

Készüléktervezés 2016

Főbb témakörök: [ZH anyag](#)

- [Bevezető előadás. Áramérzékelési módszerek: Sönt, Hall, Áramváltó.](#)
- [Feszültségérzékelési módszerek: Kompenzált feszültségosztó, feszültségváltó. Vezérlő és visszacsatoló jelek leválasztása: optikai csatoló.](#)
- [Vezérlő és visszacsatoló jelek leválasztása: induktív és kapacitív leválasztók, leválasztó erősítők. Érzékelő áramkörök modulációs módszerei.](#)
- [Kondenzátor típusok és főbb jellemzői: Tantál, ELKO, kerámia, fólia kondenzátorok.](#)
- [Mágneses elemek típusai és főbb jellemzői. Vasmagos tekercs méretezése, mágneses anyagok kiválasztása, alkalmazható huzal típusok.](#)
- [Transzformátor méretezése, mágneses anyagok kiválasztása, alkalmazható huzal típusok.](#)
- [Korszerű akkumulátorok jellemző paraméterei, akku menedzsment rendszerek](#)
- [Félvezető meghajtási lehetőségek, félvezetők vesztesége](#)
- [Túláram elleni védelem, mechanikus és elektromechanikus kapcsoló elemek](#)
- [Túlfeszültség elleni védelem](#)
- [Elektromágneses kompatibilitás: vezetett és sugárzott zavarok csökkentési lehetőségei, EMC szűrő.](#)
- [Áramkörök megvalósítási kérdései, Biztonsági előírások, Konstrukció tervezése.](#)

NEM BAJ, HA SZÉT VAN CSÚSZVA ITT NETEN, MAJD CSINÁLOK BELŐLE SZÉP PDF-ET.

Könyvjelzők:

[ZH ANYAGA:](#)

[ZH UTÁNI ANYAG \(ELŐVIZSGÁRA\):](#)

[IDÉN NINCS EMC!](#)

ZH ANYAGA:

Mágneses hosszú feladatok...

3. Elosztott légréses tekercs méretezés

3) mágneses transzformátor méretezési példa

Közvetlen érzékelők

Egy kapcsolóüzem tápegység szüretlen kimenet feszültségét nagy pontossággal és jó dinamikával szeretnénk mérni. A kimenet és a vezérlő elektronika tápja egy ponton összeköthető. Javasoljon érzékelési módszert és méretezze az érzékelőt! ($U_i=0..100V$, $U_o=0..5V$, elírt pontosság 1%, az A/D váltó bemeneti árama $1\mu A(\max)$, bemeneti kapacitása $50pF(\max)$).

Egy nagyfeszültség impulzusgenerátor kimenet feszültségét nagy pontossággal és jó dinamikával szeretnénk mérni. Tervezzen galvanikusan nem leválasztott feszültség érzékelőt, ha a kimenet és a vezérlő elektronika nulla pontja azonos, $U_i=0..1kV$, $U_o=0..3V$, elírt pontosság 2%, az A/D váltó statikus bemeneti árama $1\mu A(\max)$, bemenetére redukált kapacitás $50pF(\max)$!

Egy nagy kapcsolási frekvenciával működő DC/DC átalakító kimenet feszültségét nagy pontossággal és jó dinamikával szeretnénk mérni. A kimenet és a vezérlő elektronika tápja egy ponton összeköthető. Javasoljon érzékelési módszert és méretezze az érzékelőt! ($U_i=0..100V$, $U_o=0..5V$, elírt pontosság 1%, az A/D váltó bemeneti árama $1\mu A(\max)$, bemeneti kapacitása $50pF(\max)$).

Egy nagy kapcsolási frekvenciával működő DC/DC átalakító kimenet feszültségét nagy pontossággal és jó dinamikával szeretnénk mérni. A kimenet és a vezérlő elektronika tápja egy ponton összeköthető. Javasoljon érzékelési módszert és méretezze az érzékelőt! ($U_i=0..100V$, $U_o=0..5V$, elírt pontosság 1%, az A/D váltó bemeneti árama $1\mu A(\max)$, bemeneti kapacitása $50pF(\max)$).

Egy nagyfeszültség impulzusgenerátor kimenet feszültségét nagy pontossággal és jó dinamikával szeretnénk mérni. A kimenet és a vezérlő elektronika tápja egy ponton összeköthető. Javasoljon érzékelési módszert és adja meg a méretezési szempontokat!

Egy nagyfrekvenciás nagyfeszültség jelet nagysebességű A/D váltóval kívánunk mintavételezni. Milyen érzékelőt használ, ha galvanikus leválasztás nem szükséges?

Közvetlen áramérezékelést valósítunk meg egy $10m\Omega$ -os sönt-ellenállással. A söntellenállás induktivitása $1\mu H$. Rajzoljon fel egy olyan kapcsolást, amely a söntön átfolyó $0-10A$ -es tartományt az AD váltó $0-5V$ -os tartományába konvertálja és dinamikusan is helyes eredményt ad!

Tervezzen $0A$ és $+1A$ között változó áram érzékelésére alkalmas galvanikusan nem leválasztó érzékelőt 2 kivezetésű söntellenállás felhasználásával! A söntellenállás mérőpontjai közötti ellenállás $100m\Omega$, a söntellenállás induktivitása $0,1\mu H$. A kimeneti feszültségtartomány $0..5V$ legyen! A mérővelet milyen tulajdonságára kell odafigyelni, ha az elírt statikus pontosság $0,5\%$?

Nem leválasztott közvetett érzékelők

Egy 0-100Hz-es tartományban 42V DC feszültségre üzemelő frekvenciaváltó (inverter) kimeneti áramát kell érzékelnünk. Tervezzon és méretezzon olyan érzékelő áramkört, amely a maximum 1A-es kimeneti áram pillanatértéket feltételezve a szükséges mérési tartományban az árammal arányos jelet az A/D váltó 0-5V-os bemeneti tartományába konvertálja!

Galvanikusan leválasztás nem szükséges. Az előírt érzékelési pontosság 100mA.

Egy árammérő sőtellenállás jellemzői: $R_s=10\text{m}\Omega$, $L_s=0.1\mu\text{H}$. Tervezzon és illesztő áramkört, amely a 0..5A mérési tartományt az AD váltó bemenetére közel frekvenciafüggetlen módon 0..5V-os tartományba alakítja! A sőt 4 kivezetéses, f_áramköri negatív pontja közös a jelfeldolgozó elektronika nulla pontjával.

Tervezzon 0A és +4A között változó áram érzékelésére alkalmas galvanikusan nem leválasztó érzékelőt 4 kivezetéses sőtellenállás felhasználásával! A sőt f_áramköri negatív pontja közös a jelfeldolgozó elektronika nulla pontjával. A sőtellenállás mérőpontjai közötti ellenállás 25mΩ, a sőtellenállás inuktivitása 1μH. A kimeneti feszültségtartomány 0..5V legyen! Az érzékelő pontatlansága 10kHz-en és alatta kevesebb legyen 10%-nál!

2. Akkumulátoros feladat is lehet.

4) 6 db feleletválasztós kérdés a kondenzátor és akku témakörből (3-3 kérdés)

ZH UTÁNI ANYAG (ELŐVIZSGÁRA):

2016-ban elmélet:

akku?, kondi?, védelem, konstrukció?, előtöltés, félvezető meghajtók

Ezek kelleneek:

https://www.aut.bme.hu/Upload/Course/VIAUMA14/hallgatoi_segedletek/T%c3%balfesz%c3%bcits%c3%a9g_v%c3%a9delem.pdf

https://www.aut.bme.hu/Upload/Course/VIAUMA14/hallgatoi_segedletek/T%c3%bal%c3%a1ram_v%c3%a9delem.pdf

https://www.aut.bme.hu/Upload/Course/VIAUMA14/hallgatoi_segedletek/F%c3%a9lvezet%c5%91k_meghajt%c3%b3k_szebb.pdf

Tavalyi kérdések:

2) 6 db feleletválasztós kérdés a túlfesz, túláramvédelem valamint a félvezetők témakörből. (2-2-2 kérdés)

2. 6db feleletválasztós: Diazed adatlap leolvasása, szikraköz vezet/nemvezet, bootstrap kondi hány kisülésre jó, Clamping célja, Z típusú kismegszakító, Gate körüli Ls miatti parazitabekapcsolás valószínűségének csökkentése

3. A túlfeszvédelem, túláramvédelem, valamint hídmeghajtók témakörből elővizsgán elméleti kérdések voltak. 3 válasz közül kellett kiválasztani egyet. Lehet mostanra már lesz belőle feladat, de szerintem nem valószínű, mivel előadáson se volt.

Analóg leválasztók

Egy váltakozó áramú motor áramát áramváltóval mérjük. A motor maximális felvett árama az 5Hz-100Hz frekvenciatartományban 10A. Az áramváltó áttétele 1:100, a szekunder oldalra vonatkoztatott mágneselési induktivitása 1H. Legfeljebb mekkora sönt-ellenállással zárhatja le az áramváltót, ha a megengedett áramérzékelési hiba 1A?

Áramváltó

$$\hat{i}_{ki} = \hat{i}_{be} \cdot \frac{sL_m}{sL_m + R_s}$$

$$\hat{i}_{hiba} = \hat{i}_{be} \cdot \frac{R_s}{sL_m + R_s}$$

$$1A = 10A \cdot \frac{R_s}{2\pi \cdot 5 \cdot 1 + R_s}$$

$$R_s \leq \frac{10}{9} \pi \approx \underline{\underline{3,49 \Omega}}$$

Worst case: Z_m kicsi,
 sok áram folyik el.
 Ez kis frekvencián van \rightarrow 5 Hz

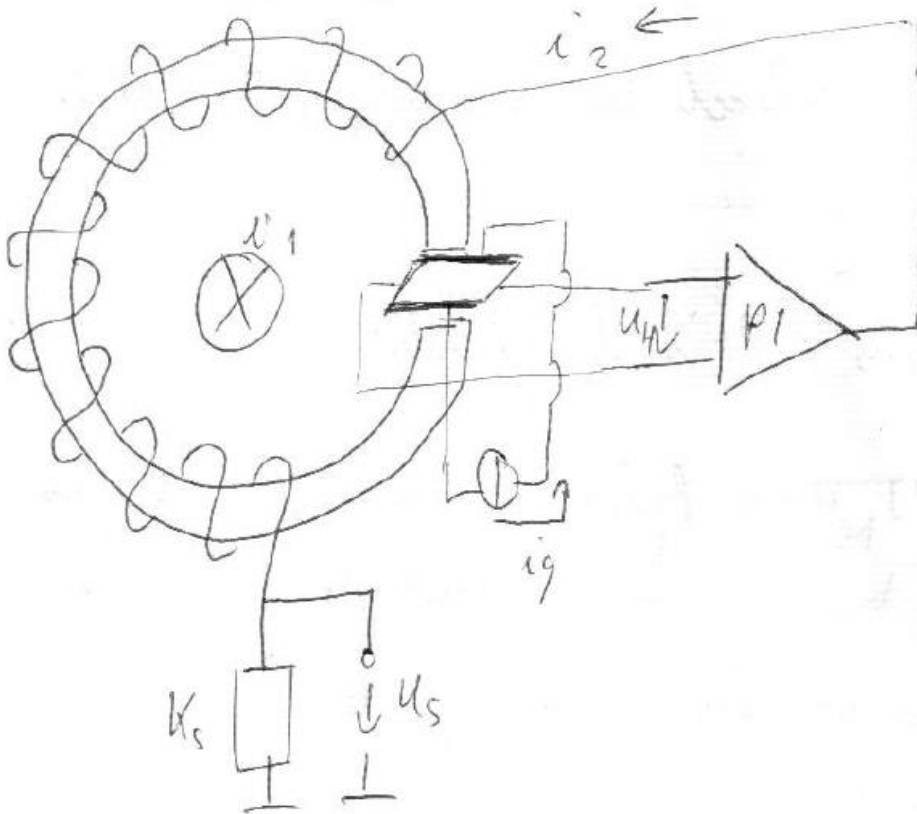
A sönt mindig a szekunder oldalon van, az áttétellel leosztott áram folyik rajta. Tehát itt valójában $i_{be}=10A/100$ és $i_{hiba}=1A/100$, de ugyanaz a végeredmény.

Csak megjegyzésként: az sL_m+R_s komplex vektor hossza: $\sqrt{(wL_m)^2+(R_s)^2}$

Ez alapján: $R_s \leq 3,15$ ohm jön ki, nem pedig 3,49 ohm @ Korpa Antal

Jogos :D

Rajzolja fel a kompenzációs elven működő Hall-elemes áramérző elvi kapcsolását!
Szükséges-e a sőtellenállás feszültségét erősíteni, ha $N_p=1$, $N_s=1000$, $I_p=\pm 100A$, a jelfeldolgozó elektronika jeltartománya $\pm 5V$ és a sőtellenállás maximális disszipációja $1W$?



A sőtön maximum $100A/1000=0,1A$ folyik. Az elektronikának $5V$ kell ekkor.
 Nem szükséges felerősíteni a feszültséget, mert erősítés nélkül $0,1A \cdot 5V = 0,5W$ jut a söntre $< 1W$

Rajzolja fel a kompenzációs elven működő Hall-elemes áramérző elvi kapcsolását!
Méretezze a sőtellenállást és az erősítőt! ($N_p=1$, $N_s=1000$, $I_p=\pm 100A$, a jelfeldolgozó elektronika jeltartománya $\pm 5V$ és a sőtellenállás maximális disszipációja $0,5W$)

Előzőhöz hasonlóan erősítés nélkül $0,5W$ disszipálódik, ne méretezzünk határra.

$$P_{max} = (100 \cdot N_1 / N_2)^2 \cdot R_s = 0,5W$$

Ez alapján R_s maximum 50 ohm . ($0,1^2 \cdot 50 = 0,5$)

Legyen $R_s = 25 \text{ ohm}$, hogy ne méretezzünk határra. Ekkor fele feszültség esik, így kétszeres erősítés kell.

Neminvertáló $2x$ erősítésű kapcsolás

Tervezzen max. 10A-es amplitúdójú áram érzékelésre alkalmas galvanikusan leválasztó érzékelőt analóg optikai csatoló felhasználásával. Az áramkör disszipációja max. 1W lehet, az optikai csatoló átviteli tényezője 0.01, max. LED árama 20mA. A kimeneti feszültségtartomány 0..5V legyen!

$i_{D1} \approx i_{D2}$
 $\frac{U_{be}}{R_1} \approx \frac{U_{ki}}{R_2}$

$i_{be, max} = 10 \text{ A}$
 $P_{max} = 1 \text{ W}$
 \downarrow
 $R_s < 0,01 \Omega$
 Legyen $R_s = 0,005 \Omega$ (ne legyen határon)

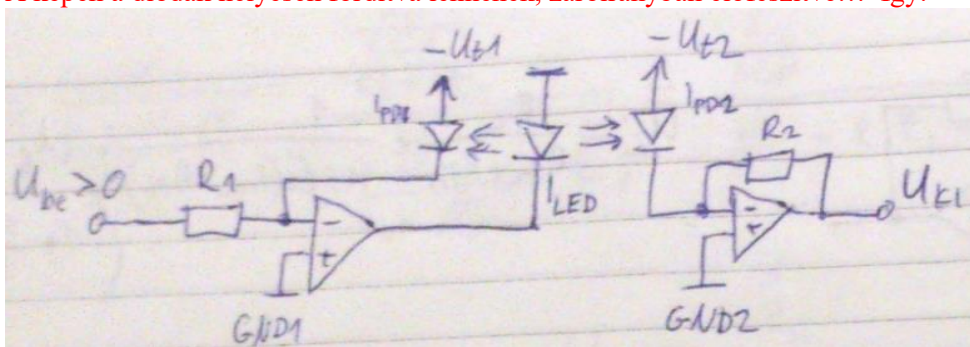
$U_{be, max} = R_s \cdot i_{be, max} = 0,005 \cdot 10 = 0,05 \text{ V}$
 $U_{ki, max} = 5 \text{ V}$
 $U_{ki} = U_{be} \cdot \frac{R_2}{R_1}$
 $A = \frac{R_2}{R_1} = 100$ (erősítő)

Ekkor $P = i^2 \cdot R = 100 \cdot 0,005 = 0,5 \text{ W}$

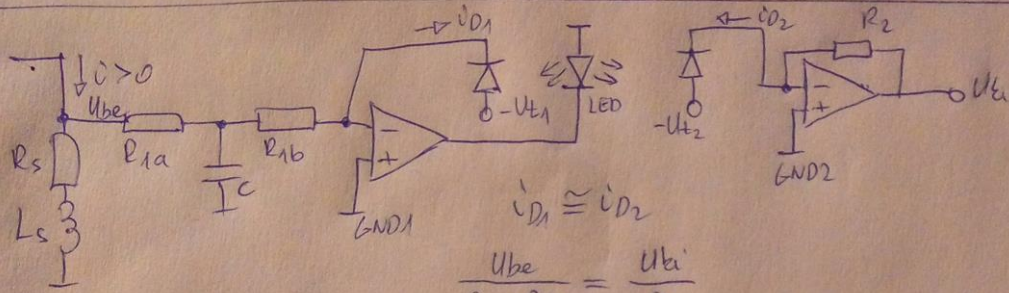
$i_{LED, max} = 20 \text{ mA} \rightarrow i_{D1, max} = 0,2 \text{ mA}$
 $U_{be} = i_{D1} \cdot R_1 \Rightarrow R_{1, min} = 0,25 \text{ k}\Omega$
 Legyen $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$
 $\frac{R_2}{R_1} = 100$
 $R_2 = 100 \cdot 1 \text{ k} = 100 \text{ k}\Omega$

Ekkor $i_{D1, max} = \frac{U_{be, max}}{R_1} = 0,05 \text{ mA}$ ✓
 $i_{LED, max} = \frac{i_{D1, max}}{0,01} = 5 \text{ mA}$ ✓

A képen a diódák helyesen fordítva lennének, záróirányban előfeszítve!!! Így:



Tervezzen max. 10A-es amplitúdójú áram érzékelésre alkalmas galvanikusan leválasztó érzékelőt analóg optikai csatoló felhasználásával! A sötétellenállás disszipációja max. 1W lehet, a sötétellenállás induktivitása 0.1uH, az optikai csatoló átviteli tényezője 0.01, max. LED árama 20mA. A kimeneti feszültségtartomány 0..3V legyen!
Itt már jó a diódák iránya (záróirányú előfeszítés)



$i_{max} = 10A$ $i_{LEDmax} = 20mA$
 $P_{smax} = 1W$ $R_{smax} = \frac{P_{smax}}{i_{max}^2} = 0,01 \Omega$ Legyen $R_s = 0,005 \Omega$
 $L_s = 0,1 \mu H$ (Ne tervezünk határra)
 $CRT = 0,01$ Ekkor $U_{be max} = 10A \cdot 0,005 \Omega = 0,05V$
 $U_{ki max} = 3V$ $A = \frac{U_{ki}}{U_{be}} = 60 = \frac{R_2}{R_{1a} + R_{1b}}$

$i_{Dmax} = CRT \cdot i_{LEDmax} = 0,2 mA$
 $i_{Dmax} = \frac{U_{be}}{R_{1a} + R_{1b}}$ Legyen $R_{1a} = R_{1b} = R_1$
 $R_{1min} = \frac{U_{be max}}{2 \cdot i_{Dmax}} = \frac{0,05 V}{0,4 mA} = 0,125 k\Omega$ Legyen $R_1 = 1k\Omega$
 $R_2 = 60 \cdot 2 \cdot 1 = 120k\Omega$

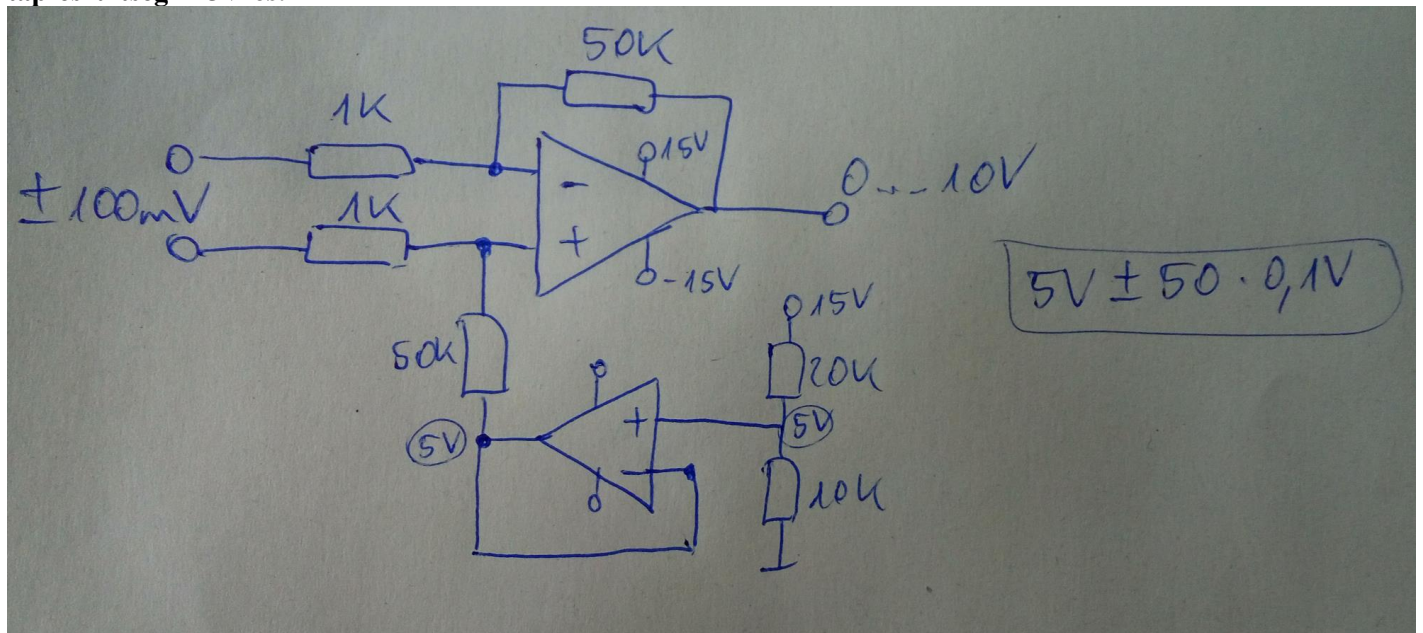
L_s kompenzálás:

$$\frac{L_s}{R_s} = C \cdot (R_{1a} \times R_{1b}) = C \cdot \frac{R_1}{2}$$

$$C = 2 \cdot \frac{L_s}{R_s} \cdot \frac{1}{R_1} = 40 nF$$

Tervezzen leválasztó erősítőt analóg optikai csatoló segítségével! Az erősítő $\pm 100\text{mV}$ -os bemenő tartományához a kimeneten $0..10\text{V}$ tartozzon.

Az optikai csatoló átviteli tényezője 0.01 , maximális LED árama 20mA , a rendelkezésre álló tápfeszültség $\pm 15\text{V}$ -os.



Differenciálóval $0..10\text{V}$ a $+0,1\text{V}$ -ből (50-szeres erősítés + 5V offset hozzáadása), aztán egységnyi erősítésű leválasztás a fenti módon.

Q: miért nem elég csak simán az előző fenti?

A: Mert az csak pozitív bemenő feszültségnél működik. (PD-kezt záróirányba, LED-et meg nyitó irányba kell előfeszíteni, ez akkor teljesül, ha a bemeneti fesz pozitív)

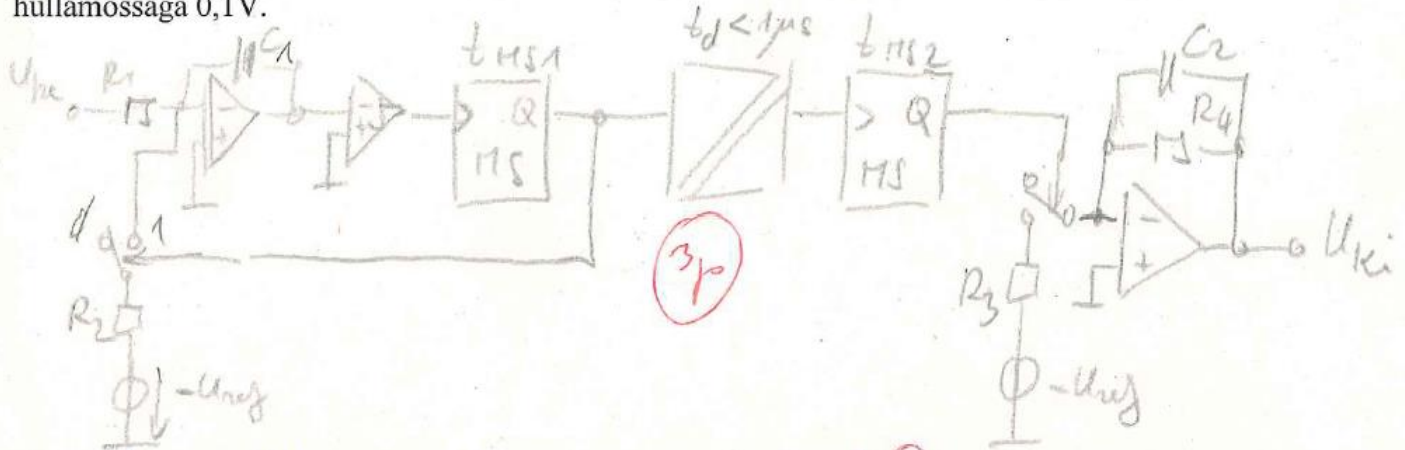
Egy $0-100\text{Hz}$ -es tartományban üzemelő frekvenciaváltó (inverter) kimeneti áramát kell érzékelnünk. Tervezzen és méretezzen olyan érzékelő áramkört, amely galvanikusan leválaszt, a maximum 10A -es kimeneti áram pillanatértéket feltételezve a szükséges mérési tartományban az árammal arányos jelet az A/D váltó $0-5\text{V}$ -os bemeneti tartományába konvertálja!

Sima áramváltó nem jó, mert DC-n is működni kell.

Hall-elemes cucc vagy optós, itt gondolom negatív áram is lehet.

Digitális leválasztók

3.) Ismertesse a VFC alapú galvanikusan leválasztott érzékelés elvi vázlatát! Felhasználható elemek (nem kell mindent felhasználni): műveleti erősítő, analóg kapcsoló, optikai csatoló (max. 1µs késleltetéssel), D tároló, monostabil multivibrátor, referencia feszültség (10V-os), számláló, szinuszos oszcillátor (1MHz-es), ellenállás, kondenzátor, komparátor, tápfeszültség. Méretezze a kapcsolást a következő feltételeknek megfelelően: a bemeneti feszültség tartomány 0-tól 10V, a bemeneti áram legfeljebb 1mA, a kimeneti feszültségtartomány 0-tól 10V, a kimeneti feszültség maximális hullámossága 0,1V.



$R_1 \geq \frac{U_{be}}{I_{max}} = \frac{10}{1mA} = 10k\Omega$. Legyen $R_1 = 20k\Omega$! (pl.) (1r)

$t_{MS1} = t_{MS2} > t_d = 1\mu s$. Legyen $t_{MS1} = t_{MS2} = 2\mu s$! (0,5r)

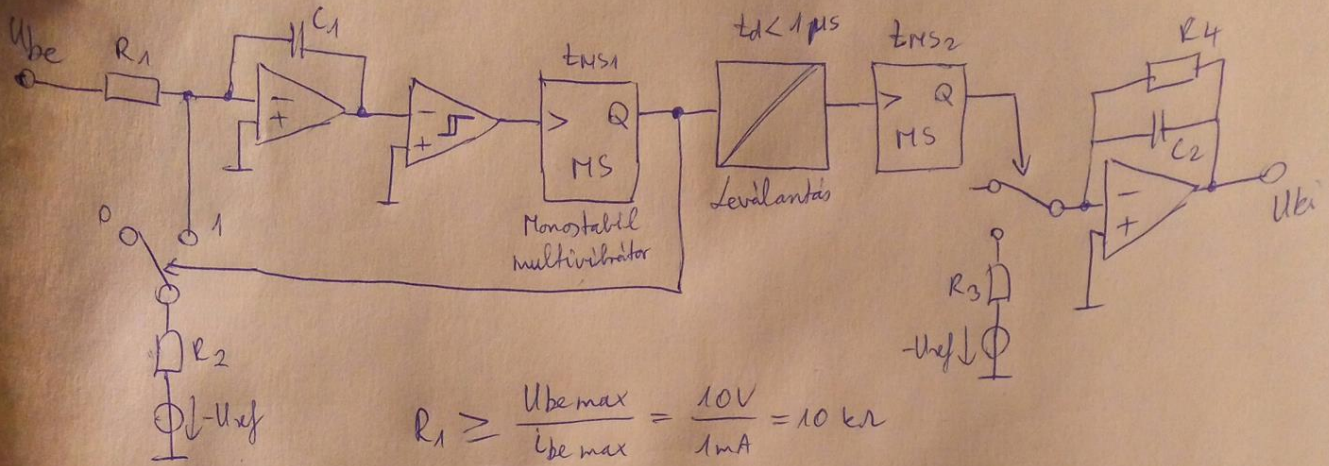
A max. felmenátlás $\frac{1}{T_{min}} = T_{min} > t_{MS1}$. Legyen $T_{min} = 2t_{MS1}$! $f_{max} = \frac{1}{T_{min}} = \frac{1}{2 \cdot 2\mu s} = 250kHz$

A max. felmenátlás $d = t_{MS} \cdot f = 0,5$, tehát $\frac{U_{ki}}{R_2} \cdot d_{max} = \frac{U_{be,max}}{R_1} \Rightarrow R_2 = R_1 \cdot \frac{10}{0,5} = 20k\Omega$ (0,5)

Hasonlóan $R_4 = \frac{U_{ki,max}}{U_{ref}} \cdot \frac{1}{d_{max}} \cdot R_3$. Legyen $R_3 = 10k\Omega$, $R_4 = \frac{10}{10} \cdot \frac{1}{0,5} \cdot 10k = 20k\Omega$ (0,5)

$\Delta U_{ki,max} \approx \frac{R_4}{R_3} \cdot U_{ref} \cdot \frac{t_{MS}}{C_2 \cdot R_4}$, tehát $C_2 \geq \frac{20k}{10k} \cdot \frac{10}{0,1} \cdot \frac{2\mu}{20k} = 20\mu F$. (1r)

Működés: a bemeneten lévő integrátor+komparátor+monostabil vibrátor a bemeneti feszültséggel arányos frekvenciájú jelet állít elő. A MS miatt tbe adott, tki változik Ube-től függően, így a kitöltési tényező és a freki is. A másik oldalon jelen esetben analóg aluláteresztő van. A kitöltési tényező arányos a bemeneti feszültséggel, így a jel középértéke is arányos lesz a bemeneti feszültséggel. Másik esetben digitálisan dolgozzuk fel a jelet, ekkor frekvenciát mérünk, és az lesz arányos a bemeneti feszültséggel. Ellentétben a szigma-deltával, itt tbe=tMS állandó, ezalatt a pozitív komparálási szint fölé megy az integrátor kimenete. Ez nem magától adódik, úgy kell méretezni, hogy ez megtörténjen minden esetben. A tki pedig attól függ, hogy mikor érjük el a negatív komparálási szintet.



$$R_1 \geq \frac{U_{be\max}}{I_{be\max}} = \frac{10V}{1mA} = 10\text{ k}\Omega$$

Legyen $R_1 = 20\text{ k}\Omega$

$I_{be\max} = 1\text{ mA}$
 $U_{be} = 0 \dots 10V$
 $U_{ki} = 0 \dots 10V$
 $\Delta U_{ki} = 0,1V$

$t_{MS1} = t_{MS2} > t_d = 1\mu s$ legyen $t_{MS1} = t_{MS2} = 2\mu s$

Max frekvencia: $\frac{1}{f_{\max}} = T_{\min} > t_{MS1}$

legyen $T_{\min} = 2 \cdot t_{MS1} = 4\mu s \Rightarrow f_{\max} = 250\text{ kHz}$

$d_{\max} = t_{MS} \cdot f_{\max} = 0,5$

$\frac{U_{ref}}{R_2} \cdot d_{\max} = \frac{U_{be\max}}{R_1}$ (állandósult állapot) $\Rightarrow R_2 = R_1 \cdot \frac{U_{ref}}{U_{be\max}} \cdot d_{\max}$

$R_2 = 20k \cdot \frac{10}{10} \cdot 0,5 = 10\text{ k}\Omega$

Hasonlóan:

$R_4 = R_3 \cdot \frac{U_{ki\max}}{U_{ref}} \cdot \frac{1}{d_{\max}}$

legyen pl. $R_3 = 10\text{ k}\Omega \Rightarrow R_4 = 20\text{ k}\Omega$

$\Delta U_{ki\max} \approx \frac{R_4}{R_3} \cdot U_{ref} \cdot \frac{t_{MS}}{C_2 \cdot R_4}$ $C_2 \geq \frac{20k}{10k} \cdot \frac{10}{0,1} \cdot \frac{2\mu}{20k} = 20\text{ nF}$

Ha $U_{be} = 0$, akkor integrátor kimenete max $t_{MS} \cdot \frac{U_{ref}}{R_2 \cdot C_1}$ lehet,

ami kisebb kell legyen, mint az erősítő max kimeneti feszültsége (Nincs megadva)

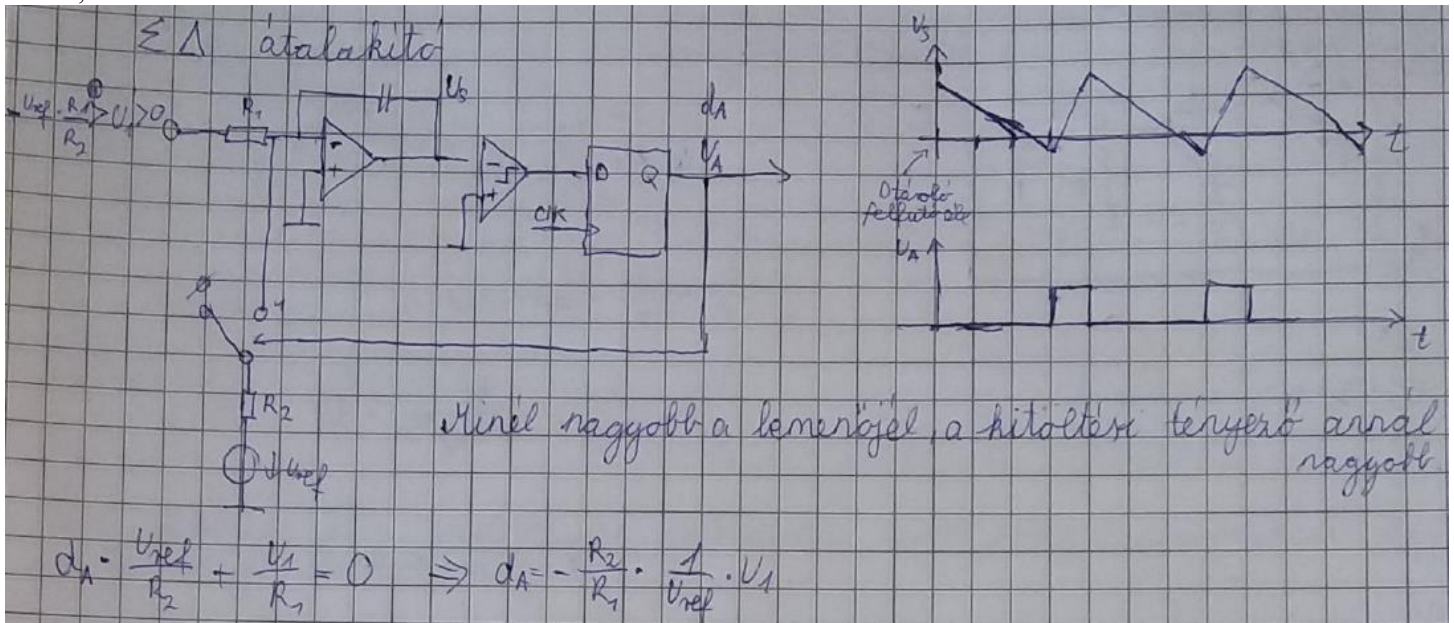
Ha mondjuk 10V: $10V \geq 2\mu s \cdot \frac{10V}{10k\Omega \cdot C_1}$

$C_1 \geq 0,2\text{ nF} ?$

Ismertesse a SD átalakító működését! Hogyan és miért függ össze az átalakítási idő a felbontással?

Sigma-delta bitsorozatot állít elő CLK-val szinkronban. Minél hosszabb az átalakítási idő, annál hosszabb a bitsorozat, tehát annál pontosabb? Az integrátor kimenete a két komparálási szint között mozog. A kitöltési tényező a bemeneti feszültségtől függ.

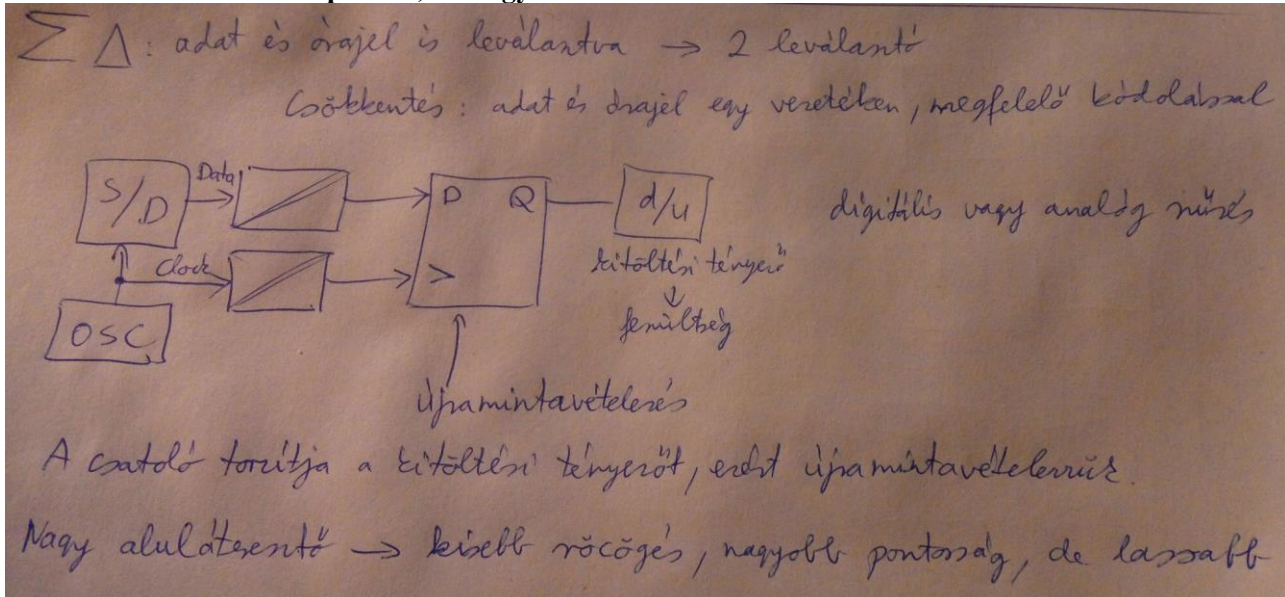
Se tbe, se tki nem állandó.



Ismertesse a SD modulációval működő leválasztó erősítő működését! Hogyan befolyásolja az alkalmazott csatoló az erősítő offszetjét ill. nemlinearitását?

Ismertesse a SD átalakítót tartalmazó leválasztó erősítő felépítését! Hogyan választja meg az aluláteresztő tag időállandóját?

Ismertesse a SD átalakítót tartalmazó leválasztó erősítő felépítését! Hány kétállapotú leválasztót tartalmaz a kapcsolás, ill. hogyan csökkenthető a számuk?



Miért és hogyan befolyásolják az optocsatoló jellemzői az egyetlen digitális optocsatolót tartalmazó PWM elvű leválasztó erősítő tulajdonságait? Milyen jellemzők alapján választanák ki az optocsatolót?

Lehet nem ezt tanultuk ezt szedtem össze az élet alatt:

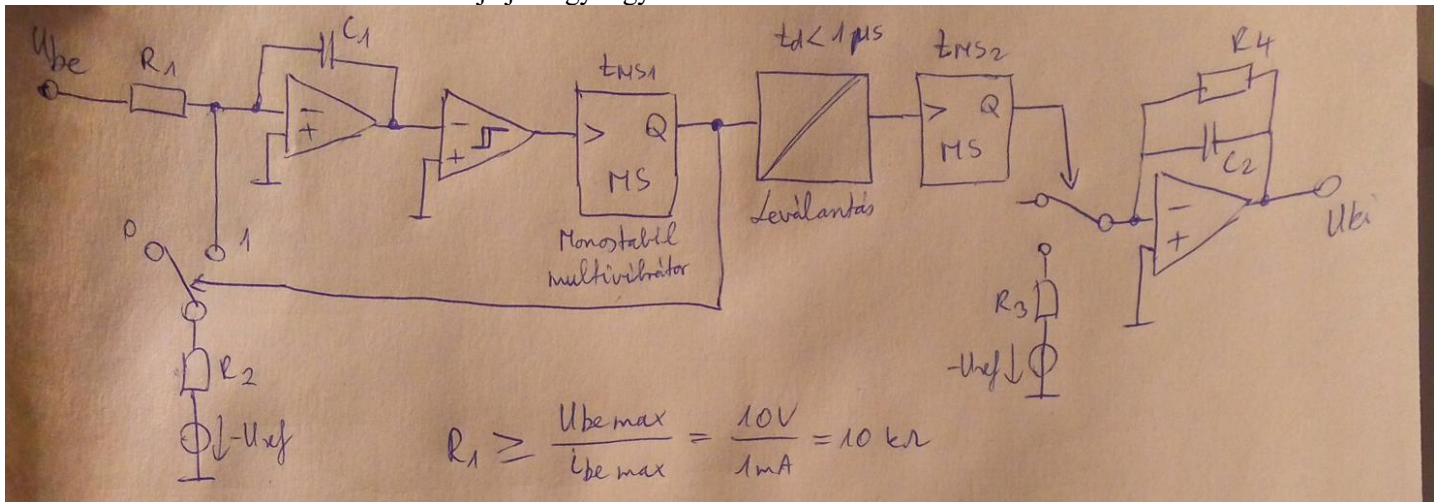
Az optocsatolók ki és bekapcsolási ideje különbözik (a kikapcs tipikusan sokkal lassabban történik meg).

Következésképp, ha PWM jelet küldünk át az optocsatolón, a kitöltési tényező a csatoló túloldalán nem ugyanolyan lesz. Ökölszabályként azt szokták mondani, hogy az optocsatoló átviteli frekvenciája legyen legalább 10-szer akkora, mint a rajta átvinni kívánt PWM jel.

Rajzoljon fel egy olyan digitális galvanikus leválasztó használó erősítő kapcsolást, amelynél az elérhető statikus pontosság kiemelkedően jó (a beállási idő közömbös)! Indokolja meg választását!

VFC: minél tovább várunk, annál pontosabb (vagyis minél nagyobb intervallumra átlagoljuk a jelet).

Kimeneten lévő aluláteresztő időállandója jó nagy legyen.



Rajzoljon fel egy olyan digitális galvanikus leválasztó használó galvanikusan leválasztó érzékelő kapcsolást, amelynél a modulátor VFC, az elérhető statikus pontosság és a beállási idő egyaránt fontos! Indokolja meg választását!

Vagy ugyanaz, mint az előző feladatban, jól beállított szűrővel.

Az analóg aluláteresztő kimeneti feszültsége arányos a bemeneti feszültséggel.

Vagy digitális szűrő: kövi oldalon 3 számláló, és fbe bemenetre kötjük a 2. monostabilt.

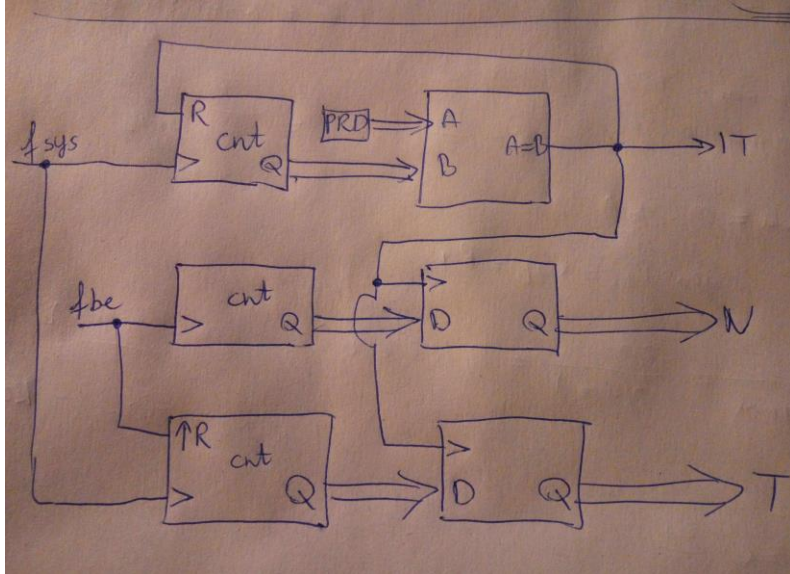
A mért frekvencia arányos lesz a bemeneti feszültséggel.

VFC jelét digitálisan dolgozzuk fel. 1ms-onként kell meghatározni a 0 és 1MHz közötti jel frekvenciáját. Rendelkezésre állnak 16 bites számlálók, D tárolók, digitális komparátor, 10MHz-es rendszer órajel, mikrokontroller. Ismertesse a kapcsolást!

Ugyanaz, mint a következő? Akár az is jó, de mivel a pontosságról semmit nem ír, ezért az alsó számlálót és flip-flopot el lehet hagyni. Nem ír pontosságot, de feltételezem, hogy nem végtelen hibával akarjuk mérni a 0 közeli frekit.

:) Igaz

VFC jelét digitálisan dolgozzuk fel. 1ms-onként kell meghatározni a 10kHz és 1MHz közötti jel frekvenciáját. Milyen kapcsolást/módszert kell alkalmazni, ha az alkalmazásban 0,2kHz-es felbontás szükséges?



A legfelső számlálóval időt mérünk, PRD-vel állítjuk be az 1ms-ot, letelte után interrupt, a középső számlálóval összeszámlált éleket kiküldjük (N). Ez pontatlan, az alsó példában 3 élet számlolna, de csak kicsit több, mint 2 periódus telik el. Az alsó számláló a felfutó él óta eltelt időt számolja és a pöttyözött helyeken (1ms-onként) kiköpi (T), ezzel lehet pontosítani.

$f = 10\text{kHz} \dots 1\text{MHz}$
 $T_s = 1\text{ms} \rightarrow 1\text{kHz}$

T_s alatt 10kHz jel ezteh 10-et námlál, 1kHz pontosság
 Nekünk $\Delta f = 0,2\text{kHz}$ pontosság kell

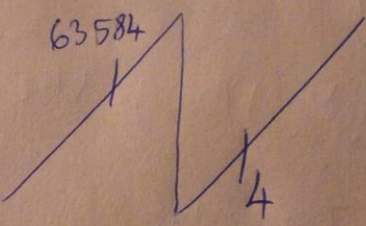
(a) több időt várunk, $T_s = 5\text{ms}$
 b) Még egy námláló

Ha 1ms-ból kivonjuk t_2 -t és hozzáadjuk t_1 -et,
 megkapjuk a periódusok pontos idejét:

$$\text{egy periódus ideje} = \frac{1\text{ms} + t_1 - t_2}{\text{periódusok száma}}$$

VFC jelét digitálisan dolgozzuk fel. A két egymást követő IT-nél kiolvasott számláló tartalom 63584 és 4. Az IT-eket kiváltó (egyben a mintavételezést vezérlő), a 10MHz-es rendszerórajelről vezérelt számlálót a következő órajelnél alapállapotba állítjuk, amikor a számláló értéke eléri a 999-et. Ismertesse a kapcsolást és határozza meg a 2. IT-nél mért VFC frekvenciát.

$f_{sys} = 10 \text{ MHz}$
 $T_s = (1 + 999) \cdot \frac{1}{f_{sys}} = 100 \mu\text{s}$

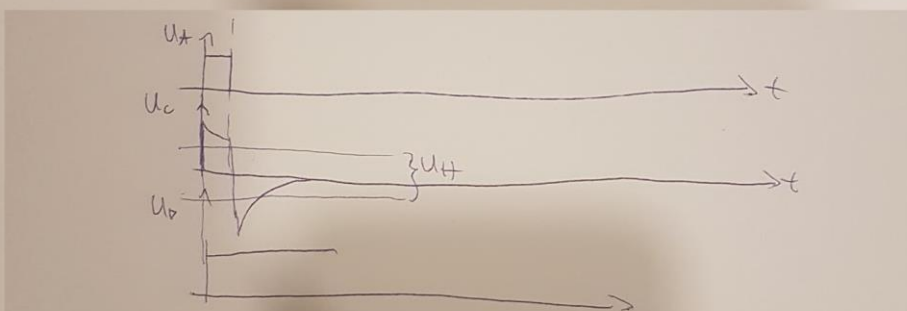
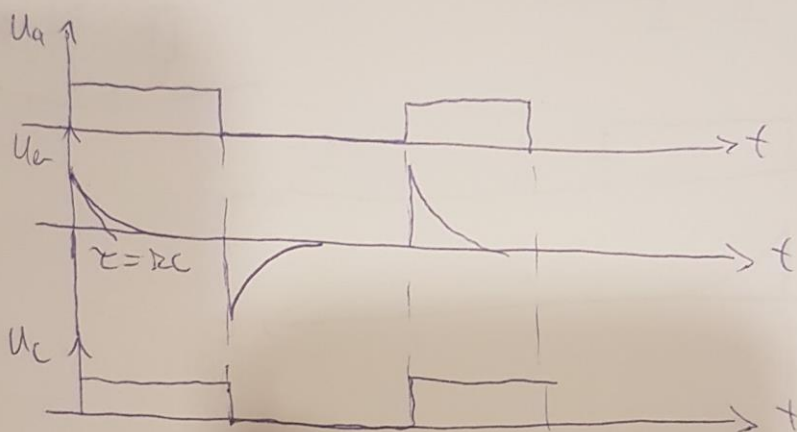
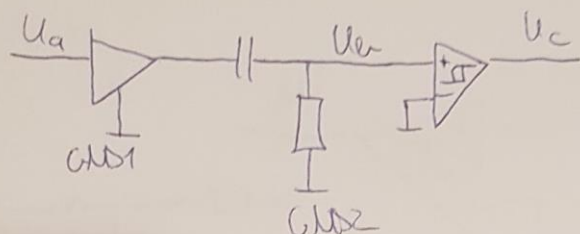


16 bites számláló

$$f = \frac{4 - 63584 + 2^{16}}{T_s} = \underline{19,56 \text{ MHz}}$$

Ismertesse a kapacitív elvű digitális jellelvezető működését! Mitől és hogyan függ az átvihető impulzus maximális/minimális szélessége? Időfüggvényekkel szemléltesse a választ!

Kapac



$$U_c = U_{0H} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$U_{0H} - U_c < \frac{U_H}{2} \text{ vagy}$$

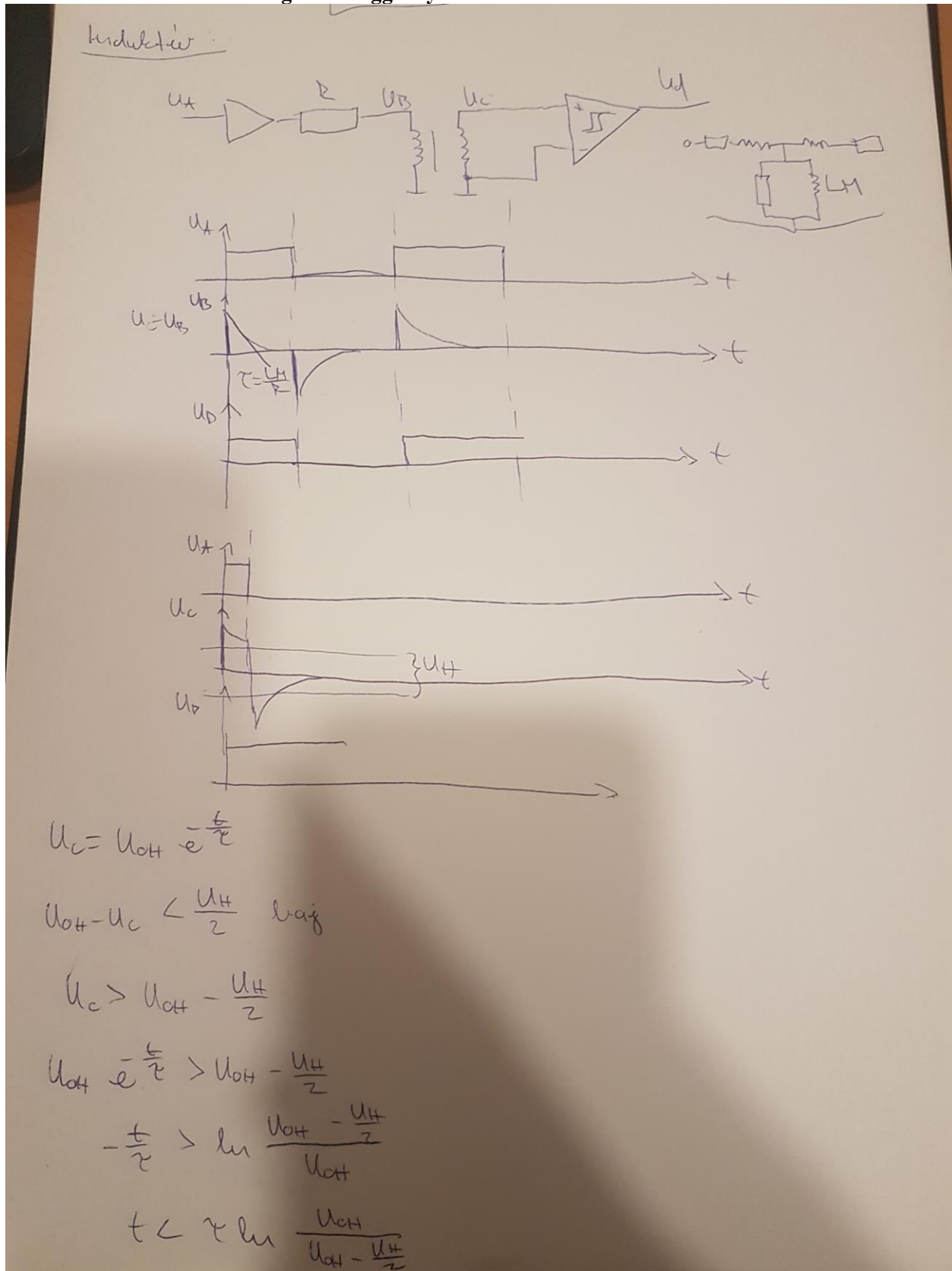
$$U_c > U_{0H} - \frac{U_H}{2}$$

$$U_{0H} e^{-\frac{t}{\tau}} > U_{0H} - \frac{U_H}{2}$$

$$-\frac{t}{\tau} > \ln \frac{U_{0H} - \frac{U_H}{2}}{U_{0H}}$$

$$t < \tau \ln \frac{U_{0H}}{U_{0H} - \frac{U_H}{2}}$$

Ismertesse az induktív elvű digitális jellelválasztó működését! Mitől és hogyan függ az átvihető impulzus maximális/minimális szélessége? Időfüggvényekkel szemléltesse a választ!



Miért és hogyan befolyásolják az optocsatoló dinamikus jellemzői az egyetlen digitális optocsatolót tartalmazó PWM elvű leválasztó erősítő tulajdonságait?

Eltérő felfutási és lefutási idők miatt torzítja a kitöltési tényezőt.

PWM elvű leválasztó analóg kimenetén 1ms-os időállandójú alul-áteresztő szűrőt alkalmazunk. A 100%-os kitöltési tényezőhöz tartozó kimeneti feszültség középérték 10V. A PWM frekvenciája 100kHz. Mekkora lesz a kimeneti jel maximális hullámossága (csúcstól csúcsig) és mekkora kimeneti feszültségnél lép fel?

$R \cdot C = \tau = 1 \text{ ms}$
 $f = 100 \text{ kHz} \rightarrow T = 10 \mu\text{s}$
 Max. hullámosság $d = 0,5$ -nél. $t_{be} = 5 \mu\text{s}$
 Ekkor $U_{kiAV} = 5 \text{ V}$
 $\frac{5 \mu\text{s}}{1 \text{ ms}} = \frac{\Delta U}{5 \text{ V}} \rightarrow \Delta U \approx 25 \text{ mV}$
 (Közelítő kezdeti közelítés alapján)

The diagram shows an RC low-pass filter circuit. The input is a PWM signal with duty cycle d and amplitude 10 V . The filter consists of a resistor R and a capacitor C in parallel. The output is U_{ki} . The graph shows a sawtooth-like signal with a peak-to-peak ripple of 5 V and a period of 1 ms . The average value is 5 V .

PWM jel leválasztására optikai csatolót alkalmazunk. Ismertesse a PWM jel demodulálására alkalmas kapcsolást! Felhasználható elemek (nem kell mindent felhasználni): D tároló, műveleti erősítő, feszültség referencia, ellenállások, diódák, kondenzátorok, monostabil multivibrátor. A jel vivőfrekvenciája 10kHz, a teljes kivezérléshez tartozó kimeneti feszültség 10V. Mekkora kimeneti feszültség hibát okoz, ha az optikai csatoló tPDHL késleltetése a hőmérséklet változásának hatására 1us-ot növekszik?

PWM demodulátor:
 $U_{2AV} = -d \cdot U_{ref} \cdot \frac{R_2}{R_1}$
 $f_v = 10 \text{ kHz}$
 $U_{2max} = 10 \text{ V}$
 $\Delta t_{PDHL} = 1 \mu\text{s}$
 $\Delta d = \Delta t_{PDHL} \cdot f_v = 0,01 = 1\%$
 $\Delta U_2 = \Delta d \cdot 10 \text{ V} = \underline{\underline{0,1 \text{ V}}}$

The diagram shows a PWM demodulator circuit. It consists of an optical coupler with a duty cycle d and a reference voltage U_{ref} . The output is U_2 . The circuit includes a resistor R_1 and a resistor R_2 . The graph shows a sawtooth-like signal with a peak-to-peak ripple of $0,1 \text{ V}$ and a period of 10 kHz . The average value is 10 V .

PWM jelet inductív elven választunk le. Rajzolja fel az elvi kapcsolást! Milyen tartományban változhat a jel kitöltési-tényezője, ha a leválasztására alkalmazott transzformátor primer tekercselésének ellenállása 1kOhm, mágnesező ágának induktivitása 1mH, áttétele 1, a transzformátor többi paramétere ideálisnak tekinthető, transzformátort meghajtó áramkör kimeneti feszültsége +/-5V, a hiszterézises komparátor billenési pontjai +/- 1V, a vivőfrekvencia 10kHz?

$f_v = 10 \text{ kHz}$

$R_p = 1 \text{ k}\Omega$

$L_p = 1 \text{ mH}$

$V_H = 2 \cdot 1 \text{ V}$

$\Delta t_{\text{határ}} \approx 100 \text{ ns}$

$\tau = \frac{L_p}{R_p} = 1 \mu\text{s}$

histerézis $\pm 1 \text{ V}$

$T = \frac{1}{10 \text{ kHz}} = 100 \mu\text{s}$

$\frac{100 \text{ ns}}{100 \mu\text{s}} = 0,001 = d_{\text{min}} = 1 - d_{\text{max}}$

$d = 0,001 \dots 0,999$

Akkor van baj, ha olyan hamar ugrik lefele 10V-ot, hogy nem lépje át a histerézis határát. Tehát 9V-ot lefele.

Kapacitív elvűnél is hasonló, csak $\tau = R \cdot C$ -vel számolunk.

VFC elvű leválasztó analóg kimenetén 1ms-os időállandójú alul-áteresztő szűrőt alkalmazunk. A maximális frekvencia 100kHz, amelyhez 10V-os kimeneti feszültség középférték tartozik, az impulzusszélesség 5µs. Mekkora lesz a kimeneti jel maximális hullámossága (csúcstól csúcsig) és mekkora kimeneti feszültségnél lép fel?

3 oldallal ezelőtti feladathoz hasonlóan:

Handwritten calculations on a piece of paper:

$$f_{max} = 100 \text{ kHz} \rightarrow T = 10 \mu\text{s}$$
$$U_{k,AV} = 10 \text{ V} \rightarrow \hat{U}_k = 20 \text{ V}$$
$$t_{be} = 5 \mu\text{s} \rightarrow d = 0,5$$

Itt len a legnagyobb hullámosság

$$\tau = 1 \text{ ms} \quad \frac{5 \mu\text{s}}{1 \text{ ms}} = \frac{\Delta U}{10 \text{ V}} \rightarrow \underline{\Delta U = 50 \text{ mV}}$$

IDÉN NINCS:

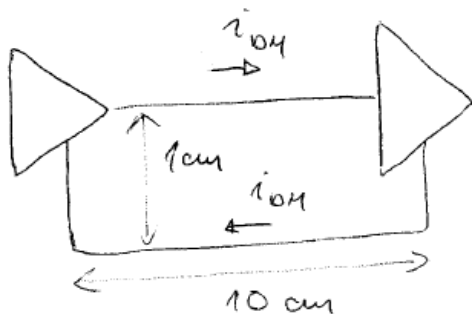
EMC

Differenciális módusú (DM) sugárzás (hurok antennák) számítása

1. 10 MHz-es órajel egy PCB 10 cm-es vezetékén jut egy meghajtó IC-től egy fogadó IC-re, melyből a visszavezetés vezetéke 1 cm-re fut a jelvezetékétől. Az órajel felfutási ideje 3 ns, és feltételezzük, hogy 10 mA-es négyszögjel hajtja meg a fogadó IC bemenetét.

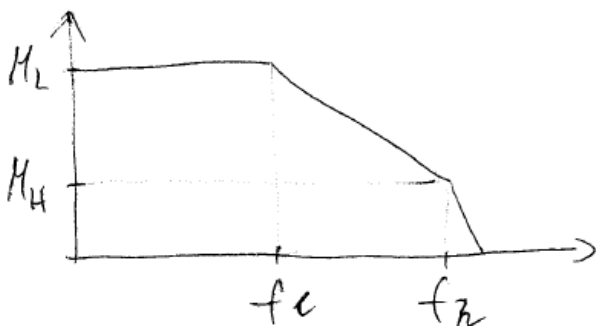
a) A spektrum burkoló számításával becsülje meg a sugárzott térerősség lehetséges maximális értékét dB μ V/m-ben az alap harmonikus frekvencián, ha a PCB-től 3 m-re mérünk?

1) a) $f_{clk} = 10 \text{ MHz}$, $d = 0,5$; $t_r = 3 \text{ ns}$



$i_{DM_max} = 10 \text{ mA}$

$A = 10^{-3} \text{ m}^2$



$f_L = 6,37 \text{ MHz}$

$f_H = 106,1 \text{ MHz}$

$i_{DMH} = 10 \text{ mA}$

$\hat{E}_{DMH} = 263 \cdot 10^{-18} \cdot \frac{f_u^2 \cdot A \cdot \hat{i}_{DMH}}{r^2} = 8,77 \frac{\mu\text{V}}{\text{m}}$

$\hat{E}_{DMH} = 18,86 \frac{\text{dB}\mu\text{V}}{\text{m}}$

b) A spektrum burkoló számításával becsülje meg, hogy a PCB-től 3 m-ről mérve az 5.-dik harmonikus frekvenciáján túllépjük-e 28.75 dB μ V/m értéket?

$$b.) n=5 \quad f_n = 50 \text{ MHz}$$

$$i_{DM_n} = 1,27 \text{ mA}$$

$$E_{DM_n}^{\wedge} = 2,79 \cdot 10^{-5} \frac{\text{V}}{\text{m}} \Rightarrow \underline{\underline{28,91 \frac{\text{dB}\mu\text{V}}{\text{m}}}}$$

c) Harmonikus amplitúdó számításával adja meg, hogy helyes volt-e az előbbi becslés?

c.)

$$|i_{DM_n}| = 2 \cdot i_{DM_{max}} \cdot d \cdot \frac{\sin(5\pi d)}{5\pi d} \cdot \frac{\sin(5\pi \cdot 50 \cdot 50 \text{ MHz})}{5\pi \cdot 50 \cdot 50 \text{ MHz}}$$

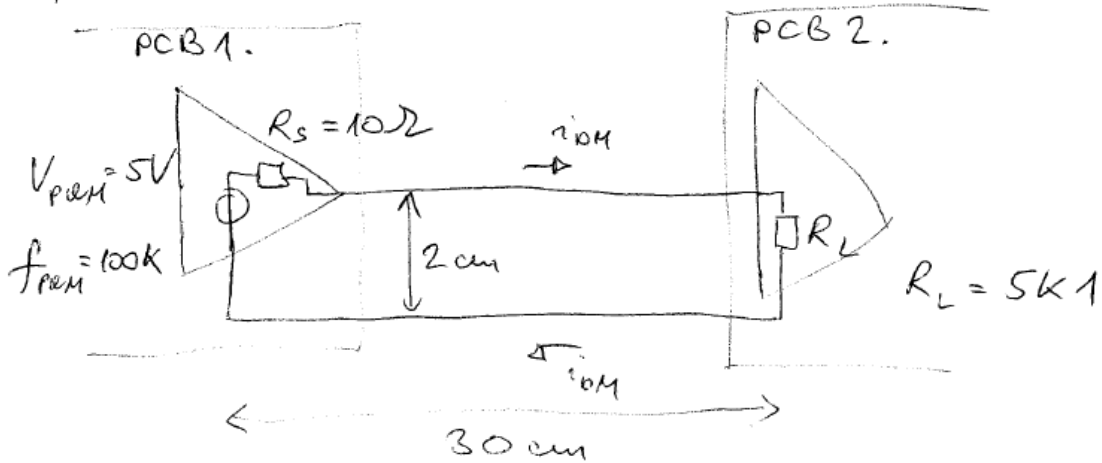
$$|i_{DM_n}| = 1,23 \text{ mA}$$

$$E_{DM} = 2,69 \cdot 10^{-5} \frac{\text{V}}{\text{m}} \Rightarrow 28,59 \frac{\text{dB}\mu\text{V}}{\text{m}}$$

Teljesen megsemm
lépjük túl.

2. PCB-n egy meghajtó IC-vel 5V-os, 100 kHz-es PWM jelet adunk ki, mely egy 30 cm hosszú vezetéken egy másik PCB-n lévő fogadó fokozat bemenetére kerül. A föld visszavezetés 2 cm-re fut párhuzamosan az odavezetéstől. A meghajtó IC 0.5 A meghajtó képességű, a fogadó fokozat bemeneti ellenállása 5.1 kΩ. A 20 % kitöltési tényezőjű PWM jelnek 10 ns felfutási, és 6 ns lefutási ideje van.

a) Határozza meg a hurok áram spektrum burkoló görbe értékét Amperben a 10.-dik harmonikus frekvenciáján!

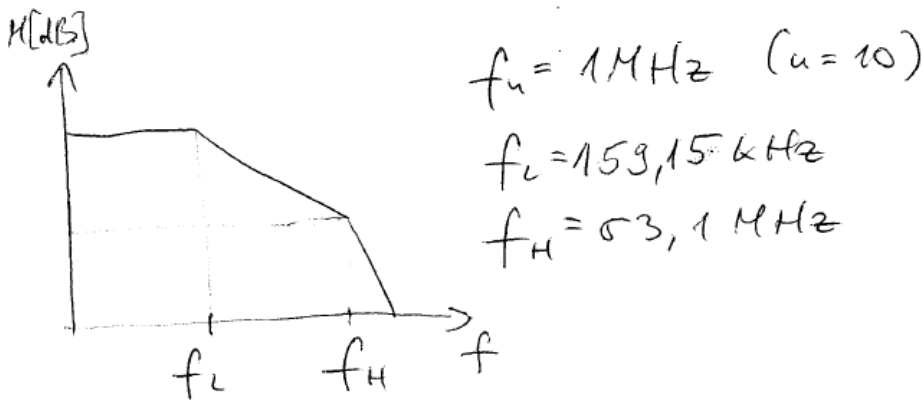


$$\alpha = 20\% \quad t_H = \text{MIN}(t_r, t_f) = 6 \mu\text{s}$$

$$t_L = 2 \mu\text{s}$$

$$T = 10 \mu\text{s}$$

$$i_{DM_{max}} = \frac{V_{PWM}}{R_s + R_L} = 0,98 \mu\text{A}$$



$$M(f_u) = 20 \log(2 \cdot i_{DM_{max}} \cdot 0,2) - 20 \log\left(\frac{f_u}{f_L}\right) =$$

$$= -84,1 \text{ dB}$$

$$\hat{i}_{DM_n} = 0,06 \mu\text{A}$$

b) Mennyire kellene csökkenteni a vezetékek hosszát, hogy még biztosan ne lépjük túl a 100. harmonikus frekvencián a $-45 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ értéket a PCB-ktől 10 m-re mérve?

$$b.) \hat{E}_{DM} = -45 \frac{\text{dB}\mu\text{V}}{\text{m}} \Rightarrow 5,6 \cdot 10^{-9} \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

$$n = 100 \quad f_n = 10 \text{ MHz} \quad r = 10 \text{ m}$$

$$\hat{i}_{DMn} = 6,24 \cdot 10^{-3} \text{ mA}$$

$$A_{\max} = \frac{\hat{E}_{DM} \cdot r}{263 \cdot 10^{-16} \cdot (f_n)^2 \cdot \hat{i}_{DMn}} = 3,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$l_{\max} = 17 \text{ cm.}$$

c) Harmonikus amplitúdó számításával adja meg a sugárzott térerősséget a PCB-ktől 1 m-re $\text{dB}\mu\text{V/m}$ -ben a 7. harmonikusra!

$$c.) n = 7$$

$$|\hat{i}_{DMn}| = 8,47 \cdot 10^{-5} \text{ A}$$

$$\hat{E}_{DMn} = 6,55 \cdot 10^{-9} \frac{\text{V}}{\text{m}} \Rightarrow -43,67 \frac{\text{dB}\mu\text{V}}{\text{m}}$$

Közös módusú (CM) sugárzás (dipol/monopol antennák) számítása

3. Egy 2 méteres kábelben 50 %-os kitöltési tényezőjű, 1 mA-es, 100 kHz-es közös módusú négyszögjel áram mérhető.

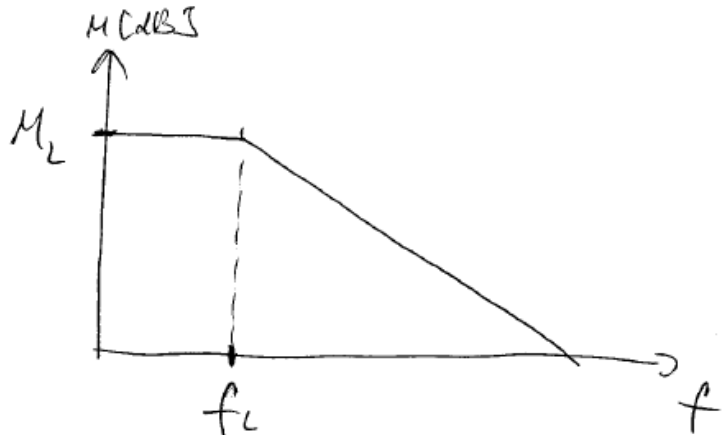
a) Becsülje meg a kábeltől 3 m-re mérhető térerősség értékét dB μ V/m-ben az alap harmonikus frekvencián a spektrum burkoló görbe számításával!

a.)

$$l = 2 \text{ m}$$

$$\hat{i}_{CM_{max}} = 1 \text{ mA}$$

$$f_{CM} = 100 \text{ kHz}$$



$$n=1$$

$$\hat{i}_{CM_n} = 0,6366 \text{ mA}$$

$$f_L = 63,66 \text{ kHz}$$

$$\hat{E}_{CM_n} = 12,6 \cdot 10^{-7} \frac{f_n \cdot l \cdot \hat{i}_{CM_n}}{r} = 53,47 \frac{\mu\text{V}}{\text{m}}$$

$$\hat{E}_{CM_n} = 34,56 \frac{\text{dB}\mu\text{V}}{\text{m}}$$

b) Mennyire válasszuk meg a kábel maximum hosszát, hogy biztosan ne lépjük túl a 3 m-re, az alap harmonikus frekvencián adott 30 dB μ V/m-t?

$$b.) \quad E_{CH_n} \leq 30 \frac{\text{dB}\mu\text{V}}{\text{m}} \Rightarrow 31,62 \frac{\mu\text{V}}{\text{m}}$$

$$l \leq \frac{31,62 \frac{\mu\text{V}}{\text{m}} \cdot 3 \text{ m}}{12,6 \cdot 10^{-7} \cdot f_n \cdot i_{CH_n}} = 1,18 \text{ m.}$$

c) A négyszögjel felfutási ideje legyen 10 ns. Harmonikus amplitúdó számításával adja meg a kábel maximális hosszát, hogy biztosan ne lépjük túl a 10 m-re, 75.1 MHz-en adott 10 dB μ V/m-t?

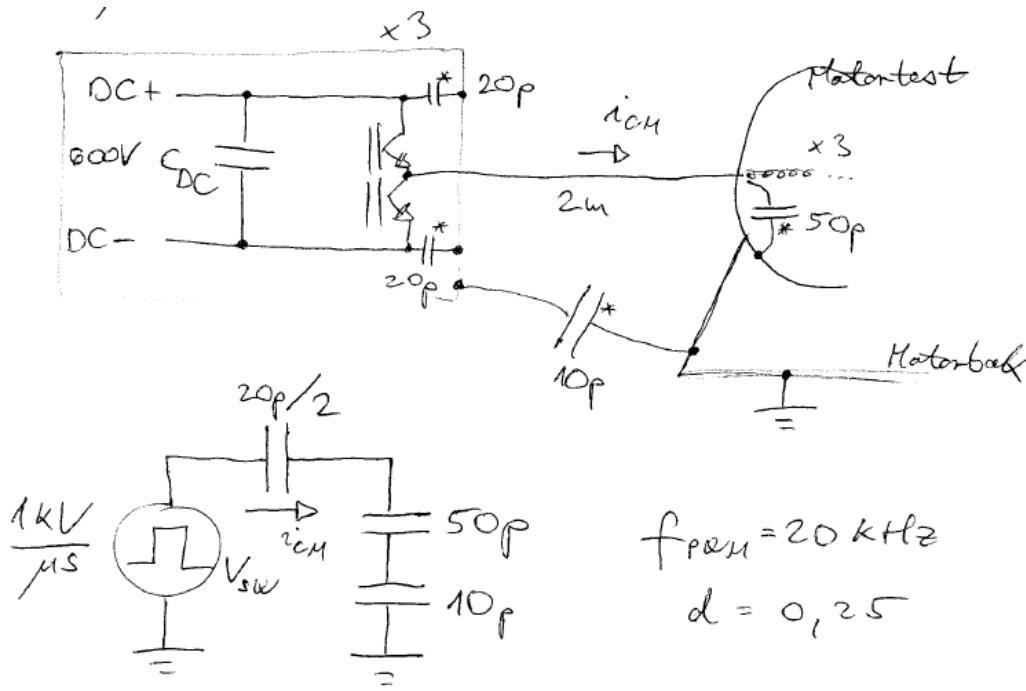
$$c.) \quad n = 751$$

$$|i_{CH_n}| = i_{CH_{max}} \cdot \frac{\sin(n\pi \cdot 0,5)}{n\pi \cdot 0,5} \cdot \frac{\sin\left(n\pi \frac{10\text{ns}}{T}\right)}{\frac{n\pi \cdot 10\text{ns}}{T}} = 2,53 \cdot 10^{-7} \text{ A}$$

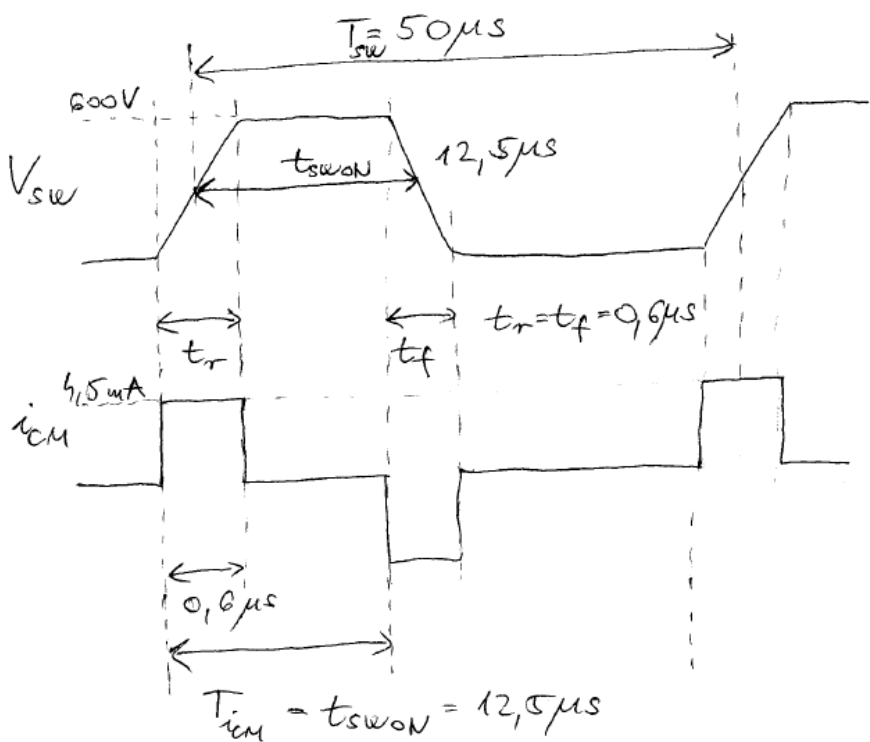
$$l \leq \frac{3,16 \frac{\mu\text{V}}{\text{m}} \cdot 10 \text{ m}}{12,6 \cdot 10^{-7} \cdot 75,1 \text{ MHz} \cdot i_{CH_n}} = 1,32 \text{ m.}$$

4. Egy 3 fázisú IGBT inverter DC bemenete 600 V, az inverter fém háza földetlen (lebeg), közte és a negatív DC sín, illetve közte és a pozitív DC sín között a villamos kapacitás 20-20 pF. A hídágak kimenete egy PMSM motorra vannak kötve 2 m-es kábelekkkel. A hídágak kimenetén mérhető kapcsolási meredekség 1kV/μs. A motor tekercsei és a motortest között a villamos kapacitás 50 pF, a motortest földelve van a motort tartó fémbakhoz. A fémbak és inverter fémház közötti villamos kapacitás 10 pF. A vezérelt hoidtót és a vezetékek ellenállását hanyagolja el, a PWM frekvencia 20 kHz, az 1. hídágban a kitöltési tényező 25 %. A számításokat elég az 1. hídágra végezni!

a) Rajzolja fel az elektromos csatolásokat tartalmazó helyettesítő kapcsolást a közös módusú áramra (referencia a motorbak)! Rajzolja fel a hídág kimenetének egy periódusát és a kábelen meghajtott közös módusú áram jelalakot. Tüntesse fel és adja meg a fel- és lefutási időket, periódusidőket!



$$i_{CM} = 4,5 \text{ pF} \cdot \frac{1 \text{ kV}}{\mu\text{s}} = 4,5 \text{ nA}$$



b) Határozza meg a közös módusú áram spektrum burkoló görbáját a PWM 10. harmonikus frekvenciáján Amperben!
Adja meg az ehhez tartozó térerősséget dB μ V/m-ben a kábeltől 10 m-re!

b.)

$$f_u = 200 \text{ kHz} \quad t_L = 0,6 \mu\text{s} \quad f_L = 530,5 \text{ kHz}$$

$$\hat{i}_{CMu} = 2 \cdot 4,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,6 \mu\text{s} / 12,5 \mu\text{s} = 0,43 \text{ mA}$$

$$\hat{E}_{CM} = 12,6 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{200 \text{ k} \cdot 2 \text{ m} \cdot \hat{i}_{CMu}}{10 \text{ m}} = 21,67 \frac{\mu\text{V}}{\text{m}}$$

$$\hat{E}_{CM} = 26,72 \text{ dB} \mu\text{V}/\text{m}$$

c) Adja meg azt a maximális kábel hosszát, melynél a 10 m-re mérhető térerősség biztosan kisebb lesz, mint 100 μ V/m a PWM 100. harmonikus frekvenciáján!

$$c.) \hat{i}_{CMu} = 5,97 \cdot 10^{-4} \text{ A} @ u = 100. (2 \text{ MHz})$$

$$l_{\max} = \frac{100 \frac{\mu\text{V}}{\text{m}} \cdot 10 \text{ m}}{12,6 \cdot 10^{-7} \cdot 2 \text{ MHz} \cdot \hat{i}_{CMu}} = 0,66 \text{ m}$$

Árnyékolás méretezése

5. Egy műanyag dobozban lévő elektronikánkat szeretnénk árnyékolni egy 1 km-re levő radarállomásból származó sugárzástól.

a) Ha 1 MHz-re tervezzük az árnyékolást, milyen vastagságú rézfóliával ($\sigma \approx 1$, $\mu_r \approx 1$) kellene bevonni a dobozunk belsejét, hogy a beeső EM hullámok maximum 10⁻⁹ %-a hatolhasson csak át rajta?

5.) a.)

$$f = 1 \text{ MHz} \Rightarrow \frac{r}{t_r} = \frac{\lambda}{2\sigma} = 47,75 \text{ m}$$

$$r = 1000 \text{ m}$$

} távolabb
↓
EM-ter

$$S_{E_{lin}} = \frac{100\%}{10^{-9}\%}$$

$$SE = 10 \log(S_{E_{lin}}) = 110 \text{ dB.}$$

$$R = 168 + 10 \log\left(\left(\frac{\sigma_r}{\mu_r}\right)\left(\frac{1}{f}\right)\right) = 108 \text{ dB}$$

$$A = 2 \text{ dB} = 0,1315 \cdot t \sqrt{f \mu_r \sigma_r}$$

$$t = 0,0152 \text{ mm} = \underline{\underline{15,2 \mu\text{m} \text{ rézfólia}}}$$

b) Milyen vastag alumínium ($\sigma \approx 0,61$, $\mu_r \approx 1$) dobozt kellene tervezni, ha 120 dB hatékonysággal szeretnénk árnyékolni?

$$R = 105,85 \text{ dB}$$

$$A = 120 - R = 14,15 \text{ dB} \Rightarrow t = 0,14 \text{ mm}$$

Alu doboz.

6. Egy PMSM motor 100 Hz-en elsősorban mágneses teret sugároz. A motortól 1 m-re helyezkedik el az inverter vezérlő elektronikánk bedobozolva.

a) A motorból származó, a dobozba behatoló sugárzás EM energiája hány százalékára csökken, ha a vezérlőnk doboza 2 mm vastagságú vaslemezből ($\sigma \approx 0.17$, $\mu \approx 1000$) készült?

$$a) \quad \left. \begin{array}{l} f = 100 \text{ Hz} \\ r = 1 \text{ m} \end{array} \right\} \Rightarrow r_{tr} = \frac{\lambda}{2\pi} = 477,5 \text{ km}$$

} közelben
↓
H-tér

$$R = 14,6 + 10 \log \left(\frac{0,17}{1000} \cdot \frac{1}{100^{-1} \cdot 1^{-2}} \right) = -3,1 \text{ dB}$$

$$A = 0,1315 \cdot 2 \text{ mm} \cdot \sqrt{100 \cdot 0,17 \cdot 1000} = 34,29 \text{ dB}$$

$$SE = R + A = 31,19 \text{ dB} \Rightarrow \frac{100\%}{10^{\frac{31,19}{10}}} = \underline{\underline{0,07\%}}$$

b) Hogyan változik a helyzet, ha a motortól 10 m-re tesszük át a vezérlőnk, és az árnyékolást most 100 MHz méretezzük?

$$\left. \begin{array}{l} f = 100 \text{ MHz} \\ r = 10 \text{ m} \end{array} \right\} r_{tr} = 0,478 \text{ m}$$

} távolabb
↓
EM-tér

$$R = 168 + 10 \log \left(\frac{0,17}{1000 \cdot 100 \text{ MHz}} \right) = 50,3 \text{ dB}$$

$$A = 0,1315 \cdot 2 \text{ mm} \cdot \sqrt{100 \text{ MHz} \cdot 0,17 \cdot 1000} = \underline{\underline{34291 \text{ dB}}}$$

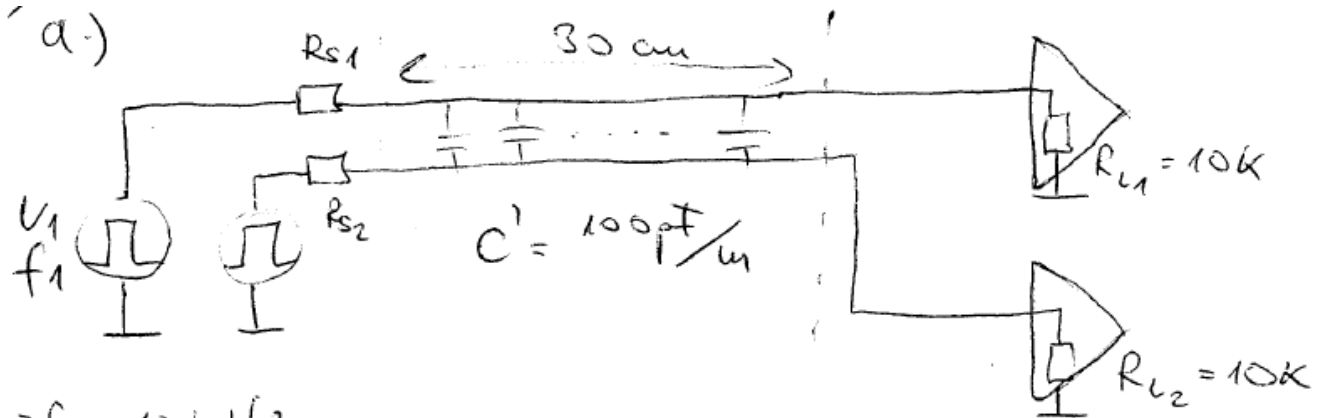
↓

nem meglepő,
ilyen nagy f
estén a refl. hatása
elhanyagolható,
az elnyelés dominál!

Áthallás (kapacitív) számítása

7. Két 30 cm hosszú PWM jelvezeték van egymással párhuzamosan egy PCB-n. A 3.3 V-os, 10 kHz-es PWM jeleket két külön meghajtó IC adja ki, melyeknek kimeneti ellenállása 1 kΩ. A jeleket külön egy-egy IC fogadja, melyeknek bemeneti ellenállása 10 kΩ. A négy IC referencia földje azonos, földvezetékek impedanciája elhanyagolandó. A párhuzamosan futó jelvezetékek közötti csatolást 100 pF/m hosszmenti kapacitás jellemzi.

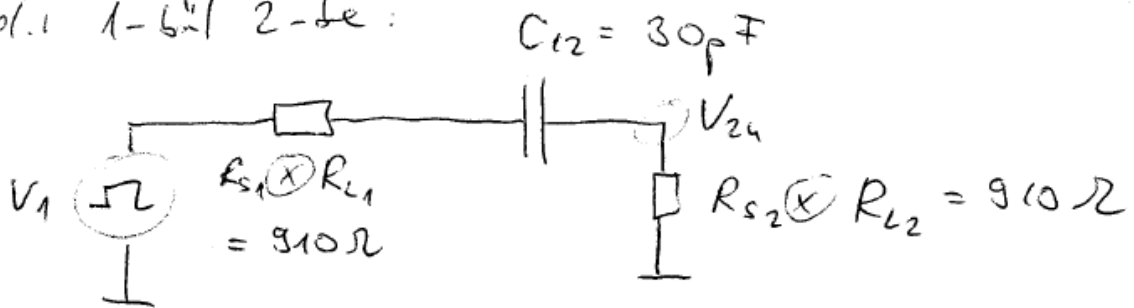
a) Határozza meg az alap harmonikus frekvencián az áthallási tényezőt (CR: crosstalk ratio) dB-ben az egyik PWM vezetékéből a másik vezetékre!



$$f_1 = f_2 = 10 \text{ kHz}$$

$$R_{s1} = R_{s2} = 1 \text{ k}\Omega$$

pl. 1-6-át 2-be:



$$\frac{V_1}{V_{2u}} = \text{1. áttal} \times \text{2. - ten leltett zaj} (V_{2u} \text{ zaj/for})$$

$$20 \log \left(\frac{V_1}{V_{2u}} \right) = CR [dB] = \sqrt{ \frac{310 \cdot 2 + \frac{1}{(2\pi \cdot 10^4 \cdot 30 \text{ pF})}}{910} } }$$

$$CR = 55,31 \text{ dB} \quad (0,17\% \text{-os áthallás})$$

b) Javul-e a helyzet, ha a fogadó IC-ket egy 100 kΩ-os belső ellenállására, a meghajtó IC-ket pedig egy 10 Ω kimeneti ellenállására cseréljük?

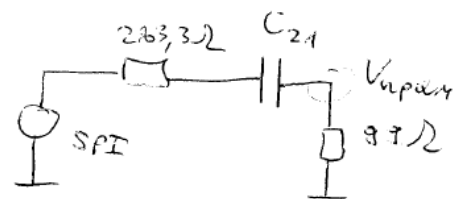
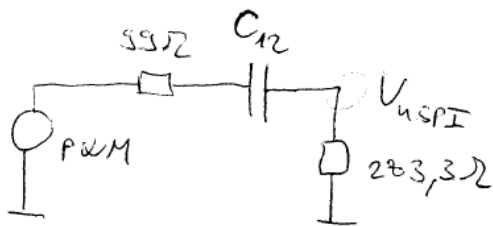
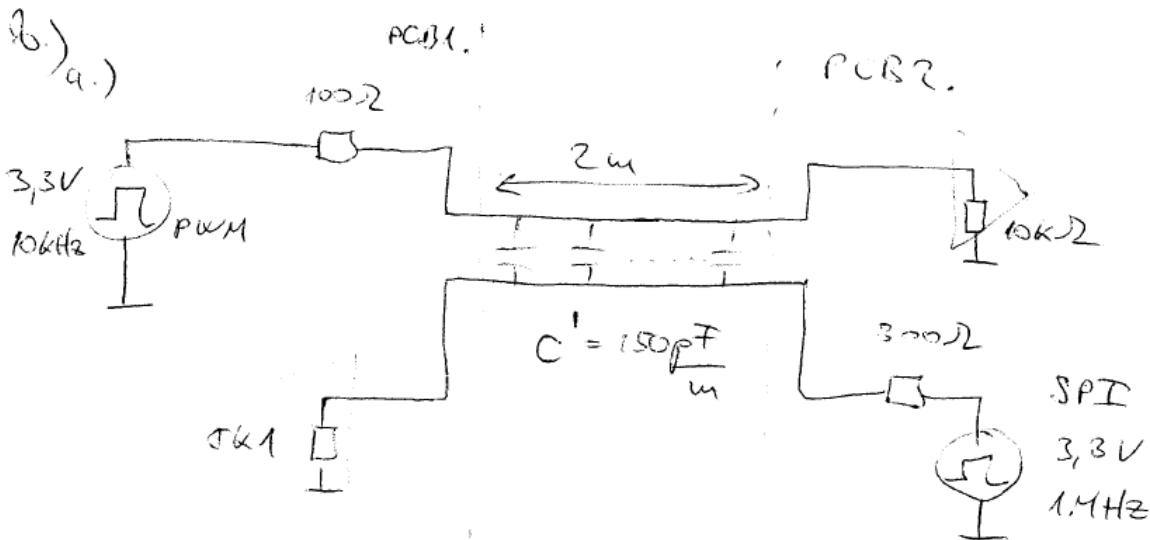
b.)

$$CR = 20 \log \left(\left| \frac{10 \cdot 2 + \frac{1}{j 2\pi \cdot 10k \cdot 30p}}{10} \right| \right) = 34,5 \text{ dB}$$

jöbblet,
 $1,23 \cdot 10^{-3} \%$

8. Egy PCB-n egy 3.3 V-os, 10 kHz-es PWM-et egy 100 Ω kimeneti ellenállású IC hajt meg egy másik PCB-re kötött 2 m-es többeres kábelen keresztül, ahol egy 10 kΩ belső ellenállású IC fogadja. A két PCB között egy 3.3 V-os, 1 MHz-es SPI órajel is fut ugyanazon 1 m-es többeres kábelen keresztül, melyet egy 300 Ω kimeneti ellenállású IC hajt meg és egy 5.1 kΩ belső ellenállású IC fogad. A meghajtó és fogadó IC-k földje közös, földvezetékek impedanciája elhanyagolandó. A többeres kábelben futó vezeték között 150 pF/m hosszmenti kapacitás jellemző.

a) Határozza meg az alap harmonikus frekvencián az áthallási tényezőt (CR: crosstalk ratio) dB-ben a PWM vezetékéből az SPI órajel vezetékbe, és fordítva!



$$Z_{12} \Big|_{f_{PWM}} \approx -j 53 \text{ k}\Omega$$

$$Z_{21} \Big|_{f_{SPI}} \approx -j 530,5 \Omega$$

$$CR_{12} = 45,5 \text{ dB}$$

$$CR_{21} = 13,3 \text{ dB}$$

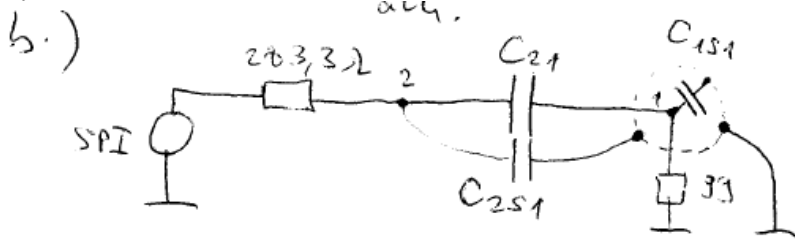
$\approx 0,5\% - \infty$
 átl.

$\approx 11\% - \infty$
 átl.

h.)

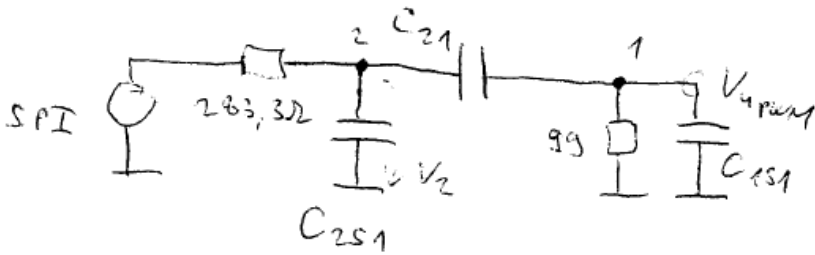
c.)

b) Határozza meg az SPI alap harmonikus frekvenciáján az áthallási tényezőt (CR: crosstalk ratio) dB-ben az SPI órajel vezetékéből a PWM vezetékbe, ha csak a PWM jelvezetékét árnyékolással vesszük körbe, melyet leföldelünk! A hosszmenti kapacitás az SPI órajel vezeték és a PWM árnyékolása között 100 pF/m, a PWM jelvezeték és a PWM árnyékolása között 1 nF/m.



$$C_{2S1} = 200 \text{ pF}$$

$$C_{1S1} = 2 \text{ nF}$$



$$f = 1 \text{ MHz}$$

$$Z_{2S1} \approx -j 796 \Omega$$

$$Z_{1S1} \approx -j 79,6 \Omega$$

$$Z_{21} \approx -j 530,5 \Omega$$

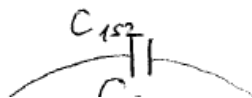
$$V_2 = \frac{Z_A}{Z_A + 243,3 \Omega} \cdot 3,3 \text{ V} \quad Z_A = (99 \times Z_{1S1} + Z_{21}) \times Z_{2S1}$$

$$V_2 = 2,475 \text{ V}$$

$$V_{uPWM} = \left| \frac{99 \times Z_{1S1}}{99 \times Z_{1S1} + Z_{21}} \cdot V_2 \right| = 0,26 \text{ V}$$

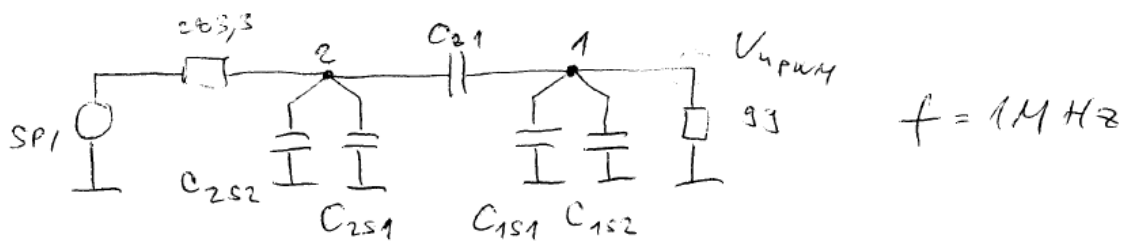
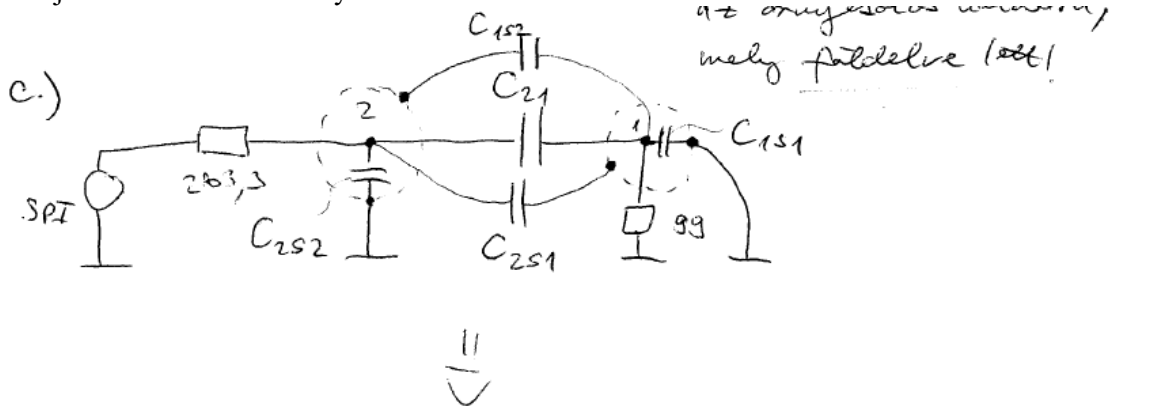
$$CR_{21} = 20 \log \left(\frac{V_{SPI}}{V_{uPWM}} \right) = 22,1 \text{ dB}$$

≈ 7,9%-ra csökkent az árnyékolás hatására, mely földelre lett!



c) Határozza meg az alap harmonikus frekvencián az áthallási tényezőt (CR: crosstalk ratio) dB-ben az SPI órajel vezetékéből a PWM vezetékbe, ha a PWM jelvezetékét és az SPI órajel vezetékét is árnyékolással vesszük körbe, melyeket leföldelünk!

A hosszmenti kapacitás az SPI órajel vezeték és az SPI árnyékolása között, valamint a PWM vezeték és PWM árnyékolása között 1 nF/m. A hosszmenti kapacitás az SPI órajel vezeték és a PWM árnyékolása között, illetve a PWM jelvezeték és az SPI árnyékolása között 100



$$Z_{252} = Z_{151} = -j 79,6 \Omega \quad Z_{21} = -j 530,5 \Omega$$

$$Z_{251} = Z_{152} = -j 796 \Omega$$

$$Z_B = \left[\left(99 \Omega \times \left(Z_{151} \times Z_{152} \right) + Z_{21} \right) \times \left[Z_{251} \times Z_{252} \right] \right]$$

$\frac{-j 796}{11}$
 $-j \frac{796}{11}$

$$V_2 = 0,73 \text{ V}$$

$$V_{uPWM} = \left| V_2 \cdot \frac{\beta}{\beta + Z_{21}} \right| = 0,074 \text{ V}$$

$$CR_{21} = 20 \log \left(\frac{V_{SPI}}{V_{uPWM}} \right) = \underline{\underline{33 \text{ dB}}}$$

× 3 %-ra csökkent.

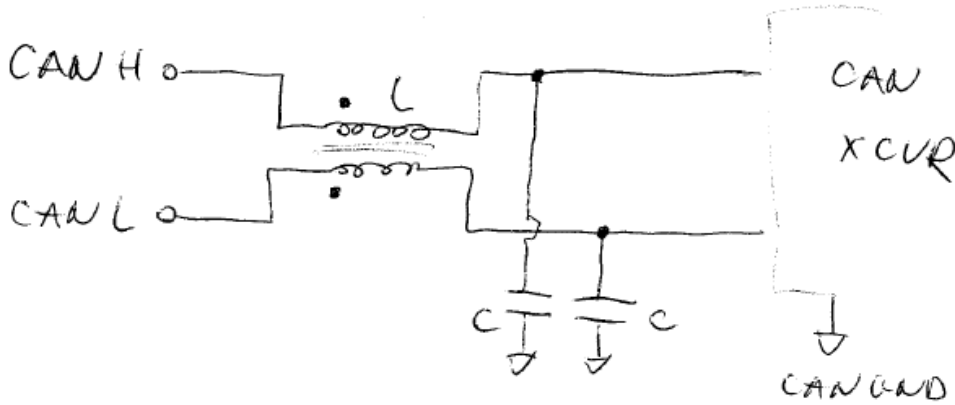
Közös módusú (CM) szűrők számítása

9. Egy PCB-n 1 Mbit/s CAN kommunikációt megvalósító adó-vevő IC adatvonalaira tervezünk közös módusú szűrő fokozatot, amely egy közös módusú (CM) fojtótekercsből és egy-egy 47 pF-os kondenzátorból áll. Utóbbiak a CANH, illetve CANL vonalak és a referencia föld közé lettek kötve. A CM fojtó tekercseinek induktivitása 1 mH, szórt induktivitás 100 nH, tekercsek DC ellenállása (DCR) 100 mΩ.

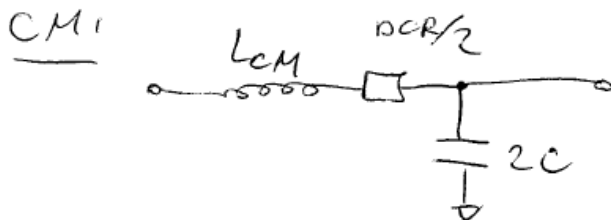
a) Határozza meg 1 MHz-en a szűrő csillapítását dB-ben a közös módusú zavarokra és a kommunikációra nézve is (CM és DM)!

9.)

a.) 1MHz, CAN



$L = 1 \text{ mH}$ $L_{\text{ekg}} = 100 \text{ nH}$ $\text{DCR} = 100 \text{ m}\Omega$ $C = 47 \text{ pF}$



$L_{\text{CM}} = \frac{L + M}{2} \approx 0,99 \text{ mH}$

$M = L - \frac{L_{\text{ekg}}}{2}$

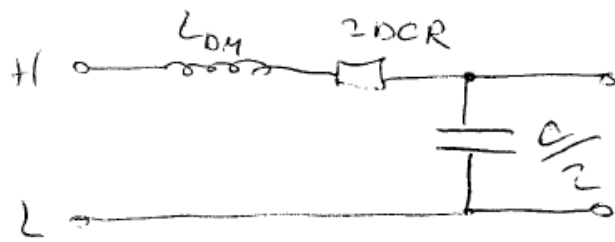
$$A_{\text{CM}} = \frac{1 / (j 2\pi \cdot 10^6 \cdot 34 \cdot 10^{-12})}{\frac{1}{j 2\pi \cdot 10^6 \cdot 44 \cdot 10^{-12}} + 0,05 + j 2\pi \cdot 10^6 \cdot 0,99 \text{ mH}}$$

$j 1930 \mu\Omega$

$-j 1093$

$A_{\text{CM}} = 8,5 \text{ dB} \approx 32,4 \%$

DM1



$L_{DM} = L_{leveg}$

$$A_{DM} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{j2\pi \cdot 10^6 \cdot 23,5 \cdot 10^{-12}}{200} - j6,77 \cdot 10^{-4}}} = 8 \cdot 10^{-4} \text{ dB}$$

a kom. jelre.

b) Mennyivel nő/csökken a csillapítás dB-ben a kommunikációra nézve, ha a 47 pF-os kondenzátorokat 22 pF-osra cseréljük?

* 36)

$A_{DM} = -2,16 \text{ dB}$

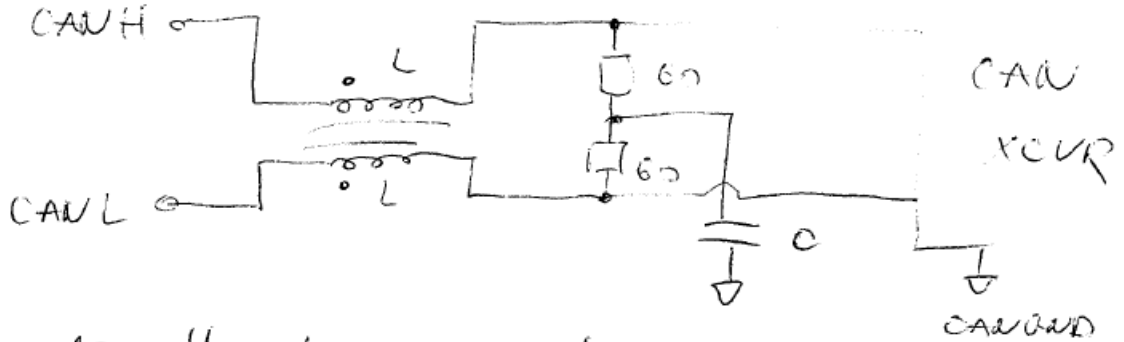
$A_{DM} = 3,77 \cdot 10^{-4} \text{ dB}$

(ezen a frekvencián
 ennyi a kiemelés).
 Igen rossz szűrő terv!

10. Egy PCB-n CAN kommunikációt megvalósító adó-vevő IC adatvonalaira tervezünk közös módusú szűrő fokozatot. Ez áll egy közös módusú (CM) fojtótekeresből, a 120 Ω lezárást biztosító, a CANH és CANL vonalak közé tett két soros 60 Ω ellenállásból és az ellenállások közös pontja és a referencia föld közé tett 4.7 nF-os kondenzátorból. A CM fojtó tekereseinek induktivitása 10 mH, szórt induktivitás 100 nH, tekercsek DC ellenállása (DCR) 0.2 Ω.

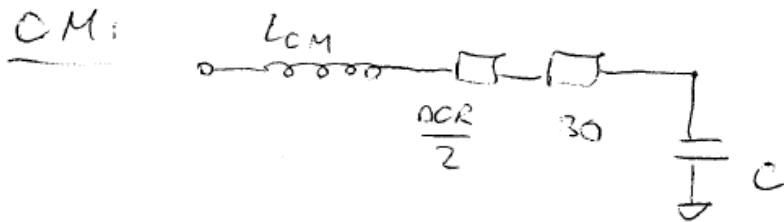
a) Határozza meg 500 kHz-en a szűrő csillapítását dB-ben a közös módusú zavarokra és a kommunikációra nézve is (CM és DM)!

a.)



$L = 10 \text{ mH}$ $L_{\text{lejt}} = 100 \mu\text{H}$

$C = 4.7 \text{ nF}$ $\text{DCR} = 0.2 \Omega$ $f = 500 \text{ kHz}$

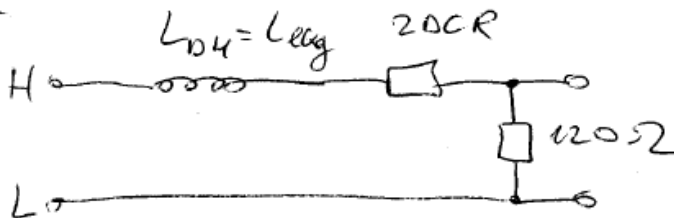


$M = L - \frac{L_{\text{lejt}}}{2}$

$L_{\text{cm}} = 9.35 \text{ mH}$

$A_{\text{cm}} = 53.27 \text{ dB}$

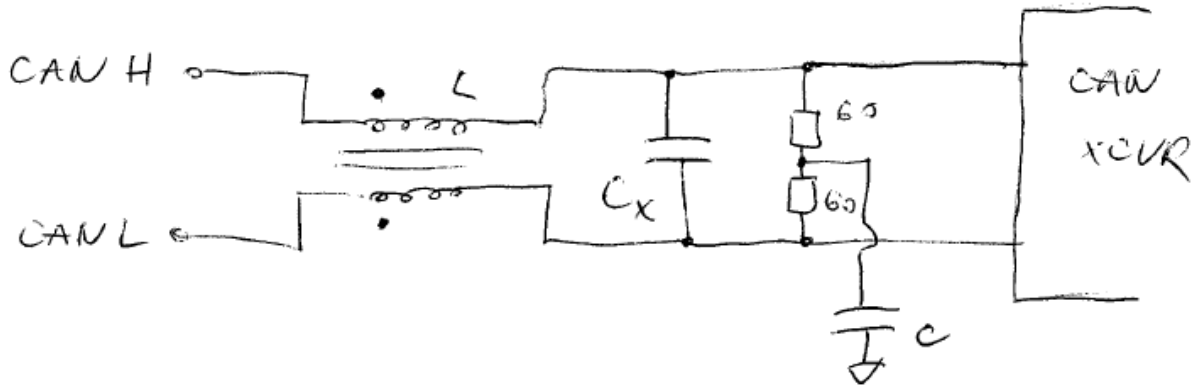
DM:



$A_{\text{DM}} = 8.95 \text{ dB}$
 (rossz szűrés)

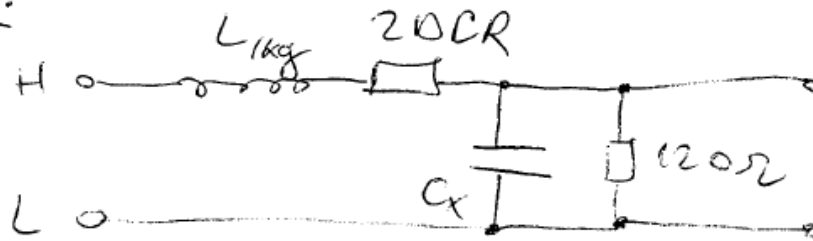
b) Mennyivel változik a csillapítás dB-ben a közös módusú zavarokra és a kommunikációra nézve, ha még egy 22 pF-os kondenzátort betervezünk a CM fojtó után a CANH és CANL vonalak közé?

δ.)



CM nem változik!

DM:



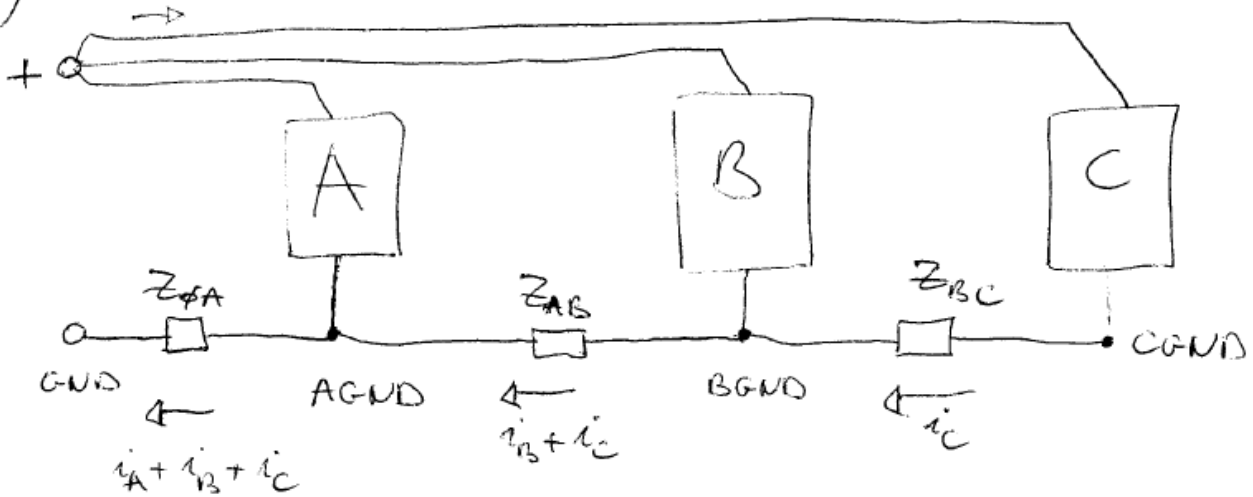
$A_{DM} = 8,93 \text{ dB.}$ javult a helyzet!

Közös impedancia csatolás számítása

11. Egy PCB-n A, B és C jelű tápegységek állítják elő a betáplálásból a segédüzemű tápellátásokat. A tápegységekhez tartozó referencia lábukat nevezzük rendre AGND, BGND és CGND-nek, a betáplálását GND-nek. AGND közvetlenül GND-re van kötve, a vezeték ellenállása 2 mΩ, induktivitása 1 nH. BGND közvetlenül AGND-re van kötve, a vezeték ellenállása 1 mΩ, induktivitása 3 nH. CGND közvetlenül a BGND-re van kötve, a vezeték ellenállása 0.2 mΩ, induktivitása 1 nH. A betáplálás pozitív tápvezetéke csillagpontosan lett kiosztva a tápegységeknek.

A tápegység által a betáplálásból felvett áram 1 MHz-en 10 mA. B tápegység által a betáplálásból felvett áram 3 MHz-en 5 mA. C tápegység által a betáplálásból felvett áram 10 MHz-en 3 mA.

11.)



$i_A = 10 \text{ mA} @ 1 \text{ MHz}$

$Z_{FA} \rightarrow 2 \text{ m}\Omega \quad 1 \text{ nH}$

$i_B = 5 \text{ mA} @ 3 \text{ MHz}$

$Z_{AB} \rightarrow 1 \text{ m}\Omega \quad 3 \text{ nH}$

$i_C = 3 \text{ mA} @ 10 \text{ MHz}$

$Z_{BC} \rightarrow 0,2 \text{ m}\Omega \quad 1 \text{ nH}$

a) Mekkora az A tápegység által előállított feszültségben mérhető zavar GND-hez képest?

$$\begin{aligned}
 a) \quad V_{AGND} &= i_A \cdot Z_{PA} \Big|_{1\text{MHz}} + i_B \cdot Z_{PA} \Big|_{3\text{MHz}} + i_C \cdot Z_{PA} \Big|_{10\text{MHz}} = \\
 &= 0,066 \text{ mV} + 0,095 \text{ mV} + 0,19 \text{ mV} = \underline{0,351 \text{ mV}}.
 \end{aligned}$$

b) Mekkora a B tápegység által előállított feszültségben mérhető zavar GND-hez képest?

$$\begin{aligned}
 b) \quad V_{BGND} &= V_{AGND} + i_B \cdot Z_{AB} \Big|_{3\text{MHz}} + i_C \cdot Z_{AB} \Big|_{10\text{MHz}} = \\
 &= 0,351 \text{ mV} + 0,28 \text{ mV} + 0,56 \text{ mV} = \underline{1,19 \text{ mV}}.
 \end{aligned}$$

c) Mekkora a C tápegység által előállított feszültségben mérhető zavar GND-hez képest?

$$c) \quad V_{CGND} = V_{BGND} + i_C \cdot Z_{BC} \Big|_{10\text{MHz}} = \underline{1,4 \text{ mV}}.$$