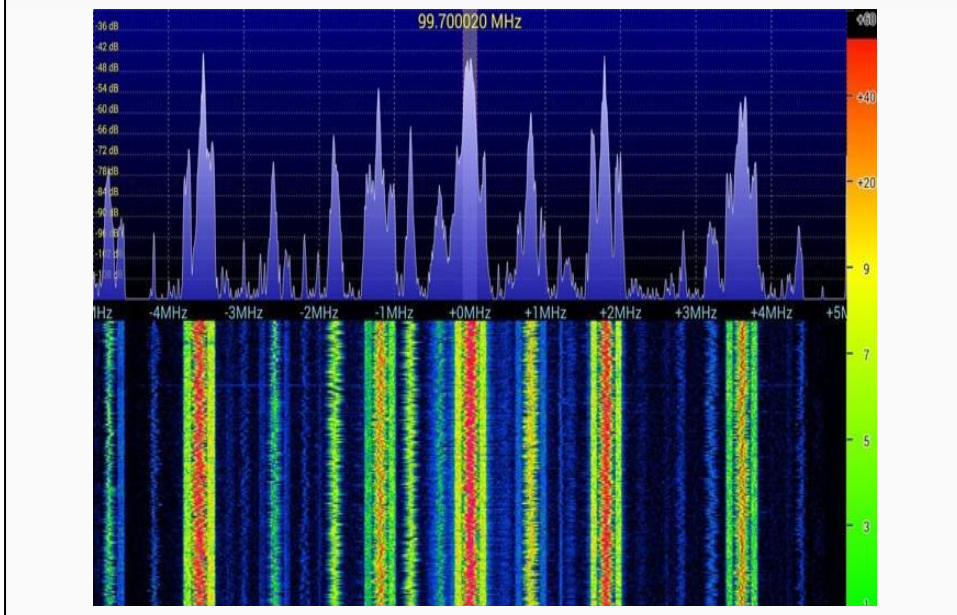


Szűrők



Diasort összeállította: Bazsó Márton HA7BM
Előadja: Párkányi László (2024 tavasz)

A szűrés fontossága



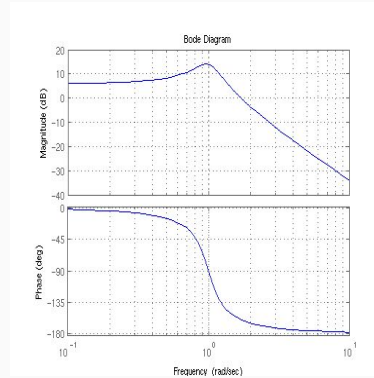
Az ábrán egy spektrumképet láthatunk. A vízszintes tengelyen a frekvencia (az ábra közepén láthatjuk a 0MHz-et, a későbbiekben tanulunk a szuperheterodin elvről, ahol kiderül, hogy miért így van számozva), függőleges tengelyen a felső részen az amplitúdó, alsó részen az idő látható. A felső ábra egy adott pillanatban mutatja a jel amplitúdóját a frekvencia függvényében, míg az alsó ábrán lefelé a korábbi amplitúdóértékeket láthatjuk - minél pirosabb, annál nagyobb amplitúdó volt - ez utóbbit hívjuk waterfall vagy vizesés diagramnak.

A szűrés fontossága belátható, hiszen minket csak a “középső” jel érdekel, minden más csak zavaró tényező számunkra. Gondoljunk csak arra, mint a mikor egy nagyobb társaságban egyszerre többen beszélnek. Ilyenkor nehéz kivenni azt a hangot, amelyekre figyelni szeretnénk. Az ember elkezd figyelni az egyik beszélőre, ezzel “kiszűrve” a többiek beszédét. Hasonlóan van ez a rádiónál is, ha nem használnánk szűrést, nagy valószínűséggel értelmezhetetlen lenne számunkra a vett jelek összessége.

Bode-diagram, BPF, LPF, HPF, BRF bemutatása, lyukszűrő

Bode-diagram

- Egy bemenetű, egy kimenetű rendszer átviteli karakterisztikájának ábrázolására szolgál
- Nagy előny: a frekvenciát és az amplitúdót logaritmus skálán ábrázolja - nagy átfogást biztosít



Másodfokú aluláteresztő szűrő Bode-diagramja
Fölül az amplitúdó karakterisztika, alul a fázismenet

A Bode diagrammok rendszerek átviteli karakterisztikájának ábrázolását teszik lehetővé frekvencia-tartományban (lásd: matematika előadás). Egy egy ki- és bemenetű rendszert egy fázismenet és egy amplitúdót jellemez, amik együttesen adják a bode diagrammot. Az amplitúdó-karakterisztika a logaritmus léptékű frekvencia függvényében ábrázolja az erősítést/csillapítást, szintén logaritmus skálán, a fázismenet a logaritmus léptékű frekvencia függvényében a frekvenciát, lineárisan skálázva.

Ennek az ábrázolásmódnak az előnye, hogy a logaritmus lépték miatt mind amplitúdóban, mind frekvenciában nagy tartományt foghat át egy normál méretű ábra, valamint a logaritmus ábrázolás miatt az amplitúdó-karakterisztika könnyen közelíthető törtvonalasan (ez akár kézzel is rajzolható, érdeklődőknek a vikwikis összefoglalót ajánlom: https://vik.wiki/Bode-diagram_k%C3%A9zi_rajzol%C3%A1sa). Szükség esetén az octave/matlab (system package/control system toolbox használata esetén) is tud Bode diagrammot rajzolni a `bode` függvényel.

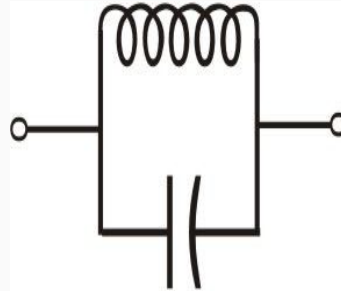
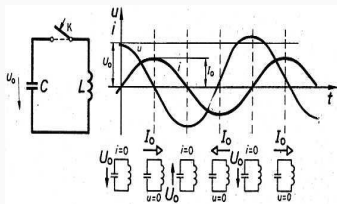
Rezgőkörök

- Kondenzátor és Tekercs
- Energiacsere az elemek között

Az elemek elhelyezése:

- Párhuzamos rezgőkör
- Soros rezgőkör

Ideális (veszteségmentes)



A rezgőkör működése a két eleme közötti energiacsereán alapszik. A kondenzátor elektrosztatikus energiája mágneses energiává alakul a tekercsen. A mágnes tér összeomlása során feltölti a kondenzátort, ami kisül és feltölti a tekercset és így tovább.

Ideális esetben a rezgőkör feszültsége és árama szinuszos, az áram 90° -ot siet, és mivel nincs veszteség, állandó amplitúdójú az időben.

A valóságban nem beszélhetünk veszteségmentes eszközökről. A veszteséges rezgőkör feszültsége magára hagyva lecsillapodik.

Beszélhetünk soros (alsó) és párhuzamos (felső) rezgőkörökről, a rezonancia jelensége azonos, de más-más tulajdonságokkal bírnak, ezeket mindjárt láthatjuk.

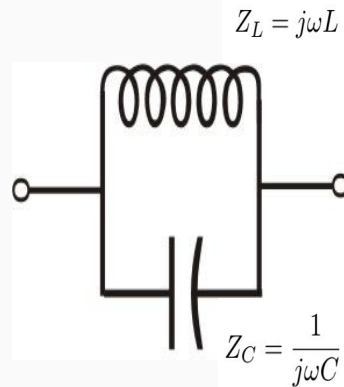
Képek: wikipedia

Rezgőkörök - Rezonancia frekvencia

Rezonancia frekvencia: $Z_L = Z_C$

Thomson képlet:

$$f_{rez} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$



Ideális rezgőkörök "helyettesítése" f_0 -ban:

- Soros: rövidzár
- Párhuzamos: szakadás

A rezgőkört alkotó elemek váltakozó áramú áramkörökben frekvenciafüggő látszólagos ellenállással rendelkeznek. A kondenzátor egyenáramon szakadással, nagy frekvenciák mellett rövidzárral helyettesíthető. A tekercs egyenáramon rövidzárral, nagy frekvencián szakadással helyettesíthető. A rezgőkör rezonanciafrekvenciáját ott értelmezzük, ahol a tekercs és a kondenzátor reaktanciája megegyezik.

Írjuk fel a reaktanciák abszolútértékével a $Z_L = Z_C$ képletet.

$$w \cdot L = 1/(w \cdot C), \quad w = 2 \cdot \pi \cdot f$$

$$2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = 1/(2 \cdot \pi \cdot f \cdot C) \rightarrow f^2 = 1/(4 \cdot \pi^2 \cdot L \cdot C)$$

$$\text{Tehát a rezonanciafrekvencia: } f = 1/(2 \cdot \pi \cdot \text{sqr}(L \cdot C))$$

Ez a Thomson képlet.

Az ideális rezgőkör impedancia-frekvencia menetét felrajzolva a következőket tapasztalhatjuk:

Soros rezgőkör esetén az impedancia mindenhol nagy, kivéve f_0 -nál, ahol 0-val egyelő.

Párhuzamos rezgőkör esetén az impedancia mindenhol nulla, kivéve f_0 -nál, ahol végtelen nagy.

Képek: wikipedia

Rezgőkörök - Jósági tényező, sávzélesség

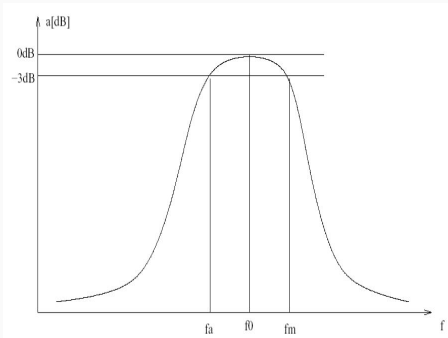
Jósági tényező: Q_0

- Veszteségek határozzák meg
- Mennyire közelíti a rövidzárat/szakadást
- Meghatározza a sávzélességet

Sávzélesség: B

- -3 dB-es pontoknál értelmezett
- Felső és alsó határfrekvencia

$$B = \frac{f_0}{Q_0} = f_m - f_a$$



Soros rezgőkör átviteli karakterisztikája

Az ideális rezgőkört a hátunk mögött hagyva eljutottunk végre a valóságban is létező rezgőkörhöz. A veszteségeket a rezgőkörben egy-egy ellenállással ábrázoljuk. Soros rezgőkörben a sorosan kapcsolva, párhuzamos rezgőkörben a tekercssel sorban kapcsolva szoktuk ábrázolni.

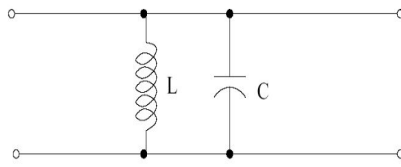
A veszteségi ellenállásnak köszönhetően a soros rezgőkör rezonanciafrekvencián alacsony (ohmos nagyságrendű) ellenállással rendelkezik, a párhuzamos pedig nagy (kiloohmos) ellenállással rendelkezik.

A rezgőkör jósági tényezője megmutatja, hogy mennyire közelíti meg a rezgőkör az ideális változatát. Értékét a veszteségek határozzák meg. A jósági tényező reciprokaként szokták még jelölni a rezgőkör veszteségét (D_0).

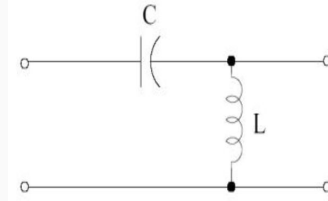
A rezgőkör jósága meghatározza emellett a sávzélességet is. Ezt a -3dB-es pontok között értelmezzük: megvizsgáljuk a rezonanciafrekvencián a rendszer átvitelét (a rezgőkörre adott teljesítményből mennyi jut a kimenetre) és ehhez képest a 3dB-el kisebb (fele akkora teljesítmény jut át) frekvenciákat vesszük alsó és felső határértékeknek. A kettő különbsége adja meg a sávzélességet.

képek: HA5KDR jegyzet

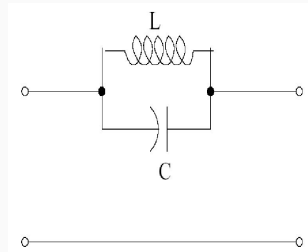
Szűrők típusai



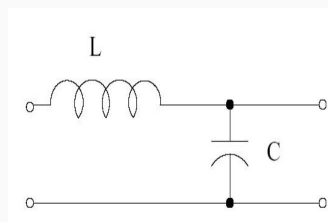
Sáváteresztő szűrő rezgőkörből



Felüláteresztő szűrő



Sávzáró szűrő rezgőkörből



Aluláteresztő szűrő

Rezgőkörből kialakíthatók szűrők. Ilyenkor az átvitelét vizsgáljuk a rendszernek. Lesz egy bemeneti (az ábrákon bal oldalon) és egy kimeneti (jobb oldali) kapu. Vizsgáljuk, hogy a bemenetről mekkora teljesítmény jut a kimenetre.

Az egyes szűrő típusokból egyet egyet láthatsz a dián megvalósítva, valójában ezekből többféle elrendezés is létezik.

Visszagondolva a rezgőkörök impedanciamenetére, könnyen kitalálható, hogy sáváteresztő és sávzáró szűrők hogyan működnek.

Sáváteresztő szűrő esetében a referencia potenciál felé kötjük a párhuzamos rezgőkört. Ez a rezonanciafrekvencia környékén nagy impedanciát mutat, így ilyenkor nem folyik áram a nulla potenciál irányába, tehát ideális esetben a teljes teljesítmény a kimenetre jut.

Sávzáró szűrő esetén a bement és kimenet közé kötjük a párhuzamos rezgőkört. Ez rezonanciafrekvencián nagy impedanciát mutat, így a kimenetre nagyon kicsi teljesítmény jut, azon kívül pedig (ideális esetben) a teljesítmény nagyrésze.

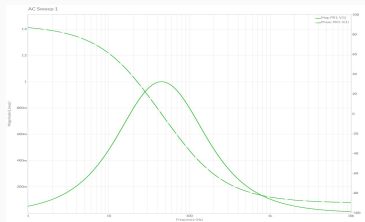
Alul és felüláteresztő szűrőket az alábbi módon valósíthatunk meg: Vegyünk egy soros rezgőkört, aminek bemenetét a teljes rezgőkör két pólusára kössük, kimenetét pedig válasszuk úgy, hogy az egyik elem két pólusa legyen. Észrevehetjük, hogy ez a korábbiakban tanult feszültségosztóként működik.

Aluláteresztő szűrő esetében kis frekvenciákon a tekercs átereszt, a kondenzátor szakadásként működik. A frekvenciát növelve nő a tekercs impedanciája, a kondenzátor elkezdi vezetni.

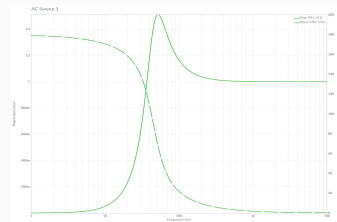
Felüláteresztő szűrő esetén a soros kondenzátor kis frekvenciákon nem ereszt át, míg a tekercs igen. A frekvenciát növelve a kondenzátor elkezd vezetni, a tekercs egyre nagyobb impedanciát mutat.

Lyukszűrő: Egy bizonyos sávban csillapít, alatta és felette átengedi a jelet

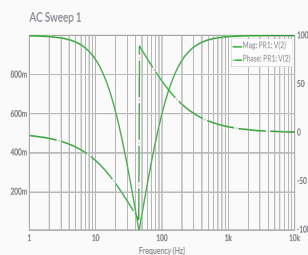
Szűrők típusai



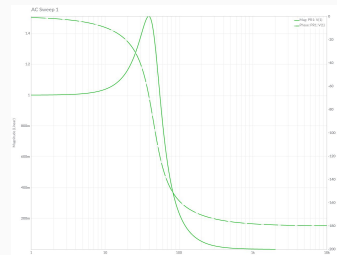
Sáváteresztő szűrő rezgőkörből



Felüláteresztő szűrő



Sávzáró szűrő rezgőkörből



Aluláteresztő szűrő

Az előző diákon látható szűrők Bode diagrammjai, az amplitúdókarakterisztika folytonossal, a frekvenciamenet szaggatottal.

A sáváteresztő szűrő "bódéja" magáért beszél, a sávzárójében az egyetlen érdekesség a hirtelen 360° -os váltás: ez csak az ábrázolás miatt van így, a 360° feletti fázis ...

Rezgőkörből kialakíthatók szűrők. Ilyenkor az átvitelét vizsgáljuk a rendszernek. Lesz egy bemeneti (az ábrákon bal oldalon) és egy kimeneti (jobb oldali) kapu. Vizsgáljuk, hogy a bemenetről mekkora teljesítmény jut a kimenetre.

Az egyes szűrő típusokból egyet egyet láthatsz a dián megvalósítva, valójában ezekből többféle elrendezés is létezik.

Visszagondolva a rezgőkörök impedanciamenetére, könnyen kitalálható, hogy sáváteresztő és sávzáró szűrők hogyan működnek.

Sáváteresztő szűrő esetében a referencia potenciál felé kötjük a párhuzamos rezgőkört. Ez a rezonanciafrekvencia környékén nagy impedanciát mutat, így ilyenkor nem folyik áram a nulla potenciál irányába, tehát ideális esetben a teljes teljesítmény a kimenetre jut.

Sávzáró szűrő esetén a bement és kimenet közé kötjük a párhuzamos rezgőkört. Ez rezonanciafrekvencián nagy impedanciát mutat, így a kimenetre nagyon kicsi teljesítmény jut, azon kívül pedig (ideális esetben) a teljesítmény nagyrésze.

Alul és felüláteresztő szűrőket az alábbi módon valósíthatunk meg: Vegyünk egy soros rezgőkört, aminek bemenetét a teljes rezgőkör két pólusára kössük, kimenetét

pedig válasszuk úgy, hogy az egyik elem két pólusa legyen. Észrevehetjük, hogy ez a korábbiakban tanult feszültségosztóként működik.

Aluláteresztő szűrő esetében kis frekvenciákon a tekercs átereszt, a kondenzátor szakadásként működik. A frekvenciát növelve nő a tekercs impedanciája, a kondenzátor elkezd vezetni.

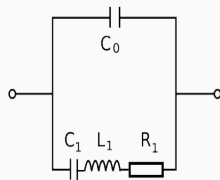
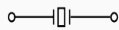
Felüláteresztő szűrő esetén a soros kondenzátor kis frekvenciákon nem ereszt át, míg a tekercs igen. A frekvenciát növelve a kondenzátor elkezd vezetni, a tekercs egyre nagyobb impedanciát mutat.

Lyukszűrő: Egy bizonyos sávban csillapít, alatta és felette átengedi a jelet

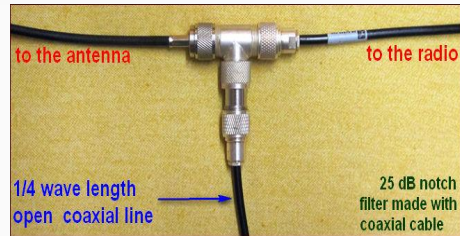
Variációk rezgőkörre



Kvarc kristály



Kvarc kristály helyettesítőképe



Sávszűrő koaxiális tápvonallal

A gyakorlatban a tekercs-kapacitás rezgőkörökön kívül alkalmazunk más, rezgőkör-karakterisztikájú áramköri elemeket is.

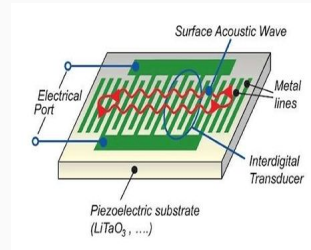
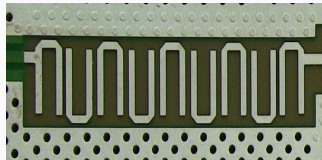
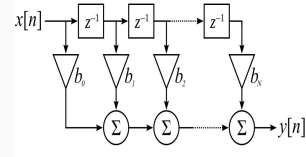
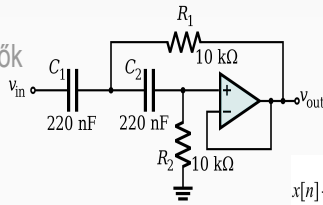
Az első ilyen, amit precizitása és viszonylag olcsó ára miatt szeretünk, a kvarckristály. Áramkörileg párhuzamos rezgőkörnek felel meg, azaz kialakítható vele sáváteresztő- és sávzáró szűrő. Előszeretettel alkalmazzák, amikor nagy meredekségű szűrőre van szükség, de maga a frekvencia egybeesik a szabványos értékekkel, vagy szabadon választható (pl. szuperheterodin vevő, erről az adóvevők előadásban lesz majd szó).

A második az elosztott-paraméterű rezgőkör, amit tápvonalakból (pl. koax kábel, nyákon microstrip) alakítunk ki. Szintén olcsó, és egyszerűen hangolható - a rezonancia lineárisan függ a csomagtáv hosszától. Hátránya, hogy periodikusan több rezonanciával is rendelkezik, ez van amikor jelent problémát, van amikor nem. Kialakítható vele párhuzamos és soros rezgőkör is. A tápvonalak viszont annyira messzire vezetnének, hogy külön előadásuk lesz.

Képek: Wikipédia, HB9AMO

Egyéb szűrő típusok

- Passzív, diszkrét szűrők
- Aktív szűrők
 - pl. Sallen-Key
- Diszkrét idejű szűrők
 - FIR, IIR
- Elektroakusztikus/Elektromechanikus szűrők
 - Felületihullám szűrő (SAW)
- Elosztott paraméterű szűrők
 - Hairpin szűrő
 - üregrezonátor



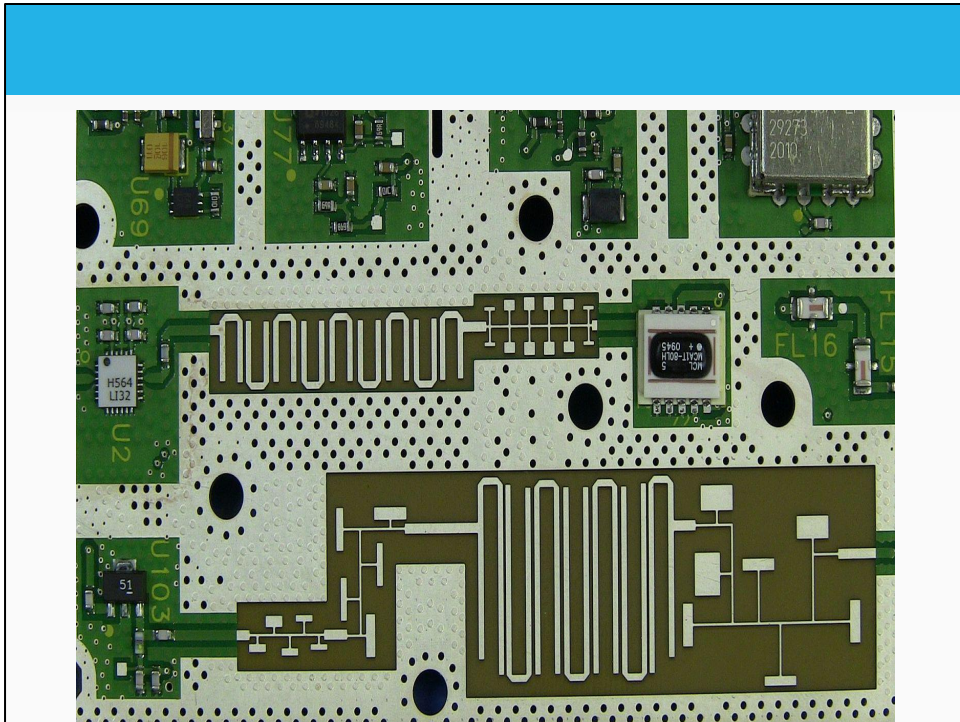
Az eddigiekben passzív, diszkrét elemekből megépíthető szűrőáramkörökről beszéltünk. A rádióamatőr világban sokszor ilyen szűrőkkel találkozhatunk, de nem kizárólagosan ezekkel.

Az aktív szűrők esetében az induktivitásokat helyettesíthetjük erősítővel. Nagy előnyük az ilyen szűrőknek, hogy kimenetükön akár nagyobb energia is megjelenhet, mint a bemenetre adott (az energia természetesen nem a semmiből jelenik meg, hanem külső forrásból).

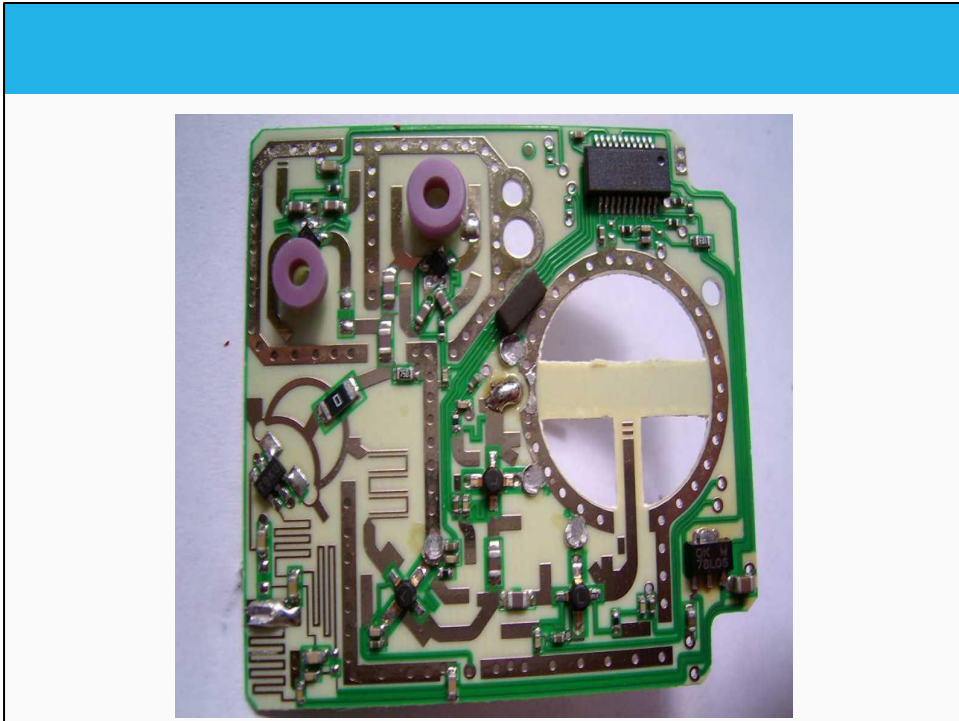
Diszkrét idejű szűrőket egyre gyakrabban használnak digitális eszközökben - például szoftverrádiókhoz is.

Léteznek elektroakusztikus és elektromechanikus szűrők. Ezek az elektromos energia akusztikus vagy mechanikus hullámmá alakításán és ilyen módon való szűrésén működnek. Néha hasonlítanak a tápvonalas szűrőkre (SAW), de lehet pl. hangvillából is szűrőt csinálni (és begerjesztve oszcit) - az apolló-programban a holdra ilyet (is) vittek.

Végül léteznek elosztott paraméterű szűrők is, melyek a tápvonal megfelelő kialakításával szűrnék. Bővebben: tápvonalas előadás.



Elosztott paraméterű szűrőkre példa a wikiről, valami SA panele.
Hairpin szűrő hangvillára emlékeztet, vicces módon nincs is végig vezeték a ki- és bemenet között, a többi is elég furcsa cucc.
“A nem kívánt frekvenciák eltévednek a labirintusban” meglepően jó leírás a működésre.



Szintén elosztott paraméterű példa, mindenféle varázsűnák egy műholdvevő panelen. Látszik hairpin filter, és valami meanderezett vonal, ami vagy tekercs, vagy nem (de lehet hogy késleltetés). Boszorkánység, én mondom!

Vége

Kérdések?

