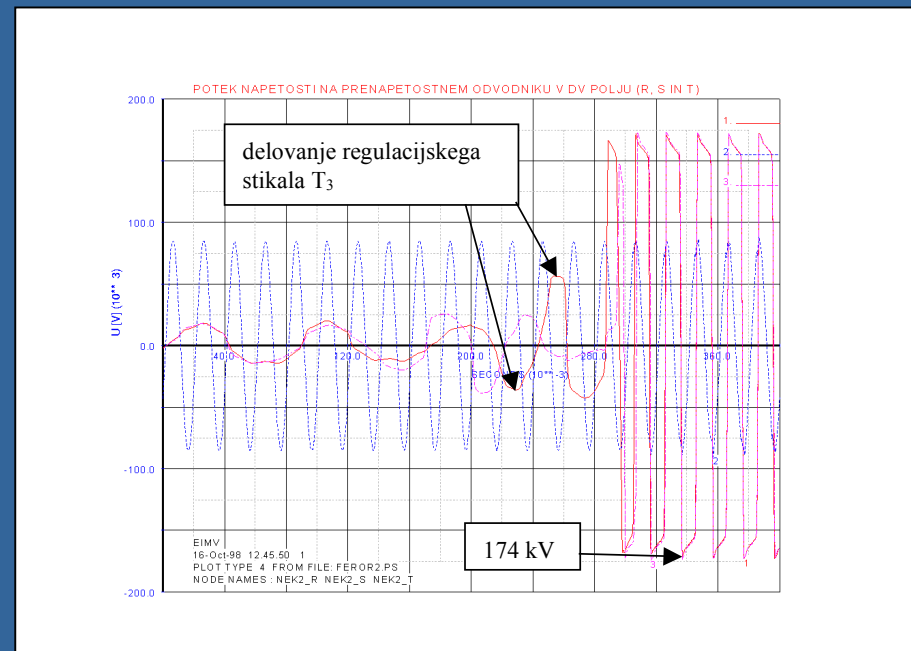


VNT

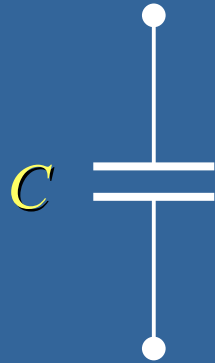
Visokonapetostna tehnika

Zaporedna in vzporedna feroresonanca

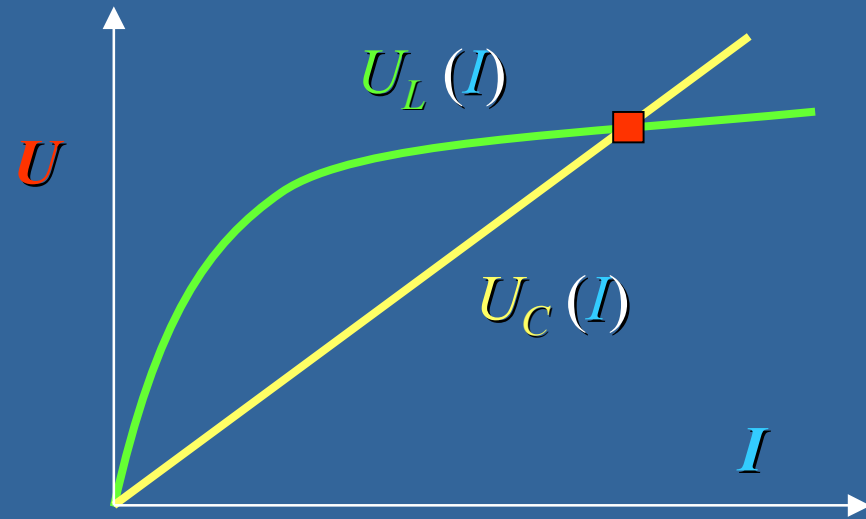




$$U_L = U_L(I)$$

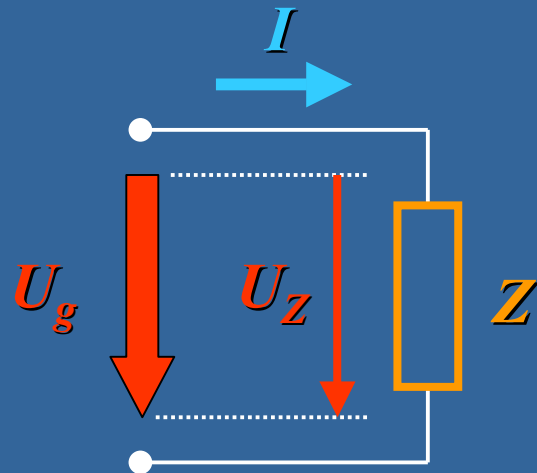


$$U_C = \frac{I}{\omega C}$$

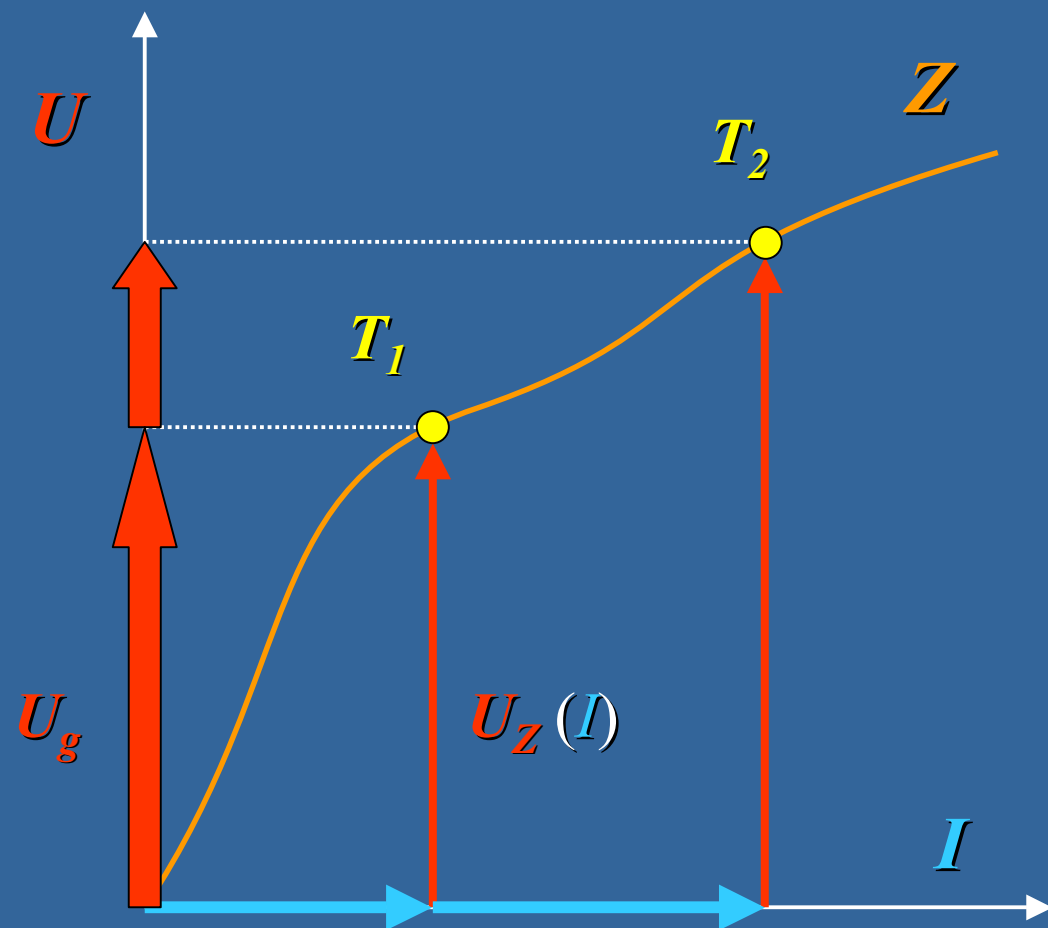


- V vezju morata biti induktivnost L in kapacitivnost C (nizka omska upornost R)
- Induktivnost L v vezju mora imeti nelinearno karakteristiko magnetenja (železno jedro)
- Karakteristika $U_C(I)$ mora sekati $U_L(I)$ nekje nad kolenom

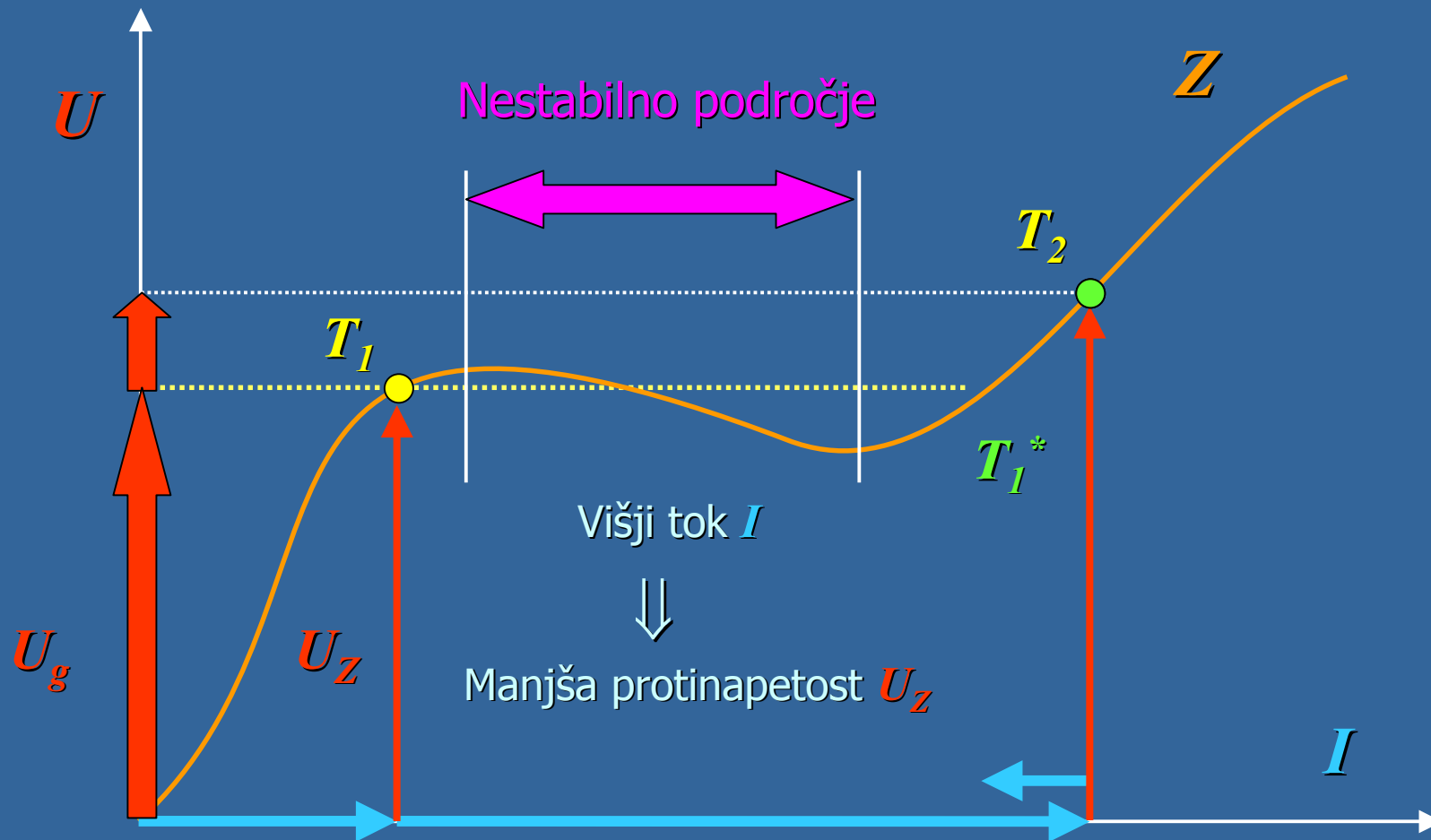
Dogajanje v vezju s poljubno impedanco Z (nelinearna $U-I$ karakteristika)



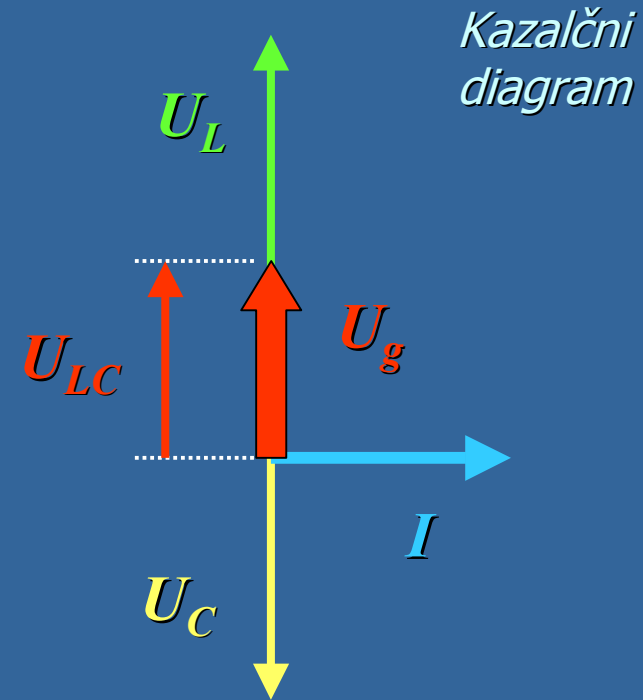
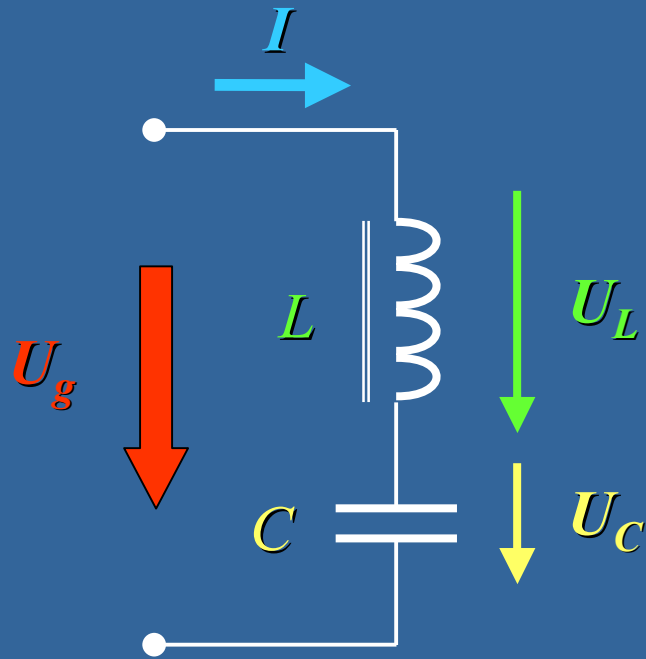
- Vsiljena napetost U_g
- Naraščanje toka I
- Ustrezna protinapetost $U_Z(I)$
- Stacionarno stanje
 $U_g = U_Z(I)$



Dogajanje v vezju z nelinearno impedanco Z in nestabilnim področjem



1. Vezje zaporedne ferorezonance



Stacionarno stanje:

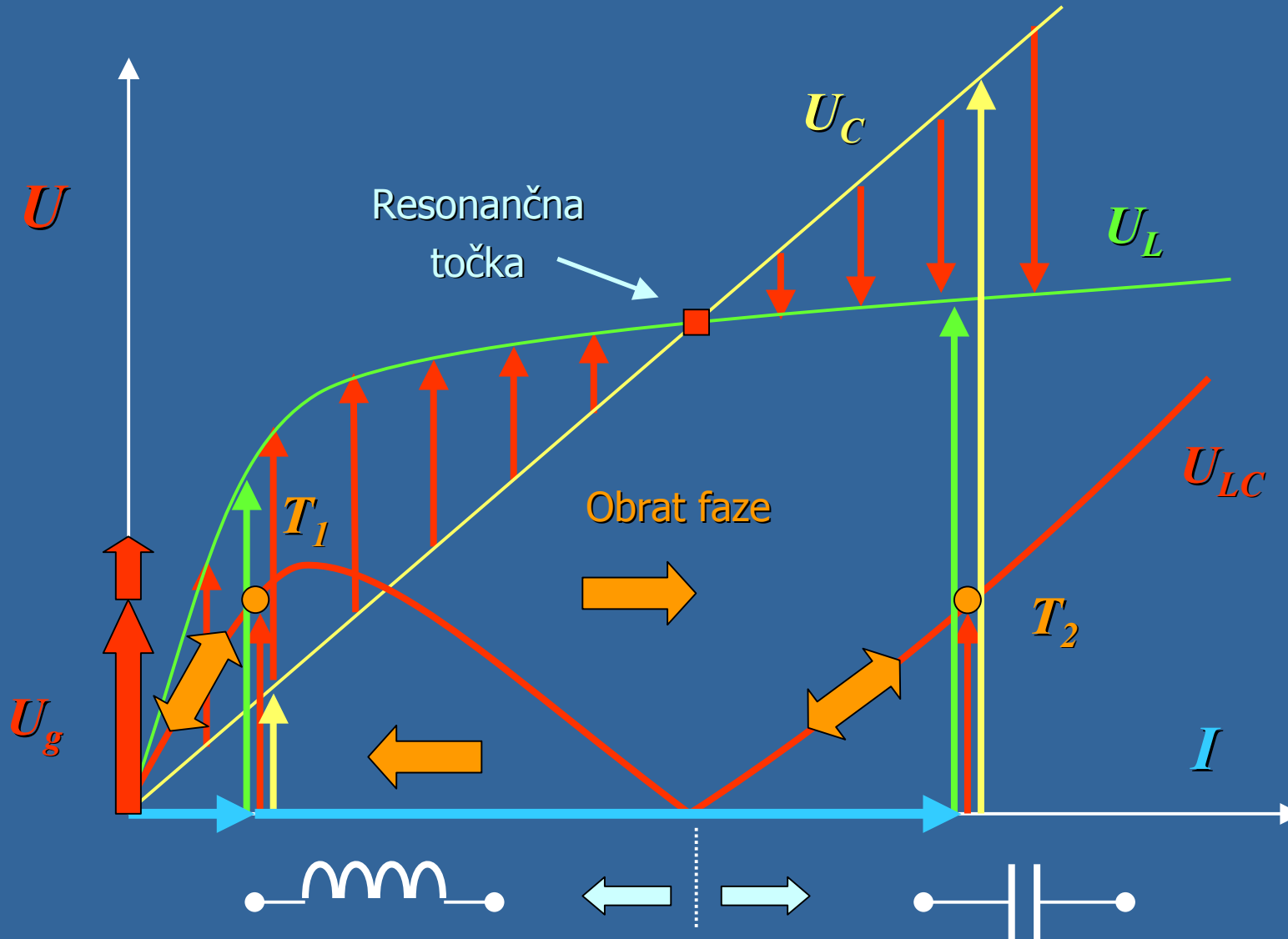
$$U_g = U_{LC} = U_L + U_C$$

$$I = I_L = I_C \quad (\text{skupen tok})$$

Napetosti vezja:

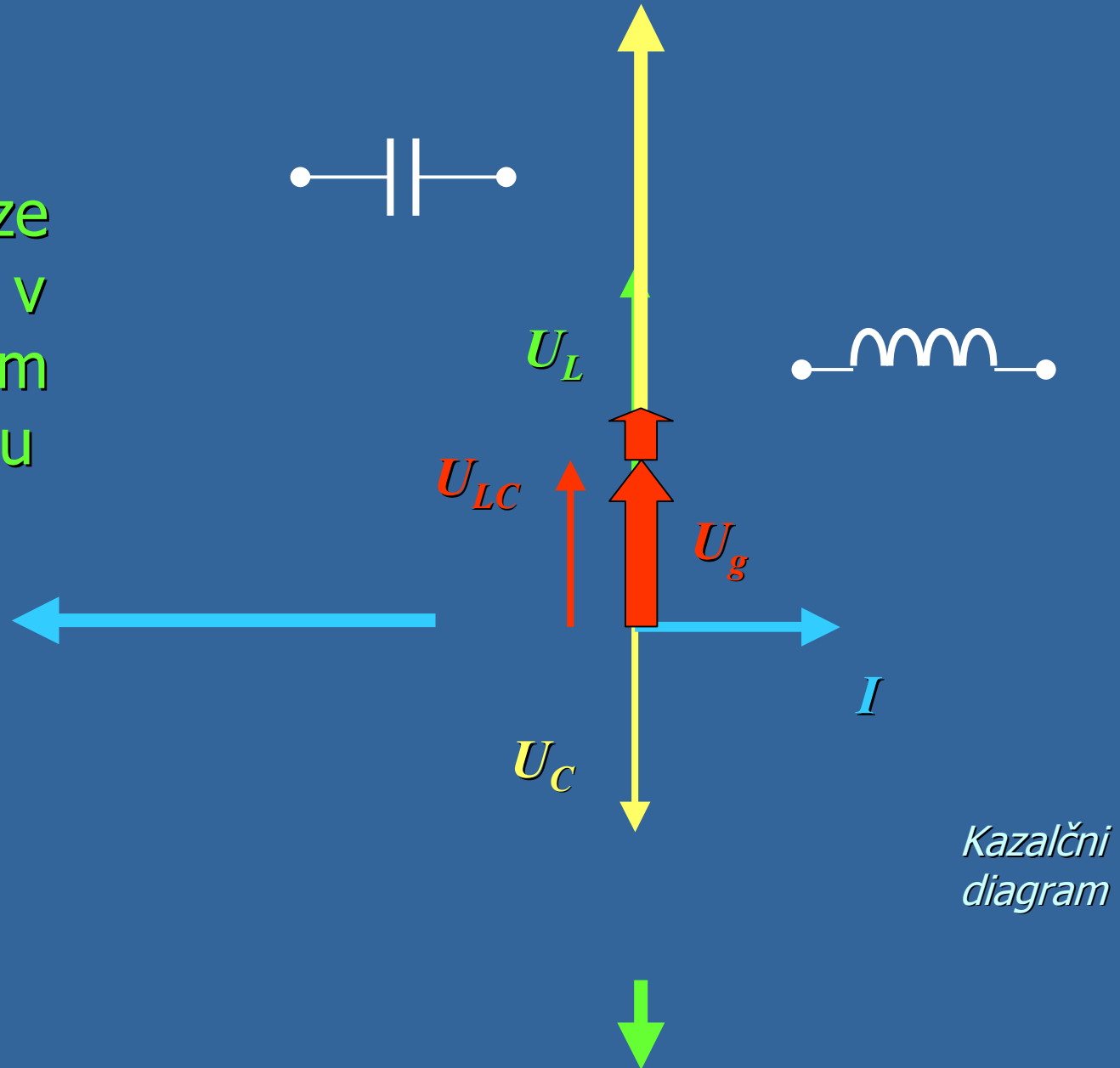
- Navzven: U_{LC}
- Navznoter: $(U_L \text{ in/ali } U_C) > U_{LC}$

Pojav zaporedne ferorezonance (obrat faze)

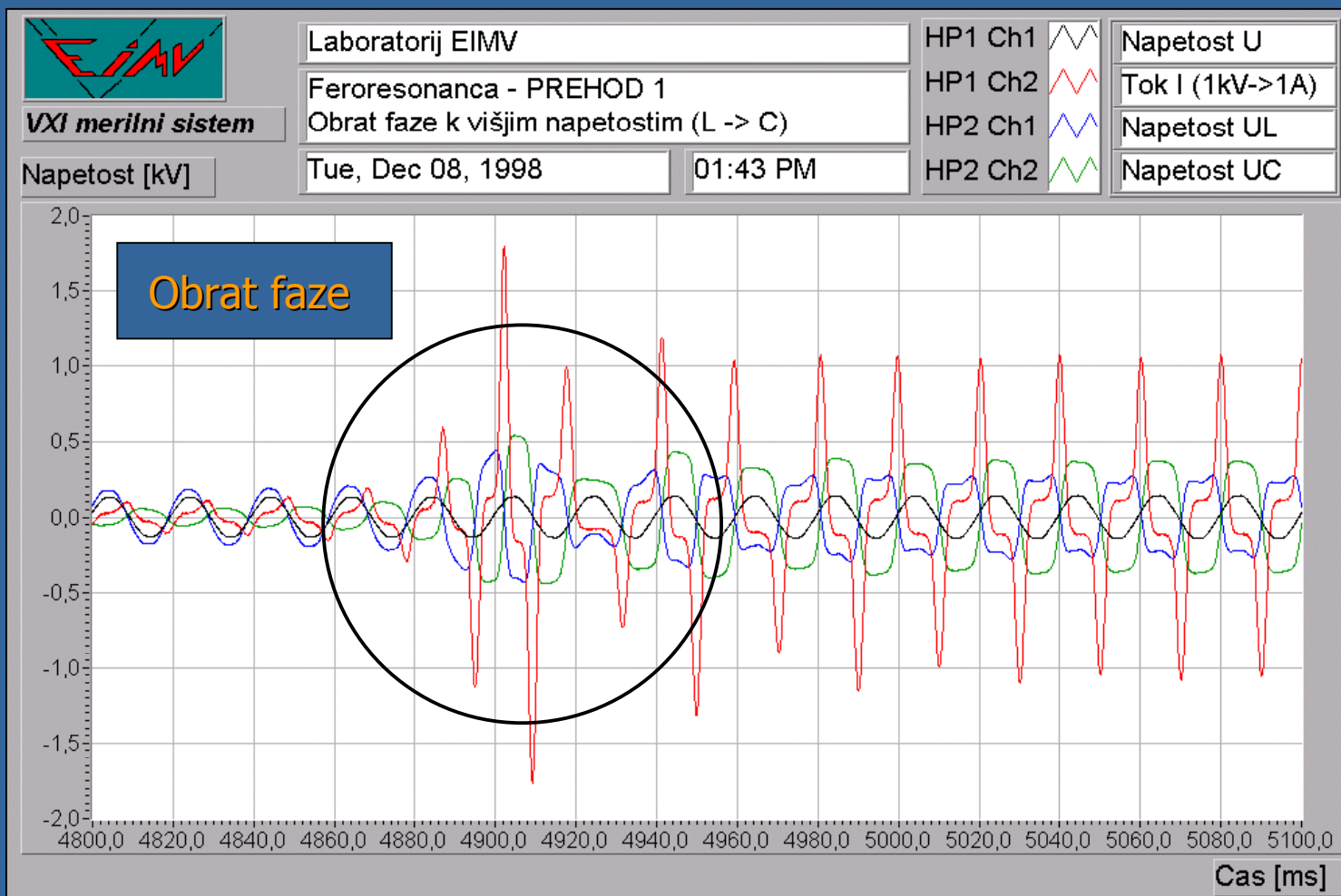


VNT

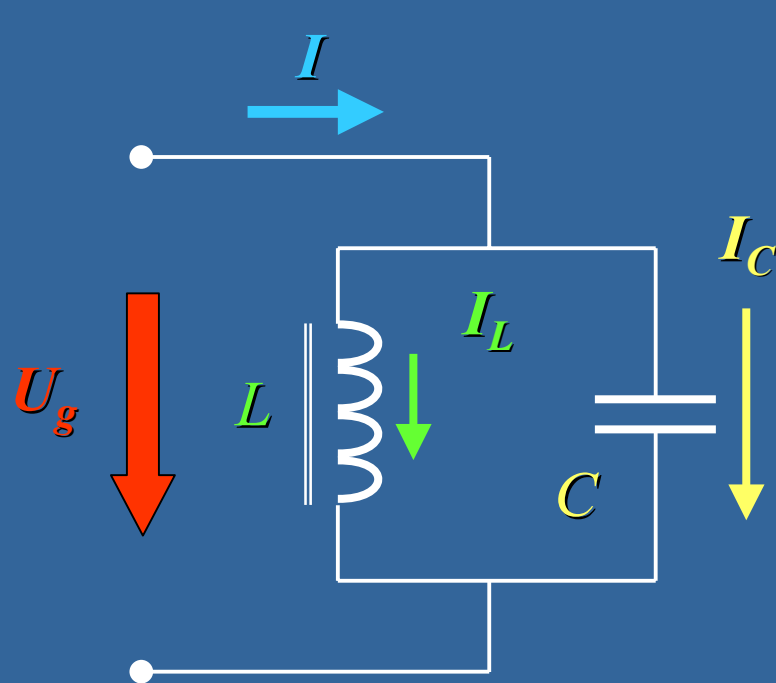
Obrat faze
prikazan v
kazalčnem
diagramu



Časovni potek izmerjenih napetosti in toka na modelu zaporedne ferorezonance



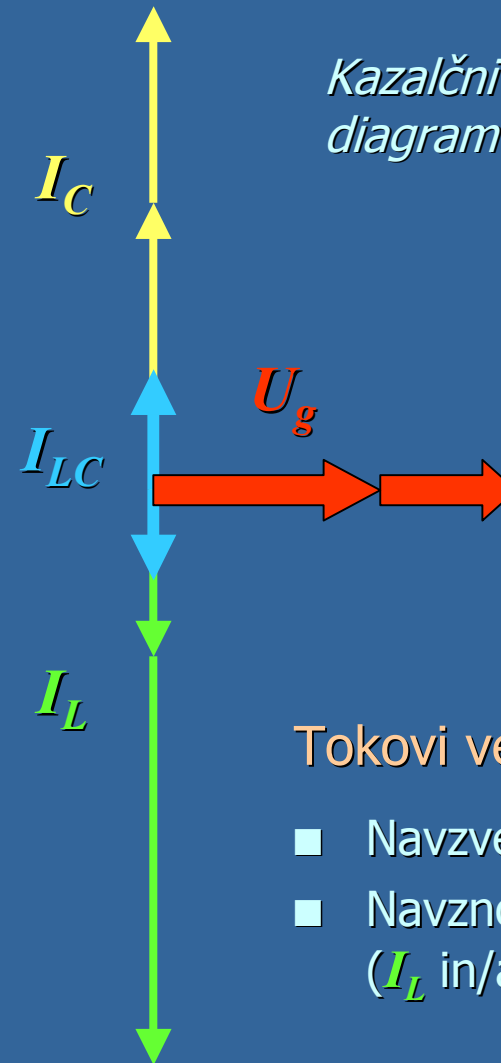
2. Vezje vzporedne ferorezonance



Stacionarno stanje

$$I = I_{LC} = I_L + I_C$$

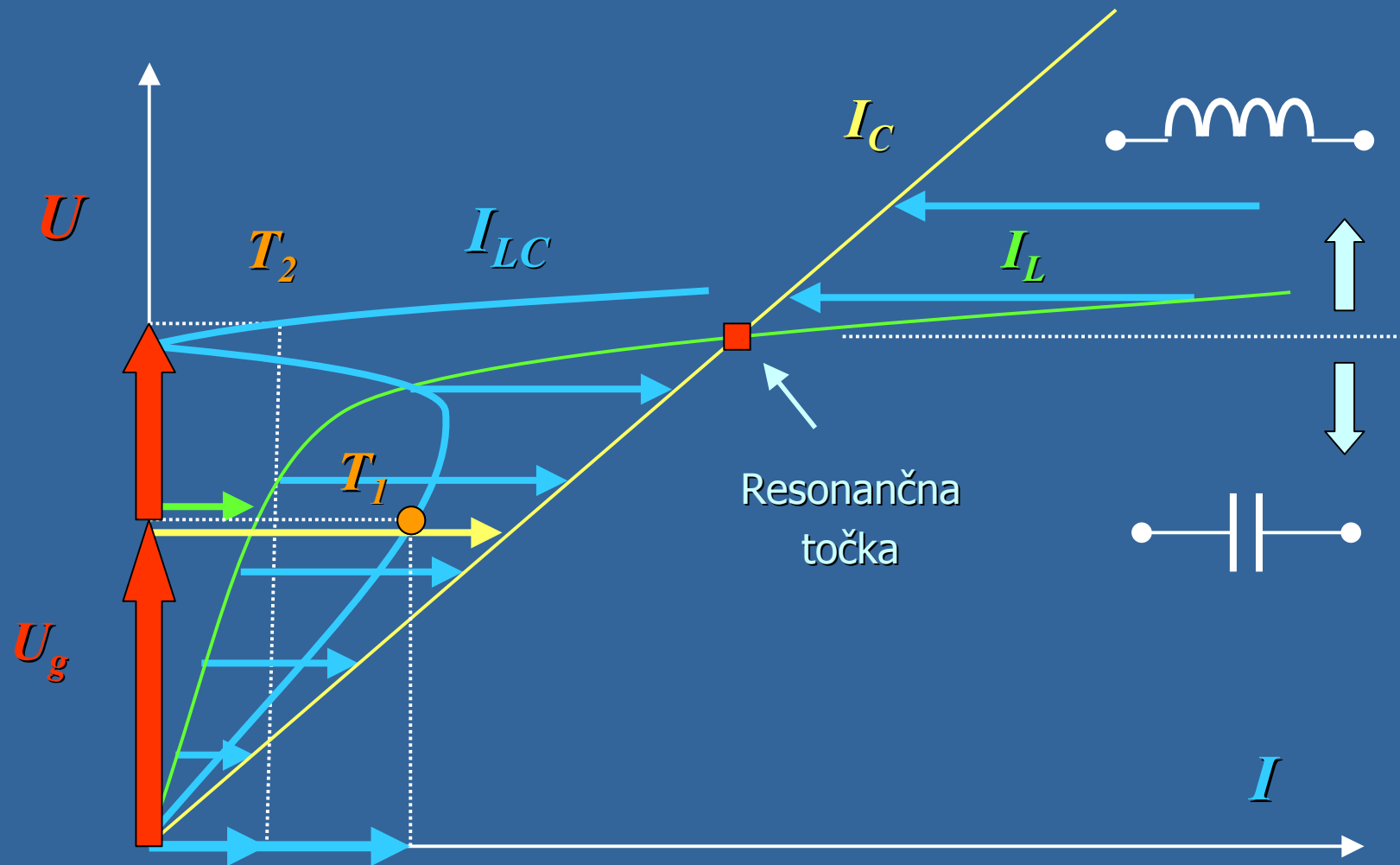
$$U_g = U_L = U_C \quad (\text{skupna napetost})$$



Tokovi vezja:

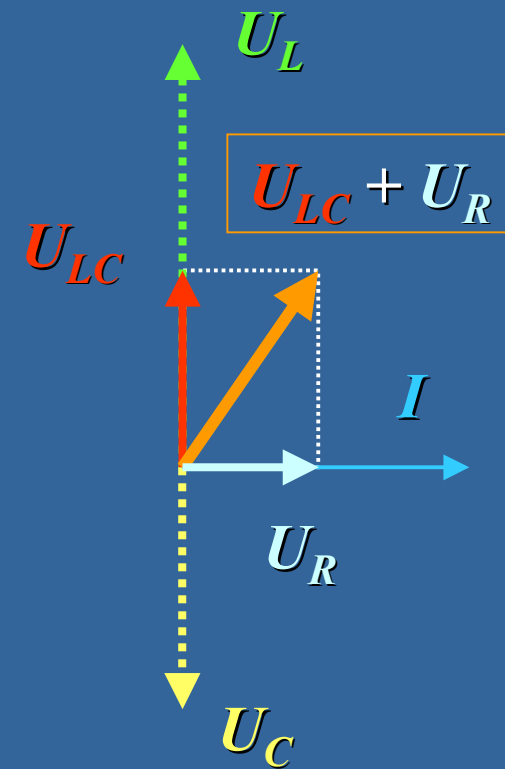
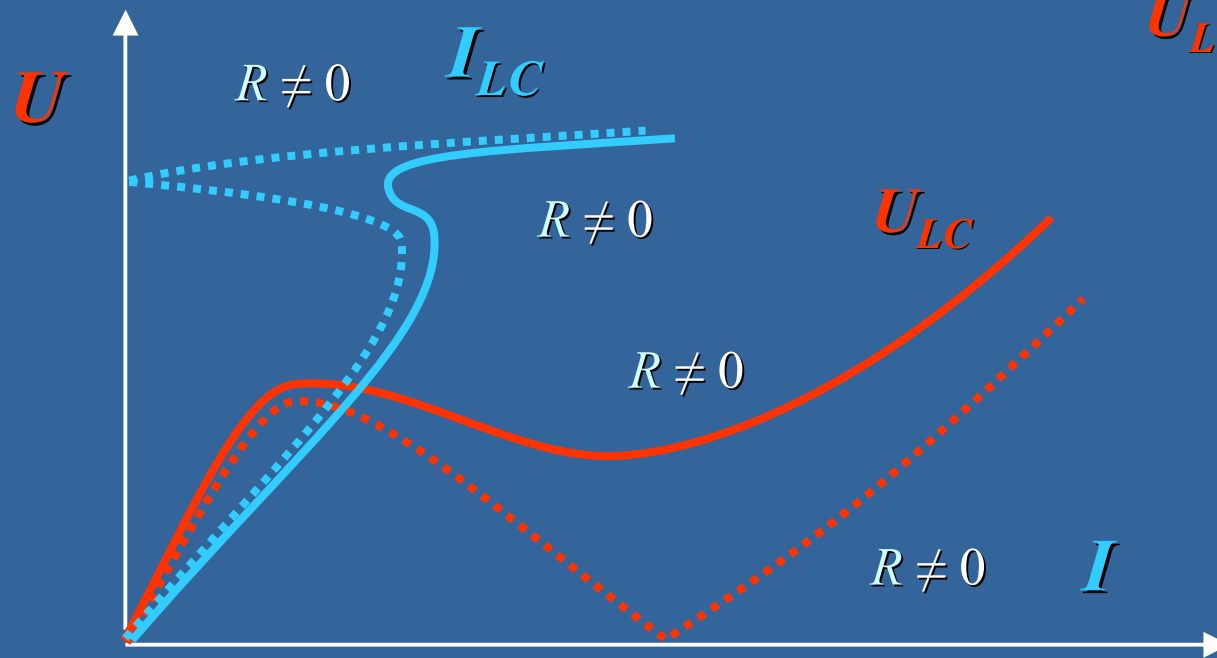
- Navzven: I_{LC}
- Navznoter: $(I_L \text{ in/ali } I_C) > I_{LC}$

Pojav vzporedne ferorezonance (brez skokovitega prehoda)



Vpliv omske upornosti na pojav ferorezonance

Zaporedna ferorezonanca

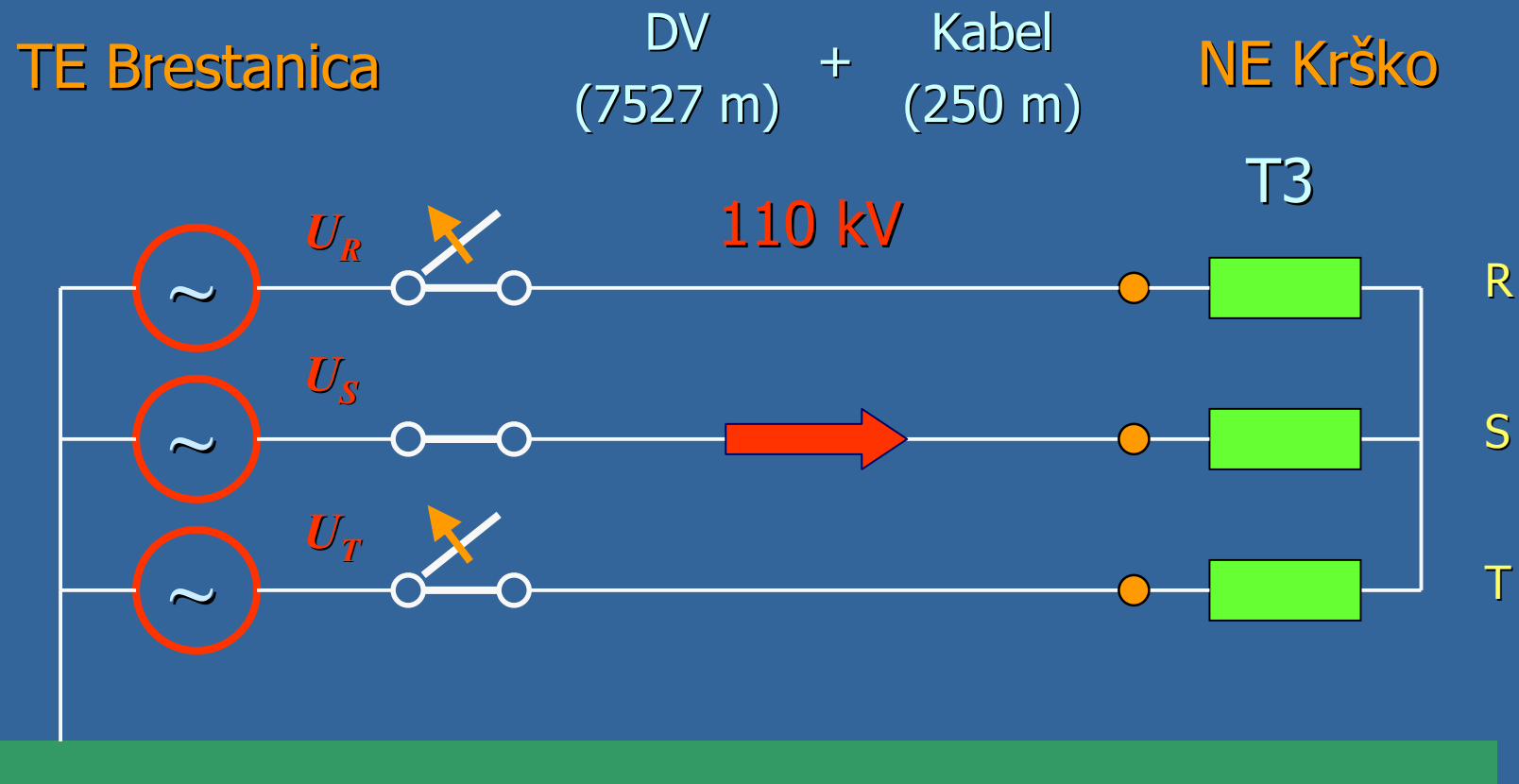


Težave z okvarami odvodnikov na 110 kV strani transformatorja lastne rabe T3 v NEK

Transformator T3 60 MVA (110/6,3/6,3 kV) v NE Krško je na 110 kV strani priključen preko daljnovoda in kabla v TE Brestanica.

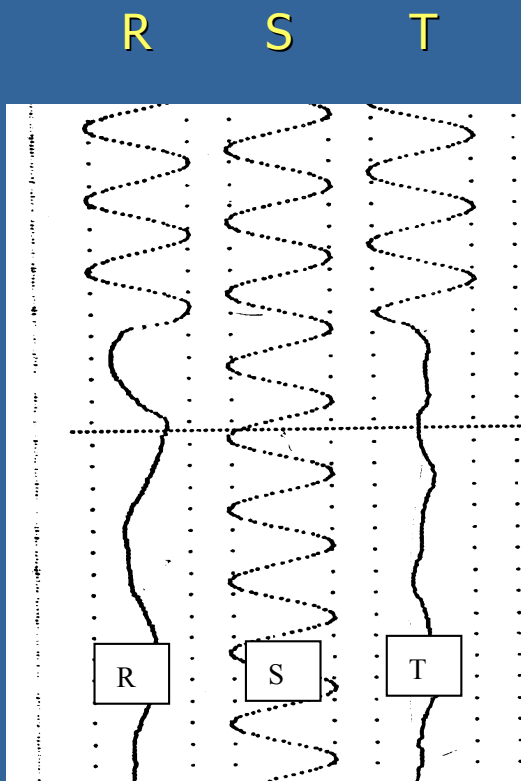
- Odvodniki se nahajajo ob skoznikih T3 (fazni priključki in nevtralna točka)
- Pogoste okvare in zamenjave odvodnikov
- Vprašanje prenapetosti, nazivne napetosti odvodnikov, ozemljevanja nevtralne točke T3

Stanje 110 kV sistema ob nepravilnem delovanju odklopnika v TE Brestanica

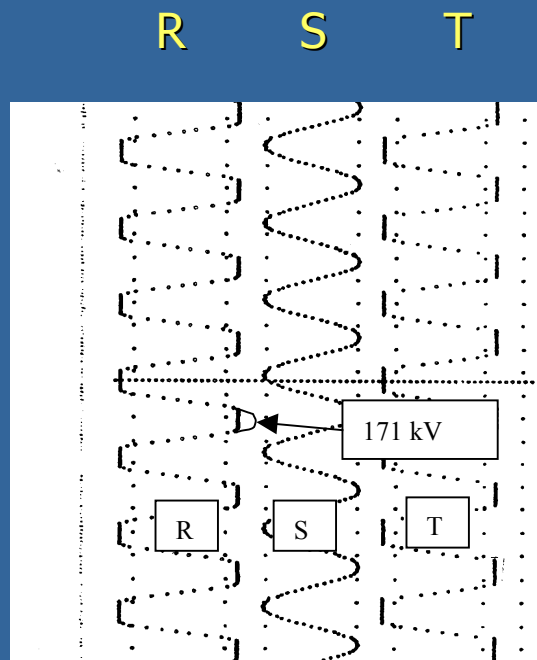


Napetosti na DV 110 kV Krško-Brestanica po nepravilnem delovanju odklopnika

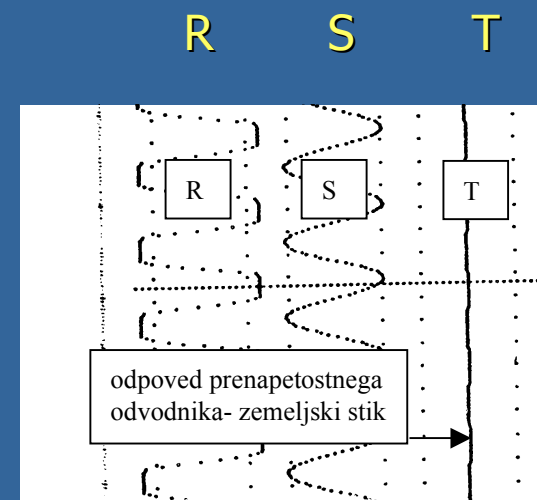
Čas dogajanja krajši od ene minute !



Napetost le v fazi S

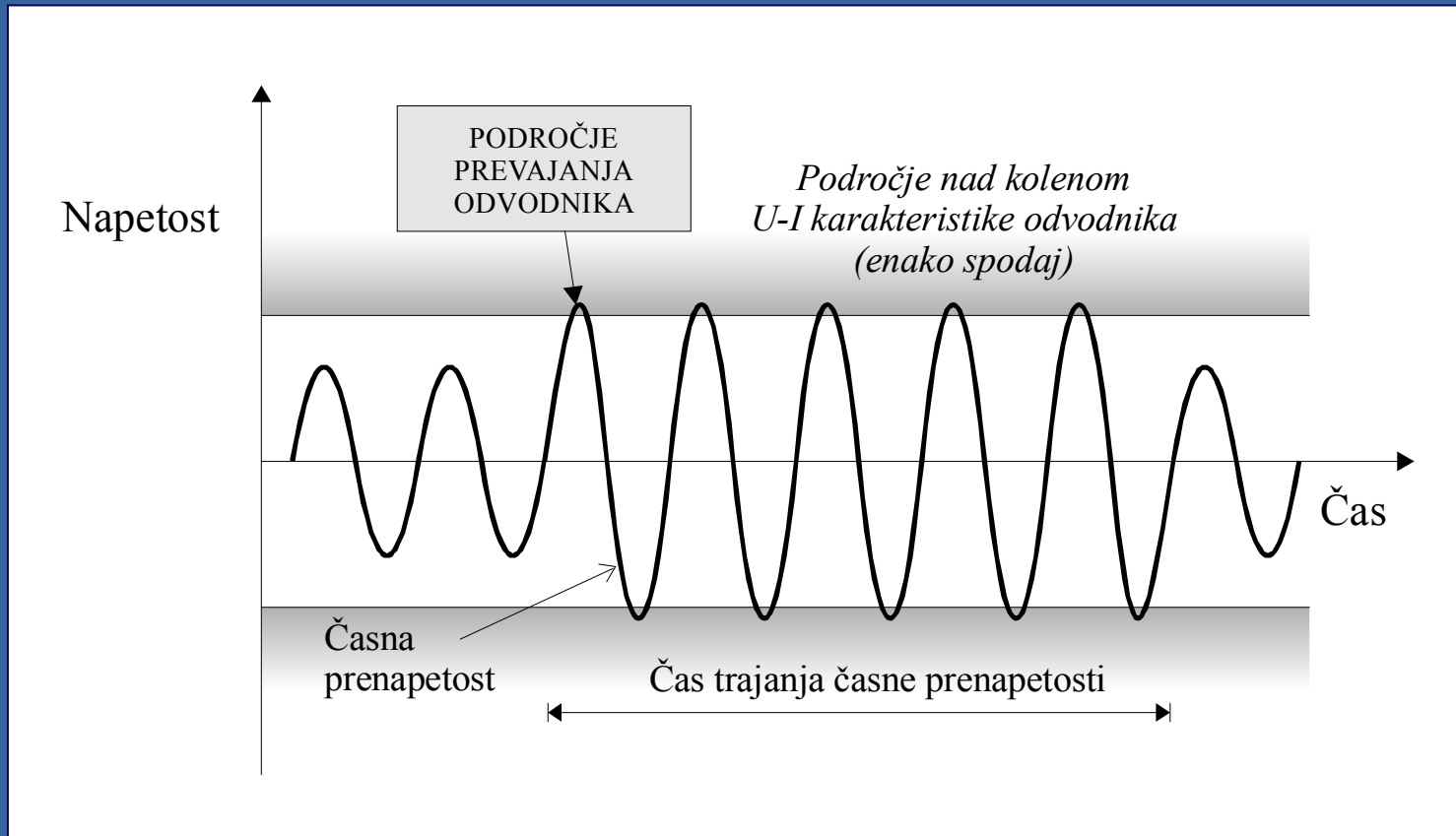


Nenaden dvig napetosti
v fazah R in T



Okvara odvodnika
v fazi S

Obremenitev odvodnika ob povišani napetosti (časna prenapetost)

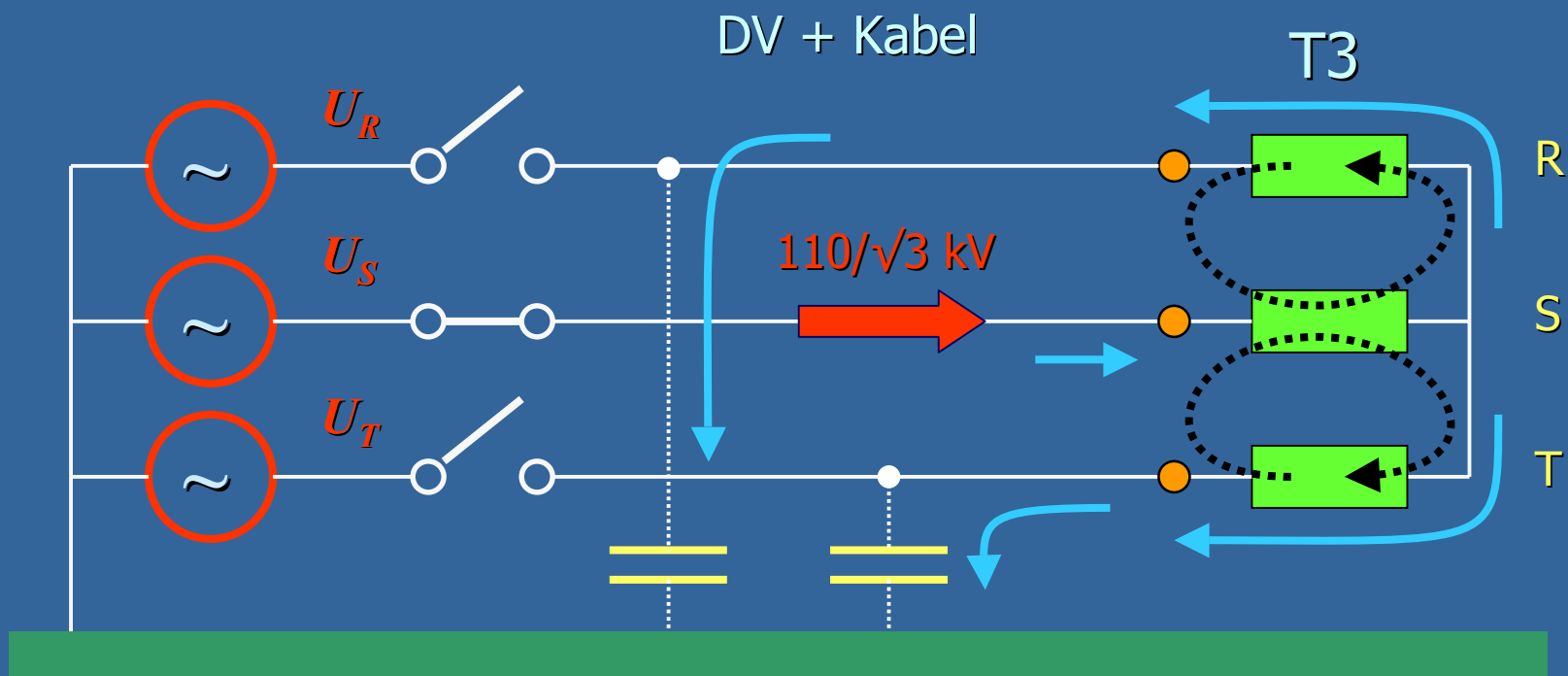


$$U_{obr} > U_r \Rightarrow \text{Povečanje: } I, P_{segr}, T_{odv} \Rightarrow \text{OKVARA}$$

Iskanje pogojev za nastanek ferroresonance v obravnavanem 110 kV sistemu

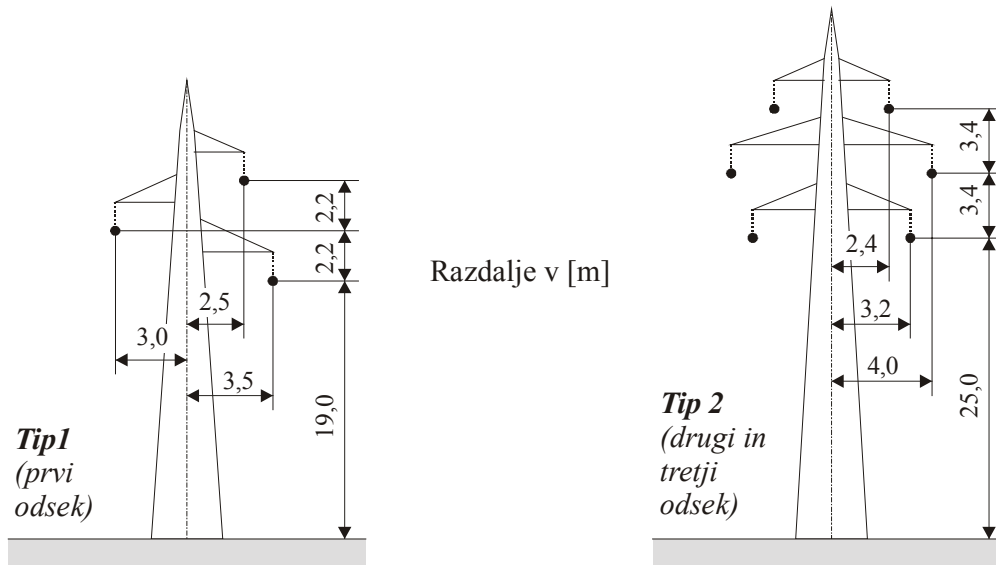
TE Brestanica

NE Krško

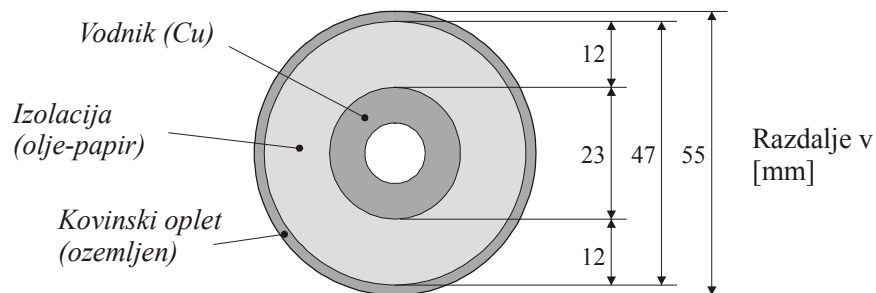


- Mesto priključka prenapetostnega odvodnika

Izračun kapacitivnosti C (daljnovod in kabel)



$$C'_{vod} = \frac{1}{18 \cdot \ln \frac{2h_{vod}}{r_{vod}}}$$



$$C'_{kab} = \frac{\epsilon_r}{18 \cdot \ln \frac{r_2}{r_1}}$$

Izračun induktivnosti $L(I)$ (enofazno napajan transformator)

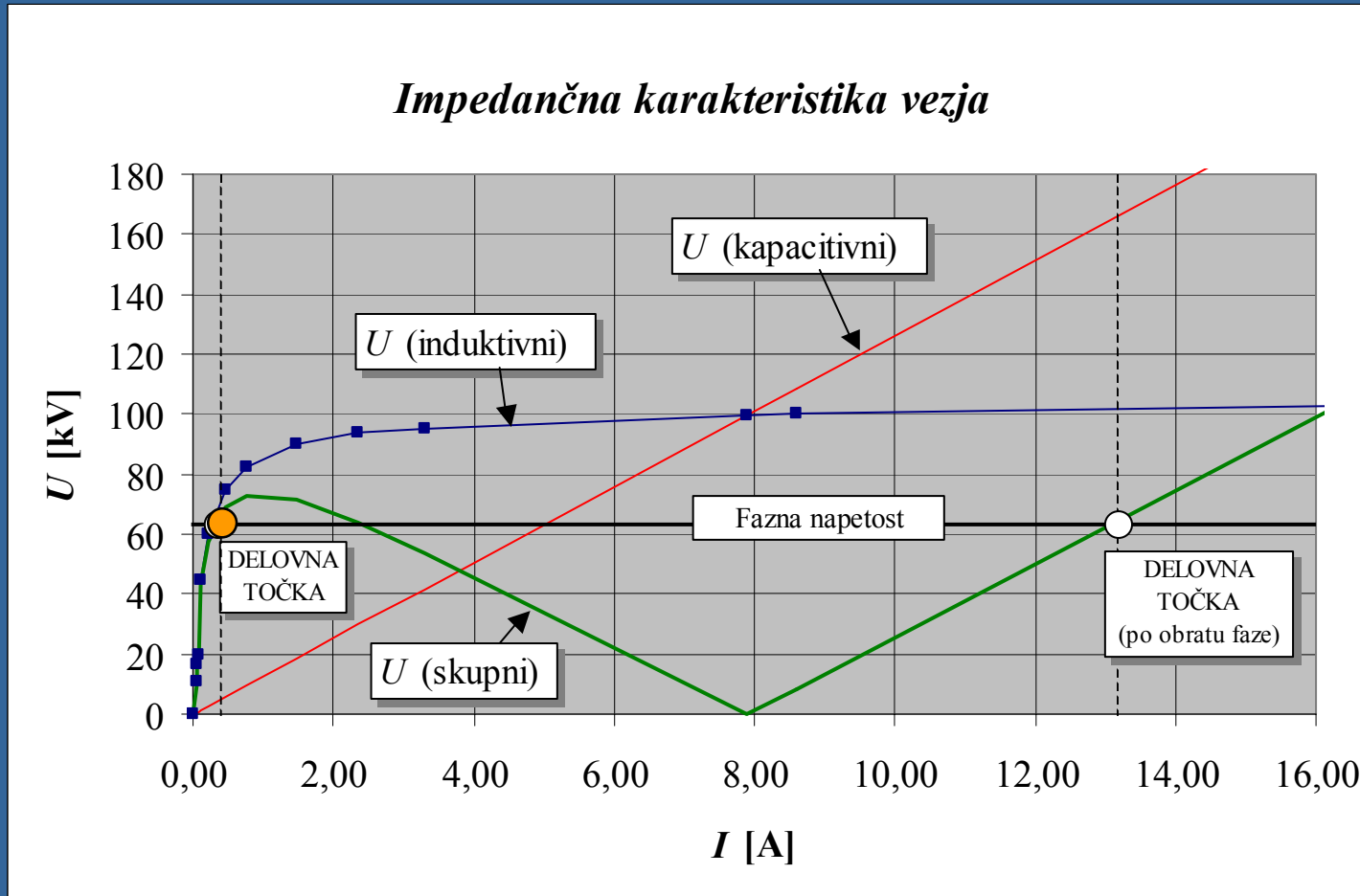
Uporabljeni so bili rezultati raznih meritev:

- Meritve tokov magnetenja pri nizki napetosti 380 V (EIMV)
- Meritve po pregledu transformatorja (Končar)
- Zgornji del karakteristike kot pri podobnih transformatorjih

$$L = 868 \text{ H} \quad \Rightarrow \quad X_L = 2 \pi f L = 273 \text{ k}\Omega \quad (\text{pri } 60 \text{ kV})$$

$$C = 253 \text{ nF} \quad \Rightarrow \quad X_C = 1 / (2 \pi f C) = 12,6 \text{ k}\Omega$$

Grafični prikaz rezultatov izračunov napetostnih razmer



Napetosti na kapacitivnosti (odvodniki) in induktivnosti (T3)

	T3		Odvodniki	
	U_L		U_C (U_R , U_T)	
	[kV]	[%]	[kV]	[%]
Pred obratom faze	69	108	5	8
Po obratu faze	102	159	166	259

Fazna napetost: $U_f(U_s) = 110/\sqrt{3} = 64 \text{ kV (100 \%)}$

Časne prenapetosti zaradi feroresonance so bile vzrok za okvare odvodnikov !