

Každý technik, profesionál i amatér, s opravdovým zájmem o elektroniku ví, že předpokladem ke správnému pochopení funkce elektronických obvodů je jejich měření. Proto se snaží změřit na zkušebním zapojení či vzorku přístroje podle svých možností a vědomostí všechny potřebné údaje. Výsledky měření si zaznamenává do tabulek nebo je pro větší přehlednost graficky zpracuje. V dnešní době – době všeobecného nedostatku času – se používají především ty měřicí přístroje, které umožní proměřit zkoušený obvod co nejdokonaleji a v co nejkratším čase. Jedním z těchto přístrojů je elektronický (tranzistorový) osciloskop – měřicí přístroj, který na ploše stínítka obrazové elektronky zobrazuje tvar a průběh měřených veličin ve zkoušené soustavě.

Tak se během doby objevil tzv. katodový osciloskop s Braunovou trubicí, který již splňoval některé z uvedených požadavků. Braunova trubice však měla studenou katodu a k provozu vyžadovala vysoké napětí řádu desítek kV. Práce s tímto osciloskopem byla nebezpečná a mohl ji vykonávat jen zvláště vyškolený technik. Přístroj kladl velké požadavky na pozornost a opatrné zacházení a byl málo spolehlivý i přesný.

Dalším vývojovým stupněm je již osciloskop s obrazovkou se žhavenou katodou. Zavedení této obrazovky umožnilo zjednodušit konstrukci osciloskopu především proto, že ke spolehlivému provozu obrazovky stačilo několik stovek až tisíc V. Osciloskop přestává být choulostivým laboratorním přístrojem a začíná se v hojně

MĚŘIT, měřit, MĚŘIT

Elektronický osciloskop vznikl dlouhým vývojem z původních mechanických „osciloskopů“ s písátkem, z osciloskopů strunových a zrcátkových. Tyto přístroje byly velmi nákladné, objemné a velmi málo spolehlivé. Jejich použitelnost k záznamu rychlejších dějů byla omezena setrvačností jejich mechanických částí. S rozvojem techniky se zvětšují požadavky na přesnost, rychlost, rozsah a možnosti měření – osciloskop v nové éře techniky musí být schopen zaznamenávat periodicky probíhající elektronické děje s kmitočtem až řádu megahertzů a to pokud možno bez zkreslení, musí mít značnou citlivost, velký vstupní odpor, by příliš nezatěžoval měřený obvod atd.

míře používat nejen v elektrotechnických laboratořích, ale i v odlehlých oborech techniky. V poválečných letech proniká ve větší míře i na amatérská pracoviště a nalézá široké uplatnění, neboť amatéru nahrazuje některé drahé měřicí přístroje. Podnět k rozšíření osciloskopů v této době dává především zrušení vojenských válečných skladů, z nichž přišlo na trh množství malých kvalitních obrazovek.

A tak se důležitost osciloskopu postupně zvětšuje. S novými součástkami je možné konstruovat stále dokonalejší osciloskopy, menší a spolehlivější se snazší obsluhou. V posledních letech – v době intenzivního rozvoje elektroniky – je zaznamenáván i prudký vývoj osciloskopů.

Jsou vyvinuty velmi dokonalé a velmi citlivé obrazovky, elektronkové obvody osciloskopů jsou zcela nahrazeny obvody s tranzistory a integrovanými obvody. Vznikají speciální firmy, vyrábějící především osciloskopy (např. Tektronix, Solartron aj.). Výrobní program těchto firem zahrnuje mnoho druhů osciloskopů od velmi jednoduchých až po speciální typy, např. pro televizní techniku, přenosné osciloskopy napájené z baterií i velmi kvalitní, rozměrné (a drahé) osciloskopy s bohatým příslušenstvím. Pro pohotovost, snadnou přenosnost a všestranné použití stal se osciloskop snad nejrozšířenějším měřicím přístrojem. Možností použití osciloskopů je tolik, že pouhé vyjmenování by zabralo mnoho místa, připomeňme si proto pouze stručně ty důležitější (i jednodušší) obory měření. Přístroj měří amplitudy a časový průběh střídavých napětí nízkého i vysokého (nejmodernější přístroje i velmi vysokého) kmitočtu a jeho velký vstupní odpor jen velmi málo zatěžuje měřený obvod. Pracuje tedy i jako voltmetr s malou spotřebou, který měří mezivrcholové (špičkové) střídavé napětí.

V amatérské praxi (pokud nemáme k dispozici kvalitní tovární přístroj) se osciloskop uplatní zejména v nf technice

(měří zkreslení jednotlivých stupňů zesilovačů, kontroluje správnou velikost budicího napětí jednotlivých elektronek a tranzistorů, měří výkon koncových stupňů; pomocí osciloskopu lze i odhalovat zdroje rušivých napětí, sledovat velikost zbytkových střídavých napětí v napájecích obvodech atp.).

Osciloskopem lze velmi rychle a spolehlivě kontrolovat a proměřit i jednotlivé elektronické součástky. Můžeme měřit reproduktory, mikrofony, přenosky, potenciometry a ladicí kondenzátory, zjišťovat jakost a převod různých druhů transformátorů. Uplatnění najde osciloskop i při snímání pracovních charakteristik aktivních elektronických prvků, při měření a srovnávání různých kmitočtů, při sladování přijímačů, při zjišťování rezonančních křivek laděných obvodů a při sledování fázových poměrů i ve složitých obvodech. Osciloskop usnadňuje práci i ve velmi odlehlých odvětvích měřicí techniky, jako např. při měření nepravidelných a jednorázových dějů a krátkých časových intervalů, při kontrole činnosti relových obvodů, při měření hystereze jak elektronických, tak magnetických obvodů, při měření můstkovými metodami (jako indikátor nuly) a v mnoha jiných případech.

Nezapomeňte na konkurs AR - Tesla

Čtvrtý ročník konkursu AR-Tesla končí 15. září 1972. Již jste se rozhodli, jakou konstrukci do konkursu přihlásíte? Konkurs je kromě jiného přehlídkou technické vyspělosti čs. radioamatérů – neměli byste zameškat příležitost přispět i svou „troškou do mlýna“.

Podrobné podmínky konkursu a seznam vypsanych cen jsou v AR č. 2/1972 na str. 43.

OSCILOSKOP V PRAAXI

Ing. J. Marek, J. Zuska

Hlavní části osciloskopu

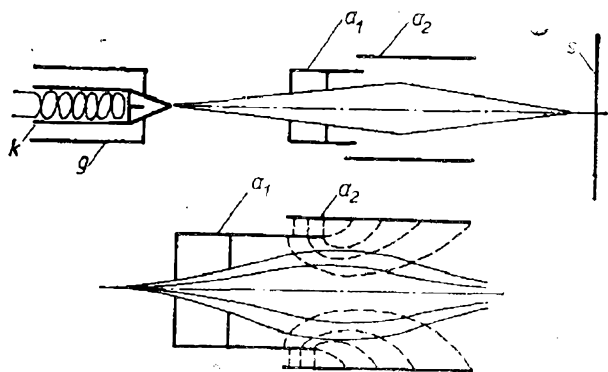
Blokové schéma univerzálního osciloskopu je na obr. 1. Napětí pro svislé (vertikální) vychylování (vstup Y) se přivádí přes odporový, kmitočtově kompenzovaný stupňovitý dělič na vstup zesilovače Z_s , a odtud na svisle vychylující elektrody obrazovky. Vychylovací napětí se plynule reguluje změnou zesílení zesilovače Z_s . Kanál pro vodorovné (horizontální) vychylování je upraven stejným způsobem. Vstup zesilovače Z_v pro vodorovné vychylování lze však přepnout přepínačem $Př_1$ na výstup generátoru časové základny ČZ. Časová základna (podle polohy přepínače $Př_2$) může být synchronizována buď z výstupu „svislého“ zesilovače Z_s (vnitřní synchronizace), nebo vnějším synchronizačním napětím, přiváděným na vstup („synchro“) osciloskopu.

Obrazová elektronika

V univerzálních osciloskopech se používají téměř výhradně obrazovky s elektro-

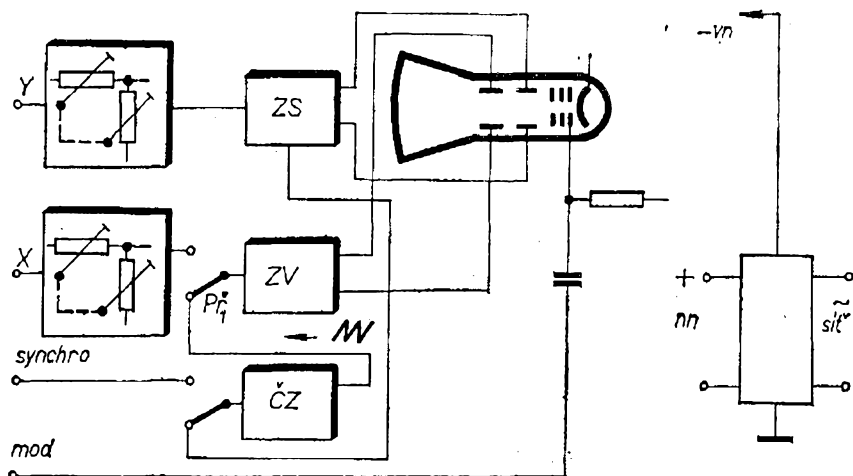
trostatickým vychylováním a ostřením, neboť ty jsou pro daný účel mnohem vhodnější, než obrazovky s elektromagnetickým vychylováním.

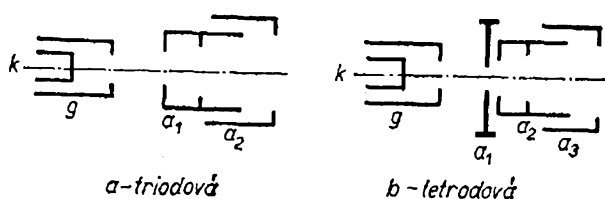
Na obr. 2 je tok elektronů v elektronově-optickém systému obrazovky s elektrostatickým ostřením. Pro použití v osciloskopu je důležité, aby stopa elektronového paprsku na stínítku (bod) měla co nejmenší průměr. Platí zásada, že čím větší



Obr. 2. Tok elektronů v obrazovce s elektrostatickým ostřením; k – katoda, g – Wehneltův válec, a_1 – první anoda (zaostřovací), a_2 – druhá anoda (hlavní), s – stínítka

Obr. 1. Blokové schéma univerzálního osciloskopu





Obr. 3. Základní typy elektronové trysky obrazovky

je urychlovací napětí (napětí hlavní, poslední anody), tím ostřejší je bod (elektrony mají větší rychlost, jejich hustota v paprsku je menší a k dosažení stejného jasu je třeba menší proud paprsku. Mohou se tedy méně projevit rozostřující síly v paprsku).

Na obr. 3 jsou dva základní typy elektronové trysky. Vlevo je jednodušší, triodová tryska, vpravo dokonalejší tetrodová tryska. Tetrodová tryska má mezi Wehneltovým válcem a zaostřovací anodou a_2 stínící elektrodu a_1 s konstantním napětím. Stínící elektroda odstraňuje vzájemné ovlivňování jasu a ostroty světelné stopy.

Jedním z nejzávažnějších parametrů obrazovky je citlivost jejího vychylovacího systému. Elektrostatické vychylování elektronového paprsku je zřejmé z obr. 4. Důležitým parametrem je statická citlivost vychylovacího systému obrazovky C_s . Je udávána zpravidla v mm/V a závisí na geometrii vychylovacího systému a na urychlovacím napětí (tj. na rozdílu napětí katody a hlavní anody). Citlivost běžných obrazovek s anodovým napětím 1 až 2 kV bývá asi 0,1 až 1,0 mm/V.

Z konstrukčního hlediska jsou u většiny běžných obrazovek umístěny dvojice destiček vychylovacích systémů v dráze paprsku za sebou. Z tohoto důvodu jsou vzdálenosti l_x a l_y středů obou systémů X a Y od stínítka různé, takže různé jsou i jejich vychylovací citlivosti. Systém, který je umístěn blíže ke stínítku, má vychylovací citlivost větší a zapojuje se jako svisle vychylující (Y). Zavádí se proto též označení:

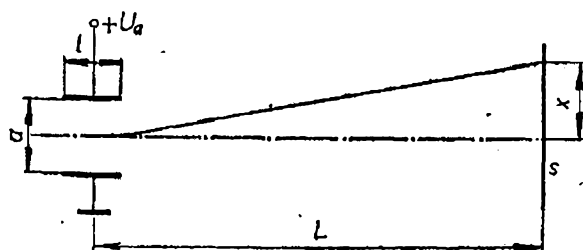
C_{sX} – statická citlivost vodorovně vychylujícího systému [mm/V] a C_{sY} – statická citlivost svisle vychylujícího systému [mm/V].

Pro dobrou funkci elektronově-optického systému obrazovky musí být prostor mezi hlavní (poslední) anodou a stínítkem bez elektrického pole. Na skle obrazovky je vytvořen stínící povlak a je nutné, aby střední napětí vychylovacích destiček bylo stálé a stejné jako napětí hlavní (poslední) anody. Tento požadavek je splněn tehdy, přivádí-li se vychylovací napětí symetricky na obě vychylovací destičky příslušného systému. Nesymetrické vychylování způsobuje jednak rozostření paprsku a jednak lichoběžníkovité zkreslení.

Konstrukční úpravou geometrie vychylovacích destiček lze lichoběžníkovité zkreslení potlačit, rozostření však zůstává. V důsledku těchto nedostatků se u jarkostnějších tříd osciloskopů zásadně používá symetrické vychylování. Obrazovku, která má nesymetrický vychylovací systém (daný konstrukcí, např. 12QR70) nelze pro dobrý osciloskop použít v zapojení se symetrickým buzením a naopak.

Dalším důležitým parametrem obrazovky je její kmitočtová závislost. Údaj statické vychylovací citlivosti platí jen tehdy, je-li doba toku elektronů mezi destičkami zanedbatelná vzhledem k době trvání pozorovaného děje. Budíme-li vychylovací systém sinusovým napětím, zmenšuje se při vyšších kmitočtech vychylovací citlivost. Vychylovací citlivost bude nulová tehdy, je-li doba toku elektronů mezi elektrodami rovna době kmitu. Tato kmitočtově závislá vychylovací citlivost se obvykle nazývá dynamická vychylovací citlivost C_d .

Kmitočtová závislost citlivosti vychylovacího systému se u běžných oscilosko-



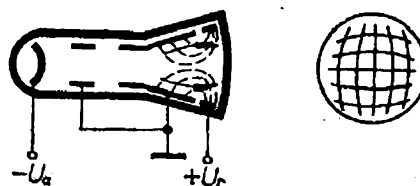
Obr. 4. Elektrostatické vychylování paprsku. Statická citlivost vychylovacího systému obrazovky

pických obrazovek projevuje až při poměrně vysokých kmitočtech, takže u univerzálních osciloskopů není zpravidla omezujícím činitelem. Musí však být uvažována u speciálních osciloskopů, určených pro pozorování velmi vysokých kmitočtů. Daleko závažnější je však fázová chyba mezi oběma systémy, která vzniká konečnou dobou průletu elektronů mezi prvním a druhým vychylovacím systémem a která může způsobovat chybu při měření fázového úhlu.

Stínítko obrazovky

Stínítko obrazovky je skleněné, povlečené uvnitř světélkující vrstvou. Rozeznáváme vrstvy s krátkým, středním a dlouhým dosvitem (tato vlastnost je u každého typu obrazovky uvedena v katalogu). Pro běžné univerzální osciloskopy se používají vrstvy s krátkým dosvitem, obvykle zelené barvy. Pro speciální účely (např. pro přesné snímky oscilogramů) se vyrábějí obrazovky s rovným stínítkem. Modře světélkující stínítko se dnes užívá jen tam, kde je potřebná velmi krátká doba dosvitu a intenzivní stopa. Modrá světelná stopa velmi rychle unavuje zrak.

Protože stínítko obrazovky je z nevodivého materiálu, musí se přebytek elektronů odvádět sekundární emisí. Aby byla obrazovka schopna stabilní funkce, musí být proto urychlovací napětí větší než určitá minimální velikost. Toto minimální napětí je nutné k tomu, aby činitel sekundární emise byl větší než jedna. Je-li urychlovací napětí menší než minimální velikost (u běžných obrazovek zpravidla 300 až 600 V), potom se nabije stínítko záporně a odpuzuje další elektrony a obrazovka je delší dobu vyřazena z provozu (než se náboj vybije). Naopak nemá smysl u běžných obrazovek příliš zvětšovat urychlovací napětí. Činitel sekundární emise elektronů, který se počátku při zvětšování urychlovacího napětí zvětšuje, později opět klesá. To je způsobeno tím, že dopadající primární elektrony pronikají příliš hluboko do povrchu stínítka. Urychlovací napětí, při němž činitel sekundární emise bude opět

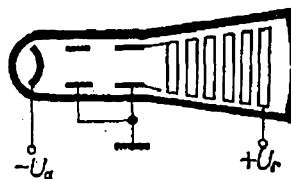


Obr. 5. Vznik soudkovitého zkreslení v obrazovce s dodatečným urychlením

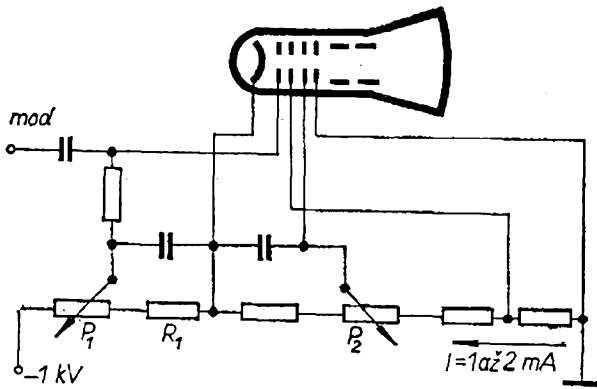
jedna, se nazývá mezní urychlovací napětí obrazovky.

Důležitým parametrem, který charakterizuje kvalitu a vlastnosti stínítka, je maximální psací rychlost. Stínítko obrazovky potřebuje ke svému vyhubení (rozsvícení) určitou minimální dobu. Speciální obrazovky s velkým urychlovacím napětím mají maximální psací rychlost 1 000 až 20 000 km/s. Běžné typy obrazovek pro univerzální osciloskopy mají psací rychlost několik km/s.

K dosažení mimořádně velkého jasu a velké psací rychlosti se používá tzv. dodatečné urychlení, což umožňuje fotografovat i rychlé jednorázové děje. Již vychýlený paprsek je urychlován těsně před dopadem na plošku stínítka obrazovky. Urychlovací anoda je tvořena prstenem na vnitřním obvodu baňky. Prsten je oddělen od stínítka a přivádí se na něj napětí až dvakrát větší, než je vlastní urychlovací napětí. Je-li dodatečné urychlovací napětí příliš velké, je nebezpečí vzniku soudkovitého zkreslení (obr. 5). Aby byla tato nevýhoda odstraněna, je u obrazovek určených pro velká urychlovací napětí konstruována urychlovací anoda podle obr. 6. Urychlovací anoda je tvořena polovodivou spirálou, umístěnou na vnitřní stěně baňky obrazovky. Jeden její konec je spojen s hlavní anodou, která je uzem-



Obr. 6. Konstrukce urychlovací elektrody pro velké urychlovací napětí



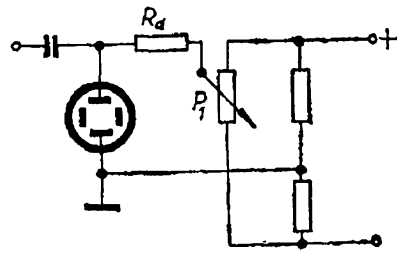
Obr. 7. Princip zapojení elektronové trysky obrazovky v osciloskopu

něna a na druhý konec se přivádí kladné urychlovací napětí až 10 kV. Proud urychlovací elektrody je zhruba asi 50 μ A.

Ovládací obvody obrazovky

Princip zapojení elektronové trysky v přístroji je na obr. 7. Protože zdroje vysokého napětí nejsou výkonové, je proud odporovým děličem velmi malý, zpravidla 0,5 až 2 mA. Při návrhu nebo opravách děliče je nutné odpory správně dimenzovat, tj. kontrolovat jejich zatížení jak výkonové, tak napěťové. U ovládacích prvků (potenciometrů) je třeba kontrolovat, není-li překročeno dovolené napětí proti kostře. Z tohoto důvodu se potenciometry upevňují velmi často na izolační podložky a jejich kovový kryt bývá připojen na jeden konec odporové dráhy. Jas obrazovky – proud elektronového paprsku – se řídí potenciometrem P_1 . Potenciometrem P_2 se zaostruje světelná stopa na ploše stínítka obrazovky. Pro dobrou funkci obrazovky má být napětí na zaostrovací anodě velmi málo závislé na jejím proudu (tzn. tvrdé). Platí důležité pravidlo – napětí na Wehneltově válci nesmí být nikdy kladné vůči katodě obrazovky. Z tohoto důvodu je v děliči zařazen odpor R_1 . Několik příkladů uspořádání odporových děličů pro posuv paprsku je na obr. 8 a 9.

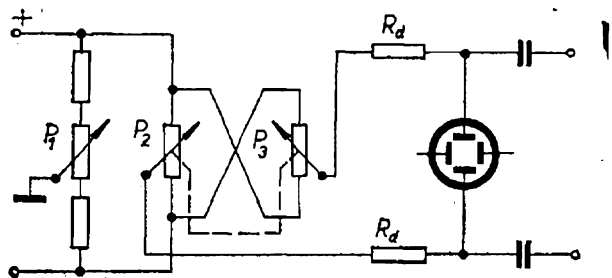
Nejjednodušším zapojením pro posuv paprsku po ploše stínítka obrazovky je zapojení na obr. 8. Toto zapojení lze použít pouze pro obrazovky s nesouměrným



Obr. 8. Jednoduchý způsob posuvu paprsku u obrazovky s nesymetrickým systémem

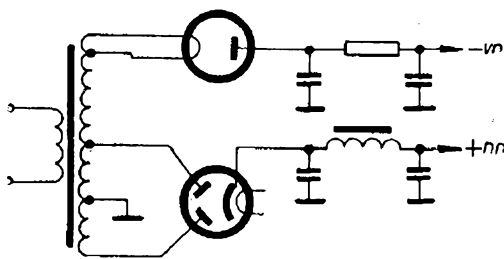
(asymetrickým) vychylováním. Jeho velkou nevýhodou je, že se při změně polohy světelné stopy potenciometrem P_1 rozostřuje světelná stopa. K tomuto jevu dochází proto, že se mění při regulaci polohy paprsku střední potenciál vychylovacích destiček. V tomto zapojení se též nerovná střední potenciál vychylovacích destiček potenciálu hlavní (poslední) anody.

Dokonalejší způsob posouvání světelné stopy po ploše stínítka obrazovky je na obr. 9. Toto zapojení je symetrické a používá se pro obrazovky se souměrným (symetrickým) vychylovacím systémem. Světelná stopa se posouvá současně změnou potenciálu obou vychylovacích destiček tandemovými potenciometry P_2 a P_3 . Tyto potenciometry jsou zapojeny tak, že se napětí obou vychylovacích destiček mění v opačném smyslu, takže jejich střední potenciál zůstává zachován. Změnou středního potenciálu vychylovacích destiček potenciometrem P_1 lze korigovat astigmatismus obrazovky. Astigmatismus obrazovky vzniká tehdy, nemá-li elektrická osa elektronové trysky souhlasnou polohu s geometrickým středem vychylovacího systému. V tomto místě má

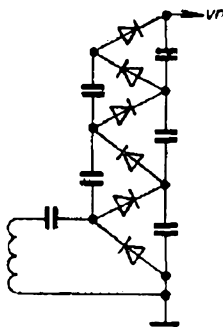


Obr. 9. Princip zapojení obvodu pro posuv paprsku u obrazovky se symetrickým systémem

$$6 \cdot \frac{4}{72} R_K$$



Obr. 10. Klasické zapojení zdroje vysokého napětí pro obrazovku



Obr. 11. Násobič napětí

být totiž nulový potenciál vůči hlavní anodě (zemi). Tuto podmínku nelze při sériové výrobě obrazovek prakticky splnit. Nevýhodou tohoto zapojení je potřeba samostatného zdroje pro každý vychylovací systém. V praxi se proto používá modifikace tohoto zapojení, jejímž základem je použití jednoho společného zdroje pro oba vychylovací systémy.

Zdroje vysokého napětí pro obrazovku

Zdroje vysokého napětí pro obrazovky osciloskopů mají tři základní zapojení – klasické podle obr. 10, násobiče napětí podle obr. 11 a konečně vysokofrekvenční zapojení podle obr. 12.

Nevýhodou klasického zapojení napájecího zdroje (obr. 10) je potřeba zvláštního sekundárního vinutí transformátoru s velkým počtem závitů – tím se značně zvětšují rozměry transformátoru. Nevýhodou je i nutnost používat pro potřebné vyhlazení usměrněného napětí vyhlazovací kondenzátory s velkými kapacitami (protože se usměrňuje napětí s kmitočtem 50 Hz).

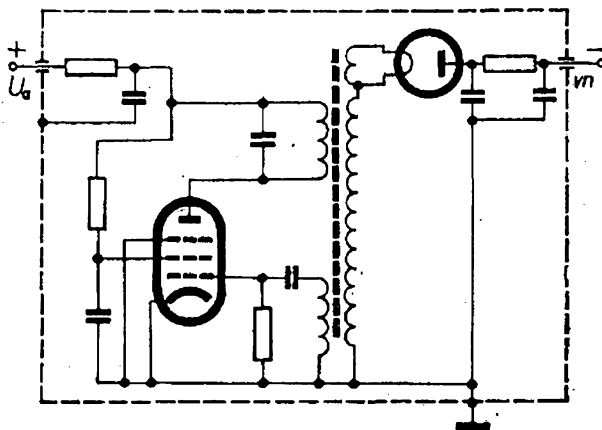
Zdroj vysokého napětí podle klasického zapojení je zdroj tvrdý, je schopen dodat i velké proudy – je proto i životu nebezpečný.

Zdroj s násobičem napětí je již modernější koncepce, při konstrukci je i rozměrově menší. Velmi často se používá ve starších osciloskopech.

Vysokofrekvenční zdroj představuje moderní řešení. Jeho konstrukce není náročná, velmi příznivé jsou i rozměry zdroje při konstrukci. Protože se usměrňuje napětí s kmitočtem řádu kHz, postačí k vyhlazení filtrační kondenzátory s velmi malými kapacitami. Protože při přetížení měnič přestává kmitat, není životu nebezpečný. Nevýhodou je, že se musí celý zdroj pečlivě stínit. Dnes při náhradě elektronek tranzistory a usměrňovacích vakuových diod polovodičovými diodami v zapojení násobiče napětí představuje tento typ zdroje nejvýhodnější směr ve vývoji zdrojů vysokého napětí pro obrazovky osciloskopů.

Zesilovače pro svislé a vodorovné vychylování

Protože citlivost běžných obrazovek nestačí pro zobrazení malých napětí řádu desítek milivoltů, je nutné doplnit univerzální osciloskop vhodnými zesilovači. Obrazovka sama má citlivost pro stejnosměrné napětí (jak již bylo řečeno) 0,1 až 1 V/mm, tj. potřebuje pro zobrazení výchylky délky 10 mm vychylovací napě-



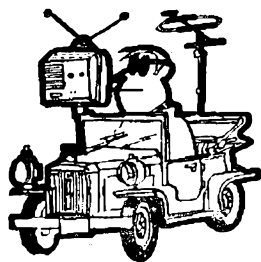
Obr. 12. Vysokofrekvenční zdroj vysokého napětí

tí přibližně 10 až 100 V. Toto napětí, potřebné k vychýlení elektronového paprsku, musí tedy dodávat zesilovač. Je samozřejmé, že pro věrné zobrazení nesmí být vychylovací napětí, dodávané zesilovačem, zkreslené. Požadujeme-li potom u běžného univerzálního osciloskopu citlivost vychylování asi 10 mV/d. st., je potom potřebné zesílení zesilovače až 10^4 . Ještě si musíme uvědomit, že zesilovač musí při tomto velkém zesílení přenášet značně široké pásmo kmitočtů, aby bylo dosaženo nezkresleného zobrazení střídavého napětí. Z uvedeného vyplývá, že zesilovač vychylovacího (měřeného) napětí je nejožehavějším článkem z obvodů celého osciloskopu, neboť obrazovka sama o sobě je schopna zpracovat i velmi vysoké kmitočty.

Požadavky, které jsou kladeny na vlastnosti zesilovačů vychylovacích napětí, můžeme shrnout zhruba do těchto bodů:

- požadované zesílení musí být v daném kmitočtovém pásmu pokud možno konstantní;
- útlumová a fázová charakteristika musí být taková, aby zajišťovala nezkreslený přenos nesinusových průběhů;
- symetrické výstupní napětí zesilovače musí být asi 50 až 200 V.

Požadavky na zesílení a šířku přenášeného pásma se řídí účelem, k němuž je ten který osciloskop určen. Zesilovače běžných dílenských osciloskopů přenášejí kmitočtové pásmo 20 Hz až 500 kHz, zesilovače univerzálních osciloskopů 5 Hz až 3 MHz (případně i stejnosměrná napětí) a zesilovače pro impulsní techniku jsou konstruovány tak, že přenášejí pásmo 0 až 10 MHz, popř. 0 až 25 MHz. Citlivost vychylování se zpravidla pohybuje v mezích 10 až 50 mV/d.st. Parametry zesilovače pro vodorovné (horizontální) vychylování jsou obvykle horší než u zesilovačů pro svislé (vertikální) vychylování. Horší bývá jak rozsah přenášeného kmitočtového pásma, tak i zesílení (menší citlivost). Zesilovače pro svislé vychylování u speciálních laboratorních osciloskopů



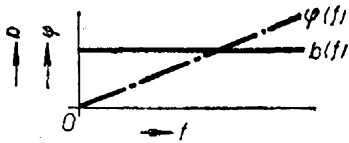
(velmi drahých) jsou schopny přenášet signály v kmitočtovém pásmu až do kmitočtů řádu stovek MHz.

V univerzálních osciloskopech se používají buďto střídavé zesilovače s odporově kapacitní vazbou (nejpoužívanější), nebo zesilovače stejnosměrné. Stejnosměrné zesilovače zesilují nejnižší kmitočty i stejnosměrné napětí. Jejich nevýhodou je, že jsou všeobecně méně stabilní, čímž je omezen počet stupňů zesilovače a dosažitelné zesílení. Bývají většinou konstruovány jako symetrické, i když ve velké většině případů slouží k zesilování nesymetrických signálů, přiváděných pouze na jeden vstup. Symetrickým zapojením zesilovače se však dosáhne velmi dobré stability a nezávislosti na kolísání napájecích napětí. Stejnosměrné zesilovače bývají obvykle dvoustupňové nebo třístupňové, větší počet stupňů již nezaručuje spolehlivou a stabilní funkci. Zesilovače osazené elektronkami se jen velmi obtížně konstruují jako stejnosměrné zesilovače pro značně široké kmitočtové pásmo současně s požadavkem velkého zesílení. U zesilovačů s tranzistory lze splnit oba požadavky mnohem snadněji.

Možnost sledovat signály s velmi nízkým kmitočtem včetně stejnosměrné složky (což umožňují stejnosměrné zesilovače vychylovacího napětí) je velmi výhodná pro pozorování nesinusových dějů. Stejnosměrné zesilovače jsou přímovázané, takže odstraňují i potíže, které vznikaly u střídavých zesilovačů pro velmi nízké kmitočty vlivem vazebních členů RC s velkými časovými konstantami.

Stejnosměrné zesilovače poskytují na svém výstupu symetrické vychylovací napětí pro vychylovací systém obrazovky. Proto jsou vázány galvanicky s destičkami vychylovacího systému obrazovky. V tomto případě je však nutné použít jiný způsob posouvání paprsku po ploše stínítka obrazovky. Ponejvíce se používá ten způsob, při němž se současně, avšak v opačném smyslu mění stejnosměrné napětí na anodách (kolektorech) obou elektronek (tranzistorů) koncového stupně stejnosměrného zesilovače.

K dosažení větší šířky pásma přenášených kmitočtů se používají v zesilovačích pro vychylování různé způsoby korekce



Obr. 13. Podmínky nezkresleného přenosu lineárním čtyřpólem

kmitočtových charakteristik (útlumové i fázové). Teoretické podmínky nezkresleného přenosu nesinusového průběhu pozorovaného signálu (který je možné považovat za složený z řady harmonických složek) jsou:

- konstantní útlum a
- fázový úhel úměrný kmitočtu.

Tyto podmínky, které jsou graficky zobrazeny na obr. 13 jsou prakticky realizovatelné jen přibližně a jen v omezeném kmitočtovém pásmu. Pro prakticky nezkreslený přenos nesinusového signálu (ke zkreslení dojde vždy – nesmí však překročit stanovenou míru) je kromě průběhu útlumové charakteristiky důležitý a v mnohých případech dokonce důležitější průběh fázové charakteristiky. Do větší šíře nebudeme zde tento problém rozebírat. Těm, kteří tento problém hlouběji studují, doporučujeme pramen [7], v němž je uveden i seznam literatury k podrobnému studiu.

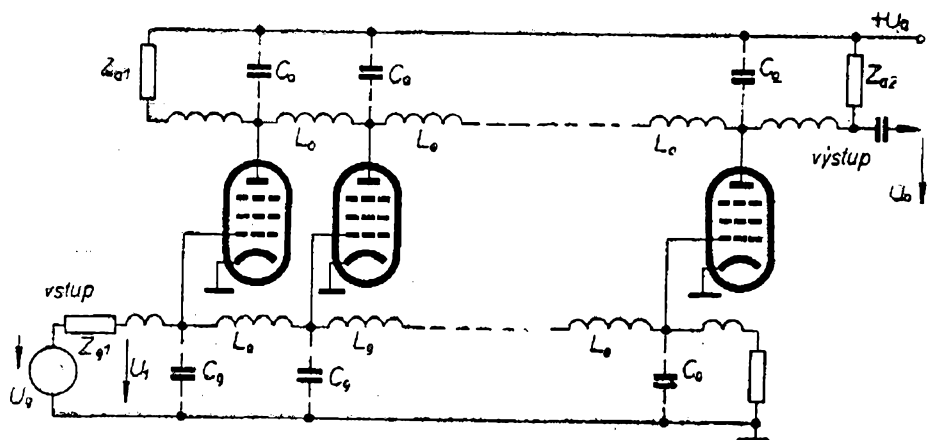
S běžným zesilovačem, který má jednotlivé stupně zapojeny do kaskódy, se dosáhne (při použití běžných elektronek) šířky přenášeného pásma až asi 10 až 15 MHz. Použijí-li se v zesilovači speciální elektronky, potom lze dosáhnout šířky přenášeného pásma až 30 MHz. Zesilovače s rozloženými parametry jsou dobře použitelné až do 200 MHz. Tyto zesilova-

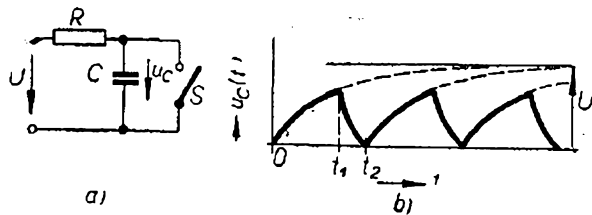
če se někdy nazývají zesilovače s aditivním zesilováním. Zesílení jednotlivých stupňů v zesilovacím řetězu se totiž sčítá (na rozdíl od běžného zesilovače, v němž se zesílení jednotlivých stupňů násobí). Z tohoto důvodu může „aditivní“ zesilovač zesilovat i tehdy, je-li zesílení jednoho stupně menší než jedna. I když princip těchto zesilovačů byl znám již v době před druhou světovou válkou, k jeho praktickému využití došlo až po druhé světové válce. Činnost zesilovače spočívá v tom, že parazitní kapacity elektronek tvoří součást mřížkové a anodové zpožďovací linky (obr. 14). Z tohoto důvodu se neprojevují škodlivě, jako je tomu u běžného zapojení zesilovače. Teoreticky by kmitočtové pásmo tohoto zesilovače nemělo být omezeno, prakticky však je omezeno horním mezním kmitočtem použitých zpožďovacích linek a zmenšující se vstupní impedancí elektronek se zvyšujícím se kmitočtem.

Generátory časové základny

K měření časových závislostí proměnných veličin osciloskopem potřebujeme vhodné časové měřítko – to nám poskytuje časová základna. Z praxe a literatury je známo mnoho elektrických i mechanických konstrukcí generátorů. Pro univerzální osciloskop má největší význam periodická lineární časová základna. Vytváří ji generátor signálu pilovitého průběhu na principu nabíjení nebo vybíjení kondenzátoru (obr. 15). V okamžiku $t = 0$ se rozpojí spínač S a napětí U_C na kon-

Obr. 14. Princip zapojení zesilovače s rozloženými parametry





Obr. 15. Princip generátoru napětí pilovitého průběhu a časový průběh napětí na kondenzátoru

denzátoru C (původně nulové) se zvětšuje s časem podle známé rovnice:

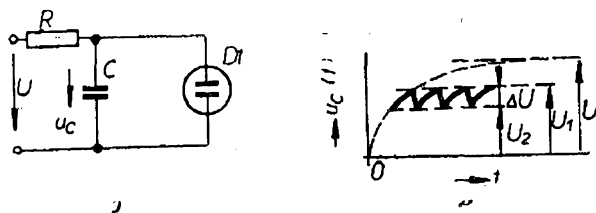
$$U_C(t) = U \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right)$$

V okamžiku $t = t_1$, kdy napětí pilovitého průběhu bude maximální, sepne spínač S a napětí na kondenzátoru C se rychle zmenší na původní nulovou velikost. V okamžiku $t = t_2$ se spínač S opět rozpojí a celý děj se opakuje. Tímto způsobem se získá periodický průběh napětí s kmitoč-

tem $f = \frac{1}{t_2 - t_1}$ (obr. 15a). Časový úsek od

t do t_1 představuje užitečnou část průběhu a časový úsek od t_1 do t_2 je doba, kterou obvod nezbytně nutně potřebuje k tomu, aby se opět vrátil do původního (počátečního) stavu. Během této doby se vrací zpět elektronový paprsek na ploše stínítka obrazovky a proto je tato doba nazývána dobou zpětného běhu.

Poznámka. U dobrých časových základů je délka doby zpětného běhu (při středních kmitočtech) jen několik málo procent z celé doby kmitu. Směrem k vyšším kmitočtům se doba zpětného běhu prodlužuje, maximálně až asi na 10 až 15 %.



Obr. 16. Zapojení doutnavkového generátoru napětí pilovitého průběhu (a) a časový průběh napětí na kondenzátoru (b)

V aktivní části pilovitého průběhu napětí vyžadujeme co nejlepší linearitu „nárůstu“ napětí. Odchytky od lineárního (teoretického) pilovitého průběhu se nazývají nelinearita časové základny.

Nejjednodušší zapojení generátoru napětí pilovitého průběhu je na obr. 16a. Doutnavka $D1$ je použita jako spínač. Protože zápalné napětí U_1 doutnavky je větší než její zhášecí napětí U_2 , získáme napětí pilovitého průběhu s rozkmitem $\Delta U = U_1 - U_2$ (obr. 16b). Je samozřejmé, že toto velmi jednoduché zapojení má velmi mnoho nedostatků. V praxi se již velmi dlouho nepoužívá, je uvedeno pouze pro úplnost a názornost.

Při konstrukci generátoru napětí pilovitého průběhu se setkáme především s obtíží, dosáhnout co největšího a lineárního rozkmitu napětí pilovitého průběhu. Nebude na škodu si tento problém osvětlit trochu více. Při nabíjení kondenzátoru C ze zdroje o napětí U přes odpor R (obr. 15) se napětí na kondenzátoru zvětšuje s časem podle vztahu

$$U_C(t) = U \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right)$$

Rozvineme-li druhý člen v závorce v nekonečnou řadu mocnin, potom bude mít tvar:

$$U_C(t) = U \left[\frac{t}{RC} - \frac{1}{2!} \left(\frac{t}{RC} \right)^2 + \frac{1}{3!} \left(\frac{t}{RC} \right)^3 - \frac{1}{4!} \left(\frac{t}{RC} \right)^4 + \dots \right];$$

za předpokladu, že

$$t \ll RC,$$

přechází základní vztah v přibližný vztah pro časovou závislost napětí na kondenzátoru C :

$$U_C(t) \doteq \frac{U}{RC} t.$$

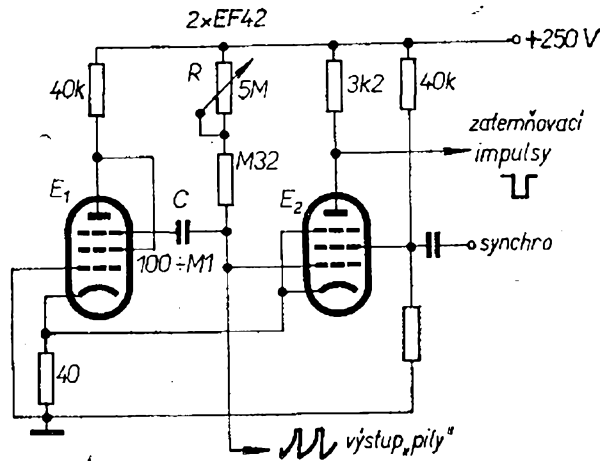
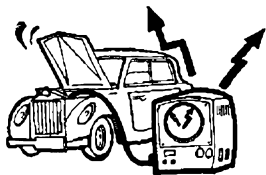
Splnění podmínky nerovnosti ($t \ll RC$) vede k přibližně lineárnímu časovému průběhu napětí na kondenzátoru. Současně se

předpokládá jen velmi malé využití celkového napájecího napětí U . V praxi znamená dodržení tohoto předpokladu volit $t < 0,1RC$, takže dosažitelný napěťový rozkmit ΔU_C napětí pilovitého průběhu by byl jen $\Delta U_C < 0,1U$. Tato podmínka vede potom k požadavku nabíjet kondenzátor C ze zdroje konstantního proudu.

Zdroj proudu lze realizovat buď elektronkou (dříve) nebo tranzistorem. Protože jeho vnitřní diferenciální odpor je mnohem větší než jeho vnitřní stejnosměrný odpor v daném pracovním bodě, můžeme potom využít daleko větší části napětí zdroje, při současně dobré linearitě časového průběhu napětí U_C na kondenzátoru C . V praxi lze dosáhnout rozkmitu napětí pilovitého průběhu až $\Delta U_C = 0,8U$. Pracovní bod aktivního prvku zdroje proudu (elektronka; tranzistor) se však musí pohybovat přibližně ve vodorovné části (anodové, kolektorové) charakteristiky. Na všech ostatních elektrodách prvku musí být udržováno konstantní napětí.

Tyratronový generátor časové základny má již dobu své slávy dávno za sebou. Byl používán v univerzálních osciloskopech před 30 až 40 lety. Tyratronu se využívá ve funkci spínače pro vybíjení kondenzátoru. Časové základny s tyratronem byly sice poměrně dokonalé, jejich velkou nevýhodou však bylo, že nejvyšší kmitočet časové základny byl omezen vlastnostmi použitého tyratronu. Se speciálními typy tyratronů pro časové základny bylo možné dosáhnout kmitočtu maximálně 50 kHz.

Dalším vývojem se dospělo k více či méně složitým zapojením. Pro laboratorní osciloskopy (s většími nároky) byly generátory časové základny velmi složité s mnoha elektronkami. S velkým množstvím použitých součástek se zvětšovala i nespolehlivost celého zařízení. Proto se v univerzálních osciloskopech osvědčilo nenáročné a poměrně spolehlivé zapojení časové základny s multivibrátorem. Pilovitý průběh napětí byl odvozován buď z exponenciálního průběhu napětí na mříž-



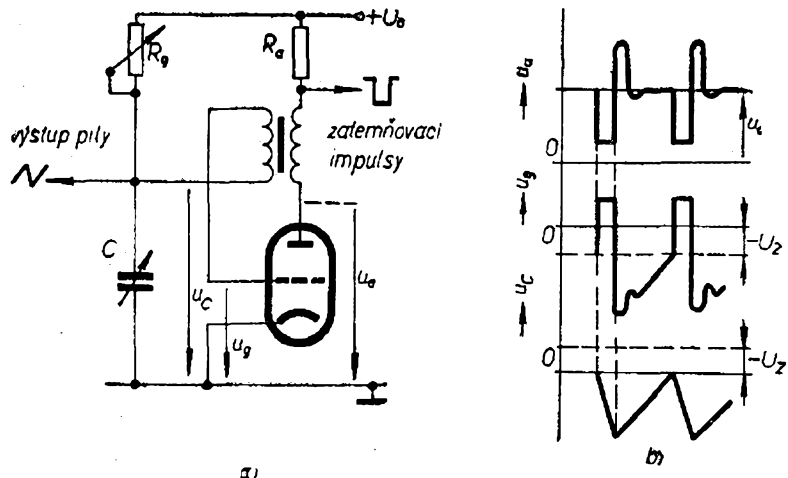
Obr. 17. Multivibrátorový generátor časové základny osciloskopu Křižík T 531

ce elektronky derivací obdélníkovitého průběhu napětí na anodě, nebo naopak integrací napětí na anodě připojením vhodného kondenzátoru k anodě elektronky (u katodově vázaných multivibrátorů se integrace používala velmi často, neboť tyto multivibrátory dovolují získat značně nesymetrický průběh napětí, což je zvláště výhodné pro velmi krátkou dobu zpětného běhu).

Multivibrátorové časové základny jsou konstrukčně poměrně jednoduché. Z tohoto důvodu se poměrně dosti často používají v přístrojích, na něž nejsou kladeny velké požadavky. Jejich nevýhodou je malá linearita a malá amplituda výstupního napětí. Jako příklad lze uvést praktické zapojení multivibrátorového generátoru časové základny v osvědčeném československém osciloskopu Křižík T 531 (obr. 17).

Celé zapojení je velmi jednoduché. Obsahuje pouze dva ovládací prvky. Kmitočet se řídí hrubě přepínáním kondenzátorů C a plynule (jemně) proměnným odporem R . Rozkmit napětí pilovitého průběhu a tím i šířka základny se řídí změnou zesílení vodorovného zesilovače osciloskopu. Astabilní funkce multivibrátoru je zde dosaženo volbou společného, poměrně malého katodového odporu, takže úbytek napětí na něm vznikající nestačí k trvalému zablokování levé elektronky a obvod se neustále překlápí. Při nastavení R na minimální odpor pracuje obvod jako monostabilní (spouštěná) časová základna.

Obr. 18. Zapojení generátoru časové základny s blokujícím oscilátorem (a) a typické průběhy napětí v obvodu (b)



Tato možnost je zvlášt výhodná pro některá měření. Přitom je v klidovém stavu elektronka E_1 zablokována a pravou elektronkou E_2 protéká poměrně velký proud. Časová základna se spouští synchronizačním signálem, odvozeným z pozorovaného průběhu a rychlost posuvu paprsku se řídí pouze stupňovitě přepínáním řady kondenzátorů C .

Generátor časové základny s blokujícím (rázujícím) oscilátorem

Jde o velmi jednoduché a nenáročné zapojení, které se však nevyznačuje příliš dobrými vlastnostmi; protože však vystačí pouze s jednou elektronkou, používá se dosti často v jednoduchých dílenských osciloskopech (obr. 18a). Časového průběhu napětí při nabíjení kondenzátoru C (nevyniká příliš velkou linearitou) se využívá jako napětí pilovitého průběhu. Kondenzátor C , který byl na konci předchozího časového cyklu nabit na velké záporné napětí, udržuje elektronku E v zablokovaném stavu. Kondenzátor se vybíjí přes odpor R_g a napětí se exponenciálně zmenšuje, až se zmenší pod velikost závěrného napětí elektronky E . Elektronkou začne protékat proud. Tím vzniká na její anodě úbytek napětí, který se přenáší transformátorem na mřížku elektronky jako kladný impuls. Působením této kladné zpětné vazby přejde obvod velmi rychle do stavu, kdy je na mřížce elektronky poměrně značně velké kladné napětí a anodou i mřížkou elektronky protéká velký proud. V tomto stavu setrvá obvod až do okamžiku, než se nabije kondenzátor C

mřížkovým proudem na dostatečně velké záporné napětí, nebo než se zmenší napětí na sekundárním vinutí transformátoru vlivem přesycení jádra transformátoru nebo vlivem konečné velikosti primární indukčnosti. Potom se napětí na mřížce zmenší a působením kladné zpětné vazby se elektronka velmi rychle zablokuje a celý dosud popsany děj se opakuje. Napětí pilovitého průběhu se odebírá z kondenzátoru C . Jeho kmitočet je hrubě řízen přepínáním kondenzátorů C a plynule změnou odporu R_g .

Synchronizační signál lze zavádět do obvodu různým způsobem; buď přímo na řídicí mřížku elektronky, nebo do jejího anodového obvodu. Blokující oscilátor je však možné v zásadě synchronizovat poněkud hůře, než jiné generátory časové základny. Časová základna s blokujícím oscilátorem je schopna pracovat i se značně vysokým kmitočtem. Výstupní napětí pilovitého průběhu má velmi značnou amplitudu, takže je lze přivádět na nesymetricky vychylující systém obrazovky bez použití zesilovače. Ovšem jeho linearita, jak již bylo podotknuto, není příliš dobrá.

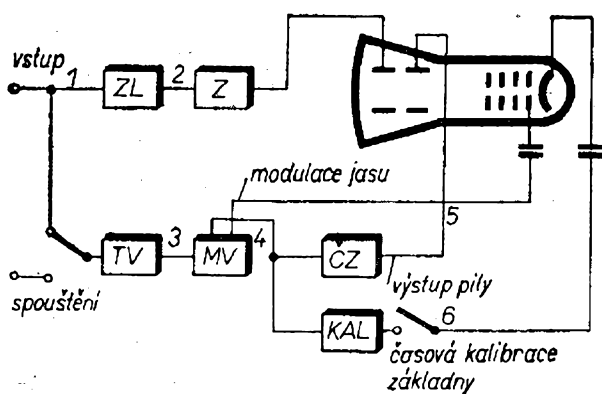
Monostabilní časová základna – synchronoskop

Monostabilní časová základna umožňuje pozorování krátkých impulsů napětí, které není možné sledovat pomocí běžné astabilní (periodické) časové základny. Doba trvání takových impulsů je mnohem kratší než interval, v němž se opakují. Je proto zapotřebí, aby časová základna

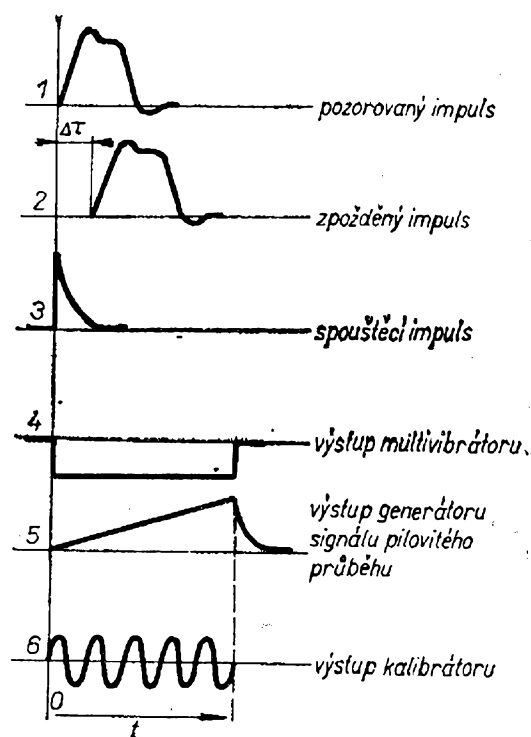
v době, kdy probíhá děj, rychle vychýlila paprsek přes celou plochu stínítka obrazovky a dále, aby paprsek, který musí být při zobrazování velmi intenzivní, byl v intervalu mezi impulsy zatemněn, jinak vzniká nebezpečí, že dojde k vypálení stopy na stínítku obrazovky. To vše umožňuje monostabilní časová základna – ta je důležitou součástí speciálních osciloskopů pro impulsní techniku. Tyto speciální impulsní osciloskopy jsou někdy též nazývány synchronoskopy. Monostabilní časová základna umožňuje též pozorování průběhů zcela nepravidelně se opakujících, které není možno sledovat na osciloskopu s periodickou časovou základnou. Touto časovou základnou ve značně zjednodušené úpravě je (jak již bylo uvedeno) vybaven např. československý osciloskop Křížák T 531.

Blokové schéma synchronoskopu je na obr. 19. Pozorovaný signál je přiváděn přes zpožďovací vedení ZL na zesilovač Z pro vodorovné vychylování a odtud na vychylující systém obrazovky. Zpozdřit pozorovaný jev je nutné proto, aby bylo možné zachytit jeho počátek. Časovou základnu lze spouštět impulsem, odvozeným přímo z pozorovaného jevu (vnitřní synchronizace) nebo zvláštním spouštěcím impulsem, přiváděným z vnějšku (vnější synchronizace).

Spouštěcí impuls prochází přes tvarovač TV na ovládací obvod generátoru časové základny MV, tvořeného dvěma elektronkami zapojenými jako monostabilní multivibrátor. Záporné impulsy z anody první elektronky monostabilního multivibrátoru jsou přiváděny jednak na mřížku



Obr. 19. Blokové schéma synchronoskopu



Obr. 20. Časové průběhy napětí v jednotlivých částech synchronoskopu

elektronky generátoru napětí pilovitého průběhu ČZ, a jednak na mřížku elektronky kalibrátoru KAL. Kladné impulsy z anody druhé elektronky monostabilního multivibrátoru jsou vedeny na řídicí mřížku obrazovky, takže paprsek, který je v klidovém stavu zatemněn, se při běhu časové základny rozsvítí. Elektronka generátoru napětí pilovitého průběhu ČZ zastává funkci spínače. Přes odpor v jejím anodovém obvodu se nabíjejí kondenzátory ze zdroje anodového napětí. Elektronka generátoru, která za klidového stavu vede, je paralelně zapojena k nabíjeným kondenzátorům a tím nedovolí jejich nabíjení. Po příchodu ovládacího impulsu z první elektronky monostabilního multivibrátoru se elektronka generátoru zablokuje a kondenzátor (zvolený přepínačem) se začne nabíjet ze zdroje anodového napětí přes odpor v anodě spínací elektronky. Změnou velikosti odporu v anodě spínací elektronky lze v malých mezích měnit kmitočet napětí pilovitého průběhu. Hrubě lze kmitočet měnit přepínáním řady kondenzátorů.

Ovládací impuls z první elektronky monostabilního multivibrátoru přichází

současně na mřížku elektronky kalibrátoru. Prudkým přerušením jejího anodového proudu se rozkmitá rezonanční obvod v jejím katodovém obvodu. Z jeho kmitů jsou odvozeny značky pro časovou kalibraci základny. V nejjednodušším případě je přiveden výstupní signál z kalibrátoru po potřebném zesílení na katodu obrazovky. V tomto případě se časová základna kalibruje intenzivní modulací elektronového paprsku obrazovky.

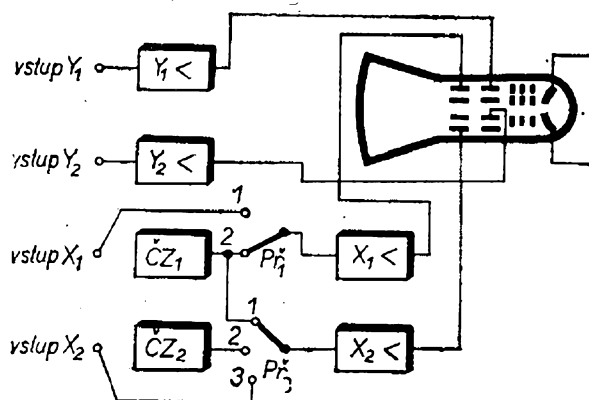
Na obr. 20 jsou příslušné průběhy napětí v jednotlivých částech blokového schématu na obr. 19.

Současné pozorování více jevů osciloskopem

V praktických aplikacích se vyskytuje potřeba pozorovat na stínítku obrazovky více jevů současně. Nejčastějším případem je požadavek současného sledování dvou průběhů se stejnou časovou základnou. V tomto případě jsou dvě možnosti, buď pozorovat oba průběhy na dvou-paprskovém osciloskopu, nebo použít běžný osciloskop (jednopaprskový) a elektronický přepínač. Existují i mechanické přepínače – pro jejich značné nedostatky se však není nutné o nich podrobněji zmiňovat.

Dvoupaprskový osciloskop jsou v podstatě dva úplné jednopaprskové osciloskopy ve společné skříni s jednou obrazovkou. Obrazovka obsahuje dva samostatné, úplné systémy v jedné baňce se společným stínítkem. Tato obrazovka se nazývá dvoupaprsková. Blokové schéma typického dvoupaprskového osciloskopu je na obr. 21. Tento osciloskop má dvě samostatné časové základny $\check{C}Z_1$ a $\check{C}Z_2$. V praxi lze osciloskop používat i jako dva samostatné běžné přístroje. Přepnutím S_2 do polohy 1 se na vodorovně vychylující destičky obou systémů přivádí napětí pilovitého průběhu se stejnou časovou základnou, což dovoluje sledovat i časové vztahy dvou průběhů, které přivádíme na oba vstupy (Y_1 a Y_2). Pro tento druh měření je též dvoupaprskový osciloskop nejčastěji využíván.

Elektronický přepínač umožňuje sou-



Obr. 21. Blokové schéma dvoupaprskového osciloskopu

časné sledování dvou (ale i více) průběhů s jednou časovou základnou na běžném osciloskopu. Princip elektronického přepínače je známý a nepříliš složitý. Jsou to v podstatě dva zesilovače, jejichž koncové stupně pracují do společného pracovního odporu a jsou střídavě blokovány klíčovací napětím pravouhlého průběhu. Klíčovací napětí je zpravidla získáváno z astabilního symetrického multivibrátoru. Tímto způsobem je vlastně svislý vychylovací systém střídavě připojován k výstupu jednoho nebo druhého zesilovače. Pozorované průběhy lze vůči sobě ve svislé poloze posouvat. I když spojení elektronického přepínače s jednopaprskovým osciloskopem v mnoha případech plně postačí, přece nenahradí plně dvoupaprskový osciloskop. Elektronický přepínač omezuje přenášené kmitočtové pásmo a vlastní princip mnohdy ruší při sledování rychlých nesinusových průběhů.

Moderní univerzální osciloskopy

Pro nejvyšší požadavky se používají univerzální osciloskopy stavebnicové koncepce. Ve skříni osciloskopu je pevně uchycena obrazovka s ovládacími obvody, koncové stupně obou vychylovacích systémů (svislého i vodorovného) a napájecí část. Zbytek – tzn. oba předzesilovače a generátor časové základny – jsou konstruovány jako zásuvné jednotky. Tyto jednotky lze podle potřeby měnit a tím

přizpůsobovat osciloskop mnoha účelům. Koncové stupně obou vychylovacích systémů jsou ve většině případů schopny zpracovávat signály o kmitočtovém rozsahu 0 až 60 MHz. Podle okamžité potřeby lze potom kombinovat různé předzesilovače. Je možné použít předzesilovač se zúženým kmitočtovým pásmem a s velkým zesílením (velkou citlivostí) nebo využít plně kmitočtového rozsahu koncového stupně za cenu menšího zesílení (menší citlivost). Podobně lze podle potřeby použít různé generátory periodických nebo monostabilních časových základů pro běžnou potřebu (střední kmitočty), nebo naopak lze sledovat velmi pomalé nebo rychlé děje.

Osciloskopická měření

V předchozí části RK jsme se pokusili popsat zapojení a hlavní části osciloskopu. Smyslem a cílem bylo pomoci amatérům v orientaci a výběru (zvolení typu pro stavbu) nejvhodnějšího typu obvodů pro ten který účel (druh měření). V této stati se budeme zabývat několika možnostmi využití osciloskopu. Osciloskop je definován jako „přístroj k zobrazování křivek, vyjadřujících chování fyzikálních soustav“. Jestliže jsme se tedy doposud zabývali zařízením ke kreslení křivek, obrátíme nyní pozornost ke křivkám samým, tzn. ke studiu průběhů. Budeme se především zajímat o nejdůležitější případy, vyskytující se v elektronice. Popíšeme si dále nezbytná pomocná zařízení a některé ze způsobů jejich spojení v osciloskopech při různých měřeních.

Jednoduchý osciloskop s obrazovkou s elektrostatickým vychylováním se hodí k zobrazení jevů, trvajících od několika vteřin až do mikrosekund, tzn. od několika zlomků Hz do stovek MHz. Napětí na vychylovacích systémech je omezeno, bývá v rozsahu od několika desítek do několika stovek voltů. Použití zesilovačů a jiných pomocných zařízení však umožňuje dosáhnout mnohem většího rozmezí napětí, současně se však zmenšuje rozsah přenášeného kmitočtového pásma. Vhodná volba zesilovače dovolí pozorovat na osciloskopu průběhy v určitém pracovním

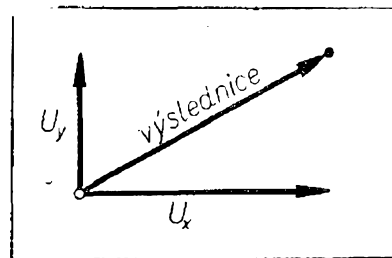
oboru. Použití vhodných snímačů činí z osciloskopu skutečně univerzální měřicí přístroj. Těžko lze najít odvětví vědy nebo techniky, v němž by nebyl s výhodou používán.

Vznik osciloskopického zobrazení

Poloha svítícího bodu na ploše stínítka obrazovky je dána v každém okamžiku rozdílem potenciálů mezi dvěma dvojicemi destiček vychylovacích systémů. Dvojice destiček jsou vzájemně kolmé, takže se výchylky sčítají jako vektory k sobě kolmé (obr. 22). Mění-li se rozdíly potenciálů s časem, mění se s časem též poloha svítícího bodu (obr. 23). V tom případě lze definovat polohu bodu v každém okamžiku jako funkci napětí, vychylujících ve směrech os x a y , nebo jako funkci času, ve tvaru dvou parametrických rovnic:

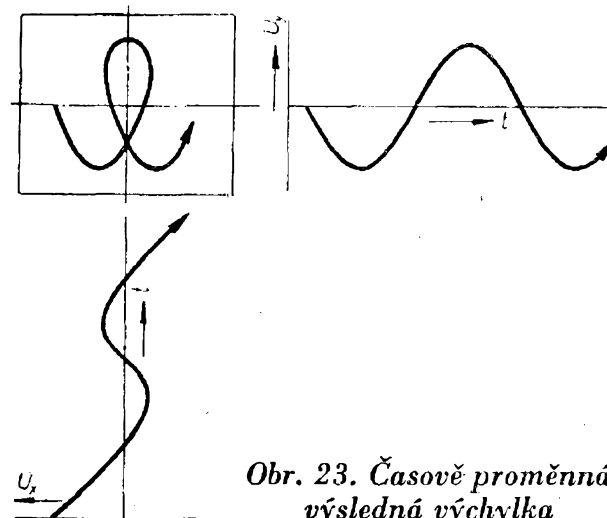
$$x = u_x(t) = f_x(t),$$

$$y = u_y(t) = f_y(t).$$



- poloha bodu při nulovém vychylovacím na pětí
- poloha bodu při dvojnásobné vychylovacím napětí U_x, U_y

Obr. 22. Vektorové sčítání výchylek



Obr. 23. Časově proměnná výsledná výchylka

Takto lze vytvořit jakoukoli rovinnou křivku. Pro osciloskopické měření to prostě znamená, že fyzikální veličiny, jež chceme zobrazovat, musíme převést na časově proměnná napětí tak, aby na ploše stínítka vznikla žádaná křivka.

Dosadíme-li za proměnnou x lineární periodickou funkci času – což přichází v úvahu ve většině případů, potom (obr. 24)

$$x = \frac{X_0}{2} - X_0(t - nt_0) - \frac{1}{t_0},$$

kde $\frac{X_0}{2}$ je výchylka ve směru osy x vlevo

od klidové polohy,

t_0 doba kmitu a

n přirozené racionální číslo celé.

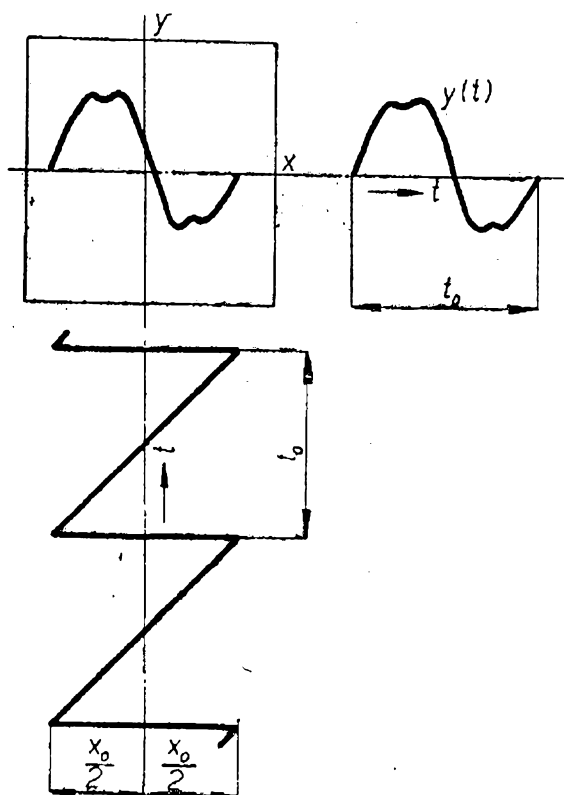
Dosazením za t dostaneme upravený tvar rovnice zobrazené křivky

$$y = f(x);$$

meze $f(x)$ jsou $-\frac{X_0}{2} \leq x \leq +\frac{X_0}{2}$.

Tato lineární periodická funkce času je dobře známá lineární časová základna.

Je samozřejmé, že je možno použít pro



Obr. 24. Zobrazení s lineární časovou základnou

funkci x i jiné časové základny než lineární. Např. zavedením soustavy, v níž U_y závisí přímo na U_x , vyloučíme pomocnou proměnnou (funkci času) z matematického výrazu a výsledná křivka pak nezávisí na funkcích $f_x(t)$ a $f_y(t)$.

Měření založená na cejchování osciloskopu

Většinou se při měření opíráme o absolutní cejchování měřicího přístroje. Při měření přístroji např. s ručkovými měřidly čteme údaje na stupnici, která má určitou přesnost (udávanou v [%]); platnost cejchování se předpokládá v celém období mezi jednotlivými kontrolami podle normálového přístroje.

Podobně je tomu u osciloskopu. Jeho parametry jsou cejchovány. Hlavní rozdíl mezi ručkovými měřidly a elektronickými přístroji spočívá ve stálosti cejchování. První skupiny přístrojů si zachovávají přesnost dlouhodobě (pokud nedojde k mechanickému nebo elektrickému přetížení), zatímco elektronické přístroje podléhají nevyhnutelným změnám, způsobeným stárnutím součástek, změnou napájecích napětí atp. Proto měření, při nichž bychom se spolehnali na dlouhodobou stálost osciloskopu, mohou sloužit jen pro hrubou orientaci. Velká většina zesilovačů v osciloskopech nemá např. stabilní zesílení. Krátkodobá stálost osciloskopů je však většinou dobrá a lze jí využít při „substitučních“ měřeních, která vyžadují ocejchovat přístroj před každým měřením. Měřený a srovnávací kalibrační signál se přivádějí na vstup přístroje střídavě a oba signály se porovnávají. Potom je krátkodobá stálost osciloskopu asi téhož řádu, jako dlouhodobá stálost zdroje srovnávacího signálu.

Současné zobrazování

Stejných výsledků jako při substitučních měřeních (avšak mnohem pohodlněji) se dosáhne dvoupaprskovými osciloskopy nebo elektronickými prepínači. Při této technice současného zobrazování hovoříme o tzv. „shodné“ stálosti. U dvoupaprskového osciloskopu jsou k dispozici dva shodné zesilovače. Nastaví-li se jejich

zesílení tak, aby bylo stejné, lze předpokládat, že případné změny parametrů budou u obou zesilovačů shodné.

U jednopaprskových přístrojů je „shodná“ stálost jistě lepší, neboť se vlastně používá jeden zesilovač pro oba signály a dlouhodobá stálost přepínače je značná, neboť počet stupňů, v nichž jsou signály zesilovány odděleně, je malý.

Typy průběhů

Všechny jevy v přírodě probíhají v prostoru a času. Grafické znázornění časové závislosti veličiny, cyklicky se opakující (stejného nebo téměř stejného tvaru) v nepravidelných intervalech se nazývá průběh.

Elektrické průběhy lze rozřadit, bez ohledu na jejich původ, podle několika kritérií. Zhruba lze třídit průběhy podle složitosti jejich spekter, podle způsobu jejich vzniku a použití atp. Pro další text uvažujeme tuto (velmi zúženou) řadu průběhů:

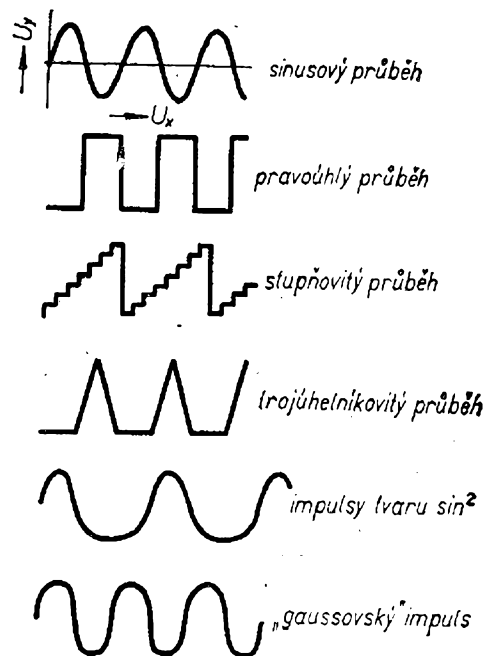
- sinusové průběhy,
- amplitudově modulované signály,
- kmitočtově modulované signály,
- impulsové signály,
- bílý šum.

Zdroje průběhů

Všechna elektrická zařízení (avšak i jiné fyzikální soustavy) lze zařadit buď mezi zdroje průběhů – generátory, nebo mezi přenosové články. Jde-li o generátor, mohou signály vznikat přímo v něm nebo mohou být výsledkem společného působení vnitřních signálů s vnějšími. Přenosový článek má vstupní a výstupní svorky a při přenosu mezi nimi se signál pouze zpracovává.

Údaje, o němž se při pozorování zajímáme, závisí na použití a vlastnostech generátoru. Jednou z nejdůležitějších veličin, kterou je třeba určovat, je kmitočet. Pro tento druh měření byla vyvinuta řada osciloskopických metod.

Velmi důležitou a často zjišťovanou vlastností je povaha průběhu tzn. jeho tvar. Snad nejrozšířenějším tvarem prů-



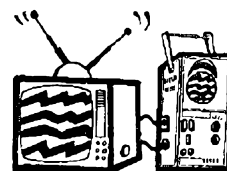
Obr. 25. Periodické průběhy

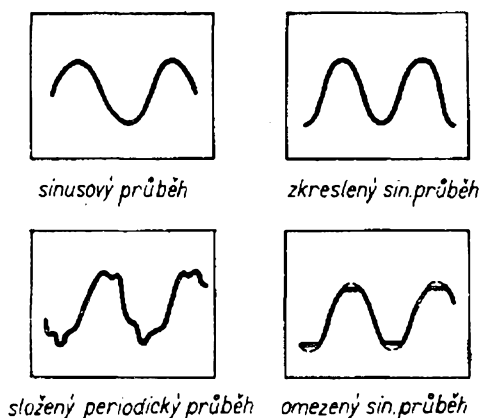
běhu je sinusovka, dalšími známými průběhy jsou pravoúhlé průběhy, („obdélníkový“, „čtvercový“), dále tzv. „trojúhelník“, „průběh tvaru \sin^2 “, „jehlový impuls“, „Gaussův impuls“, „stupňovitý (schodovitý) průběh“ atd. (obr. 25).

Sinusové průběhy

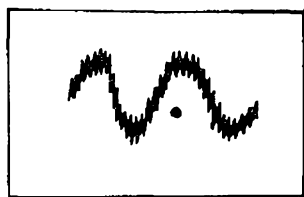
Tento tvar průběhu je nejrozšířenější. S hlediska kmitočtového spektra je to nejjednodušší periodický průběh, „nejhladší“ periodická funkce času. Nemá nespojitosti ve svém průběhu ani v jeho derivacích.

Při zpracování v generátoru nebo v přenosovém článku dochází často ke zkreslení sinusového průběhu vlivem nelinearity obvodu. Je-li zkreslení takové, že se průběh stále podobá průběhu sinusovému, hovoříme o „zkresleném sinusovém průběhu“ (obr. 26). Zkreslení měříme v procentech obsahu harmonických složek, obsažených ve zkresleném průběhu. Při výrazných odchylkách od sinusovky vzniká složený průběh nebo též omezená sinusovka (obr. 26).





Obr. 26. Sinusovka a příbuzné průběhy



Obr. 27. Šum přeložený přes signál

Amplitudová modulace

Vytvoří-li se lineární superpozicí zánějš signálů sinusových průběhů s velmi odlišným kmitočtem, nastanou zánějšové jevy (tak, jak je tomu při superpozici signálů dvou kmitočtově blízkých sinusových průběhů). V takových případech dojde k tomu, že osa signálu sinusového průběhu s vysokým kmitočtem sleduje změny průběhu signálu s nízkým kmitočtem. Běžným příkladem takového jevu je superpozice signálu a brumu v lineárních zesilovačích nebo oscilátorech. Tomuto nežádoucímu jevu lze zabránit zařazením filtru (tzv. horní propusti) do cesty signálu.

Ke zcela jinému jevu dojde však např. při superpozici dvou signálů sinusových průběhů s velmi rozdílným kmitočtem na nelineárním prvku (dioda, tranzistor atd.) Zde je možno zjistit změnu amplitudy signálu s vysokým kmitočtem. Vzniká amplitudová modulace.

V předchozím odstavci byl popsán fyzikální rozdíl mezi amplitudovou modulací a lineární superpozicí dvou signálů sinusových průběhů. Často se však vyskytují oba dva jevy společně (v různých

vzájemných poměrech). Velmi obtížně lze odlišit tyto dva jevy u vysokofrekvenčního signálu s periodicky proměnnou obálkou, není-li znám jeho původ. Rozdíl mezi oběma jevy je totiž značně menší, než se na první pohled zdá. Za určitých okolností je amplitudově modulovaný průběh identický se zánějši, vzniklými lineární superpozicí.

Rovnice pro prostou lineární superpozici dvou sinusových průběhů s rozdílným kmitočtem ω_0 je

$$u = U [\sin \omega t \pm m \sin (\omega \pm \omega_0) t].$$

Rovnice pro signál amplitudově modulovaný sinusovým průběhem s kmitočtem ω_0 je

$$u = U \left[\sin \omega t + \frac{m}{2} \sin (\omega - \omega_0) t - \frac{m}{2} \sin (\omega + \omega_0) t \right].$$

V první rovnici znamená písmeno m poměr amplitudy slabšího signálu k amplitudě silnějšího signálu a v druhé rovnici značí hloubku modulace. Členy se součtem a rozdílem kmitočtů při amplitudové modulaci jsou výrazy pro postranní pásma.

Při potlačení jednoho postranního pásma a porovnáním první rovnice s upraveným tvarem druhé rovnice zjistíme jejich identitu. Z této skutečnosti tedy vysvítá, že amplitudová modulace s jedním postranním pásmem přesně odpovídá lineární superpozici dvou signálů sinusových průběhů s velkým rozdílem kmitočtů.

Z uvedeného je zřejmé, že použití osciloskopu s lineární časovou základnou neumožňuje poznat skutečnou povahu vysokofrekvenčního signálu s přibližně sinusovou obálkou. Kromě toho je třeba ještě znát podstatu vzniku pozorovaného signálu. V takovémto případě pomáhá pouze spektrální analýza.

Kmitočtová modulace

Pro přenos informací se kromě amplitudové modulace používá ve sdělovací technice stejně běžně i modulace kmitočtová.

Při kmitočtové modulaci zůstává amplituda nosné vlny stálá, mění se pouze její kmitočet v závislosti na okamžité amplitudě modulačního signálu. Podle poměru kmitočtového zdvihu ke kmitočtu nosné vlny rozeznáváme úzkopásmovou a širokopásmovou kmitočtovou modulaci. Osciloskopem lze dobře sledovat pouze širokopásmovou kmitočtovou modulaci. Máme-li časovou základnu synchronizovanou modulačním kmitočtem, potom dochází u pozorovaného kmitočtově modulaného signálu k jasové modulaci paprsku. Tento jev je způsoben střídavým zkracováním a prodlužováním period nosné vlny v rytmu modulace. Úzkopásmovou kmitočtovou modulaci nelze tímto způsobem sledovat vůbec.

Při vysokém kmitočtu nosné vlny kmitočtově modulovaného signálu (mimo pracovní oblast osciloskopu) a při úzkopásmové kmitočtové modulaci lze však použít tuto metodu: směřováním s pomocným nemodulovaným signálem vhodného kmitočtu na nelineárním směšovači se sníží kmitočet nosné vlny tak, že „padne“ do pracovního pásma osciloskopu. Současně se tím zvětší i relativní kmitočtový zdvih.

Impulsové signály

V elektronice mají přinejmenším stejnou důležitost jako signály sinusových průběhů různé druhy impulsů. Impulsy mají hlavní význam především jako nosiče nejrůznějších typů informací.

Často se zaměňují pojmy „impuls“ a „puls“. Jednou z možných definicí pro „impulsní průběh“ (kterou budeme v dalším respektovat) je tato definice: impuls je průběh s velmi krátkou dobou trvání; pulsem pak nazýváme průběh, v němž se jednotlivé impulsy s určitou rychlostí opakují.

Hovoříme-li o impulsích, nesmíme se omezit pouze na typické představitele této skupiny průběhů, tzn. na obdélníkovité impulsy, které vznikají spínacími pochody a obsahují proto nespojitosti. Je třeba si uvědomit, že mezi impulsní průběhy patří podle moderní teorie impulsů i průběhy tvaru „sin²“, „Gaussův impuls“ atd. Na rozdíl od typických impulsních

průběhů neobsahují tyto průběhy vůbec žádné nespojitosti.

Snad nejcharakterističtější rozdíl mezi impulsovým průběhem a sinusovým periodickým průběhem je závislost průběhu v daném okamžiku na jeho vlastnostech v předcházejících okamžicích. Impulsový průběh je takový, který vzniká nezávisle na předcházejících impulsích. V důsledku vzájemné nezávislosti impulsů nemusí se jejich řada skládat z pravidelně složených impulsů, mohou se opakovat ve zcela nepravidelných intervalech. Naproti tomu periodické průběhy (libovolného průběhu) vznikají pouze v řadách. Nemůže existovat ojedinělý cyklus této řady – periodický průběh v daném okamžiku je určen průběhem, který „byl již dlouho před tím“.

Základní impulsový průběh se skládá z přechodových jevů, vznikajících při spínacích a přepínacích pochodech a z pozvolných přechodů, obvykle lineárních nebo exponenciálních. Přepínání může probíhat mezi různými hladinami napětí – mezi dvěma stavy. Přechodové jevy při spínání a přepínání mohou být exponenciální, lineární, tlumeně kmitající – s tlumením různé velikosti (od přetlumeného do nedotlumeného). Kromě přepínání mezi různými stejnosměrnými hladinami napětí existuje také přepínání do stavu, v němž jsou kmity ustáleny. Tak je tomu např. u impulsně modulovaných oscilátorů, generátorů lineární časové základny atp.

Šum

V přírodě kolem nás pozorujeme, že slabé jevy jsou zakrývány náhodnými změnami, jež jsou vázány na molekulární pohyby, souvisící s teplem. Jednou z prvních změn, jež byla pozorována, byl pohyb mikroskopických, částíček, rozptýlených v kapalině. Podle objevitele byl tento jev nazván Brownův pohyb. Tento a mnoho dalších mikroskopických jevů se vyskytuje všude v přírodě. Povahu těchto jevů lze stanovit pomocí statických zákonů, neboť např. zobrazením na osciloskopu nelze v nich zjistit ani opakování ani nepravidelnost. Jednu z těchto náhodných změn nazýváme šumem.

Určité obecné vlastnosti šumu jsou velmi důležité při interpretaci osciloskopických záznamů. Sledujeme-li kmitočtové spektrum šumu, vidíme, že šum vznikající určitým způsobem obsahuje složky se stejnou amplitudou, rozložené v celém kmitočtovém spektru. Tak se chová elektrický šum vznikající tepelnými pohyby elektronů ve vodičích – proto se nazývá tepelný šum. Jiným druhem šumu (souvisejí s teoretickou přítomností všech spektrálních kmitočtových složek) je bílý šum (analogicky k světelnému spektru).

Šumové napětí tepelného šumu je dáno výrazem]

$$\frac{U^2}{R_{stř}} = 4k \Theta \Delta f,$$

kde $R_{stř}$ je střední hodnota reálné impedance uvažovaného obvodu v kmitočtovém pásmu Δf [Hz],

- k Boltzmanova konstanta
($1,375 \cdot 10^{-23}$ J/°K) a
 Θ absolutní teplota [°K].

Tento výraz platí pro obvody s kovovými vodiči.

Při poslechu (po zesílení zesilovačem) se jeví tepelný šum jako trvalé syčení. Na stínítku osciloskopu se jeví jako „tráva“ – tento výraz je sice netechnický, je však mezi techniky velmi vžitý a používaný.

Kromě bílého nebo tepelného šumu se v elektrických obvodech vyskytují četné jiné jevy, náležející mezi šum. Tak např. v radiových spojích je znám termín atmosférický šum. Tento šum je způsoben kromě jiného např. výboji a má impulsovou povahu. Dále známe např. šum, vznikající v potenciometrech při tření běžce o odporovou dráhu, šum od neodrušeného zapalování spalovacích motorů atd. Vzhledem k impulsovému charakteru těchto druhů šumu lze je poměrně snadno rozpoznat a odstranit.

Odstup úrovně signálu od šumu

Úroveň šumu ve vstupním obvodu zesilovače je omezujícím činitelem pro dosažení maximálního zisku. K určení vztahu této úrovně k nejmenšímu vstupnímu signálu, který by dal na výstupu signál

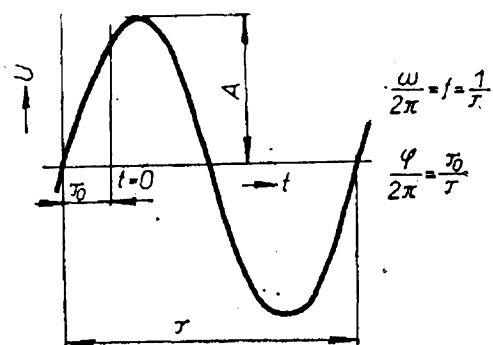
dostatečně velký vzhledem k výstupnímu šumu, bylo vypracováno mnoho měřicích metod. Poměr výkonů vstupního signálu a vstupního šumu (pro stanovený poměr na výstupu) je pro dané zařízení nejmenším odstupem úrovně signálu od úrovně šumu (tzv. poměr s/š).

Při osciloskopických měřeních se však pracuje s napětím a nikoli s výkonem. Pomáhá nám však přirozená vlastnost lidského oka, které je dosti dobrým integrátorem. Při pozorování zobrazeného šumového signálu vidíme poměrně velmi dobře definovanou úroveň napětí, jež je tvořena většinou šumových špiček, nad níž vystupují jen ojedinělé špičky šumu. Hrubým měřítkem úrovně šumu je amplituda signálu, dávající stejnou výchylku paprsku na stínítku jako signál pozorovaný (viz obr. 27). Při měřeních tohoto druhu je třeba dát pozor na účinnost detektoru (je-li obsažen v měřeném zařízení). Přítomností užitečného signálu se může ovlivňovat účinnost detektoru. Proto nikdy nebudeme porovnávat signál se šumem za nepřítomnosti signálu.

V zařízeních, která vyžadují pozorovat signály v šumu postupujeme tak, že hledáme nejmenší signál, který lze spolehlivě pozorovat v šumu, s nímž se setkáme. Podobný postup lze použít všude tam, kde je třeba zjišťovat signály v přítomnosti šumu.

Kvantitativně se šum měří cejchovanými generátory šumu.

Zvláštní vlastnost šumu, že plynule a rovnoměrně pokrývá celé kmitočtové spektrum, je velice výhodná pro jeho využití k různým druhům zkoušek. Šumo-



Obr. 28. Základní veličiny v sinusovém průběhu

vých generátorů se využívá k určování citlivosti přijímačů, v akustice, ke zjišťování stability a regulačních vlastností servomechanismů a v neposlední řadě i k zjišťování charakteristiky zesílení zesilovačů. Vývoj šumových zkušebních metod je podporován rozvojem teorie informací. Tato stručná zmínka je zařazena pouze proto, aby naznačila vyhlídky použití šumu jako zkušebního signálu.

Parametry sinusového průběhu

Jedním z průběhů, které se používají nejčastěji, je sinusový průběh. Vzniká v lineárních oscilátorech jako periodická změna, jejíž okamžitá velikost je sinusovou funkcí času (obr. 28). Jeho rovnice je

$$a = A \sin(\omega t + \varphi)$$

kde A je maximální amplituda průběhu,
 ω úhlový kmitočet ($\omega = 2\pi f$),
 f kmitočet [Hz] a
 φ fázový posuv.

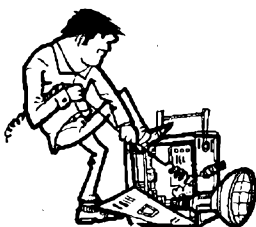
Sinusový průběh si lze geometricky představit jako průmět bodu spojeného s rovnoměrně se otáčející kružnicí na rovinu, pohybující se rovnoměrně ve směru kolmém k rovině kružnice.

Převědeme-li tuto definici analogicky na osciloskop, je pohybující se rovina časovou základnou a promítající se bod je dán svisle vychylujícím napětím. Pojem fázový posuv si můžeme vysvětlit (při této analogii) takto: na obvodu rovnoměrně se pohybující kružnice je umístěn ještě druhý bod, posunutý vzhledem k prvnímu bodu o úhel φ a rovněž promítaný na rovinu. Tento bod vytváří druhou sinusovku, fázově posunutou vzhledem k první sinusovce o úhel φ

$$a_1 = A \sin \omega t,$$

$$a_2 = A \sin(\omega t + \varphi).$$

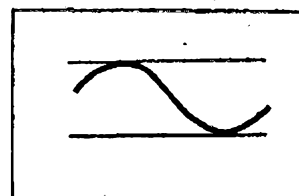
Základní měření na sinusových průbězích jsou měření amplitudy, kmitočtu a fázového rozdílu mezi dvěma průběhy s tímž kmitočtem.



Měření amplitudy

Osciloskopem nejsnáze měřitelnou základní veličinou průběhu (jakéhokoli) je amplituda. Amplitudu lze měřit buď s jakýmkoli druhem vychylování ve směru osy x , nebo vůbec bez vychylování ve směru osy x (vodorovně). Je pouze třeba přivést signál sinusového průběhu na svisle vychylující soustavu a po změření jej nahradit signálem známé amplitudy. Potom se jen porovnají výchylky nebo se velikost známého signálu nastaví tak, až jsou obě výchylky stejné. Je přirozené, že nejvhodnější je použít při měření rastrem rozdělené stínítko a stálý stupeň zesílení.

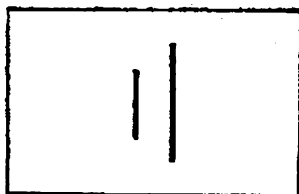
Při substituční metodě lze s výhodou používat elektronický přepínač. Proměnný srovnávací signál se přivádí do jednoho kanálu a měřený signál do druhého. Změnou srovnávacího napětí nastavíme shodnost obou amplitud. Mají-li oba signály nesouměřitelné kmitočty a je-li signál zasynchronizovaný časově základny jedním z nich, pak získáme velmi čitelný obrazec (obr. 29). Není-li osciloskop vůbec syn-



Obr. 29. Měření amplitudy při nesouměřitelných kmitočtech

chronizován, potom se na ploše stínítka objeví dva obdélníky (s jasovou výrazností stran), u nichž lze spolehlivě rozeznat nerovnost amplitud.

Při měření střední hodnoty signálu pomocí elektronického přepínače postupujeme takto: základnu tvoří spodní (záporná) nevychýlená stopa; přivedeme-li na vstup osciloskopu signál, udává vzdálenost od nevychýlené stopy k vrcholu amplitudy signálu (zvolené za referenční, obvykle v záporném směru) střední hodnotu signálu. V tomto případě nemůžeme pracovat s cejchovním napětím. Nejdříve musíme určit celkovou mezivrcholovou velikost signálu (špička-špička) a střední hodnotu pak dostaneme jako část mezivrcholové velikosti signálu (obr. 30).



Obr. 30. Měření amplitudy použitím přepínacího napětí k vodorovnému vychylování

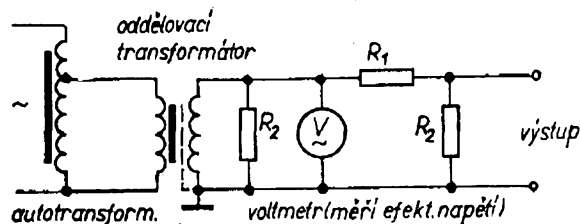
Cejchovní (kalibrační) napětí

Ve většině případů jsou zdroje cejchovního napětí pro osciloskopická měření amplitudy cejchovány pro měření mezivrcholových velikostí (špička-špička).

Nejjednodušším zdrojem cejchovního napětí je síťové napětí, přiváděné z regulačního transformátoru přes oddělovací transformátor (obr. 31). K měření velikosti cejchovního napětí postačí potom magnetoelektrický voltmetr. Velmi praktické je mít stupnici měřicího přístroje ocejchováno přímo v mezivrcholových údajích. Tento požadavek je snadno splnitelný (stačí použít vhodný dělič napětí). Protože při nezatížené sekundární straně oddělovacího transformátoru může dojít ke zkreslení průběhu sekundárního napětí, je vhodné sekundární stranu transformátoru zatížit vhodným odporem. Tímto jednoduchým způsobem je možné získat cejchovní napětí asi od 100 mV.

Měření kmitočtů na obrazovce

I přes bouřlivý rozvoj číslicových metod při určování nulového záznamu se při přímém měření kmitočtů používá stále



Obr. 31. Zdroj cejchovního napětí (R_2 je zatěžovací odpor, $R_1 = [2\sqrt{2} - 1] R_2$)

osciloskopické srovnávání. Je velmi jednoduché, neboť kromě zdroje referenčního kmitočtu a osciloskopu, který je ostatně základním vybavením každé laboratoře, nevyžaduje již jiná pomocná zařízení. Současné působení obou vychylovacích napětí na elektronový paprsek nahrazuje směšování a umožňuje i srovnávání kmitočtů na harmonických násobcích bez jejich přímé výroby. Z dalších předností můžeme ještě jmenovat rychlost, citlivost a velký kmitočtový rozsah.

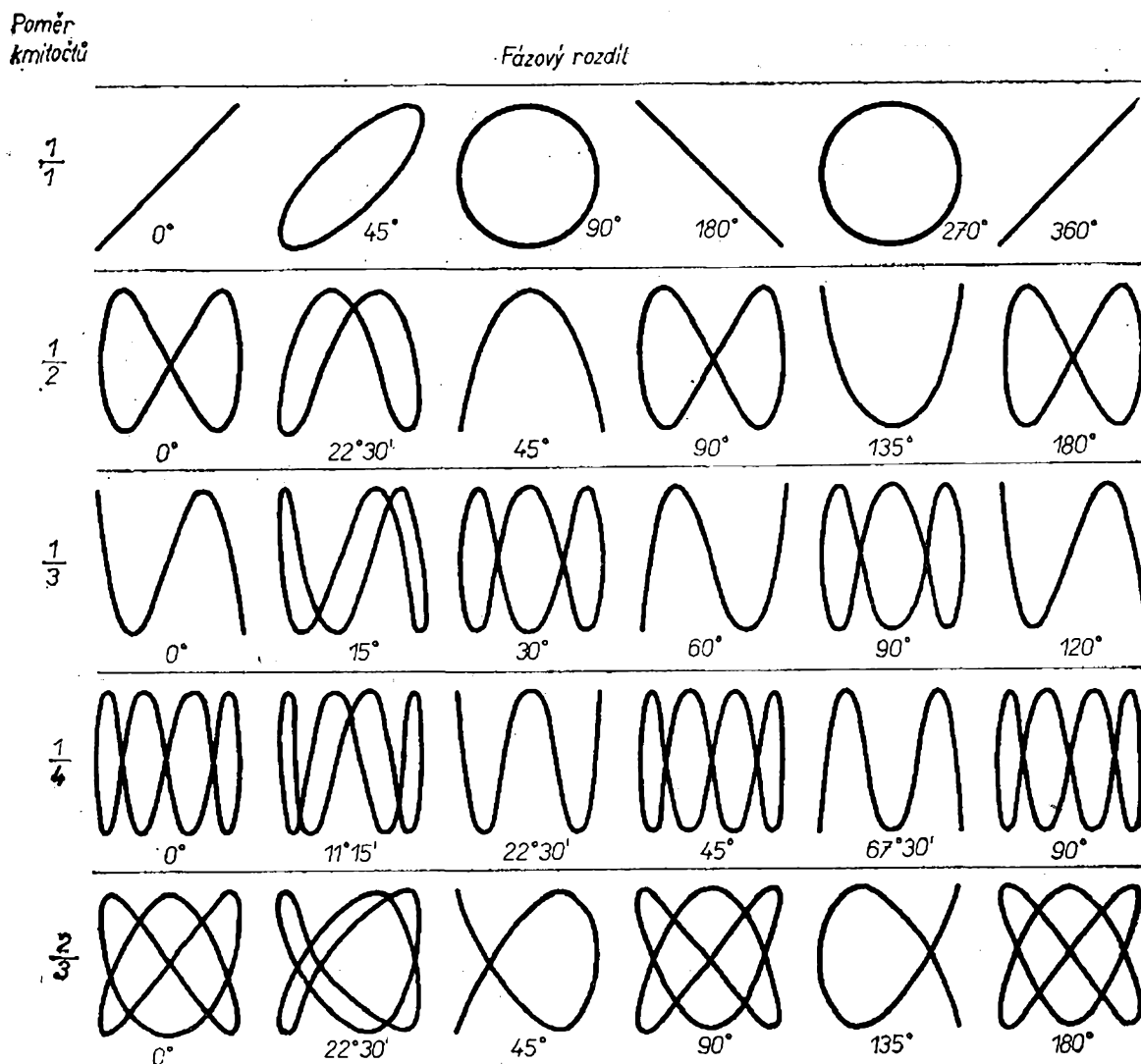
Jako každá metoda má i tato metoda své nedostatky. Vedle omezeného kmitočtového rozsahu, závislého především na mezních kmitočtech vychylovacích zesilovačů osciloskopu, je třeba, aby porovnávané kmitočty byly v poměru celých čísel. Není-li tato podmínka přesně dodržena, nemá kmitočtový rozdíl (včetně vzájemné nestálosti) překročit asi 2 Hz. U složitých obrazců, u nichž vlastní porovnávání probíhá na nejmenším společném násobku obou kmitočtů, musí být kmitočtový rozdíl úměrně menší. Při větším kmitočtovém rozdílu je již pohyb Lissajousovy křivky na stínítku obrazovky tak rychlý, že ji není možné ani spolehlivě rozeznat, ani spočítat jednotlivé periody výsledného záznamu. Při ještě větších rozdílech kmitočtu vidíme vlivem setrvačnosti oka na stínítku pouze světlý čtverec nebo obdélník.

Z předchozího omezení vyplývá, že (celkem bez obtíží) můžeme porovnávat na obrazovce nízké akustické kmitočty, neboť jejich vzájemná stálost bude vždy dostačující. Uvažme, že při srovnávání v pásmu 100 Hz bude stačit stálost pouze $2 \cdot 10^{-2}$ až $2 \cdot 10^{-3}$. Se zvyšováním srovnávaných kmitočtů se samozřejmě vždy musí úměrně zvětšovat i jejich stálost. A to proto, že jejich maximální přípustný kmitočtový rozdíl zůstává, jak již bylo uvedeno, konstantní (asi 2 Hz). Odpovídající stálost v pásmu kmitočtů do 100 kHz bude tedy $2 \cdot 10^{-5}$ až $2 \cdot 10^{-6}$. Z toho je zřejmé, že při vysokých kmitočtech je možno osciloskopickými metodami porovnávat jen velmi stálé oscilátory, především kryystalové. Výhodou této metody je, že lze měřit s velkou přesností a výsledek obdržet v poměrně krátkém čase, tak jak bude ukázáno v následujících odstavcích.

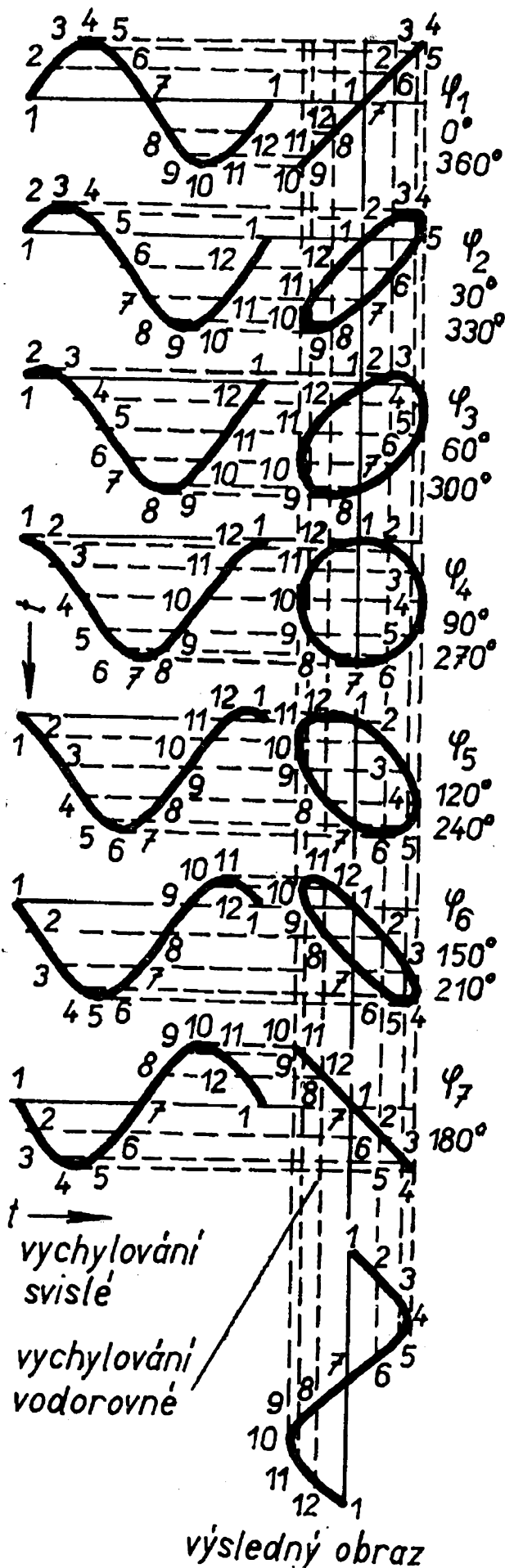
V uplynulých pěti desetiletích byla vypracována celá řada metod pro srovnávání kmitočtů na obrazovce. Téměř úplný výčet je uveden v pramenech [14] a [15]. Ovšem mnohé tyto metody mají již cenu pouze historickou či akademickou; nebudeme zde uvádět ani jejich výčet. Povšimneme si pouze těch měřicích metod, které se v praxi osvědčily a stále se ještě používají. Jednou z nejznámějších a současně nejrozšířenějších je metoda porovnávání kmitočtů nebo jejich harmonických vytvářením Lissajousových obrazců. Méně rozšířené jsou modifikace této metody navržené R. Walterem a A. I. Fjurstenbergem [15], [16], popř. měření tzv. modulovaných kružnic.

Porovnávání kmitočtů vytvářením Lissajousových obrazců

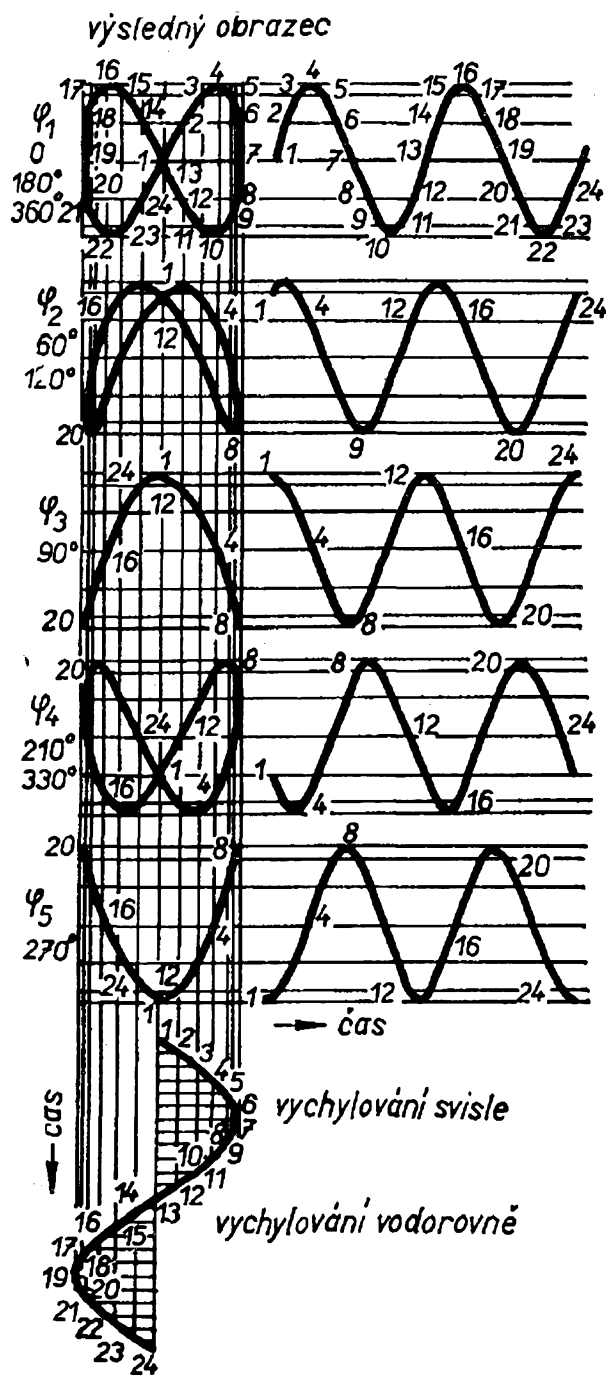
Privádíme-li dvě střídavá sinusová napětí odděleně na vodorovné a svislé vychylovací destičky obrazovky, mění se jejich působením trvale prostorová poloha elektronového paprsku a tím i poloha světelné stopy, vytvářené elektronovým paprskem na ploše stínítka obrazovky. V případě, že kmitočty obou vychylovacích napětí jsou stejné nebo v poměru dvou celých čísel, vrátí se světelná stopa po uplynutí doby jedné periody (nebo jejího násobku) do výchozí polohy na ploše stínítka obrazovky osciloskopu. Takto se vytvoří stojící křivka; soubor těchto kři-



Obr. 32. Lissajousovy obrazce pro některé poměry kmitočtů a pro různé fázové rozdíly



Obr. 33. Grafické odvození Lissajousova obrazce při poměru kmitočtů 1:1 pro různá fázová posunutí. Obě napětí mají stejnou amplitudu a jsou sinusová



Obr. 34. Lissajousův obrazec při poměru kmitočtů 2:1 pro různé fázové posuvy. Obě napětí mají stejnou amplitudu a jsou sinusová

$$24 \cdot \frac{4}{72} R_K$$

vek nazýváme Lissajousovy obrazce. Charakteristická podoba těchto obrazců je vystižena poměrem počtu průsečíků s vodorovnou a svislou osou. Tento poměr, jak bude později vysvětleno, závisí pouze na poměru kmitočtů vychylujících napětí. Konečný tvar obrazce však záleží na vzájemném fázovém posuvu, na velikosti amplitud a zkreslení porovnávaných kmitočtů (obr. 32).

Na obr. 33 je vysvětleno grafické odvození Lissajousova obrazce při rovnosti kmitočtů obou sinusových napětí a stejné amplitudě při různém vzájemném fázovém posuvu. Podle obrázku lze napsat, že při fázovém posuvu

0° a 180° } přechází výsledná křivka,
 90° a 270° }

kteřá je elipsou } v úsečku.
 } v kružnici.

Stejným způsobem je na obr. 34 graficky odvozena výsledná křivka pro poměr kmitočtů 2:1 při stejné amplitudě obou signálů. Fázový posuv je vztažen k napětí s vyšším kmitočtem. Podobně jako v předchozím případě se v celém rozmezí fázového posuvu 0° až 360° objevují dva význačné stavy. V době, kdy jedno vychylovací napětí (např. na vodorovných destičkách) se zvětšuje (kladná větev), část křivky vytvářená tímto napětím se vzájemně překryje s tou částí křivky, která vzniká tehdy, když se totéž vychylovací napětí zmenšuje (záporná větev – zpětný běh). Tyto dva význačné stavy vznikají při fázovém posuvu 90° a 270° .

Zcela obecně má každý typ Lissajousova obrazce dva různé stavy překrytí. Tyto stavy překrytí odpovídají fázovému rozdílu 180° na prvním společném harmonickém násobku srovnávaných kmitočtů. Je-li jejich vzájemný poměr:

$$f_n f_x = mn,$$

kde m, n jsou reálná, celá a nesoudělitelná čísla, pak první společný harmonický násobek je:

$$n f_x = m f_n.$$

Čím větší je tento násobek, tím složitější vznikne Lissajousova křivka a tím obtížnější je i její určení.

Nejsou-li kmitočty napětí vychylujících elektronový paprsek v přímém pomě-

ru dvou celých čísel, potom jejich vzájemný fázový stav není konstantní, mění se s časem. Tato změna má za následek, že výsledná Lissajousova křivka nabývá postupně všech tvarů, odpovídajících fázovému posuvu 0° až 360° . Perioda opakování stejného tvaru Lissajousovy křivky je rovna převrácené hodnotě záznejového kmitočtu mezi prvními společnými harmonickými násobky

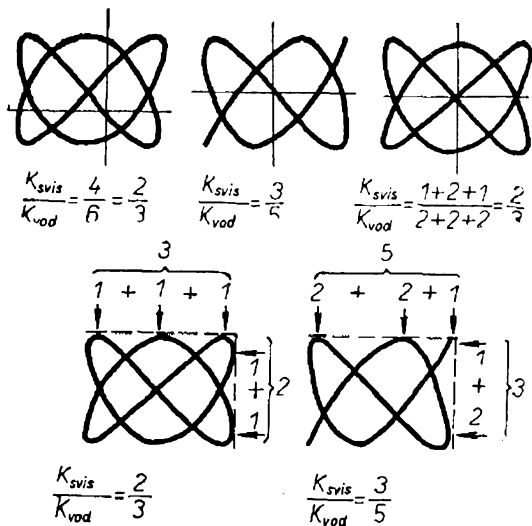
$$f_x = n f_x - m f_n.$$

Pokud perioda opakování f_x je menší než asi 2 Hz, je možno sledovat pohyb křivky a pozorováním vyhodnotit periodu opakování. Při vyšších záznejových kmitočtech se pohyb křivky zrychluje, až konečně vlivem setrvačnosti oka (popřípadě i vlivem času dosvitu světelné stopy na stínítku obrazovky) pozorujeme pouze světlý čtverec nebo obdélník. S touto skutečností souvisí jev, s nímž se setkáváme při cejchování generátorů srovnáváním s etalonovým kmitočtem na obrazovce. Velmi lehce zpomalíme nebo i zastavíme pohyb jednoduché Lissajousovy křivky (elipsy nebo osmičky). Zastavení je stále obtížnější s rostoucí složitostí Lissajousova obrazce. Obrazec se obtížně zastavuje proto, že musí být při zvětšujícím se harmonickém násobku kmitočtu (při němž ve skutečnosti srovnávání probíhá) přiblížení srovnávaných kmitočtů mnohem přesnější, než je tomu u základních kmitočtů.

Při vyhodnocování kmitočtového poměru z tvaru Lissajousovy křivky postupujeme nejnázorněji podle této úvahy: přivedeme-li na vodorovné vychylovací destičky napětí s kmitočtem f_x a na svislé vychylovací destičky napětí s kmitočtem f_n a je-li jejich vzájemný vztah definován rovnicí

$$\frac{f_x(\text{vod.})}{f_n(\text{svis.})} = \frac{K_{\text{svis}}}{K_{\text{vod}}} = \frac{m}{n},$$

potom počet průsečíků píšícího bodu s libovolnou svislou přímkou je $K_{\text{vod}} = 2n$ (obr. 35a). Pro případ kryjící se křivky je počet průsečíků na obr. 35b. Prochází-li zvolená přímka některým průsečíkem Lissajousovy křivky, počítáme tento průsečík dvakrát (obr. 35a).



Obr. 35. Vyhodnocení kmitočtového poměru v tvaru Lissajousovy křivky metodou průsečíků nahoře (zleva a, b, c) a metodou tečen dole (d, e)

Tuto metodu – metodu průsečíků – lze použít při vyhodnocování stojící nebo jen pomalu se pohybující křivky. Při rychlejších pohybech křivky (méně přesné přiblížení srovnávaných kmitočtů) je snazší vyhodnotit hledaný poměr z tečných bodů Lissajousovy křivky (obr. 35d). Při kryjící se křivce se počítají tečné body se spojitou křivkou jako dvojnásobné a tečné body v místech nespojitosti jako jednoduché (obr. 35e).

Je-li pohyb Lissajousovy křivky tak rychlý, že již nelze spolehlivě určit ani počet tečných bodů, můžeme použít při vyhodnocování poměru obou kmitočtů srovnání tvaru kryjící se křivky se známými tvary. Část vzorníku známých tvarů je na obr. 32.

Současně s pohybem křivky znesnadňuje určení poměru kmitočtů z tvaru Lissajousovy křivky i velké harmonické zkreslení některého z průběhů, popřípadě jeho amplitudová, kmitočtová nebo fázová modulace.

Je dobré si uvědomit, jaké maximální poměry srovnávaných kmitočtů lze touto metodou identifikovat. Při dobrých měřicích podmínkách (tzn. průběhy nezkrácené a bez rušivé modulace; téměř stojící; kryjící se křivka; dostatečně velká plocha stínítka obrazovky; na destičky nepronikají žádná rušivá napětí atp.) lze bezpečně identifikovat ještě poměry, pro

něž platí vztah

$$m + n \leq 10;$$

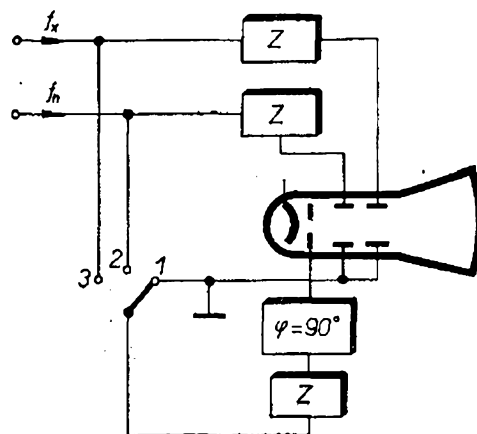
pouze výjimečně a velmi zkušené osobě

$$m + n = 40.$$

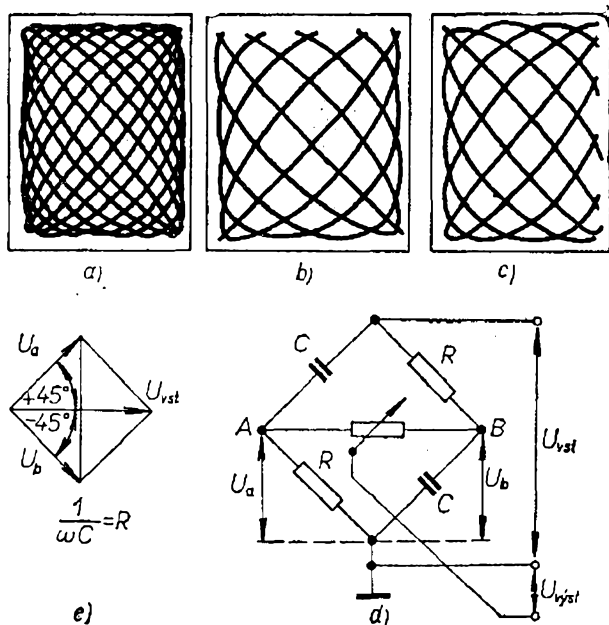
Při těchto krajních případech je již velké nebezpečí řádové chyby. Toto nebezpečí je společné všem metodám používaným při porovnávání harmonické násobky základního kmitočtu. Z tohoto důvodu je proto dobré určovat poměr kmitočtů buď z předběžného měření – osciloskop potom slouží jako indikátor nuly – nebo použít pomocný generátor, jehož kmitočet se nastaví tak, aby s oběma kmitočty f_x a f_n vytvořil jednodušší křivky, nadněji vyhodnotitelné.

Zatemňovaný Lissajousův obrazec

Lissajousův obrazec se na pohled jeví tak, jako by byl navinut na průhledném válci. Tento „plastický dojem“ zvláště dobře vynikne, zmenšíme-li jas některé části obrazce. Podle způsobu navrženého R. Walterem [16] se např. zcela zatemní jedna polovina křivky. Zatemnění dosáhneme tím, že na mřížku obrazové elektronky přivedeme modulující napětí s posuvem 90° , odvozené z jednoho nebo druhého srovnávaného napětí. Základní zapojení přístrojů při měření touto metodou je na obr. 36. Je-li přepínač v poloze 1, je na ploše stínítka obrazovky zobrazena celá Lissajousova křivka. V druhé po-



Obr. 36. Blokové schéma zapojení pro zatemnění částí Lissajousova obrazce (Z – zesilovač)



Obr. 37. Způsob srovnání kmitočtů zatemněním části Lissajousova obrazce (a, b, c); zapojení pro předběžné cejchování (d) a vektorový diagram napětí (e)

loze přepínače je zatemněna část vodorovného běhu a ve třetí poloze přepínače je zatemněna část svislého běhu svítícího bodu. Všechny tři obrazce jsou na obr. 37a, b, c.

Podle směru pohybu křivky určíme znaménko kmitočtové odchylky nejspolehlivěji tak, že uděláme tzv. předběžné cejchování. Cejchovat můžeme dvěma způsoby. Můžeme buď rozladit některý zdroj kmitočtu, nebo na okamžik pootočíme fázi jednoho ze srovnávaných kmitočtů. Pro posouvání fáze signálu můžeme použít např. čtyřpól podle obr. 37d. Při pohybu běžce potenciometru z bodu B do bodu A se fáze pootáčí v kladném smyslu – okamžitý kmitočet na výstupu je proto vyšší než na vstupu. Při pohybu běžce potenciometru z bodu A do bodu B jsou poměry opačné. Při návrhu čtyřpólu volíme impedance odporové i kapacitní větve můstku stejné, takže

$$\frac{1}{\omega C} = R;$$

tak lze dosáhnout toho, že absolutní hodnota napětí v bodech A a B je stejná, napětí jsou však vzájemně fázově posu-

nutá o 90°. Vektorový diagram napětí čtyřpólu je na obr. 37e. Vektor napětí odebíraného z běžce potenciometru leží na spojnici vektorů U_a a U_b . Jeho fáze se vůči vstupnímu napětí mění o $\pm 45^\circ$. Jeho amplituda kolísá až o 30 %. Proto je při lineárním průběhu odporové dráhy potenciometru a dostatečně rovnoměrném pohybu běžce při měření okamžitá kmitočtová změna na výstupu

$$\frac{0,25}{T} \quad [\text{Hz}],$$

kde T je doba, potřebná k přesunutí běžce potenciometru z jedné krajní polohy do druhé. Kolísání amplitudy až o 30 % při měření ruší jen mírně.

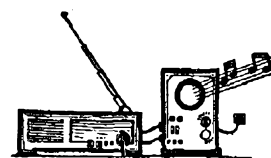
Další výhodou, kterou přináší metoda zatemňování poloviny nebo ještě větší části Lissajousovy křivky je, že se při tomto způsobu měření zpomalí relativní pohyb obrazce po ploše stínítka obrazovky na polovinu. Z tohoto důvodu je možné měřit kmitočtové rozdíly 3 až 4 Hz.

Nevýhodou této měřicí metody je, že se především při delších měřicích dobách mohou rušivě uplatnit změny stejnosměrných napětí na elektrodách obrazovky. Vlivem změn stejnosměrných napětí na elektrodách obrazovky se totiž posouvá obraz.

Při vyhodnocování poměru srovnávaných kmitočtů při zatemněném obrazu postupujeme takto: určíme počet průsečíků se svislou přímkou k_{sv} při částečně zatemněném vodorovném běhu. Při určování počtu průsečíků s vodorovnou přímkou k_{vod} je částečně zatemněn svislý běh. Hledaný poměr srovnávaných kmitočtů zjistíme dosazením zjištěného počtu průsečíků k_{sv} a k_{vod} do rovnice

$$\frac{f_x(\text{vod.})}{f_y(\text{sv.})} = \frac{k_{sv}}{k_{vod}} = \frac{m}{n}.$$

Způsob srovnávání kmitočtů zatemňováním Lissajousova obrazce je obdobou rozkládání obrazec superpozicí na eliptickou základnu [14].



Metoda zatemňování je však daleko obecnější a snáze realizovatelná.

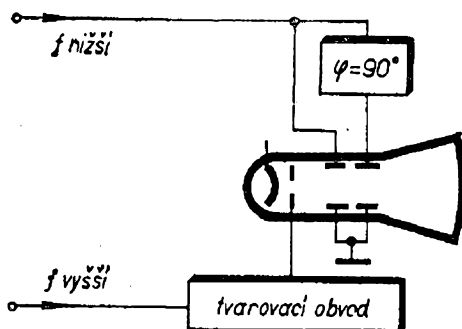
Modulovaná kružnice

Metoda modulované kružnice je vhodná především při dlouhodobém porovnávání kmitočtů s velmi malou odchylkou. Při této metodě pozorujeme pohyb modulované kruhové základny. Základní zapojení pro měření touto metodou je na obr. 38. Na oba páry vychylovacích destiček přivedeme napětí se vzájemným fázovým posuvem 90° . Kmitočet těchto napětí je roven nižšímu z obou srovnávaných kmitočtů. Napětí o vyšším kmitočtu moduluje jas, takže na stínítku vidíme přerušovaný kruh. Toto napětí je výhodné převést na impulsy. Počet částí přerušovaného kruhu je roven většímu z čísel m nebo n podle vztahu

$$\frac{f_x}{f_y} = \frac{m}{n}$$

Menší z obou čísel se z této křivky – přerušovaného kruhu – určit nedá. Lze ho však vyhodnotit metodou podle [14].

Vyhodnocování velikosti i smyslu kmitočtové odchylky z rotačního pohybu modulované (přerušované) kružnice nečiní zvláštní potíže. Úhlová rychlost modulované kružnice je přímo úměrná hledané odchylce. Je-li celá modulovaná kružnice rozdělena na v částí (dílů) (číslo v je rovno většímu z čísel m, n) a projde-li za dobu T referenční značkou na ploše stínítka obrazovky q částí (dílů), je potom



Obr. 38. Zapojení pro zobrazení zatemňované kruhové základny

hledaný rozdílový kmitočet vyjádřen vztahem

$$f_z = \frac{p-1}{2T} = \frac{q}{T}$$

Smysl kmitočtové odchylky můžeme určit opět dvěma způsoby a to buď rozladěním jednoho ze zdrojů kmitočtu, nebo krátkodobou změnou některého z kmitočtů. Krátkodobě lze zdroj kmitočtů rozladit např. posunutím fáze.

Jen na okraj bude dobré zmínit se o tom, že existují daleko složitější metody k radiálnímu vychylování kruhové základny. U běžných osciloskopů lze toho dosáhnout vytvořením cykloidálních křivek – epicykloid nebo hypocykloid. Avšak těmito metodami se podle pramenů [15] a [18] nijak nezvětšují možnosti osciloskopického srovnávání kmitočtů vzhledem k dosud popsáným metodám.

Měření fázového úhlu

Při měření kmitočtu osciloskopem jsme si řekli, že přivedeme-li na vstupy osciloskopu dvě sinusová napětí stejného kmitočtu a fáze, vytvoří se na ploše stínítka úsečka. Sklon úsečky je určen poměrem amplitud obou napětí. Při rovnosti amplitud obou napětí se vytvoří úsečka se sklonem 45° . Změnou fáze jednoho z obou sinusových napětí se změní úsečka v elipsu. Z geometrických rozměrů této elipsy lehce zjistíme fázový úhel mezi oběma napětími.

Tak jako při všech osciloskopických měřeních vstupuje zde v platnost jedno omezení – napěťová citlivost samotných vychylovacích destiček obrazovky. Ve většině případů (snad kromě těch nejmodernějších obrazovek) můžeme přímo měřit jen napětí s dostatečně velkou amplitudou – řádu desítek voltů. Jsme tedy ve většině případů nuceni používat oba zesilovače. Je samozřejmé, že před měřením se přesvědčíme, zda parametry obou zesilovačů pro zamýšlené měření vyhovují. Pro měření fázového úhlu musí oba zesilovače vyhovět těmto podmínkám:

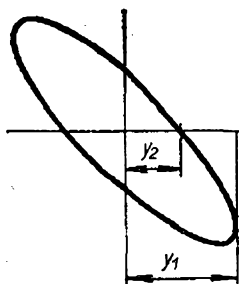
1. Počet zesilovacích stupňů obou zesilovačů musí být stejný. Zesilovač nesmí mít fázové zkreslení. O tom, zda zesilovače mají fázové zkreslení, se přesvědčíme tak, že na vstupy obou zesilovačů přivedeme totéž střídavé napětí (v nouzi postačí síťové napětí). Na ploše stínítka obrazovky se zobrazí úsečka, svírající s oběma osami úhel 45° . Vznikne-li elipsa, některý ze zesilovačů fázově zkresluje (nebo oba) a tento zesilovač nemůžeme pro měření fázového úhlu použít. Nestejný počet zesilovacích stupňů se projeví tím, že zobrazená úsečka probíhá od levého horního kraje obrazovky do pravého spodního kraje. Mezi oběma napětími je fázový rozdíl 180° a při měření musíme mít tuto skutečnost na zřeteli.

2. Oba zesilovače musí mít stejné zesílení. Jedině v tom případě se při rovnosti fáze zobrazí na ploše stínítka obrazovky úsečka. Zesílení nastavujeme tak, že stejné napětí přivádíme střídavě na oba vstupy a zesílení obou zesilovačů nastavujeme tak dlouho, až zobrazená úsečka je stejně dlouhá ve směru vodorovném i svislém. Tím máme zajištěno, že se při měření nebude rušivě uplatňovat vliv nestejných napětí na vychylovacích destičkách obrazovky.

Při měření fázového úhlu dvou sinusových napětí je geometrický tvar zobrazené křivky úměrný fázovému úhlu. Příklady zjištění fázového úhlu z oscilogramu jsou na obr. 39. Při zjišťování fázového úhlu postupujeme takto:

– zjistíme velikost největší výchylky od vodorovné nulové osy ve svislém směru (výchylka y_2);

– zjistíme vzdálenost průsečíku elipsy



Obr. 39. Určení fázového úhlu φ z rozměrů elipsy na stínítku obrazovky

se svislou nulovou osou od nulové vodorovné osy (výchylka y_2);

– zjištěné výchylky dosadíme do vzta-
hu

$$\sin \varphi = \frac{y_2}{y_1};$$

– velikost úhlu φ vyhledáme v tabul-
kách.

(Poznámka. Obě zjištěné výchylky nemusí být zjištěny absolutně v určité délkové míře, pro vlastní výpočet postačí znát pouze jejich poměr a měřítko lze volit libovolně).

Příklad. Změřili jsme $y_1 = 80$; $y_2 = 40$;

$$\sin \varphi = \frac{y_2}{y_1} = \frac{40}{80} = 0,5$$

$$\varphi = 30^\circ.$$

§ S touto metodou vystačíme, jde-li o zjišťování fázového úhlu v rozmezí 0° až 180° . Zvětšuje-li se fázový úhel nad 180° , mění se zobrazená světelná úsečka opět na elipsu (viz měření kmitočtu); při fázovém úhlu 270° přechází v kružnici. Dalším zvětšováním fázového úhlu se mění kružnice opět v elipsu až při fázovém úhlu 360° je opět úsečkou. Můžeme tedy pozorovat, že pro fázové úhly, které jsou souměrně kolem nuly, vznikají na ploše stínítka stejné křivky. Je proto nutné nějakým způsobem rozlišit, zda fázový úhel je menší nebo větší než 360° . Vhodný způsob je uveden v knize Forejt-Němec: Praktická elektronika. Cituji: „Jedním z obou měřených napětí modulujeme jas světelné stopy na stínítku tak, že je zavedeme na mřížku obrazové elektronky. Elipsa, kterou dostaneme pro fázový úhel např. 30° , je tvarem shodná s elipsou pro úhel -30° , popř. 330° , obě elipsy se liší mezi sebou smyslem oběhu bodu po jejich obvodě. Proto bude mít elipsa pro úhel $+30^\circ$ horní větev tlustší, elipsa pro -30° ji bude mít tenčí. Nulovou polohu zjistíme přivedením téhož napětí na oba páry vychylovacích destiček.“ Jak je možno pozorovat, jde o modifikaci zatemňování Lissajou-

sova obrazce metodou, navrženou R. Walterem [16].

Není potřeba snad připomínat, že při měření fázového úhlu se nemá měnit kmitočet obou sinusových napětí. Změnou kmitočtu se mění též zobrazená křivka na ploše stínítka obrazovky a tím se celé měření znehodnocuje. Lze snad připustit, že v případě velmi zručné obsluhy je možné měřit při kmitočtovém rozdílu max. 2 Hz. V tomto případě dvakrát za vteřinu nabývá zobrazená křivka stejného tvaru – přitom je možné změřit potřebné výchylky y_1 a y_4 .

Měření činitele tvarového zkreslení

Tvarové (nebo také harmonické) zkreslení se projevuje vznikem nových nežádoucích kmitočtů v zesilovačích při zesilování střídavého napětí. Nové kmitočty – harmonické nebo subharmonické – vznikají většinou na nelineárních prvcích, tzn. na elektronkách, tranzistorech a diodách. Ovšem mohou vznikat i vlivem nesprávně navržených pracovních podmínek a na transformátorech (dojde-li k jejich přesycení). Velikost tvarového zkreslení je udávána tzv. činitelem tvarového zkreslení k . Činitel tvarového zkreslení je dán výrazem:

$$k = \frac{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots + U_n^2}{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots + U_n^2} \cdot 100 [\%];$$

kde U_1 je efektivní napětí základního kmitočtu,

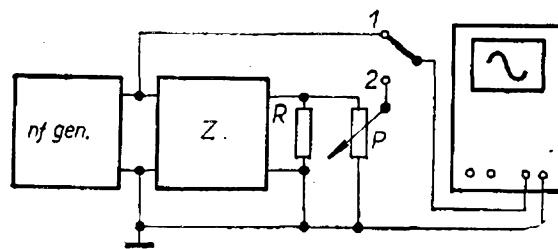
U_2 efektivní napětí druhého harmonického kmitočtu,

U_3 efektivní napětí třetího harmonického kmitočtu,

U_4 efektivní napětí čtvrtého harmonického kmitočtu,

U_n efektivní napětí n tého harmonického kmitočtu.

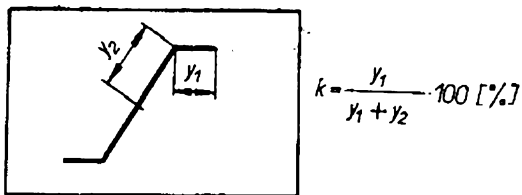
K přesnému měření činitele zkreslení se používají speciální přístroje. Tyto přístroje samozřejmě amatér ve své dílně nemá a pro mnohé amatéry jsou nedostupné vůbec. Pro běžná měření však



Obr. 40. Blokové zapojení přístrojů pro měření tvarového zkreslení signálu (Z – zesilovač)

vystačíme s různými přibližnými metodami. Dále se omezíme na metody, při nichž se používá osciloskop. Pro velmi přibližné – většinou průběžné – zjištění zkreslení během vývoje zařízení postačí kontrola tvaru sinusového signálu zesíleného zkoušeným zesilovačem. Pro tuto kontrolu postačí, aby byl vstup osciloskopu připojen paralelně k zatěžovacímu odporu. Nemáme-li k dispozici při měření přesný signální generátor, je výhodné použít jednoduché zapojení, kdy přepínačem jednou připojíme na vstup osciloskopu vstupní signál (signál z generátoru) a podruhé výstupní zesílený signál (obr. 40). Není snad potřeba podotýkat, že je výhodné, aby oba signály měly stejnou úroveň (aby nebylo třeba při měření měnit zesílení zesilovače osciloskopu).

Ještě výhodnější je měřit vstupní a výstupní signál jednopaprskovým osciloskopem s elektronickým přepínačem; tím získáme na ploše stínítka obrazovky dvě světelné stopy a můžeme pozorovat současně obě sinusová napětí – vstupní i výstupní. Jejich vzájemným srovnáním ihned zjistíme tvarovou odlišnost vstupního signálu od signálu zesíleného – výstupního. Ovšem při všech těchto měřeních musíme velikost činitele zkreslení pouze odhadovat. Zkreslení 3 až 5 % lze při určitém cviku a zkušenostech pozorovat a odhadnout. Nejčastěji se projevuje deformací horních nebo dolních vrcholů sinusovky. Aby nebylo nutné spoléhat se na odhad, je možné použít pro přibližné stanovení velikosti zkreslení metodu, která je podobná metodě měření fázového úhlu. Pokud nedochází k tvarovému zkreslení výstupního napětí a změně fázového úhlu mezi vstupním



Obr. 41. Stanovení tvarového zkreslení z rozměrů deformací křivky oscilogramu

a výstupním napětím, zobrazí se na ploše stínítka obrazovky úsečka. Jsou-li oba signály fázově posunuty, pak se zobrazí elipsa. Při tvarovém zkreslení jsou horní a dolní části úsečky nebo elipsy zakřiveny (obr. 41). V některých případech se může zakřivit jen horní nebo dolní část sinusovky. Činitel zkreslení k zjistíme změřením vyznačených dílků podle obr. 41 a dosazením zjištěných údajů do vzorce

$$k [\%] = \frac{y_1}{y_1 + y_2} \cdot 100.$$

Měřítka při měření y_1 a y_2 může být opět libovolné, neboť jejich dosazením do zlomku získáme bezrozměrné číslo.

Měření intermodulačního zkreslení

Jakost zesilovače je dána nejen velikostí jeho tvarového zkreslení, ale i velikostí intermodulačního zkreslení. Přesně lze intermodulační zkreslení měřit pouze speciálními přístroji. Postup měření i blokové schéma zapojení měřicí soupravy stanoví ČSN 36 74 30 (1957).

K informativnímu měření intermodulačního zkreslení pomocí osciloskopu je uvedena v pramenu [18] metoda, jejíž

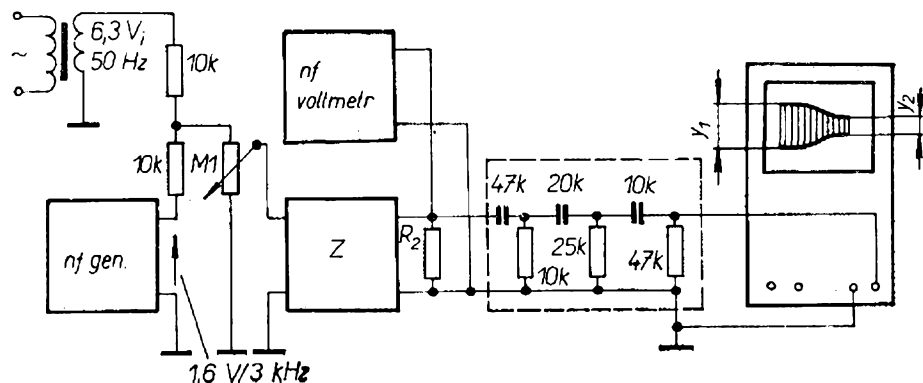
princip je zřejmý z blokového schématu zapojení měřicích přístrojů na obr. 42. Na vstup měřeného zesilovače se přivádějí dva sinusové signály. První signál má kmitočet 50 Hz a druhý 3 kHz. Poměr napětí obou signálů je zvolen 4 : 1 ($U_{50} : U_{3000}$). Oba signály se smísí v děliči a přes regulátor jsou přiváděny na vstup měřeného zesilovače. Výstup měřeného zesilovače je zatížen zátěží s činným odporem. Výkon měřeného zesilovače kontrolujeme nf milivoltmetrem nebo měřičem výkonu. Filtrem RC, připojeným k výstupu měřeného zesilovače, odřízeme nízké kmitočty. Dělicí kmitočet filtru RC je asi 350 Hz. Tím dostaneme na výstupu filtru pouze napětí o kmitočtu 3 kHz, amplitudově modulované kmitočtem 50 Hz. Napětí z výstupu filtru přivedeme na vstup osciloskopu. Kmitočet časové základny je nastaven na 50 Hz. Na ploše stínítka obrazovky se zobrazí amplitudově modulované nízkofrekvenční napětí nosné vlny. Hloubka modulace (a tím i velikost činitele intermodulačního zkreslení) je dána vztahem:

$$k_i [\%] = \frac{y_1 - y_2}{y_1 + y_2} \cdot 100,$$

kde y_1 je maximální amplituda napětí nosného kmitočtu (3 kHz) a y_2 minimální amplituda napětí nosného kmitočtu (3 kHz). Měřítka pro měření y_1 a y_2 může být libovolné, neboť dosazením těchto hodnot do zlomku získáme bezrozměrné číslo.

Přesnost výsledků, získaných měřením podle této metody, je velmi závislá na velikosti činitele tvarového zkreslení. Dostačující výsledky získáme jen tehdy, bude-li činitel tvarového zkreslení minimální.

Obr. 42. Blokové zapojení pro měření intermodulačního zkreslení (Z - zesilovač)



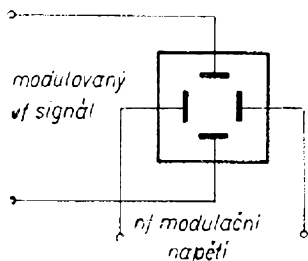
Měření hloubky modulace

Tento druh měření nejčastěji používají amatéři vysílači a všichni ti, kdož přijdou do styku s vysílači. Touto metodou velmi rychle zkontrolujeme a nastavíme požadovanou hloubku modulace.

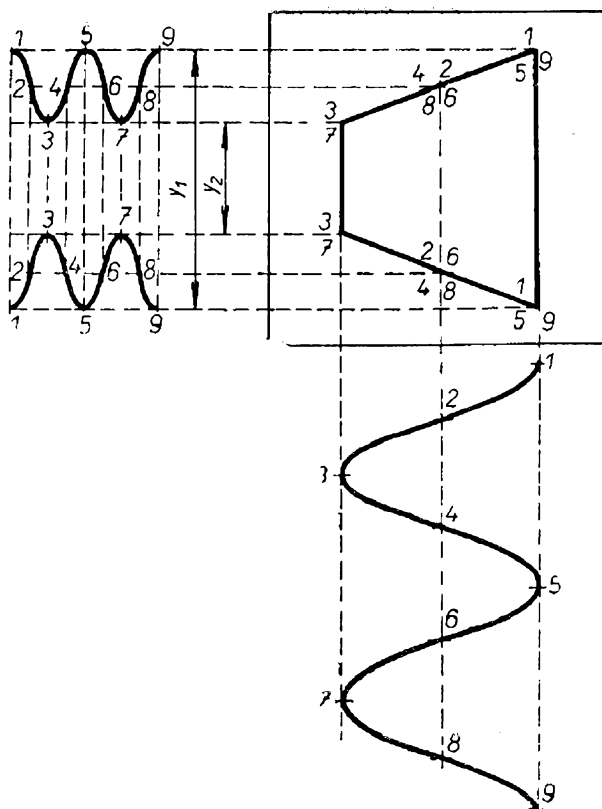
Hloubkou modulace se rozumí poměr amplitudy nízkofrekvenčního modulačního napětí k amplitudě vysokofrekvenční nosné vlny. Stupeň promodulování se udává v procentech (0 až 100 %). Je samozřejmé, že hloubku modulace lze měřit více metodami; při měření osciloskopem však získáváme několik výhod. Měření osciloskopem nám umožňuje okamžitou kontrolu, popřípadě trvalé sledování jakosti i hloubky modulace v každém okamžiku, přemodulování je patrné na osciloskopu mnohem zřetelněji než na jiných přístrojích nebo jinými metodami. Závada v modulaci se okamžitě projeví změnou typického obrázku na stínítku obrazovky. Bylo vypracováno několik způsobů měření a kontroly modulace osciloskopem. Nejčastěji se však používají tyto měřicí metody

- a) s vypnutou časovou základnou,
- b) s použitím časové základny.

Pro amatérské měření jsou vhodné obě metody. Výhoda první metody spočívá v tom, že osciloskop může být velmi jednoduchý, nemusí mít ani svislý, ani vodorovný zesilovač, ani časovou základnu. Osciloskop pro měření hloubky modulace může tedy obsahovat pouze obrazovku, zdroj vysokého napětí a nejnútější ovládací prvky. Je si však nutné uvědomit, že napěťová citlivost samotných vychylovacích destiček obrazovky je velmi malá a proto při měření tímto jednoduchým osciloskopem je nutné, aby měřená



Obr. 43. Zapojení pro měření hloubky modulace bez časové základny



Obr. 44. Vznik lichoběžníku na stínítku obrazovky

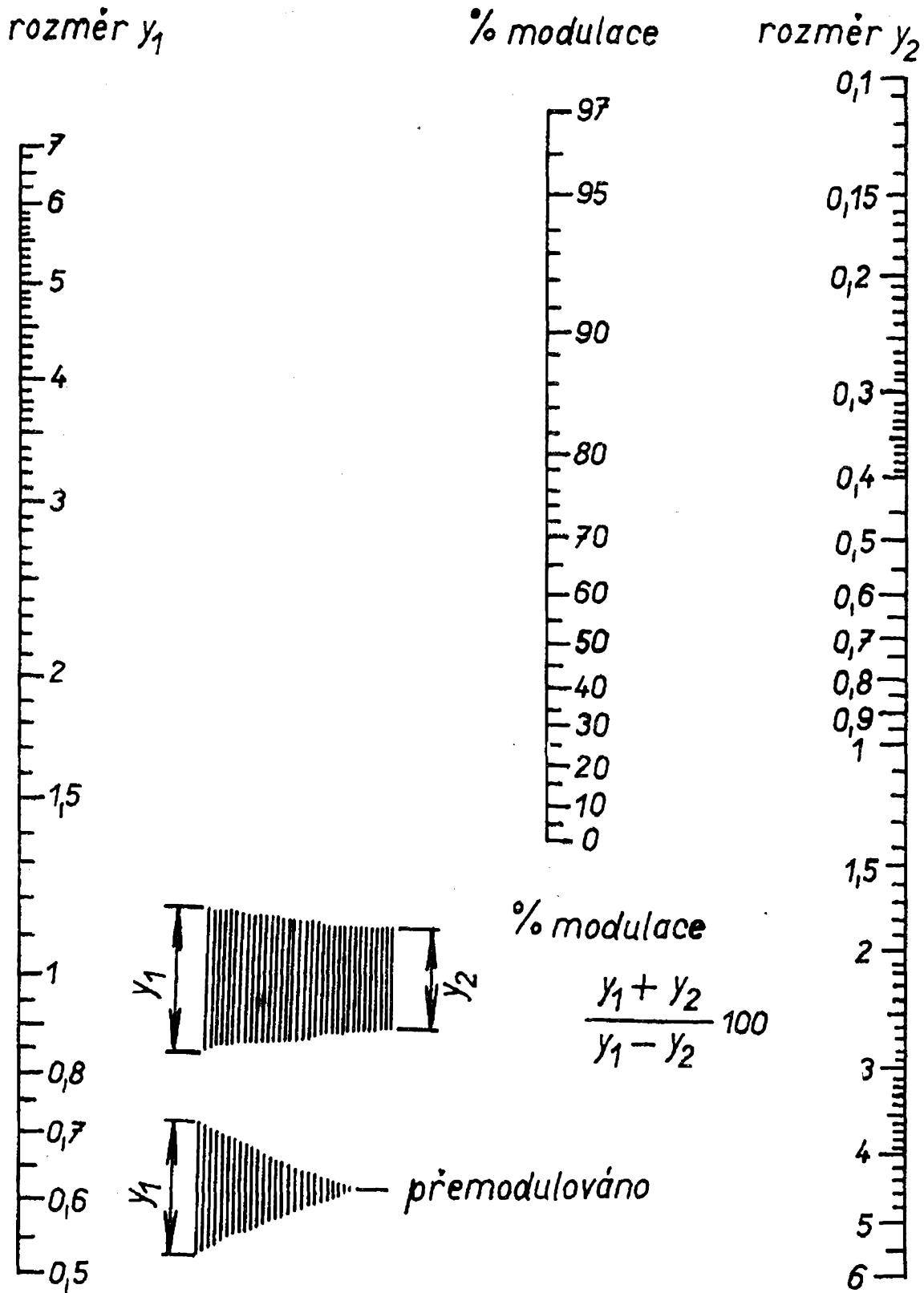
napětí (nf i vf) měla dostatečně velkou amplitudu. Proto se osciloskop v této formě nejlépe hodí jako kontrolní přístroj jakosti modulace u většího vysílače. Máme-li běžný osciloskop, tzn. s vodorovným i svislým zesilovačem, lze tuto metodu stejně dobře použít i pro měření malých amplitud měřených napětí (např. u tranzistorových vysílačů).

Kontrola modulace s vypnutou časovou základnou

Zapojení je na obr. 43. Na destičky pro svislé vychylování (vertikální) přivádíme vysokofrekvenční napětí z koncového stupně vysílače a na destičky pro vodorovné (horizontální) vychylování připojíme nízkofrekvenční modulační napětí z modulátoru. Velikost obrazce ve svislém směru je tedy určena okamžitou amplitudou modulované nosné vlny a velikost obrazce ve vodorovném směru je určena okamžitou amplitudou nízkofrekvenčního modulačního napětí. Na stínítku obrazovky vznikne tedy lichoběžník, který při 100% modulaci pře-

chází v rovnoramenný trojúhelník. Vznik lichoběžníku na stínítku obrazovky je patrný z obr. 44. Na obrázku jsou znázor-

něny obě složky, které působí na elektronový paprsek současně i výsledný tvar obrazce na stínítku obrazovky. Hloubka



Obr. 45. Nomogram pro rychlé určení hloubky modulace v procentech

modulace v procentech je dána vztahem

$$m [\%] = \frac{y_1 - y_2}{y_1 + y_2} \cdot 100,$$

jak plyne z obr. 44. Pro snazší a rychlejší stanovení hloubky modulace je možné použít nomogram podle obr. 45. Na levé stupnici vyhledáme výšku y_1 a na pravé stupnici výšku y_2 . Spojnice obou bodů protíná v jednom bodě třetí stupnice, na níž čteme hloubku modulace v [%]. Měřítka na stupnicích y_1 i y_2 je relativní. Je tudíž možno měřit obraz na stínítku v [cm] nebo v [mm], nebo stanovit vzdálenost podle stupnice, nakreslené na barevné ochranné desce před stínítkem obrazovky. Nejde o absolutní velikost měřených amplitud, ale pouze o jejich vzájemný poměr.

Není-li vř nosná vlna modulována, zobrazí se na stínítku pouze svislá úsečka (protože chybí modulační nf napětí, které by současně posouvalo elektronový paprsek ve vodorovném směru).

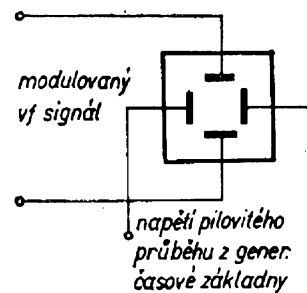
Při správně seřízené modulaci musí být horní a dolní hrana lichoběžníku nebo trojúhelníku přímková. Její prohnutí ven nebo dovnitř obrazce je známkou zkreslení. Obraz na stínítku obrazovky musí být též osově symetrický. Rozpůlíme-li úsečku y_2 a vedeme-li v tomto bodě rovnoběžku s nulovou osou, musí tato rovnoběžka dělit úsečku y_1 na dva stejné díly.

Při tomto měření bude ve většině případů obtížné dosáhnout dostatečně velkého obrazu vř nosné vlny. Jen málokdy bude k dispozici vř nosná vlna s dostatečně velkou amplitudou, tak velkou, aby bylo možno zavést signál přímo na svislé vychylovací destičky. Všechny tranzistorové vysílače např. neposkytují dostatečnou amplitudu vř napětí a jen málo amatérů má osciloskop, jehož svislý zesilovač pracuje v dostatečném kmitočtovém pásmu. V tomto případě je nutné volit nouzové řešení. Buď vř napětí přivedeme na odbočku paralelního rezonančního obvodu, naladěného na měřený kmitočet. Nakmitané (zvětšené) vř napětí potom přivedeme na vychylovací destičky. Nebo je možné postavit si

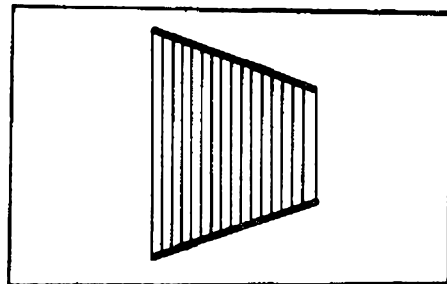
měřicí přípravek - koncový stupeň svislého zesilovače, který bude pracovat v požadovaném kmitočtovém pásmu. Koncový stupeň pak budíme měřeným vř napětím a výstup koncového stupně připojíme na svislé vychylovací destičky

Kontrola hloubky modulace s použitím časové základny

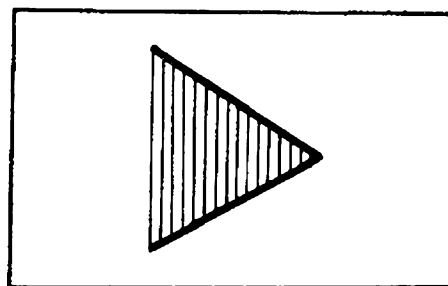
Tato metoda měření je poněkud názornější, než dříve popsaná metoda. Při měření však nemůžeme použít tak jednoduchý osciloskop, jako při měření bez časové základny. Blokové schéma zapojení je na obr. 46. Na svislé vychylovací destičky



Obr. 46. Zapojení pro měření hloubky modulace s použitím časové základny }

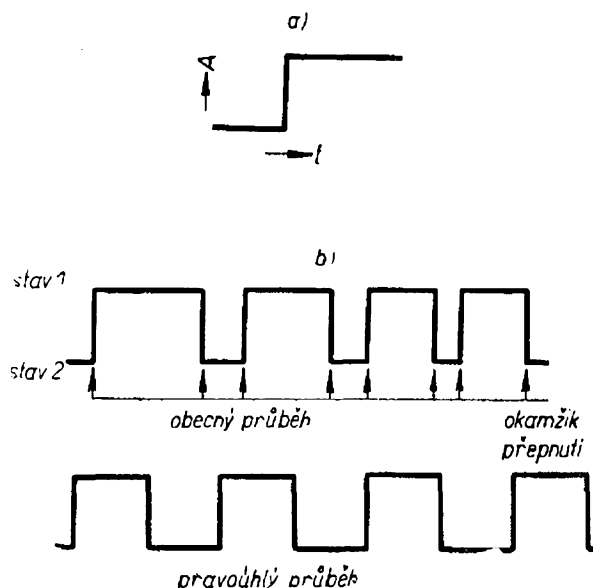


Obr. 47. Tvar oscilogramu při hloubce modulace 40 %



Obr. 48. Tvar oscilogramu při hloubce modulace 100 %

přivádíme modulované vf napětí z koncového stupně vysílače a na vodorovné vychylovací destičky napětí pilovitého průběhu z generátoru časové základny. Na stínítku obrazovky vznikne obraz podobný křivkám na obr. 47 a 48. Na obr. 47 je oscilogram při hloubce modulace 40 % a na obr. 48 při hloubce modulace 100 %. Procento hloubky modulace se určí stejným způsobem jako v předchozím případě. Maximální amplituda je úsečkou y_1 , minimální amplituda úsečkou y_2 . I v tomto případě lze pro rychlé určení hloubky modulace použít nomogram a vzorec podle obr. 45. Kmitočet generátoru časové základny nastavíme tak, aby se na stínítku obrazovky zobrazilo několik period nf modulačního napětí.



Obr. 49. Skoková funkce

Parametry impulsových průběhů

Typy impulsových průběhů

V širším významu slova lze každý poměrně krátký průběh nazvat impulsem. Při zkoumání časové závislosti odezvy fyzikálních soustav na budící popudy se však vyskytuje i jiný typ průběhu – skoková funkce. Skoková funkce je charakterizována náhlou změnou mezi dvěma konstantními úrovněmi. Derivováním skokové funkce dostaneme impuls.

Impulsní funkce používáme při zkoumání různých obvodů. Nejpoužívanější z tohoto hlediska je impulsní funkce, zvaná jednotkový skok. V praxi tuto funkci nelze realizovat, neboť předpokládá, že je možná změna fyzikální veličiny v nulovém času, což odporuje známým principům. Tato funkce však vyhovuje pro svoji jednoduchost především při výpočtech, neboť víme, že můžeme realizovat průběh, který i když nebude přesně jednotkovým skokem, bude se mu velmi blížit. V impulsové technice se s tímto termínem setkáváme proto velmi často.

I když nebudeme brát zřetel na otázky sledování časové závislosti odezvy soustav, vyskytuje se v moderní obvodové technice (hlavně v číslicové technice) vel-

mi mnoho rozmanitých průběhů. Velmi početnou skupinu těchto průběhů o jmenovité amplitudě nelze vůbec přirovnat k dříve uvedeným průběhům.

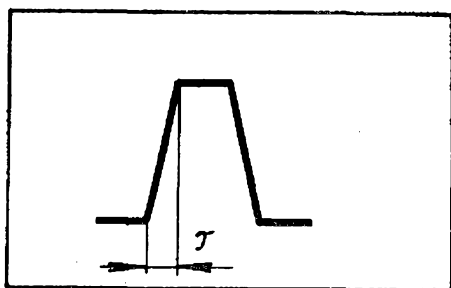
V osciloskopické technice lze (ovšem jen velmi zhruba) rozřadit impulsové průběhy do těchto skupin:

- přepínací průběhy, charakterizující přepínání mezi dvěma stavy (obr. 49a); vznikají pravoúhlé průběhy (obdélníkovité) se stejnou dobou trvání (obr. 49b);
- pravoúhlé impulsy, upravované derivací, popř. integrací, zpožděné atp.;
- impulsy vznikající spouštěcími pochody; sem patří impulsy půlsinusové, \sin^2 atd.;
- impulsy vznikající lineárním, kvadratickým nebo exponenciálním zvětšováním veličiny (napětí); k druhé změně stavu dochází obvykle skokem.

Základní parametry impulsů

Mezi nejdůležitější parametry impulsových průběhů patří:

- doba náběhu,
- amplituda impulsu,
- šířka impulsu,
- překmit,
- zpoždění,
- opakovací kmitočet impulsů,
- střída impulsů,
- spektrum impulsu.



Obr. 50. Doba náběhu lichoběžníkovitého impulsu

Definice některých z těchto parametrů jsou obecně známé, ustálené a všeobecně používané všemi pracovníky v oboru. Naproti tomu jiné jsou předmětem diskuse. Velmi mnoho obtíží s definicemi parametrů impulsů je způsobeno tím, že tyto parametry jsou odvozeny z idealizovaných průběhů (vzhledem k jejich skutečnému tvaru).

Doba náběhu

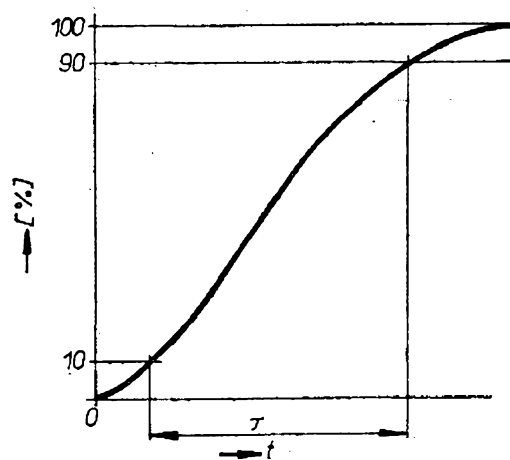
U impulsu nás obvykle zajímá, jak již bylo řečeno, několik základních parametrů. Jedním z nich je i doba, během níž probíhá počáteční změna impulsu, tzv. náběh impulsu. Většinou pro dobu náběhu vyhoví tato definice: doba náběhu impulsu je doba potřebná k tomu, aby impuls „narostl“ od 10 do 90 % své amplitudy. Definice bere v úvahu jen jistou střední, prakticky nejstrmější část náběhu impulsu a vylučuje obě okrajové, značně pomalejší části náběhu. Je proto vhodná především pro ty impulsy, jejichž náběhová část je zhruba symetrická. V praxi s ní však vystačíme ve většině případů.

U lichoběžníkovitých průběhů lze dobu náběhu stanovit velmi jednoduše

(obr. 50). U jiných běžných impulsních průběhů je to úloha poněkud obtížnější (obr. 51). Doba náběhu je však třeba znát, neboť podle ní určujeme, co lze s impulsem v praxi „dokázat“.

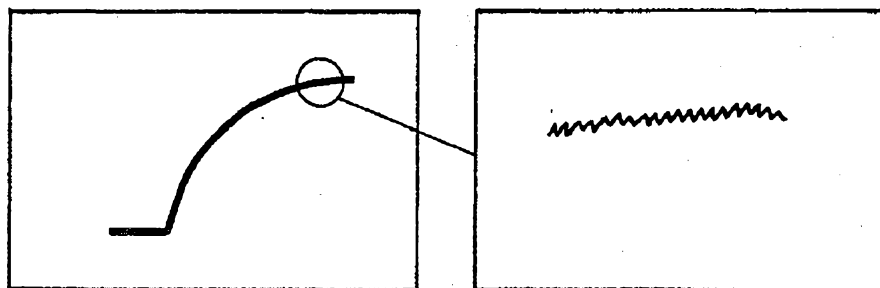
Při takto definované době náběhu (obr. 52) je možné použít pro osciloskopická měření impulsů různé metody. Je-li doba náběhu dosti dlouhá, je možné použít lineární časovou základnu. Časové značky je možné použít buď vnitřní nebo vnější. Tak lze dosti dobře určit dobu náběhu (ovšem za předpokladu, že lze dosti přesně určit body, odpovídající 10 a 90 % amplitudy impulsu. Při impulsích s překmitem může vznikat určitá potíže, neboť definování amplitudy 100 % je obtížné).

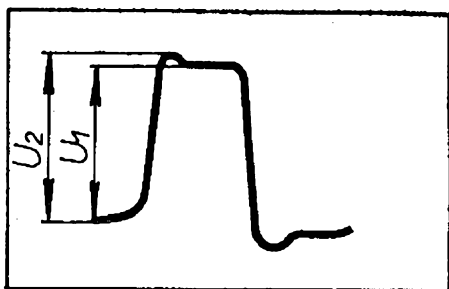
Při krátkých a velmi krátkých dobách náběhu impulsu je úloha již obtížnější. Máme-li k dispozici synchroskop s přesně cejchovanou rychlostí vychylování a s možností přisvětlovat světelnou stopu na ploše stínítka obrazovky impulsem proměnné šířky, lze měřit dobu náběhu takto: časovou základnu nebo přisvětlovací impuls zkracujeme tak dlouho, až zmizí 10 % z amplitudy měřeného impul-



Obr. 52. Doba náběhu impulsu

Obr. 51. Zvětšený pohled na přibližování exponenciály k mezní hodnotě





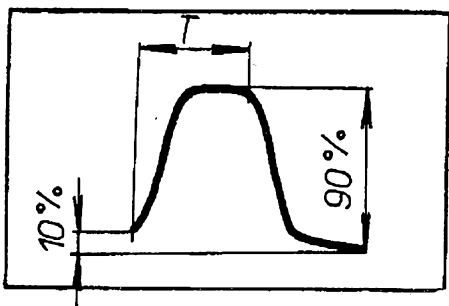
Obr. 53. Impuls s překmitem

su. Zaznamenáme si v tomto okamžiku nastavený časový údaj na cejchovaném ovládacím prvku. Pak dále zkracujeme časovou základnu nebo přisvětlovací impuls, až se potlačí dalších 80 % amplitudy měřeného impulsu. Doba náběhu impulsu je pak rozdíl mezi údajem na cejchovaném ovládacím prvku a údajů, zjištěných v prvním a v druhém případě. Touto metodou lze dosáhnout velmi přesných výsledků. Ovšem cejchovaná časová základna s proměnnou rychlostí nebo proměnné impulsy jasové modulace světelné stopy nejsou výbavou běžných osciloskopů.

Pro osciloskopická měření s menším požadavkem na přesnost měření lze impulsy s velmi strmými boky „roztáhnout“ stroboskopickými metodami.

Amplituda impulsu

Amplitudou impulsu se často nazývá jeho výška. Je zobrazována ve svislém směru a tak se také měří. Při měření výšky (amplitudy) impulsu platí stejné obecné úvahy, jako při měření amplitudy sinusového průběhu. Uvažujeme-li impuls podle obr. 53, pak je amplituda



Obr. 54. Definice šířky impulsu

impulsu udána veličinou U_1 (s výjimkou malých překmitů na začátku a na konci impulsu). Při definování amplitudy vznikají mnohem větší obtíže a definice obsahuje mnoho libovůle. Vzniká-li impuls přepínáním mezi dvěma stavy, nepočítají se přechodové jevy (tedy i překmity) k „jádro“ impulsu. Jeho amplituda je pak definována jako rozdíl úrovně před začátkem impulsu a úrovně v „jádro“ impulsu.

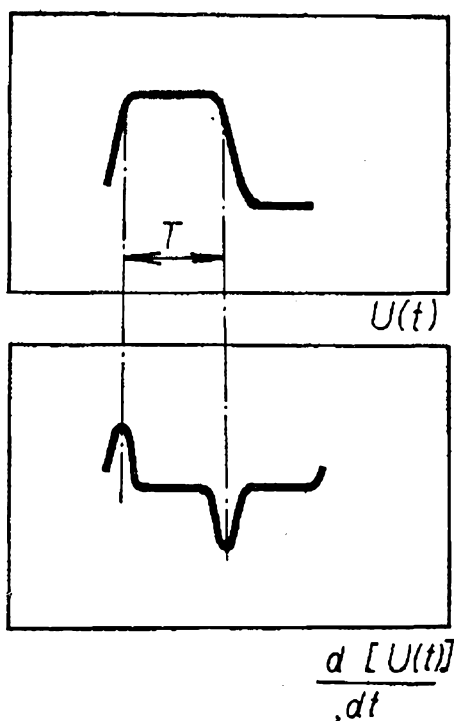
Šířka impulsu

Šířka impulsu je dalším význačným parametrem, někdy se používá též termín doba trvání (délka) impulsu.

V případě ideálního pravouhého (obdélníkovitého) impulsu je doba jeho trvání určitelná jednoznačně; v případě obecného impulsu doba trvání závisí na úrovni, na níž je určována. Proto se vždy musí stanovit jistá úroveň, při níž (na níž) se šířka impulsu bude určovat. Často se za tuto úroveň bere 50 % amplitudy impulsu. Často se používá i způsob, který byl již uveden, tzn. rozlišovací úroveň 10 % čela impulsu (náběhové hrany) a 90 % týlu impulsu (doběhová hrana), viz obr. 54. Ke stanovení šířky impulsu lze použít i body největší strmosti hran impulsu a po derivaci odměřit šířku impulsu (obr. 55). Vzhledem k mnohotvárnosti tvarů impulsů je si třeba při měření zvolit vhodnou definici a tu důsledně po celé měření dodržovat.

Překmit

Tak, jak již bylo uvedeno, je stanovení (definování) amplitudy impulsu i impulsů s plochým vrcholem snadné. Stanovíme-li si vrchní ustálenou hranu impulsu jako amplitudu, pak na počátku nebo konci této části impulsu může existovat oblast, v níž je amplituda překročena – pak mluvíme o překmitu (obr. 56). Průběh překmitu může být aperiodický nebo má tvar tlumených kmitů. Způsob měření není obtížný. Obvykle se velikost překmitu udává jako část ustálené amplitudy impulsu v procentech.

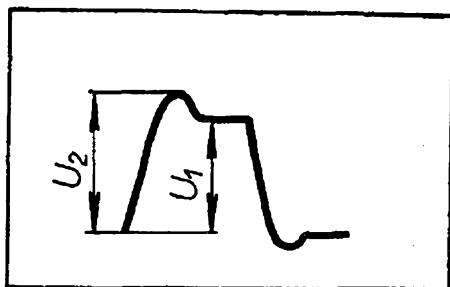


Obr. 55. Šířka impulsu definovaná derivačními impulsy

$$\frac{U_2 - U_1}{U_1} \cdot 100,$$

kde U_2 je největší amplituda překmitu a U_1 ustálená amplituda impulsu.

Podobným způsobem postupujeme při měření překmitu na zadní hraně impulsu. Obtížnost měření se velmi zvětšuje tam, kde je vrchol impulsu skloněný. V tomto případě je velmi obtížné určit ustálenou amplitudu impulsu. Má-li sklon vrcholu impulsu ustálený tvar, potom lze při měření postupovat podle obr. 57. Skutečný tvar impulsu můžeme totiž extrapolovat spolehlivě až na počátek impulsu. Nemá-li sklon vrcholu impulsu ustálený tvar, je potřeba volit k měření zcela



Obr. 56. Měření překmitu

zvláštní postup; zpravidla individuální pro ten který případ.

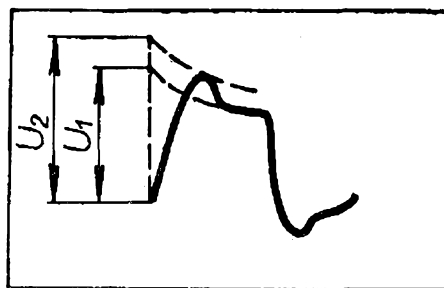
Zpoždění

Tímto parametrem je udáván časový vztah dvojice impulsů. Jde o časový rozdíl mezi odpovídajícími částmi dvou impulsů. Dané časové okamžiky jsou nejčastěji definovány vrcholovou hodnotou derivace boků impulsů. Při stejném tvaru impulsů – pouze při jejich časovém posuvu není ovšem potřeba vytvářet derivaci a k měření využíváme hran impulsů.

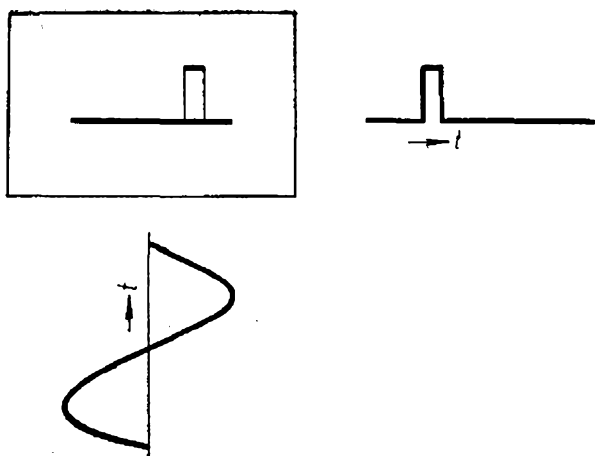
Není-li možné oba (vzájemně zpožděné) impulsy přivádět na jeden vstup osciloskopu, pak je nutné zajistit jejich vhodné prostřídání na obrazovce. Způsob snímání dvoupaprskovým osciloskopem není příliš vhodný, je lepší prostřídání impulsů přepínačem. Při pozorování velmi malých zpoždění je výhodné spouštět přepínač signálem z časové základny. Impulsy se zobrazují při jednotlivých bězích střídavě. Takto je možno zpracovávat i impulsy, které nemají pravidelný opakovací kmitočet. Jednorázová časová základna a tím i přepínač se spouští jedním z obou impulsů a to časově prvním.

Opakovací kmitočet impulsů

Kmitočtu sinusového průběhu odpovídá opakovací kmitočet impulsů, tj. počet impulsů za vteřinu. Toto tvrzení platí však jen pro řadu impulsů navzájem stejně vzdálených. Při měření je možné opakovací kmitočet považovat za převrácenou hodnotu zpoždění a použít



Obr. 57. Oprava na sklon vrcholu impulsu



Obr. 58. Lissajousův obrazec mezi impulsem a sinusovým průběhem

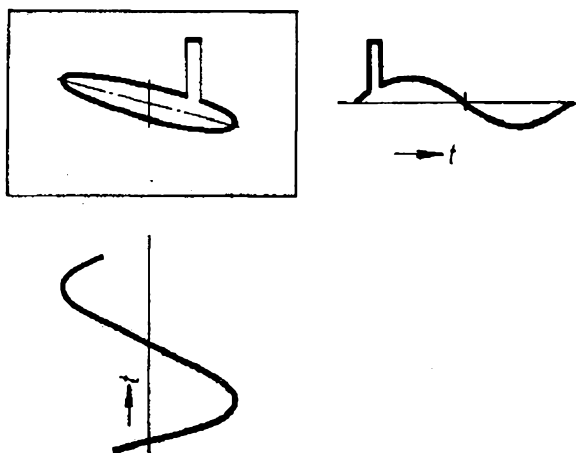
předchozí úvahy. Opakovací kmitočet lze měřit pomocí sinusových signálů obdobným způsobem, jako při měření kmitočtu sinusového průběhu. Je-li při měření možné zastavit obrazec na stínítku, pak je poměr mezi kmitočtem sinusového průběhu a opakovacím kmitočtem impulsů dán racionálním číslem. Přivedeme-li řadu impulsů na jeden vychylovací systém a sinusový signál na druhý vychylovací systém (jako při Lissajousových obrazcích), je velmi těžké (především při hodně úzkých impulsích) vyhodnotit vzniklý obrazec. Obrazec je totiž úplně stejný při všech harmonických poměrech mezi kmitočtem sinusového signálu a opakovacím kmitočtem impulsů. Z těchto důvodů lze použít obrazec pouze pro poměr kmitočtů 1 : 1, ovšem pouze v tom případě, je-li zaručena bezpečná rozlišitelnost. Mnohoznačnost v určení kmitočtu se projevuje proto, že paprsek je svisle vychýlen jen v době trvání impulsu a ve zbývajícím čase je sinusový signál stlačen do přímky, takže nelze rozeznat jeho jednotlivé cykly (obr. 58). Při poměru 1 : 1 je základní čára impulsem přerušena. Při velmi krátkých impulsích lze však oddělení velmi špatně rozlišit a také přerušeni stopy není dobře patrné. Při měření se používá proto jiná metoda. Na vstup svislého vychylovacího systému se přivede společně s řadou impulsů srovnávací vodorovně vychylující sinusový signál (ovšem s patřičnou amplitudou i fází). Tím se změní časová základna na

eliptickou (obr. 59). Velmi výhodné je, má-li vertikální zesilovač osciloskopu souměrný vstup, potom se srovnávací sinusové napětí převede na jednu polovinu a řada impulsů na druhou polovinu vstupu.

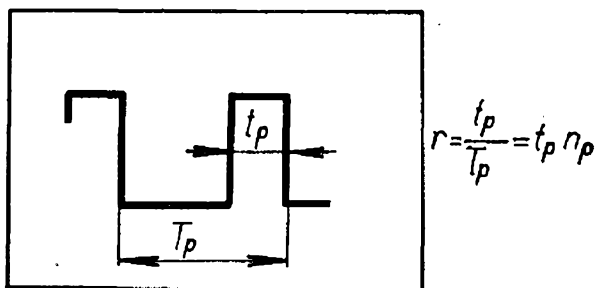
Střída impulsu

Budeme-li uvažovat impulsy, vzniklé přepínáním mezi dvěma stavy, je střída poměr mezi šířkou impulsu a dobou celé periody (obr. 60). Pojem střídy je velmi účinnou pomůckou k určení činitele využití nebo dovoleného zatížení atp. Při velmi malých střídách je možné překročit mezivrcholové (špičkové) proudy a výkony, aniž by se překročilo trvalé dovolené zatížení součástí.

Střední velikost měřené veličiny se pak rovná velikosti měřené veličiny, násobené střídou (předpokládáme, že v době mezi impulsy je měřená veličina nulová).



Obr. 59. Impuls na eliptické časové základně

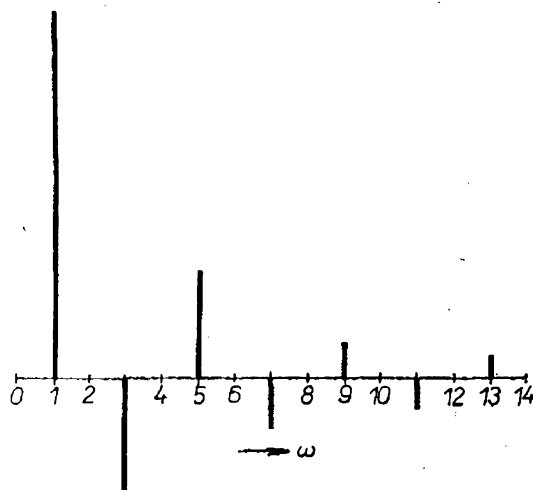


Obr. 60. Definice střídy

Spektrum impulsu

Spektrum impulsu je soubor sinusových složek impulsu, jež jsou dány pro periodickou řadu impulsů Fourierovou řadou a pro aperiodické impulsy Fourierovým integrálem. Spektrum impulsu je výborným vodítkem k určování potřebné šířky pásma pro přenos požadovaného impulsu. Při rozboru spektra impulsu je možné postupovat dvěma způsoby – analýzou nebo syntézou; tzn. že je možné vycházet z daného impulsu a rozložit jej ve složky, nebo můžeme hledat výsledek součtu dané řady harmonických složek.

Pozn.: Skládáním jednoduchých harmonických kmitů souměřitelných kmitočtů mohou vznikat nejrozmanitější kmity často se složitým časovým průběhem, který závisí na počtu skládaných kmitů, na jejich kmitočtech, amplitudách a fázových posuvech. Naopak lze libovolný periodický způsob rozložit na jednoduché harmonické průběhy souměřitelných kmitočtů, jež složeny dohromady, by daly tento průběh. Fourier dokázal, že lze skutečně každý harmonický průběh zcela formálně rozložit obecně na nekonečně mnoho harmonických kmitů, jejichž kmitočty jsou v jednoduchém poměru přirozených čísel; jsou tedy celistvými násobky základního kmitočtu, který je roven kmitočtu vyšetřovaného neharmonického průběhu.



Obr. 61. Časové spektrum obdélníkovitého průběhu

Rozborem obdélníkovitého průběhu (ideální průběh – doba přepnutí z jednoho stavu do druhého je nulová) dostáváme funkci, charakterizovanou Fourierovou řadou. Čím více členů řady sečteme, tím více se získaný průběh obecně podobá danému. Nakreslením diagramu harmonických složek daného průběhu dostaneme čárové spektrum (obr. 61). Pro ideální obdélníkovitý průběh s ideálními nespojitostmi jsou čáry ideální úsečky. Při modulaci přecházejí čáry ve skupiny čar.

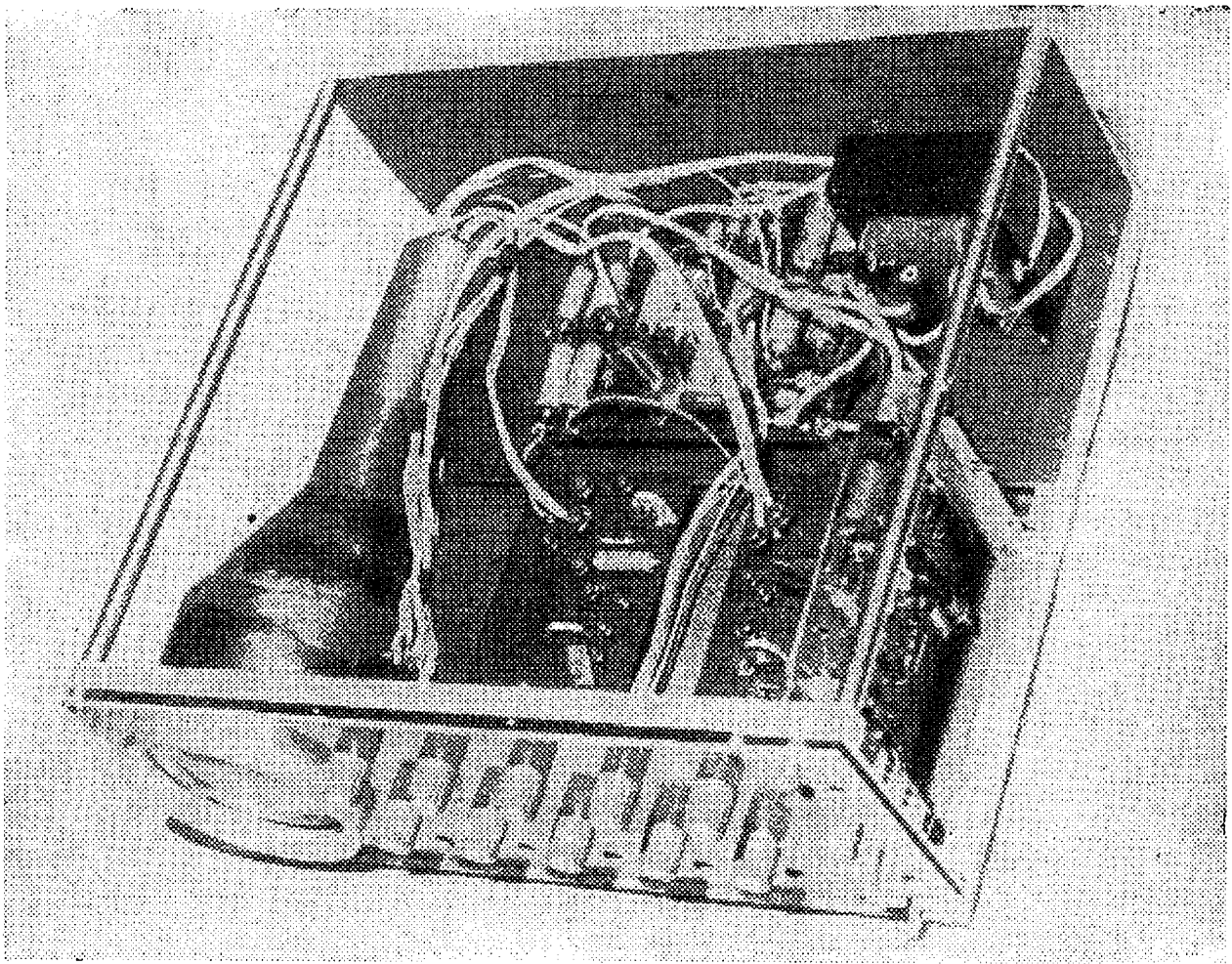
Máme-li daný průběh, lze pomocí spektrálních analyzátorů zjistit jeho spektrum. Nutný předpokladem je, stálá opakovací rychlost.

Konstrukční část

Osciloskop

Přístroj (obr. 62) je konstruován pro práci (vývojovou i servisní) na nf zařízeních. Pro různé účely a použití je vybaven řadou doplňků ve formě výměnných zásuvek, které rozšiřují možnosti použití přístroje. V budoucnu se počítá s rozšířením počtu doplňků, ve stadiu

zkoušek jsou zdroje stejnosměrného kalibračního napětí a jednoúčelový rozmítač pro mezifrekvence přijímačů AM (450 až 470 kHz). Všechny uveřejněné doplňky jsou konstruovány tak, aby je bylo možno použít i pro osciloskop, publikovaný v AR 5/71.



Obr. 62. Osciloskop při pohledu shora bez krytu

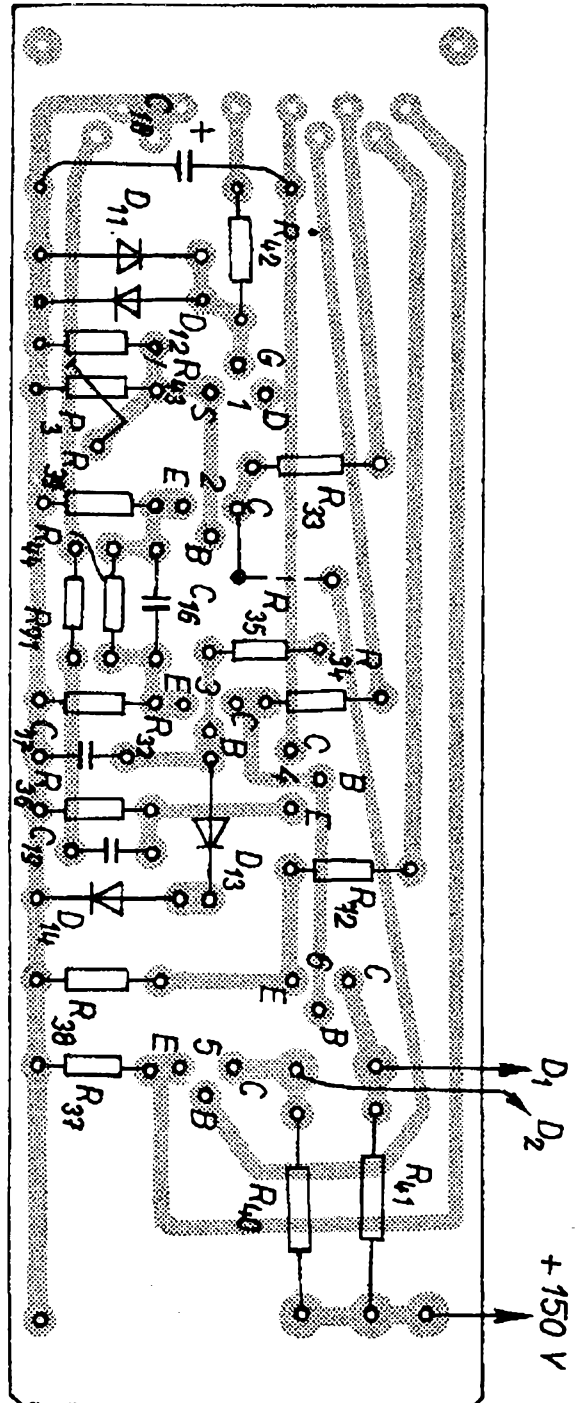
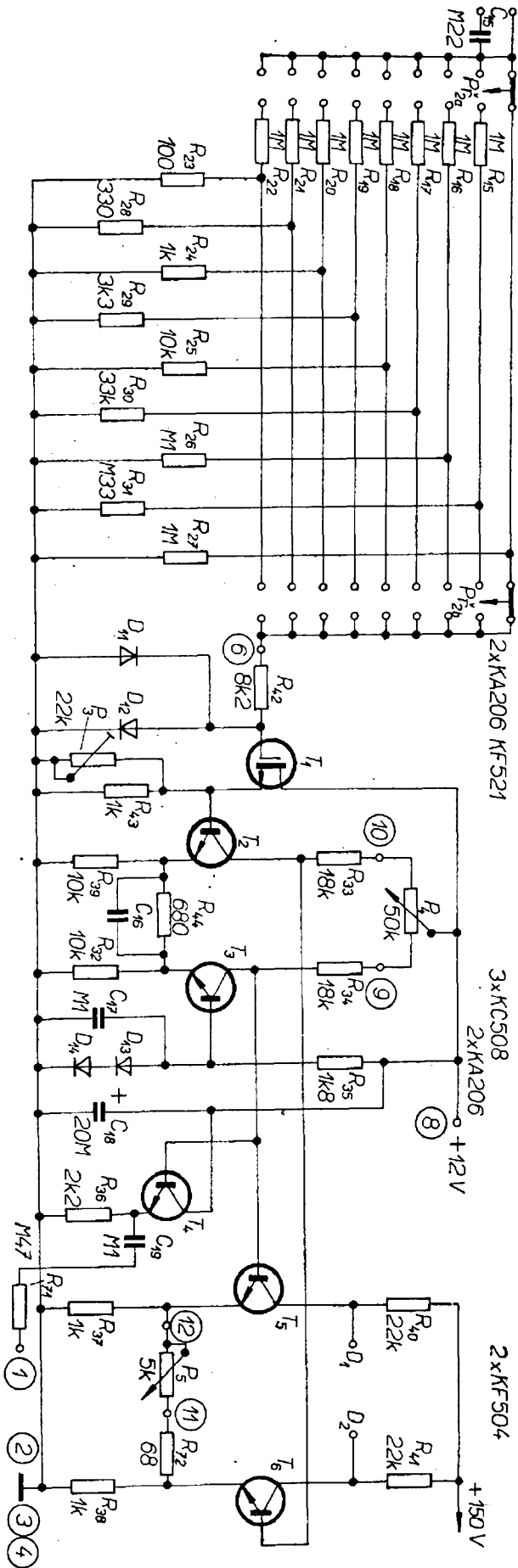
Vertikální zesilovač

Na vstupu vertikálního zesilovače (obr. 63) je zařazen dělič, který není třeba kmitočtově kompenzovat, neboť kmitočtový rozsah vertikálního zesilovače není tak velký, aby mohl být ovlivněn nevykompenzovaným vstupním děličem. V přívodu k řídicí elektrodě tranzistoru MOS (T_1) je zapojen ochranný obvod, složený z odporu R_{42} a diod D_{11} a D_{12} . Doporučuje se použít uvedené typy diod (spínací diody s malou kapacitou). V nastaveném pracovním bodě má T_1 malý teplotní drift, což zaručuje dobrou teplotní stabilitu celého vertikálního zesilovače. K dobré teplotní stabilitě přispívá i pracovní bod následujícího diferenciálního stupně (T_2 a T_3), který je volen v oblasti velmi malých kolekto-

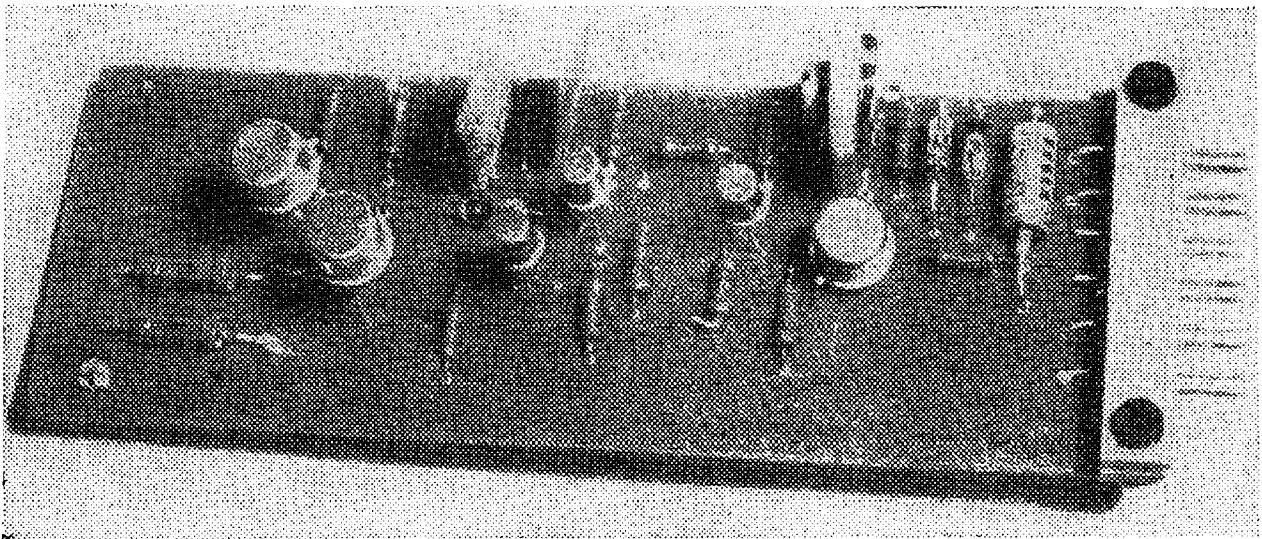
rových proudů a umožňuje kromě toho i dobré vyrovnání napětí na bázích T_2 a T_3 . Při správném nastavení jsou napětí na kolektorech T_2 a T_3 shodná (P_4 v polovině dráhy). Část kolektorových odporů tranzistorů T_2 a T_3 tvoří potenciometr P_4 , který slouží k vertikálnímu posuvu paprsku na obrazovce. Předpětí báze tranzistoru T_3 je stabilizováno dvěma spínacími diodami D_{13} a D_{14} , polarizovanými v propustném směru. Z kolektorů T_2 a T_3 se signál vede na báze tranzistorů T_5 a T_6 (KF504), které tvoří koncový stupeň vertikálního zesilovače.

Potenciometrem P_5 , jenž je zapojen v sérii s R_{72} mezi emitory T_5 a T_6 , lze plynule měnit zesílení koncového stupně a tím i citlivost vertikálního zesilovače. Kolektory koncových tranzistorů jsou galvanicky spojeny s vychylovacími

Obr. 63. Vertikální zesilovač osciloskopu a vstupní dělič
 (čísla v kroužcích odpovídají očíslování noží konektoru; platí i pro všechna další schémata; C_{16} viz kapitolu Oživení a nastavení osciloskopu)



Obr. 64. Deska s plošnými spoji vertikálního zesilovače (Smaragd F 31)



Obr. 65. Osazená deska vertikálního zesilovače

destičkami obrazovky D_1 a D_2 . Z kolektoru T_3 se signál přivádí též do báze tranzistoru T_4 , zapojeného se společným kolektorem. Z emitoru tohoto tranzistoru se odebírá vzorek pozorovaného napětí pro synchronizování generátoru časové základny. Kondenzátor C_{16} mezi emitory tranzistorů T_2 a T_3 slouží ke korekci kmitočtové charakteristiky (zlepšuje kmitočtovou charakteristiku směrem k vyšším kmitočtům).

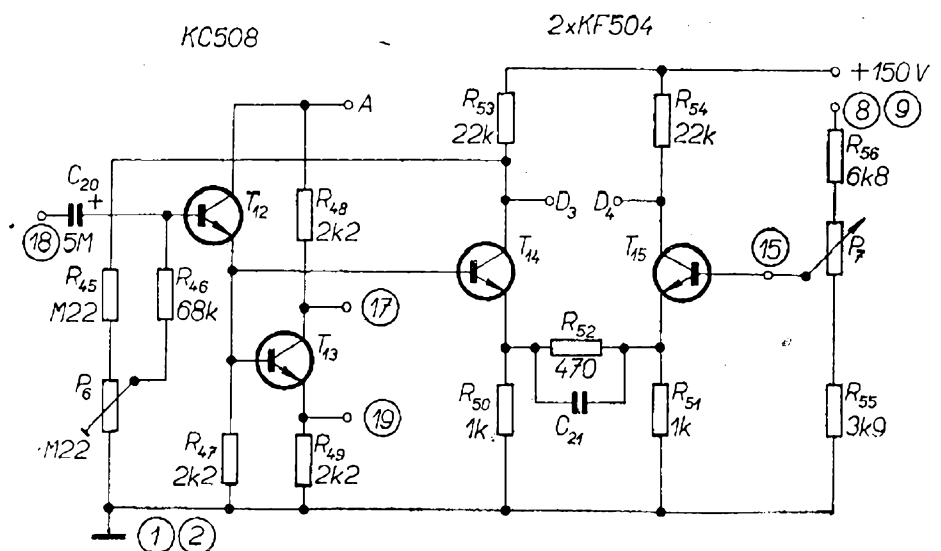
Zesilovač je na desce s plošnými spoji (obr. 64). Osazená deska je na obr. 65.

Horizontální zesilovač

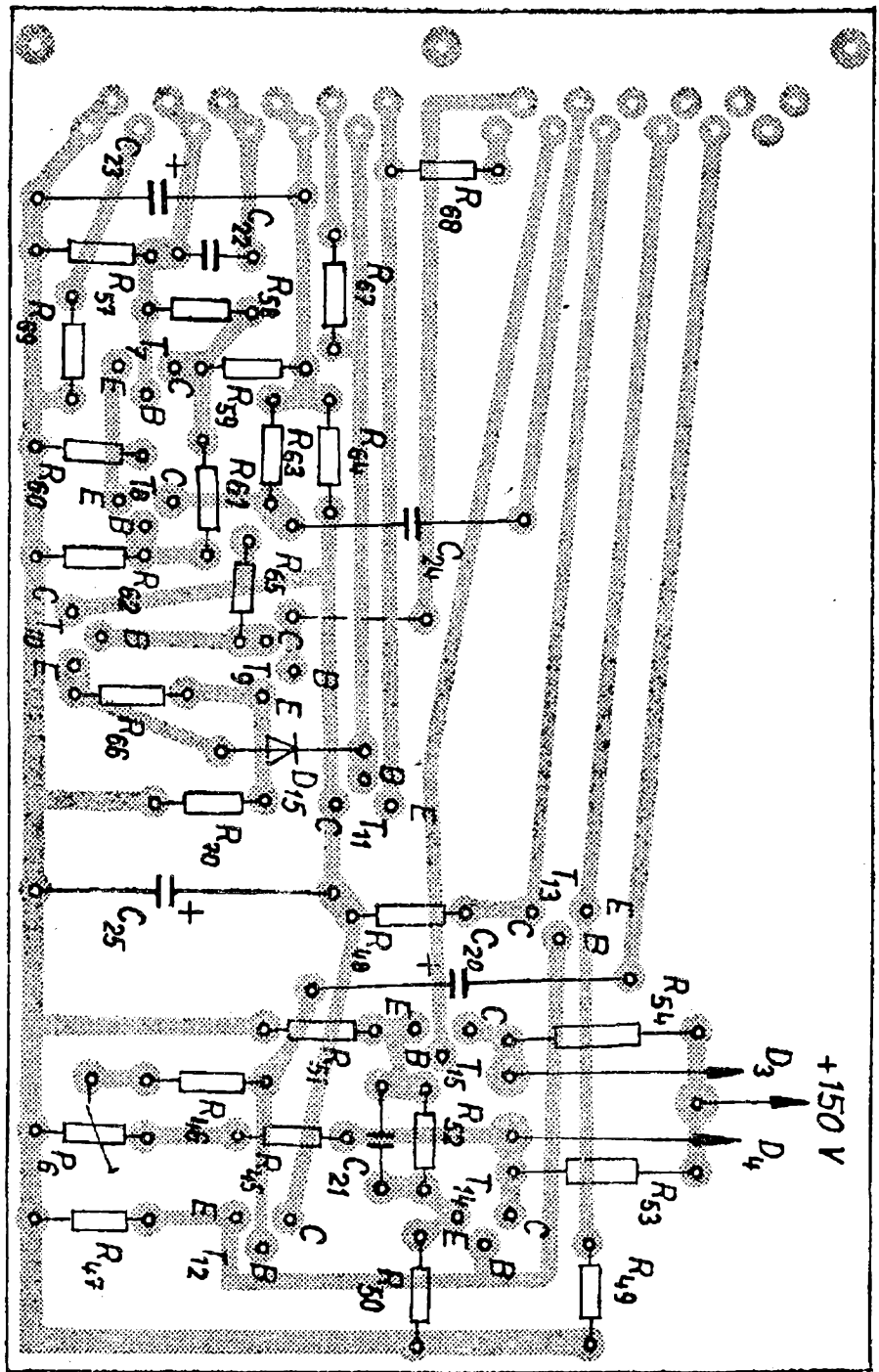
Na vstupu horizontálního zesilovače (obr. 66) je zapojen tranzistor T_{12} jako

emitorový sledovač, jehož pracovní bod je závislý na napětí kolektoru tranzistoru T_{14} . Toto zapojení přispívá významnou měrou ke stabilitě pracovního bodu horizontálního zesilovače. S emitorem tranzistoru T_{12} je spojena báze jednoho z koncových tranzistorů (T_{14}) a báze tranzistoru T_{13} , z něhož se odebírá napětí pilovitého průběhu časové základny pro další účely (přepínač, rozmítač). Báze tranzistoru T_{15} je připojena na běžec potenciometru P_7 , který spolu s R_{55} a R_{56} tvoří dělič napětí pro posuv obrazu v horizontálním směru. Pracovní bod celého zesilovače se opět nastavuje tak, aby na kolektorech tranzistorů T_{14} a T_{15} bylo stejné napětí (trimrem P_6). Kondenzátor C_{21} , zapojený mezi emitory tranzistorů T_{14} a T_{15} , zlepšuje přenos napětí

Obr. 66. Zapojení horizontálního zesilovače osciloskopu (C_{21} viz kapitolu Oživení a nastavení osciloskopu)



Obr. 67. Deska s plošnými spoji horizontálního zesilovače a časové základny
(Smaragd F32)

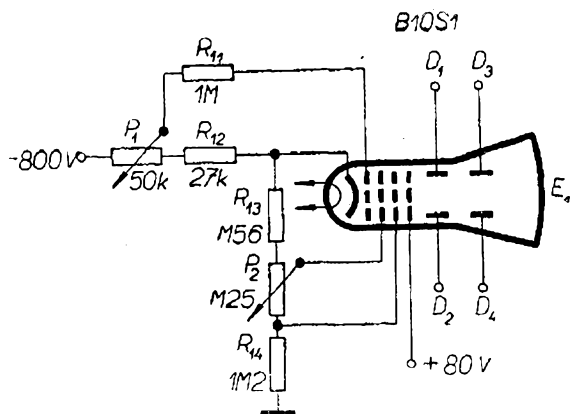


pilovitého průběhu při větších rychlostech časové základny. Kolektory koncových tranzistorů jsou podobně jako u vertikálního zesilovače spojeny přímo s vychylovacími destičkami D_3 a D_4 .

Zesilovač je na desce s plošnými spoji (obr. 67). Osazená deska je na obr. 68. (obrázek je na 3. str. obálky).

Obvody obrazovky

Obvody obrazovky jsou navrženy pro použití obrazovky B10S1 (výroba NDR), která se používá např. v osciloskopech typu „Křížik“ (obr. 69). Napájecí napětí 800 V zaručuje ještě dokonale ostrou stopu i dostačující jas stopy. Citlivost



Obr. 69. Obvody obrazovky

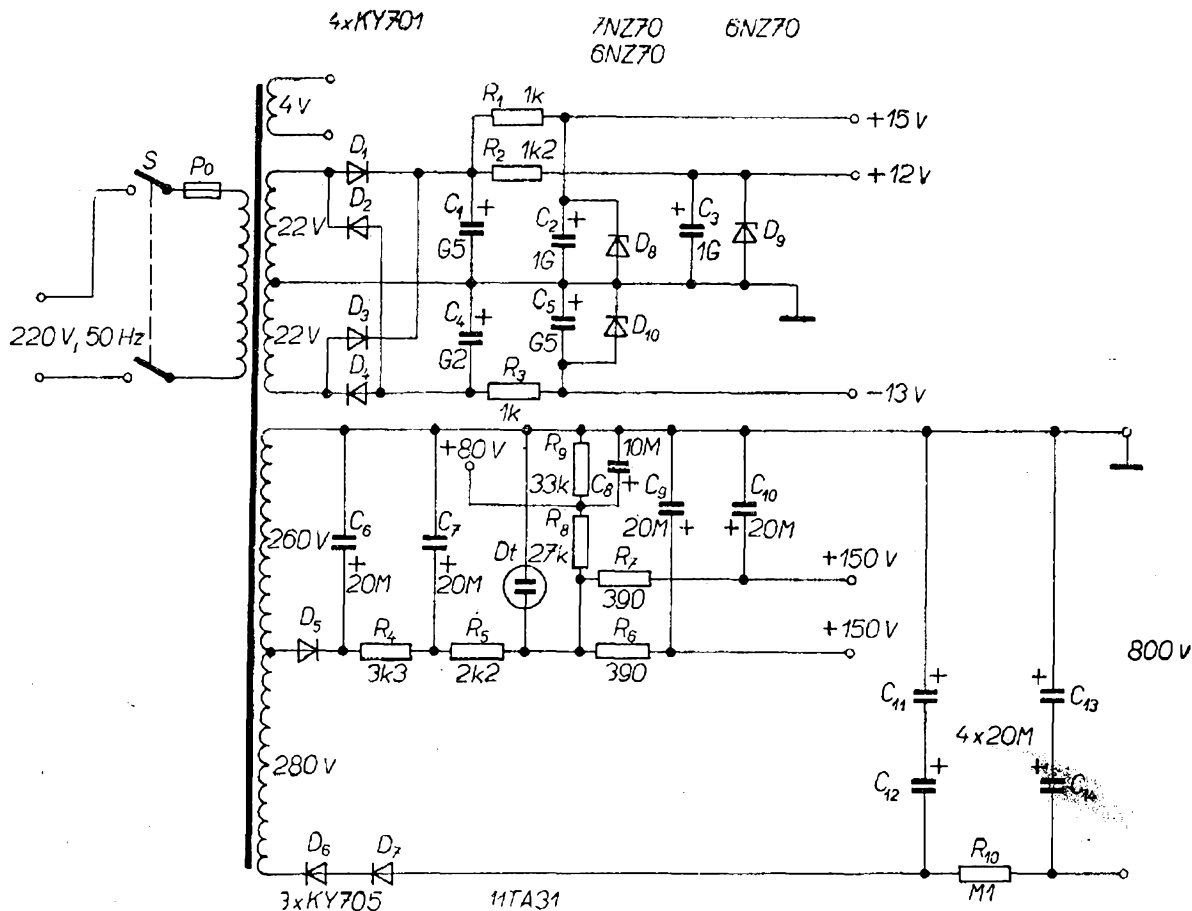
obrazovky je při tomto napájecím napětí tak velká, že amplituda výstupního signálu z diferenciálních koncových stupňů zesilovačů osciloskopu s napájecím napětím 150 V stačí k získání obrazu přes celé stínítko obrazovky. Anoda obrazovky je napájena z děliče, takže její napětí je přibližně shodné s klidovým napětím kolektorů koncových tranzistorů.

Po konstrukční stránce jsou obvody obrazovky řešeny tak, že některé součásti jsou na desce s plošnými spoji zdroje, některé na ovládacích potenciometrech atd.

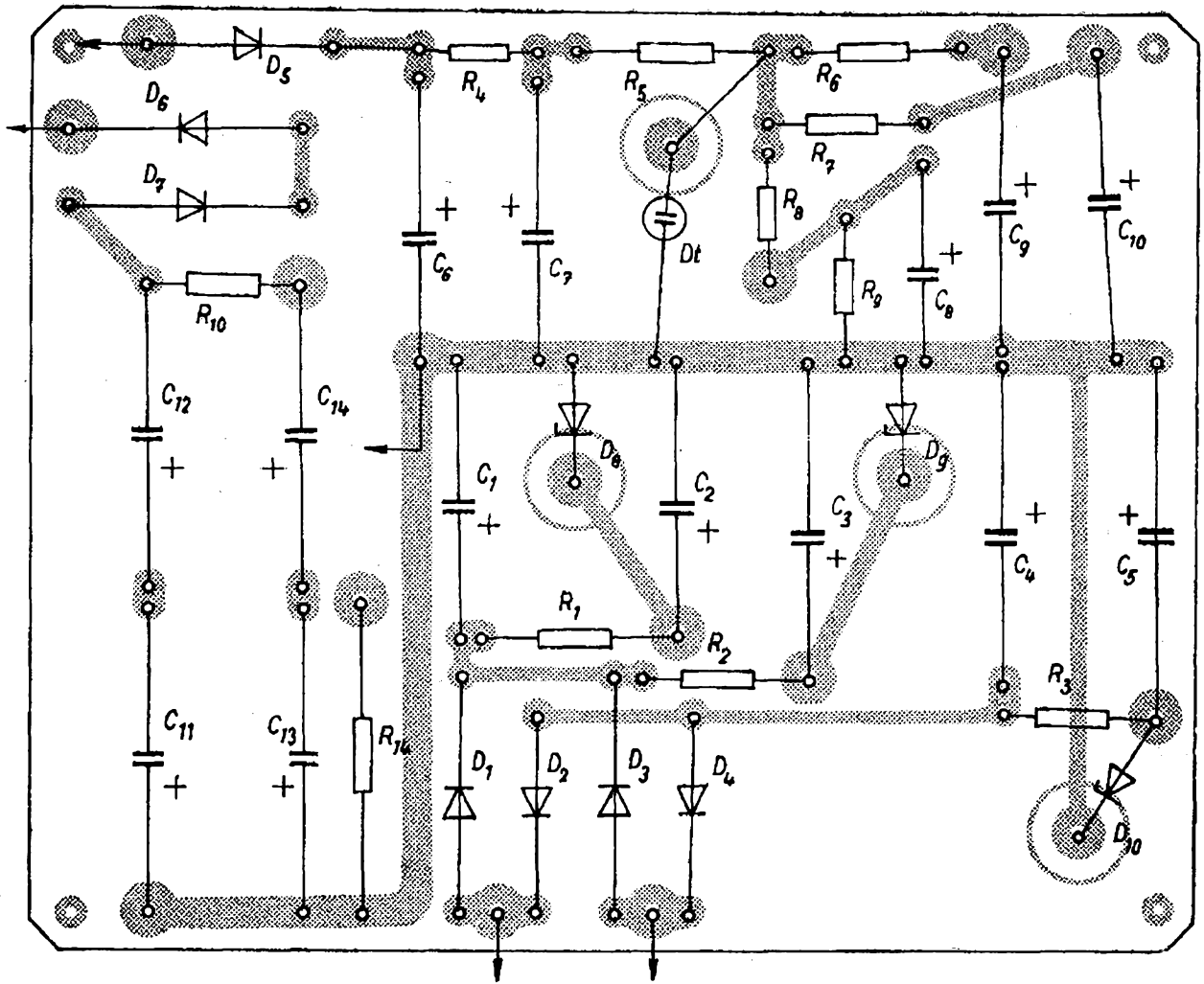
Napájecí zdroj

Napájecí zdroj (obr. 70) je zapojen běžným způsobem. Obsahuje síťový transformátor a ostatní potřebné usměrňovací, filtrační a stabilizační obvody pro požadovaná napájecí napětí. Pro stabilizaci napětí 150 V byl použit sice zastaralý, ale běžně dostupný a cenově poměrně výhodný stabilizátor 11TA31 (místo elegantnějšího řešení s novými typy Zenerových diod).

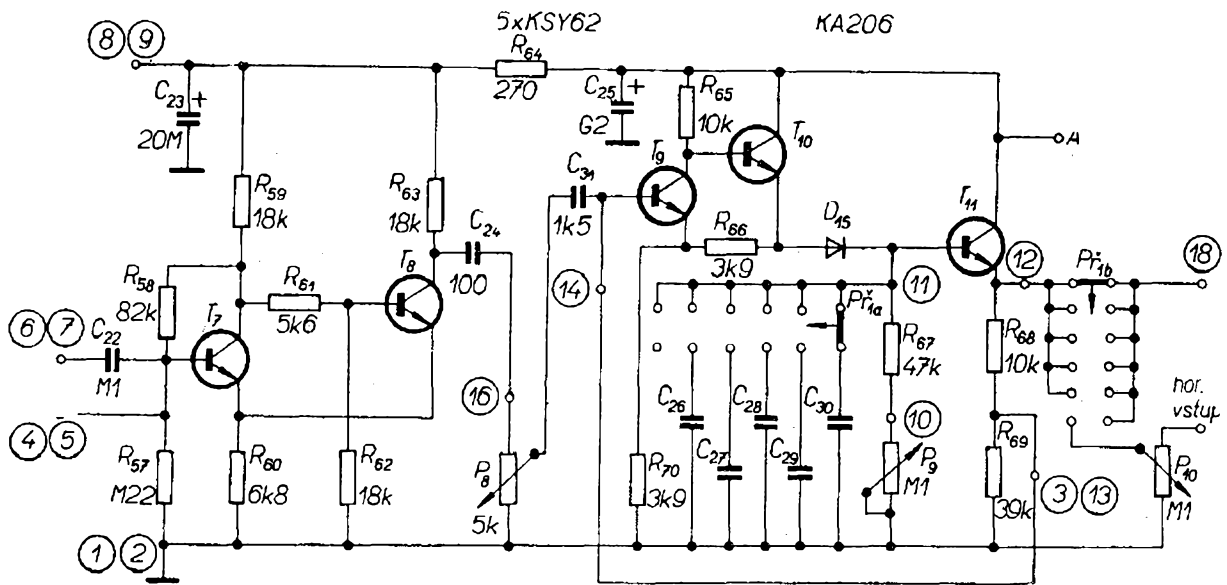
Stabilizovaný zdroj je na destičce s plošnými spoji (obr. 71). Deska, osazená součástkami, je na obr. 72. (obrázek je na 2. str. obálky).



Obr. 70. Napájecí zdroj



Obr. 71. Deska s plošnými spoji zdroje napájecích napětí (zmenšeno, původní rozměr 152 × 121 mm), Smaragd F33



Obr. 73. Generátor časové základny

Generátor časové základny

Generátor časové základny se skládá ze dvou částí, ze Schmittova klopného obvodu a z vlastního generátoru (obr. 73). Vlastní generátor tvoří tranzistory T_9 , T_{10} a T_{11} . Tranzistory T_9 a T_{10} jsou zapojeny jako zdroje konstantního proudu, přes ně a diodu D_{15} se nabíjí kondenzátor, zvolený přepínačem rychlosti časové základny (přepínač $Př_{1a}$). Nabije-li se kondenzátor zvolené kapacity na určité napětí, dojde k lavinovitému pochodu, při němž dojde k vybití kondenzátoru a znovu k opětovnému nabíjení (k překlopení obvodu). Úroveň překlápení (a tím tedy i amplitudu napětí pilovitého průběhu na výstupu generátoru) lze nastavit změnou dělicího poměru R_{68} a R_{69} . Tento dělič lze nastavit i tak, že samovolné kmity generátoru zaniknou; pak lze pracovat se spouštěnou časovou základnou (tj. časovou základnu lze spouštět vnějším signálem).

Generátor časové základny kmitá volně a je synchronizován synchronizačními impulsy z klopného obvodu s tranzistory T_7 a T_8 . Kmitočet časové základny se volí hrubě (jak již bylo uvedeno) přepínačem $Př_{1a}$, jemně se kmitočet nastavuje potenciometrem P_9 . Synchronizace se ovládá potenciometrem P_9 (potenciometrem se řídí případně i úroveň spouštění).

Mechanická konstrukce

Mechanická konstrukce je zřejmá z obr. 62 a z obr. 74 (obrázek je na poslední straně RK, na 4. str. obálky). Spoje mezi jednotlivými destičkami s plošnými spoji nejsou kritické, kritické není ani umístění destiček. Pro konstrukci je třeba pouze upozornit na to, že síťový transformátor musí být umístěn co nejdále od obrazovky a od vstupních zesilovačů (jak vertikálního, tak horizontálního), a že obrazovka musí mít kryt z tlustého, nejlépe železného plechu, který ji dokonale odstíní.

Způsob umístění obrazovky a ovládacích prvků na předním panelu osciloskopu je samozřejmě možné změnit – osciloskop lze konstruovat i na výšku, jak bylo dosud běžně zvykem.

Jednou z nejdůležitějších věcí řip konstrukci (ať již na výšku nebo šířku) je dodržování zásady správného zemnění a stínění. Zemnicí vodiče musí být co možno nejtlustší a krátké, zemnit je třeba (pokud je to možné) do jednoho bodu atd.

V pravo na čelním panelu je vynechán prostor na zásuvné jednotky, které budou popsány v dalším textu. Některé z destiček osciloskopu a všechny doplňkové zásuvné jednotky jsou z důvodů snadné výměny opatřeny nožovými konektory. Je samozřejmě možné destičky vlastního osciloskopu zhotovit bez možnosti připojení na konektor, konektor vyžadují pouze destičky zásuvných doplňkových jednotek.

Oživení a nastavení osciloskopu

Protože jednotlivé funkční celky osciloskopu (vertikální zesilovač, horizontální zesilovač, zdroj) jsou postaveny každý na zvláštní desce s plošnými spoji, můžeme je s výhodou oživovat postupně a v libovolném pořadí, i když je např. nejvýhodnější oživit nejdříve zdroj napájecích napětí a všechny ostatní díly při ožívování napájet pak z tohoto zdroje. Kdo má však k dispozici vhodný napájecí zdroj a další přístroje, může při ožívování desek osciloskopu postupovat zcela v libovolném pořadí. Chtěl bych však upozornit na to, že při nezávislém nastavování jednotlivých dílů je nutný především osciloskop; ten však mnohý zájemce získá teprve dokončením stavby – proto v dalším uvedu nastavovací postup, při němž stačí k uvedení do chodu minimální přístrojové vybavení.

Stavba přístroje vyžaduje jednak realizaci mechanické konstrukce a jednak zapojení desek s plošnými spoji. Tak, jako po zapojení obvodů na deskách s plošnými spoji následují různé dokončovací operace, při nichž se upraví jejich konečná elektrická funkce, přicházejí na řadu po hrubé mechanické stavbě různé povrchové úpravy, popis panelů a ostatní práce, při nichž dostává přístroj konečný vzhled. Tuto fázi dokončovacích prací nebudu popisovat, neboť každý ze zájem-

ců má jistě na vzhled přístroje jiné požadavky a také i jiné možnosti k jeho realizaci. V tomto popisu se tedy omezím pouze na vlastní oživení elektrické části osciloskopu a na nastavení požadovaných elektrických vlastností.

Předpokladem k nastavování elektrických vlastností a k uvádění do chodu vůbec je, že máme připraven síťový transformátor, hrubou mechanickou konstrukci a že v deskách s plošnými spoji jsou zapájeny všechny součástky. Dále je třeba do skříně upevnit kryt obrazovky a do čelního subpanelu připevnit ovládací prvky a zdířky. Konektory pro zasunutí desek obou zesilovačů (a časové základny) jsou přišroubovány na pásku z duralového plechu, jenž je upevněn vodorovně za čelním subpanelem. U zadního panelu je další nosný plech, na němž je připevněn síťový transformátor a deska s plošnými spoji zdroje. Nejdříve propojíme síťový transformátor s deskou zdroje, zkontrolujeme zapojení a po připojení k síti proměříme všechny větve napájecích napětí. Dále zapojíme obvody obrazovky a všechny vychylovací destičky obrazovky spojíme s anodou. Ověříme činnost obvodů ostření a jasu a případné nedostatky upravíme změnou odporů v děliči.

Dále propojíme konektory zesilovačů na desku zdroje, na ovládací prvky a vzájemně mezi sebou. Pak zasuneme do příslušného konektoru desku horizontálního zesilovače a přepínač časové základny přepneme do polohy „horiz. zesilovač“. Kolektory koncových tranzistorů připojíme na příslušné vychylovací destičky, mezi ně zapojíme voltmetr a běžec P_7 , vytočíme do středu odporové dráhy. Po připojení zdroje k síti nastavíme trimrem P_8 nulovou výchylku měřidla. Po nastavení bude svítící bod přibližně uprostřed stínítka obrazovky a horizontální zesilovač je zhruba nastaven.

Dále přikročíme k nastavení a k oživení časové základny. Časová základna by měla pracovat ihned po připojení napájecího napětí a některého z rozsahů. Nedostatky v činnosti časové základny odstraníme případnou změnou dělicího poměru $R_{68} : R_{69}$ tak, aby součet těchto

odporů zůstal přibližně zachován. Dělicí poměr těchto odporů má vliv na linearitu a velikost výstupního napětí časové základny. Generátor časové základny, tohoto zapojení lze provozovat i v režimu tzv. spouštěné časové základny nastavíme-li dělicí poměr odporů v emitoru T_{11} tak, že bude těsně před bodem, v němž generátor začíná samovolně kmitat. Synchronizaci generátoru zajišťují impulsy ze Schmittova klopného obvodu – klopný obvod tedy při volně kmitající časové základně pouze synchronizuje generátor časové základny.

Délku stopy časové základny na stínítku můžeme upravit změnou odporu R_{52} (tedy změnou zesílení horizontálního zesilovače).

Při nastavování vertikálního zesilovače zasuneme opět desku s jeho obvody do zapojeného konektoru, na kolektory T_5 a T_6 připojíme vychylovací destičky obrazovky a voltmetr. Běžec potenciometru P_4 vytočíme do středu odporové dráhy a trimrem P_6 nastavíme nulovou výchylku voltmetru. Může se však stát, že v závislosti na vlastnostech tranzistoru T_1 nulové výchylky nedosáhneme. V takovém případě měníme R_{43} tak, až bude výchylka voltmetru nulová.

Tím je ukončeno hrubé nastavení přístroje. Zbývá ještě přesně nastavit jednotlivé obvody tak, aby bylo dosaženo co nejlepších parametrů. Stejnými nastavovacími prvky jako při ožívování nastavíme pracovní body zesilovačů tak, aby byl vstupní signál ze signálního generátoru omezován při zesílení v zesilovačích oboustranně, tj. nastavíme tzv. symetrickou limitaci zkušebního signálu. Tím jsou definitivně nastaveny oba zesilovače.

U takto nastavených zesilovačů vyhovuje většinou i šířka pásma. Přesvědčíme-li se však, že šířka přenášeného pásma neodpovídá požadavkům, je třeba vyhledat správnou kapacitu kompenzačních kondenzátorů C_{16} a C_{21} . Zkoušíme připojovat kondenzátory různých kapacit a kontrolujeme přitom šířku pásma. Obvykle vyhoví kondenzátory řádu stovek pF. Většinou se však dosáhne požadované šířky pásma i bez použití kompenzačních kondenzátorů.

Závěrem této části o nastavování

osciloskopu bych chtěl upozornit na to, že optimální nastavení klade jisté nároky na schopnosti a na praxi pracovníka – méně zkušeným amatérům doporučuji proto vyhledat pomoc erudovanějšího a lépe přístroji vybaveného kolegy.

Seznam součástek osciloskopu

Obvody obrazovky

Obrazovka E_1 B10S1

Odpory

R_{11} TR 144, 1 M Ω
 R_{12} TR 144, 27 k Ω
 R_{13} TR 144, 0,56 M Ω
 R_{14} TR 144, 1,2 M Ω

Potenciometry

P_1 TP 281a, lineární se spínačem, 50 k Ω
 P_2 TP 280, lineární, 0,25 M Ω

Horizontální zesilovač

Tranzistory

T_{12}, T_{13} KC508
 T_{14}, T_{15} KF504

Potenciometry

P_6 TP 015, 0,22 M Ω
 P_7 TP 280, lineární, 1 k Ω

Kondenzátory

C_{20} TE 984, 5 μ F/15 V
 C_{21} keramioký

Odpory

R_{45} TR 151, 0,22 M Ω
 R_{46} TR 151, 68 k Ω
 R_{47}, R_{48}, R_{49} TR 151, 2,2 k Ω
 R_{50}, R_{51} TR 151, 1 k Ω
 R_{52} TR 151, 470 Ω
 R_{53}, R_{54} TR 152, 22 k Ω
 R_{55} TR 144, 3,9 k Ω
 R_{56} TR 144, 6,8 k Ω

Zdroj

Diody

D_1, D_2, D_3, D_4 , KY701
 D_5, D_6, D_7 KY705
 D_8 7NZ70
 D_9, D_{10} 6NZ70
 Výbojka stabil. 11TA31 (STr150/30)

Odpory

R_1, R_2 TR 144, 1 k Ω
 R_3 TR 144, 1,2 k Ω
 R_4 TR 507, 3,3 k Ω
 R_5 TR 506, 2,2 k Ω
 R_6, R_7 TR 144, 390 Ω

R_8 TR 144, 27 k Ω
 R_9 TR 144, 33 k Ω
 R_{10} TR 144, 0,1 M Ω

Kondenzátory

C_1 TE 986, 500 μ F/35 V
 C_2, C_3 TE 984, 1 000 μ F/15 V
 C_4 TE 986, 200 μ F/35 V
 C_5 TE 984, 500 μ F/15 V
 $C_6, C_7, C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{14}$ TE 992, 20 μ F/350 V
 C_8 TE 988, 10 μ F/70 V
 C_9, C_{10} TE 990, 20 μ F/160 V

Časová základna

Tranzistory

$T_7, T_8, T_9, T_{10}, T_{11}$ KSY 62

Dioda

D_{15} KA206

Potenciometry

P_3 TP 280, lineární, 5 k Ω
 P_4 TP 280, lineární, 0,1 M Ω

Kondenzátory

C_{22} TK 750, 0,1 μ F
 C_{23} TE 984, 20 μ F/15 V
 C_{25} TE 984, 200 μ F/15 V
 C_{24} TC 280, 100 pF

C_{26}
 C_{27}
 C_{28}
 C_{29}
 C_{30} } podle potřeby
 C_{31} keramioký, 1,5 nF

Přepínač

WK 533 37 miniaturní otočný

Odpory

R_{57} TR 151, 0,22 M Ω
 R_{58} TR 151, 82 k Ω
 R_{59}, R_{61}, R_{62} TR 151, 18 k Ω
 R_{60} TR 151, 6,8 k Ω
 R_{61} TR 151, 5,6 k Ω
 R_{64} TR 151, 270 Ω
 R_{65}, R_{68} TR 151, 10 k Ω
 R_{66} TR 151, 3,9 k Ω
 R_{67} TR 151, 47 k Ω
 R_{69} TR 151, 39 k Ω
 R_{70} TR 151, 3,9 k Ω

Vertikální zesilovač

Tranzistory

T_1 KF521 (KF520)
 T_2, T_3, T_4 KC508
 T_5, T_6 KF504

Díody

$D_{11}, D_{12}, D_{13}, D_{14}$ KA206

Potenciometry

P_2 TP 015, 22 k Ω
 P_4 TP 280, lineární, 50 k Ω
 P_5 TP 280, lineární, 5 k Ω

Kondenzátory

C_{15} TC 184, 0,22 μ F
 C_{16} keramický
 C_{17} TK 750, 0,1 μ F
 C_{18} TE 984, 20 μ F/15 V
 C_{19} TK 750, 0,1 μ F

Přepínač

WK 533 37, miniaturní, otočný

Odpory

$R_{18}, R_{19}, R_{17}, R_{18}, R_{19}, R_{20}, R_{21},$
 R_{22}, R_{27} TR 151, 1 M Ω
 R_{23} TR 151, 100 Ω
 R_{24} TR 161, 1 k Ω
 R_{25} TR 151, 10 k Ω
 R_{26} TR 151, 0,1 M Ω
 R_{28} TR 151, 330 Ω
 R_{29} TR 151, 3,3 k Ω
 R_{30} TR 151, 33 k Ω
 R_{31} TR 151, 0,33 M Ω
 R_{32}, R_{33} TR 151, 10 k Ω
 R_{33}, R_{34} TR 151, 18 k Ω
 R_{35} TR 151, 1,8 k Ω
 R_{36} TR 151, 2,2 k Ω
 R_{37}, R_{38} TR 151, 1 k Ω
 R_{72} TR 151, 68 Ω
 R_{40}, R_{41} TR 152, 22 k Ω
 R_{43} TR 151, 8,2 k Ω
 R_{45} TR 151, 1 k Ω
 R_{44} TR 151, 680 Ω
 R_{71} TR 151, 0,47 M Ω

Elektronický přepínač

Elektronický přepínač je jedním z nejužitečnějších doplňků osciloskopu. Jeho využitím se velmi rozšiřuje jak oblast, tak metody měření osciloskopem (od metody srovnávací, substituční, až po využití osciloskopu pro prostorové zobrazení). Je samozřejmé, že kvalita naměřených údajů je přímo úměrná kvalitě dosažených technických parametrů elektronického přepínače.

Existuje mnoho různých zapojení elektronického přepínače od nejjednodušších až po velmi dokonalá a složitá zapojení. Popisovaný elektronický přepínač patří mezi dokonalejší a složitější zařízení. Při jeho návrhu jsem se snažil o kompromis mezi dokonalostí zařízení a vynalo-

ženými finančními náklady. Jde totiž o to, že u zařízení, které je kvalitní a složitě, není další zlepšování parametrů zdaleka úměrné vynaloženým nákladům. V elektronickém přepínači na obr. 75 jsou (podle mého názoru) v optimální míře sladěny běžné požadavky na kvalitu technických parametrů a výšku finančních nákladů.

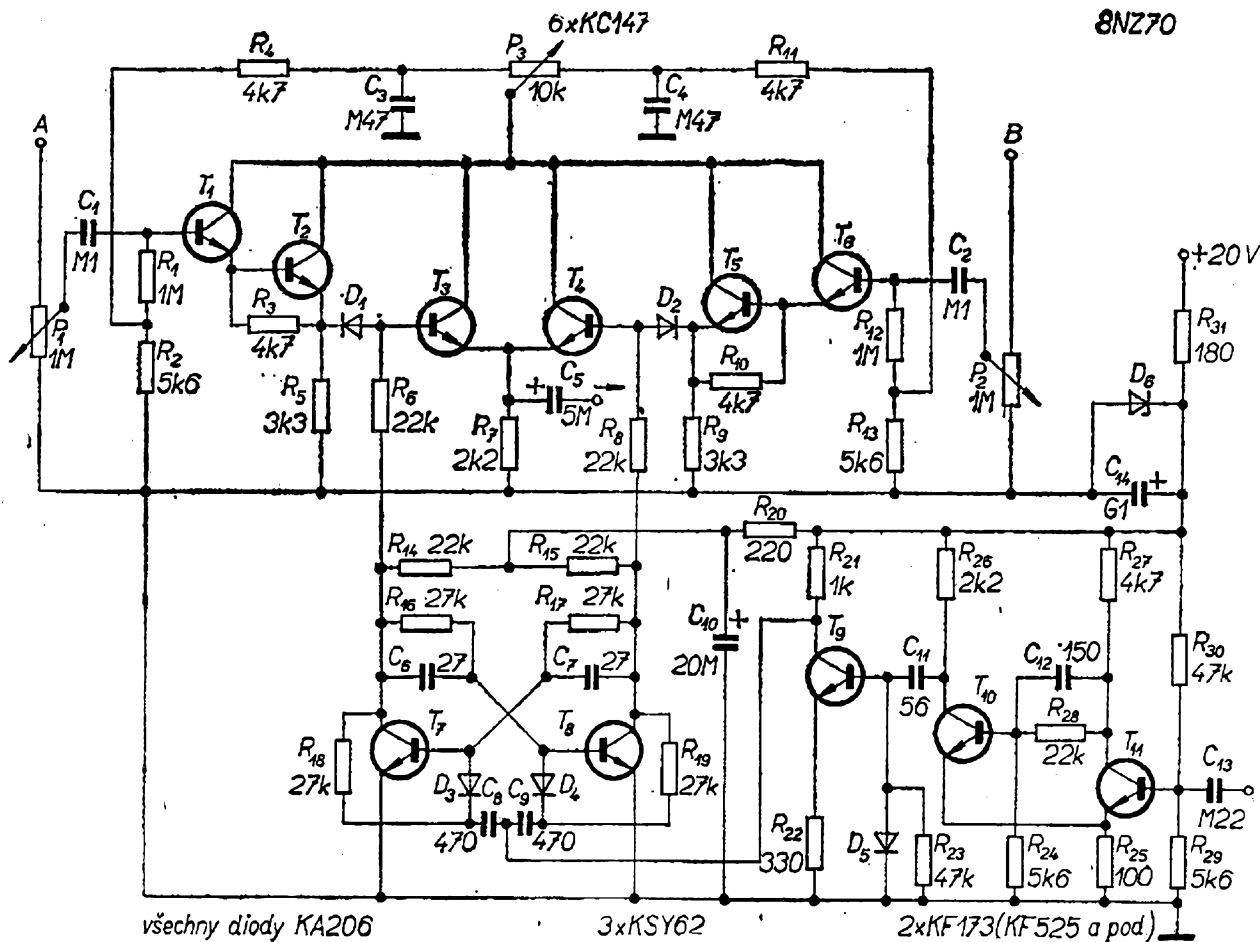
Popis zapojení

Základem elektronického přepínače je bistabilní klopný obvod, ovládající vodivost diod, zařazených v cestě měřeného signálu. Překlápění, tj. řízení bistabilního klopného obvodu je odvozeno od zpětného běhu paprsku.

Napětí pilovitého průběhu z časové základny (minimální amplitudy 5 V – kladné) je přivedeno přes kondenzátor 0,22 μ F do báze tranzistoru T_{11} . Tranzistor T_{11} spolu s tranzistorem T_{10} tvoří Schmittův klopný obvod. Schmittův klopný obvod tvarově upraví průběh ovládacího napětí z pilovitého na obdélníkovitý s konstantní výstupní amplitudou.

Ovládací napětí ze Schmittova klopného obvodu se derivuje a přivádí do oddělovacího a omezovacího stupně, osazeného tranzistorem T_9 . Signálem z tohoto stupně se již (přes vazební kondenzátory 470 pF) ovládá bistabilní klopný obvod s tranzistorem T_7 a T_8 . Spínací diody D_1 a D_2 v závislosti na stavu klopného obvodu střídavě propouštějí signál ze vstupu A nebo B do slučovače, osazeného tranzistorem T_3 a T_4 . Ze společného emitorového odporu tranzistorů slučovače jsou přes oddělovací kondenzátor 5 μ F přiváděny měřené signály na vstup vertikálního zesilovače osciloskopu. Pro dosažení velkého vstupního odporu jsou na obou vstupech A i B zařazeny impedanční převodníky (T_1, T_2 a T_5, T_6).

Kmitočtový rozsah elektronického přepínače je dán použitím potenciometrů s poměrně velkým odporem v obou vstupech. Při minimálním odporu odporové dráhy potenciometru (běžec dole) je kmitočtový rozsah 5 Hz až 150 kHz (pro –3 dB). Při maximálním odporu dráhy



Obr. 75. Schéma zapojení elektronického přepínače

potenciometru (běžec nahore) se zvětší kmitočtový rozsah na 5 Hz až 6 MHz (pro -3 dB).

Poloha obou stop na ploše stínítka obrazovky se mění potenciometrem P_3 . Změnou polohy jeho běžce se mění pracovní bod obou impedančních převodníků (T_1, T_3 a T_5, T_6), čímž lze měnit vzájemnou polohu obou stop ve vertikálním směru.

Nastavení a oživení

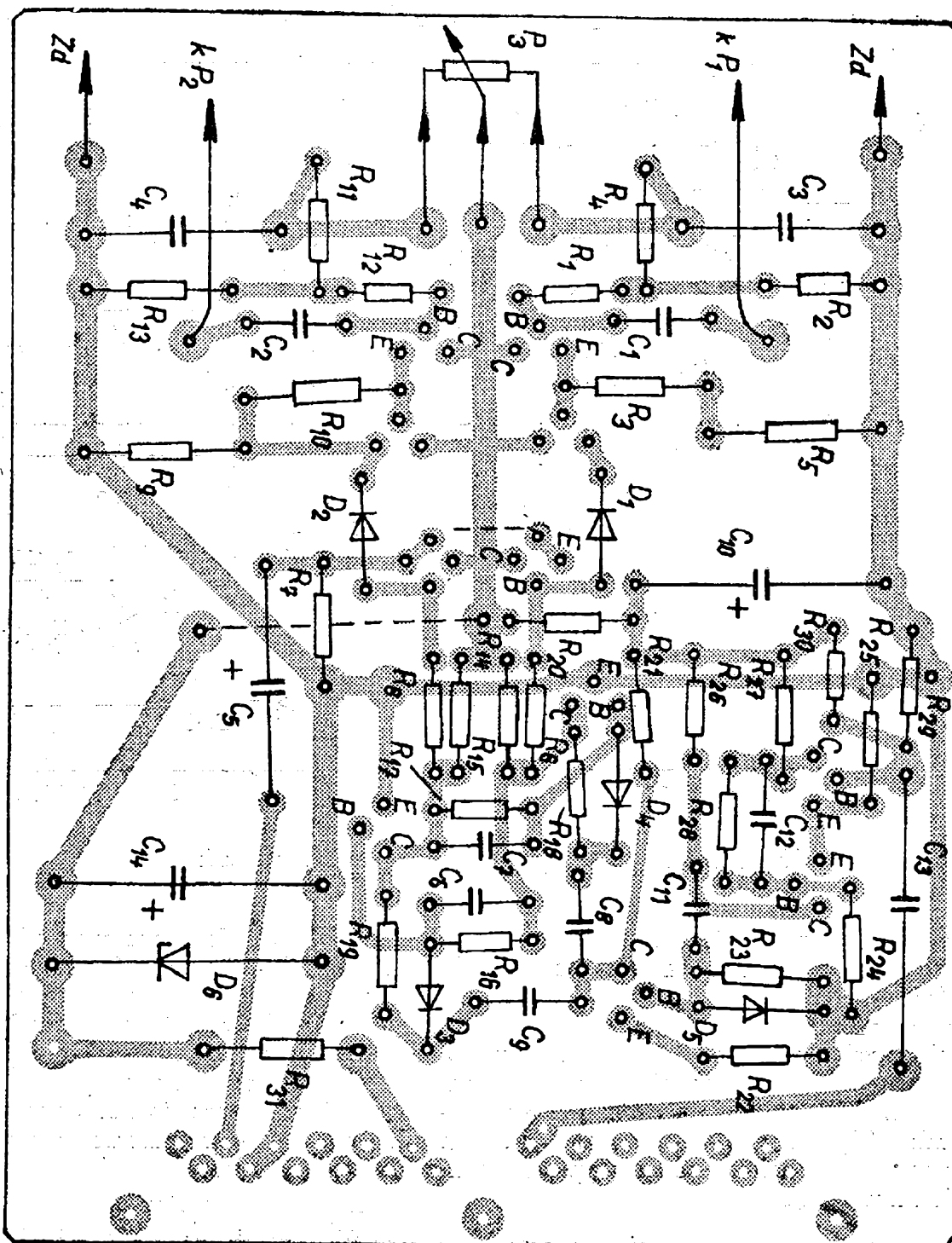
Po zapájení předem zkontrolovaných součástek do desky s plošnými spoji (obr. 76) zkontrolujeme zrakem, zda nedošlo při osazování destičky např. ke zkratům. Potom přistoupíme k vlastnímu oživení. Na doplněk připojíme napájecí napětí. Napětí pilovitého průběhu z časové základny osciloskopu přivedeme na kondenzátor $0,22 \mu\text{F}$, zapojený v bázi tran-

zistoru T_{11} . Na pracovním odporu tranzistoru T_{10} ($2,2 \text{ k}\Omega$) kontrolujeme osciloskopem činnost Schmittova klopného obvodu. Při amplitudě přiváděného napětí pilovitého průběhu 5 V mají být amplituda i tvar napětí obdélníkovitého průběhu na pracovním odporu T_{10} neměnné ve všech rozsazích časové základny osciloskopu.

Dále zkontrolujeme napětí na kolektorech T_7 a T_8 bistabilního klopného obvodu – má mít obdélníkovitý tvar a poloviční kmitočet vzhledem ke kmitočtu signálu na kolektoru T_{10} . Jsou-li v pořádku diody i součástky obvodu vstupů A i B (impedanční převodníky), pak musí celý elektronický přepínač pracovat podle očekávání.

Po této kontrole je možné elektronický přepínač vyzkoušet funkčně ve spojení s osciloskopem. Ti, kdož mají k dispozici vf generátor a vf voltmetr, mohou změ-

Obr. 76. Deska s plošnými spoji pro elektronický přepínač (Smaragd F34)

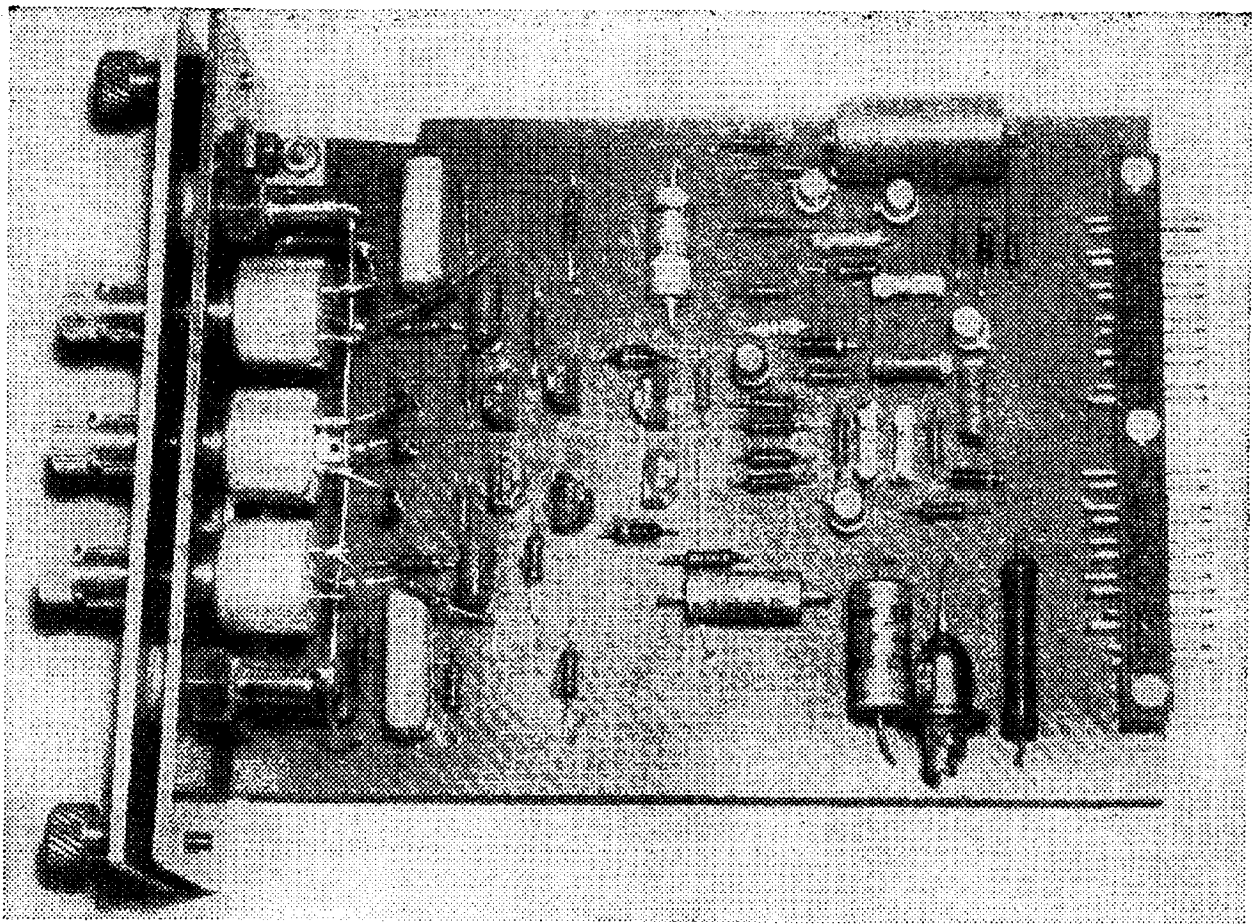


řít i šířku pásma, přenášenou elektronickým přepínačem.

Mechanická konstrukce

Doplněk k osciloskopu – elektronický přepínač – je konstruován na destičce s plošnými spoji (obr. 77). Ovládací prvky a vstupní zdíčky jsou vyvedeny na panel.

Deska s plošnými spoji je upevňována v konektorové zástrčce; zasunutím do konektorové zásuvky, pevně připevněné v osciloskopu, se připojí napájecí napětí pro přepínač (a vývody přepínače na vstup vertikálního zesilovače). Napájecí napětí se odebírá ze zdroje osciloskopu a je stabilizováno, stejně jako u všech ostatních doplňků.



Obr. 77. Rozložení součástek na desce s plošnými spoji elektronického přepínače

Seznam součástek

Tranzistory

$T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6$ KC148
 T_7, T_8, T_9 KSY62
 T_{10}, T_{11} KF173

Díody

D_1, D_2, D_3, D_4, D_5 KA206
 D_6 8NZ70

Odpory

R_1, R_{19} TR 112a, 1 M Ω
 $R_4, R_{11}, R_8, R_{10}, R_{27}$ TR 112a, 4,7 k Ω
 R_5, R_6 TR 112a, 3,3 k Ω
 R_7, R_{26} TR 112a, 2,2 k Ω
 $R_8, R_9, R_{14}, R_{15}, R_{28}$ TR 112a, 22 k Ω
 $R_{16}, R_{17}, R_{18}, R_{19}$ TR 112a, 27 k Ω
 $R_3, R_{12}, R_{24}, R_{29}$ TR 112a, 5,6 k Ω
 R_{20} TR 112a, 220 Ω
 R_{21} TR 112a, 1 k Ω
 R_{25} TR 112a, 330 Ω

R_{23}, R_{29} TR 112a, 47 k Ω
 R_{25} TR 112a, 100 Ω
 R_{31} TR 112a, 180 Ω

Kondenzátory

C_1, C_2 TK 750, 0,1 μ F
 C_3, C_4 TC 180, 0,47 μ F
 C_5 TE 984, 5 μ F/15 V
 C_6, C_7 27 pF
 C_8, C_9 470 pF
 C_{11} 56 pF
 C_{12} 150 pF
 C_{13} TE 986, 20 μ F/35 V
 C_{14} TE 986, 100 μ F/35 V
 C_{15} TC 180, 0,22 μ F

} keramické

Potenciometry

P_1, P_2 TP 052c, 0,47 M Ω
 P_3 TP 052, 10 k Ω

Ostatní součástky

Řadový konektor WK 46201, 24 pólů
Přístrojové zdičky izolované 4 kusy

Kalibrátor

Dalším z řady doplňků tranzistorového osciloskopu je kalibrátor. Tento sice jednoduchý, ale mnohostranně využitelný doplněk rozšiřuje možnosti měření osciloskopem. Při pečlivé práci a zvláště při přesném nastavení děliče výstupního napětí je možné dosáhnout přesnosti amplitudy výstupního napětí 0,5 %. Protože kmitočet kalibračního napětí je poměrně nízký, je možné použít jako přesné odpory děliče i odpory, vinuté z odporového drátu. Bude-li mít někdo možnost přesně změřit odpory děliče, může dosáhnout přesnosti dělicího poměru 0,1 % (bez výběru speciálních odporových materiálů). Přesně nastavený dělič umožňuje použít kalibrátor i pro velmi přesná měření osciloskopem srovnávací metodou. Je samozřejmé, že popisované údaje platí pro oblast pokojové teploty. Pro větší teplotní rozsah vyhoví popisovaný kalibrátor nejprísnějším požadavkům tehdy, upraví-li se zapojení „jádra“ kalibrátoru – astabilní multivibrátor.

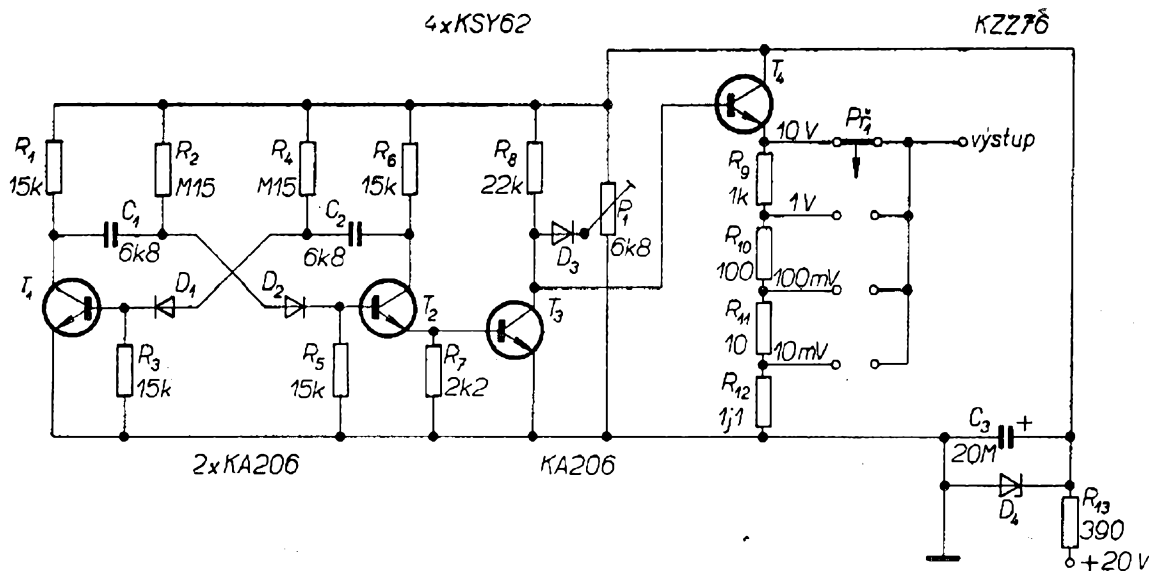
Popis zapojení

Kalibrátor (obr. 78) se skládá z astabilního multivibrátoru (T_1, T_2), osazeného tranzistory KSY62. Multivibrátor pra-

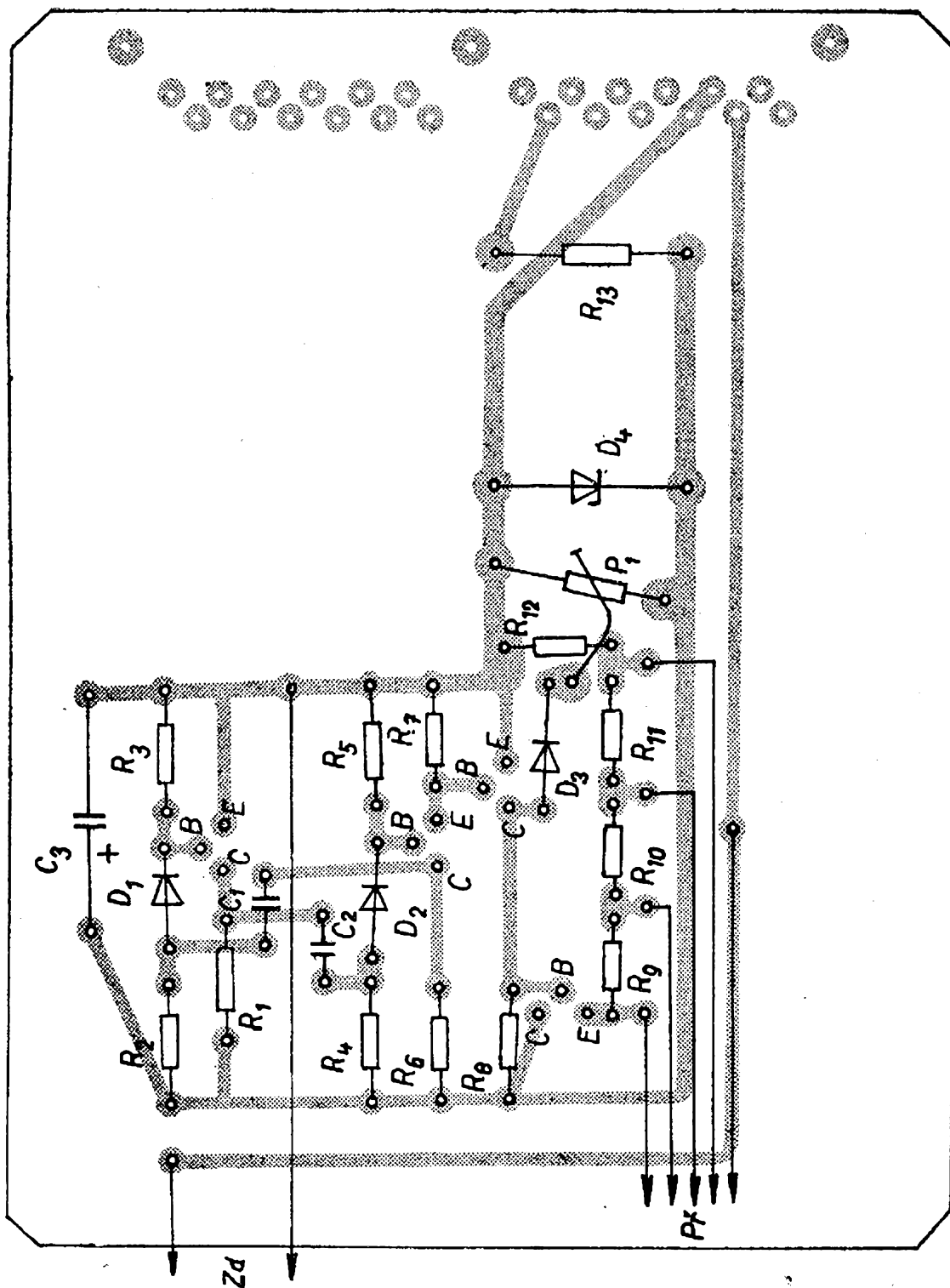
cuje přibližně na kmitočtu 1 000 Hz. Při konstrukci bylo maximální snahou dosáhnout co největší strmosti hran (náběžné i doběhové) výstupního signálu. Na měřeném vzorku je strmost náběžné hrany impulsů asi 100 ns. Symetrie výstupního obdélníkovitého napětí se dosáhne výběrem odporů R_1 až R_6 . Dvojice odporů v kolektorech a v bázích T_1 a T_2 mají být stejné. Stejně lze symetrii nastavit změnou odporů R_2 nebo R_4 . Amplituda výstupního napětí 10 V se nastává potenciometrem P_1 v obvodu kolektoru tranzistoru T_3 . Tento stupeň je osazen též spínacím tranzistorem KSY62 a pracuje jako zesilovač. Jsou-li odpory výstupního děliče skutečně přesné, je velmi účelné nastavit s odpovídající přesností i amplitudu výstupního napětí. Při nastavování amplitudy opět použijeme srovnávací metodu měření amplitudy napětí pomocí osciloskopu.

Poslední stupeň kalibrátoru (T_4) je též osazen spínacím tranzistorem KSY62. Tento stupeň pracuje jako emitorový sledovač.

Spínací křemíkové tranzistory KSY62 byly použity pro získání maximální strmosti hran impulsů výstupního signálu. Pro menší nároky funkčně vyhoví kterýkoli typ tranzistorů n-p-n (i germaniové typy). Parametry kalibrátoru jsou ovšem úměrné jakosti použitých součástek.



Obr. 78. Schéma zapojení kalibrátoru



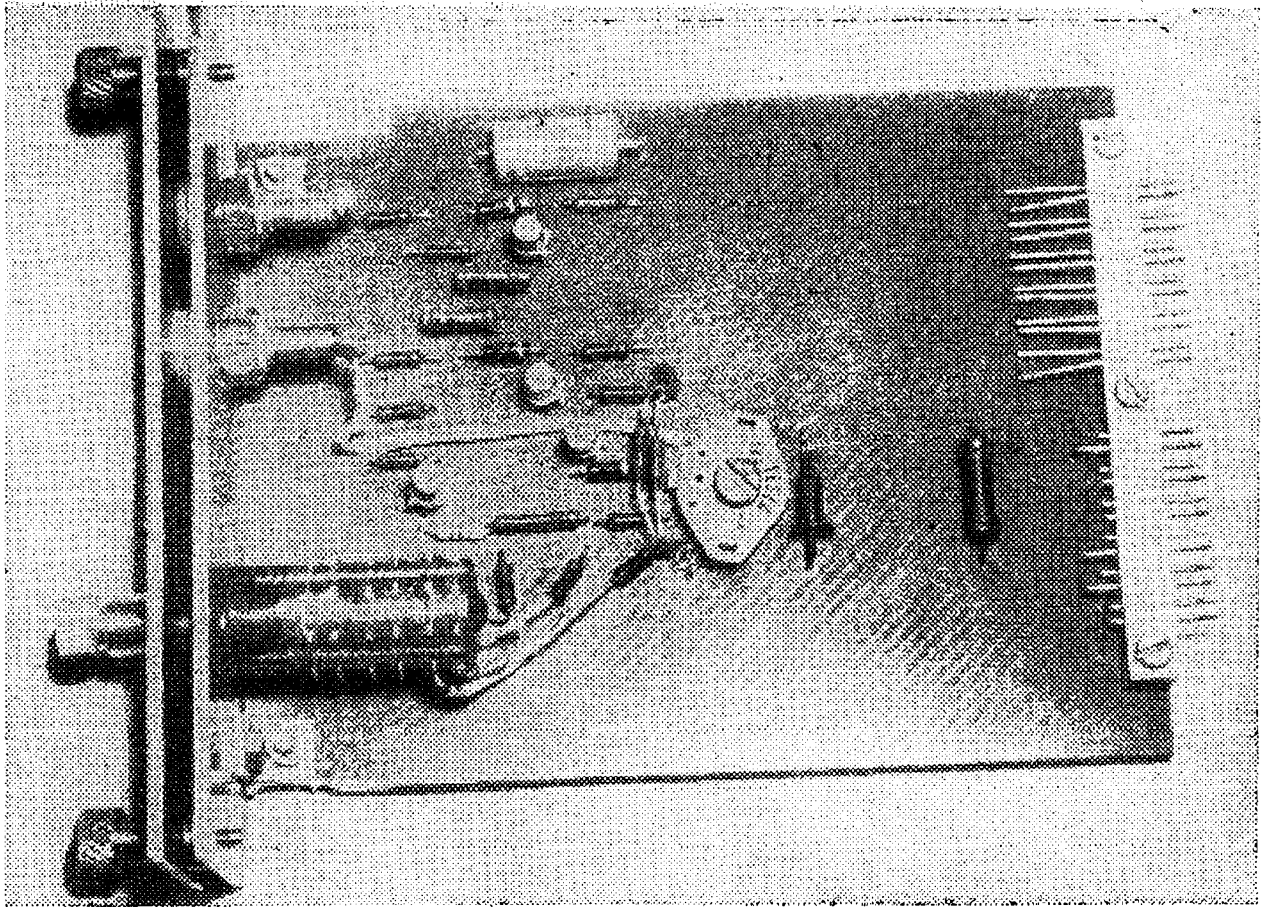
Obr. 79. Deska s plošnými spoji kalibrátoru (Smaragd F35)

Napájecí napětí pro kalibrátor je stabilizováno Zenerovou diodou D_4 .

Mechanická konstrukce

Kalibrátor je na desce s plošnými spoji (obr. 79). Osazená deska je na obr. 80.

Deska s plošnými spoji je upravena pro zapojení do konektorové zástrčky. Zásunutím do konektorové zásuvky uvnitř osciloskopu se připojí jednak napájecí napětí a jednak výstupní signál z kalibrátoru k dalšímu zpracování.



Obr. 80. Deska z obr. 79, osazená součástkami

Seznam součástek

Tranzistory

T_1, T_2, T_3, T_4 KSY62

Diody

D_1, D_2, D_3 KA206
 D_4 KZZ76

Odpory

R_1, R_2, R_3, R_4 TR 112a, 15 k Ω
 R_5, R_6 TR 112a, 150 k Ω
 R_7 TR 112a, 2,2 k Ω
 R_8 TR 112a, 22 k Ω
 R_9 TR 112a, 1 k Ω
 R_{10} TR 112a, 100 Ω
 R_{11} TR 112a, 10 Ω
 R_{12} TR 112a, 1,1 Ω ($2 \times 2,2 \Omega$ paralelně)
 R_{13} TR 112a, 390 Ω

Kondensátory

C_1, C_2 TC 280, 6,8 nF
 C_3 TE 984, 20 μ F/15 V

Potenciometry

P_1 6,8 k Ω (trimr pro plošné spoje)

Ostatní součástky

Miniaturní otočný přepínač WK 53300 (1 + 4 polohy)
 Řadový konektor WK 46201, 24 pólů
 Zdíčka přístrojová izolovaná 2 kusy

Pozn.: Odpory R_9 až R_{13} je vhodné navinout z odporového drátu a to s tolerancí alespoň 0,5 % vzhledem k jemnějšímu odporu.

Diferenciální předzesilovač

Diferenciální předzesilovač je velmi vhodným doplňkem běžné výbavy osciloskopu, neboť slučuje výhody citlivého měřicího předzesilovače s možností diferenciálního měření např. na neuzemněném zdroji napětí.

Diferenciální předzesilovač (obr. 81) je osazen operačním integrovaným zesi-

lovačem MAA501, v jehož vstupech jsou zapojeny tranzistory MOS, KF521. Takto zapojený diferenciální zesilovač se svými vlastnostmi (malý vstupní proudový offset a drift) podobá tzv. „mosfetovým“ operačním zesilovačům, které umožňují konstrukci zesilovačů s velkým vstupním odporem a dalšími výhodnými vlastnostmi, a které se u nás nevyrábějí.

Při stavbě předzesilovačů lze použít za cenu většího vlastního šumu i méně jakostní tranzistory MOS typu KF520; podstatně lepších výsledků se však dosáhne např. při náhradě tranzistorů MOS KF521 zahraničními typy tranzistorů řízených polem (FET), např. BF244 apod.

Spínací diody KA206 v antiparalelním zapojení ve vstupech diferenciálního předzesilovače slouží jako přepětová ochrana tranzistorů MOS. Při asymetrickém měření – na uzemněném zdroji napětí – je třeba jeden ze vstupů diferenciálního předzesilovače uzemnit (invertující nebo neinvertující vstup). K vyvážení diferenciálního předzesilovače (k nastavení nuly na výstupu) je v obvodu elektrod S tranzistorů MOS zařazen potenciometr P_1 .

Operační zesilovač je kmitočtově kompenzován tak, aby přenášel co nejširší

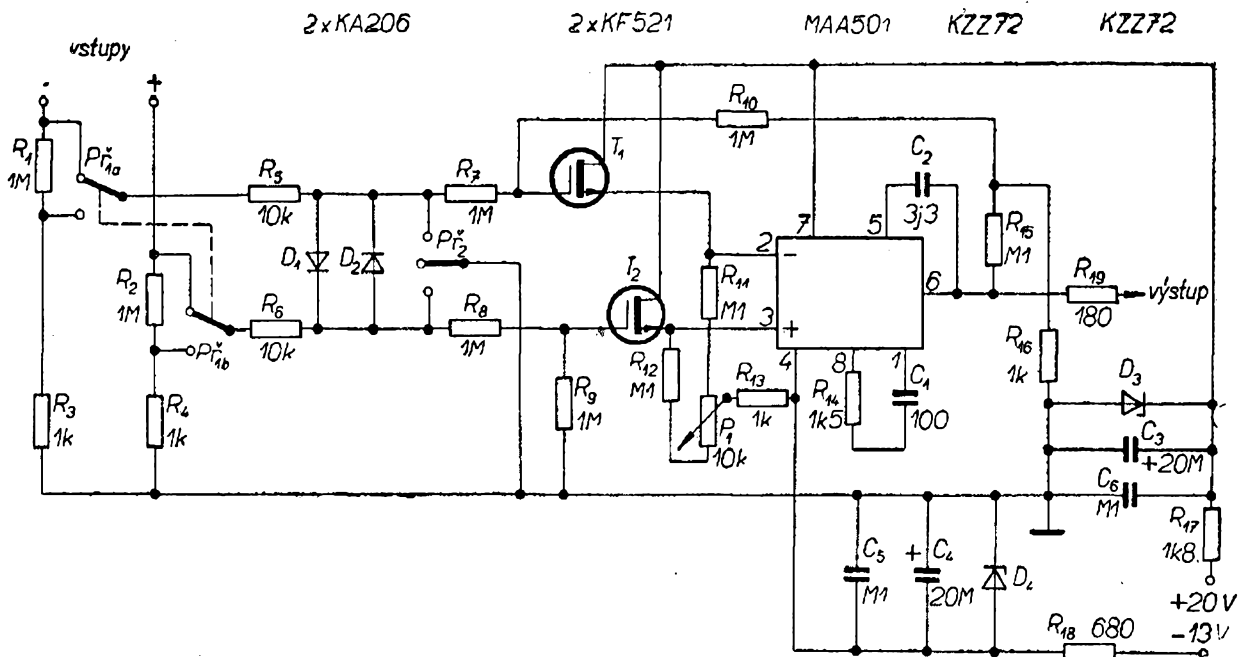
kmitočtové pásmo. Při nastavování kmitočtové kompenzace je třeba dbát na to, aby operační zesilovač nejevil snahu kmitat nebo zakmitávat, k čemuž by mohlo dojít v důsledku velkého vstupního odporu. Kmitočtové pásmo, přenášené diferenciálním předzesilovačem podle obr. 81, je asi 0 až 150 kHz.

Pro zpracování velkých vstupních signálů je na vstupu diferenciálního předzesilovače zařazen dělič napětí s dělicím poměrem 1 : 1 000; dělicí poměr lze volit přepínačem P_1 .

Operační zesilovač typu MAA501 má průměrné zesílení řádu desítek tisíc, zesílení diferenciálního předzesilovače je nastaveno na 100 volbou odporů ve zpětnovazební smyčce. Přesnost a stabilita zesílení je dána vlastnostmi použitých odporů (nejlepších vlastností lze dosáhnout s odpory typu TR 161, které mají malý teplotní součinitel a vyrábějí se v řadě E192 i v tolerancích 0,2 %).

Nastavení a oživení

Při ožívání diferenciálního předzesilovače je třeba dodržovat všechny zásady, platné pro práci s operačními zesilovači a tranzistory typu MOS. Především je třeba upozornit na to, že zvláště

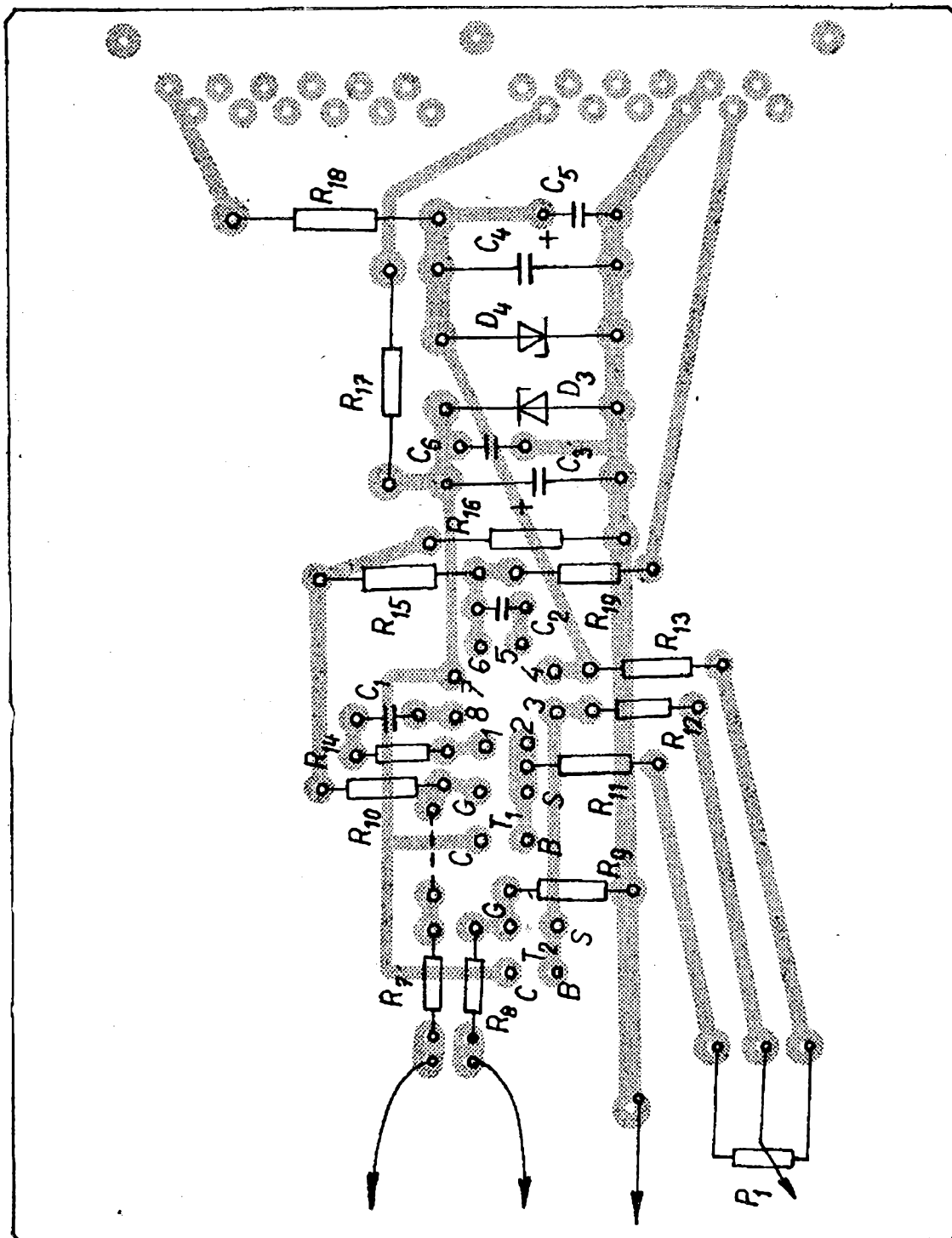


Obr. 81. Schéma diferenciálního předzesilovače

citlivé na neodbornou a neopatrnou manipulaci jsou tranzistory MOS – z tohoto důvodu jsou pro ně použity objímky, do těchto objímek se tranzistory MOS zasunou teprve po osazení a zapájení všech ostatních součástek diferenciálního předzesilovače do desky s plošnými spoji. Zkratovací pružiny z nožek tranzistorů

MOS (nožky tranzistorů jsou zkratovány již ve výrobním závodě) lze z tranzistorů odstranit teprve tehdy, je-li tranzistor zasunut řádně v objímce.

Zručnému konstruktérovi nebude jinak dělat oživování a nastavování předzesilovače žádné obtíže. K problémům při nastavování by snad mohlo dojít pou-



k přepínačům
a zdírkám

Obr. 82. Deska s plošnými spoji diferenciálního předzesilovače (Smaragd F36)

ze při kmitání operačního zesilovače. V takovém případě stačí zvětšit kapacitu kompenzačních kondenzátorů, čímž se ovšem sníží horní mezní přenášený kmitočet.

Budou-li při konstrukci použity méně přesné odpory (viz poznámka v úvodu článku), nemusí být zesílení diferenciálního předzesilovače přesně 100. V takovém případě je třeba zesílení změřit a upravit změnou odporů R_A nebo R_B . Zesílení diferenciálního předzesilovače nemusí být ovšem přesně definováno, nepožadujeme-li, aby zůstala zachována kalibrace vertikálního zesilovače.

Mechanická konstrukce

Diferenciální předzesilovač je na desce s plošnými spoji (obr. 82), opatřené ko-

nektorovou zástrčkou. Ovládací prvky a vstupní zdírky jsou na čelním panelu (obr. 83). Zasunutím do konektorové zásuvky v osciloskopu se připojí jednak napájecí napětí ze zdroje osciloskopu jednak výstup diferenciálního předzesilovače na vstup vertikálního zesilovače osciloskopu.

Seznam součástek

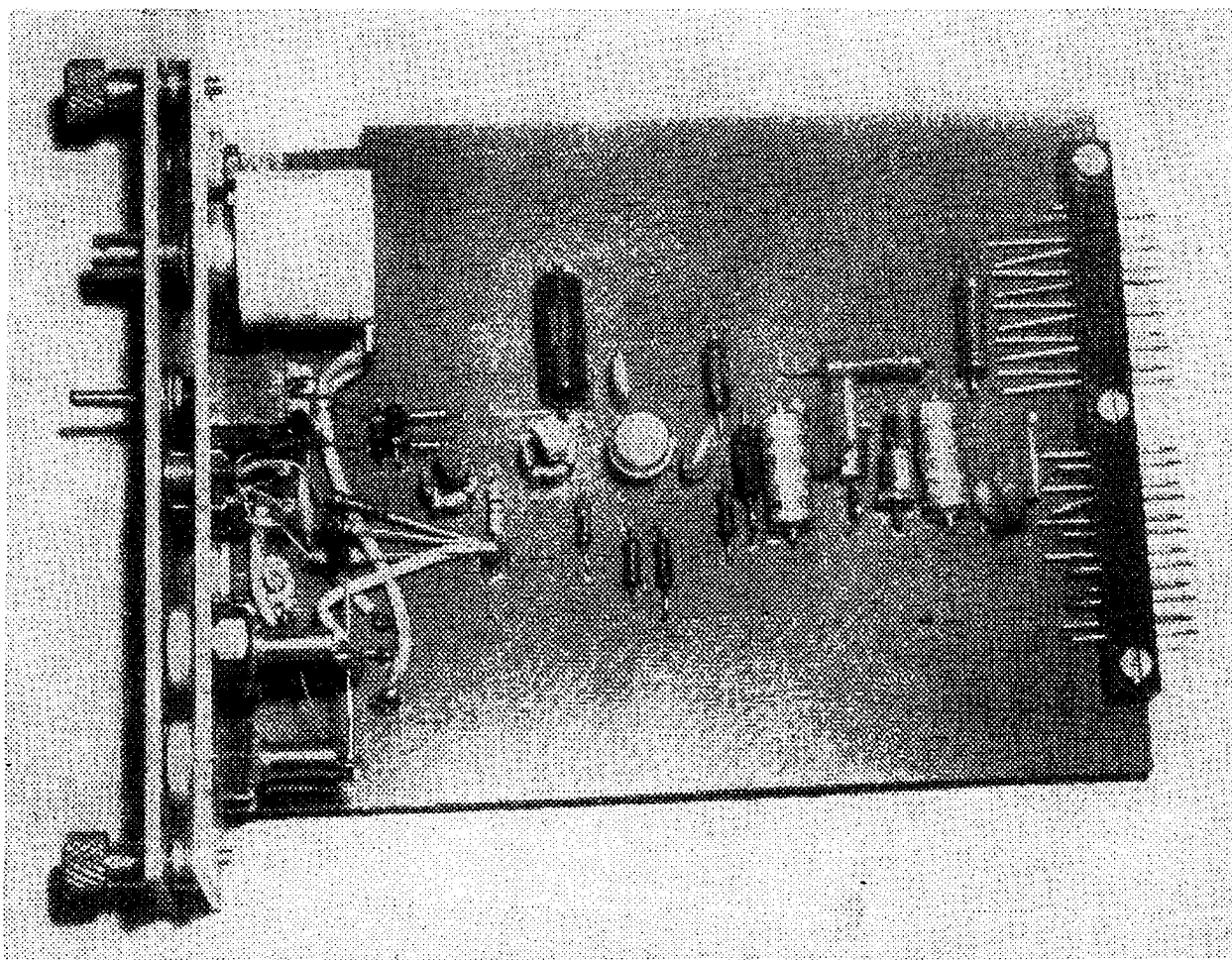
Operační zesilovač MAA 501

Tranzistory

T_1, T_2 KF521

Diody

D_1, D_2 KA206
 D_3, D_4 KZZ72



Obr. 83. Deska s plošnými spoji diferenciálního předzesilovače, osazená součástkami

Odpory

$R_1, R_2, R_7, R_8, R_9, R_{10}$	TR 151, 1 M Ω
R_3, R_4, R_{13}, R_{16}	TR 151, 1 k Ω
R_{11}, R_{12}, R_{14}	TR 151, 100 k Ω
R_{15}	TR 151, 1,5 k Ω
R_{17}	TR 144, 1,8 k Ω
R_{18}	TR 144, 680 Ω
R_5, R_6	TR 151, 10 k Ω
R_{19}	TR 151, 180 Ω

Kondenzátory

C_1	100 pF	} keramické
C_2	3,3 pF	
C_3, C_4	TE 982, 20 μ F/15 V	}
C_5, C_6	TK 750, 0,1 μ F/40 V	

Potenciometr

P_1 TP 052, 10 k Ω , lineární

Přepínače

Pf_1	WK 533 16, miniaturní otočný
Pf_2	WK 533, 00 miniaturní otočný

Ostatní součástky

Řadový konektor WK 46201, 24 póů
Přístrojové zdíčky izolované 4 kusy

Literatura

- [1] Amatérská radiotechnika. Praha: Naše vojsko 1956.
- [2] Klabačka, E.: Elektronické měřicí přístroje – učební texty 1965.
- [3] Czech, I.: Oszillografen – Messtechnik. Berlín: Verlag für Radio-Foto-Kinotechnik 1959.
- [4] Nadler, M.; Nessel, V.: Elektronkový osciloskop. Praha: SNTL 1960.
- [5] Nadler, M.: Osciloskopická měření. Praha: SNTL 1958.
- [6] Kroupa, V.; Ptáček, V.: Měření kmitočtu. Praha: SNTL 1963.
- [7] Bednařík, J.; Daněk, O.: Obrazové zesilovače pro televizní a měřicí techniku. Praha: SNTL 1957.
- [8] Stránský, J.: Vysokofrekvenční měření. Praha: ČSAV 1954.
- [9] Stránský J.: Vysokofrekvenční elektrotechnika. (I. díl). Praha: ČSAV 1956.
- [10] Hempel, Ch.: Měřicí osciloskop MO3315. Funktechnik č. 15/1971.
- [11] Dante, O.: Stabilisierte Hochspannungsquelle für Batterie betriebene Oszillografen. Elektronik č. 21/970.
- [12] Spannungsverdopplung, Spannungsvervielfachung. Elektronik č. 3/1969.

[13] Osciloskop Simens M765. AR 11/69.

[14] Czech, J.: Oszillografen – Messtechnik. Berlín: Verlag für Radio-Foto-Kinotechnik 1959.

[15] Fjurstenberg, A. I.: Oscilografické metody izměrenija častoty. Moskva: MAŠGIZ 1960.

[16] Walter, R.: Některé způsoby srovnávání kmitočtů pomocí osciloskopu. Tech. Hausmitteilungen des Nordwestdeutschen Rundfunks 3, č. 10, 11/1951.

[17] Bader, W.: Frequenzvergleich mit Zykloiden. Archiv für Elektrotechnik 39, č. 2. 3/1948.

[18] Radiový konstruktér č. 5/1967.

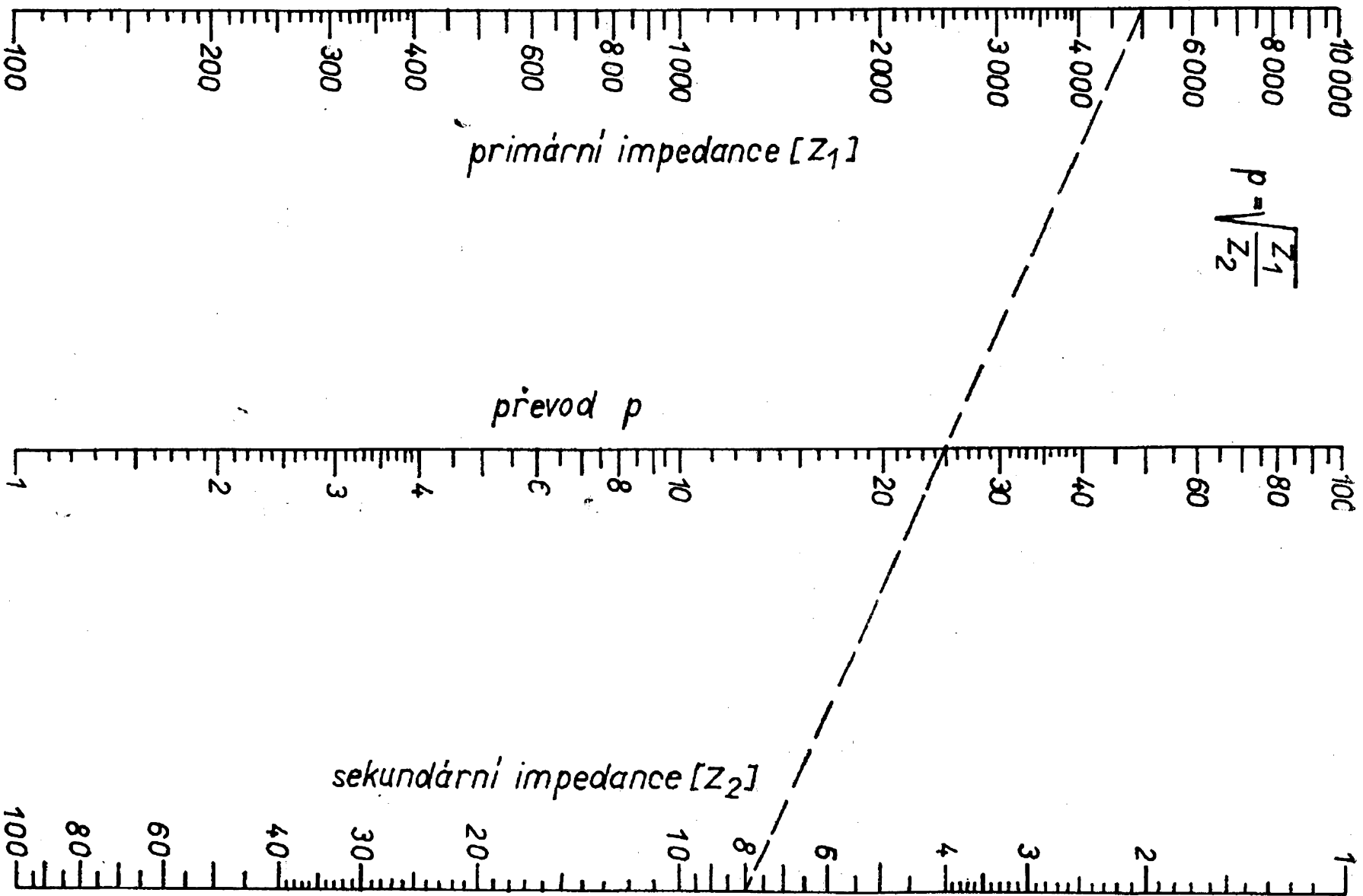
Nomogramy

Nomogram (str. 61). A slouží k určení převodu transformátorů, je-li známa jejich impedance jak primárního, tak sekundárního vinutí. Základním vztahem k výpočtu převodu transformátoru je vztah

$$p = \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2}},$$

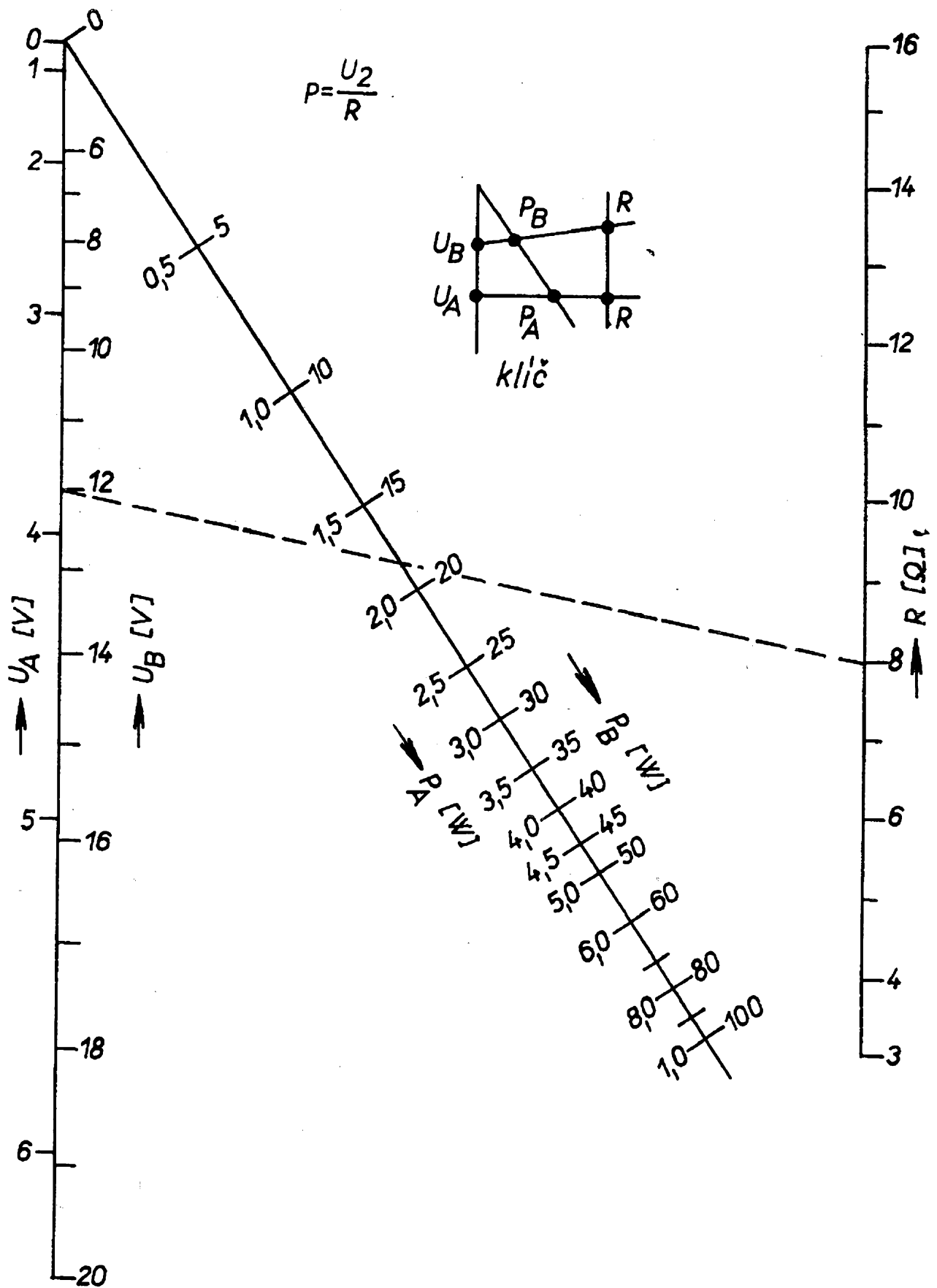
kde p je převod transformátoru. Z_1 impedance primárního a Z_2 impedance sekundárního vinutí. Metoda určení převodu je zřejmá z příkladu: Najděte převod transformátoru, který má být jako nf výstupní transformátor připojen jednak na anodu koncové elektronky (impedance anody 500 000 Ω) a jednak na reproduktor s impedancí 8 Ω . Vedeme přímkou od bodu 5 000 na stupnici Z_1 na bod 8 na stupnici pro Z_2 . Střední stupnici tato přímkou protíná v bodu 25. Protože jsme na první stupnici použili bod 5 000 (tzn. původní údaj je 100 \times větší), musíme zvětšit i údaj na prostřední stupnici, a to násobným $\sqrt{100} = 10$. Pevod p je proto 250 : 1.

Výstupní výkon nf zesilovače lze rychle určit z nomogramu B. Potřebujeme znát odpor zátěže a výstupní nf napětí na zátěži. Pro napětí menší než 6 V použijeme stupnici pro U_A , pro větší napětí pro U_B . Na nomogramu je vypočítán příklad: zesilovač má na zátěži 8 Ω napětí 12 V. Po spojení odpovídajících bodů na krajních stupnicích dostaneme na střední stupnici výsledek – 18 W. Zesilovač má tedy výstupní nf výkon 18 W.



Nomogram A

R_{TK} ⁴/₇₂ • 61



Nomogram B

OBSAH

Měřit, měřit, měřit	1
Osciloskop v praxi	3
Hlavní části osciloskopu	
Obrazová elektronka	3
Stínítko obrazovky	5
Ovládací obvody obrazovky	6
Zdroje vysokého napětí pro obrazovku	7
Zesilovače pro svislé a vodorovné vychylování	7
Generátory časové základny	9
Generátor časové základny s blokujícím oscilátorem	12
Monostabilní časová základna – synchronoskop	12
Současné pozorování více jevů osciloskopem	14
Moderní univerzální osciloskopy	14
Osciloskopická měření	
Vznik osciloskopického zobrazení	15
Měření založená na cejchování osciloskopu	16
Současné zobrazování	16
Typy a zdroje průběhů	17
Sinusové průběhy	17
Amplitudová a kmitočtová modulace	18
Impulsové signály	19
Šum	19
Parametry sinusového průběhu	21
Měření kmitočtů	22
Měření fázového úhlu	28
Měření činitele tvarového zkreslení	30
Měření intermodulačního zkreslení	31
Měření hloubky modulace	32
Parametry impulsových průběhů	35
Konstrukční část	
Osciloskop	
Vertikální zesilovač	41
Horizontální zesilovač	43
Obvody obrazovky	44
Napájecí zdroj	45
Generátor časové základny	47
Mechanická konstrukce, oživení a nastavení	47
Elektronický přepínač	50
Kalibrátor	54
Diferenciální předzesilovač	56

RADIOVÝ KONSTRUKTÉR – vydává vydavatelství MAGNET, Praha 1, Vladislavova 26, telefon 260651-9 ● Šéfredaktor ing. František Smolík ● Redakce Praha 2, Lublaňská 57, tel. 296930 ● Redakční rada: K. Bartoň, V. Brzák, ing. J. Čermák, CSc., J. Dlouhý K. Donát, L. Hlinský, ing. L. Hloušek, A. Hofhans, Z. Hradiský, ing. J. T. Hyan, ing. F. Králík, J. Krémárik, ZMS, ing. J. Jaroš, K. Novák, ing. O. Petráček, A. Pospíšil, ing. J. Vackář, CSc., laureát st. ceny KG, J. Ženíšek ● Ročně vyjde 6 čísel. Cena výtisku 4,50 Kčs, pololetní předplatné 13,50 Kčs, roční předplatné 27,— Kčs ● Rozšiřuje PNS, v jednotkách ozbrojených sil MAGNET – administrace, Praha 1, Vladislavova 26. Objednávky přijímá každá pošta i doručovatel ● Objednávky do zahraničí vyřizuje PNS – vývoz tisku, Jindřišská 14, Praha 1 ● Dohlédač pošta 07 ● Tiskne Naše vojsko, závod 01, Na valech 1, Praha – Dejvice ● Za původnost příspěvku ručí autor. Redakce rukopis vrátí, bude-li vyžádán a bude-li připojena frankovaná obálka se zpětnou adresou ● Toto číslo vyšlo 20. července 1972.

RADIO- TELEVIZNÍ AMATÉŘI!

Máme pro vás: **CUPREXTITOVÉ DESKY**

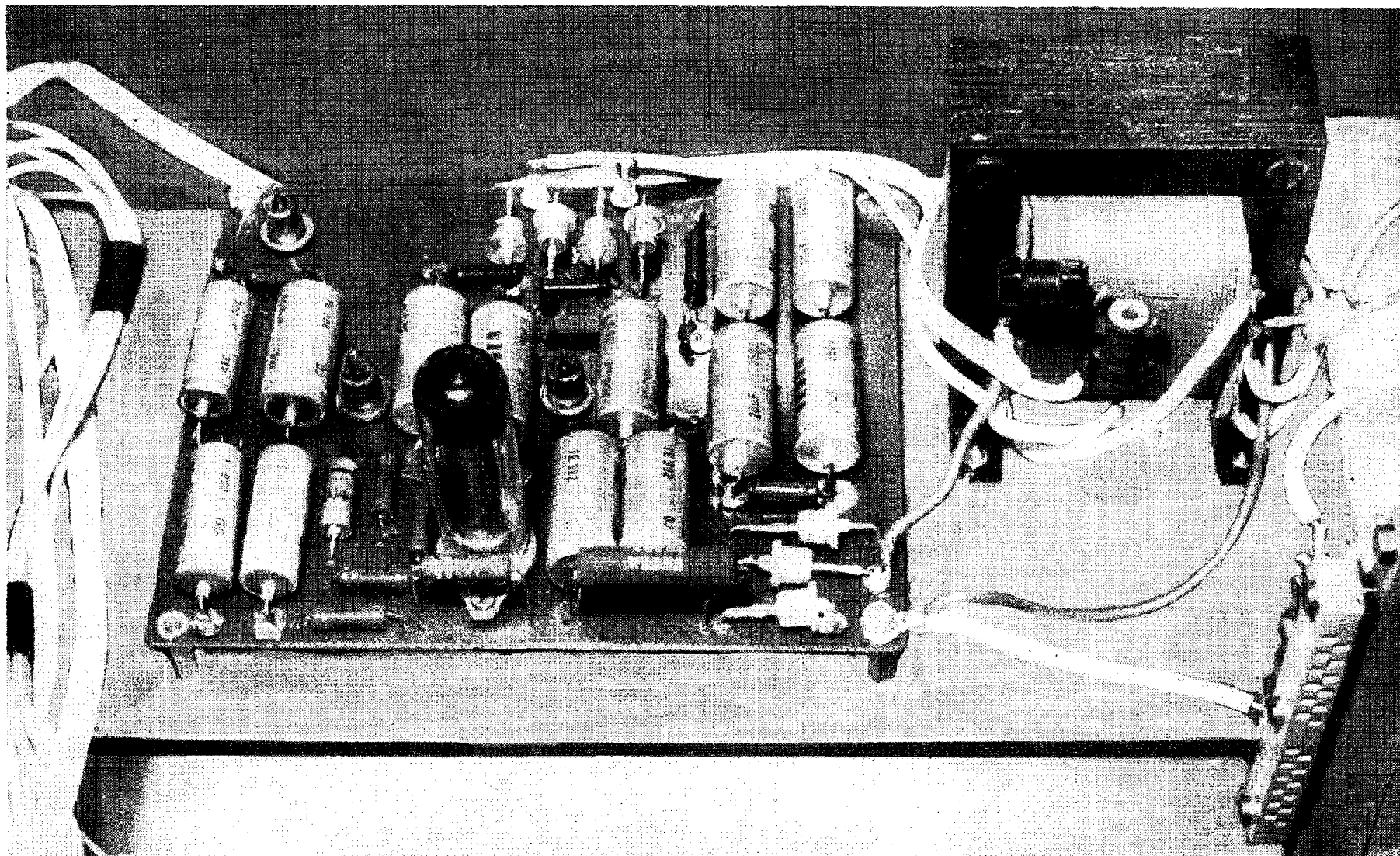
pro zhotovení plošných spojů (s měděnou fólií).
Cena 1 kg je 145 Kčs, prodává se na kusy – 1 deska
za asi 40 Kčs. Současně nabízíme chemickou sou-
pravu pro leptání vzorců spojů. Cena 39 Kčs.
Pro organizace prodej na fakturu, na velkoobchod-
ním stupni bez daně – vyřizuje odbytový útvar
v Praze 1, Martinská 3, tel. 268 164. Cuprexit
i chem. soupravu můžete dostat též na dobírku
ze **ZÁSILKOVÉ SLUŽBY TESLA**, Uherský
Brod, Moravská 92.

RADIO- TELEVIZNÍ SOUČÁSTKY a různé náhradní díly

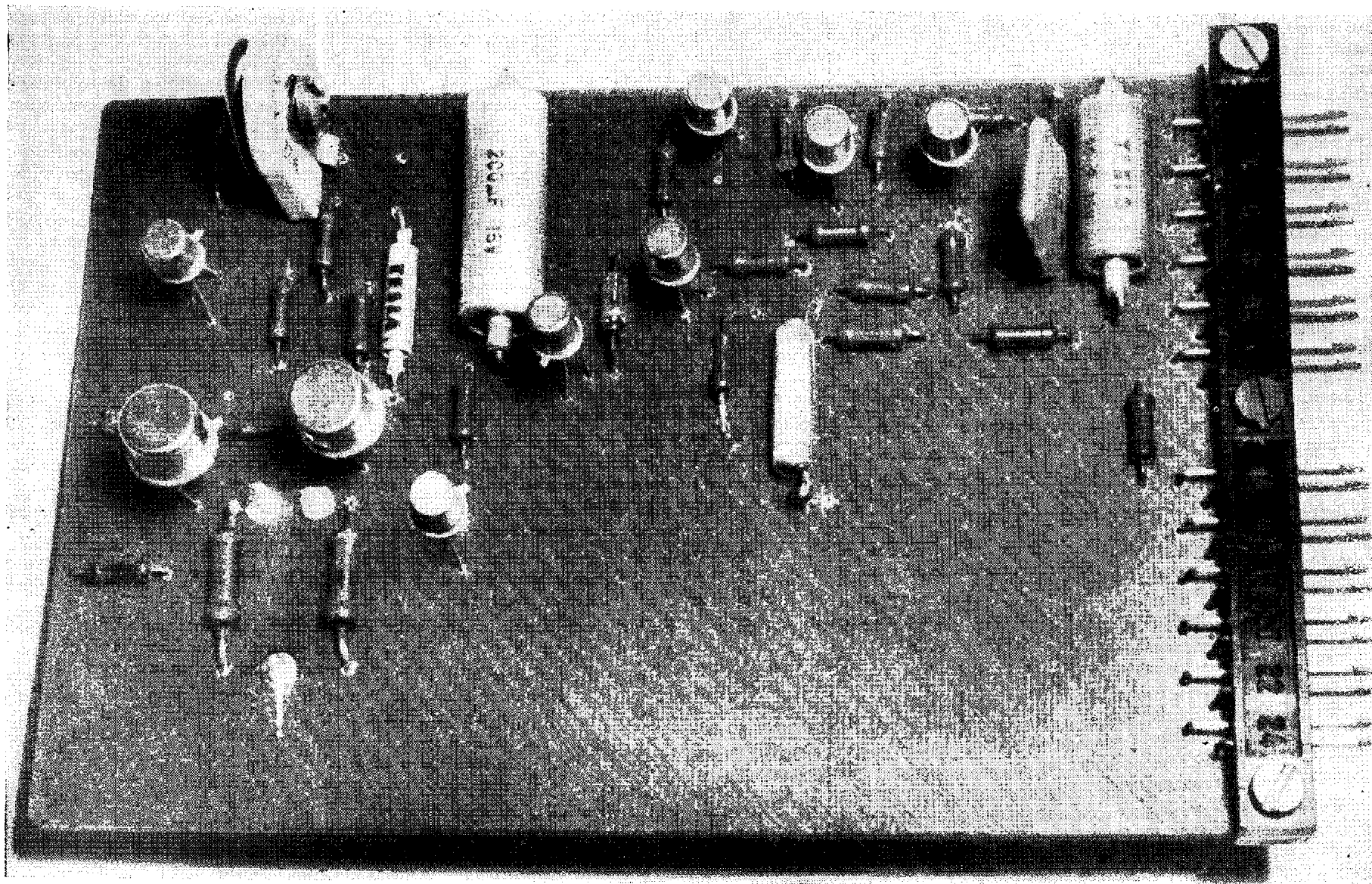
Jinak prodáváme též běžné výrobky TESLA – od televizorů, magne-
tofonů a radiopřijímačů až po reproduktory, zesilovače apod.

Naši prodejnu TESLA najdete blízko Perštýna, rovnoběžně s Národní
třídou – v Praze 1, Martinská 3, tel. 240 732.

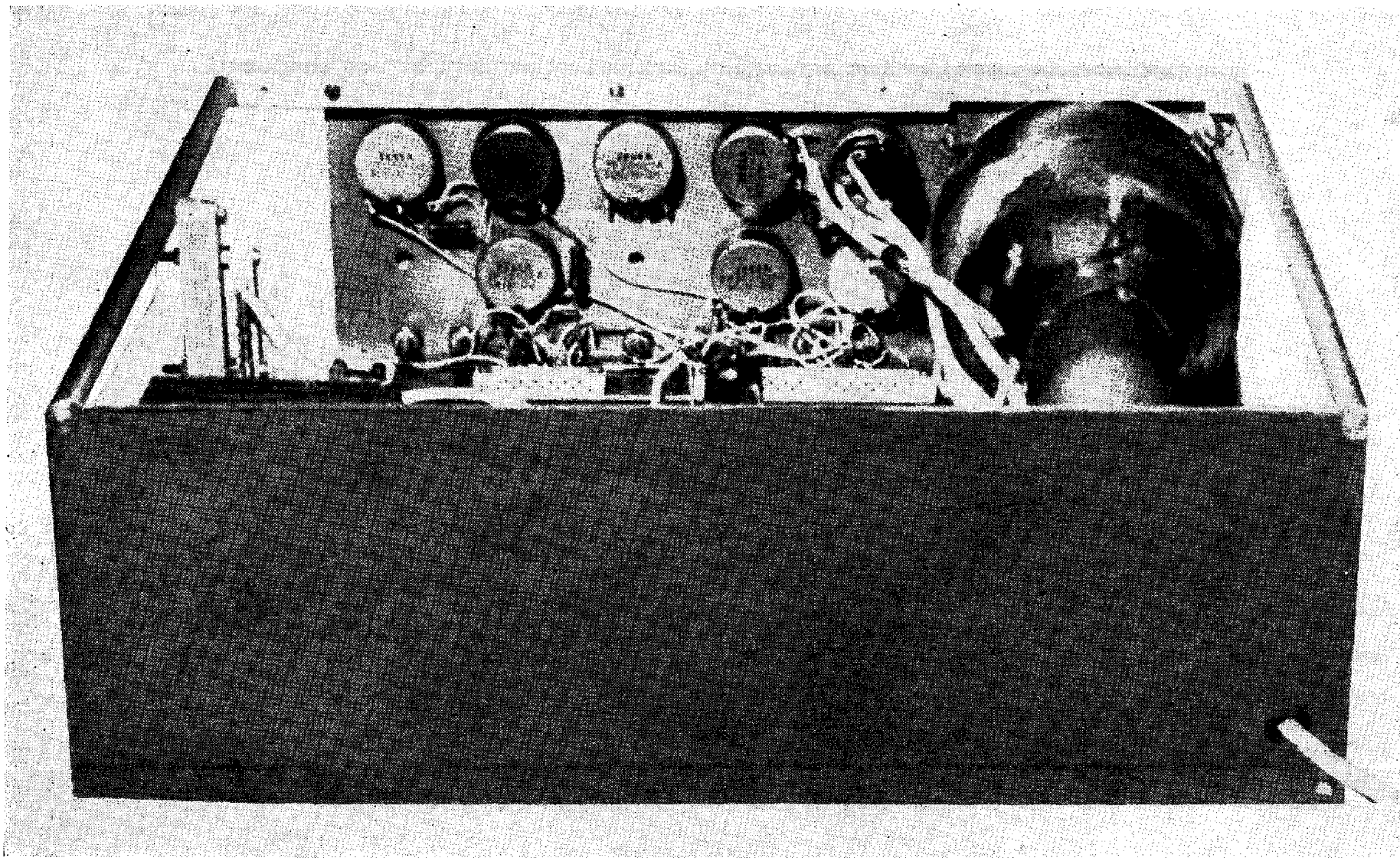
PRODEJNY TESLA



Obr. 72. Deska zdroje, osazená součástkami



Obr. 68. Osazená deska horizontálního zesilovače



Obr. 74. Osciloskop shora při odkrytí krytu