



Om Impulsstøj og Generatorer til Frembringelse af Korte impulser til Måling på FM- og TV-Modtagere

Rasmussen, Jens; Bruun, Georg

Published in:
Dansk Radio Industri

Publication date:
1957

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Rasmussen, J., & Bruun, G. (1957). Om Impulsstøj og Generatorer til Frembringelse af Korte impulser til Måling på FM- og TV-Modtagere. *Dansk Radio Industri*.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Om impulsstøj og generatorer til frembringelse af korte impulser til måling på FM- og TV- modtagere

Civilingeniør Georg Bruun og Civilingeniør Jens Rasmussen
Radioteknisk Forskningslaboratorium

Da det hovedsagelig er forholdet mellem det ønskede signal og støjen, der bestemmer, hvor langt fra en TV- eller FM-sender man kan få brugbar modtagning, er det af betydning at undersøge, og om muligt mindske, støjens indvirkning på modtagerne.

Støjen kan bestå af modtagerens egenstøj, interferens fra andre sendere eller modtagere samt støj fra elektriske maskiner og installationer af forskellig art. Fælles for støj fra de sidstnævnte kilder er, at den består af korte impulser med en repetitionsfrekvens afhængig af støjildens art. Særlig udbredte kilder for impulsstøj er elektriske ringeapparater, kommutatormotorer (især vel elektriske barbermaskiner) samt tændingssystemet i forbrændingsmotorer, især i biler.

Disse støjkluder er meget udbredte, og da en modtagers egenskaber overfor signaler, der indeholder støjimpulser, er meget afhængig af den omhu, hvor med kredsløbene er dimensioneret, er det en naturlig opgave for et modtagerlaboratorium at tage problemet op og udvikle generatorer, der kan afgive reproducerbare støjimpulser, som efterligner de i praksis forekommende.

impulser med en varighed på ca. 3 ns (nannosekund) eller $3 \cdot 10^{-9}$ s.

Nøjere karakterisering af impulser

Impulsstøj karakteriseres ved de enkelte impulsers form, højde, varighed samt af den hyppighed, hvor med de kommer, også kaldet repetitionsfrekvensen.

En impuls med en konstant repetitionsfrekvens kan opløses i svingninger, hvis frekvenser er repetitionsfrekvensen og dennes harmoniske. Disse svingninger udgør impulsens frekvensspektrum, der kan afbildes som vist fig. 1.

Selve formen af disse spektrer er uafhængig af repetitionsfrekvensen og angiver amplituden ved de enkelte frekvenser, der ligger fordelt med repetitionsfrekvensens afstand på frekvensaksen, således at de ligger tættere jo mindre repetitionsfrekvensen er i forhold til det reciprokke af impulsens varighed t_1 . For enkeltimpulser bliver spektret fuldstændig kontinuert, idet de indeholder signaler indenfor ethvert nok så lille frekvensområde.

For indholdet af lave frekvenser er impulsens form

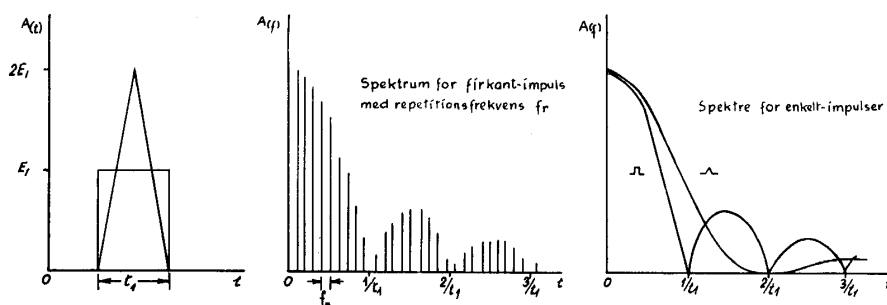


Fig. 1. Frekvensspektrer for firkant- og trekantimpulser med samme areal. I midten er vist spektret for firkantimpuls med repetitionsfrekvens f_r , til højre de kontinuerte spektrer for enkeltimpulser. For nøjagtigere kurver se f. eks. Terman: *Radio Engineers' Handbook*, side 22. N. Y. 1943.

Ved dimensionering af FM- og TV-modtagere benyttes sådanne generatorer til undersøgelse af mellemfrekvensforstærkere, begrænsere og frekvensdekoder samt i en TV-modtager yderligere separator- og afbøjningskredsløb.

Her skal først omtales nogle fysiske forhold ved impulsstøj, og derefter følger beskrivelse af tre forskellige impuls-generatorer, der er bygget på Radioteknisk Forskningslaboratorium til brug ved undersøgelse af modtagere.

Den ene generator arbejder efter det princip, at en bærebølge moduleres med relativt lange impulser på ca. 1 μ s, medens de to andre generatorer frembringer

uden betydning, og kun dens areal $\int$ edt er afgørende. Man ser af figuren, at spektret for en firkant- og en trekantimpuls er sammenfaldende ved lave frekvenser, når trekantimpulsen er dobbelt så høj som en firkantimpuls af samme længde. Nærmere angivet vil spektret for en firkantimpuls med en varighed på 2 ns være 1 dB lavere ved 125 MHz end ved lave frekvenser, medens en trekantimpuls med samme areal og varighed er 1 dB lavere ved 175 MHz. Ændres trekantimpulsen, så varigheden fordobles, og højden halveres (samme areal), er spektret 1 dB nede ved $\frac{1}{2} \cdot 175 \text{ MHz} = 87,5 \text{ MHz}$. Under ca. 70 MHz har disse tre impulser sammenfaldende frekvensspektrer,

og en modtager, der er afstemt til en frekvens i dette område, vil have samme udgangsspænding, ligegyldigt hvilken af disse impulser der tilføres dens indgang, idet udgangsspændingen da kun afhænger af impulsens areal $\int_{-\infty}^{\infty} E_1 dt$.

For de høje frekvenser er formen derimod af stor betydning. Således ser man, at spektret for en firkantimpuls har udprægede minima ved frekvenserne $1/t_1, 2/t_1, \dots, n/t_1$, medens disse skarpe minima ikke findes hos en trekantimpuls. Spektrets første minima findes ved højere frekvenser jo kortere impulserne er, og i grænsetilfældet, en uendelig kort impuls, er spektret fuldkommen ensartet, med samme indhold af alle frekvenser.

Inden det behandles, hvordan en impuls påvirkes ved at passere et båndfilter eller en afstemt forstær-

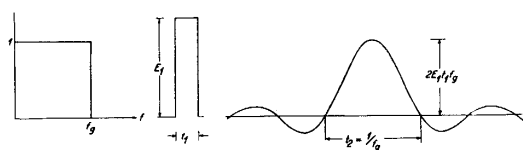


Fig. 2. Frekvenskarakteristik for ideelt lavpasfilter og impulsformen før og efter filteret. Det er forudsat, at indgangsimpulsens frekvensspektrum er konstant i filterets gennemgangsområde ($1/t_1 \gg f_g$) og at filteret ikke har faseforvrængning, d.v.s. det har retlinet fasekarakteristik for $f < f_g$.

ker (modtager), betragtes først, hvordan impulsen omformes, når dens frekvensspektrum beskæres i den højfrekvente ende, f. eks. når den passerer et lavpasfilter eller en uafstemt forstærker (videoforst. f. eks.).

Sendes f. eks. en firkantimpuls med højden E_1 og længden t_1 , som vist på fig. 2, gennem et lavpasfilter, der (uden faseforvrængning) skærer skarpt af ved frekvensen f_g , svarende til at alle frekvenser over f_g i impulsens spektrum fjernes, vil impulsen efter filteret have et udseende som vist fig. 2, når indgangsimpulsens spektrum ikke er faldet væsentligt ved $f = f_g$. Impulsens længde bliver ca. $t_2 = 1/f_g$ og dens højde $E_2 = 2 E_1 t_1 \cdot f_g$. Her er $E_1 t_1$ arealet af den oprindelige impuls. Man ser, at en halvt så stor båndbredde ville give en dobbelt så lang impuls med den halve højde. Impulshøjden er altså proportional med båndbredden indenfor visse grænser (spektret ikke faldet væsentligt af før $f = f_g$ for indgangsimpulsen), og i overensstemmelse hermed angives spændingen fra en impulsgenerator for meget korte impulser indenfor området, hvor dens frekvensspektrum er konstant i mV/MHz, idet impulshøjden vil være proportional med båndbredden af det instrument, hvormed impulsen måles. En impuls på 100 volt med en længde på 2 ns ($2 \cdot 10^{-9}$ s) vil således med et instrument med en ideel afskæring ved 1 MHz måles som en 1 μ s-impuls med en højde på $2 E_1 t_1 \cdot f_g = 2 \cdot 100 \cdot 2 \cdot 10^{-9} \cdot 10^6 = 0,4$ V, medens man med en båndbredde på 10 MHz vil måle en 0,1 μ s-impuls med en højde på 4 volt.

Sker afskæringen ikke uden fase-forvrængning, vil impulsen efter filteret f. eks. have et udseende som vist fig. 3, der kendes fra praktiske filtre og forstærkere (f. eks. videoforst.).

Sendes en kort impuls gennem et båndfilter eller en afstemt forstærker, f. eks. mellemfrekvensdelen i en modtager, får den det udseende, der er vist på fig. 4, forudsat gennemgangsområdet ligger på den del af indgangsimpulsens frekvensspektrum, der er konstant. Båndfilteret har midterfrekvensen f_m og båndbredden f_b og efter filteret har man en impulsmoduleret svingning med f_m som bærebølge. Svingningstøget når maksimalspændingen $V_2 = 2 E_1 t_1 f_b$ og dets længde bliver $\frac{2}{f_b}$. Dette er det dobbelte af længden af den impuls, der kommer gennem et lavpasfilter.

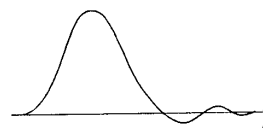


Fig. 3. Sendes firkantimpulsen på fig. 2 gennem et lavpasfilter med faseforvrængning, bliver den transmitterede impuls usymmetrisk, f. eks. som her vist.

ter med samme båndbredde, svarende til, at den »effektive« båndbredde af båndfilteret er $\frac{1}{2} f_b$, idet svingningstøget har to sæt sidebånd og f_b som bærebølge. (Den transmitterede energi er den samme i de to tilfælde, idet effektivværdien af den modulerede svingning ved impulsens maksimum er $\frac{V_2}{\sqrt{2}}$.)

Resultatet af det foregående er, at anvendes en modtager i det område, hvor frekvensspektret fra en given støjkilde er konstant, vil impulsens form og oprindelse være uden betydning. Kun dens størrelse og repetitionsfrekvens, samt faser mellem støj og signal vil have indflydelse på modtagerens funktioner.

Engelske målinger på *bilstøj* viser*), at impulserne har et nogenlunde jævnt frekvensspektrum i det område, hvor der er målt, 40—650 MHz, samt at udstrålingen består af enkeltimpulser, hver efterfulgt af et tog af svagere impulser. Dette impulstog angives kun at være mærkbart i umiddelbar nærhed af bilerne. Støjens repetitionsfrekvens er normalt 50—400 Hz.

Det skulle herefter være muligt at fremstille en reproducerbar efterligning af bilstøj med en generator, der afgiver impulser af passende repetitionsfrekvens med et spektrum, der er bredt i forhold til modtagerens båndbredde.

Motorstøj er ofte meget generende for modtagning af FM og TV, og de mest udbredte kilder er vel elektriske barbermaskiner, støvsugere o. l., der sjældent er effektivt støjdæmpet ved de frekvenser, der anvendes til FM og TV-udsendelser. Ligeså disse støjklender har et spektrum, der strækker sig fra lave frekvenser helt op mod 1000 MHz. Støjen består her af impulstog med mange nogenlunde lige kraftige impulser, og den kan være fuldstændig ødelæggende for modtagningen.

*) B. G. Pressev, G. E. Askwell: Radiation from Car Ignition Systems, Wireless Eng., Jan. 49, s. 31-35.

Er en fjernsynsmodtager, som senere omtalt, dimensioneret, så den kan tåle overstyring af korte impulser uden at blive blokeret, vil amplituden af de impulser, der når gennem modtageren, inden for vide grænser være uafhængig af støjimpulsernes styrke, idet de klippes ned. Da ydermere bredden af impulserne, der når detektor, ved de her omtalte korte støjimpulser kun er bestemt af modtagerens båndbredde, vil visse kredsløb, bl. a. separator- og svinghjulskredsløb, i gode modtagere ikke påvirkes af enkelte impulser med relativ lille repetitionsfrekvens, som de f. eks. findes i støjen fra biler. Impulstog som de, der

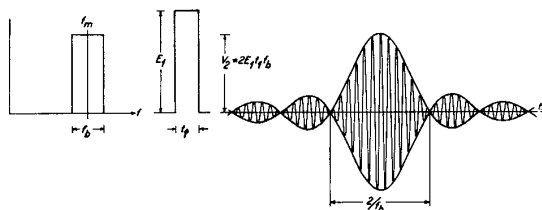


Fig. 4. Frekvenskarakteristik for ideelt båndfilter og impulsformen før og efter filteret. Det er forudsat, at impulsens spektrum er konstant op over filterets gennemgangsområde. Kun for filtre uden faseforvrængning bliver impulsen på udgangen symmetrisk, som her vist.

udsendes af kommutatormotorer, hvor virkningen fra de enkelte impulser opsummeres, kan derimod have ødelæggende virkning, og ved mange målinger kan det derfor være ønskeligt at have en generator, der kan afgive sådanne tog af meget korte impulser. Generators af denne art beskrives senere i artiklen.

Målemetoder

Drejer det sig om at gøre et givet kredsløb ufølsomt for støj, kan man naturligvis nå langt ved at arbejde med det, medens det samtidig udsættes for et ønsket signal og en støjkilde, f. eks. en elektrisk barbermaskine, men så snart man skal sammenligne flere forskellige kredsløb med nogen tids mellemrum, melder kravet sig om en støjkilde, der afgiver et signal, der har en kendt størrelse, frekvensspektrum og repetitionsfrekvens.

Da den impuls, der kommer gennem båndfilteret i en modtagers mellemfrekvensforstærker, består af en impulsmoduleret højfrekvenssvingning med en bærebølge, hvis frekvens er båndfilterets midterfrekvens, er det af afgørende betydning, hvordan faser af denne højfrekvenssvingning er i forhold til det signal, man ønsker at modtage.

Vil man derfor undersøge, hvad der sker, når en bestemt impulsrække forstyrrer et givet signal, må man, dersom man ønsker at få samme forstyrrelse ved hver impuls, kunne kontrollere faser mellem signalet og impulsens bærebølge, eller i hvert fald sørge for, at denne fase er den samme for hver impuls.

Støjgenerator med impulsmoduleret oscillator

Støjimpulser med kontrolleret fase kan lettest fremstilles ved at modulere en målesender med en ret bred impuls, hvis frekvensspektrum kun skal være

bredt i forhold til modtagerens båndbredde, idet målesenderen da vil afgive et signal, hvis frekvensspektrum breder sig passende til begge sider for modtagerens selektivitetskurve. Man kan her sikre sig, at faser mellem det ønskede signal og impulsen er den samme for hver impuls, idet man lader samme oscillator afgive både det ønskede signal og det signal, der impulsmoduleres.

En generator af denne art*) er bygget på Radioteknisk Forskningslaboratorium i 1949 af civilingeniør Egon Hansen og er beregnet til måling af FM-modtagere med en mellemfrekvens på 8 MHz. Blok-diagrammet fig. 5 viser princippet. Fra en målesender føres 8 MHz både til en forstærker med et goniometer og til en nøglet forstærker. I denne moduleres de 8 MHz med en firkantet 1 μ s-impuls, hvis frekvensspektrum ifølge fig. 1 har det første minimum ved $\frac{1}{t_1} = 1$ MHz og således er bredt i forhold til MF-båndbredden i en FM-modtager. De to signaler adderes i et netværk, og man får i udgangen et signal overlejret med en støjimpuls, hvis fase i forhold til signalet kan varieres med goniometret.

Med denne generator får det kontinuerte signal samme frekvens som midterfrekvensen i støjimpulsens spektrum, og afstemmes de 8 MHz til midterfrekvensen i modtagerens mellemfrekvenskurve, vil det kontinuerte signal og bærebølgen i svingningstoget,

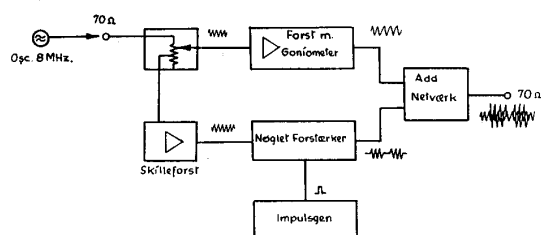


Fig. 5. Blokdiagram for impulsgenerator med moduleret målesender og goniometer.

der skyldes impulsen, på detektor, have samme frekvens. Forstemmes derimod de 8 MHz, vil det kontinuerte signals frekvens følge denne forstemning, medens bærefrekvensen af impulsens svingningstog på detektor, stadig vil være den samme som midterfrekvensen i MF-kurven, fordi spektret er bredere end dennes båndbredde, og signal og støj vil således få forskellig frekvens på detektor, hvilket er af betydning ved visse målinger f. eks. på FM-detektorer, som omtalt i J.C. Telliers artikel.

Det fuldstændige diagram er vist på fig. 6, og de nærmere data er følgende:

Frekvens: 8 MHz.

Impulslængde 0,5—1,5 μ s.

Tilslutningsimpedans: 70 Ω .

Indgangsspænding: 200 mV.

Båndbredde (3 dB): 1 MHz.

Udgangsspænding:

Bærebølge: 200 mV $\times$ 2, 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$ og $\frac{1}{10}$.

Impuls: 200 mV fast.

*) En lignende generator er beskrevet i J.C. Tellier: Impulse Noise Generator for Testing FM-Recievers. Tele-Tech, Nov. 1947, s. 28.

Ønsker man en generator af denne type til undersøgelse af modtagere ved andre frekvenser end en bestemt mellemfrekvens, f. eks. for at kunne undersøge forskellige modtagere uden at gøre indgreb i dem, vil man få et stort og indviklet apparat. Til sådanne formål blev det i stedet besluttet at udvikle generatore med så lille impulslængde, at spektret er kontinuert op over de frekvenser, man normalt er interesseret i. Ved en sådan generator vil fassen mellem impuls og ønsket signal blive tilfældig, man får altså ikke den fordel, der er nævnt ovenfor, at alle impulser giver samme forstyrrelse, men til gengæld fås forhold, der kommer nærmere de forstyrrelser, man finder i praksis.

Støjgeneratore med kontinuert spektrum

Målet var at bygge en generator, der kunne afgive reproducerbar støj af den type, der udsendes af automobilers tændingssystem, og kravet til den må ifølge det foregående blive, at den afgiver enkelt-impulser med en passende repetitionsfrekvens og af så kort varighed, at deres frekvensspektrums første minimum ligger højt over 100 MHz, så alle frekvenser i MF-kanalerne 8—40 MHz, det lave TV-bånd 47—68 MHz samt FM-kanalen 88—100 MHz afgives med samme styrke. Dette svarer for en firkantimpuls til en impulslængde på ca. 3 ns (3×10^{-9} s), og det blev forsøgt at frembringe disse meget korte impulser på forskellig måde.

I litteraturen*) er beskrevet en generator for sådanne impulser med et vakuumrelæ i forbindelse med et løbetidskabel, og det første forsøg udførtes

*) N. F. Moody, G. MacLusky, M. O. Deighton: Millimicrosecond Pulse Techniques, Part I, Electronic Eng. Maj 52, side 214. (Her anvendes relæet W. E. 276 B.)

med en generator af denne type som vist på fig. 7. Der blev i denne generator anvendt en Siemens-vakuumpkontakt. Generatoren er ganske simpel, og virkemåden er følgende: Et stykke kabel oplades gennem

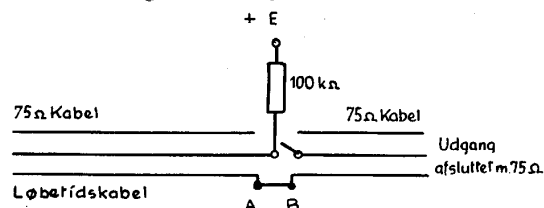


Fig. 7. Impulsgenerator bestående af løbetidskabel og vakuum-kontakt.

en stor modstand til spændingen E. Herefter lukkes kontakten, således at udgangskablet, der er refleksionsfrit afsluttet, kobles til det opladede kabel. Dette bliver herved i den ene ende afsluttet med sin karakteristiske impedans, og spændingen falder derfor til halvdelen, $\frac{E}{2}$, på dette sted. En spændingsbølge løber nu ud af kablet med vandringshastigheden og aflader undervejs kablet halvt. I enden af kablet reflekteres den og løber nu tilbage mod kontakten, medens den aflader kablet helt. På kontaktpunktet af kablet får man således et spændingsforløb som vist figur 8 A. På indgangen af det andet kabel bliver spændingen som vist fig. 8 B, altså som ønsket en firkant-impuls. Impulslængden bliver ifølge det ovennævnte lig den tid, det tager en spændingsvariation at gennemløbe kablet to gange. Længden bliver således:

$$\Delta t = \frac{2l}{c} \sqrt{\epsilon} \text{ sekunder,}$$

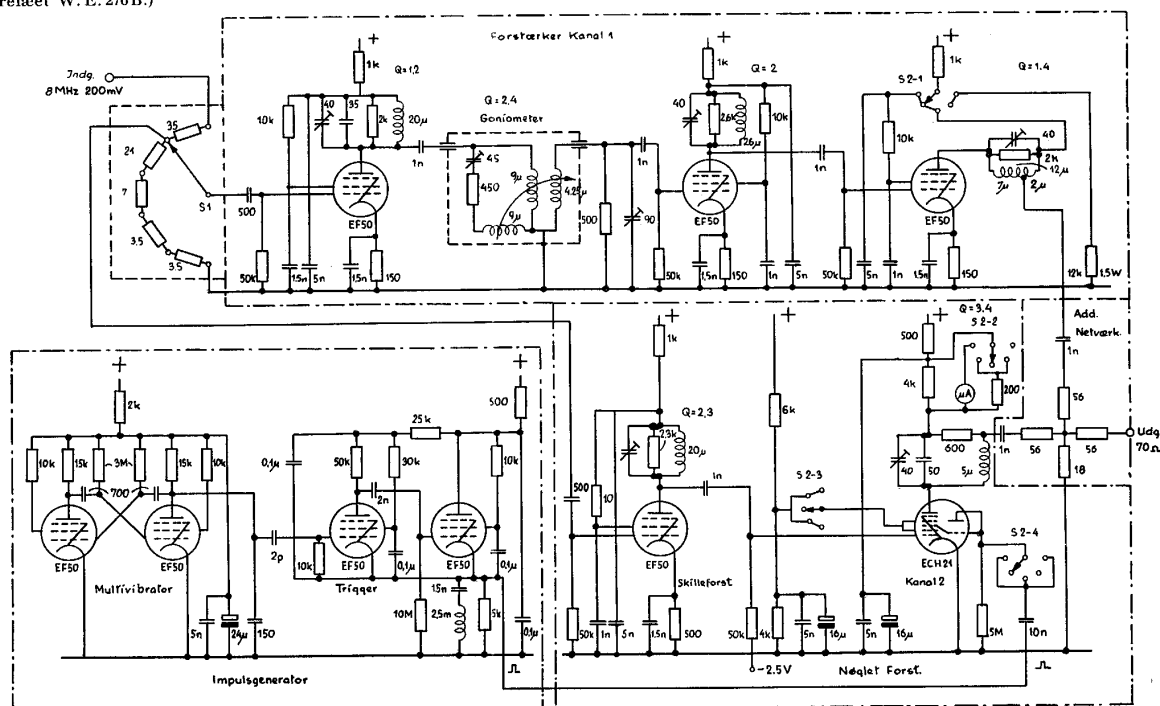


Fig. 6. Diagram af impulsgenerator med goniometer og impulsmoduleret forstærker for tilslutning til 8MHz-målesender. For overskuelighedens skyld er netdel og filter mellem de enkelte enheder udeladt.

hvor l er kabellængden, c lyshastigheden i vakuum, og ϵ kabelisolationens dielektricitetskonstant. For et almindeligt koaksialkabel med polystyrol-isolation kan $\sqrt{\epsilon}$ sættes til 1,5, og man får da:

$$\Delta t = \frac{2}{3 \cdot 10^{10}} \cdot 1,5 = 10^{-10} \text{ s/cm}$$

eller $\Delta t = 0,1 \text{ ns/cm}$

Grunden til, at der anvendes vakuumkontakt, er, at kontaktslutningen skal ske indenfor et tidsrum, der

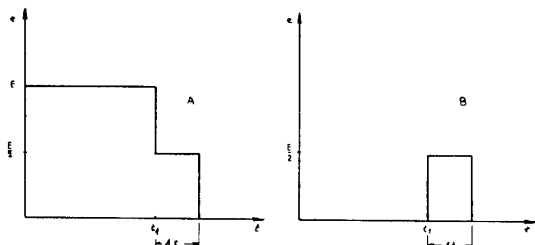


Fig. 8. Spændingsvariation ved lukning af kontakten ved tiden t_1 i punkterne A og B i generatoren fig. 7. Δt er den tid det tager spændingsændringen at løbe fra kontakten til løbetidskablets åbne ende og tilbage,

er nogenlunde kort i sammenligning med den ønskede impulslængde, ca. 3 ns. Den her anvendte kontakt er imidlertid uanvendelig til formålet af mekaniske grunde, idet kontakten bevæges med en bøjelig glasstang, der ikke kan tåle at arbejde ved den ønskede repetitionsfrekvens mindst ca. 50 Hz. At der blev arbejdet videre med denne kontakt skyldes, at der skulle være en mulighed for at anvende den som justeringsgenerator for andre støjkilder, idet man skulle kunne få en veldefineret impuls med kendt amplitude

$= \frac{1}{2} E$. Af denne grund udførtes en del målinger for at undersøge, hvordan kontaktslutningen sker, ved at sammenligne de forskellige minima i impulsernes frekvensspektrum med det, der måtte forventes med den anvendte kabellængde. Spektret undersøges med en modtager, og minimernes frekvens bestemmes med denne. Til rådighed var kun en modtager med et frekvensområde op til 108 MHz, og impulserne måtte derfor være så lange, at der var minima under 100 MHz. Først forsøgte man med en impuls med første minimum ved 75 MHz. Den tilsvarende impulslængde er

efter fig. 1 lig $\frac{10^{-6}}{75} \text{ s} = 13,4 \text{ ns}$, svarende til et kabel på 134 cm, og der fandtes med modtageren et minimum på 74 MHz, fig. 9, i udmærket overensstemmelse med det ventede. Der prøvedes ligeledes med et kabel på 2 m, der skulle give en impuls på 20 ns med 1' og 2' minimum på 50 og 100 MHz. Som vist på fig. 9 er målingerne med modtageren i overensstemmelse med dette.

I den endelige form skulle spektret være konstant under 100 MHz. Tillades, at det er faldet 3 dB ved 200 MHz, får man en impulslængde på ca. 2,5 ns, svarende til en kabellængde på 25 cm. Ved disse korte kabler var kontaktslutningen imidlertid ikke sikker, idet spektret nok gik nogenlunde jævnt op til 100 MHz, men den højfrekvente ende af det varierede så meget fra impuls til impuls (op til 6 dB), at impulserne er uanvendelige til kalibreringsformål, selv når spændingen på kablet (E) var så lille som 2 volt, og ved større spændinger var kontaktslutningen endnu mere tilfældig.

Det blev derfor forsøgt at gå andre veje, hvilket resulterede i det apparat, der er beskrevet i det følgende afsnit.

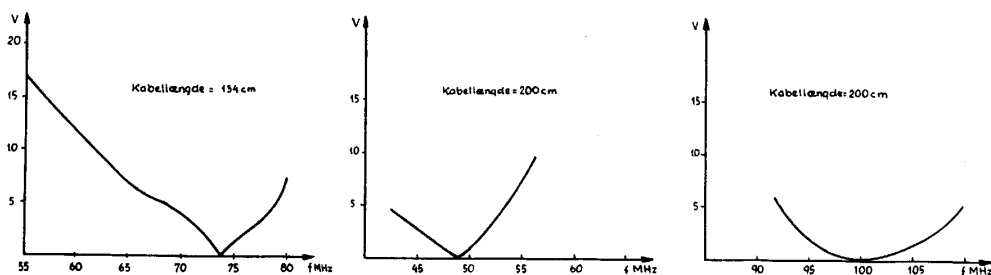


Fig. 9. Måling af frekvensspektret med en modtager i omegnen af de minima, der må ventes med generatoren fig. 7 med de angivne kabellængder. De ventede minima var for $l = 134 \text{ cm}$ ved $f = 75 \text{ MHz}$, og ved $l = 200 \text{ cm}$ ved $f = 50$ og 100 MHz .

Impulsdannelsen

Princippet for dannelsen af impulserne i denne generator er vist på fig. 10. Udgangspunktet er her et spændingsstød af størrelsen E , der har et frekvensspektrum, hvis højde er proportional med $1/f$. Differentieres dette stød i et netværk med en tidskonstant $R \cdot C$ fås en impuls som vist på fig. 10 a. Påtrykkes RC-netværket en kontinuert sinusspænding af konstant størrelse, men varierende frekvens, vil udgangsspændingen stige proportionalt med frekvensen indtil den når grænsefrekvensen $f = \frac{1}{2\pi RC}$, og over denne frekvens vil udgangsspændingen være konstant. Overført på spændingsspringet vil dette betyde, at RC-netværket gengiver springet som en impuls, hvis frekvensspektrum er konstant ved lave frekvenser op til grænsefrekvensen, hvor det er faldet 3dB, mens det ved højere frekvenser følger spektret for spændingsspringet.

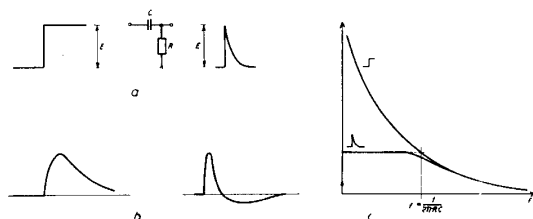


Fig. 10. Fig. 10 a viser et ideelt spændingsspring før og efter differentiering i et R-C led. b viser de samme impulser, som de i praksis forekommer i generatoren. c viser frekvensspektrene for impulserne i fig. 10 a.

I praksis kan man naturligvis ikke opnå ideelle spændingsstød, bl. a. må spændingen vende tilbage til udgangspunktet, idet man er interesseret i en impuls med en vis repetitionsfrekvens. Impulserne vil derfor blive som vist på fig. 10 b, hvor indangsimpulsen svarer til et spændingsstød, der er differentieret med en ret stor tidskonstant, således at de laveste frekvenser i spektret er svækkede. Er denne tidskonstant stor i forhold til den senere differentiering, vil denne virkning være uden betydning i det anvendte frekvensområde.

Udgangsspændingen angives som tidligere nævnt i mV/MHz, og denne findes som spidsspændingen af den impuls, der kommer gennem et lavpas-filter: $V = 2E \cdot T \cdot f_g$, hvor grænsefrekvensen f_g sættes til 1 Hz og $E \cdot T$ er arealet af indgangsimpulsen. Arealet af en impuls som vist fig 10a er $E \cdot R \cdot C$, således at en generator, bygget efter disse principper vil afgive en spænding på $V = 2ERC$ mV/MHz, hvor E er volt og RC i nanosekunder.

Det impulsdannede kredsløb

Fig. 11 viser skematisk de impulsdannende kredsløb i generatoren. Kondensatoren C_1 er her opladet til anodespændingen V_B , når tyratronen V_1 er slukket. I det øjeblik den tændes, virker den praktisk taget som en kortslutning, der lægger spændingen på C_1 over på modstanden R_K , og er tidskonstanten $R_K C_1$ tilstrækkelig stor, kan man betragte spændingen over R_K som et rent spændingsstød. Hvor stejlt denne spænding vokser op afhænger af tyratronens ioniseringstid og selvinduktionen i kredsløbet $R_K C_1 V_1$, og sker det tilstrækkelig stejlt, kan man få den ønskede impuls ved at differentiere spændingen over R_K . Spektret skal være fladt for frekvenser op til 100–150 MHz, og tidskonstanten i differentieringsnetværket skal da have en tidskonstant på $RC = \frac{1}{2\pi \cdot 150 \cdot 10^6} \approx 1$ ns. Dette blev forsøgt, men

trods forsøg med forskellige koblinger af tyratronen, lykkedes det ikke at få spektret fladt over 30–40 MHz*), idet ioniseringen i tyratronen var for langsom til at give tilstrækkelig stejl front i spændingen over R_K . I den endelige generator blev opnået et fladere spektrum ved klipning af spændingen fra tyratronen med en pentode som vist på fig. 11. Pentoden V_2 har en meget stor negativ forspænding, og leder således ikke

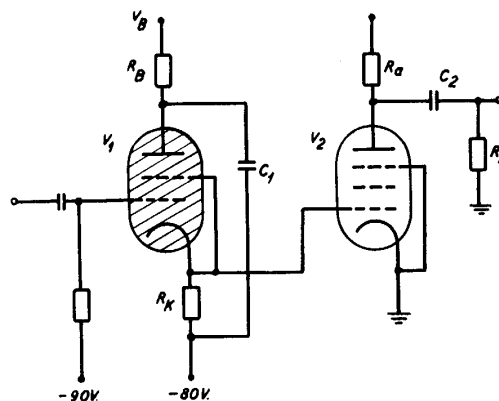


Fig. 11. De impulsdannende kredsløb i generatoren. Det kraftige spændingsstød, der opstår over R_K i tyratronkredsløbet, klippes af V_2 og differentieres i netværket C_2-R_2 . Udgangsspændingen tages over R_2 .

mellem impulserne; for at undgå blokering på grund af gitterstrøm, er V_2 koblet direkte til R_K . Styregitteret i V_2 påtrykkes altså en spænding, som vist på fig. 12, og røret vil forstærke den del af springet, der ligger mellem afskæringsspændingen (ca -20 v.) og en vis positiv spænding (nogle få volt). Disse spændinger

*) Vi har senere set, at et tilsvarende resultat er opnået af C. S. Fowler: Narrow-Pulse Generator for Calibrating Noise Measuring Sets. Wireless Engineer, Oktober-November 1950, side 265-269.

kan bestemmes ud fra rørets karakteristikkfelter, der dog ikke foreligger for strømme af den størrelse, der her kan blive tale om. På denne måde får man et nyt spændingsstød med meget stejl front, der til slut differentieres i et netværk $C_2 R_2$ med en tidskonstant på ca. 1,3 ns.

Det er væsentligt for generatorens brugbarhed til måling på TV-modtagere, at den kan arbejde med en høj repetitionsfrekvens. Dette medfører da, at tidskonstanten $R_B C_1$ (fig. 11) i tyratronkredsløbet skal være så lille, at C_1 kan oplades helt mellem hver impuls ved en repetitionsfrekvens på ca. 15 kHz. Af hensyn til tyratronen kan R_B ikke vælges for lille, og C_1 bliver da ret lille, i dette tilfælde er $C_1 = 100$ pF, og man kan da ikke længere betragte spændingen over R_K som et rent spændingsstød, idet tidskonstanten $C_1 R_K = 5 \cdot 10^{-8}$ ikke kan regnes lang i forhold til den tid det tager spændingen over R_K at vokse op. Dette viste sig også ved målingerne på den færdige generator. De første målinger blev udført med $C_1 = 5$ nF, og gav et pænt spektrum som vist på fig. 13. Da C_1 blev

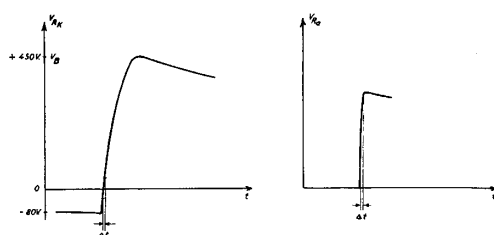


Fig. 12. Figuren viser skematisk kurveformen af spændingen på V_2 's styregitter og anode i fig. 11.

ændret til 100 pF fik spektret et udpræget dyk ved ca. 45 MHz; ændredes C_1 til 150 pF flyttede dette dyk til ca. 37 MHz, men ved at sætte $C_1 = 100$ pF og shunte den med 50 pF i serie med 600 Ω blev dykket forminsket, så det endelige spektrum blev som vist på fig. 13. Disse forhold var meget afhængige af glødespændingen på tyratronen.

En repetitionsfrekvens på 15 kHz er høj for en tyratron, men det viste sig, at man på flere måder kunne få den til at arbejde ved denne frekvens. Tændes den med en kortvarig impuls, viste den udpræget tendens til at forblive tændt efter udladningen af kondensatoren C_1 , ved de her benyttede tidskonstanter, men den slukkede da efter den følgende impuls, der udladde C_1 helt, således at den virkede som en deler, idet den tændte på hveranden impuls. Denne virkning kunne fjernes ved at lade en kraftig negativ impuls, der slukkede røret, følge hver positive tændimpuls, f. eks. ved at styre tyratronen med en differentieret firkantspænding, eller styre den med en ret bred impuls, som det gøres i den her beskrevne generator.

Måling af spektrum og størrelsen af udgangsimpulsen blev udført med en modtager og en impulsmoduleret målesender, som omtalt nedenfor.

Herved er målt de spektraler, der er angivet på fig. 13, og udgangsspændingen er målt til $V = 10,5$ mV/MHz. Denne værdi svarer til at spændingsspringet på udgangsrørets anode kun er ca. 4,4 volt. Med en

modtager med stor båndbredde (TV-modtager) er det konstateret, at udgangsspændingen er uafhængig af repetitionsfrekvensen.

Styregeneratoren

Ved målinger på TV og FM-modtagere med denne generator vil man være interesseret i, at den kan afgive enkelt-impulser med en repetitionsfrekvens på 50—400 Hz som en efterligning af bilstøj, samt tog af impulser med stor repetitionsfrekvens, hvor repetitionsfrekvensen af togene er 50—200 Hz, svarende til den støj man vil få fra kommutatormotorer.

Dette opnås ved at styre tyratronen med en multivibrator, hvis frekvens kan varieres mellem 30 og 15000 Hz. Se fig. 14. Denne multivibrator indeholder en pentode, hvis skærmgitter får sin spænding fra katoden i en trigger, der i sin hviletilstand har tilstrækkelig høj spænding på katoden til at multivibratoren svinger kontinuert. Tilføres triggeren udefra impulser, vil den stoppe multivibratoren i perioder, hvis længde kan varieres med tidskonstanten i triggeren, og man får herved impulstog af variabel længde. For at forhindre at tyratronens styrespænding ændres ved disse indstillinger, er der mellem multivibrator og tyratron indskudt en trigger, der om ønsket kan styres af en udvendig spænding.

Opbygningen af generatoren

Angående selve opbygningen af generatoren skal kun bemærkes, at monteringen omkring de impulsdannende rør skal foretages så kompakt som muligt og med små komponenter, så selvinduktionerne i kredsløbet ikke bliver skadelige. Spændingerne til de to sidste rør skal HF-afkobles, f. eks. som det her er gjort med 1,5 nF-gennemføringskondensatorer. Generatoren har et lavt anodestromsforbrug, og alle spændinger kan derfor tages fra en spændingsdeler.

Impulsgenerator med gnistgab

En impulsgenerator, der ligeledes afgiver impulser med et kontinuert spektrum op over 100 MHz og som afgiver en meget stor spænding (ca. 4,5 V/MHz), der

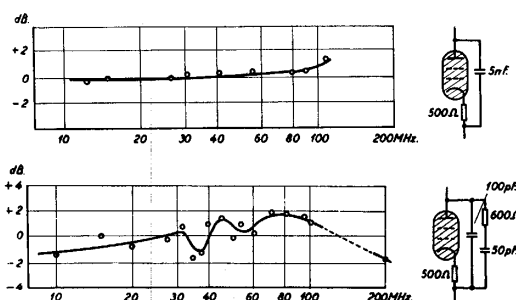
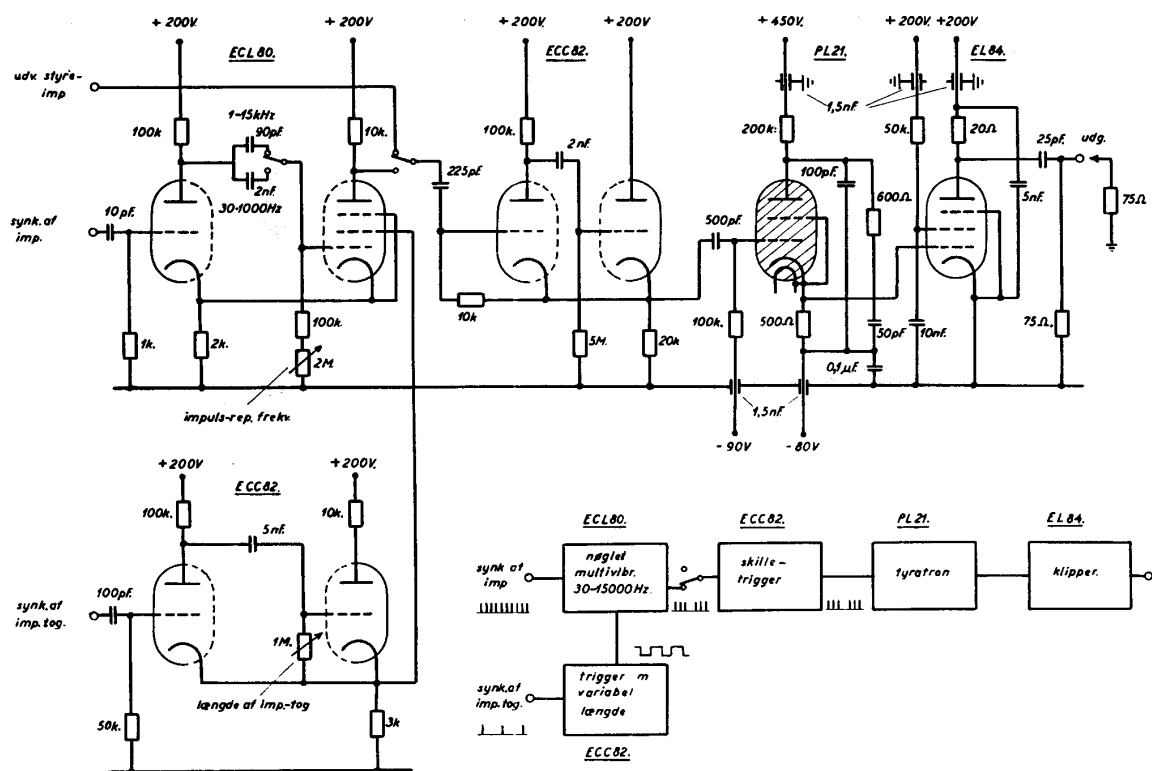


Fig. 13. Målte frekvensspektre for impulsgeneratoren fig. 14 med forskellige tyratronkredsløb.

har en veldefineret størrelse, som kan bestemmes med simple midler, kan forholdsvis simpelt bygges med et gnistgab og et løbetidskabel som impulsdannende kredsløb.

Generatoren virker på tilsvarende måde som den



omtalte generator med vakuumkontakt, som det fremgår af fig. 15, hvor kontakten er erstattet med et gnistgab. Løbetidskablet har en længde på 25 cm, svarende til en impuls længde på 2,5 ns. Der er anvendt et 75 Ω koaksialkabel med polystyrol-isolation. Det oplades gennem en stor modstand, og når dets spænding når gnistgabets overslagsspænding, udlades det gennem det afsluttede belastningskabel, der påtrykkes en firkantimpuls med en spidsspænding lig halvdelen af overslagsspændingen. Gnistgabets virker som en kontakt med meget ringe indre modstand, og målinger har vist, at kablet udlades fuldstændigt. Såfremt lademodstanden er stor, her 10 M Ω , så buedannelse undgås, slukkes gnisten efter udladningen, og kablet oplades igen. Generatoren vil altså få en repetitionsfrekvens, der afhænger af ladetidskonstantens størrelse, den spænding kablet er tilsluttet, samt længden af gnistgabets og dermed overslagsspændingen. Med en lademodstand på 10 M Ω og en spænding på 3 kV er der målt repetitionsfrekvenser op til 7—10 kHz med kort gnistgab.

Forøges repetitionsfrekvensen ved at gøre gnistgabet kortere, falder overslagsspændingen for gnistgabet og dermed udgangsspændingen, men som senere vist kan disse størrelser let måles.

Det opnåede frekvensspektrum er vist på fig. 16 og fig. 17 giver det komplette diagram.

Selve gnistgabet er dannet ved at afbryde et 75 Ω

koaksial-kabel og lodde små nikkelskiver på inderlederne, hvorefter kablet igen er samlet ved at skyde enderne ind i et metalrør, der omslutter enderne af kabelkappen. Gnistgabets længde kan da let varieres. For at kunne nøgle generatoren, så den afgiver impulstog, er der tilsluttet lademodstanden en trigger, som vist på diagrammet. Triggeren er opbygget med en triode og skærm- og styregitteret i pentoden EL81, hvis anode er tilsluttet kablets lademodstand, således at gnistgabet kun arbejder, når pentoden ikke leder. Triggeren styres af en blokeringsoscillator, hvis frekvens kan varieres mellem 50 og 200 Hz, og ved at variere tidskonstanten i triggeren kan længden af den periode, hvor pentoden ikke leder, og dermed længden

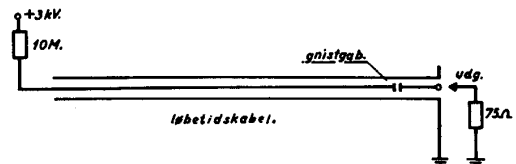


Fig. 15. Det impulsdannende kredsløb i en generator med gnistgab.

af impulstogene varieres uafhængigt af togenes repetitionsfrekvens.

Udgangsspændingens frekvensspektrum og størrelse er målt på den måde, der er omtalt i et senere af-

snit. Ved denne måling er gnistgabet indstillet, så overslagsspændingen er 1800 volt, således at udgangsspændingen, såfremt kredsløbet virker ideelt, er 2,5 ns-impulser med en højde på 900 volt.

Ifølge første del af artiklen giver dette efter et ideelt 1 MHz-filter en impuls med en spidsspænding på $V = 2E \cdot t_f$, og generatorens udgangsspænding bliver da $= 2 \cdot 900 \cdot 2,5 \cdot 10^{-9} \cdot 1 \cdot 10^6 = 4500 \text{ mV/MHz}$ eller 4,5 V/MHz.

Med en modtager med en båndbredde på 5 MHz, f. eks. en TV-modtager, vil dette altså svare til en impuls på indgangen på $4,5 \times 5 \sim 20$ volt, altså en meget kraftig impuls. Ved arbejdet med generatoren må man derfor i reglen koble den til modtageren gennem et dæmpningsled*).

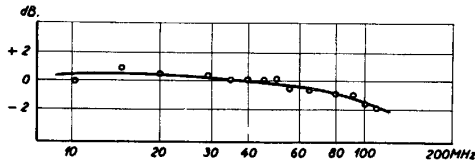


Fig. 16. Det målte frekvensspektrum for impulserne fra en generator med gnistgab. Den lille afvigelse fra det helt jævne spektrum kan ved de lavere frekvenser skyldes målemetodens usikkerhed. Ved de højeste frekvenser (ca. 100 MHz) svarer det lille fald i spektrets højde til, at det med den anvendte kabellængde skal være faldet ca. 3 dB ved 200 MHz.

Målinger på generatoren med en modtager som omtalt i et følgende afsnit viste en udgangsimpuls på 4,3 V/MHz, i udmærket overensstemmelse med det, der er beregnet for en ideelt virkende generator. Impulsen er således veldefineret, og dens størrelse kan, i modsætning til hvad tilfældet var ved tyratrongeneratoren, bestemmes ved simple målinger på generatoren, hvorfor disse omtales mere indgående i det følgende afsnit.

Måling på impulsgenerator med gnistgab

Ved måling på en modtager med denne generator er følgende størrelser bestemmende for impulsernes virkning på modtagerens kredsløb: Længde og højde af de enkelte impulser, længde og repetitionsfrekvens for impulstogene samt antallet af impulser i hvert impulstog. Disse størrelser kan bestemmes ved simple målinger.

Længden af impulserne er som tidligere nævnt fastlagt af kabellængden og er ved denne generator 2,5 ns. Denne impuls er så kort, at bredden af den impuls, der når gennem en modtagers MF-del kun afhænger af dennes båndbredde.

Impulsens spidsspænding er halvdelen af den spænding, kablet oplades til, inden gnistgabet slår igennem. Denne spænding kan måles med en oscillograf, der er koblet til kablet gennem en lille kondensator på et par pF, ved at måle de spændingsspring, der opstår på kablet ved dets udladninger. Kondensatoren, der er vist på diagrammet, skal kunne tåle spændingen på kablet og består af sammensnoet monte-

* Ved måling på modtagere med denne og de øvrige i artiklen omtalte generatorer er anvendt et variabelt dæmpningsled, opbygget af normale kulmodstande monteret på små vippeomskiftere. Se f. eks. Valley og Wallman: Vacuum Tube Amplifiers, Radiation Laboratory series, bd. 18, side 314-316.

ringstråd med PVC-isolation. Oscillografen med tilledninger danner med denne lille kondensator en kapacitiv spændingsdeler, der må kalibreres ved en passende høj frekvens 10–100 kHz, idet oscillografens indgangsimpedans ved denne frekvens må være overvejende kapacitiv. Med en sådan opstilling kan man få en korrekt måling af spændingsfaldet på kablet ved udladningen gennem gnisten. Dette spændingsfald er lig gnistgabets overslagsspænding og det dobbelte af impulshøjden. Det er en måling af denne art, der viser overensstemmelse med den tidligere angivne beregnede størrelse af udgangsspænding på 4,5 V/MHz. En direkte udmåling af gnistgabets overslagsspænding giver naturligvis samme oplysning, men er mindre bekvem. Måling af impulshøjden må foretages, hver gang gnistgabet er ændret (f. eks. for at ændre repetitionsfrekvensen).

Impulstogenes længde, d. v. s. den tid gnistgabet er nøglet ind, kan måles ved at iagttage signalet, der kommer gennem en modtager, på en oscillograf eller hvis der benyttes en TV-modtager, at se på billedskærmen. I sidste tilfælde må togenes repetitionsfrekvens dog være synkron med billedfrekvensen.

Antallet af impulser i hvert tog kan bestemmes ud fra gnistgabets repetitionsfrekvens, men en bekvemmere bestemmelse kan opnås ved måling af jævnstrømmen gennem gnistgabet, f. eks. som vist på diagrammet, hvor et μA -meter er indskudt i serie med kablets lademodstand. Antallet af impulser pr. sekund

bliver da $n = I \frac{R}{V_1 T_1}$ pr. s., hvor R er kablets afslutningsmodstand, her 75Ω , V_1 impulsspændingen i volt og T_1 impulslængden i sekunder. I er den målte strøm i ampere.

Indsættes de mere praktiske enheder kV, μA og ns fås samme udtryk. Af n bestemmes antallet i hvert impulstog let.

Måling af impulserne og deres frekvensspektre

Måling af udgangsspændingernes frekvensspektre skete ved med en oscillograf at sammenligne den impuls, der kommer gennem en modtager, med den impuls, der kommer gennem modtageren, når denne tilsluttes en målesender, der moduleres med en impuls, hvis frekvensspektrum er bredt i forhold til modtagerens båndbredde. Ved målingerne er anvendt en Hewlett-Packard målesender type 608 A, hvis modulerede udgangstrin dæmpes, så dens båndbredde bliver tilstrækkelig stor. Den moduleres med $1 \mu\text{s}$ impulser fra en Hewlett-Packard-impulsgenerator, type 212A, således at dens udgangsspænding bliver svingningstog af denne længde, hvis frekvensspektrum har de første nulpunkter 1 MHz til hver side for bærebølgen, og således er bredt i forhold til modtagerens båndbredde, der i området 27–108 MHz er 200 kHz og på de lave områder 9 kHz. Målesenderen og støjgeneratoren tilsluttes modtageren gennem hver sit kalibrerede dæmpningsled.

Ved disse målinger bestemmes impulsernes frekvensspektrum, men desuden kan deres areal og dermed som tidligere angivet deres størrelse i mV/MHz findes. Denne bestemmelse er illustreret på fig. 18. Målesenderen afgiver en impuls som vist fig. 18 a be-

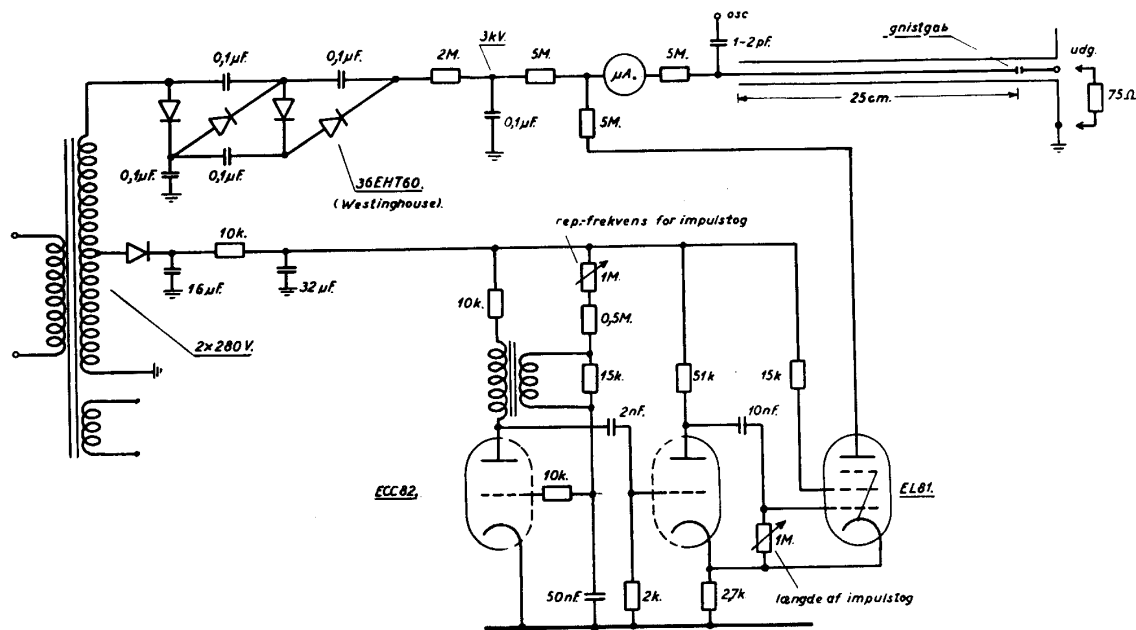


Fig. 17. Diagram af impulsgeneratoren med gnistgab. Elektronrørene tjener udelukkende til at nøgle generatoren, så den afgiver impulstog. Længden af disse bestemmes af en trigger, og deres repetitionsfrekvens bestemmes af en blokeringsoscillator. Blokeringstransformatoren er af den type, der anvendes i billedafbøjningsoscillatorer i TV-modtagere.

stående af en svingning med frekvensen f_0 og varigheden $1\mu s$. Amplituden er angivet ved V_{max} . På samme figur er vist frekvensspektrum for denne impuls med modtagerens selektivitetskurve indtegnet (skraveret). I fig. 18 b vises en $1\mu s$ impuls med sit frekvensspektrum, og har denne impuls højden $\frac{1}{2} V_{max}$. (svarende til at energien i den er det halve, og dens højde derfor er $\frac{1}{\sqrt{2}}$ gange V_{eff}) vil dens spektrum både i størrelse og form være lig halvdelen af spektret i fig 18 a, såfremt nulpunktet forskydes til frekvensen f_0 .

Spektrrets højde er ved lave frekvenser kun afhængig af impulsens areal, og gøres derfor den nævnte $1\mu s$ impuls med højden $\frac{1}{2} V_{max}$, smallere og smallere uden at ændre arealet, vil dens spektrum brede sig til højere og højere frekvenser uden at ændre højde. (Dette svarer til, at energien i impulser med samme areal er proportional med højden). Gøres den så smal, at dens spektrum dækker modtagerens område som vist på fig. 18 c, vil modtageren ikke kunne skelne de to impulser fig. 18 a og c. En målesenderimpuls med længden $1\mu s$ og højden V_{max} , vil altså på modtageren være lig en impuls fra generatoren med et areal på $\frac{1}{2} V_{max} \cdot 10^{-6}$, hvoraf størrelsen af generatorens udgangsspænding i mV/MHz beregnes.

Anvendelse af generatorerne

Til slut skal kort omtales nogle anvendelser af impulsgeneratorer af den her beskrevne art.

Ved udvikling af FM-modtagere benyttes de ved undersøgelse af begrænser- og detektorkredsløb. Er modtageren i orden og trimmet rigtigt, vil impulsstøjen i modtagerens udgangsspænding være mindst,

når modtageren er indstillet således, at det ønskede signals bærefrekvens falder på detektorens midter-

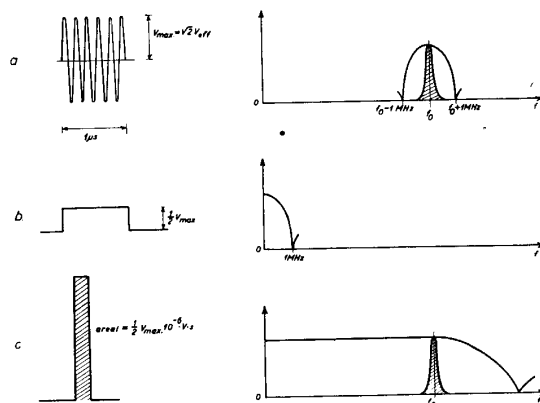


Fig. 18. Impulsformer og frekvensspektre til bestemmelse af en kort impuls med samme virkning på en modtager afstemt til frekvensen f_0 som et svingningstog med frekvensen f_0 og længden $1\mu s$. Se nærmere i teksten.

frekvens. Helt undgås kan impulsstøjen imidlertid ikke, idet impulsen forårsager en vis frekvensmodulation af den ønskede bærebølge*).

* I. C. Tellier: An Analysis of the Behaviour of a Limiter-Discriminator FM-Detector in the Presence of Impulse Noise. Proc. of the National Electronics Conference, III, Chicago 1947, side 680-696.

Vernon D. Landon: Impulse Noise in FM Reception; Electronics XIV Feb. 1941. Genoptrykt i R.C.A.: Frequency Modulation, Vol. 1 1948, side 230-244.

D. B. Smidt og W. E. Bradley: The Theory of Impulse Noise in Ideal Frequency Modulation Receivers. Proc. I.R.E., 34, okt. 1946, side 743-751.

Indenfor *fjernsynsteknikken* kan impulsgeneratorerne bruges ved undersøgelse af videoforstærkere, men især ved måling på fjernsynsmodtagere er der en række anvendelser. De kan således bruges til undersøgelse af blokeringsfænomener i modtagerens forskellige trin. Store tidskonstanter i gitterkredsløbene vil vise sig ved at modtageren er blokeret i længere tid efter kraftige impulser. Sker denne blokering i HF- eller MF-forstærkere vil man i videosignalet få en forstyrrelse, der er længere end den, der svarer til modtagerens båndbredde, og i billedet vil man få en hvid streg efter impulsen. I de senere år er man af denne grund begyndt at anvende bifilare spoler i MF-forstærkeren*), hvorved man kan opnå en klipning af impulserne i de sidste MF-trin uden blokering.

*) S. R. Scheiner: Bifilar I-F Coils, Electronics XXIII, juni 1950, side 104-107.

Sker blokeringen i separatoren, vil synkroniseringen gå tabt en tid efter impulsen, og målinger på separatoren med en impulsgenerator er derfor en stor hjælp ved dimensioneringen. Ved måling på separator- og synkroniseringsløb samt kredsløb for automatisk forstærkningskontrol er det i modtagere med bifilare spoler i MF-forstærkeren oftest nødvendigt, at generatoren kan afgive impulstog for at få tilstrækkeligt store forstyrrelser igennem til disse kredsløb.

I superheterodynmodtagere er det i reglen MF-forstærkeren, der bestemmer modtagerens båndbredde, og denne er således i reglen den samme på alle frekvensområder. En impulsgenerator er derfor velegnet til simpel *kontrol af modtagerens følsomhed* og man kan benytte den ved trimming af modtagerens HF-del. Dette har også betydning ved kontrol af transportable målemodtagere, f.eks. til feltstyrke- og støjmålinger.