

A hárompont-kapcsolású oszcillátorok – nem meglepő módon – a frekvencia-meghatározó hálózatukról kapták a nevüket. Az Armstrong- (más néven Meißner-) oszcillátor mellett a két legősibb oszcillátortípus a [Edwin Henry Colpitts](#) által megalkotott Colpitts-, valamint a [Ralph Vinton Lyon Hartley](#) által szabadalmaztatott Hartley-oszcillátor. Technikatörténeti szempontból rendkívül jelentős mindkét oszcillátortípus. A rádióadó- és rádióvevő berendezésekben a mai napig szinte ilyen oszcillátorok szolgálnak alapul, figyelembe véve, hogy természetesen a korszerű típusokban bipoláris- és térvezérlésű tranzisztor az erősítőelem, szemben a korai elektroncsövekkel.

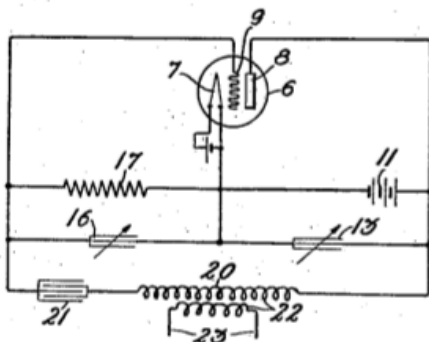


E. H. COLPITTS
OSCILLATION GENERATOR

Filed Feb. 1, 1918

1,624,537

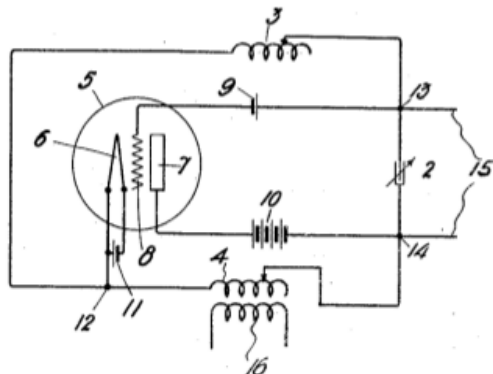
April 12, 1927.



R. V. L. HARTLEY.
OSCILLATION GENERATOR.
APPLICATION FILED JUNE 1, 1915.

1,356,763.

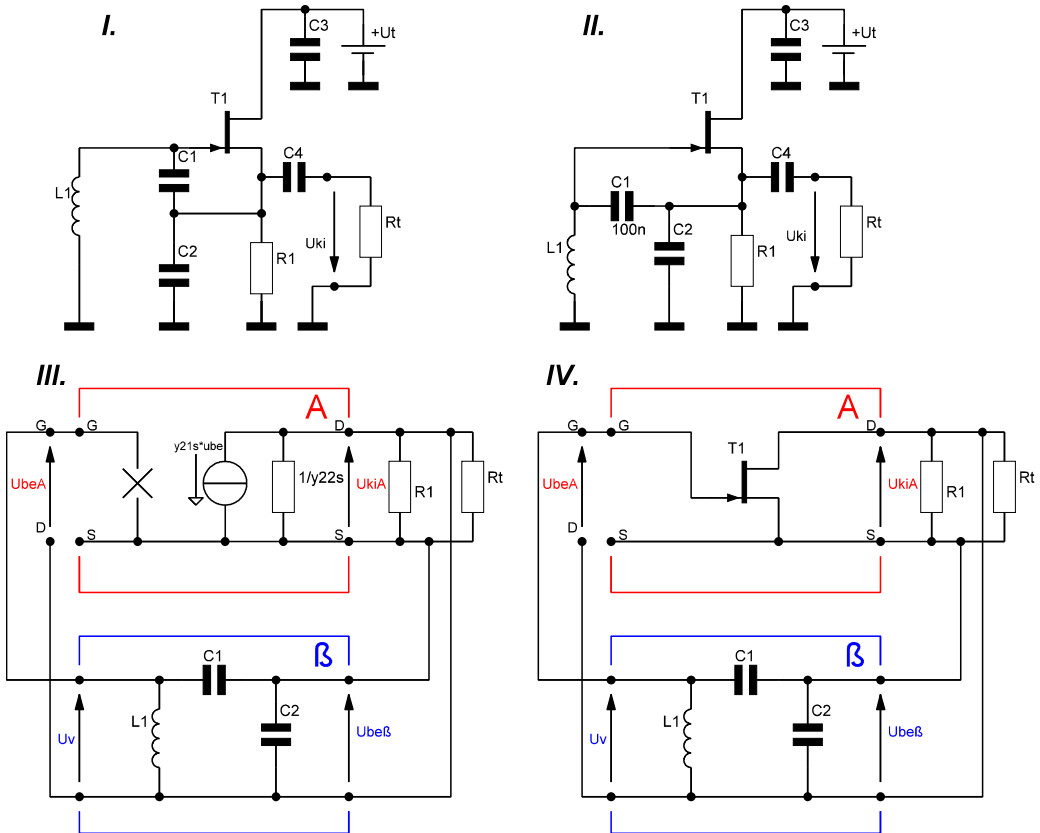
Patented Oct. 26, 1920.



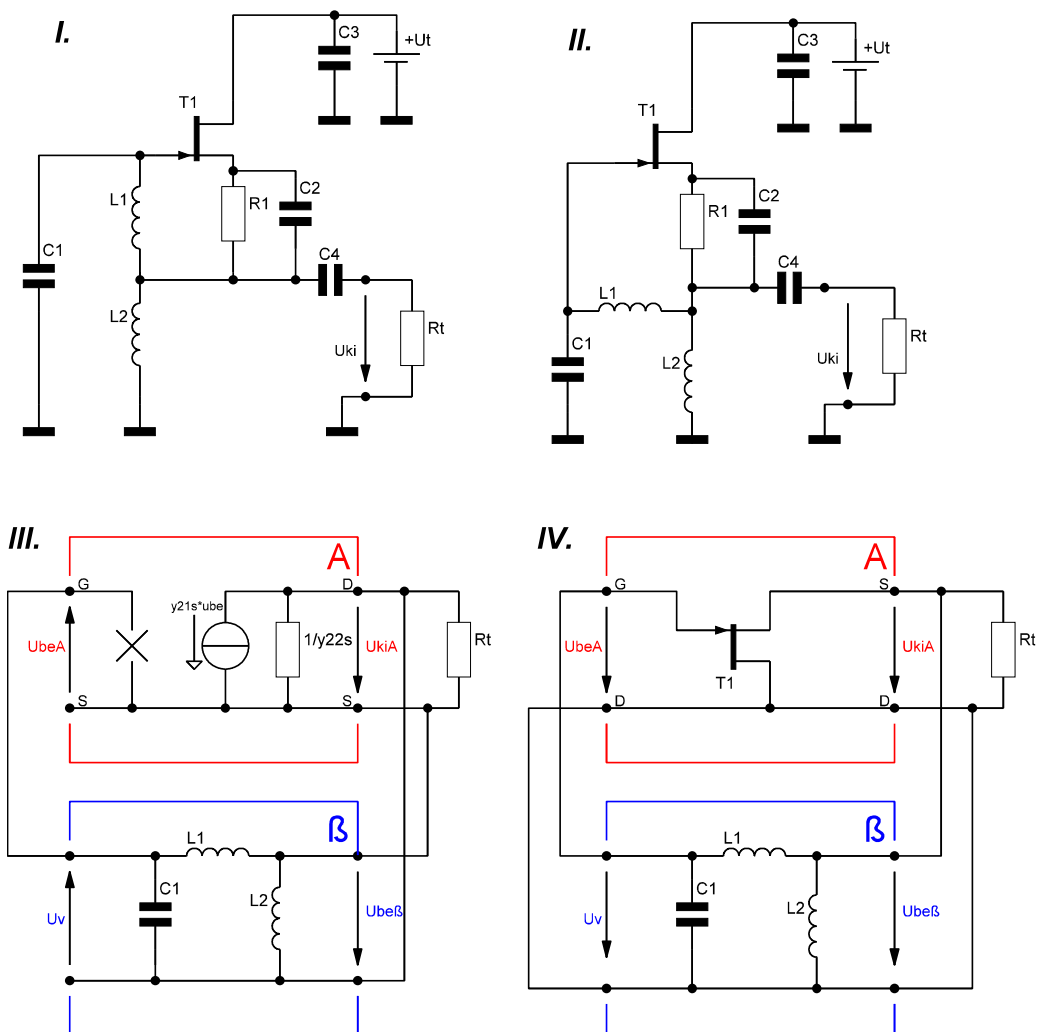
1. és 2. ábra Colpitts és Hartley fényképe, valamint a róluk elnevezett oszcillátorok szabadalmi leírásában található kapcsolási rajzok (szabadalmi leírások: [US1624537](#) és [US1356763](#))

● A hárompont-kapcsolású oszcillátorok szelektív hálózatai

Ahhoz, hogy a hárompont-kapcsolású oszcillátorok szelektív hálózatát felderítsük célszerű megalkotni az oszcillátorok váltakozóáramú helyettesítő képeit. Erre a legalkalmasabbnak a földelt drain-ű (-kollektoros, anódú) kapcsolás a legalkalmasabb alany. A 3. ábrán Colpitts-, a 4. ábrán pedig a Hartley-oszcillátor származtatását láthatjuk.

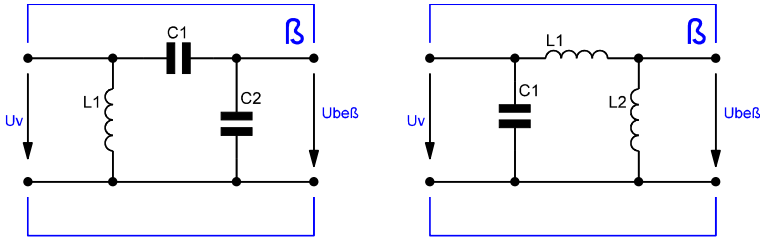


3. ábra a Colpitts-oszcillátor váltakozóáramú helyettesítő képe, az oszcillátor szelektív hálózata (β)



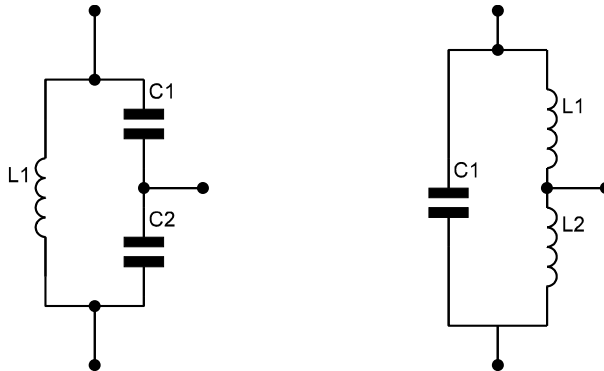
4. ábra a Hartley-oszcillátor váltakozóáramú helyettesítő képe és az oszcillátor szelektív hálózata (β)

A származtatások eredményeként kapjuk a két oszcillátortípus szelektív hálózatának kapcsolási rajzát.



5. ábra a Colpitts- és Hartley-oszcillátorok szelektív hálózata [földelt drain-ű (kollektoros, anódú)]

Az ábrák alapján látható, hogy a Colpitts-oszcillátor lényegében kapacitív hárompontkapcsolású, a frekvenciameghatározó hálózata egy olyan rezgőkör, amelynél a rezgőköri kapacitás két részre osztásával állítják elő a rezgőkör „harmadik” pontját, egy megcsapolást. Lássuk meg, hogy a Hartley-oszcillátor ennek megfelelően induktív hárompontkapcsolású, hiszen ennél a típusnál a rezgőköri induktivitását osztjuk két részre, így alakítva ki a szelektív négyfólyust! A megismert szelektív négyfólyusokat mindezek ismeretében elemezzük a "megcsapolt" rezgőköröket!

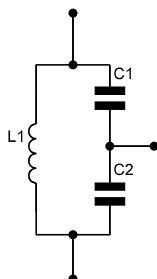


6. ábra a Colpitts- és a Hartley-oszcillátor "megcsapolt" rezgőkörei

A képeken látható, hogy mindkét esetben egy megcsapolt párhuzamos rezgőkör a szelektív hálózat, így a rezonancia-frekvencia meghatározására a Thomson-képletet alkalmazhatjuk. A Thomson-képlet általános alakja:

$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{LC}}$$

A Colpitts-rezonancia



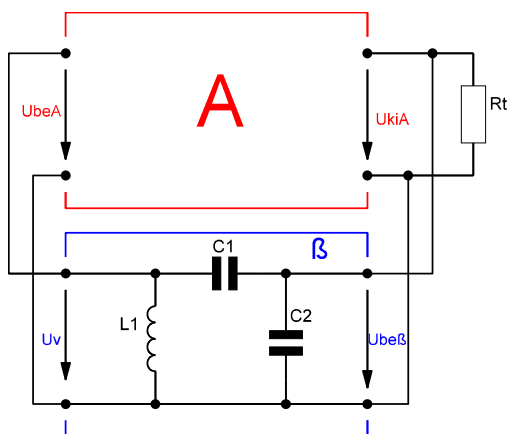
7. ábra

A rajzból látható, hogy a rezgőköri kapacitás két soros kapacitásból realizálódik (C_1 és C_2). A két sorosan kapcsolt kapacitás eredő kapacitása a replusz művelettel számítható:

$$C = C_1 \times C_2 = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}}$$

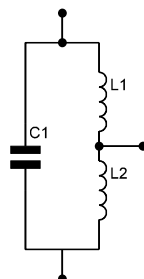
Így a rezonanciafrekvencia:

$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C_1 \times C_2}}$$



9. ábra

A Hartley-rezonancia



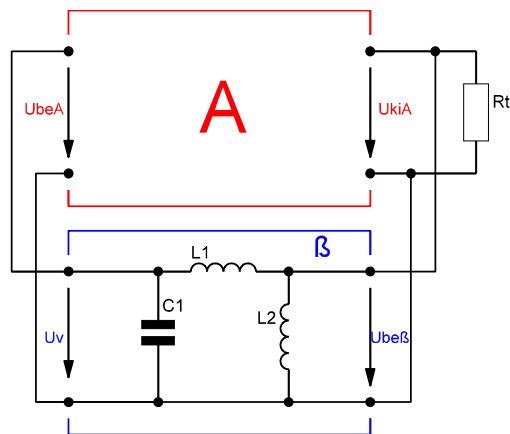
8. ábra

Mivel a Hartley-oszcillátor szelektív hálózatának induktivitásai sorba kapcsolódnak, az eredő induktivitás a két induktitásérték matematikai összege lesz:

$$L = L_1 + L_2$$

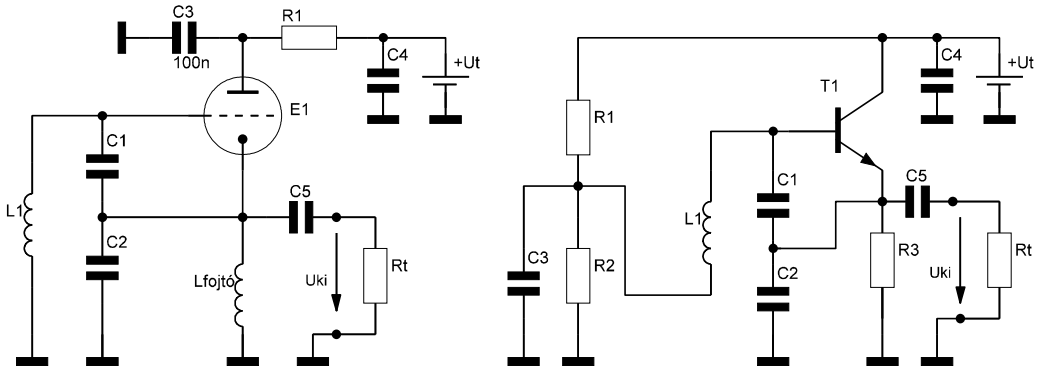
A rezonanciafrekvencia a következőképpen alakul:

$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{C_1 \cdot [L_1 + L_2]}}$$

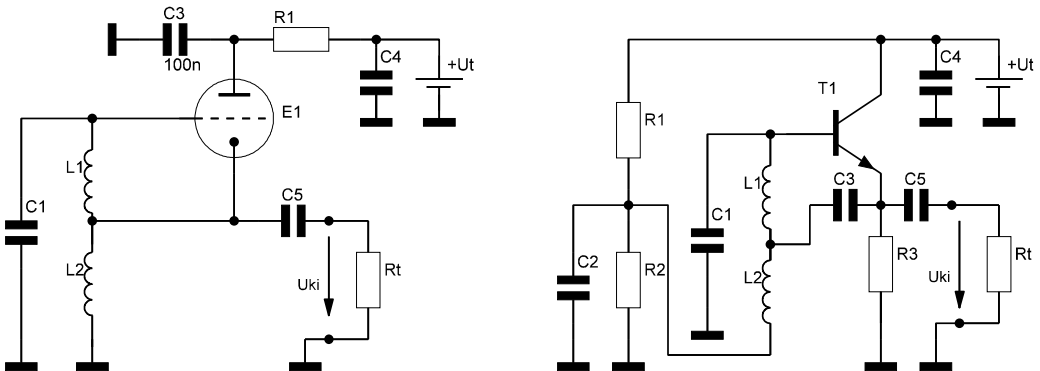


A visszacsatoló hálózat (mint szelektív hálózat) C-, illetve L elemek osztásarányát (értékarányát) úgy választjuk meg, hogy az eredményül kapott megcsapolási pontot az erősítő bemenete a lehető legkisebb mértékben terhelje, valamint a veszteséget az erősítő még kompenzálni tudja (9. ábra).

Technikatörténeti, valamint kapcsolástechnikai szempontból célszerű megemlíteni az elektroncsöves, illetve tranzisztoros "megfelelőjét" is a földelt drain-ű FET-es oszcillátornak.

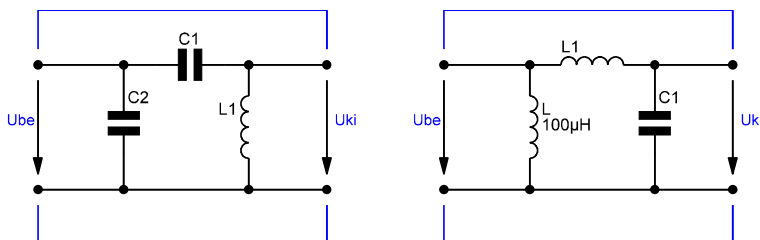


10. ábra földelt anódú elektroncsöves, valamint földelt kollektorú tranzisztoros Colpitts-oszcillátor



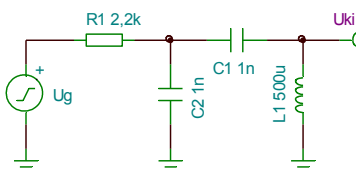
11. ábra földelt anódú elektroncsöves, valamint földelt kollektorú tranzisztoros Hartley-oszcillátor

● A 4. ábrát felidézve, a jelek haladási irányának megfelelően, a földelt drain-ű (anódú, kollektorú) oszcillátor visszacsatolóhálózata és karakterisztikái

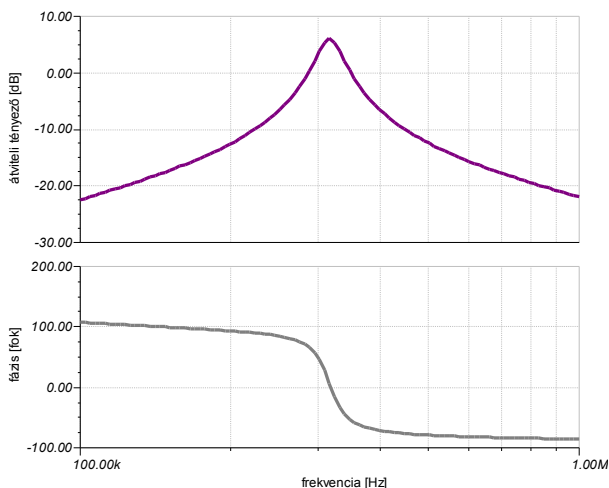


12. ábra a földelt drain-ű (anódú, kollektorú) oszcillátor visszacsatolóhálózata

A 13. ábra szerinti mérőkör összeállítása után kiszámítható a rezonanciafrekvencia (318309Hz). A 14. ábrán a szelektív hálózat átviteli- és fáziskarakteristikája látható. A rajzból kitűnik, hogy a hálózatnak a rezonanciafrekvencián a legkisebb a csillapítása, valamint az, hogy a fázistolása 0 fok.



13. ábra a szelektív hálózat mérőköre (földelt drain, Colpitts)



14. ábra a szelektív hálózat karakterisztikái (földelt drain, Colpitts)

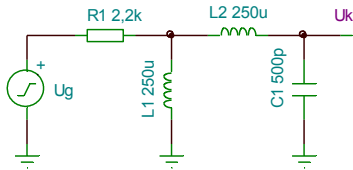
Az amplitúdófeltétel teljesüléséhez a visszacsatoló hálózat csillapítását kell az erősítőnek kompenzálnia, azért, hogy a hurokerősítés kezdetben nagyobb legyen, mint egy, az oszcilláció megindulásakor pedig egységnyi legyen.

$$\text{A teljesülő amplitúdófeltétel: } |H| = |A| \cdot |\beta|$$

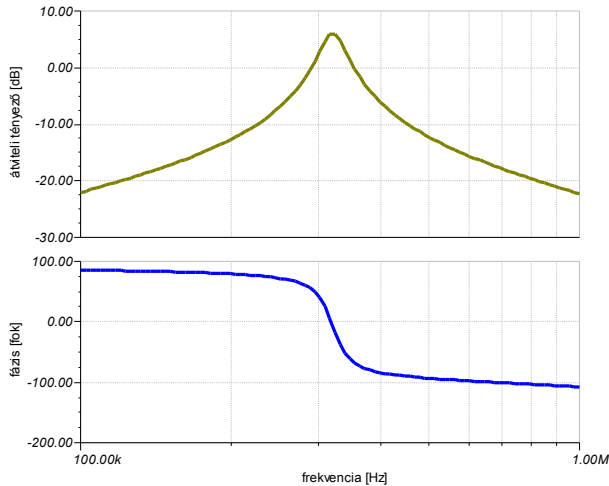
Mivel az szelektív hálózat fázistolása: $\varphi = 0$, így a fázisfeltétel abban az esetben teljesül, ha az erősítő fázistolása $\alpha = 0$.

$$\text{Ekkor a teljesülő fázisfeltétel: } \alpha + \varphi = 0 \pm k2\pi$$

Hasonlóképpen alakul a Hartley-oszcillátor szelektív hálózatának karakterisztikája:



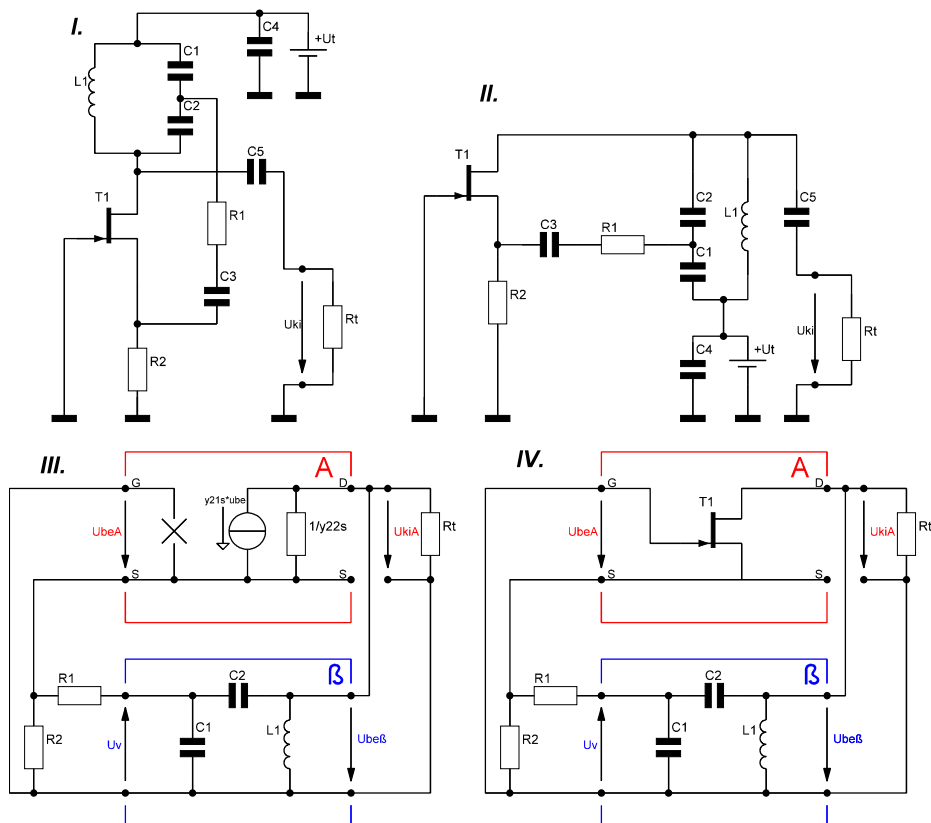
15. ábra a szelektív hálózat mérőköre (földelt drain, Hartley)



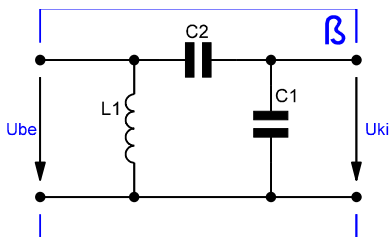
16. ábra a szelektív hálózat karakterisztikái (földelt drain, Hartley)

A teljesség igénye nélkül tekintsük át a földelt gate-ű (rácsú, bázisú), valamint a földelt source-ű (katódú, emitteres) erősítőkapscsolásokkal felépített Colpitts-, valamint Hartley-oszcillátorok felépítését.

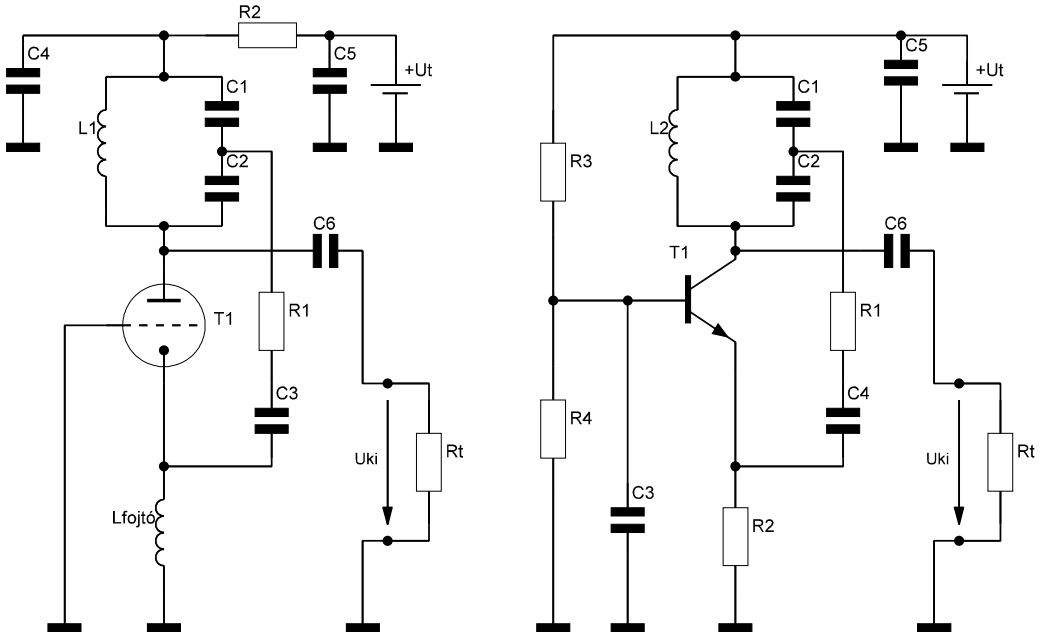
● Földelt gate-ű (rácsú, bázisú) Colpitts-oszcillátorok



17. ábra a földelt gate-ű Colpitts-oszcillátor váltakozóáramú helyettesítő képe, az oszcillátor szelektív hálózata (β)

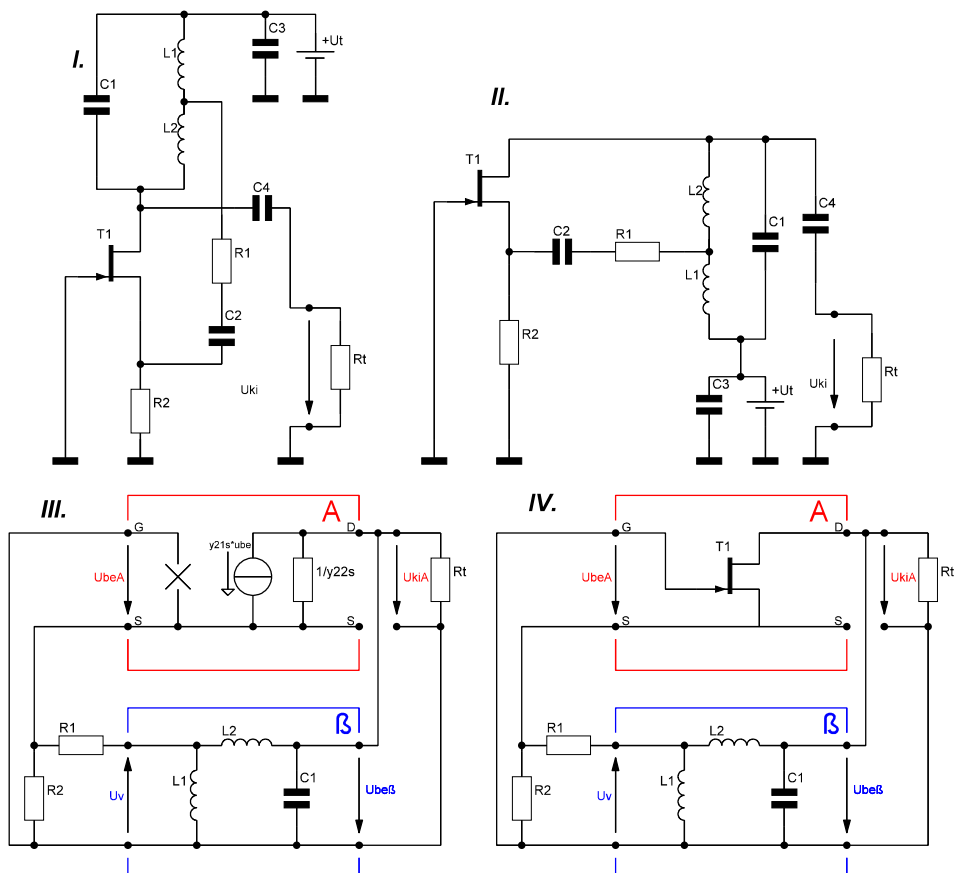


18. ábra a földelt gate-ű Colpitts-oszcillátor visszacsatoló hálózata

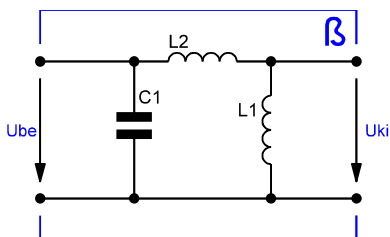


19. ábra földelt rácsú elektroncsöves, valamint földelt bázisú tranzistoros Colpitts-oszcillátorok

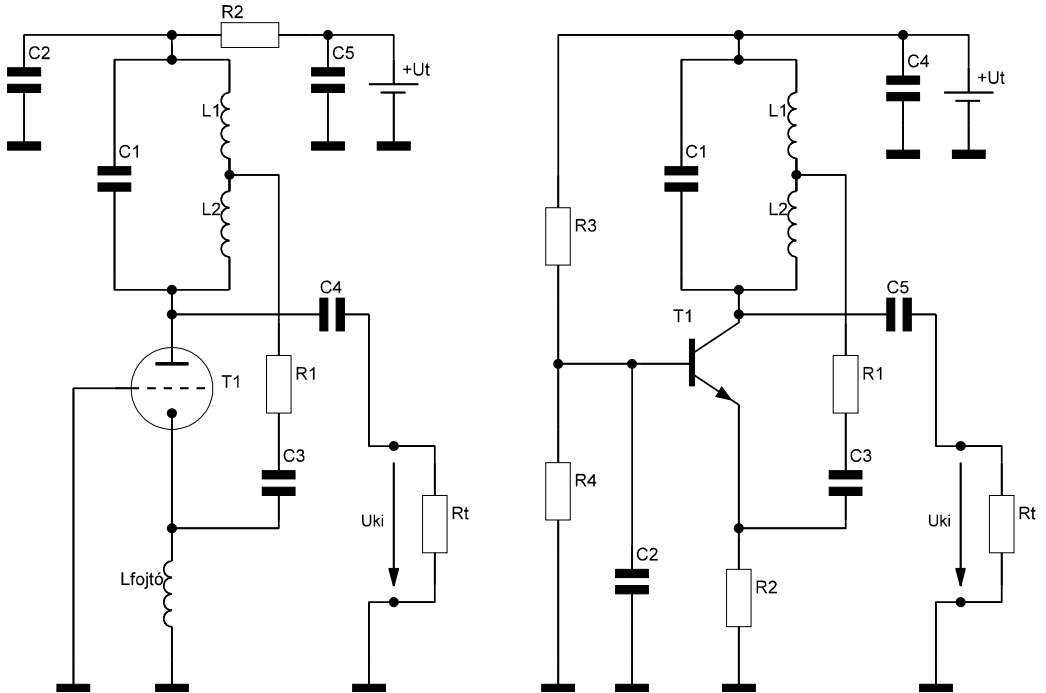
● Földelt gate-ű (rácsú, bázisú) Hartley-oszcillátorok



20. ábra a földelt gate-ű Hartley-oszcillátor váltakozóáramú helyettesítő képe, az oszcillátor szelektív hálózata (β)

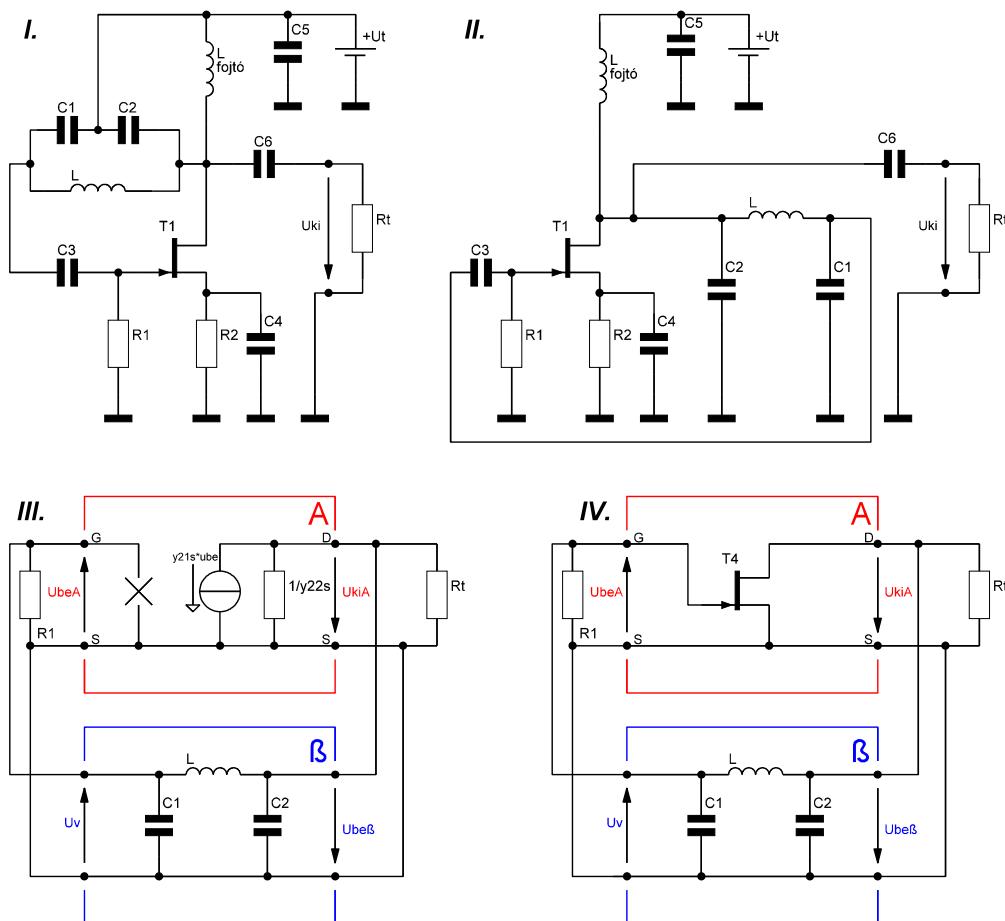


21. ábra a földelt gate-ű Hartley-oszcillátor visszacsatoló hálózata

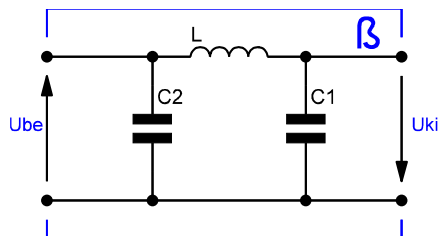


22. ábra földelt rácú elektroncsöves, valamint földelt bázisú tranzistoros Hartley-
oszillátorok

● Földelt source-ű (katódú, emitteres) Colpitts-oszcillátorok

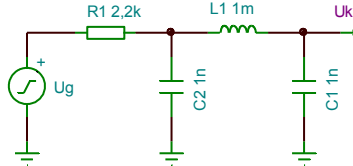


23. ábra a földelt source-ű Colpitts-oszcillátor váltakozóáramú helyettesítő képe, az oszcillátor szelektív hálózata (β)

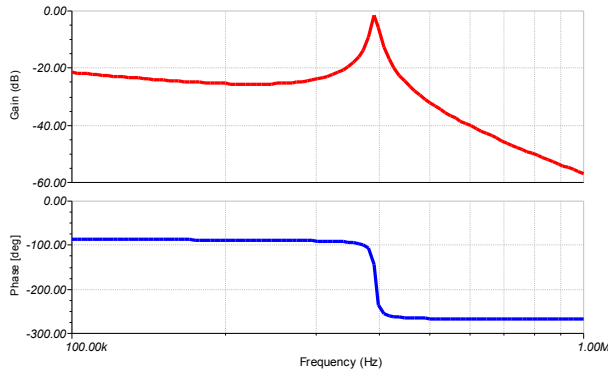


24. ábra a földelt source-ű Colpitts-oszcillátor visszacsatoló hálózata

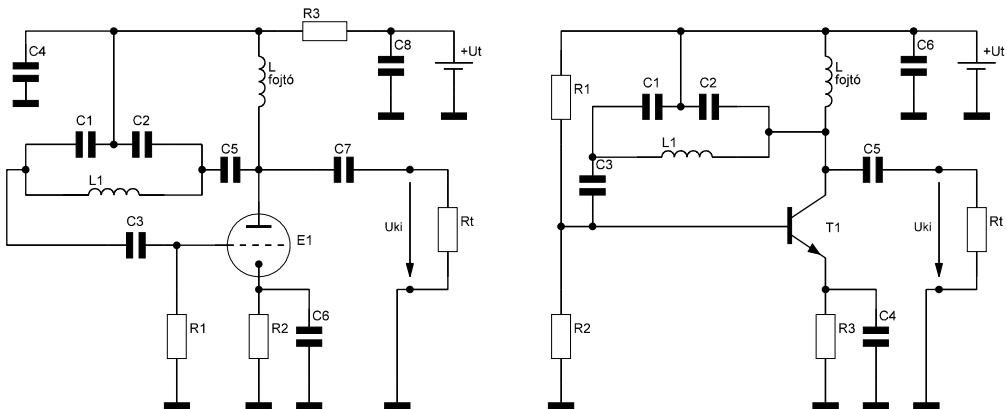
A földelt source-ű (katódú, emitteres) erősítőkapcsolással felépített oszcillátorok különlegessége az, hogy a szelektív hálózat fázistolása a rezonanciafrekvencián 180 fok, így értelem szerint a fázisfeltétel teljesülése érdekében 180 fok fázistolású (fázist fordító) fokozatot kell alkalmazni. Mint ismeretes a földelt source-ű fokozat pontosan megfelel a célnak, így az oszcilláció megindulhat. Ekkor a teljesülő fázisfeltétel:

$$\alpha + \varphi = 180 \text{ fok} + 180 \text{ fok} = 0 \text{ fok}$$


25. ábra a szelektív hálózat mérőköre (földelt source, Colpitts)

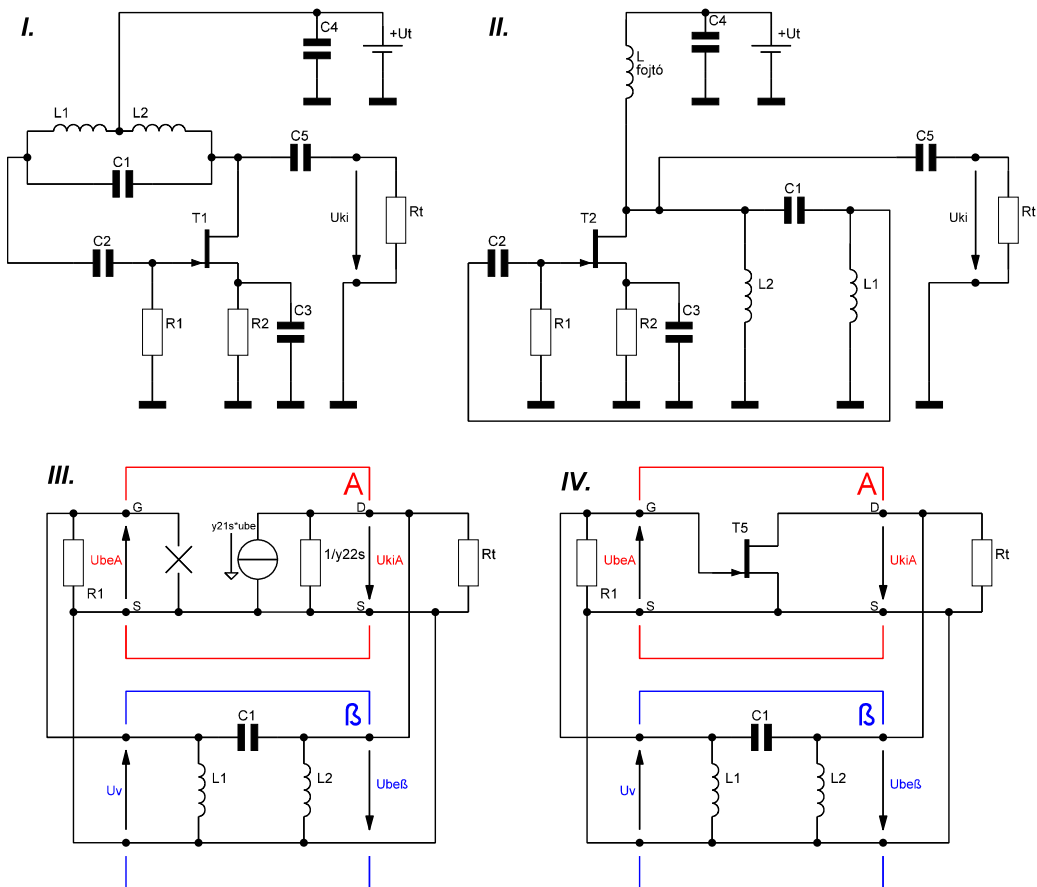


26. ábra a szelektív hálózat karakterisztikái (földelt source, Colpitts)

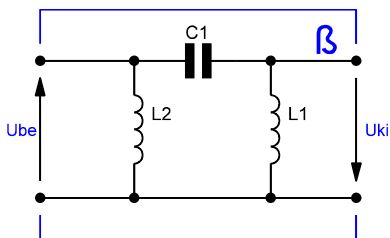


27. ábra földelt katódú elektroncsöves, valamint földelt emitteres tranzisztoros Colpitts-oszcillátorok

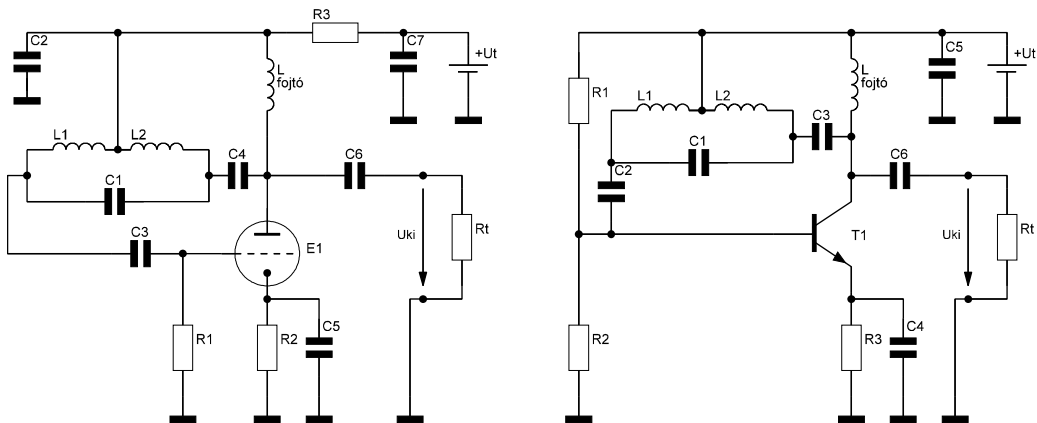
● Földelt source-ű (katódú, emitteres) Hartley-oszcillátorok



28. ábra a földelt source-ű Hartley-oszcillátor váltakozóáramú helyettesítő képe, az oszcillátor szelektív hálózata (β)



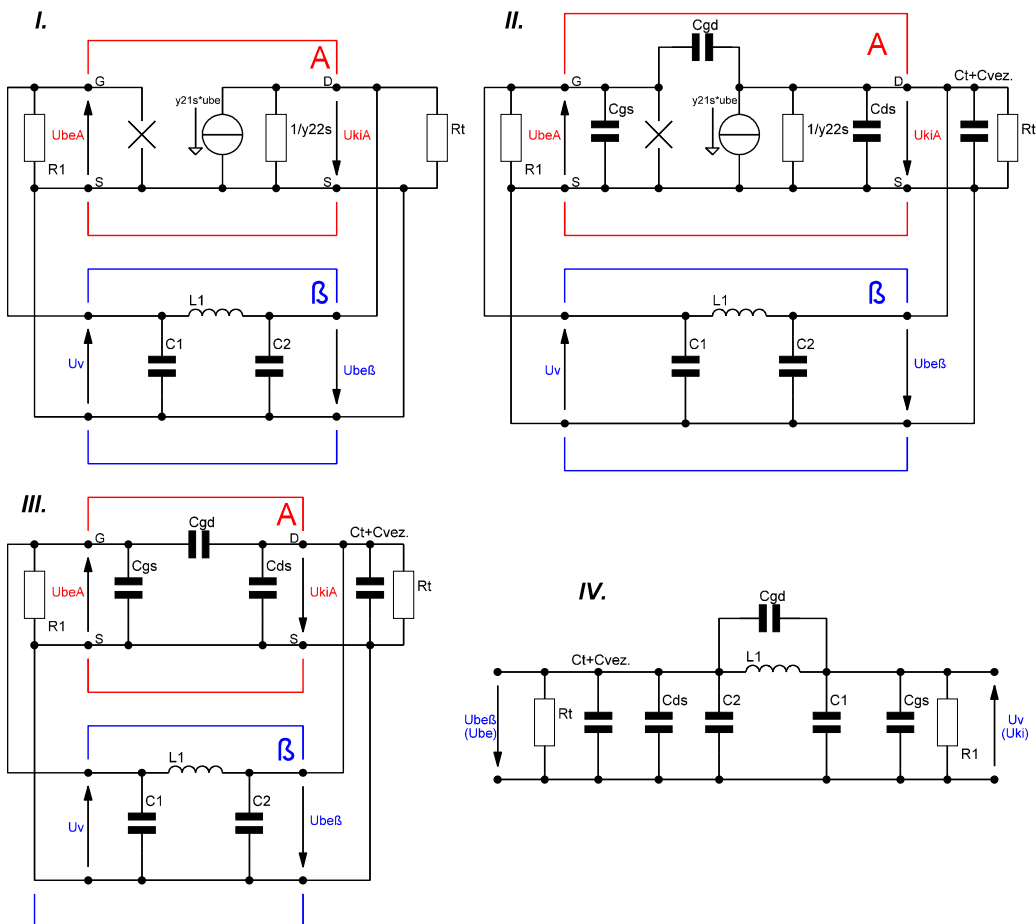
29. ábra a földelt source-ű Hartley-oszcillátor visszacsatoló hálózata



30. ábra földelt katódú elektroncsöves, valamint földelt emitteres tranzisztoros Hartley-oszcillátorok

A hárompont-kapcsolású oszcillátorok rezonanciafrekvenciáját meghatározó egyéb tényezők, működési frekvencia-tartomány, frekvenciastabilitás

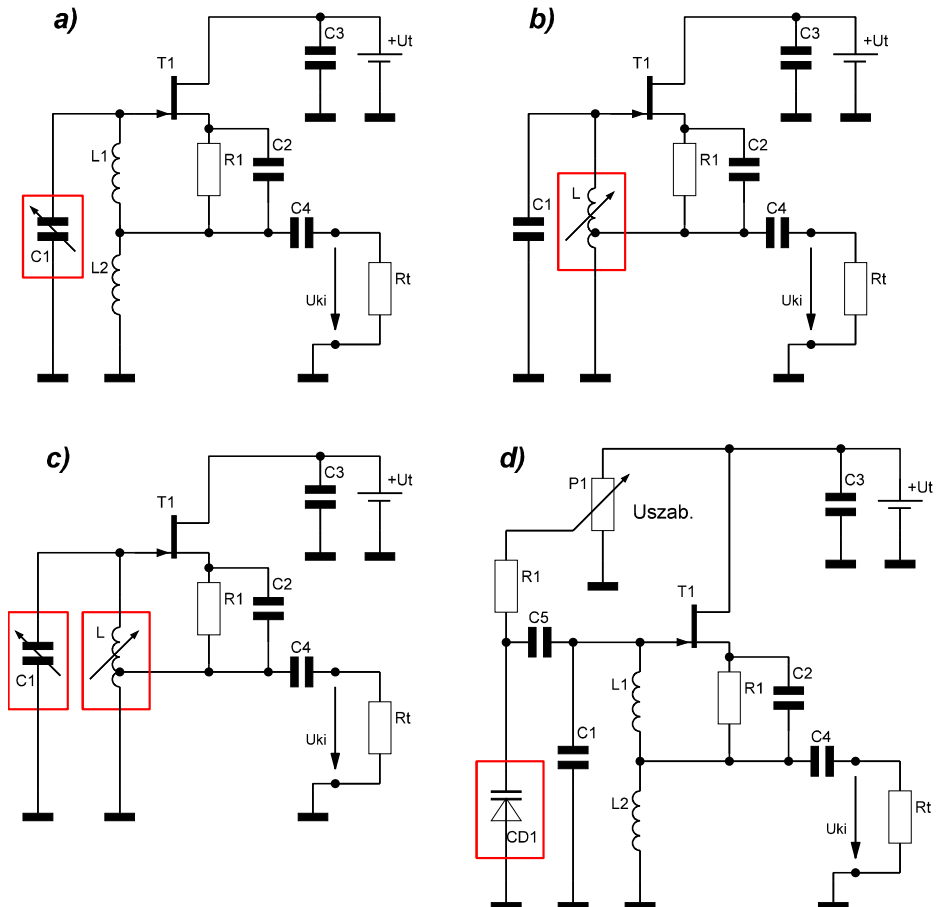
A hárompont-kapcsolású oszcillátorok tervezésekor és üzemeltetésekor nem szabad figyelmen kívül hagyni azt a tényt, hogy a visszacsatoló hálózat rezonanciafrekvenciáját jelentős mértékben befolyásolhatja, megváltoztathatja a tápláló erősítő, valamint a terhelés parazita (járulékos) kapacitásai. Ez az erősítőelem vonatkozásában a félvezető rétegkapacitásaiként, a terhelés vonatkozásában pedig a terhelés, valamint, az oszcillátor és a terhelés közötti vezető kapacitásoként realizálódik. Eme kapacitások "betranszformálódnak" a szelektív hálózatba. Míg az erősítő kapacitásai adott munkapontban állandónak tekinthetők, addig a terhelés kapacitásai változhatnak, így a rezonancia-frekvencia is. Kövessük nyomon mindezt a földelt source-ű Colpitts oszcillátor esetében, a 31. ábrán.



31. ábra a földelt source-ű Colpitts oszcillátor járulékos kapacitásainak hatása a szelektív hálózatra

Mindezek tükrében elmondható, hogy célszerű úgy tervezni a szelektív hálózatot, az erősítőt és a terhelést, hogy a járulékos kapacitások nagyságrend(ekk)el kisebb legyen, mint a szelektív hálózat kapacitásai. Természetesen ennek gátat szab az alkalmazott frekvencia, valamint az, hogy a járulékos kapacitások minden határon túl nem csökkenthetők, még gondos félvezetőeszközválasztás, valamint a terhelés és az egyéb szórt kapacitások minimalizálása esetén sem. Összességében elmondható, hogy a hárompont-kapcsolású oszcillátorokat 100kHz-es nagyságrendűtől néhányszor 100MHz-es frekvenciájú jelek előállítására alkalmazzák.

● A hárompont-kapcsolású oszcillátorok hangolhatósága



32. ábra a Hartley-oszcillátor hangolhatósága

Mint ismeretes, a hárompont kapcsolású oszcillátorok szelektív hálózata egy megcsapolt párhuzamos rezgőkör (6. ábra), így a hangolása kézenfekvő: vagy a

rezgőköri kapacitás, vagy a rezgőköri induktivitás értékének szabályozásával oldható meg. A változó kapacitásértéket forgókondenzátorral, trimmerkondenzátorral, vagy kapacitásdiódával, a változó induktivitásértéket hangolómagos (pl. vas, alumínium, réz) tekercsel realizálhatjuk. A 32. ábrán a Hartley-oszcillátor (példánkban földelt drain-ű alapkapcsolással, de ettől függetlenül bármelyik erősítőkapcsolásban azonos) hangolhatóságát vettük górcső alá.

Hangolási megoldások a Hartley-oszcillátorokban:

- a) a rezgőköri kapacitás hangolásával;
- b) a rezgőköri induktivitás ebben az esetben egy megcsapolt tekercs, közös csévetesttel, mely közös hangolómaggal hangolt;
- c) az a) és b) megoldások együttes alkalmazása;
- d) kapacitásdiódával (a kapacitásdióda előfeszítő-feszültségének függvényében változó rétegapacitással).

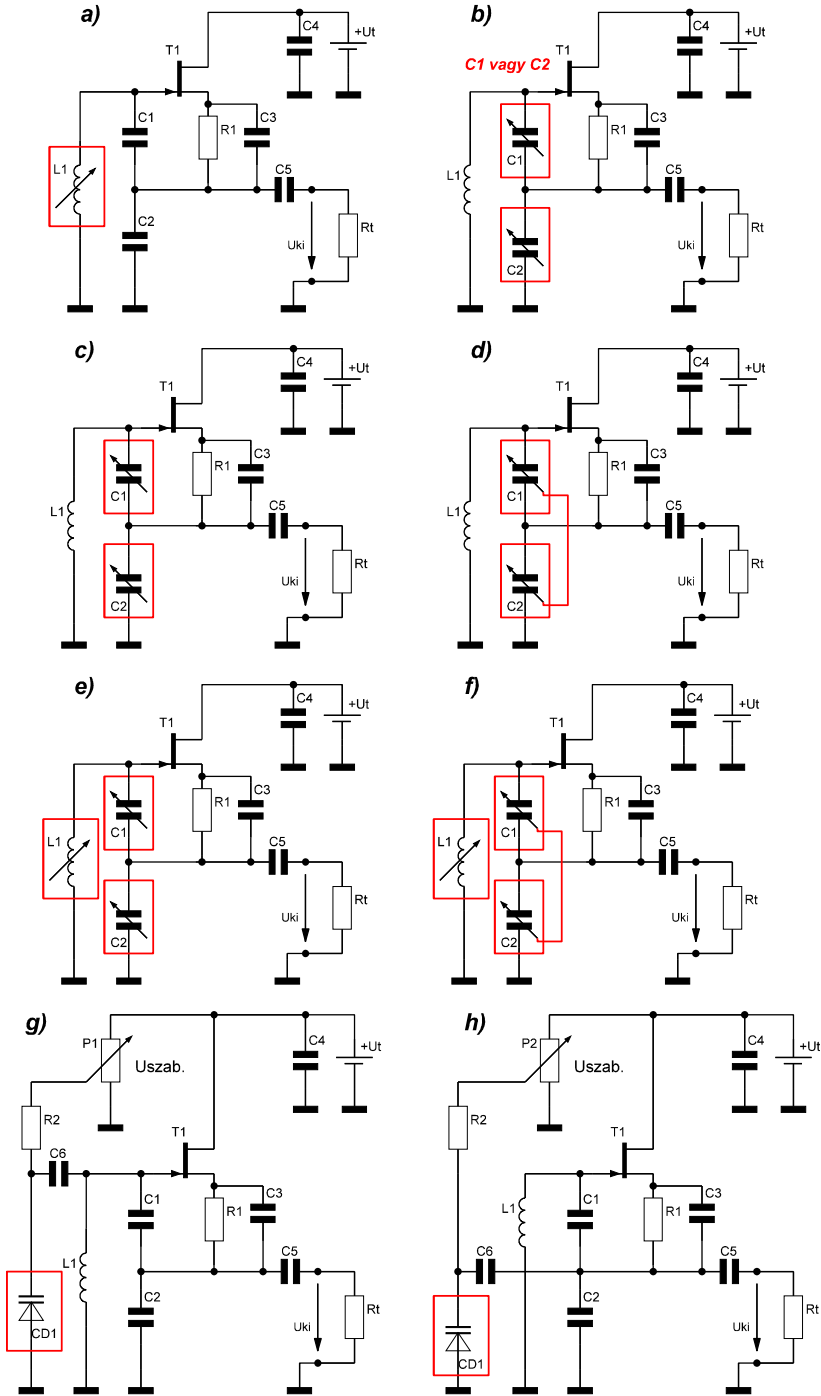
Az ismertett hangolási módok közül az egy elemmel történő hangolás az elterjedtebb, vagyis az a), b) és d) ábrarészlet szerintiék.

Hasonló hangolási metódusokkal találkozunk a Colpitts-oszcillátorok esetén is. Ahogy a Hartley-oszcillátoroknál láthattuk, itt is a szelektív hálózat kapacitás-, és induktivitásértékek változtatásával érhetjük el a kívánt (el)hangolást. A 33. ábrán tekinthettük át a megoldásokat.

Hangolási megoldások a Colpitts-oszcillátorokban:

- a) a rezgőköri induktivitás hangolásával;
- b) a C_1 vagy a C_2 kondenzátorok kapacitásának változtatásával;
- c) a C_1 és a C_2 kondenzátorok kapacitásának változtatásával;
- d) a C_1 és a C_2 kondenzátor együttes hangolásával (pl. közös tengelyes forgókondenzátorok);
- e) az L_1 induktivitás, C_1 és a C_2 kondenzátorok kapacitásának változtatásával;
- f) az L_1 induktivitás és C_1 - C_2 kondenzátor együttes hangolásával (pl. közös tengelyes forgókondenzátorok);
- g) kapacitásdiódával, mely a C_1+C_2 kondenzátorral van párhuzamosan kapcsolva;
- h) kapacitásdiódával, mely a C_2 kondenzátorral párhuzamosan van kapcsolva.

A Colpitt-oszcillátorok esetében is preferált megoldás az egy elemmel történő hangolás. Ennek tükrében kitüntetett helyzetű az a), a b), a g) és a h) hangolási módszer. Fontos emellett megemlíteni, hogy a C_1 , C_2 kondenzátorral, illetve a C_2 -vel párhuzamosan kötött kapacitásdiódás hangolásnál különös gondot kell fordítani a C_1 és C_2 kondenzátor értékarányára (osztásarányára), ellenkező esetben a amplitúdófeltétel nem teljesül és a rezgés leszakad (az oszcilláció megszűnik).

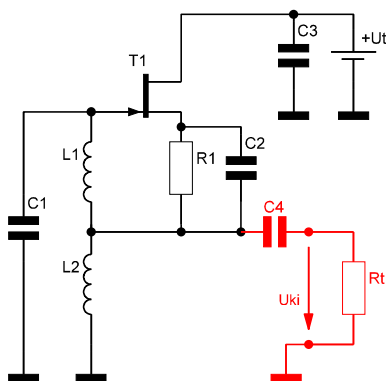


33. ábra a Colpitts-oszcillátor hangolhatósága

● A hárompont kapcsolású oszcillátorok terhelhetősége, (jel)kicsatolási módok

Ismeretes tény, hogy az oszcillátorok terhelése komplex impedanciát képvisel (rendelkezik ohmos-, induktív- és kapacitív összetevőkkel). A 31. ábrán látható terhelt szelektív hálózat frekvenciája megváltozik a terhelések kapacitásértékei által (is), a terhelés ohmos összetevője viszont rontja a szelektív hálózat – mint párhuzamos rezgőkör – jósági tényezőjét, vele együtt növelve a sáv szélességet. Feledatunk tehát, hogy az oszcillátor terhelését a lehető legnagyobb mértékben elválasszuk az oszcillátortól. Ezt megtehetjük az erősítőfokozat, valamint a kicsatolási mód gondos kiválasztásával. Azonos erősítőfokozat esetén azonos kicsatolási módokat alkalmazunk mind a Colpitts-, mind pedig a Hartley-oszcillátorokban.

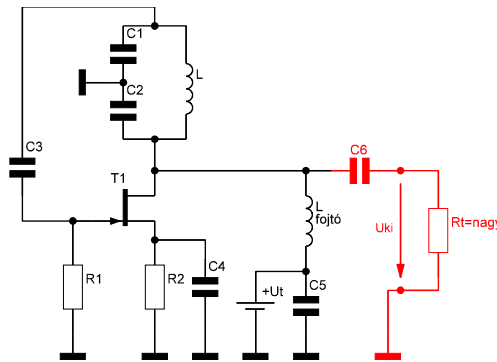
Földelt drain-ű (anódú, kollektorú) erősítőfokozat alkalmazása önmagában előnyösnek tűnik, hiszen alacsony a kimeneti impedanciája, így a kimeneti terhelés okozta hatások elenyészőek lehetnek. Sajnálatos hátránya az ilyen erősítőfokozattal bíró oszcillátoroknak, hogy a kimeneti szinuszos jel torzítása jelentős, így további szűrőfokozatok alkalmazása válik szükségessé a jel felhasználása előtt. Eme oszcillátorokban szinte mindig – alacsonyimpedanciás – kapacitív kicsatolást alkalmazunk. Ezzel a megoldással az egyenfeszültség leválasztás is megoldott.



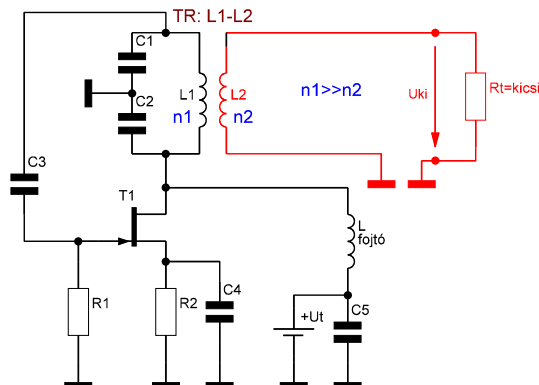
33. ábra a földelt drain-ű hárompont-kapcsolású oszcillátor kapacitív kicsatolási módja

Földelt gate-ű (rácsú, bázisú) és földelt source-ű (katódú, emitteres) erősítőfokozatú oszcillátorok esetében más a helyzet, hiszen a szelektív hálózatot a drain (anód, kollektor) körből tápláljuk és – mint tudjuk – ezek a fokozatok nagyimpedanciás kimeneteket biztosítanak. Ebből fakadóan a kimeneti terhelés ohmos összetevője jelentősen leronthatja a rezgőkör jóságát, így a sáv szélessége megnő (csökken a szelektivitása), vele együtt az erősítőfokozat erősítése is lecsökken. Szélsőséges esetben így az oszcilláció is megszűnhet. A korrekt elválasztás (oszcillátor és terhelés) érdekében két lehetőségünk adódik.

1. Nagyimpedanciás, kapacitív csatolás: biztosítjuk, hogy a kimeneti terhelés kapacitása kicsi, míg az ohmos ellenállása a lehető legnagyobb legyen, hogy kevésbé terhelje a kimenetet (34. ábra). Ezt megvalósíthatjuk például egy nagy bemeneti impedanciával rendelkező elválasztó erősítőfokozattal.
2. Induktív (transzformátoros) kicsatolás: a rezgőköri induktivitást, mint transzformátor alakítjuk ki. A menetszámátvétellel impedancia- és feszültségtranszformációra van lehetőségünk. Nagy áttétel választva (nagyobb primer, kisebb szekunder menetszám) kisebb lesz ugyan a kimeneti jel, de vele együtt a kimeneti impedancia is, így kisebb impedanciájú terhelések illesztésére lesz lehetőségünk (35. ábra). A csatolás szorossága (laza-, szoros-, optimális) a sávzélességet is meghatározza.



34. ábra nagyimpedanciás kapacitív kicsatolás (földelt source-ű hárompont-kapcsolású oszcillátor)



35. ábra kisimpedanciás induktív (transzformátoros) kicsatolás (földelt source-ű hárompont-kapcsolású oszcillátor)

● *A hárompont-kapcsolású oszcillátorok amplitúdó-határolása, stabilitása*

LC-oszcillátorokban ritkán alkalmaznak erősítőelemként műveleti erősítőt, sokkal inkább térvezérlésű, valamint bipoláris tranzisztorokat. Így van ez a hárompont-kapcsolású oszcillátorokban is. Maga az erősítő – mint ahogy láttuk is – egy erősítőelemet tartalmaz, így az amplitúdóhatárolás rendszerint automatikusan létrejön, az erősítő telítés jellegű transzfer karakterisztikája következtében, tehát a határolás belső, mely általában elegendő amplitúdóstabilitást is eredményez. Az amplitúdó stabilitása nagymértékben függ a terheléstől, valamint az alkalmazott alaperősítőtől is, ahogy az az előzőekben láthattuk. Amennyiben műveleti erősítőt, vagy többfokozatú erősítőt alkalmazunk, indokoltá válik a külső határolás, külön áramköri elemekkel.

● *A hárompont-kapcsolású oszcillátorok alkalmazási példája*

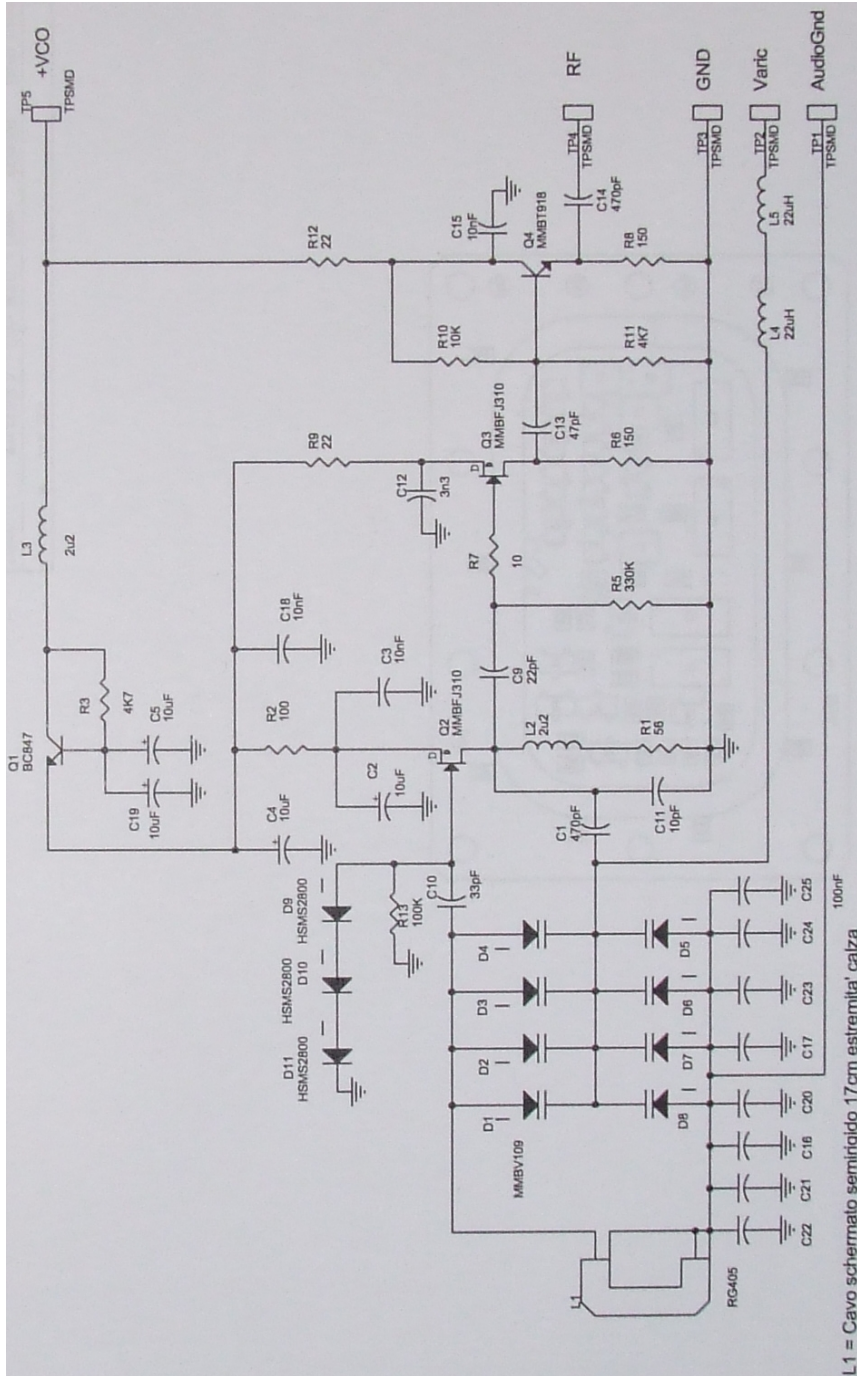
Mint azt előzőekben írtuk, a hárompont kapcsolású oszcillátorokat akár a hangfrekvenciás tartománytól, több 100MHz-es frekvenciatartományig alkalmazhatjuk. Alacsonyfrekvenciás applikációnak a tekercs fizikai méretei, valamint a kapacitásértékek nagysága szab gátat, hiszen a hangolhatóság nehézkesen megoldható. Ellenpéldát is célszerű megemlítenünk: kiválóan üzemelnek eme oszcillátorok a 100MHz-es frekvenciatartományban. Jó eredményt érünk el a műsorszóró URH adóberendezések alaposzcillátoraként való alkalmazással. Ezek a berendezések 88 és 108 MHz rezgéseket állítanak elő. A korszerű berendezések kapacitásdiódás hangolásúak, vagyis egyenfeszültségvezérelt oszcillátorok (Voltage Controlled Oscillator, VCO). Ezzel a kialakítással a következőket tudjuk megvalósítani:

- az üzemi (műsorszórási) frekvencia beállítása, 88 és 108 MHz között;
- [fáziszárt hurok](#) (Phase-Locked Loop) és referenciaoszcillátor alkalmazása mellett a frekvencia stabilizálása;
- a vivőfrekvencia modulációját ([frekvencia-moduláció](#))

A 36. ábrán eme feladatokat megvalósító adóberendezés fotóját, a 37. ábrán pedig Colpitts alaposzcillátorának kapcsolási rajzát tekinthetjük meg. Figyeljük meg a kapacitásdiódás hangolást, a kicsatolási módot, valamint azt, hogy az oszcillátor leválasztását nagyimpedanciás (FET-es, Q3, Q4) erősítőfokozatokkal biztosítják!



36. ábra az olasz R.V.R. cég URH-FM, műsorszóró berendezésének előlapi fotója



37. ábra korszerű rádióadó-berendezés alaposzcillátora