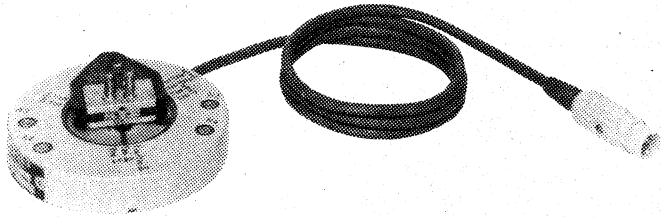


**MĚŘÍCÍ PŘÍPRAVEK  
TESLA BP 4320**

Přípravek pro měření y parametrů tranzistorů

TESLA BP 4320

Návod k obsluze.



Obr. 1

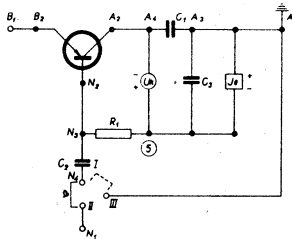
Přípravek BP 4320 je určen ve spojení s mosty BM 432 a BM 433 pro měření vstupních ( $y_{11}$ ), výstupních ( $y_{22}$ ) a přenosových ( $y_{21}$ ,  $y_{12}$ ) admitančních parametrů tranzistorů typu PNP i NPN. Slouží k oddělení stejnosměrných napětí, nutných pro nastavení pracovního bodu tranzistoru, od mostového obvodu. Současně umožňuje vzájemnou kombinací svorek tranzistoru se svorkami mostu měřit libovolný admitanční parametr.

FCPIS

Přípravek sestává z adaptoru a držáku tranzistorů. Adaptor je tvořen třemi mosaznými bloky, které se pomocí šroubů spojí se svorkami A, B a N mostu BM 432, BM 433. Dva z těchto bloků (příslušné svorkám A, N) jsou přerušeny izolací a propojeny oddělovacími kondensátory C1 a C2 (viz obr. 6).

Držák tranzistorů se spojuje s adaptorem pomocí tří kolíků, uspořádaných tak, že je lze zasouvat v libovolné poloze, a tím provádět volbu druhu měření vstupních, výstupních nebo přenosových admitancí. Čtvrtá zdička v držáku je elektricky spojena se zdičkou H a slouží k propojení stínící elektrody některých typů tranzistorů. V tomto případě je nutno zdičku H uzemnit, případně propojit s vnějším zdrojem (proti zemi).

Měřená admitance se připojuje mezi svorky  $A_2$  a  $B_2$  (viz obr. 2). Svorka  $N_2$  je určena pro připojení příčných členů při měření přenosových admitancí čtyřpólů.



Měření  $y_{21b}$  tranzistoru typu PNP

Obr. 2

Oddělovací kondensátory C1 a C2 zabráňují zkratu napájecích stejnosměrných zdrojů a jsou provedeny tak, aby při co nejvyšší kapacitě měly minimální zbytkovou indukčnost. Z konstrukčních hledisek a s ohledem na požadovaný kmitočtový rozsah nelze překročit kapacitu 2 uF. Každý kondensátor je dělen do 4 sekcí po 0,5 uF a pro zajištění minimální indukčnosti je zpětný vodič provedený formou vodivého pláště. Oba póly kondensátoru jsou vyvedeny pro možnost dodatečného zvětšení oddělovací kapacity. (Zdičky A4, A3; N4, N3.) Napájecí okruh je uzavřen přes mostové transformátory ke svorce B. Při měření  $y_{11}$  nebo  $y_{22}$  jsou spojeny body I - III. Pak měříme impedanci dvoupólově mezi svorkami A a B.

Podmínka  $u_{11} = 0$  pro  $y_{11}$  a  $u_{22} = 0$  pro  $y_{22}$  je realizována pro měrný kmitočet kondensátory C1 a C2.

Po spojení bodů I - II měříme přenosové admitance  $y_{12}$  nebo  $y_{21}$  mezi těmi vývody tranzistoru, které jsou připojeny ke svorkám A a B mostu. Podmínky  $u_{22} = 0$  pro  $y_{21}$  a  $u_{11} = 0$  pro  $y_{12}$  je dosaženo vyrovnaním mostu, kdy mezi svorkami A a N je nulové napětí. Kondensátory C1 a C2 oddělují stejnosměrný okruh, určující pracovní bod od měrného obvodu mostu. Odpor R1 zabráňuje přemostění cesty od svorky A k N kolektorovým zdrojem. Jak je z předchozího patrné, přechod z měření vstupních nebo výstupních admitancí na přenosové je prováděn přepojením bodu I z II na III.

Volba druhu měření vstupní, výstupní nebo přenosové admitance se provádí přesunutím držáku tranzistorů do jiné polohy, a tím propojení jiných elektrod tranzistoru se svorkami mostu a napájecích obvodů. Jak je patrné z obr. 6, lze otočením držáku dosáhnout pouze cyklické záměny elektrod, zbývající kombinace se uskuteční obrácením držáku. Připojení napájecích zdrojů je nutné ovšem vždy přizpůsobit poloze elektrod tranzistoru. Děje se to buď přepojením zdrojů podle Tabulky poloh držáku tranzistorů nebo v úplně soupravě zvláštním kombinátorem.

## Kombinace napájecích zdrojů

Po volbě žádaného druhu měření je nutné přivést k elektrodám tranzistoru napájecí napětí. To lze provést kombinátorem vestavěným ve stabilizovaném napájecí tranzistorů Tesla BS 448. V tomto přístroji je rovněž zabudován přepínač, umožňující přechod z tranzistoru PNP na NPN se střední nulovou polohou. V této střední poloze jsou oba zdroje odpojeny od tranzistoru a současně zkratovány přívody k přípravku. Toto opatření je nutné při vysunování držáku nebo při výměně tranzistoru. Odpojíme-li tranzistor při zapojených zdrojích, vzroste napětí proudového zdroje. Při opětovém zasunutí tranzistoru stačí náboj na oddělovacích kondensátorech ke zničení tranzistoru. Kombinátor tvoří v podstatě přepínač, umožňující provést kombinace uvedené v následující tabulce.

## TABULKA POLOH DRŽÁKU TRANZISTORŮ

Druh měření	Poloha držáku tranzistorů		Propojení adaptoru Z; N	Připojení zdrojů $U_c, I_e$ Zapojení PNP			
	$\Rightarrow$	$\rightarrow$		1	4 $\frac{1}{2}$	5	3
$y_{11b}=y_{22c}$		Ⓚ	Z	$+U_c, -I_e$	$+I_e$	$-U_c$	-
$y_{11e}=y_{11c}$	Ⓚ		Z	$+I_e$	$+U_c, -I_e$	$-U_c$	-
$y_{22b}=y_{22e}$	Ⓚ		Z	$+U_c, -I_e$	$-U_c$	$+I_e$	-
$y_{21b}$		Ⓚ	N	$-U_c$	$+I_e$	-	$+U_c, -I_e$
$y_{21e}$		Ⓚ	N	$-U_c$	$+U_c, -I_e$	-	$+I_e$
$(y_{21c})$	Ⓚ		N	$+I_e$	$+U_c, -I_e$	-	$-U_c$
$y_{12b}$		Ⓚ	N	$+I_e$	$-U_c$	-	$+U_c, -I_e$
$y_{12e}$	Ⓚ		N	$+U_c, -I_e$	$-U_c$	-	$+I_e$
$(y_{12c})$	Ⓚ		N	$+U_c, -I_e$	$+I_e$	-	$-U_c$



Označení souhlasí s obr. 6.

Tabulka platí pro tranzistory typu PNP. Pro typy NPN se obrací polarita obou zdrojů.

## TECHNICKÉ ÚDAJE

Přípravek umožňuje měření:

- a) Vstupních ( $y_{11}$ ) a výstupních ( $y_{22}$ ) admitančních parametrů tranzistorů v kmitočtovém rozsahu 300 kHz až 20 MHz.
- b) Přenosových předních ( $y_{21}$ ) a zpětných ( $y_{12}$ ) admitančních parametrů tranzistorů v kmitočtovém rozsahu 300 kHz až 20 MHz.

Chyba měření:

Ve spojení s admitančními mosty BM 432 a BM 433 po korekci imaginární složky dodávanou korekční křivkou může dosáhnout chyba měření hodnoty:

Reálná složka:

$$\text{BM 432: } \Delta G_p = \pm \left[ \frac{|G_p|}{20} + 0,018f \cdot |C_p| + 0,2 \right] \mu\text{S} \quad /\mu\text{S;MHz;pF/}$$

$$\text{BM 433: } \Delta G_p = \pm \left[ \frac{|G_p|}{20} + 0,018f \cdot |C_p| + 20 \right] \mu\text{S} \quad /\mu\text{S;MHz;pF/}$$

Imaginární složka:

$$\text{BM 432: } \Delta C_p = \pm \left[ \frac{|C_p|}{20} + 5,3 \frac{|G_p|}{f} \cdot 10^{-4} + 0,05 \right] \text{pF} \quad /\text{pF;}\mu\text{S;MHz/}$$

$$\text{BM 433: } \Delta C_p = \pm \left[ \frac{|C_p|}{20} + 5,3 \frac{|G_p|}{f} \cdot 10^{-4} + 5 \right] \text{pF} \quad /\text{pF;}\mu\text{S;MHz/}$$

Při třípólových měřeních přistupuje navíc chyba způsobená příčnými členy. Její vyhodnocení je uvedeno v návodu k mostům BM 432 a BM 433.

Z měření jsou vyloučeny přenosové parametry v zapojení s uzemněným kolektorem ( $y_{21c}$  a  $y_{12c}$ ).

Při měření kapacit větších než 100 pF na kmotočtech nad 10 MHz je třeba brát v úvahu zbytkovou indukčnost přípravku.

$$G_p = G_m (1 - 2\omega^2 L_o C_m) \quad /S; Hz; H; F/$$

$$C_p = C_m (1 - \omega^2 L_o C_m + G_m \frac{L_o}{C_m}) \quad /F; Hz; S; H/$$

$G_m, C_m$  .... měřené hodnoty

$G_p, C_p$  .... korigované hodnoty

$L_o$  .... indukčnost přípravku  $L_o = (6 \div 8) \cdot 10^{-9}$  H

Rozměry: 100 x 100 x 40 mm

Váha: 0,35 kg

Příslušenství: 3 šrouby 1AF 261 48  
korekční křivka 1AV 155 19

### KOREKČNÍ KŘIVKA

Korekční křivka, která je dodávána jako příslušenství, opravuje odchylku imaginární složky  $C_p$ , způsobenou konečnou velikostí kapacity oddělovacího kondensátoru  $C_1$  a indukčností přípravku  $L_o$ .



$$C_p = C_m + C_k$$

$C_m$  .... údaj mostu - imaginární složka měřené admitance

$$C_k = - \frac{(1 - \omega^2 L_0 C_1) G_p^2}{\omega^2 C_1} \quad \dots \quad \text{odchylka dle korekční křivky}$$

$G_p$  .... reálná složka měřené admitance

$C_1$  .... kapacita oddělovacího kondensátoru  $C_1 = 1,9 \cdot 10^{-6} \text{F}$

Jak je patrné z průběhu korekční křivky, převažuje na nižších kmitočtech ( $f < 1,4 \text{ MHz}$ ) vliv konečné velikosti kapacity oddělovacího kondensátoru přípravku. V převodu na paralelní kombinaci uplatňuje se i reálná složka  $G_p$ . Na kmitočtu  $\sim 1,4 \text{ MHz}$  nastává seriová rezonance kapacity oddělovacího kondensátoru a indukčnosti přípravku, vylučující v této oblasti vliv zbytkových parametrů. Nad tímto kmitočtem je zbytková susceptance induktivního charakteru. Seriová indukčnost se převádí na zápornou paralelní kapacitu nezávislou na kmitočtu, ale se závislostí na  $G_p$ .

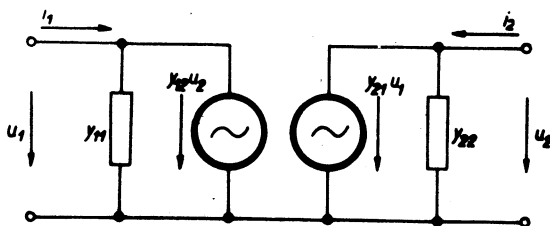
## PRINCIP MĚŘENÍ

Tranzistor lze při malých signálech považovat za lineární čtyřpól. Jeho chování lze tedy vyjádřit soustavou čtyřpólových rovnic. Při vyšších kmitočtech se užívá admitanční nahrazení:

$$i_1 = Y_{11} u_1 + Y_{12} u_2$$

$$i_2 = Y_{21} u_1 + Y_{22} u_2$$

Tomuto vyjádření odpovídá následující náhradní zapojení:



Obr. 3

Význam jednotlivých admitančních parametrů  $y$  vyplývá z rozboru čtyřpólové rovnice.

- $y_{11} = \frac{i_1}{u_1}$  .... vstupní admitance při výstupu nakrátko ( $u_2 = 0$ )  
 $y_{12} = \frac{i_1}{u_2}$  .... přenosová admitance ve zpětném směru při vstupu nakrátko ( $u_1 = 0$ )  
 $y_{21} = \frac{i_2}{u_1}$  .... přenosová admitance v předním směru při výstupu nakrátko ( $u_2 = 0$ )  
 $y_{22} = \frac{i_2}{u_2}$  .... výstupní admitance při vstupu nakrátko ( $u_1 = 0$ )

Jsou to obecně komplexní veličiny:

$$y_{11} = g_{11} + j\omega C_{11}$$

$$y_{12} = g_{12} + j\omega C_{12}$$

$$y_{21} = g_{21} + j\omega C_{21}$$

$$y_{22} = g_{22} + j\omega C_{22}$$

Při našem způsobu měření zjistíme vyrovnáním mostu reálnou

složku  $g_{ij}$  a kapacitu  $C_{ij}$ . Admitanci  $y_{ij}$  musíme naznačeným způsobem vypočítat.

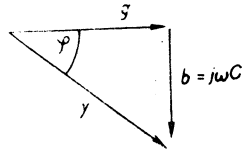
Parametr  $y_{21}$  bývá někdy uváděn absolutní hodnotou admitance  $|y_{21}|$  a fázovým úhlem  $\varphi_{21}$ . Pak platí:

$$y_{21} = |y_{21}| \cdot e^{j\varphi_{21}} = g_{21} + j\omega C_{21}$$

Přepočet je možný užitím základních vztahů komplexního vyjádření:

$$|y_{21}| = \sqrt{g_{21}^2 + \omega^2 C_{21}^2}$$

$$\varphi = \arctg \frac{\omega C_{21}}{g_{21}}$$



a pro zpětný převod z polárních souřadnic do kartézských:

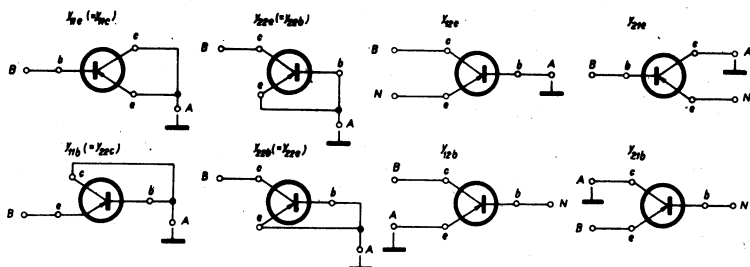
$$g_{21} = |y_{21}| \cos \varphi_{21}$$

$$C_{21} = \frac{|y_{21}| \sin \varphi_{21}}{\omega}$$

Ve všech vztazích  $\omega = 2\pi f$ , kde  $f$  je použitý kmitočet.

Foněvadž tranzistor může pracovat ve třech základních zapojeních, se společnou bází, se společným emitorem a se společným kolektorem, musí se rozlišovat charakteristické veličiny (parametry) v jednotlivých zapojeních příslušnými indexy. Význam parametrů je pro libovolné zapojení stejný, ale velikost je v každém zapojení jiná. Náš přípravek BP 4320 umožňuje měření všech parametrů v zapojení se společným emitorem a se společnou bází. Připojení tranzistoru

je objasněno na následujících zjednodušených schemech:



Obr. 4

Písmeny A, B, N jsou označeny svorky mostu.

Vzájemné převody  $y$  parametrů pro jednotlivá zapojení tranzistoru:

$$\begin{aligned}
 Y_{11e} &= Y_{11b} + Y_{22b} + Y_{12b} + Y_{21b} & Y_{11b} &= Y_{11e} + Y_{22e} + Y_{12e} + Y_{21e} \\
 Y_{21e} &= -Y_{22b} - Y_{21b} & Y_{21b} &= -Y_{22e} - Y_{21e} \\
 Y_{12e} &= -Y_{22b} - Y_{12b} & Y_{12b} &= -Y_{22e} - Y_{12e} \\
 Y_{22e} &= Y_{22b} & Y_{22b} &= Y_{22e} \\
 \\ 
 Y_{11c} &= Y_{11b} + Y_{22b} + Y_{12b} + Y_{21b} & Y_{11c} &= Y_{11e} \\
 Y_{21c} &= -Y_{11b} - Y_{12b} & Y_{21c} &= -Y_{11e} - Y_{21e} \\
 Y_{12c} &= -Y_{11b} - Y_{21b} & Y_{12c} &= -Y_{11e} - Y_{12e} \\
 Y_{22c} &= Y_{11b} & Y_{22c} &= Y_{11e} + Y_{22e} + Y_{12e} + Y_{21e}
 \end{aligned}$$

Pro převod do systému  $h$  parametrů platí následující vztahy:

$$h_{11} = \frac{1}{y_{11}} ; h_{12} = \frac{-y_{12}}{y_{11}} ; h_{21} = \frac{y_{21}}{y_{11}} ; h_{22} = \frac{y_{11}y_{22} - y_{12}y_{21}}{y_{11}}$$

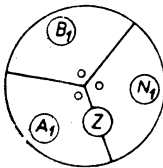
Těmito vztahy lze převádět parametry v odpovídajícím zapojení, tedy např.  $h_{11e} = \frac{1}{y_{11e}}$ ,  $h_{11b} = \frac{1}{y_{11b}}$  atd.

Při výpočtu je nutno respektovat skutečnost, že se jedná o podíl (případně součin) komplexních veličin.

## VLASTNÍ MĚŘENÍ

K admitančnímu mostu Tesla BM 432 nebo BM 433 připojíme generátor a indikátor. Pro stejnosměrné napájení měřeného tranzistoru použijeme zdroje kolektorového napětí  $U_c$  a zdroje emitorového proudu  $I_e$ . Tento požadavek splňuje stabilizovaný napáječ tranzistorů Tesla BS 448. Po připojení přípravku BP 4320 a uvedení přístroje do chodu, můžeme přikročit k vlastnímu měření.

### Měření vstupních ( $y_{11}$ ) a výstupních ( $y_{22}$ ) parametrů



Obr. 5

Adaptor přípravku přišroubujeme ke svorkám mostu BM 432 (BM 433) pomocí šroubů (dodávaných jako příslušenství) do otvorů  $A_1$ ,  $B_1$ ,  $Z$  (viz obr. 5).

Otvor  $N_1$  zůstane volný.

Konektor kabelu přípravku propojíme se zdrojem Tesla BS 448. Přepínač "PNP-O-NPN" přepneme do polohy 0.

Držák tranzistorů zasuneme do polohy, odpovídající požadovanému druhu měření.

Do téže polohy přepneme funkční přepínač zdroje BS 448 (kombinator). Na generatoru nastavíme požadovaný měřicí kmitočet, doladíme indikátor a vynulujeme most. V případě, že nelze nulovacími prvky admitančního mostu BM 432 (BM 433) most vyrovnat, provedeme vyrovnání měřicími prvky (viz návod k admitančním mostům). Zasuneme měřený tranzistor do příslušných otvorů držáku tranzistorů a přepínač "PNP-O-NPN" zdroje BS 448 přepneme podle typu měřeného tranzistoru do příslušné polohy. Nastavíme pracovní bod - nejprve kolektorové napětí, pak emitorový proud. Pak vyrovnáme most a odečteme naměřené hodnoty.

Při vyrovnaném mostu je nutné zkontrolovat napětí na měřeném objektu (mezi svorkami  $A_2$  a  $B_2$ ). Toto napětí nesmí překročit  $10 \text{ mV}_{ef}$ , jinak naměřené hodnoty neodpovídají skutečnosti.

#### Opakovaná měření

- a) Tentýž tranzistor ve stejném zapojení na stejném kmitočtu, jen pro jiný pracovní bod.  
Stačí po změně pracovního bodu znovu vyrovnat most. Lze předpokládat, že vř napětí na objektu se nezmění.
- b) Různé tranzistory ve stejném zapojení na stejném kmitočtu.  
Po skončení předcházejícího měření přepneme přepínač "PNP-O-NPN" zdroje BS 448 do polohy 0 a vyměníme tranzistor. Pak přepneme zpět do polohy NPN (PNP) a po nastavení pracovního bodu můžeme provést měření. I zde lze předpokládat, že vř napětí na objektu se nezmění.
- c) Ve všech ostatních případech je nutné opakovat celý postup

měření. To znamená přepnout přepínač "PNP-O-NPN" do polohy O a vyjmout tranzistor. Změnit prvky měření (zapojení tranzistorů, kmitočety a pod.), vynulovat most, zasunout tranzistor, nastavit pracovní bod, změřit a odečíst hodnotu, kontrolovat vř. napětí na objektu.

### Měření přenosových parametrů $y_{21}$ a $y_{12}$

Přípravek přišroubujeme ke svorkám mostu BM 432 (BM 433) pomocí šroubů (příslušenství) do otvorů  $A_1$ ,  $B_1$ ,  $N_1$ . Otvor Z zůstane volný. Další postup měření je shodný jako při měření  $y_{11}$  a  $y_{22}$ .

Upozorňujeme, že toto zařízení měří přenosové parametry  $y_{21}$  a  $y_{12}$  se záporným znaménkem, tedy  $-y_{21}$  a  $-y_{12}$ .

### Měření diod

Přípravek přišroubujeme ke svorkám mostu pomocí šroubů (příslušenství) do otvorů  $A_1$ ,  $B_1$ , Z - viz obr. 5. Otvor  $N_1$  zůstane volný. Konektor kabelu přípravku propojíme se zdrojem Tesla BS 448. Přepínač "PNP-O-NPN" do polohy O. Držák tranzistorů zasuneme do polohy  $y_{22e} = y_{22b}$ . Do téže polohy přepneme funkční přepínač zdroje BS 448 (kombinátor). Na požadovaném kmitočtu vynulujeme most a zasuneme diodu do zdiřek B - C držáku tranzistorů. Požadujeme-li kladný pól zdroje  $U_c$  na zdiřce označené B, přepneme přepínač "PNP-O-NPN" do polohy PNP. V poloze NPN je kladný pól na zdiřce C a záporný na zdiřce B. Napětí regulujeme zdrojem  $U_c$  a jeho velikost měří příslušné měřidlo zdroje. Vyrovnáme most a odečteme naměřené hodnoty.

Připomínky k měření

- a) Při měření  $Y_{21e}$  vychází reálná složka admitance záporná. Měření je nutné upravit tak, že paralelně ke svorkám mostu (ne přípravku) se připojí odpor  $10 \Omega$  a místo nulování se provede předběžné vyrovnání s tímto odporem. Hodnotu je nutno zaznamenat ( $G_A, C_A$ ). Po zasunutí tranzistoru zjistíme  $G_B, C_B$ . Složky admitance tranzistoru pak vypočteme ze vztahu:

$$G_P = G_B - C_A$$

$$C_P = C_B - C_A$$

Při připojeném přípravku je vhodné zapojit zmíněný odpor  $10 \Omega$  mezi svorky  $A_3$  (zdička na adaptoru) a  $B_2$  (příslušný kolík držáku tranzistorů propojený s  $B_1$ ).

- b) Konstrukce přípravku připouští maximální velikost kolektorového napětí  $U_{c \max.} = \pm 100 \text{ V}$ . Emitorový proud může dosáhnout hodnoty  $I_e \max. = 100 \text{ mA}$  v zapojeních

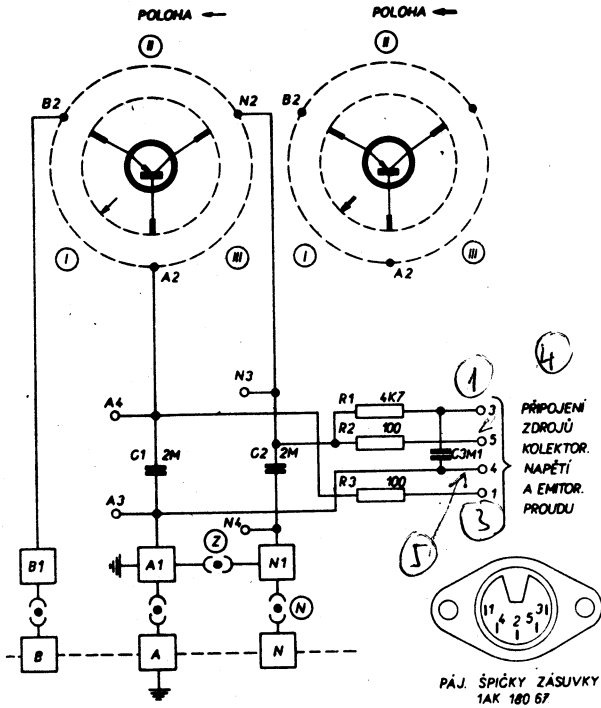
$$Y_{11b} = Y_{22c}; Y_{11e} = Y_{11c}; Y_{22b} = Y_{22e}; Y_{21b}; Y_{12b}$$

V zapojeních  $Y_{21e}$  a  $Y_{12e}$  nemůže  $I_e$  přesáhnout  $10 \text{ mA}$ , neboť je omezen maximální výkonovou ztrátou v oddělovacím odporu  $R_1$ .

- c) Při obsluze se nedotýkáme obnažených kolíků držáku tranzistorů, aby nebylo ovlivněno měření a dále proto, že na těchto kolících je napětí nastaveného pracovního bodu.



ZAPOJENÍ PŘÍPRAVKU BP 4320



Obr. 6

Rozpis el. součástí

R1	TR 114 4k7
R2	TR 113 100
R3	TR 113 100
C3	TC 181 M1

Kondensátory C1 a C2 sestaveny z kombinace čtyř kondensátorů s kapacitou 0.47  $\mu$ F (TC 181 M47).