



BM 400 E

TESLA BM 400E

NAVOD K OBSLUZE

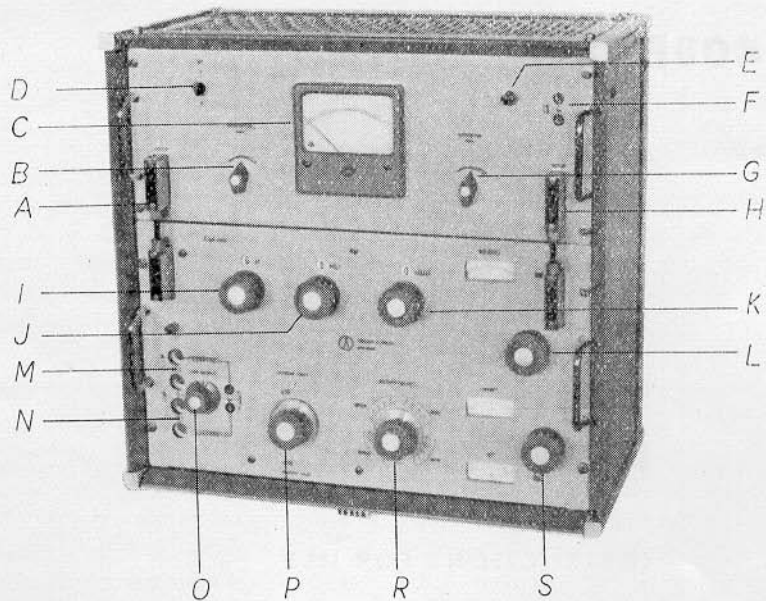
PŘESNÝ C MOST

INSTRUCTIONS FOR USE

PRECISION CAPACITANCE BRIDGE

ČÍSLO DOKUMENTACE

169



Obr. 1 - Fig. 1

- A – Kabel propojující generátor s mostem
- B – Potenciometr – k regulaci výst. napětí zdroje pevného kmitočtu
- C – Měřidlo
- D – Síťový vypínač
- E – Kontrolní žárovka
- F – Zdířky pro připojení sluchátek
- G – Potenciometr – k regulaci vstupního napětí selekt. zesilovače
- H – Kabel propojující most se selektivním zesilovačem

- I }
J } – Přepínače sloužící k hrubému nastavení hodnoty
K } měřené kapacity
- L – Diferenciální kondenzátor k jemnému nastavení měřené hodnoty C_x
- M – Zdířky pro připojení měřeného kondenzátoru
- N – Zdířky pro připojení srovnávacího kondenzátoru
- O – Přepínač funkce
- P – Přepínač rozsahů C_x případně G_x
- R – Přepínač k nastavení rozsahu $\tan\delta$ při různých měrných kmitočtech
- S – Plynule proměnný kondenzátor k jemnému vyrovnání $\tan\delta$ případně vodivosti G

- A – Cable connecting the generator to the bridge
- B – Potentiometer, output voltage control of the fixed frequency source
- C – Meter
- D – Mains switch
- E – Pilot lamp
- F – Sockets for headphones
- G – Potentiometer, output voltage control of the selective amplifier
- H – Cable connecting the bridge to the selective amplifier

- I }
J } – Switches for rough setting of the measured
K } capacitance C_x
- L – Differential capacitor for fine setting of the measured capacitance C_x
- M – Sockets for the measured capacitor
- N – Sockets for the reference capacitor
- O – Function selector
- P – Selector of the C_x or G_x range
- R – Switch for $\tan\delta$ range setting according to the measuring frequency
- S – Continuously controllable capacitor for fine setting of $\tan\delta$ or of the conductance G

POUŽITÍ

Přesný C most je určen k měření kapacit v širokém rozsahu. Ztrátový úhel $\tan\delta$ můžeme odečíst v rozsahu $0 - 10^{-1}$. Předností tohoto měřicího zařízení je zabudovaný zdroj pevného kmitočtu a selektivní zesilovač, čímž je dosaženo velké pohotovosti měření. Základ mostu tvoří vhodné mostové zapojení, které umožňuje dosažení vysoké přesnosti a vysoké rozlišovací schopnosti mostu. Toto mostové zapojení ve spojení se spolehlivým generátorem a citlivým indikátorem dovoluje provádět i nejnáročnější měření.

Na mostě lze měřit uzemněnou a průchozí kapacitu. Měření průchozí kapacity můžeme provádět i v zabudovaném stavu, protože impedance vůči zemi nám měření neovlivní. Vysoká rozlišovací schopnost mostu umožňuje měření teplotního koeficientu různých kondenzátorů. Na mostu lze provádět různá srovnávací měření použitím přímé nebo nepřímé metody. Pomocí přímé metody (most má vyvedené svorky N pro připojení srovnávacího kondenzátoru) můžeme provést přesné nastavení souběhu dvou kondenzátorů, výběr shodných kondenzátorů pro filtry apod. Nepřímo, tj. substituční metodou, můžeme provést srovnání různých vzduchových normálových kondenzátorů, frekvenčního průběhu kondenzátorů apod. Použijeme-li vzduchového kondenzátoru s ochrannou elektrodou, můžeme provést měření dielektrické konstanty materiálu.

Předností tohoto mostu je jeho vysoká přesnost a velký rozsah hodnot. Toto je dosaženo použitím zapojením s dělicími poměrovými tlumivkami pro desetinné i jednotkové

APPLICATION

The Tesla BM 400E precision capacitance bridge is designed for capacitance measurements within a wide range. The loss angle $\tan\delta$ can be read directly within the range 0 to 10^{-1} . The great advantage of this instrument are the built-in fixed frequency source and selective amplifier which greatly increase the versatility of the measurements. The instrument is basically a bridge circuit which ensures great accuracy and high resolving power. This bridge circuit in connection with a reliable generator and a sensitive balance indicator enables the carrying out of even the most exacting measurements.

The bridge measures earthed or through-capacitances. The latter can be measured even when they are already mounted in an instrument, as the bridge is not affected by impedances against earth. The high resolving power of the bridge enables the temperature coefficient measurement of various capacitors.

With the bridge can be carried out also various comparison measurements by the application of a direct or indirect method. By the direct method (the bridge has sockets N for the connection of a reference capacitor), the capacitance variations of two capacitors can be aligned exactly, equal capacitors can be selected for use in filters, etc. By the indirect method, i. e. by substitution, comparison of standard air capacitors, frequency response curve alignment of capacitors, etc., can be carried out. When an air capacitor with protective electrode is employed,

dělení. Přesnost dělení poměrových tlumivek je přibližně o řád vyšší, než je přesnost celého mostu, takže výsledná přesnost je závislá pouze na normálovém slídovém kondenzátoru, zabudovaném uvnitř mostu. Vliv rušivých polí je zcela vyloučen dokonalým stíněním mostu. Připojení měřeného objektu k mostu se provádí stíněnými přívody, které nezpůsobují přídatnou chybu.

BLOKOVÉ SCHEMA

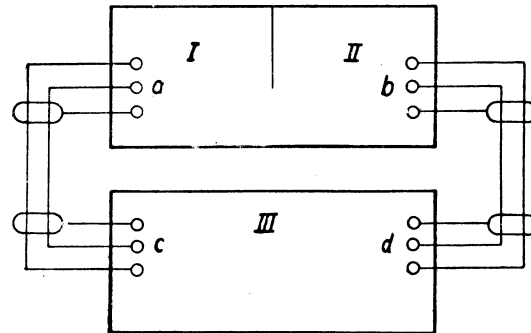
- I zdroj pevného kmitočtu
- II indikátor (selektivní zesilovač)
- III vlastní most
- a výstup zdroje pevného kmitočtu
- b vstup indikátoru
- c vstup mostu
- d výstup mostu

BLOCK SCHEMATIC DIAGRAM

- I. Fixed frequency source
- II. Balance indicator (selective amplifier)
- III. Measuring bridge
- a Output of the fixed frequency source
- b Input of the balance indicator
- c Input of the bridge
- d Output of the bridge

the bridge can be used for measuring dielectric constants of materials.

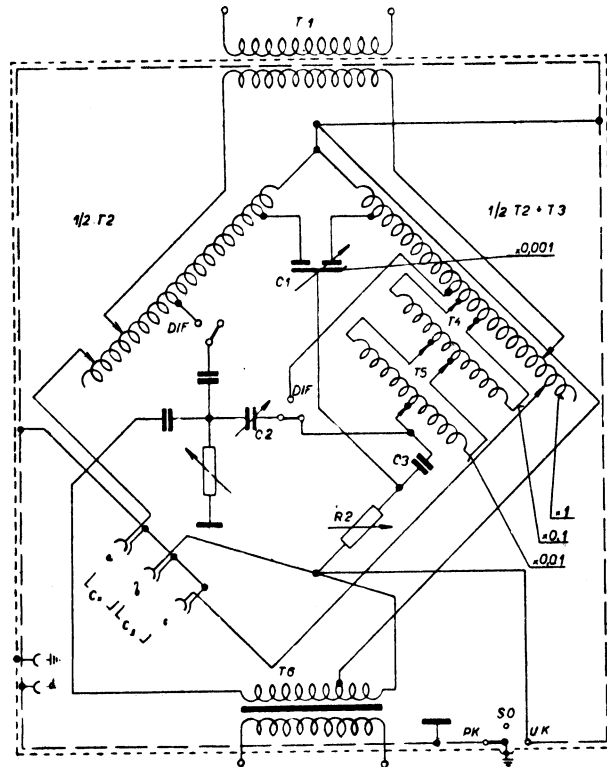
The advantages of this bridge are its high accuracy and the wide range of measurable capacitances. These properties are achieved by the bridge circuit which uses dividing ratio chokes for decimal and unit division. The accuracy of the ratio chokes is higher than the overall bridge accuracy by approximately one order, therefore, the resulting accuracy depends only on the precision of the built-in standard mica capacitor. The influence of external interfering fields is fully eliminated by perfect screening of the bridge. The measured object must be connected to the bridge with screened conductors in order to avoid additional errors.



Obr. 2 - Fig.

Principiální zapojení přesného C mostu

Basic diagram of the precision capacitance bridge



Obr. 3

Fig. 3

- T1 – výstupní transformátor pro připojení zdroje pevného kmitočtu
- T2 – poměrová tlumivka pro desetinné dělení
- T3, T4, T5 – poměrové tlumivky pro jednotkové dělení
- C1 – diferenciální kondenzátor
- C2 – otočný kondenzátor k vyrovnání $\tan\delta$
- R2 – regulovatelný odpor k vyrovnání větších hodnot $\tan\delta$
- C3 – normálový kondenzátor
- T6 – výstupní transformátor pro připojení indikátoru – selektivního zesilovače

POPIS

Zdroj pevného kmitočtu dodává napětí vlastnímu mostu. Výstupní napětí mostu při nerovnovážném stavu je indikováno selektivním zesilovačem s ručkovým ukazatelem.

Vlastní most

Pro měření kapacity je použito zapojení s dělicími poměrovými tlumivkami, které jsme použili jak pro desetinné dělení, tak také pro jednotkové dělení. Dělicí poměrová tlumivka pro desetinné dělení je zapojena do dvou sousedních ramen mostu.

Volbou vhodných odboček dělicí poměrové tlumivky dostáváme řád měřené hodnoty. Můžeme nastavit následující

- T1 – Input transformer for the connection of the fixed frequency source
- T2 – Ratio choke for decimal division
- T3, T4, T5 – Ratio chokes for unit division
- C1 – Differential capacitor
- C2 – Variable capacitor for $\tan\delta$ compensation
- R2 – Variable resistor for the compensation of large $\tan\delta$ values
- C3 – Standard capacitor
- T6 – Output transformer for the connection of the indicator (selective amplifier)

DESCRIPTION

The fixed frequency generator supplies the powering voltage for the bridge. The output voltage of the unbalanced bridge is indicated by the selective amplifier which is provided with a meter.

Bridge circuit

For the measurement of capacitances, ratio chokes are employed which serve for decimal and unit division. The dividing ratio choke for decimal division is connected into two adjacent branches of the bridge.

By the selection of suitable taps of the dividing ratio transformer, the order of the measured value is obtained. The

rozsahy: $x10^0$, $x10^1$, $x10^2$, $x10^3$, $x10^4$, $x10^5$, $x10^6$, $x10^7$. Na část dělicí tlumivky pro desetinné dělení, která slouží zároveň pro jednotkové dělení a je zapojena ve druhém rameni mostu, navazují další dvě kaskádně zapojené tlumivky pro jednotkové dělení. Tím dostáváme jednotkové dělení na tři místa: $x1$; $x0,1$; $x0,01$ pF. Pomocí diferenciálního kondenzátoru C1, zapojeného do téhož ramene, můžeme odečíst čtvrté a páté místo výsledné hodnoty. Ve třetím rameni je umístěn normálový kondenzátor C3. Je to slídový, vysoce stabilní kondenzátor se zanedbatelným ztrátovým úhlem. Kondenzátor je teplotně kompenzován, takže mostové zařízení pracuje s udanou přesností v celém teplotním rozsahu od 10°C do 35°C . Čtvrté rameno je vyvedeno na měřicí svorky. Při srovnávacím měření je odpojen vnitřní normálový kondenzátor C3 a část poměrové desetinné tlumivky, zapojené v druhém rameni mostu, je vyvedena na srovnávací svorky.

Vyrovnaní $\text{tg}\delta$ provádíme pomocí otočného kondenzátoru C2. Větší hodnoty $\text{tg}\delta$ vyrovnáváme pomocí odporů, zapojených do série s vnitřním normálovým kondenzátorem. Most je oddělen od zdroje pevného kmitočtu a selektivního zesilovače pomocí vstupního a výstupního transformátoru T1 a T6.

Zabudovaný zdroj pevného kmitočtu 800 Hz a selektivní zesilovač 800 Hz umožňují snadné, rychlé a pohodové měření. Použití jediného kmitočtu plně vyhovuje praktickým

following ranges can be selected: $x10^0$; $x10^1$; $x10^2$; $x10^3$; $x10^4$; $x10^5$; $x10^6$; $x10^7$. Part of the decimal dividing choke, which is employed also for unit division and is connected into the second branch of the bridge, is connected to a further two chokes in cascade connection which serve for unit division. Thus a three-digit unit division is obtained: $x1$; $x0.1$; $x0.01$ pF. With the differential capacitor C1, which is connected into the same branch, the fourth and fifth digits of the resulting value can be read. In the third branch of the bridge is the standard capacitor C3. This is a mica capacitor of extremely high stability and negligible loss angle. It is thermally compensated so that the bridge operates with the rated accuracy within the temperature range of 10°C to 35°C . The fourth branch of the bridge is connected to the sockets M for the connection of the measured capacitor. In comparison measurements, the internal standard capacitor C3 is disconnected and part of the decimal ratio choke, which is in the second branch of the bridge, is connected to the terminals for the reference capacitor.

$\text{Tan}\delta$ compensation is carried out with the capacitor C2. Larger $\text{tan}\delta$ values are compensated for with resistors which are connected in series with the internal standard capacitor. The bridge is isolated from the fixed frequency source by an input transformer (T1) and from the selective amplifier by an output transformer (T6).

The built-in fixed frequency source of 800 c/s and the selective amplifier of 800 c/s enable simple and speedy carrying out of measurements. The application of one

potřebám. Mostu lze použít v celém kmitočtovém rozsahu, použijeme-li většího nf generátoru a plynule laditelného selektivního zesilovače.

Zdroj pevného kmitočtu

je složen z oscilátoru a výkonového zesilovacího stupně. Oscilátor je zapojen jako kmitající katodový sledovač a je osazen elektronkou E7. Kmitočtet je určen přemostěným T článkem, složeným z RC členů. Výkonový zesilovací stupeň je osazen elektronkou E8 a je zapojen jako katodový sledovač.

Selektivní zesilovač

sestává ze čtyř zesilovacích stupňů. Selektce je dosaženo přemostěným T článkem složeným z RC členů, zapojeným do záporné zpětné vazby. První tři stupně pracují jako odporové zesilovače a jsou osazeny elektronkami E1, E2 a prvním systémem elektronky E3. Poslední stupeň pracuje jako katodový sledovač a je osazen druhým systémem E3. Zesílené napětí je usměrněno a indikováno stejnosměrným měřidlem.

frequency only is fully satisfactory for all practical purposes. However, the bridge can be used within its whole frequency range (200 c/s to 10 kc/s) provided a suitable AF power source and a continuously tunable selective amplifier are employed with it.

Fixed frequency source

The power source is formed by an oscillator and a power amplifier stage. The oscillator is an oscillating cathode follower and employs the tube E7. The frequency is determined by a bridged T network composed of RC elements. The power amplifier output employs the tube E8 and operates as a cathode follower.

Selective amplifier

The balance indicator is composed of four amplifier stages. Selection is the result of a bridged T network composed of RC elements inserted in the inverse feedback circuit. The first three stages operate as resistance-coupled amplifiers and employ the tubes E1, E2 and one section of the tube E3. The last stage operates as a cathode follower and employs the second section of the tube E3. The amplified voltage is indicated by a DC meter.

TECHNICKÉ ÚDAJE ● Vlastní most

Rozsah:
 pro kapacitu $C = 0,001 \text{ pF} - 100 \text{ } \mu\text{F}$
 pro ztrát. činitel $\text{tg} \delta = 0 - 10^{-1}$
 pro kmitočet 200 Hz, 800 Hz, 2 kHz,
 5 kHz v rozsahu kapacit $C_x > 0,1 \text{ pF}$

Přesnost:
 pro kapacity $10 \text{ pF} - 10 \text{ } \mu\text{F} \pm 0,1 \text{ } \%$
 $0,1 \text{ pF} - 10 \text{ pF} \pm 1 \text{ } \%$
 $10 \text{ } \mu\text{F} - 100 \text{ } \mu\text{F} \pm 1 \text{ } \%$
 do $0,1 \text{ pF} \pm 5 \text{ } \%$
 U nejnižších hodnot platí omezení dané
 rozlišovací schopností mostu, které je:
 u kapacity průchozí $\pm 0,001 \text{ pF}$
 u kapacity uzemněné $\pm 0,1 \text{ pF}$

pro ztrát. činitel $\text{tg} \delta \pm 5 \text{ } \%$ $\pm 5 \cdot 10^{-4}$ v rozsahu $C_x =$
 $0,1 \text{ pF} - 10 \text{ } \mu\text{F}$
 $\pm 10 \text{ } \%$ $\pm 5 \cdot 10^{-4}$ v rozsahu
 $C_x > 10 \text{ } \mu\text{F}$
 přesnost platí pro měrný kmitočet
 800 Hz

Kmitočtový rozsah: 200 Hz – 10 kHz
 měrný kmitočet 800 Hz

TECHNICAL DATA Bridge circuit

Ranges:
 Capacitances: $C = 0.001 \text{ pF to } 100 \text{ } \mu\text{F}$
 Loss factors: $\text{tan} \delta = 0 \text{ to } 10^{-1}$
 at frequencies of 200 c/s,
 800 c/s, 2 kc/s, 5 kc/s and
 capacitances up to $C_x > 0.1 \text{ pF}$

Accuracy:
 Of capacitances: $\pm 0.1 \text{ } \%$ within the range 10 pF to
 10 μF ,
 $\pm 1 \text{ } \%$ within the range 0.1 pF to
 10 pF,
 $\pm 1 \text{ } \%$ within the range 10 μF to
 100 μF ,
 $\pm 5 \text{ } \%$ up to 0.1 pF

At the lowest capacitances, the
 accuracy is limited by the resolving
 power of the bridge which is:
 $\pm 0.001 \text{ pF}$ for through-capacitances,
 $\pm 0.1 \text{ pF}$ for earthed capacitances

Loss factors ($\text{tan} \delta$): $\pm 5 \text{ } \%$ $\pm 5 \cdot 10^{-4}$ for C_x values =
 $0.1 \text{ pF to } 10 \text{ } \mu\text{F}$
 $\pm 10 \text{ } \%$ $\pm 5 \cdot 10^{-4}$ for C_x values
 $> 10 \text{ } \mu\text{F}$

These accuracies are valid at the mea-
 suring frequency of 800 c/s

Frequency range: 200 c/s to 10 kc/s
 measuring frequency 800 c/s

Zdroj pevného kmitočtu

Kmitočtet: 800 Hz \pm 2 %
 Skreslení: 3 %
 Výstupní napětí: 0 – 20 V
 Výstupní impedance: 350 Ω \pm 10 %

Selektivní zesilovač

Zesílení: min. 100 dB
 Vstupní napětí: 100 μ V pro plnou výchylku
 Rozlišovací schopnost: 1 μ V
 Selektivní kmitočtet: 800 Hz
 Útlum: 20 dB na oktávu
 Teplotní rozsah: 10–35 °C
 Osazení: 2 \times EF86, 1 \times ECC82, 1 \times EF80,
 1 \times EL84, 1 \times EZ80, 3 \times GA203
 Napájení: 220 V, 120 V \pm 10 % 50 Hz
 Příkon: 60 VA
 Jištění: v síťovém přívodu pojistkou 0,4 A při 220 V
 0,8 A při 120 V
 Rozměry: 520 \times 505 \times 275 mm
 Váha: 33 kg

Fixed frequency source

Frequency: 800 c/s \pm 2 %
 Distortion: 3 %
 Output voltage: 0 to 20 V
 Output impedance: 350 ohms \pm 10 %

Selective amplifier

Amplification: Min. 100 dB
 Input voltage: 100 μ V for full scale deflection
 Resolving power: 1 μ V
 Selective frequency: 800 c/s
 Attenuation: 20 dB per octave
 Thermal range: 10–35 °C
 Complement: 2 \times EF86, 1 \times ECC82, 1 \times EF80,
 1 \times EL84, 1 \times EZ80, 3 \times GA203
 Powering: 220 V, 120 V \pm 10 %, 50 c/s
 Power consumption: 60 VA
 Fuses: 0.4 A for 220 V,
 0.8 A for 120 V,
 in the mains connection
 Dimensions: 520 \times 505 \times 275 mm
 Weight: 33 kg

PŘISLUŠENSTVÍ

S přístrojem je dodávána síťová přívodní šňůra, náhradní osazení pojistek, dva kusy propojovacích stíněných kabelů, dva kusy kabelů na připojení vnějších zdrojů nebo indikátorů a dva kusy kabelů pro připojení měřených kapacit.

PŘIPOJENÍ A PŘEPÍNÁNÍ SÍŤOVÉHO NAPĚTÍ

Před připojením přístroje k elektrovodné síti je nutno zkontrolovat, je-li přepojovač velikosti napájecího síťového napětí přepojen na odpovídající hodnotu napětí a je-li v držáku pojistky vložka správné hodnoty.

Přepojovač velikosti napájecího síťového napětí umožňuje napájet přístroj z elektrovodné sítě o napětí buď 220 V nebo 120 V, 50 Hz. Z továrny je přístroj přepojen na napájení napětím 220 V – kotouček přepojovače je nastaven tak, že údaj „220“ je pod trojúhelníkovou značkou (obr. 4).

Bude-li přístroj napájen ze síťového napětí 120 V, je nutno jej přepojit na napájení tímto napětím následujícím postupem. Uvolníme zajišťovací pásek přidržovaný dvěma šroubky, přepínací kotouček přepojovače vytáhneme, pootočíme a opět zasuneme tak, aby pod trojúhelníkovou značkou byl údaj „120“. Zajišťovací pásek opět připevníme.

ACCESSORIES

The following are supplied with each capacitance bridge as standard accessories: A mains cord, a set of spare fuse cartridges, two screened cables, two cables for the connection of external sources or indicators, and two cables for the connection of the capacitor to be measured.

CONNECTION AND ALTERATION OF THE MAINS VOLTAGES

Before connecting the instrument to the electricity mains, it is necessary to check the available voltage and to see whether the mains voltage selector is adjusted correctly and whether a fuse cartridge of the correct rating is inserted in the fuse holder.

The mains voltage selector enables the powering of the instrument either with 220 V or 120 V, 50 c/s.

Each newly delivered instrument is adjusted for 220 V powering, i. e. the disc of the voltage selector is set so that the marking "220" appears below the triangular mark (Fig. 4). If the instrument has to operate with 120 V powering, then it has to be adjusted for this voltage as follows: The securing strip held

across the voltage selector by two screws is released, the disc of the selector withdrawn, turned until the marking "120" appears below the triangular mark, and then pushed home again. Then the securing strip has to be fastened again.



Obr. 4 - Fig. 4

Při přepojování přístroje na jiné síťové napětí je třeba vyměnit i pojistku, umístěnou v pouzdře na zadní straně přístroje. Hodnoty pojistek pro obě napájecí napětí jsou uvedeny v odstavci „Technické údaje“.

Přístroj je konstruován v bezpečnostní třídě I podle ČSN 35 6501 – revidované vydání. (Kovové části přístupné dotyku jsou určeny k připojení na ochranný vodič a izolace částí pod síťovým napětím vyhovují uvedené normě.)

OBSLUHA PŘÍSTROJE

Přepínač funkce O umožňuje měření

- a) uzemněné kapacity
- b) průchozí kapacity
- c) symetrického objektu vně uzemněného

Pomocí přepínačů I, J, K odečítáme naměřenou hodnotu kapacity hrubě a pomocí diferenciálního kondenzátoru L odečítáme naměřenou hodnotu kapacity jemně.

Svorky M slouží k měření průchozí, uzemněné a symetrické kapacity. Svorky N slouží k zapojení srovnávací kapacity. Potom přepínač R musí být v poloze „DIF.“.

Pomocí přepínače P nastavíme rozsah měřené kapacity (v okénku nahoře). Při srovnávacím měření (přepínač R v

When the mains voltage of the instrument is altered, also the fuse cartridge which is in the fuse holder on the back panel of the instrument must be exchanged. The correct ratings of the fuses for both powering voltages are listed in the section “Technical data”.

The design of the instrument responds to safety class I, according to IEC. (Metal parts accessible to the touch are connected to the protective conductor and the insulation of mains voltage carrying parts responds to IEC recommendations.)

ATTENDANCE OF THE INSTRUMENT

The function selector switch O enables the measurement of the following:

- a) Earthed capacitances
- b) Through-capacitances
- c) Symmetrical objects earthed externally

The measured capacitance is read according to the settings of the switches I, J, K (roughly) and by means of the differential capacitor L (accurately).

The sockets M serve for through-capacitance and symmetrical capacitance measurements.

The sockets N serve for the connection of a reference capacitor. (The switch R must be set to the position marked “DIFF.”.)

The selector P serves for setting the capacitance measuring range (in the upper window).

poloze „DIF.“ platí údaje v dolním okénku pro rozsah G.

Plynulé vyrovnání $\text{tg}\delta$ v rozsahu $0 - 2 \cdot 10^{-2}$ provedeme pomocí vzduchového kondenzátoru S. Hrubé vyrovnání $\text{tg}\delta$ provedeme pomocí přepínače R. Vyrovnání $\text{tg}\delta$ je závislé na kmitočtu a pro kmitočty 200 Hz, 800 Hz, 2 kHz a 5 kHz odečteme $\text{tg}\delta$ přímo. Pro jiné kmitočty v rozsahu 200 Hz – 10 kHz musíme $\text{tg}\delta$ vypočítat podle vztahu:

$$\text{tg}\delta = \text{tg}\delta' \frac{f_m}{f}$$

$\text{tg}\delta'$ = odečtená hodnota na mostě
 f_m = měřicí kmitočet z rozsahu 200 Hz – 10 kHz
 f = nastavený kmitočet u přepínače $\text{tg}\delta$

Při srovnávacím měření přepneme přepínač R do polohy „DIF“. Potom platí spodní stupnice udávající vodivost G. Propojovací zástrčky jsou přístupné zvenčí, takže propojení jiného generátoru nebo indikátoru je velmi snadné. Přístroj je nutné uzemnit pomocí zemnicí svorky na panelu a zabránit uzemnění pomocí síťové zástrčky.

MĚŘENÍ

Měření průchozí kapacity

1. Generátor a indikátor zapneme síťovým vypínačem D (obr. 1).

In comparison measurements (the switch R in the position „DIFF.“), the data visible in the lower window are valid for range G (conductance).

Continuous $\text{tan}\delta$ compensation is carried out in the range 0 to $2 \cdot 10^{-2}$ with the air capacitor S. A switch (R) is provided for compensation in steps (roughly). The $\text{tan}\delta$ is frequency dependent and for the frequencies of 200 c/s, 800 c/s, 2 kc/s and 5 kc/s the respective $\text{tan}\delta$ values can be read directly. For other frequencies within the range 200 c/s to 10 kc/s, the appropriate $\text{tan}\delta$ value can be calculated from the relation:

$$\text{tan}\delta = \text{tan}\delta' \frac{f_m}{f}$$

where $\text{tan}\delta'$ is read on the bridge

f_m is the measuring frequency (200 c/s to 10 kc/s)
 f is the frequency selected with the $\text{tan}\delta$ switch

The sockets for interconnection of the instrument units are accessible from the outside, consequently the application of an external generator or balance indicator is simple.

The measuring circuitry must be earthed by using the earth terminal on the panel; earthing by connection to the mains must not be employed.

MEASUREMENT

Through → capacitance

1. The generator and the indicator are set in operation with the mains switch D (Fig. 1).

- Nastavíme vhodné napájecí napětí mostu potenciometrem B a potřebné zesílení selektivního zesilovače potenciometrem G.
- Přepínač funkce O si nastavíme tak, aby zemní značka \oplus byla v pravém okénku u přepínače O.
- Pomocí měřicích propojovacích stíněných vodičů si propojíme měřený objekt s mostem; kablíky zasuneme do zdířek M (Cx).
- Přepínač rozsahů P nastavíme do přibližné polohy podle velikosti měřené kapacity.
- Přepínač rozsahu $\tan\delta$ R nastavíme podle použitého kmitočtu (800 Hz) do nulové polohy.
- Vyrovnáme most na nulovou výchylku přepínači I, J, K a pomocí diferenciálního kondenzátoru L. Tím je dána hodnota kapacity. Pomocí kondenzátoru S vyrovnáme a odečteme hodnotu $\tan\delta$. V případě, že je $\tan\delta$ horší, provedeme vyrovnaní hrubě pomocí přepínače R.
- V případě, že máme nedostatečnou citlivost, použijeme sluchátek, zasunutých do zdířek F.
- U kapacit větších než $1 \mu\text{F}$ propojujeme kondenzátor přímo na svorky M pomocí co nejsilnějších vodičů, abychom nezhoršili; $\tan\delta$ kondenzátoru odporem propojovacích vodičů.
- A suitable bridge powering voltage is set with the potentiometer B and the required amplification of the selective amplifier with the potentiometer G.
- The function selector O is set so that the earth symbol \oplus appears in the right-hand window of the switch O.
- The object to be measured is connected to the bridge with the provided screened cables which have to be connected to the sockets M (Cx).
- The range selector P is set approximately to the expected magnitude of the measured capacitance.
- The $\tan\delta$ range switch R is set to the zero position according to the selected measuring frequency (800 c/s).
- The bridge is balanced to zero deflection of the meter with the switches I, J, K and the differential capacitor L. Thus the measured capacitance is ascertained. Then with the capacitor S, the $\tan\delta$ value is adjusted and read. If the $\tan\delta$ value is outside the range of S, then first it has to be adjusted roughly with the switch R.
- If the sensitivity of the measurement is low, then a pair of headphones are used for balancing. They have to be inserted into the sockets F.
- If capacitances above $1 \mu\text{F}$ are being measured, then the capacitor under test must be connected directly to the sockets M, using heavy gauge conductors in order to prevent worsening of $\tan\delta$ owing to the resistance of the connection wires.

Měření uzemněné kapacity

1. Generátor a indikátor zapneme síťovým vypínačem D.
2. Nastavíme vhodné napětí generátoru pro most potenciometrem B a potřebné zesílení selektivního zesilovače potenciometrem G.
3. Přepínač funkce O přepneme do polohy, aby zemní značka byla propojená s bodem „b“.

Poznámka:

V případě, že máme velké zbytkové napětí, můžeme je snížit pomocí druhého stínění měřicích kabelů, které spojíme s vnější zemí. Další postup měření je obdobný jako v předchozím příkladě (viz body 4–9).

Měření symetrického objektu

Jedná se o měření dvou kapacit zapojených do série, u prostřed zvenčí uzemněných.

1. Generátor a indikátor zapneme síťovým vypínačem D.
2. Nastavíme vhodné napětí generátoru pro most potenciometrem B a potřebné zesílení u selektivního zesilovače potenciometrem G.
3. Přepínač funkce O přepneme do polohy „symetrický objekt“.

Další postup je obdobný jako u prvního příkladu.

Earthed capacitance

1. The generator and the indicator are set in operation with the mains switch D.
2. A suitable bridge powering voltage of the generator is selected with the potentiometer B and the necessary amplification of the selective amplifier is set with the potentiometer G.
3. The function selector O is set so that the earth symbol \perp is connected to the point “b”.

Note: If the residual voltage is high, it can be reduced by applying a second screening of the measuring cables. This screening must be earthed externally.

Further procedure of measurement is the same as described in the preceding section (see items 4 to 9).

Symmetrical object

Two capacitors connected in series, the centre tap of which is earthed externally, are measured.

1. The generator and the indicator are set in operation with the mains switch D.
2. The generator is adjusted with the potentiometer B to supply a suitable voltage for the bridge, and the required amplification of the selective amplifier is adjusted with the potentiometer G.
3. The function selector switch O is set to the position “Symmetrical object”.

Further procedure of measurement is the same as described previously (see items 4 to 9).

Srovnávací měření

1. Generátor a indikátor zapneme síťovým vypínačem D.
2. Nastavíme vhodné napětí generátoru pro most potenciometrem B a potřebné zesílení u selektivního zesilovače potenciometrem G.
3. Přepínač funkce O přepneme podle toho, zda jde o srovnání dvou uzemněných nebo dvou průchozích kapacit.
4. Pomocí propojovacích stíněných kablíků připojíme jednu kapacitu mezi svorky M (Cx) a druhou mezi svorky N (Cn). V každém případě připojujeme větší kapacitu na svorky M (Cx).
5. Přepínač rozsahu kapacit P nastavíme do přibližné polohy podle velikosti vodivosti měřené kapacity.
6. Přepínač tgδ R nastavíme do polohy „DIF“ (diference – srovnání).
7. Vyrovnání mostu provedeme pomocí diferenciálního kondenzátoru L nebo hrubě přepínačem R. Pro vyrovnání vodivosti použijeme kondenzátor S a vlevo od něho umístěné stupnice s údaji vodivosti, která platí pro měrný kmitočet 800 Hz.
Pro jiný kmitočet fm platí vztah:

$$\Delta G = \Delta G' \cdot \frac{f_m^2}{f_c^2}$$

$f_c = 800 \text{ Hz}$

$\Delta G' = \text{údaj stupnice při jiném kmitočtu}$

Measurement by comparison

1. The generator and the indicator are switched on with the mains switch D.
2. A suitable generator voltage for the bridge is set with the potentiometer B and the required amplification of the selective amplifier is adjusted with the potentiometer G.
3. The function selector switch O is set according to whether two earthed capacitances or two through-capacitances have to be measured.
4. By means of screened connection cables, one of the capacitors is connected to the sockets M (Cx) and the other between the sockets N (Cn). The larger capacitance must always be connected to the sockets M (Cx).
5. The capacitance range switch P is set approximately according to the conductance of the measured capacitor.
6. The tanδ switch R is set to the position marked "DIF." (difference-comparison).
7. The bridge is balanced with the differential capacitor L or roughly with the switch R. For conductance balancing, the switch S is employed and the scale to the left of it indicates the resulting conductance at a measuring frequency of 800 c/s.

For another frequency fm the following relation is valid:

$$\Delta G = \Delta G' \cdot \frac{f_m^2}{f_c^2}$$

where f_c is 800 c/s,

$\Delta G'$ is the reading at another frequency.

8. V případě nedostatečné citlivosti použijeme sluchátek, zasunutých do zdířek F.

8. If the sensitivity of the instrument is not sufficient, then a pair of headphones can be used for balancing. They must be connected to the sockets F.

Určení dielektrické konstanty

Měření provádíme pomocí kondenzátoru s ochrannou elektrodou. Při měření postupujeme následujícím způsobem:

1. Generátor a indikátor zapneme síťovým vypínačem D.
2. Nastavíme vhodné napětí generátoru pro most potenciometrem B a potřebné zesílení u selektivního zesilovače potenciometrem G.
3. Přepínač funkce O přepneme do pravé polohy.
4. Ochrannou elektrodu propojíme se svorkou „d“ (\perp) vpravo od přepínače O.
5. Měřicí elektrodu zapojíme na svorku „b“ a elektrodu propojíme se svorkou „a“.
6. Změříme dříve popsaným způsobem kapacitu a vypočteme dielektrickou konstantu ε ze vztahu:

$$\varepsilon = \frac{C \cdot 3,6\pi\alpha}{F}$$

kde C – naměřená kapacita (pF)
 α – tloušťka dielektrika (cm)
 F – plocha obou kotoučů elektrod (cm²)

Ascertainment of a dielectric constant

For this measurement, a capacitor with protective electrode is required. The measurement is as follows:

1. The generator and the indicator are set in operation with the mains switch D.
2. The generator is adjusted with the potentiometer B to deliver a voltage suitable for the measurement. The amplification of the selective amplifier is adjusted with the potentiometer G.
3. The function selector O is set to the right-hand position.
4. The protective electrode is connected to the socket "d" (\perp) on the right of the switch O.
5. The measuring electrode is connected to the socket "b" and the electrode to the socket "a".
6. By following the previously described procedure, the capacitance is measured and then the dielectric constant ε is calculated from the relation:

$$\varepsilon = \frac{C \cdot 3,6\pi\alpha}{F}$$

where C is the measured capacitance (in pF),
 α is the thickness of the dielectricum (in cm) and
 F is the area of the dielectricum (in cm²) clamped between the disc electrodes.

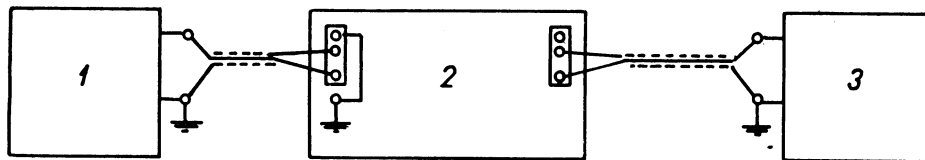
Použití vnějšího generátoru a indikátoru

Potřebujeme-li provést měření v celém kmitočtovém rozsahu, vysuneme kabely A a H propojující vlastní generátor a indikátor s mostem, a připojíme vnější generátor a indikátor. Předpokládáme, že vnější generátor a indikátor má vlastní zem. Propojení vnějšího generátoru a indikátoru s mostem musíme provést tak, abychom nezpůsobili přidavnou zemní smyčku.

Příklad správného propojení generátoru a indikátoru je na obrázku 5.

Application of the external generator and indicator

If it is necessary to carry out measurements in the whole frequency range, then the cables A and H connecting the generator proper and the indicator to the bridge must be pulled out and the external generator and indicator must be connected. It is necessary, that the external generator and indicator have their separate earthing. When connecting the external generator and indicator to the bridge care must be taken, that no additional earth-loop is caused. An example of correct connection of the generator and indicator is given in the figure 5.



Obr. 5

Fig. 5

- 1 – generátor
- 2 – most 1AK 197 99
- 3 – indikátor

- 1 – generator
- 2 – bridge 1AK 197 99
- 3 – indicator

LIST OF ELECTRICAL COMPONENTS

Indicator and generator 1AK 197 79

Resistors

No.	Type	Value	Max. load W	Tolerance \pm %	Standard ČSSR
R1	Potentiometer	50 k Ω	0.5	—	1AN 691 41
R2	Carbon layer	200 k Ω	0.5	5	TR 102 M2/B
R3	Carbon layer	39 k Ω	0.5	10	TR 102 39k/A
R4	Carbon layer	1.6 k Ω	0.5	5	TR 102 1k6/B
R5	Carbon layer	1.2 M Ω	0.25	5	TR 101 1M2/B
R6	Carbon layer	500 k Ω	0.25	1	TR 106 M5/D
R7	Carbon layer	250 k Ω	0.25	1	TR 106 M25/D
R8	Carbon layer	500 k Ω	0.25	1	TR 106 M5/D
R9	Carbon layer	1.5 M Ω	0.5	10	TR 102 1M5/A
R10	Carbon layer	200 k Ω	0.5	5	TR 102 M2/B
R11	Carbon layer	39 k Ω	0.5	10	TR 102 39k/A
R12	Carbon layer	2.4 k Ω	0.5	5	TR 102 2k4/B
R13	Carbon layer	1.2 M Ω	0.25	5	TR 101 1M2/B
R14	Carbon layer	10 k Ω	0.5	10	TR 102 10k/A
R15	Carbon layer	470 k Ω	0.5	10	TR 102 M47/A
R16	Carbon layer	8.2 k Ω	0.5	5	TR 102 8k2/B
R17	Carbon layer	100 k Ω	0.5	5	TR 102 M1/B
R18	Carbon layer	3.3 k Ω	0.5	5	TR 102 3k3/B
R19	Carbon layer	8.2 k Ω	0.5	5	TR 102 8k2/B
R20	Carbon layer	24 k Ω	0.5	5	TR 102 24k/B
R21	Carbon layer	470 k Ω	0.5	10	TR 102 M47/A
R22	Potentiometer	47 k Ω	0.2	—	WN 790 25/47k

No.	Type	Value	Max. load W	Tolerance \pm %	Standard ČSSR
R23	Carbon layer	39 k Ω	2	5	TR 117 39k/B
R24	Carbon layer	2.4 k Ω	1	5	TR 103 2k4/B
R25	Wire-wound	820 Ω	10	10	TR 511 820/A
R26	Wire-wound	820 Ω	10	10	TR 511 820/A
R27	Carbon layer	220 Ω	2	10	TR 104 220/A
R28	Carbon layer	13 k Ω	0.5	5	TR 115 13k/B
R29	Carbon layer	50 k Ω	0.25	1	TR 106 50k/D
R30	Carbon layer	25 k Ω	0.25	1	TR 106 25k/D
R31	Carbon layer	500 k Ω	0.25	1	TR 106 M5/D
R32	Carbon layer	5.1 k Ω	0.5	10	TR 102 5k1/A
R33	Potentiometer	25 k Ω	0.5	—	WN 694 01 25k/N
R34	Carbon layer	220 Ω	0.25	10	TR 101 220/A
R35	Carbon layer	100 Ω	0.25	10	TR 101 100/A
R36	Carbon layer	7.5 k Ω	2	5	TR 104 7k5/B
R37	Carbon layer	100 Ω	0.25	10	TR 101 100/A
R38	Carbon layer	12 k Ω	0.5	10	TR 102 12k/A
R39	Carbon layer	200 k Ω	0.5	5	TR 102 M2/B
R40	Carbon layer	51 k Ω	0.5	5	TR 102 51k/B
R41	Potentiometer	500 k Ω	0.5	—	WN 694 02/M5/N
R42	Carbon layer	100 Ω	0.25	10	TR 101 100/A
R43	Carbon layer	100 Ω	0.25	10	TR 101 100/A
R44	Carbon layer	100 Ω	0.25	10	TR 101 100/A
R45	Wire-wound	2.2 k Ω	10	5	TR 511 2k2/B
R46	Potentiometer	1.5 k Ω	0.5	—	WN 690 01/1k5
R47	Carbon layer	22 Ω	0.5	10	TR 102 22/A

Capacitors

No.	Type	Value	Max. DC voltage	Tolerance \pm %	Standard ČSSR
C1	Electrolytic	20 μ F	12	—	TC 903 20M
C2	Paper	10,000 pF	250	—	TC 172 10k
C3 C4	Electrolytic	8/8 μ F	450/450	—	TC 521 8/8M
C5	Mica	398 pF	250	0.5	WK 714 30/398/E
C6	Mica	798 pF	250	0.5	WK 714 08/798/E
C7 C13	Electrolytic	16/16 μ F	450/450	—	TC 521 16/16M
C8	Mica	398 pF	250	0.5	WK 714 30/398/E
C9	Electrolytic	20 μ F	12	—	TC 903 20 M
C10	Paper	10,000 pF	250	—	TC 172 10k
C11 C12	Electrolytic	8/8 μ F	450/450	—	TC 521 8/8M
C14	Electrolytic	20 μ F	12	—	TC 903 20M
C15	Paper	10,000 pF	250	—	TC 172 10k
C16	Paper	0.1 μ F	250	—	TC 182 M1
C17 C18	Electrolytic	32/32 μ F	450/450	—	TC 521 32/32M
C19	Mica	3940 pF	250	0.5	WK 714 31/3k94/E
C20	Trimmer	45 pF	500	—	TK 810 45
C21	Mica	5100 pF	250	0.5	WK 714 31 5k1/E
C22	Mica	330 pF	250	0.5	WK 714 30 330/E
C23	Mica	2780 pF	250	0.5	WK 714 31 2k78/E
C24	Paper	47000 pF	400	—	TC 183 47k
C25	Paper	0.1 μ F	250	—	TC 182 M1
C26 C28	Electrolytic	32/32 μ F	450/450	—	TC 521 32/32M
C27	Electrolytic	5 μ F	350	—	TC 969 5M

Other electrical components

Component	Type – Value	Drawing No.
Tube E1, E2	EF86	
Tube E3	ECC82	
Tube E4, E5, E6	GA203	
Tube E7	EF80	
Tube E8	EL84	
Tube E9	EZ80	
Lamp Z1, Z2, Z3	60 V/50 mA	1AN 109 07
Lamp Z4	6 V/50 mA	1AN 109 12
Meter	200 μ A, DHR8	1AP 780 64
Fuse cartridge	0.4 A/250 V for 220 V	ČSN 35 4731
Fuse cartridge	0.8 A/250 V for 120 V	ČSN 35 4731

Transformers and coils

Component	Marking	Drawing No.	Winding	No. of tap	No. of turns	Wire \varnothing in mm
Output transformer Coil of T1	T1	1AN 673 32 1AK 636 31	L1A	1 - 2	1,800	0.100
			L1B	2 - 3	1,800	0.100
			L1C	3 - 4	1,800	0.100
			L1D	4 - 5	1,800	0.100
Transformer Coil of T2	T2	1AN 662 04 1AK 623 07	L1A	1 - 2	461	0.500
			L1B	2 - 3	385	0.355
			L2A	4 - 5	1,360	0.170
			L2B	5 - 6	1,360	0.170
			L3	7 - 8	27	0.900
			L4	9 - 10	26	0.600

Bridge 1AK 197 99

Resistors

No.	Type	Value	Max. load W	Tolerance \pm %	Standard ČSSR
R1	Carbon layer	2 k Ω	0.5	0.5	TR 107 2k/E
R2	Carbon layer	400 Ω	0.5	0.5	TR 107 400/E
R3	Carbon layer	5 k Ω	0.5	0.5	TR 107 5k/E
R4	Carbon layer	1 k Ω	0.5	0.5	TR 107 1k/E
R5	Carbon layer	4 k Ω	0.5	0.5	TR 107 4k/E
R6	Carbon layer	800 Ω	0.5	0.5	TR 107 800/E
R7	Carbon layer	160 Ω	0.5	0.5	TR 107 160/E
R8	Carbon layer	1 k Ω	0.5	0.5	TR 107 1k/E
R9	Carbon layer	20 k Ω	0.5	0.5	TR 107 20k/E
R10	Carbon layer	64 Ω	0.5	0.5	TR 107 64/E
R11	Carbon layer	64 Ω	0.5	0.5	TR 107 64/E
R12	Carbon layer	64 Ω	0.5	0.5	TR 107 64/E
R13	Carbon layer	64 Ω	0.5	0.5	TR 107 64/E
R14	Carbon layer	160 Ω	0.5	0.5	TR 107 160/E
R15	Carbon layer	160 Ω	0.5	0.5	TR 107 160/E
R16	Carbon layer	160 Ω	0.5	0.5	TR 107 160/E
R17	Carbon layer	160 Ω	0.5	0.5	TR 107 160/E
R18	Carbon layer	1.6 k Ω	0.5	0.5	TR 107/1k6/E
R19	Carbon layer	1.6 k Ω	0.5	0.5	TR 107 1k6/E
R20	Carbon layer	1.6 k Ω	0.5	0.5	TR 107 1k6/E
R21	Carbon layer	1.6 k Ω	0.5	0.5	TR 107 1k6/E
R22	Carbon layer	400 Ω	0.5	0.5	TR 107 400/E

No.	Type	Value	Max. load W	Tolerance ± %	Standard ČSSR
R23	Carbon layer	400 Ω	0.5	0.5	TR 107 400/E
R24	Carbon layer	400 Ω	0.5	0.5	TR 107 400/E
R25	Carbon layer	400 Ω	0.5	0.5	TR 107 400/E

Capacitors

No.	Type	Value	Max. D. C. voltage	Tolerance ± %	Standard ČSSR
C1	Tuning	135 pF			1AN 705 34
C2	Tuning	2000 pF			1AN 705 73
C3	Capacitor	10,000 pF	100 V		1AK 720 00
C5	Trimmer	125 pF	500 V		TK 816 125
C6	Trimmer	100 pF	500 V		TK 812 100
C7	Trimmer	30 pF	500 V		TK 810 30
C8	Styroflex	0.24 μF	100 V	5	TC 292 M24/B
C9	Styroflex	1,000 pF	250 V	10	TC 283 1k/A
C10	Mica	1,060 pF	250 V	0.5	WK 714 31 1k06/E
C11	Mica	4,000 pF	250 V	0.5	WK 714 31 4k/E
		4,000 pF	250 V	0.5	WK 714 31 4k/E
C12	Mica	740 pF	500 V	1	WK 714 08 740/D
C13	Mica	1,600 pF	250 V	0.5	WK 714 31 1k6/E

Note: The capacitance of C4 is formed by two soldering tags on the switching board 4.5.

Transformers and coils

Component	Marking	Drawing No.	Winding	No. of tap	No. of turns	Wire \varnothing in mm
Transformer	T1	1AN 670 12				
Coil of T1		1AK 633 12				
Dividing choke	T2	1AN 650 30				
Coil of T2		1AK 614 37				
Dividing choke	T3	1AN 650 32				
Coil of T3		1AK 614 38				
Dividing choke	T4	1AN 650 31				
Coil of T4		1AK 614 40				
Dividing choke	T5	1AN 650 33				
Coil of T5		1AK 614 39				
Output transformer	T6	1AN 673 33				
Coil of T6		1AK 636 32				
Coil assembled	L1	1AK 586 74				
Coil of L1		1AK 600 58	L	1 - 2	185	0.500
Coil assembled	L2	1AK 586 75				
Coil of L2		1AK 600 59	L	1 - 2	460	0.300
Coil assembled	L3	1AK 586 76				
Coil of L3		1AK 600 60	L	1 - 2	1,830	0.150
Coil assembled	L4	1AK 586 77				
Coil of L4		1AK 600 61	L	1 - 2	75	0.670
Coil assembled	L5	1AK 586 75				
Coil of L5		1AK 600 59	L	1 - 2	460	0.300

