

RADIOMETER

Type CMB1

Kapacitetsmålebro

Elektriske måleapparater
til videnskabelig og
industriel anvendelse



Type CMB1
Kapacitetsmålebro

1351-CMB1/OSF1
Bl-Forside

- Indhold -

Indledning	side 1
Beskrivelse	" 1
Princip og Hovedbestanddele	" 1
Broens afskærmning	" 2
Broens detaljerede udformning	" 2
Faseudligning (POWER FACTOR)	" 3
RESIDUAL GROUND BALANCE	" 3
Kapacitetsnormalerne	" 4
Bøsning B	" 4
Almindeligt vedrørende brugen af CMB1	" 4
Generator og detektor	" 4
Kontrol af nulpunkt	" 4
Indstilling af RESIDUAL GROUND BALANCE	" 5
Tilslutning af måleobjekt	" 5
Bestemmelse af tabsfaktor	" 5
Målespænding	" 6
Oversigt over måleområder og måleusikkerhed	" 6
Figurer til teksten	plan 1
Diagram	450 - A2

Indledning

Type CMB1 Kapacitetsmålebro er en direkte kalibreret præcisionsbro til kapacitetsmåling ved tonefrekvens. Måleområdet strækker sig fra ca. 0,001 pF til 1,111 μ F, fordelt over 5 områder. Balanceringen foregår ved en samtidig balancering af kapacitet og tab. Ved en enkelt frekvens, broens mærkefrekvens (1000, evt. 800 Hz), kan tabsfaktoren aflæses direkte.

Broen er indrettet på en sådan måde, at måleobjektet kan tilsluttes gennem skærmede kabler, uden at disses kapacitet indgår i måleresultatet. Herved opnås, at man i de fleste tilfælde helt kan se bort fra tilledningskapaciteter.

Broens princip muliggør direkte måling af de enkelte kapacitetskomponenter, jordede såvel som svævende, i sammensatte netværk.

Beskrivelse

Princip og Hovedbestanddele

Det til grund liggende princip for CMB1 er vist på plan 1, fig. 1: Ved hjælp af en aftrappet autotransformator, L, der benyttes som spændingsdeler, varieres spændingen V_2 over den faste normalkondensator C_N , samtidig med at modstanden R varieres. Spændingen over detektoren vil være nul, når produktet af spænding og admitans er ens for de to brogrene.

En spændingsdeler af den her antydende art vil ved hensigtsmæssig udførelse være overordentlig nøjagtig og stiv over for belastning. I de i CMB1 benyttede autotransformatorer, som er på 20 sektioner, er fejlen på spændingsdelingen af størrelsesordenen 1 på 10^5 , således at målenøjagtigheden udelukkende er bestemt af normalkondensatorernes nøjagtighed. Medens autotransformatoren yder høj impedans over for oscillatorspændingen, er stivheden over for belastning den samme som for en spændingsdeler bestående af $20 \times 0,8 \Omega$.

Det er denne stivhed, der betinger broens evne til at kunne udvælge enkelte kapacitetskomponenter af et netværk. Et eksempel herpå er vist på fig. 2, plan 1: Af kapacitetstrekanten C_1 - C_2 - C_3 ønsker man at måle C_1 alene.

Fællespunktet for C_2 og C_3 forbindes til samme transformator-udtag, D, som detektoren. Herved kommer C_2 til at ligge som shunt til en del af autotransformatoren, hvilket praktisk taget ikke påvirker spændingsdelingen, sålænge C_2 holdes inden for visse grænser. (Se afsnittet om måleområder og måleusikkerhed). C_3 kommer til at ligge som shunt til detektoren, hvilket højst kan nedsætte dennes følsomhed. Tilbage at udbalancere bliver derfor kun C_1 .

Broens afskærmning

Broens afskærmning er i princippet vist på plan 1, fig. 3: Autotransformator med tilhørende omskifterarrangement er indkapslet i et indre chasis (stiplet), hvortil autotransformatorens midtpunkt D er forbundet. Det indre chasis er isoleret ophængt i det ydre chasis (punkteret), som holdes jordet. Man ser, hvorledes målekablernes skærme er forbundet til henholdsvis indre og ydre chasis, således at kabelkapaciteterne ikke indgår i målingerne.

Ved måling på jordede objekter forbindes M til ydre chasis. Ved måling på svævende objekter forbindes indre og ydre chasis sammen. Dette er illustreret i figurerne 4 og 5, der som et eksempel viser måling af delkapaciteter i en skærmet dobbeltledning. For nemheds skyld er generatoren i fig. 4 og 5 vist indbygget. I praksis benyttes udvendig generator og indbygget dobbeltskærmet transformator, som vist på fig. 3.

Broens detaljerede udformning fremgår af det fuldstændige diagram, tegning nr. 450-A2. Kapacitetsnormalen består her af 3 faste normaler, 10000 pF, 1000 pF og 100 pF plus en variabel normal (VK8) ca. 4-14 pF. Den variable normals minimumskapacitet er udbalanceret ved hjælp af en indstillelig kondensator (ZERO), hvorved dens tilsyneladende variation bliver 0-10 pF.

Spændingsdeleren er opbygget af 2 autotransformatorer, på den måde at transformator nr. 2 er koblet til den midterste tiendedel af transformator nr. 1. Herved bliver det muligt at opnå deleforhold på indtil 1:100.

Ved hjælp af omskifttere kan de 3 faste normaler flyttes rundt på spændingsdekaderne.

De 5 måleområder fremkommer nu på følgende måde:

x100: Måleobjektet kobles til hundrededelsudtaget til venstre. De 3 faste normaler benytter dekaden på højre side af transformator 1. Fuld spænding over VK8.

x10: Måleobjektet kobles til tiendedelsudtaget til venstre. Iøvrigt som ved x100.

x1: Fuld spænding over måleobjektet. Iøvrigt som ved x100 og x10

x0.1: Fuld spænding over måleobjektet. De 3 faste normaler benytter dekaden på højre side af transformator 2. 1/10 spænding over VK8.

x0.01: Fuld spænding over måleobjektet. De 3 faste normaler ude af funktion. 1/100 spænding over VK8.

Faseudligning (Power factor) foretages med den på figurerne på plan 1 viste variable modstand R. Den består af en kontinuerlig del, som dækker området $0-10 \times 10^{-3}$ i serie med en dekade, som dækker området fra $0-100 \times 10^{-3}$. Justeringen gælder kun ved broens mærkefrekvens, 1000 eller 800 Hz.

I området x0.01, hvor de faste normaler er frakoblet, er R praktisk taget virkningsløs. Den er derfor suppleret med det på tegning 450-A2 viste arrangement, der er mekanisk sammenkoblet med den kontinuerlige tabsfaktorskala. I områderne x0.1, x1, x10 og x100 har dette arrangement næsten ingen indflydelse, således at de to faseudligningsarrangementer stort set supplerer hinanden uden at det ene indvirker forstyrrende på det andet. Det fremhæves, at skalakalibreringen ikke gælder for det supplerende faseudligningsarrangement.

RESIDUAL GROUND BALANCE. Ved måling af jordede objekter vil residuale utætheder mellem broens indre og jord vise sig som en ækvivalent forskydning af broens nulpunkt. Den ækvivalente nulpunktsforskydning er i sig selv meget ringe, nogle få hundrededele pF. Disse utætheder kan kompenseres med indstillingerne RESIDUAL GROUND BALANCE, som findes tilgængelige under et skilt på forpladen.

Kapacitetsnormalerne. De 3 faste normaler er indkapslede glimmernormaler af anerkendt fabrikat. Deres kapacitet er ved 20°C justeret med en nøjagtighed bedre end 0.05%. Broen er således indrettet, at normalerne fremtræder tabsfrie ved mærkefrekvensen 1000 Hz (evt. 800 Hz).

Den variable normal (VK8) med tilhørende balancekondensator (ZERO) er udført som trepunktskondensatorer og er derfor i sig selv praktisk talt tabsfrie. Arrangementet til udligning af de faste normaler tab bevirker imidlertid at VK8, når den benyttes alene, fremtræder med en lille negativ tabsfaktor af størrelsesordenen $0,4 \times 10^{-3}$. Dette er årsagen til, at POWER FACTOR skalaen ikke viser nul, når broens nulpunkt indstilles.

Autotransformatorerne er allerede omtalt i beskrivelsens første afsnit, side 1.

Bøsning B er beregnet til brug ved tolerancemålinger med ydre normal, differentialmålinger etc.

Almindeligt vedr. brugen af CMB1

Generator og detektor: Som generator kan enhver god tonegenerator anvendes. Som detektor bør benyttes en forstærker og hovedtelefon, eller evt. et rørvoltmeter. I tilfælde, hvor en nøjagtighed på ca. 1% er tilstrækkelig, kan en hovedtelefon alene gøre fyldest, hvis målingen foregår på et roligt sted.

Direkte kobling mellem generator og detektor bør undgås ved passende skærmning, da det vil give anledning til fejlmåling.

RADIOMETER's Oscillator-Forstærker type OSF1, som indeholder en netdreven generator og en selektiv 50 db forstærker, er specielt bygget med henblik på anvendelse i forbindelse med målebroer.

Kontrol af nulpunkt: Broen jordes og tilkobles generator og detektor. Kun selve målebroen må have direkte jordforbindelse, medens generator og detektor får jordforbindelse gennem deres tilledninger til broen. Eventuelle målekabler udtages, således at bøsningerne A, M og B er tomme. Stil omskifteren C_x i stilling FREE og omskifteren MULTIPLY C_x BY i stilling x1. Med alle andre omskiftere og skalaer i nulstilling kontrolleres broens nulpunkt. Om fornødent foretages en justering med kærviskruen mrk. ZERO.

For at opnå godt lydminimum kan det være nødvendigt at stille lidt på den kontinuerlige skala POWER FACTOR $\times 10^{-3}$, (sml. afsnittet om kapacitetsnormalerne).

Indstilling af RESIDUAL GROUND BALANCE: Skift herefter til området $\times 0.01$. Lydminimum tilvejebringes atter ved at efterindstille POWER FACTOR- og pF-skalaerne. Stil nu omskifteren C_x i stilling GROUNDED. Med de 2 kærveskruer, som findes tilgængelige under skiltet RESIDUAL GROUND BALANCE udbalanceres den ækvivalente skævhed indtil tavshed opnås påny. (Denne sidste indstilling er ikke nødvendig, medmindre der skal måles ganske små ($\ll 10$ pF) jordede kapaciteter).

Tilslutning af måleobjekt. Måleobjektet tilsluttes gennem 2 skærmede kabler, som indsættes i bøsningerne A og M. Hvis der måles på en sammensat kapacitet, kan uønskede bestanddele udskydes ved at forbinde deres fællespunkt til det indre chassis = A-kablets skærm. Sml. plan 1 fig. 2 og teksten side 1 nederst.

Eftersom måleobjektet er jordet eller svævende, stilles omskifteren C_x i stilling GROUNDED eller FREE. I stilling GROUNDED er M jordet. I stilling FREE har A lavest impedans til jord. Den side af C_x , der er mest udsat for at opsamle brum, bør derfor såvidt muligt forbindes til den bøsning, der har lavest impedans til jord.

Ved skiftning af måleobjekt kan detektoren kortsluttes ved at stille C_x -omskifteren i stilling 0.

Bestemmelse af tabsfaktor

Ved mærkefrekvensen er tabsfaktorskalaerne direkte visende, undtagen i området $\times 0.01$ og ved ganske små kapaciteter. Se nedenfor.

Ved andre frekvenser består der ingen simpel sammenhæng mellem den aflæste og den sande tabsfaktor, hvorfor det i sådanne specielle tilfælde anbefales at bestemme tabsfaktoren ved en substitutionsmåling.

Ved måling af store kapaciteter ($> 0.05 \mu\text{F}$) i området $\times 100$ bevirker modstanden i det udtag på autotransformatoren, hvortil C_x er sluttet en tilsyneladende forøgelse af tabsfaktoren. Der gælder ved 1000 Hz følgende korrektion:

$$\text{sand tabsfaktor} = \text{aflæst tabsfaktor} - 4,5 \times 10^{-3} C_x$$

hvor C_x er måleobjektets kapacitet i mikrofara.

Ved 800 Hz er korrektionen:

$$\text{sand tabsfaktor} = \text{aflæst tabsfaktor} - 3,6 \times 10^{-3} C_x$$

Ved måling af små kapaciteter (≤ 100 pF) nødvendiggør det i indledningen under Faseudligning omtalte supplerende arrangement en korrektion

$$\text{sand tabsfaktor} = \text{aflæst tabsfaktor} \left(1 + \frac{2,2}{C_x}\right)$$

hvor C_x er måleobjektets kapacitet i picofarad. Denne korrektion gælder kun for områderne x1 og x0,1. I området x0,01 er tabsfaktoren netop

$$\text{aflæst tabsfaktor} \times \frac{2,2}{C_x}$$

De her anførte udtryk gælder for 1000 Hz. Ved 800 Hz skal der i stedet for $2,2 \times 10^{-12}$ regnes med $2,8 \times 10^{-12}$.

Målespænding Ved broens mærkefrekvens bør oscillatorspændingen ikke overstige 50 volt. Ved frekvenser under 500 Hz bør oscillatorspændingen ikke overstige 0,1 volt per Hz. Indgangstransformatoren er således dimensioneret, at man i områderne

x0.01, x 0.1 og x1 har oscillatorspænding =	spænding over C_x
x10 " " "	= 10x " " "
x100 " " "	= 100x " " "

Oversigt over Målerområder og Måleusikkerhed

Område x0.01: 0-0.1 pF med den kontinuerlige pF-skala alene
Usikkerhed ± 0.0005 pF

Område x0.1: 0-1111 pF. Usikkerhed $\pm 0.1\%$ eller ± 0.005 pF.

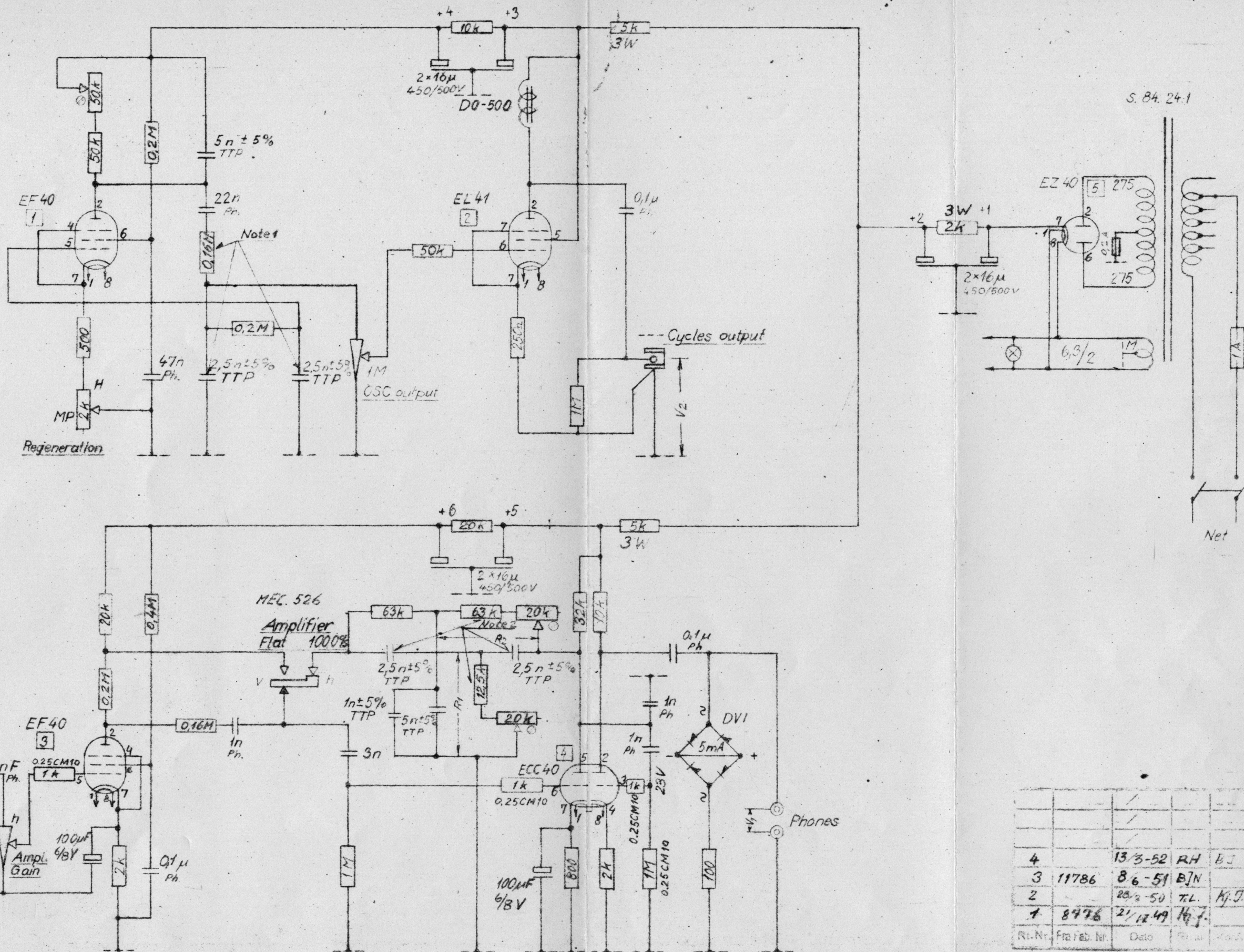
Område x1: 0-11,110 nF. Usikkerhed $\pm 0.1\%$ eller ± 0.05 pF

Område x10: 0-0,1111 pF. Usikkerhed $\pm 0.1\%$ eller ± 0.5 pF

Område x100: 0-1,111 pF. Usikkerhed $\pm 0.1\%$ eller ± 5 pF

De her anførte måleusikkerheder på kapacitet gælder i frekvensområdet 200-5000 Hz, dog med den nedenfor anførte lille indskrænkning. Ved 50 Hz og 10 kHz er nøjagtigheden faldet til 0,2%. Over 2000 Hz er den største kapacitet, som kan måles med fuld nøjagtighed $4/f^2$ microfarad, hvor f er frekvensen i kHz.

Tabsfaktorskalaernes kalibrering er for kapaciteter større end 100 pF behæftet med en usikkerhed på $1\% + 0,1 \times 10^{-3}$, når der tages hensyn til korrektionen ved store kapaciteter. For kapaciteter under 100 pF er usikkerheden noget større, stigende til $10\% + 0,5 \times 10^{-3}$ for helt små kapaciteter (< 10 pF).



4	13/3-52	RH	BJ
3	11786	8.6-51	BJN
2		28/3-50	TL
1	8776	2/12-49	HJ
Rt. Nr. Fra Fab. Nr. Dato			

DENNE TEGNING TILHØRER
RADIOMETER
 KØBENHAVN
 OG MAA IKKE OVERLADES TIL,
 KOPIERES ELLER UDNYTTES AF
 UVEDKOMMENDE

RADIOMETER
 COPENHAGEN
 This drawing must not be passed on to
 any person not authorized by us to re-
 ceive it, nor be copied or otherwise made
 use of by such person without our authority

RADIOMETER
 KØBENHAVN

Oscillator - Amplifier
 Type OSF12
 Strømskema fra App.nr. 8776 -

512 A3
 Erstattet af:

DENNE TEGNING TILHØRER
RADIOMETER
 KØBENHAVN
 OG MAA IKKE OVERLADES TIL,
 KOPIERES ELLER UDNYTTES AF
 UVEDKOMMENDE

RADIOMETER
 COPENHAGEN
 This drawing must not be passed on to
 any person not authorized by us to re-
 ceive it, nor be copied or otherwise made
 use of by such person without our authority

$$R_x = \frac{V_2}{V_1} R_N$$

$$\frac{1}{j\omega C_x} = \frac{V_2}{V_1} \frac{1}{j\omega C_N} \quad C_x = \frac{V_1}{V_2} C_N$$

C₁

CMB 1

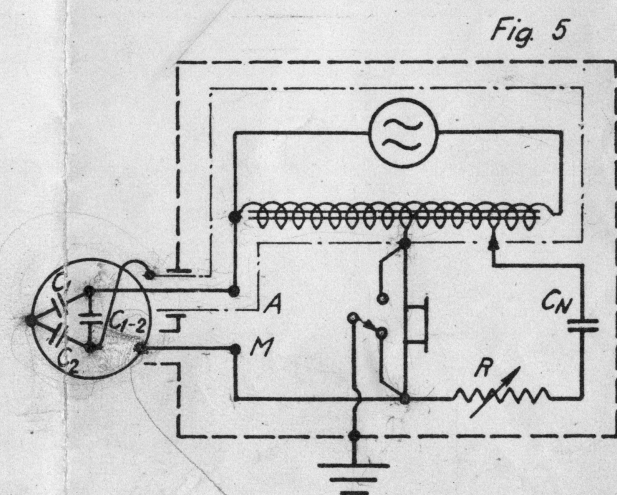
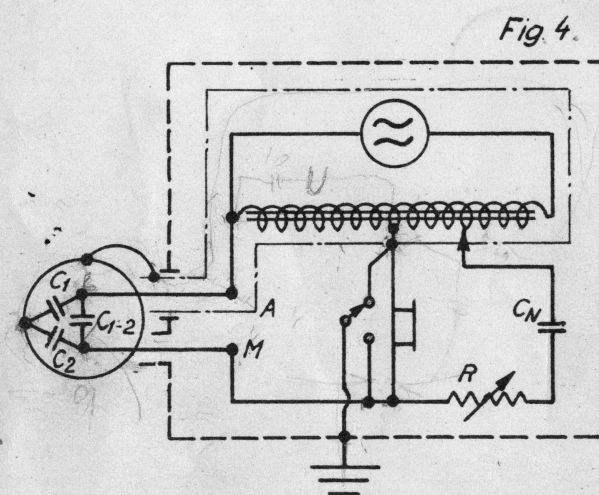
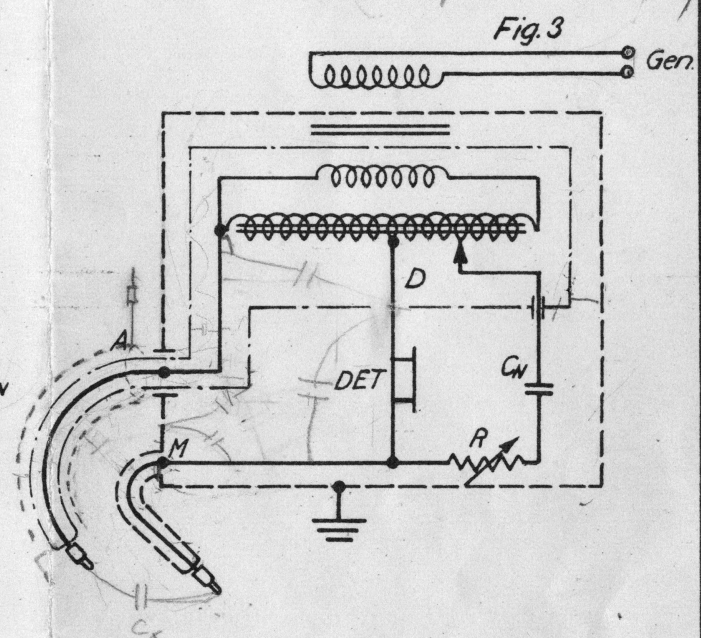
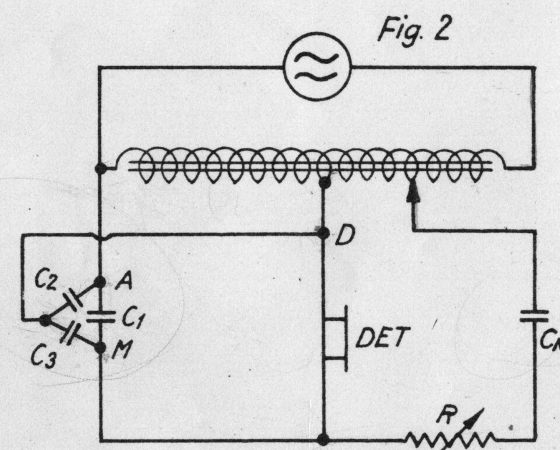
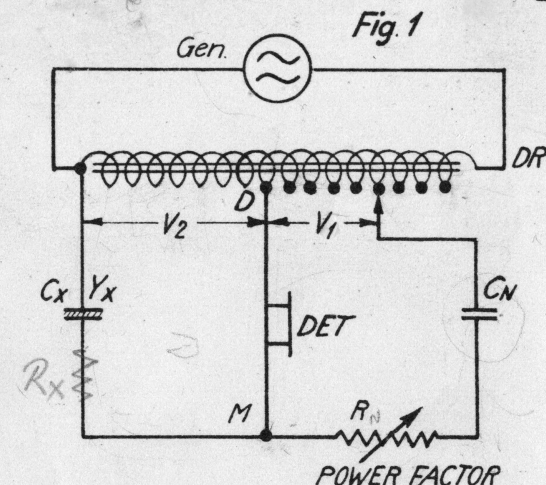
Plan 1

Zero condition:

$$\frac{V_2}{V_1} = Y_x (R + j\omega L_N)$$

$$\frac{V_2}{R_x + \frac{1}{j\omega C_x}} = \frac{V_1}{R_N + \frac{1}{j\omega C_N}}$$

$$R_x + \frac{1}{j\omega C_x} = \frac{V_2}{V_1} (R_N + \frac{1}{j\omega C_N})$$



Direct capacitance (C₁₋₂)

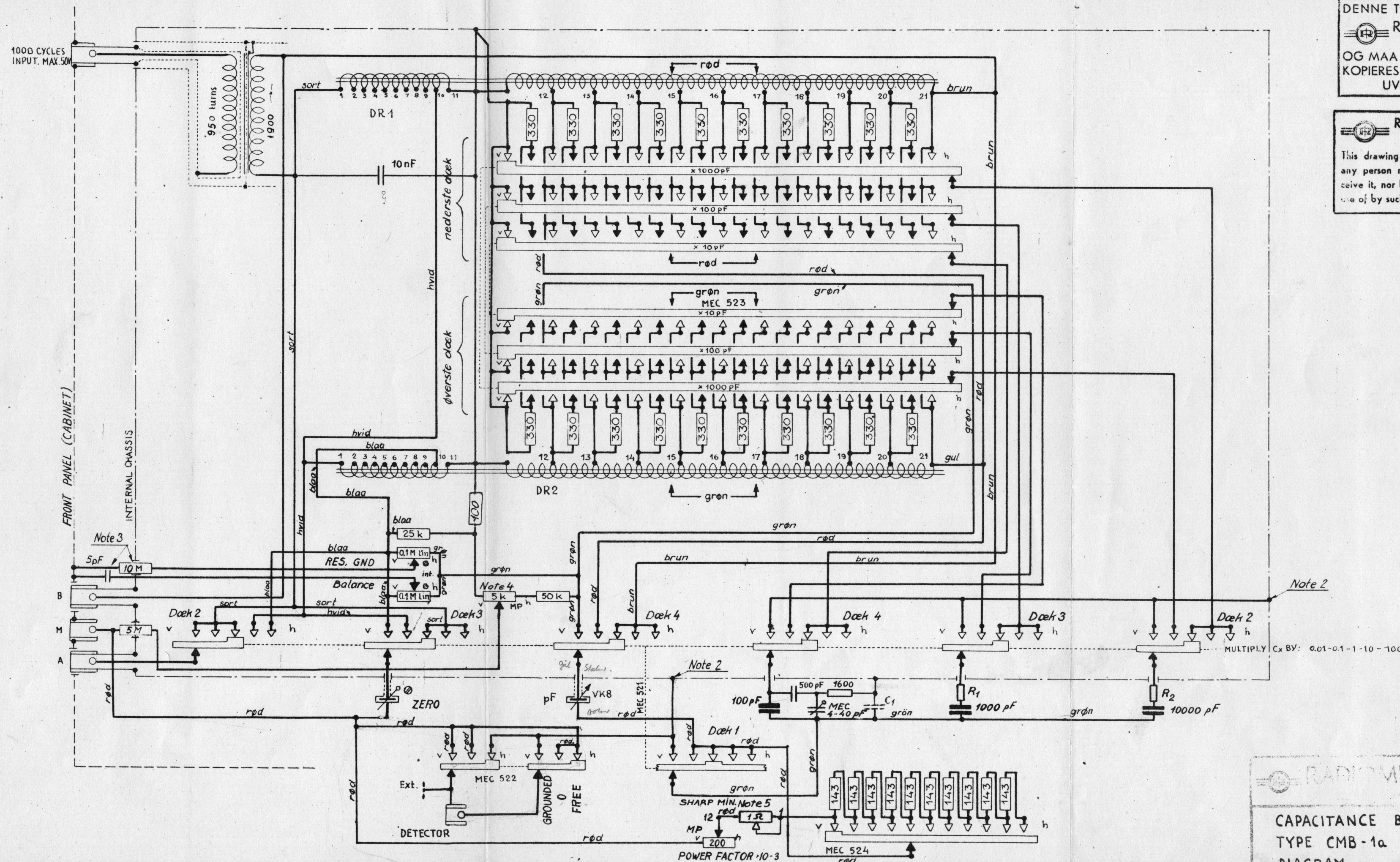
Ground cap. (C₁)

free

grounded

DENNE TEGNING TILHØRER
RADIOMETER
 KØBENHAVN
 OG MAA IKKE OVERLADES TIL,
 KOPIERES ELLER UDNYTTES AF
 UVEDKOMMENDE

RADIOMETER
 COPENHAGEN
 This drawing must not be passed on to
 any person not authorized by us to re-
 ceive it, nor be copied or otherwise made
 use of by such person without our authority



CAPACITANCE BRIDGE
 TYPE CMB-1a
 DIAGRAM