

# Forståelse af tetrodernes skærmgitterstrøm

- efterskrift til OZ9ZI's PA-trin temahefte

Det var titlen på en artikel fra QST i juli 1961, skrevet af David D Meacham, W6EMD. Dette tillæg til rør-PA-trin skriftet er en fri oversættelse af den oprindelige amerikanske tekst.

Det oprindelige forord: Denne artikel forklarer skærmgitterstrømmens betydning i en højfrekvensforstærker (PA trin) baseret på en tetrode, der er forsynet fra en fast skærmgitterspænding. Artiklen forklarer ligeledes, hvorfor et skærmgitterstrømsinstrument er en bedre indikator for forstærkerens arbejdsbetingelser end et anodestrømsmeter. Specifikke referencer gives til afstemning af klasse AB1 lineære forstærkere.

Skærmgitterstrømmens underlige opførsel i tetroder, har sikkert undret mange radioamatører, specielt enkeltsidebånds (SSB) operatører. Nødvendigheden af en nøjere gennemgang af dette emne har affødt denne artikel. Klasse AB1 arbejds punkt er valgt til en sådan gennemgang på grund af den store udbredelse af sådanne forstærkere, der er betinget af god linearitet og dermed TVI fri drift. De data, der her opgives, gælder for jordet katode kredsløb, men gælder ligeledes for jordet gitter opstillinger, hvor arbejds punktet lægges til klasse AB1, med normale spændinger på styre- henholdsvis skærmgitter - dog forudsat, at jordet gitter karakteristik kurver anvendes til beregningerne.

## Skærmgitterkarakteristik.

Fig.1 viser et konstantstrøms-karakteristikdiagram for et typisk 4CX300A. Vi bruger udtrykket 'konstantstrøm', idet de kurverne er relateret til en konstant værdi af anode-, skærmgitter- og styregitterstrøm. Styregitterspændingen er vist i den ven-

stre lodrette akse og anodespændingen i det horisontale plan. Kurverne i diagrammet beskriver skærmgitter- og anodestrømmens øjebliksværdier for en given styregitter- og anodespænding. I det foreliggende diagram er der ikke vist kurver for styregitterstrøm, idet en sådan ikke er til stede ved lineær drift i klasse AB1. Kurverne er kun gældende ved en fast skærmgitterspænding, i dette tilfælde 350 volt.

Et nærmere blik på fig.1 vil afsløre, at konstantstrømslinierne for anodestrømmen (de fuldt optrukne linier) er næsten horisontale, hvorimod de samme kurver for skærmgitterstrømmen (de stiplede linier) er 'tiltet opad' fra venstre mod højre, samt at de er koncentreret i den venstre del af kurvediagrammet.

Dette er generelt gældende for alle tetroder og indikerer det faktum, at skærmgitterstrømsinstrumentet i virkeligheden er den mest følsomme indikator for resonans. Dette vigtige faktum vil blive belyst nærmere i det følgende.

Vi lægger en typisk arbejds linie ind i konstantstrømsdiagrammet i fig.1: Punktet O, i dette tilfælde ved -55 volt påtrykt styregitteret, er det arbejds punkt, ved hvilken røret hviler uden HF styring. Den lige linie mellem A og O repræsenterer et HF kredsløb i resonans, med en rent ohmsk belastning på resonansfrekvensen. Linien fra O til A er i virkeligheden kun den ene halvdel af arbejds linien længde. Den anden halvdel fortsætter fra O til et punkt, der ligger uden for den nedre højre kant af konstantstrømsdiagrammet, men med samme afstand til O som A. Denne del af arbejds linien er ikke vigtig, idet røret ikke 'arbejder' i den negative halvperiode. Når en 100 volt spids til spids HF styrespænding påtrykkes styregitteret, vil den første positive halvperiode

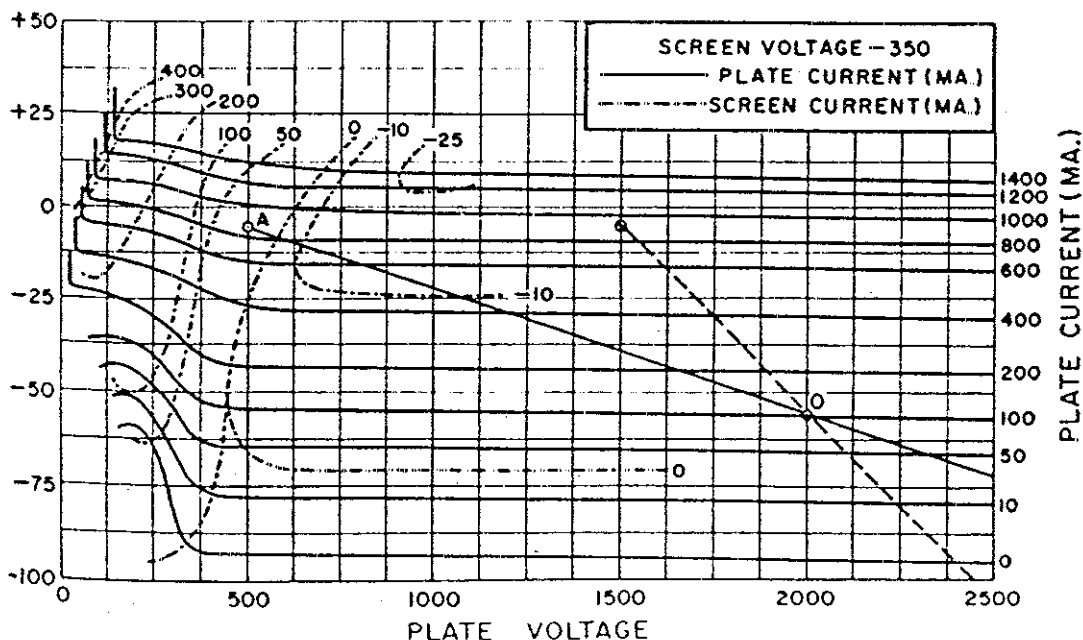


Fig. 1

blive repræsenteret ved et punkt, der bevæger sig ad arbejdslinien fra punktet O til A og tilbage til O igen. Under denne halvperiode vil styregitterspændingen, der har varieret fra -55 volt op til -5 volt og tilbage igen, forårsage et anodestrømssving fra værdien i punktet O, 100 mA, og op til værdien i punktet A, 850 mA, og tilbage til 100 mA igen. Inden for den samme tid svinger anodespændingen fra 2000 volt ned til 500 volt, og tilbage til 2000 volt igen.

Anodevekselstrømmen er sammensat af alle øjebliksværdier, der rammes af det punkt, der vandrer langs arbejdslinien; det samme gælder skærmgitterstrømmen. Som funktion af den anden 180 graders halvperiode vandrer arbejds punktet fra O ned forbi cut-off punktet (-90 volt), til en værdi på -105 volt og tilbage til O igen. Det er sådan, at den negativt gående styring bringer anodestrømmen ned til cut-off i en mindre periode.

Anodehøjfrekvensspændingen fortsætter derimod op til 3500 volt og tilbage igen, ved hjælp af anodekredsens svinghjulseffekt.

### Styring og afstemning.

Nu kan vi udpege præcis, hvilken anode- og skærmgitterstrøm, der vil flyde for et givet styregitterspændingssving. Lad os da kigge på et par spørgsmål yderligere:

Hvad sker der, hvis vi reducerer styregitterspændingssvinget til det halve? Svaret er enkelt: Arbejdsliniens længde reduceres til næsten det halve. Styregitterspændingen svinger kun til det halve af den oprindelige spids til spids værdi, men arbejds punktet O vil stadig være midtpunktet på arbejdslinien.

Hvad vil der så ske, hvis vi misjusterer anodekredsen? Misjustering af anodekredsen vil afstedkomme en ændret anodebelastningsimpedans. Hvilken indflydelse har dette på konstantstrømskurverne? Det afstedkommer en rotation af arbejdslinien omkring punktet O, hvor arbejdslinien tvinges mere i lodret position, som en funktion af, at anodens belastningsimpedans sænkes. Er belastningsimpedansen 'nul', vil dette afstedkomme en lodret arbejdslinie. Som det kan ses af dette, medfører en afstemning til resonans en forøgelse af rørets belastningsimpedans til et maksimum, der fastholdes af den valgte antennebelastningsgrad. Sandheden er, at arbejdsliniens hældning vil være mindst ved resonans.

Bemærk den vinkel, hvormed arbejdslinien skærer anodestrømskurverne. Det er en meget lille vinkel. Hvis anodekredsen afstemmes til et punkt uden for resonans, vil arbejdslinien antage en værdi, der modsvare den stiplede linie. I virkeligheden vil anodekredsen ikke længere optræde som en rent ohmsk belastning, men vil indeholde reaktive komponenter. Under sådanne betingelser vil arbejdslinien udgøre en ellipse, hvis overvejende del er repræsenteret ved den stiplede linie. Bemærk at vinklen, hvormed arbejdslinien skærer anode-

strømskurverne, ikke har ændret sig dramatisk, og at bevægelserne langs arbejdslinierne vil nå de samme anodestrømsværdier.

Det er præcis derfor, at anodestrømmen i en tetrode er en dårlig resonansindikator. Se derimod på skærmgitterstrømmen: Den udviser ingen eller negativ skærmgitterstrøm ved en afstemning, der er ude af resonans. Ved resonans er skærmgitterstrømmen for fig. 1 positiv.

Der er rør, der ikke kan trække positiv skærmgitterstrøm; for disse gælder, at et spring i skærmgitterstrøm i positiv retning indikerer resonans. På grund af arbejdsliniens rotation under afstemning ændrer dens længde sig faktisk, idet dens vertikale afgrænsning kun er sat af den konstante spids til spids værdi styregitterets HF-spænding antager, hvilket er indikeret ved to imaginære horisontale linier, en ved -5 og en ved -105 volt. Længden af arbejdslinien forøges, efterhånden som resonanspunktet nås. Når arbejdsliniens længde forøges som funktion af resonans, vandrer punktet A ind i det område, hvor der går kraftig skærmgitterstrøm, og skærmgitterstrømmen vil indikere en skarp stigning ved resonans. Det forudsætter naturligvis, at der er så meget styring til rådighed, at røret kan drives ind i 'Heavy screen current' området.

### Loading

Hvad sker der nu, hvis antennekoblingen (loadingen) ændres? Det vil omgående ændre anodens belastningsimpedans, men den vil stadig være rent ohmsk. Resultatet vil være, at arbejdslinien roterer (vælder) omkring arbejds punktet O. Når koblingsimpedansen sænkes (hårdere kobling), antager arbejdslinien en stejlere vinkel i lighed med den stiplede linie. Det er heraf let at se, at når belastningen forøges, falder skærmgitterstrømmen. Deraf kan ses, at skærmgitterstrømmen også er et udtryk for resonans.

Skærmgitterstrømmen varierer noget fra rør til rør, selv inden for samme type, men hvis hvert rør er 'loaded' til at indikere den samme skærmgitterstrøm ved resonans med det samme drive, vil forskellen i udgangseffekt være meget ringe. Desuden vil loading (belastning) og linearitet være næsten det samme.

### Instrumentvisning

Over en HF periode vil arbejds punktet bevæge sig langs arbejdslinien og antage mange forskellige skærmgitter- og anodestrømsværdier. Hvad instrumenterne viser er en middelværdi af alle de værdier, som strømmene antager ved udstyring. Den del af anodestrømmen, der udgør den grundlæggende højfrekvenskomponent, omsættes i anodekredsen til at producere et HF udgangssignal (dette gælder naturligvis ikke for multiplikatortrin, hvor det er en harmonisk af anodestrømskomponenten, der an-

vendes). Begge disse værdier vil kunne beregnes for en given arbejdslinie. Generelt kan det siges om en klasse AB1 forstærker, at instrumentvisningen er ca. en tredjedel af spidsstrømmen på toppen af arbejdslinien, og den grundlæggende del af anodestrømmen (den del, der omsættes til HF) er ca. halvdelen af spidsstrømmen.

### Opjusteringsprocedure

Modsat en meget populær opfattelse skal en lineær forstærker ikke belastes til maksimum udgangseffekt. Antennekoblingen (belastningen) skal indstilles til en forud bestemt skærmgitterstrøm, ved enkelttone- eller bærebølgeudstyring. Det ideelle er, at belastningen indstilles til mindst mulig intermodulationsforvrængning, en i praksis noget besværlig metode. Det anbefales, at radioamatører altid forsøger at efterleve de data, der er opgivet af rørfabrikanten. De typiske driftsdata er sædvanligvis opgivet for 'peak envelope operation' (udstyring med enkelttone eller bærebølge), og repræsenterer det maksimale input ved cw eller 'peak-envelope-power-input' (ikke meterudslag) ved enkelt sidebånds telefoni. Efter at have justeret drive, anodeafstemning og antennekobling til de for røret opgivne driftsdata, fjernes enkelttonen (bærebølgen), og enkelt sidebånds styre-efekten justeres således, at der på intet tidspunkt kan flyde styregitterstrøm, og således at den ovenfor foretagne indstilling aldrig overskrides, selv ikke i spidserne. Forskellen mellem spids- og middelværdi på anodestrømsinstrumentet varierer med den individuelle stemme, fra omkring 2:1 til 3:1. Det er helt normalt, at anodestrømsinstrumentet ikke indikerer mere end ca. halvdelen af den strøm, der kan aflæses som maksimum ved enkelttone udstyring.

En enkel opjusteringsprocedure består af følgende skridt:

- 1) Vær sikker på, at tetrodeforstærkeren er stabiliseret og parasitfri.
- 2) Med de anbefalede gløde-, anode- og skærmgitterspændinger tilsluttet røret, justeres styregitterspændingen, til der uden styring flyder den for klasse AB1 anbefalede anodetomgangsstrøm (bias) Den rette tomgangsstrøm har indflydelse på linearitet og anodetab.
- 3) Tilslut en kunstantenne (dummyload), og sæt antennekoblingen til en hård kobling.
- 4) Påtryk langsomt forstærkeren så meget enkelttonestyre, at der indikeres en lille, men tydeligt aflæselig ændring i skærmgitterstrømmen.
- 5) Afstem anodekredsen til resonans ved at dreje afstemningen, til der opnås maksimum skærmgitterstrøm.
- 6) Hvis der er en styregitterkreds, afstem da denne til der flyder maksimal anodestrøm.

- 7) Skru nu op for HF styringen indtil maksimal anode- eller skærmgitterstrøm nås, ligegyldigt hvilken der kommer først.
- 8) Uden at der er tendenser til styregitterstrøm, afstemmes anodekredsen, antennekoblingen og styreeffektniveauet til det modsvarer de værdier, der er opgivne for 'peak-envelope-power' i rørets datablade. HUSK: Anodestrømmen stiger med styringen, hvor skærmgitterstrømmen stiger ved resonans i anodekredsen, og falder med øget belastning (loading).

Efter grundjusteringen er forstærkeren klar til at blive tilsluttet antennen. Med en passende antenne tilkoblet skulle det være let at gentage afstemningen som beskrevet i punkt 8) ved gentagende justeringer af anodekredsen og antennekoblingen med det samme styreeffektniveau som før. Stil styresenderen om til SSB operation, og indstil styringen til maksimum, uden at der er tendens til styregitterstrøm, eller at der er fare for 'fladtopning' i spidserne. Fladtopning kan kontrolleres med en diodedetektor og et oscilloskop.

### Reverse (negativ) skærmgitterstrøm

De fleste sendertetroder, der er udstyret med oxidbelagte katoder, trækker negativ skærmgitterstrøm ved visse arbejdsbetingelser. Det er der ingen grund til at blive chokeret over, det betyder blot, at flere elektroner udsendes fra skærmgitteret, end der opfanges. Det er resultatet af sekundær elektronudstråling fra skærmgitteret (secondary emission). Små værdier af negativ skærmgitterstrøm har ingen indflydelse på tetroders drift og er tværtimod meget normalt for visse typer rør. Sådanne værdier forekommer sædvanligvis under hårdt belastede arbejdsbetingelser eller i tomgang. Høje negative skærmgitterværdier er unormale og bør undgås.

Forøget secondary emission resulterer normalt også i forøget intermodulationsforvrængning. Denne situation resulterer desuden i et direkte forøget skærmgittertab

### Beskyttelse af skærmgitteret

Skærmgitterbeskyttelse kan udformes på forskellig vis. Før et bestemt kredsløb tages i anvendelse, bør det undersøges, om det opfylder to grundlæggende krav til beskyttelse af skærmgitteret:

For det første skal det kredsløb, der forsyner skærmgitteret, kunne holde en stabil spænding, hvad enten der er tale om konditioner, hvor der går positiv eller en moderat negativ strøm.

For det andet må beskyttelseskredsløbet ikke tillade, at der opstår forøget skærmgitterstrøm, hverken positiv eller negativ, idet det medfører forøget skærmgittertab med risiko for rørets liv.

Det første krav kan ret let opfyldes ved at anvende en velreguleret spændingsforsyning i forbindelse

med en bleedermodstand, der forbindes direkte fra skærmgitteret til stel. Bleedermodstandens størrelse vælges således, at den er lig med skærmgitterspændingen divideret ned den største negative skærmgitterstrøm, som det anvendte rør forventes at kunne trække. Det skulle løse problemerne omkring skærmgitterspændingsforsyningen, når der trækkes negativ skærmgitterstrøm. En total beskyttelse af skærmgitteret, der opfylder begge krav, kan opnås ved at indsætte et overstrømsrelæ i serie med skærmgitteret, stadig i forbindelse med en reguleret spændingsforsyning og en bleeder. Overstrømsrelæet vil beskytte skærmgitteret mod forhøjet skærmgitterstrøm, hvad enten denne er positiv eller negativ, og den stabiliserede spændingsforsyning vil opretholde en stabil spænding, selv om skærmgitterstrømmen varierer. Bleedermodstanden fra skærmgitteret til stel vil ikke tillade, at skærmgitterspændingen stiger til en kritisk værdi som funktion af negativ skærmgitterstrøm. Bleederen er en god foranstaltning, idet selv stabiliserede spændingsforsyninger kan reagere højest ukontrollabelt, når de udsættes for en modsat gående strøm.

Når der anvendes skærmgitter overstrømsrelæ, er det formålstjenligt at anvende manuel reset i tilfælde af udkobling som funktion af overstrøm. Det giver tid til at tænke over, hvorfor overstrømsrelæet er udløst og at forebygge, at det opstår igen. Hvis der anvendes et relæ med selvhold, forbind da skærmgitteret til spændingsforsyningen gennem trækspolen og et potentiometer til at justere indkoblingsstrømmen. Forbind den relækontakt, der er sluttet i hvilestilling således at skærmgitterforsyningen går gennem denne kontakt, men på den side af skærmgitterstrømsinstrumentet, der vender mod skærmgitteret. Den relækontakt, der normalt er åben, forbindes til relæspolen på den side, der vender mod skærmgitteret på den ene side, og en modstand til stel på den anden side. Modstandens størrelse vælges således, at strømmen gennem denne er i stand til at holde relæet trukket, når det en gang er udløst. Først skal den strøm, der ønskes at relæet skal trække ved indstilles, dog således at strømmen modsvarer strømforbruget fra skærmgitter ved maksimalt skærmgittertab og bleedermodstandens forbrug. Med dette kredsløb vil det være nødvendigt at afbryde skærmgitterforsyningen for at få tilbagesluttet (reset) beskyttelsesrelæet, når det har været trukket på grund af overstrøm.

I kontrast til den ovenfor beskrevne metode kan en simple og næsten idiotsikker metode anvises, hvor der anvendes gasfyldte regulatorrør. Brugen af stabilisatorrør vil fuldt ud opfylde de første krav, og også krav nr to, så længe det drejer sig om positiv overstrøm til skærmgitteret. Da meget høje negative skærmgitterstrømme ikke er normalt forekommende, kan der ses bort fra at beskytte herfor. Stabilisatorrørene er derfor en billig og sikker løsning, der

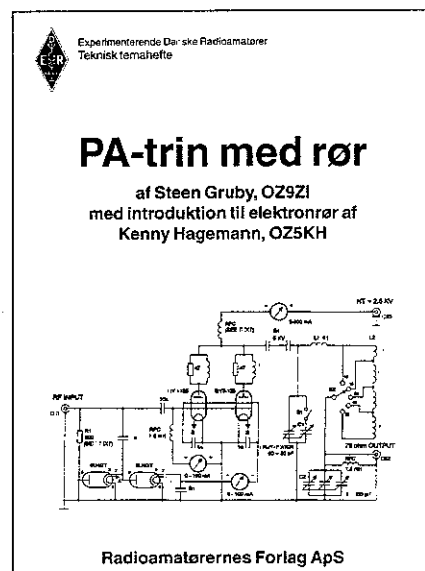
fuldt opfylder radioamatørens krav. En løsning med stabilisatorrør består normalt af flere rør, der er serieforbundet således at den ønskede spænding nås. Stabilisatorrørene kan spændingsforsynes fra en separat spændingsforsyning, eller spændingen kan tages fra anodespændingen gennem formodstande.

Skærmgitterets afkoblingskondensator og et skærmgitterstrømsinstrument fra toppen af stabilisatorrørene til skærmgitteret kompletterer skærmgitterspændingsforsyningen. Juster stabilisatorrørenes formodstande således, at strømmen i stabilisatorrørene er en anelse lavere end den strøm, der kan producere det maksimale skærmgittertab. HF spidsstrømme vil blive forsynet fra skærmgitterets afkoblingskondensator, og stabilisatorrørene vil derfor kun blive belastet med det rene jævnstrømsforbrug. Hvis der nu optræder for stort et forbrug fra skærmgitteret, vil det resultere i, at spændingen vil falde til under den værdi, hvor stabiliseringsrørene arbejder, hvorved skærmgittertabet ikke kan overskrides. Stabilisatorrørene vil levere den normale positive skærmgitterstrøm og samtidig holde den valgte skærmgitterspænding stabil. Negativ skærmgitterstrøm vil ikke ændre spændingen, men vil snarere øge den strøm, der går i stabilisatorrørene.

### Brug skærmgitterstrømsinstrument

Som konklusion skulle det nu være klart for radioamatøren, at et skærmgitterstrømsinstrument er af

## OZ9ZI og OZ5KH's tekniske temahefte fås nu som bog.



Pris 37,50 kr.

Radioamatørernes Forlag ApS  
tlf. 66 15 65 11

vital betydning i moderne senderudgangstrin, der baserer sig på tetroder. Ved sikker tydning af skærmgitterstrømsvisningen kan man nemt afstemme PA trin, der anvender en tetrode, til resonans og korrekt antennebelastning. Anodestrømsinstrumentet er alene anvendeligt til at indikere udstyringsniveau og middel anodeinput (hvis anodespændingen vel at mærke er kendt). Yderligere er et instrument - et styregitterstrømsinstrument - nyttigt, men ikke noget krav. Et instrument i styregitteret vil advare operatøren når der trækkes gitterstrøm ved udstyring.

### 1995 kommentarer til artiklen

Generelt er de emner, der berøres i artiklen, stadig gældende, dog må man ca 30 år senere betragte nogle udsagn anderledes end dengang.

For det første findes der tetroder, der under normal drift aldrig vil trække positiv skærmgitterstrøm,

hvilket f.eks gælder for 4CX1500B. Det ændrer kravene til skærmgitterspændingsforsyningen lidt, hvilket heller ikke er nogen skade til. Hvem ville anvende stabilisatorrør i 1995? Nej vel! Heldigvis er zenerdioder, der kan klare opgaven, til at skaffe for et rimeligt beløb. At udføre stabiliseringen med power MOS transistorer er også en mulighed. Om ikke andet vil begge typer stabilisering fuldt ud kunne opfylde de krav, der stilles, også med hensyn til afledningen af den negative skærmgitterstrøm og sekundær emission. Overstrømssikringen er en thyristoropgave. Men: Artiklens hovedberettigelse: At fortælle hvordan et konstantstrømsdiagram skal læses, er lige så aktuell i 1995 som den var tilbage i 1961, så alene derfor er ordene stadig læseværdige.

**OZ**

ved OZ5RM 'Rick' Meilstrup  
Gelskovparken 12/1  
2830 Virum

## Hist og pist



### Et iltert filter

I min engelske ordbog står der som forklaring på ferret: "A polecat (ilder), used as an active and persistent searcher for rats" G3YMP har nok haft dette i tankerne da han konstruerede sit aktive LF-filter med det formål for øje at snuse signaler op der ligger skjult under forstyrrende, fremmede signaler. I indgangen, efter J1, sidder allerede det første filter, nemlig det passive båndpasfilter C2-C3-L1. Med en omskifter kan man vælge eller styre uden om indgangsfiltret eftersom det er SSB- eller CW-signaler man leder efter. Man kan vælge enten en CW-midtfrekvens på 600 Hz eller en på 410 Hz. Men de skarpe tænder viser sig først når vi kommer til MAX294, et 8-ordens switched capacitance lavpasfilter. Det har sin egen indbyggede oscillator, afstemt med RV1, og den arbejder, som det er vanligt ved den slags filtre, på en frekvens 100 gange højere end afskæringsfrekvensen. Med RV1 kan denne varie-

res mellem 240 og 3500 Hz. Ganske vist kan switched capacitance filtre ikke måle sig med de nyere - og langt mere komplicerede - DSP filtre, men sætter man fx RV1 til at skære af ved 500 Hz, vil signaler på 600 Hz og derover være dæmpede med 58 dB, altså næsten uohørlige. For SSB vil en indstilling omkring 2400 Hz resultere i at næsten intet over 2900 Hz passerer til LF-forstærkeren TDA 7052. Det ser ud som en letbygget og effektiv anordning til lav pris der kan forøge en lidt primitiv modtagers effektivitet.

*Radio Communication aug 1994 s. 55-56: G3YMP: The Ferret Audio Filter*

### Z-match for 27. gang

Jeg kan ikke lade være med at vise dette instruktive foto af den simple, men ganske fine antennenetuner "Z-match" som den fremtræder i sin moderne skikkelse. Før i tiden bestod den jo af to par spoler for hhv. de høje og de lave bånd. Nu er den simplificeret,

