

Az elektromosság orvosi alkalmazásai



"I told you nylon carpets were a mistake."
KAD 2015.02.17



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 négyszögimpulzusok és reális négyszögimpulzusok (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

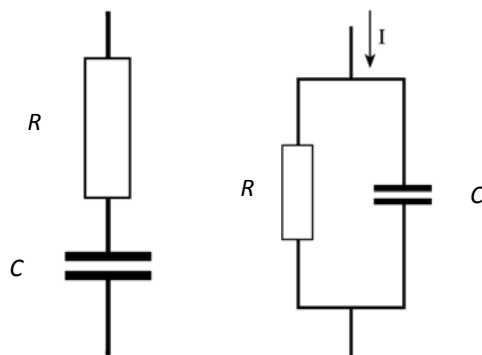
RC-körök egyenáramú áramkörben

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

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

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

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



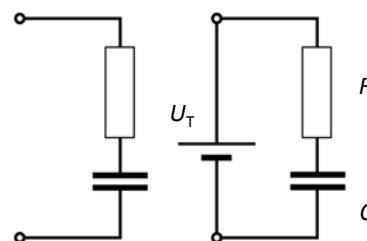
soros RC kör

párhuzamos RC kör

bőrünk elektromos viselkedése,
bőrimpedancia gyakorlat

3

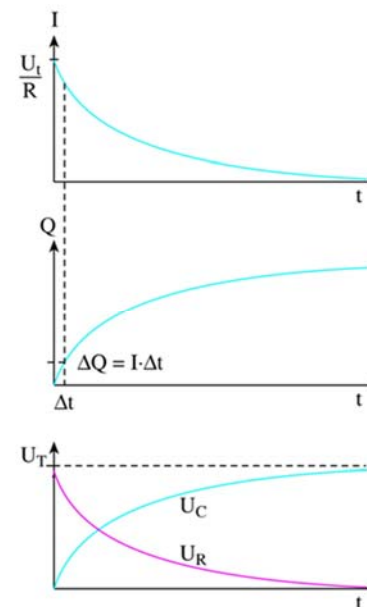
Soros RC-kör feltöltődése



soros RC-kör és feltöltődése

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

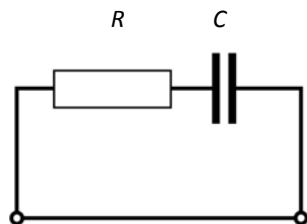
$$U_C = U_T - U_R = U_T (1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$



tkv. VII. 6. ábra

tkv. VII. 7. ábra

Soros RC-kör kisülése



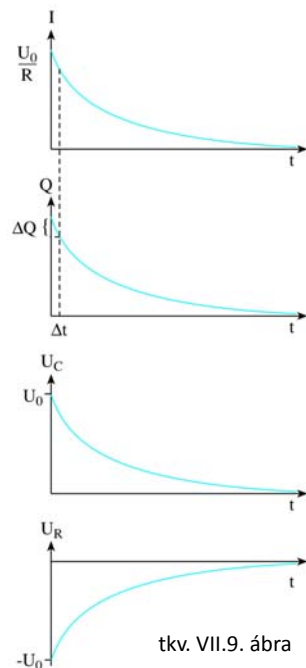
soros RC-kör és kisülése

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

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

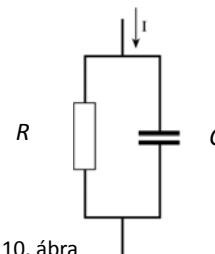
$$\tau = RC \quad \text{időállandó} \\ (\text{v.ö. radioaktív/fluor. élettartam})$$

tkv. VII. 8. ábra



tkv. VII.9. ábra

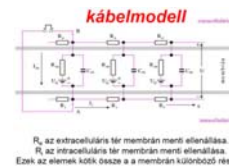
Párhuzamos RC-kör feltöltődése



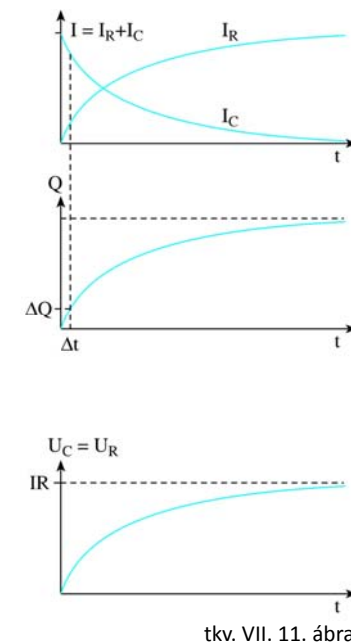
tkv. VII. 10. ábra

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

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

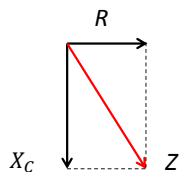


Sejtmembrán mint RC-kör
(I. „Bioelektromos
jelenségek” előadás)
számolási feladatok: 82, 83



tkv. VII. 11. ábra

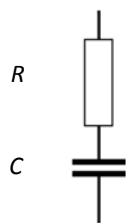
RC-elemek váltakozó áramú körben



Pitagorasz tétel

az összeadódó mennyiség

számolási feladat: 84

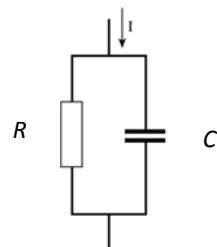


soros RC kör

ellenállás

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

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



párhuzamos RC kör

vezetőképesség = 1/ellenállás

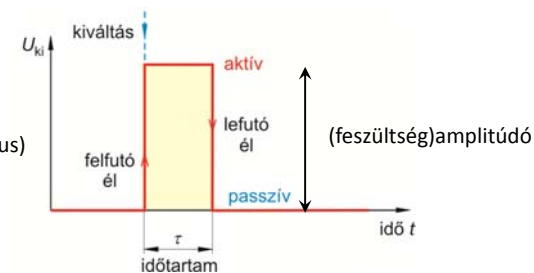
$$\frac{1}{R}, \quad \frac{1}{X_C}$$

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

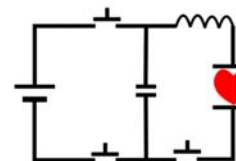
7

Elektromos négyszögimpulzusok jellemzői

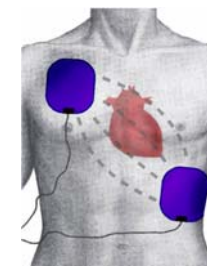
1 négyszögimpulzus
(legegyszerűbb impulzus)



pl. defibrillátor impulzusa

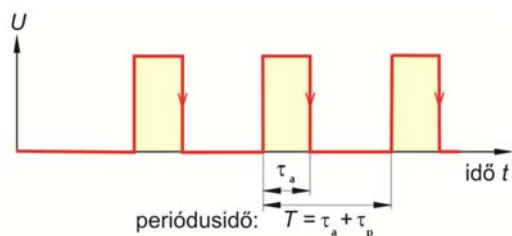


számolási feladat: 91



8

periodikus
négyzögimpulzusok



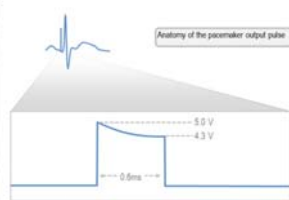
kitöltési tényező: $\frac{\tau_a}{\tau_a + \tau_p} \cdot 100\%$

(duty cycle)

pl. szívritmus szabályozó
(pacemaker)



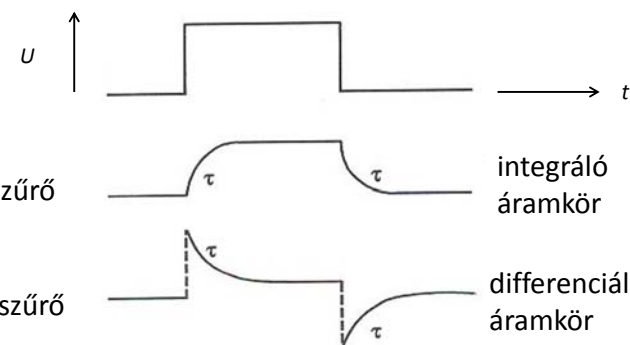
astabil impulzusgenerátor
(l. imp. gen.-ok gyakorlat)



számolási feladat: 92

9

Négyszögimpulzusok alakváltozása RC elemeken



aluláteresztő szűrő
hatása

felüláteresztő szűrő
hatása

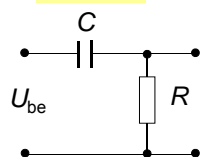
τ : időállandó

10

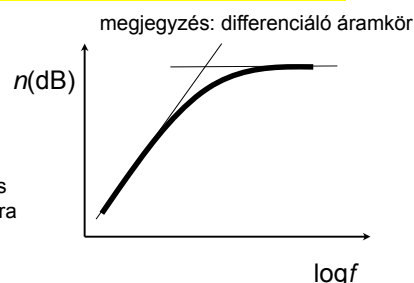
felüláteresztő/alulvágó szűrő (high-pass filter)

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

a kapacitás nagy-
frekvencián rövidzár



fáziskülönbség
miatt összegzés
vektorok módjára



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

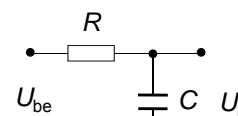
nagyon kis frekvencián: ha $\omega \ll \omega_0$ ($\omega \approx 0$), $U_{ki} = 0$

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

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

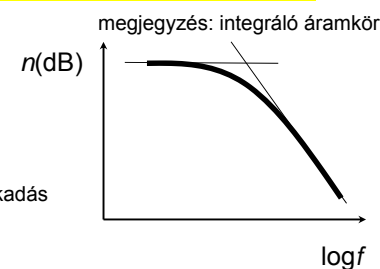
11

aluláteresztő/felülvágó szűrő (low-pass filter)



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

a kapacitás kis-
frekvencián szakadás



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

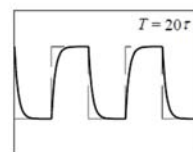
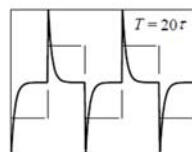
kis frekvencián: ha $\omega \ll \omega_0$ ($\omega \approx 0$), $U_{ki} = U_{be}$

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

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

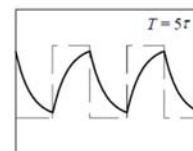
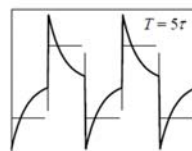
12

U
t

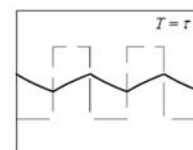
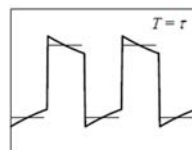


legkisebb torzulás:
 $\tau \ll \text{impulzusidő}$

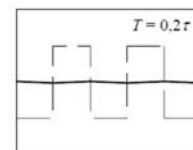
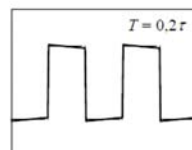
differentiáló
áramkör



integráló
áramkör

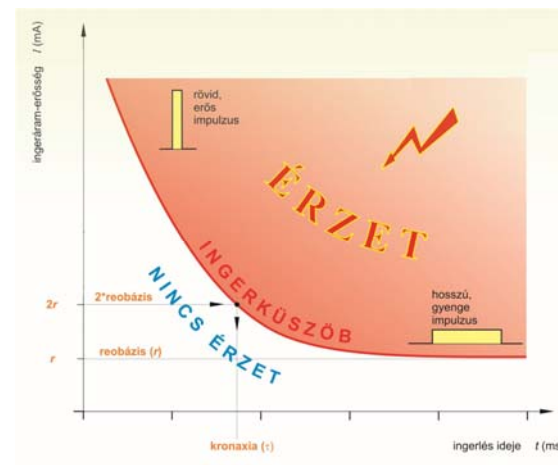


legkisebb torzulás:
 $\tau \gg \text{impulzusidő}$



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?

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

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

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

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

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

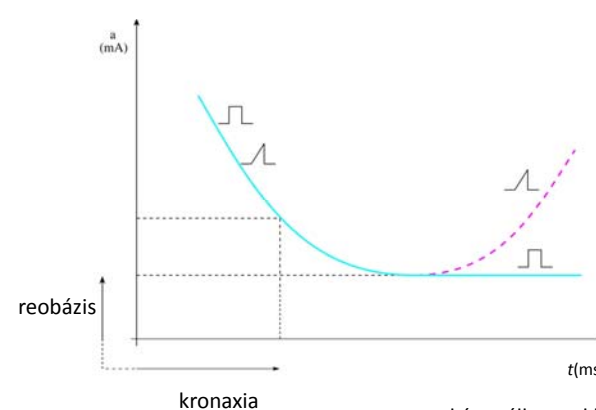
$$q = t_c r = 0,4 \text{ ms } 4 \text{ mA} = 1,6 \mu\text{C}$$

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

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

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

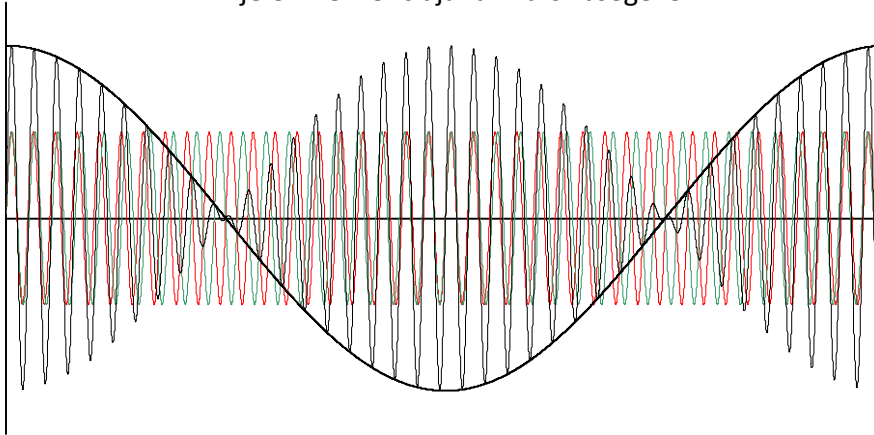
tkv. 9.22 ábra,
helyesbített verzió: tengelyek: lin-lin

16

Lebegés

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

a lebegés frekvenciája megegyezik az interferáló jelek frekvenciájának különbségével

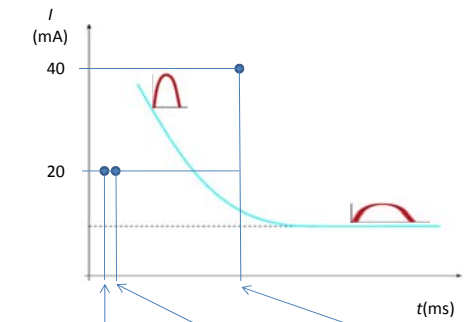
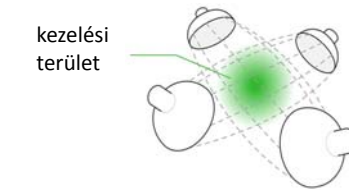


emlékeztető: $\sin \alpha + \sin \beta = 2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2}$

17

Interferencia áram terápia

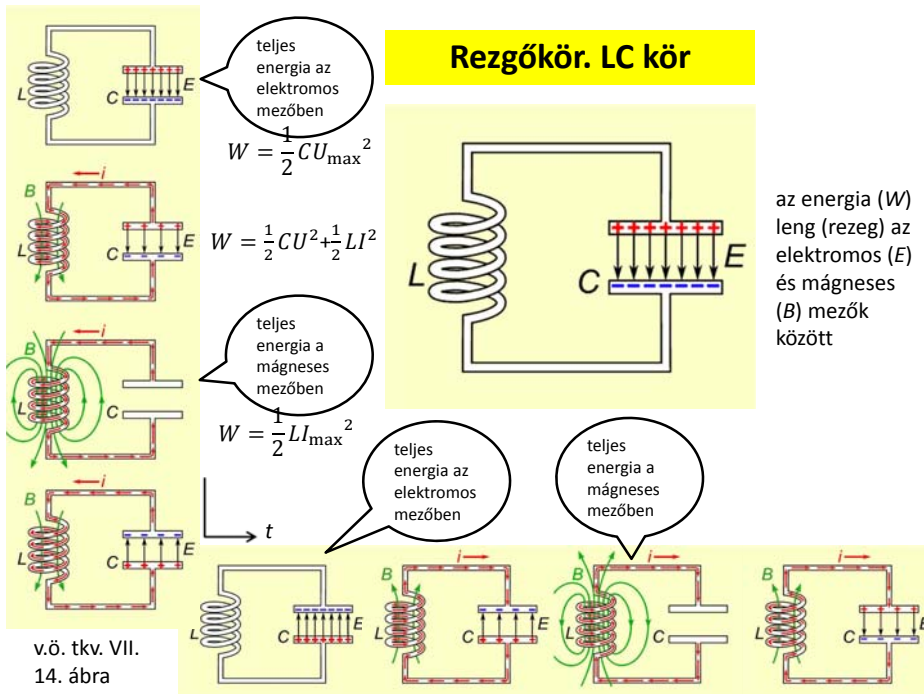
az átfedő területen interferencia: a különbségi jel küszöb feletti inger a többi területen küszöb alatti inger (legfeljebb hőhatás)



| | | | |
|---------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| $\frac{1}{f}$ | $\frac{1}{4100\text{Hz}}$ | $\frac{1}{4000\text{Hz}}$ | $\frac{1}{100\text{Hz}}$ |
| 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

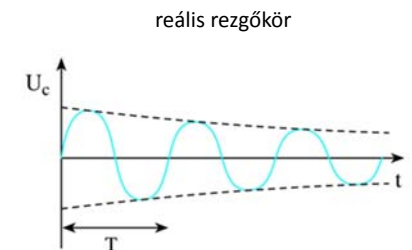
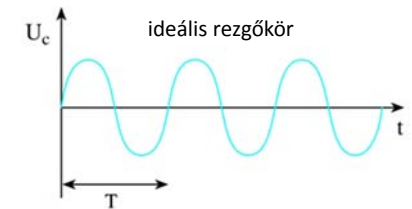
a magára hagyott **ideális rezgőkör** árama és feszültsége **csillapítatlan szinuszos rezgést** végez

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

$$X_C = X_L$$

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

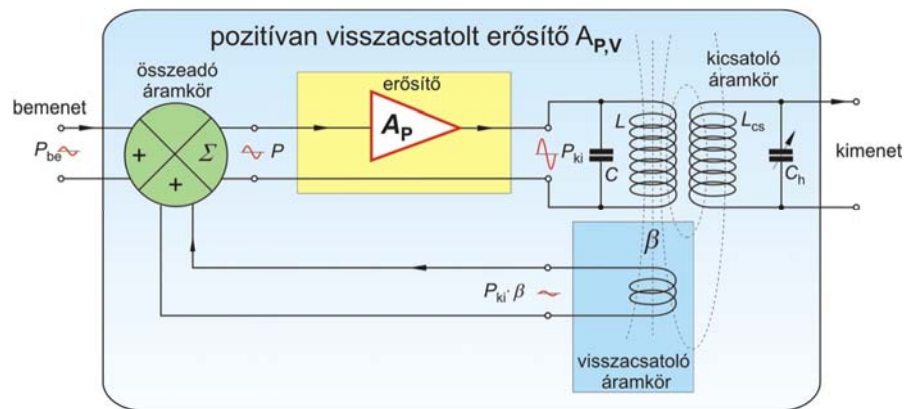
$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$



tkv. VII.15 ábra

20

Pozitívan visszacsatolt erősítő



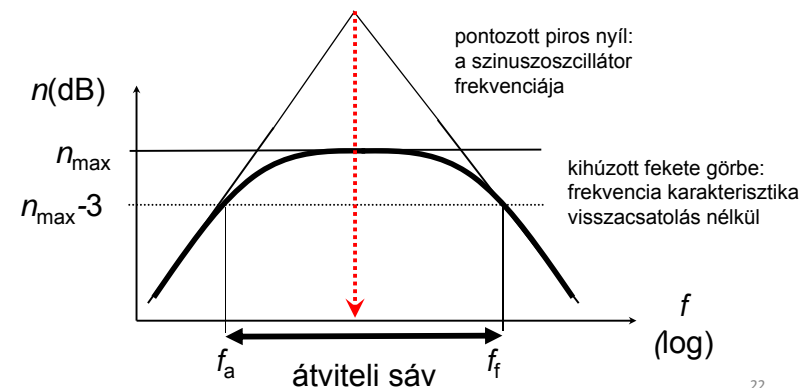
21

Színuszoscillátor

pozitív módon
visszacsatolt erősítő

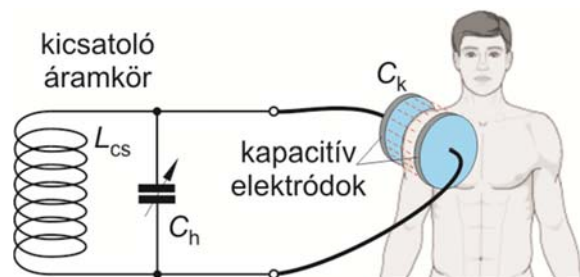
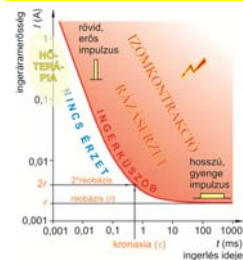
$$A_{P, \text{visszacsatolt}} = \frac{A_P}{1 - \beta A_P}$$

$\beta A_P = 1$, 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:

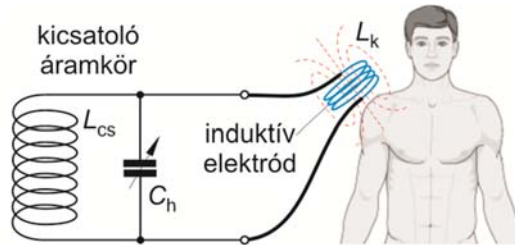
rövidhullámú, $f = 27,12 \text{ MHz}$, $P_{\text{max}} = 500 \text{ W}$

másik intézeti hőterápiás generátorunk adatai:

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

24

Hőterápiás generátorok. Tekercsteres eljárás



... 5.(b) ábra

v.ö. tkv. IX.29 ábra

rezonancia feltétel:

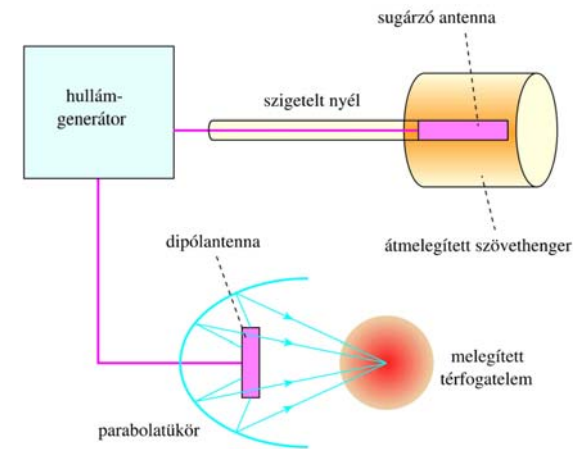
$$LC = (L_{cs} \otimes L_k) \cdot C_h$$

az energia kicsatolása az
örvényáramokat keltő
mágneses téren keresztül



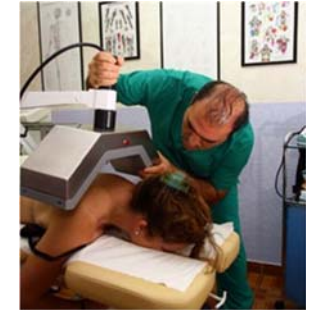
25

Hőterápiás generátorok. Sugárteres eljárás



tkv. IX.33 ábra

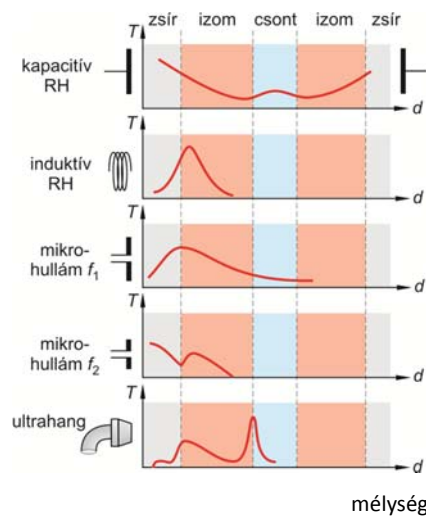
v.ö. mikrohullámú sütő



az energia kicsatolása a
sugártéren téren keresztül

26

Hőmérsékleteloszlás különféle eljárásoknál



kondenzátor: zsírszövet
melegítése; mélyre hatol

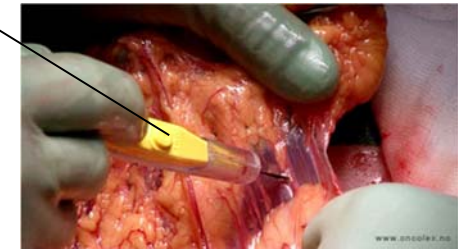
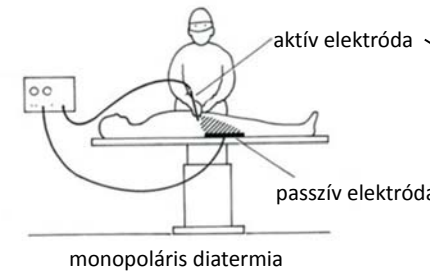
tekercs: izomszövet melegítése

sugárteres (kisebb frekvencia):

sugárteres (nagyobb frekvencia):

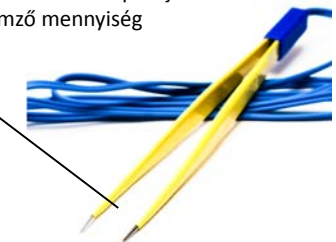
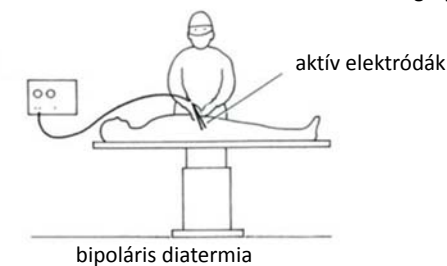
27

Monopoláris és bipoláris diatermiás kések. Nagyfrekvenciás sebészet



$$A_{passzív} \gg A_{aktív}$$

küszöb alatti áramok; hőhatás szempontjából
az áramsűrűség a jellemző mennyiség



28

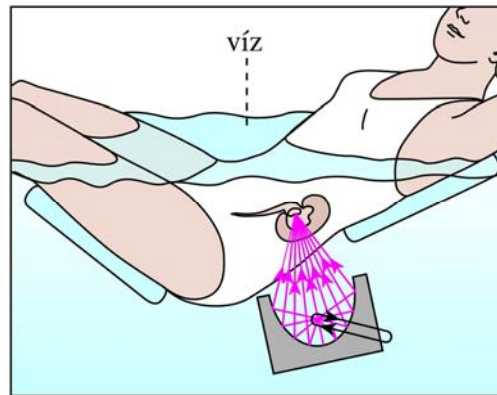
Lökéshullám terápia (nem UH!)
ESWL (Extracorporeal Shockwave Lithotripsy)

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

kb. 20 kV-os kondenzátor
víz alatti elektródapáron
kisütve

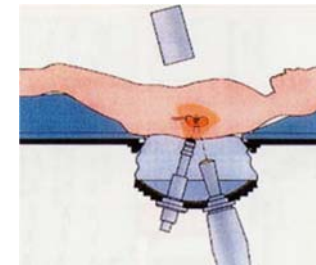
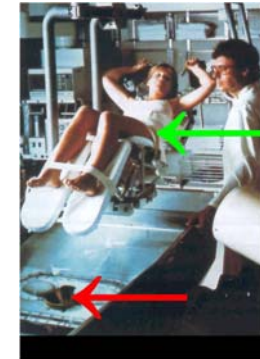
nyomásimpulzus keletkezik
ráfókuszálva a kő helyére
(ellipszis, 2 fókusz)

röntgen és/vagy UH
egyidejű követés



tkv. 9. fejezet, keret1

29



30