

Lontora's!

## Elektronikus átalakítók irányítása

Zárthelyi dolgozat

2015. november 19.

Név, Neptun-kód	Felügyelő aláírása

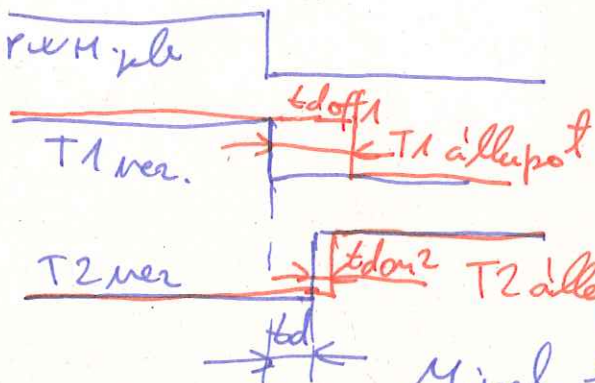
---	1.	2.	3.	4.	$\Sigma$	éremjegy
Max. pont	3	7	7	7	24	---
Elért pont						
Javító					---	---

A feladatok megoldásához papír, írószerszám, számológép használata megengedett, egyéb segédeszköz használata tiltott. A megoldásra fordítható idő: 90 perc. Az osztályozás a következő ponthatárok szerint történik:

0-9 pont	elégtelen (1)
10-12 pont	elégséges (2)
13-15 pont	közepes (3)
16-19 pont	jó (4)
20-24 pont	jeles (5)

Kérjük, hogy a megoldást arra a lapra írja, amelyen maga a feladat is szerepel. Ha a megoldásra szánt hely nem elegendő, akkor az adott lap másik oldala is használható, de ebben az esetben kérjük, hogy a feladat megoldásánál jelezze, hogy a másik oldalon is van feladat.

1.) Egy félhíd kapcsolásban a kapcsoló elemek (IGBT-k) kapcsolási késleltetése  $t_{don1}=0,5\mu s$ ,  $t_{doff1}=2\mu s$ ,  $t_{don2}=0,5\mu s$ ,  $t_{doff2}=1,5\mu s$ , a vezérlési holtidő  $1\mu s$ . A vezérlés beindítása után mi történik és kb. mennyi idő elteltével, ha a kapcsolási frekvencia  $f_{sw}=10kHz$ ?



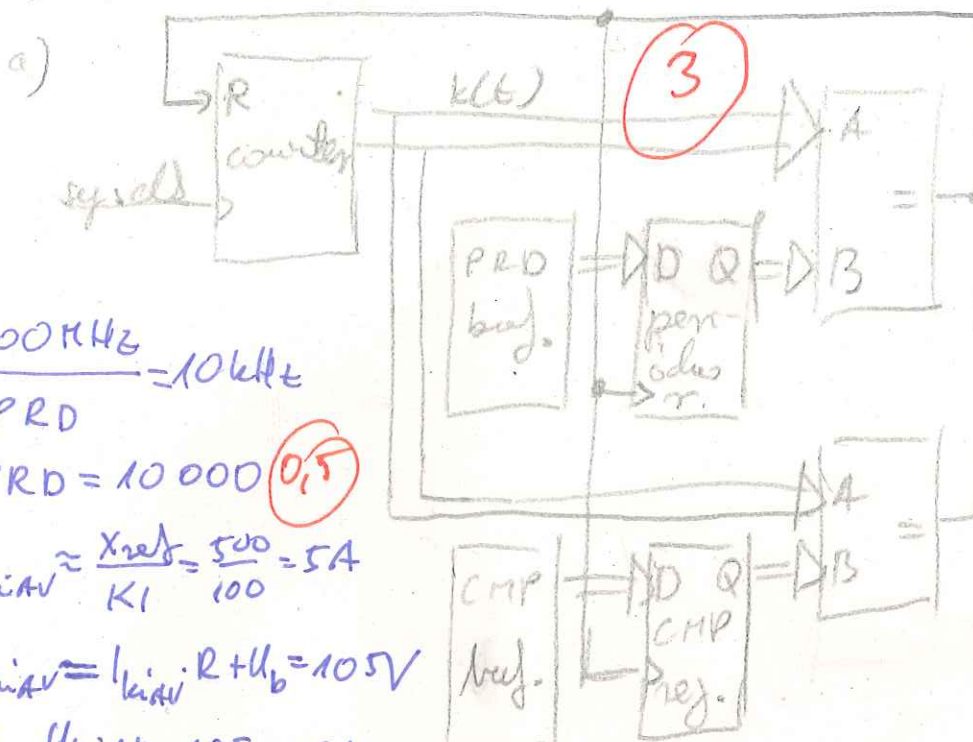
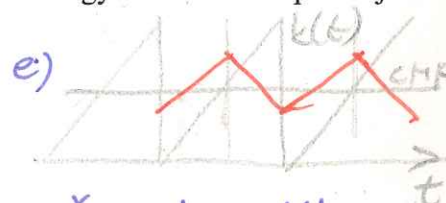
Mivel  $t_d + t_{don2} = 1\mu + 0,5\mu = 1,5\mu s$   
kiseb mint  $t_{doff1} = 2\mu s$ ,  
T1 lekapcsolásakor  $0,5\mu s$ -ig hidagi zárköt van. 2p

Mivel tipikusan 5-10  $\mu s$ -ig képesek az IGBT-ek elviselni a hidagi zárkötöt, így az 5. - 10. kapcsolási periódusban túlméretezést az IGBT-ek, más idejű a rövid  $\frac{1}{10kHz} = 100\mu s$  alatt bekövetkező, tehát kb. 0,5 - 1  $\mu s$  múlva tartós zárköt alakul ki. 1p

2.) Félhíd kapcsolásban a hídág közepe és a negatív sín közé kötött soros  $R=1\text{ Ohm}$ ,  $L=10\text{mH}$ ,  $U_b=100\text{V}$  terhelés áramát diszkrét idejű (digitális) szabályozóval és impulzusszélesség-modulációval (digit PI+PWM) irányítjuk. Az áramérzékelőnk viselkedése  $K_I=100[1/A]$  átviteli tényezővel modellezhető. Az áram-alapjel  $X_{ref}=500$ , a kapcsolási frekvencia  $f_{sw}=10\text{kHz}$ .

- Rajzolja fel a digitális PWM generátor elvi vázlatát fűrészfűrészes vivőjelre (a számláló felfele számlál)!
- Adja meg a periódusregiszter és becsülje meg a komparáló regiszter értékét  $f_{sys}=100\text{MHz}$  rendszerórajelet és háromszög-vivőjelet feltételezve! A bemeneti feszültség  $U_{be}=150\text{V}$ .
- Adja meg a felnyitott szabályozási kör közelítő átviteli függvényét feltételezve, hogy a fűrészfűrészes vivőjel csúcánál veszünk mintát és a következő csúcánál frissítjük a komparáló regiszter értékét!
- Méretezze a szabályozót úgy, hogy a belsőfeszültség megváltozását minél gyorsabban kompenzálja és a fázisstartalék  $\pi/3$  legyen!
- Mekkora lesz a kialakuló áram középértéke?

$$\omega_c * T_H = \frac{2}{3} \left( \frac{\pi}{2} - \varphi_l \right), \quad \pi - \varphi_l = \frac{\pi}{2} + \omega_c * T_H + \arctan \frac{1}{\omega_c T_l}$$



$X_{FB} = I_{min} \cdot K_I$   
 tehát  $I_{min} = 5\text{A}$   
 $A \approx \frac{U_{be} - I_{min} R - U_b}{L} = \frac{150 - 5 \cdot 1 - 100}{10\text{ms}} = 0,7 \cdot 100\text{ms} = 70$

b)  $\frac{100\text{kHz}}{\text{PRD}} = 10\text{kHz}$   
 $\text{PRD} = 10000$  (0,5)

$I_{kiAV} \approx \frac{X_{ref}}{K_I} = \frac{500}{100} = 5\text{A}$

$U_{kiAV} = I_{kiAV} \cdot R + U_b = 105\text{V}$

$d = \frac{U_{kiAV}}{U_{be}} = \frac{105}{150} = 0,7$

$\text{CMP} = d \cdot \text{PRD} = 7000$  (0,5)

c)  $\omega_0 = A_p \cdot \left(1 + \frac{1}{sT_l}\right) \cdot \frac{U_{be}}{\text{PRD}} \cdot e^{-sT_H} \cdot \frac{1}{R+sL} \cdot K_I$ , ahol  $T_H \approx 2T_{sw}$  (1p)

d)  $\omega_c = \frac{1}{T_H} \cdot \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{\pi}{2} - \varphi_l\right) = \frac{2}{200\mu\text{s} \cdot 3} \cdot \frac{\pi}{6} = 1745 \text{ [1/s]}$

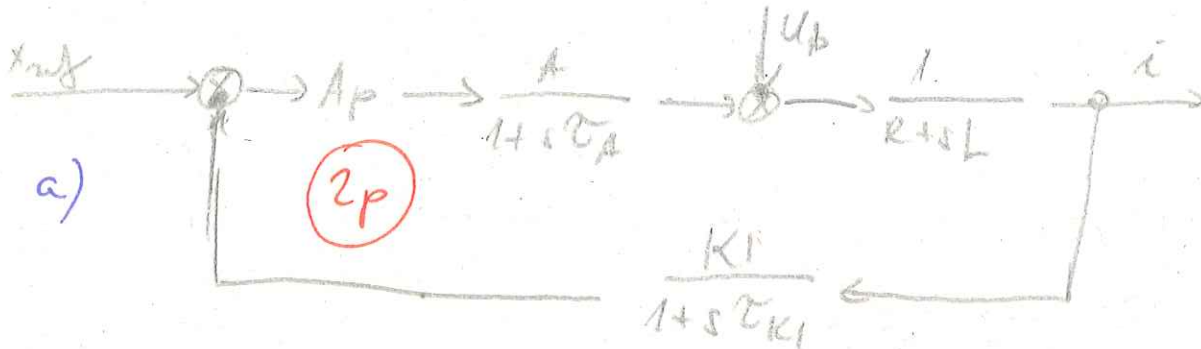
$\frac{1}{\omega_c T_l} = \tan \frac{\sigma}{12} \Rightarrow T_l = 2,1\mu\text{s}$

$A_p \approx \frac{\text{PRD}}{U_{be}} \cdot \frac{\omega_c \cdot L}{K_I} = \frac{10000 \cdot 1745 \cdot 10\text{ms}}{150 \cdot 100} = 11,6$

(1p)

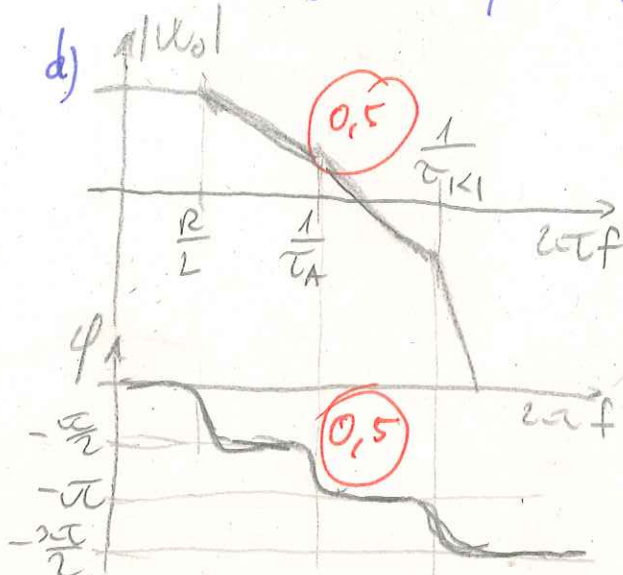
3.) Arányos szabályozóval irányítjuk egy soros  $R=1\Omega$ ,  $L=10\text{mH}$ ,  $U_b=0\text{V}$  terhelés áramát. A teljesítményerősítő feszültségerősítése  $A=0,5$ , dinamikus viselkedése  $\tau_A=30\mu\text{s}$  időállandójú egytárolós alul-áteresztő taggal modellezhető. Az áramérzékelőnk viselkedése  $K_I=2[\text{V/A}]$  átviteli tényezővel és  $\tau_{KI}=3\mu\text{s}$  időállandójú egytárolós alul-áteresztő taggal modellezhető

- Rajzolja fel a szabályozási kör vázlatát!
- Adja meg a felnyitott szabályozási kör átviteli függvényét!
- Struktúráisan stabilis-e a szabályozási kör? Miért?
- Rajzolja meg a felnyitott szabályozási kör közelítő amplitúdó és fázis-diagrammját!
- Válassza meg úgy az arányos erősítést, hogy a fázistartalék közelítőleg  $\pi/4$  legyen!
- Mekkora áramhibát okoz az  $U_b$  belsőfeszültség 10V-os változása?



a) 
$$W_0 = A_p \cdot \frac{A}{1+s\tau_A} \cdot \frac{1}{R+sL} \cdot \frac{KI}{1+s\tau_{KI}}$$
 (2p) (1p)

c) Nem stabil, mivel  $\omega$ -től függően akár  $3 \cdot \frac{\pi}{2}$  is lehet a kör bőséltetése, tehát  $> \pi$ . (1p)



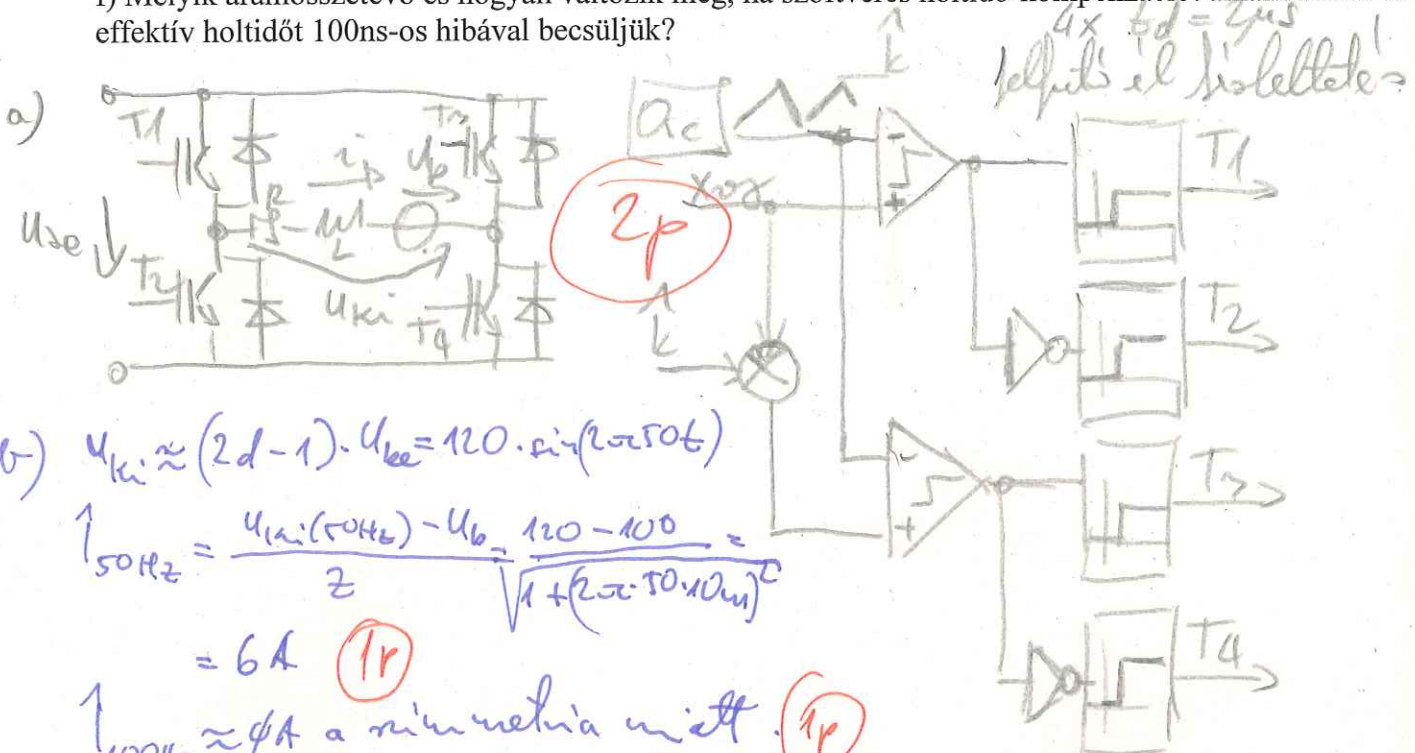
e)  $\omega_c = \frac{1}{\tau_A}$  választáskor teljesül  
 $\phi_t = \frac{\pi}{4}$ , azis  $-\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{4} = -\pi + \phi_t$

$|W_0(\omega_c)| = 1 \approx A_p \cdot \frac{A}{\sqrt{2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{R^2 + (\omega_c L)^2}} \cdot KI$   
 $A_p = \frac{\sqrt{2}}{0,5} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{10\text{m}}{30\mu}\right)^2} \cdot \frac{1}{2} = 471$  (1p)

f) 
$$I_{hibe} = U_p \cdot \frac{1/R}{1 + \frac{A_p \cdot A \cdot KI}{R}} = 10 \cdot \frac{1}{1 + 471 \cdot 0,5 \cdot 2} = 9,021 \text{ A}$$
 (1p)

4. H4 kapcsolásban eltolásos vezérlést alkalmazunk. A terhelés soros  $R=1\text{ Ohm}$ ,  $L=10\text{mH}$ ,  $U_b=100 \cdot \sin(2\pi \cdot 50 \cdot t)$ , a bemeneti feszültség  $200\text{V}$ . A PWM generátorból kijövő kitöltési tényező  $d=0,5+0,3 \cdot \sin(2\pi \cdot 50 \cdot t)$ , az IGBT-k kapcsolási késleltetése egységesen  $t_{don}=0,5\mu\text{s}$ ,  $t_{doff}=2\mu\text{s}$ , a vezérlési holtidő  $2\mu\text{s}$ , a kapcsolási frekvencia  $f_{sw}=10\text{kHz}$ . A félvezetők vezető állapotú feszültsége az áram nagyságától függetlenül  $2\text{V}$ -nak tekinthető.

- a) Rajzolja fel a főköri és irányító köri kapcsolási vázlatot!
- b) Becsülje meg a kialakuló áram 50Hz-es, 100Hz-es és 150Hz-es összetevőjét!
- c) Becsülje meg a kialakuló áram közéértékét!
- d) Becsülje meg a kialakuló áram maximális kapcsolási frekvenciás hullámosságát!
- e) Melyik áramösszetevő és hogyan változik meg, ha hardveres holtidő-kompenzációt alkalmazunk?
- f) Melyik áramösszetevő és hogyan változik meg, ha szoftveres holtidő-kompenzációt alkalmazunk és az effektív holtidőt  $100\text{ns}$ -os hibával becsüljük?



b)  $U_{ki} \approx (2d-1) \cdot U_{be} = 120 \cdot \sin(2\pi \cdot 50 \cdot t)$

$I_{50\text{Hz}} = \frac{U_{ki}(50\text{Hz}) - U_b}{Z} = \frac{120 - 100}{\sqrt{1 + (2\pi \cdot 50 \cdot 10\text{m})^2}} = 6\text{A}$  (1p)

$I_{100\text{Hz}} \approx 0\text{A}$  a szimmetria miatt (1p)

$\Delta U = 2 \cdot U_{Fsw} + 2 \cdot U_{be} \cdot \frac{t_{doff}}{T_{sw}} = 4 + 2 \cdot 200 \cdot \frac{2\mu - 2\mu + 95\mu}{100\mu} = 6\text{V}$

$I_{150\text{Hz}} = \frac{\frac{4}{2} \cdot \frac{1}{3} \cdot 6\text{V}}{\sqrt{R^2 + (2\pi \cdot 150 \cdot 10\text{m})^2}} \approx 0,3\text{A}$  (1p)

c)  $I_{kiAV} \approx 0\text{A}$  a szimmetria miatt (1p)

d)  $\Delta I_{max} = \frac{U_{be} \cdot T_{sw}}{8L} = \frac{200 \cdot 100\mu}{8 \cdot 10\text{m}} = 0,25\text{A}$  (1p)

e)  $I_{150\text{Hz}}$  ~~változik~~  $\frac{2}{3}$ -ára csökken, mi.  $U_{Fsw}$  helyére marad. (+1p)

f) A holtidő helyére  $0,5\mu\text{s}$ -ról  $0,1\mu\text{s}$ -ra csökken, tehát  $\Delta U = 4 + 2 \cdot \frac{0,1\mu}{0,1\mu} = 4,4\text{V} \rightarrow I_{150\text{Hz}} = 0,3 \cdot \frac{4,4}{6} = 0,22\text{A}$  (+1p)