

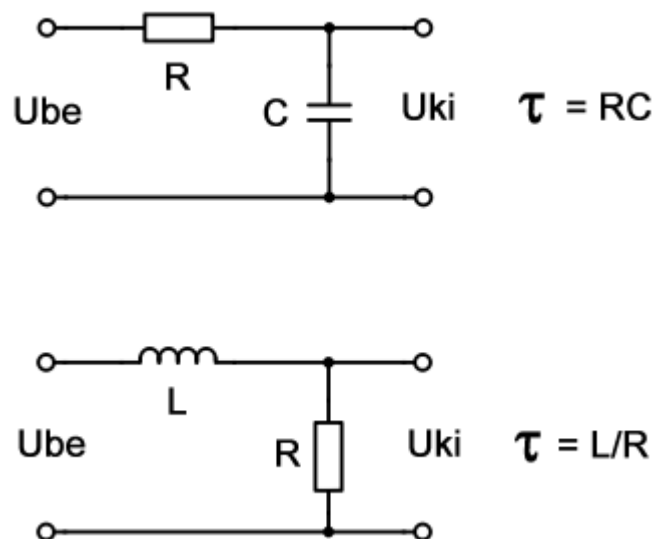
Elektronika II laboratórium

1. mérés: R – L – C négyfázisok vizsgálata

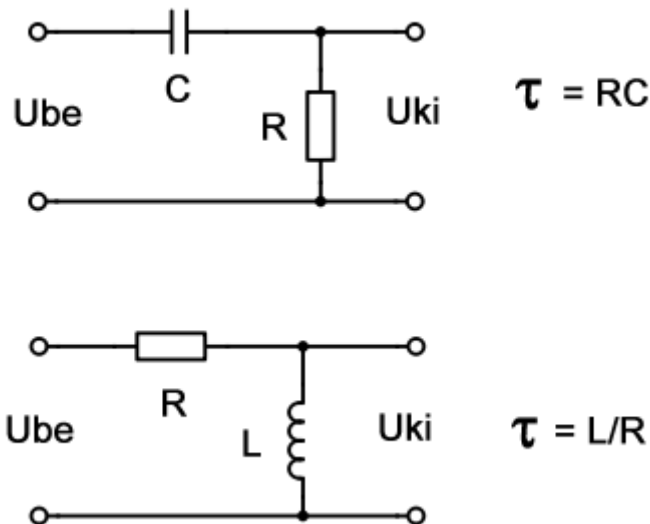
2017.09.18.

A legalapvetőbb áramkörök ellenállásokat, kondenzátorokat és indukciós tekercseket tartalmazó áramkörök. A fenti elemekből álló hálózatok **passzív hálózatok** néven ismeretesek. Az RLC tagoknak nagy szerepük van az aktív alkatrészek helyettesítő képekkel való modellezésében, főleg a nagyfrekvenciás viselkedés leírása tekintetében. Az RLC elemek alkalmazhatók frekvenciafüggő feszültségosztóként, integráló vagy differenciáló hálózatként, de leginkább áramköri részegységek formájában találkozunk velük. A műveleti erősítők bemenetével sorba kapcsolva vagy a visszacsatoló ágban elhelyezve, aktív szűrőkapcsolások nyerhetők. Szélessávú erősítők átvitelének beállítására akár 100 MHz-ig is használnak passzív elemeket.

Elemi RC ill. RL elemi négyfázisokat láthatunk a következő ábrákon:



1. ábra: aluláteresztő szűrők, avagy integráló alaptagok



2. ábra: felüláteresztő szűrők, avagy differenciáló alaptagok

Mint minden villamos hálózatot, a fentieket is vizsgálhatjuk időtartományban és frekvenciatartományban. Ha a Kirchoff – egyenleteket tetszőleges időbeli lefutású feszültségek és áramok esetére felírjuk, akkor integro-differenciál egyenletrendszert kapunk. Az időtartományban történő vizsgálat alkalmával ugrásfüggvénnyel gerjesztjük a hálózatot. *Amennyiben az eredményt oszcilloszkópon szeretnénk megjeleníteni, egyetlen ugrás helyett periodikus négyszögjelet használunk.*

Ekkor a kimeneti feszültséget leíró differenciálegyenlet megoldása exponenciális időfüggvényt eredményez. Vizsgáljuk meg a 1. ábrán látható ún. **integráló** alaptagok válaszejét úgy, hogy az áramkör bemenetére igen meredek fel és lefutású feszültség impulzust adunk.

Integráló alaptag esetén a válaszejel felfutási szakasza:

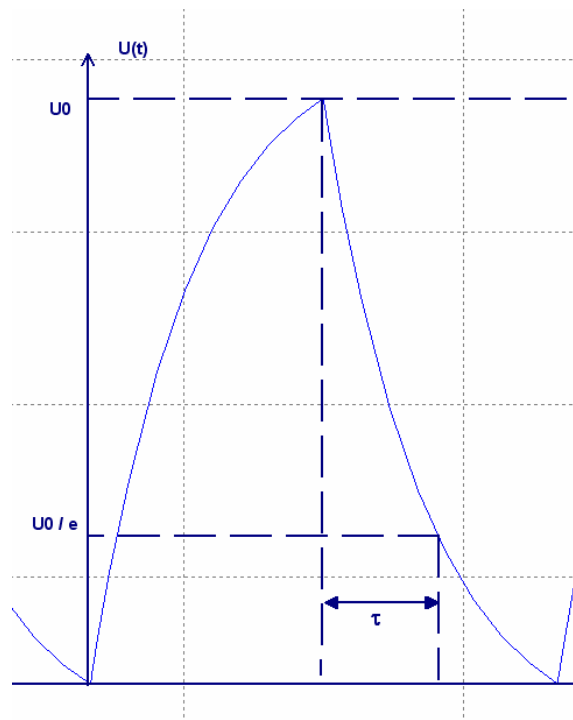
$$u_{ki}(t) = U_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \quad (1)$$

A lefutás:

$$u_{ki}(t) = U_0 \left(e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \quad (2)$$

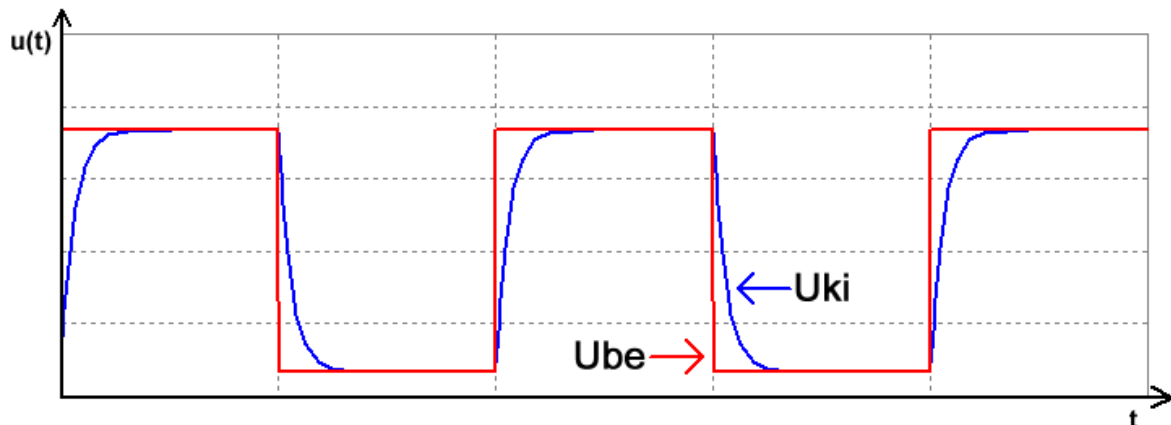
ahol τ az időállandó; RC tagnál $\tau=RC$, RL tagnál $\tau=L/R$. Ezt értelmezhetjük úgy, hogy τ idő alatt a kimenő jel a maximális érték kb. 63%-ra megy fel, illetve lefutásnál kb. 37%-ra (avagy e-ad részére) csökken. Kb. 5τ idő alatt 99,3%-ot ér el a kimenet, a gyakorlatban ezt már állandósult állapotnak tekinthetjük (RC tagnál a kondenzátort ilyenkor feltöltöttnek tekinthetjük).

A függvények értelmezésekor a bemeneti U_0 ugrásfüggvény be és lekapcsolása mindenkor a $t=0$ időpillanatban történik.



3. ábra: az időállandó értelmezése

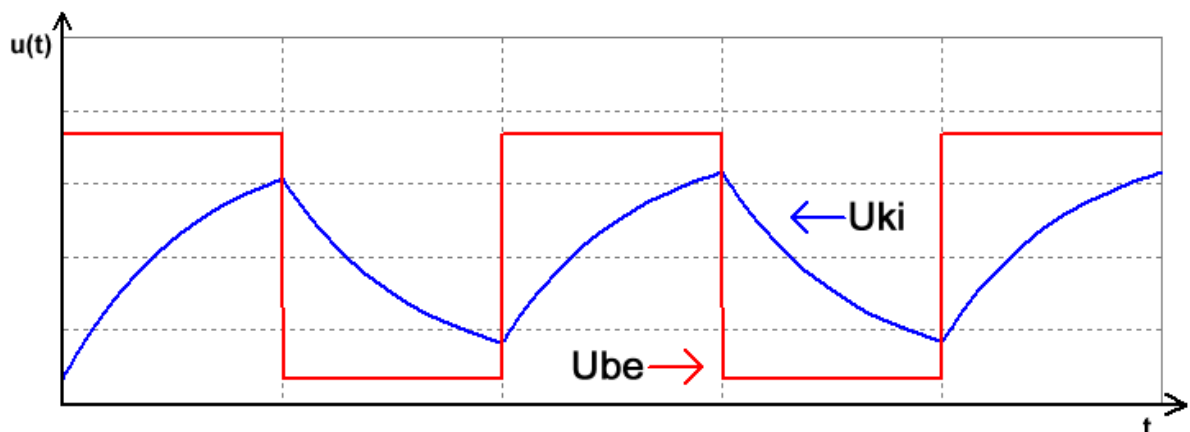
Integráló tag esetén ha a gerjesztő impulzus sorozat **T periódusideje sokkal nagyobb**, mint a τ időállandó ($T \gg \tau$), akkor a válaszjel U_{ki} alakhűnek tekinthető.



4. ábra: alakhű átvitel ($T \gg \tau$)

Integráló tag esetén ha a gerjesztő impulzus sorozat **T periódusideje sokkal kisebb**, mint a τ időállandó ($T \ll \tau$), akkor a válaszjel háromszög alakúra torzul. Ilyen esetben a kimenő feszültség közelítőleg arányos a bemenő feszültség **integráltjával**.

(Ha a kondenzátort ismert árammal (áramgenerátorral) töltjük, akkor a kapott feszültség ténylegesen egyenesen arányos az áram integráltjával. Ha az itt leírt kapcsolásoknál (feszültséggenerátoros meghajtás) az időállandó relatíve nagy (azaz a $T \ll \tau$ eset), akkor a kimeneti feszültség közelítőleg arányos a bemenő feszültség integráltjával.)



5. ábra: erősen integráló átvitel ($T \ll \tau$)

A frekvenciatartománybeli vizsgálatok során szinuszos időbeli lefolyású jelekkel gerjesztjük az áramkört. A legszemléletesebb módszer a komplex frekvenciatartománybeli leírásmód, amely mind az amplitúdó, mind a fázisviszonyokat visszaadja. Az integráló alaptagot vizsgálva, kisfrekvencián a kapcsolás keveset csillapít, majd a frekvencia növelésével a csillapítás nő és a kimeneti feszültség amplitúdója meredeken (-20 dB / dekáád) csökken. Nem részletezve az amplitúdó és fázis viszonyokat, az integráló alaptag aluláteresztő szűrőként viselkedik.

A frekvencia tartománybeli viselkedést könnyen összhangba hozhatjuk az időtartománybeli viselkedéssel. Ha a $\tau \ll T$ (kisfrekvenciás gerjesztés), az átvitel 'alakhú', azaz a csillapítás kicsi. $\tau \gg T$ esetben azonban nagy lesz a csillapítás. Erre a tartományra igaz az

$$u_{ki} \approx konst \cdot \int U_0 \sin(\omega t) dt \quad (3) \quad \text{összefüggés.}$$

Az integrálást elvégezve:

$$u_{ki} \approx konst \cdot \frac{-U_0}{\omega} \cos(\omega t) \quad (4) \quad \text{adódik.}$$

Azaz a jel amplitudója ω -val fordított arányban csökken. A kifejezésekben szereplő konstans $R \cdot C$ -vel illetve L / R -rel arányos.

A frekvencia tartománybeli viselkedést szemléletesen adják vissza a Bode - diagramok. Az integráló alaptag egy töréspontos Bode - diagrammal ábrázolható, ahol a töréspont (vagyis a 3 dB-es csökkenéshez tartozó frekvencia) az $f_0 = \frac{1}{2\pi\tau}$ frekvenciánál van és ettől kezdve az amplitudó 20 dB / dekáddal meredekséggel csökken.

Differenciáló alaptagok

Az előzőekhez hasonlóan értelmezhető a 2. ábrán látható differenciáló alaptagok viselkedése is.

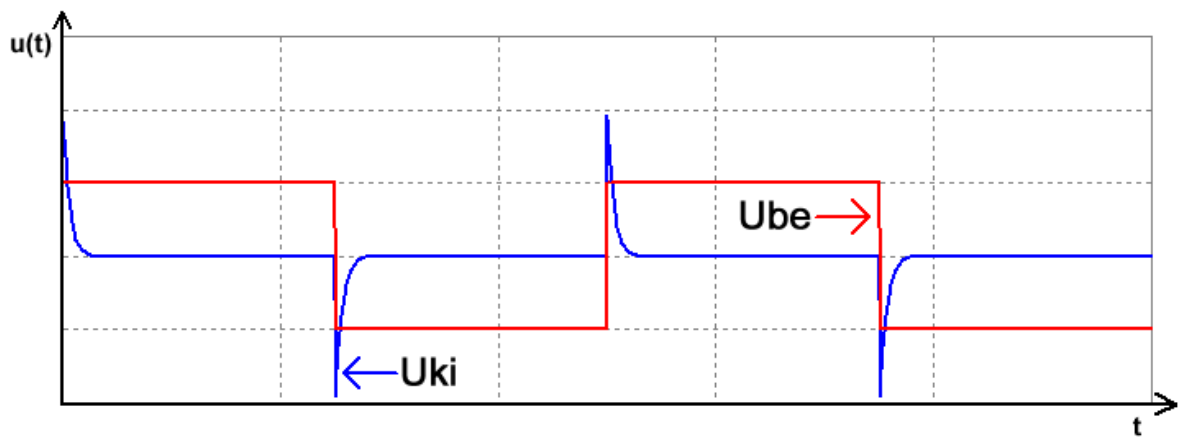
Ezeknél a felfutó élre adott válaszjel:
$$u_{ki}(t) = U_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (5)$$

A lefutó élre adott válaszjel pedig:
$$u_{ki}(t) = -U_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (6)$$

Ebben az esetben a Bode – diagram a töréspontig emelkedő szakaszt tartalmaz, a kapcsolás tehát felüláteresztő szűrőként fog viselkedni.

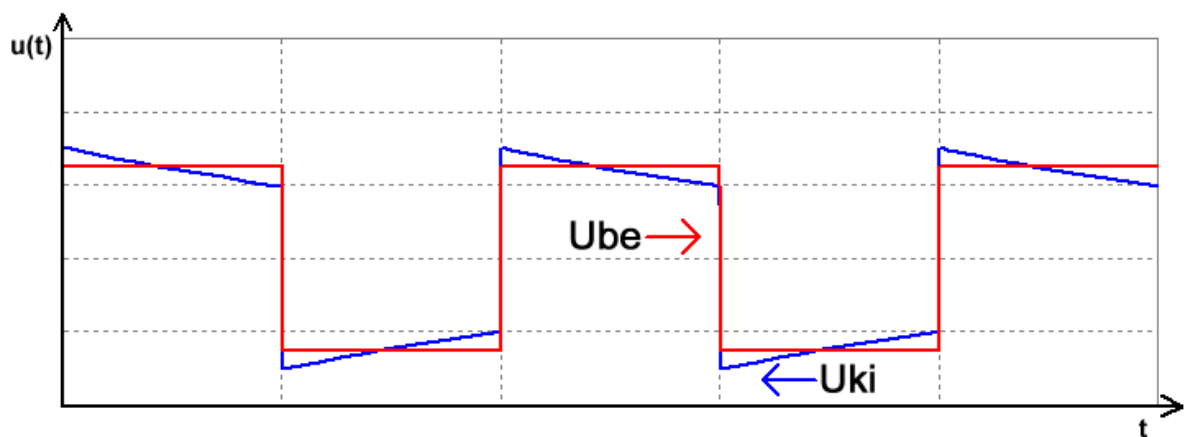
Az időtartománybeli viselkedésnél megfigyelhető az „erősen differenciált”, illetve az alakhú átvitel, azonban T és τ viszonya, éppen fordított az integráló alaptag viszonyaihoz képest.

Differenciáló alaptag esetén az átvitel erősen **differenciált**, ha $T \gg \tau$



6. ábra: erősen differenciált ($T \gg \tau$)

Differenciáló alaptag esetén az átvitel **alakhúnek tekinthető**, ha $T \ll \tau$



7. ábra: alakhú ($T \ll \tau$)

MÉRÉSEK

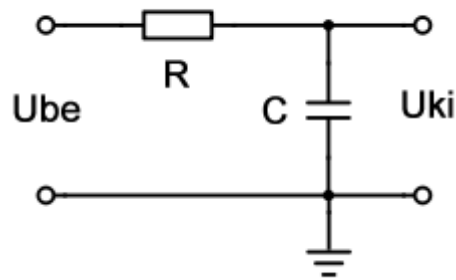
1. Integráló alaptag vizsgálata

1.1. Időtartománybeli vizsgálat

Használjuk a függvénygenerátor négyszögjelét bemenetnek. Passzív tagokat mérünk, így nagy jellel célszerű mérni, pl. 5..10Vpp.

A mérések megkezdése előtt győződjünk meg az oszcilloszkóp időskálájának hitelességéről. Állítsunk be pl. 100Hz-es jelfrekvenciát, ennek periódusideje 10ms. Elvégezhetjük a hitelesítést egyéb jelfrekvenciákkal is! Az áramkörök kimeneti jelét közvetlenül oszcilloszkópra vezetve mérjük!

Ezt követően állítsuk össze az alábbi kapcsolást $R=4,2k\Omega$ és $C=56nF$ értékekkel.



8. ábra

Számítsuk ki a τ időállandót és az f_0 levágási frekvenciát:

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi RC}, \quad \tau = \frac{1}{\omega_0} \quad \text{alapján.} \quad (7)$$

Mérjük meg a τ időállandót a 3. ábra szerint.

Ha $t = \tau$, akkor
$$u_{ki} = U_0 e^{-1} = \frac{U_0}{e} \approx U_0 \cdot 36,8\%$$

A jel e-ad részre való csökkenése jó közelítéssel azt az időtartamot jelenti, amikor a jel az U_0 értékének kb. 37 % - ára csökken. Használhatjuk a felfutó élt is, ekkor τ idő alatt a jel a végérték kb. 63%-ára nő. Célszerű olyan frekvencia használata, ahol a kondenzátor teljesen fel tud tölteni ill. kisülni (azaz ekkor a kimenő jel csúcstól csúcsig értéke egyenlő a bemenőével). Jól értékelhető jelalakot kapunk, ha a gerjesztő négyszögjel frekvenciáját $1/3 \cdot f_0$ közelébe választjuk.

Ha a mérést jól végeztük akkor a mért és a számított τ érték megegyezik. Kis eltérés abból adódhat, hogy az R , C elemek értékei tűréshatáron belül eltérhetnek a névleges értéktől. A továbbiakban U_{be} legyen állandó (javasolt: 10 Vpp), és rajzoljuk le $U_{ki}(t)$ függvényt $f_0/10$, f_0 , és $10 \cdot f_0$ frekvenciákon.

1.2 Frekvenciatartománybeli vizsgálat.

Az előzőleg elkészített integráló tag bemenetére adjuk a függvénygenerátor szinuszelét (javasolt 10Vpp vagy 3V effektív) és ezzel végezzük a további méréseket az alábbi táblázat szerint. A feszültségeket mérhetjük oszcilloszkóppal csúcstól csúcsig, vagy voltmérővel AC állásban effektív értékben (a bemenő és kimenő feszültséget ugyanazzal a módszerrel mérjük). A mért feszültségekből számítsuk ki az átviteli függvény értékeit decibelben!

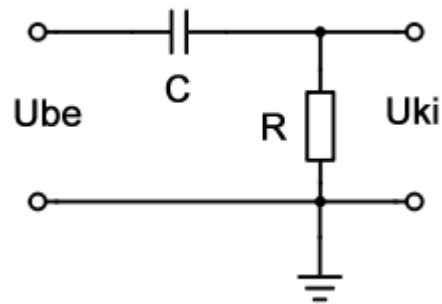
$$A_U = \frac{u_{ki}}{u_{be}}; \quad a_U = 20 \lg A_U = 20 \lg \frac{u_{ki}}{u_{be}} \text{ [dB]}$$

f (Hz)	$u_{be}(V)$	$u_{ki}(V)$	A_U	$a_U(dB)$
50				
100				
400				
500				
600				
f_0				
800				
900				
1 k				
2 k				
5 k				
15 k				
20 k				

Rajzoljuk meg az $a_u(f)$ átviteli függvényt. A grafikonból határozzuk meg az f_0 -t követő frekvenciatartományban a meredekséget dB/dekád dimenzióban.

2. Differenciáló alaptag vizsgálata

Készítsük el az előbbi R, C elemekkel az alábbi kapcsolást:



9. ábra

2.1 Időtartománybeli vizsgálat

Használjuk a függvénygenerátor négyszögjelét bemenetnek ($10V_{pp}$).

Rajzoljuk le a jelalakokat f_0 , $10 \cdot f_0$, $100 \cdot f_0$ és $f_0/10$ frekvenciáknál. Hasonlítsuk össze a differenciáló és az integráló alaptag jelátvitelét! A differenciáló tag átvitele mikor alakhú, és mikor erősen differenciáló?

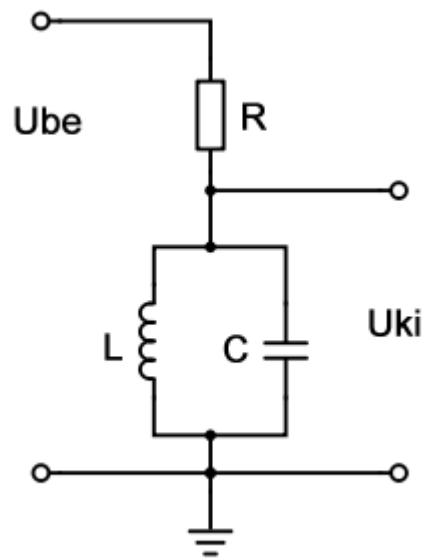
2.2 Frekvenciatartománybeli vizsgálat.

Ezt követően adjunk a függvénygenerátorból szinuszjelet a bemenetre, és végezzük el a frekvenciatartománybeli vizsgálatot is az alábbi táblázat szerint. Ábrázoljuk a felvett átviteli függvényt. Határozzuk meg az emelkedő tartományban a meredekséget dB/dekád egységben.

f	$u_{be}(V)$	$u_{ki}(V)$	A_U	$a_U(dB)$
50				
100				
400				
500				
600				
f_0				
800				
900				
1 k				
2 k				
5 k				
15 k				
20 k				

3. Tekercs inuktivitásának mérése

Tekercs ismeretlen inuktivitását mérőhíd hiányában a legegyszerűbben úgy határozhatjuk meg, ha RLC elemekből rezgőkört készítünk, és meghatározzuk annak rezonancia frekvenciáját, f_0 -át.



10. ábra

Mint ismeretes:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (8),$$

tehát C ismeretében, f_0 -át mérve, L számítható. Valósítsuk meg az 10. ábrán látható kapcsolást, R értéke legyen 20k Ω és a kondenzátor értéke 220nF. (R ellenállást áramkorlátozási célokból építjük be, hiszen f_0 -tól távoli frekvenciákon az LC tagnak kicsi az impedanciája.)

3.1. Gerjesszük kb. 10 Vpp (vagy 3V effektív) szinuszos jellel a kapcsolást. A generátor frekvenciájának változtatásával keressük meg azt a frekvenciát (kb. 800..1600Hz

között), ahol a kimeneti jel amplitudója maximális. Ehhez használhatjuk a multimétert (AC V állásban) vagy az oszcilloszkópot (utóbbinál célszerű lehet az időalap kikapcsolása, azaz az XY mód használata). Másik lehetőség a mérésre, hogy oszcilloszkópon megjelenítjük a bemenő és a kimenő jelalakot is (ügyeljünk a trigger menüben a Type opciónál az Edge beállításra!). Rezonancia frekvencián a két jel közötti fázistolás nulla lesz, a szinuszok csúcsai (vagy nullátmenetei) (időben) egybeesnek.

Ezen a frekvencián csökkentjük le a generátor amplitudóját annyira, hogy a kimenő jel ne legyen nagyobb 100mVpp-nél. (Erre azért van szükség, hogy a vasmag telítését elkerüljük.)

Ezután az előbb beállított frekvencia körüli kis tartományban mozogva ismét keressük meg a maximális amplitúdóhoz (vagy nulla fázishoz) tartozó frekvenciát.

Ez a frekvencia lesz a f_0 rezonanciafrekvencia.

3.2 Állítsuk át a függvénygenerátort négyszög kimenetre (továbbra is f_0 frekvencián). Rajzoljuk le a kimeneti jelalakot! Magyarázzuk meg a látottakat!

3.3. Határozzuk meg f_0 és a (8) összefüggés segítségével az ismeretlen induktivitás értékét!

$$L_{\text{mért}} =$$

3.4. A mért induktivitás érték és a tekercs menetszámának ($N = 200$) ismeretében határozzuk meg a vas induktivitási faktorát (A_L értékét)

$$A_L = L / N^2$$

3.5. Ellenőrzésképpen számítsuk ki az ismeretlen induktivitás értékét a katalógusban megadott induktivitás faktor (A_L) és az ismert menetszámok segítségével.

$$A_L = 1350 \text{ nH}$$

$$N = 200$$

$$L_{\text{számított}} =$$

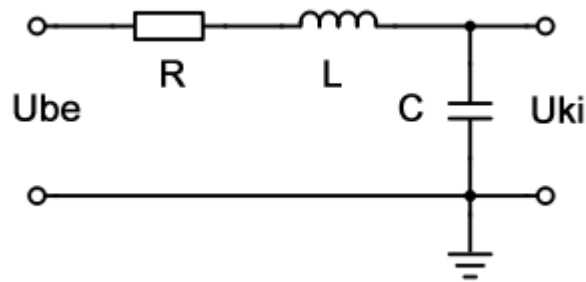
3.6. Vegyük fel és ábrázoljuk a rezonanciagörbét az $f_r/10$ és $10 f_r$ frekvenciatartományban.

f (Hz)	u_{be} (V)	u_{ki} (V)	A_U	a_U (dB)
100				
200				
300				
400				
500				
600				
700				
800				
900				
1k				
1,1k				
1,2k				
1,3k				
1,4k				
1,5k				
1,6k				
1,7k				
1,8k				
1,9k				
2k				
3k				
4k				
5k				

Határozzuk meg a 3 dB-es pontokat. E két pont közötti frekvenciatartomány felel meg Δf -nek. A kör jósági tényezője: $Q = f_0/\Delta f$. Határozzuk meg a Q jósági tényezőt!

4. LC szűrő készítése

A hosszában induktivitást és a keresztágban kapacitást tartalmazó, ún. Cauer szűrő aluláteresztő jellegű. Levágása meredekebb, mint az RC szűrő levágása, azonban kiemeléssel is rendelkezik. Valósítsuk meg a 11. ábrán látható kapcsolást! $R=220\Omega$, $C=220\text{nF}$. Szinuszjelet adva a bemenetre, vegyük fel és ábrázoljuk a szűrő kimeneti feszültségének frekvenciafüggését 100 Hz....5 kHz tartományban.



11. ábra

f	$u_{be}(V)$	$u_{ki}(V)$	A_U	$a_U (dB)$
100				
200				
300				
400				
500				
600				
700				
800				
900				
1k				
1,1k				
1,2k				
1,3k				
1,4k				
1,5k				
1,6k				
1,7k				
1,8k				
1,9k				
2k				
3k				
30k				
100k				

5. Ellenőrző kérdések

1. Milyen matematikai művelettel írható le közelítőleg egy aluláteresztő szűrő viselkedése?
2. Milyen matematikai művelettel írható le közelítőleg egy feluláteresztő szűrő viselkedése?
3. Rajzolja fel az aluláteresztő szűrő Bode-diagramját (amplitúdó és fázis)!
4. Rajzolja fel az feluláteresztő szűrő Bode-diagramját (amplitúdó és fázis)!
5. Rajzolja fel az RLC sáváteresztő szűrő amplitúdódiagramját!
6. Rajzolja fel egy aluláteresztő szűrő négyyszögre adott válaszjelét!
7. Rajzolja fel egy feluláteresztő szűrő négyyszögre adott válaszjelét!
8. Mikor beszélünk erősen differenciált szűrőről?
9. Hogyan számítjuk egy RC szűrő törésponti frekvenciáját? (tagok megnevezésével)
10. Hogyan számítjuk egy párhuzamos LC kör rezonanciafrekvenciáját? (tagok megnevezésével)
11. Ábra segítségével értelmezze az időállandót!
12. Hogyan számítjuk az RC és LC tagok időállandóját?
13. Mekkora az LC tag fázistolása rezonancia-frekvencián?