

# Grammofoni käpast ja taasesitushäiretest

ED. SARAPU

**Heliplaat on üldkasutatavatest helisalvestusmeediumidest levinuim ja vaieldamatult ka parimat kvaliteeti pakkuv, samuti suhteliselt odav. Plaadi ja grammofoni puhul on kõik pealtnäha lihtne, ometi peituvad selle näilise lihtsuse taga paljud keerukad ning omavahel vastakadki füüsilised ja mehaanilised probleemid. Mõningaid neist püüame helisalvestushuvilistele põgusalt tutvustada alljärgnevas artiklis.**

Oluliseks konstruktiivseks sõlmeks igas praegu kasutatavas grammofonis on käpp — klassikalises teostuses on see ümber rõht- ja püsttelje teatavas ulatuses pöörduda võiv, võimalikult jäik, kuid väikese massiga kangike. See on radiaalkäpp. Ühesõnaga lihtne detail, mille ainus «nähtav» ülesanne on hoida helipead plaadi kohal sobivas asendis, anda talle võimalus fonogrammi taasesitamise ajal koos plaadi spiraalvaoga serva poolt tsentri suunas nihkuda ning sellele lisaks võimaldada ka teatavat vertikaalliikumist astla asetamisel plaadile ja plaadi võimaliku ebatasasuse järgimisel.

Niisiis saab helipea astel tänu radiaalkäpale plaadi pinnal edasi nihkuda mööda kaarjat joont vastavalt sellele, kuidas salvestist kandva spiraalvaoga taasesitusraadius (astla kaugus plaadi tsentrist mingil hetkel) järjest kahaneb.

Grammofoni käpale esitatakse ranged mehaanilised nõuded, mis on üksteisele küllaltki vastukäivad. Nende täitmisest, sageli aga soodsaima kompromissi leidmisest oleneb käpa ja ühtaegu terve grammofonimehhanismi kasutamistväärtus eelkõige mehaanilise päritoluga taasesitusemoonutuste ilmumise ning plaadi helivao, samuti astla kulumise seisukohalt.

Põhinõue on, et käpp toimiks passiivselt ning ei põhjustaks muutusi pöörleva plaadi vao lainestruktuurilt astlale antud võnkumises. Et astel peab võrdselt hästi kontakteeruma vao mõlema nõlvaga ja nendel liugudes võimalikult täpselt järgima salvestatud heliinformatsiooni kandvat keerukat looklemist, peab käpp pöörduma nii rõht- kui ka püsttelje suhtes äärmiselt hõõrdevabalt. Vähegi suurema hõõrdetakistuse olemasolul püstpöördelagrites tekib oht, et pisutki kõverdunud plaadi puhul astel hüppab vaost — seda soodustab ka käpa ja helipea ülemäärane mass. Takistunud rõhtpöördumine ajendab astelt vao naaberkeerusesse tagasi hüppama ja sellest tekib iseloomulik kuulatava programmi jupiti kordumine. Kuid kõigest sellest lähemalt allpool.

Heliplaat, on valmistamistolerantsidest tavaliselt ikka pisut laineline, mitte ideaalne tasand. Ka helivagu võib veidi ekstsentriline olla. Sellise plaadi kuulamisel viskleb käpp halvimal juhul korraga kahes tasandis ja toimima hakkavad ülimalt ebasoovitavad inertsi jõud.

Käpa ja helipea kogumass (õigem oleks öelda resulteeriv kogumass, mis toimib astla otsal) peab ühelt poolt olema väike, et inertsi jõud jääksid ka

möödukalt kõverdunud või ekstsentrilise plaadi kasutamisel lubatavatesse piiridesse. (Heliplaatide tootmist reguleerivad kodumaised standardid lubavad pinna ebatasasust serval kuni 2 millimeetrit.) Teiselt poolt peab nimetatud mass olema küllaldane, et astel koos helipea võnkesüsteemiga saaks pea suhtes võnkuda täpselt nii, nagu «näeb ette» vao lainelikus. Kui mass on liiga väike, siis läheb pea kui tervik lihtsalt kaasa astla väga madala sagedusega võnkumisega, mille tulemusena signaal väljundis kahaneb. Kuid liiga suure resulteeriva kogumassi puhul hakkab pea võnkesüsteem võimalikust visklemisest koormuma — käpa ülesliikumisel astla surve suureneb, samal ajal kui allaliikumisel astla kontakt vaoga halveneb. Ekstsentrilisis halvendab omakorda astla võrdset kontakti vao nõlvadega. Mõlemal juhul on tagajärjeks perioodilised moonutused, samuti plaadi ebaühtlane ja astla kiirem kulumine, kõnelemata saadava heli detoneerimisest (kõrguse, s. o. helistiku perioodilisest üles-alla «ujumisest»).

Lisaks peab võnkesüsteemi elastsusest koos pea ja käpa massiga kujunev mehaaniline resonants asetuma väga madalasse sageduspiirkonda. Plaadi pinna ebatasasused ergutavad võnkumist 0,5...8 hertsi piirkonnas (maksimumiga enamasti 3...5 Hz ümbruses) ja see on tegelikult iga plaadi puhul olemas. Nii madalaid sagedusi kõrv ei kuule. Sellegipoolest tekib nendest parasiitvõnkumistest, kui amplituud küllalt suureks osutub ja astla normaalset võnkumist häirima hakkab, iseloomulik, ka kõrgemate helisageduste piirkonnas hästi kuuldav moonutus, sest helipea võnkesüsteemi talitus on suureamplituudilisest infrahelivõnkumisest häiritud. Kui aga see parasiitne alahelisagedus signaal läbi võimendi pääseb (kõrgekvaliteedilistes seadmetes on see tõenäoline), tekivad bassivaljuhääldi-

tes koonuse ülemäärased võnkeamplituudid, mis võivad selle eriti juhul, kui võimendust madalaimatel sagedustel on kõlavärvinguregulaatorist oluliselt suurendatud, kiiresti rikkuda.

Tulus on võimendi varustada madalaimate sageduste lõikefiltriga (kui lõikesagedus valida 30 Hz lähikonda, ei kahjustu edastatav kõlapilt; üksikud erandid nagu orelimuusika vms. välja arvatud — ja sedagi vaid siis, kui kõlarid on tõesti väga hea kvaliteediga).

Käpa resonants ei tohiks olla alla 8 hertsi, et plaadi ebatasasustest mitte intensiivselt võnkuma hakata, samuti veel mitte nii kõrge, et ta satuks kuuldepiirkonda. Nii saab selleks eraldada sagedusriba umbes 7...16 Hz. Resonantsisagedus on seda kõrgem, mida väiksemad on pea ja käpa resulteeriv kogumass ning pea võnkesüsteemi elastsus.

Visklemisvõimalust arvestades tuleb taotleda, et nimetatud mass oleks väike. Kuid siis peab ka võnkesüsteem olema väga elastne, et resonantsisagedus ebasobivalt kõrgele ei satuks. Nigelamate helipeade puhul, mille võnkesüsteem on jäigem, asetubki käpa resonants liiga kõrgetele sagedustele, isegi sellistele, mis juba mahuvad plaadile salvestatud heli spektrisse. Sel juhul ergutub terve käpp salvestise tugevatest bassihelidest mehaaniliselt võnkuma.

Halvemal juhul võib astel hakata vaost vaku viskuma. Nii juhtubki, et mõnel kesisema kvaliteediga gramfonil (eeskätt piesoelektrilise peaga tüüpidel, mille võnkesüsteemi elastsus on väike) osutub üldse võimatuks intensiivsete bassidega orelimuusikat kuulata. Seevastu levimuusika võimast *pizzicato*-bassi taluvad need võrratult paremini, kuna vastav heli on plaadi vaos suure amplituudiga loogetena ainult hetke vältel, sumbub kiiresti ja ei jõua käppa veel oluliselt võnkuma ergutada.

Käpa resonantsisagedust saab alandada ta massi suurendamisega, aga siis läheb inerts liiga suureks ja plaadi ebatasasusest johtuvad häired hakkavad veelgi rohkem esile tulema. Kõigele lisaks peab käpp olema küllalt jäik, et kõrgematel sagedustel ei tekiks analoogilisi resonantse tema enese elastsuse ja massi arvel. Liiga elastne (ja ka liiga pikk) käpp hakkab kergemini andma mitmesuguseid resonantsvõnkumisi küll paindest, küll

väandest, mis siis oluliselt häirivad taasesitust — käpa ja koos sellega ka pea iseeneslik väärvõnkumine annab väljundis vastava parasiitsignaali, mida koos kasulikuga võimendatakse.

Küllalt väikese massi nõuet eiramata saab piisava jäikuse ainult torukonstruksiooniga — see on muu ristlõikeprofiiliga käppadest sama massi juures kõige jäigem. Paremates seadmetes lisatakse kergmetalltorust käpale veel võnkumist summutavaid erikonstruktsioone (tasakaalustusviht asetatakse käpa tagumisele otsale mitte jäigalt, vaid täpselt dimensioneeritud elastsusega vahemuhvi kaudu jms.). Peab ütlema, et käpale S-kuju andmine mõnedes gramfonides taotleb ainult disaini huve, mitte aga tõelisi kvaliteedieesmärke. Sirge konstruksioon, mille otsas helipea on teatava nurga all, on resonantsikindluselt siiski kõige stabiilsem.

Seniõeldule vastakas ja praktikas teostamatu nõue on veel see, et käpp peaks ideaaljuhul olema lõpmata pikk. Helivagu lõigatakse plaadi pinnasse servast tsentri poole piki raadiust nihutatava salvestuspeaga, mille lõiketera ots võngub vastavalt helile ainult vao risttasandil.<sup>1</sup> Siit tulenebki vajadus hoida taasesituspead vao suhtes alati samas, s.o. ristiendis. Lõpliku pikkusega radiaalkäpp seda geometriast tulenevatel põhjustel muidugi tagada ei saa.

Kui taasesituspea astla otsa võimaliku võnkumise tasand erineb salvestamisel esinenust, s.t. kui plaadi raadius jääb sellega kiiva (tekib horisontaalne nurgaviga), kujuneb helis iseloomulik moonutus — ilmuvad kõlapilti võrdlemisi ebasoodsalt mõjutavad paarisarvulise järjenumbriga harmoonilised osised.

Horisontaalsest nurgaveast tulenevat moonutust saab tavalistel radiaalkäppadel nullistada ainult plaadi raadiuse kahes punktis ja sedagi ainult siis, kui asetada pea käpa suhtes pisut nurgiti ja hoolitseda selle eest, et astla otsa kaugus käpa pöördepunk-

tist oleks veidi suurem kui plaadi tsentrist. Pikemad käpad, mis plaadil viipavad laugjama kaare, annavad muidugi napima nurgavea ja moonutuse.

Mõistagi ei luba reaalse grammofooni mõõtmed kasutada kuigi pikka käppa. Nii tulebki ristseisutingimuse (nurgavea puudumise) järgimisel arvestada kolme tegurit: käpa pikkust (astla otsa kaugust pöördumispunkti)  $l$  ja täiendavalt selle kaugust plaadi tsentrist  $L$  ning pea asetamist käpale teatava nurga  $\alpha$  all.

Hästi dimensioneeritud radiaalkäpad annavad võrdlemisi napi nurgavea ka siis, kui käpp pole kuigi pikk. Teatavatel raadiustel kasvab veanurk 1...2 kraadini, jäädes niisiis üldiselt vastuvõetavasse piiridesse. Firma «Harman-Kardon» kasutab oma uues grammofonis T60 järgmise geometriaga käppa:  $l = 226$  mm,  $L = 246$  mm,  $\alpha = 25^\circ 30'$ . Veaurk osutub nulliks kaugustel 66 ja 120 mm plaadi tsentrist ning võib üldse kasvada kuni 2 nurgakraadini (andmed ajakirjast «Audio», 1983, nr. 1). Uhe teise konstruksiooni puhul pakutakse märksa lühemat käppa:  $l = 175$  mm,  $L = 193$  mm ja  $\alpha = 26^\circ 40'$ . See annab nurgavea puudumise kaugustel 58 ja 115 mm plaadi tsentrist. Maksimaalne mittelineaarmoonutus nurgaveast esineb siis raadiustel 53,80 ja 144 mm (Аполлонова Л. П., Шумова Н. Д. Механическая звукозапись. М., «Энергия», 1970).

Radiaalkäpa kasutamisel lisandub veel üks küllaltki häiriv nähtus, nimelt küljõu ilmumine. Seoses sellega, et nurgavea kahandamise huvides tuleb kasutada käppa, mille pikkus astla otsast pöördepunktini on suurem selle kaugusest plaadi tsentri, tekib astla hõõrdest vastu vao nõlvasid lisajõud, mille üks komponent — küljõud — püüab astelt ja koos sellega käppa plaadi tsentri poole tõugata. Mõistagi häirib see normaalset taasesitust ja küljõud kompenseeritakse enamikul grammofonidel käppa plaadi tsentrist eemale tõukava väikese lisajõuga.

Laias laastus loetakse küljõu kompenseerimiseks vajalikuks jõuks 10% astla staatilisest survejõust. Kuid see lähendus pole kuigi paikapidav.

Küljõu korvamine kas lihtsa vedrusüsteemi, üle plokiratta riputatud või kangikestele asetatud vihi abil ei ole lausa ideaalne lahendus. Nimelt pole küljõud konstantne, see

<sup>1</sup> Täpsuse huvides märkigem, et teatavatel konstruktiivsetel põhjustel on astla võnketasand siiski pisut kallutatud — selliselt, et astla ja plaadi puutepunkti tõmmatud normaali ning võnketasandi vahe jääb  $15^\circ$  nurk. See tuleneb asjaolust, et taasesitushelipeades on konstruktiivselt hõlpsam asetada astlahoidik mitte plaadi pinnaga rööpselt, vaid eelnimetatud väikese nurga alla.

oleneb astla survest ja hõõrdest, seega konkreetse plaadi materjalist ja kulumusest, samuti — mis veelgi olulisem — astla kaugusest plaadi tsentrist.

Kompenseerimata küljõu puhul surub astel ennast rohkem vao tsentri, ülekompenseerimisel aga väliserva poolse nõlva vastu.

Pole raske mõista, et küljõu kompenseerimiseks käppa plaadi tsentrist eemale surudes väändub astlahoidik helipeas kiiva. See on ka üks põhjus, miks võnkesüsteem ei tohi olla liiga suure elastsusega: võivad tekkida täiendavad moonutused astla võnkumise pisut suuremast takistusest ühes suunas. Et küljõud muutub vastavalt astla kaugusele plaadi tsentrist, tuleks seda pidevalt muuta. Enamikul grammofonidel jääb see tegemata või toimub väga umbkaudselt, mistõttu küljõud kompenseerub ebaühtlaselt — plaadi pinna teatavas ulatuses kas ainult osaliselt või siis liigselt.

Suur tähtsus on astla staatilisel survejõul — selle täpne valimine annab minimaalse moonutuse ja säästab plaati. Et stereohelipea võnkesüsteem on ka vertikaalseks võnkumiseks elastselt kinnitatud, tekib astla staatilisest survejõust teatav võnkesüsteemi vertikaalne püsihälve. Pöörleva plaadi ebatasasusest, ekstsentrilisusest ja vao lainelisusest lisandub veel muutlik hälve nii püst- kui ka rõhtsuunas. Ebaõigelt valitud staatiline survejõud võib vääristada võnkeprotsessi «edasiantmist» vao lainelisusest astlale ja sellega omapoolseid moonutusi põhjustada. Liiga napp surve soodustab astla väljahüppamist vaost või kontakti halvenemist nõlvadega tugevate madalate helide kohtades, kus võnkeamplituud on suur, ning üleskerkimist ja loogetest «otse ülesõitmist» intensiivsete kõrgete helide kohtades. See muidugi rikub plaati, sest need nähtused tekivad igal kuulamisel samas kohas.

Ülemäärane astla surve süvistab võnkesüsteemi liigselt peasse ja pea alaserv võib plaati puutama hakata. Samuti on siis oodata vao märksa kiiremat kulumist — kahina suurenemist ja moonutuste lisandumist pärast plaadi korduvat kasutamist.

Iga helipea jaoks antakse mingi temale kohane astla staatilise survejõu vahemik. Vastupidiselt üldlevinud arvamusele võib kindlalt väita, et

soodsam on käpp reguleerida rohkem maksimaalselt lubatu lähedusse. Astla kontakteerumine vaoga on siis kindlustatud ka salvestise suure võnkekiirusega (amplituudiga, sagedusega) kohtades, loogetest «otse ülesõitmist» karta pole ja plaati säästetakse rohkemgi kui minimaalse ettenähtud staatilise survejõu kasutamisel.

Hoopis kohatu on mõnikord praktiseeritav survejõu ülinapiks reguleerimine. Plaadi säästmise asemel rikutakse seda siis hoopis rohkem kui näiteks maksimaalse survejõu kasutamisel. Õeldu kõlab paradoksaalsena, kuid on leidnud arvukates katsetes kindla tõestuse. Pealegi kaasneb liiga napi survejõuga tingimata taasesitumoonutus astla ebakindlast kontakteerumisest vao nõlvadega, nagu eespool selgitatud.

Radiaalkäpp peab põhimõtteliselt olema tasakaalustatud mõlema pöördetelje suhtes, et välisjõud, nagu raputused, löögid, vibratsioon, samuti seadme võimalikust mittehoriintaalset asendist tingitud raskusjõud häiri ma ei hakkaks. Tasakaalustamiseks on paremate grammofonide käpal kaks vihti — üks käpa tagumisel otsal ja teine pöördepunkti kõrval. Nende abil ühitatakse käpa kui terviku raskuspunkt täpselt ta pöördepunktiga. Nõutav staatiline survejõud, millega astel plaadi vagu vajutab, kujundatakse siis kalibreeritud skaalaga vedru abil. Lihtsamates konstruktsioonides piirdatakse paraku sellega, et ainult horisontaaltele suhtes ühe reguleeriva vihiga (käpa tagumises otsas) tasakaalustatud käpale antakse vihi väikese ümberasetamisega vajalik astla survejõud. Sel juhul pole käpp välise mehaaniliste mõjude suhtes päris stabiilne, sest osa tema inertsi jõududest jääb ikkagi tasakaalustamata.

Eelkirjeldatud rohketest puudustest ja raskesti teostatavatest kompromissidest vaba või peaaegu vaba on tangentkäpp. Sellega varustatud grammofonis liigutab vankrikesele asetatud ja niiviisi järk-järgult edasinihutatava tugipunktiga ülilühike käpp helipead täpselt mööda sirgjoont — plaadi raadiust. (Vastavate mehhanismide konstruktsioonipõhimõtteid oleme põgusalt tutvustanud varem — vt. «Tehnika ja Tootmine», 1982, nr. 10, lk. 36.)

Tangentkäpa puhul muutub kõigepealt olematuks nurgaveaprobleem — käpa vähimgi pöördumine rakendab

vastava anduri kaudu edasinihutamis-mehhanismi, mis käpa taas täpselt kombitava vao puutuja suunda seab. Asendiandurina kasutatakse tavaliselt kahest diferentsiaallülituses fotodioodist optilist süsteemi, mis sobiva elektronlülituse vahendusel rakendab nihutamissüsteemi elektriajama.

Väga oluline on ka see, et tangentkäpp ei vaja küljõu kompenseerimist — seda jõudu lihtsalt ei teki, sest käpp on alati piki vao puutujat. Samuti saab käpa valmistada väga lühikesena ja seega napi massiga, mis oluliselt parendab enamikku mehaanilisi parameetreid (väiksemad inertsi jõud plaadi paratamatust ebatasasusest, võimalus teha käpp üsna jäik ja niiviisi vältida enamikku resonantsiilminguid, hõlpsam staatiline tasakaalustamine jne.).

Tangentkäpp lubab pealegi plaatide kasutamist kergemini automatiseerida, näiteks varustada grammofone etteprogrammeeritava otsisüsteemiga, mille abil saab suvaliselt valida palade kuulamise järjestust. Et ei plaat ega helipea ole mängimise ajal enam n.-ö. kättesaadav, on tagatud ka plaatide ja pea maksimaalne kahjustamatus: puudub võimalus, et plaat kogemata kriimustuks.

## Liitium- orgaaniline element

R. AAS

Kantavate raadio-, heli- jm. elektronseadmete — taskuarvutite, kellade jt. — levikuga teravneb üha nende autonoomse toitmise probleem. Ammu kasutatavad, tõsi küll — suhteliselt odavad ja defitsiitseid aineid mittesisaldavad, üsna soodsate talitlusandmetega mangaan-tsinksüsteemi galvaanielemendid hakkavad tasapisi alla vanduma uuematele elektrokee-