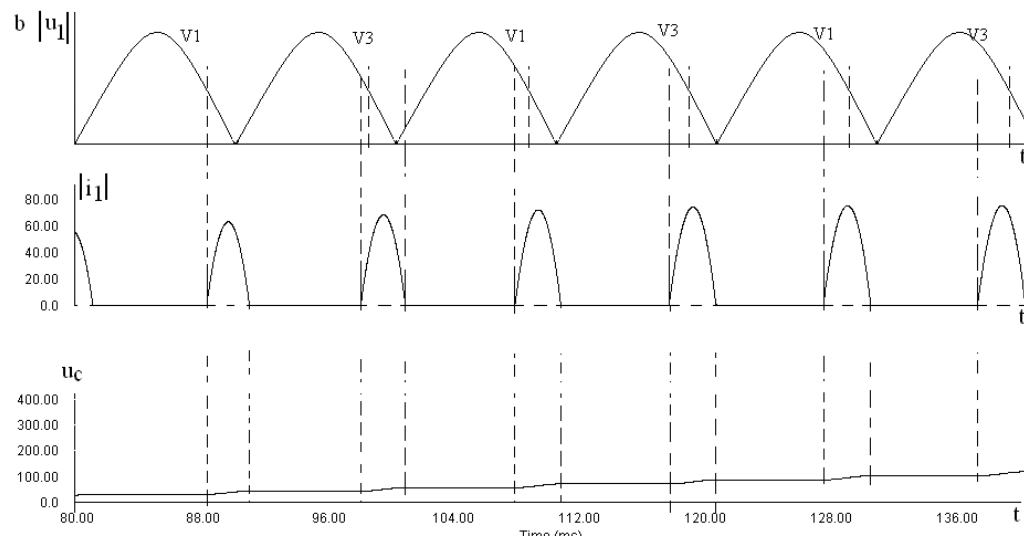
1.att. Ieejas mezgla tiešās pieslēgšanas diagrammas: tīkla strāva un kondensatora spriegums pie tīkla  $U=220V$ ,  $L=1,5mH$ ,  $C=9,4mF$

Situāciju būtiski var uzlabot, ja nevadāmā taisngrieža vietā uzstāda vadāmo taisngriezi, kura tiristoru ieslēgšanas kavējuma leņķi  $\alpha$  laikā lineāri samazina, t.i., veic plūstošo palaišanu. Publikācijā aplūkoti procesi šādā sistēmā.

### Ieejas mezgla realizācija

Ieejas mezgla shēma vienfāzes primārā tīkla variantam attēlota 2.att.





2.att. Ieejas mezgla plūstošās palaišanas shēma un strāvas un spriegumu izmaiņas diagrammas

Vadāmā taisngrieža palaišana šeit notiek plūstoši samazinot vadības spriegumu  $u_v$ :

$$u_v = U_{vm} \left( 1 - \frac{t}{T_p} \right) \quad (1)$$

kur  $U_{vm}$  ir vadības sprieguma maksimālā vērtība, kurai nav jāpārsniedz ar tīkla frekvenci sinhronizētā lineāri augošā tiristoru vadības zāģsprieguma  $u_z$  amplitūdu  $U_{zm}$ . Ja  $u_z$  viena pusperioda laikā mainās kā

$$u_z = U_{zm} \frac{t}{0,5T} \quad (2)$$

kur  $T$  ir tīkla maiņsprieguma periods, tad tekošais laiks, kad  $n$ -ajā tīkla sprieguma pusperiodā ieslēdzas tiristori, ir

$$t_{on} = \frac{U_{vm} + U_{zm} \cdot (n-1)}{2U_{zm}f + \frac{U_{vm}}{T_p}} \quad (3)$$

kur  $f$  ir tīkla sprieguma frekvence,  $T_p$  – vadības sprieguma pakāpeniskās samazināšanās laiks līdz nulles spriegumam.

Attiecīgi šajos brīžos ieejas mezglam tiek pieslēgts tīkla spriegums, kas, ievērojot taisngrieža tilta vienvirziena darbību, aprakstās katrā  $n$ -ajā pusperiodā kā

$$U_{1on} = |U_m \sin(\omega \cdot t_{on})| \quad (4)$$

Pieslēgtā sprieguma un kondensatora sprieguma starpība rada strāvas impulsu, kas, pieņemot, ka tīkla spriegums mainās lineāri laikā un  $u_c$  maz mainās viena impulsa ietekmē ( $u_c = U_{con}$ ), var tikt aprēķināts no tuvinātas izteiksmes

$$L \frac{di_1}{dt} = |U_{1o}| - \omega U_m |\cos \omega_0 t| \cdot t - U_{con} \quad (5)$$

Risinot šo izteiksmi,

$$i_1 = \frac{(|U_{1on}| - U_{con}) \cdot t}{L} - \frac{\omega U_m t^2}{2L} |\cos \omega \cdot t_{on}| \quad (6)$$

bet šīs strāvas amplitūdu var meklēt impulsa vidū (3.att.)

$$I_{max n} = \frac{(U_{1on} - U_{con}) \cdot t_{vn}}{2L} - \frac{\omega U_m t_{vn}^2}{8L} |\cos \omega \cdot t_{on}| \quad (7)$$

Šeit  $t_v$  ir strāvas impulsa ilgums  $n$ -ajā intervālā,  $U_m$  un  $\omega$  ir tīkla sprieguma līknes parametri. Laiku  $t_v$  var aptuveni noteikt, impulsa laikā uzskatot  $u_1$  izmaiņas laikā lineāras un  $U_{con}$  turot konstantu. Tad, ievērojot, ka reaktora vidējais spriegums impulsa laikā ir nulle,

$$|U_{1on}| - U_{con} = U_{con} - |U_{1on}| + \omega U_m |\cos \omega \cdot t_0| \cdot t_v \quad (8)$$

No šejienes

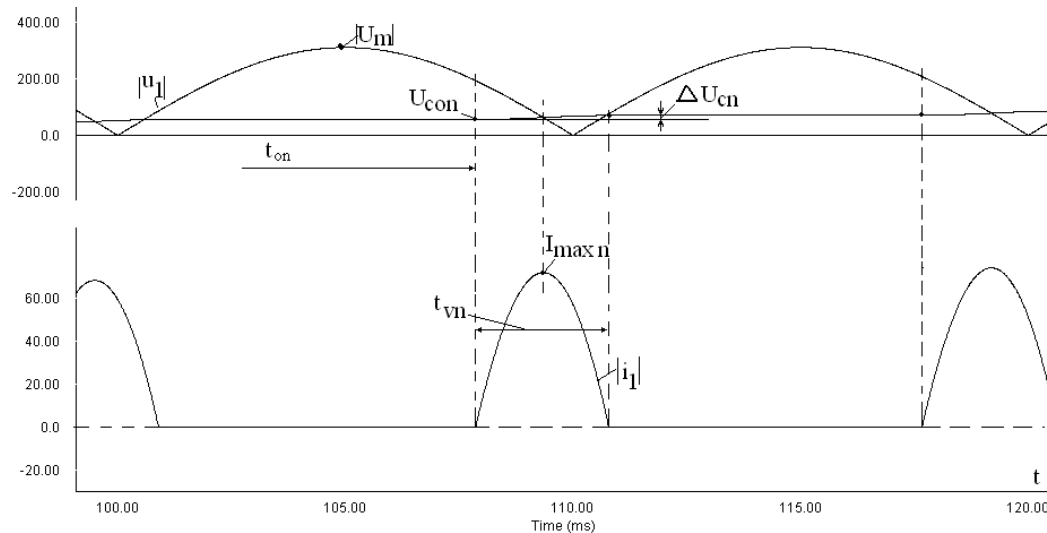
$$t_v = \frac{2(|U_{1on}| - U_{con})}{\omega U_m |\cos \omega t_0|} \quad (9)$$

Savukārt, reālo sprieguma pieaugumu var tuvināti noteikt kā

$$\Delta U_{cn} = \frac{I_{\max n} \cdot t_v}{\sqrt{2} \cdot 1,11 \cdot C} \quad (10)$$

un nākošajā pusperiodā

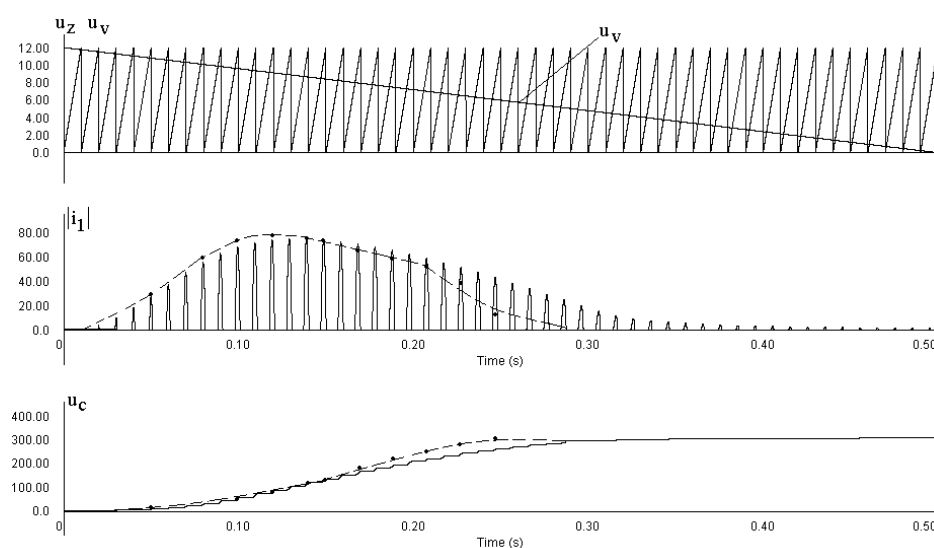
$$U_{con(n+1)} = U_{con(n)} + \Delta U_{cn} \quad (11)$$



3.att. Spriegumu un strāvas līknes n-ajā pusperiodā

### Pārējas process

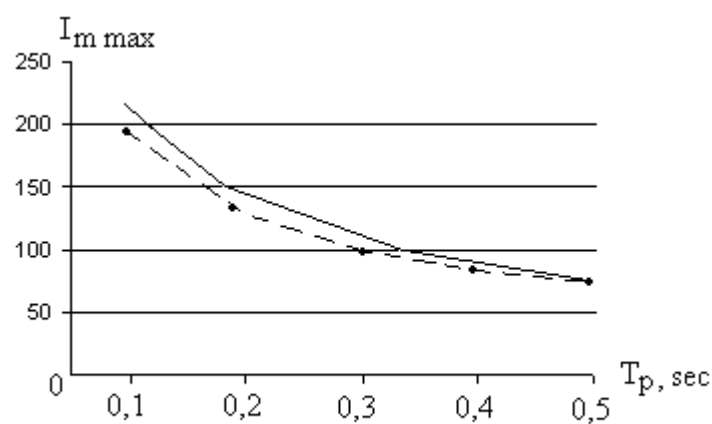
Izmantojot datorprogrammu PSIM, tika veikta pārējas procesu modelēšana aplūkotajā sistēmā. 4.att. parādītas tīkla strāvas  $i_1$  absolūto vērtību, kondensatora sprieguma  $u_c$  un vadības līknes palaižot ar  $T_v=0,5s$ ,  $U_{vm}=U_{zm}=12V$ ,  $L=1,5mH$  un  $C=9,4mF$ . Tīkla spriegums ir 220V, 50Hz.



4.att.Pārējas procesa līknes pie  $T_v=0,5s$ ,  $U_{vm}=U_{zm}=12V$ ,  $L=1,5mH$  un  $C=9,4mF$ ; (- - - aprēķins)

Vienlaikus datormodelēšanas līknēs uzklātas pēc iegūtajām izteiksmēm aprēķinātās līknes. Kā redzams, process tuvināti aprēķināts pietiekami precīzi.

Kā redzams, kondensatora uzlādes process praktiski apstājas pie  $0,5 T_p$ , bet tīkla strāvas impulsa maksimālā amplitūda ir aptuveni pie  $0,25T_p$ . Jo lielāks ir  $T_p$ , jo strāvas impulsa maksimālā amplitūda ir mazāka (5.att).



5.att. Ieejas strāvas maksimālā amplitūdas atkarība no  $T_p$ ; (- - - aprēķins)

Jāatzīmē, ka plūstošās palaišanas procesa rezultātā kondensatora spriegums plūstoši tuvojas tīkla sprieguma amplitūdai, nepārsniedzot to.

## Secinājumi

1. Kondensatora plūstošās palaišanas sistēma ar taisngrieža tiristoru ieslēgšanas kavējumu leņķa laikā lineāri samazināšanu ļauj formēt laikā determinētu barošanas mezgla kondensatora uzlādi no nulles sprieguma līdz tīkla maiņsprieguma amplitūdas vērtībai.
2. Pārejas process praktiski izbeidzas pie ieejas tilta tiristoru ieslēgšanas kavējuma leņķa  $90^\circ$ , bet tīkla strāvas impulsu maksimālā amplitūda ir aptuveni pie leņķa  $135^\circ$ .
3. Tīkla strāvas impulsu maksimālā amplitūda samazinās, ja palēnina tiristoru kavējuma leņķa samazinājumu laikā.

## References

1. Mohan N., Undeland T., Robbins W. Power Electronics: Converters, Application and Design. – NY: John Wiley and sons, 1989. - 667p.
2. Thorborg K. Power Electronics –in Theory and Practice.- Lund: Studentlitteratur, 1997. - 522p.

### **Raņķis I., Žiravecka A. Pārveidotāja maiņstrāvas un līdzstrāvas ieejas mezgla plūstoša palaišana**

*Darbā aplūkota iespēja plūstoši palaist frekvenču pārveidotāja ieejas maiņstrāvas un līdzstrāvas mezglu, nevadāma taisngrieža vietā izmantojot vadāmu taisngriezi, kura tiristoru ieslēgšanas leņķis palaišanas laikā tiek plūstoši samazināts. Tā pakāpeniski tiek palielināts kondensatora uzlādes spriegums, kas nāk no ierobežojošā reaktora, panākot plūstošu kondensatora sprieguma palielināšanos palaišanas laikā. Veikts procesa tuvināts matemātiskais apraksts, iegūstot izteiksmes gan tīkla strāvas impulsu parametru, gan kondensatora sprieguma  $n$ -tajā intervālā aprēķinam, uzskatot sprieguma izmaiņas par lineārām un pieņemot, ka kondensatora spriegums maz mainās viena impulsa ietekmē. Izmantojot datorprogrammu PSIM, tika veikta pārejas procesu modelēšana aplūkotajā sistēmā. Izpēģināta tīkla strāvas impulsu maksimālās amplitūdas atkarība no palaišanas laika; parādīts, ka, palaišanas laikam pieaugot, maksimālā strāvas amplitūda samazinās. Parādītas tīkla strāvas  $i_1$  absolūto vērtību, kondensatora sprieguma  $u_c$  un vadības līknes. Datormodelēšanas rezultātā iegūtie dati ir attēloti līknēs kopā ar teorētiski aprēķinātajiem datiem. Rezultāti tika salīdzināti, un novērtēta to precizitāte.*

### **Rankis I., Zhiravetska A. The soft-starting of AC-DC input link of converter**

*The paper considers an opportunity of soft-starting of frequency converters input AC-DC unit using a controlled rectifier instead of the diode one, where the control angle of thyristors during the process of starting is continuously decreasing. Thus the voltage of the capacitor loaded through the limiting reactor is constantly increasing. The mathematical description of the process is given in the paper and realized with some assumption. The parameters of network current pulses and voltage of the capacitor have been approximately described with mathematical expressions within an  $n$ -th time interval considering the changes of the input voltage during the pulse time linear and assuming that the capacitor voltage negligibly changes within one pulse influence. The modeling of the transient processes in the considered system has been realized with the help of PSIM software. The highest peak of the amplitude of the current was investigated depending on the duration of the starting. The increasing of the starting time leads to the maximum current amplitude decreasing. The absolute value of the network current  $i_1$ , voltage of the capacitor  $u_c$  and control characteristics are demonstrated in the article. The characteristics after the computer modelling have been presented together with those calculated theoretically. The results were compared and evaluated for the accuracy.*

### **Ранькис И.Я., Жиравецкая А.В. Плавный запуск входного звена преобразователя**

*В работе рассмотрена возможность плавного запуска входного звена преобразователя с использованием управляемого выпрямителя вместо неуправляемого, в котором угол включения тиристоров в процессе запуска постепенно уменьшается. Таким образом, постепенно увеличивается напряжение заряда конденсатора, заряжаемого через ограничительный реактор. В работе приведено приближенное математическое описание процесса, реализованное с определенными допущениями, выведены выражения для расчета как параметров импульсов тока сети, так и напряжения конденсатора в  $n$ -ом интервале. При помощи программы PSIM проведено моделирование переходных процессов рассматриваемой системы. Исследована зависимость максимальной амплитуды импульсов питающего тока от времени запуска, показано, как при увеличении времени запуска уменьшается максимальная амплитуда тока. В работе на графиках приведены абсолютные значения тока питающей сети  $i_1$ , напряжения конденсатора  $u_c$  и диаграммы управления. Характеристики, полученные при моделировании, изображены на графиках вместе с характеристиками, рассчитанными теоретически, с целью сравнения и оценки точности результатов.*