

INVESTIGATION OF THE OPERATION SPEED OF AC VOLTAGE SENSOR

SINUSOIDĀLĀ SPRIEGUMA SENSORA ĀTRDARBĪBAS IZPĒTE

V.Cīmanis, V.Hramcovs, I.Raņķis

Atslēgas vārdi: impulsregulators, sensors, kontrolleri, taisngriezis, fāzgriezējtilts.

Ievads

Sinusoidālā sprieguma regulēšana un t.sk. stabilizācija, līdzīgi līdzspriegumam, var tikt realizēta, izmantojot impulsregulatoru [1,2], vadāmu ar impulsu platuma kontrolleru. Tomēr tipveida analogā kontrollerā kā atgriezeniskās saites signālu paredz līdzspriegumu. Tādēļ, pielietojot impulsplatuma regulatoru, sinusoidālās formas spriegumam ir nepieciešams atgriezeniskās saites ķēdē izveidot līdzsprieguma signālu, proporcionālo sinusoidālā sprieguma amplitūdai. Pie tam, lai sasniegtu izejas sprieguma kvalitatīvu stabilizāciju, atgriezeniskās saites signālam jāseko spriegumam ar pietiekamu ātrdarbību.

Tāda sensora uzbūves zināmi risinājumi var būt dažādi, bet visos izmanto kontrolējamu sprieguma taisngriešanu vienpolāru divpusperiodu pulsāciju veidā. Pastāv risinājums uz integrējošās RC-ķēdes pamata, nolasot spriegumu uz tās kondensatora katras pulsācijas beigās. Pieslēdzot RC-ķēdē virknē diodi, var iegūt uz kondensatora spriegumu, vienādu ar sinusoidas maksimālo vērtību, ja ķēdes laika konstante būtu daudzkārt mazāka par sinusoidas pusperioda ilgumu. Taču dotajā risinājumā, nolasot un fiksējot sasniegto signāla līmeni, pēc tam obligāti jāizlādē kondensators, lai sekotu nākošam kontrolējamam pusperiodam. Ir iespējams, protams, pielietot šim mērķim gan analogo (uz operacionālā pastiprinātāja bāzes), gan digitālo (ar ACP-CAP elementiem) integratoru.

Bet jebkurā no minētajiem variantiem sensora signāls iegūstams vienpolāra sprieguma diskreto līmeņu posmu secības veidā. Acīmredzams, katra posma laika ilgums būs vienāds ar kontrolējamā sprieguma pusperioda ilgumu. Protams, tāds atgriezeniskās saites signāls ar iespējamām lēcienveidīgām izmaiņām nav vēlams analogā kontrollera vadīšanā, jo spējīgs izraisīt pašsvārstības regulēšanas procesā. Lai tās novērstu, nākas papildināt sensoru ar kādu

inerciālo posmu, kas no otras puses ierobežos ātrdarbību. Bez tam, visi minētie risinājumi ir raksturīgi ar sarežģīto realizāciju.

Tālāk darbā tiek aplūkots sensora cits variants ar vienkāršāku uzbūvi un ar nepārtrauktā signāla izvēlējamu ātrdarbību. Būvētā tāds nepārtrauktais līdzsprieguma signāls, lielumā proporcionāls kontrolējamā sinusoidālā sprieguma amplitūdai, iegūstams arī parastā taisngrieža shēmā ar kapacitatīvu filtru izejā. Vienīgais uzdevums ir taisngriešanas shēmas un filtra elementu parametru izvēle.

Šāda mezgla pretrunīga īpatnība, to pielietojot kā amplitūdas sensoru, ir tā, ka kapacitīvais filtrs, nodrošinot stacionārā režīmā izejas signālu ar pieejamām relatīvām pulsācijām, vienlaikus zināmā mērā ierobežo ātrdarbību dinamiskajos režīmos. Nodrošinot stacionāros režīmos sensora izejas līdzsprieguma noteiktu atļautu relatīvu maiņkomponenti, izejas gludinātājfiltra (ar kondensatora un rezistora paralēlo slēgumu) atbilstošo laika konstanti τ var izteikt šādi [3,4]:

$$\tau = \frac{\frac{2\pi}{p} - \arccos\left(1 - \frac{\Delta U_{\%}}{100}\right)}{\omega \cdot \ln\left(\frac{1}{1 - \frac{\Delta U_{\%}}{100}}\right)} \quad (1)$$

kur:

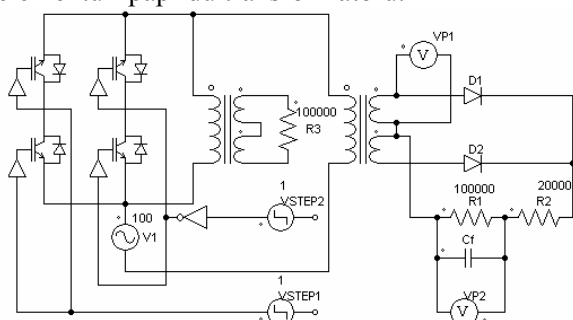
- p – taisngriešanas diožu shēmas izejas sprieguma pulsāciju skaits kontrolējamā sinusoidālā sprieguma (ar leņķisko frekvenci ω) perioda laikā;

- $\Delta U_{\%} = \left(\frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\max}}\right) \cdot 100\%$ - izejas sprieguma pieņemtā relatīvā izmaiņa.

Izteiksme (1) attiecas uz filtra kondensatora izlādēšanas procesu no sprieguma $U_{\max}$ līdz $U_{\min}$.

1. Sensora darbības princips un uzbūve

Tālāk, 1.att. attēlota sensora ar divpusperiodu taisngriezi ātrdarbības pētīšanas datormodelēšanas shēma. Sensoru tajā veido pazeminošs transformators ar diožu nul punkta taisngriezi sekundārā pusē. Primārā pusē kontrolējamo spriegumu iespējams lēcienveidīgi palielināt vai samazināt, atbilstoši šuntējot vai ieslēdzot ķēdē ar elektroniskiem slēdžiem balasta elementu - papildu transformatoru.



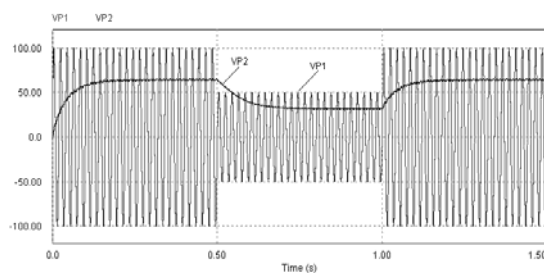
1.att. Sensora ar divpusperiodu taisngriezi datormodelēšanas shēma.

Fig.1. Scheme of computer modelling of sensor with two-wave rectifier.

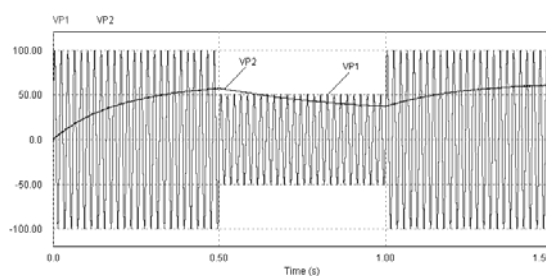
Sensora izejas ķēdes elementu R_1 un C_f (skat.1.att.) parametri izvēlēti pēc (1) atbilstoši $\Delta U_{\%} = 5\%$ stacionāros režīmos. No ieejas un izejas spriegumu oscilogrammām 2.att.(a, b) ir redzams, ka izejas signāls (VP2) kontrolējamā sprieguma krituma gadījumā atpaliek apmēram par 9...10 periodiem (2.att., a).

Pieņemot izejā citu kondensatoru – pēc $\Delta U_{\%} = 1\%$, iegūst vēl sliktāku signāla ātrdarbību (2.att.,b). Acīmredzams, ka tās uzlabošanai jāsamazinā kapacitāte izejā, saglabājot relatīvās pulsācijas $\Delta U_{\%}$ ar pulsāciju skaita p pavairošanu periodā, kas izriet no laika konstantes izteiksmes (1).

a)



b)

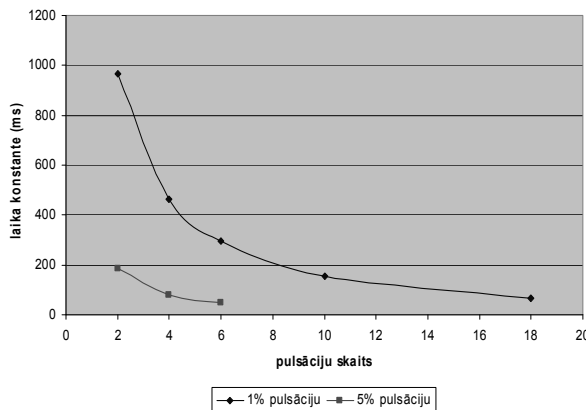


2.att. Sensora ar divpusperiodu taisngriezi izpēte dinamiskajos režīmos:

(a)– kontrolējamais spriegums (VP1) un izejas signāls (VP2) ar stacionārā režīmā pieņemto pulsāciju līmeni $\Delta U_{\%} = 5\%$; (b)– kontrolējamais spriegums (VP1) un izejas signāls (VP2) ar stacionārā režīmā pieņemto pulsāciju līmeni $\Delta U_{\%} = 1\%$

Fig.2. Investigation of sensor with two-wave rectifier in dynamics: a) dynamics response at step-down of input voltage and accepted $\Delta U_{\%} = 5\%$; b) dynamic response at accepted $\Delta U_{\%} = 1\%$.

3.att. tabulā parādītas laika konstanšu aprēķina vērtības pie $p=2, 4, 6, 10, 18$ (pulsāciju skaits periodā). Turpat ir attēlots atbilstošais grafiks. Jāpiebilst, ka gadījumos ar $p=10$ un $p=18$ relatīvās pulsācijas $\Delta U_{\%} = 5\%$ tiek nodrošinātas bez jebkāda gludinātāja filtra, tādēļ atbilstošā laika konstante grafikā trūkst.



3.att. Laika konstante atkarībā no pulsāciju skaita.

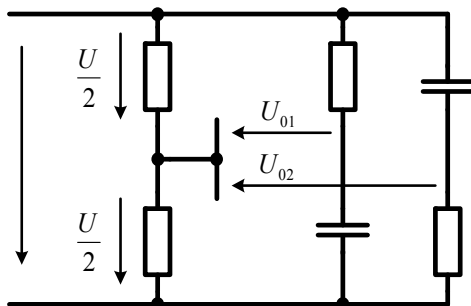
Fig.3. Time constant versus number of ripples.

Kā redzams no 3.att. līknes, nodrošinot stacionārā režīma signālu ar 1% pulsācijām, sensora inertums (t.i., filtra laika konstante) var tikt samazināta apm.15 reizes, ko var sasniegt pielietojot taisngriešanas shēmu ar izejas sprieguma 18 pulsācijām divu pulsāciju shēmas vietā.

Minētie izejas sprieguma pulsāciju skaiti periodā ir iegūstami, izmantojot atbilstošās vairākfāžu taisngriešanas shēmas:

- p=4 – četrfāzīgā vientakta shēmā;
- p=6 – trīsfāzīgā tilta shēmā;
- p=10 - piecfāzīgā tilta shēmā;
- p=18 – deviņfāzīgā tilta shēmā.

Mākslīgi izveidot mazas jaudas simetrisku spriegumu vairākfāžu sistēmu uz primārā kontrolējamā vienfāzes sinusoidālā sprieguma pamata iespējams, pielietojot pazīstamo fāzu griešanas tilta slēgumu (sk.4 att.).



4.att. Fāzu griešanas tilta shēma ar diviem posmiem tukšgaitas režīmā.

Fig.4. Scheme of bridge mode phase shifting device.

Tiltam strādājot tukšgaitas režīmā [3]

$$\dot{U}_{01} = \left(\frac{\dot{U}}{2} \right) \cdot e^{-j\psi_1}$$

un

$$\dot{U}_{02} = \left(\frac{\dot{U}}{2} \right) \cdot e^{j\psi_2},$$

kur ψ – spriegumu U_0 fāžu nobīdes leņķis attiecībā uz ieejas spriegumu U .

No riņķa vektoru diagrammām fāzu griešanas tiltam

$$|\psi_1| = \pi - 2 \cdot |\varphi_1|, \quad (2)$$

$$\text{kur } |\varphi_1| = \arctg \frac{X_{c1}}{R_1}.$$

$$\psi_2 = 2 \cdot |\varphi_2|, \quad (3)$$

$$\text{kur } |\varphi_2| = \arctg \frac{X_{c2}}{R_2}.$$

Aprēķinot pēc (2), (3) fazgriezējtilta RC-posmu parametrus atbilstoši prasītam fāžu skaitam spriegumu simetriskā sistēmā, var iegūt vairākfāžu taisngriežus sensora darbam tukšgaitas režīmā. Kā piemērs 5.att. parādīta datormodelēšanas shēma ar atbilstošām ieejas (VP1) un izejas (VP2) spriegumu oscilogrammām, iegūtām piecfāzīgā tilta taisngriežim. Uz oscilogrammām novērojams sākumā pārejas procesa posms apmēram viena perioda laikā, kuram beidzoties, iestājas stacionārais režīms. Ņemot vērā, ka impulsregulēšanas controlleram, vadāmajam no šī signāla, darba sākumā ir paredzēts tā saucamais „mīkstās palaišanas režīms” (ilgumā uzstādāms plašās robežās), minētam pārejas procesam lielas nozīmes nav.

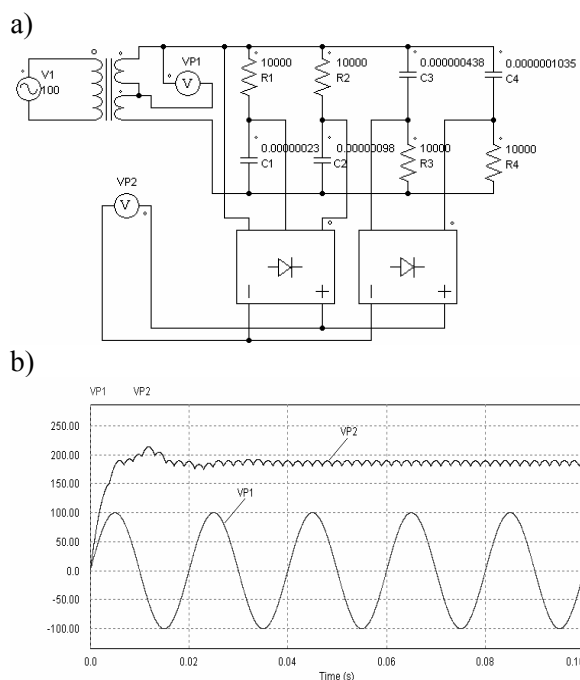
Novērtējot ar piecfāzīgo tilta taisngriezi sensora ātrdarbību, datormodelēšanā veidoti kontrolējamā sprieguma kritums un uzlēciens. No 6.att. oscilogrammām redzams, ka sensora izejas signāls seko kontrolējamam spriegumam ar minimālu aizkavēšanu. Pie tam izejas ķēdes rezistora R_5 pretestība, lai saglabātu sensora režīmu tuvu tukšgaitai, pieņemta:

$$R_5 \gg R_i,$$

kur R_i – fāzes nobīdīšanas posmu rezistora pretestība.

Augšā izklāstītos piemēros un aprēķinos, kā jau bija teikts, sensora slodzes režīms bija pieņemts tuvs tukšgaitai, kas deva iespēju vienkāršāk iegūt fāzes nobīdīšanas posmu elementu parametrus, vadoties pēc riņķa diagrammu izteiksmēm.

Tas nozīmē, ka aprēķinos pieņemtie katra posma fāzes leņķi nesaglabāsies, slogojot sensoru ar dažādām izejas ķēdēm. Jāpiemin, ka sensora slodze ir impulsregulatora vadības kontrollers ar tā atgriezeniskās saites ieejas iekšējo pretestību un šai ieejai piederošo ārējo rezistīvo spriegumu dalītāju (atgriezeniskās saites signāls kontrollerā ir ierobežots 15V vai zemākā līmenī). Tātad sensora slodze nevar tikt uzdots viennozīmīgi un nemainīgi. No tā izriet nepieciešamība aprēķināt sensoru tā iekšpusē slogotā režīmā, lai turpmāk ārējā pievienojama ķēde jūtamai neietekmētu uzstādītos leņķus fāžu nobīdes posmos.

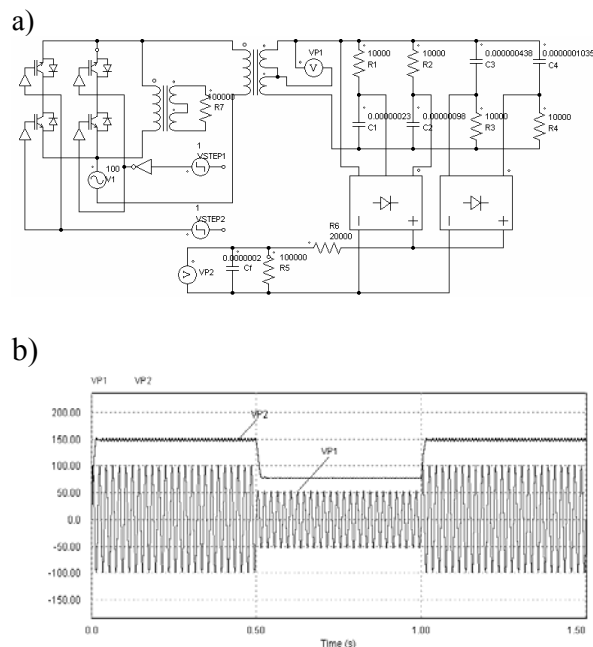


5.att. Sensora ar mākslīgu piecu fāžu taisngriezi izveidošana (a);
(b) – kontrolējamā (VP1) un izejas (VP2) spriegumu līknes

Fig.5. Modelling scheme of five-phase rectifier (a) and input-output voltage diagrams (b)

Analizēt doto mākslīgi iegūto vairākfāžu spriegumu sistēmu ar slogotu taisngriezi ir diezgan apgrūtināti. Vieglākais ceļš ir aprēķināt

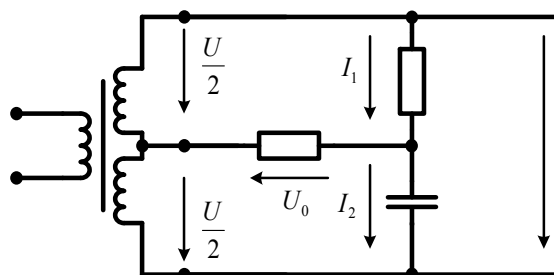
fāzgriezējtilta posmu parametrus (pēc uzdotajiem fāžu nobīdes leņķiem), noslogojot katrā posmā nobīdītā sprieguma signālu (tilta diagonālē) ar rezistīvu slodzi.



6.att. Sensora ar 5-fāžu taisngriezi izpētes datormodelēšanas shēma (a);
(b) - kontrolējamā (VP1) un sensora izejas (VP2) spriegumu līknes dinamiskajos režīmos.
Fig.6. Modelling scheme of five-phase rectifier-sensor (a) and output signal diagram at stepwise change in input voltage (b)

2. Sensora darbība ar slodzi

7.att. parādīta analizējama slogota fāzgriezējtilta shēma ar vienu fāzes nobīdīšanas RC posmu. Kontrolējamo spriegumu pieslēdz caur mazjaudīgu (pazeminošu) transformatoru, kura sekundārais tīnums izveidots divu vienādu sekciju veidā (t.i., ar viduspunktu).



7.att. Fāzgriezējtilta slēgums ar slodzes rezistoru diagonālē

Fig.7. Calculation scheme of loaded phase-shifting link

Atrisinot 7.att. shēmas Kirhofa likumu vienādojumus ar simbolisko metodi, iegūst

$$\dot{U} = \frac{\dot{U} (R_1 R_0 + j R_0 X_{cl})}{j X_{cl} (R_1 + R_0) - R_1 R_0} \quad (4)$$

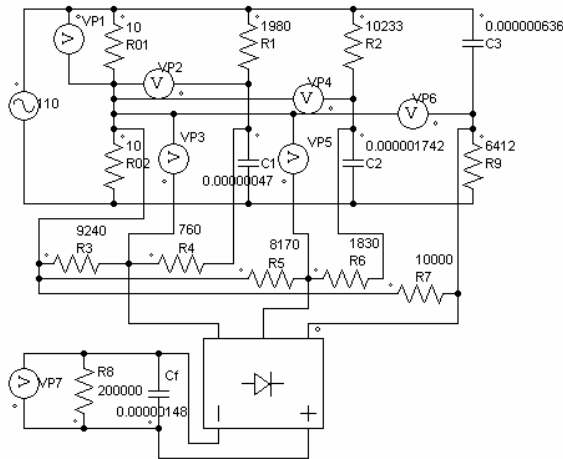
Pārveidojot aprēķinam ērtākā formā (bez imagināriem skaitļiem saucējā),

$$\dot{U}_0 = \frac{\dot{U} \cdot R_0^2 (X_{cl}^2 - j 2 X_{cl} R_1 - R_1^2) + R_0 (R_1 X_{cl}^2 - j R_1^2 X_{cl})}{(R_1 R_0)^2 + (R_1 X_{cl} + R_0 X_{cl})^2} \quad (5)$$

Pieņemot (5) $\dot{U} = U$ (reāls skaitlis), sprieguma U_0 fāzes nobīdes leņķis ψ pret spriegumu U iegūstams kā

$$\psi = \arctg \frac{\text{Im}(\dot{U}_0)}{\text{Re}(\dot{U}_0)}, \quad (6)$$

Tātad pēc (5), (6) var iegūt posmu elementu parametrus, veidojot nepieciešamo vairākfāžu spriegumu sistēmu (atbilstoši pieņemtiem fāžu nobīdes leņķiem $\psi_1, \psi_2, \dots$ u.t.t.).



8.att. Sensora slēgums ar taisngriezi – trīsfāžu tilta shēmā

Fig.8. Scheme of multi-phase sensor with internal load

Lai posmos iegūtie fāzē nobīdītie spriegumi $U_{01}, U_{02} \dots$ u.t.t. stipri neatšķirtos savā starpā,

praktiskajos aprēķinos ir jēdzīgi izvēlēties R_0 vienādu visos posmos un

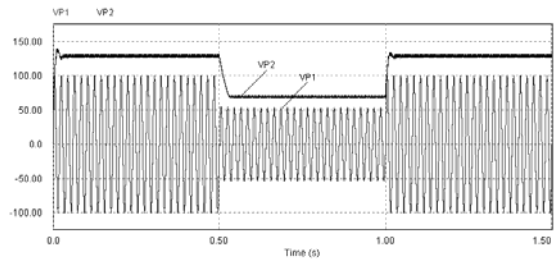
$$R_0 \gg z_i, \quad (7)$$

kur $z_i = \sqrt{R_i^2 + X_{ci}^2}$, (vēlams saglabāt $Z_i \approx \text{const}$ visos posmos). Savukārt

$$R_0 \ll R_F, \quad (8)$$

kur R_F – vairākfāžu taisngrieziem pievienojamas slodzes (filtra) iespējamā pretestība.

Protams, tādā veidā mākslīgi iegūtā daudzfāžu spriegumu sistēmā posmu spriegumi $U_{01}, U_{02} \dots U_{0i}$ būs nobīdīti fāzē savā starpā, bet lielumā būs atšķirīgi. Lai tos izlīdzinātu arī lielumā, posmu slodzes rezistorus R_0 izveido kā sprieguma dalītājus, veidojot uz taisngrieža simetriskus vairākfāžu spriegumus. Augstāk aprakstītā iekšpusē slogotā sensora shēma ar trīsfāžu tilta taisngriezi tika izpētīta arī dinamiskos režīmos.



9.att. Kontrolējamā (VP1) un sensora izejas (VP2) spriegumu līknes dinamiskajos režīmos.

Fig.9. Investigation of the scheme in dynamics

9.att. parādīts kontrolējamā sprieguma kritums un uzlēciens, kā arī sensora izejas signāla atbilstoša līkne. No 9.att. redzams, ka aplūkotajā shēmā ar filtru nodrošinot signāla 5% pulsācijas stacionārā režīmā, reakciju uz kontrolējamā sprieguma kritumu sensora signāls aizkavē apmēram par diviem periodiem. Kontrolējamā sprieguma uzlēcienā sensora ātrdarbība ir krietni augstākā: signāls praktiski atkārtro kontrolējamo lielumu.

Protams, ka pielietojot taisngrieža izejā sarežģītākus daudzposmu RC filtrus, iespējams gan samazināt signāla pulsācijas stacionārā režīmā, gan paaugstināt ātrdarbību kontrolējamā sprieguma kritumā un uzlēcienā. Nobeigumā var secināt, ka dotā sensora konkrētā pielietojumā jāmeklē optimāls variants, pavairojot fāžu skaitu

taisngriezī, kā arī gludinātājfīlra posmu skaitu, lai vienkāršāk iegūtu sensora signāla apmierinošu ātrdarbību ar pulsāciju mazu līmeni kvazistacionāros režīmos.

3. Secinājumi

- Sinusoidālā sprieguma impulsregulēšanas kontrollera vadībai ir lietderīgi izmantot atgriezeniskās saites līdzsprieguma signālu no vairākfāžu taisngrieža.
- Vienfāzes sinusoidālā sprieguma sensora ātrdarbība var tikt palielināta, mākslīgi veidojot daudzfāžu spriegumu simetrisko sistēmu ar vairāku posmu fāzgriezējtilta palīdzību.
- Nodrošinot sensora stabilu darbību, mainoties pretestībai izejā, ir jēdzīgi izveidot sensorā pastāvīgu iekšējo slodzi fāzgriezējtilta RC-posmos.
- Ātrdarbīga sensora struktūras optimizācijai izvēloties mākslīgu daudzfāžu sistēmu, var arī izmantot daudzposmu gludinātājfīlra iespējas, lai mazinātu signāla maiņkomponenti stacionāros režīmos.

Literatūra

1. Greivulis J., Raņķis I. Iekārtu vadības elektroniskie elementi un mezgli.-Rīga: Avots, 1997.-287lpp.
2. Raņķis I. Energoelektronika.-RTU Izdevniecība, 2002.-142lpp.
3. Elektrotehnikas teorētiskie pamati. Stacionāri procesi lineārās ķēdēs / K.Tabaka red.-R.:Zvaigzne, 1985.-332 lpp.
4. Бобровников Л.З. Электроника. СПб/ Питер, 2004, - 560 стр.
5. Latvijas patents Nr 13895 Sinusoidāla maiņsprieguma amplitūdas sensors/ V.Hramcovs, V.Cīmanis, I.Raņķis, 2009

Vladimirs Cīmanis, Mag.Sc.Ing., Doctorant.
Riga Technical University, Faculty of Power and electrical Engineering
Address: Kronvalda boulevard 1, LV1050, Riga, Latvia
Phone: +371 29679741
e-mail: vladimirs.cimanis@rtu.lv

Vladimirs Hramcovs, Assoc.prof., Dr.Ing.Sc.

Riga Technical University, Faculty of Power and electrical Engineering, Institute of Industrial Electronics and Electrical Drives
Address: Meza str.1, LV1048, Riga, Latvia
Phone: +371 7089503
e-mail: vladimirs.hramcovs@rtu.lv

Ivars Rankis, Prof., Hab.Dr.sc.ing.
Riga Technical university, Institute of Industrial Electronics and Electrical Engineering
Address: Kronvalda boulevard 1, LV1010, Riga, Latvia,
Phone:+371 7 089 917, rankis@eef.rtu.lv

Cīmanis V., Hramcovs V., Rankis I. Investigation of the operation speed of AC voltage sensor
In the article the AC voltage sensor of industrial frequency – the signal former of the analogue controller with pulse-width modulation which, in its turn, controls the high-frequency electronic pulse AC voltage stabilizer, is considered. It is shown, that the necessary for controller feedback signal in the form of DC voltage can be received by means of the multiphase rectification scheme. The multiphase symmetrical voltage system is formed from a controlled single-phase voltage, using the phase-shifting bridge with several RC-circuits. Speed of such sensor depends on output circuit time lag, i.e., on a smoothing filter time constant. In steady-state modes a variable component of the output signal is governed with output filter condenser capacity and quantity of voltage pulsations on an rectifier schema's output during controlled voltage period as well. The more the number of pulsations for the period, the less is the capacity of the filter condenser, which limits sensor's speed with a controlled voltage change.

In the work the dependence of a time constant on a quantity of pulsations of the rectified voltage with reference to 1 % and 5 % to pulsations at a output signal of the sensor is received. With help of computer simulation of the changes of voltage amplitude, sensor's processing speed in an idling mode is estimated. The calculation methods were developed for phase-shifting circuits during the work of a sensor with variable loading. As an example the results of tests of speed of the loaded sensor with three-phase bridge rectifier scheme are also received.

Cīmanis V., Hramcovs V., Raņķis I. Sinusoidālā sprieguma sensora ātrdarbības izpēte

Rakstā tiek aplūkots rūpnieciskās frekvences sinusoidālā sprieguma sensors – signāla devējs impulsu platuma modulācijas analoga kontrollera vadīšanai, kas savukārt vada augstfrekvences impulsu regulēšanas maiņsprieguma elektronisko stabilizatoru. Parādīts, ka kontrolleram nepieciešamais atgriezeniskās saites līdzsprieguma signāls ir

iegūstams ar vairākfāžu taisngrieža palīdzību. Spriegumu daudzfāžu simetriskā sistēma tiek izveidota no kontrolējamā vienfāzes sprieguma, izmantojot fāzu griešanas tilta slēgumu ar vairākiem RC-posmiem. Tādā veidā sensora ātrdarbību nosaka izejas ķēdes inertums, t.i., kapacitīvā gludinātājfīlra laika konstante. Stacionāros režīmos līdzsprieguma signāla relatīvo mainīkomponenti tieši nosaka kā gludinātājfīlra kondensatora kapacitāte, tā arī iztaisnotā sprieguma pulsāciju skaits kontrolējamā sprieguma perioda laikā. Jo vairāk ir pulsāciju periodā, jo mazāka var būt fīlra kondensatora kapacitāte, kas savukārt, mainoties kontrolējamam spriegumam, ierobežo sensora ātrdarbību. Darbā iegūta fīlra laika konstantes sakarība ar taisngrieztā sprieguma pulsāciju skaitu periodā attiecināta uz sensora signāla 1% un 5% relatīvām pulsācijām. Novērtēta dotā sensora ātrdarbība tukšgaitas režīmā, datormodelēšanā imitējot kontrolējamā sprieguma kritumus un uzmetienus. Izstrādāta fāzes nobīdīšanas posmu aprēķina metodika, fāzu griešanas tiltam (t.i., sensoram) strādājot slogotā režīmā. Pieņemot par paraugu mākslīgo trīsfāžu tilta taisngriešanas shēmu slogotajā sensorā, ar datormodelēšanas palīdzību veidojot pārejas procesus kontrolējamā sprieguma pusē, iegūti sensora ātrdarbības izmēģinājumu rezultāti.

**Циманис В., Храмцов В., Ранькис И.
Исследование быстродействия датчика
синусоидального напряжения**

В статье рассмотрен датчик синусоидального напряжения промышленной частоты – формирователь сигнала для аналогового контроллера с широтно-импульсной модуляцией, который, в свою очередь, управляет высокочастотным электронным импульсным стабилизатором переменного напряжения. Показано, что необходимый для контроллера сигнал обратной связи в виде постоянного напряжения может быть получен с помощью многофазной схемы выпрямления. Многофазная симметричная система напряжений образуется

из контролируемого однофазного напряжения, используя фазовращательный мост с несколькими RC-звеньями. Быстродействие такого сенсора зависит от инерционности выходной цепи, т.е., от постоянной времени сглаживающего фīлтра. В стационарных режимах переменную составляющую выходного сигнала обуславливает именно ёмкость конденсатора выходного фīлтра, а также количество пульсаций напряжения на выходе выпрямительной схемы за период контролируемого напряжения. Чем больше число пульсаций за период, тем меньше может быть ёмкость конденсатора фīлтра, которая и ограничивает быстродействие датчика при изменениях контролируемого напряжения. В работе получена зависимость постоянной времени от числа пульсаций выпрямленного напряжения применительно к 1% и 5% пульсациям у выходного сигнала датчика. Имитируя компьютерным моделированием скачкообразные изменения контролируемого напряжения, оценено быстродействие датчика в режиме холостого хода. Разработана методика расчёта фазосдвигающих звеньев при работе датчика с варьируемой нагрузкой. В качестве примера получены также результаты испытаний быстродействия нагруженного датчика с трёхфазной мостовой выпрямительной схемой.