
ELEKTRONIKAI TECHNIKUS KÉPZÉS

2 0 1 3

ANALÓG
ELEKTRONIKA V.
OSZCILLÁTOROK

ÖSSZEÁLLÍTOTTA
NAGY LÁSZLÓ
MÉRNÖKTANÁR

Tartalomjegyzék

Oscillátorok.....	3
Negatív ellenállású kétpólussal működő oszcillátorok	3
Pozitív visszacsatolással működő oszcillátorok	3
LC oszcillátorok.....	4
RC oszcillátorok.....	5
Kvarckristály oszcillátorok.....	7

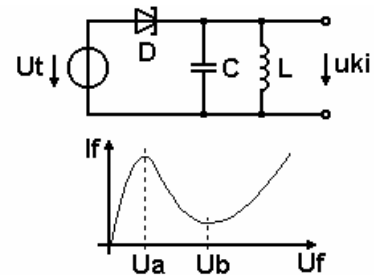
Oszcillátorok

Oszcillátoroknak vagy rezgéskeltőknek nevezzük azokat az áramköröket melyek váltakozó feszültséget illetve áramot állítanak elő. Az oszcillátorok lehetnek:

- | | |
|---|--|
| Az előállított jel időbeli lefolyása alapján: | - szinuszos,
- nem szinuszos. |
| A frekvenciát meghatározó elemek alapján: | - LC (100 KHz - 100 MHz),
- RC (20 Hz - 200 KHz),
- kristály (50 KHz - 100 MHz). |
| A frekvencia hangolhatósága alapján: | - állandó frekvenciájú,
- változtatható frekvenciájú. |
| Az áramköri megvalósítás elve alapján: | - negatív ellenállású kétpólussal működő,
- pozitív visszacsatolással működő. |

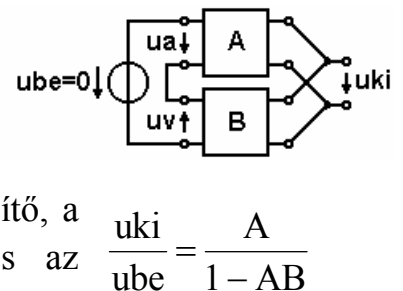
Negatív ellenállású kétpólussal működő oszcillátorok

A negatív ellenállású kétpólussal megvalósított oszcillátorok működési elve, hogy egy rezgőkörben csillapítatlan rezgések jönnek létre, ha a veszteségi ellenállását egy közel azonos értékű negatív ellenállás kompenzálja. Az oszcillátor kapcsolás egy párhuzamos rezgőkörből és egy soros alagút diódából építhető fel. Az alagút dióda munkapontja az $U_a \div U_b$ negatív ellenállású szakaszra van beállítva. Mivel a rezgőkört meghajtó egyenáramú generátor "belső ellenállása" a terheléssel, azaz a rezgőkör áramfelvételével ellentétesen változik, ezért állandó amplitúdójú lengés alakul ki. A kapcsolás, az alagút dióda belső működéséből következően, 0,1÷100GHz frekvencia tartományban használható.



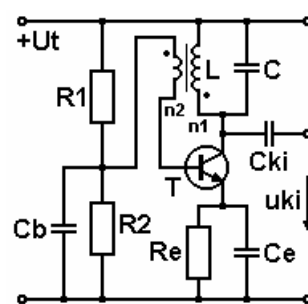
Pozitív visszacsatolással működő oszcillátorok

A pozitívan visszacsatolt aktív négy-pólussal megvalósított oszcillátorok működési elve, a gerjedési feltételen alapul, azaz egységnyi hurokerősítés és azonos fázisú visszacsatolás esetén az eredő négy-pólus erősítése végtelenre nő. A bemeneti hurokban $u_a = u_v$ és $u_{be} = 0$. Az összefüggés fizikai értelmezése: bemenő jel nélkül is van kimenőjel. Az oszcillátor kapcsolások áramköri egységei a főerősítő, a visszacsatoló hálózat, a frekvencia meghatározó hálózat és az amplitúdó határoló hálózat.

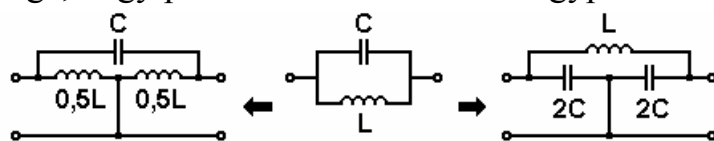


Az LC oszcillátorok frekvencia meghatározó hálózata soros vagy párhuzamos rezgőkör vagy ezekből kialakított valamilyen frekvenciafüggő négy-pólus. Általában $100 \text{ kHz} \div 100 \text{ MHz}$ frekvencia tartományban használatosak.

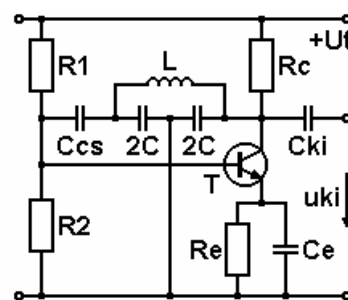
Meissner oszcillátor főerősítője egy földelt emitteres kapcsolásban működő tranzisztor, melynek kollektor köri munkaellenállása hasonlóan, mint a hangolt erősítőknél, egy párhuzamos rezgőkör. A rezonancia frekvencia a Thomson összefüggéssel számítható. A visszacsatolást a rezgőköri tekercssel szoros csatolásban lévő bázis tekercs valósítja meg. A visszacsatolás mértékét az így létrejövő transzformátor áttétele határozza meg, szokásos értéke $a=n_1/n_2=5\div 10$. Az amplitúdó határolást a tranzisztor bázis-emitter karakterisztikájának nemlineáris jellegéből eredő meredekség változás biztosítja. Növekvő amplitúdójú vezérlőfeszültség esetén a nemlineáris karakterisztika miatt, az emitter áram torzul, az átlagértéke nő, ami a C_e -n megjelenve a tranzisztort záróirányba vezérli. A Meissner oszcillátornak létezik hangolt bázisú és hangolt emitteres változata is.



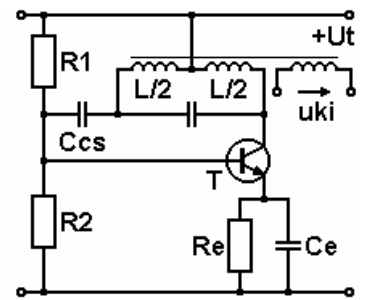
A hárompont kapcsolású oszcillátorok frekvencia meghatározó- és visszacsatoló hálózata a párhuzamos rezgőkör átalakításából származik. A rezgőköri induktivitás megcsapolásával vagy a kapacitás kétszeresének megkettőzésével az eredeti kétpólusnak még egy kivezetése lesz. A rezonáns hálózatot négy-pólussá alakíthatjuk úgy, hogy a létrehozott harmadik kivezetést tekintjük a négy-pólus bemenetén és kimenetén közösnek. A rezonancia frekvencia változatlan marad. Rezonancián a reaktív elem középkipvezetéséhez viszonyítva a négy-pólus be- és kimeneti feszültségei 180° -os fázisban vannak. Az induktív és kapacitív hárompont kapcsolások jelentősége, hogy passzív elemekből álló négy-pólussal fázisfordítás lehetséges.



Colpitts oszcillátor főerősítője egy földelt emitteres kapcsolásban működő tranzisztor, melynek kollektorából a váltakozó feszültségét egy kapacitív hárompont kapcsolás csatolja vissza a bázisra. A visszacsatolás mértékét a C_{cs} kapacitás értékével lehet beállítani. Ha a kollektor ponton a feszültség csökken, akkor a hárompont kapcsolás ezt 180° -ban megfordítva visszaküldi a bázisra. A visszacsatolás tehát azonos fázisú. A kollektor ellenállás helyett munkaellenállásként induktivitás, szakirodalmi nevén fojtótekercs alkalmazása célszerűbb, mert a rezgőkör eredő veszteségi ellenállása kisebb. Ebben az esetben transzformátorral lehet a jelet kicsatolni. Az amplitúdó határolás elve megegyezik a Meissner oszcillátornál ismertetett megoldással.



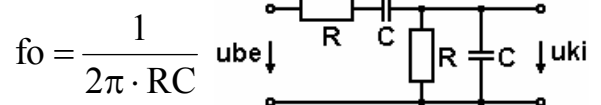
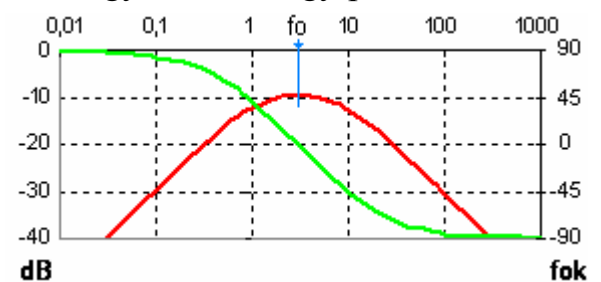
Hartley oszcillátor főerősítője egy szintén földelt emitteres kapcsolásban működő tranzisztor, melynek kollektorából a váltakozó feszültségét egy induktív hárompont kapcsolás csatolja vissza a bázisra. A visszacsatolás mértékét a C_{cs} kapacitással lehet beállítani. A kimenő feszültséget külön kicsatoló tekercsről, föld függetlenül lehet levenni. Az amplitúdó határolás működése azonos a Meissner oszcillátornál ismertetett megoldással. Mindhárom kapcsolásban forgókon-
denzátorral oldható meg a frekvencia változtatás. Felhasználási területek: rádió adó-vevők, műszerek.



RC oszcillátorok

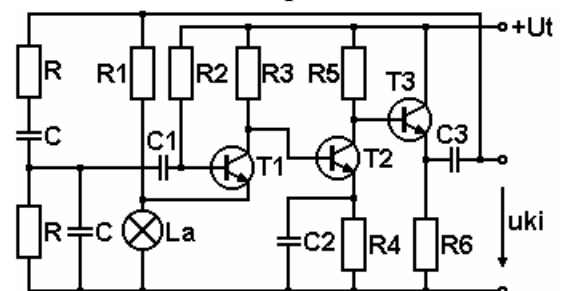
RC oszcillátorokban a frekvencia meghatározó hálózat R és C alkatrészekből felépített szelektív vagy frekvencia függő négypólus. Szelektív hálózatot induktivitással is fel lehetne építeni, de a vasmagos tekercs méretei és súlya valamint a fellépő veszteségek miatt inkább a kapacitást részesítjük előnyben.

Wien-osztós oszcillátor frekvencia meghatározó hálózata egy soros és egy párhuzamos RC kétpólusból álló feszültségosztó. A négypólus $f_0 = 1 / (2\pi RC)$ frekvencián az átviteli tényező $1/3$, (-9,5 dB) és fázisfordítása 0° . Minden más frekvencián a csillapítás ennél nagyobb. Az amplitúdó karakterisztika oldalmeredekségei f_0 -tól lefelé +20dB/dekád, és felfelé -20dB/dekád. (Analog Elektronika I.) Oszcillátor építéséhez egy $A_{uv} = 3$ erősítésű és 0° -os fázistolású főerősítő szükséges. A 0° -os fázistolás vagy egy kétfokozatú tranziszto-



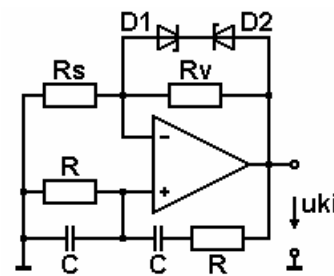
$$f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot RC}$$

ros földelt emitteres erősítővel vagy egy differenciál erősítővel vagy legegyszerűbben egy műveleti erősítővel oldható meg. Tranzisztoros oszcillátorban a Wien-osztót R1 és La elemekből álló osztóval hídkapcsolássá egészítjük ki. A hidat a kimeneti feszültség táplálja, melyet egy követő erősítő állít elő. A kétfokozatú erősítő bemenetére a híd kimenete csatlakozik, a Wien-osztó a bázisra, a frekvencia független osztó az emitterbe. Kiegyenlítetlen híd esetén az oszcilláció vagy leáll vagy az erősítőt túlvezérli és négyszögjelet hoz létre a kimeneten. A stabil működést, azaz az amplitúdó határolást, az L izzólámpa nemlineáris karakterisztikája biztosítja. Bekapcsoláskor az izzólámpa hidegellenállása miatt csak nagyon kicsi osztásviszony jöhet létre, a Wien osztó pozitív visszacsatolása érvényesül. A növekvő kimeneti szint növeli a frekvencia független ág osztásviszonyát, a bemenetre jutó jel az izzólámpa melegedésével csökken. Az iz-

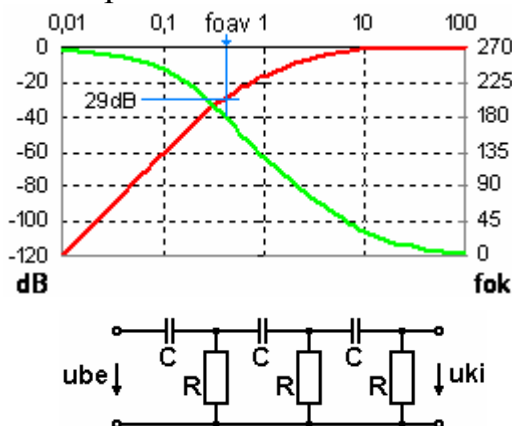


zólámpa egy adott hőmérsékleten egyensúlyi helyzetet hoz létre, a kimeneti amplitúdó állandósul. Kedvezőtlen, hogy a külső hőmérséklet is hatással van az izzó termikus egyensúlyára.

Műveleti erősítő oszcillátor esetén az egységnyi hurokerősítést az $1 + R_v/R_s \geq 3$ összefüggés alapján az R_v és R_s helyes megválasztásával lehet megvalósítani. A pozitív és a negatív visszacsatoló hálózat szintén hídkapcsolásnak fogható fel, melynek kimeneti feszültsége vezérli a műveleti erősítőt. Stabil kimeneti amplitúdót a frekvencia független osztó szintfüggő átalakításával lehet elérni. A legegyszerűbb amplitúdó határolási megoldás, két soros és ellenkapcsolású zener dióda párhuzamos kapcsolása az R_v ellenállással. A D1 és D2 diódák a kimenő feszültség $U_z + U_f$ értékénél kinyitnak és csökkentik az erősítést, de torzítást is okoznak. Az izzólámpás amplitúdó határolás is alkalmazható, de nagy a veszteségi teljesítménye. Elegáns megoldás, hogy az R_s ellenállás egy részét réteg vagy szigetelt elektródás FET-re cseréljük és az egyenirányított és leosztott kimeneti feszültséget vezetjük a vezérlő elektródára. A FET változtatható ellenállás üzemmódban működve, biztosítja az állandó kimeneti jelszintet. A Wien-hidas oszcillátor elsősorban hangfrekvenciás tehát 20 Hz ÷ 20 kHz esetleg 200 kHz tartományban használatos, de még 1 MHz-en is működőképes. A hangolhatóság kettős forgókondenzátorral vagy kettős potenciométerrel oldható meg. A gyakorlatban a kondenzátorok átkapcsolásával kiválaszthatók a x10, x100, x1000 vagy x10000-es a dekádok, az ellenállások változtatásával pedig egy dekádon belül a folyamatos hangolás valósítható meg.

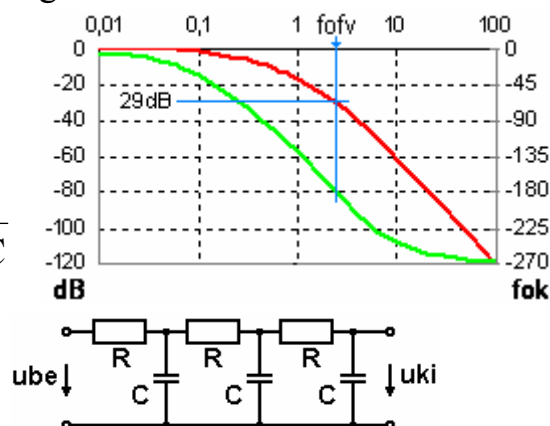


Fázistolós oszcillátor frekvencia meghatározó hálózata, egy több tagú, CR illetve RC elemekből álló szűrő. Mivel a tagok egymást terhelik, ezért a 180°-os fázisfordításhoz legalább három tag szükséges. CR elemekből álló négypólus alulvágó típusú és foav frekvencián, RC elemekből álló négypólus felülvágó típusú és fofv frekvencián van -180° fázistolása. A -180°-os fázistoláshoz tartozó csillapítás mindkét típusú négypólus esetén 29dB. Fázistoló hálózattal és legalább 29-szeres erősítésű és 180°-os fázisfordítású erősítővel oszcillátor építhető. A 29dB ≈ 29-szeres erősítésnek felel meg.



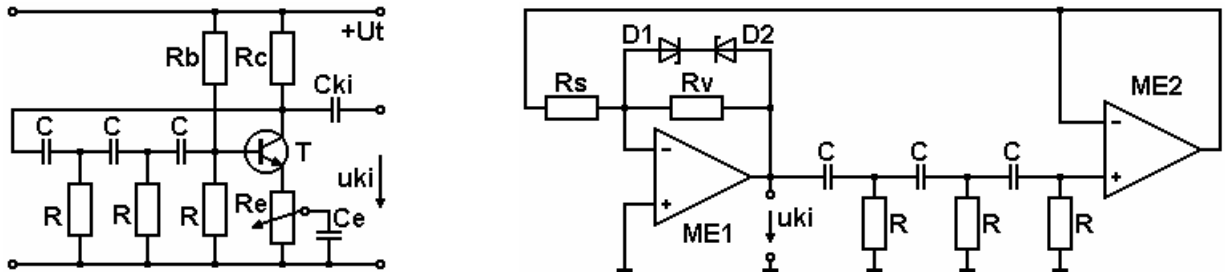
$$f_{oav} = \frac{\sqrt{6}}{2\pi \cdot RC}$$

$$f_{ofv} = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{6} \cdot RC}$$



Fázistolós oszcillátor egyfokozatú bipoláris vagy unipoláris tranzisztorral valósítható meg. A CR tag alkalmazása előnyösebb, mert a szűrő utolsó R tagja egyben a bázisosztó alsó

tagja, és az első C tag a váltakozó áramú csatolást is megoldja. Az amplitúdó szabályozást az emitterkörü osztott emitter ellenállás és az emitter kondenzátor, a bázis-emitter karakterisztika nem lineáris jellegét felhasználva végzi el, hasonlóan mint a Meissner oszcillátor-nál. Elfogadhatóan kis értékű torzítást csak kis szintű, $0,5 \div 1\text{ V}$ kimenőjel esetén lehet elérni. Tápfeszültség változásra és terhelésre érzékeny.

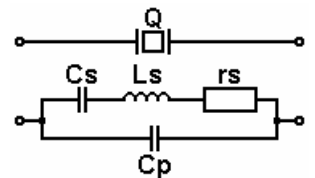


Műveleti erősítés fázistolós oszcillátorhoz egy invertáló fokozat elegendő lenne, de célszerű egy követő erősítővel a fázistoló lánc kimenetén a terhelést megszüntetni. Az amplitúdó határolást szintén két zener diódával a legegyszerűbb megoldani. Az R_v és R_s ellenállásokkal $A_{uv} = 29$ -nél valamivel nagyobb erősítést kell beállítani a biztos berezgéshez. A kimeneti feszültség amplitúdója $\approx U_z + U_f$. A fázistoló négypólus nem hangolható. Felhasználási területe főleg egyszerű hangfrekvenciás jeladókban. Régebben a Morse hangot is ilyen oszcillátorral állították elő.

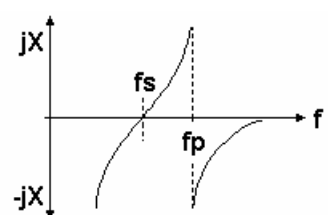
Kvarckristály oszcillátorok

Kristály oszcillátorok frekvencia meghatározó eleme a piezoelektromos hatás elvén működik. Piezoelektromos hatásnak nevezzük azt a fizikai jelenséget, amikor egy kristályos anyag mechanikai feszültség, hajlítás, húzás, nyomás, csavarás hatására a teherviselő felületein töltéseket halmoz fel, illetve villamos feszültség vagy villamos térerősség hatására a kristályszerkezete deformálódik. A jelenség polaritás- és irányfüggő. Jellegzetes piezoelektromos anyagok a SiO_2 , a Seignette só és a báriumtitanát. A kristálylapkák rezonanciafrekvenciáját a mechanikai méretek határozzák meg. Mivel a mechanikai méretek állandóak ezért a frekvencia is állandó, azaz nagy frekvencia stabilitás érhető el. Az elektronikában többnyire $50\text{ kHz} \div 100\text{ MHz}$ frekvenciájú kvarcok használatosak.

A rezgőkvarc helyettesítő képében a C_s , L_s és az r_s a kristály által meghatározott soros rezgőkör elemei. A C_p a befogás kapacitása. A kétpólus reaktanciájának frekvencia menete alapján két -egy soros és egy párhuzamos- rezonancia frekvencia határozható meg.



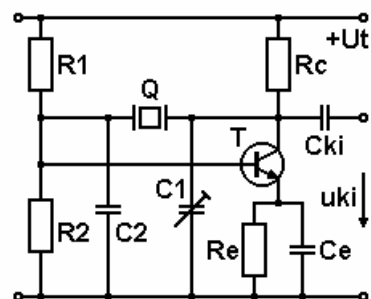
$$f_s = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L_s C_s}} \quad f_p = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L_s \frac{C_s C_p}{C_s + C_p}}} \quad f_p = f_s \sqrt{1 + \frac{C_s}{C_p}}$$



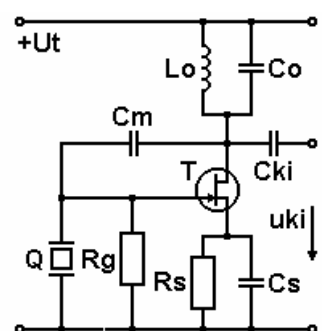
Mivel a $C_s \approx 0,1 \div 0,01\text{ pF}$, a $C_p \approx 10 \div 50\text{ pF}$ tartományba esik,

ezért a két rezonancia frekvencia között nagyon kis eltérés van. A veszteséget képviselő r_s ellenállás kis értéke valamint a relatív nagy frekvencia miatt, a rezgőkvarc jósági tényezője $10^4 \div 10^6$ nagyságrendben van.

A Pierce kapcsolású oszcillátor a Colpitts oszcillátor átalakításából származik. A kvarc f_s frekvencián rezeg és a $C1$ trimmerrel lehet kis tartományban finoman hangolni. A kvarc jósági tényezőjét az R_c és a rajzon nem szereplő terhelő ellenállás rontja. Az amplitúdó határolás a bázis-emitter karakterisztika nemlineáris jellegének felhasználásával történik.



A Miller kapcsolású oszcillátorban a kvarc f_p frekvencián rezeg. Az n csatornás réteg FET impulzus üzemen, C osztályban működik. A drainkörü L_o , C_o párhuzamos rezgőkör, mely a kvarc f_p frekvenciájára van hangolva, a drain áram impulzusaiból a felharmonikusokat szűri ki. A C_m Miller kapacitás a kvarc veszteségeit pótolja és egyben létrehozza a pozitív visszacsatolást is.

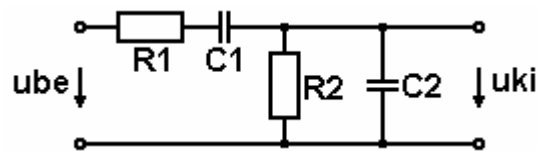


Az oszcillátor kapcsolások legfontosabb jellemzője az $S = \Delta f / f_o$ relatív frekvencia stabilitás. A különféle kapcsolások oszcillációs frekvenciáját elsősorban az aktív elemek hőmérséklet függése és a tápfeszültség ingadozása befolyásolja. Az LC oszcillátorokkal legfeljebb 10^{-4} frekvencia stabilitás valósítható meg. A kvarc oszcillátoroknak ennél lényegesen jobb a stabilitása. Különleges esetben termosztált, tehát hőmérséklet stabilizált kvarc oszcillátorokkal 10^{-9} frekvencia stabilitás érhető el.

Mellékletek

Wien-osztó frekvenciamenetének levezetése

A Wien-osztó egy soros és egy párhuzamos RC tagokból álló feszültségosztó. Általános esetben az ellenállások és a kondenzátorok is különböző értékűek.



A négypólus komplex átviteli függvénye:

$$A_u(j\omega) = \frac{R_2 \otimes \frac{1}{j\omega C_2}}{R_1 + \frac{1}{j\omega C_1} + R_2 \otimes \frac{1}{j\omega C_2}}$$

A kijelölt műveleteket elvégezve és az összefüggést rendezve:

$$A_u(j\omega) = \frac{j\omega C_1 R_2}{(j\omega)^2 C_1 C_2 R_1 R_2 + j\omega(C_1 R_1 + C_1 R_2 + C_2 R_2) + 1}$$

A másodfokú nevező együtthatói az alkatrész adatok alapján:

$$A = C_1 C_2 R_1 R_2 \quad B = C_1 R_1 + C_1 R_2 + C_2 R_2 \quad C = 1$$

A másodfokú egyenlet megoldása után a gyökök: ω_1 és ω_2

A számláló időállandója alapján: $\omega_3 = 1 / C_1 R_2$

Az alaptagra bontott ábrázolható átviteli függvény:

$$A_u(j\omega) = \frac{1}{\left(1 + j\frac{\omega}{\omega_1}\right)} \cdot \frac{1}{\left(1 + j\frac{\omega}{\omega_2}\right)} \cdot j\frac{\omega}{\omega_3}$$

Az általános eseten kívül ha $R_1 = R_2 = R$ és $C_1 = C_2 = C$, akkor az átviteli függvény:

$$A_u(j\omega) = \frac{j\omega RC}{(j\omega)^2 (RC)^2 + 3j\omega RC + 1}$$

A másodfokú nevező gyökei ha $RC = 1$: $\omega_1 = -2,618$ és $\omega_2 = -0,382$

A számláló időállandója alapján: $\omega_3 = 1 / RC = 1$

A törésponti frekvenciák:

Az alaptagra bontott ábrázolható átviteli függvény:
