



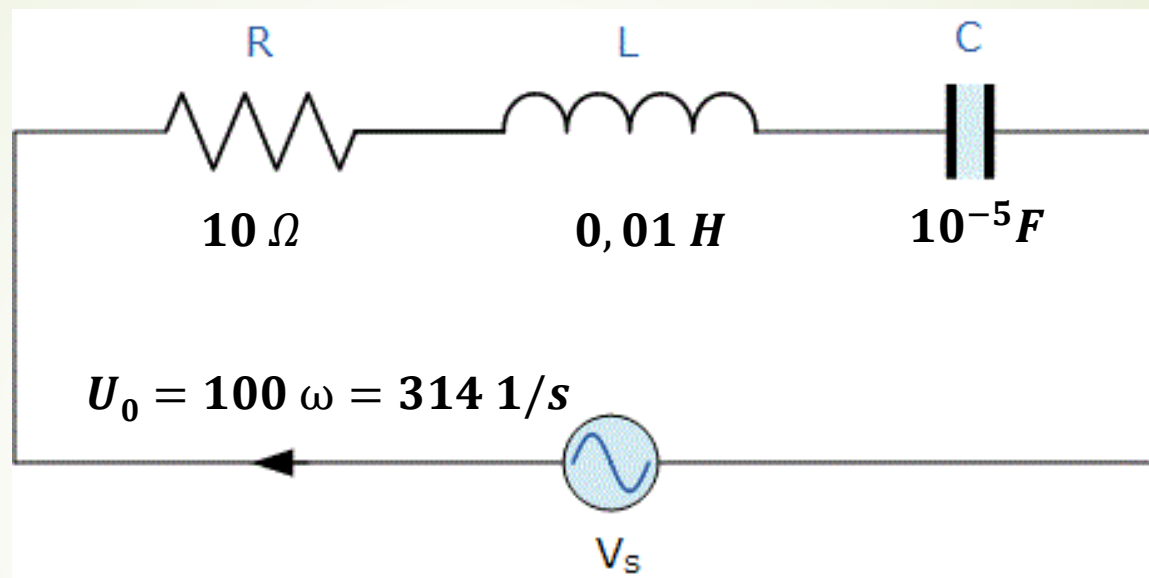
**SZÉCHENYI
EGYETEM**
UNIVERSITY OF GYŐR



Kauzalitás vizsgálatok mért jeleken

Berta Miklós

Determinisztikus fizikai rendszer



$$R \frac{dq}{dt} + L \frac{d^2q}{dt^2} + Cq = U_0 \sin(\omega t)$$

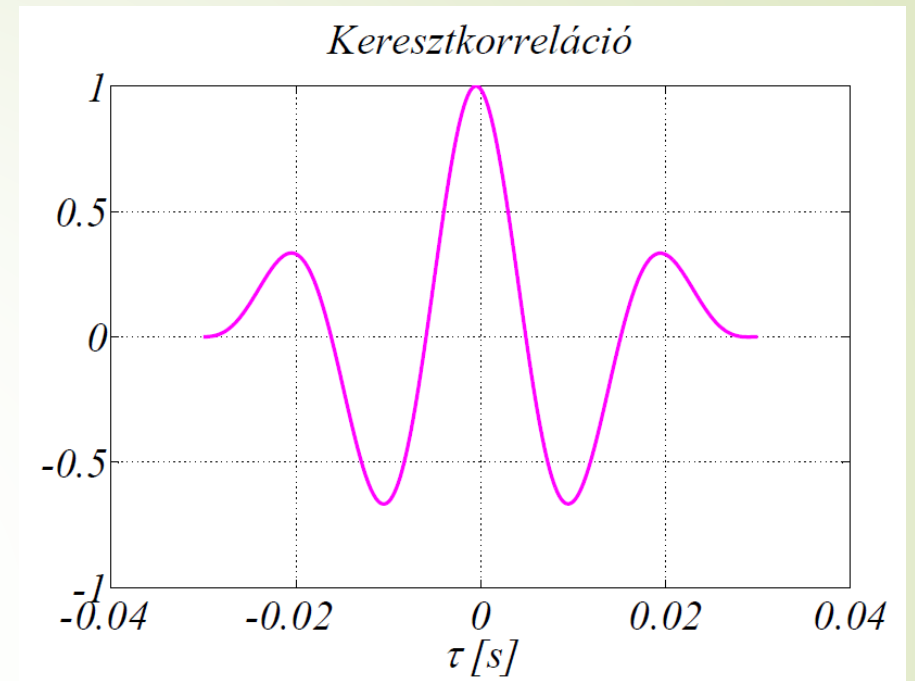
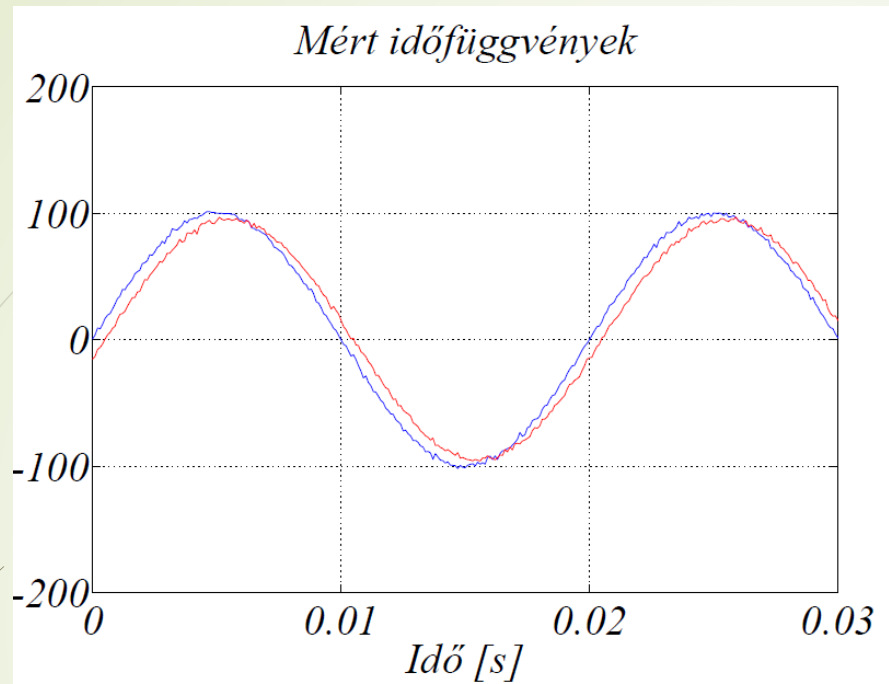
$$U(t) = U_0 \sin(\omega t)$$

$$\frac{dq}{dt} = i(t) = \frac{U_0}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \sin(\omega t + \varphi_0) \quad \varphi_0 = \arctg \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}$$

OK



OKOZAT



- Lineáris kapcsolat a két jel között
- Fáziskésés
- Nem mond semmit a kapcsolat irányáról, vagyis a kauzalitási viszonyról!

Granger - kauzalitás

y oka x-nek, ha:

- y megelőzi x-et és
- y segítségével x pontosabban előrejelezhető

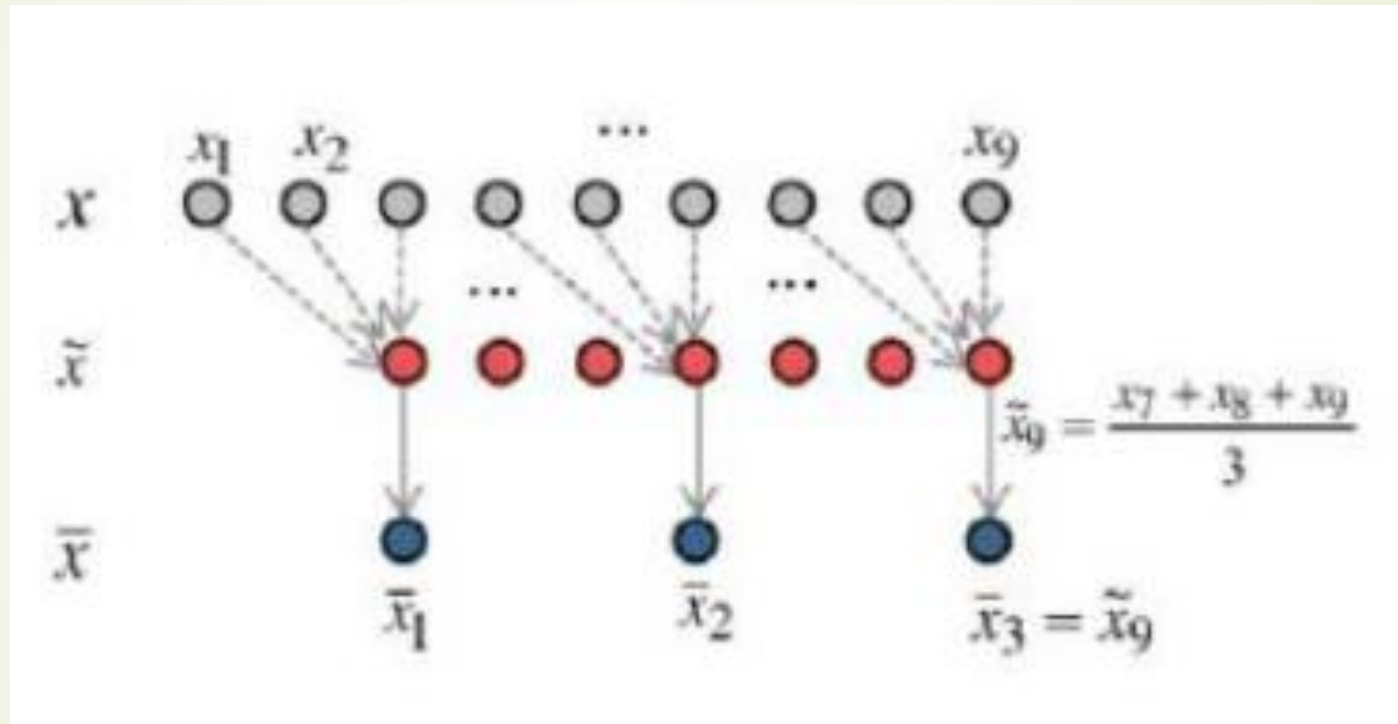
$$x_t = \sum_{i=1}^m a_i x_{t-i} + E$$

$$x_t = \sum_{i=1}^m a_i x_{t-i} + \sum_{i=1}^m b_i y_{t-i} + \varepsilon$$

$$GC_{Y \rightarrow X} = \ln \left(\frac{\text{var}(E)}{\text{var}(\varepsilon)} \right)$$

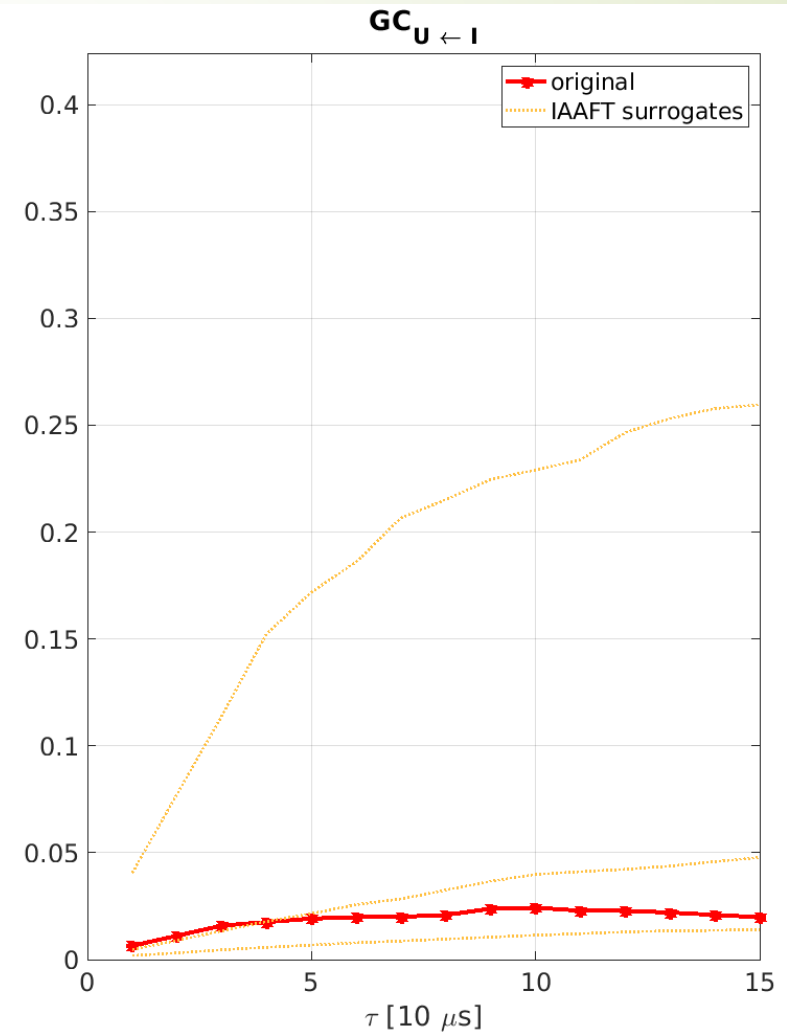
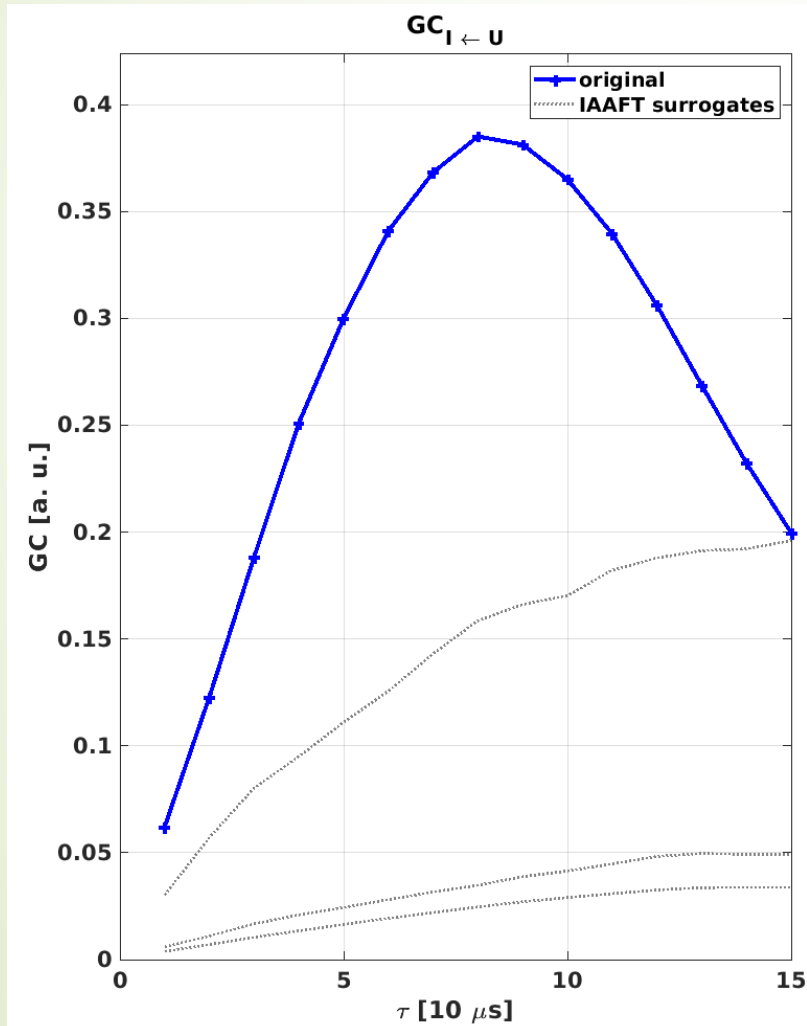
Ha $GC_{Y \rightarrow X} > 0$, akkor Y oka X-nek Granger értelemben!

Időskálák



Granger – kauzalitás a különböző időskálákon!

Granger – kauzalitás az RLC kör jelei között



Diszrupciók tokamakon

Egy lehetséges
esemény-sorrend

Mágneses
perturbáció



Plazma
vertikális
mozgása



Plazma-
sűrűség
 elvesztése



Hőmérséklet
 elvesztése



Plazmaáram
 elvesztése

Diszrupció – a forró plazma mágneses összetartásának váratlan, ellenőrizetlen összeomlása, amelyet a kisülés kialakítása követ.



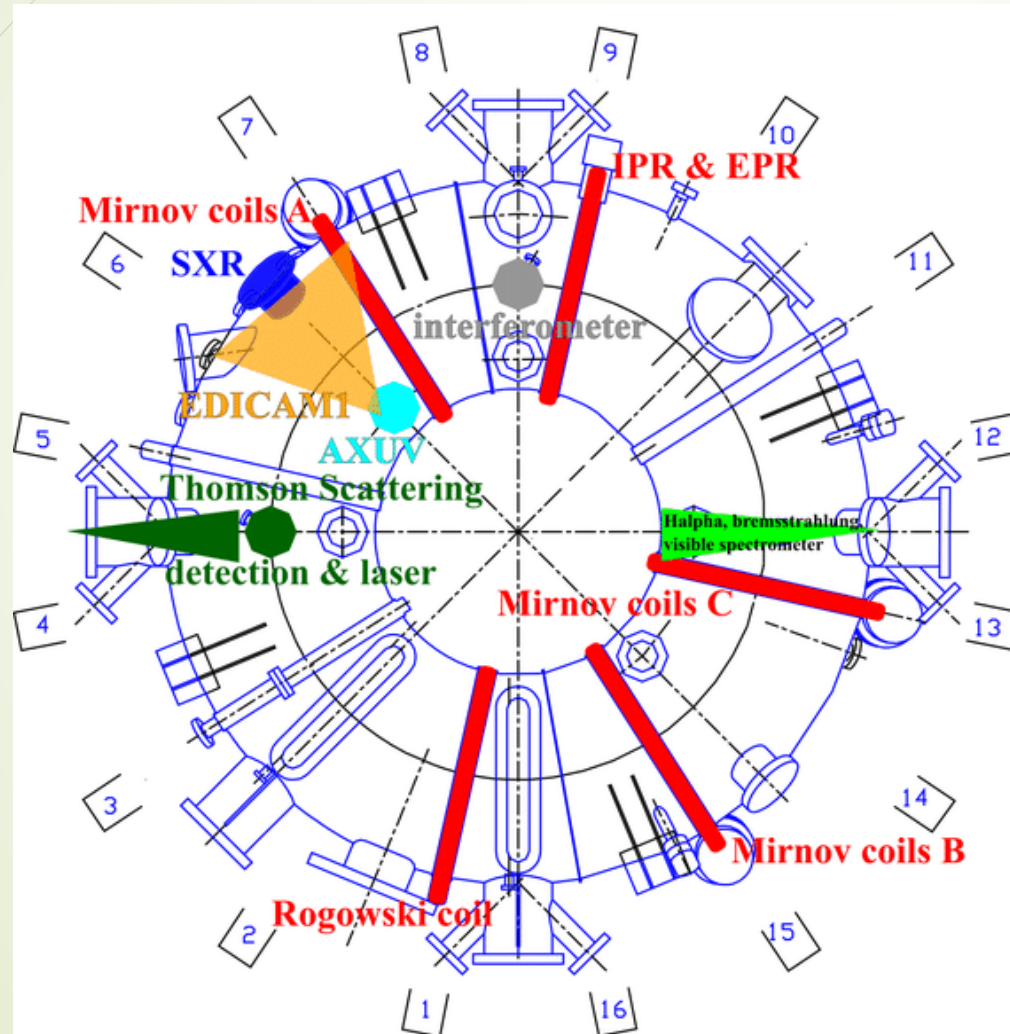
Következmények

Indukált áramok
a vákuum-
kamrában

$$\underline{F = J \times B}$$

Kamra komoly
sérülése

Diagnosztikák



IPR – tekercs, mágneses tér perturbációinak mérése

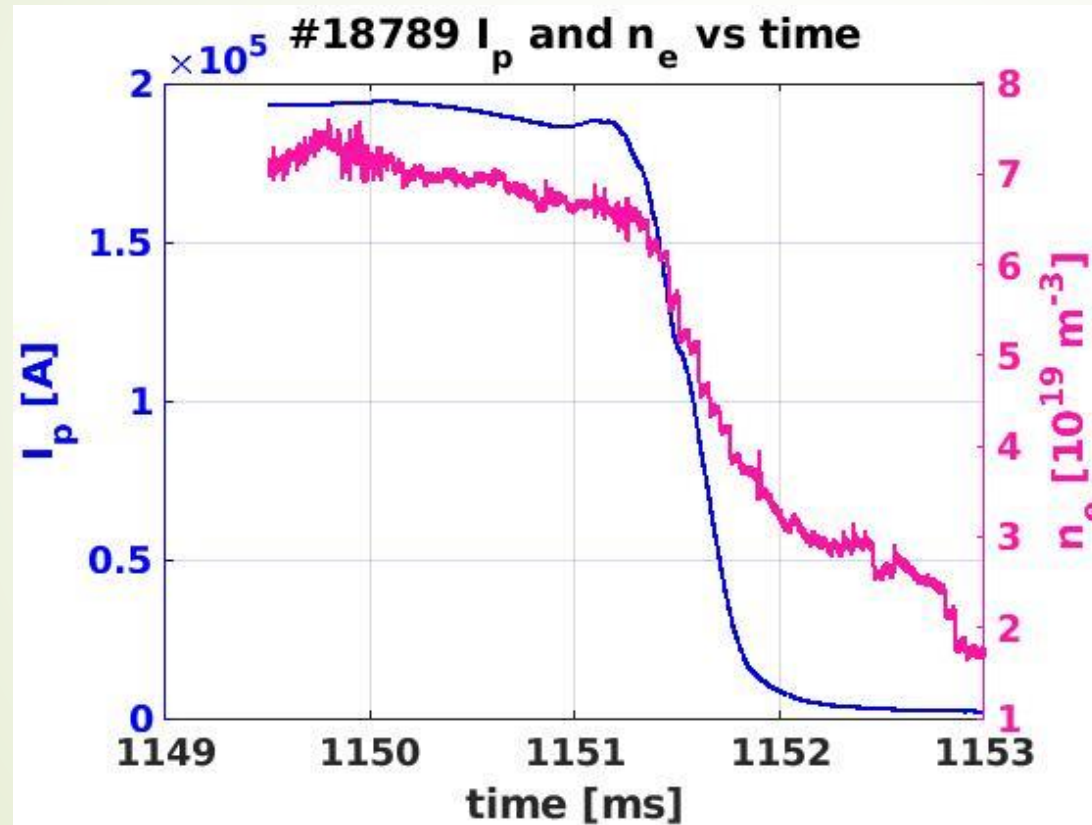
Rogowski – tekercs, plazmaáram mérése Amper törvénye alapján

Interferométer – plazma-sűrűség mérése a visszavert mikrohullám fázisváltozásai alapján

$$F_s = 2 \text{ MHz}$$

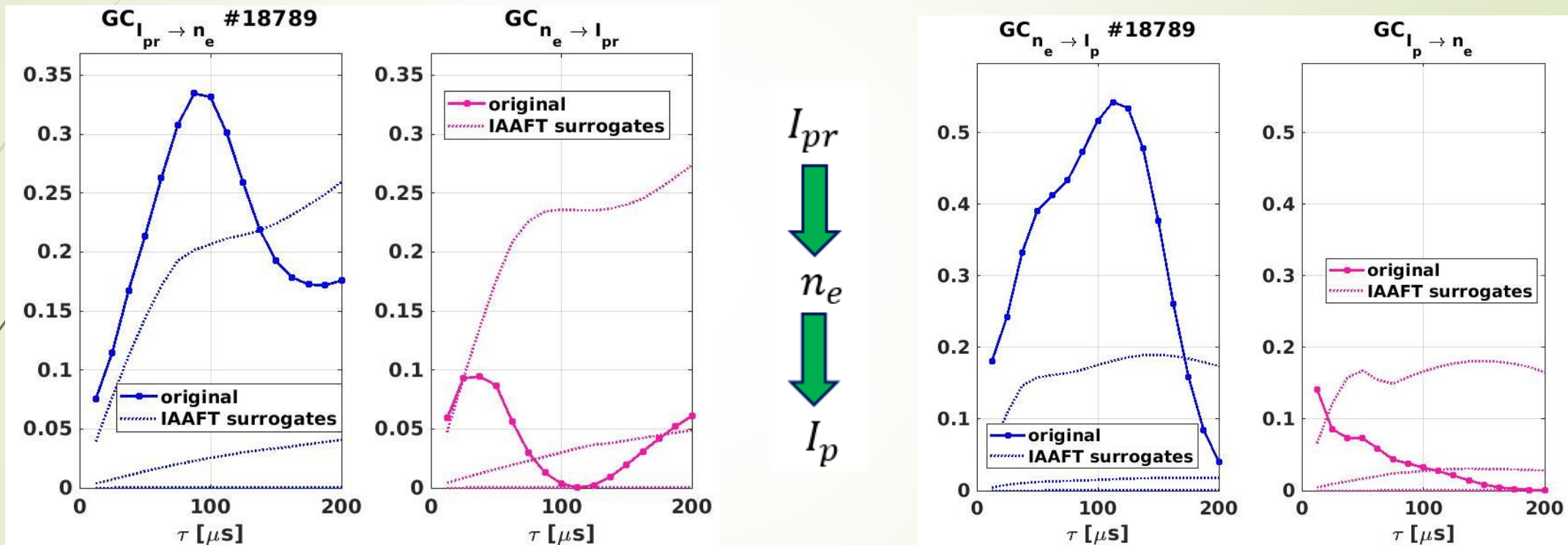
Szinkronizált jelek!

#18789 lövés



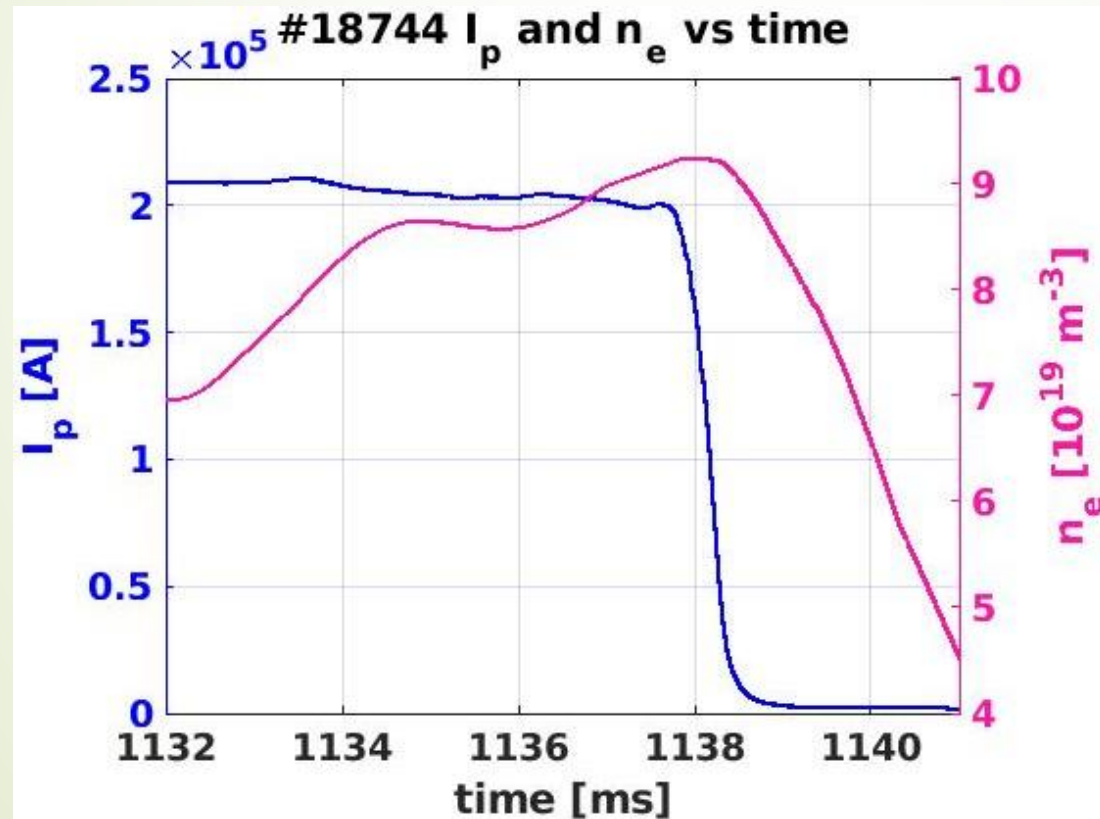
Eseménysorrend nem világos.

#18789 lövés Granger – kauzalitás analízise



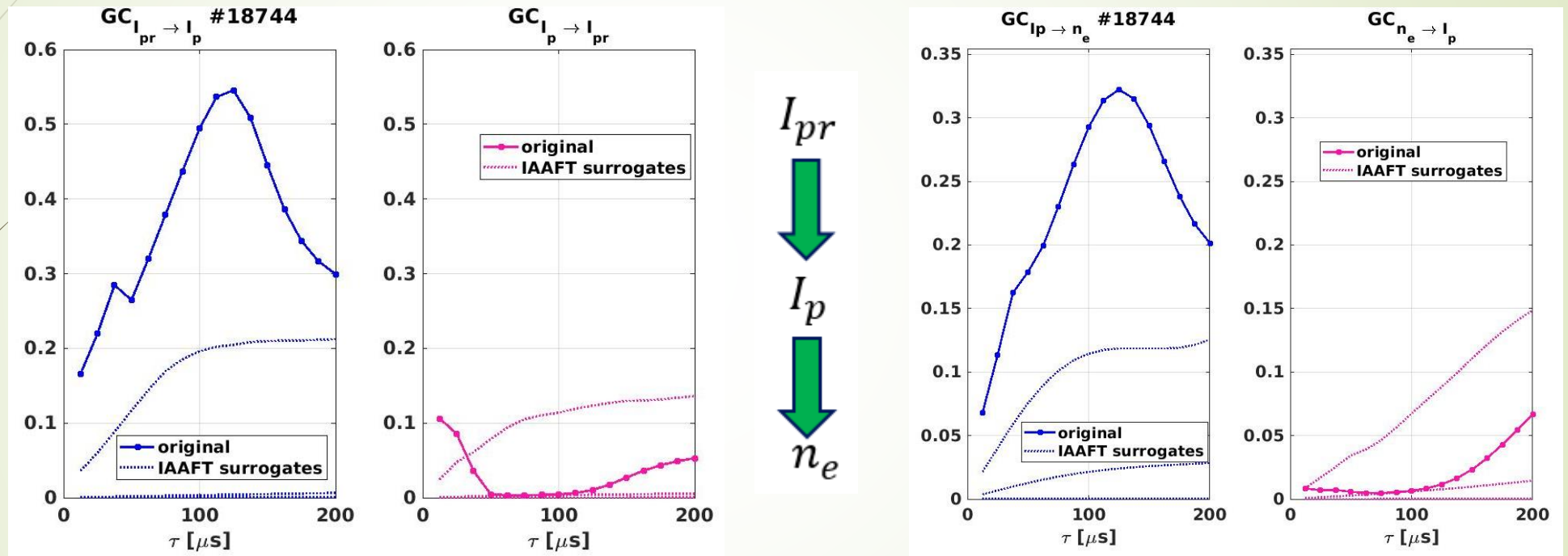
Jellemző időskála: $\sim 100 \mu\text{s}$

18744 lövés



Szemmel láthatóan
más sorrend!

#18744 lövés Granger – kauzalitás analízise



Jellemző időskála: $\sim 110 \mu\text{s}$



Összegzés

- Többskálás Granger kauzalitás első sikeres alkalmazása fúziós folyamatok dinamikájának tanulmányozására.
- Összesen 10 lövés sikeres analízise.
- Azokban a lövésekben, ahol szemmel is jól látható az események sorrendje a GK is azt a sorrendet adja!
- Azokban a lövésekben, ahol szemmel nem kivehető az események sorrendje a GK alapján a sorrend meghatározható!

Legfőbb tanulság! 😊



A tudományos
eredmények boldoggá
teszik a kutató embert!