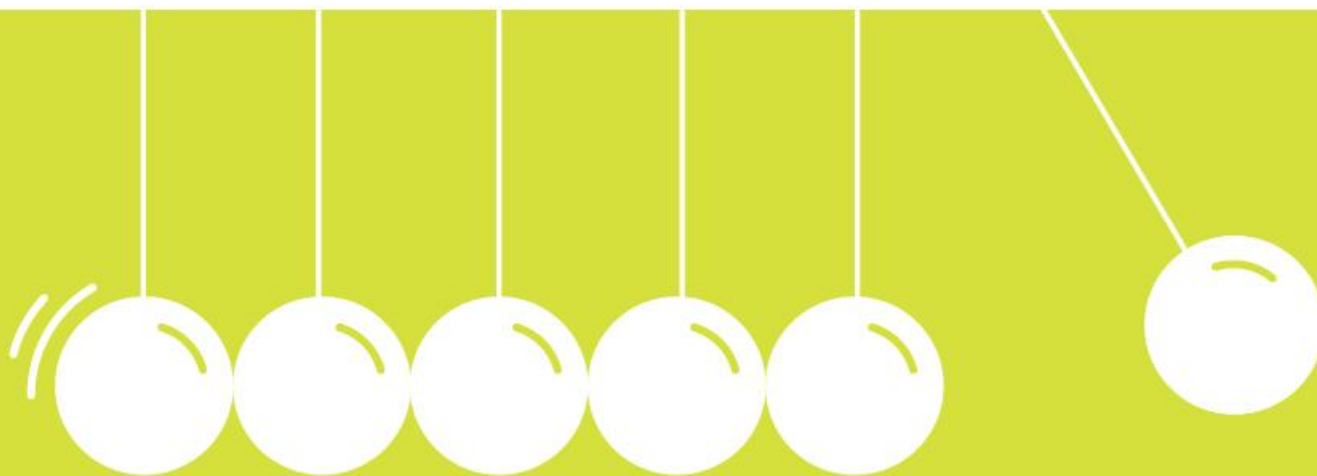




Navorno vodenje asinhronskih motorjev



Prof.dr. Bojan Grčar, UM-FERI

Pregled



- motivacija in izzivi
- obstoječe rešitve
- izhodiščne hipoteze in pristop
- ravnotežna stanja in karakteristike
- predlagane rešitve
- rezultati
- sklep

Avtorji: Bojan Grčar, Anton Hofer,
Peter Cafuta, Gorazd
Štumberger



Bojan, FERI



Toni, TU Graz



Peter, FERI



Gorazd, FERI



Obstoječe rešitve



Industrija:

- Vodenje v koordinatah vektorja rotorskega magnetnega sklepa (Siemens) -FOC+modifikacije; *Blaschke 1971, Takahashi 1976, Peresada 2003,...*
- Vodenje v koordinatah statorskega polja (ABB) –DTC; *Takahashi 1985, Depenbrock 1985, Faiz in Hosseini 1999,....*

Akadska sfera:

- Diferencialna gometrija, vhodno/izhodna linearizacija; *Bodson 1998, Chiasson 1998, Marino 1999, ...*
- “Flatness”; *Martin, Rouchon 1996*
- Pasivnost, Euler-Lagrangev in Hamiltonov energijski koncept; *Ortega 1998, van der Schaft 2002...*
- Neholonomni sistemi, dvojni neholonomni integrator; *Brockett 1996, Escobar 1998,...*

Skupna, zgodovinsko pogojena značilnost obstoječih rešitev sta razklopljeni zanki:

- za vodenje (ali krmiljenje) magnetnega sklepa (rotorskega ali statorskega) in
 - vodenje navora (in/ali hitrosti)

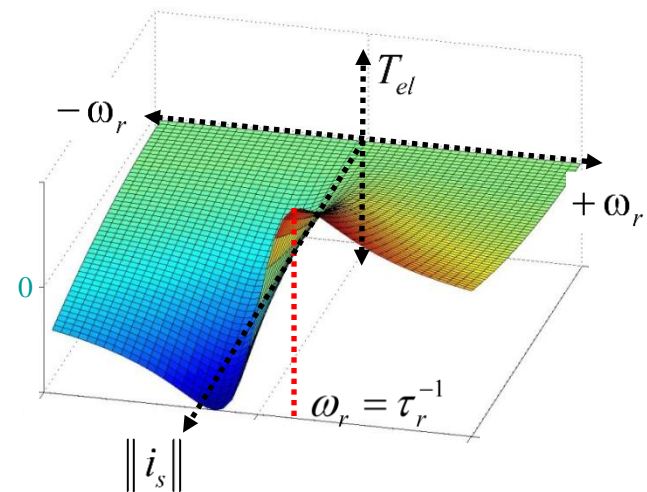


Hipoteze in pristop

- Navorno vodenje je možno doseči le z eno regulacijsko zanko pri čemer se rotorski magnetni sklep spreminja implicitno
- Zahtevan navor je možno zagotoviti pri minimalnem iznosu vektorja statorskega toka (izgube !)
- Zagotovljena mora biti visoka dinamika, kritično dušenje, robustnost in stabilnost
- Vpliv magnetnega nasičenja mora biti ustrezno kompenziran

Analiza ravnotežnih stanj ob upoštevanju „relativne hitrosti“:

$$\omega_r := \omega_i - \omega_m$$



Hipoteze in pristop



Problem je mogoče reducirati na vodenje neholonomnega integratorja tretje stopnje:

$$\dot{x}_1 = -a x_1 + b u_1$$

$$\dot{x}_2 = -a x_2 + b u_2$$

$$\dot{x}_3 = -c x_3 + d(x_1 u_{12} + x_2 u_1)$$

kjer so:

$$\xi^T = [x_1, x_2]^T \quad \text{- notranja stanja (rot.sklep)}$$

x_3 - reguliran izhod (navor)

u_1, u_2 - krmilni vhodi (stat.tok)

$a, b, c, d \in \mathbb{R}^+$

Omejitve, ki izhajajo neholonomne strukture:

- s povratno vezavo s konstantnimi koeficienti sistema ni mogoče stabilizirati
- “inverzni” problem (določitev stanj in vzbujanja za zahtevan izhod) nima enoumne rešitve
- konstanten izhod zahteva periodične orbite notranjih stanj in posledično vzbujanja

$$\xi \times \dot{\xi} = \text{konst.}! \quad \text{ali} \quad \xi \times \ddot{\xi} = 0$$

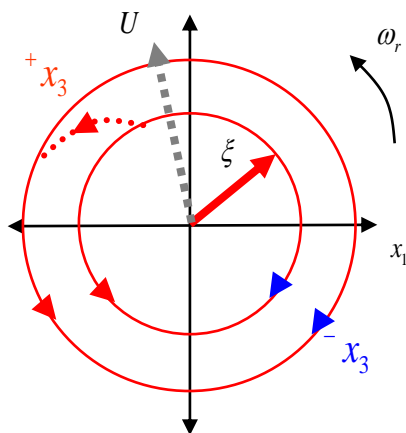


Hipoteze in pristop

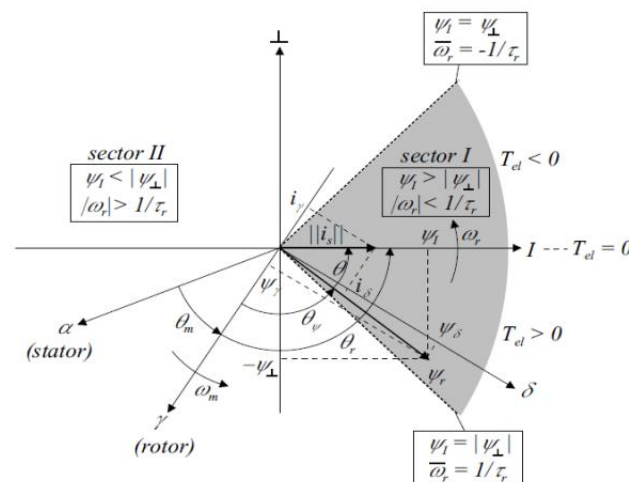


$x_3 = \text{konst!} \rightarrow x_1, x_2$ harm. funkcija

$$\rightarrow \begin{cases} u_1 = \|u(\cdot)\| \cos(\theta_r(\cdot)) \\ u_2 = \|u(\cdot)\| \sin(\theta_r(\cdot)) \end{cases}$$

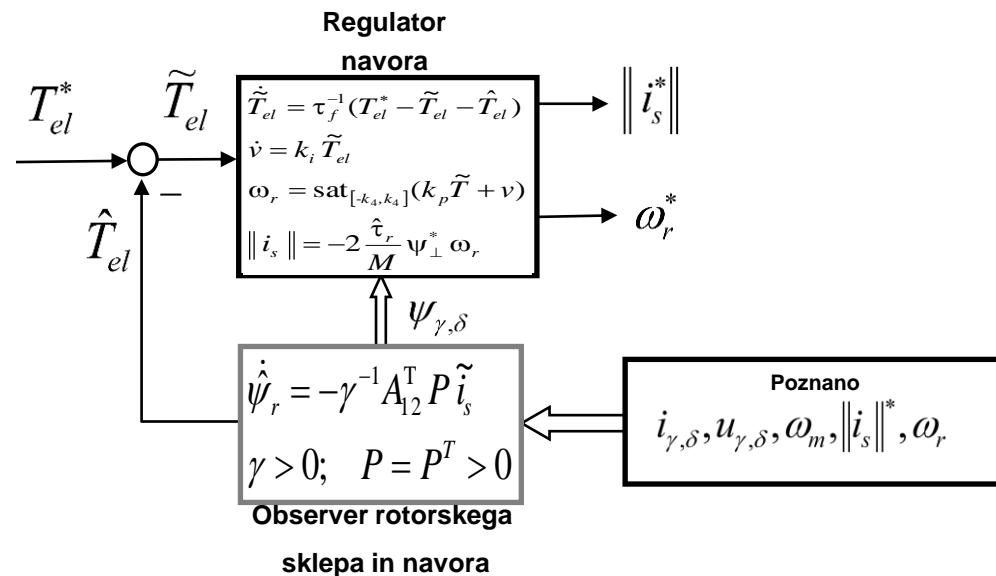


- za doseganje “ustrezne” dinamike mora biti v prehodnih stanjih vektor statorskega toka amplitudno in frekvenčno moduliran
- amplitudna modulacija vpliva le na magnetilno komponento rotorskega sklepa
- frekvenčna modulacija pogojuje navorno komponento rotorskega sklepa
- analiza ravnotežnih stanj → področja, pogoji

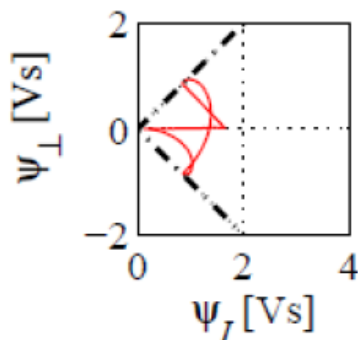


Predlagane rešitve

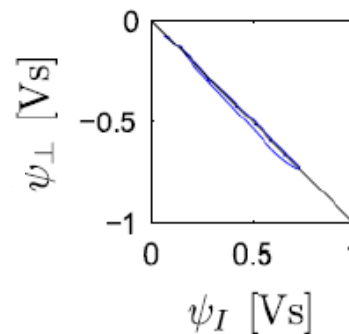
- optimalno direktno in indirektno odprtozančno vodenje
 - zaprtozančno vodenje za magnetno linearno in nelinearno področje
 - vodenje na osnovi neholonomnega integratorja
 - observerji rotorskega sklepa in navora
 - tokovni regulatorji v rotorskih koordinatah
- ➔ optimalnost v smislu minimalnega iznosa statorskega toka v ustaljenih a.) in prehodnih stanjih b.)



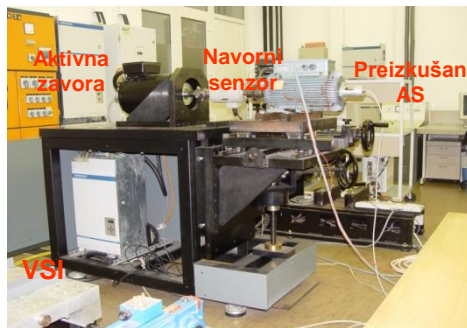
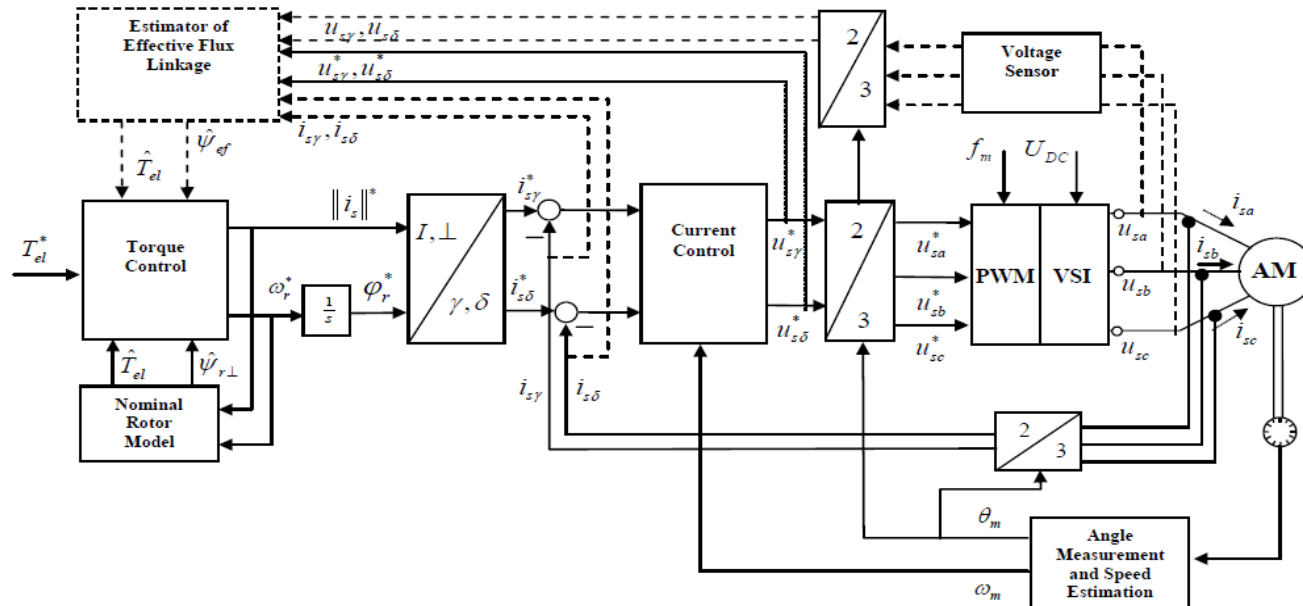
a.)



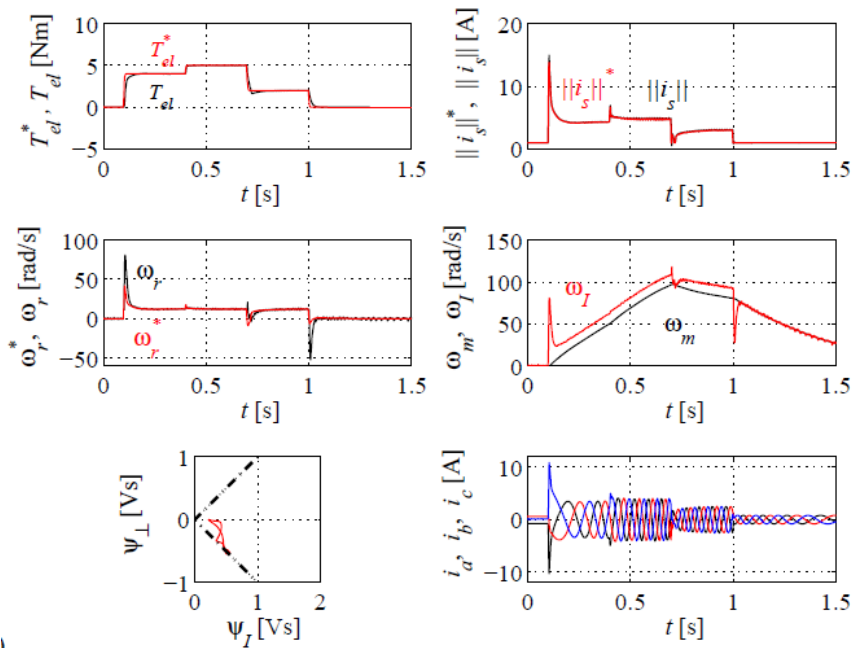
b.)



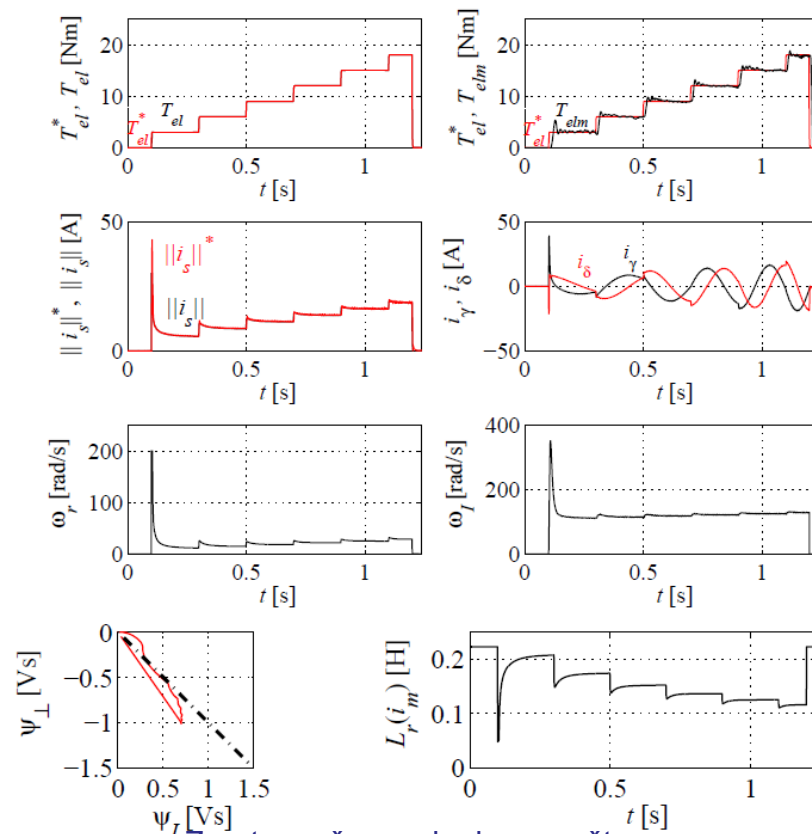
Predlagane rešitve



Rezultati



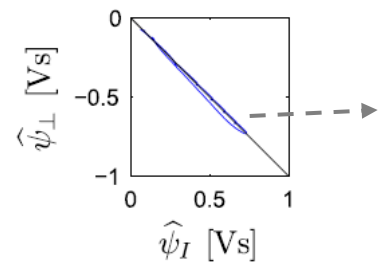
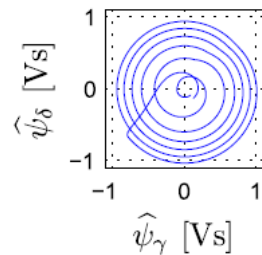
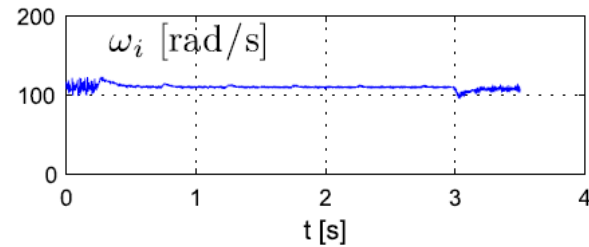
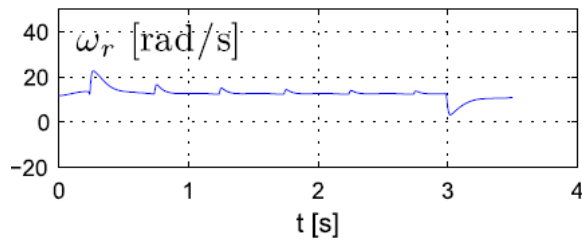
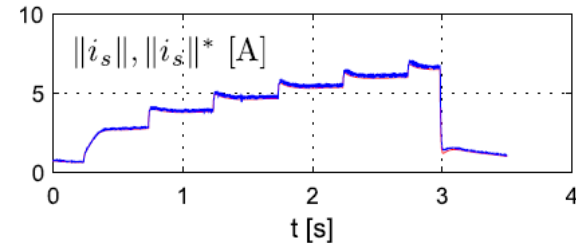
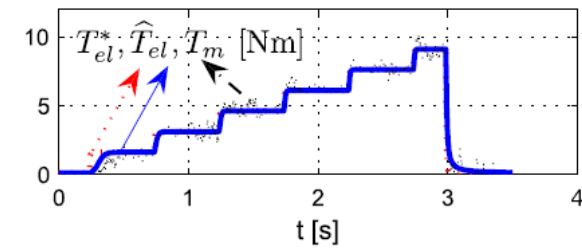
Zaprtozančno vodenje ob predpostavki linearne magnetilne karakteristike



Zaprtozančno vodenje z upoštevano nelinearno magnetilno karakteristiko

Rezultati

B. Grčar et al. / Automatica 48 (2012) 2888–2893



Zaprtozančno vodenje na osnovi
neholonomnega integratorja



JAVNA AGENCIJA ZA RAZISKOVALNO DEJAVNOST
REPUBLIKE SLOVENIJE



REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA GOSPODARSKI
RAZVOJ IN TEHNOLOGIJO

Sklep

- presežena je paradigma konstantnega rotorskega ali statorskega sklepa in potreba po ločenih zankah
- zagotovljena je visoka dinamika navora, izboljšan izkoristek , “zadostna” robustnost in formalno dokazana globalna asimptotska stabilnost
- amplitudna in frekvenčna modulacija vektorja statorskega toka zagotavlja implicitno spreminjanje rotorskega sklepa pri maksimalnem navoru v prehodnih in ustaljenih stanjih
- upoštevana magnetna nelinearnost
- enostaven prehod na hitrostno in položajno vodenje
- široko področje uporabe: obdelovalni stroji, transport, industrija, el. mobilnost,....

GRČAR, Bojan, ŠTUMBERGER, Gorazd, HOFER, Anton, CAFUTA, Peter. Im torque control schemes based on stator current vector. *IEEE transactions on industrial electronics*, ISSN 0278-0046. [Print ed.], Jan. 2014, vol. 61, iss. 1, str. 126-138, doi: [10.1109/TIE.2013.2247016](https://doi.org/10.1109/TIE.2013.2247016). [COBISS.SI-ID [16731414](https://www.cobiss.si/id/16731414)]

GRČAR, Bojan, HOFER, Anton, CAFUTA, Peter, ŠTUMBERGER, Gorazd. A contribution to the control of the non-holonomic integrator including drift. *Automatica*, ISSN 0005-1098. [Print ed.], Nov. 2012, vol. 48, iss. 11, str. 2888-2893, ilustr. [COBISS.SI-ID [16326678](https://www.cobiss.si/id/16326678)]

GRČAR, Bojan, CAFUTA, Peter, ŠTUMBERGER, Gorazd, STANKOVIČ, Aleksandar M., HOFER, Anton. Non-holonomy in induction machine torque control. *IEEE transactions on control systems technology*, ISSN 1063-6536. [Print ed.], Mar. 2011, vol. 19, no. 2, str. 367-375, doi: [10.1109/TCST.2010.2042718](https://doi.org/10.1109/TCST.2010.2042718). [COBISS.SI-ID [14609174](https://www.cobiss.si/id/14609174)]

GRČAR, Bojan, HOFER, Anton, ŠTUMBERGER, Gorazd, CAFUTA, Peter. Induction machine torque control with self-tuning capabilities. V: BELYAEV, Alexander (ur.), IRSCHIK, Hans (ur.), KROMMER, Michael (ur.). *Mechanics and model-based control of advanced engineering systems*. Wien: Springer, 2014, str. 145-153, ilustr. [COBISS.SI-ID [17785110](https://www.cobiss.si/id/17785110)]

GRČAR, Bojan, CAFUTA, Peter, ŠTUMBERGER, Gorazd, STANKOVIČ, Aleksandar M.. *Postopek in naprava za navorno vodenje asinhronskih motorjev : odločba o podelitvi patenta SI 22434 A Urada RS za intelektualno lastnino, datum objave 30.06.2008 : št. prijave patenta P 200600275, datum prijave 17.11.2006*. Ljubljana: Urad Republike Slovenije za intelektualno lastnino, 2008. 18 f. [COBISS.SI-ID [12185110](https://www.cobiss.si/id/12185110)]

