



## Az elektromosság orvosi alkalmazásai



KAD 2016.02.17



**jelfeldolgozás** (dB, Fourier, szűrők, erősítő, frekvenciakarakterisztika, visszacsatolás)

– külön előadás volt

**bioelektromos jelenségek** (membrán-, nyugalmi-, akciós potenciál)

– külön előadás lesz

### az elektromosság orvosi alkalmazásai

RC körök, feltöltődés, kisülés, időállandó  
ideális négyzögimpulzusok és reális négyzögimpulzusok (szűrők hatása)  
ingeráram karakterisztika, reobázis, kronaxia  
szinuszoszcillátor és hőterápia izom és ízületi betegségek kezelésére  
nagyfrekvenciás sebészeti  
lökéshullám terápia

kapcsolódó gyakorlatok:

1. félévben: mérőműszerek, bőrimpedancia
2. félévben: Coulter, erősítő, EKG, impulzusgenerátorok, audiometria, szenzor, áramlás

2

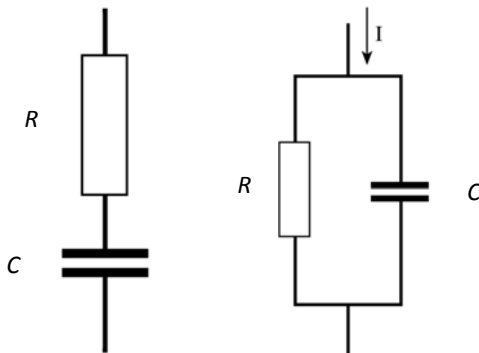
### RC-körök egyenáramú áramkörben

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

$$C = \frac{Q}{U}$$

$$C = \epsilon \frac{A}{l}$$

$$E = \frac{1}{2} C U^2$$



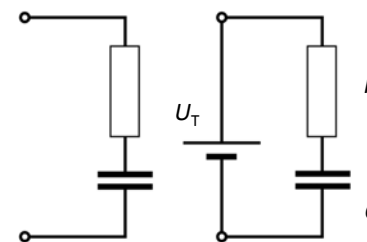
soros RC kör

párhuzamos RC kör

bőrünk elektromos viselkedése,  
bőrimpedancia gyakorlat

3

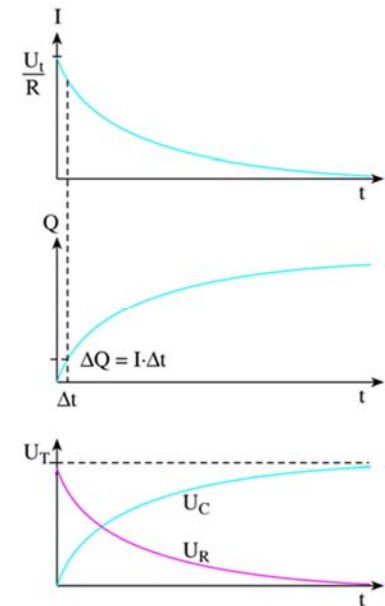
### Soros RC-kör feltöltődése



soros RC-kör és feltöltődése

$$U_R = RI = U_T e^{-\frac{t}{RC}}$$

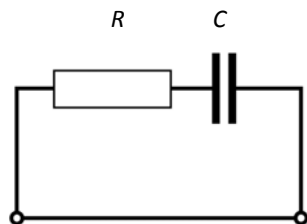
$$U_C = U_T - U_R = U_T (1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$



tkv. VII. 6. ábra

tkv. VII. 7. ábra

## Soros RC-kör kisülése



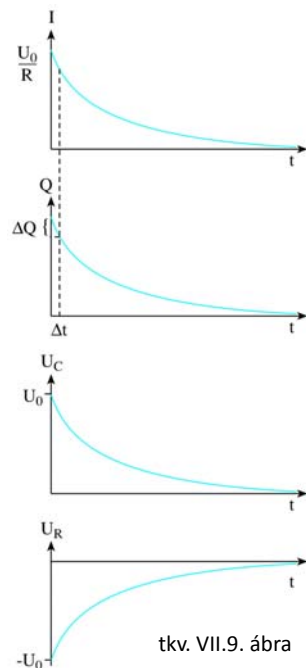
soros RC-kör és kisülése

$$U_R = RI = U_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$U_C = -U_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

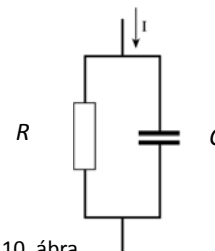
$\tau = RC$  időállandó  
(v.ö. radioaktív/fluor. élettartam)

tkv. VII. 8. ábra



tkv. VII.9. ábra

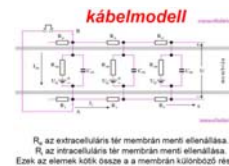
## Párhuzamos RC-kör feltöltődése



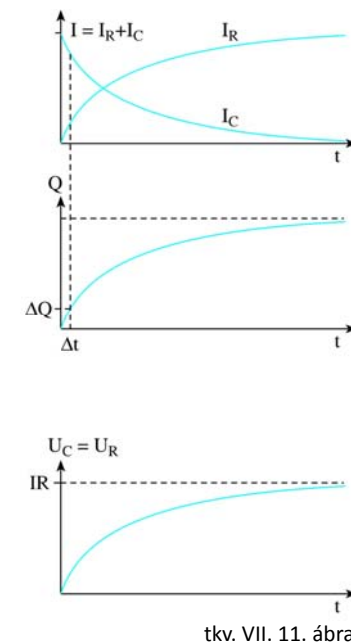
tkv. VII. 10. ábra

$$U_C = U_R = RI(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

Párhuzamos RC-kör kisülése  $\equiv$   
soros RC-kör kisülése

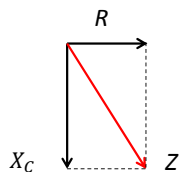


Sejtmembrán mint RC-kör  
(I. „Bioelektromos  
jelenségek” előadás)  
számolási feladatok: 82, 83



tkv. VII. 11. ábra

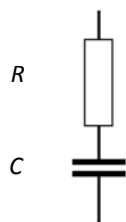
## RC-elemek váltakozó áramú körben



Pitagorasz tétel

az összeadódó mennyiség

számolási feladat: 84

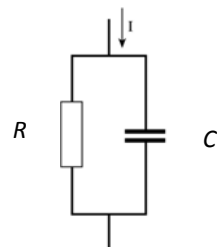


soros RC kör

ellenállás

$$R, \quad X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$



párhuzamos RC kör

vezetőképesség = 1/ellenállás

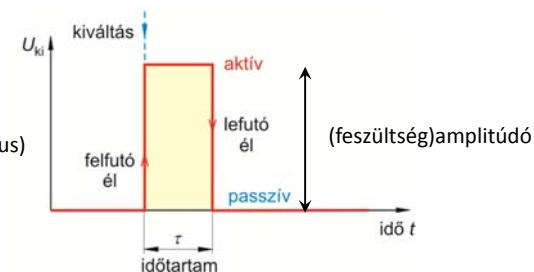
$$\frac{1}{R}, \quad \frac{1}{X_C}$$

$$\frac{1}{Z} = \sqrt{\frac{1}{R^2} + \frac{1}{X_C^2}}$$

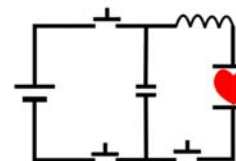
7

## Elektromos négyszögimpulzusok jellemzői

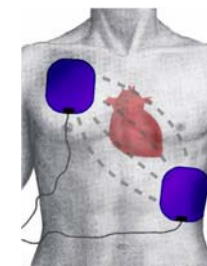
1 négyszögimpulzus  
(legegyszerűbb impulzus)



pl. defibrillátor impulzusa

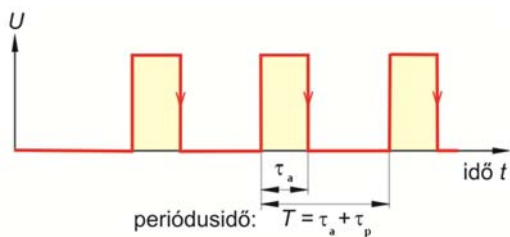


számolási feladat: 91



8

periodikus  
négyzögimpulzusok



periódusidő:  $T = \tau_a + \tau_p$

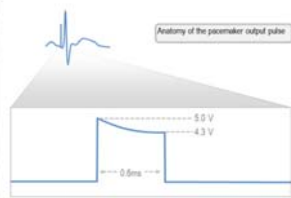
kitöltési tényező:  $\frac{\tau_a}{\tau_a + \tau_p} \cdot 100\%$

(duty cycle)

pl. szívritmus szabályozó  
(pacemaker)



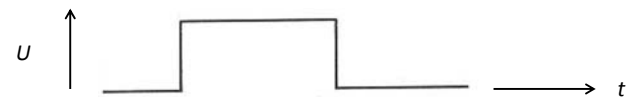
astabil impulzusgenerátor  
(l. imp. gen.-ok gyakorlat)



számolási feladat: 92

9

## Négyszögimpulzusok alakváltozása RC elemeken



aluláteresztő szűrő  
hatása

integráló  
áramkör

felüláteresztő szűrő  
hatása

differenciáló  
áramkör

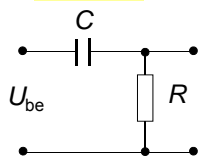
$\tau$ : időállandó

10

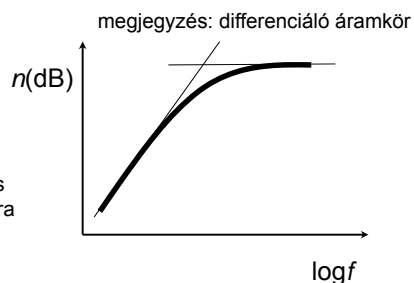
## felüláteresztő/alulvágó szűrő (high-pass filter)

$$R_c = \frac{1}{C\omega}$$

a kapacitás nagy-  
frekvencián rövidzár



fáziskülönbség  
miatt összegzés  
vektorok módjára



$$U_{ki} = \frac{R}{\sqrt{\frac{1}{C^2\omega^2} + R^2}} U_{be} = \frac{RC\omega}{\sqrt{1 + R^2C^2\omega^2}} U_{be}$$

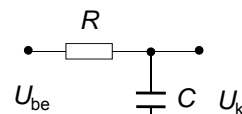
nagyon kis frekvencián: ha  $\omega \ll \omega_0$  ( $\omega \approx 0$ ),  $U_{ki} = 0$

kis frekvencián: ha  $\omega \ll \omega_0$ ,  $U_{ki} = RC\omega U_{be} \leftrightarrow 6 \text{ dB/oktáv}$

nagyon nagy frekvencián: ha  $\omega \approx \infty$ ,  $U_{ki} = U_{be}$

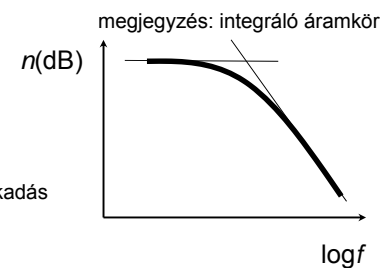
11

## aluláteresztő/felülvágó szűrő (low-pass filter)



$$R_c = \frac{1}{C\omega}$$

a kapacitás kis-  
frekvencián szakadás



$$U_{ki} = \frac{1}{\sqrt{R^2 + \frac{1}{C^2\omega^2}}} U_{be} = \frac{1}{\sqrt{R^2C^2\omega^2 + 1}} U_{be}$$

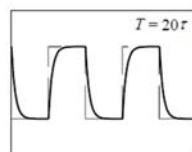
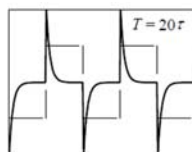
kis frekvencián: ha  $\omega \ll \omega_0$  ( $\omega \approx 0$ ),  $U_{ki} = U_{be}$

nagy frekvencián: ha  $\omega \gg \omega_0$ ,  $U_{ki} = \frac{1}{RC\omega} U_{be} \leftrightarrow -6 \text{ dB/oktáv}$

nagyon nagy frekvencián: ha  $\omega \gg \omega_0$  ( $\omega \approx \infty$ ),  $U_{ki} = 0$

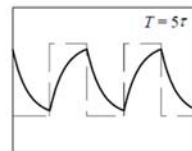
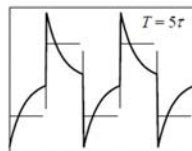
12

U  
t

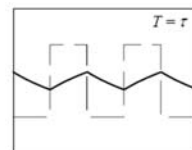
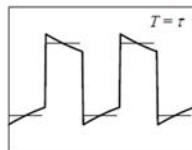


legkisebb torzulás:  
 $\tau \ll \text{impulzusidő}$

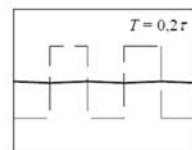
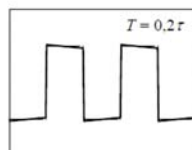
differentiáló  
áramkör



integráló  
áramkör

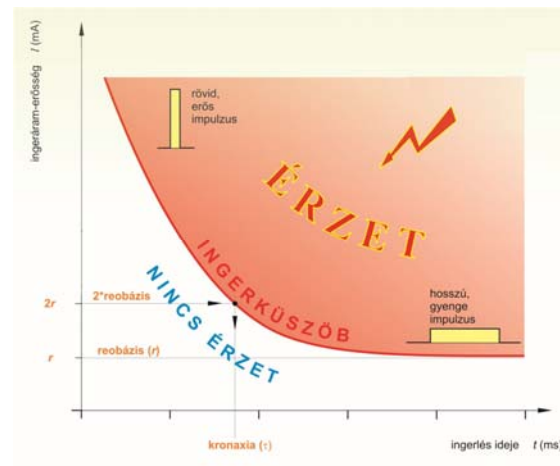


legkisebb torzulás:  
 $\tau \gg \text{impulzusidő}$



13

## Ingeráram karakterisztika



**reobázis:** az érzet kialakulásához szükséges minimális ingererősség

**kronaxia:** a kétszeres reobázis értékhez tartozó minimális impulzusidő

$$I = \frac{q}{t} + r$$

jegyzet, bőrimpedancia gyakorlat  
helyesbített verzió: tengelyek: lin-lin

14

93. példa. Hány mól egyértékű ion transzportja jelenti a küszöbtöltést, ha a reobázis 4 mA és a kronaxia 0,4 ms?

$$r = 4 \text{ mA}$$

$$t_c = 0,4 \text{ ms}$$

$$I = \frac{q}{t} + r$$

$$2r = \frac{q}{t_c} + r$$

$$r = \frac{q}{t_c}$$

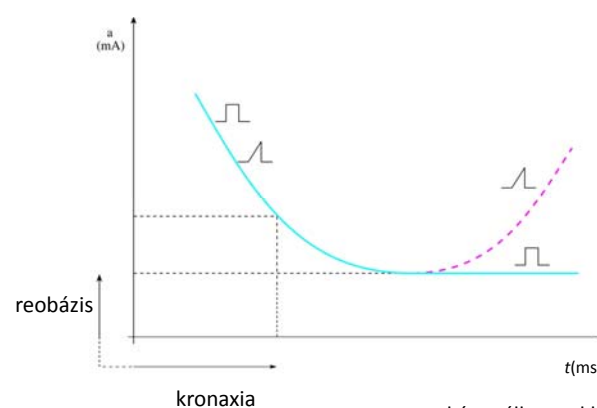
$$q = t_c r = 0,4 \text{ ms } 4 \text{ mA} = 1,6 \mu\text{C}$$

$$\begin{array}{ll} 1 \text{ mól} & 96500 \text{ C} \\ x \text{ mól} & 1,6 \mu\text{C} \end{array}$$

$$x = \frac{1,6 \mu\text{C}}{96500 \text{ C}} \text{ mól} = 1,66 \times 10^{-11} \text{ mól}$$

15

## Ingeráram karakterisztika fűrészipulzusra



fűrészipulzus



elegendően hosszú impulzusidő (~100 ms) esetén a sejt alkalmazkodásra képes: **akkomodáció** (ingerlés ellen ható ionáramok megindulása)

kóros állapotokban az izom elveszíti alkalmazkodóképességét:  
**szelektív ingeráram terápia**  
fűrészipulzusokra a szétnyíló tartományban csak a károsodott izmok kontrahálnak

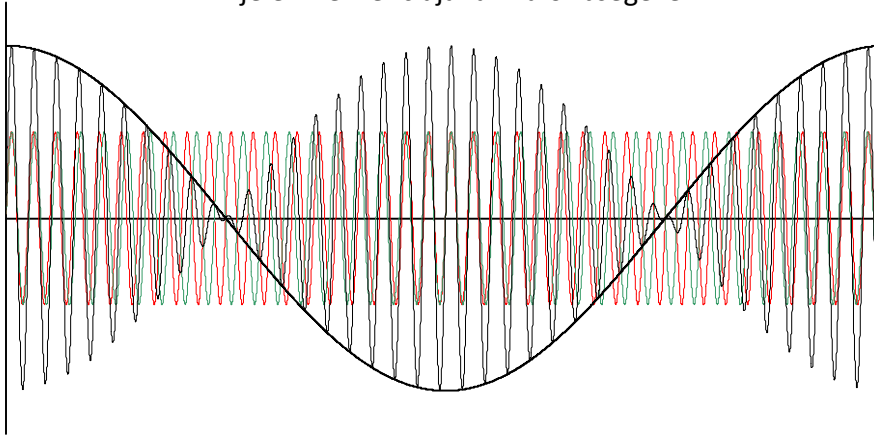
tkv. 9.22 ábra,  
helyesbített verzió: tengelyek: lin-lin

16

## Lebegés

$$f_{\text{piros}} \geq f_{\text{zöld}}$$

a lebegés frekvenciája megegyezik az interferáló jelek frekvenciájának különbségével

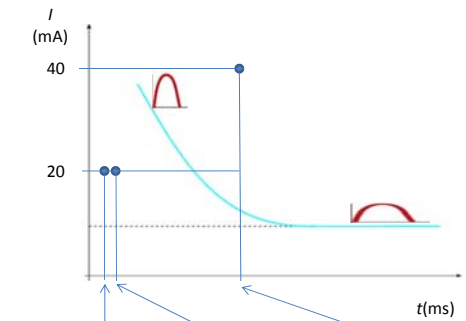
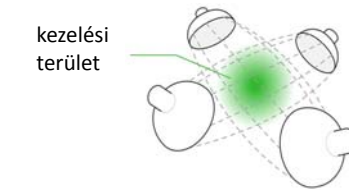


emlékeztető:  $\sin \alpha + \sin \beta = 2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2}$

17

## Interferencia áram terápia

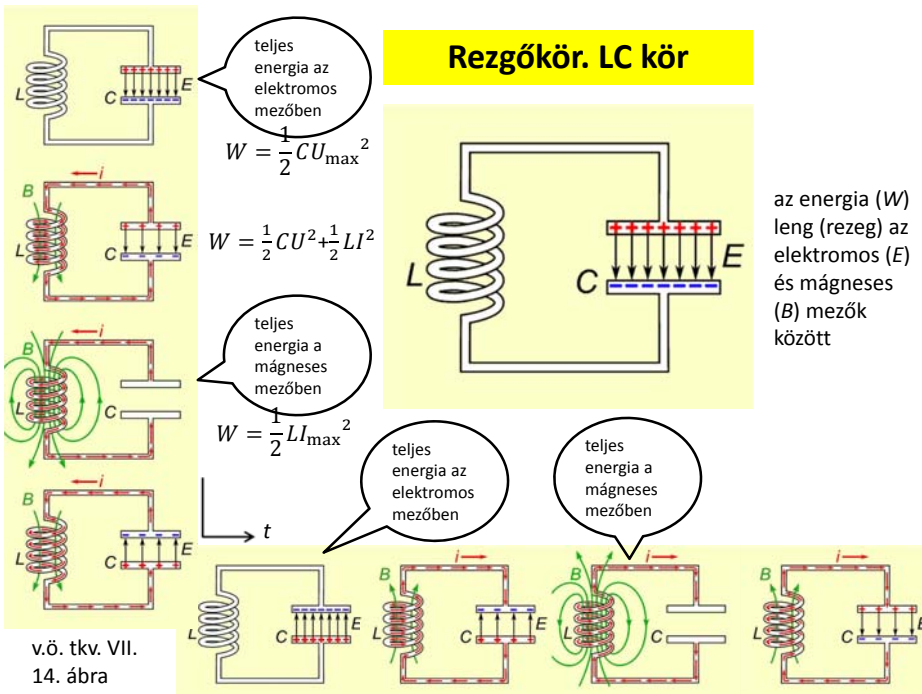
az átfedő területen interferencia: a különbségi jel küszöb feletti inger a többi területen küszöb alatti inger (legfeljebb hőhatás)



$\frac{1}{f}$	$\frac{1}{4100\text{Hz}}$	$\frac{1}{4000\text{Hz}}$	$\frac{1}{100\text{Hz}}$
$T$	0,24 ms	0,25 ms	10 ms
$t$	0,12 ms	0,125 ms	5 ms

18

## Rezgőkör. LC kör



## Ideális és reális rezgőkör

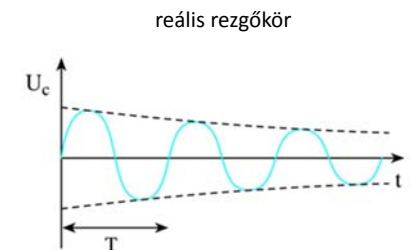
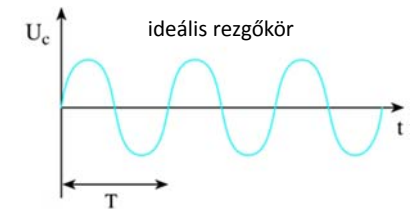
a magára hagyott **ideális rezgőkör** árama és feszültsége **csillapítatlan szinuszos rezgést** végez

a rezgés természetes frekvenciájú (**rezonancia**), ha az induktív ellenállás megegyezik a kapacitív ellenállással

$$X_C = X_L$$

$$\frac{1}{C2\pi f} = L2\pi f$$

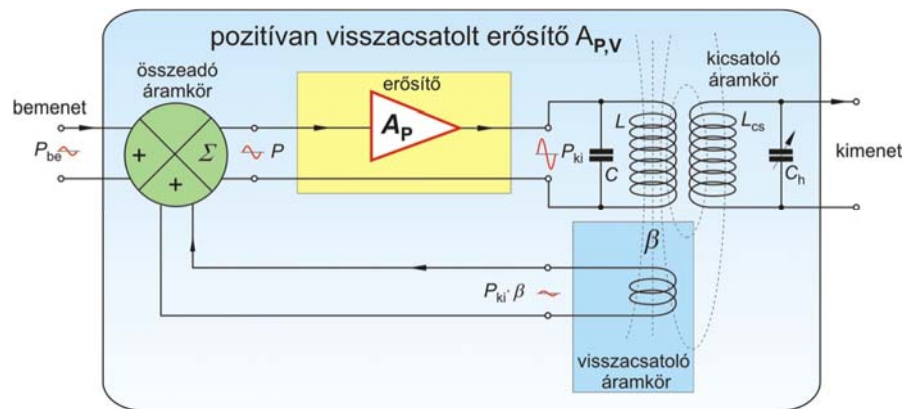
$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$



tkv. VII.15 ábra

20

## Pozitívan visszacsatolt erősítő



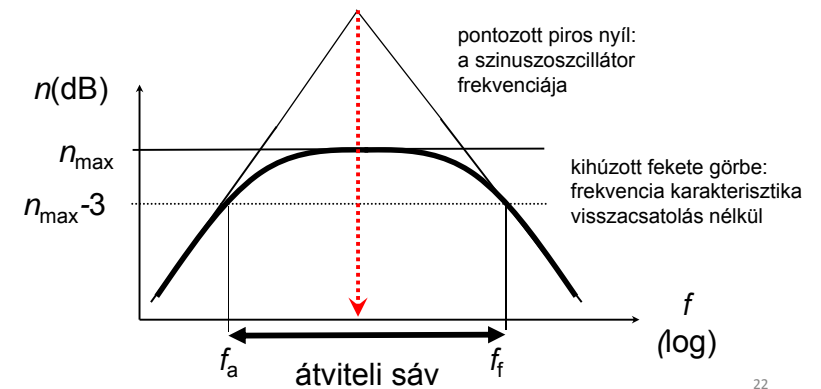
21

## Színuszoscillátor

pozitív módon  
visszacsatolt erősítő

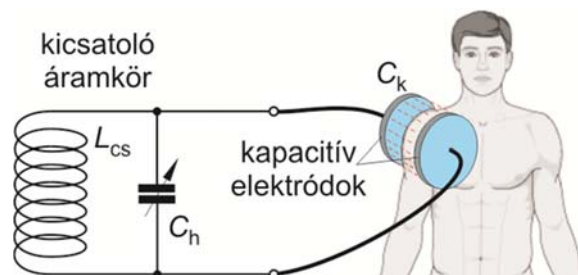
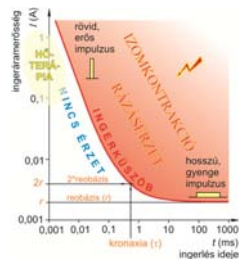
$$A_{P, \text{visszacsatolt}} = \frac{A_P}{1 - \beta A_P}$$

$\beta A_P = 1$ , erősítés = „végtelen“ → színuszoscillátor  
bemenő jel: nincs, kimenet: szinuszos feszültség



22

## Hőterápiás generátorok. Kondenzátor teres eljárás



gyakorlati jegyzet 19. mérés  
Színuszoscillátor, 5.(a) ábra

v.ö. tkv. 9.28 ábra

rezonancia feltétel:

$$LC = L_{cs} \cdot (C_h + C_k)$$

az energia kicsatolása az  
elektromos téren keresztül

23

## A szövetben fejlődő hő kiszámítása

$$Q = \frac{U^2}{R} \cdot t = \frac{U^2}{\rho \frac{l}{A}} \cdot t = \sigma \frac{U^2}{l^2} \cdot l \cdot A \cdot t = \sigma \cdot E^2 \cdot V \cdot t,$$

$Q$

$\sigma = 1/\rho$

$E = U/l$

$V = l \cdot A$

$t$

a keletkezett hőmennyiség,  
a kezelt közeg fajlagos elektromos vezetőképessége,  
a kezelt közegben kialakult elektromos térerősség,  
a kezelt közeg árammal átjárt térfogata,  
a kezelés időtartama

számolási feladat: 90

címlapon (jobb felül) levő hőterápiás generátor adatai:

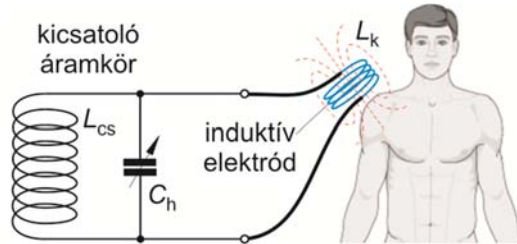
rövidhullámú,  $f = 27,12 \text{ MHz}$ ,  $P_{\max} = 500 \text{ W}$

másik intézeti hőterápiás generátorunk adatai:

mikrohullámú,  $f = 2,375 \text{ GHz}$ ,  $P_{\max} = 150 \text{ W}$

24

## Hőterápiás generátorok. Tekercsteres eljárás



... 5.(b) ábra

v.ö. tkv. IX.29 ábra

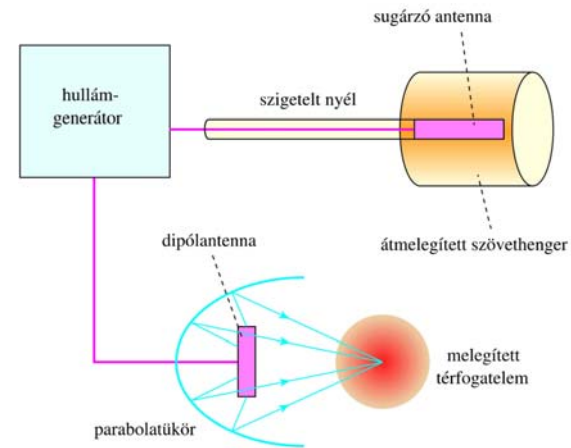
rezonancia feltétel:

$$LC = (L_{cs} \otimes L_k) \cdot C_h$$

az energia kicsatolása az  
örvényáramokat keltő  
mágneses téren keresztül

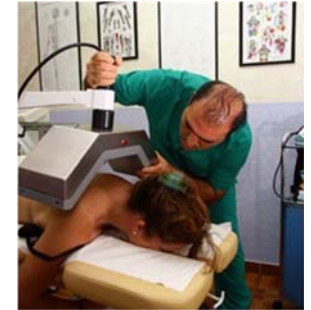
25

## Hőterápiás generátorok. Sugárteres eljárás



tkv. IX.33 ábra

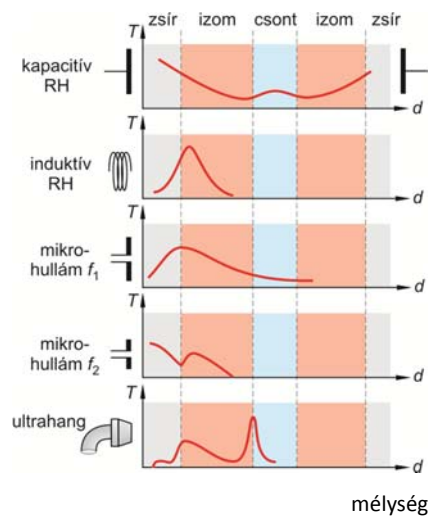
v.ö. mikrohullámú sütő



az energia kicsatolása a  
sugártéren téren keresztül

26

## Hőmérsékleteloszlás különféle eljárásoknál



kondenzátor: zsírszövet  
melegítése; mélyre hatol

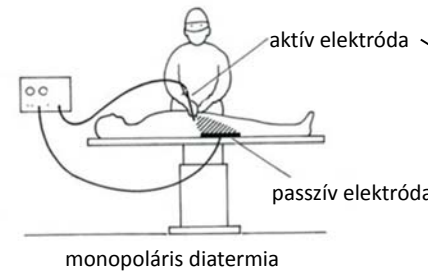
tekercs: izomszövet melegítése

sugárteres (kisebb frekvencia):

sugárteres (nagyobb frekvencia):

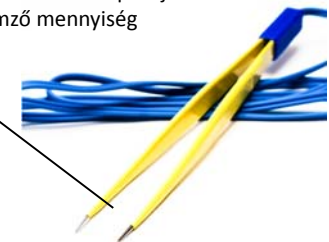
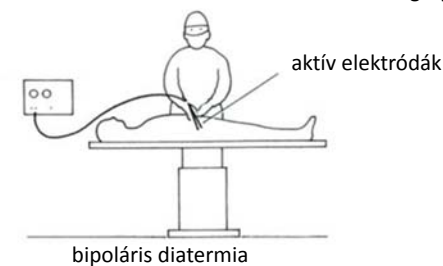
27

## Monopoláris és bipoláris diatermiás kések. Nagyfrekvenciás sebészet



$$A_{passzív} \gg A_{aktív}$$

küszöb alatti áramok; hőhatás szempontjából  
az áramsűrűség a jellemző mennyiség



28

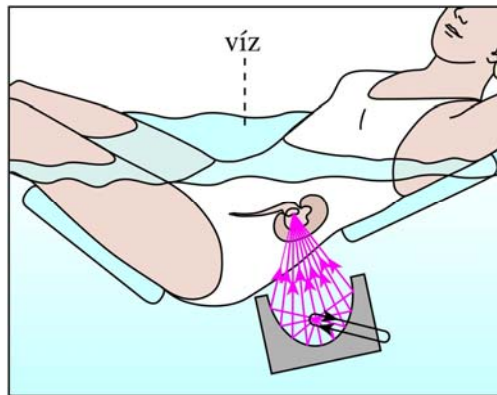
**Lökéshullám terápia (nem UH!)**  
**ESWL (Extracorporeal Shockwave Lithotripsy)**

kövek non-invazív törése  
 (vese, epe, ...)

kb. 20 kV-os kondenzátor  
 víz alatti elektródapáron  
 kisütve

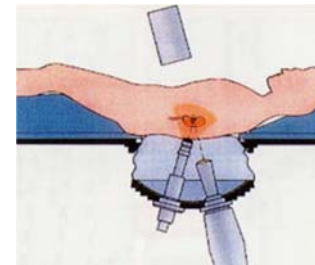
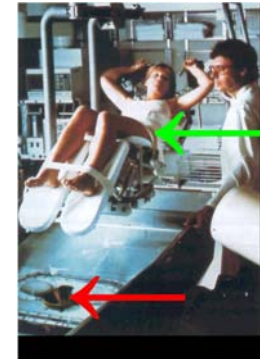
nyomásimpulzus keletkezik  
 ráfókuszálva a kő helyére  
 (ellipszis, 2 fókusz)

röntgen és/vagy UH  
 egyidejű követés



tkv. 9. fejezet, keret1

29



30