



# Kokelaskulma

Seppo Syväniemi, OH3PF  
Vironmäenkatu 8 H 95  
33310 Tampere 31  
puh. 931-430 673

Tapani Nisula, OH5BM  
Peltäjäkonkatu 10 A  
59100 Parikkala  
puh. 957605-776

## Hyvä tietää kiteistä

Kide on kokelaalle tärkeä työkalu. Siispä olisi hyvä tuntea sen toimintaperiaatteet ja yleisimmät käyttösovellutukset. Mutta eipä taida tältäkaan alalta löytyä sopivaa suomenkielistä kirjallisuutta, mistä asioita voisi opiskella. Paras löytämäni amatööritasoinen juttu kiteistä on OH2AZT:n RA:ssa 6/1966 julkaisema artikkeli "Käytännöllistä kiteistä". Lukijakunnan toivomuksesta yritän myös tässä omalta osaltani antaa hiukan perustietoja kiteistä ja niiden käytöstä.

### Kiteen toimintaperiaate ja vastinkytkentä

Oskillaattoreissa ja kidesuotimisessa käytetty kide on täysin mekaaninen osa, kvartsista leikattu ja hiottu ohut levy palanen. Kiteen koko, paksuus ja tapa millä se leikataan isommasta kvartsikappaleesta, vaikuttavat sen ominaisuuksiin sähköisissä kytkennöissä. Erikoista on se, että kun kiteeseen kohdistetaan sähkömagneettinen värähtely, se alkaa itse mekaanisesti värähdellä. Tasavirtaa kide ei läpäise. Kiteen värähtelytaajuus on hyvin stabiili, mistä syystä kidettä käytetään nykyaikain amatöörilaitteissa kaikissa oskillaattoreissa. Kun kide on saatettu värähtelevään tilaan, sille voidaan piirtää sähköinen vastinkytkentä. (Kuva 1) Vastinkytkentä pitää paikkansa vain silloin kun kide toimii resonanssitaajuudellaan ja oikein kuormitettuna.

Kidelevy edustavat kytkennässä yhtenäisellä viivalla piirretyt R, L ja C, ts. kysymyksessä on sarja-

resonanssiipiiri. Resonanssitaajuuden määräävät erittäin suuri L (jopa useita henrejä) ja hyvin pieni C (pikofaradin murto-osia). Resonanssitaajuuden ulkopuolella reaktiivisten elementtien osuus on näin ollen hyvin suuri. Resonanssitaajuudella L ja C kumoavat toisensa, joten jäljelle jää vain R, joka on suuruudeltaan muutamien kilo-ohmin luokkaa. Kiteiden Q-arvot ovat korkeat, n. 20.000 — 1.000.000.

Edellä esitetty vastinkytkentä kuvaa kiteen sarjaresonanssia. Kiteisiin liittyy kuitenkin aina myös kuvaan 1 katkoviivoin piirretty kapasitanssi  $C_r$ , joka on suuruudeltaan muutamia pikofaradeja. Se muodostuu kiteenriipustimesta (metallilevyistä, joiden väliin kvartsikide puristetaan, ja joiden kautta sähkömagneettinen värähtely kiteeseen johdetaan). Sähköisesti  $C_r$  kytketty sarjaan C:n kanssa pienentäen siis kokonaiskapasitanssia. Seurauksena on resonanssitaajuuden nousu. Nyt puhutaan rinnakkaisresonanssitaajuudesta tai antiresonanssitaajuudesta. Kiteellä on siis 2 eri resonanssitaajuutta, joiden suhdetta toisiinsa selvittää kuva 2. Sarja- ja rinnakkaisresonanssitaajuuksien ero eri kiteillä riippuu taajuudesta sekä kiteiden leikkaustavasta. Käytännössä se voi vaihdella sadoista hertzeistä muutamiin kilohertzeihin. Resonanssitaajuuksien erolla on tärkeä merkitys mm. kidesuotimia rakennettaessa. Periaatteena on valita kidepari, jonka alempitaajuinen kiteen rinnakkaisresonanssitaajuus on sama kuin ylempitaajuinen kiteen sarjaresonanssitaajuus. Suotimen kaistaleveydeksi muodostuu tällöin 2 x resonanssitaajuuksien ero.

Kuvan 1 piirroksessa esiintyy edelleen kapasitanssi  $C_k$ . Tämä syntyy kytkentään liittyvistä hajakapasitansseista (johdotus ym.)  $C_k$ :n osuus on pari pF. Koska sen

tarkkaa suuruutta on vaikea arvioida, lisätään kytkentään  $C_k$ :n rinnalle yleensä vielä tunnettu kiinteä kondensaattori jolla  $C_k$ :n vaikutus saadaan eliminoitua. Kiteiden valmistajat tekevät rinnakkaisresonanssikiteet juuri tämän vuoksi tietyille rinnakkaiskapasitansseille, joista yleisimmät ovat 20, 30 ja 32 pF. Kiteelle määritelty taajuus pitää siis paikkansa ainoastaan oikean suuruista rinnakkaiskapasitanssia käytettäessä.

### Kiteiden tarkkuus

Monella on vielä käsitys, että kun tilataan kide määrätyle taajuudelle, se pitää paikkansa kytkennässä kuin kytkennässä. Näin ei suinkaan ole asianlaita, vaan kiteen tarkka taajuus riippuu hyvinkin monista eri tekijöistä. Edellä tuli jo mainittua oikean rinnakkaiskapasitanssin valinta. Käytetty kapasitanssi on ehdottomasti ilmoitettava kidetilauksen yhteydessä, jos kysymyksessä on rinnakkaisresonanssitaajuudella toimiva kide.

Kiteitä valmistetaan monilla eri toleransseilla, ja hinta riippuu tietenkin kiteen tarkkuudesta. Laihalompsainen amatööri valitsee mielellään halvimman mahdollisen vaihtoehdon, ja saa tyytyä  $\pm 0,005\%$ :n tarkkuuteen ( $-40^\circ\text{C}$  —  $+90^\circ\text{C}$ ). Tämä vastaa 80 m:n alueella pahimmassa tapauksessa n. 175 Hz:n poikkeamaa nimellistaajuudesta. Jos kysymyksessä on esim. SSB laitteen kantoaaltokivi, on virhe ehdottomasti liian suuri. Kokelaskiteenä mainittu toleranssi sensijaan riittää aivan hyvin. Suurempaa tarkkuutta vaadittaessa on ostajalla valittavissa  $\pm 0,0025\%$ :n ja  $\pm 0,001\%$ :n toleranssit. Hinnat ovat n. 20 — 25 % korkeammat kuin 0,005 %:n tapauksessa.

Huomioitava on myös lämpötilan vaikutus kiteen taajuuteen.

Mitä lähempänä normaalilämpötilaa (20°C) työskentelet, sitä tarkemmin kiteen taajuus pitää paikkansa. Amatöörikäytössä yleisen AT leikatun kiteen lämpötilariippuvuus on tyypillisesti sellainen, että 40°C lämpötilamuutos aiheuttaa n. 0,003 %:n poikkeaman kiteen nimellistaajuuteen. Tämä merkitsee sitä, että jos laitekotelossa vallitsee 60°C:n lämpötila, 10 MHz:n kiteen taajuus on 300 Hz matalampi kuin 20°C:n lämpötilassa. 20°C:n pakkasessa taajuus sensijaan on 300 Hz korkeampi kuin normaalilämpötilassa. Tarkkuuslaitteissa kide sijoitetaankin uuniin, joka pitää lämpötilan koko ajan vakiona.

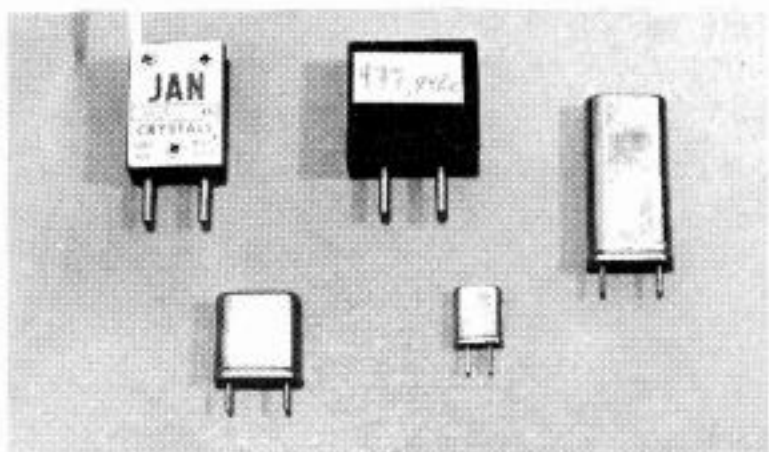
Kideoskillaattori kytkentöihin liittyvät virityspiirit vaikuttavat myös värähtelytaajuuteen; niillä voidaan tarkoituksellisesti vetää kidettä hiukan perässä. Tehdaskoisisa amatöörilaitteissa kideoskillaattorien yhteydessä on lähestulkoon aina pieni trimmeri, jolla taajuus on trimmattavissa täsmälleen oikealle kohdalle.

## Kidetyypit

Monet vanhemman polven amatöörit muistavat varmaan entisajan lähes nyrkinkokoiset bakelittiset kidepaketit, joista kidelevyn voi poistaa ja hioa uudelleen, ellei se sattunut olemaan sopivalla taajuudella. Suomessakin oli 30 — 40 luvulla muutamia old timereita, jotka olivat todellisia spesialisteja kiteenhionnan alalla.

Nykyajan kiteistä kokelaslähetimiin sopivat FT-243 tyyppiset kiteet ovat vielä samantapaisia. Nämäkin voidaan "purkaa", sillä kide on jousen avulla puristettu kahden irrallisen metallilevyn väliin. Kiteen taajuutta voidaan hieman siirtää hankaamalla pinnalle varovasti esim. lyijykynän grafiittia. Muutamien kide-eksperttien harrastamaa voimakkaampaa käsittelyä, kuten carborundum jauheella hiomista, tai syövyttämistä en missään tapauksessa suosittele, sillä kide vaurioituu helposti tällaisessa käsittelyssä.

FT-241 kiteet toimivat etupäässä alueella 300 — 1500 kHz ja ne on tarkoitettu lähinnä kidesuotimiin, mutta värähtelevät toki oskillaattoreinakin. Mekaaninen rakenne on paljon hennompi kuin



Tavallisimmat amatöörikäytössä esiintyvät kidetyypit. Ylärivissä vasemmalta lukien FT-243, FT-241, HC13U. Alarivissä HC6U ja HC25U.

FT-243 kiteissä. Kidelevyä peittää kummallakin puolella ohut metallikalvo, johon johtimet on hitsattu kiinni.

Modernit kiteet ovat edellisiä huomattavasti pienempikokoisia, hermeettisesti suljettuja metallikuoria paketteja. Yleisimmät tyypit ovat HC6/U, HC13/U, HC18/U ja HC25/U, joiden mekaaniset mitat selvinnevät oikeasta kuvasta.

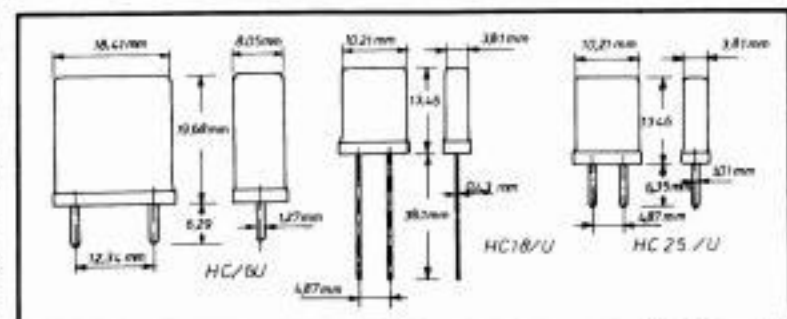
## Peruskytkenät

Kiteiden tyypillisimmät käyttöalueet ovat oskillaattorit ja kidesuotimet. Käsitellen tässä vain oskillaattoreita, koska suotimet ostetaan yleensä valmiina, ja sitäpaitsi niiden onnistunut rakentaminen vaatii erikoismittalaitteita.

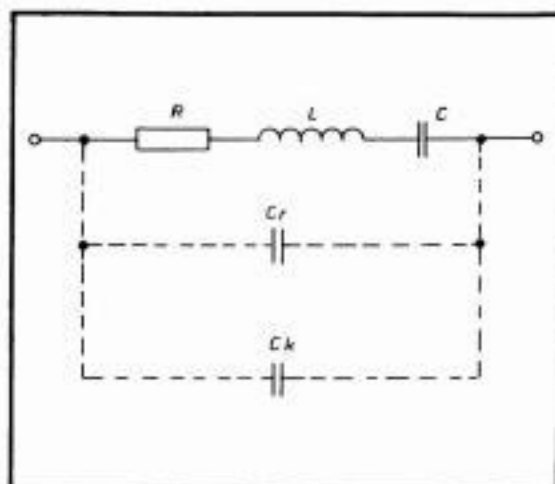
Kideoskillaattorit voidaan jakaa useaan eri ryhmään, esim. 1) rinnakkaisresonanssi- 2) sarjaresonanssi- 3) perusaalto-, 4) yliaalto-oskillaattorit. Kuvissa 3a ja 3b on esitetty 2 tavallista, kiteen perustaajuudella toimivaa rinnakkaisresonanssioskillaattoria. 3b

kytkentää saattaisi hätäisesti tarkastellen luulla sarjaresonanssityypiseksi, mutta jos kiteen tilalle piirretään sen vastinkytkentä, huomataan, että kondensaattorit C1, C2 ja C3 yhdessä muodostavat kiteen rinnakkaiskapasitanssin, jonka suuruutta voidaan C2:n avulla säätää.

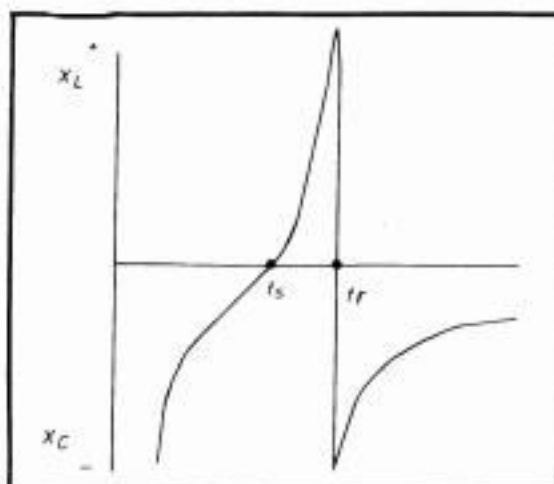
Kiteen perustaajuudella toimiva sarjaresonanssikytkentä ei ole kovin yleinen. Tämäntyyppisiä kytkentöjä näkee pääasiassa matalataajuisissa (alle 200 kHz) oskillaattoreissa. Toimintaperiaate on yleensä sellainen, että varsinaisen värähtelypiiri muodostetaan LC tai RC kytkennällä, ja kide sijoitetaan oskillaattorin takaisin-kytkentä ketjuun. Tällöin värähtely pääsee tapahtumaan vain kiteen sarjaresonanssitaajuudella. Oskillaattori värähtelee myös, jos kiteen tilalle sijoitetaan kondensaattori. Värähtelytaajuuden määrää tällöin kuitenkin resonanssi- ja taajuuspiirin taajuus. Tässä kytkennässä kide tavallaan siis lukitsee piirin värähtelyn halutulle taajuudelle.



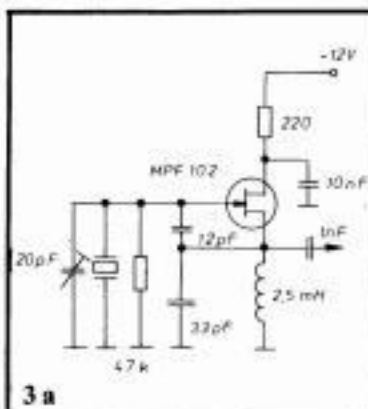
HC-tyyppisten kiteiden mittoja. HC13U vastaa mitoiltaan muuten HC6U:ta, mutta korkeus on 39 mm.



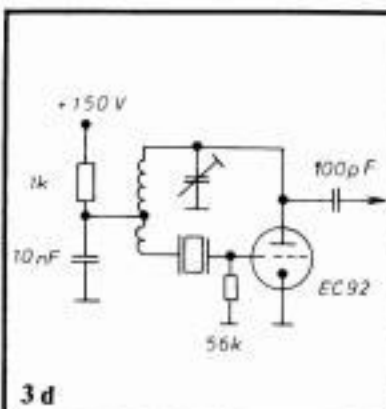
Kuva 1. Kiteen sähköinen vastinkytkentä



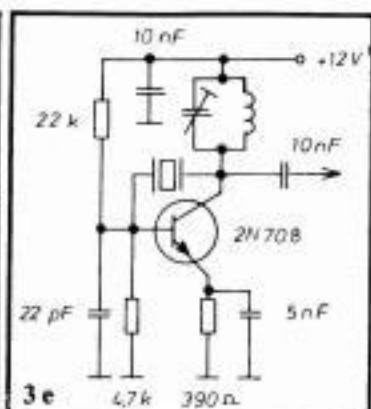
Kuva 2. Kiteellä on 2 resonanssitaajuutta, sarjaresonanssitaajuus  $f_s$  ja rinnakkaisresonanssitaajuus  $f_r$ .



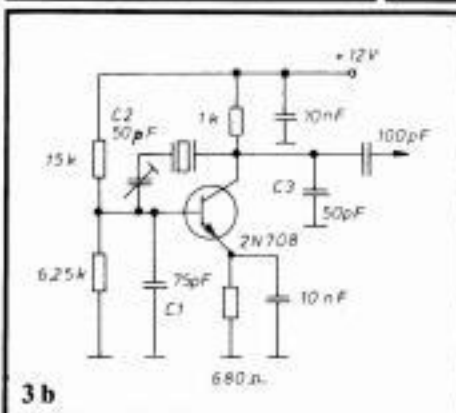
3 a



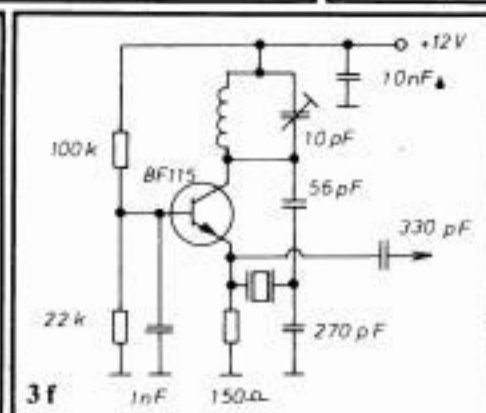
3 d



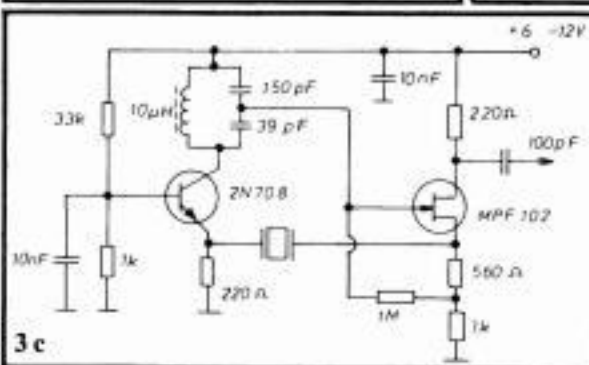
3 e



3 b



3 f



3 c

Kuva 3. Erilaisia kideoskillaattorikytkentöjä. a ja b: kiteen perustaajuudella toimiva rinnakkaisresonanssi oskillaattori. c: perustaajuudella toimiva sarjaresonanssioskillaattori (kuvan komponenttiarvot sopivat 10 MHz:n taajuuksille). d, e ja f: sarjaresonanssityyppisiä ylläalto-oskillaattoreita 20 – 60 MHz:n alueelle. LC-piirit viritteään värähtelytaajuukselle.

Perustaajuuden käyttö amateerilaitteiden kideoskillaattoreissa rajoittuu alle 20 MHz:n taajuuksille. Rajan asettaa kiteen mekaaninen rakenne. Korkeimmilla taajuuksilla kiteestä tulisi niin ohut, että rikkoutumisvaara olisi suuri. Tämän vuoksi on päädytty käyttämään kiteitä, jotka värähtelevät perustaajuuden 3:lla, 5:llä tai 7:llä harmoonisella. Yliaalto-oskillaattorit ovat yleensä sarjaresonanssityyppisiä. Esimerkkejä yliaalto-oskillaattoreista on kuvissa 3 d — 3 f.

Yliaalto-oskillaattori saadaan värähtelemään myös perustaajuudella sijoittamalla kite vain sopivaan kytkentään. Värähtelytaajuus ei kuitenkaan ole yliaaltokytkennästä laskemalla jaettu taajuus, vaan kite värähtelee jossain rinnakkaisresonanssi- ja sarjaresonanssitaajuuksien välillä. Yleensä ei ole suositeltavaa käyttää kidettä sille tarkoitettua toimintamuodosta poikkeavalla tavalla.

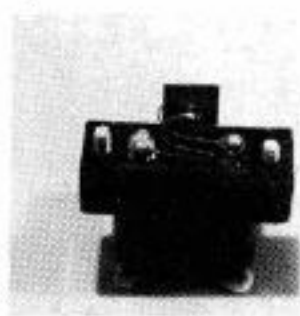
#### Kiteiden käsittely

Nykyajan miniatyyrikiteet ovat melko hentoja niin mekaanisesti kuin sähköisestikin, joten on syytä käsitellä niitä erittäin varovasti. Kidevirta ei saa nousta niin suureksi, että ylitetään HC6/U kiteiden 10 mW:n ja HC25/U ki-

teiden 5 mW:n suurin sallittu tehosarja. (Yliaaltokiteillä 2 mW) Aikaisemmin on amatöörirehdisä julkaistu ns. teho-oskillaattoreita, joissa kite värähtelee peräti 50 watin tehoisessa putkikytkennässä. Tämä onnistui vielä muutama vuosikymmen sitten rakennetuilla kiteillä kidevirtaa huolellisesti tarkkaillen, mutta ei takuulla enää nykyajan komponentein. Varo siis työntämästä modernia 10 mW:n kidettä mihin tahansa kytkentään. Muutaman milliampeerin virralla toimiva transistoriaste on näiden oikea toimintapaikka.

#### Kiteiden säätömahdollisuudet

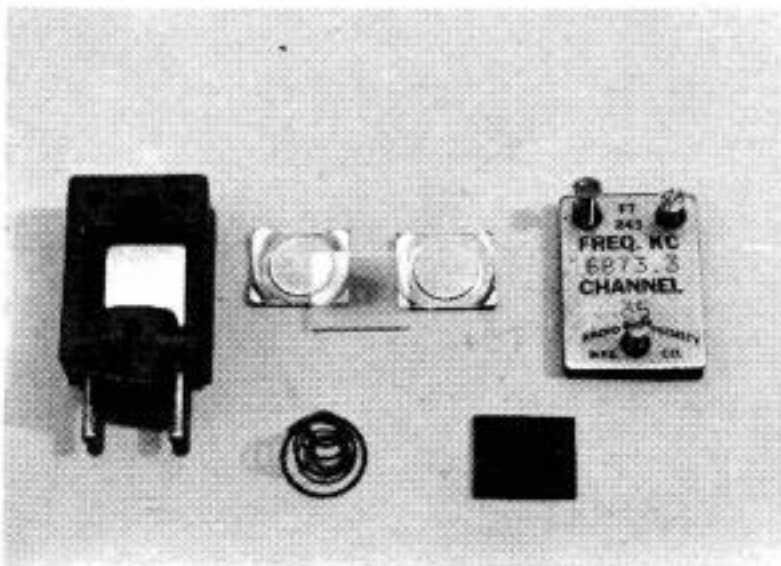
Edellä on jo useaan otteeseen tullut todettua, että kiteiden värähtelytaajuus riippuu suuresti myös kytkentään liittyvistä muista komponenteista. Kiteen rinnakkaisresonanssitaajuutta voidaan suhteellisen helposti alentaa rinnakkaiskapasitanssia lisäämällä. On kuitenkin olemassa tietty raja, jota ei voi ylittää, sillä silloin kite lakkaa värähtelemästä. (Rinnakkaiskapasitanssin reaktanssi muodostuu niin pieneksi, että suurtaajuusvirta kulkee pelkästään tämän kautta). Säädettävyyden rajana pidetään 500 miljoonasosaa kiteen taajuudesta ( $f \times 5$



FT-241 kite avattuna.

$\times 10^{-4}$ ). Tämä on 3,5 MHz:llä 1,75 kHz ja 8 MHz:llä 4 kHz.

Vastoin yleistä luuloa voidaan kiteen taajuutta myös nostaa ulkoisin komponentein. Tätä tapahtuu kompensoimalla osa rinnakkaiskapasitanssia vastakkaismerkkisellä reaktanssilla, ts. sijoittamalla kiteen rinnalle sopiva kela. Jotta kytkennästä olisi käytännön hyötyä, pitäisi induktanssin kuitenkin olla säädettävissä suhteellisen laajalla alueella. Sama vaikutus saadaan aikaan rakentamalla kiteen rinnalle rinnakkaisresonanssipiiri, joka toimii hieman kidettä korkeammalla taajuudella, ja jota voidaan säätää tavallisella säätökondensaattorilla. Nyt onkin kysymyksessä jo ns. VXO kytkentä (variable crystal oscillator). Edellä kerrottua yleisempi on sellainen VXO kytkentä, jossa taajuutta säätävä virityspiiri on sarjassa kiteen kanssa. Taajuuden säätö tapahtuu nyt kiteen taajuudesta alaspäin (sarjaresonanssin säätö). VXO:n käyttö on suosittu mm. sellaisissa kahden metrin lähettimissä, jotka toimivat 8 — 12 MHz:n kiteillä. Yhdellä kiteellä saadaan peitettyä tällöin jopa 200 kHz:n kaista 2 m:n alueella. VXO kytkennät ovat kuitenkin sen verran konstikkaita, ettei kokelaan ole syytä lähteä niillä umpimähkään leikittelemään. Niitä käytettäessä on nimittäin aina olemassa vaara, että kiteeseen liittyvä virityspiiri lähtee värähtelemään vilpisti (ilman kidettä), taajuus muuttuu epävakavaksi, ja saattaa hypätä peräti sallitun kokelauskaistan ulkopuolelle. Senpäteuoksi en esitäkään tarkempia yksityiskohtia VXO:n toiminnasta.



FT-243 kite purettuna. Kide sitä ympäröivine metallilevykallineen kuvan keskellä.